

MÜHENDİSLİK BİLİMLERİNDE AKADEMİK ÇALIŞMALAR-2019/2

MÜHENDİSLİK BİLİMLERİNDE
AKADEMİK ÇALIŞMALAR
-2019/2

EDİTÖRLER
Ali KILIÇER
Tuncay YILMAZ



MÜHENDİSLİK BİLİMLERİNDE

AKADEMİK ÇALIŞMALAR-2019/2

Editörler

Dr. Öğr. Üyesi Ali KILIÇER

Dr. Öğr. Üyesi Tuncay YILMAZ

Cetinje 2019



Editörler

Dr. Öğr. Üyesi Ali KILIÇER

Dr. Öğr. Üyesi Tucay YILMAZ

Birinci Baskı • © Eylül 2019 /Cetinje-Montenegro

ISBN • 978-9940-540-92-0

© copyright

All Rights Reserved / Tüm hakları saklıdır

Ivpe

web: www.ivpe.me

Tel. +382 41 234 709

e-mail: office@ivpe.me



Print

Ivpe

Cetinje, Karadağ

İÇİNDEKİLER

ÖN SÖZ.....	III
HAKEM KURULU.....	IV
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ	1
ENERJİ HASADI ZEMİN UYGULAMASI: PİEZOELEKTRİK ÖRNEĞİ.....	2
ARDUİNO KONTROLLÜ ÖZEL AMAÇLI GÖREV ROBOTU TASARIMI.....	10
PVSYST GÜNEŞ ENERJİSİ SİMÜLASYON PROGRAMI İLE SAĞLIK KURUMLARININ GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ KURULUMUNUN MODELLENMESİ.....	23
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ	37
EVLAT EDİNDİRMEDE AİLE SEÇİM SÜRECİNİN AHP VE TOPSIS TABANLI BİLGİ SİSTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	38
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ.....	60
KİREMİT ATIĞI KATKILI HARÇLARIN DAYANIM ÖZELLİKLERİ	61
TARİHİ ÇEÇEN SÜLEYMAN EFENDİ KONAĞINDA KULLANILAN HARÇLARIN BAZI ÖZELLİKLERİ.....	72
YAYILI YÜK İLE YÜKLENMİŞ AHŞAP KİRİŞLERDE KALICI SEHİM İNCELENMESİ.....	80
HARÇ KARIŞIMINDA TUĞLA ATIKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	90
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ.....	100
MİKRODALGA IŞINIM YÖNTEMİNİN SU KİRLİLİĞİ ÜZERİNE UYGULAMALARI	101
MADEN MÜHENDİSLİĞİ.....	110
ISIL ÖN İŞLEMİN BAKIR MİNERALİNİN ÖĞÜTÜLEBİLİRLİĞİNE OLAN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI	111
KOLEMANİTİN KONVANSİYONEL VE MİKRODALGA ENERJİYE BAĞLI DEKREPİTASYON ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ ...	130
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ	148
KIRILMA MEKANİĞİ: AĞIRLIK FONKSİYONU YÖNTEMİ.....	149

AĞIRLIK FONKSİYONU YÖNTEMİ İLE GERİLME YOĞUNLUK FAKTÖRÜNÜN HESAPLANMASINA ÖRNEK BİR UYGULAMA	174
POLİMER KOMPOZİT ÜRETİMİ: GELENEKSEL VE MODERN YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI	189
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ.....	207
TARIMDA POLİMER MALZEMELERİN KULLANIMI.....	208
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ	223
YALITILMIŞ FARKLI DUVARLARIN SES YALITIM ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ.....	224
EPOKSİ YAPIŞTIRICIDA NANOPARTİKÜLLERİN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ	231
ENERJİ MÜHENDİSLİĞİ	238
MESLEK YÜKSEKOKULLARINDAKİ ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARI TEKNOLOJİSİ PROGRAMLARINA GENEL BİR BAKIŞ.....	239

ÖN SÖZ

Günümüzde çeşitli konularda belirli uzmanlık alanları özelinde yapılan ayrıntılı çalışmaların önemi önemini koruyor olsa da, disiplinler arası çalışılarak mühendislik problemlerini çözüme ve farklı bakış açılarını ele alan pratik yaklaşımda bulunma hususu çok daha anlam kazanmış durumdadır. Multidisipliner araştırmalar üzerinde çalışan bilim adamlarının sayısı gün geçtikçe artmakta, yapılan çok perspektifli çalışmalarla yeni, sonuç odaklı ve temel mühendislik problemleri üzerinde realistik çözümler sunan sonuçlara ulaşılmaktadır. Mühendislik yaklaşımında yer alan her bir mühendislik dalının kendi branşına özgü basit temel mantıklardan yola çıkılarak problemlerin çözümü mümkün olsa da bu temel mantıkların disiplinler arası çalışmalarla elde edilen yüksek sinerjilerle üretilmesi ya da başka bir mühendislik dalındaki bir mantığın bir diğerine adapte edilmesi, nitelikli çalışma ve çözümler ortaya koymaktadır. Bu hususta çeşitli bilim dallarındaki çalışmaların incelenmesi ve bu çalışmaların sentezlenmesinin teşvik edilmesi ise farklı bakış açıları oluşturacak ve multidisipliner çalışmalara dolayısıyla yaratıcı ve pratik çözümler üreten fikirlere ışık tutacaktır.

Mühendislik Biliminde Akademik Çalışmalar 2 adlı bu kitapta, hem multidisipliner araştırmalar yapan bilim adamlarını bir araya getirmek hem de gelecekteki araştırmalar için yeni fikirler oluşturmak temel hedeftir. Bu hedefler doğrultusunda bu kitapta Elektrik ve Elektronik Mühendisliği, Endüstri Mühendisliği, İnşaat Mühendisliği, Maden Mühendisliği, Makine Mühendisliği, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Mekatronik Mühendisliği bilim dallarından olmak üzere disiplinler arası olan çalışmalar yer almaktadır. Kitabın ortaya çıkmasında çalışmalarını ile katkıda bulunan yazarlara ve çalışmalarını değerlendirilmesinde katkıda bulunan hakemlere teşekkür eder, geleceğe ışık tutan araştırmalarında başarılar dileriz.

Editörler

Dr.Öğr.Üyesi Ali Kılıçer

Dr.Öğr.Üyesi Tuncay Yılmaz

HAKEM KURULU

Prof. Dr. Claudio Rossi, Università di Siena, İtalya

Prof. Dr. Diana Ilieva Kopeva, University of National and World Economy, Bulgaristan

Prof. Dr. Rıdvan Karapınar, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Türkiye

Prof. Dr. Serdar Salman, Milli Savunma Üniversitesi, Türkiye

Prof. Dr. Tanja Soldatovic, Novi Pazar Devlet Üniversitesi, Sırbistan

Doç.Dr. Barna Octavian, Universitatea Dunarea de Jos Galati, Romanya

Doç. Dr. Flaminia Ventura, Università degli Studi di Perugia, İtalya

Doç.Dr. Pınar Mızrak Özfirat, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Türkiye

Doç. Dr. Seher Kumcuoğlu, Ege Üniversitesi, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Ali Kılıçer, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi, Alpaslan Turgut. Dokuz Eylül Üniversitesi, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi, Can Çivi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi, Ege Anıl Diler, Ege Üniversitesi, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi, Fadıl Kuyucu, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi, Metin Yurddaşkal. Dokuz Eylül Üniversitesi, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi, Seda Arabacı, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi, Simge İrizalp, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi, Tuncay Yılmaz, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Türkiye

Dr. Fares Halahlıh, Institute of Applied Research Galilee Society, İsrail

Dr. Felix Rabeler, Technical University of Denmark, Danimarka

Dr. Geoges Bourakis, Mediterranean Agronomic Institute of Chania, Yunanistan

Dr. Lazaros Karaoglanoglu, National Technical University of Athens, Yunanistan

Dr. Radhouane Kammoun, University of Sfax, Tunis

Dr. Rim Hachicha, University of Sfax, Tunis

Dr. Sabrina Elbachir, University of Mascara, Cezayir

Dr. Zuzana Košťálová, Slovak Technical University, Slovakia

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

ENERJİ HASADI ZEMİN UYGULAMASI: PİEZOELEKTRİK ÖRNEĞİ

Sena Taş¹

**Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Elektronik Bilgisayar, Gaziantep, Türkiye
E-mail: sena.tas@std.hku.edu.tr*

Hasan Selçuk Selek²

***Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Gaziantep, Türkiye
E-mail: hsselek@hku.edu.tr*

1. Giriş

Son yıllarda teknolojinin gelişme hızının artması, nüfusun hızlı bir şekilde artışı ve buna bağlı üretimdeki artış dünya üzerinde bulunan yenilenemez enerji kaynaklarının tükenmesini hızlandırmaktadır. Sırasıyla kömür, doğalgaz ve petrol; 114 yıl, 53 yıl ve 51 yıl sonra tükeneceklerdir (Koç vd., 2018). Bunun yanında fosil kaynaklarının tüketimi doğaya ciddi zararlar vermektedir. Her yıl küresel ısınmaya ve asit yağmurlarına sebep olan 20 milyar ton karbondioksit, 100 milyar ton kükürt bileşiği, 2 milyar ton kurşun ve diğer toksin kimyasal bileşikler atmosfere yayılmaktadır (Kumbur vd., 2005). Buna karşı ülkeler alternatif enerji kaynaklarının kullanılmasına yönelik teşviklerde bulunmaktadır.

Devletlerin enerjide alternatif enerji kaynaklarına yönelmesi bir alternatif enerji kaynağı olan piezoelektrik malzemenin enerji hasadı çalışmalarını artırmıştır. Piezoelektrik malzeme doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki farklı özelliğe sahiptir. Piezoelektrik üzerine basınç uygulandığında bir elektrik sinyali üretir. Bu özelliği doğrudan özelliğidir. Üzerine elektrik uygulandığında ise malzeme genleşir, sıkışır ve kayma deformasyonu gerçekleştirir. Bu özelliği ise dolaylı özellik olarak adlandırılmaktadır (Ergün vd., 2006; Rocha vd.,2010;Kholkin vd., 2008; Sappati ve Bhadra,2018).

Bu çalışmada piezoelektrik malzemenin doğrudan özelliğinden yararlanılarak elektrik hasadı yapılan bir zemin tasarımı yapılmıştır. Zemin üzerinde canlıların (temelde insan) yürüyüş hareketlerinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi amaçlanmıştır ve bu doğrultuda bir zemin tasarımı gerçekleştirilmiştir.

2. Literatür

Sahip olduğu iki özellik sebebiyle piezoelektrik malzemenin kullanım alanı oldukça yaygındır. İlk olarak Paul Langevin tarafından deniz altı

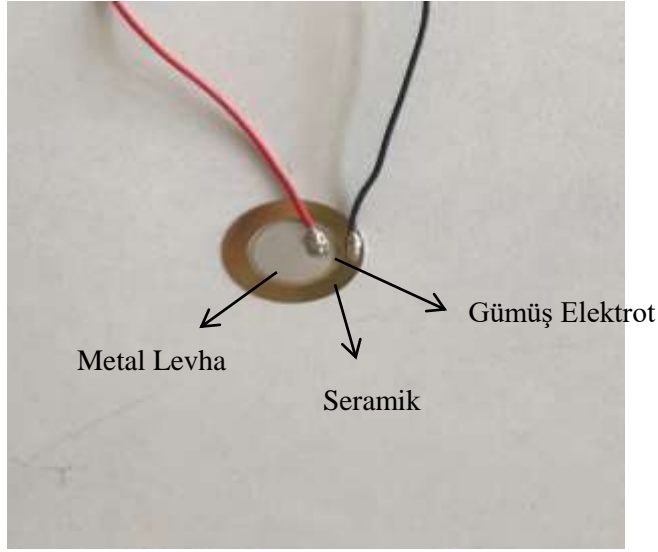
tespit cihazında (SONAR) kullanılmıştır(Katzir,2012). Tıbbi ultrason cihazlarının vücut içerisini görüntüleyebilen problemleri piezoelektrik malzemeye sahiptir. Ses dalgaları elektrik sinyaline dönüştürülerek görüntü üretimini gerçekleştirir (Duran vd., 2006). Mectron Medical Technology'nın (İtalya) ürünü Piezosurgery cihazının ana malzemesini piezoelektrik malzeme oluşturmaktadır. Kemik kesiminde kullanılan bu cihaz, yumuşak dokuların zarar görmesini engellemektedir (Robiony vd., 2004;2016) Dizel araçlarda kademeli püskürtme sağlayan enjeksiyon sisteminde piezoelektrik malzeme kullanılmaktadır(Çanakçı ve Özsezen, 2004). Ayrıca metronom ve vurmali çalgı öğrenim seti tasarımlarında piezoelektrik malzeme kullanılmıştır (Selek,2012).

Piezoelektrik malzemeler ayakkabı tabanına yerleştirilerek enerji hasadı yapılabilen ayakkabı tasarlanmıştır. Tasarlanan bu ayakkabıdan elde edilen enerji taşınabilir cihazların enerji ihtiyacını karşılamada kullanılmak için planlanmış ve tasarım bu amaca uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada elektrostatik jeneratör kullanımı ile maksimum 8 volt elde edilirken elektrostatik jeneratör kullanılmadan maksimum 6 volt elde edilmiştir(Rocha vd., 2010). 2014 yılında Delvanaz ve Voix tarafından insanların çene hareketlerinden enerji üretmek için kulaklık benzeri bir cihaz tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu projeden istenilen miktarda enerji elde edilememiştir(Delvanaz ve Voix, 2014). Dağdeviren ve arkadaşları canlıların organlarının hareketlerinden piezoelektrik malzeme yardımıyla enerji edilebilen deneylerini ve çıktılarını paylaştılar. Böylece giyilebilir kalp pili tasarımları pile ihtiyaç duymadan çalışabilecek ve buna bağlı kalp pillerinin değiştirilmesi için yapılan ameliyatlardan ortadan kaldırılacaktır (Dağdeviren vd., 2014; 2017). Yun ve arkadaşı tarafından 2013 yılında, Bayramol tarafından 2018 yılında piezoelektrik dokuma tasarlanmıştır. Yun ve arkadaşının tasarladığı dokuma kumaşa 8Hz germe ve çekme hareketi uygulanması sonucunda 0.6mW/cm² elde edilmiştir. Bayramol ise üretmiş olduğu dokumadan maksimum 860 mV elde etmiştir(Yun ve Yun, 2013; Bayramol, 2018). Piezoelektrik malzemeler asfalt altına yerleştirilerek elektrik üretimi amaçlanmıştır. 100 bar basınç uygulanması sonucu maksimum 3,16 V elde edilmiştir. Bu çalışmada malzemeler zarar gördüğünden dolayı, pratikte uygulanamayacağı gözlemlenmiştir(Aslan,2016). Tokyo İstasyonu'nun Marunoueli Kuzey çıkışına yolcuların yürüyüş hareketinden elektrik üretmek için Piezoelektrik malzemelerden oluşan bir zemin 6m²lik bir alana yerleştirilmiştir. Zeminden günde 10.000 watt saniye enerji üretimi gerçekleştirilmiştir. Fakat 3. Haftadan sonra Piezoelektrik malzemelerde meydana gelen kırılmalardan dolayı elektrik üretimi azalmıştır(East Japan Railway Company,2008). Funda Demir'in 2017 yılında tamamlamış olduğu "Piezoelektrik Malzeme ile Rüzgârdan Enerji Hasadı" doktora çalışmasında rüzgârdan enerji elde etmeyi amaçlayarak çalışmasında PZT

ve MFC Piezoelektrik türlerini incelemiştir. Her iki malzemeye de 6,5 m/s rüzgâr şiddeti uygulandığında; PZT 1445 nW, MFC 121 μ W güç üretimi gerçekleştirmiştir (Demir,2017).

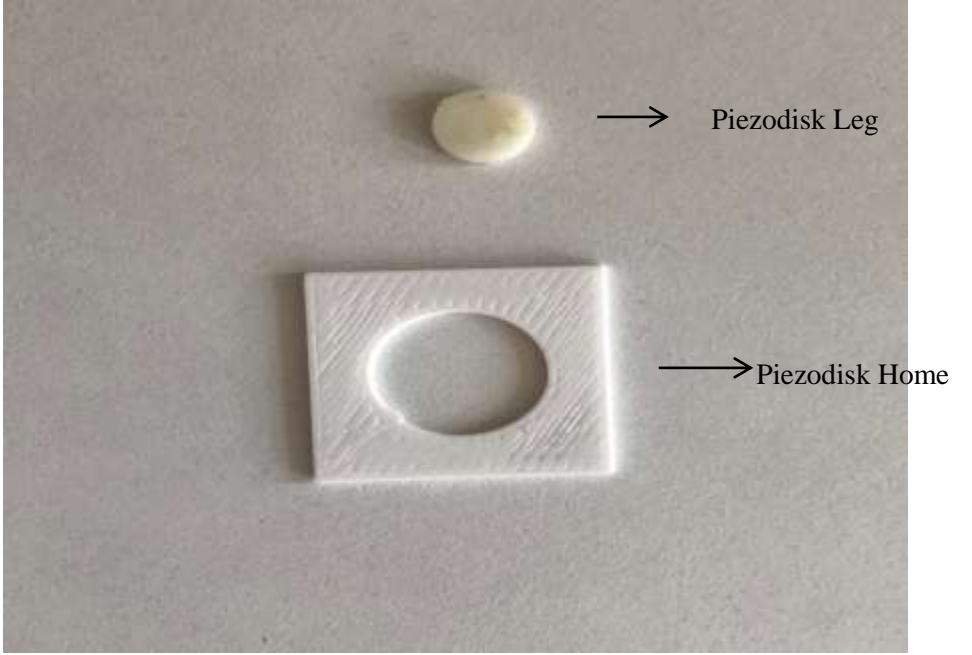
3. Malzemeler ve Yöntem

Zemin içerisinde 0.33mm ve 1mm kalınlığa sahip piezodiskler ayrı ayrı kullanılmış ve 60 kg bir kişinin zemin üzerinde yürümesi sonucu elde edilen değerler analiz edilmiştir. Your Cee firmasından temin edilen aynı teknik özelliklere sahip olan piezodiskler yalnızca kalınlık bakımından farklılık göstermektedir. Her iki piezodisk de 27 mm çapa sahiptir.



Şekil 1. Piezodisk.

Piezodisklerin en verimli enerji üretimi yapabilecekleri basınç uygulama şeklini belirlemek için piezodisk üzerine farklı şekillerde basınçlar uygulanmıştır. Bu uygulamanın sonucunda en yüksek üretimi sağlamak için aşağıdaki şekil 2 de oluşan Piezodisk Home ve Piezodisk Leg adı verilen yapılar 3B yazıcıdan yazdırılmıştır. Piezodiskler Piezodisk Home üzerine yerleştirilmiş ve Piezodisk Leg'ler Piezodisk'in gümüş elektrotu üzerine yerleştirilmiştir. Böylece Piezodisk malzeme üzerine uygulanan basınç direk olarak Piezodisk Leg üzerine aktarılarak buradan da direk olarak Piezodisk'in gümüş elektrotu üzerine aktarılmıştır. Bunun sonucunda en yüksek voltaj değerine ulaşmak istenmiştir.



Şekil 2. Piezodisk Home ve Leg

2 adet 1m² tahta panel kullanılmıştır. Tahta paneller ucuz ve erişimi kolay olması sebebiyle seçilmiştir. Deney de tahta panellerden birinin üzerine Piezodisk Home'lar, Leg'ler ve Piezodiskler yapıştırılmıştır. Diğer panel ise döşeme yapılan tahta panelin üzerine kapatılmıştır.

Piezodiskler AC sinyal ürettiklerinden dolayı üretimin depolanması için Tam Dalga Köprü Doğrultmaç devresi yardımıyla DC sinyale dönüştürülmüştür.

Zemin içerisindeki Piezodisklerin devre ile bağlantısının yapılabilmesi için çok damarlı 3mm çapa sahip kablolar kullanılmıştır.

Yapıştırma işlemi için EVOBOND 502 yapıştırıcı kullanılmıştır.

Bu çalışmada 0.33mm kalınlığa sahip Piezodiskler ile tasarlanan zemin tasarımı toplam 28,58 \$(Kasım 2018 tarihli) harcanmış, 1mm kalınlığa sahip Piezodiskler ile tasarlanan zemin tasarımı toplam 50,16\$ (Şubat 2019 tarihli) harcama yapılmıştır.

Malzemeler temin edilerek iki farklı kalınlıktaki piezodiskler ayrı ayrı döşenerek deney zemini oluşturulmuştur.

Zemin ilk olarak 0.33 mm çapa sahip 221 adet Piezodisk' ten oluşturulmuştur. Şekil 3'de görüldüğü gibi 17 adet Piezodisk bir sıra halinde yapıştırılmış ve her sıranın çıkışları paralel olarak bağlanmıştır. Her sıranın çıkışı ise bir adet Tam Dalga Köprü Doğrultmaç Devresine bağlanmıştır. 1m² zemin içerisinde 13 adet sıra olduğundan 13 adet Tam

Köprü Dalga Doğrultmaç devresi kullanılmıştır. Her devrenin çıkışı ise birbirine paralel olarak bağlanmıştır.



Şekil 3. Zemin piezodisk yerleştirilmesi.

Tasarım sonrası 60 kg bir kişi zemin üzerinde yürümüştür. 60 kg bir kişinin zemin üzerinde 1 dakika boyunca yürümesi sonucunda Tam Dalga Köprü Doğrultmaç Devresinde kullanılan kapasitörlerde depolanan gerilim ve akım 11,94V, 333 μ A olarak ölçülmüştür. Bu üretim sonucunda 3,976 mW güç elde edilmiştir.

Yapılan deney sonrasında 60 kg zemin içerisindeki Piezodisklerin kırıldığı gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda yapılan dayanıklılığın testinde 60 kg bir kişinin zemin üzerinde 10 adım yürümesi sonucunda 3 adet Piezodisk'in kırıldığı gözlemlenmiştir. Kırılan Piezodiskler yenisi ile değiştirilip 95 kg bir kişinin zemin üzerinde 10 adım yürümesi sonucunda 10 adet Piezodisk'in kırıldığı gözlemlenmiştir.

Aynı malzemeler kullanılarak zemin içerisine 1mm kalınlıkta piezodiskler döşenmiştir. Hazırlanan zemin üzerinde 60 kg bir kişinin yürümesi sonucunda 11,13 V, 362 μ A elde edilmiştir. Deney sonucunda Piezodiskler incelendiğinde hiçbir kırılma gözlemlenmemiştir. Zemin

üzerinde 95 kg bir kişi 10 adım yürümesi sonucunda dahi Piezodisklerde hasar gözlemlenmemiştir.

4. Sonuç ve Tartışma

Fosil kaynaklarının hızlı bir şekilde artan ihtiyaçla tükenecek olması ve aynı zamanda doğaya ciddi zararlar vermesi sebebiyle alternatif enerji kaynaklarına artan ilgi katlanarak büyümektedir. Bu çalışmada da alternatif enerji kaynağı olan Piezodisk malzemelerin kullanımı ile elektrik hasadı yapabilen bir hasat zemini tasarlanmış ve deney sonuçları analiz edilmiştir.

0.33 mm kalınlığa sahip Piezodiskler ile oluşturulan zemin üzerinde 60 kg kişinin 1 dakika yürümesi sonucunda 3,976 mW güç üretimi elde edilmiştir. Fakat 60 kg bir kişinin 10 adım yürümesi sırasında zemindeki Piezodisklerin 3 tanesinin kırıldığı görülmüştür. Zemin üzerinde 95 kg birisi 10 adım yürüdüğünde bu sayı 10 adede çıkmıştır. 1mm kalınlığa sahip Piezodiskler ile oluşturulan zemin üzerinde 1 kişinin 1 dakika boyunca yürümesi sonucunda 4,029 mW güç üretimi elde edilmiştir. Bu sonuç, literatürdeki rüzgâr hareketi, araç hareketi ve insan vücut hareketleri ile yapılan çalışmalar ile karşılaştırıldığında en verimli hareketin insan yürüyüş hareketi olduğunu göstermiştir.

Deney sonrasında zemindeki Piezodiskler incelendiklerinde hiç birinin hasar görmediği gözlemlenmiştir. Ayrıca zemin literatürdeki bazı çalışmalarda olduğu gibi kişinin ekstra güç sarf etmesini gerektirmemektedir. Normal bir yürüyüşte kullanılan güç miktarı kadar güce ihtiyaç duyulmaktadır.

Zeminden üretilen enerji; üretim maliyeti, malzeme ve işletme maliyetlerini karşılamada oldukça düşük kalmaktadır. Bu sebeple ekonomik bir değeri olmadığı ve kalabalık ortamlarda (Okul, hastane, havaalanı...) zeminin kurulması verimli olmayacağı görülmüştür. Çalışmada tüm tasarım adımları gösterilmiş, malzemeler tanıtılmış ve teknik bilgilere eksiksiz yer verilerek piezoelektrik malzemelerle verimli bir temiz enerji sistemi kurarak işletmek çalışmadaki ve benzeri tasarımlarla mümkün olamayacaktır.**Kaynaklar**

- Aslan, H. (2016). Piezoelektrik Malzemelerle Asfalt Yollarda Elektrik Enerjisi Üretimi
- Çanakçı, M., & Özsezen, A. N. (2004). Dizel Motorları Yakıt Enjeksiyon Sistemlerindeki Gelişmeler. Kocaeli Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makina Eğitimi Bölümü.

- Dagdeviren, C., Li, Z., & Wang, Z. L. (2017). Energy harvesting from the animal/human body for self-powered electronics. *Annual review of biomedical engineering*, 19, 85-108.
- Dagdeviren, C., Yang, B. D., Su, Y., Tran, P. L., Joe, P., Anderson, E., ... & Lu, B. (2014). Conformal piezoelectric energy harvesting and storage from motions of the heart, lung, and diaphragm. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(5), 1927-1932.
- Delnavaz, A., & Voix, J. (2014). Flexible piezoelectric energy harvesting from jaw movements. *Smart Materials and Structures*, 23(10), 105020.
- Demir, F. (2017). Piezoelektrik Malzeme ile Rüzgardan Enerji Hasatı. Yayınlanmamış doktora tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük.
- Duran, K., Bahtiyari, M. İ., Körlü, A. E., Dereli, S., & Özdemir, D. (2006). Ultrason Teknolojisi. *Tekstil Ve Konfeksiyon*, 16(3), 155-158.
- East Japan Railway Company. (2008). Demonstration experiment of the "Power-Generating Floor" at Tokyo station.
- Ergun, C., Yılmaz, Ş., Özdemir, E., Ergun, C., Gül, Ö., & Kalenderli, Ö. (2006, April). Piezo Elektrik Malzemeler ve Uygulamaları. In *Proceedings of 11th International Materials Symposium*.
- Katzir, S. (2012). Who knew piezoelectricity? Rutherford and Langevin on submarine detection and the invention of sonar. *Notes and Records of the Royal Society*, 66(2),
- Kholkin, A. L., Pertsev, N. A., & Goltsev, A. V. (2008). Piezoelectricity and crystal symmetry. In *Piezoelectric and Acoustic Materials for Transducer Applications* (pp. 17-38). Springer, Boston, MA.
- Kholkin, A. L., Pertsev, N. A., & Goltsev, A. V. (2008). Piezoelectricity and crystal symmetry. In *Piezoelectric and Acoustic Materials for Transducer Applications* (pp. 17-38). Springer, Boston, MA.
- Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y., & Uğurlu, İ. (2018). Dünyada ve Türkiye’de Enerji Görünümünün Genel Değerlendirilmesi. *Engineer & the Machinery Magazine*, 59(692).
- Kumbur, H., Özer, Z., Özsoy, H. D., & Avcı, E. D. (2005). Türkiye’de geleneksel ve yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyeli ve çevresel etkilerinin karşılaştırılması. *Yeksem 2005, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi*, 19-21.
- Robiony, M., Franz, L., Costa, F., Bianchi, A., & Marchetti, C. (2016). Piezosurgery: A true revolution for nasal bone osteotomies in rhinoplasty. *Plastic and Reconstructive Surgery Global Open*, 4(6).
- Robiony, M., Polini, F., Costa, F., Vercellotti, T., & Politi, M. (2004). Piezoelectric bone cutting in multipiece maxillary osteotomies. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 62(6), 759-761.
- Rocha, J. G., Goncalves, L. M., Rocha, P. F., Silva, M. P., & Lanceros-Mendez, S. (2010). Energy harvesting from piezoelectric materials fully integrated in footwear. *IEEE transactions on industrial electronics*, 57(3), 813-819.

- Sappati, K., & Bhadra, S. (2018). Piezoelectric Polymer and Paper Substrates: A Review. *Sensors*, 18(11), 3605.
- Selek, H.S.. (2012). Elektronik Davulun Eğitim Amaçlı Tasarımı ve Bir Müzik Eğitimi Simülatörü. Yayınlanmamış doktora tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Vatansever Bayramol, D. (2018). An Investigation On The Effect Of Bottom Layer Material On The Voltage Output Of A Piezoelectric Smart Woven Structure. *Tekstil Ve Konfeksiyon*, 28(1), 60-65.
- Yun, D., & Yun, K. S. (2013). Woven piezoelectric structure for stretchable energy harvester. *Electronics Letters*, 49(1), 65-66.

ARDUİNO KONTROLLÜ ÖZEL AMAÇLI GÖREV ROBOTU TASARIMI

Kazım Duraklar¹

¹ ASO Teknik Koleji, Endüstriyel Otomasyon Teknolojileri Alanı,
Ankara, Türkiye
E-mail: kazim.duraklar@hotmail.com

Doç. Dr. Mustafa Burunkaya²

² Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik -Elektronik Mühendisliği,
Ankara, Türkiye
E-mail: bmustafa@gazi.edu.tr

1. Giriş

Hızla artış gösteren teknolojik ürün kullanım alışkanlıkları beraberinde insanların robotlarla iş yapma becerilerinin de artmasına imkân sağlamıştır. Robotlar sayesinde tekrar gerektiren veya insanın biyolojik, fiziksel vb. özelliklerini zorlayan işlerin gerçekleştirilebilmesi mümkündür. Bu bağlamda otonom veya kontrol edilen robotlar çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Robot teknolojisindeki gelişmeler ve akabinde bunların kullanım alanlarının yaygınlaşması, endüstride daha fazla problemin çözülebilmesine olanak sağlamıştır. Ayrıca robotların çeşitli sensörler ile çevrelerindeki büyüklükleri algılayabilmesi bu sayede insanlarla iletişim kurma, işbirliğiyle çalışma becerileri kazanabilmesi ve benzeri durumlar robotlar için temel özellikler haline gelmeye başlamıştır [1].

Bu bağlamda robotlar tasarlanırken kumanda edecek kişi tarafından en rahat şekilde kullanımının sağlanması önem taşımaktadır. Dijital oyunların ve oynanmasının yaygın olması nedeni ile, insanlar için oyun kontrol çubuklarının (joystick) kullanımına yönelik önemli bir alışkanlık ve uyum söz konusudur. Bu nedenle robotun kumandası olarak oyun kontrol çubuğu kullanılmıştır. Bu robotun tasarımında ön planda tutulan bir diğer unsur da düşük maliyetle çalışmanın gerçekleştirilmesidir. Bu sebeple programlayıcı olarak ucuz ve kolay erişilebilir olan arduino işlemci ailesi kullanılmıştır. Üstelik arduino ile programlama yapmanın kolay kullanım, birçok hazır donanım kullanım imkânına sahip olması, yaygın tüm işletim sistemlerine uygun derleyiciye sahip olması gibi üstünlüklerinin yanı sıra, yaygın olarak kullanılması sebebiyle çok sayıda örneğe ulaşım gibi imkânları da bulunmaktadır. Özel görev robotu ile ilgili amaçlara ulaşabilmek için öncelikle bir görev senaryosunun ortaya konulması, arkasından buna uygun olarak sistemin tasarlanması gerekmektedir.

Parkurdaki görevlerden ilki temsili bir nesneyi manuel robot ile su üzerinde hareket edecek otonom robota yerleştirmektir. Ürünü teslim aldıktan sonra otonom robot duvarlara temas etmeden 400 santimetre uzaklıktaki Mors Feneri olarak tanımlanan iki adet üst üste yerleştirilmiş 36 watt beyaz led wallwasher lambanın önünde çarpmadan duracak ve çözümlenmek üzere mors kodunun gönderilmesini bekleyecektir.

Robot görevini icra ederken rastgele verilen ilgili mors kodu manuel robot tarafından parkurda bulunan mors vericisi ile mors fenerine iletilecek ve otonom robot doğru kodu aldığı takdirde 90 derece saat yönünde dönerek 150 santimetre uzaklıktaki bitiş noktasına ilerleyerek duvara dokunmadan duracaktır. Otonom robot hareketini bitirdikten sonra manuel robot temsili telgraf direğini parkurdaki yerine dikecek ve 4 adet telgraf telini temsil eden farklı uzunluklarda metal çubuğu direkler üzerine yerleştirerek telgraf mesajı iletilecektir.

Mekanik malzeme ve elektronik donanım bileşenleri ise robotun beceri performansını ölçmek amacıyla uygulanacak parkura göre şekillendirilmiştir. Robotun mesaj iletmek amacıyla iletken olarak düşünülen demir çubukları taşıyabilecek ve bu demir çubukların konulduğu taşıyıcı kolonlardan birini taşıyabilecek fonksiyona sahip olması gereklidir. Ayrıca mors haberleşmesi yapabilmesi gereklidir. Mors alfabesini iletilecek sistem pnömatik piston ve seçilecek karakterleri görüntülemek ve sinyale dönüştürmek üzere arduino nano işlemci kullanılarak tasarlanmıştır. Kullanılan pnömatik sisteme basınçlı havayı tedarik edebilmek için bir plastik şişe depo olarak kullanılmış ve bir valf ile basınçlı hava akışı kontrol edilmiştir. Robotun diğer fonksiyonlarının geliştirilmesinde arduino mega işlemci kartı, arduino nano işlemci kartı, asansör kapı açma motorları, motor sürücüler, servolu gripper, elektromıknatıs, pnömatik valf ve piston, şartlandırıcı ve güç kaynağı olarak ise batarya kullanılmıştır. Bu çalışmada parkur üzerinde sınanan robot istenirse büyük ebatlı ve daha güçlü tasarlanarak insanların taşıyamayacağı yüklerde veya insanların bulunmasının riskli olacağı ortamlarda kullanılabilir. İhtiyaç duyulursa robot üzerine sensörler veya kamera yerleştirilerek otonom çalışma özelliği kazandırılabilir.

2. Önceki Çalışmalar

Chuengsatiansup ve arkadaşları (2009) Plasma-RX adını verdikleri tele-kumandalı ve otonom mod olarak kullanılabilen CO2 sensörü, mikrofon, eğim sensörü, dijital pusula ve lazerli telemetre vb. sensörler içeren arama ve kurtarma robotu geliştirmişlerdir [2]. Chen ve arkadaşları (2011) arduino kontrollü, IR mesafe ölçerler ve CMOS kamera monte ederek, bağımsız hareketleri takiben engel ve çarpışma önleme gibi görevleri bir araya getirerek akıllı yaşam alanı uygulamaları için grup

robotlarının otonom bir şekilde kontrol edilmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir [3]. Denysyuk ve Teslyuk (2013) arduino mikrodenetleyici tabanlı mobil robot sistemleri için temel algoritma oluşturulması üzerine bir çalışma yayınlamışlardır [4]. Dalkılıç ve Özcanhan (2016) arduino uno mikro denetleyicisi kullanarak, android işletim sistemine sahip akıllı telefon uygulaması ile bluetooth bağlantısıyla uzaktan kontrol edilebilen bir mobil araç çalışması gerçekleştirmiştir [5]. Kuzu (2016) insan sağlığına olumsuz etki edebilecek veya insanlar tarafından müdahale imkanı bulunmayan çalışmalarda kullanılabilecek mobil araştırma ve müdahale robotu prototip çalışması gerçekleştirmiştir [6].

Karacı ve Erdemir (2017), bir çalışmalarında arduino mikro denetleyici kartı ile programlanmış, birkaç sensör kullanan, düşük maliyetli gezgin hizmet robotu geliştirmişlerdir [7]. Turan (2017) arduino kontrollü akü ile çalışan engelli araçlarına yönelik, engelleri algılayan ve iki çizgi arasında hareket edebilen bir robot çalışması yapmıştır [8]. Aktaş, Polat, Oflezer (2018) çalışmalarında konuya ilgi duyan herkesin kendisinin oluşturabileceği bir mobil robot uygulaması yardımıyla bluetooth ve wifi kontrollü mobil robot tasarımı ve uygulaması yapmıştır [9].

Bu çalışmada gerçekleştirilen Özel Amaçlı Görev Robotunun bunlar arasındaki kullanılan donanım özellikleri çalışmalar benzerlikler taşımaktadır. Ancak çalışma koşulları ve görevleri bakımından ayrılmaktadırlar. Örneğin otonom robot ile gezgin hizmet robotu aynı özelliklerde ultrasonik sensörler kullanmakta ancak tasarlanan otonom robot led lambadan mors kodu okuma özelliğiyle tüm çalışmalardaki benzerlerinden ayrılmaktadır. Manuel robottaki düşünülen göreve yönelik olması sebebiyle eklenen elektromıknatis ile seri taşıyıcı özelliği ve pnömatik sistem ile mors kodunu seri bir şekilde iletme özelliği de kullanılan donanım yönünden benzerlik içermesine rağmen diğer robotlarda bulunmayan birer özelliktir.

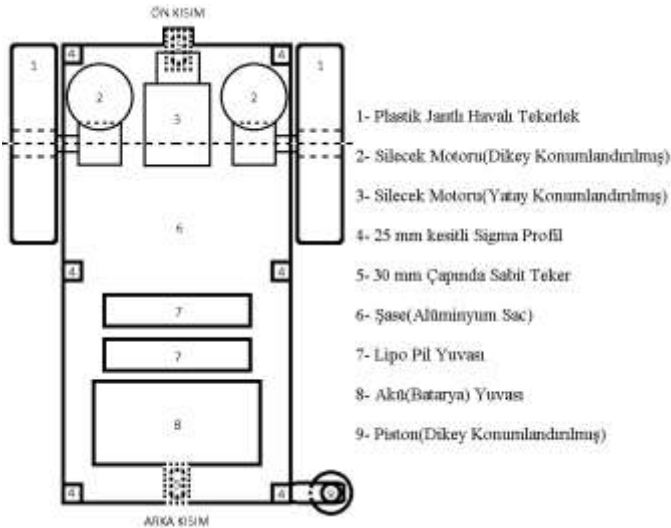
3. Yöntem

Robot mekanik sistemin tasarlanması ve montajı, elektronik donanımın belirlenmesi, tasarımı ve bağlantılarının yapılması ve yazılımın tasarımı ve test edilmesi olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Robot görevler göz önünde bulundurularak temel yönlendirme ve hareketi sağlayacak sistem, tutucuları dikey ekseninde konumlandırmak için hareket ettirici dişli kayış, tekli tutucu ve elektromıknatis temelli çoklu tutucu, mors mesajı verecek elektro pnömatik sistem olmak üzere 4 temel fiziksel bileşenden ve donanım ile yazılımdan oluşmaktadır.

3.1. Temel Yönlendirme ve Hareketi Sağlayacak Sistemin Tasarımı

Robotun şase seçimi taşıyacağı donanım göz önünde bulundurularak 5 mm kalınlığında 300 mm * 500 mm ebatlarında alüminyum sac olarak belirlenmiştir (Şek. 1.). Sacın üzerine 260 mm çapında plastik jantlı havalı tekerleri hareket ettirecek silecek motorları merkezleştirilerek konumlandırılmıştır. Sacın dengede durması amacıyla arka kısmına sabit teker monte edilmiştir. Ön tarafa yapılacak asansör mekanizmasının motoru ve asansörün ayakları monte edilmiştir.

Şase üzerinde ağırlık yapması ve ön tarafa eklenecek kısımların dengesini sağlaması amacıyla bataryalar şasenin arkasına konumlandırılmıştır. Elektronik Devrelerin yer alması için motorların üstüne denk gelen alana alüminyum kaplı dekota malzemeden 300 mm * 400 mm ebadında bir ara katman yapılmıştır. Ayrıca 25 mm kesitli sigma profillerle şase kenar ve köşelerden yükseltilerek pleksi malzemeden pnömatik elemanların konumlandırılacağı üst bir kat daha yapılmıştır. Robotun ileri yönlü hızlı hareket ettiği durumlarda ön taraftaki tutucu çıkıntıların ve taşıdığı malzeme ağırlığının ani durmada meydana getireceği momentte robotun önde devrilmesini engellemek amacıyla ön tarafa da çıkıntı bir sabit teker eklenmiştir. Sağ arka köşede pnömatik piston dikey olarak konumlandırılmıştır.



Şekil 1. Şase üstten görünüm ve yerleşim planı

3.2. Tutucuları Dikey Eksende Konumlandırmak İçin Hareket Ettirici Dişli Kayış Sisteminin Tasarımı

Şaseye 90 derece olacak şekilde 750 mm uzunluğunda iki adet kızaklı dikme kullanılmıştır (Sekil 2). İki dikmenin paralellliğini korumak amacıyla dişli kayışın serbest hareketini sağlayacak dişlinin merkezlenmesini sağlamak amacıyla üste monte edilecek parça 3 boyutlu yazıcıda imal edilmiştir. Kızaklı iki hareketli parçanın üzerine 150 mm * 250 mm alüminyum kaplı bir levha sabitlenmiştir (Sekil 3 Bu levha üzerinde yatay bir dikme çıkartılarak tutucuların konumlanması için çapraz ayak yapılmıştır.



Sekil 2. Dişli Kayış Sisteminin Yakın Çekim Fotoğrafi



Sekil 3. Dişli Kayış Sisteminin Geniş Açılı Fotoğrafi

3.3. Tekli Tutucu ve Elektromıknatıs Temelli Çoklu Tutucu Sisteminin Tasarımı

Tek taraflı sabit bir adet servo motorlu tutucu otonom robot üzerine yerleştirilecek nesneyi taşıyabilmek için zemine paralel bir şekilde asansör üzerindeki taşıyıcı kola monte edilmiştir (Sekil 4)



Sekil 4. Tekli Tutucu (Gripper)

Elektromıknatıs tutucular 4 adet metal malzemenin aynı anda seri olarak tutulabilmesi için tasarlanarak düşünülmüş ve belirli aralıklarla paralel olarak dikey eksenle konumlandırılmıştır (Res.4.). Temsili telgraf direğinin T şeklinde olması sebebiyle elektromıknatıslardan birini önüne 2 adet 100 mm'lik uçları üçgen çıkıntı yapılarak telgraf direğinin kolayca taşınması düşünülmüştür.



Sekil 5. Çoklu Elektromıknatıs Tutucuların Önden Çekilmiş Fotoğrafi

3.4. Donanım Seçimi

Motor sürücülerin kumandanan kontrolü ve elektromıknatısların kontrolü için Arduino Mega İşlemci ve Mors Alfabesi kontrol sistemi için arduino Nano işlemci kullanılması uygun görülmüştür. Asansör kapı açma

motorlarını sürmek için BTS7960 motor sürücüler kullanılmıştır. Arduınoların beslemesi, motor sürücülerin beslemesi ve elektromıknatısların beslemeleri birbirinden bağımsız olacak şekilde sağlanmıştır. Elektronik donanım Sekil 6 'daki gibi konumlandırılmıştır.

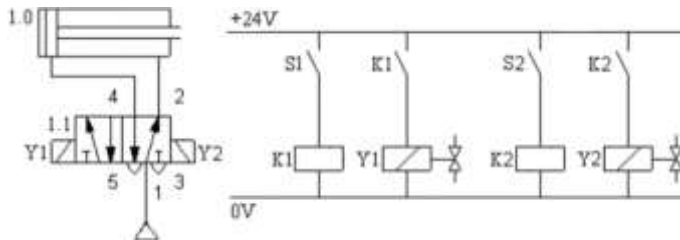


Sekil 6 Elektronik donanımın yerleştirildiği ara kat yerleşim planı

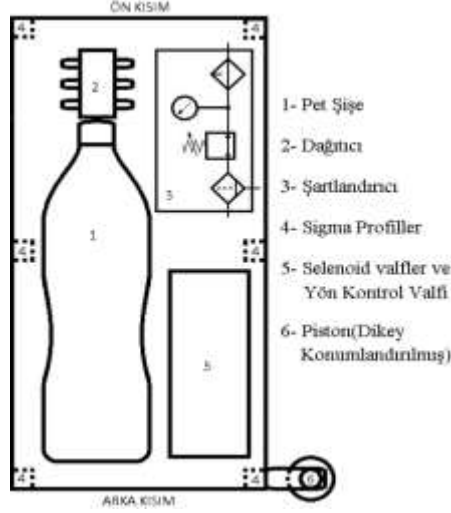
3.5. Mors Mesajı Verecek Elektropnömatik Sistemin Tasarımı

Bir adet 100mm strok boyuna sahip çift yönlü piston arka sağ köşeye şaseden 50 mm uzaklıkta monte edilmiştir. Sistemin basınçlı havasının depolanması için büyük pet şişe kullanılmıştır. Pet şişe çıkışına bir adet dağıtıcı ve bağlantının devamına şartlandırıcı bağlanmıştır. Hortum bağlantıları yapılarak Yön kontrol valfinin bağlantısı sağlanmıştır.

Belirlenen anahtar kelimenin harflerinin mors koduna dönüştürülmesinde elektrik sinyallerinin kullanılması amacıyla 5/2 çift yönlü selenoid kontrollü yön kontrol valfi tercih edilmiştir. Selenoid valflerin elektropnömatik bağlantısı da sağlanarak sistem tamamlanmıştır. Kullanılan pnömatik sistem Sekil 7.'te sunulmuştur. Yerleşim planı Şek. 4.'te, gerçekleşen sistemin görüntüsü Res. 5.'te verilmiştir.



Sekil 7. Pnömatik ve Elektropnömatik Devre Şeması



Sekil 8. Pnömatik elemanların yerleştirildiği üst kat yerleşim planı



(a)

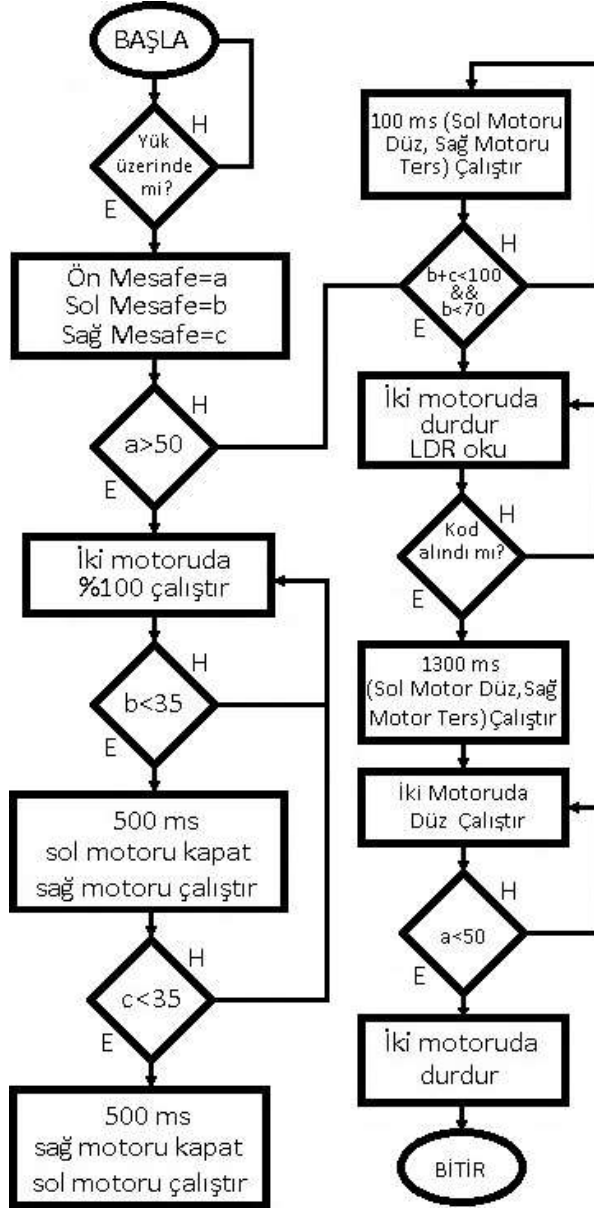


(b)

Sekil 9. a) Robotun Üstten Çekilmiş Resmi b) Pistonun Yandan Çekilmiş Resmi

3.6. Otonom Robotun Programlanması

Otonom robotun su üzerinde çarpmadan hareket edebilmesi üzerine ürün konulduğunda göreve başlaması ve mors kodunu 36 watt beyaz led wallwasher lambadan okuması hedeflenmiştir. Robotun kodu okuduktan sonra bitiş noktasına gitmesi gereklidir. Robot üzerine ultrasonik mesafe ölçme sensörleri eklenerek altta verilen algoritmaya uygun program yazılmıştır (Şekil 10).



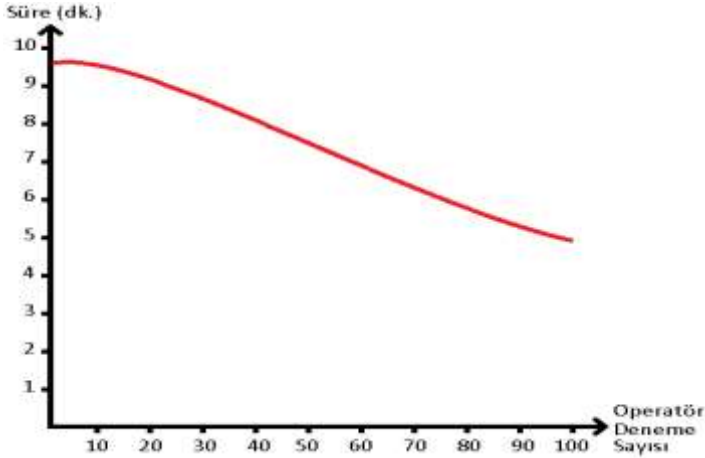
Şekil 10, Otonom Robot Algoritması

4. Bulgular

Gerçekleştirilen Manuel robot ve otonom robotu ayrı değerlendirmek gerekir. Otonom robotun denendiği ortamın kapalı şartlarda olması sebebiyle suda dalga hareketi olmaması otonom robotun işini kolaylaştırmıştır. Robotun gerçek hayatta modellenmesi durumunda

konum sensörlerine ihtiyaç duyacaktır. Çalışmamızda sensörlere düşük maliyet ve sınırlı koşullar altında gerek duyulmamıştır.

Ayrıca lambadan sinyali almada kullandığımız LDR'ler yerine daha gelişmiş sensörler kullanmakta netlik kazandırabilir. Manuel robotun ise daha büyük ölçekli gerçekleştirilmesinde elektromıknatıs tutucular yerine farklı bir tutucu tasarlamak daha güvenli ve daha fonksiyonlu olacaktır. Elektromıknatısların sadece metal nesnelere tutabilmesi robotu kısıtlamaktadır. Servo motorlu tutucuda düşük ağırlıktaki yükler için plastik kalıpla iş görmektedir. Ancak daha ağır yüklerde hareket halinde tutuşu zorlanmaktadır. Asansör sisteminin de daha sağlam ve salımsız yapılması daha verimli çalışmayı sağlayacaktır. Parkurda yapılan denemelerde görevleri gerçekleştirme ortalama süresinin 100 deneme sonra 9 dakika 40 saniyeden 5 dakikaya kadar düştüğü gözlemlenmiştir (Gra. 1.).



Şekil 11. Süre Bazlı Görev Gerçekleştirme Performans Grafiği

5. Sonuç

Bu çalışmada otonom ve manuel robotun eş zamanlı iş yapabileceği, farklı tiplerde taşıma tutma fonksiyonlarının yerine getirilebileceği, farklı şekil ve malzemelerin rahatlıkla taşınabileceği ve istenen yükseklikte işlem gerçekleştirilebileceği çok amaçlı görev robotu tasarımı gerçekleştirilmiştir. (Şekil 12.)



Şekil 12. Gerçekleştirilen Manuel Robot

Birçok farklı fonksiyonun tek bir kumandadan rahatlıkla kontrol edilebilmesi sağlanmıştır (Şekil 13.) Bu sayede operatörün kontrole hızlıca uyum göstermesi sağlanmıştır. Mors ileticiye basması için eklenen pnömatik sistem, robota önemli bir fonksiyon kazandırmıştır. Bu özelliklerle istenen ebatlarda ihtiyaca göre özel amaçlı herhangi bir robot tasarlanabilir. Bu çalışmada parkur üzerinde sınanan robot istenirse büyük ebatlı ve daha güçlü tasarlanarak insanların taşıyamayacağı yüklerde veya insanların bulunmasının riskli olacağı ortamlarda kullanılabilir.



Şekil 13 Robotun Kumandası

6. Öneriler

Geliştirilen robotun farklı ortamlarda ilerleyebilmesi için teker sistemi değiştirilebilir. Hareket sisteminde kullanılan iki adet teker yerine dört adet mekanum teker sistemi veya paletli sistemle farklı üstünlükler kazandırılabilir. Uygulanan taşıma ve mors için kuvvet uygulayıcı sistemler farklı pozisyonlarda farklı görevler için yeniden düzenlenebilir. Dış ortam şartlarında toz, sıcaklık, nem ve yağıştan korunması için kapalı bir tasarım düşünülebilir. Yine robotun daha büyük ebatlı tasarlanması durumunda operatör içinde bir kabin ve farklı bir kontrol yöntemi

düşünülebilir. Robotun veri aktarımı için wifi veya bluetooth modüller eklenebilir. İhtiyaç duyulursa robot üzerine sensörler, kamera yerleştirilerek daha fazla işlevsellik veya otonom çalışma özelliği kazandırılabilir.

Not: Bu çalışma 10-11-12 Nisan 2019 tarihlerinde Samsun ilinde düzenlenen “13. Uluslararası Milli Eğitim Bakanlığı Robot Yarışmasında” en iyi tasarım ödülü almıştır. Emeği geçen öğretmen ve öğrencilerimize teşekkür ederim.

Kaynaklar

[Gürgüze G., Türkoğlu İ., “Kullanım Alanlarına Göre Robot Sistemlerinin Sınıflandırılması”, Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi, 31(1), 53-66, 2019

Chuengsatiansup K., Sajjapongse K., Kruapraditsiri P., Chanma C., Termthanasombat N., Suttasupa Y., Sattaratnamai S., Pongkaew E., Udsatid P., Hattha B., Wibulpolprasert P., Usaphapanus P., Tulyanon N., Wongsaisuwan M., Wannasuphprasit W., Chongstitvatana P., “Plasma-RX: Autonomous Rescue Robots”, Proceedings of the 2008 IEEE, International Conference on Robotics and Biomimetics, Bangkok, Thailand, February 21- 26, 2009

Chen M.-H., Gu D., Fu Y.-D., Pi C.-H., Ou K.-S., Chen K.-S., “Wireless Group Manipulation of Autonomously Guided Mobile Robots for Smart Living Space Applications”, SICE Annual Conference 2011, September 13- 18, 2011, Waseda University, Tokyo, Japan

Denysyuk P., Teslyuk T., “Main algorithm of mobile robot system based on the microcontroller arduino”, DIPED-2013 Proceedings, CAD Department, Lviv Polytechnic National University

Dalkılıç H., Özcanhan M. H., “Gömülü Sistem Tabanlı Model Mobil Aracın Akıllı Telefonla Uzaktan Kontrolü”, XVIII. Akademik Bilişim Konferansı -- AB 2016, 30 Ocak-5 Şubat, Aydın, 2016.

Kuzu E., “Kablosuz Kontrol Edilebilen Mobil Araştırma ve Müdahale Robotu”, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2016

Karacı A., Erdemir M., “Arduino ve Wifi Temelli Çok Sensörlü Robot Tasarımı ve Denetimi”, Bilişim Teknolojileri Dergisi, Cilt: 10, Sayı: 4, Ekim 2017, DOI:10.17671/gazibtd.307271

Turan S., “Akülü Engelli Araçları İçin Engel Algılayan Çizgiler Arasında Giden Robot Tasarımı ve Gerçeklenmesi”, Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, Cilt:6 Yıl: 2017 Sayı: 21-29

Aktaş M., Polat F., Oflezer M., “Bluetooth ve Wifi Kontrollü Mobil Robot Tasarımı ve Uygulaması”, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, Cilt 7, Sayı 3 (2018)

PVSYST GÜNEŞ ENERJİSİ SİMÜLASYON PROGRAMI İLE SAĞLIK KURUMLARININ GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ KURULUMUNUN MODELLENMESİ

İbrahim Güneş¹

*¹İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Avcılar 34320 İstanbul Türkiye.
E-mail: gunesi@istanbul.edu.tr*

1. Giriş

Sürekli artan enerji ihtiyacını karşılamada mevcut kaynakların yetersiz kalması sonucu alternatif enerji kaynaklarını bulma ve geliştirme çalışmaları hız kazanmıştır. Zira klasik yöntemlerle yapılan, özellikle fosil yakıt kaynaklı enerji üretim ve tüketimi, doğada onarılması imkansız zararlara yol açmaktadır. Dünyadaki yaşanabilir ortamın korunması, iklim değişikliğinin sebep olduğu zararlı etkilerin yanı sıra, enerji üretim ve tüketiminden kaynaklanan çevre tahribatının azaltılması gibi konular tüm insanlığa sorumluluk yüklemektedir. Bu sorumluluğun gereği olarak ulusal ve uluslararası hukuki düzenlemelerin yapılması, enerji üretimi teknolojilerinde ve kaynak seçiminde çevresel etkilerin öncelikle dikkate alınması, enerji kullanımında verimliliğe azami özenin gösterilmesi gibi hususlar zaman içinde giderek öncelik ve ağırlık kazanmaktadır[1-2].

Bu nedenle, küresel ölçekte çevre kirliliğine ve iklim değişikliğine sebep olan klasik fosil yakıt kaynaklı enerji üretim sistemleri ve geleneksel üretim teknolojileri yerine, çevresel etkileri daha az olan, sürdürülebilirlik ve yenilenebilirlik imkanı sağlayan enerji kaynaklarını bulmak ve yeni teknolojiler geliştirmek zorunlu hale gelmiştir. Hem fosil kaynakların sınırlı ve yerine yenisi konulamayacak bir enerji kaynağı olması, hem de üretim ve tüketim yöntemlerinden kaynaklanan çevre kirliliği, yenilenebilir, sınırsız ve çevreye uyumlu kaynak ve teknolojilerin araştırılmasını, geliştirilmesini gerekli hale getirmiştir. Güneş enerjisinin de dahil olduğu yenilenebilir enerji kaynakları bu nedenle önem kazanmıştır. Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynakları arasında potansiyel ve üretim teknolojileri bakımından farklı ve önemli bir yeri olan güneş enerjisi sistemleri, kullanılan teknolojiler, örnek bir uygulama sistemi, Dünya ve Türkiye'de güneş enerjisi potansiyeli, bu konudaki gelişmelere değinilmiştir.

2. Enerji Kaynakları

Enerji, bir cisim ya da sistemin iş yapabilme kapasitesidir ve değişik formlarda karşımıza çıkar: Isı enerjisi, ışık (radyant enerji), mekanik enerji, elektrik enerjisi, kimyasal enerji ve nükleer enerji gibi. Enerji kaynakları genelde yenilenebilir ve tükenbilir (veya yenilenemeyen) olmak üzere iki grup altında toplanırlar. Yenilenebilir enerji, pratik olarak sınırsız varsayılan, sürekli ve tekrar tekrar kullanılabilen enerjidir. Örneğin güneş enerjisi, güneşten gelir ve elektriğe veya ısı enerjisine dönüştürülebilir. Rüzgâr enerjisi, yerküreden gelen jeotermal enerji, bitkilerden üretilen biokütle ve sudan elde edilen hidrojen de yenilenebilir enerji grubunda değerlendirilmektedir. Yenilenebilir enerji, kısa sürede yerine konulan enerjidir. Tükenbilir enerji ise, kullanılan ve fakat kısa zaman aralığında yeniden oluşmayan enerji olarak tanımlanır. Bunlar genelde, petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil yakıtlardır. Bu tür enerjiler, yaşamları milyonlarca yıl önce sona ermiş bitki ve hayvan gibi organik kalıntıların fosillerinden kaynaklanmaktadır [3-5].

Güneşten dünyaya gelen enerjinin yoğunluğu, atmosferin üzerinde m² başına 1.35 kW kadardır. Bu yoğunlukla dünya çapının kapladığı alana gelen güneş gücü 152.424x10¹³ kWh düzeyinde olup, dünyadaki kurulu elektrik santrallerinin toplam gücünün 100 bin katı düzeyindedir. Dünyanın tüm yüzeyine bir yılda düşen güneş enerjisi, 1.22x10¹⁴ TET (Ton Eşdeğer Taşkömürü) ya da 0.814x10¹⁴ TEP (Ton Eşdeğer Petrol) gibi görkemli boyuttadır. Bir başka anlatımla, bir yılda gelen güneş enerjisi bilinen kömür rezervinin 50 katı ve bilinen petrol rezervinin 800 katı kadardır.

2.1. Güneş enerjisi uygulamalarının tarihsel gelişimi

2.2. Güneş Enerjisi Dönüşümleri

Güneşten Dünyamıza gelen enerjinin yaklaşık %30'u yansıma ve saçılmalarla geri gider. %20'si atmosfer ve bulutlarda tutulur. Geriye kalan %50'lik kısım yeryüzünde soğurulur. Yeryüzüne ulaşan güneş enerjisi doğal ve doğal olmayan dönüşümlere uğrar.

Doğal dönüşümler;

- Toprak ve suyun ısınması
- Fotosentez
- Su döngüsü

- Rüzgar ve dalga oluşumu
- Doğal yangınlar olarak sıralanır.

Suların buharlaşması sonucu dünyadaki su döngüsü sağlanır, bu olay tüm canlılar için çok önemlidir. Bitkiler ise güneş enerjisini kullanarak fotosentez yaparlar. Daha önce de bahsedildiği gibi güneş enerjisinin farklı dağılması sonucunda oluşan sıcaklık farklılıkları, basınç farklılıklarına yol açar. Bu da rüzgarı oluşturur. Deniz dalgaları ve okyanus akıntıları da rüzgarın etkisiyle meydana gelir[8].

Yapay dönüşümler;

- Güneş ışıınıımı (ısı - toplaçlar)
- Güneş ışıınıımı (elektrik – güneş pilleri)
- Su gücü (elektrik- barajlar) Rüzgar (elektrik - türbinler)
- Biyokütle (ısı, gaz ve sıvı yakıt)
- Fosil yakıt (elektrik ve ısı)
- Güneş mimarlığı uygulamaları şeklinde çeşitlenir. Yapay dönüşümler insanoğlu tarafından geliştirilmektedir.

2.3. Güneş Enerjisinden Faydalanma Teknolojileri

Güneş enerjisinden faydalanmada kullanılan yöntemler çeşitlenmektedir. Bu yöntemleri üç ana grupta incelemek mümkündür .

- Güneş enerjisiyle düşük sıcaklıkların elde edilmesi
- Güneş ışınlarından elektrik elde edilmesi
- Güneş enerjisiyle doğrudan elektrik elde edilmesi

Bu sistemler;

- Yoğunlaştırarak elektrik üreten,
- Güneş bacaları,
- Uydu yardımıyla elektrik üreten sistemler olarak alt başlıklara ayrılabilir

Güneş Işınlarını Yoğunlaştırarak Elektrik Üreten Sistemler

Bu sistemler; güneş enerjisinin odaklanmasını sağlayarak kızgın buhardan konvansiyonel yöntemlerle elektrik üretimi prensibine dayanır. Bu sistemlere güneş termal elektrik üreten sistemler de denir. Bu sistemler klasik termik santrallerdeki gibi buhar gücünden, türbin jeneratör ünitesi yardımıyla elektrik üretir. Buhar gücü ise güneş enerjisi yardımıyla elde edilir. Güneş enerjisini toplama şekli bakımından kendi içinde parabolik oluk kollektörler, parabolik çanak sistemler ve merkezi alıcı sistemler olarak üçe ayrılır[9-10].

3. Fotovoltaik (PV) Güç Sistemleri

PV modüllerin laminasyonu genellikle güneş gözelerinin ön yüzlerinde yüksek optiksel geçirgenliğe sahip cam ve arka yüzlerinde de EVA (ethlene vinyl acetate) kullanılarak gerçekleştirilir. Ayrıca, camı korumak ve sistemi daha kolay kullanılabilir sağlam bir yapıya kavuşturmak için modül, metal (çoğunlukla alüminyum) çerçeve ile çerçevenilir. Modüler yapının kullanım kolaylığı yanında, büyük bir üstünlüğü de, güç gereksinimine uygun olarak değişik boyutlarda “Fotovoltaik Örgü” (PV Array)’lerin kurulmasına uygun olmalarıdır .

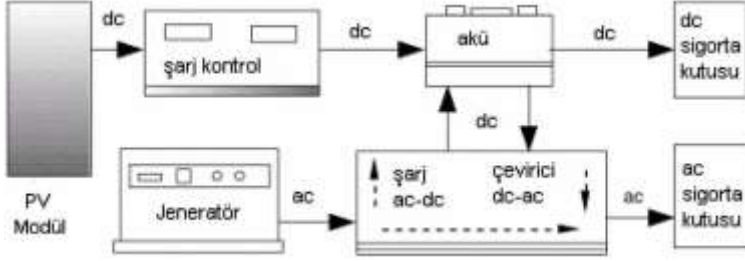
Güneş gözelerine dayalı “Fotovoltaik, PV, Güç Sistemleri” akım ve gerilim gereksinimlerine bağlı olarak düzenlenmiş PV modüller, sistemde depolamaya gereksinim var ise, aküler ve denetim sistemi ile doğru akım/alternatif akım dönüşümünü sağlayan çeviricilerden (inverterlerden) oluşur. Yakın geçmişe kadar alışlagelmiş elektrik enerjisi üretim biçimleri ile karşılaştırıldığında çok pahalı olan PV sistemlerinin kullanımı yalnızca iletişim (telekomünikasyon), uzay çalışmaları gibi özel uygulama alanlarında sınırlı kalmıştır[11].

PV sistemlerinin en tipik ve en yaygın kullanım şekli, yerleşim yerlerinden uzak yörelerde enerji gereksinimini karşılayan bağımsız (stand - alone) sistemlerdir. Bu sistemler birkaç watt’tan birkaç yüz kW’lara kadar değişebilen güçlerde ve çok çeşitli türlerde yüklerin enerji talebini karşılayabilir.

Bu tür sistemlerde yeterli sayıda güneş pili modülü, enerji kaynağı olarak kullanılır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere genellikle sistemde akümülatör bulundurulur. Güneş pili modelleri gün boyunca elektrik enerjisi üreterek bunu akümülatörde depolar, yüke gerekli olan enerji akümülatörden alınır.

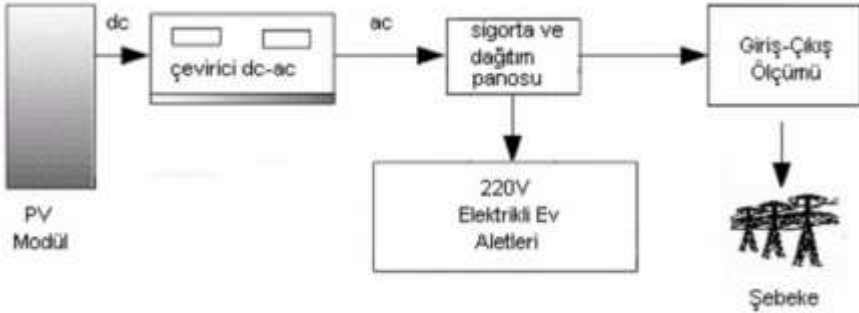
Akünün aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan kontrol birimi ise akünün durumuna göre, ya güneş pillerinden gelen akımı ya da yükün çektiği akımı keser. Şebeke uyumlu alternatif

akım elektriğin gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme bir inverter eklenerek akümülatördeki d.a. gerilim 220 V 50 Hz'lik sinüs dalgasına dönüştürülür. Benzer şekilde, uygulamanın şekline göre çeşitli destek elektronik devreleri sisteme katılabilir[12].



Şekil 2. Şebekeden Bağımsız Bir Güneş Pili Sistem Örneği

Şebeke bağlantılı güneş pili sistemlerin gücü, birkaç kW'tan birkaç MW'lara kadar değişebilmektedir. Şebeke bağlantılı güneş pili sistemleri yüksek güçte, santral boyutunda sistemler şeklinde olabileceği gibi daha çok görülen uygulamalar ise binalarda küçük güçlü uygulamalar şeklindedir. İlk tür sistem, temelde bir yerleşim biriminin mesela, bir konutun elektrik ihtiyacını karşılar. Bu sistemlerde, üretilen fazla enerji elektrik şebekesine satılır. Yeterli enerjinin üretilmediği durumlarda şebekeden enerji satın alınır. Böyle bir sistemde enerji depolaması yapmaya gerek yoktur, yalnızca üretilen d.a. elektriğin, a.a. elektriğe çevrilmesi ve şebeke uyumlu olması yeterlidir. Biz de bu sistemi baz alarak projede, şebekeyi invertere bağlayıp, paneldeki enerji yetmediği zaman şebekeden sistemimizi besleyeceğiz [13-15].



Şekil 3. Şebeke Bağlantılı Sistem

4. PVsyst

PVsyst, mimarlar, mühendisler ve araştırmacılar tarafından kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Aynı zamanda çok kullanışlı bir eğitim aracıdır. Kullanılan prosedürleri ve modelleri açıklayan ayrıntılı bir bağlamsal Yardım menüsü içerir ve bir proje geliştirmek için rehberli bir kullanıcı-friendly yaklaşımı sunar. PVsyst meteo verilerini birçok farklı kaynağın yanı sıra kişisel verilerden de alabilir.

PVsyst güneş enerjisi simülasyon programı ile birçok çeşitte güneş enerjisi sistemi tasarlayabilirsiniz. Bu program ile ongrid (şebeke bağlantılı güneş enerjisi), offgrid (şebekeden bağımsız güneş enerjisi) ve güneş enerjili sulama sistemleri tasarımı yapabiliriz. PVsyst güneş enerjisi simülasyon programı ile 3 boyutlu modellemeler hazırlayarak ve bu modellere güneş panellerini program üzerinde yerleştirerek, gölgelenme durumlarını simüle edebiliriz. Kendi güneş enerjisi sisteminizi tasarlayarak, güneşin doğuşu ve batışındaki güneş panellerine düşen gölgelenmeleri gerçek zamanlı görebilirsiniz. Fotovoltaik sistemlerin ön çalışmasını, tasarlanmasını, kurulması öngörülen sistemlerin simülasyonunu ve elde edilen dataların analizini yapmayı sağlayan bir yazılımdır[16-18].

5. Bulgular

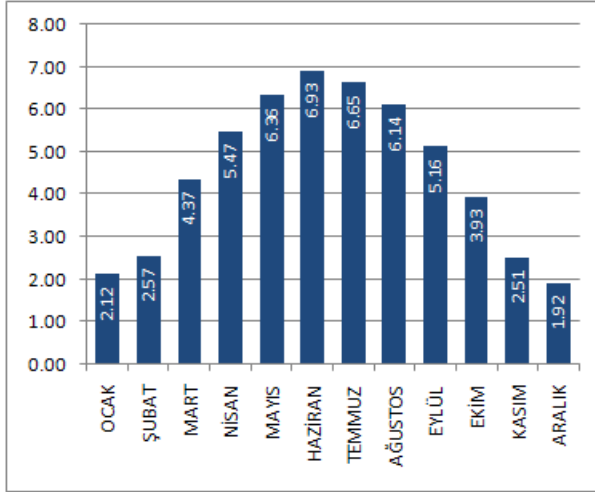
5.1. . Antalya İli Güneş Enerjisi Kaynak Bilgileri

Antalya ili için güneş enerjisi potansiyel atlası Şekil 4'te gösterilmiştir.



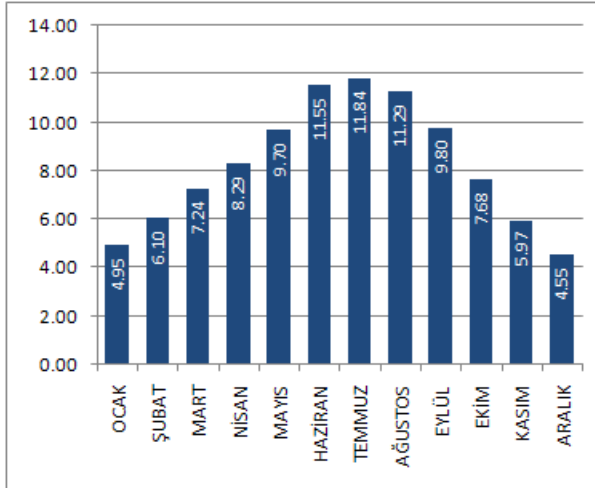
Şekil 4. Güneş Enerjisi Potansiyel Enerjisi

Antalya ili için global güneş radyasyon dağılımı Şekil 5'te gösterilmiştir



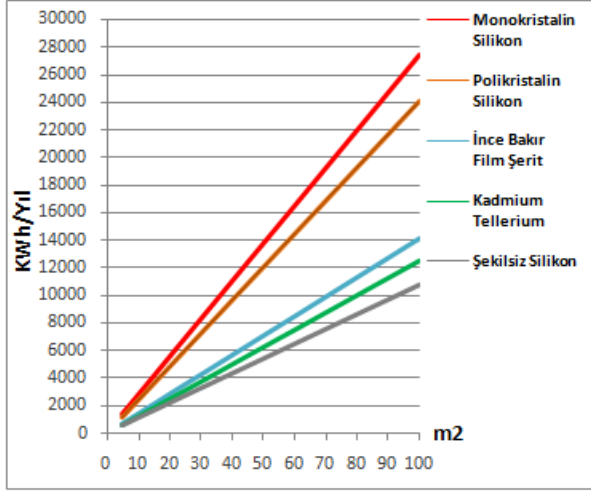
Şekil 5. Antalya İli Global Güneş Radyasyon Dağılımı

Antalya ili güneşlenme süresi değerleri (saat) Şekil 6'da gösterilmiştir



Şekil 6. Antalya İli Güneşlenme Süresi Değerleri (saat)

Antalya ili için PV tiplerine göre Alan / Üretilebilecek Enerji grafiği Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. ANTALYA PV Tipi-Alan-Üretilebilecek Enerji (KWh-Yıl)

Elde edilen hastane koordinatlarına düşen aylık güneş radyasyon değerleri Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Aylık Güneş Radyasyon Değerleri

6. Tartışma ve Sonuç

Ülkemizdeki yenilenebilir enerji kaynaklarından en önemlisi güneş enerjisidir. Bu çalışmada öncelikle yenilenebilir enerji kaynakları konusunda genel bilgiler verilmiştir. Bir enerji kaynağı olarak güneş incelenmiş güneş enerjisinden faydalanma teknolojileri, Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli açıklanmış ve güneş enerjisinden doğrudan elektrik eldesini sağlayan fotovoltaik panellerin yapıları ve çalışma prensipleri detaylı olarak irdelenmiştir.

Çalışması yapılacak olan yerin koordinatları PVsyst programı yardımı ile bulunmuştur ve o koordinatlara düşen ışık miktarının aylara ve günlere göre dağılımı belirlenmiştir.

Koordinatları belirlenen hastanedeki elektrik enerjisi harcayan cihazların tükettiği enerji hesaplanarak bu miktarın güneş panelleri ile enerjisi karşılanması planlanmaktadır. Elde edilecek enerjinin maliyeti, seçilen örnek bir panel ile toplam yıllık global radyasyon bakımından seçilen hastane için belirli bir panelden elde edilecek enerjinin birim maliyet hesapları aşağıdadır.

PVSYST Programı Aracılığıyla Antalya ilinde bir sağlık kuruluşunda Kurulması Öngörülen 87.5 kW Kurulu Güce Sahip GES' in Özet Teknik Raporu ve Maliyet Analizi (Tek Kristalli Paneller ile)

PVSYST V6.72		01/06/18		Page 1/4	
Grid-Connected System: Simulation parameters					
Project : New Project					
Geographical Site		Alanya		Country Turkey	
Situation		Latitude 36.56° N		Longitude 31.99° E	
Time defined as		Legal Time Time zone UT+3		Altitude 29 m	
		Albedo 0.20			
Meteo data:		Alanya		Meteonorm 7.1 (2003-2010), Sat=100% - Synthetic	
Simulation variant : New simulation variant					
		Simulation date		01/06/18 13h15	
Simulation parameters					
		System type		No 3D scene defined	
Collector Plane Orientation		Tilt 30°		Azimuth 0°	
Models used		Transposition Perez		Diffuse Perez, Meteonorm	
Horizon		Free Horizon			
Near Shadings		No Shadings			
PV Array Characteristics					
PV module		Si-mono		Model BSM c- Si M 60 NA42117_V1_250 Wp	
Original PVsyst database		Manufacturer		Bosch Solar Energy AG	
Number of PV modules		In series		14 modules	
Total number of PV modules		Nb. modules		350	
Array global power		Nominal (STC)		87.5 kWp	
Array operating characteristics (50°C)		U mpp		382 V	
Total area		Module area		575 m²	
				In parallel 25 strings	
				Unit Nom. Power 250 Wp	
				At operating cond. 77.9 kWp (50°C)	
				I mpp 204 A	
				Cell area 506 m²	
Inverter					
Original PVsyst database		Model		HPC-050HT	
Characteristics		Manufacturer		Hyundai	
		Operating Voltage		300-600 V	
				Unit Nom. Power 50.0 kWac	
Inverter pack		Nb. of inverters		2 units	
				Total Power 100 kWac	
				Pnom ratio 0.88	
PV Array loss factors					
Thermal Loss factor		Uc (const) 20.0 W/m²K		Uv (wind) 0.0 W/m²K / m/s	
Wiring Ohmic Loss		Global array res. 31 mOhm		Loss Fraction 1.5 % at STC	
LID - Light Induced Degradation				Loss Fraction 2.0 %	
Module Quality Loss				Loss Fraction -0.8 %	
Module Mismatch Losses				Loss Fraction 1.0 % at MPP	
Strings Mismatch loss				Loss Fraction 0.10 %	
Incidence effect, ASHRAE parametrization		IAM = 1 - bo (1/cos i - 1)		bo Param. 0.05	
User's needs :		Unlimited load (grid)			

PVsyst Evaluation mode

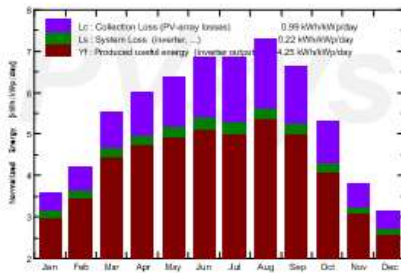
Grid-Connected System: Main results

Project : New Project
Simulation variant : New simulation variant

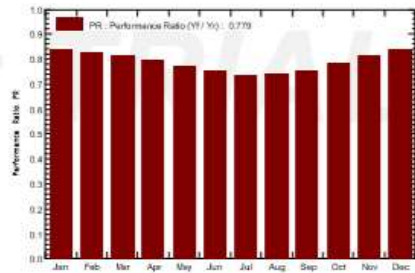
Main system parameters	System type No 3D scene defined
PV Field Orientation	tilt 30° azimuth 0°
PV modules	BSM c-Si M 60 NA42117_V1_250 Wp Pnom 250 Wp
PV Array	Nb. of modules 350 Pnom total 87.5 kWp
Inverter	Model HPC-050HT Pnom 50.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units 2.0 Pnom total 100 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)

Main simulation results	System Production	Produced Energy 135.8 MWh/year	Specific prod. 1552 kWh/kWp/year
		Performance Ratio PR 77.87 %	
Investment	Global incl. taxes 613300 TRY	Specific Running Costs 7.01 TRY/Wp	
Yearly cost	Annuities (Loan 5.0%, 20 years) 49213 TRY/yr	Running Costs 0 TRY/yr	
Energy cost		0.36 TRY/kWh	

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 87.5 kWp



Performance Ratio PR



New simulation variant Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEFF kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
January	74.3	33.99	10.07	111.3	108.4	8.58	8.13	0.835
February	87.3	40.07	10.80	117.2	114.0	8.93	8.49	0.828
March	142.7	60.45	14.05	171.2	166.8	12.73	12.11	0.809
April	168.0	68.04	16.77	179.6	174.3	13.12	12.49	0.795
May	203.8	77.60	21.54	198.2	192.1	14.09	13.38	0.772
June	221.8	71.28	26.18	204.8	198.2	14.17	13.45	0.751
July	223.4	74.25	29.58	211.5	204.9	14.37	13.61	0.736
August	216.6	61.29	29.26	226.1	219.9	15.32	14.60	0.738
September	168.7	51.04	25.28	196.4	193.2	13.78	13.13	0.757
October	123.2	46.07	21.30	163.6	169.4	11.72	11.15	0.779
November	78.2	36.21	15.35	114.2	111.1	8.57	8.15	0.815
December	63.5	32.97	11.48	96.8	94.0	7.45	7.07	0.834
Year	1771.6	653.25	19.36	1992.7	1936.1	142.83	135.77	0.779

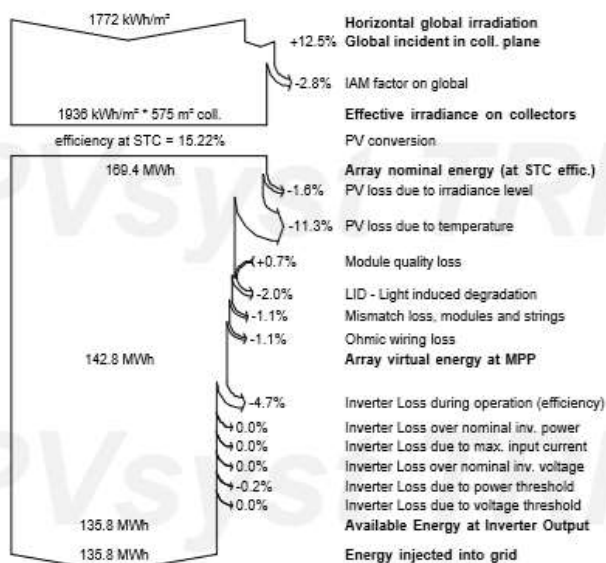
Legends: GlobHor Horizontal global irradiation
 DiffHor Horizontal diffuse irradiation
 T Amb Ambient Temperature
 GlobInc Global incident in coll. plane
 GlobEFF Effective Global, corr. for IAM and shadings
 EArray Effective energy at the output of the array
 E_Grid Energy injected into grid
 PR Performance Ratio

Grid-Connected System: Loss diagram

Project : **New Project**Simulation variant : **New simulation variant**

Main system parameters	System type	No 3D scene defined		
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth 0°	
PV modules	BSM c- Si M 60 NA42117_V1_250 Wp	Pnom	250 Wp	
PV Array	Nb. of modules	350	Pnom total 87.5 kWp	
Inverter	Model	HPC-050HT	Pnom	50.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	2.0	Pnom total 100 kW ac	
User's needs	Unlimited load (grid)			

Loss diagram over the whole year



Kaynaklar

[YILMAZ , M., 2013, Güneş Takip Sistemi İle Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Elde Etme Yöntemleri Ve Optimum Verimin Belirlenmesi, Doktora Tezi , Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

İBB , 2017 , Enerji Kaynakları , İstanbul , <http://www.ibb.gov.tr/sites/aydinlatmaenerji/Pages/EnerjiKaynaklari>

BİLGİUSTAM , 2017,Dünyada Kullanılan Enerji Kaynakları , İstanbul , <http://www.bilgiustam.com/dunyada-kullanilan-enerji-kaynaklari/>

BERDİBEK, M., Güneş Pilleri ve Teknolojik Uygulamaları, <http://320volt.com/gunes-pilleri-ve-teknolojik-uygulamalari/>

ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI ,2017, Elektrik , Ankara , <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>

Ava Mühendislik , 2017 , Güneş Enerjisi, Kayseri, <http://avamuh.com/gunes-enerjisi/>

EİE , 2017 , Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası , İstanbul , <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>

Enerji Ve Tabii Kaynakları Bakanlığı , 2012, Güneş Enerjisi ve Güneş Teknolojileri, Ankara , http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx

ÖZTÜRK, H.H., 2012, Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, Birsen Yayınevi, İstanbul, 978-975-511-502-3.

TUĞYAN MUHTAROĞLU, K., 2012, Güneş Enerjisini Elektrik Enerjisine Çeviren Çevre Dostu Sistemin Tasarlanması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

GÜÇLÜ, S.,2009, Dumlupınar Üniversitesi Merkez Kampüs Çevre Aydınlatma Elektrik Enerjisinin; Güneş Enerjisi ile Sağlanması, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

AKOVA, İ., 2008, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara,605-395-090-5

AKMEŞE, D.,2006, Güneş Panelinden Beslenen Bir DA Motorun Çalıştırılması , Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

SLIDEPLAYER,2008, Türkiye’de Güneş Pilleri, Eskişehir,
<http://slideplayer.biz.tr/slide/2712502/>

KEÇEL, S., 2007, Türkiye’nin Değişik Bölgelerinde Eysel Elektrik İhtiyacının Güneş Panelleri ile Karşılanmasına Yönelik Model Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.

KUTLU, S., 2002, Güneş Tarlası ile Elektrik Enerjisi Üretimi ve SDÜ Kampüs Alanında Bir Uygulama Analizi, Yüksek Lisans Tezi, SDÜ.

KAHRAMAN, D., 2010, Güneş Enerjisi Kaynaklı Elektrik Üretiminin Teknik - Ekonomik Analizi ve Yöresel Uygulaması

ŞENPINAR, A., 2005, Bağımsız Güneş Pili Sistemlerinin Bilgisayar İle Kontrolü, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

EVLAT EDİNDİRMEDE AİLE SEÇİM SÜRECİNİN AHP VE TOPSIS TABANLI BİLGİ SİSTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ*

Esra Akçin Kaplan¹

¹Dumlupınar Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kütahya/Türkiye

Şafak Kırış²

*²Dumlupınar Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kütahya/Türkiye
E-mail:safak.kiris@dpu.edu.tr*

1. Giriş

Karar verme, insanın varoluşu ile birlikte ortaya çıkmış, insan hayatının gelişimi sürecinde aynı şekilde gelişime uğramış bir kavramdır. Yüzyıllar önce vahşi hayattan korunmak için mağarada yaşama kararı alınmış, ateşin keşfinden sonra yiyecekleri pişmiş olarak tüketme kararı verilmiştir. Avlanmak için taş yontma, maden işleme, hayvanları evcilleştirme, tarımsal üretim yapma, göçebe veya yerleşik yaşama gibi kararlar alınmıştır. Bu kararlar alınırken bir veya birden fazla karar ölçütü göz önünde bulundurulmuştur. İlerleyen yıllarda yaşam koşullarının değişmesi ve insanlık tarihinde yaşanan gelişmelerle birlikte karar verilecek konulara ait ölçüt ve alternatif sayıları da artmıştır. Pozitif bilimlerin ve beraberinde teknolojinin de gelişmesi ile karar verme sürecinde karar vericiye yardımcı olacak çeşitli yöntemler geliştirilmiştir.

Karar verme, mevcut tüm alternatifler arasından amaç veya amaçlara en uygun ve mümkün olan bir veya bir kaçını seçme sürecidir. Bu süreç karar vericinin seçenekler arasından bir seçim, sıralama ya da sınıflandırma yapması şeklinde sonlanabilir. Bu aşamada en doğru kararı vermek için çok ölçütlü karar verme (ÇÖKV) yöntemleri karşımıza çıkmaktadır. AHP (Analytic Hierarchy Process) ve TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemleri literatürde sıklıkla kullanılan ÇÖKV yöntemlerindedir.

AHP, 1970’li yıllarda Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen ÇÖKV yöntemlerinden biridir. Ortaya konulan bir amaç doğrultusunda, belirlenen

* Bu çalışma, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde yapılan “Evlât Edindirmede Aile Seçim Sürecinin AHP ve TOPSIS Tabanlı Bilgi Sistemi ile Değerlendirilmesi” başlıklı yüksek lisans tezinden yararlanılarak üretilmiştir.

ölçütler ve alt ölçütler ile alternatiflerin değerlendirilmesine olanak sağlayan ve karar vericiye en uygun alternatifin belirlenmesi konusunda destek sağlayan bir yöntemdir.

TOPSIS, Yoon ve Hwang tarafından 1980’li yıllarda geliştirilmiştir. Belirlenen ölçütlere göre alternatiflerin pozitif ideal çözüm noktasına yakınlığını ve negatif ideal çözüm noktasına uzaklığını hesaplayarak; pozitif ideal çözüme en yakın, negatif ideal çözüme en uzak alternatifi belirleyen ve nicel verileri sıraya koyma konusunda en etkin aynı zamanda en kolay kullanılabilen ÇÖKV yöntemidir.

Bu çalışmada, evlat edinmek amacıyla Aile ve Sosyal Politikalar Bakanlığı Çocuk Hizmetleri Genel Müdürlüğüne başvuruda bulunan ailelerden/bireylerden evlat edinmeye uygun bulunanlar arasından AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak en uygun aile/birey seçimi yapılması amaçlanmıştır. Uygulama için Bursa Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler İl Müdürlüğü seçilmiştir. Bursa Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler İl Müdürlüğünde görev yapan, evlat edinme sürecinde yetkili bir sosyal çalışmacı ile yapılan görüşmelerde ailelerin/bireylerin başvurularının sıralanması için dikkat edilecek ölçütler belirlenmiştir. Ölçütlerin birbirlerine göre önem dereceleri belirlenerek oluşturulan bilgi sisteminin AHP modülü kullanılarak ölçütlerin ağırlıkları hesaplanmıştır. Hesaplanan ağırlıklar kullanılarak bilgi sisteminin TOPSIS modülü ile başvuruda bulunan aileler/bireyler sıralanmıştır. Bilgi sisteminden elde edilen çıktılara göre “Evlat Edinme Ebeveyn Aday Sıralama Listesi” oluşturulmuştur. Böylece farklı ölçütler bir arada değerlendirilerek, evlat edindirme sürecinin en sağlıklı şekilde sürdürülmesi sağlanacağı düşünülmüştür.

2. Araştırmanın Amacı

Evlat edinme kavramı yüzyıllardır farklı amaçlarla yaşamda var olan bir kavramdır. Daha önceleri soyun devam ettirilmesine, mirasçı sahibi olmaya, yaşlı kimselerin kendilerine baktırma düşüncesine hizmet ederken, 19.yy’da çocuk sevgisi yaşamayan bireylere bu sevinci yaşatma amacına yönelmiş, günümüzde ise korunmaya muhtaç çocuklara destek olma düşüncesi ön plana çıkmıştır. Geçmişte sosyal ve duygusal amaçlar yanında dini, siyasi, iktisadi amaçlar için de kullanılmışken, evlat edinmede artık amaç; terk edilmiş, yetim ya da evlilik dışında doğmuş çocuğa bir nesep statüsü ve sıcak bir aile ortamı kazandırmak, sağlıklı yetişme ve sosyokültürel kişiliğini geliştirme imkanlarına kavuşmalarını ve sosyal-hukuki statü kazanmalarını sağlamaktır (Giray, 2001).

Toplumun temel yapı taşı ailedir. Genel anlamda bakıldığında aileyi oluşturan bireyler anne, baba ve çocuklardır. Çeşitli sebeplerle evlat sahibi olamayan insanlar ile yine birçok nedenden dolayı ailesinin yanında büyüme imkânı bulamayan çocuklar evlat edinme işlemi sayesinde birbirlerini bulmaktadır. Bu sayede, evlat özlemi çeken ebeveynler bir evlada, aile özlemi çeken küçükler ise bir aileye kavuşmaktadır. Sağlıklı bir aile ortamında yuva sıcaklığı ile büyüyen çocuklar topluma kazandırılarak hayatlarına devam edebilmekte ve ilerleyen yıllarda topluma da faydalı bireyler olarak yaşamlarını sürdürebilmektedir.

Literatürde yapılan çalışmalar detaylı olarak incelendiğinde korunmaya muhtaç çocukların evlat edindirilmesi ile ilgili yapılan çalışma alanlarının kısıtlı olduğu görülmektedir. Bu alanlar ülkemizde genellikle hukuk ve din alanlarıdır. Hukuk alanında yapılan çalışmalar miras hukuku alanında yoğunlaşmıştır. Bunun yanı sıra evlat edinmede hukuki sürecin nasıl işlediğine dair de çalışmalar mevcuttur. Din alanında evlat edinmenin diğer dinlere ve İslamiyet'e göre doğruluğu tartışılmıştır. Tıp, psikoloji gibi alanlarda da çalışmalara rastlanmıştır.

Evlat edinme konusunun araştırılması esnasında evlat edinmek için kuruma başvuran ailelerin/bireylerin sadece başvurduktan sonra istenilen evrakların teslim tarihine göre sıraya alındığı tespit edilmiştir. Başvuranların sıralamalarındaki belirleyici tek ölçüt evrak teslim tarihidir. Bir çocuğun hayatını belirleyen böylesi bir konuya birden fazla ölçüt eşliğinde yaklaşılması gerektiği, daha sistematik bir çalışma ile evlat edindirilecek küçüğün ölçütleri en uygun olan aileye verilmesi gerektiği düşünülmüştür. Literatürde bu alanda yapılmış bir çalışma olmaması konunun ele alınmasının en önemli sebeplerinden biridir.

3. Yöntem

Bu çalışmada, ölçüt ağırlıklarının hesaplanmasında AHP yönteminin kullanılması önerilmiştir. AHP yönteminin önerilmesinin sebeplerinden birkaç tanesi şöyle sıralanabilir (Kahraman vd., 2004; Kuruüzüm ve Atsan, 2001; Aydın, 2008):

- AHP, çok sayıda ölçüt ile uygulanabilir.
- İleri seviye yöntemler gerektirmediği için diğer yöntemlere göre uygulaması daha kolaydır.
- Nicel ve nitel faktörleri değerlendirebilir.
- Ağır matematiksel hesaplamalar içermez.
- İkili karşılaştırmalarda tutarlılık derecesini ölçebilir.
- Grup kararlarının alınması için uygun bir yöntemdir.

AHP yönteminin olumlu özelliklerinin yanı sıra olumsuz özellikleri de bulunmaktadır. AHP yöntemi ikili karşılaştırmalar yapmakta ve alternatif sayısının az olduğu problemlerde kısa sürede çözüm vermektedir. Örneğin n ölçüt ve m alternatiften oluşan bir problemde $n.m.(m-1)/2$ ikili karşılaştırma yapılması gerekmektedir (Dağdeviren, Yavuz ve Kılınc, 2009). Alternatif sayısının çok olduğu problemlerde çok sayıdaki ikili karşılaştırmadan kaçınmak ve işlem sayısını aza indirgeyip kısa sürede çözüme ulaşmak için, çalışmada AHP yönteminin sadece ölçüt ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılması önerilmiştir. Evlat edinmek için Bursa ili Aile, Çalışma ve Sosyal Politikalar Bakanlığı İl Müdürlüğüne yılda ortalama yüz yazılı başvuru yapılmaktadır. Bu başvuruların kabul sayısı her yıl değişkenlik gösteriyor olsa da yarıdan fazlası uygun olduğu için değerlendirmeye alınmaktadır. Ele alınan problemde başvuran ailelerin sıralanması esas konu olduğu ve alternatif aile/birey sayıları fazla olduğu için sıralama aşamasında AHP yönteminin kullanılması işlemlerin uzun sürmesi nedeniyle doğru olmayacaktır. Bu nedenle, alternatiflerin önem derecelerine göre sıralanmasında TOPSIS yönteminin kullanılması önerilmiştir. TOPSIS yönteminin önerilmesinin sebeplerinden birkaç tanesi şöyle sıralanabilir (Wang ve Chang, 2007):

- TOPSIS yönteminin içeriği yalın, güvenilirliği yüksektir.
- Hesaplama yeteneği güçlüdür.
- Hesaplama süreci basittir.
- Alternatiflerin değerlendirilmesi basit bir matematiksel formdadır.
- TOPSIS yöntemi, tüm ölçütleri basit matematiksel formlarla birleştirmesiyle en iyi alternatifin aranmasına olanak sağlamaktadır.

4. Önerilen Bilgi Sistemi

Evlat edinme işlemi esnasında aileler/bireyler başvuru evraklarını tamamlayarak kuruma teslim ettikleri gün sıraya alınmakta ve bu sıralama işlemi genellikle evrak teslim tarihine bakılarak yapılmaktadır. Ancak bir küçüğün hayatına daha iyi şartlarda ve sağlıklı bir aile ortamında devam edebilmesi için, küçüğe her anlamda en iyi şartları sunabilecek aile seçiminin yapılması gerekmektedir. Böylesine ciddi ve hassas bir konuda sıralama yapmak için birden fazla ölçüte bakılmalıdır. Bir bilgi sistemi ile evlat edinme sürecindeki sıralama işlemi daha sistematik hale getirilmelidir (Akçin, 2019).

Ele alınan konu için yapılan görüşmelerde elde edilen bilgilere göre evlat edinmek için sıralama yapılması aşamasında dikkate alınması gereken ölçütler genel hatlarıyla aşağıda verildiği gibi olmalıdır:

1. Ailenin ekonomik durumu
2. Bekleme süresi
3. Ebeveynlik kapasitesi
4. Ailenin eğitim durumu
5. Ailenin iş durumu
6. Ailenin sağlık durumu
7. Konutun fiziki şartları
8. Ailenin sosyal yaşantısı
9. Ailenin diğer insanlarla iletişimi
10. Çocuklu yaşama dair beklentiler
11. Aile bireylerinin kişisel özellikleri
12. Evlilik yaşantısı, eşler arasındaki iletişim
13. Sosyal çalışmacının genel kanaati

Ölçütler değerlendirilirken, her bir ölçüt için değerlendirilen özellikler aşağıda verildiği gibidir.

Ailenin ekonomik durumu: Ailenin gelir düzeyi, ailenin aylık giderleri, gelir gider dengesi, ailenin ikamet ettiği bölgeye göre gelirlerinin yeterlilik düzeyi değerlendirilmektedir.

Bekleme süresi: Evrak teslim tarihinden itibaren ailenin beklediği süre değerlendirilmektedir. 0-12 ay arası 1 puan, 13-24 ay arası 2 puan, 25-36 ay arası 3 puan, 37-48 ay arası 4 puan, 49 ay ve daha fazlası 5 puan olarak belirlenmiştir.

Ebeveynlik kapasitesi: Ebeveyn adaylarının bir çocuğun sorumluluğunu alabilme kapasitesidir. Çocuğa yaklaşımı, çocuğun gelişim evrelerini ne kadar bildiği gibi konular değerlendirilmektedir.

Ailenin eğitim durumu: Ebeveyn adaylarının eğitim durumları, mezuniyet dereceleri, kendilerini eğitim hayatında ne kadar geliştirebildikleri ve eğitim konusuna yaklaşımları değerlendirilmektedir.

Ailenin iş durumu: Ebeveyn adaylarının iş yerlerindeki memnuniyetleri, ne sıklıkla iş değiştirdikleri, iş ortamındaki insanlarla olan iletişim düzeyleri değerlendirilmektedir.

Ailenin sağlık durumu: Ebeveyn adaylarının kendi hayatlarını ve evlat edinecekleri çocuğun hayatını idame ettirebilmesi için herhangi bir sağlık engellerinin olup olmadığı değerlendirilmektedir.

Konutun fiziki şartları: Ebeveyn adaylarının ikamet ettikleri evin temizlik durumu değerlendirilmektedir. Evin hastane, okul, sağlık

ocağı gibi yerlere yakınlığı, evdeki prizlerin konumları, sivri köşeli mobilyaların varlığı ve konumu, evin rutubet durumu, oda sayıları, çocuğa ait bir oda olup olmayacağı gibi konular değerlendirilmektedir.

Ailenin sosyal yaşantısı: Aile içinde doğum günleri, evlilik yıl dönümleri, anneler-babalar günü vb. özel günlerin kutlanma durumu değerlendirilmektedir. Piknik, tatil ve bu gibi sosyal aktivitelere katılım durumları değerlendirilmektedir. Tiyatro, sinema, konser vb. gitme durumları değerlendirilmektedir.

Ailenin diğer insanlarla iletişimi: Ebeveyn adaylarının çevrelerindeki insanlarla iletişimleri, diğer insanların ebeveyn adayları ile ilgili olan düşünceleri değerlendirilmektedir.

Çocuklu yaşama dair beklentiler: Evlat edinilen çocuğun etnik kökeninin ebeveyn adayları için önemli olup olmaması, bir çocuğun ailelerine katılımından sonra aileyi ne şekilde etkileyeceğine dair düşünceleri değerlendirilmektedir.

Aile bireylerinin kişisel özellikleri: Ebeveyn adaylarının kişilik özellikleri değerlendirilmektedir. Çocuk yetiştirmek için gerekli özveriyi gösterebilme durumları, yeniliklere açık olup olmadıkları, olaylara yaklaşımları gibi durumlar değerlendirilmektedir.

Evlilik yaşantısı, eşler arasındaki iletişim: Ebeveyn adaylarının birbirleri ile ilgili düşünceleri, her birinin diğerine yaklaşımı ve tutumu, eşler arasındaki sevginin ve saygının varlığı değerlendirilmektedir. Eğer birey olarak başvuru yapmış ise kişinin en yakın aile bireyleri ile ilgili iletişimleri değerlendirilmektedir.

Sosyal çalışmacının genel kanaati: Evlat edinme sürecinde yapılan tüm görüşmeler esnasında sosyal çalışmacıda oluşan genel kanaat değerlendirilmektedir.

Bilgi sistemine "Kullanıcı Adı" ve "Şifre" bilgilerinin yer aldığı bir ekran ile giriş sağlanmaktadır. Belirlenen ölçütler, ölçütlerin birbirlerine göre önem dereceleri ve ebeveyn adaylarının ölçüt puanları kullanılarak oluşturulan AHP-TOPSIS temelli bilgi sistemine giriş ekranı Şekil 1'de verildiği gibidir.



Şekil 1. AHP-TOPSIS temelli bilgi sistemi giriş ekranı

Bilgi sistemine giriş yapıldıktan sonra "Seçim Ekranı" açılmaktadır. Oluşturulan seçim ekranında "Aile Ekle", "Çocuk Kaydı Oluştur" ve "Sıralama Yap" seçenekleri bulunmaktadır. Seçim ekranı Şekil2'de verilmiştir.



Şekil 2. Seçim ekranı

Seçim ekranındaki "Aile Ekle" sekmesinde, ebeveyn adaylarının bilgileri ve her bir ölçüt için sahip oldukları puanların yazılacağı alanlar bulunmaktadır. Bu ebeveyn bilgileri; anne ve baba adaylarının ayrı ayrı T.C. kimlik numaraları, doğum tarihleri, doğum yerleri ve evlilik tarihleridir.

Ölçütler ise; ailenin ekonomik durumu, bekleme süresi, ebeveynlik kapasitesi, ailenin eğitim durumu, ailenin iş durumu, ailenin sağlık durumu, konutun fiziki şartları, ailenin sosyal yaşantısı, ailenin diğer insanlarla iletişimi, çocuklu yaşama dair beklentiler, aile bireylerinin kişisel özellikleri, evlilik yaşantısı, eşler arasındaki iletişim, sosyal çalışmacının genel kanaati olarak belirlenmiştir.

"Aile Ekle" butonuna tıklandığında ekrana gelen "Yeni Aile Ekle" ekranı Şekil 3'te verilmiştir. Ebeveyn adaylarına ait bilgiler, bilgi gizliliği nedeniyle gerçek değerler değildir. Ölçüt puanları Likert ölçeği baz alınarak 1-5 arasındaki değerler olarak değerlendirilmiştir. Aileler/bireyler ile yapılan görüşmeler sonucunda verilen puanlar "Yeni Aile Ekle" ekranında aile/birey bilgileri ile birlikte kaydedilmektedir.

Yeni Aile Ekle

Anne		Baba	
TC No: <input type="text"/>	TC No: <input type="text"/>	Aile Ekonomik Durumu: <input type="text"/>	Konut Türü Seçin: <input type="text"/>
İsmi: <input type="text"/>	İsmi: <input type="text"/>	Gelir Durumu: <input type="text"/>	Aile Sosyal Yapısı: <input type="text"/>
Soyadı: <input type="text"/>	Soyadı: <input type="text"/>	Eğitimsel Durumu: <input type="text"/>	Aile Dışarı İletişim Durumu: <input type="text"/>
Doğum Yeri: <input type="text"/>	Doğum Yeri: <input type="text"/>	Ailenin Eğitim Durumu: <input type="text"/>	Çocukluk Yaşamı Üzerine Değerlendirme: <input type="text"/>
Doğum Tarihi: <input type="text" value="5.6.2019"/>	Doğum Tarihi: <input type="text" value="5.6.2019"/>	Ailenin Sağlık Durumu: <input type="text"/>	Aile Dışarı İletişim Durumu: <input type="text"/>
Ekleme Tarihi: <input type="text" value="5.6.2019"/>		Sosyal Yapıyı Gözetim Durumu: <input type="text"/>	

Ekle Yenile Sil

No	Baba TC No	Baba Adı	Baba Soyadı	Baba Doğum Tarihi	Baba Doğum Yeri	Anne TC No	Anne Adı	Anne Soyadı	Anne Doğum Tarihi	Anne Doğum Yeri	Evlilik Tarihi
13	12011111101	Arnel	Aker	15.1.1970 10:51	Bursa	10111111101	Ayşe	Aker	20.6.1980 10:51	Eskişehir	5.7.2002 10:51
13	12011111102	Can	Yılmaz	1.3.1980 10:51	İstanbul	10111111102	Emel	Yılmaz	12.2.1983 10:51	İstanbul	15.5.2004 10:51
14	12011111103	Hakan	Yalçın	12.5.1975 10:51	Denizli	10111111103	Ceyda	Yalçın	10.3.1975 10:51	Denizli	15.5.1998 10:51
15	12011111104	Hasan	Hevin	17.2.1975 10:51	Ankara	10111111104	Halim	Hevin	20.11.1981 10:51	Kars	21.9.2000 10:51
16	12011111105	Taner	Narcan	1.12.1985 10:51	Bilecik	10111111105	Canan	Narcan	25.1.1987 10:51	Bursa	10.6.2007 10:51
17	12011111106	Muhsin	Şeker	1.10.1981 10:51	Burdur	10111111106	Neşe	Şeker	11.2.1982 10:51	Burdur	10.6.2007 10:51
18	12011111107	Sam	Ağabir	24.10.1971 10:51	Afyon	10111111107	Ayşe	Ağabir	15.5.1972 10:51	Afyon	10.6.2007 10:51
19	12011111108	Hasan	Bilgeç	7.7.1975 10:51	Bursa	10111111108	Göküm	Bilgeç	14.2.1981 10:51	Bursa	5.7.2005 10:51
20	12011111109	Emir	Yusufoğlu	9.5.1981 10:51	Muş	10111111109	Fatma	Yusufoğlu	5.6.1982 10:51	Ankara	17.5.2008 10:51
21	12011111110	Emir	Çarban	1.3.1972 10:51	Merkez	10111111110	Nuray	Çarban	4.5.1974 10:51	İzmir	11.4.1997 10:51

Çok İyi

Şekil 3. Ebeveyn adaylarının bilgilerini ekleme ekranı

Likert ölçeği değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

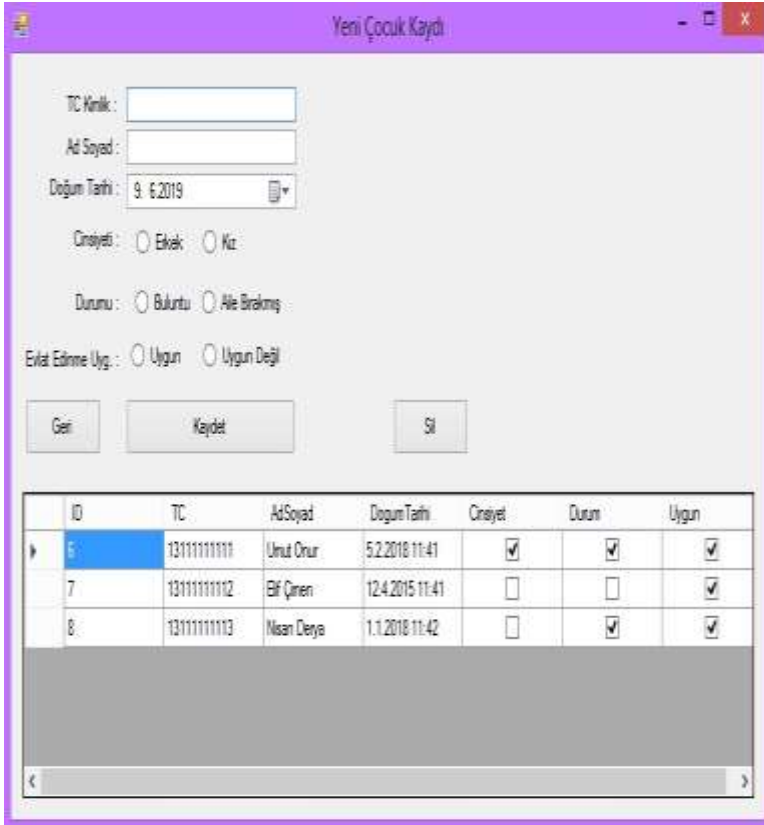
Tablo 1. Likert ölçeği

Değerler	Puanlar
Çok İyi	5
İyi	4
Orta	3
Kötü	2
Çok Kötü	1

Seçim ekranındaki "Çocuk Kaydı Oluştur" sekmesinde kurumda kalan çocukların kayıtları tutulmaktadır. "Yeni Çocuk Kaydı" sekmesinde

kaydedilmesi gereken bilgiler; T.C. kimlik numarası, adı soyadı, doğum tarihi, cinsiyeti, durumu ve evlat edinmeye uygunluğudur.

Evlat edinme işlemi sürecinde başvuran ailelerden/bireylerden istenilen bir çok ölçüt bulunmaktadır. Bunun yanı sıra kuruma evlat edinmek için başvuran ebeveyn adaylarının da evlat edinecekleri küçükte aradıkları özellikler olabilmektedir. Bu özelliklerden en çok dikkat edilenleri küçüğün cinsiyeti, kuruma verilme durumu ve yaşıdır. Devlet koruması altındaki her küçük evlat edinmeye uygun değildir. Sağlık problemleri, ailevi durumları, evlat edinilmeyi reddetmeleri gibi birçok sebepten dolayı küçükler evlat edindirilmeye uygun olmayabilmektedir. Bu sebeplerden dolayı bahsedilen konulara ait detaylar sisteme kaydedilmelidir ve kayıt ekranı bu bilgiler ışığında hazırlanmıştır. "Yeni Çocuk Kaydı" ekranı Şekil 4'te verilmiştir.



The screenshot shows a software window titled "Yeni Çocuk Kaydı" (New Child Record). The window contains a form with the following fields and options:

- TC Kimlik: [Text Input]
- Ad Soyad: [Text Input]
- Doğum Tarihi: 9. 6.2019 [Date Picker]
- Cinsiyet: Erkek Kız
- Durumu: Buluntu Aile Birlikmiş
- Evlat Edinme Uyg.: Uygun Uygun Değil

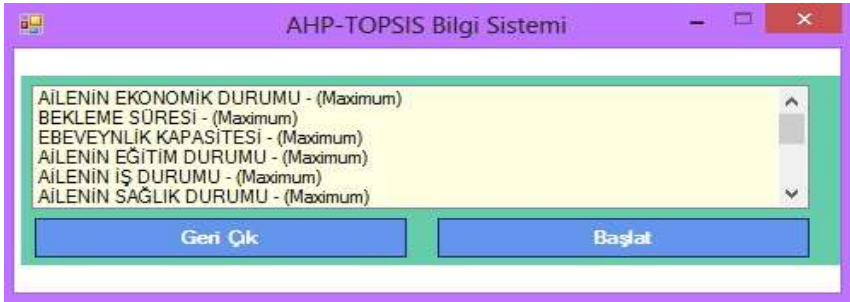
Below the form are three buttons: "Geri", "Kaydet", and "Sil".

At the bottom of the window is a table with the following data:

ID	TC	AdSoyad	DoğumTarihi	Cinsiyet	Durum	Uygun
6	13111111111	Unut Onur	5.2.2018 11:41	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	13111111112	Elif Çimen	12.4.2015 11:41	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	13111111113	Nisan Derye	1.1.2018 11:42	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

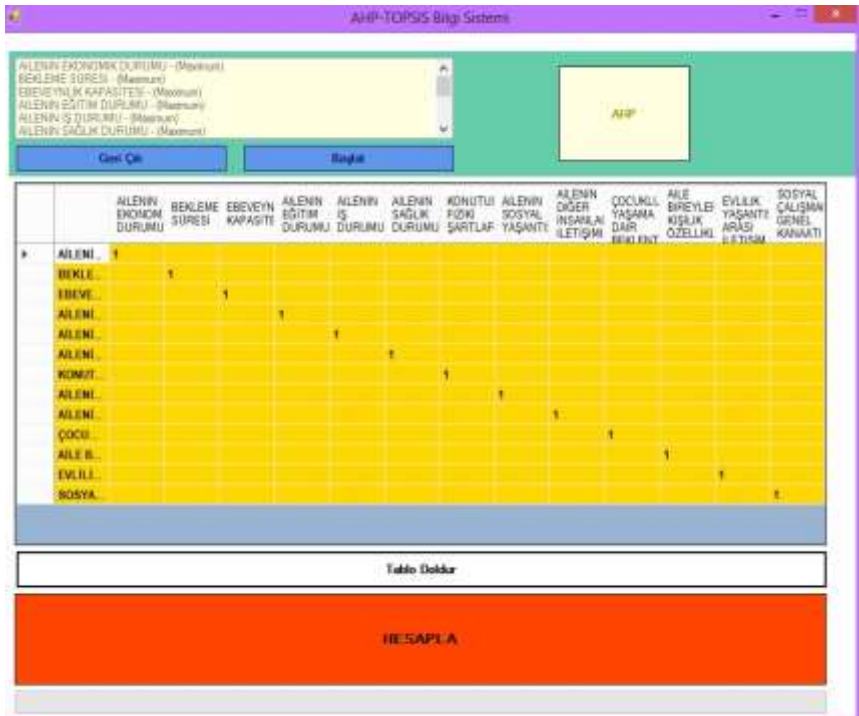
Şekil4. Yeni çocuk kayıt ekranı

Ölçütlerin bulunduğu ekran Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Ölçütler ekranı

Uygulamada ölçüt ağırlıklarını belirlemek için AHP yöntemi kullanıldığı için Şekil 5'de yer alan ölçütler ekranındaki "Başlat" butonuna basıldıktan sonra ekrana "AHP" butonu gelmektedir. AHP butonu uygulama için uygun olan "Önem Matrisi"ni ekrana getirmektedir. Önem matrisi ilk olarak doldurulmamış şekilde ekrana gelmektedir. Matristeki her bir ölçütün diğer ölçütlere göre önem dereceleri tek tek yazılabilmektedir. Önem matrisinin boş hali Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil6. AHP öncelik matrisinin boş hali

Ölçütlerin birbirlerine göre önem derecelerini "Tablo Doldur" butonu ile ekrana otomatik olarak getirmek de mümkündür.

Şekil 6'daki "Tablo Doldur" butonuna tıklanması ile ekrana yansıyan AHP öncelik matrisinin otomatik olarak doldurulmuş hali Şekil 7'de verilmiştir.

AHP-TOPSIS Bilgi Sistemi

AİLEİN EKONOMİK DURUMU - (Maximum)
BEKLEME SÜRESİ - (Maximum)
EBEVEYNLİK KAPASİTESİ - (Maximum)
AİLEİN EĞİTİM DURUMU - (Maximum)
AİLEİN İŞ DURUMU - (Maximum)
AİLEİN SAĞLIK DURUMU - (Maximum)

AHP

Geri Çık Başlat

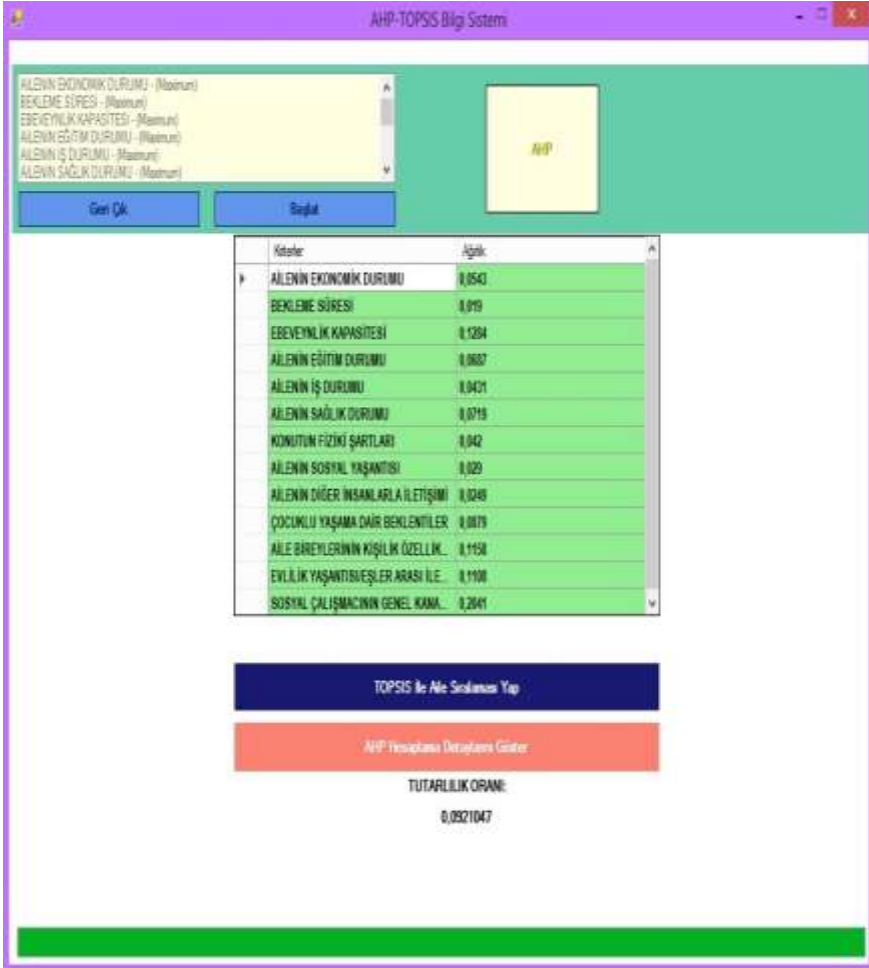
	AİLEİN EKONOMİK DURUMU	BEKLEME SÜRESİ	EBEVEYN KAPASİTE	AİLEİN EĞİTİM DURUMU	AİLEİN İŞ DURUMU	AİLEİN SAĞLIK DURUMU	KONUTU İNŞAAT ŞARTLARI	AİLEİN SOSYAL YAŞANTI	AİLEİN DİĞER İNŞAAT İLETİŞİMİ	ÇOCUKLARA YAŞAMA DAİR BEKLENTİ	AİLE BİREYLER ARASINDAKİ İLETİŞİM	EVLİLİK YAŞANTI	SOSYAL ÇALIŞMA GENEL KANAATI
AİLEİN_	1	3	0,25	0,333	3	0,333	3	3	3	0,333	0,333	0,333	0,333
BEKLE_	0,333	1	0,2	0,333	0,2	0,25	0,333	0,333	0,333	0,25	0,25	0,25	0,25
EBEVE_	4	5	1	3	4	3	3	5	3	1	1	3	0,333
AİLEİN_	3	3	0,333	1	3	1	3	3	4	0,333	0,333	0,333	0,333
AİLEİN_	0,333	5	0,25	0,333	1	0,333	1	3	3	0,333	0,333	0,333	0,25
AİLEİN_	3	4	0,333	1	3	1	3	4	4	0,5	0,333	0,333	0,25
KONUT_	0,333	3	0,333	0,333	1	0,333	1	3	3	0,333	0,333	0,333	0,333
AİLEİN_	0,333	3	0,2	0,333	0,333	0,25	0,333	1	2	0,333	0,333	0,333	0,25
AİLEİN_	0,333	3	0,333	0,25	0,333	0,25	0,333	0,5	1	0,333	0,2	0,333	0,2
ÇOCU_	3	4	1	3	3	2	3	3	3	1	0,333	0,25	0,25
AİLE B_	3	4	1	3	3	3	3	3	5	3	1	1	0,25
EVLİL_	3	4	0,333	3	3	3	3	3	3	4	1	1	0,25
SOSYA_	3	4	3	3	4	4	3	4	5	4	4	4	1

Tablo Doldur

HESAPLA

Şekil 7. AHP öncelik matrisinin doldurulmuş hali

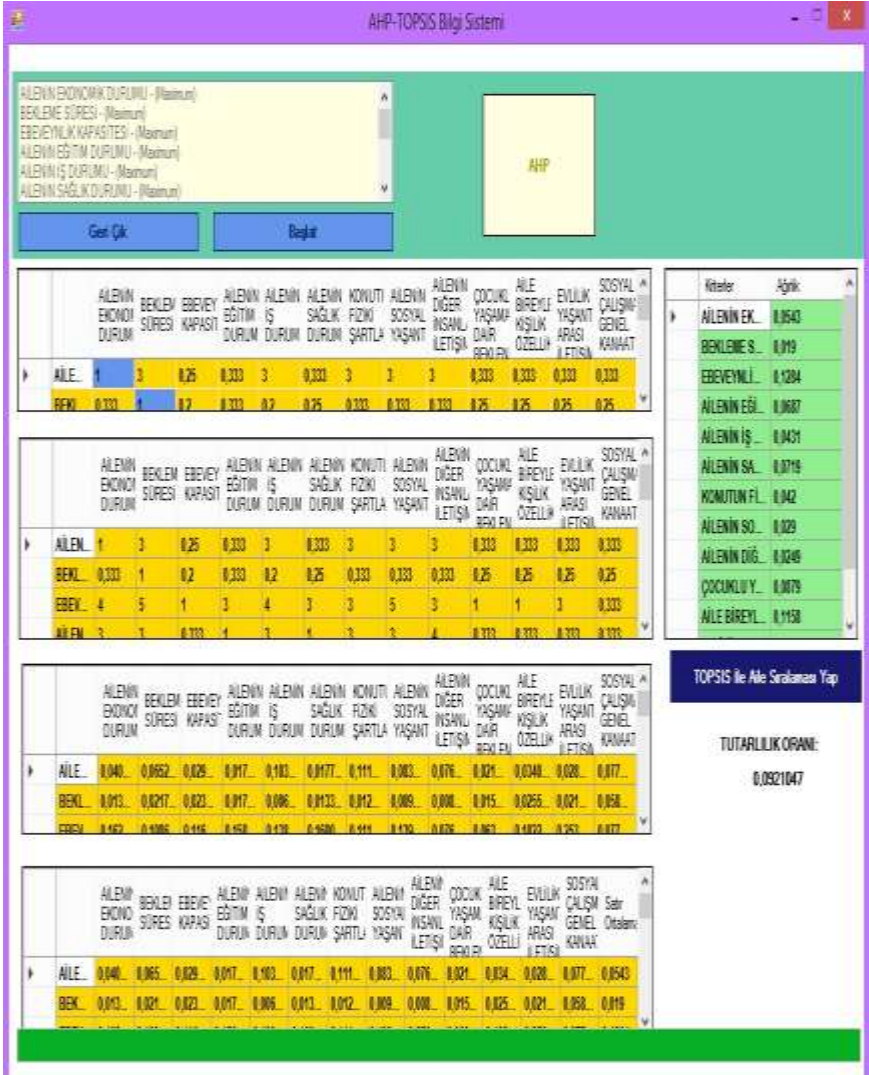
Şekil 7'deki "Hesapla" butonuna tıkladığında ölçütlerin ağırlıkları hesaplanmaktadır. Hesaplanan ölçüt ağırlıklarının olduğu ekran Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Ölçüt ağırlıkları ekranı

Hesaplanan ölçüt ağırlıklarına bakıldığında en önemli ölçütün 0,2041 oranı ile "Sosyal Çalışmacının Genel Kanaatı", en az önemli ölçütün ise 0,0190 oranı ile "Bekleme Süresi" ölçütü olduğu tespit edilmiştir. Tutarlılık oranı ise 0,0921047 olarak hesaplanmıştır ve $0,0921047 < 0,10$ olduğu için matrisin tutarlı olduğu görülmüştür.

Şekil 8'deki "AHP Hesaplama Detaylarını Göster" butonuna basıldığında AHP yöntemi kullanılarak hesaplanan ölçüt ağırlıklarının hesaplama aşamaları ekrana yansımaktadır. "AHP Hesaplama Detayları Ekranı" Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. AHP hesaplama detayları ekranı

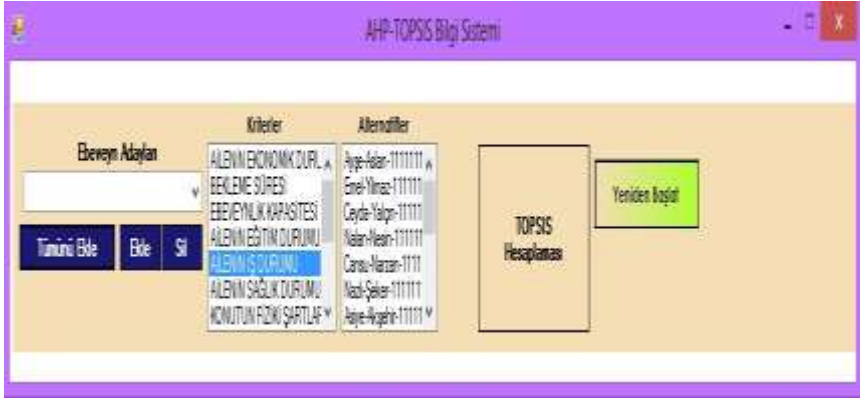
Şekil 8 veya Şekil 9'daki "TOPSIS ile Aile Sıralaması Yap" butonuna basıldığında ekrana gelen "Ebeveyn Adayları Seçim Ekranı" Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. Ebeveyn adayları seçim ekranı

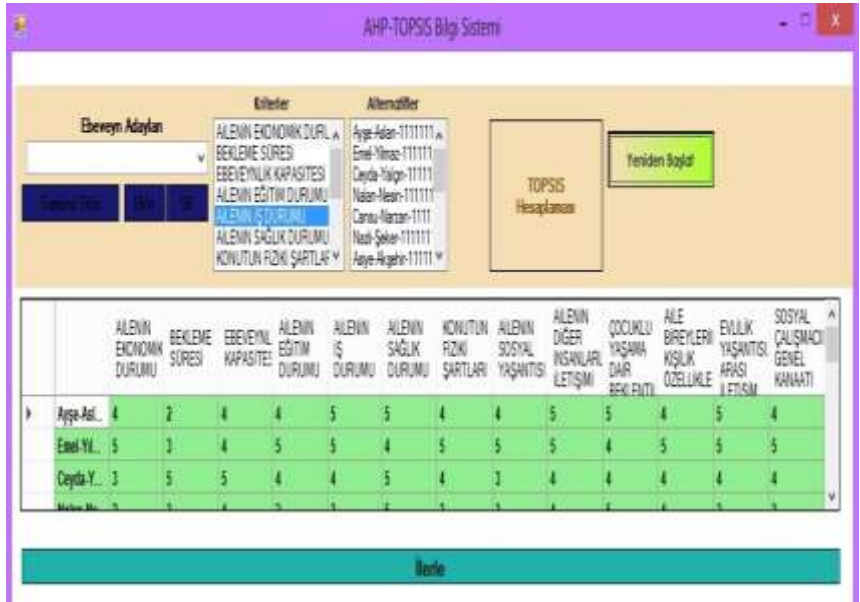
Ebeveyn Adayları Seçim Ekranındaki "Tümünü Ekle" butonu ile veri tabanında kayıtlı tüm adaylar "Alternatifler" listesine eklenmektedir. Bunun haricinde "Ebeveyn Adayları" listesinden tek tek seçim yapılarak "Ekle" butonu ile "Alternatifler" listesine istenilen adaylar eklenebilmektedir. Daha önce de bahsedildiği gibi kuruma evlat edinmek için başvuran ailelerin evlat edinmek istedikleri küçüklerde aradıkları bazı özellikler olabilmektedir. Örneğin; küçüğün cinsiyeti, bulunma durumu (buluntu veya ailesi tarafından bırakılmış), yaşı vb. ebeveyn adaylarının evlat edinmek isteyecekleri küçükte aradıkları ölçütlerdendir. Kuruma evlat edindirilmeye uygun bir küçük geldiğinde bu gibi özelliklerine bakılarak, ebeveyn adaylarının belirttikleri ölçütler ile evlat edindirilmeye uygun küçüğün özelliklerinin örtüştüğü ebeveynler sıralama işlemine tabi olmalıdır. Örneğin, evlat edindirilecek bir kız çocuğu sistemde kayıtlı ise ebeveyn adayları arasından kız çocuk isteyen adaylar arasında bir sıralama yapılmalıdır. Bu sebeple sıralama işlemi için tek tek ebeveyn eklemeyi sağlayan "Ekle" butonu konulmuştur.

Ebeveyn adayları "Alternatifler" listesine eklendikten sonraki ekran Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11. Ebeveyn adayları seçildikten sonraki ara ekran

Şekil 4.11'deki "TOPSIS Hesaplama" butonuna tıklandığında ebeveyn adaylarına ait ölçüt puanlarının olduğu ekran Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 12. Ebeveyn adaylarının ölçüt puan ekranı

Şekil 12'deki "İlerle" butonuna tıklandığında TOPSIS yöntemi ile yapılan hesaplamalara ait "TOPSIS Hesaplama Ekranı" Şekil 13'de verilmiştir. Ekranda pozitif ideal ayırım değerleri (S_+), negatif ideal ayırım değerleri (S_-) ve karar noktasının ideal çözüme göreli yakınlığı (C_i^*) yer almaktadır.

AHP-TOPSIS Bilgi Sistemi

Ebeveyn Adı

Arayış

Yeni

Yeni

Kriterler

- ALENİN EKONOMİK DURUMU
- BEKLEME SÜRESİ
- EBEVEYNLIK KAPASİTESİ
- ALENİN EĞİTİM DURUMU
- ALENİN İŞ DURUMU**
- ALENİN SAĞLIK DURUMU
- KONUTUN FİZİKİ ŞARTLAR

Alternatifler

- Ayşe-Aslan-11111111
- Emel-Yılmaz-111111
- Ceyda-Yalçın-111111
- Nazan-Nazan-111111
- Canan-Nazan-1111
- Nazlı-Şeker-111111
- Ayşe-Ardoğan-111111

TOPSIS Hesaplaması

Yeniden Başlat

Yeni Çözümü Göster

	ALENİN EKONOMİK DURUMU	BEKLEME SÜRESİ	EBEVEYNLIK KAPASİTESİ	ALENİN EĞİTİM DURUMU	ALENİN İŞ DURUMU	ALENİN SAĞLIK DURUMU	KONUTUN FİZİKİ ŞARTLARI	ALENİN SOSYAL YAŞANTISI	ALENİN DİĞER İNSANLARI İLETİŞİMİ	ÇOCUKLU YAŞAMA DAIR BEKLENTİ	AILE BİREYLERİ KİŞİLİK ÖZELLİKLE	EVLİLİK YAŞANTISI ARASI İLETİŞİM	SOSYAL ÇALIŞMACI GENEL KANAKATI
Ayşe-Asl.	4	2	4	4	5	5	4	4	5	5	4	5	4
Emel-Yıl.	5	3	4	5	5	4	5	5	5	4	5	5	5
Ceyda-Y.	3	5	5	4	4	5	4	3	4	4	4	4	4
Nazan-Naz.	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

İhtar

Ağırlık 0,0543 0,019 0,1284 0,0687 0,0431 0,0719 0,042 0,029 0,0249 0,0879 0,1158 0,1108 0,2041

Adı	S+	S-	Q+
Tansu-Yarun-1111111118-Erkin-Yoran...	0	0,003156524201462	1
Canan-Nazan-1111111115-Taner-Nazlı	0,001440338628279992	0,0030414422885796	0,977662136878333
Emel-Yılmaz-1111111112-Can-Yılmaz-12	0,0109695468435813	0,0583487712738652	0,84172796788747
Gülüm-Bilgeç-1111111118-Hüseyin-Bil	0,01723464767313233	0,048994317879485	0,74364252130988
Ayşe-Aslan-1111111111-Ahmet-Aslan-1	0,0188137155580945	0,047564122934323	0,7154883829892
Gül-Görgülü-1111111126-Rubran-Gölg	0,0158241158660763	0,04624874387218	0,78822529554769
Nazlı-Şeker-1111111116-Mustafa-Şeker	0,029803881912949	0,0476589618214615	0,68914884291286

BİLGİ

SONUÇ

Şekil 13. TOPSIS hesaplama sonuç ekranı

Şekil 13'teki "Bilgi" butonuna tıklandığında en uygun çözüme ait olan alternatifin hangisi olduğuna dair bilginin verildiği "Hesaplama Sonucundaki En Uygun Çözümü Gösteren Ekran" Şekil 14'de verilmiştir.

AHP-TOPSIS Bilgi Sistemi

Ebeveyn Adayları

Tamamla

Kriterler

- AILENİN EKONOMİK DURUMU
- BEKLEME SÜRESİ
- EBEVEYNLIK KAPASİTESİ
- AILENİN EĞİTİM DURUMU
- AILENİN SAĞLIK DURUMU**
- KONUTUN FİZİK ŞARTLARI

Alternatifler

- Ayşe-Ahmet-11111111
- Emel-Yılmaz-11111111
- Ceyda-Yalçın-11111111
- Nalan-Nazan-11111111
- Cansu-Narzan-11111111
- Nazlı-Şeker-11111111
- Ayşe-Ahmet-11111111

TOPSIS Hesaplaması

Tamamla

Detaylı Çözümü Göster

	AILENİN EKONOMİK DURUMU	BEKLEME SÜRESİ	EBEVEYNLIK KAPASİTESİ	AILENİN EĞİTİM DURUMU	AILENİN İŞ DURUMU	AILENİN SAĞLIK DURUMU	KONUTUN FİZİK ŞARTLARI	AILENİN SOSYAL YAŞANTISI	AILENİN DİĞER İHTİŞİMLERİ	ÇOCUKLU YAŞAMA DAİR BEKLENTİLERİ	AILE BİREYLERİNİN İHTİŞİMLERİ	EVLÜK YAŞANTISI	SOSYAL ÇALIŞMALARININ GENEL KİMLİĞİ
Ayşe-Ahmet	4	2	4	4	5	5	4	4	5	5	4	5	4
Emel-Yılmaz	5	3	4	5	5	4	5	5	5	4	5	5	4
Ceyda-Yalçın	3	5	5	4	4	5	4	3	4	4	4	4	4

Ağırlık 0,0543 0,019

3 sıradaki (Tansu-Yosun-1111111115-Ersin-Yosun-1211111119) en uygun çözüme sahiptir

Tamamla

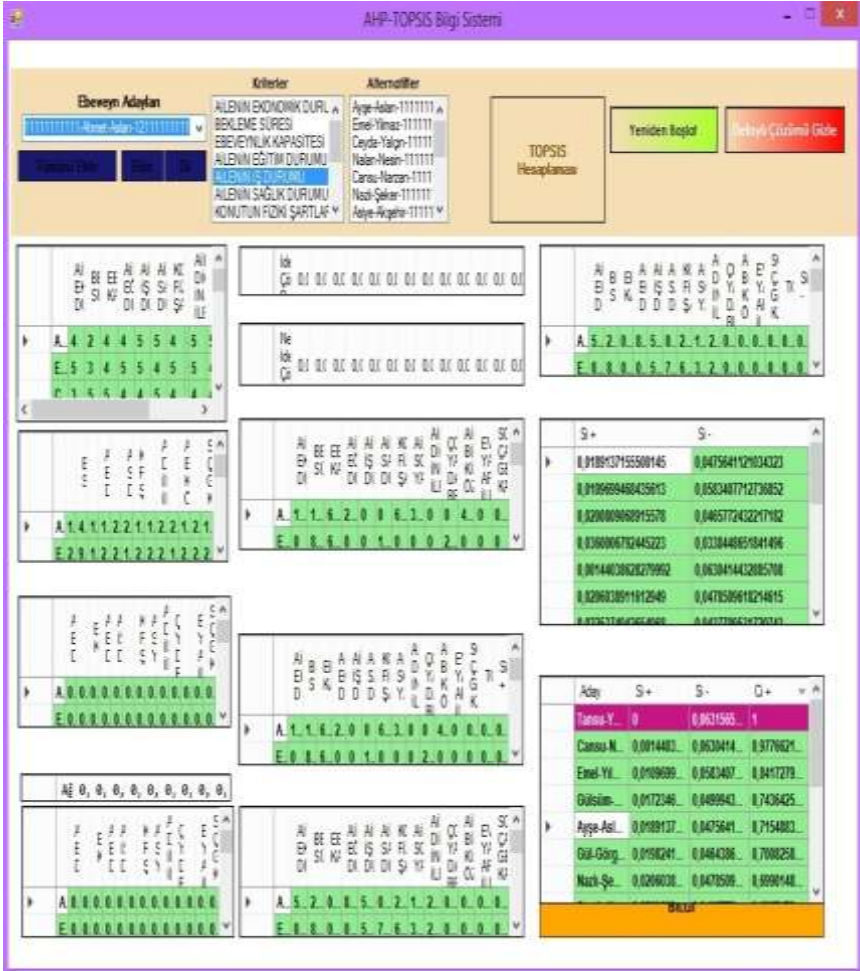
Aday	G+
Tansu-Yosun-1111111115-Ersin-Yosun-1211111119	0,9776213678333
Cansu-Narzan-1111111115-Taner-Narzan-1111111115	0,841727987598747
Emel-Yılmaz-1111111112-Cat-Yılmaz-1111111112	0,7438425138988
Ayşe-Ahmet-1111111111-Ahmet-Ahmet-1111111111	0,7548036329892
Gül-Güngör-1111111112-Rubra-Güngör-1111111112	0,7002532954769
Nazlı-Şeker-1111111116-Mustafa-Şeker-1111111116	0,68914894291286

BİLGİ

SONUÇ

Şekil 14. TOPSIS hesaplama sonucundaki en uygun çözümü gösteren ekran

Şekil 14'deki mesaj ekranını "Tamam" butonu ile kapattıktan sonra, yine Şekil 4.14'deki "Detaylı Çözümü Göster" butonuna tıklandığında TOPSIS yönteminin hesaplamaları detaylı olarak gösterilmektedir. "TOPSIS Hesaplaması Detaylı Çözüm Ekranı" Şekil 15'de verilmiştir.



Şekil 15. TOPSIS hesaplaması detaylı çözüm ekranı

Bilgi sisteminden elde edilen hesaplama sonuçlarına bakıldığında evlat edinme sıralamasının ilk sırasında Tansu Yosun-Ersin Yosun çifti yer almaktadır. Sıralamanın sonunda ise Müge Deniz-Nezir Deniz çifti bulunmaktadır.

Şekil 15'deki "Detaylı Çözümü Gizle" butonuna tıkladıktan sonra açılan Şekil 14'deki "Sonuç" butonuna tıkladığında elde edilen ebeveyn adaylarının sıralandığı "TOPSIS Sonucu Alternatif Sıralama Ekranları" Şekil 16 ve Şekil 17'de verilmiştir.

Alternatifler	Sıralamaları
Tansu-Yosun-...	1
Cansu-Narzan-...	2
Emel-Yılmaz-11...	3
Gülsüm-Bilgeç...	4
Ayşe-Aslan-11...	5
Gül-Görgülü-1...	6
Nazlı-Şeker-11...	7
Ceyda-Yalçın-...	8
Asiye-Akşehir-...	9

Şekil 16. TOPSIS sonucu alternatif sıralama ekranı-1

Alternatifler	Sıralamaları
Nazlı-Şeker-11...	7
Ceyda-Yalçın-...	8
Asiye-Akşehir-...	9
Selime-Ocak-1...	10
Betül-Kader-1...	11
Nalan-Nesin-1...	12
Yasemin-Güzel...	13
Nuriye-Canda...	14
Müge-Deniz-11...	15

Şekil 17. TOPSIS sonucu alternatif sıralama ekranı-2

Hazırlanan bilgi sisteminde AHP yöntemi ile hesaplanan ölçüt ağırlıklarına bakıldığında en önemli ölçütün 0,2041 oranı ile "Sosyal Çalışmacının Genel Kanaati" ölçütü, en az öneme sahip ölçütün ise 0,0190 oranı ile "Bekleme Süresi" ölçütü olduğu tespit edilmiştir. Tutarlılık oranı 0,0921047 olarak hesaplanmıştır ve önem matrisinin tutarlı olduğu tespit edilmiştir. Evlat edinmek için başvuran ebeveyn adayları arasında yapılan evlat edinme sıralaması sonucunda, ilk sırada yer alan ebeveyn adayları TOPSIS yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir.

Ebeveyn adaylarının sahip oldukları ölçüt puanları ve ölçütlerin önem dereceleri dikkate alınarak oluşturulan ebeveyn aday sıralaması, mevcut sıralama sistemine göre daha adil bir sonuç vermektedir. Mevcut sıralama sisteminde sadece evrak teslim tarihi ölçütü baz alınırken önerilen bilgi sistemi ile 13 ayrı ölçüt dikkate alınarak bir sıralama listesi oluşturulma ve en uygun aile seçimi yapılmaktadır. Oluşturulan sıralama listesinin ilk sırasındaki ebeveyn aday/adayları ile görüşmeler sağlanıp uygun bulunması durumunda evlat edinme sürecinin aile tespit aşaması tamamlanmış olacaktır. Şartlarda uygunsuzluk olması durumunda ise sıradaki ebeveyn aday/adayları ile görüşmeler yapılarak sürece devam edilecektir. Bu sayede oluşturulan bilgi sistemi ile en uygun adayın tespit edilmesi işlemi tamamlanacaktır.

Bilgi sistemine kaydedilen ebeveyn sayılarında veya çocuk sayılarında bir sınırlama bulunmamaktadır. Bilgi sisteminin işlem süresi de oldukça kısadır.

5. Sonuç ve Öneriler

Evlat edinme, farklı uygulamalarla yüzyıllardır var olan bir süreçtir. Toplumsal yapının temelini oluşturan bireylerin gelişim sürecini en çok etkileyen ve kişilik yapısının oluşmasını sağlayan ortam doğup büyüdüğü ailedir. Ailesi olmayan küçükler için de bu ortam devlet tarafından sağlanmaktadır. Ailesi tarafından bırakılmak zorunda kalmış birçok çocuk devlet koruması altında hayatlarına devam etmektedir. Bunun yanı sıra çeşitli sebeplerle evlat sahibi olamayan bireyler/aileler de bulunmaktadır. Evlat edinme kavramı, bahsi geçen iki tarafın da eksikliklerinin giderilmesi ve toplumsal hayat için her anlamda daha yeterli bireyler yetiştirilmesi için önemli bir kavramdır. Evlat edinme süreci bireylerin hayatlarını doğrudan etkileyen bir süreç olduğu için bu sürece hassasiyetle yaklaşılmaktadır. Fakat evlat edinmek için kuruma başvuran aileler/bireyler sadece evrak teslim tarihine bakılarak sıraya alınmaktadır.

Bu çalışmada, evlat edinme sürecini daha sistematik ve adil olarak yönetebilmek adına AHP ve TOPSIS yöntemlerinin bütünlük olarak kullanıldığı bir bilgi sistemi önerilmiştir. Evlat edinmek için kuruma başvuran ebeveyn adaylarının durumlarını değerlendirerek sıralama yapan ve en uygun ailenin seçilmesine imkân sağlayan bilgi sisteminin çıktıları değerlendirilmiştir. Sıralama sonucunda tespit edilen en uygun aile/birey ile karşılıklı görüşmeler yapıp evlat edinme sürecinin tamamlanması önerilmiştir.

Evlat edinme süreci hassas bir süreç olduğu ve bu süreçteki birçok bilgi gizli olduğu için sadece bir sosyal çalışmacı ile görüşme sağlanabilmiştir. Gelecekteki çalışmalarda daha fazla sosyal çalışmacı ile görüşmeler yapılarak ölçütler tekrar gözden geçirilebilir. Sosyal çalışmacılarla anketler düzenlenip ölçütlerin önem dereceleri anket sonuçlarına göre belirlenebilir. Aile ölçütleri ile evlat edindirilecek küçüğün mevcut durumu karşılaştırılarak ebeveyn adayları sıralama işlemi öncesinde bir filtreleme işlemi yapılabilir. Aile ekleme ve çocuk ekleme sekmeleri geliştirilerek uygun aile ile uygun çocuğun eşleşmesi işlemi oluşturulan bilgi sistemi ile yapılabilir. Uygulama aşamasında Bursa ilinde evlat edinmek için kuruma başvuran ebeveyn adaylarının başvuruları sıralanmıştır. Bilgi sisteminin veri tabanı geliştirilerek Türkiye genelinde sistemin kullanımı sağlanabilir. Oluşturulan bilgi sistemine farklı ÇÖKV yöntemleri eklenerek sıralama yapılabilir.

Kaynaklar

Akçin, E. (2019). *Evlat Edindirmede Aile Seçim Sürecinin AHP ve TOPSIS Tabanlı Bilgi Sistemi ile Değerlendirilmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

Aydın, G. (2008). *Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Bir Sanayi İşletmesinde Uygulanması*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kocaeli.

Chang, T. H. and Wang, T. C. (2007). Application of TOPSIS in Evaluating Initial Training Aircraft Under a Fuzzy Environment. *Expert Systems with Applications*, 33(4), 870-880.

Dağdeviren, M., Yavuz, S. ve Kılınç, N., (2009), Weapon Selection Using the AHP and TOPSIS Methods Under Fuzzy Environment, *Expert Systems with Applications*, 36, 8143-8151.

Giray, F. K., (2001). Uluslararası sözleşmelerde evlat edinme. *Milletlerarası Hukuk ve Milletlerarası Özel Hukuk Bülteni*, 1(2), 333-350.

Kahraman, C., Cebeci, U. ve Ruan, D. (2004). Multi-attribute Comparison of Catering Service Companies Using Fuzzy AHP: The Case of Turkey. *International Journal of Production Economics*, 87(2), 171-184.

Kuruüzüm, A. ve Atsan, N. (2001). Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve İşletmecilik Alanındaki Uygulamaları. *Akdeniz Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (1), 83-105.

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

KİREMİT ATIĞI KATKILI HARÇLARIN DAYANIM ÖZELLİKLERİ

Aylin Akyıldız¹

¹*Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çorlu, Tekirdağ. E-mail: aakyildiz@nku.edu.tr*

1. Giriş

Dünya, küresel ısınma, orman yıkımı ve çevre kirliliği gibi çevresel sorunlarla karşı karşıya kalmıştır. Çevre sorunlarının başında, doğal kaynakların aşırı tüketilmesi ve gelecek nesillere bunların yeterli miktarda aktarılamaması gelmekte, bu noktada da sürdürülebilirlik konusu büyük önem kazanmaktadır (Kaçar, 2018).

Günümüzde artan sanayi faaliyetleri doğal kaynakların tüketimi ile birlikte atık miktarlarının artmasına sebep olmuştur. Oluşan atıkların taşınması, depolanması ve bertarafı ciddi maliyetler oluşturmaktadır (Demir vd., 2014).

Yapı malzemeleri üretiminde atıkların kullanılması, maliyeti düşürmek ve çevre kirliliğini azaltmak açısından önemli hale gelmiştir. Ülkemizde evlerden, küçük işyerlerinden ve fabrikalardan çıkan cam, metal, plastik, kâğıt ve tuğla, kiremit gibi geriye kazanılabilir atık miktarı ise yılda 2-2,5 milyon tondur (Mançuhan, 2006). Bu atıkların değerlendirilmesi ile hem daha ucuz ve kaliteli malzeme üretimi, enerji tasarrufu ve atık malzemenin geri dönüştürülmesi ile ülke ekonomisine katkı sağlanmış hemde bunların yanında doğal hammadde ile ekolojik denge korunmuş ve çevre kirliliği önlenmiş olacaktır (Murathan vd., 2013; Karagözoğlu vd., 2009; Koçak, 2008).

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de çimento, inşaat sektörünün en fazla kullandığı bağlayıcı maddelerindedir. Yapı sektörünün gelişmesiyle birlikte çimento tüketimi de artmaktadır. Çimento sanayinde tamamen yerli hammadde kullanılmasına rağmen yüksek enerji maliyetleri, üretimi olumsuz etkilemekte ve karbon üreten bir

süreç olması nedeniyle de küresel ısınmada önemli bir etkisi bulunmaktadır. Bu sebeple, çimento sektörünün kullandığı malzemelerin çevresel etkileri ve enerji tüketimi, bilimsel ve dünya gündeminin önemli konularındandır. Bütün bunlara ek olarak çimentoları iyileştirme, daha kaliteli, verimli ve ekonomik hale getirecek hammadde arayışları devam etmektedir (Yıldırım, 2001; Yılmaz, 2006; Kırgız, 2007).

Atık malzemelerini, ana malzemelerin miktarında azaltma yapılarak ana malzemelerin yerine kullanılmasıyla çevreye verilen zarar en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Böylece doğal kaynaklar daha iyi kullanılmış olacaktır (Çakar, 2009).

Türkiye’de TOBB verilerine göre tuğla ve kiremit toplamda 13.07 milyon m³ üretim kapasitesine sahiptir (Yem, 2015). Her yıl yaklaşık 250000 ton kiremit atığı oluşmaktadır (Dengiz, 2009; Köseoğlu vd., 2008; Yıldız, 2008). Bu atıkların değerlendirilmesi ile çevre kirliliğinin azalması ve atıkların ülke ekonomisine bir inşaat malzemesi olarak kazandırılması sağlanacaktır.

Bu çalışmada; çimento yerine farklı oranlarda kiremit atığı tozu katılarak üretilmiş harçların yapı malzemesi olarak kullanılabilirliği ve dayanım performansı değerlendirilmiştir. Bu amaçla; harç numunelerinin eğilme, basınç dayanımları ve ultrases geçiş hızı belirlenmiş ve referans numunesiyle karşılaştırılarak dayanım özellikleri değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Malzemeler

2.1.1. Çimento

Harç üretiminde, Limak çimento fabrikasından CEM I çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1: Çimentonun özellikleri

Bileşim (%)		CEM I 42.5 R
SiO ₂		21.44
CaO		61.66
Fe ₂ O ₃		3.90
Al ₂ O ₃		4.96
SO ₃		3.38
MgO		1.31
Na ₂ O/K ₂ O		0.25/0.43
Cl ⁻		0.0324
H ₂ O		-
Kızdırma kaybı		1.82
Çözünmez kalıntı		0.56
Tayin edilemeyen kalıntı		0.82
S.CaO-Free Lime		1.50
<i>Fiziksel özellikler</i>		
Özgül ağırlık (g/cm ³)		3.14
Özgül yüzey (cm ² /g)		3500
Priz süresi (min)	Başlangıç	94
	Bitiş	145
Hacim genleşmesi (mm)		1
<i>Mekanik özellikler</i>		
Dayanım (MPa)	2 günlük	28.0
	7	41.3
	28	60.5
<i>Mineralojik bileşim</i>		
C ₃ S		33.37
C ₂ S		36.37
C ₃ A		6.55
C ₄ AF		11.87

2.1.2. Kum

Limak çimento fabrikasından temin edilen CEN Standart Kumunu kullanılmıştır. Tane büyüklüğü dağılımına Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. CEN referans kumu tane büyüklüğü dağılımı

Kare göz açıklığı (mm)	2,00	1,60	1,00	0,50	0,16	0,08
Elekte kalan yığılımlı (%)	0	7 ± 5	33 ± 5	67 ± 5	87 ± 5	99 ± 1

2.1.3. Tuğla tozu

Harç üretiminde, kiremit atığı temin edilmiştir. Bu atık kiremitler laboratuarda çekiç aleti yardımı ile ufalanıp gerekli elek analizleri yapılarak harç yapımında kullanılmıştır. Kiremit atık tozunun özgül ağırlığı 2.80 g/cm³ tür.

2.2. Yöntem

Deneylerde kullanılmak üzere hazırlanan harç TS EN 196-1 standardına göre üretilmiştir. Harcın bileşim oranları kütlece 1:3:1/2 sırasıyla çimento: kum: su kullanılmıştır. Su/çimento oranı 0.50'dir. Üretim sırasında kullanılan malzeme miktarları Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Karışım değerleri

Deney Adı	Su (g)	Kum (g)	Çimento (g)	Kiremit Atığı Tozu (g)
K0	225	1350	450	0
K2	225	1350	441	9
K4	225	1350	432	18
K6	225	1350	423	27
K8	225	1350	414	36
K10	225	1350	405	45
K15	225	1350	387	63
K20	225	1350	360	90

Öncelikle su ve çimento harç mikserine konulup karıştırılmış daha sonra kiremit atığı ilave edilip, 30 s sonra kum ilave edilmiştir. Karıştırmaya 30 s daha devam edilmiştir. Mikser, 90 s sonra

durdurulmuştur. Kabin kenarlarından harç sıyrılıp ve kabin ortasına toplanmış, karıştırmaya 60 s daha devam edilmiştir. Hazırlanan harç karışımları 40x40x160 mm boyutlarındaki kalıplara yerleştirilmiştir. Kalıplara yerleştirilen numuneler bir gün sonra kalıptan çıkarılmış ve kür havuzuna yerleştirilmiştir. 20 °C'lik kür havuzunda 28 gün bekletilmiştir.

28 gün kür edilmiş 40x40x160 mm boyutundaki numuneler, ilk önce ultrases geçiş hızı, eğilme deneyine daha sonrada basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Böylece üretilen numunelerin dayanım durumları ortaya konulmuş ve değerlendirilmiştir.

2.2.1. Eğilme dayanımı

Kür süresini sonunda numunelerin eğilme dayanımını deneyleri yapılmıştır. Deneyde; numuneler açıklığı 100 mm olan iki mesnet üzerine yerleştirilmiştir. Açıklığın tam ortasından P yükü kırılıncaya kadar artırılmış ve kırma yükü belirlenmiştir. Eğilme dayanımı (1) bağıntısına göre hesaplanmıştır (TS EN 196-1).

$$R_f = \frac{1.5xF_t x\ell}{b^3} \quad (2.1)$$

R_f : Eğilme dayanımı, MPa

b : Prizmanın kare kesitinin kenar uzunluğu, mm

F_t : Prizmanın kırıldığı anda ortasına uygulanan kuvvet, N

ℓ : Mesnet silindirleri arasındaki uzaklık, mm

2.2.2. Basınç dayanımı

Eğilme deneyinden sonra iki parçaya ayrılmış olan yarım prizmaların yarım parçası, plâkaları arasına merkezlenerek uzunlamasına yerleştirildi. Yük düzgün şekilde, prizma kırılana kadar artırılmıştır. Basınç dayanımı (2) bağıntısına göre hesaplanmıştır (TS EN 196-1).

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (2.2)$$

R_c : Basınç dayanımı, MPa

F_c : Kırılmadaki en büyük yük, N

1600 : Plakaların (40x40 mm) alanı, mm²

2.2.3. Ultrases geçiş hızı

Ultrases geçiş hızı deneyi TS EN 12504-4'e göre yapılmıştır. Ultrases geçiş hızı deneyi (3) bağıntısına göre hesaplanmıştır.

$$V = \frac{t}{S} \times 1000 \quad (2.3)$$

V: Ses st dalga hızı (km/s),

S: ses üstü dalga gönderilen yüzeyi ile dalganın alındığı yüzey arasındaki mesafe (m),

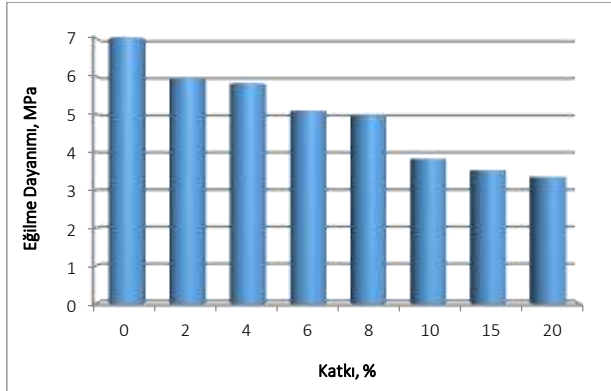
t: Ses st dalganın numune üzerinden geçme süresi, μ s

3. Araştırma Bulguları

3.1. Deneysel Sonuçlar

3.1.1. Eğilme dayanımı

Sertleşmiş harç numunelerinin 28 günlük eğilme dayanımı değerleri Şekil 1'de verilmiştir.



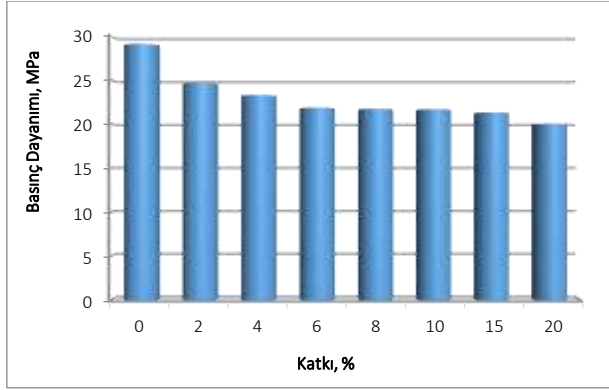
Şekil 1. Eğilme dayanımı

Şekil 1 incelendiğinde, kiremit atığı tozu oranı arttıkça 28 günlük eğilme dayanımlarında ters orantılı bir azalma eğilimi gözlenmiştir. Kontrol numunesine göre değerlendirdiğinde, %2 ve %4 oranları

kontrol numuneye en yakın değerleri almıştır. Kontrol numunesinde eğilme dayanımı 7 MPa iken, %2 katkı oranında 6 MPa değerine ulaşmıştır. En düşük dayanımı %20 katkı oranında almıştır.

3.1.2. Basınç dayanımı

Harç numunelerinin 28 günlük basınç dayanımı değerleri Şekil 2'de verilmiştir.



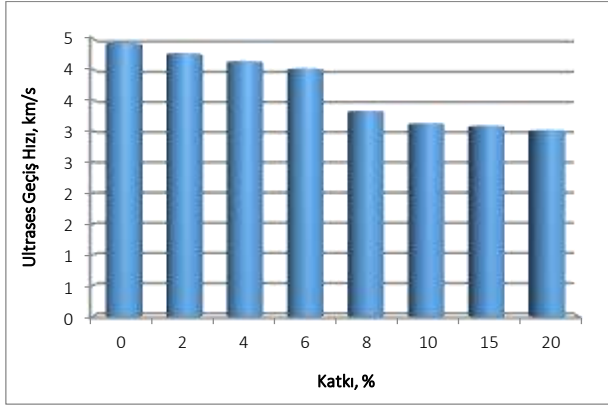
Şekil 2. Basınç dayanımı

Üretilen numunelerde en yüksek dayanım kontrol numunesinde, en düşük dayanım ise %20 katkı oranı numunelerde saptanmıştır. Harcın içerisine ilave edilen kiremit tozu katkısı kullanılarak üretilen numunelerin 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde, %2 katkı yüzdesinde basınç dayanımı kontrol numunesi göre en yakın değeri aldığı Şekil 2'de görülmektedir.

Diğer katkı oranlarında numuneler bu dayanımı sağlayamamışlardır. Bunu nedeni fazla toz malzemenin çimento ile yer değiştirilmesi sonucu bağlayıcı miktarının azalması olduğu söylenebilir. Özellikle yüksek oranlarda katılan atığın toz malzemelerin miktarının fazla olması, yerleşme boşlukları nedeniyle numunelerin dayanımlarını düşürmüştür.

3.1.3. Ultrases Geçiş Hızı

Bir beton ortamında ölçülen sismik dalga hızları o ortamın doluluğu hakkında yeterli ve güvenilir bir fikir vermektedir. Beton ortamında ses geçiş hızının yüksek olması ortamın dolu olduğunu, düşük olması bir miktar boşluk içerdiğini göstermektedir (Kaçar, 2018). Sertleşmiş harç numunelerinin 28 günlük ultrases geçiş hızı değerleri Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Ultrases Geçiş Hızı

Şekil 3'den görüleceği üzere, harç numunelerinin ultrases geçiş hızı değerleri, kiremit atığı tozu oranındaki artışa bağlı olarak azalmıştır. Bu azalmalar basınç ve eğilme dayanımlarındaki dayanım kayıplarında da görülmektedir. Harç numunesine katılan kiremit atığı katkı ilavesi harcın ultrases geçiş hızını düşürmüştür

. Neville ve Brooks (1993) normal betonlarda, iyi kalitedeki bir betonun ultrases geçiş hızının 4.1 - 4.7 km/s arasında olması gerektiğini belirtmişlerdir. Çalışma kapsamında üretilen numunelerin ultrases geçiş hızları 28. günde kontrol numunesinde 4.41 km/s, %6 oranında 4 km/s iken %20 katkı oranında 3.00 km/s arasında değişmektedir. 28 günlük numunelerin ultrases ses geçiş hızı değerleri incelendiğinde, %6 katkı oranına kadar beton kalitesinin iyi olduğu görülmektedir.

4. Sonuç ve Tartışma

Yapılan bu çalışma, kiremit atığı tozunun yapı malzemesi olarak kullanılabilirliği ve dayanım performansını değerlendirmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kiremit atığı tozu katkılı harç numunelerinin, ultrases geçiş hızı, eğilme ve basınç dayanımı değerlerinin azalma gösterdiği şekillerde görülmüştür. Eğilme dayanımı %2 katkı oranında katkısız numuneye en yakın değer almıştır. Katkı oranının artmasıyla ultrases geçiş hızında %6 oranından sonra belirgin düşmeler gerçekleşmiştir. Ülkemizde atıkların geri kazanımı konusunda oluşturacağı bilinç yaşadığımız dünyaya yansımaktır. Kaynaklarımızın sınırlı olduğu ülkemizde geri dönüşüm uygulamalarının inşaat sektöründe potansiyel bir hammadde kaynağı olduğu unutulmamalıdır.

Kaynaklar

- Çakar, B., 2009. *Esnek Üst Yapılarda Tuğla Kırığı Atıkları Kullanımının Deneysel Olarak İrdelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Demir, İ., Başpınar, M. S., Abadan, S., Kahraman, E., Ünal, O., 2014. *Mermer Tozunun Gazbeton Üretiminde Geri Dönüşüm Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması*. 2. Uluslararası Çevre ve Ahlak Sempozyumu.
- Dengiz, E., 2009. *Değirmisaz Kömür Üstü Atıklarının Tuğla Üretiminde Kullanılabilirliği*, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 52s, Kütahya.
- Kaçar, A., 2018. *Atık kağıt katkılı çimento harçlarının bazı mekanik özellikleri*, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 6(1), 1-6.
- Karagözoğlu, M. B., Özyonar, F., Yılmaz, A., Atmaca, E., 2009. *Katkı Atıkların Yeniden Kazanımı ve Önemi*, Türkiyede Katı Atık Yönetimi Sempozyumu.
- Kırgız, M. S., 2007. *Mermer ve Tuğla Endüstrisi Atıklarının*

Çimento Üretiminde Mineralojik Katkı Olarak Kullanılması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 228s, Ankara.

Koçak, Y., 2008. *Çimento-Puzolan Etkileşiminde Moleküler Ve Elektrokinetik Davranışların Araştırılması.* Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 161 s, Ankara.

Köseoğlu, K., Bayça, S. U., Çiçek, T., 2008. *Tuğla Atığının Tuğla Üretiminde Değerlendirilmesi.* Celal Bayar Üniversitesi, Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi, 1, 9.

Mançuhan, E., Küçükada, K., 2006. *Optimization of fuel and air use in a tunnel kiln to produce coal admixed bricks.* Volume 26, Issues 14–15, Pages 1556-1563.

Murathan, A, Asan, A, Abdulkarem, T. A., 2013. *Çevresel Atıkların Yapı Malzemesinde Değerlendirilmesi.* Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 28, No 2, 409-416.

Neville, A. M. and Brooks, J. J., 1993. *Concrete Technology.* Longman Scientific and Technical, USA

Yapı Endüstri Merkezi, 2015. Türk Yapı Sektörü Raporu.

Yıldırım, E., 2001. *Çorum'da Kullanılan Tuğla Atıklarının Tekrar Değerlendirilmesinin Araştırılması,* Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 83s, Ankara.

Yıldız, K., 2008. *Farklı Tuğla Fabrikası Atıklarının Tuğla Üretiminde Kullanılabilirliği,* Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, (2) 31-41.

Yılmaz, B., 2006. *Na-CMC Polielektrolitik İlavésinin Puzolanlı Çimento Özelliklerine Etkisi.* Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11, 143- 154.

TS EN 197-1, 2012. *Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri.* Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

TS EN 1304, 2016. atı kiremitleri ve bağlantı parçaları - Kilden imal edilmiş - tarifler ve zellikler. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 196-1, 2016. Çimento deney metotları - Bölüm 1: Dayanım tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12504-4, 2004. Beton deneyleri - Bölüm 4: Ultrases geçiş hızının tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TARİHİ ÇEÇEN SÜLEYMAN EFENDİ KONAĞINDA KULLANILAN HARÇLARIN BAZI ÖZELLİKLERİ

Hülya Aktaş¹

*¹Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği ABD, 06500
Beşevler-ANKARA. E-mail: kurthulya88@gmail.com*

H. Yılmaz Aruntaş²

*²Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06500
Beşevler-ANKARA. E-mail: aruntas@gazi.edu.tr*

1. Giriş

Tarihi yapılar, doğa koşullarından modern yapılara göre daha fazla etkilenmektedir. Çünkü bu yapıların inşasında ve süslemesinde kullanılan geleneksel malzemeler, teknolojik imkânlarla olumsuz yönlerinden arındırılmamış özgün malzemelerdir. Aynı zamanda da bu tarihi yapılarda insanların bilinçsiz tahribatları veya hayvanların çeşitli sebeplerle verdikleri zararlar olduğu bilinmektedir. Ulusların varlık göstergesi olan tarihi yapıların, özgün özelliklerini koruyarak ve kültür mirası olarak gelecek kuşaklara ulaşabilmesi için özgün özelliklerinin doğru bir şekilde belirlenmesi ve bu yapıların onarımında kullanılacak uygun özgün yeni malzemelerin geliştirilerek üretilmesi, üretilen bu malzemeler kullanılmak suretiyle doğru bir restorasyon çalışması yapılması önem arz etmektedir.

20. yüzyılın başında yaşanan göç dalgası ile Osmanlı Devleti topraklarına göç eden Çeçenlerin bir kısmı, devlet tarafından Konya ili Beyşehir ilçesinde kurulan mahallelere yerleştirilmiştir. Dönemin ileri gelenlerinden ve Beyşehir’de bulunan 7. Süvari Alayının da kumandanı olan Çeçen Süleyman Efendi’nin konağı da bu mahallelerden biri olan Hamidiye mahallesinde bulunmaktadır (Muşmal, 2005).

Tarihi Türk evleri ve tarihi yapılarda kullanılan harçlar ve restorasyon çalışmalarında kullanılacak yeni harçların kompozisyonlarının belirlenmesi üzerine literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır.

Hatipoğlu (2015) tarihi Beypazarı evlerini incelediği çalışmasında, bu evlerin plan, iç mekân düzeni, güneşe yönelimi, kullanılan doğal malzemeler ve enerji kullanımı açısından sürdürülebilir olduğunu vurgulamıştır.

Yine Beypazarı evlerini konu alan Uruk ve Çelebi (2005)’nin yapmış olduğu araştırmada, yöreye özgü “tatlı sıva” ele alınmış, yörede kullanılan

mevcut sıvaların bileşenleri ve bileşenlerin boyut ve miktarları gözlemsel olarak ve teknik analizlerle tespit edilmiş, bağlayıcı malzemenin üretimi, sıva hazırlanması ve uygulanması süreçleri de yerinde tespit edilmiştir.

Kayseri yöresinde bulunan Roma, Bizans, Selçuklu, Osmanlı dönemlerinde inşa edilen 15 yapıyı ele alan bir çalışmada, bu yapılarda kullanılan sıva ve duvar örgü harçlarının karakteristikleri belirlenerek, yapıların onarımında kullanılabilecek harçlara ilişkin öneriler geliştirilmiştir (Kozlu, 2010).

Çukurova Bölgesinde (Kilikya) bulunan ve dört farklı dönemde inşa edilen toplam 16 yapıyı ele alan çalışmada ise, bu yapılarda kullanılan orijinal harçların özellikleri, kireç esaslı malzemelerde meydana gelen bozulmalar ve nedenleri tanımlanmıştır. Ardından bu yapılarda oluşan malzeme kaynaklı sorunların tespitinde uygulanacak yöntemler ve yapıların orijinal harçları ile uyumlu onarım harçları geliştirilerek restorasyon çalışmalarına katkı sağlayacak şekilde onarım harçlarının karışım oranlarına ilişkin bir sonuç tablosu hazırlanmıştır (Pekmezci, 2012).

Saydan (2015) Konya bölgesindeki tarihi yapılarda sıklıkla kullanılan sille taşının özelliklerini deneysel olarak araştırmıştır. Bu amaçla, bölgede bulunan volkanik lav ve tüflerden numuneler alınmış, bu numunelerin mineralojik ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. İlave olarak bazı numunelerin puzolanik aktivite gösterdikleri de tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, deneysel çalışmaları devam eden Konya-Beyşehir'de bulunan Çeçen Süleyman Efendi Konağı olarak bilinen tarihi yapının sıva harçlarının özelliklerinin belirlenmesini kapsayan araştırmanın ön sonuçları kullanılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışmanın materyalinin alındığı bina Konya ili Beyşehir ilçesinde bulunan Çeçen Süleyman Efendi Konağıdır. Çalışma kapsamında ön deneyleri tamamlanan ikisi iç cephe kaba sıvası ikisi de dış cephe sıvası olmak üzere dört adet sıva örneğinin bazı özellikleri değerlendirilmiştir.

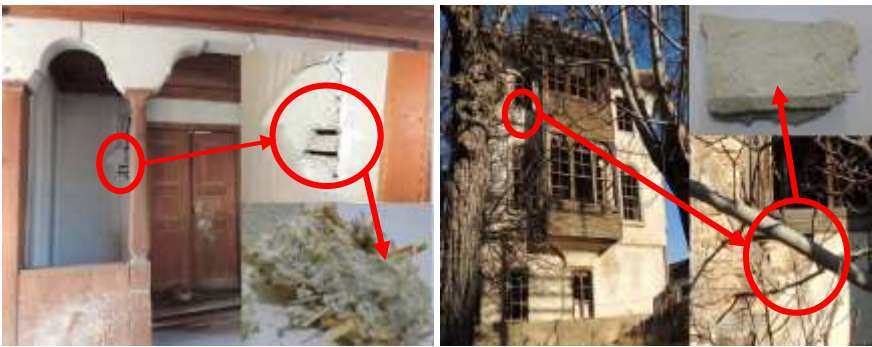
Tablo 2. Numunelerin kodlanması

Numune kodu	Alındığı yer	Numune açıklaması
İAS1	2. kat sofa 2 nolu oda duvarı	İç cephe kaba sıva numunesi
İAS2	1. kat 2 nolu oda duvarı	İç cephe kaba sıva numunesi
DŞS1	2. kat 3 nolu oda duvarı	Dış cephe sıva numunesi
DŞS2	1. kat 2 nolu oda duvarı	Dış cephe sıva numunesi

Birinci kattan alınan sıva numuneleri ile alındıkları noktalar Şekil 1’de, ikinci kattan alınan sıva numuneleri ile alındıkları noktalar Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Birinci kattan alınan iç cephe kaba sıva numunesi (İAS2-solda) ve dış cephe sıva numunesi (DŞS2-sağda)



Şekil 2. İkinci kattan alınan iç cephe kaba sıva numunesi (İAS1-solda) ve dış cephe sıva numunesi (DŞS1-sağda)

Çalışmalara başlanılmadan evvel Çeçen Süleyman Efendi Konağı hakkında ön araştırmalar yapılarak tescil durumu tespit edilmiş ve binada kullanılan malzemelerin özgünlüğünü anlamak adına ön ziyaret gerçekteştirilmiştir. Ardından T.C. Kültür Bakanlığı Konya Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu Müdürlüğü'nden gerekli yasal izinler alınmıştır. Daha sonra ise Ankara'dan ekip olarak Beyşehir'e gidilmiş ve ilk olarak Çeçen Süleyman Efendi Konağının iç ve dış cepheleri fotoğraflanmıştır. Binada kullanılan özgün harçların özellikleri araştırıldığından numune alımı için tahrip olmamış ve onarılmamış sıvaların bulunduğu yerler belirlenmiştir. Belirlenen noktalardan, yapıya zarar vermeden numuneler alınarak daha önceden hazırlanan krokiler üzerine numune alım noktaları işaretlenmiştir. Alınan sıva numuneleri çift kat kilitli torba içerisine konulmuş ve torbalar üzerine numune kodları yazılmıştır. Ankara'ya getirilen numuneler deney gününe kadar Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliğı Bölümü Yapı Malzemesi laboratuvarında muhafaza edilmiştir.

Numunelerin birim hacim ağırlık, yoğunluk, su emme oranı ve porozite değerleri Yapı Malzemesi laboratuvarında yapılan bir dizi deneyle tespit edilmiştir. Bahsedilen deneyler TS-EN 1936 standardı çerçevesinde yapılmış ve numunelerin birim hacim ağırlık, yoğunluk, su emme oranı ve porozite değerleri belirlenmiştir. Deneyler ve hesaplamalar sonucu elde edilen birim hacim ağırlık, yoğunluk, su emme oranı ve porozite değerleri Tablo 2'de verilmektedir.

Numunelerin kimyasal ve mineralojik özelliklerini belirlemek amacıyla MTA Genel Müdürlüğü Laboratuvarlarında XRF ve XRD analizleri yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Sıva numunelerinin fiziksel özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Numuneler üzerinde yapılan gözle muayenede harç karışımında yoğun olarak saman ve keçi kılı katkısı kullanıldığı görülmüştür.

Tablo 3. Fiziksel Özellikler

Numune kodu	Doğal nem (%)	Yoğunluk (g/cm ³)	Birim hacim ağırlık (g/cm ³)	Porozite (%)
İAS1	1,85	2,40	1,95	18,59
İAS2	2,64	2,48	1,62	34,71
DŞS1	1,69	2,42	1,85	23,82
DŞS2	1,41	2,31	1,80	22,21

İç cephe sıvalarının özellikleri değerlendirildiğinde, İAS1 numunesinin doğal nem oranı %1,85 iken İAS2 numunesinin doğal nem oranı %2,64'tür, yani İAS2 numunesi daha yüksek bir nem oranına sahiptir. İki numunenin yoğunlukları birbirine oldukça yakındır; İAS1 2,40 g/cm³, İAS2 ise 2,48 g/cm³ yoğunluktadır. Ancak birim hacim ağırlık söz konusu olduğunda İAS1 1,95 g/cm³ ve İAS2 1,62 g/cm³ değerleri elde edilmiştir. İki numunenin birim hacim ağırlık değerleri arasındaki bu fark porozitede ortaya çıkan farkı da açıklamaktadır. Porozite ve doğal nem oranları arasındaki fark da benzerlik göstermektedir. Burada boşluk oranını ve birim hacim ağırlığı belirleyen faktörün İAS2 numunesinde bulunan lif katkısı yani saman miktarı olduğu gözlemsel inceleme ile anlaşılabilir.

Dış cephe sıvalarının özellikleri değerlendirildiğinde, DŞS1 numunesinin doğal nem oranı %1,69 iken DŞS2 numunesinin doğal nem oranı %1,41'dir. İki numunenin yoğunluk ve birim hacim ağırlık değerleri birbirine oldukça yakındır, dolayısıyla porozite değerleri de benzerdir. DŞS1 için yoğunluk, birim hacim ağırlık ve porozite değerleri sırasıyla 2,42 g/cm³, 1,85 g/cm³ ve %23,82'dir; DŞS2 için ise bu değerler yine sırasıyla 2,31 g/cm³, 1,80 g/cm³ ve %22,21'dir.

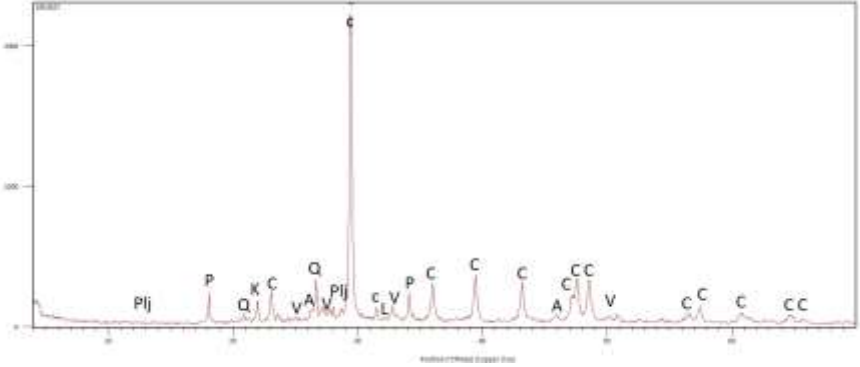
Numunelerin XRF analizi ile içeriklerindeki oksitlerin ve ateş kaybının oranları belirlenmiş ve deney sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. Tüm numunelerde en yüksek oranda kalsiyum oksite (CaO) rastlanılmıştır. Bu durum harçlarda bağlayıcı olarak kireç kullanıldığını göstermektedir. Numunelerin içeriğinde kalsiyum oksitten sonra en çok silisyum oksit, alüminyum oksit ve demir oksit bulunmaktadır. Bu oranlar numunelerde az da olsa kil içeriğine işaret etmektedir. Bu içerik harçlarda kullanılan agregadan kaynaklanabileceği gibi kireç taşının safsızlığından da kaynaklanabilir. Numunelerin XRF analizi sonuçları Tablo 3'te verilmektedir.

Tablo 4. Sıva numunelerin XRF analizi sonuçları

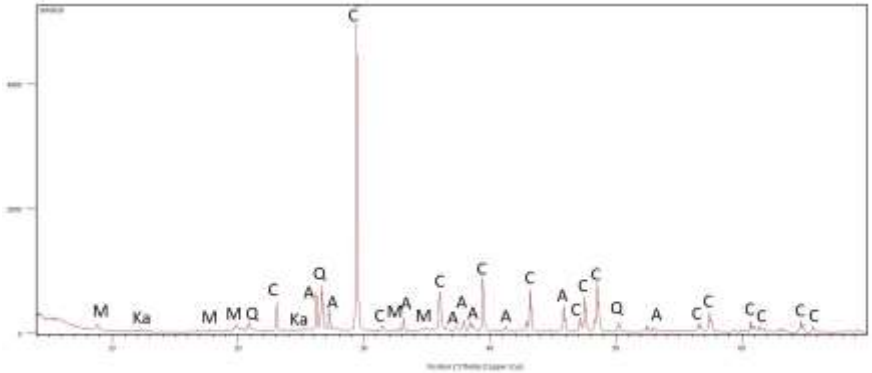
Numune Kodu \ Oksit	CaO (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	K ₂ O (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Na ₂ O (%)	ZnO (%)	SrO (%)	TiO ₂ (%)	BaO (%)	Ateş kaybı (%)
İAS1	39,7	24,2	4,5	1,5	1,2	0,7	0,31	0,9	0,16	0,04	0,01	0,03	26,4
İAS2	40,3	13,6	4,3	2,2	0,7	0,6	0,13	0,1	0,07	0,04	0,01	0,01	37,4
DŞS1	49,3	7,4	1,4	0,8	0,3	0,4	0,34	0,2	0,19	0,03	0,01	0,02	39,4

DŞS2	45	13,8	2,4	1	0,8	0,6	1,37	0,4	0,04	0,04	0,01	0,02	34,2
------	----	------	-----	---	-----	-----	------	-----	------	------	------	------	------

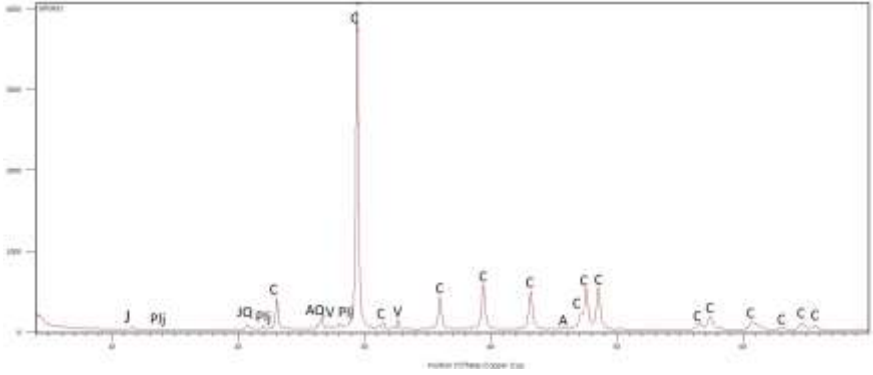
Numunelerin mineralojik özelliklerini tespit etmek amacıyla yapılan XRD analizleri sonucunda yüksek oranda kalsit, kuvars, plajiyoklas ve aragonit minerallerine rastlanılmıştır. XRD analizi sonucunda elde edilen difraktogramlar, üzerine minerallerin kısa adları işaretlenerek Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmiştir.



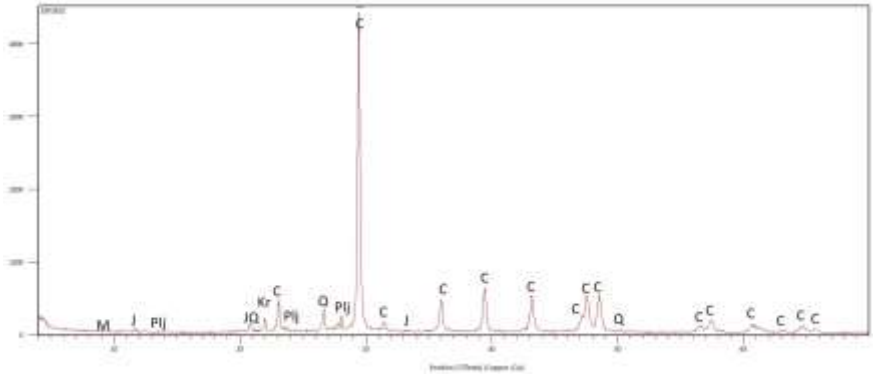
Şekil 3. İAS1 XRD difraktogramı



Şekil 4. İAS2 XRD difraktogramı



Şekil 5. DSS1 XRD difraktogramı



Şekil 6. DSS2 XRD difraktogramı

Difraktogramlarda; A: aragonit, C: kalsit, Q: kuvars, J: jips, M: mika, Plj: plajiyoklas, V: vaterit, P: portlandit, Kr: kristobalit ve Ka: kaoleni temsil etmektedir.

XRD analizi sonuçları değerlendirildiğinde harç numunelerinde kullanılan ana bağlayıcı maddenin kalsit olduğu söylenebilir. Kuvars ve diğer minerallerin ise agrega kaynaklı olduğu anlaşılmaktadır.

İAS1 numunesi dışında kalsiyum alüminat hidrat, portlandit, tobermorit izine rastlanmamış olması sıvalarda hidrolik kireç kullanılmadığına işaret etmektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Sıva numunelerinin doğal nem değerleri İAS1, İAS2, DSS1 ve DSS2 için sırasıyla %1.85, %2.64, %1.69 ve %1.41 olarak tespit edilmiştir.
2. Sıva numunelerinin yoğunlukları İAS1, İAS2, DSS1 ve DSS2 için sırasıyla 2,40 g/cm³, 2,48 g/cm³, 2,42 g/cm³ ve 2,31 g/cm³ arasındadır.

3. Sıva numunelerinin birim hacim ağırlığının İAS1, İAS2, DŞS1 ve DŞS2 için sırasıyla 1,95 g/cm³, 1,62 g/cm³, 1,85 g/cm³ ve 1,80 g/cm³ arasında değişmektedir.
4. Sıva numunelerinin porozitesinin İAS1, İAS2, DŞS1 ve DŞS2 için sırasıyla %18,59, %34,71, %23,82 ve %22,21 olduğu belirlenmiştir.
5. Sıva numunelerinin ateş zayıyatı ise İAS1, İAS2, DŞS1 ve DŞS2 için sırasıyla %26.4, %37.4, %39,4 ve %34.2 olarak tespit edilmiştir.
6. İç sıva numunelerinin XRD analizlerinde İAS1 için yoğunlukla kalsit, kuvars ve portlandit minerallerine, İAS2 için kalsit, kuvars ve aragonit minerallerine rastlanmıştır.
7. Dış sıva numunelerinin XRD analizlerinde ise hem DŞS1 hem de DŞS2 için yoğunlukla kalsit, kuvars ve plajiyoklas minerallerine rastlanmıştır.

Kaynaklar

Hatipoğlu, E., (2015), *Geleneksel Beypazarı Evlerinin Sürdürülebilir Mimarlık İlkeleri Kapsamında Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 97-99.

Kozlu, H.H., (2010), *Kayseri Yöresindeki Tarihi Harçların Karakterizasyonu ve Onarım Harçlarının Özellikleri*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Muşmal, H., (2005), *XIX. Yüzyılın İlk Yarısında Beyşehir ve Çevresinin Sosyal ve Ekonomik Yapısı (1790 – 1864)*, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya 27 – 217.

Polat Pekmezci, I., (2012), *Çukurova Bölgesindeki (Kilikya) Bazı Tarihi Yapılarda Kullanılan Harçların Karakterizasyonu ve Onarım Harçları İçin Öneriler*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Saydan, M., (2015), *Konya Bölgesindeki Tarihi Yapılarda Sıklıkla Kullanılan Sille Taşının Bazı Mekanik, Mineralojik, Jeokimyasal ve Puzolanik Özelliklerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya 55-94.

TS EN 1936, Doğal Taşlar - Deney Yöntemleri - Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

Urak, G., Çelebi, G., (2005), *Beypazarı Geleneksel Evlerinde Uygulanan “ Tatlı Sıva” Üzerine Bir İnceleme*, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 20, No:3, 401 – 409.

YAYILI YÜK İLE YÜKLENMİŞ AHŞAP KİRİŞLERDE KALICI SEHİM İNCELENMESİ

Fatuma Mashaka Khamsını^{*1}

Doğan Emrah Kütükçü¹

¹ Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye. E-mail: fatosm50@gmail.com & emrah1983@gmail.com

H. Yılmaz Aruntaş²

² Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye. E-mail: aruntas@gazi.edu.tr

Mustafa Altunok³

³ Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye. E-mail: altinok@gazi.edu.tr

1. Giriş

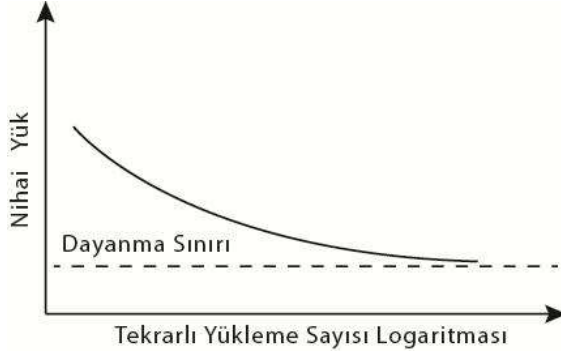
Ahşap malzeme, insanların kullandığı çeşitli yapı malzemelerinden en eski bilinenidir. Günümüzde başka geliştirilmiş yapı malzemeleri bulunmasına rağmen ahşabın taşıdığı bazı üstün özelliklerinden dolayı halen kullanımı tercih edilmektedir. Ahşap malzemenin kolay işlenmesi, insan vücudu ile uyumlu ve sağlıklı ortamlar sağlayan yapı malzemesi olması, düşük ısı ve ses geçirimsizliğine sahip olması, doğal rengi ile estetik görünüm sağlaması, liflere paralel basınç dayanımının yüksek olması, yorulma direncinin çelik ve betondan yüksek olması, yangın dayanımının iyi olması gibi sebeplerden ahşap malzemenin kullanımı her geçen gün daha da artmaktadır. Yapı tasarımında kullanılan malzemenin uzun süreli dayanabilmesi yani yorulma dayanımının yüksek olması çok önemlidir.

Yorulma; malzeme biliminde bir malzemenin tekrarlı olarak sürekli yüklemeye maruz kalması sonucu ilerlemeli ve yerel yapısal hasara uğramasıdır. Malzeme dereceli olarak artırılan yükler altında denenip belirli bir sınırdaki gerilime geldiğinde kopmakta veya kırılmaktadır.

Malzemenin değişken yüklere maruz kaldığı zaman ortaya çıkan kırılmanın tehlikeli bir şekline yorulma denir. Köprüler, binalar, ev vb. yapı malzemeleri döngüsel yüke maruz kalmaktadır. Ahşap ve ahşap esaslı kompozitler, birer yapı malzemesi olduklarından bunlarda oluşan yorulma, tasarım aşamasında emniyetli ve uzun süreli ayakta durabilmesi bakımından çok büyük önem taşımaktadır.

Yorulma deneylerindeki önemli öğelerden birisi de zamandır. Bir malzemenin yorulma özelliklerini belirlemede dayanma sınırındaki (fatigue endurance) bulgular çok önemlidir. Dayanma sınırı teorik olarak

kırılmanın olmadığı tekrarlardaki gerilme değeridir (Şekil 1) (Bodig ve Jayne, 1982).



Şekil 1. Tekrarlı yüklemelerde dayanma sınırı (Bodig ve Jayne, 1982)

Yorulma genelde S-N (stress düzeyine karşı döngü sayısı) diyagramı ile ifade edilir. Ahşap ve ahşap kompozit malzemeler için yıkımda gerilme seviyesi ve döngü sayısı (N) arasında lineer bir ilişki olduğu bulunmuştur (Cai, Z., vd., 1996; Lam, F., 1992).

Ayrıca, yorulma zamanla ortaya çıkan bir davranıştır. Bazı yapılan çalışmalarda malzemede oluşan hasarları belirlemek için farklı sürelerle kerestelerde yükleme yapılarak yorulma miktarı belirlenmiştir (F. Z., 1986a; Foschi, R.O ve Yao, F.Z 1986b; R. A, Folz B ve Yao; F. Z., 1989).

Bir başka çalışmada, lamine edilmiş ahşap örneklerde eğilmede yorulma deneyi araştırılmıştır. Tutkallı birleştirmelerin yorulma deneyi limitinde statik eğilme direncinin 1/5 ile 1/3' ü kadar olduğu ortaya koymuştur (Nagasawa vd., 1981).

Eckelman (1987) tarafından yapılan bir çalışmada, OSB de farklı yüklemeler altında yorulma davranışı ölçülmüştür. Araştırmada eğilme direncinin % 40 düzeyinde yapılan bir yüklemelerde malzemenin 1.000.000 tekrarı malzeme kırılmadan ölçülmüştür. Eğilme direncinin % 55'i düzeyinde yapılan tekrarlı yüklemelerde yorulma ömrünün azaldığı kaydedilmiştir. Sonucunda emniyet gerilmelerinin eğilme direncinin bir yüzdesi yerine yorulma direnci ile tahmin edilmesi gerektiği ortaya konulmuştur.

Başka yapılan bir çalışmada, masif ahşap ve lamine edilmiş ahşap malzemelerin tekrarlı ve geri çevrimli yükler altındaki yorulma özellikleri araştırılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre yorulma ömrü; uygulanan yükün statik dirence oranı olduğundan ağaç türünden bağımsızdır, ahşap rutubeti yorulmayı daha hızlandırarak malzeme yorulmaktadır. Yorulma ömrü geri çevrimli yüklemelerde daha düşük olarak kaydedilmişti (Tsai ve Ansell, 1990).

Bao ve Eckelman (1995) tarafından yapılan bir çalışmada; OSB, MDF ve yonga levha malzemenin kenar eğilme yorulma deneylerinde (edgewise

fatigue bending) % 40 eğilme direnci seviyesinde yapılan yüklemelerde 200.000 tekrara kadar malzemenin hasar görmeden dayandığı görülmüştür.

Diğer bir çalışmada; MDF, OSB ve yonga levhaların yorulma özellikleri kıyaslanmıştır. Çalışmada MDF'nin yorulma özelliğinin diğer iki malzemeye göre çok düşük değerde olduğu tespit edilmiştir. Düşük yükleme seviyelerinde bu malzemelerin yorulma özellikleri arasında bir farka rastlanmamıştır (Thompson vd., 2002).

Yıldırım vd. (2015) tarafından yapılan araştırmada, sarıçam ahşabın yorulma ömrünün, eğilme direnci gerilme seviyesinin %40 olduğunda 1 milyondan fazla devire ulaşırken, kayın ahşabınki ise %50' ye ulaştığı bulunmuştur.

Güntekin ve Yılmaz Aydın (2015) yaptıkları çalışmada, kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) örneklerde eğilme direncinin %30, 40, 50, 60 ve 70 seviyelerinde gerilme, dakikada 15 ve 20 çevrim olmak üzere yorulma yükleri uygulanarak yorulma ömürleri bulunmuştur. Kusursuz örneklerde %30 ve %40, yükleme seviyelerinde ortalama 1.000.000 üzeri tekrara ulaştığını sonucu bulunmuştur.

Gong ve Smith (2003), üçgen ve kare en kesit formlu masif odunun basınç yorulmasını araştırmışlardır. Çalışma sonucunda, kare formun en fazla hasar (yorulma) gördüğü ortaya konulmuştur.

Mühendislik malzemelerinde yorulma; daha çok ritmik etkili ve artan sürekli yükler karşısındaki malzemenin davranışı olarak incelenmiştir. Hâlbuki birçok sistem sabit ve durağan yüklerle yüklenip, herhangi bir ritmik değişim oluşmadan, uzun süreli yük altında kalmaya terkedilir. Örneğin; Bir konut yapısında tavan örtü elemanı ya da taşıyıcı kirişlerin yaklaşık sabit bir düzgün yayılı kullanım yükünü sürekli olarak taşıması gibi. Bu durumda, ritmik bir yük etkisi veya artan bir yük etkisinden bahsedilemez. Ancak, sabit bir mekân kullanım yükü (statik yük) altında uzun süreli yüklemenin mevcut olduğu söylenebilir. Böyle bir yüklemeye yorulma, kalıcı sehim oluşumu şeklinde meydana gelir. Bu tür bir yorulmada yük sabit olduğundan zaman faktörü daha çok önem kazanır.

Bu araştırmada, sabit yüklemeli (statik yük altında) konut yapısı taşıyıcı elemanlarından ahşap kirişlerin periyodik zamanlarda yüklemeye hemen sonra ve yük kaldırıldıktan hemen sonra kalıcı sehim miktarları ölçülerek yorulma davranışları incelenmiştir.

2. Malzeme ve Yöntem

Bu çalışmada, sarıçam ahşap ve polimer esaslı desmodur VTKA tutkal kullanılmıştır. Araştırma için sarıçam odunundan iki tür (masif ve lamine) malzeme çeşidi, iki tip (dolu ve kerte) gövdeli ve her düzeyden beş adet olmak üzere toplam 20 adet kiriş örneği hazırlanmıştır. Hazırlanan bu deney örneklerine statik yayılı yük ($q=3,125$ kg/cm birim değerinde 100 kg'lık) yüklenerek, yüklemeye hemen sonra 3., 60. ve 1440. dakikalarda olmak üzere arızalı olarak üç sehim ölçümü yapılmıştır. Ardından yük

kaldırıldıktan hemen sonra tekrar 3., 60. ve 1440. dakikalarda olmak üzere ardışık olarak mikron boyutunda üç sehime ölçümü daha yapılmıştır. İlk üç ölçümde maksimum sehime ulaşma süreci belirlenmiş, ikinci üç ölçümde ise yük kaldırıldıktan sonraki sehimin geri düzelleme süreci ve kalıcı sehime miktarları tespit edilmiştir. (Şekil 2-3)



Şekil 2. Dolu gövdeli örneklere yorulma (kalıcı sehime) deneyi



Şekil 3. Kertme gövdeli örneklere yorulma (kalıcı sehime) deneyi

Tespit edilen her bir sehime miktarının matematiksel ifadesi;

$$Y = \frac{1}{48} PL^3 / EI \text{ denklemdir.}$$

Bu denklemde; P: Yayılı yük (1000 N), L: Kiriş uzunluğu (800 mm), E: Eğilmede elastiklik modülü ortalama (9694,5 N/mm²) ve I: Atalet momenti: Dolu gövdeli kirişler için 669050,67 mm⁴, Kertme gövdeli kiriş için 87381,33 mm⁴ olarak alınmıştır. Bu denklemde sehim miktarını oluşturan öğelerden atalet momenti (I) hariç diğer değerler sabit (sabit=c) olduğundan $y = c/I$ olur. Buradan, her bir düzeyde kalıcı olarak belirlenen (yorulmuş) sehim miktarı son denklemde yerine konarak; toplam 3006 dakikalık yükleme süresindeki yorulma miktarı atalet momentinin 10^{-6} da biri olarak hesaplanmıştır.

3. Bulgular

Sarıçam odunundan gerçek boyutlu kirişlere göre 1/5 ölçeğinde geliştirilmiş dolu ve kertme gövdeli masif ve lamine kirişlerin orta noktalarında mikron düzeyinde yapılan periyodik ölçümlerden elde edilen ortalama sehim miktarları ve kalıcı sehim miktarı Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Çam türü ahşap kirişlerde yorulmaya bağlı sehim miktarı değişimi (mikron)

Eleman kodu	Yüklemeden hemen sonra Sehim miktarı (µm)			Yük kalktıktan hemen sonra (YKS) sehim miktarı (µm)			3006 dk kalıcı sehim (mm)
	3.dk	60.dk	1440.dk (max. sehim)	3.dk	60.dk	1440.dk (kalıcı sehim)	
DGÇ	167,4	169,3	177,2	107,3	103	86,3	0,0863
Y=c/I							0,0000089
DGLÇ	81,5	87,4	99,8	57,3	52,5	46,6	0,0466
Y=c/I							0,0000048
KGÇ	176,7	197,4	207,2	46,3	41	26,3	0,0263
Y=c/I							0,0000027
KGLÇ	205,3	224,7	274,5	64,2	51,6	13,6	0,0136
Y=c/I							0,0000014
DGÇ: Dolu Gövdeli Çam			DGLÇ: Dolu Gövdeli Lamine Çam				
KGÇ: Kertme Gövdeli Çam			KGLÇ: Kertme Gövdeli Lamine Çam				
Not: Sehim “(y)=1/48x(FxL ³)/ExI “buradan atalet momenti (I) hariç diğer değerler sabit (c) olduğundan $y=c/I$ olur.							

Bu çalışmada, kirişlerde sabit statik yük altında zamana bağlı olarak sehim ve kalıcı sehim miktarı tespit edilmiştir. Bu durumda Tablo 1’de sarıçam kirişler irdelendiğinde; toplam 3006 dakikalık deney zamanı süresince en büyük sehim (max. sehim) KGLÇ kirişte (274,5 mikron), en

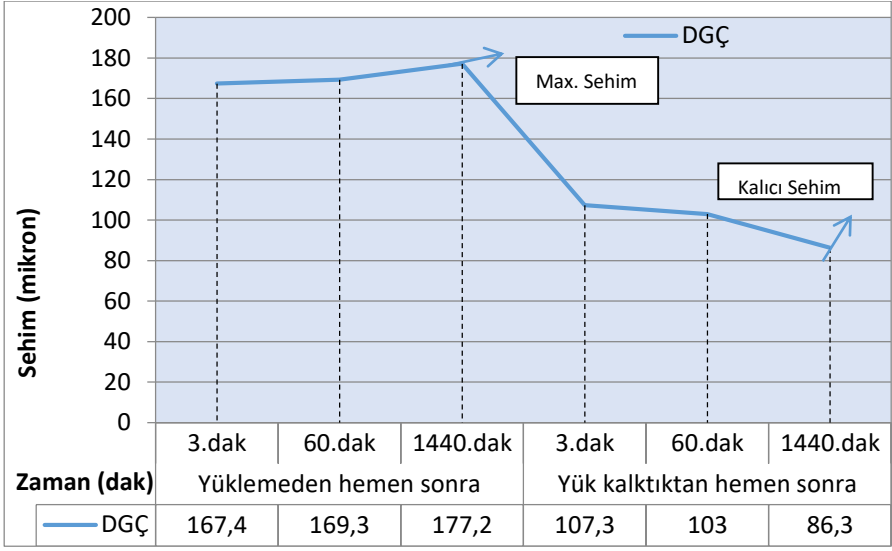
küçük sehim ise DGLÇ kirişte (99,8 mikron) meydana gelmiştir. Buna neden olarak, kertme işleminin kirişin ataletini azaltması ve laminasyonun ise elastikliği artırmasından kaynaklandığı söylenebilir. $Y=c/I$ değerleri incelendiğinde, masif kirişlere göre lamine kirişlerde yorulmanın %100 civarında azaldığı, bu durumda lamine kirişlerin kullanım süresinin iki kat uzadığı söylenebilir.

Bu sehimlerin değişim oranı; %74.8 ila %94.5' lik kısmı ilk 3 dakikada, %1.1 ila %9.9'luk kısmı sonraki 60 dakikada ve %4.4 ila %18.1'lik kısmı da son 1440 dakikada oluşmuştur. Örneğin üzerinden yük kaldırıldıktan sonra ilk 3 dakikada max. sehimin %22.1 ila %60.5' lik kısmı, sonraki 60 dakikada %2.3 ila %4.8' lik kısmı ve en son olarak 1440 dakikada %1.3 ila %10.3'lük kısmı düzelmiştir. Toplam 3006 dakikalık deney sonunda en büyük kalıcı sehim DGÇ kirişte 86.3 mikron, en küçük sehim ise KGLÇ kirişte 13.6 mikron meydana gelmiştir. Bunun nedeni, masif dolu gövdeli kirişlerde doğal ahşap kusurlarının bulunması ve kalıcı sehim atalet momentinin ters orantılı değeri olarak meydana gelmesinden kaynaklandığı söylenebilir.

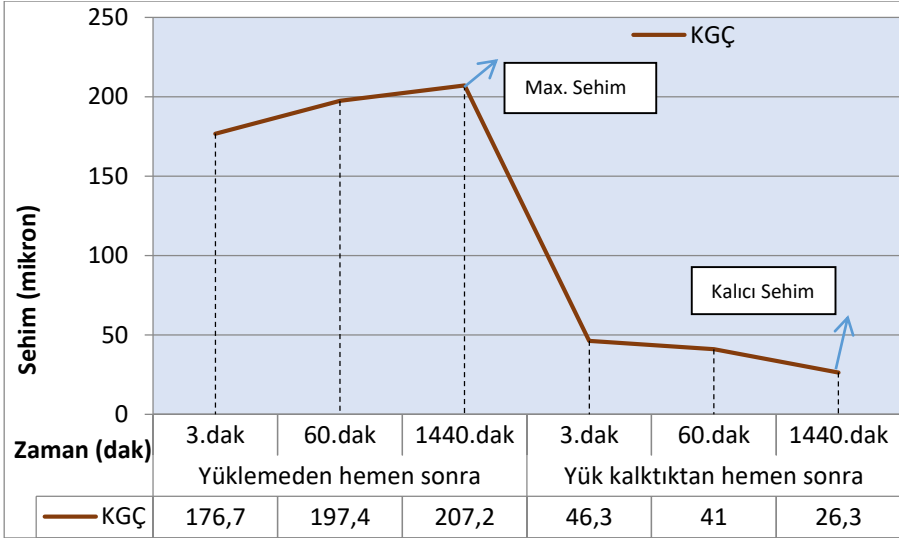
Deney yükü kaldırıldıktan sonraki toplam süre içinde DGÇ ve DGLÇ'lerde max. sehim miktarının geri düzelmeye oranı %51.3 ila %53.2 iken, KGÇ ve KGLÇ'lerde max. sehim miktarının geri düzelmeye oranı %81.9 ila %87.3 arasında gerçekleşmiştir. Burada, laminasyon işleminin kirişte kalıcı sehim azalttığı, kertme işleminin ise kalıcı sehim olumsuz neden olmadığı tespit edilmiştir.

DGÇ ve DGLÇ'lerdeki max. sehim, KGÇ ve KGLÇ'lere göre daha düşük düzeyde gerçekleşmiş, kiriş gövdesinde kertme işlemi kirişin ataletini azaltmış ve sehim artırmıştır. Bu artış masif yapı DGÇ'ye göre KGÇ'de %14.5 oranında değişmiş ve lamine edilmiş DGLÇ'ye göre KGLÇ'de %63,6 oranında değişim gerçekleşmiştir.

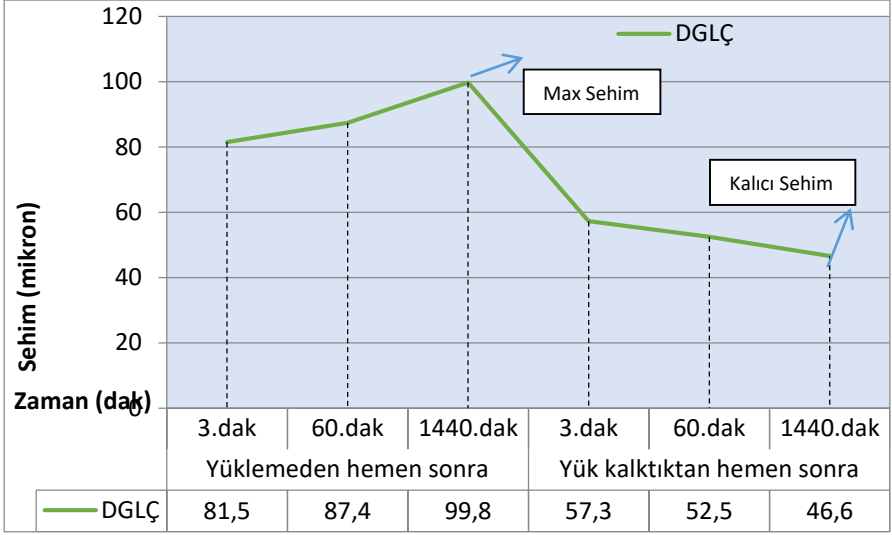
Masif-laminasyon bakımından lamine kirişlerde masif kirişlere göre daha az kalıcı sehim oluşmasının nedeni, laminasyonun ahşap kusurlarını iyice azaltması ve katmanlar arasına giren yapıştırıcı derzinin elastikliği artırmasından kaynaklandığı söylenebilir (Şekil 4-8).



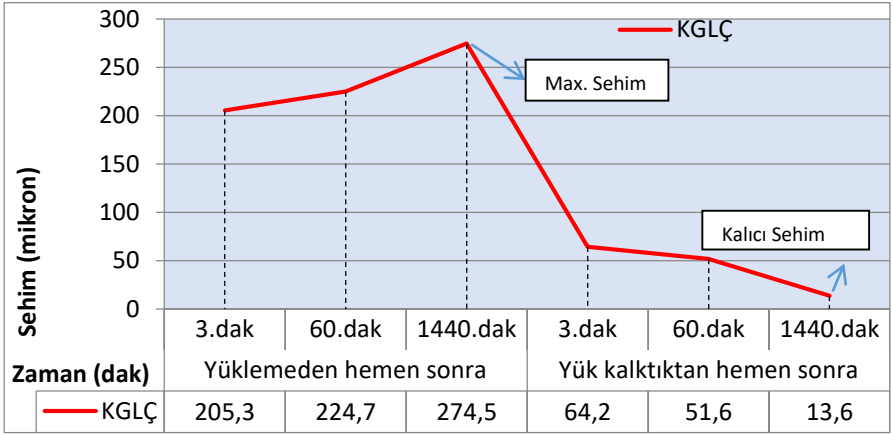
Şekil 4. DGÇ'lerde kalıcı sehim grafiği



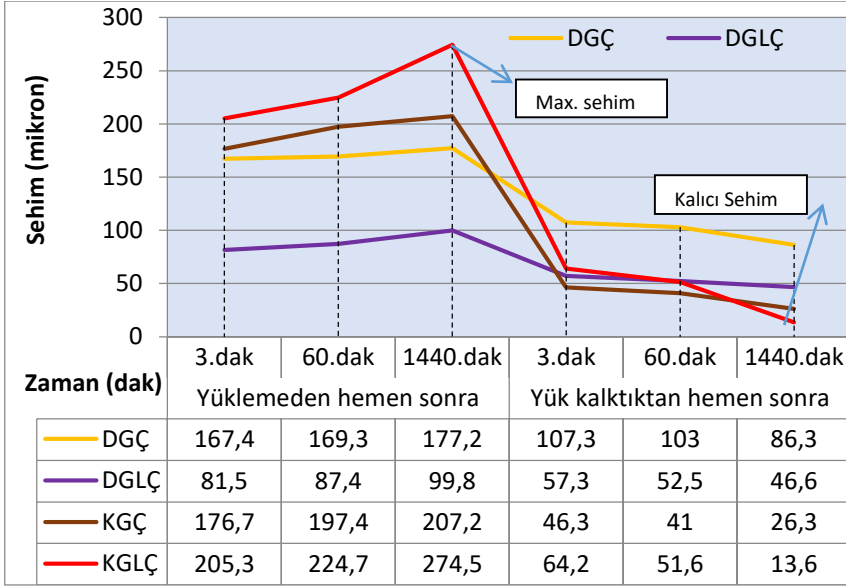
Şekil 5. KGÇ'lerde kalıcı sehim grafiği



Şekil 6. DGLÇ’lerde kalıcı sehim grafiği



Şekil 7. KGLÇ’lerde kalıcı sehim grafiği



Şekil 8. Üretilen bütün kirişlerde elde edilen kalıcı sehim grafiği

4. Sonuçlar

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Kirişlerde kalıcı sehim yüksek oranda etkileyen unsurların; malzeme (masif-laminasyon), gövde tipi (dolü gövde-kertme gövde) ve yüklenme süresi faktörü ve bunların etkileşimlerinin olduğu belirlenmiştir.
2. Gövde tipi bakımından yorulma (kalıcı sehim); dolü gövdeli kirişlerde daha çok, kertme gövdelerinde daha az meydana gelmiştir.
3. Masif-laminasyon bakımından lamine kirişlerde masif kirişlere göre daha az kalıcı sehim oluşmuştur.
4. Lamine ahşap kirişler ile kertme gövdeli kirişlerde kalıcı sehim daha az görüldüğünden bina yapımında tercih edilebilir.

Kaynaklar

Bao, Z., Eckelman, C.A., 1995. Fatigue life and design stresses for wood composites used in furniture. Forest Product Journal, 45 (7/8) 59-63.

Cai, Z., Bradtmueller, J. P., Hunt, M. O., Fridley, K. J. and Rosowsky, D. V. 1996. 'Fatigue behaviour of OSB in shear', Forest Products Journal, 46 (10) 81-86.

Eckelman, C.A., 1987. Bending strength, fatigue strength, stiffness and allowable design stresses for engineered strand lumber, oriented strand lumber plus, and engineered strand panel, unpublished report. Department of Forestry and Natural Resources, Purdue University, West Lafayette.

Foschi, R. O. and Yao, F. Z. 1986a. Duration of load effect and reliability based design (single member) in Proceedings of IUFRO Wood Engineering Group Meeting, Italy.

Foschi, R. O. and Yao, F. Z. 1986b. 'Another look at three duration of load models', in Ibid. Florence, Italy.

Foschi, R. O., Folz, B. and Yao, F. Z. 1989. 'Reliability-based design of wood structures', Structural Research Series, Report Number 34. Department of Civil Engineering University of British Columbia, Vancouver. BC.

Gong, M., Smith I. 2003. Effect of waveform and loading sequence on low-cycle compressive fatigue life of spruce. *J Mater Civil Eng* 15: 93–99.

Güntekin, E., Yılmaz Aydın, T., 2015. Kızılçam odununda (*Pinus brutia* Ten.) yorulma özelliklerinin belirlenmesi. *Turkish Journal of Forestry*, 16(1) 36-41.

Lam, F. 1992. 'Performance of laminated veneer wood plates in decking systems', Ph.D. thesis, University of British Columbia, Vancouver.

Nagasawa, C., Kumagai, Y, Ono, M. 1981. *Mokuzai-gakkaishi*, 27, 541.

Tankut N., Zor M., 2012. Ağaç malzemede yorulma performansı üzerine araştırmalar. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 14 (21) 18-27.

Thompson, R.J.H., Ansell, M.P., Bonfield, P.W., Dinwoodie J.M., 2002. Fatigue in wood-based panels. Part 1: The strength variability and fatigue performance of OSB Chipboard and MDF. *Wood Science and Technology*, 36: 255–269.

Tsai, K.T., Ansell M.P., 1990. The fatigue properties of wood in flexure. *Journal of Material Science*, 25: 865-878.

Yıldırım M. N., vd., 2015. Determination of fatigue and static strength of scots pine and beech wood. *Wood research* 60 (4) 679-686.

HARÇ KARIŞIMINDA TUĞLA ATIKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Hibe Qassab¹

*¹Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği ABD, Ankara, Türkiye
E-mail: hibe.kassap89@gmail.com*

H. Yılmaz Aruntaş²

*²Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye
E-mail: aruntas@gazi.edu.tr*

1. Giriş

Dünya nüfusunun artması ile birlikte üstyapı ve altyapı tesislerine olan ihtiyaç da artmaktadır. İnşaat sektöründe yapıların inşası veya yıkımı sırasında çok miktarda atık açığa çıkmaktadır. İnşaat sektöründe geri dönüşüm bir zorunluluk olarak karşımıza çıkmaktadır. Geri dönüşüm, çöp kapsamına giren ve dönüştürülebilir özelliklere sahip atıkların uygun geri dönüşüm yöntemleri ile ham madde olarak tekrar üretime dahil edilmesidir. Geri dönüşüm süreci, atık bir maddenin yeni bir ürün haline getirilmesinin tüm süreçlerini kapsamaktadır. Atıkların geri dönüşümü ile hem doğal kaynaklar daha az tüketilmekte dolayısıyla tabiata ve çevreye daha az zarar verilmekte hem de atıkların tekrar kullanılması ile malzemelerin daha ekonomik üretilmesi sağlanmaktadır.

İnşaat sektörünün hızlı gelişmesi ve sektörün önemli malzemelerinden biri olan tuğla talebinin artması sebebiyle ham malzeme ihtiyacı da artmaktadır. Fabrikada ortaya çıkan atıklarının (Şekil 1) fabrikada veya başka bir yerde tekrar değerlendirilmesinde doğal çevrenin korunması ve ekonomi açısından büyük faydalar görülmektedir (Özçay, 2010).

Türkiye’de tuğla üretimi, endüstriyel üretimde önemli bir yere sahiptir. Üç odalı bir apartman katında kullanılan ortalama tuğla miktarı 3000 adet, çatıda ise ortalama kiremit miktarı 1200 adettir (DPT, 2000). Tuğla atıklarının bir kısmı kırılarak yürüyüş yollarına ve spor alanlarına serilmekte veya başka amaçlar için kullanılmaktadır. Atıkların verimli ziraat alanları üzerine hiçbir işleme tabi tutulmadan gelişi güzel bırakılmasıyla hem çevre hem de görüntü kirliliği ortaya çıkmaktadır. Diğer taraftan atık maddelerin yeniden değerlendirilmesi, ekonomiye katkı

sağlayacak ve bu durumda hem üretimde harcanan enerjiden hem de üretimde kullanılan hammaddeden tasarruf etme imkânı doğacaktır (DPT, 2000).



Şekil 1. Tuğla fabrikasında ortaya çıkan tuğla atıkları

2. Materyal

Bu çalışmada çimento harcı üretmek için aşağıda verilen malzemeler kullanılmıştır:

- CEM I Portland çimento
- Doğal kum
- Tuğla kumu
- Karışım suyu

Çimento

Çalışmada Çimento Baştaş San. AŞ Fabrikası'ndan alınan 2018 yılı ürünü CEM I 42,5 R Portland Çimentosu kullanılmıştır.

Doğal Kum (DK)

Çimento harcı üretiminde doğal kum olarak en büyük tane boyutu 3 mm olan dere kumu kullanılmıştır. Dere kumu Ankara-Kızılcahamam'dan temin edilmiştir.

Tuğla Kumu (TK)

Tuğla atıkları, Ankara İmrahor'daki bir tuğla fabrikasından temin edilmiştir. Tuğla kumu, laboratuvardaki çeneli kırıcıda kırıldıktan sonra standart elek serisinde elenerek elde edilmiştir.

Karışım suyu

Deneyisel çalışmalarda karışım suyu olarak Ankara şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

3. Metot

Çalışmada, tuğla kumu doğal kumla % 0, % 25, % 50, % 75 ve % 100 oranlarında ikame edilerek çimento harçları üretilmiştir. Deneylerde kullanılan harç karışım oranları Tablo 1’de verilmiştir. Harçlarda sabit işlenebilirliği sağlamak ve su miktarını belirlemek amacıyla ASTM C109/C109M-16a’ya göre 110 ± 5 yayılma olacak şekilde yayılma tablası deneyi yapılmıştır . Çimento hamuru priz süresi ve genleşme deneyleri TS EN 196-3’e göre yapılmıştır. Dere kumu ve tuğla kumu elek analizi deneyi TS 2717 EN 13139 ’a göre, yoğunluk ve su emme deneyi TS EN 1097-6’ya göre yapılmıştır. Üretilen harçlar ASTM C109/C109M-16a’ya göre hazırlanmıştır . Deneyisel çalışmada toplam 5 adet harç hazırlanmış ve 40x40x160 mm boyutlu numuneler üretilmiştir. Harçların taze ve kuru birim hacim ağırlık değerleri yapılan deneyle bulunmuştur. Sertleşmiş harçların basınç ve eğilme dayanımları TS EN 1015-11’e göre yapılmıştır . Deneylerde kullanılan basınç dayanımı deney cihazı Şekil 2’de görülmektedir. Her deney 3’er defa yapılmış ve aritmetik ortalaması alınarak deney sonuçları kaydedilmiştir.

Tablo 1. Deneyde kullanılan harç karışım oranları

Numune no	Numune Kodu	Dere kumu (%)	Tuğla kumu (%)	Çimento (%)
1	DK100	100	-	100
2	DK75+TK25	75	25	100
3	DK50+TK50	50	50	100
4	DK25+TK75	25	75	100
5	TK100	-	100	100



Şekil 2. Basınç dayanımı deney cihazı

4. Bulgular

4.1 Çimentonun özellikleri

Çimentonun fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir.

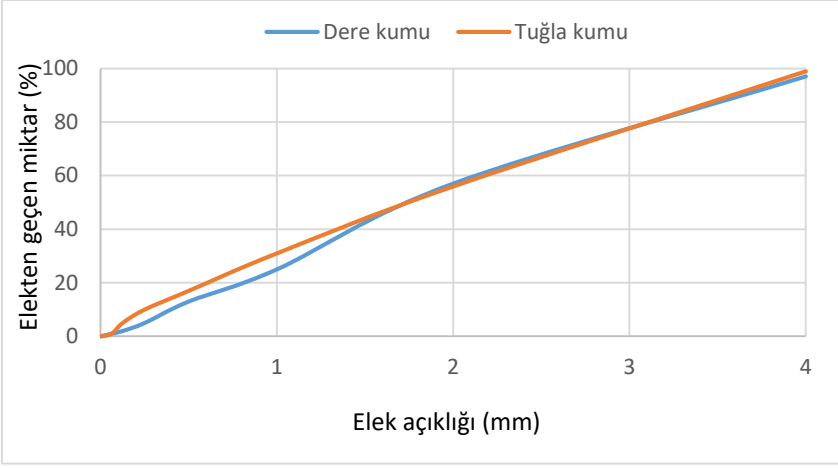
Tablo 2. Çimento hamurunun fiziksel özellikleri.

Deney adı	Deney sonucu	TS EN 197-1 kriteri
Priz başı (dk)	140	En az 60
Priz sonu (dk)	200	-
Genleşme (mm)	1	10

Tablo 2’ye göre, çimentonun fiziksel değerleri TS EN 197-1 standardına uygun olarak belirlenmiştir.

4.2 Agreganın özellikleri

İnce agregaların elek analiz deneyinden elde edilen granülometri eğrileri Şekil 1’de gösterilmiştir. Şekil 3’de görüldüğü gibi, dere kumu ve tuğla kumunun granülometri eğrileri birbirine yakın çıkmıştır.



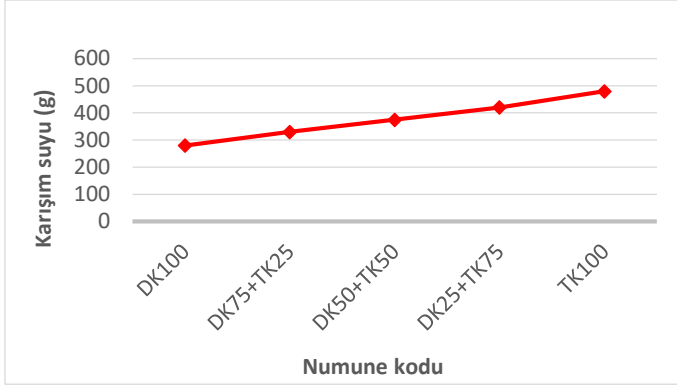
Şekil 3. İnce agregaların elek analizi eğrileri

Elde edilen yoğunluk değerleri incelendiğinde tuğla kumunun dere kumuna göre daha düşük yoğunluk değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Su emme oranları kıyaslandığında ise, tuğla kumunun dere kumundan daha yüksek su emme oranına sahip olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi, tuğlanın yüksek sıcaklıkta pişirilmiş olmasıdır.

Tablo 3. İnce agregaların yoğunluk ve su emme deney sonuçları

İnce agrega	Dere kumu	Tuğla kumu
Yoğunluk (g/cm ³)	2.2	2.0
Su emme (%)	3.6	15

Harç karışımlarının sabit işlenebilirlik dikkate alınarak belirlenen karışım suyu miktarları Şekil 4'de görülmektedir. Şekil 4'e göre harç karışımında tuğla kumu miktarı arttıkça harcın karışım suyu miktarı da artış göstermiştir. Bunun nedeni tuğla kumunun su emme oranının yüksek olmasıdır.

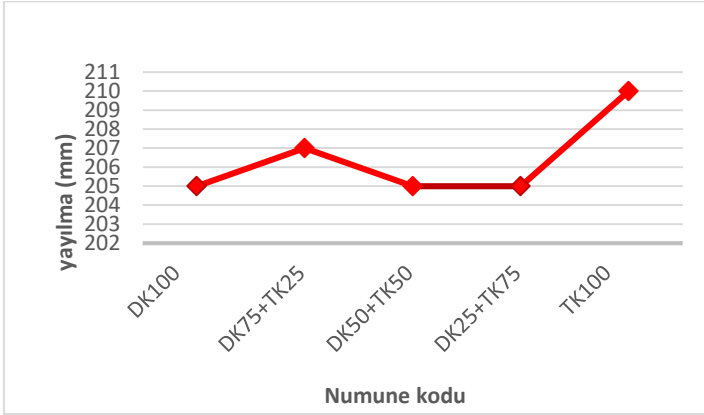


Şekil 4. Harçların karışım suyu oranları

4.3 Taze harç özellikleri

4.3.1 Yayılma

Harç karışımlarının yayılma deney sonuçları Şekil 3'te görülmektedir. Şekil 5'te görüldüğü gibi taze harçların yayılma değerleri 110 ± 5 kriterini sağlamaktadır.

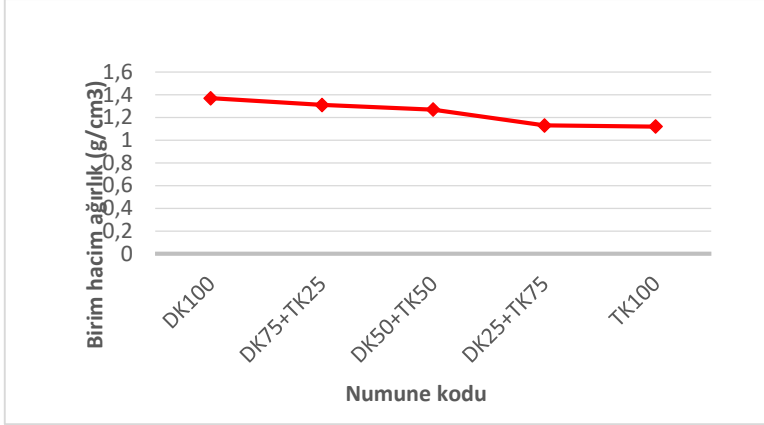


Şekil 5. Taze harçların yayılma deneyi sonuçları

4.3.2 Taze birim hacim ağırlık

Harç karışımlarının birim hacim ağırlık deney sonuçları Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekil 6'da görüldüğü gibi harç karışımında dere kumu yerine kullanılan tuğla kumu oranı arttıkça birim hacim ağırlığın giderek

azaldığı görülmüştür. Bunun sebebi Tablo 3'te görüldüğü üzere tuğla kumunun yoğunluğu dere kumundan daha düşük olmasıdır.

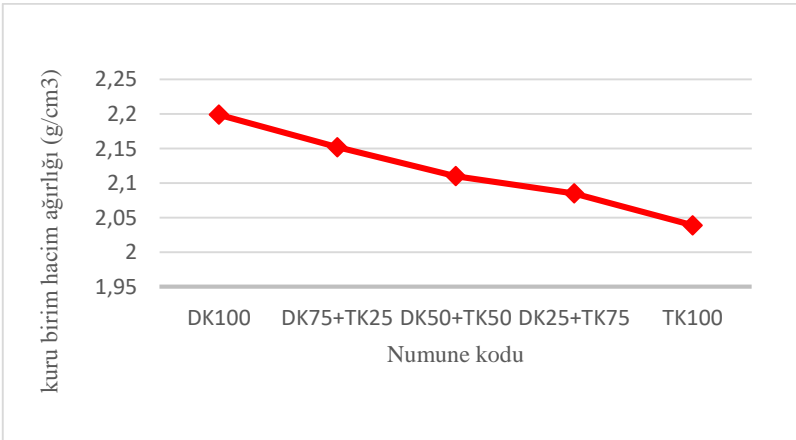


Şekil 6. Taze harçların birim hacim ağırlık sonuçları

4.4 Sertleşmiş harç özellikleri

4.4.1 Kuru birim hacim ağırlık

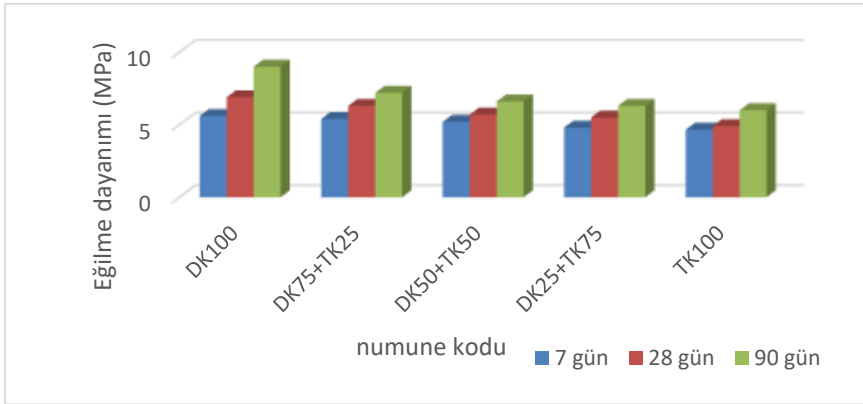
Harç karışımlarının birim hacim ağırlık deney sonuçları Şekil 5'te gösterilmiştir. Şekil 7'de görüldüğü üzere taze harçlarda olduğu gibi sertleşmiş harçlarda da karışımındaki tuğla kumu oranı arttıkça kuru birim hacim ağırlık değerleri de azalmıştır. Benzer şekilde bu azalma, tuğla kumunun yoğunluğunun dere kumundan düşük olması ile açıklanabilir.



Şekil 7. Sertleşmiş harçların kuru birim hacim ağırlık sonuçları

4.4.2 Eğilme dayanımı

Sertleşmiş harçların eğilme dayanımı sonuçları Şekil 8’de görülmektedir. Şekil 8’de görüldüğü gibi, bütün harçlarda numune yaşı arttıkça eğilme dayanımları da artış göstermiştir. Harçların 7 günlük eğilme dayanımlarının DK100, DK75+TK25 ve DK50+TK50 kodlu harçlarda birbirine yakın olduğu görülmüştür. Bu grupta en yüksek ve en düşük dayanımlar sırasıyla DK100 ve TK100 harçlarında elde edilmiştir. 28 günlük numunelerde 7 günlük numunelerde olduğu gibi en yüksek ve en düşük dayanımlar sırasıyla DK100 ve TK100 harçlarında elde edilmiştir. TK100 harcı dışındaki harçların eğilme dayanımlarının birbirine yakın olduğu söylenebilir. 90 günlük basınç dayanımlarına bakıldığında 7 ve 28 günlük numunelerde olduğu gibi en yüksek ve en düşük dayanımlar sırasıyla DK100 ve TK100 harçlarında elde edilmiştir. DK100 kodlu numunenin dayanımına en yakın dayanım değeri DK75+TK25 harcında görülmüştür. Harç karışımlarında tuğla kumu oranı arttıkça eğilme dayanımlarının giderek azaldığı belirlenmiştir.

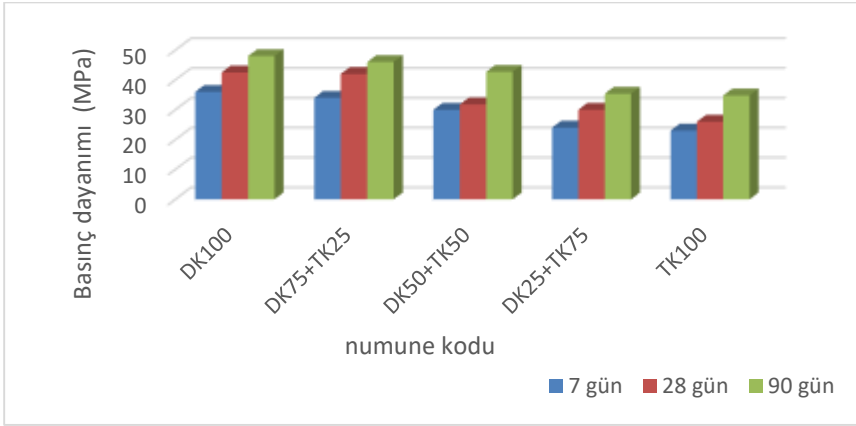


Şekil 8. Sertleşmiş harçların eğilme dayanımı sonuçları.

4.4.3 Basınç dayanımı

Sertleşmiş harçların basınç dayanımı deney sonuçları Şekil 7’de gösterilmiştir. Şekil 9’da görüldüğü gibi, harçların tamamında numune yaşı arttıkça basınç dayanımları da artış göstermiştir. Harçların 7 günlük basınç dayanımları incelendiğinde, DK100 ve DK75+TK25 harçlarının birbirine yakın olduğu görülmüştür. Bu grupta en yüksek ve en düşük dayanımlar sırasıyla DK100 ve TK100 harçlarında elde edilmiştir. 28 günlük basınç dayanımlarına bakıldığında, 7 günlük numunelerde olduğu gibi en yüksek ve en düşük dayanımlar yine sırasıyla DK100 ve TK100 harçlarında görülmüştür. 7 günde olduğu gibi 28 günde de DK100 ve DK75+TK25 kodlu harçların basınç dayanımlarının birbirine yakın olduğu

tespit edilmiştir. Ayrıca bu grupta DK50+TK50 ve DK25+TK75 kodlu harçların basınç dayanımlarının da birbirine çok yakın değerler gösterdiği belirlenmiştir. 7 ve 28 günlük numunelerin dayanımlarında olduğu gibi 90 günlük basınç dayanımlarında da en yüksek ve en düşük dayanımlar sırasıyla DK100 ve TK100 harçlarında elde edilmiştir. DK100 kodlu numunenin dayanımına en yakın dayanım değerleri DK75+TK25 ve DK50+TK50 harçlarında tespit edilmiştir. Harç karışımlarında tuğla kumu oranı arttıkça eğilme dayanımında olduğu gibi basınç dayanımlarının da giderek azaldığı belirlenmiştir.



Şekil 9.Sertleşmiş harçların basınç dayanımı sonuçları

5. Sonuçlar

Bu deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- 1) Çimento hamurunun priz başı, priz sonu ve genleşme sonuçları standarda uygundur.
- 2) Agregaların granülometrisinin birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir.
- 3) Tuğla kumunun su emme değerlerinin dere kumundan daha fazla olduğu görülmüştür.
- 4) Tuğla kumunun yoğunluk değeri dere kumundan daha düşüktür.
- 5) Harcın kuru ve taze birim hacim ağırlık değerleri, karışımdaki tuğla kumu oranı arttıkça azalmaktadır.
- 6) En yüksek ve en düşük basınç ve eğilme dayanımı değerleri sırasıyla DK100 ve TK100 harçlarında elde edilmiştir.

- 7) 7, 28 ve 90 günlük basınç ve eğilme dayanımları; DK100, DK75+TK25 ve DK50+TK50 harçlarında birbirine yakın olduğu görülmüştür.
- 8) Deney sonuçlarına göre tuğla kumunun harç yapımında %50'ye kadar dere kumu yerine kullanılabilceği düşünülmektedir.

Kaynaklar

Ünal Özçay, Kiremit Sektöründeki Endüstriyel Atıkların Geri Kazanılması, Y. Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, (2010).

DPT, "Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Taş ve Toprağa Dayalı Ürünler Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Raporu", Ankara (2000).

ASTM C109/C109M-16a. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens). Book of Standards Volume: 04.01. American Society for Testing and Materials

TS EN 196-3 Çimento deney yöntemleri - Bölüm 3: Priz süreleri ve genleşme tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara. (2017)

TS 2717 EN 13139 Agregalar - Harç yapımı için, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara (2005).

TS EN 1097-6 Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 6: Tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara (2013).

TS EN 1015-11 Kâğıt harcı - Deney metotları - Bölüm 11: Sertleşmiş harcın basınç ve eğilme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara (2000).

TS EN 197-1 Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, Ankara (2012).

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ

MİKRODALGA IŞINIM YÖNTEMİNİN SU KİRLİLİĞİ ÜZERİNE UYGULAMALARI

Tijen Ennil Bektaş¹

*¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya
Mühendisliği Bölümü, Çanakkale Türkiye
E-mail:ennilb@gmail.com*

1. Giriş

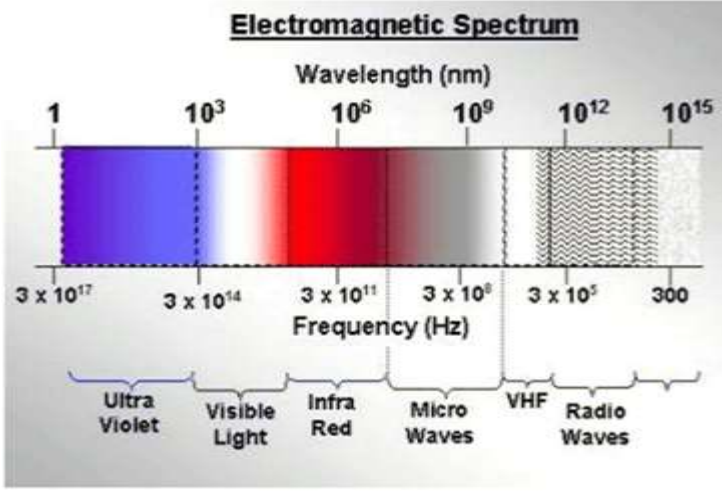
Çağımızda endüstrileşme ile birlikte insanlığı tehdit eden en önemli unsurlardan biri çevre kirliliğidir. Hızla artan dünya nüfusu, plansız endüstrileşme ve sağlıksız kentleşme sonucu çevre kirlenmeye başlamış, bunun sonucu olarak büyük oranda kirlenen hava, su ve toprak canlılar için zararlı olabilecek konuma gelmiştir. Çevre kirliliğinin önlenmesi için özellikle kirletici kaynaklarda gerekli önlemler alınmalıdır. Bu yüzden çevreye bırakılacak atıkların miktar ve niteliklerinin iyi bilinmesi ve bu atıkların nasıl bertaraf edilebileceği konusunda araştırmalar yapılması gerekmektedir.

Evsel, endüstriyel, tarımsal ve diğer kullanımlar sonucunda kirlenmiş veya özellikleri kısmen ya da tamamen değişmiş sular ile maden ocakları ve cevher hazırlama tesislerinden kaynaklanan sular ve yapılaşmış kaplamalı ve kaplamasız şehir bölgelerinden cadde, otopark ve benzeri alanlarda yağışlarda yüzey veya yüzey altı akışa dönüşmesi sonucunda oluşan sular atık su olarak tanımlanabilir (Anonim, 1988).

Endüstriyel üretim sonucunda açığa çıkan atıksuların deşarj edildiği kanalizasyon sisteminde ya da alıcı ortamda çevresel problemleri oluşturmaması açısından, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde verilen deşarj kriterlerini sağlayacak düzeyde arıtmaları gerekmektedir.

Ülkemizde ve dünyada sanayinin gelişmesi, gün ve gün nüfus artışından dolayı artan endüstriyel üretim artışı tesislerden çıkan atıksu miktarının artmasına sebep olmaktadır ve buna bağlı olarak atıksu arıtımı gün geçtikçe daha önemli sorun oluşturmaktadır. İşletmelerin atıksu arıtım tesislerindeki geleneksel arıtma işlemleri yüksek maliyet ve uzun süreçlerle sonuçlanmaktadır. Bu nedenle mevcut kullanılan metot ve teknolojilerin daha yüksek verim ve daha düşük maliyet ile işletilebilen alternatifleri aranmaktadır.

Kimya alanında özellikle son 20 yıldır yapılan yoğun çalışmalar sonucunda, uluslararası alanda “mikrodalga kimyası” adı ile yeni bir alan oluşmuş, yepyeni kimyasal sentezler gerçekleştirilmiş ve bu sentezlerde mikrodalga enerjisinin kullanılmasının zaman ve verim açısından üstünlükleri gözlenmiştir (Kuşlu, 2001).



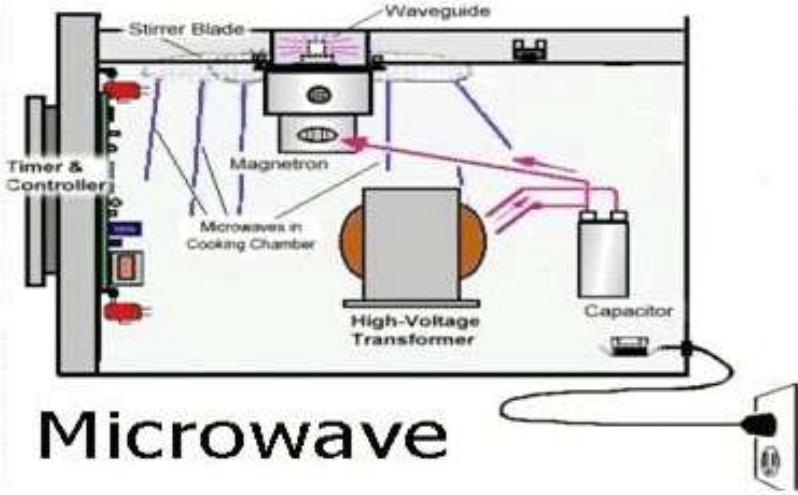
Şekil 1 .Elektromanyetik spektrum.

Mikrodalgalar 10^8 ile 10^{10} Hz arasındaki alanda yer alan iyonize olmamış elektromagnetik dalgalardır (Şekil 1). Diğer elektromagnetik dalgalar gibi ışık hızı ile yol alırlar ve ışık ışınları gibi yansır, kırılır ve absorbe edilirler. Kuantum olarak ifade edilen enerji seviyelerinin daha düşük olması ve atomlardan ya da moleküllerden elektronları ayırmamaları gibi özellikleri nedeniyle X ve gama ışınları gibi iyonize olan radyasyonlardan ayrılırlar. Bu yüzden mikrodalga radyasyonu insan sağlığı üzerinde zararlı bir etkiye sahip değildir. Madde-mikrodalga etkileşmesinde enerji değeri yaklaşık 1 J/mol seviyesinde olup Brown hareketinden daha azdır. Genel olarak evde kullanılan mikrodalga fırınlarda 2450 MHz frekansı, endüstriyel proseslerde ise 915 MHz ya da 2450 MHz kullanılmaktadır (Turgut,2016; Thostenson and Chou, 1999).

Bütün ev tipi mikrodalga fırınlar ve şu ana kadar geliştirilmiş organik sentez için kullanılan mikrodalga sistemler, ticari olarak 2.45 GHz (12.25cm)'lik bir frekansta elverişlidirler. Bir kimyasal bağa ait enerji ortalama $20\text{--}80 \text{ kkal/mol}$ 'dür. Mikrodalga fotonlarının enerjisi ise 0.03 kkal/mol kadardır. Bu sebeple mikrodalgalar yapıyı direkt etkileyemezler, iyonlaştıramazlar ve bağları kıramazlar. Dolayısıyla 2.45 GHz'lik enerji ile sadece moleküllerdeki dönme hareketleri etkilenebilir. Mikrodalga enerjisi absorbe ederek uyarılan moleküllerin sadece kinetik enerjileri artar. Böylece aktivasyon enerji engelini aşmak için gereken enerji sağlanır ve reaksiyon daha hızlı bir şekilde ilerler. Bu nedenle kimyasal reaksiyonlar için seçilen bu frekans enerji bakımından en uygun frekans

olup telekomünikasyon ve telefon frekanslarıyla da etkileşime girmez. Bu amaçla kullanılan frekans nadirdir (Menteşe, 2008).

Mikrodalga sistemleri genel olarak Şekil 2’de görüldüğü gibi; mikrodalga kaynağı (magnetron), mikrodalgayı magnetrondan uygulama bölgesine dağıtan iletim hattı (dalga klavuzu) ve enerjiyi ısıtılacak malzemeye etkin şekilde aktaran karıştırıcı, örneğin konulduğu fırın boşluğu (kavite), ve Faraday kafesi adı verilen kısımlardan meydana gelir. Fırının içinde bulunan magnetron isimli cihaz, elektrik enerjisini mikrodalga enerjisine dönüştürerek mikrodalgalar üretir (Yılmaz, 2015).



Şekil 2. Mikrodalga fırın.

Mikrodalga fırınlar prensipte diğer fırınlardan ayrılmaktadır. Normal fırınlarda ısı, gıdaya dışarıdan içeriğe doğru iletilmekte ve bu da uzun zaman almaktadır. Örneğin fırından yeni çıkmış ekmeğin kabuk kısmının sıcaklığı 230°C iken, ekmeğin içinin sıcaklığı 100°C’ yi sonucu etraflarındaki moleküller ile oluşan sürtünmeden dolayı açığa çıkan ısı, besinlerin pişmesini geçmemektedir. Mikrodalga fırınlarda ise, ışın doğrudan gıdanın içerisine verilmektedir. Su gibi artı yüklü ve eksi yüklü uçları olan moleküller polar moleküller olarak adlandırılır. Üretilen mikrodalgalar besinlere ulaştığında besinde bulunan su molekülleri mikrodalga fotonlarının enerjisini soğurarak artı ve eksi uçları arasında titreşmeye başlarlar. Bu titreşmeler sağlar. Bu nedenle içinde daha çok su molekülü taşıyan besinler daha çabuk pişer (Karaaslan, 2008).

Bu yöntemin diğer yöntemlere göre üstünlükleri şöyledir (Yılmaz, 2015; Lai vd., 2006, Loupy, 2004);

- İşlem, geleneksel yöntemlere göre hızlıdır. Mikrodalga uygulamasının en önemli özelliği ısıtma moleküler düzeyde başlar ve maddenin içine kadar nüfuz ederek işlemin daha aktif ve hızlı yapılmasını sağlar.
- Güvenlik açısından, sistem açıldığı an çalışmaya başlar ve kapatıldığı an enerji akışı hemen kesilir.
- Mikrodalgalar enerjiyi malzemeye bir araç vasıtasıyla taşımaz, dolayısıyla kullanılan ortamda kirlenme olmaz ve sistem daha sağlıklı ve temiz kullanılabilir. Ayrıca sistemler kesikli ve sürekli olarak uygulanabilir.
- Mikrodalga enerjisinin ısıya dönüşme verimi hayli yüksektir. Geleneksel yöntemlerde ısı verimi % 7 ile % 14 arasında değişirken, mikrodalga koşullarında bu değer % 40'a kadar çıkar. Bunların yanı sıra, mikrodalga kullanılarak geleneksel ısıtma ile elde edilmesi mümkün olmayan özellikte ürünler de elde edilebilir. Ayrıca mikrodalga ışınım ile gerçekleştirilen tepkimelerin verimleri geleneksel yöntemlerinkinden daha yüksektir, bu sayede saflaştırma işlemlerinden de çok büyük tasarruf edilmiş olur.
- Mikrodalga, daha az yan tepkimeye neden olduğundan ürün kalitesi de artar.
- Mikrodalga fırınlar geleneksel sistemlerden daha az yer kaplar, maliyetleri daha düşüktür, kullanımları ve bakımları kolaydır.

2. Mikrodalga Yöntemini Kullanarak Daha Önce Yapılan Çalışmalar

Neelancherry Remya, Jih-Gaw Lin (2011) tarafından yapılan çalışmada atık su arıtımında mikrodalga uygulamasının mevcut durumu incelenmiştir. Mikrodalga (MD) ışınlama moleküler düzeyde ısıtma nedeniyle büyük ilgi kazandığı ancak MD teknolojisinin ticarileştirilmesinde, gerçek zamanlı atık su arıtımı için MD'nin arıtım yönteminin ve MD temel mekanizmasının anlaşılması gerektiği vurgulanmıştır. MD farklı uygulama kombinasyonları, gelişmiş tek MD, oksidanlar ile kullanılan MD, katalizörü ile kullanılan MD ve ileri oksidasyon prosesleri ile kullanılan MD ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Ayrıca, MD'nin ısıtma etkisi ve MD proseslerini etkileyen faktörlerin etkileri tartışılmıştır.

Li ve arkadaşları (2009) tarafından yapılan çalışmada mikrodalga radyasyonu ile atık sudaki amonyak azotunun giderilmesi incelenmiştir. Amonyak azotu ile kirlenmiş atık suyun, su kaynaklarının güvenliğinde büyük bir tehdit oluşturmasından dolayı çalışmada yeni bir işlem olan mikrodalga (MD) radyasyon ile amonyağın giderilmesi incelenmiştir. Atık sulardan azotun giderilmesinde, pH, radyasyon süresi, havalandırma ve

başlangıç amonyak konsantrasyonunun etkileri araştırılmıştır. pH ve radyasyon süresinin amonyak azot giderimi üzerine önemli bir etkisini olduğu gözlenmiştir. MD radyasyon tarafından amonyak giderim mekanizmasında moleküler amonyak (NH₃) oluşumu ardından NH₃'ın buharlaşması görülmüştür. Geleneksel ısıtma yöntemi ile karşılaştırıldığında MD radyasyon daha yüksek amonyak giderilmesine yol açmıştır. pH 11, 5000 mg/L başlangıç amonyak konsantrasyonu MW radyasyonla 750W ve 10 dakikada 350 mg/L'ye azaltılmıştır. Atık sudaki amonyak, azotu uzaklaştırılmasında MD'nin etkili bir yöntem olduğu gösterilmiştir.

Bi ve arkadaşları (2007) tarafından yapılan bir çalışmada ClO₂ - CuOx / Al₂O₃ katalitik oksidasyon süreci ile fenol atık sularının arıtımında mikrodalga yöntemi incelenmiştir. Bu çalışmada daldırma-sedimentasyon yöntemi ile γ -Al₂O₃ kullanılarak CuOx / Al₂O₃ katalizör destekçisi hazırlanmıştır. Al₂O₃ yüzeyine yüklenen CuO ve Cu₂O, XRD ve X-ışını fotoelektron spektroskopisi ile karakterize edilmiştir. CuOx / Al₂O₃ varlığında, mikrodalga kaynaklı klor dioksit (ClO₂) katalitik oksidasyon süreci, 100 mg/L fenol içeren sentetik atıksu arıtımı için yürütülmüştür. Fenol giderimini etkileyen faktörler incelenmiş ve sonuçlar göstermiştir ki indüklenen ClO₂ - CuOx / Al₂O₃ prosesi düşük oksidant dozaj, geniş pH aralığı ile kısa bir reaksiyon süresinde mikrodalga da etkin kirletici düşürülebilmiştir. Verilen koşullar altında (ClO₂ konsantrasyonu 80 mg/L, mikrodalga gücü 50 W, temas süresi 5 dakika, katalizör dozajı 50 g/L, pH 9), fenol giderme oranı %92,24'e yaklaşmıştır. Mikrodalga kaynaklı ClO₂ oksidasyonu ile geleneksel ClO₂ oksidasyonu karşılaştırıldığında mikrodalga kaynaklı ClO₂ katalitik oksidasyon sisteminin önemli ölçüde bozunma verimini artırdığı gözlenmiştir. Bu da fenol atık sularının giderimi için etkili bir teknoloji olduğunu göstermiştir.

Ackmez Mudhoo ve Sanjay Kumar Sharma (2011) tarafından yapılan çalışmada atık çamur ve atık su arıtım araştırmalarında mikrodalga radyasyon teknolojisinin etkisi incelenmiştir. Yeşil ve sürdürülebilir bir dünya için atık su iyileştirme ve çamur arıtma çevresel yönden giderek ilgi çeken hale gelmiştir. Çeşitli yenilikçi arıtım süreçleri atık suların ve çamur arıtımı için son yıllarda dizayn edilmiştir. Fakat çoğu çok pahalı ve düşük verimlilikle çalışmaktadır. Mikrodalga radyasyon teknolojisi yavaş yavaş atık su ve çamur yönetimine kolaylığı ve verimliliği açısından katkısı olacağı düşünülmektedir.

Yaobin Zhang ve arkadaşları (2006) tarafından yapılan çalışmada atmosfer basıncı altında, aktif karbon katalizörü kullanılarak mikro dalga destekli H-asit katalitik ıslak hava oksidasyonu incelenmiştir. Katalitik ıslak hava oksidasyon (CWAO) aşırı kirlenmiş atık su arıtımı için umut vaat eden bir yöntemdir. Ancak, uygulama ciddi çalışma koşulları (yüksek basınç ve yüksek sıcaklık) ile sınırlıdır. Oksidasyon destekli mikrodalga

(MD) yöntemi daha ılımlı koşullar altında ağır derecede kirlenmiş atık suların arıtılması amacıyla incelenmiştir. 3000 mg/L H-asit çözeltisi için optimum koşullar altında, H-asit ve toplam organik karbon (TOC) giderimi sırasıyla 20 dk'da % 92,6 ve 60 dk' da %84,2'dir. Aktive edilmiş karbon ve oksijen mevcudiyeti etkin arıtımı için kritik olduğu ortaya çıkmıştır. Aktif karbon H-asit bozunması için sadece bir katalizör olarak değil, aynı zamanda MD enerji emilmesi için özel bir madde olarak verilmiştir. Hava, sabit akış hızında bir oksijen kaynağı olarak reaktöre beslenmiştir. H-asitteki amino gruplar nitrat ve sülfata dönüştürülmüştür.

3. Deneysel Çalışma

Bu çalışmada son yıllarda dünya literatüründe de öne çıkmakta olan mikrodalga ışınım yöntemini kullanarak boya ve yapı kimyasalları üreten bir fabrikanın atıksuyundan renk giderimi incelenmiştir. Bu atıksu oldukça yüksek derişimde organik ve inorganik kirleticiler içerir. Alınan suyun renk ölçümü 500 Pt-Co değerinden büyük ve pH değeri ise 7,9'dur. Atıksu denemeler süresince 4°C deki ortamda tutulmuştur.

Deneylerde 700 W gücünde ev tipi mikrodalga fırın kullanılmıştır. Atıksudan renk giderimi sağlamak için Ca(OH)_2 koagülant madde olarak seçilmiştir. 100 mL atıksu için koagülant madde miktarı, mikrodalga ışınım süresi ve gücünün etkisi incelenmiştir. Fırından çıkarılan atıksu örnekleri ince filter kağıdından süzölmüş ve 455nm dalga boyunda Hach-DR200 model UV spektrofotometresinde renk ölçümleri yapılmıştır.

4. Sonuçlar

Sonuçlar Tablo 1,2 ve 3'te verilmiştir.

Tablo1. Koagülant miktarının renk giderimine etkisi (düşük güç, 2 dakika ışınım süresi)

Koagülant miktarı (g/100 mL atıksu)	Son pH	Renk değeri (Pt-Co)
0,1	11,9	>500
0,2	12,2	90
0,3	12,5	38
0,4	12,4	44
0,5	12,5	61
0,6	12,2	98

Tablo 2. Mikrodalga ışıının süresinin renk giderimine etkisi (0,3 g koagülant ve düşük güç)

Süre (dk)	Ph	Renk değeri (Pt-Co)
0,5	12,4	114
1	12,4	93
1,5	12,3	73
2	12,5	38

Tablo 3. Mikrodalga ışıının gücünün renk giderimine etkisi (0,3 g koagülant ve 2 dk ışıının süresi)

Güç ayarı	pH	Renk değeri (Pt-Co)
Düşük (336 W)	12,6	38
Orta (462 W)	12,1	51
Yüksek (595 W)	11,8	98



Şekil 3. Atıksu ve arıtılmış su örnekleri

Boyarmadde içeren endüstriyel atıksuların arıtımında tesislerin çoğu koagülasyon/flokülasyon yöntemini kullanmaktadır. Bu yöntemde kimyasal maddeler atıksuya ilave edilerek belli sürelerde hızlı ve yavaş karıştırma hızlarında karıştırıldıktan sonra oluşan yumakların çökmesi için atıksu birkaç gün bekletme tanklarında tutulmaktadır. Süreç sonunda atıksuyun süzülmesi sonucunda çıkan çamur susuzlaştırılarak uygun endüstrilerde tekrar kullanılabilir ya da bertaraf edilebilir. Geleneksel arıtma yöntemi olan koagülasyon/flokülasyon ile arıtmada kimyasal madde kullanımı ve harcanan zaman fazladır ve dolayısıyla arıtma maliyeti artmaktadır. Ancak yapılan deneysel çalışma sonucunda boyarmadde içeren gerçek bir endüstriyel atıksuyun mikrodalga yöntemi ile daha az

miktarda kimyasal madde kullanarak ve çok kısa zaman aralıklarında yüksek verimde arıtılabilirliği görülmüştür. 100 mL atıksu için 0,3 g $\text{Ca}(\text{OH})_2$, düşük güçte ve 2 dakika ışınlama süresi sonucunda Şekil 3'te de görüldüğü üzere gayet berrak bir su elde edilmiştir. Bu yöntemin endüstriye uygulanmasında başlangıç maliyetinin yüksek olmasına rağmen uzun süreçte diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında arıtım maliyeti daha düşük olacaktır.

Kaynaklar

- Anonim, (1988). *Su Kirliliği Yönetmeliği*, Resmi Gazete, 4 Eylül, sayı 19919.
- Bi, X., Wang, P., Jiang, H., Xu, H., Shi, S., Huang J. (2007).” *Treatment Of Phenol Wastewater By Microwave-Induced $\text{ClO}_2\text{-CuO}_x/\text{Al}_2\text{O}_3$ Catalytic Oxidation Process*”, Journal of Environmental Sciences, 19, 1510-1515.
- Karaaslan, S., (2008). *Sebze Ve Endüstri Bitkilerinin Mikrodalgayla Kurutulması Üzerine Çalışmalar*, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kuşlu, S., (2001). *Mikrodalga Enerjisinin Kimyasal Reaksiyonlar Üzerine Olan Etkilerinin Araştırılması: Pirit Mineralinin Çözeltilerinde Mikrodalga Enerjisi İle Çözündürülmesi*, Doktora Tezi, Atatürk Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Lai, T.Y., Lee, C.C., Wu, K.S., Shu, Y.Y., Wang, C.B. (2006).” *Microwave-Enhanced Catalytic Degradation Of Phenol Over Nickel Oxide*”. Applied Catalysis, 68, 147-153.
- Lin, L., Yuan, S., Chen, J., Xu, Z., Lu, X. (2009). “*Removal Of Ammonia Nitrogen In Wastewater By Microwave Radiation*”. J. Hazard. Mater.161, 1063-1068.
- Loupy, A. (2004). “*Solvent-Free Microwave Organic Synthesis As An Efficient Procedure For Green Chemistry*”, C. R. Chimie Journal, 7, 103.
- Menteşe, E. (2008). *Bazı Yeni 1,2,4-Triazol-5-On Bileşiklerinin Mikrodalga Yöntemiyle Sentezi Ve Yapılarının Aydınlatılması*. Yüksek Lisans Tezi, Rize Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Mudhoo, A., Sharma, S.K. (2011).” *Microwave Irradiation Technology In Waste Sludge And Wastewater Treatment Research*”, Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 41 (11), 999-1066.
- Remya, N., Lin, J.G. (2011). “*Current Status Of Microwave Application İn Wastewater Treatment-A Review*”, Chemical Engineering Journal, 166, 797-813.
- Turgut, T. (2016). “*Süt ve Ürünlerinde Mikrodalga Uygulamaları*”, Akademik Gıda, 14(4), 451-457.
- Thostenson, E.T, Chou, T.W. (1999). “*Microwave processing: Fundamentals and applications*” .Composites Part A, 30, 1055–1071.
- Yılmaz, Ş. (2015). *Sodyum Perborat Tetrahidrat'ın Mikrodalga Reaktörde Bozunma Kinetiğinin İncelenmesi*. Yüksek Lisan Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Zhang, Y., Quan, X., Chen, S., Zhao, Y. (2006). “Microwave assisted catalytic wet air oxidation of H-acid in aqueous solution under the atmospheric pressure using activated carbon as catalyst”, Journal of Hazardous Materials, 137(1):534-540.

MADEN MÜHENDİSLİĞİ

ISIL ÖN İŞLEMİN BAKIR MİNERALİNİN ÖĞÜTÜLEBİLİRLİĞİNE OLAN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Mehmet Faruk Eskibalci¹

¹*İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, İstanbul, Türkiye.
E-mail: eskibal@istanbul.edu.tr, eskibalci@gmail.com*

1.Giriş

Bakır, gerek metalik halde gerekse de çeşitli bileşikleri halinde günümüzde birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Eski çağlardan bugüne kadar bakır, dünyada en çok kullanılan metallerden biri olmuş ve önem bakımından demir ve alüminyumdan sonra üçüncü sırada yer almaktadır. Elektrik ve ısı iletkenliğinin çok iyi olması, aşınma ve korozyona karşı dayanıklılığı, soğuk ve sıcak olarak işlenebilme kolaylığı, parlak ve güzel rengi ve birçok metalle kolay alaşım yapabilmesi nedeniyle kullanım alanı çok geniştir. Özellikle elektrik ve tesisat kabloları, otomotiv sektörü, beyaz eşya sektörü ve elektronik sektöründe geniş bir kullanım alanına sahiptir(DPT, 2001).

Cevher hazırlamada tane boyut küçültme işlemleri çok büyük miktarlarda enerji ihtiyacı doğurmamakta aynı zamanda önemli derecede öğütücü ortam ve değirmen astarlarında aşınmalara da yol açmaktadır. Madencilik endüstrisinde öğütme için gerekli olan enerji ihtiyacını azaltmak buna karşın minerallerin serbestleşme derecesini arttırmak için ısı ön işlem uygun cevherlerde ekonomik bir yöntem olarak önerilebilmektedir. Bununla beraber yapılan birçok çalışmada, ısı ön işlem ile öğütme sırasında değirmen kapasitesinin artırılabilirdiği, ton cevher başına cihazdaki aşınmanın azaldığı, değirmen ürün tane boyutlarının çok daha iyi kontrol edilebildiği, şlam üretiminin ise azaltılabildiği gibi faydaları da rapor edilmektedir(Özbayoğlu&Depçi, 2007; Eskibalci, 2013).

Boyut küçültme alanında yapılan çalışmaların pek çoğu, yüksek işletme maliyetlerini azaltmayı amaçlamıştır. Örneğin çimento endüstrisi en büyük enerji tüketen endüstrilerden biridir. Üretimin en ağırlıklı işlemlerinden biri olan öğütmede kullanılan elektrik enerjisi, harcanan toplam elektrik enerjisinin % 60'ından fazla olup, çimento üretim maliyetinin ise %30-40'ına karşılık gelmektedir.

Teoride ise ancak verilen enerjinin %1 kadarı yeni bir yüzey oluşturmak için kullanılabilir. Geri kalan enerji; ses, ısı, çarpışma vb. gibi dağılmaktadır(Eskibalci, 2007).

Isıl uygulaması sonrasında mineral ara yüzeylerinde farklı gerilimler oluşmakta bu ise öğütme için gerekli olan enerji ihtiyacını azaltarak

minerallerin daha kolay kırılmasına ve birbirinden ayrılmasını sağlayabilmektedir. Bunun yanında değirmen kapasitesinin arttırılabildiği, ton cevher başına aşınmanın azaldığı, değirmen ürün boyutlarının çok daha iyi kontrol edilebildiği, ince şlam üretiminin azaltılabildiği gibi faydaları da pek çok çalışmada rapor edilmektedir(Eskibalıcı, 2014; Tamzok 2002).

2. Genel Bilgiler

2.1. Bakır ve Bakırın Genel Özellikleri

1B geçiş grubu elementi olan bakıra tarihte ilk defa rastlanılan yerin Kıbrıs Adası olduğu bilinmektedir. Bu yüzden bakırın tüm dillerdeki isimlerinin “Kypros” isminden türediği tahmin edilmektedir. Eski çağlardan bugüne kadar bakır, dünyada en çok kullanılan metallerden biri olmuş ve önem bakımından demir ve alüminyumdan sonra üçüncü sırada yer almaktadır. Bakırın önemi, başlıca üç nedenden kaynaklanmaktadır (<https://tr.wikipedia.org/wiki/Bak%C4%B1r>):

1. Dünya'nın hemen hemen tüm bölgelerinde bulunması nedeniyle geniş ölçüde üretiminin yapılabilmesi,

2. Elektriği diğer bütün metaller içinde [gümüşten](#) sonra en iyi ileten metal olması,

3. Endüstriyel önemi yüksek, [pirinç](#), [bronz](#) gibi alaşımlar yapmasıdır.

Bakır, yüksek iletkenliğe sahip $8,93 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluğunda oldukça ağır bir metaldir. Atom numarası 29, ergime noktası 1083°C ve kaynama noktası 2300°C 'dir. Periyodik cetvelde 1B geçiş elementleri grubunda yer almaktadır. Ayrıca birkaç geçiş elementinin de bulunduğu gruba ismini vermektedir. Bakır grubu metaller; bakır, gümüş ve altındır. Bakırın kendine has doğal bir rengi vardır. Metalik bakırın özellikleri safiyeti ve kaynağı ile değişiklik gösterir. Örneğin, yüksek safiyetteki bakırın çok sünek olması, kolay işlenebilmesini sağlarken kristal kafes yapısındaki kusurlar elektrik ve ısı iletkenliğini doğrudan etkilemektedir(<http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/bakir>).

2.2. Bakır Cevherleri ve Mineralleri

Bakır cevherleri, dünyanın çeşitli yerlerinde bulunmaktadır. Bakır yataklarının dağılımı çeşitlilik gösterdiğinden, dünyada bakır üretimi belirli bölgelerde yapılmaktadır. Bakır cevherlerini, nabit bakır cevherleri, sülfürlü bakır cevherleri ve oksitli bakır cevherleri olarak üç kategoriye ayırmak mümkündür(Akkaş, 2011).

Sülfürlü bakır cevherleri, yeryüzünde en çok rastlanılan bakır cevherleridir. Sülfürlü bakır cevherleri, yüksek tenöre sahip ise doğrudan ergitilebilir. Eğer orta ya da düşük tenörlü ise öncelikle zenginleştirilmeleri gerekir. Oksitli bakır cevherleri ise hem pirometalurjik hem de

hidrometalurjik olarak üretilmeye müsait fakat düşük tenörlü ise sadece hidrometalurjik yöntemler tercih edilmektedir.

Gün geçtikçe artan taleple paralel olarak düşüş gösteren bakır cevherlerin tenörleri, teknolojinin gelişmesi ile kolaylıkla değerlendirilebilmektedir. 1850'li yıllarda ortalama bakır cevherlerinin tenörü %20 iken, 1920'li yıllarda %1,5 ve günümüzde %0,3'lere kadar düşmüştür. Bakır cevherlerinde en çok rastlanan gang mineralleri kuvarstır. Kuvarsın yanında kalker, dolomit ve kil gibi mineraller de en çok bulunan gang mineralleri arasındadır(Özer 2012).

Litosferi oluşturan kayalar içerisinde 33-55 ppm ve bazaltik magmatik kayalarda 100-1000 ppm oranında Cu bulunurken, bugün %0.25'ten fazla bakır içeren kayalar cevher olarak işlenebilmektedir. Bilinen doğal 170 civarındaki Cu mineralinden en önemlisi kalkopirittir. Tüm primer bakır yataklarında kalkopirit'e rastlanır. Kalkosin ise sekonder yatakların ve özellikle emprenye tip yatakların önemli Cu mineralidir(Habashi, 1997).

2.3. Türkiye Bakır Rezervleri

Türkiye'nin önemli bakır rezervleri Karadeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri'nde bulunmaktadır. Bilinen en önemli bakır yatakları Murgul, Çayeli-Madenköy, Lahanos, Ergani, Siirt-Madenköy, Cerattepe ve Küre'dir. Türkiye görünür bakır rezervi, 2000 yılı itibariyle bakır metali içeriği olarak 1.697.204 tondur.

Cumhuriyet Dönemi'nde 1937 yılına kadar üretim hiç yapılmamıştır. Türkiye'de ilk olarak 1937 yılında Kuvarshan Bakır İşletmesi, 1939 yılında ise Ergani Bakır İşletmesi'nde Etibank tarafından tekrar üretime geçilerek ilk blister bakır üretilmiştir. Bugün, ülkemizde yıllık ortalama 60.000 ton bakır cevheri üretilmekte olup, dünya bakır üretimindeki payı sadece %0,43 düzeyindedir. Ülkemizde üretilen bakır konsantrelerinin yarısına yakın miktarı ülkemizin tek izabe tesisi olan Samsun izabe tesisinde işlenmektedir.

Türkiye de bulunan bakır yataklarının sınıflandırılması şu şekildedir:

- o Porfiri bakır yatakları,
- o Masif sülfür yatakları
- o Hidrotermal damarlar ve kontakmetasomatik yataklar.

Bu yataklardan porfiri bakır yatakları ülkemizde işletilebilecek düzeyde değildir. Ülkemizde bulunan masif sülfür bakır yataklarının en önemlileri ise Artvin-Murgul, Rize-Çayeli-Madenköy, Giresun-Espiye-Lahanos, Elazığ-Ergani, Siirt-Sirvan-Madenköy ve Kastamonu-Küre dir. Hidrometal ve kontakmetasomatik tip yataklar ise ülkemizde sayıca çok

bulunmalarına rağmen, rezervleri düşüktür. Türkiye bakır yatakları haritası Şekil 1’de verilmiştir(MTA, 2016).



Şekil 1. Türkiye'nin bakır yatakları(MTA)

2.4. Bakırın Kullanım Alanları

Bakır, çeşitli Bakır, çeşitli piro, hidro ve elektrometalurjik metotların kullanılmasıyla cevherlerinden saf olarak üretilmektedir. Pirometalurjik metotlar, sülfürlü, oksitli ve nabit bakır cevherlerine, hidrometalurjik metotlar ise düşük tenörlü oksitli bakır cevherlerine uygulanır. Elektrometalurji metotları da yukarıdaki yöntemlerin son kademesi olarak her ikisine de uygulanır. Böylece, pirometalurji metotlarıyla elde edilen saf olmayan bakır, elektrolitik arıtmaya tabi tutularak saf katot bakıra çevrilir. Benzer şekilde hidrometalurjik yollarla sulu çözeltiye alınan bakır, elektrokazanım yoluyla katotta saf olarak toplanabilmektedir. Dünya bakır üretiminin %80’i sülfürlü cevherlerden yapılıdır(<https://tr.wikipedia.org/wiki/Bak%C4%B1r>).

Elektrik ve elektronik sanayi:

Termik (kömür, fuel-oil, motorin, doğalgaz, jeotermal), hidrolik ve nükleer gibi çeşitli enerjilerden yararlanılarak üretilen elektrik enerjisi, genelde uzun mesafelere iletilir; şehir ve köy gibi yerleşim bölgelerine, sanayi tesislerine dağıtılır ve buralarda tüketilir. Çıplak iletkenler, baralar, yalıtılmış hava hattı ve yeraltı güç kabloları ve ek malzemeleri elektrik enerjisi iletim ve dağıtımının başlıca elemanlarıdır. Yakın zamana kadar, elektrik enerji iletim ve dağıtımında, bakır, uygun özellikleri nedeni ile bu alandaki ana iletken malzemesi olmuştur. Bakır, yüksek elektrik geçirgenliği, işlenebilme ve mekaniksel özellikleri iyi olan bir metaldir. Gümüşten sonra en iyi iletken metal bakırdır.

- İnşaat Sanayii:
- Ulaşım Sanayii
- Kimya
- Kuyumculuk:
- Boya sanayi

Üstün fiziksel ve kimyasal özelliğinden dolayı endüstride yaygın olarak kullanılan bakırın tüketiminin sektörel olarak dağılımı Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Bakır tüketiminin sektörel dağılımı

SEKTÖR	DÜNYA	ABD	JAPONYA	ALMANYA
	(%)	(%)	(%)	(%)
Elektrik ve Elektronik	50	25	52	54
İnşaat Sanayi	17	39	15	14
Ulaşım Sanayi	11	11	11	11
Endüstriyel Ekipman	16	15	15	14
Diğerleri	6	10	7	7
TOPLAM	100	100	100	100

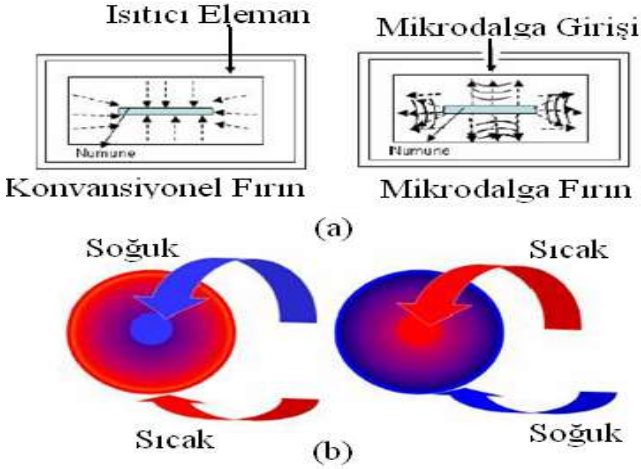
2.5. Isıl İşlem Uygulamaları

Konvansiyonel ısıtma sistemlerinde ısı, mikrodalga sistemlerin tam tersine maddenin dışından içine doğru taşınır. Konvansiyonel sistemlerde ısı transferi iletim, konveksiyon ve ısıma olmak üzere üç yolla gerçekleşmektedir. Örneğin, konvansiyonel bir fırındaki malzemenin ısınması için önce fırının iç duvarları ısınacak daha sonra ortamdaki ısı iletim, konveksiyon ve/veya ısıma yoluyla malzemeye iletilecek ve malzeme dış yüzeyinden merkezine doğru ısınacaktır ve enerji materyalin yüzeyinden başlayarak iletim, taşınım ve radyasyon ile transfer olacaktır. Konvansiyonel ısıtmalarda malzeme içinde büyük ısı değişimi oluşmaz, ısıtma istenilen bölgeye ve geometriye göre ayarlanabilir (Demir vd., 2017).

Konvansiyonel ısıtma; genellikle mikrodalga da yaptığı ön ısıtma, kurutma ve dehidrasyon için uygulanmaktadır. Konvansiyonel ısıtmalarda malzeme içinde büyük ısı değişimleri olur. Konvansiyonel yöntemlerde selektif ısıtma söz konusu olmamaktadır.

Mikrodalga sistemi ile konvansiyonel ısıtma sistemleri karşılaştırıldığında ısıtma veya kurutma süresinin çok daha mikrodalgaya

göre daha uzun ve daha heterojen bir ısıtma ve kurutma olduğu görülür. Konvansiyonel fırınlarda pişirme işlemi sırasında ısı temel olarak konveksiyon tarafından ısınan ortamdan ve radyasyon yoluyla fırın duvarlarından ürün yüzeyine transfer olur, bu olayı kondüksiyon tarafından merkeze transfer takip eder (Lester&Kingman, 2004). Konvansiyonel ve bir mikrodalga fırında ısıtma paternleri Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Konvansiyonel(a) ve mikrodalga (b) fırınlarda ısıtma paternleri

Konvansiyonel ısıtma işlemleri genelde döner veya akışkan fırında gerçekleştirilmektedir. Buna alternatif olarak ortaya atılan mikrodalga ısıtma işleminde ise ısıtma homojen olmayıp, seçimlidir. Yani, maddenin farklı kısımları mikrodalga radyasyonunu absorplama kabiliyetine göre farklı ısınma özelliği göstermektedir. Mikrodalga, malzemeye seçimli ısıtma yapması nedeniyle konvansiyonel ısıtmaya göre daha hızlı ısıtmakta ve dolayısıyla çözünme hızını arttırmaktadır.

Mikrodalga sistemi ile konvansiyonel ısıtma sistemleri karşılaştırıldığında ısıtma veya kurutma süresinin çok daha mikrodalgaya göre daha uzun ve daha heterojen bir ısıtma ve kurutma olduğu Konvansiyonel ısıtmaya alternatif olarak mikrodalganın kullanımı yüksek bir potansiyel göstermekte olduğu için konvansiyonel sistemin kullanımı son zamanlarda azalmaktadır(Eskibalıcı, 2007).

2.6. Önceki Çalışmalar

Eskibalıcı (2013)’nın yapmış olduğu bu çalışmada konvansiyonel ısıtma işleminin kromit mineralinin öğütülebilirliğine olan etkisini incelemiştir. Yapılan deneylerde kromit numuneleri konvansiyonel bir fırında farklı sıcaklıklarda ve farklı ısıya maruz kalma sürelerinde öğütülerek ısıtma işleminin kromitin öğütülebilirliğine olan etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu deneyin sonucunda; ısıya maruz kalma süresi ve sıcaklık değerlerinin artışına bağlı olarak kromitin öğütülebilirliğinin azaldığı kromitin kristal yapısında değişimler meydana getirdiğini, taneler arası bağların daha da sağlamlaştığını ve bu olayın sonucunda öğütmeye olumsuz etki yarattığı tespit etmiştir.

Özbayoğlu ve Depçi (2007)'nin yapmış olduğu bu deneyde bir taş kömüründe ısıl işlemin öğütülmeye olan etkisinin sonuçları incelemiştir. Yapılan deneylerde amacı mikrodalga ile ısıtma işleminin farklı tane boyutlarındaki kömürün öğütülebilirliği üzerindeki etkisinin araştırılması olup, taş kömürü üzerinde gücün, işlem zamanının ve tane boyutunun öğütülebilirlik üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu deneyin sonucunda; bütün farklı tane boyutlarında kömürlere uygulanan mikrodalga enerjisi öğütülebilirliği önemli ölçüde arttırdığı, kömürün içerdiği nemin iyi bir mikrodalga absorplayıcısı olmasına karşın kömürün organik yapısının mikrodalgadan etkilenmemesi, nemin kömürün bünyesinden hızlı bir şekilde ayrılması sonucunda yapıda çatlak ve kırıklar oluştuğu tespit edilmiştir.

Eskibalıcı (2014)'nin yapmış olduğu bu çalışmada ısıl ön işlemin kuvarsitin öğütülebilirliğine olan etkisi incelemiştir. Deneyin yapılışında kuvarsit numunesi konvansiyonel fırın ve mikrodalga fırınlarda farklı sıcaklıklarda, farklı güç seviyelerinde ve farklı ısıya maruz kalma sürelerinde işlem görmüş ve bu ısıl işlemlerin kuvarsitin öğütülebilirliğine olan etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu deneyin sonucunda; her iki fırın için ısıya bağlı öğütme deneylerinden elde edilen tüm sonuçlar normal numunenin (ısı uygulaması olmayan) öğütme sonuçları ile genel olarak karşılaştırıldığında ısı uygulamasının kuvarsitin öğütülebilirliğine olumlu bir etkisinin olmadığını tespit etmişlerdir.

Güngören vd. (2016)'nin yapmış olduğu bu çalışmada bir linyit kömüründe ısıl işlemin öğütülmeye olan etkisi incelenmiştir. Yapılan deneylerde, linyit kömürü numuleri konvansiyonel bir etüvde ve mikrodalga fırında ayrı ayrı kurutulmuş ve farklı sürelerde öğütülerek hardgrove öğütülebilirlik indeksinin linyit kömürünün öğütülebilirliğine olan etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu deneyin sonucunda; mikrodalga uygulanan kömürlerin öğütülmesi konvansiyonel öğütmeye göre daha kolay olduğu, kömürün petrografik ve kimyasal bileşimi birinci derecede önemli rol oynarken, mikrodalga işlemin gücü ve süresi de etken parametrelerden olduğu ve mikrodalgalar kömür ve cevher öğütülmesine kullanıldığında ekonomikliğin sağlanabilmesi için fizik, elektrik-elektronik, cevher hazırlama, makine mühendisliği gibi farklı disiplinlerle ortak çalışmalar yapılması gerektiği sonucunu tespit etmişlerdir.

Güngör ve Atalay (1996) Ülkemizdeki Kef kromit cevheri ve farklı kimyasal bileşimdeki üç bakır cevheri üzerinde mikrodalga destekli

öğütülebilirlik çalışmaları yapmışlardır. Bu çalışmalarda mikrodalga ısıtmanın cevher üzerindeki etkilerini görmek için orijinal ve ısı uygulanmış örneklerin iş indeksi, kırılma oranı ve kırılma dağılım fonksiyonlarını araştırılmışlardır. Kef kromit cevheri ve bakır cevherleri üzerinde yaptıkları bu çalışmalarda mikrodalga ön uygulamanın sınırlı bir etki yaptığını, tespit etmişlerdir.

3. Malzeme ve Yöntem

3.1. Malzeme

Deneylere esas olan malzeme Kastamonu-Küre bölgesinde faaliyet gösteren bir bakır işletmesinden temin edilmiştir. Numunenin kimyasal bileşimini belirlemek için analizler yapılmıştır.

Numunenin mineralojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, öncelikle parlatma işlemleri yapılarak mineral tanelerinin bulunmuş şekilleri ve dağılımları polarizan mikroskop altında görüntülenerek, tanımlanması yapılmıştır. Bunun yanı sıra en önemli mineral tanımlama yöntemlerinden biri olan XRD (X- Işınları Kırınımı) analizleri, MTA Genel Müdürlüğü Laboratuvarlarında yapılarak numunelerin içerdiği mineraller tespit edilmiştir.

Isıl özelliklerin incelenmesi amacıyla Termo Gravimetrik Analiz (TGA) ve Diferansiyel Termal Analiz (DTA) testleri; İstanbul Üniversitesi laboratuvarında bulunan RIGAKU Thermal Analyzer Ver.2, 22E1 model TG-DTA cihazında gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'de TG-DTA cihazının resmi verilmiştir.



Şekil 3. TG-DTA analiz cihazı

Bu testler; bakır mineralinin ısı uygulaması sırasında uzaklaşan bünye suyunun miktarı, bozunmanın sıcaklığı, bozunma ve yeniden kristallenmenin doğası ve mekanizmasını tespit edebilmek için gerçekleştirilmiştir.

Hardgrove Öğütülebilirlik İndeks (HGI) deneyleri İstanbul Üniversitesi cevher hazırlama laboratuvarında bulunan Hardgrove deney aygıtı ile yapılmıştır. Şekil 4’de görülen Hardgrove deney aygıtı, çelikten yapılmış ve içinde 25,4 mm çapında sekiz adet bilyenin hareketi için yatay yuva bulunan hareketsiz öğütme çanağı içermektedir. Bilyeler, 19-21 dev/dk hızla dönen bir üst öğütme halkası tarafından tahrik edilmektedir.



Şekil 4. Hardgrove deney aygıtı

Konvansiyonel fırında yapılan ısıl işlem deneyleri Protherm marka kül fırınında gerçekleştirilmiştir. Maksimum 1000°C’ ye çıkabilen, PID kontrolü ile sıcaklığı hassas olarak ayarlanabilen homojen bir ısıtma sağlanması amacıyla fırın içerisinde hava veya gaz sirkülasyonu yapılabilen fırındır. Deneylerde kullanılan fırının resmi Şekil 5’ de verilmiştir.



Şekil 5. Deneylerde kullanılan konvansiyonel fırın

Mikrodalga uygulaması için 2450 MHz frekansta çalışan 5 farklı güç seviyesi olan Arçelik MD595 model ev tipi bir mikrodalga fırın kullanılmıştır. Isı ölçümleri için Voltcraft IR- 1001A model infrared

termometre kullanılmıştır. Şekil 6'da kullanılan mikrodalga fırın ve infrared termometrenin resmi verilmiştir.



a) Mikrodalga Fırın



b) İntered termometre

Şekil 6. Deneyde kullanılan a) mikrodalga fırın, b) infrared termometre

3.2. Yöntem

Numuneler Hard Grove İndeks test cihazında deneylere tabi tutulmak için bir dizi boyut küçültme ve boyuta göre sınıflandırma işlemine tabi tutularak -1,0 mm +0,5 mm tane boyutuna indirilmiş ve 50 gr'lık deney örnekleri hazır hale getirilmiştir.

Uygulanan ısıl işlem ile numunelerin kristal yapısının bozulmamasına dikkat edilerek optimum sıcaklık değeri belirlenmiştir. Sıcaklık değeri belirlenirken DTA analiz sonuçlarından yararlanılmıştır.

Isıl işlemin numunenin öğütülebilirliğine olan etkisini belirlemek için önce ısıl işleme tabi tutulmamış numunelerin öğütme deneyleri yapılmış, bu deneylerden elde edilen sonuçlar ısı uygulaması sonrası elde edilen deney sonuçları ile mukayese edilmiştir.

Mikrodalga fırınlarda doğrudan sıcaklık ayarlaması yapılamadığı için numunenin farklı mikrodalga güç seviyelerinde ve farklı maruz kalma sürelerinde ulaştığı sıcaklık değerleri tespit edilerek uygulanacak olan güç seviyesi ve maruz kalma süresi tespit edilmiştir.

Konvansiyonel fırında yapılan ısıl işlem uygulamalarında numune, farklı sıcaklık (150 °C, 250 °C, 350 °C ve 400 °C) ve farklı maruz kalma sürelerinde (10-20-30-40 ve 50 dk) ısıya maruz bırakılmış, daha sonra malzeme fırından dışarı çıkartılarak hardgrove deney aygıtında öğütme işlemine tabi tutulmuştur.

Konvansiyonel ve mikrodalga fırında ısı uygulamasına maruz kalmış numuneler numuneler sıcaklığını kaybetmeden hardgrove deney aygıtında öğütme işlemine tabi tutulmuştur. Öğütme işlemi hardgrove deney cihazının 60 devir yapması ile sonlandırılmıştır. Bu işlemin ardından öğütülmüş olan malzeme 75 µm' luk elekten elenmiş olup elek altına geçen bakır miktarı tartılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre farklı sıcaklık ve zamanlarda deneye tabi tutulan numunelerin Hardgrove İş İndeksleri (HGI) aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$HGI = 13,6 + 6,93xM \quad (1)$$

Burada “M” 75 µm altına geçen numune ağırlığıdır (g). Bulunan HGI değerine göre aşağıdaki yorumlar yapılabilmektedir:

HGI>70 ise numune kolay öğütülebilir,

HGI=50-70 ise numune orta derecede öğütülebilirliğe sahiptir,

HGI=30-50 ise numune zor öğütülebilir.

HARDGROVE TESTİNDEN BULUNAN HGI DEĞERLERİ BOND (1954)'E GÖRE BOND İŞ İNDEKSİ (Wİ) DEĞERLERİNE AŞAĞIDAKİ FORMÜL İLE DÖNÜŞTÜRÜLEBİLMEKTEDİR.

$$Wi = \frac{88}{HGI^{0,5}} \quad (2)$$

4. BULGULAR

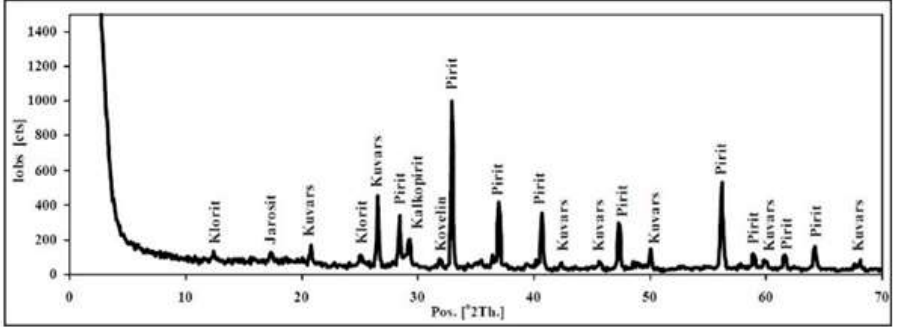
4.1. Numunenin Kimyasal Analizi

Numunenin yapılan kimyasal analiz sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.(Özer, 2012)

Tablo 2. Numunelere ait kimyasal analiz sonuçları(Özer, 2012)

4.2. Numunenin Mineralojik Analizi

Numunenin yapılan mineralojik analiz sonuçları Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Küre tüvenan numunesinin XRD analizi sonuçları(Özer, 2012)

Yapılan mineralojik incelemeler sonucunda, Küre tüvenan numunesinde saptanan başlıca cevher mineralleri başta pirit ve kalkopirittir. Bu minerallere daha az oranda sfalerit ve ayrışma ürünü bakır sülfürler (başta kovelin olmak üzere kalkosin) eşlik eder. Diğer bakır mineralleri gözlenmemiştir. Gang mineralleri çoğunlukla kuvars ve serisitten oluşmaktadır(Özer, 2012)

4.3. Isıl Özelliklerin İncelenmesi

Bu testler; bakır mineralinin ısı uygulaması sırasında uzaklaşan bünye suyunun miktarı, bozunmanın sıcaklığı, bozunma ve yeniden kristallenmenin doğası ve mekanizmasını tespit edebilmek için gerçekleştirilmiştir. Bakır mineralinin TG ve DTA grafikleri Şekil 9’da verilmiştir.

Şekil 9. Küre tüvenan cevher numunesinin TG-DTA eğrisi

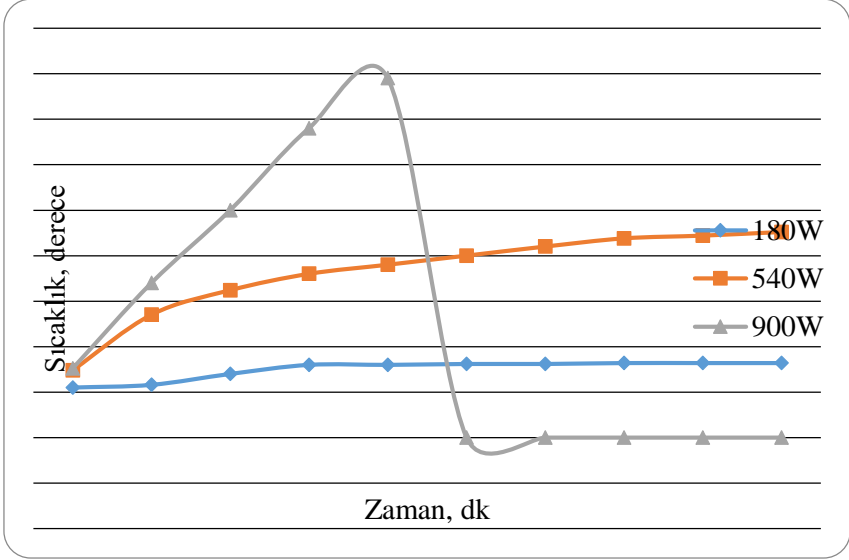
Grafik incelendiğinde Küre bölgesi sülfürlü bakır cevherini temsil eden numunenin ısıl analizi yapıldığında 207 °C-395 °C sıcaklıkları arasında metal sülfürlerin oksidasyon reaksiyonu gerçekleşmektedir. Bu ekzotermik reaksiyon piki DTA eğrisinden net bir şekilde tespit edilememekle birlikte, DTG eğrisinde görülebilmektedir. Ayrıca TG eğrisi incelendiğinde bu sıcaklık aralığında kütle değişimi olmamaktadır.

DTA eğrisinden görüldüğü üzere en büyük ekzotermik reaksiyon piki 395 °C-545 °C sıcaklık aralığında (maksimum etki 464 °C) görülmektedir. Ayrıca en büyük kütle azalmasının %13,5 oranı ile bu sıcaklık aralığında gerçekleştiği TG eğrisinden görülebilmektedir. Bu süreçte piritin bozunması demir sülfat oluşumu ve hematit oluşumu reaksiyonları gerçekleşmektedir. 545 °C den sonraki sıcaklıklarda kütle artış hızı belirgin bir şekilde düşmekte, hatta hafif bir kütle artışı TG eğrisinden görülmektedir. 545 °C-563 °C sıcaklığı arasında gözlenen bu durum bakır ve bakır oksit (bazik) sülfatların oluşumuna işaret etmektedir. Bu bilgiler ışığında numuneye uygulanacak maksimum sıcaklık 400 °C olarak belirlenmiştir(Özer, 2012).

4.4. Numunenin Mikrodalgaya Bağlı Sıcaklık Değişimi

Önceden 50' şer gram olarak tartılıp hazırlanan numuneler uygun bir kap içersinde mikrodalga fırına yerleştirilmiş ve farklı güç seviyelerinde (180-540-900 W) sırasıyla mikrodalga enerjiye maruz bırakılarak belirli zaman aralıklarıyla infrared termometre ile numunenin yüzey sıcaklıkları ölçülerek not edilmiştir. Sonuçlar Şekil 10'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde uygulanan güç seviyesi arttırıldığında numune sıcaklığının

hızlı bir şekilde arttığı görülmektedir. 900 W güç seviyesinde 5.dk da numunenin fırın içerisinde alev almasıyla ölçüm durdurulmuştur. HGI Deneylerinde 900 W güç seviyesinde malzemenin yapısının bozulmaması için süre konusunda kısıtlamaya gidilmiş ve 3 dk nın üzerine çıkılmamıştır.



Şekil 10. Numunenin mikrodalgaya bağlı sıcaklık değişimleri

4.5. Numunenin Normal HGI Deneyleri

Isıya bağlı deneylere başlamadan önce karşılaştırma yapabilmek amacıyla orijinal (ısı uygulaması yapılmamış) numune üzerinde bir dizi deney yapılarak referans değerler elde edilmeye çalışılmıştır. Numune üzerine yapılan deney 3 kez tekrarlanılarak sonuçların ortalaması referans değer olarak kabul edilmiştir. Deneylerden elde edilen HGI değerleri ve W_i (Bond iş indeksi) değerleri Tablo 3’de verilmiştir. Deney 3 kez tekrarlanmıştır. Her deney sonunda birbirine yakın değerler elde edilmiştir.

Tablo 3. Orijinal numunenin HGI ve W_i değerleri

	HGI	İş İndeksi
Deney 1	85,00	9,55
Deney 2	85,07	9,54
Deney 3	85,07	9,54
Ort. Değer	85,05	9,54

4.6. Mikrodalgaya Bağlı HGI Deneyleri

Mikrodalgaya bağlı deneylerde; 900 watt güç seviyesinde farklı maruz kalma sürelerinde ısıya maruz kalan numuneler fırından alındıktan hemen sonra HGI deneylerine tabi tutulmuştur. HGI işlem prosedürü uygulandıktan sonra elde edilen HGI değerleri ve ilgili dönüşüm formülleri kullanılarak bulunan bond iş indeksi değerleri Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. 900 watt’da farklı maruz kalma sürelerinde yapılan deney sonuçları

Süre (dk)	Hardgrove İndeksi	İş İndeksi
1	88,44	9,36
1,15	89,83	9,29
1,3	91,90	9,18
1,45	93,98	9,08
2	94,68	9,04
2,15	93,64	9,10
2,3	87,75	9,40

Elde edilen veriler yardımıyla Şekil 11’de numunenin bond iş indeksi (W_i) değerlerindeki değişimin grafiği verilmiştir.

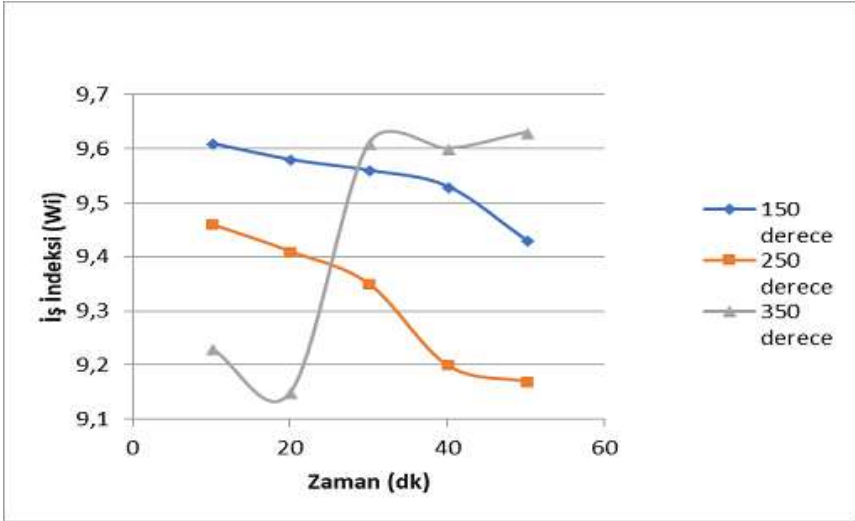
Şekil 11. 900 watt güç seviyesinde numunenin zamana bağlı iş indeksi değişimi

Grafik incelendiğinde iş indeksi değerleri 60. sn den 120. sn ye kadar sıcaklık artışına bağlı olarak düşüş göstermiştir. 120. sn den sonra malzeme yapısında meydana gelen değişimlerden dolayı iş indeksi değerlerinde de az da olsa bir artış gözlemlenmiştir.

4.7. Konvansiyonel Isıtmaya Bağlı HGI Deneyleri

Deneylerde numune farklı sıcaklık (150 °C, 250 °C, 350 °C ve 400 °C) ve farklı maruz kalma sürelerinde (10-20-30-40 ve 50 dk), ısıya maruz bırakılmış, daha sonra malzeme fırından dışarı çıkartılarak hardgrove deney aygıtında öğütme işlemine tabi tutulmuştur. Deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 12’de verilmiştir.

400 °C’de yapılan ısı uygulamasında 16. dakikada numunede kavrulma meydana geldiği için deney sonlandırılmıştır.



Şekil 12. Farklı sıcaklıkların İş indeksi-Zaman grafiği

Konvansiyonel fırında ısıya bağlı öğütme deneylerinden elde edilen tüm sonuçlar, normal numunenin (ısı uygulaması olmayan) öğütme sonuçları ile genel olarak karşılaştırıldığında ısı uygulamasının belli bir sıcaklık ve zamana kadar numunenin öğütülebilirliğine olumlu bir etkisi olduğu tespit edilmiştir.

5. Tartışma ve Sonuç

DeneySEL çalışmalara esas olan bakır numunesi; Eti Maden İşleri Genel Müdürlüğü Kastamonu Küre bakır Müessesesi’nden temin edilmiştir.

Bu çalışmada tüvenan bakır cevherinin, konvansiyonel ve mikrodalga ısıtmaya bağlı öğütülebilirliği incelenmiştir.

Tesisten getirilen iri boyuttaki malzeme Hard Grove İndeks (HGI) deneylerinde kullanılmak üzere bir dizi hazırlık işleminden geçirilmiştir. Numunelere ilk önce el ile kırma işlemi uygulanmış daha sonra çeneli ve merdaneli kırıcılara beslenilerek kademeli olarak tamamı 1mm nin altına indirilmiştir. Laboratuar elekleri yardımıyla da malzeme deneylerde kullanılmak üzere -1mm+0,5 mm boyut grubunda sınıflandırılmıştır. HGI deneyleri 50 gr'lık numuneler ile gerçekleştirilmiştir.

Bakır numunesinin ısı özelliklerinin incelenmesi TGA – DTA eğrisinden yararlanarak yapılmıştır. Bu eğriler neticesinde numunemize ısı uygulamasıyla bozunmanın sıcaklığı, bozunma ve yeniden kristellenmenin doğası, bakır mineralinin ısı uygulama sırasında uzaklaşan bünye suyunun miktarı tespit edebilmek için gerçekleşmiştir. Bu grafiklerden bakırın metal oksidasyon reaksiyonu 207 °C ile 397 °C aralığında meydana geldiği görülmektedir. Bu sebeple numunenin işleme sokulacağı sıcaklık 150 °C ile 400 °C arası uygun görülmüştür.

Isı uygulamasının etkisini belirleyebilmek için öncelikle orijinal numunenin (mikrodalgaya maruz bırakılmamış) HGI testleri yapılarak referans değerler elde edilmeye çalışılmıştır. Bu testlerden numunenin HGI değeri 85,05 ve Bond iş indeksi değeri 9,54 olarak tespit edilmiştir.

Cihazların teknik özellikleri ve numunenin mineralojik yapısının bozulmaması dikkate alınarak farklı sıcaklık ve maruz kalma süreleri test edilerek ısıya bağlı ön işlem sonrası yapılan her bir öğütme deneyinden elde edilen veriler ısıya maruz kalmamış numunelerden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak ısı işleminin öğütmeye olan etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

Mikrodalgaya bağlı deneylerde, 900 watt güç seviyesinde farklı maruz kalma süreleri test edilmiş, ısıya maruz kalan malzemenin HGI testleri yapılarak elde edilen sonuçlar, orijinal numuneden elde edilen değerlerle karşılaştırılarak mikrodalğanın etkisi olup olmadığını belirlemeye çalışılmıştır.

900 watt güç seviyesinde zamana bağlı olarak hızlı bir sıcaklık artışı gözlenmiş, 210 sn (3,5 dk)'de malzemedan duman çıkışı başlamış bir süre sonra gözle görülen bir alevlenme meydana gelmiştir. Bundan dolayı maruz kalma süresi sınırlandırılarak 150. sn'de sonlandırılmıştır.

Elde edilen iş indeksi değerlerinden, 120. sn ye kadar bir düşüşün olduğu, 120. saniyenin üzerindeki sürelerde ise artmaya başladığı görülmüştür. Buda malzeme yapısında meydana gelen değişimlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Konvansiyonel ısıya bağlı öğütme deneylerinde iki farklı parametre denenmiştir. Bunlar; sıcaklık ve ısıya maruz kalma süresidir. Kullanılan sıcaklıklar; 150°C, 250°C, 350°C, 400°C ve maruz kalma süreleri 10 dk, 20 dk ve 30 dk 40 dk ve 50 dk'dır.

Isıya maruz kalma süresi ve sıcaklık değerlerinin artışına bağlı olarak 350°C'nin 20. dakikasına kadar iş indeksinin düştüğü bu dakikadan sonra ise ısıl işleme uğramamış numuneye benzer davranış gösterdiği gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak bakırın öğütülebilirliğinin belli bir sıcaklık ve zamana kadar arttığı, açık bir şekilde görülmektedir.

395 °C'den 563 °C' arasında ise piritin bozunması gerçekleşmektedir. Buna bağlı olarak yapılan ısıl işlem sırasında 400°C'nin 16. dakikasında bakırın kavrulup yapısının değiştiği gözlemlenmiştir.

Kaynaklar

D.P.T, (2001), Metal Madenler Alt Komisyonu Bakır-Pirit Çalışma Grubu Raporu, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Ankara, Türkiye.

Özbayoğlu G., Depçi T., (2007), Mikrodalga enerjisinin kömürlerin öğütülebilirliğine etkisi, Bilimsel Madencilik Dergisi, Cilt 46, Sayı 3, s: 43-53.

Eskibalci, M.F., (2013), Konvansiyonel Isıtmanın Kromitin Öğütülebilirliğine Olan Etkisinin İncelenmesi Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28(1), s:31-36.

Eskibalci M.F., (2007), Cevher hazırlama ve zenginleştirmede mikrodalga enerjisinin kullanılabilirliğinin araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi.

Tamzok, N., (2002), Bakır madenciliğinde son gelişmeler ve Türkiye. s:4-6.

Eskibalci, M.F., (2014), Konvansiyonel ve mikrodalga ısıtma işleminin kuvarsitin öğütülebilirliğine etkisinin incelenmesi, EÜFBED - Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Cilt-Sayı: 7-2, s: 169-190.

<http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/bakir>

<https://tr.wikipedia.org/wiki/Bak%C4%B1r>

Akkaş, C., (2011), Oksitli bakır cevherlerinden bakır kazanımı, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İ.T.Ü, İstanbul.

Öztürk E., (2010), Çanakkale yenice kaklım kurşun çinko bakır cevherinin selektif flotasyon koşullarının ve kurşunun sodyum

metabisülfid ile bastırılmasının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi.

Özer M., (2012), Renkli metal içeren kompleks sülfürlü yapıdaki hammaddelerin kavrulma karakteristiklerinin belirlenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Habashi, F., (1997), Copper in Handbook of Extractive Metallurgy II. Ed. F. Habashi, Wiley VCH, Weinheim, Germany. pp-491-580.

MTA Genel Müdürlüğü (2016), Türkiyede ve Dünyada Bakır Raporu.

Demir İ., Güngören C., Özkan Ş.G., (2017), Mikrodalga enerjisinin kolemanit cevherinin ufalanmasına ve flotasyonuna etkisi, Bor Dergisi, cilt.2, ss.75-81.

Lester,E., Kingman, S., (2004), Effect of microwave heating on the physical and petrographic characteristics of a U.K.Coal, Energy and Fuels, 18, s:140-147.

Güngör A. and Atalay Ü., (1996), Microwave processing and grindability, *Innovations in Mineral and Coal Processing*, 7. International Mineral Processing Symposium Istanbul/Turkey, Atak, Önal& Çelik (eds), pp:13-16, Balkema, Rotterdam.

Güngören C., Özkan Ş.G., Hacıfazlıoğlu H., (2016), Mikrodalga kurutmanın linyit kömürünün öğütülebilirliğine etkisi, Bilimsel Madencilik Dergisi, cilt.55, ss.15-22.

<https://tr.wikipedia.org/wiki/Bak%C4%B1r>

KOLEMANİTİN KONVANSİYONEL VE MİKRODALGA ENERJİYE BAĞLI DEKREPİTASYON ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Mehmet Faruk Eskibalci¹

¹İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, İstanbul, Türkiye

E-mail: eskibalci@gmail.com

1.Giriş

Bor madeni, bugün yaklaşık 250 farklı malzemenin üretiminde değişik oranlarda kullanılan ve geleceğin madeni olarak kabul edilen bir mineraldir. Dünya bor rezervlerinin %72'sine sahip olan ülkemiz, bu oran ile dünyada ilk sırada yer almaktadır. Türkiye bu rezerv ile dünya ham bor ihtiyacının %95'ini karşılamaktadır ve dünya bor ihtiyacını 400 yıl karşılayabilecek bor rezervine sahip bulunmaktadır. Türkiye bor rezervinin önemli bir bölümünü Kütahya-Emet'te bulunmaktadır. Ülkemiz büyük bir bor potansiyeline sahip olmasına rağmen bor uç ürün üretimi, çeşitliliği ve pazar payı yönünden zayıf kalmaktadır. Bu amaçla son yıllarda ülkemizde rafine bor bileşikleri üretecek tesislerin yapımı için yatırımlar yapılmış ve yeni projeler hazırlanmaktadır.

2.Genel Bilgiler

2.1. Bor Elementi

Bor, yeryüzünde toprak, kayalar ve suda yaygın olarak bulunan bir elementtir. Genelde, toprakta ortalama 10-20 ppm, deniz suyunda 0,5-9,6 ppm, tatlı sularda ise 0,01-1,5 ppm arasında bor bulunur. Yüksek konsantrasyonda ve ekonomik boyutlardaki bor yatakları borun oksijen ile bağlanmış bileşikleri olarak daha çok Türkiye ve ABD'nin kurak, volkanik ve hidrotermal aktivitesinin yüksek olduğu bölgelerde bulunmaktadır. Bor, periyodik tabloda B simgesiyle gösterilen, atom numarası 5, atom kütlesi 10,8 g, yoğunluğu 2,84 g/cm³, erime noktası 2200°C ve kaynama noktası 3660°C olan, metalle ametal arası yarı iletken özelliklere sahip bir elementtir. Kütle numaraları 10 ve 11 olan iki kararlı izotoptan oluşur. Bor kristal iken siyah renkli, sert ve katı haldedir. Amorf durumda ise toz halde ve siyah renklidir. Bor tabiatta serbest olarak bulunmaz.

Bor elementi, doğada 150'den fazla mineralin yapısı içinde yer almasına rağmen, ekonomik anlamda bor mineralleri kalsiyum, sodyum, magnezyum elementleri ile hidrat bileşikleri halinde teşekkül etmiş olarak

bulunur. Bor mineralleri, bünyelerinde değişik oranlarda bor oksit (B_2O_3) içeren mineraller olup, dünyada bor elementi kapsayan yüzlerce mineral bulunmasına rağmen ticari öneme sahip olanları çok azdır.

Bor minerallerinden ticari değere sahip olanları; Tinkal (Boraks), Kolemanit, Üleksit, Probertit, Pandermit, Hidroborasit ve Kernit'tir. Bor bileşikleri içinde ticari olarak en fazla önem taşıyan boratlardır. Bunlardan boraksın doğada yaygın bulunuşu ve kullanım alanlarının fazla oluşu nedeni ile gerek endüstri, gerekse madencilikte "boraks" bor tuzları yerine kullanılmaktadır. Tablo 1'de ticari öneme sahip bor mineralleri verilmiştir (<https://www.boren.gov.tr/Sayfa/tarihce/21>).

Tablo 1. Ticari öneme sahip bor mineralleri

Yapı	Mineral Adı	Kimyasal Formül	% B_2O_3
Na Borat	Tinkal	$Na_2B_4O_7 \cdot 10 H_2O$	36,5
	Kernit	$Na_2B_4O_7 \cdot 4 H_2O$	51,0
Ca Borat	Kolemanit	$Ca_4B_6O_{11} \cdot 5 H_2O$	50,8
	Pandermit	$Ca_4B_{10}O_{19} \cdot 7 H_2O$	49,8
Na-Ca Borat	Üleksit	$NaCaB_5O_9 \cdot 8 H_2O$	43,0
	Probertit	$NaCaB_5O_9 \cdot 5 H_2O$	49,6
Mg-Ca Borat	Hidroborasit	$CaMgB_6O_{11} \cdot 6 H_2O$	50,5

2.2. Kolemanit Minerali ve Özellikleri

Kolemanit, göl ve benzeri alanlarda bulunan bir mineral türüdür. Monoklinik kristal yapıya sahiptir. Renksiz ya da beyaz olabilmektedir. Camsı bir parlaklığa sahiptir.

Kimyasal Bileşimi : $Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$

Kristal Sistemi: Monoklinik , hücre parametreleri : $a=8,74$, $b=11,26$, $c=6,10 \text{ \AA}$, $\beta=110^\circ 07'$

Kristal Biçimi: Çoğunlukla eş boyutlu ve kısa prizmatik kristalli; masif, kompakt, tanesel.

Kristal Yapısı: Kolemanitte a eksenine doğrultusunda uzanan zincirler Ca iyonları ile yatay olarak iyonik bağlanarak tabaka oluştururlar. Tabakalar zincirlerdeki hidroksil gruplar ve su molekülleri nedeni ile H bağları ile tutulurlar. Zincir biçimi $(B_3O_4(OH)_3)_2$ bileşimindedir. Burada bir BO_3 üçgeni bir $BO_3(OH)$ dörtyüzlüsü ve bir $BO_2(OH)_2$ dörtyüzlüsü köşe paylaşarak bir halka oluştururlar.

Kimyasal Bileşimi: % 27.28 CaO , % 50.81 B_2O_3 , % 21.91 H_2O .

Sertlik: 4.5 Mohs.

Özgül Ağırlık: 2.42 gr / cm^3 .

Dilininim: { 010 }

Renk ve Şeffaflık: Renksiz, beyaz; şeffaf - yarı şeffaf.

Ayrıcı Özellikleri: Kristal formu, mükemmel dilinimi, diğer boratlardan daha sert olması, üfleç alevinde çatırdar, kıvrılır, sinterleşir ve erir. Sıcak HCl' de çözünür. Çözelti soğuyunca borik asit ayrılır. Ayrışınca kalsite dönüşür. İnyoit üzerine kolemanit psödomorfları gözlenir. Üleksit ve hidroborasitten oluşabilir. Kolemanit üzerinde hidroborasit ve Veaçit-A ornatmalarına rastlanır (Gmelin, 1981).

2.3. Kolemanitin Kullanıldığı Yerler

Tekstil Kalite Cam Elyafı: Kolemanit daha çok cam elyaf (tekstil tipi cam elyaf) endüstrisinde kullanılmaktadır. Tekstil tipi cam elyaf üretiminde sodyum istenmediği için borik asit ve kolemanit diğer bor ürünlerine göre tercih edilmektedir. Karışım Ergime sıcaklığını düşürür, ergime sıcaklığında düşük viskozite sağlar, kristalleşmeyi önler, nihai cam ürününün kimyasal ve fiziksel özelliklerini olumlu yönde etkiler.

Cam ve Seramik Sanayilerinde: Camın üretiminde ergime derecesini düşürücü ve ısıl şoklara karşı direncini ve ısıl genleşme katsayısını artırıcı madde olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, seramik ve emaye sır formülasyonları içerisinde de kullanılmaktadır. Ergime sıcaklığının harmandaki diğer bileşenlere yakın olması nedeniyle kararlı bir yapı, homojen ergime ve düşük segregasyon sağlamaktadır.

Metalurji Sektöründe: Hemen hemen tüm metal oksitler için bir çözücü olması sebebiyle metalurji sanayiinde flaks olarak kullanılmaktadır. Flaks olarak kullanılan kolemanit yüksek karbonlu çeliklerden sülfür ve fosforun elimine edilmesini kolaylaştırmaktadır. Kolemanit kireç stabilizasyonunu sağlamakta ve ergime zamanı kısaltılmaktadır. Flor ile karıştırılan kolemanit düşük asiditesi nedeniyle refraktör malzemenin ömrünü uzatmaktadır.

Curuf Yapıcı Olarak Kullanımı: Bor ürünlerinin bir başka kullanım alanı da demir-çelik sektöründe tozlaşan cürufa kolemanit ilave edilerek kompakt yapıda cüruf elde etmektir. Pota metalürjisinde oluşan ve soğuduktan sonra tozlaşan cüruf, fazla ıslanma ve sıkışma özelliği olmadığından taşımada, stoklamada ve çevre açısından problem oluşturmaktadır. Bu durum işletmelere ek maliyet getirmektedir. Çelik üretiminde pota fırınına kolemanit ilavesi ile cürufu kompakt bir yapıya kavuşturulmakta ve bu sorunları en az seviyeye indirilmiştir. Bu sayede demir çelik sektöründe kolemanit kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Pota metalürjisinde ton çelik başına 10-30 kg civarında cüruf ortaya çıkmaktadır. Ortalama olarak dünyada ise 30 milyon ton tozlaşan pota cürufu ortaya çıktığı tahmin edilmektedir.

Diğer Kullanım Alanları: Kolemanitin nükleer atıkların depolanmasından, deterjan ve kozmetik sanayisine kadar oldukça fazla kullanım alanı bulunmaktadır (<http://www.etimaden.gov.tr/>).

2.4. Dekrepatasyon ve Zenginleştirme

Dekrepatasyon, belli bir sıcaklık altında minerallerin patlayarak veya kırılarak ayrılması işlemine verilen isimdir. Dekrepatasyon uygulanma amacı, malzemeye kimyasal olarak bağlı suyu uzaklaştırmaktır. Malzemenin yüksek sıcaklıklardaki fırınlarda indirgenmesi şeklinde yapılır. Kalsinasyonun bir kolu olan dekrepatasyon işlemi bor minerallerine uygulanan yöntemdir (Taggart, 1956).

Dekrepatasyon (sıcakta patlayarak dağılma) yolu ile zenginleştirme, kolemanit atıkları için uygun bir metot olarak önerilmektedir. Düşük tenörlü kolemanit cevherinde uzaklaştırılması gereken mineraller genellikle kil, marn ve kalkerdir. Tablo 2’de bu minerallerin sertliği ve özgül ağırlığı bakımından kolemanit ile kıyaslaması verilmiştir.

Tablo 2. Kolemanit ile kıyaslanan mineraller

Mineral	Bileşimi	Sertlik	Özgül Ağırlık
Kolemanit	$Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$	4-4.5	2.4
Kalsit	$CaCO_3$	3	2.6
Montmorilonit	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot nH_2O$	1	2.1

Marn'in sertliği ve özgül ağırlığı, içindeki kil miktarının artışı ile kalsitinkilerden aşağıya doğru düşecektir. Yukarıdaki değerlerin izleniminden, kolemanit'in trommelerde yıkanması ile suyun yardımı ile şişen ve dağılan kilden, arınmasının kolay olacağı, buna karşılık kalker ve marn'in özgül ağırlık farkından faydalanan usûllerle dahi ayrılamıyacağı anlaşılır (Taggart, 1956).

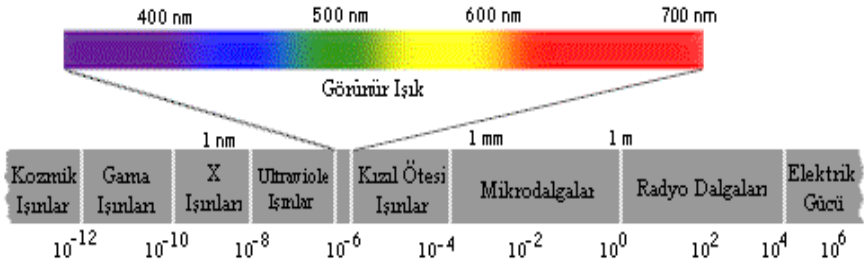
Kolemanit'in ilginç bir özelliği de yüksek sıcaklıkta parçalanarak dağılmasıdır. «Dekrepatasyon» terimi ile adlandırılan bu usûl ABD de uygulanmıştır. Kolemanit, üleksit, kil ve kalker karışımı olan bir cevher, önce 18 mm ye kırılmakta ve bir döner fırında 800°Cye ısıtılmaktadır. Dağılan kolemanit ve bir miktar ince kil, 24 meş'lik bir elekten elendikten sonra pnömatik sarsıntı tablalarında zenginleştirilmektedir (Güngör & Altay, 1999).

Elek üstü ise kalsine üleksit ile gang minerallerinden oluşmaktadır. Bu karışımdan da jig ve tablalarla üleksit konsantresi elde edilmektedir. Son zamanlarda alınan patentler ise, kolemanit'in akışkan yataklı fırınlarda

kalsine edilerek havalı siklonlarla tutulmasını öngörmektedir. Burada ısının 550°C'in üzerine çıkmamasına dikkat edilmektedir. Zira bu ısının üstünde kalsine kolemanit parçacıkları sinterlenerek toplanmaktadır. (Taggart, 1956).

2.4. Mikrodalga Teknolojisi

Elektromanyetik spektrum, hangi frekans aralığında, hangi dalga boyu ve enerjinin elde edilebileceği öngörüsünde bulunan bir tablodur. Çeşitli yollarla elde edilen elektromanyetik ışınlar, değişik frekans ve dalga boylarını kapsamaktadır (Pickles, 2009). Elektromanyetik spektrum, yüksek frekanslı kısa dalga Gama Işınlardan, düşük frekanslı Radya dalgalarına kadar farklı frekans ve dalga boylarındaki tüm elektromanyetik ışınları içermektedir. Görünür ışınlardan daha kısa dalga boyuna sahip Gama, X ve Ultraviyole gibi ışınlar çok daha büyük enerjiye sahiptirler ve tehlikelidirler. Bunun yanı sıra Radyo, Mikrodalga ve İnfrared gibi ışınlar ise görünür ışınlardan daha büyük dalga boyuna sahiptirler ve enerjileri daha düşüktür. Şekil 1'de elektromanyetik spektrum verilmiştir (Artan, 1997).



Şekil 1. Elektromanyetik spektrum

2.5. Mikrodalga Fırınların Çalışma Prensibi

Mikrodalgalar, elektromanyetik spektrumün radyo dalgaları ile kızıl ötesi ışınlar arasındaki bölümde kalırlar. Frekansları 1 GHz ila 1000 GHz arasında, dalga boyları 0,1–100 cm olan elektromanyetik dalgalardır (http://tr.wikipedia.org/wiki/Elektromanyetik_tayf).

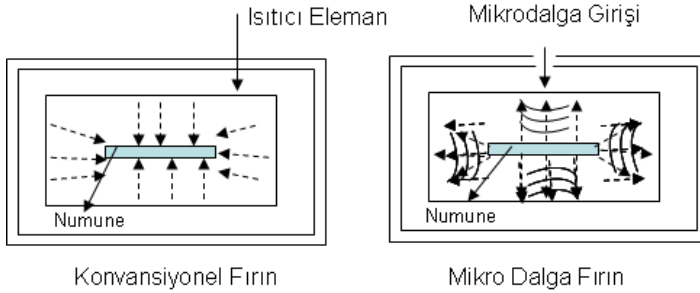
Dalgaların frekansları ile dalga boyu arasında; yüksek frekanslı dalgaların kısa dalga boyu, alçak frekanslı dalgaların ise uzun dalga boyu yayması ilişkisi ya da tam tersi durum vardır. Normal fırınların kapağında bulunan küçük delikler, ışık dalgalarının geçmesine izin verirler ve bu nedenle fırının içi görülür. Çünkü ışığın dalga frekansı oldukça yüksek, dalga boyu da çok küçüktür, mikrodalga fırınların yemeği ısıtmak için

kullandığı elektromanyetik dalgaların ise frekansı düşük ve dalga boyları daha uzundur (12,25 cm). Bu yüksek dalga boyuna sahip dalgalar kapaktaki deliklerden geçemez ve tekrar içeri yansır.

Mikrodalga fırınlarda 2,45 GHz'lik bir frekans kullanılır. Bu frekansın kullanılmasının önemli bir sebebi vardır. 2.54 GHz, su moleküllerinin rezonans frekansıdır. Bunun sonucu olarak 2.54 GHz'lik mikrodalga ışına en çok su tarafından emilecektir. Çoğu malzeme de su içerdiğinden ısınacak, mikrodalga fırına uygun kaplar ise su içermediğinden ısınmayacaktır. Mikrodalga, bu özel fırınların içindeki "magnetron" adı verilen vakum tüpünden üretilir. Magnetron, doğru akımı mikrodalgalara dönüştürmektedir(Eskibalıcı, 2007)

2.6. Mikrodalga Fırınlarda Maddenin Isıtılması

Mikrodalga ile ısıtma geleneksel ısıtmadan farklıdır ve daha kısa sürede daha düzenli ısıtma sağlamaktadır. Şekil 2’de konvansiyonel ısıtma ile mikrodalga ısıtmanın mekanizması verilmiştir. Konvansiyonel ısıtmada önce bir ısıtıcı eleman yardımıyla fırın içindeki ortam ısıtılmakta, ısınan ortam ise malzemeyi en dış tabakadan başlayarak merkeze doğru ısıtmaktadır. Mikrodalga ısıtmada ise fırın içerisindeki ortam değil doğrudan malzemenin merkezinden başlayan ve dışarıya doğru ilerleyen bir ısınma ortaya çıkmaktadır (Eskibalıcı, 2007).

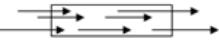





Şekil 2. Konvansiyonel ısıtma ile mikrodalga ısıtmanın mekanizması

Mikrodalgaların maddelerle etkileşimi maddenin türüne bağlı olarak üç şekilde gerçekleşir: Yansıtma, soğurma ve geçirme. Malzeme elektriksel iletkense Mikrodalga yansır ve malzeme ısınmaz. Yüksek yalıtkanlarda Mikrodalga soğurulmadan geçer ve malzeme yine ısınmaz. Mikrodalgayı soğuran malzemeler (su, şeker, yağ) ise çok ısınır. Bu malzemeleri içeren çözeltiler de derişimine göre ısınır. Maddenin kimyasal bağları da soğurma derecesini değiştirir.

Mikrodalga'nın soğurulması sonucunda oluşan ısınma iki şekilde gerçekleşir: Çift kutup etkileşim ve iyonik iletim. Çift kutup

momentli malzemeler (örn. su) Mikrodalga ye maruz kaldığında ısı üretir. Mikrodalga ye maruz kalan moleküller dönme hareketi yaparlar ve hareket sırasında ortaya çıkan sürtünme sonucunda da madde ısınır. Şekil 3’de malzemelerin mikrodalga enerji ile etkileşimi gösterilmektedir (Eskibalıcı, 2007).

	Malzeme Tipi	Penetrasyon
	Saydam(Transparan) (Isınma yok)	Tamamen Geçirme
	İletken (Isınma yok)	Yok
	Absorbe Edici (Isınma Var)	Tamamen Absorbe Edici
	Absorbe Edici (Karıştırılmış) (Isınma Var)	Tamamen Absorbe Edici

Şekil 3. Malzemelerin Mikrodalga Enerjisi ile Etkileşimi

2.7. Mikrodalga Fırınlarda Enerji Tüketimi

Mikrodalga fırınlar normal fırınlara oranla çok daha az enerji harcamaktadırlar. Örneğin elektrikli bir fırın 1000-2000 Watt’lık elektrik gücü tüketirken, mikrodalga fırınlar yalnızca 300-500 Watt’lık bir güçle çalışmaktadırlar. Mikrodalga fırının az enerji harcamasının sebebi, kullanılan enerjinin neredeyse tümünün ısıtılacak nesnede absorbe edilmesidir. Elektrikli fırında ise fırının içi ve malzemenin bulunduğu kap da gerekmediği halde ısıtıldığından gereksiz enerji harcanmaktadır (Suhm & High, 1999).

2.8. Madencilikte Mikrodalga Teknolojisinin Kullanımı

Cevher hazırlama endüstrisinde boyut küçültme işlemleri son derece büyük bir enerji yoğun işlem olup, bu senede yüzlerce megawattlık bir büyüklüğe ulaşmaktadır. Boyut küçültmedeki önemli gelişmelerden pek çoğu, yüksek işletme maliyetlerini azaltmayı amaçlamıştır. Teoride ancak verilen enerjinin %1 kadarı yeni bir yüzey oluşturmak için kullanılabilir. Geri kalan enerji; ses, ısı, çarpışma vb. gibi dağılmaktadır(Wang & ark., 2000). Pek çok mineral doğada saf olarak bulunmaz, ancak değerli ve değersiz minerallerin bir arada olduğu karışım

şeklinde. Her bir mineralin sahip olduğu farklı dielektrik özellikler nedeniyle malzemenin ısıtılması sırasında da farklı davranışlar göstermektedirler. Tane arayüzeyleri boyunca farklı gerilimler oluşmaktadır.

Isıl destekli serbestleşme(boyut küçültme), öğütme için gerekli olan enerji ihtiyacını azaltmak ve mineral serbestleşmesini artırarak uygun cevherlerdeki minerallerin birbirinden ayrılmasını geliştirmek için ekonomik bir yöntem olarak mikrodalga ön ısıtma önerilmektedir. Bunun yanında değirmen kapasitesinin artırılabilirdiği, ton cevher başına aşınmanın azaldığı, değirmen ürün boyutlarının çok daha iyi kontrol edilebildiği, ince şlam üretiminin azaltılabildiği gibi faydaları da rapor edilmektedir(Ersayın & ark., 1994).

Güngör ve Atalay Ülkemizdeki Kef kromit cevheri ve farklı kimyasal bileşimdeki üç bakır cevheri üzerinde mikrodalga destekli öğütülebilirlik çalışmaları yapmışlardır. Bu çalışmalarda mikrodalga ısıtmanın cevher üzerindeki etkilerini görmek için orijinal ve ısı uygulanmış örneklerin iş indeksi, kırılma oranı ve kırılma dağılım fonksiyonlarını araştırılmışlardır. Kef kromit cevheri ve bakır cevherleri üzerinde yaptıkları bu çalışmalarda mikrodalga ön uygulamanın sınırlı bir etki yaptığını, tespit etmişlerdir(Güngör & Atalay, 1996).

Walkiewicz ve diğerleri absorblama özelliği olmayan gang yapıları içinde mikrodalga enerji absorblayan mineraller içeren cevherlerin hızlı ısıtılmasının termal gerilimler ürettiğini göstermişlerdir. Bu termal gerilim mineral tane sınırları boyunca mikro çatlaklar meydana getirmiştir. Sonuç olarak, bir cevher örneği öğütme için çok uygun hale gelmektedir. Yazarlara göre öğütme işlemi, cevher hazırlama işlemleri içerisinde kullanılan enerjinin %50-70'ini tüketmektedir. Bundan başka konvansiyonel öğütme proseslerinin enerji verimliliği yaklaşık olarak %1 dir. Bu çalışmada demir cevherinin mikrodalga ön ısıtılması ile öğütme veriminin %9,9' dan %23,9' a kadar artırılabilirdiği belirtilmiştir. Bununla birlikte bu verim artışı mikrodalga ön ısıtma işleminin gerektirdiği enerji tüketimini karşılamak için yeterli bulunmamıştır(Walkiewicz & ark., 1991).

Wang ve ark., kireçtaşı, dolomit, kuvars ve bakır cevherleri üzerinde mikrodalga ön uygulamanın öğütülebilirlik karakteristiklerine olan etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında tane boyutunun önemli etkisinin olduğunu tespit etmişlerdir. Kireçtaşı ve kuvarsin iri tane boyutlarında bünyelerinde oluşan mikro çatlakların değirmende öğütme sırasında faydalı olduğunu belirtmişlerdir(Wang & ark., 2000).

Kömürle çalışan termik santrallarda pülverize kömür üretimi oldukça pahalı ve enerji yoğun bir prosestir. Kömürün öğünülebilirliğinde ısı uygulamasının etkisini belirlemek için yapılan bir çalışmada 3 farklı yöntem denemiş ve birbiri ile mukayese edilmiştir(Berg & ark., 1992). İlk olarak 650 W ve 2450 MHz frekanslı bir mikrodalga fırında daha sonra 1,5 kW ve 2450 MHz frekanslı bir mikrodalga fırında son olarak da konvansiyonel muffle bir fırında kömür örnekleri ısıl ön işleme tabi tutulmuşlardır. Konvansiyonel ısıtma ve mikrodalga ısıtma işlemlerinden elde edilen veriler karşılaştırıldığında mikrodalga ısıtmanın kömürün kırılabilirliğini konvansiyonel ısıtmaya göre az da olsa bir miktar arttırdığı tespit edilmiştir(Harrison & Rowson, 1997).

Mikrodalga enerji, pek çok malzeme ve ürünün örneğin, tarımsal, kimyasal ve yiyecek ürünleri, tekstil, kağıt, kereste, seramik, mineraller, çimento tozu ve kömür gibi pek çok ürünün kurutulmasında geniş uygulama alanı bulmaktadır(Haque, 1999, Kocakuşak & ark., 1995, Kocakuşak & ark., 1998, Jones & Rowley, 1996, Sener & ark., 2004, Walde & ark., 2002, Yıldız & Alp, 2000).

Kurutma, üretim prosesinin çok önemli bir parçasını oluşturmakta ve bazı hallerde üretimin hız veya süresini tayin edebilmektedir. Örneğin seramik endüstrisinde 10-14 günlük kurutma süreleri normal olarak kabul edilebilmektedir. Mikrodalga kurutma bu süreyi kısaltabileceği gibi ambar kapasitelerini de küçülterek ürünlerin teslim zamanlarını kısaltmada önemli bir rol oynayabilmektedir. Yalnız bu rol mikrodalga teknolojisinin fiziksel yönleri bilinerek yapılabilir yani elektromanyetik dalgaların yayılma ve karakteristikleri bilinmek zorundadır(Suhm & High, 1999).

Van der Berg & ark., endüstriyel amaçlar için yaygın olarak kullanılan 2,45 GHz ve 3,65 GHz frekanslarında fosfatın kurutulması ile ilgili çalışmalar yapmışlar ve bu çalışmalar sonucunda %8 oranında nem içeren fosfat cevherini endüstriyel kabul edilebilir seviye olan %1 nem içeriğine indirmişlerdir. Bu çalışmada aynı zamanda konvansiyonel kurutmaya nazaran yaklaşık %25'e yakın bir enerji tasarrufu olduğunu da belirtmişlerdir(Berg & ark., 1992).

Sülfidik mineraller mikrodalga ile kolayca ısıtılabilirdiği için bu tip refrakter altın cevherlerinin mikrodalga enerji ile ön ısıtılması mümkün olmaktadır. Haque (1987 a,b) tipik arsenopiritik refrakter altın konsantrasyonlarının hava ortamında laboratuvar ölçekli mikrodalga ön uygulama testlerini yapmıştır. Demir 550 °C'de hematite (Fe_2O_3) oksitlenirken, %80 den fazla As ve S, As_2O_3 ve SO_2 olarak buharlaşmıştır.

Akali siyanür liçi ile %98 Au ve %60 Ag kazanımı gerçekleşmiştir(Haque, 1999).

Günümüzde altın cevher üretim tesislerinin büyük bir bölümü aktive edilmiş karbon kullanmaktadır. Genellikle bu harcanan karbon yüksek sıcaklıklarda (600-750°C) döner fırınlarda ısıtılmasını takiben bir mineral asit ile yıkanarak yeniden kazanılmaktadır. Mikrodalga ısıtma ile yüksek sıcaklıklarda (>1000°C) bu karbonun kolayca ısıtılabilmesi belirtilmiştir. 850 W mikrodalga güç seviyesinde ve 2,45 GHz mikrodalga frekansında yapılan rejenerasyon çalışmalarında endüstriyel normlarda aktive edilmiş karbon elde edilmiş ve mikrodalga ısıtma ile karbon geri kazanımının uygunluğu doğrulanmıştır(Strack & ark., 1995).

3. Malzeme ve Yöntem

3.1 Deneylere Esas Olan Numune

DeneySEL çalışmalarına esas olan kolemanit numunesi; Eti Maden İşleri Genel Müdürlüğü Bigadiç Bor İşletme Müessesesi'nden temin edilmiştir. Yapılan o çalışma saf kolemanit mineralleri üzerinde yürütüldüğü için numuneler temiz ve iri kristaller olacak şekilde el ile toplanmıştır.

3.2 Karakterizasyon Testleri

Numune Hazırlama: Numune üzerinde yapılan işlemler; temizleme yani kristal yüzeylerindeki kil gibi safsızlıkların uzaklaştırılması, doğal kurutma ile yüzey neminin giderilmesi ve boyut küçültme işlemleri olmuştur. -2 +1 mm tane boyutundaki yaklaşık 15 kg malzeme bu çalışmada kullanılmak üzere 50'şer gr'lık paketlere ayrılmıştır. Temsili örnekler üzerinde bir dizi karakterizasyon testleri yapılmıştır.

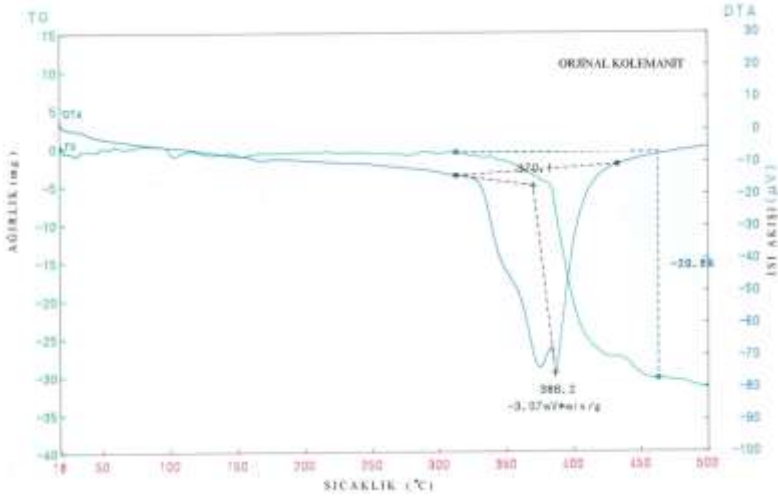
Kimyasal İnceleme: Numunenin komple kimyasal analizi Eti Maden A.Ş. Bigadiç Bor İşletmesi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları Tablo 3'de verilmiştir. B₂O₃ ve H₂O analizleri volumetrik (titrimetrik), diğer analizler X-Ray Floresans cihazında yapılmıştır. Kolemanit mineralinin %49,17 B₂O₃ içerdiği görülmektedir.

Tablo 3. Numunenin tam kimyasal analizi

Bileşen	B ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	MgO	SiO ₂	SO ₄	StrO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	As	Ateş
Numune	ppm										zayıyatı
Kolemanit	49,17	26,71	0,25	1,27	2,95	0,26	0,09	0,08	0,012	3,030	19,01

Isıl Özelliklerin İncelenmesi: Termo Gravimetrik Analiz (TGA) cihazı, artan ortam sıcaklığına bağlı olarak malzemenin kütle değişimini termobalans ile sürekli olarak ölçmektedir. Malzemedeki nem ve uçucu madde miktarı hakkındaki bilgiyi kütle kaybı değişimi olarak verir. Diferansiyel Termal Analiz (DTA) cihazı, zamana bağlı olarak malzemelerin referans ve örnek arasındaki sıcaklık farkını artan sıcaklığa karşın ölçer. Isı akısının sıcaklık kontrollü bir ortamda değişimi, örnekte hangi sıcaklıkta ve ne kadar termal reaksiyona uğradığı ve bu reaksiyonların derecesi, ekzoterm ve endotermilerin, erime, kristallenme ve faz değişimleri hakkında bilgi vermektedir.

Testler; Maden Tetkik Arama laboratuvarında bulunan RİGAKU Thermal Analyzer Ver.2,22E1 model TG&DTA cihazında gerçekleştirilmiştir. Bu testler; kolemanit mineralinin ısı uygulaması sırasında uzaklaşan bünye suyunun miktarı, bozunmanın sıcaklığı, bozunma ve yeniden kristallenmenin doğası ve mekanizmasını tespit edebilmek için gerçekleştirilmiştir. Kolemanit mineralinin TG ve DTA grafikleri Şekil 4'de verilmiştir.

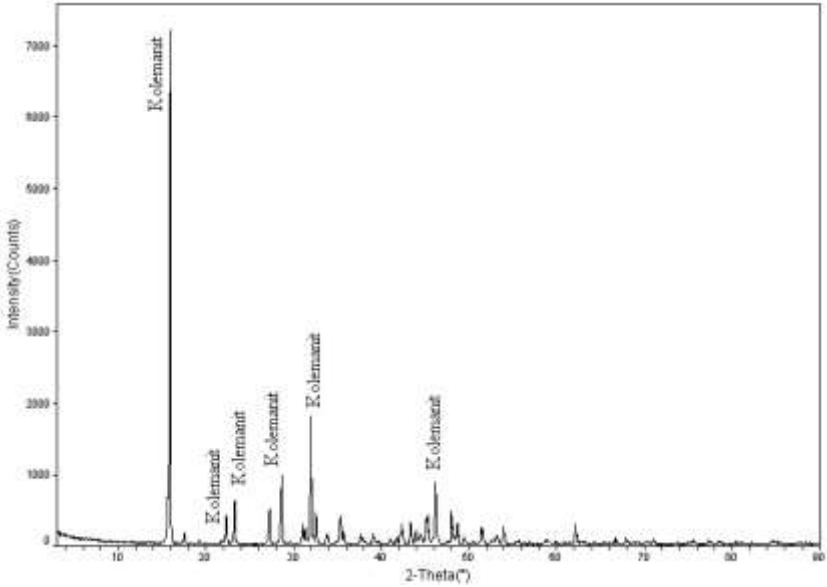


Şekil 4. Kolemanit mineralinin TG ve DTA eğrisi

Kolemanitin dehidrasyonunun 260 °C'lerde başladığı ve ilk bir molekül su kaybının 327 °C'lerde olduğu görülmektedir ki, bu da dekrepitasyonun başlaması ile de çakışmaktadır. Şekil 4'de görüldüğü gibi 355 °C'ye kadar kolemanitin TG eğrisinden ağırlığında bir değişme olmadığı gözlenmiştir. 355-427 °C arasında 2 endotermik reaksiyonun varlığı görülmüştür ve 378 °C ile 395 °C'ler de iki pik değer vermiştir. Bu iki reaksiyon kısmen 390

$^{\circ}\text{C}$ 'de birbiri üstüne binmiş ve TG eğrisine bakıldığında yaklaşık olarak % 4 ağırlık kaybı gözlenmiştir. Kolemanitin kristal matriksindeki hızlı su kaybı düzensiz stresler oluşturmakta ve yapı dekrepite olmaktadır.

Mineralojik İnceleme: Temsili numune üzerinde mineralojik yapının belirlenmesi için yapılan XRD (X-Ray Difraksion) analizlerinde de numunenin saflık derecelerini teyit eder nitelikte kolemanit pikleri tespit edilmiştir. Kolemanit numunesinin XRD grafiği Şekil 5'de verilmiştir. Ölçümler İstanbul Üniversitesi bünyesinde faaliyet gösteren İleri Analizler Laboratuvarı (İAL)'nda bulunan Rigaku D/Max-2200/PC XRD Cihazı 200 Vac 3q 20 A/50 Hz güç kapasitesine sahip bir cihazda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5. Kolemanit mineraline ait XRD analizi

Mikrodalgaya Bağlı Sıcaklık ve Nem Analizi: Kolemanit minerali üzerinde mikrodalgaya güç seviyesine ve süreye bağlı olarak numunenin ulaştığı sıcaklıkları ve nem kayıplarını belirleyebilmek için bir dizi deney yapılmıştır. Mikrodalgaya bağlı tüm deneylerde 2450 MHz frekansında çalışan ve 5 farklı güç seviyesi olan Arçelik MD595 model mutfak tipi bir mikrodalgaya fırın kullanılmıştır. Deneyde kullanılan fırının ve ısı ölçümlerinin yapıldığı Voltcraft IR-1001A model infrared termometrenin resmi Şekil 6'da verilmiştir. Sıcaklıklar anlık olarak cihaz kapatılıp ölçüm alınmış ve tekrar çalıştırılıp ölçüme devam edilmiştir.



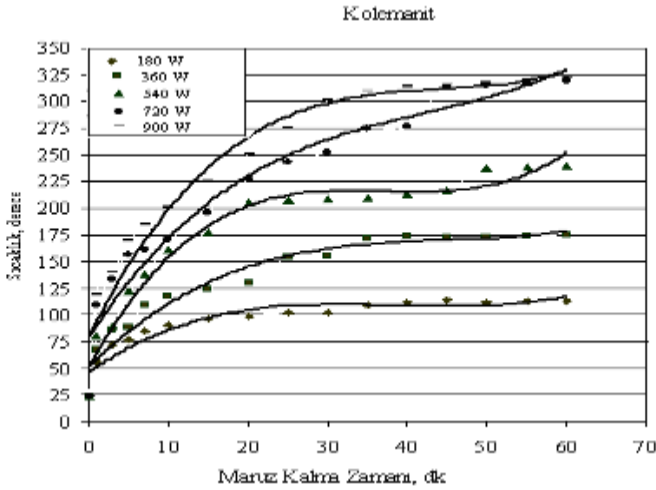
a) Mikrodalga fırın



b) İnfared termometre

Şekil 6. Deneysel olarak kullanılan mikrodalga fırın ve infrared termometre

İnfared termometre ile ancak numunelerin yüzey sıcaklıkları ölçülebilmektedir. Numunenin yüzeyinde ölçülen sıcaklıkların numunenin merkezindeki sıcaklıktan bir miktar daha düşük olduğu bilinmektedir. Elde edilen ölçümler doğrultusunda kolemanit için farklı mikrodalga güç seviyelerinde zamana bağlı sıcaklık değişimleri Şekil 7’de verilmiştir



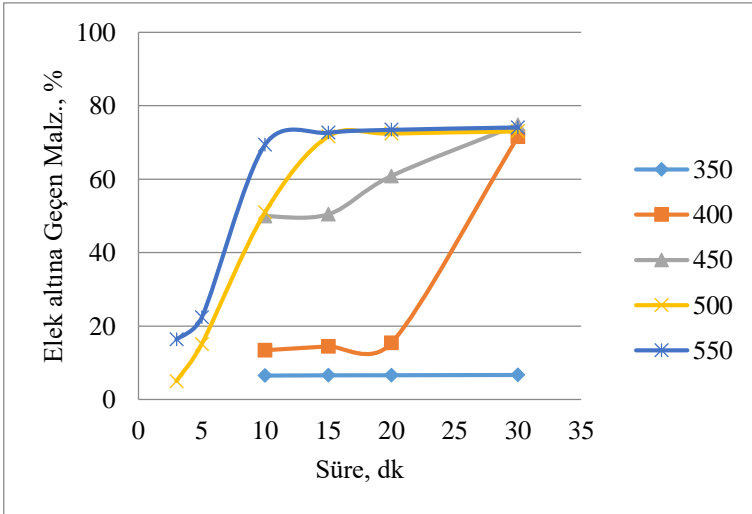
Şekil 7. Kolemanitin farklı güç seviyelerinde zamana bağlı sıcaklık değişimleri

Kolemanitin bünyesinde teorik olarak bulunan su miktarı atom ağırlıklarından yola çıkılarak hesaplandığında toplam ağırlığının %21,91’idir. Örneğin kolemanit 900 W güç seviyesinde 75 dk mikrodalga enerjiye maruz bırakıldığında %2,67 ağırlık kaybına uğramaktadır. Bu değer kolemanitin sahip olduğu toplam su ağırlığının %12,18’ine tekabül etmektedir.

Dielektrik Özelliklerinin Tayini: Saf kolemanit minerallerinin dielektrik özelliklerinin tespiti İstanbul Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Yüksek frekanslarda dielektrik ölçmek için hazırlanan düzenekte Transmisyon borusu yöntemi kullanılmıştır. Deneyde kullanılan frekans bandı 8-12 GHz arasında değişmektedir. Deneyde kullanılan boru parçasının geniş kenarı 22,86 mm ve dar kenarı 10,16 mm 'dir. Deneylerde kullanılan örneklerin yüzeylerinin tam olarak boru parçasının içine oturması deneyin doğruluğu için gereklidir. Bu kapsamda 11 GHz frekansta yapılan ölçümlerde; Kolemanitin kompleks dielektrik sabiti: $38,9437(-5,6703/+1,0569)$ olarak ölçülmüştür.

3.3 Konvansiyonel Fırın İle Yapılan Dekrepatasyon Testleri

Bu çalışmalar kapsamında farklı fırın sıcaklıkları ve farklı maruz kalma süreleri test edilmiştir. Uygulanacak sıcaklıklar belirlenirken numunenin TG-DTA eğrilerinden yararlanılmıştır. Bu kapsamda 350-400-450-500 ve 550 derece sıcaklıklarda 10-15-20 ve 30 dk maruz kalma süreleri test edilmiştir. Her test için önceden hazırlanmış 50 gr numune kullanılmıştır. Fırın ve boş numune kabı uygulanacak sıcaklığa ulaştıktan sonra numune kap içerisine konulmuş ve maruz kalma süresi bundan sonra başlatılmıştır. Süre sonunda fırından çıkan numune tekrar tartılarak soğumaya bırakılmıştır. Soğuyan numune 0,3 mm'lik elekten elenerek elek altına geçen miktar tartılmış ve dekrepatasyon derecesi hesaplanmıştır. Konvansiyonel ısıtma kapsamında yapılan deneylerden elde edilen tüm sonuçlardan yola çıkılarak oluşturulan grafik Şekil 8'de verilmiştir.



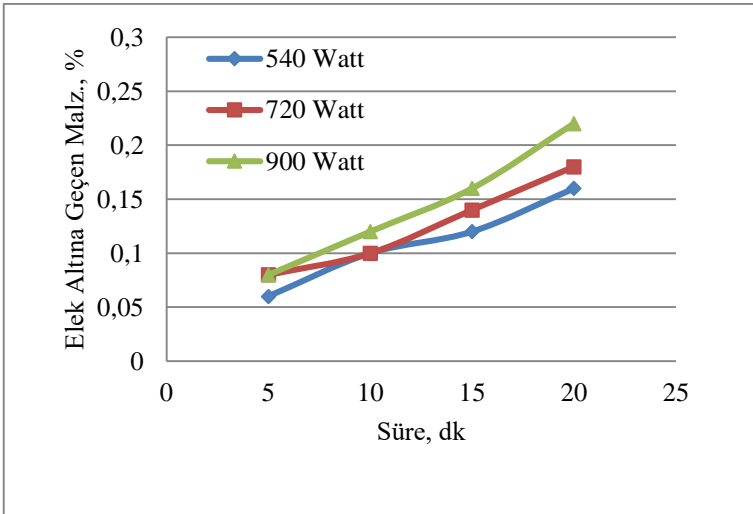
Şekil 8. Belli sıcaklıklarda zamana bağlı dekrepatasyon sonuçları

Grafik incelendiğinde kolemenitin dekrepitasyonu için optimum sıcaklık ve maruz kalma süresinin 550 derece de 10 dk maruz kalma süresi olduğu belirlenmiştir. 500 derece sıcaklık ve 15 dk maruz kalma süresinde de buna yakın sonuç alınmış olmasına rağmen sürenin uzun olması ve fazla enerji sarfiyatına yol açacağından bu tercih edilmemiştir.

3.4 Mikrodalga Fırın İle Yapılan Dekrepitasyon Testleri

Bu çalışmalar kapsamında farklı MD güç seviyeleri ve bu güç seviyelerinde farklı maruz kalma süreleri test edilmiştir. Uygulanacak güç seviyeleri belirlenirken numunenin daha önce yapılmış olan MD'ye bağlı sıcaklık değişim grafiği dikkate alınmış ve en düşük güç seviyesi olan 180 W ile 360 W'da numune sıcaklıkları yeterince yükselmediği için bu güç seviyelerinde deney yapılmamıştır. Deneyler 540-720 ve 900 Watt güç seviyelerinde ve 5-10-15 ve 20 dk maruz kalma sürelerinde gerçekleştirilmiştir.

Her test için önceden hazırlanmış 50 gr numune kullanılmıştır. Konvansiyonel fırın uygulamalarından farklı olarak numune ve numunenin içine konulduğu kapaklı borcam fırın çalıştırılmadan önce fırın içerisine yerleştirilmiştir. Deney sonunda fırından çıkarılan numune tekrar tartılarak soğumaya bırakılmıştır. Soğuyan numune 0,3 mm'lik elekten elenerek elek altına geçen miktar tartılmış ve dekrepitasyon derecesi hesaplanmıştır. Mikrodalga fırın çalışmalarında elde edilen tüm sonuçlar Şekil 9'daki grafikte bir arada verilmiştir.



Şekil 9. Belirli güçlerde zamana bağlı dekrepitasyon sonuçları

Grafik incelendiğinde uygulanan güç seviyesinde numunenin ulaştığı sıcaklığın dekrepitasyona neden olacak seviyeye ulaşamaması dolayısıyla elek altına geçen malzeme miktarı oldukça düşük kalmıştır.

4. Genel Sonuçlar

Yapılan çalışmalar ile kolemanit mineralinin konvansiyonel ve mikrodalga enerjiye bağlı dekrepitasyon özellikleri incelenmiş ve sonuçlar bir birleri ile mukayese edilmiştir.

Öncelikle kolemanit mineralinin yapılan TG-DTA analizinde ısı uygulaması sırasında uzaklaşan bünye suyunun miktarı, bozunmanın sıcaklığı, bozunma ve yeniden kristallenmenin doğası ve mekanizması tespit edilmiştir.

Kolemanitin dehidrasyonunun 260 °C’lerde başladığı ve ilk bir molekül su kaybının 327 °C’lerde olduğu tespit edilmiştir. Bu da dekrepitasyonun başlaması ile de çakışmaktadır. 355-427 °C arasında 2 endotermik reaksiyonun varlığı görülmüştür ve 378 °C ile 395 °C’ler de iki pik değer vermiştir. Bu iki reaksiyon kısmen 390 °C’de birbiri üstüne binmiş ve TG eğrisine bakıldığında yaklaşık olarak % 4 ağırlık kaybı gözlenmiştir. Kolemanitin kristal matriksindeki hızlı su kaybı düzensiz stresler oluşturmakta ve yapı dekrepite olmaktadır.

Konvansiyonel fırın ile yapılan deneylerde; 350° sıcaklıkta, 10-15-20 ve 30 dk. maruz kalma sürelerinde yapılan deney sonuçları incelendiğinde, bu sıcaklık ve maruz kalma sürelerinde numunenin dekrepitasyonunun %6,5 gibi çok düşük olduğu ve birbirine yakın değerler verdiği gözlenmiştir. 400° sıcaklıkta 30 dk maruz kalma süresi sonunda yapılan eleme işleminde malzemenin %71,52’si elek altında toplandığı görülmüştür. 450° sıcaklıkta 30 dk maruz kalma süresi sonunda elek altına geçen malzeme %’si ise 74,8 olmuştur. 500°C ve 550°C sıcaklıkta farklı sürelerde yapılan deneylerde dekrepitasyon oranının 15. dk’ ya kadar artan bir eğilim gösterdiği ama 15.dk’dan sonra dekrepitasyon derecesinin hemen hemen %72-76 arasında sabit kaldığı gözlemlenmiştir.

Mikrodalga fırın ile yapılan dekrepitasyon deneylerinde; 540-720 ve 900 Watt güç seviyelerinde ve 5-10-15 ve 20 dk maruz kalma süreleri test edilmiştir.

Uygulanan tüm güç seviyelerinde yapılan deneylerden kolemanitin dekrepitasyonuna ilişkin olumlu bir sonuç alınmamış ve deney sonunda elek altına geçen malzeme miktarı oldukça düşük kalmıştır. Bu durum uygulanan güç seviyesi ve maruz kalma sürelerinde numunenin sıcaklığın dekrepitasyona neden olabilecek seviyelere ulaşmamasından kaynaklanmıştır.

KAYNAKLAR

- GMELIN, (1981), "*Handbook of Inorganic Chemistry, Boron Supplement*", Vol.2, Elemental Boron, Boron Carbides, p. 242.
- PİCKLES, C.A., (2009), "Microwaves in Extractive Metallurgy: Part 1 – Review of fundamentals." *Miner. Eng.* (2009), doi:10.1016/j.mineng.2009.02.015
- ARTAN E.T., (1997), "Mikroalga güç uygulama aparatlarında ısı dağılımının simülasyonu", İ.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi
- ESKİBALCI M.F., (2007) "Cevher Hazırlama ve Zenginleştirmede Mikroalga Enerjisinin Kullanılabilirliğinin Araştırılması", Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi
- TAGGART, A. F., (1956), "Handbook of Mineral Dressing", Wiley, p. p. 3-12 (1956).
- Vikipedi İnternet Sayfası: <http://tr.wikipedia.org/>
- Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü İnternet Sayfası; <http://www.etimaden.gov.tr/d/file/espey-kolemanit.pdf>
- GÜNGÖR A. and ALTAY Ü. (1999), "Grindability of microwave-heated ores" SME Annual Meeting.March 1-3.Denver.Colorado.
- SUHM J. and HIGH L., (1999), "Microwave technology for drying of sensitive products" *Asian ceramics*. pp:36-39. November.
- WANG Y., FORSSBERG G. and SVENSON M., 2000, "Microwave assisted comminution and liberation of minerals", *Mineral Processing on the Verge of the 21 st Century*, 8. *International Mineral Processing Symposium Istanbul/Turkey*, Özbayoğlu et al., (eds), Balkema.
- ERSAYIN S., ERGÜN Ş. L. and BENZER H., 1994, The effects of heat treatment on grinding and liberation of chromite ores, *Progress in Mineral Processing Technology*, 5. *International Mineral Processing Symposium Cappadocia/Turkey*, Demirel&Ersayın (eds)
- GÜNGÖR A. and ATALAY Ü., 1996, Microwave processing and grindability, *Innovations in Mineral and Coal Processing*, 7. *International Mineral Processing Symposium Istanbul/Turkey*, Atak, Önal& Çelik (eds), pp:13-16, Balkema, Rotterdam.
- WALKIEWICZ J.W., CLARK A.E. and MCGILL S.L., 1991, Microwave-Assisted Grinding, *IEEE Transactions on Industry Application*, Vol 27, No 2, pp: 239-243, Mart/April.
- VAN DER BERG J., SWART P. and LACQUET B., 1992, Microwave properties of phosphate rock, *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, Vol. 27, No. 3, pp:183-189.
- HARRISON P.C. and ROWSON N.A., 1997, The effect of microwave and conventional heat treatment on the comminution of coal, *Jubilee res.*

- HAQUE K. E., 1999, Microwave energy for mineral treatment processes- a brief review, *International Journal of Mineral Processing*, Vol 57, pp:1-24.
- KOCAKUŞAK S., KÖROĞLU J. H., EKİNCİ E. and TOLUN R., 1995, Production of Anhydrous borax using microwave heating, *Industrial&Engineering Chemistry Research*, No 34, pp:881-885.
- KOCAKUŞAK S., KÖROĞLU H.J. and TOLUN R., 1998, Drying of wet boric acid by microwave heating, *Chemical Engineering and processing*, vol:37, pp:197-201.
- JONES P. L. and ROWLEY A.T., 1996, Dielectric drying, *Drying Technology*, vol:14, Issue: 5, pp:1063-1098, May.
- SUHM J. and HİGH L., 1999, Microwave technology for drying of sensitive products, *Asian Ceramics*, pp:36-39, November.
- STRACK J.T., BALBAA I.S. and BARBER B.T., 1995, Microwave regeneration of activated carbon for gold processing applications, *Microwaves: Theory and Application in Materials Processing III*, eds. D.E. Clark, D.c. Folz, Ceramics Transactions vol. 59, The American Ceramic Society, Westerville, Ohio, p:99-105.
- SENER S., BİLGEN S. and OZBAYOĞLU G., 2004, Effect of heat treatment on grindabilities of celestite and gypsum and separation of heated mixture by differential grinding, *Minerals Engineering*, Volume 17, p:473-475.
- WALDE S.G., BALASWAMY V., VELU V. and RAO D.G., 2002, Microwave drying and grinding characteristics of weat, *Journal of Food Engineering* 55, p:271-276.
- YILDIZ K. ve ALP A., 2000., Metalurjik proseslerde mikrodalga kullanımı, *Metalurji Dergisi*, Cilt 24, Sayı:125, s.24-29.

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

KIRILMA MEKANİĞİ: AĞIRLIK FONKSİYONU YÖNTEMİ

İlyas Kacar¹

¹Dr. Öğr. Üyesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi,
E-mail: ikacar@gmail.com

1. Giriş

Yapısal elemanlar, çalışma ortamlarında tahmin edilemeyen dinamik zorlamalara mazur kalabilmekte ve bunun sonucu olarak ta tasarımılandıkları statik yükün altındaki yüklemeler karşısında bile hasara uğrayabilmektedirler. Yapısal elemanların çalışma ömürlerinin isabetli olarak tahmin edilebilmesi, kestirimci/önleyici bakım ve onarım için endüstri açısından büyük öneme sahiptir. Kırılma mekaniği; yapıda mevcut bir çatlağın, kırılma tokluğu bilinen bir malzeme içerisinde, uygulanmakta olan bir gerilme değerinde kırılmak üzere ilerleyip-ilerlemeyeceğini belirlemeyi mümkün kılan önemli bir mühendislik analizi türüdür.

Dinamik yüklemeler yapıya; çekme/basma, eğilme/kesme, burulma ve bunların kombinasyonları şeklinde ve zamana bağlı olarak gelmektedir. Çatlak türleri; çatlağın bulunduğu düzlem ve uygulanan yüklemenin türü esas alındığında, Mod-I (açılma), Mod-II (kayma) ve Mod-III (yırtılma) olarak sınıflandırılmaktadırlar. Mod-I yükleme, çatlak yüzeylerini birbirinden ayırmaya zorlayan (çatlak düzlemine göre dik etkileyen) çekme türündeki yükleme halidir. Mod-II, çatlak iki yüzeyini birbirlerine göre kaydırmaya zorlayan, çatlağın bulunduğu düzleme paralel (çatlak önüne dik) uygulanan yükleme halidir. Mod-III ise, çatlak iki yüzeyini birbirlerine göre kaydırmaya zorlayan, çatlağın bulunduğu düzleme paralel (çatlak önüne paralel uygulanan) yükleme halidir. Kırılma mekaniği açısından genellikle Mod-I çatlakları en tehlikeli çatlak türüdür.

Dinamik yüklemeler, yapısal elemanlar üzerinde/içerisinde çatlak oluşumlarına ve mevcut çatlakların ise büyümelerine/ilerlemelerine yol açmaktadırlar. Çatlağın ilerlemesini, yorulma hasarına sebep olan artık (kalıntı) gerilmeleri tahmin etmek için, çatlaklarının gerilme ve kırılma analizlerine ihtiyaç vardır. Kırılma mekaniği analizi açısından hesaplanması gereken en önemli parametre gerilme yoğunluk faktörü (stress intensity factor-SIF) dür. K ile gösterilmekte olup, çatlak moduna göre alt indis almaktadır.

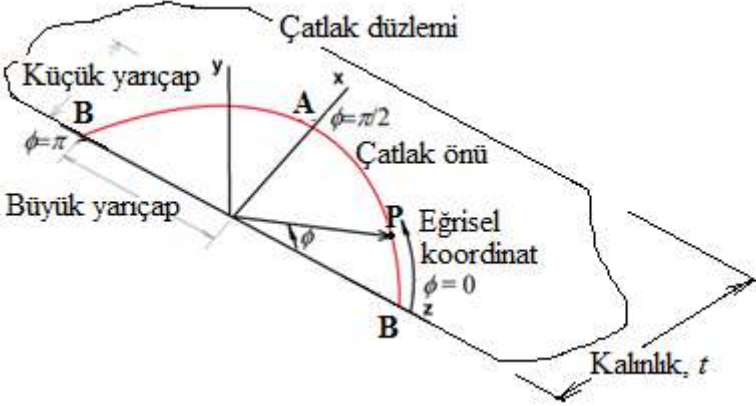
Çatlağın yönlenmesi ise, yapının yüzeyinde/içerisinde ve yapıya dik/açılı olabilmektedirler. Kırılma analizi açısından bilinmesi gereken en önemli çatlak parametreleri çatlakların şekli, boyutu, yeridir. Genellikle en sık rastlanılan çatlak türü, yarı eliptik yüzey çatlaklarıdır. Çünkü imalat esnasında parça yüzeyinde kalan bir boşluk, kalıntı, katlanma hatası veya iş parçasının kullanımı esnasında açık hava şartlarına maruz kaldığında parçanın yüzeyinde meydana gelen oyulma tarzında korozyon oluşumları, zamanla büyüyerek yarı eliptik çatlak şeklini almaktadır.

Yapısal elemanın ebadı da analiz sonucunu değiştirmektedir. Levhasal parçalarda bulunan çatlaklar düzlem gerilme (düzlem germe) kabulü ile analiz edilebilirken, bir boyutu diğerlerine göre sonsuz uzunlukta olan parçalar için düzlem şekil değiştirme (düzlem gerinme) kabulü yapılabilir. Bu kabuller analizimizi çok kolaylaştırmaktadır. Ancak gerçekte, analiz edilecek yapısal elemanlar çok karmaşık şekillere sahip üç boyutlu cisimlerdir. Dolayısıyla cisimlerde üç boyutlu bir gerilme hali mevcut olup, ne tam bir düzlem gerilme ne de tam bir düzlem şekil değiştirme halindedir. Bu nedenlerden dolayı analiz yapılacakken, her iki durum için de formüller kullanılmaktadır. Yarı eliptik bir yüzey çatlağı için, çatlağın en derin noktasında (A), düzlem şekil değiştirme, yüzey noktasında (B) düzlem gerilme koşulunun var olduğu kabul edilmektedir.

SIF hesaplamada karşılaşılan en büyük engel; hesaplamalarda kullanılacak formüllerin sadece belirli boyut/şekil/yere sahip olan çatlaklı parçalar için çıkartılmış olmaları, bu nedenle aynı cisimde bile çatlağın boyutu/şekli/yeri değiştiğinde veya geometri karmaşıklıkça bu formüller artık kullanışsız kalmalarıdır. Bu gibi durumlarda ya sonlu eleman analizleri (SEA) yâda enerji denklemleri kullanılarak her farklı durum için yeni bir formül geliştirmek gerekmektedir. SEA’nde ise yapıya çatlak yerleştirmek/ilerletmek zordur. Yerleştirilecek çatlak elementlerinin, geometrinin element ağına uyması gerekmektedir. İlâveten sonuçların doğrulamasının yapılması şarttır. SIF’in boyutsuz haline sınır (geometri) düzeltme faktörü (BCF) denmektedir. BCF değeri, kıyaslama yapılabilmesi açısından faydalı bir parametredir.

SIF hesaplamada bir diğer yöntem ise ağırlık fonksiyonları metodudur. Bu yöntemin esası; belli bir geometri için bir defaya mahsus olmak üzere SIF ve yük arasındaki ilişkinin belirlenip, bu ilişkinin kullanılmasıyla da artık aynı geometri için farklı farklı yükleme durumlarındaki SIF değerlerinin kolayca tespit edilebilmesidir.

Yarı eliptik bir çatlak için, çatlak uzunluğu a ile genişliği ise $2c$ ile gösterilmektedir. Yarı eliptik bir yüzey çatlakını tarif etmek için kullanılan parametreler Şekil 1'de gösterilmektedir.



Çatlak genişliği ($2c$), çatlak boyu (a), çatlak ucu yönünde kalan parça kalınlığı (t), çatlakın en sığ noktası (yüzey noktası), B ($\phi = 0$), çatlak ucundaki en derin nokta, A ($\phi = \pi/2$). P noktası, eğrisel koordinat üzerinde bulunan herhangi bir nokta

Şekil 1. Yarı eliptik bir yüzey çatlakı için çatlak parametreleri.

2. Ağırlık Fonksiyonu Yöntemi

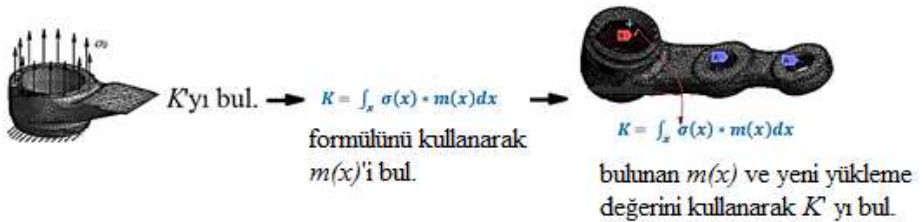
Ağırlık fonksiyonu yöntemi, elastik çatlak analizleri için SIF değerlerini hesaplamada ilk defa Bueckner (1970) ve Rice (1972) tarafından geliştirilen bir yöntemdir. Bu yöntemde, SIF değeri Denklem (1) de verilen formül ile hesaplanmaktadır.

$$K_P = \int_x^P \sigma(x) * m(x; P) dx \quad (1)$$

Burada $\sigma(x)$ çatlaksız cisim içerisindeki, çatlak düzlemi boyunca muhtemel çatlak yüzeyine etkiyecek normal gerilme dağılımıdır. $m(x; P)$ ise çatlakın üzerindeki herhangi bir P noktasındaki ağırlık fonksiyonudur. K_P ise çatlakın üzerindeki herhangi bir P noktasındaki SIF değeridir. Denklem (1)'e göre SIF değeri, gerilme dağılımına ve ağırlık fonksiyonuna bağlı bir fonksiyondur. Çatlak önündeki eğrisel koordinat boyunca her bir noktada da $m(x)$ farklı bir değere sahip olabilmektedir. x koordinatı Şekil 1 de gösterilmiştir.

Ağırlık fonksiyonu, yükten bağımsızdır, sadece geometriye bağlıdır. Geometri değişmedikçe yani aynı cisim için ağırlık fonksiyonu $m(x; P)$ değeri de değişmeyecektir. Yöntemin esası bu değişmezliğe dayanmaktadır. Eğer bir cismin ağırlık fonksiyonu biliniyorsa; cisme uygulanan herhangi başka bir yükleme halinde (yük aynı simetriklik özelliğine sahip olmak kaydıyla yani hesaplama dik yüke göre yapılmışsa, dik yük olmalıdır), yapıdaki farklı çatlak geometrileri için yeni SIF değerleri, Denklem (1) vasıtasıyla elde edilebilmektedir. Dikkat edilirse, ağırlık fonksiyonu çatlak boyutundan da bağımsızdır yani aynı ağırlık fonksiyonu, cismin geometrisi değişmemek kaydıyla farklı uzunluk/genişlikteki çatlaklar için de kullanılabilir.

Bu yöntemde ilk olarak; ele alınan cisme (geometrisi değişmemek kaydıyla) bildiğimiz bir yük değeri (genellikle Mod-I) uygulanmışken, SIF değeri K_p hesaplanır. Hesaplama için ya bilinen formüller (eğer hazır formülü varsa) yâda SEA kullanılmaktadır. İkinci olarak; artık biliniyor olan K_p değeri ve herhangi başka bir $\sigma(x)$ yükleme değeri Denklem (1) de yerine yazılıp, denklemden $m(x; P)$ çekilerek ağırlık fonksiyonu hesaplanır. Artık ağırlık fonksiyonu, geometri değişmediği sürece her türlü yükleme durumunda aynı kalacaktır. Üçüncü olarak; artık biliniyor olan $m(x; P)$ fonksiyonu yine Denklem (1) de kullanılarak, verilmiş başka yükleme durumları için K_p değeri hesaplanır. Böylece bir cisim için ağırlık fonksiyonu bilindiğinde, diğer herhangi bir yükleme durumu için gerilme yoğunluk faktörü, aynı ağırlık fonksiyonu kullanılarak belirlenebilmektedir. İşlem sırası Şekil 2’de gösterilmiştir. Bu yöntem geometrinin değişmediği durum için kullanıldığından dolayı, aynı cisme farklı yükleme uygulandığı durumlar için kullanışlı olacaktır. Metot, bu kısıta rağmen bile çok kullanışlıdır çünkü bu cisim için artık bir başvuru formülasyonu elde edilmiş demektir.



Şekil 2. Ağırlık fonksiyonu yönteminin işlem sırası.

Denklem (1) de bulunan $m(x; P)$ ağırlık fonksiyonu ifadesi, integral içerisinde bulunan bir ifade olduğundan dolayı, denklem dışına çekebilmek için, öncelikle integral dışına alabilmek şarttır. Ancak bunu yapabilmek için en başta $m(x; P)$ için bir fonksiyon önerisinde bulunmak gerekmektedir. Denklem (2) de bir boyutlu bir çatlak için $m(x; P)$ ifadesi verilmiştir.

$$m(x; P) = \frac{H}{K} \frac{\partial u(x; P)}{\partial P} \quad (2)$$

Esasında bu denklem genelleştirilmiş Green fonksiyonudur. Burada $m(x, P)$ terimi P noktasındaki ağırlık fonksiyonu, H ise

- düzlem gerilme hali için $H=E$
- düzlem şekil değiştirme hali için $H = \frac{E}{(1-\nu^2)}$

olarak verilmektedir. E , elastiklik modülü ve ν ise Poisson oranıdır. K uygulanan yük altında P noktasının SIF değeridir. $u(x, P)$, uygulanan yük altında çatlak yüzeylerinin yer değiştirmesidir (COD). Ancak, her ne kadar literatürde farklı SIF çözüm metotları sunulmuş ise de, çatlak açıklığı yer değiştirmesinin $u(x, P)$ yaklaşık olarak belirlenmesiyle ilgili etkili bir ilişki, özellikle yüzey çatlakları için pek mevcut değildir.

Denklem (1) de verilen eşitlik, tek boyutlu bir durumu ifade etmektedir. Çatlağın iki boyutlu olması durumunda, örneğin yarı eliptik bir yüzey çatlağı hali, bu formül Denklem (3) teki gibi olacaktır.

$$K_p = \iint_A \sigma(x, y) m(x, y; P) dx dy \quad (3)$$

Burada $\sigma(x, y)$ çatlak düzlemi üzerine gelen gerilme dağılımıdır. $m(x, y; P)$ ise çatlak üzerindeki herhangi bir P noktasındaki ağırlık fonksiyonudur. İki boyutlu çatlak hali için ağırlık fonksiyonu da iki boyutlu olacaktır, yani çatlak ucundaki eğrisel koordinat boyunca değişecektir. Denklem (4)'te $m(x, y; P)$ ifadesi verilmiştir.

$$m(x, y; P) = \frac{H}{K(P)} \frac{\delta u(x, y)}{\delta A(P)} \quad (4)$$

$\delta u(x, y)$ ifadesi P noktasının çevresindeki çatlak alanındaki anlık değişim neticesinde oluşan, yer değiştirme üzerindeki anlık değişimdir. $m(x, y; P)$ 'nin hesaplanması için, $m(x; P)$ 'den daha karmaşık çözümler gerekecektir. Ancak özel bir durum olarak; bu iki boyutlu çatlak yüzeyindeki gerilme dağılımının sadece x 'in bir fonksiyonu olduğu hali ele alırsak (y 'ye bağlı olmadığı), ağırlık fonksiyonu metodu Denklem (5) te verildiği gibi basitleştirilebilir. Bu durumda ağırlık fonksiyonu ifadesi de $M(x; P)$ gibi sadece x 'e bağlı olan bir ifade olacaktır. Ancak eğrisel koordinat üzerinde bulunan herhangi bir P noktası için farklı olacağı da unutulmamalıdır.

$$K_P = \int_x^A \sigma(x) \left(\int_y m(x, y; P) dy \right) dx = \int_x^A \sigma(x) M(x; P) dx \quad (5)$$

Denklem (2) ve (4) te verilmiş olan ağırlık fonksiyonları yerine, Shen ve Glinka (1991) Denklem (6) ve (7) deki gibi kendi ağırlık fonksiyonu denklemlerini önermişlerdir.

$$M(x, a; A) = \frac{2}{\sqrt{2\pi(a-x)}} \left[1 + M_{1A} \left(1 - \frac{x}{a}\right)^{1/2} + M_{2A} \left(1 - \frac{x}{a}\right) + M_{3A} \left(1 - \frac{x}{a}\right)^{3/2} \right] \quad (6)$$

$$M(x, a; B) = \frac{2}{\sqrt{\pi a}} \left[1 + M_{1B} \left(\frac{x}{a}\right)^{1/2} + M_{2B} \left(\frac{x}{a}\right) + M_{3B} \left(\frac{x}{a}\right)^{3/2} \right] \quad (7)$$

Bu denklemler çok iyi bir yaklaşım göstermektedirler. Fakat dikkat edilecek bir husus, ağırlık fonksiyonunun, çatlak ucu eğrisel koordinatı boyunca değişen bir fonksiyon olduğudur. Denklem (6) ile verilen ifadenin çatlak sadece A noktasındaki, Denklem (7) ile verilen ifadenin ise çatlak sadece B noktasındaki ağırlık fonksiyonu ifadeleri olduğu unutulmamalıdır! Yani A ve B noktaları arasındaki başka noktalar için bu denklemler kullanılamayacaktır! Genellikle SIF değerlerinin en büyük olduğu nokta ve dolayısıyla da tasarım için en kritik olan nokta ya A veya B 'dir. Bu nedenle sadece A ve B noktaları için ağırlık fonksiyonları hesaplanması, tasarım esnasında maksimum SIF değerini bulmak için genellikle yeterli olmaktadır. Şekil 2 de gösterildiği gibi A noktası çatlak ucundaki en derin noktayı, B noktası ise en sığ (yüzeydeki) noktaları temsil etmektedir. Yarı eliptik bir çatlak için yüzey üzerinde iki adet B noktası olacağına da dikkat ediniz.

Denklemden a değeri çatlak boyunu, x ise çatlak boyunca uzanmış olan lineer koordinatı göstermektedir. Kısaltmak adına $M(x, a; A)$ ifadesi yerine MA ve $M(x, a; B)$ ifadesi yerine ise MB kullanalım. Görüleceği üzere; (6) numaralı denklem M_{1A} , M_{2A} , M_{3A} ve (7) numaralı denklem ise M_{1B} , M_{2B} , M_{3B} olmak üzere, her bir denklem üçer adet katsayı içermektedir. Bu nedenle problem artık, her iki denklemdeki bilinmeyen bu katsayıları belirleme problemi haline almaktadır. Bu katsayılar; parçanın geometrisine ve çatlak boyutlarına x , a bağlıdır. İlaveten hatırlatalım ki, bu katsayıların sabit bir değer olma zorunluluğu yoktur.

Her denklemdeki bu üçer katsayıların çekilebilmesi için, her bir denklem için ayrı ayrı en az üç adet çözümü biliyor olmamız gerekmektedir. Bu denklemlerden birer âdetini aşağıdaki sınır şartlarını kullanarak kolaylıkla elde edebilmekteyiz.

- $x=0$ noktasındaki $M(x, a; A)$ fonksiyonunun ikinci türevi sıfır olmalıdır. Bu sınır koşulu, çatlak yüzey eğriliğinin parçanın yüzeyinde sıfır olacağı esasına dayanmaktadır.

$$\left. \frac{d^2 MA}{dx^2} \right|_{x=0} = 0 \quad (8)$$

- $x=a$ noktasındaki $M(x, a; B)$ nin kendisinin sıfır olması gerektiğidir.

$$MB|_{x=a} = 0 \quad (9)$$

Geriye kalan ikişer adet denklem ise; mecburen iki farklı (mümkünse en basit) yük değerleri ve bu yükleme neticesinde bulunan SIF değerleri Denklem (5)'te yerlerine yazılıp, integraller de alındıktan sonra ancak elde edilebilecektir. Yük değerlerinin basit olmasından kasıt; integral içerisinde $\sigma(x)$ olarak ifade edilen yük değeri; ne denli basit bir fonksiyon/sabit ise, integral içerisindeki çarpımın neticesinin de o denli az üstele sahip olacağı ve neticede de integrallerin nispeten daha kolay alınabileceğidir. İşte bu şekilde ikişer adet bilinen basit ve farklı yükler alınıp kurulan denklemlerin çözümleriyle, bu yüklemelere karşılık gelen SIF değerlerinin elde edilmelerine, referans çözümler denmektedir. Referans çözüm olmak üzere;

- σ_0 sabit yükleme
- $\sigma_1(x)$ lineer değişen yükleme

almak çok yaygın bir durumdur. Denklem (6)'nın Denklem (5)'te yerine yazılmasıyla A noktası için iki adet referans çözüm, Denklem (10) a , b deki gibi elde edilecektir.

$$(K_{ref})_0|_A = \int_0^a \sigma_0 * \left\{ \frac{2}{\sqrt{2\pi(a-x)}} \left[1 + M_{1A} \left(1 - \frac{x}{a}\right)^{1/2} + M_{2A} \left(1 - \frac{x}{a}\right) + M_{3A} \left(1 - \frac{x}{a}\right)^{3/2} \right] \right\} dx \quad (10-a)$$

$$(K_{ref})_1|_A = \int_0^a \sigma_1(x) * \left\{ \frac{2}{\sqrt{2\pi(a-x)}} \left[1 + M_{1A} \left(1 - \frac{x}{a}\right)^{1/2} + M_{2A} \left(1 - \frac{x}{a}\right) + M_{3A} \left(1 - \frac{x}{a}\right)^{3/2} \right] \right\} dx \quad (10-b)$$

Burada K_{ref} 'ler referans çözüm neticesinde elde edilecek olan SIF'lerdir. Benzer şekilde; σ_0 sabit yükleme ve $\sigma_1(x)$ ise lineer değişen yükleme olmak üzere Denklem (7) nin Denklem (5) te yerine yazılmasıyla B noktası için iki adet referans çözüm, Denklem (11 a, b) deki elde edilecektir.

$$(K_{ref})_0|_B = \int_0^a \sigma_0 * \left\{ \frac{2}{\sqrt{2\pi(a-x)}} \left[1 + M_{1B} \left(\frac{x}{a}\right)^{1/2} + M_{2B} \left(\frac{x}{a}\right) + M_{3B} \left(\frac{x}{a}\right)^{3/2} \right] \right\} dx \quad (11-a)$$

$$(K_{ref})_1|_B = \int_0^a \sigma_1(x) * \left\{ \frac{2}{\sqrt{2\pi(a-x)}} \left[1 + M_{1B} \left(\frac{x}{a}\right)^{1/2} + M_{2B} \left(\frac{x}{a}\right) + M_{3B} \left(\frac{x}{a}\right)^{3/2} \right] \right\} dx \quad (11-b)$$

Bu denklemlerin sol tarafındaki K_{ref} ifadelerine bir sayısal değer yazabilmek üzere, sonlu eleman analizleri yaparak SIF elde etmek çok yaygın ve pratik bir yöntemdir. Böylece denklemlerin bir tarafındaki K değerleri de artık bilindiğine göre nihayetinde Denklem (8) ile Denklem (10 a) ve (10 b) birlikte çözülerek M_{1A} , M_{2A} , M_{3A} katsayıları bulunmuş olacaktır. Benzer şekilde Denklem (9) ile Denklem (11 a) ve (11 b) birlikte çözülerek te M_{1B} , M_{2B} , M_{3B} katsayıları bulunmuş olacaktır. Bu katsayılar Denklem (6) ve Denklem (7) de yerlerine yazılarak, sırası ile A ve B noktalarındaki ağırlık fonksiyonları MA , MB artık elde edilmiş olacaktır.

3. Sınır Şartları

İlk sınır şartını uygulamak üzere; Denklem (8)'i kullanalım. Bu denklemin açık halini elde edebilmek için, öncelikle $M(x, a; A)$ fonksiyonunun ikinci türevini alalım.

$$MA'' = \frac{3\sqrt{2} * \left(1 + M_{1A}\sqrt{1-\frac{x}{a}} + M_{3A}\sqrt{\left(1-\frac{x}{a}\right)^3} - M_{2A}\left(\frac{x}{a}-1\right) \right)}{4\sqrt{\pi} * \sqrt{(a-x)^5}}$$

$$- \frac{\sqrt{2} * \left(\frac{M_{1A}}{4a^2\sqrt{\left(1-\frac{x}{a}\right)^3}} - \frac{3 * M_{3A}}{4a^2\sqrt{\left(1-\frac{x}{a}\right)}} \right)}{\sqrt{\pi} * (a-x)}$$

$$- \frac{\sqrt{2} * \left(\frac{M_{2A}}{a} + \frac{M_{1A}}{2a\sqrt{\left(1-\frac{x}{a}\right)}} + \frac{3 * M_{3A} * \sqrt{\left(1-\frac{x}{a}\right)}}{2a} \right)}{\sqrt{\pi} * \sqrt{(a-x)^3}}$$

İfadede $x=0$ yazalım.

$$MA''|_{x=0} = \frac{(3 * \sqrt{2} * (M_{1A} + M_{2A} + M_{3A} + 1))}{4\sqrt{\pi} * \sqrt{a^5}}$$

$$- \frac{\left(\sqrt{2} * \left(\frac{M_{1A}}{4a^2} - \frac{3M_{3A}}{4a^2} \right) \right)}{\sqrt{\pi} * \sqrt{a}}$$

$$- \frac{\left(\sqrt{2} * \left(\frac{M_{1A}}{2a} + \frac{M_{2A}}{a} + \frac{3M_{3A}}{2a} \right) \right)}{\sqrt{\pi} * \sqrt{a^3}}$$

Elde edilen ifadeyi sadeleştiririm.

$$MA''|_{x=0} = -\sqrt{2} \frac{(M_{2A} - 3)}{4\sqrt{\pi} * \sqrt{a^5}}$$

Bu ifadenin kendisini, sınır şartı gereği sıfıra eşitleyelim.

$$MA''|_{x=0} = -\sqrt{2} \frac{(M_{2A} - 3)}{4\sqrt{\pi} * \sqrt{a^5}} = 0$$

Sonuç olarak;

$$M_{2A} = 3 \quad (12)$$

elde edilecektir.

İkinci sınır şartını uygulamak üzere; Denklem (9)'u kullanalım. Denklem (9) un açık halini elde edebilmek için, öncelikle fonksiyonu yazalım.

$$M(x, a; B) = \frac{2}{\sqrt{\pi a}} \left[1 + M_{1B} \left(\frac{x}{a} \right)^{1/2} + M_{2B} \left(\frac{x}{a} \right) + M_{3B} \left(\frac{x}{a} \right)^{3/2} \right]$$

Fonksiyonda $x=a$ yazalım.

$$M(x = a, a; B) = \frac{2}{\sqrt{\pi a}} \left[1 + M_{1B} \left(\frac{a}{a} \right)^{1/2} + M_{2B} \left(\frac{a}{a} \right) + M_{3B} \left(\frac{a}{a} \right)^{3/2} \right]$$

Elde edilen bu fonksiyonu, sınır şartı gereği sıfıra eşitleyelim.

$$M(x = a, a; B) = 0 = \frac{2}{\sqrt{\pi a}} \left[1 + M_{1B} \left(\frac{a}{a} \right)^{1/2} + M_{2B} \left(\frac{a}{a} \right) + M_{3B} \left(\frac{a}{a} \right)^{3/2} \right]$$

Sonuç olarak;

$$1 + M_{1B} + M_{2B} + M_{3B} = 0 \quad (13)$$

elde edilecektir.

Ağırlık fonksiyonunun (MA , MB) farklı yükleme koşullarında bile aynı olacağını unutmayınız (aynı geometri için). Bu nedenle, her farklı yük durumu için yukarıda bulunan denklemleri tekrar tekrar elde etmeye gerek yoktur. Herhangi farklı bir yükleme durumu için Denklem (12) ve (13) değişmeyecektir.

4. Gerilme Analizi

Mod-I SIF belirlenmesinde kullanılacak gerilme dağılımı, çatlak yüzüne normal gerilme bileşeni olmalıdır. Gerilme dağılımı, parça geometrisine ve yükleme koşullarına bağlı olarak; sabit, lineer, nonlineer olabilmektedir. Çatlağın bulunduğu yerdeki gerilme durumunu hesaplamak için ya analitik ya da sayısal olarak bir gerilme analizi gerekmektedir. Parçanın kalınlığı üzerindeki gerilme dağılımı, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak bulunabilmektedir.

Birincil yüklerden kaynaklanan ve çatlak yüzüne normal olan gerilme bileşeni dağılımı, çalışma esnasında parçaya gelecek yükleme koşullarına ve parçanın çatlaksız geometrisine göre belirlenmelidir. Parça farklı çalışma koşullarına tabi ise, gerilme dağılımı her koşul için ayrı ayrı bulunmalıdır.

5. Sonlu Eleman Analizi ile SIF Hesaplanması

Sonlu elemanlar analizi (SEA); ağırlık fonksiyonlarını bulabilmek için uyguladığımız her bir farklı referans yüklemenin çatlak ucunda sebebiyet verdiği SIF'lerin sayısal değerlerini bulmak için kullanılabilir. SEA yapabilmek için çatlak boyu, eni vs... gibi sayısal değerlerin girilmesi gerekmektedir. Farklı farklı ebatlardaki çatlaklar için SEA'leri tekrar tekrar yapılarak SIF'ler (ve dolayısıyla da BCF'ler) farklı değişkenler için tek tek elde edilmektedir. BCF'ler, SIF'lerin normalize edilmiş, boyutsuz bir temsilidir. BCF'yi fonksiyon olarak elde etmek çok daha kullanışlıdır. Zira böylece farklı değerler için BCF hesaplanması amacıyla her seferinde tekrar analiz yapma gereksinimi olmayacaktır. BCF'nin fonksiyonunu bulmak için eğri uydurma, optimizasyon gibi metotlar kullanılmaktadır.

Sonlu elemanlar analizine başlamadan önce parçaya bir çatlak yerleştirilmiş olmalıdır. Şu an için, bazı sonlu eleman yazılımları, otomatik çatlak yerleştirme modüllerine sahiptirler. Bu sayede kolaylıkla çatlak yeri, boyutu, element özellikleri ayarlanabilmektedir. Ancak bu modüllerin de, henüz sadece belirli türlerdeki çatlak tiplerini tanımlayabilme gibi kısıtlamaları mevcuttur.

Çatlak yerleştirme esnasından dikkate alınması gereken bazı önemli hususlar mevcuttur. Öncelikli olarak çatlağın yerleştirilmesinin istendiği koordinata, bir yerel koordinat sistemi yerleştirmek gerekmektedir. Bu yerel koordinat sisteminin X eksenini çatlak derinliğinde olmalı, Y eksenini çatlak yüzeyine dik olmalıdır. Nihayetinde Z eksenini ise çatlak düzlemi içinde herhangi bir yönde olabilmektedir. Yarı eliptik bir çatlağı tanımlamak için gereken parametreler, Şekil 1'de gösterilmiş idi.

Parçanın ve çatlağın elementleri birbirleri ile uyumlu olsun diye, parça tetrahedron tipinde elemanlar kullanılarak eleman ağına bölünmelidir. Eğer Mod-I yükleme yapılacaksa yükler, çatlak yüzeyinin bulunduğu düzlemin normal yönünde uygulanmalıdır. Ancak parçanın karmaşık bir geometriye sahip olması halinde doğrudan normal yönde bir yük uygulamak mümkün olmayabilmektedir. Bu gibi durumlarda yazılım içerisine ilave bir kod yazarak, yüklemenin çatlak düzlemine dik olduğundan emin olmak gerekebilecektir. Şekil 3'te böylesi bir kodlamaya örnek verilmiştir.

```

/PREP7
CSYS,12
SFGRAD,PRES,12,Z,0,1
NSEL,S,LOC,Y,0 ! Select the y coordinate,
SF,all,PRES,-100
allsel
/SOLU

```

Şekil 3. Çatlak düzlemine normal yönde 100 MPa lık sabit bir çekme yükü uygulamaya yarayacak örnek bir kodlama satırı.

Sonlu elemanlar analiz yazılımları çatlak analizi için çeşitli yöntemler kullanırlar:

- Domain integral tekniği: J integrali esastır. $J = \int w dy + T_i \frac{\partial u_i}{\partial x} ds$
- Enerji yayınım hızı yöntemi: Sanal çatlak kapatma tekniği esastır. $J = -\frac{d\pi}{dA}$
- Etkileşimli integral yöntemi.
- Ekstrapolasyon yöntemi: Diğer yöntemlerden farkı, çözüm sonrası yapılan bir işlem olmasındır.

Domain integrali metodunda, önce çatlak ucunu (önünü) çevreleyen hat boyunca enerji (J integrali olarak adlandırılır) hesaplanmaktadır. Daha sonra SIF değeri de, J -integrali kullanılarak hesaplanmaktadır. Mod-I yükleme durumu için kullanılan formüller aşağıdaki gibidir:

$$\bullet K_I = \sqrt{\frac{EJ}{1-\nu^2}} \quad (\text{düzlem şekil değiştirme hali için}) \quad (14)$$

$$\bullet K_I = \sqrt{JE} \quad (\text{düzlem gerilme hali için}) \quad (15)$$

Yarı eliptik bir yüzey çatlağı için, çatlağın en derin noktasında (A), düzlem şekil değiştirme, yüzey noktasında (B) düzlem gerilme koşulunun var olduğu kabul edilmektedir.

6. Sınır düzeltme faktörü, BCF

Geometri düzeltme faktörü olarak ta adlandırılabilir. “Sınır düzeltme faktörü-BCF”, SIF’in boyutsuz bir temsili olup, Y sembolü ile gösterilmektedir.

Kırılma mekaniğinde hasar tahminleri için bir malzemenin kırılma tokluğu olan K_{IC} değeri, çatlakın maksimum SIF değeri (K_A , K_B değerlerinden büyük olanı) ile karşılaştırılır.

Kıyaslamalarda K yerine Y kullanımı, daha çok tercih edilmektedir çünkü Y formülü çatlak boyutları olan a , c , t değişkenlerini içeren bir fonksiyondur. Böylece, Y fonksiyonu bir kez elde edildiğinde, artık aynı geometrideki farklı boyutlardaki çatlaklar ve farklı yükleme koşulları için yeni SIF değerleri (yeniden formül elde etmeye gerek kalmaksızın) BCF fonksiyonu sayesinde kolayca hesaplanabilecektir.

Kırılma mekaniği başvuru kitaplarında tablo halinde Y değerleri verilmektedir. Bu kitaplarda verilen Y değerleri kullanılarak, geometriye özgü SIF’ler hesaplanabilmektedir. Ancak kitaplarda sadece belirli geometriler, belirli çatlak boyutları ve belirli yükleme durumları için bu değerler listelenmektedir. İşte bizim de amacımız, artık kendi geometrimiz için kendi Y değerimizi/fonksiyonumuzu bulmaktır. Yarı eliptik yüzey çatlakları için, çatlak önü çizgisi boyunca herhangi bir noktadaki Mod-I gerilme yoğunluk faktörü (K_I), Denklem (16) daki gibi hesaplanmaktadır (Murakami, 1987).

$$K_I = \sigma_0 \sqrt{\frac{\pi a}{Q}} Y_0 \quad (\text{sabit gerilme hali}) \quad (16)$$

Burada σ_0 nominal gerilmedir. Buradan sınır (geometri) düzeltme faktörü Y çekilerek, aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

$$Y = \frac{K_I}{\sigma_0 \sqrt{\pi a/Q}} \quad (17)$$

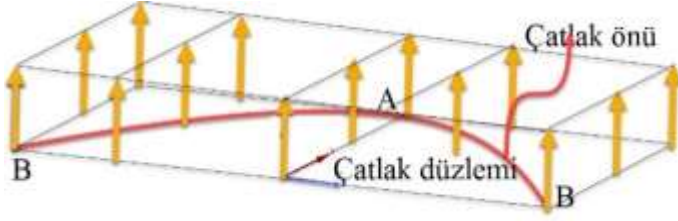
Denklemdaki Q , “şekil faktörü” olarak adlandırılır ve ikinci tür komple eliptik integralinin karesi ile hesaplanmaktadır. Bu integraller yerine aşağıda verilen formüller ile de iyi bir yaklaşıklıkla şekil faktörü hesaplamaları yapılabilmektedir (Bakuckas, 1999).

$$Q = 1 + 1.464 \left(\frac{c}{a}\right)^{1.65}, \quad \frac{a}{c} > 1$$
$$Q = 1 + 1.464 \left(\frac{a}{c}\right)^{1.65}, \quad 0 \leq \frac{a}{c} \leq 1 \quad (18)$$

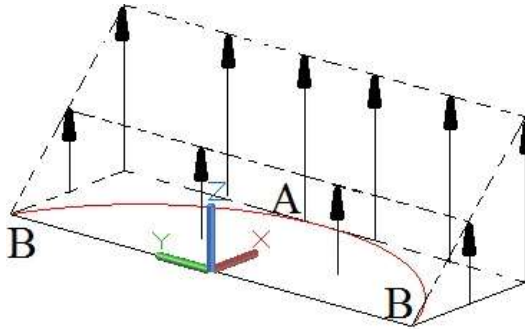
7. Ağırlık Fonksiyonunun Katsayılarının Eldesi

Aşağıda, hem A hem de B noktaları için, hem sabit hem de lineer türde referans yüklemeleri için, denklemlerin elde edilmesi ve çözümü verilmiştir. Yapılan işlemler sembolik olduğundan dolayı formüller kapalı formda olup, her problem için genel denklemlerdir.

Referans olmak üzere çözümler elde edebilmek için Şekil 4 a da gösterildiği üzere sabit $\sigma_0 = \text{sabit}$ Mod-I yüklemesi ve Şekil 4 b de gösterildiği gibi $\sigma(x) = \sigma_0 * x$ Mod-I yüklemeleri uygulanmıştır. Genel ifade elde etmek amacıyla a , x , t , c gibi çatlak boyutlarını gösteren ifadelerle sayısal değerler verilmemiştir, sembolik olarak çözüm elde edilmiştir. Bu sayede nihayetinde elde edilecek olan denklemler kapalı formda olup, içerisinde a , x , t , c , Y gibi ifadeler bulunacağından dolayı, istendiğinde her farklı a , x , t , c , Y değeri için bu formül kolaylıkla kullanılabilir, baştan sona yeni bir analiz yapmak gerekmeyecektir. Yükler çatlak yüzeyine uygulanmıştır. Burada σ_0 nominal gerilmedir.



(a) $\sigma_0 = \text{sabit}$ Mod-I yüklemesi



(b) $\sigma(x) = \sigma_0 * x$ lineer Mod-I yüklemesi

Şekil 4. Referans çözüm olarak uygulanan yüklemeler.

7. 1. A noktası için ağırlık fonksiyonunun üç adet katsayısını bulmak üzere üç denklemin eldesi ve çözümü

Öncelikle referans yükleri uygulayıp iki adet çözüm bulalım. Denklemleri sembolik olarak çözeceğimiz için sayısal değer vermek mecburiyetinde değiliz. Hem böylece en nihayetinde formüller elde edildikten sonra istenen farklı farklı sayısal değerler yerlerine yazılarak ta sonuçlar bulunabilecektir.

$\sigma(x)=\sigma_0$ sabit iken;

$$(K_{ref})_0 \Big|_A = \int_0^a \sigma_0 * \left\{ \frac{2}{\sqrt{2\pi(a-x)}} \left[1 + M_{1A} \left(1 - \frac{x}{a}\right)^{1/2} + M_{2A} \left(1 - \frac{x}{a}\right) + M_{3A} \left(1 - \frac{x}{a}\right)^{3/2} \right] \right\} dx$$

Bu integrali çözelim. EK-1 de bu integrali sembolik olarak çözebilen bir kod verilmiştir. Aşağıda elde edilen çözüm verilmiştir.

$$(K_{ref})_0 \Big|_A = \frac{-\sqrt{2} * \sigma_0}{6 * a * \sqrt{\pi} * \sqrt{(a-x)^3}} * \left(4 * M_{2A} * (a-x)^3 + 12 * a * x * (x-2a) + 12 * a^3 + 6 * M_{1A} * a * x * \sqrt{\left(1 - \frac{x}{a}\right)} * (x-a) + 3 * M_{3A} * a * x^2 * \sqrt{-\left(\frac{x}{a} - 1\right)^3} * (x-2a) \right)$$

Esasen eşitliğin sol tarafındaki $(K_{ref})_0|_A$ değeri SEA'lerinden elde edilebilecek olan değerlerdir. Fakat unutulmamalıdır ki, SEA'dan değer elde edebilmek için a , c , σ_0 gibi değişkenlerin sayısal değerleri biliniyor olan bir çatlak analiz edilmelidir. Peki ya, farklı bir çatlak geometrisi; a , c , t veya farklı bir gerilme değeri için bu formülü nasıl genelleştirebiliriz, nasıl kapalı halde yazabiliriz? Eşitliğin sol tarafındaki $(K_{ref})_0|_A$ terimi yerine, eşiti olan $\sigma_0 Y_0 \sqrt{\frac{\pi a}{Q}}$ yazalım (veya denklemin tamamını BCF denkleminde yerine yazalım, aynı kapıya çıkacaktır). Böylece denklem Y_0 değerine bağlı hale gelecektir.

$$Y = \frac{K}{\sigma_0 \sqrt{\pi a / Q}}$$

$$(Y_{ref})_0|_A = \frac{-\sqrt{2}}{6 * a * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q} * \sqrt{(a-x)^3}}} * \left(4 * M_{2A} * (a-x)^3 + 12 * a * x * (x-2a) + 12 * a^3 + 6 * M_{1A} * a * x * \sqrt{\left(1 - \frac{x}{a}\right)} * (x-a) + 3 * M_{3A} * a * x^2 * \sqrt{-\left(\frac{x}{a} - 1\right)^3} * (x-2a) \right) \quad (19)$$

Böylece A noktası için ilk denklem elde edilmiş oldu. Benzer şekilde, bu sefer $\sigma(x) = \sigma_0 * x$ MPa şeklinde lineer yük olarak ikinci denklemi de elde edelim.

$$(K_{ref})_1|_A = \int_0^a \sigma_0 x * \left\{ \frac{2}{\sqrt{2\pi(a-x)}} \left[1 + M_{1A} \left(1 - \frac{x}{a}\right)^{1/2} + M_{2A} \left(1 - \frac{x}{a}\right) + M_{3A} \left(1 - \frac{x}{a}\right)^{3/2} \right] \right\} dx$$

Bu integrali çözelim.

$$(K_{ref})_1|_A = \frac{-\sqrt{2} * \sigma_0}{30 * a * \sqrt{\pi} * \sqrt{(a-x)^3}} * \left(8 * M_{2A} * a^4 - 12 * M_{2A} * x^4 + 20 * a * x^3 - 60 * M_{1A} * a^3 * x + 40 * a^4 - 12 * M_{2A} * a^2 * x^2 + 28 * M_{2A} * a * x^3 - 12 * M_{2A} * a^3 * x - 15 * M_{1A} * a^2 * x^2 * \sqrt{\left(1 - \frac{x}{a}\right)} + 10 * M_{3A} * a * x^3 * \sqrt{\left(1 - \frac{x}{a}\right)^3} - 15 * M_{3A} * a^2 * x^2 * \sqrt{\left(1 - \frac{x}{a}\right)} \right)$$

Elde edilen bu denklemi BCF denkleminde yerine yazalım.

$$Y = \frac{K}{\sigma_0 \sqrt{\pi a/Q}}$$

$$\begin{aligned} (Y_{ref})_1|_A &= \frac{-\sqrt{2} \cdot \sigma_0}{30 \cdot a \cdot \sqrt{\pi} \cdot \sqrt{(a-x)^3}} * \left(8 * M_{2A} * a^4 - 12 * M_{2A} * \right. \\ &x^4 + 20 * a * x^3 - 60 * M_{1A} * a^3 * x + 40 * a^4 - 12 * M_{2A} * \\ &a^2 * x^2 + 28 * M_{2A} * a * x^3 - 12 * M_{2A} * a^3 * x - 15 * \\ &M_{1A} * a^2 * x^2 * \sqrt{\left(1 - \frac{x}{a}\right)} + 10 * M_{3A} * a * x^3 * \\ &\left. \sqrt{\left(1 - \frac{x}{a}\right)^3} - 15 * M_{3A} * a^2 * x^2 * \sqrt{\left(1 - \frac{x}{a}\right)} \right) \end{aligned} \quad (20)$$

Böylece A noktası için ikinci denklem de elde edilmiş oldu. Üçüncü denklem ise sınır şartlarından Denklem (12) deki gibi elde edilmiş idi. Böylece artık Denklem (12), (19) ve (20) birlikte çözümlenerek M_{1A} , M_{2A} , M_{3A} katsayıları bulunabilecektir. EK-2 de, sembolik olarak denklem çözümü yapan bir bilgisayar kodu verilmiştir.

- $$M_{1A} = \frac{1}{5 \cdot a \cdot x^3 \cdot \sqrt{\frac{a}{Q} \cdot (a-x)} \cdot \sqrt{1 - \frac{x}{a}}} \left(44 * a * x^4 - 376 * a^4 * x + \right. \\ 128 * a^5 - 4 * a^5 - 196 * a^2 * x^3 + 404 * a^3 * x^2 + 30 * \\ \sqrt{2} * YA1 * a^2 * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} * \sqrt{(a-x)^3} - 15 * \sqrt{2} * YA1 * a * \\ x * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} * \sqrt{(a-x)^3} + 10 * \sqrt{2} * YA0 * a * x^2 * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} * \\ \left. \sqrt{(a-x)^3} - 15 * \sqrt{2} * YA0 * a^2 * x * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} * \sqrt{(a-x)^3} \right) \quad (21)$$
- $$M_{2A} = 0$$
- $$M_{3A} = \frac{1}{5 \cdot a \cdot x^3 \cdot \sqrt{\left(1 - \frac{x}{a}\right)^3}} \left(32 * a * x^3 + 312 * a^3 * x - 128 * \right. \\ a^4 + 12 * x^4 - 228 * a^2 * x^2 - 30 * \sqrt{2} * YA1 * a * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} * \\ \left. \sqrt{(a-x)^3} \right)$$

Görüleceği üzere; M_{1A} , M_{2A} , M_{3A} katsayıları; çatlak boyutunun (x, a) yanı sıra sınır düzeltme faktörü olan Y ifadelerini de içermektedir. Yani herhangi bir problemde ağırlık fonksiyonlarından en önce Y ifadelerini hesaplamak gerekmektedir. Burada $(Y_{ref})_0|_A$ yerine daha kısa olduğu için Y_{A0} ve $(Y_{ref})_1|_A$ yerine Y_{A1} kullanılmıştır.

Y denklemi aslında K dan bağımsız değildir (Bkn. Denklem 17). SEA ile önce K bulunmakta, sonra Y değeri elde edilmektedir. Fakat unutulmamalıdır ki, her farklı a , c ve t 'ye sahip bir çatlak için, farklı bir Y değeri elde edilebilmektedir. Y 'nin ara değerlerde de değişimini bulmak için Y 'nin a , c ve t ye bağlı olduğu bir fonksiyona ihtiyacımız vardır. Y fonksiyonu için genellikle, kullanımı kolay olan polinomlar seçilir (Zareei, and Nabavi, 2016; Wang and Lambert, 1995; Wang, 2002). Bu amaçla;

- hem çatlak geometrik parametrelerinin (a, c, t) her farklı durumuna uyumlu,
- hem de farklı yüklere (sabit, lineer, nonlineer) uyabilen

neredeyse tek formül olan, bir özel eğri uydurma formülü önerilmiştir ve formülün kapalı hali Denklem (22) de verilmiştir.

$$Y = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^5 A_{ij} \left(\frac{a}{c}\right)^{i-1} \left(\frac{a}{t}\right)^{j-1} \quad (22)$$

Burada A_{ij} parametreleri, bu eğri uydurma fonksiyonunun katsayılarıdır. Fonksiyonun 30 adet terimin toplamından oluştuğu dikkate alınırsa, 30 adet te katsayıya sahip olacağı görülecektir.

İçerisinde bir çatlağa sahip parçamıza Mod-I tarzında sabit yükleme uygulamak sureti ile çatlağın her farklı a , c , t değerleri için, ayrı ayrı tekrarlanan SEA ile elde edilen sayısal değerlere uydurulan fonksiyon, Y_0 olacaktır. Benzer şekilde lineer değişen bir yükleme uygulayıp, elde edilen değerler kullanılarak uydurulan fonksiyon, Y_1 olacaktır. Nihayetinde Y_0 , Y_1 formülü biliniyorken artık herhangi bir a , c , t ara noktası için Y_0 ve Y_1 değerleri rahatlıkla bulunabilecektir. Nihayetinde de M_{1A} , M_{2A} , M_{3A} katsayılarının sayısal değerleri bulunabilecektir. Hatırlayınız; M_{1A} , M_{2A} , M_{3A} katsayıları; çatlak boyutunun (x, a, c, t) yanı sıra sınır düzeltme faktörü olan Y ifadelerine de bağlıdır.

7. 2. B noktası için ağırlık fonksiyonunun üç adet katsayısını bulmak üzere üç denklemin eldesi ve çözümü

Öncelikle referans yükleri uygulayıp iki adet çözüm bulalım. $\sigma(x)=\sigma_0$ sabit iken;

$$(K_{ref})_0 \Big|_B = \int_0^a \sigma_0 * \left\{ \frac{2}{\sqrt{2\pi(a-x)}} \left[1 + M_{1B} \left(\frac{x}{a}\right)^{1/2} + M_{2B} \left(\frac{x}{a}\right) + M_{3B} \left(\frac{x}{a}\right)^{3/2} \right] \right\} dx$$

Bu integrali çözelim.

$$(K_{ref})_0 \Big|_B = \frac{\sigma_0 * x * \left(30a + 15 * x * M_{2B} + 20 * M_{1B} * a * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)} + 12 * M_{3B} * a * x * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)} \right)}{15 * \sqrt{a^3} * \sqrt{\pi}}$$

Elde edilen bu denklemini, BCF denkleminde yerine yazalım.

$$Y = \frac{K}{\sigma_0 \sqrt{\pi a / Q}}$$

$$(Y_{ref})_0 \Big|_B = \frac{x * \left(30a + 15 * x * M_{2B} + 20 * M_{1B} * a * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)} + 12 * M_{3B} * a * x * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)} \right)}{15 * \sqrt{a^3} * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}}} \quad (23)$$

Böylece B noktası için birinci referans çözüm elde edilmiş oldu. Benzer şekilde, bu sefer yük olarak $\sigma(x)=\sigma_0 * x$ MPa olarak ikinci referans çözümü de elde edelim.

$$(K_{ref})_1 \Big|_B = \int_0^a \sigma_0 * x * \left\{ \frac{2}{\sqrt{2\pi(a-x)}} \left[1 + M_{1B} \left(\frac{x}{a}\right)^{1/2} + M_{2B} \left(\frac{x}{a}\right) + M_{3B} \left(\frac{x}{a}\right)^{3/2} \right] \right\} dx$$

Bu integrali çözelim.

$$(K_{ref})_1 \Big|_B = \frac{\sigma_0 * x^2}{105 * \sqrt{a^3} * \sqrt{\pi}} \left(70 * M_{2B} * x + 105 * a + 84 M_{1B} * a * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)} + 60 * M_{3B} * a * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^3} \right)$$

Elde edilen bu denklemi BCF denkleminde yerine yazalım.

$$Y = \frac{K}{\sigma_0 \sqrt{\pi a / Q}}$$

$$(Y_{ref})_1 \Big|_B = \frac{x^2}{105 * \sqrt{a^3} * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}}} \left(70 * M_{2B} * x + 105 * a + 84 * \right. \\ \left. M_{1B} * a * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)} + 60 * M_{3B} * a * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^3} \right) \quad (24)$$

Böylece B noktası için ikinci denklem de elde edilmiş oldu. Üçüncü denklem ise sınır şartlarından Denklem (13) deki gibi elde edilmiş idi. Böylece artık Denklem (13), (23) ve (24) birlikte çözümlenerek M_{1B} , M_{2B} , M_{3B} katsayıları bulunabilecektir.

$$\bullet \quad M_{1B} = \frac{-15\sqrt{a} \sqrt{\frac{a}{Q}}}{4 * x^2 * \left(15 * x * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^3} + 35 * x * \sqrt{\frac{x}{a}} - 48 * a * \sqrt{\frac{x}{a}} * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^3} \right)} \left(105 * \pi * YB1 * \right. \\ \left. x + \frac{35 * x^3}{\sqrt{\frac{a^2}{Q}}} - 70\pi * YB0 * x^2 - \frac{36 * \sqrt{a} * x^2 * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^3}}{\sqrt{\frac{a}{Q}}} + \frac{4 * x^3 * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^3}}{\sqrt{\frac{a^2}{Q}}} - 84 * \right. \\ \left. YB1 * a * \pi * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^3} + 60 * YB0 * a * x * \pi * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^3} \right) \\ \bullet \quad M_{2B} = \frac{1}{4 * x^2 * \left(15 * x * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^3} + 35 * x * \sqrt{\frac{x}{a}} - 48 * a * \sqrt{\frac{x}{a}} * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^3} \right)} \left(105 * a * \right. \\ \left. x^2 * \sqrt{\frac{x}{a}} - 135 * a * x^2 * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^3} + 48 * a * x^2 * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^4} + 525 * \right. \\ \left. YB1 * \sqrt{a^3} * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} * \sqrt{\frac{x}{a}} - 315 * YB1 * \sqrt{a^3} * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} * \right. \\ \left. \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^3} - 315 * YB0 * \sqrt{a^3} * x * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)} + 225 * YB0 * \right. \\ \left. \sqrt{a^3} * x * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^3} \right) \quad (25) \\ \bullet \quad M_{3B} = \frac{-1}{4 * x^2 * \left(15 * x * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^3} + 35 * x * \sqrt{\frac{x}{a}} - 48 * a * \sqrt{\frac{x}{a}} * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^3} \right)} * \left(140 * x^3 * \right. \\ \left. \sqrt{\frac{x}{a}} - 525 * x^3 + 420 * a * x^2 * \sqrt{\frac{x}{a}} + 1575 * YB1 * \sqrt{a} * x * \right. \\ \left. \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} + 1050 * YB0 * \sqrt{a} * x^2 * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} - 2100 * YB1 * \sqrt{a^3} * \right. \\ \left. \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)} - 1260 * YB0 * \sqrt{a^3} * x * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)} \right)$$

Görüleceği üzere; M_{1B} , M_{2B} , M_{3B} katsayıları; çatlak boyutunun (x, a, c, t) yanı sıra sınır düzeltme faktörü olan Y ifadelerini de içermektedir. Yani herhangi bir problemde ağırlık fonksiyonlarından en önce Y ifadelerini hesaplamak gerekmektedir. Burada $(Y_{ref})_0|_B$ yerine daha kısa olduğu için YBO ve $(Y_{ref})_1|_B$ yerine YBI kullanılmıştır. Denklemdaki YBO ve YBI ifadeleri, Denklem (22) formunda bulunabilmektedir.

8. Ağırlık Fonksiyonunun Eldesi

Denklem (21) ve (22) alınıp Denklem (6) da yerlerine yazıldığında, A noktası için ağırlık fonksiyonu elde edilmiş olacaktır.

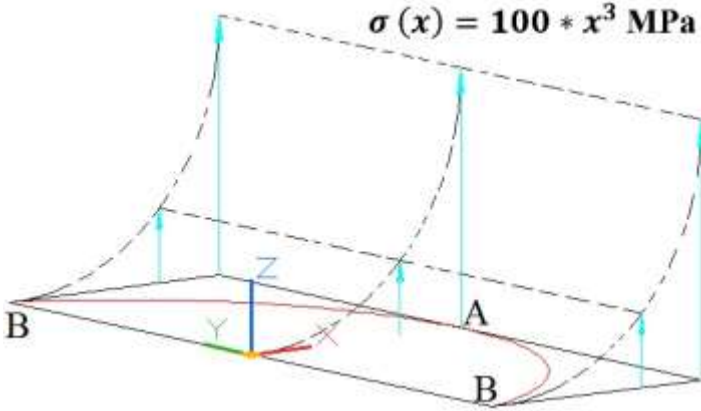
$$\begin{aligned}
 MA = & \frac{\sqrt{2} * a^3}{\sqrt{\pi} * \sqrt{(a-x)}} \left(\frac{\sqrt{-\left(\frac{x}{a}-1\right)^3}}{5 * a * x^3 * \sqrt{\left(1-\frac{x}{a}\right)^3}} * \left(32 * a * x^3 + 312 * a^3 * \right. \right. \\
 & x - 128 * a^4 + 12 * x^4 - 228 * a^2 * x^2 - 30 * \sqrt{2} * YA2 * \\
 & a * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} * \sqrt{(a-x)^3} + 15 * \sqrt{2} * YA1 * a * x * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} * \\
 & \left. \sqrt{(a-x)^3} \right) - \frac{3 * x}{a} + \left(\frac{\sqrt{\left(1-\frac{x}{a}\right)}}{5 * a * x^3 * (a-x) * \sqrt{\left(1-\frac{x}{a}\right)+4}} * \left(44 * a * \right. \right. \\
 & x^4 - 376 * a^4 * x + 128 * a^5 - 4 * x^5 - 196 * a^2 * x^{30} + \\
 & 404 * a^3 * x^2 + 30 * \sqrt{2} * YA2 * a^2 * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} * \sqrt{(a-x)^3} - \\
 & 15 * \sqrt{2} * YA1 * a * x * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} * \sqrt{(a-x)^3} + 10 * \sqrt{2} * \\
 & YA1 * a * x^2 * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} * \sqrt{(a-x)^3} - 15 * \sqrt{2} * YA1 * a^2 * \\
 & \left. \left. \left. x * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} * \sqrt{(a-x)^3} \right) \right) \right) \quad (26)
 \end{aligned}$$

Benzer olarak Denklem (22) ve (25) alınıp Denklem (7) de yerlerine yazıldığında, B noktası için ağırlık fonksiyonu elde edilmiş olacaktır.

$$\begin{aligned}
 MB = \frac{2}{\sqrt{a\pi}} & \left(\frac{1}{a*x*\left(15*x*\sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^3} + 35*x*\sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)} - 48*a*\sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^4}\right)} \right) \left(\left(105 * \right. \right. \\
 & a * x^2 * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)} - 135 * a * x^2 * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^3} + 48 * a * x^2 * \\
 & \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^4} + 525 * YB2 * \sqrt{(a)^3} * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)} - 315 * YB2 * \\
 & \sqrt{(a)^3} * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^3} - 315 * YB1 * \sqrt{(a)^3} * x * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} * \\
 & \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)} + +225 * YB1 * \sqrt{(a)^3} * x * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^3} \Big) - \\
 & \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^3} \left(140 * x^3 * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)} - 525 * x^3 + 420 * a * x^2 * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)} - \right. \\
 & 1575 * YB2 * \sqrt{(a)} * x * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} + 1050 * YB1 * \sqrt{(a)} * x^2 * \\
 & \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} + 2100 * YB2 * \sqrt{(a)^3} * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)} + 1260 * \\
 & YB1 * \sqrt{(a)^3} * x * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} * \\
 & \left. \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)} \right) \frac{1}{4*x^2*\left(15*x*\sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^3} + 35*x*\sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)} - 48*a*\sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^4}\right)} \Big) - \left(15 * \right. \\
 & \sqrt{(a)} * \sqrt{\frac{a}{Q}} * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)} \left(105 * YB2 * x * \pi + \frac{35*x^3}{\sqrt{(a)}*\sqrt{\frac{a}{Q}}} - 70 * \pi * \right. \\
 & YB1 * x^2 - \frac{36*\sqrt{(a)}*\sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^3}}{\sqrt{\frac{a}{Q}}} + \frac{4*x^3*\sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^3}}{\sqrt{(a)}*\sqrt{\frac{a}{Q}}} - 84 * YB2 * a * \pi * \\
 & \left. \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^3} + 60 * YB1 * a * x * \pi * \right. \\
 & \left. \left. \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^3} \right) \frac{1}{4*x^2*\left(15*x*\sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^3} + 35*x*\sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)} - 48*a*\sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^4}\right)} + 1 \right) \Big)
 \end{aligned} \tag{27}$$

9. Herhangi Bir Yükleme Hali için SIF Belirlenmesi

Artık bulunmuş olan MA , MB ifadelerini, verilen herhangi bir yükleme hali için (çatlak yüzeyine dik), Denklem (5) teki integral içerisinde yazıp integrali çözerek nihai olarak SIF değeri elde edilmiş olacaktır. Böylece artık geometrinin A ve B noktaları için Denklem (6) ve (7) ile verilmekte olan ağırlık fonksiyonları elde edilmiş olmaktadır.



Şekil 5. Çatlak düzleminde kübik yükleme

Örneğin, Şekil 5 te gösterildiği gibi $\sigma(x) = 100 * x^3$ MPa tarzında bir yükleme olduğunda, A ve B noktaları için; kapalı formda SIF formülleri aşağıdaki gibi elde edilecektir.

$$K_A = \int_x^A (100 * x^3) * MA * dx$$

$$K_A = \frac{-1}{63 * a * \sqrt{\pi}} \left(25600 * \sqrt{2} * a^4 * \sqrt{(a-x)} + 280 * \sqrt{2} * x^4 * \sqrt{(a-x)} - 30720 * \sqrt{2} * a^2 * x^2 * \sqrt{(a-x)} + 8400 * YA1 * a^4 * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} - 18900 * YA2 * a^3 * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} + 4640 * \sqrt{2} * a * x^3 * \sqrt{(a-x)} + 12800 * \sqrt{2} * a^3 * x * \sqrt{(a-x)} + 4200 * YA1 * a * x^3 * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} - 18900 * YA2 * a * x^2 * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} \right) MPa\sqrt{mm}$$

$$K_B = \int_x^A (100 * x^3) * MB * dx$$

$$KB = \int_x^A \left(1750 * x^4 * \sqrt{\frac{x}{a}} + 2250 * x^4 * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^3} + 400 * x^4 * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^4} - \right.$$

$$3600 * a * x^3 * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^4} - 10500 * YB1 * \sqrt{a} * x^3 * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} \sqrt{\frac{x}{a}} + 26250 *$$

$$YB2 * \sqrt{a} * x^2 * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} \sqrt{\frac{x}{a}} - 7500 * YB1 * \sqrt{a} * x^3 * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^3} + 15750 *$$

$$YB2 * \sqrt{a} * x^2 * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^3} - 42000 * YB2 * \sqrt{a^3} * x * \pi * \sqrt{\frac{a}{Q}} \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^4} +$$

$$18000 * YB1 * \sqrt{a^3} * x^2 * \pi *$$

$$\sqrt{\frac{a}{Q}} \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^4} \frac{1}{\sqrt{a\pi} * \left(15 * x * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^3} + 35 * x * \sqrt{\frac{x}{a}} - 48 * a * \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^4} \right)} dx \text{ MPa}\sqrt{mm}$$

Sonuçlar

Bu çalışmada gerilme yoğunluk faktörünün hesaplanmasında kullanılan yöntemlerden biri olan ağırlık fonksiyonu yöntemi izah edilmiştir. Denklemlerin çıkartılması adım adım gösterilmiştir. Bu sayede okuyucunun metodu anlamasına olanak sağlanmıştır. Müteakip bölümde ise bir örnek ile ağırlık fonksiyonu yönteminin uygulaması gösterilmiştir.

KAYNAKÇA

Bueckner, H. F., A Novel Principle for the computation of stress intensity factors, Zeitschrift fur Angewandte Mathematik und Mechanik, Vol. 50, pp. 529–546. 1970.

Rice, J. R, Some remarks on elastic crack-tip stress field, International Journal of Solids and Structures, Vol. 8, 1972.

Shen G, Glinka G. Weight function for a surface semi-elliptical crack in a finite thickness plate. Theor Appl Fract Mech 1991;15:247e55.

Stress Intensity Factors Handbook, Volume 2, Appendix A, Editor-in-Chief, Y Murakami, Pergamon Press, 1987.

Bakuckas, J. G., Jr., Comparison of boundary correction factor solutions for a symmetric crack in a straight shank hole, DOT Report - DOT/FAA/AR-98/36.1999.

Zareei, A., Nabavi S.M., Calculation of stress intensity factors for circumferential semielliptical cracks with high aspect ratio in pipes, International Journal of Pressure Vessels and Piping, 146 (2016) 32-38.

Wang X., Lambert S.B., Local weight functions for semi-elliptical surface cracks in finite thickness plates, Theoretical and Applied Fracture Mechanics 23 (1995) 199-208.

Wang X., Stress intensity factors and weight functions for deep semi-elliptical surface cracks in finite-thickness plates, Fatigue Fract Engng Mater Struct 25, 291-304, 2002.

EKLER

EK-1 Sembolik olarak integral alan kod

```
clc;
clear;
clear all;
syms a x M1A M2A M3A M1B M2B M3B Q Sigma0;
MA=2/sqrt(2*pi*(a-x))*(1+M1A*(1-(x/a))^0.5+M2A*(1-(x/a))+M3A*(1-(x/a))^1.5);
MB=2/sqrt(pi*a)*(1+M1B*(x/a)^0.5+M2B*(x/a)+M3B*(x/a)^1.5;
disp 'MA ve MB fonksiyonlarının ikinci türevlerinin sembolik olarak alınması'
DMA= diff(MA,x);
DMB= diff(MB,x);
DDMA= diff(DMA,x);
DDMB= diff(DMB,x);
DMA= simplify(DMA)
DMB= simplify(DMB)
DDMA= simplify(DDMA)
DDMB= simplify(DDMB)
% integralin içi
ic_A=Sigma0*MA
ic_B=Sigma0*MB
disp 'Sembolik integral olarak KA ve KB lerin bulunması-SIGMA=100 MPa sabit'
KA0= int(ic_A,x);
KB0= int(ic_B,x);
KA0=simplify(KA0);
KB0=simplify(KB0);
disp 'Sembolik integral olarak YA ve YB lerin bulunması-SIGMA=100 MPa sabit'
YA0= KA0/(Sigma0*sqrt(pi*a/Q));
YB0= KB0/(Sigma0*sqrt(pi*a/Q));
YA0= simplify(YA0);
```

EK-2: Sembolik denklem çözümü yapan ve sonucu sadeleştiren bir kod

```
clc; clear all
syms M1B M2B M3B a M1A M2A M3A Q x YA0 YA1 YB0 YB1 Sigma0
eqns_1=[M2A-3==0, YA0==((a-x)^(1/2)), YA1==(2^(x)^(1/2))];
[M1A, M2A, M3A]=solve(eqns_1, [M1A, M2A, M3A]);
eqns_2=[1+M1B+M2B+M3B==0, YB0==(x*(30*a), YB2==(70*M2B*x)];
[M1B, M2B, M3B]=solve(eqns_2, [M1B, M2B, M3B]);
M1A=simplify(M1A)
M2A=simplify(M2A)
M3A=simplify(M3A)
M1B=simplify(M1B)
M2B=simplify(M2B)
M3B=simplify(M3B)
```

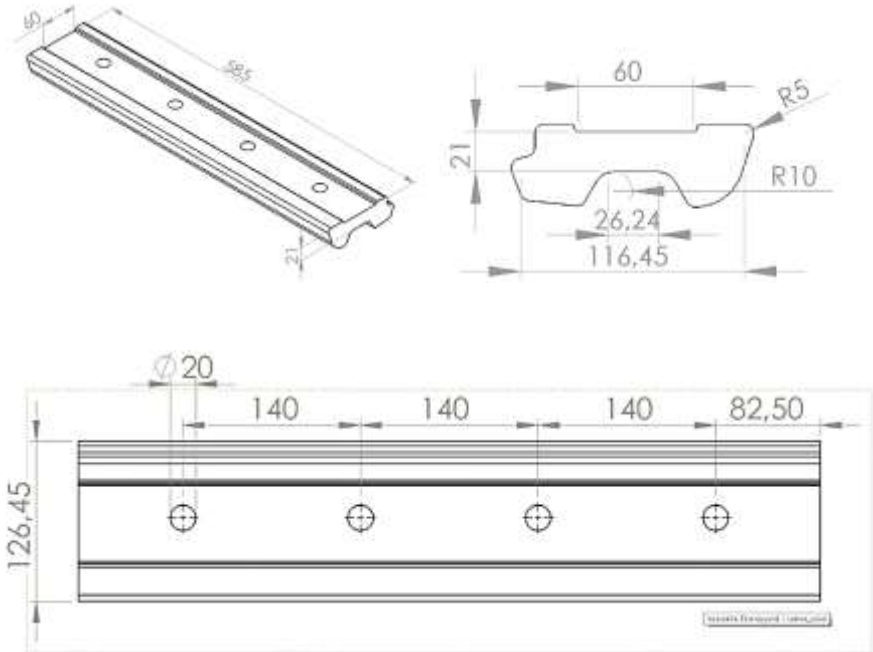
AĞIRLIK FONKSİYONU YÖNTEMİ İLE GERİLME YOĞUNLUK FAKTÖRÜNÜN HESAPLANMASINA ÖRNEK BİR UYGULAMA

İlyas Kacar¹

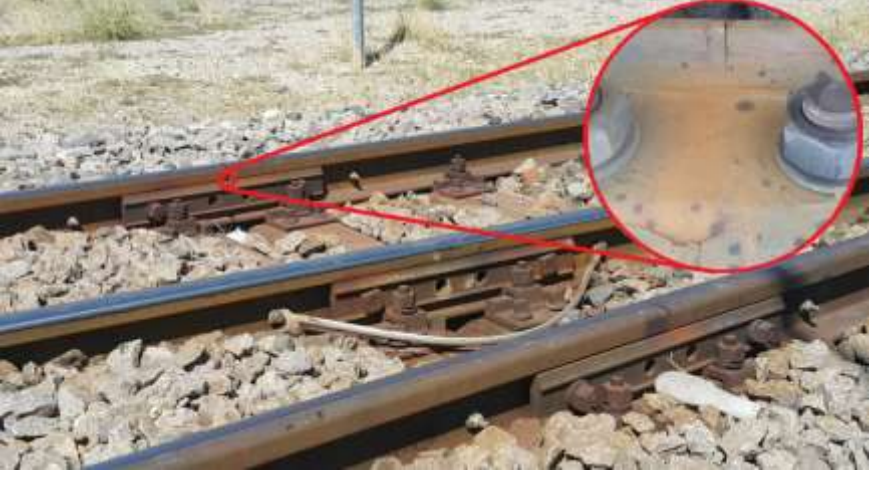
¹ Dr. Öğr. Üyesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi,
E-mail: ikacar@gmail.com

1. Giriş

Bu bölümde kırılma mekaniğinde ağırlık fonksiyonu olarak bilinen ve gerilme yoğunluk faktörünün hesaplanmasında kullanılan yöntemle bir uygulama verilmiştir. Şekil 1’de tren raylarının birbirlerine bağlanmasında kullanılan ve adına *cebire* denilen bir yapısal elemanın boyutları gösterilmektedir (Özkul, 2011). Şekil 2 de cebirenin tren raylarındaki kullanım yerinin fotoğrafı ve bir çatlak başlangıcına örnek verilmiştir.



Şekil 1. Cebire parçasının boyutları. Parça kalınlığı $t=126,45$ mm.



Şekil 2. Cebirenin tren raylarındaki kullanım yeri ve bir çatlak başlangıcı.

Cebire malzemesinin Poisson oranının 0,3 elastiklik modülünün 200 GPa ve malzemenin izotropik-elastik-homojen olduğu varsayılmıştır. Çatlak geometrileri için, bağıl derinlik $0,2 \leq a/t \leq 0,8$ ve en-boy oranı $0 \leq a/c \leq 1$ olacak şekilde alınmıştır.

Ağırlık fonksiyonlarını (MA , MB) tespit edelim.

Ağırlık fonksiyonlarının katsayıları olan M_{1A} , M_{2A} , M_{3A} ve M_{1B} , M_{2B} , M_{3B} değerleri iki referans SIF çözümü kullanılarak bulunacaktır. SIF çözümleri ise sabit ve doğrusal olmak üzere iki farklı referans yükleme durumu için SEA sayesinde elde edilecektir. Bu değerler kullanılarak denklem seti oluşturulacak ve bu set çözülerek ağırlık fonksiyonu katsayıları tespit edilecektir.

Hatırlamamız gerekmektedir ki, ağırlık fonksiyonlarının katsayıları çatlak boyutunun (x , a) yanı sıra sınır düzeltme faktörü (BCF veya Y ile de gösterilir) ifadelerini de içermektedir. Yani problemimizde ağırlık fonksiyonlarının tespitinden önce Y ifadelerini hesaplamak gerekmektedir. Y nin eğri uydurulacak polinomsal denkleminde de (bknz. Denklem 1) 30 adet katsayı mevcut olduğundan dolayı, katsayıların belirlenmesinde eğer lineer cebir kullanılacak ise en az 30 adet analiz yapılmalı ve elde edilecek Y değerleri kullanılarak katsayıların hesaplanması gerekmektedir. Bir adet analiz yeterli değildir. Bunun yanı sıra; analizlerimizdeki çatlak boyutları da, bağıl derinlik $0,2 \leq a/t \leq 0,8$ ve en-boy oranı $0 \leq a/c \leq 1$ olacak şekilde alınmalıdır. Burada a çatlak boyu, c çatlak genişliğinin yarısı ve t de çatlak önündeki parça kalınlığıdır.

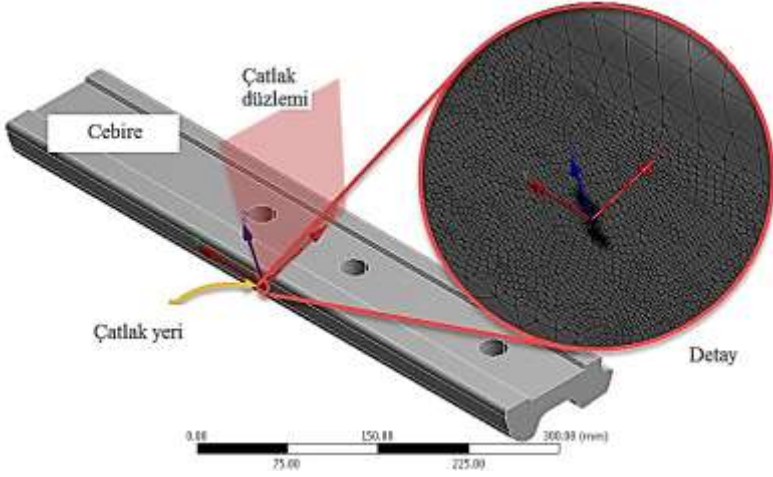
SEA yazılımlarına çatlak tanımlamak için hem a hem de c 'nin sayısal değerlerinin girilmesi gerekmektedir. Parçanın çatlak ilerleme yönündeki kalınlığı $t=126,45$ mm ve sabittir. t sabit olduğundan dolayı Tablo 1'deki a/t oranlarını tutturabilmek için gereken a değerleri hesaplanır. Benzer şekilde Tablo 1'deki a/c oranlarını tutturabilmek için gereken c değerleri de hesaplanır. SAE analizleri, tablodaki her bir satırdaki değer için ayrı ayrı yapılacaktır. Tablodaki gri sütunların değerleri sabittir. Analiz esnasında bazı en-boy değerlerinin fiziksel uygunsuzlukları nedeni ile analiz esnasında çözüm elde edilemeyebileceği ihtimali de unutulmamalıdır.

Tablo 1. $t=126,45$ mm iken, bağıl derinlik $0,2 \leq a/t \leq 0,8$ ve en-boy oranı $0 \leq a/c \leq 1$ olacak şekilde hesaplanan a ve c değerleri.

t (mm)	a/t	a (mm)	a/c	c (mm)
126,45	0,2	25,29	1	25,29
126,45	0,4	50,58	1	50,58
126,45	0,6	75,87	1	75,87
126,45	0,8	101,16	1	101,16
126,45	0,2	25,29	0,8	31,6125
126,45	0,4	50,58	0,8	63,225
126,45	0,6	75,87	0,8	94,8375
126,45	0,8	101,16	0,8	126,45
126,45	0,2	25,29	0,6	42,15
126,45	0,4	50,58	0,6	84,3
126,45	0,6	75,87	0,6	126,45
126,45	0,8	101,16	0,6	168,6
126,45	0,2	25,29	0,4	63,225
126,45	0,4	50,58	0,4	126,45
126,45	0,6	75,87	0,4	189,675
126,45	0,8	101,16	0,4	252,9
126,45	0,2	25,29	0,2	126,45
126,45	0,4	50,58	0,2	252,9
126,45	0,6	75,87	0,2	379,35
126,45	0,8	101,16	0,2	505,8

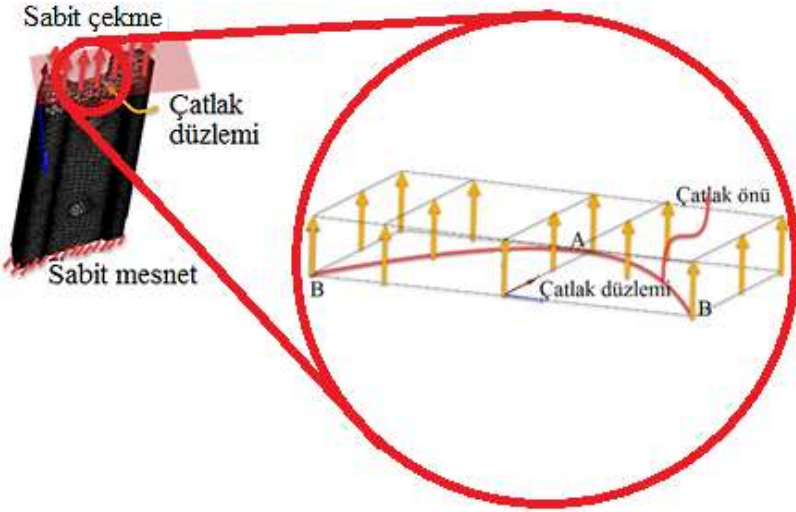
Cebire parçası, ray üzerinde iken eğilme yüklemelerine maruz kalmaktadır. Bu nedenle en fazla hasar görülen yere, yarı eliptik bir çatlak, Şekil 3'te gösterildiği gibi yerleştirilmiştir. Bu işlem sonlu eleman analizi (SEA) yazılımının çatlak yerleştirme aracı sayesinde yapılmıştır. Cebire parçası tetrahedron tipinde elemanlar kullanılarak eleman ağına bölünmüştür.

Kenar etkilerini önlemek için çatlak, cebire yüzeyinin hem orta noktasına yerleştirilmiş hem de bu çatlağın kenarlara olan mesafesinin, çatlak boyuna oranla en az 15 kat olması sağlanmıştır.

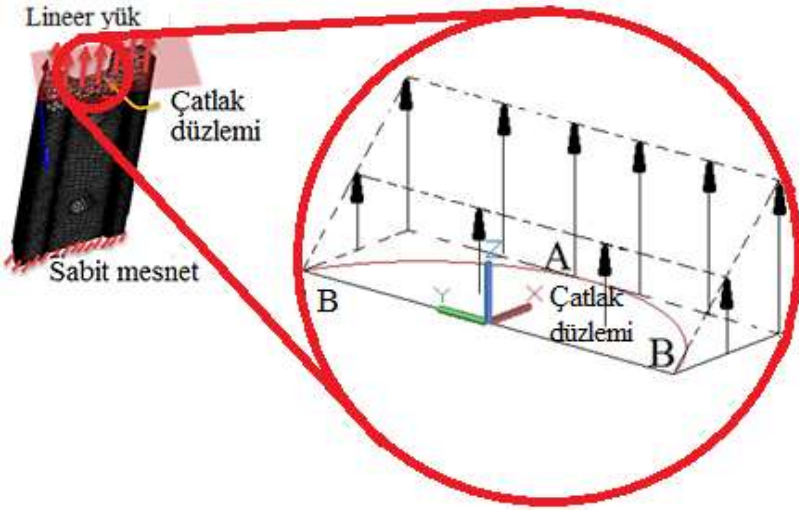


Şekil 3. Eleman ağı ile bölünmüş modeldeki çatlakın yeri.

Referans çözümler elde edebilmek için Şekil 4 a da gösterildiği üzere sabit $\sigma_0=100$ MPa lık Mod-I yüklemesi (çatlak yüzeyine dik) ve Şekil 4 b de gösterildiği gibi $\sigma(x)=100x$ MPa lık Mod-I yüklemeleri uygulanmıştır.



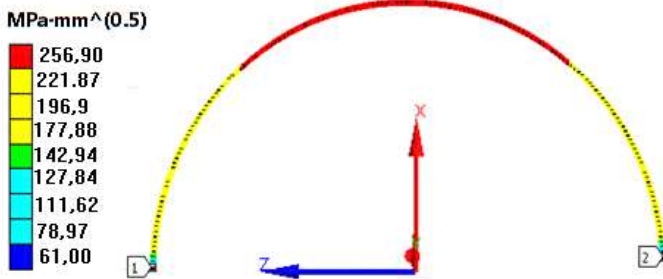
a) $\sigma_0=100$ MPa lık Mod-I yüklemesi.



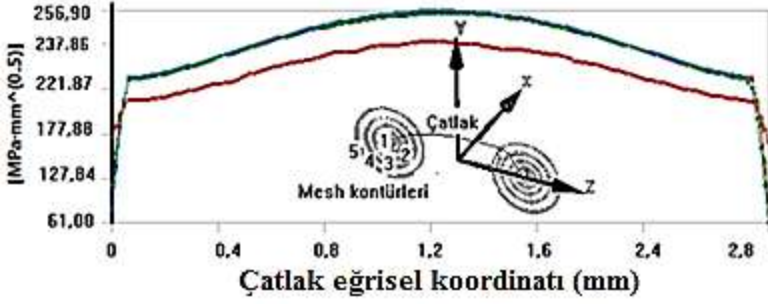
b) Lineer artan Mod-I yüklemesi ($\sigma_1 = 100x$ MPa).

Şekil 4. Referans çözüm olarak uygulanan yüklemeler. Çatlak, koordinat eksen takımının bulunduğu yerdedir. Parçanın çatlak düzlemi üzerinde kalan kısmı gösterilmemiştir.

Bu analizlerin sonuçlarından bir tanesi, örnek olması açısından Şekil 5 te verilmiştir. Genellikle 1. kontur sonuçlarının hassasiyeti düşüktür (kırmızı eğri, en alttaki). Diğerleri ise birbirlerine çok yakın sonuçlar verirler. Şekilden, SIF'in çatlak boyunca nasıl değiştiği de görülebilmektedir. Bu problemde SIF değerlerinin x eksenine göre simetrik olduğu görülmüştür. Farklı geometrilere göre bu değerler simetrliliğini yitirebilmektedir.



(a) Çatlak eğrisi boyunca SIF değerlerinin dağılım grafiği.



(b) Çatlak eğrisi boyunca SIF değerleri.

Şekil 5. SIF çözümleri ($a=c=25,29$ mm ve birimler $\text{MPa}\sqrt{\text{mm}}$ dir).

Çatlak için bağıl derinlik $a/t=0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ ve en-boy oranı $a/c=0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1$ değerlerini sağlayacak şekilde Tablo 1 de verilen her bir çatlak ebadı için ayrı ayrı SEA yapılmış ve çatlağın A, B noktaları için elde edilmiş olan SIF (K_A ve K_B) ve BCF (Y_A ve Y_B) değerleri elde edilerek Tablo 2 ve 3'te gösterilmiştir. BCF değerleri ($Y = \frac{K_I}{\sigma_0 \sqrt{\pi a/Q}}$) ile hesaplanmıştır. Çatlak boyutları ufaldıkça çözüm esnasında hata oluşma riskinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Tablo 2. Çatlak parametreleri ve analizlerden elde edilen sonuçlar ($\sigma_0=100$ MPa).

a/t	a/c	a (mm)	t (mm)	c (mm)	K_A ($\text{MPa}\sqrt{\text{mm}}$)	K_B ($\text{MPa}\sqrt{\text{mm}}$)	Y_A	Y_B
0,2	1	25,29	126,45	25,29	256,90	61,00	1,08	0,25
0,4	1	50,58	126,45	50,58	370,39	90,34	1,10	0,27
0,6	1	75,87	126,45	75,87	366,11	68,21	0,89	0,16
0,8	1	101,16	126,45	101,16	162,07	38,09	0,34	0,08
0,2	0,8	25,29	126,45	31,6125	228,38	137,59	1,05	0,63
0,4	0,8	50,58	126,45	63,225	325,01	188,92	1,05	0,61
0,6	0,8	75,87	126,45	94,8375	124,94	72,09	0,33	0,19
0,8	0,8	101,16	126,45	126,45	144,29	83,27	0,33	0,19
0,2	0,6	25,29	126,45	42,15	200,64	155,83	1,02	0,79
0,4	0,6	50,58	126,45	84,3	88,20	69,21	0,32	0,25
0,6	0,6	75,87	126,45	126,45	109,85	84,79	0,32	0,25
0,8	0,6	101,16	126,45	168,6	126,82	98,47	0,32	0,25
0,2	0,4	25,29	126,45	63,225	176,29	161,95	1,00	0,92
0,4	0,4	50,58	126,45	126,45	246,51	232,58	0,99	0,93
0,6	0,4	75,87	126,45	189,675	307,90	286,51	1,01	0,94
0,8	0,4	101,16	126,45	252,9	349,53	334,11	0,99	0,95
0,2	0,2	25,29	126,45	126,45	48,08	51,66	0,30	0,32
0,4	0,2	50,58	126,45	252,9	216,66	232,47	0,96	1,03
0,6	0,2	75,87	126,45	379,35	264,91	285,38	0,96	1,03
0,8	0,2	101,16	126,45	505,8	306,67	333,19	0,96	1,04

Tablo 3. Çatlak parametreleri ve analizlerden elde edilen sonuçlar
($\sigma_1=100x$ MPa).

a/t	a/c	a (mm)	t (mm)	c (mm)	K_A ($MPa\sqrt{mm}$)	K_B ($MPa\sqrt{mm}$)	Y_A	Y_B
0,2	1	25,29	126,45	25,29	256,94	43,00	1,08	0,18
0,4	1	50,58	126,45	50,58	370,39	79,66	1,10	0,19
0,6	1	75,87	126,45	75,87	137,97	32,53	0,33	0,08
0,8	1	101,16	126,45	101,16	162,07	38,09	0,34	0,08
0,2	0,8	25,29	126,45	31,6125	228,40	126,97	1,05	0,58
0,4	0,8	50,58	126,45	63,225	324,73	174,66	1,05	0,57
0,6	0,8	75,87	126,45	94,8375	124,94	71,29	0,33	0,19
0,8	0,8	101,16	126,45	126,45	144,29	85,46	0,33	0,20
0,2	0,6	25,29	126,45	42,15	200,64	152,25	1,02	0,78
0,4	0,6	50,58	126,45	84,3	89,65	69,28	0,32	0,25
0,6	0,6	75,87	126,45	126,45	349,06	260,65	1,03	0,77
0,8	0,6	101,16	126,45	168,6	410,12	299,88	1,04	0,76
0,2	0,4	25,29	126,45	63,225	176,23	159,82	1,00	0,90
0,4	0,4	50,58	126,45	126,45	251,13	225,13	1,01	0,90
0,6	0,4	75,87	126,45	189,675	303,07	272,21	0,99	0,89
0,8	0,4	101,16	126,45	252,9	356,64	315,06	1,01	0,89
0,2	0,2	25,29	126,45	126,45	49,12	51,62	0,31	0,32
0,4	0,2	50,58	126,45	252,9	217,26	226,84	0,96	1,00
0,6	0,2	75,87	126,45	379,35	270,26	275,27	0,98	1,00
0,8	0,2	101,16	126,45	505,8	313,04	317,29	0,98	0,99

Tablodan görüleceği üzere sadece 20 adet analiz sonucu mevcuttur. Fonksiyonu, eğri uydurarak elde edelim. Bu amaçla Denklem (1) ile verilen polinomu kullanalım. Fakat 30 adet katsayının lineer cebir kullanılarak tespiti için 20 adet değer yeterli değildir! Bu yüzden fonksiyon katsayıları bu çalışmada optimizasyon metodu ile tespit edilmiştir. Ebetteki, en az 30 çözüm yapıp lineer cebrik denklem çözme metotları kullanılarak ta katsayıların bulunması mümkündür.

$$\begin{aligned}
 Y = & A11 + A12 * \left(\frac{a}{t}\right) + A13 * \left(\frac{a}{t}\right)^2 + A14 * \left(\frac{a}{t}\right)^3 + A15 * \\
 & \left(\frac{a}{t}\right)^4 + A21 * \left(\frac{a}{c}\right) + A22 * \left(\frac{a}{c}\right) * \left(\frac{a}{t}\right) + A23 * \left(\frac{a}{c}\right) * \left(\frac{a}{t}\right)^2 + A24 * \\
 & \left(\frac{a}{c}\right) * \left(\frac{a}{t}\right)^3 + A25 * \left(\frac{a}{c}\right) * \left(\frac{a}{t}\right)^4 + A31 * \left(\frac{a}{c}\right)^2 + A32 * \left(\frac{a}{c}\right)^2 * \\
 & \left(\frac{a}{t}\right) + A33 * \left(\frac{a}{c}\right)^2 * \left(\frac{a}{t}\right)^2 + A34 * \left(\frac{a}{c}\right)^2 * \left(\frac{a}{t}\right)^3 + A35 * \left(\frac{a}{c}\right)^2 * \\
 & \left(\frac{a}{t}\right)^4 + A41 * \left(\frac{a}{c}\right)^3 + A42 * \left(\frac{a}{c}\right)^3 * \left(\frac{a}{t}\right) + A43 * \left(\frac{a}{c}\right)^3 * \left(\frac{a}{t}\right)^2 + \\
 & A44 * \left(\frac{a}{c}\right)^3 * \left(\frac{a}{t}\right)^3 + A45 * \left(\frac{a}{c}\right)^3 * \left(\frac{a}{t}\right)^4 + A51 * \left(\frac{a}{c}\right)^4 + A52 * \\
 & \left(\frac{a}{c}\right)^4 * \left(\frac{a}{t}\right) + A53 * \left(\frac{a}{c}\right)^4 * \left(\frac{a}{t}\right)^2 + A54 * \left(\frac{a}{c}\right)^4 * \left(\frac{a}{t}\right)^3 + A55 * \\
 & \left(\frac{a}{c}\right)^4 * \left(\frac{a}{t}\right)^4 + A61 * \left(\frac{a}{c}\right)^5 + A62 * \left(\frac{a}{c}\right)^5 * \left(\frac{a}{t}\right) + A63 * \left(\frac{a}{c}\right)^5 * \\
 & \left(\frac{a}{t}\right)^2 + A64 * \left(\frac{a}{c}\right)^5 * \left(\frac{a}{t}\right)^3 + A65 * \left(\frac{a}{c}\right)^5 * \left(\frac{a}{t}\right)^4
 \end{aligned} \tag{1}$$

2. Sayısal Optimizasyon

Optimizasyon teknikleri ile herhangi bir fonksiyonun kökü veya minimum, maksimum veya herhangi bir değeri bulunabilmektedir. Bir optimizasyon işleminde genel olarak aşağıdaki adımlar uygulanmaktadır:

- Tasarım değişkenlerinin belirlenmesi,
- “Amaç Fonksiyonunun (zorunlu)” ve “Kısıtlamaların (varsa)” tanımlanması.

Amaç fonksiyonu, çözülmesi gereken nonlinear denklem sistemlerini tanımlayan bir vektör fonksiyonudur. Bu çalışmada optimizasyonda;

- $Y_{opt} = Y_{analiz}$ veya $Y_{opt} - Y_{analiz} = 0$ elde etmek

amaçlanmıştır. Bu ifade aynı zamanda “hata fonksiyonu” olarak adlandırılır, $f = Y_{opt} - Y_{analiz}$. Hata fonksiyonu ifadesi, amaç fonksiyonu olarak kullanılmış ve Tablo 1 deki 20 nokta için tekrarlanmıştır.

Problemimizdeki değişkenlere ait her hangi bir kısıt bulunmamaktadır. Optimizasyon tekniği olarak “en küçük kareler” yöntemi kullanılmıştır. Optimizasyon, nonlinear bir denklem sistemini çözmeye dayanmaktadır. Ayrıca bunların türevleri gereklidir. Türevler yazılım tarafından ileri farklar metodu ile sayısal olarak alındığından dolayı tarafımızca herhangi bir türev alma işlemi yapılmamıştır. Optimizasyon algoritması için başlangıç değerleri gerekmektedir. A_{ij} katsayılarının başlangıç değerleri için, Denklem (2) de verildiği gibi 1 uygulanmıştır. Başlangıç değeri olarak 0 veya 0.5 veya -0.5 veya -1 değerleri de uygulanmış ancak sonuçların değişmediği de gözlemlenmiştir. Yöntem matematiksel bir yazılımın optimizasyon modülü ile gerçekleştirilmiştir (Mathworks, 2011).

$$A_{ij} = \{1 \ 1\} \quad (2)$$

Durma kriteri olarak, yaklaşık bağıl hata değeri $\varepsilon = 1,0e-06$ olarak ayarlanmıştır. Maksimum yineleme sayısı başka bir durma kriteri olarak 400'e ayarlanmış olsa da, A_{ij} katsayılarının 11. yinelemede bulunmuş olduğu gözlemlenmiştir. Optimizasyon sonucunda elde edilmiş A_{ij} katsayıları YA ve YB için sırasıyla Tablo 4 ve 5 'te verilmektedir.

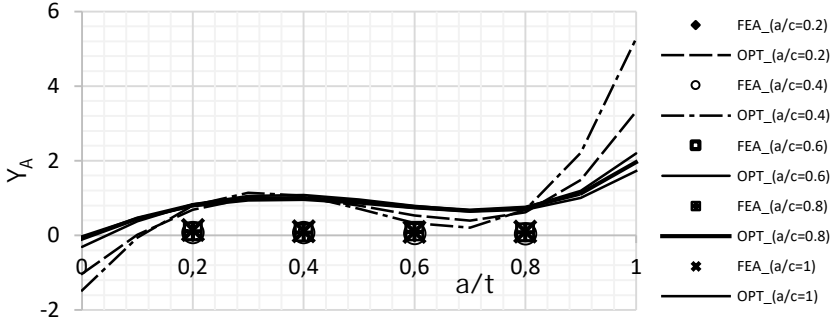
Tablo 4. YA fonksiyonundaki A_{ij} katsayıları ($\sigma_0=100$ MPa).

j \ i	1	2	3	4	5
1	4,76	-35,54	70,37	16,93	-71,76
2	-47,73	390,74	-716,29	-212,31	736,82
3	103,38	-833,26	1527,13	452,42	-1571,24
4	-32,48	256,61	-474,65	-138,82	490,15
5	-85,95	692,74	-1273,03	-375,74	1311,31
6	58,00	-465,69	859,29	252,34	-886,76

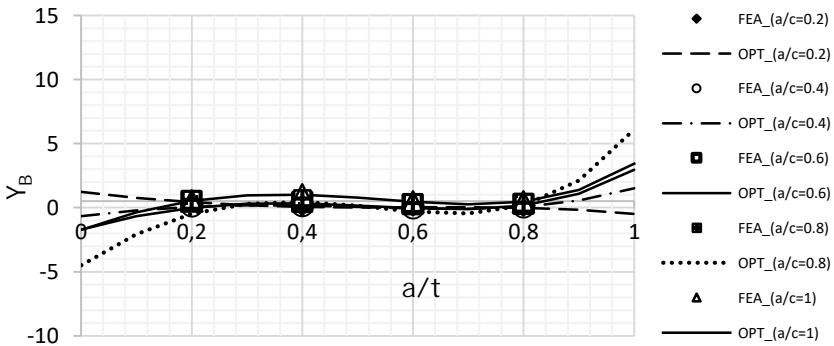
Tablo 5. Y_B fonksiyonundaki A_{ij} katsayıları ($\sigma_0=100$ MPa).

j \ i	1	2	3	4	5
1	9,11	-45,62	58,79	23,44	-53,64
2	-61,26	312,17	-413,36	-162,14	381,91
3	120,05	-604,84	806,15	314,13	-746,81
4	-34,44	177,63	-241,61	-92,63	225,12
5	-98,87	502,17	-672,20	-261,19	623,39
6	63,69	-325,41	439,36	169,35	-408,99

Kontrol için, SEA'den elde edilen Y değerleri, optimizasyondan elde edilen katsayıların kullanılmasıyla elde edilen Y fonksiyonuyla karşılaştırılmıştır. Şekil 6'da Y_A , Şekil 7'de ise Y_B görülmektedir. Şekillerde "OPT" ile gösterilen eğriler optimizasyon sonuçları anlamına gelmektedir.



Şekil 6. Sabit yüklemeye durumu için en derin nokta olan A 'daki sınır düzeltme faktörlerinin tahmini.



Şekil 7. Sabit yüklemeye durumu için en sığ nokta olan B 'deki sınır düzeltme faktörlerinin tahmini.

Benzer bir şekilde, $\sigma_1=100x$ MPa tarzındaki yükleme için optimizasyon sonucunda elde edilmiş A_{ij} katsayıları, Y_A ve Y_B için sırasıyla Tablo 6 ve 7 'de verilmektedir.

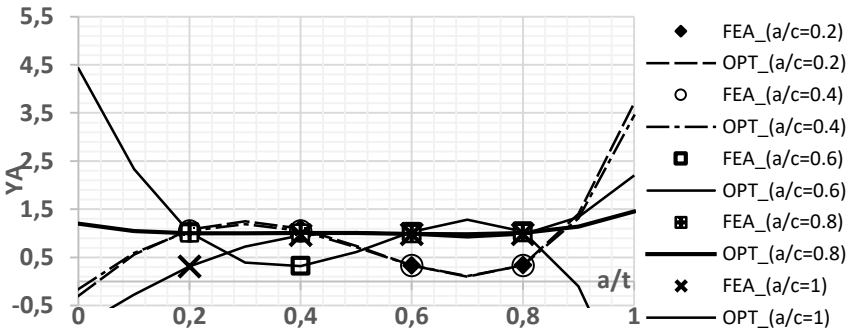
Tablo 6. Y_A fonksiyonundaki A_{ij} katsayıları ($\sigma_1=100x$ MPa).

$j \backslash i$	1	2	3	4	5
1	24,38	-170,99	256,51	82,78	-221,69
2	-216,55	1590,47	-2365,48	-896,48	2176,05
3	522,61	-3850,00	5728,15	2159,84	-5259,68
4	-204,45	1521,83	-2262,63	-853,42	2077,51
5	-465,53	3431,02	-5101,54	-1923,96	4684,37
6	338,59	-2515,34	3744,93	1411,00	-3440,07

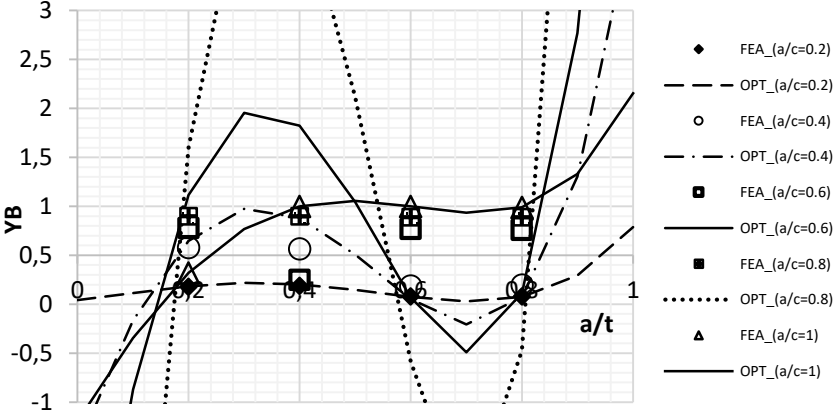
Tablo 7. Y_B fonksiyonundaki A_{ij} katsayıları ($\sigma_1=100x$ MPa).

$j \backslash i$	1	2	3	4	5
1	18,08	-138,19	211,15	67,60	-184,42
2	-156,52	1191,55	-1787,76	-667,70	1646,79
3	373,03	-2798,32	4179,93	1568,85	-3849,33
4	-143,44	1069,70	-1593,03	-598,74	1465,45
5	-328,04	2471,52	-3687,47	-1384,58	3394,44
6	235,69	-1786,97	2670,66	1001,75	-2459,53

Optimizasyondan elde edilen Y_A fonksiyonu Şekil 8'de ve Y_B fonksiyonu Şekil 9'da görülmektedir.



Şekil 8. Lineer yükleme durumu için en derin nokta olan A'daki sınır düzeltme faktörlerinin tahmini.



Şekil 9. Lineer yükleme durumu için en sığ nokta olan B 'deki sınır düzeltme faktörlerinin tahmini.

Şekillerden, optimizasyonun neticesinde tespit edilen fonksiyonların, başarılı bir şekilde tahminde bulunduğu görülmektedir. Yani artık elde edilmiş olan YA , YB değerleri güvenle kullanılabilirlerdir.

Hatırlayalım, Y değerleri; MA , MB formülleri içerisinde ve sonra da ağırlık fonksiyonu denklemindeki integralin içerisinde gerilme yoğunluk faktörü hesaplama amacı ile kullanılmakta idi.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Bu bölümde, şimdiye kadar yapmış olduğumuz işlemler neticesinde bulmuş olduğumuz değerleri, literatürdeki benzerleri ile kıyaslayacağız. Böylece, sonuçlarımızın doğru olup-olmadığını teyit etmiş olacağız.

Hem kapalı form ile yapılan hesaplama sonuçları ve hem de benzer bir geometri için Laham (1999)'in tabloları kullanılarak belirlenen normalize edilmiş SIF değerleri Tablo 8 ve 9'da gösterilmektedir. Kıyaslamalardan görülecektir ki mevcut sonuçlar literatürde belirtilenlere uymakla birlikte bazılarında farklılıklar mevcuttur. Bunun nedeni ise, parça geometrisinin, literatürde incelenmiş olandan farklı olmasıdır. Parça geometrisi değiştikçe gerilme yoğunluk faktörleri de değişecektir. Ağırlık fonksiyonu yöntemi ile yapmış olduğumuz BCF sonuçlarının, Laham'ın bulunduğu sonuçlardan en fazla ± 9 saptığı görülmüştür.

Tablo 8. Sonuçların kıyaslanması ($\sigma_0=100$ MPa).

<i>a/t</i>	<i>a/c</i>	<i>Mevcut</i>		<i>Laham</i>	
		Y_A	Y_B	Y_A	Y_B
0,2	1	1,08	0,25	1,161488842	0,581794592
0,4	1	1,10	0,27	1,371522991	0,687861837
0,6	1	0,89	0,16	1,650868409	0,882143425
0,8	1	0,34	0,08	1,786340435	1,20034516
0,2	0,8	1,05	0,63	1,10067684	0,809693308
0,4	0,8	1,05	0,61	1,215690094	0,910904971
0,6	0,8	0,33	0,19	1,31805189	1,059272069
0,8	0,8	0,33	0,19	1,368657722	1,319202023
0,2	0,6	1,02	0,79	1,073788643	0,95376946
0,4	0,6	0,32	0,25	1,129967835	1,02527025
0,6	0,6	0,32	0,25	1,187423826	1,192531026
0,8	0,6	0,32	0,25	1,225727821	1,3661758
0,2	0,4	1,00	0,92	1,058444989	1,06270147
0,4	0,4	0,99	0,93	1,093915665	1,127967515
0,6	0,4	1,01	0,94	1,13506165	1,278363184
0,8	0,4	0,99	0,95	1,163438192	1,411732928
0,2	0,2	0,30	0,32	1,040719951	1,144321032
0,4	0,2	0,96	1,03	1,064265651	1,219667273
0,6	0,2	0,96	1,03	1,086241638	1,3169895
0,8	0,2	0,96	1,04	1,094090205	1,439427142

Tablo 9. Sonuçların kıyaslanması ($\sigma_1=100x$ MPa).

<i>a/t</i>	<i>a/c</i>	<i>Mevcut</i>		<i>Laham</i>	
		Y_A	Y_B	Y_A	Y_B
0,2	1	1,08	0,18	1,031869	0,242732
0,4	1	1,1	0,19	1,19549	0,284826
0,6	1	0,33	0,08	1,44444	0,353672
0,8	1	0,34	0,08	1,628294	0,468154
0,2	0,8	1,05	0,58	1,054735	0,4496
0,4	0,8	1,05	0,57	1,135369	0,525217
0,6	0,8	0,33	0,19	1,26976	0,633074
0,8	0,8	0,33	0,2	1,341126	0,772585
0,2	0,6	1,02	0,78	1,073874	0,686782
0,4	0,6	0,32	0,25	1,108092	0,760682
0,6	0,6	1,03	0,77	1,190224	0,87847
0,8	0,6	1,04	0,76	1,223059	1,01421
0,2	0,4	1	0,9	--	--
0,4	0,4	1,01	0,9	--	--
0,6	0,4	0,99	0,89	--	--
0,8	0,4	1,01	0,89	--	--
0,2	0,2	0,31	0,32	1,048277	1,173191
0,4	0,2	0,96	1	1,061268	1,228153
0,6	0,2	0,98	1	1,106237	1,354066
0,8	0,2	0,98	0,99	1,111233	1,462991

Bundan sonraki adımda ise elde edilmiş olan bu katsayıları içeren YA , YB değerlerini; MA , MB ağırlık fonksiyonları içerisine yazacağız. Bu durumda ağırlık fonksiyonları aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\begin{aligned}
 MA = & (- 378239696536338450*a^9 + 515051928380506100*a^8*c + \\
 & 155141090679193600*a^8*t + 228424640182091800*a^7*c^2 - \\
 & 211541639137591296*a^7*c*t + 411759408020717550*a^7*t^2 - \\
 & 578307931838087200*a^6*c^3 - 93834521337659392*a^6*c^2*t - \\
 & 560920254956437500*a^6*c*t^2 - 276564557781008400*a^6*t^3 + \\
 & 239259227762196480*a^5*c^4 + 237476919413571584*a^5*c^3*t - \\
 & 248778799435481100*a^5*c^2*t^2 + 377244638513201150*a^5*c*t^3 \\
 & + 37228364204867584*a^5*t^4 - 24375073276166144*a^4*c^5 - \\
 & 98569018406862848*a^4*c^4*t + 629816753064509400*a^4*c^3*t^2 + \\
 & 167326978049835000*a^4*c^2*t^3 - 51185564807856128*a^4*c*t^4 + \\
 & 9101757254729728*a^3*c^5*t - 260087276527157248*a^3*c^4*t^2 - \\
 & 423311976693760000*a^3*c^3*t^3 - 22479515229880320*a^3*c^2*t^4 \\
 & + 28203572764082176*a^2*c^5*t^2 + \\
 & 174874025862889475*a^2*c^4*t^3 + \\
 & 57461577179201536*a^2*c^3*t^4 - 18800549323341824*a*c^5*t^3 - \\
 & 23809924299489280*a*c^4*t^4 + \\
 & 2680609348517888*c^5*t^4)/(109951162777600*c^5*t^4)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MB = & (- 270428183386390550*a^9 + 373222624978796544*a^8*c + \\
 & 110143577312460800*a^8*t + 161127931492433920*a^7*c^2 - \\
 & 152236180958609408*a^7*c*t + 293642172383625200*a^7*t^2 - \\
 & 423238309414699000*a^6*c^3 - 65832159201460224*a^6*c^2*t - \\
 & 405441614207516650*a^6*c*t^2 - 196479429348687875*a^6*t^3 + \\
 & 181066475350523900*a^5*c^4 + 172496881723637760*a^5*c^3*t - \\
 & 17515500839600125*a^5*c^2*t^2 + 271746497828093952*a^5*c*t^3 \\
 & + 25914389555052544*a^5*t^4 - 20277193439444992*a^4*c^5 - \\
 & 73414391386603520*a^4*c^4*t + 459588163828973600*a^4*c^3*t^2 + \\
 & 117614758823198720*a^4*c^2*t^3 - 36068379437563904*a^4*c*t^4 + \\
 & 7432698603765760*a^3*c^5*t - 196566290767282176*a^3*c^4*t^2 - \\
 & 307678537823813632*a^3*c^3*t^3 - 15771394788818944*a^3*c^2*t^4 \\
 & + 23216188020490240*a^2*c^5*t^2 + \\
 & 131012308007649280*a^2*c^4*t^3 + \\
 & 41015082250928128*a^2*c^3*t^4 - 15194151184236544*a*c^5*t^3 - \\
 & 17209555997949952*a*c^4*t^4 + \\
 & 1987917023019008*c^5*t^4)/(109951162777600*c^5*t^4)
 \end{aligned}$$

Dikkat edilirse ifadeler artık Y 'lerden bağımsızdır ve herhangi bir a , t , c ebadına sahip çatlak için kullanılabilir. Örneğin $a=25,29$ mm, $t=126,45$ mm, $c=25,29$ mm olan bir çatlak için; $MA=0,31$ ve $MB=0,316$ olmaktadır.

Son adım olarak örneğin $\sigma(x) = 100 * x^3$ MPa tarzında bir yükleme durumunu ele alalım ve A, B noktaları için kapalı formda SIF formüllerini elde edelim.

$$KA = - (x^4 * (-33859 * a^5 + 46553 * a^4 * c + 20445 * a^3 * c^2 - 52261 * a^2 * c^3 + 21655 * a * c^4 - 2438 * c^5)) / (4 * c^5) - ((t^3 * x^4 * (276564557781008400 * a^6 - 377244638513201150 * a^5 * c - 167326978049835000 * a^4 * c^2 + 423311976693760000 * a^3 * c^3 - 174874025862889475 * a^2 * c^4 + 18800549323341824 * a * c^5)) / 4398046511104 - (a^4 * x^4 * (-189119848268169225 * a^5 + 257525964190253050 * a^4 * c + 114212320091045900 * a^3 * c^2 - 289153965919043600 * a^2 * c^3 + 119629613881098240 * a * c^4 - 12187536638083072 * c^5)) / 2199023255552 + (a^2 * t^2 * x^4 * (-205879704010358775 * a^5 + 280460127478218750 * a^4 * c + 124389399717740550 * a^3 * c^2 - 314908376532254700 * a^2 * c^3 + 130043638263578624 * a * c^4 - 14101786382041088 * c^5)) / 2199023255552 + (a^3 * t * x^4 * (-70550 * a^5 + 96198 * a^4 * c + 42671 * a^3 * c^2 - 107992 * a^2 * c^3 + 44824 * a * c^4 - 4139 * c^5)) / 2) / (c^5 * t^4)$$

$$KB = - (t^3 * x^4 * ((196479429348687875 * a^6) / 4398046511104 - 61788 * a^5 * c - (53485 * a^4 * c^2) / 2 + 69958 * a^3 * c^3 - (119155 * a^2 * c^4) / 4 + (13819 * a * c^5) / 4) - x^4 * (- (135214091693195275 * a^9) / 2199023255552 + 84861 * a^8 * c + (146545 * a^7 * c^2) / 4 - (52904788676837375 * a^6 * c^3) / 549755813888 + (45266618837630975 * a^5 * c^4) / 1099511627776 - (9221 * a^4 * c^5) / 2) + (a^2 * t^2 * x^4 * (-293642172383625200 * a^5 + 405441614207516650 * a^4 * c + 175155500839600125 * a^3 * c^2 - 459588163828973600 * a^2 * c^3 + 196566290767282176 * a * c^4 - 23216188020490240 * c^5)) / 4398046511104 + (a^3 * t * x^4 * (-100175 * a^5 + 138458 * a^4 * c + 59874 * a^3 * c^2 - 156885 * a^2 * c^3 + 66770 * a * c^4 - 6760 * c^5)) / 4) / (c^5 * t^4) - (x^4 * (- (23569 * a^5) / 4 + 8201 * a^4 * c + 3586 * a^3 * c^2 - (37303 * a^2 * c^3) / 4 + 3913 * a * c^4 - 452 * c^5)) / c^5$$

Sayısal bir örnek olması için $a=25,29$ mm, $t=126,45$ mm, $c=25,29$ mm alırsak; $KA=7,752 * x^4 \text{ MPa} \sqrt{mm}$ ve $KB=7,902 * x^4 \text{ MPa} \sqrt{mm}$ olarak elde edilmektedir. $x=a=25,29$ mm iken değerler $KA=3171093.75 \text{ MPa} \sqrt{mm}$ ve $KB=3232453.92 \text{ MPa} \sqrt{mm}$ olacaktır.

KAYNAKÇA

Mathworks. (2011). Global Optimization Toolbox: User's Guide (r2011b). Accessed, November 10, 2011
www.mathworks.com/help/pdf_doc/gads/gads_tb.pdf

Özkul F., Demiryollarında ray birleştirme yöntemlerinin incelenmesi, alüminotermite ve yakma alın kaynak yöntemlerinin karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s.10-18, 2011.

Laham S. Stress intensity factors and limit load handbooks. The United Kingdom: British Energy Generation Ltd; 1999.

POLİMER KOMPOZİT ÜRETİMİ: GELENEKSEL VE MODERN YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Bülent Ekici¹

¹ *Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE*

Ahmet İpekçi^{2*}

² *Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Dr. Engin PAK Cumayeri MYO, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE. E-mail: ahmetipekci@duzce.edu.tr*

** Sorumlu Yazar.*

1. Giriş

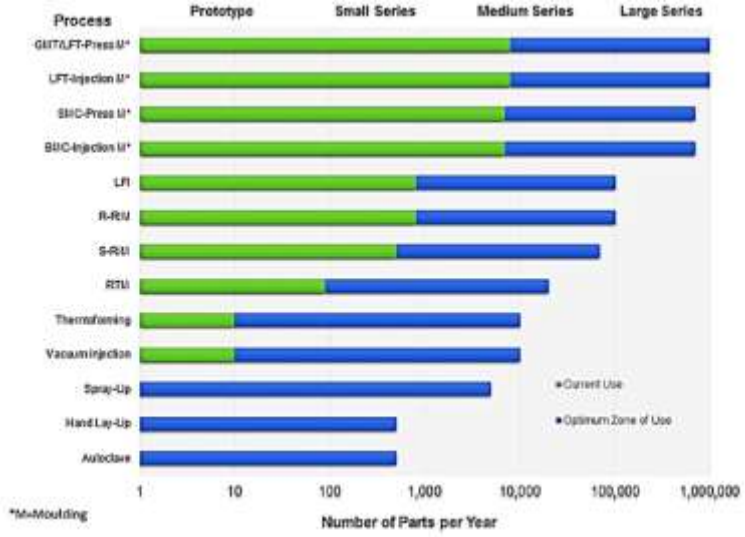
Eklemeli imalat (AM) veya 3 Boyutlu (3B) yazdırma olarak bilinen hızlı prototiple son yıllarda büyük ilgi görmeye başlamıştır. Bu ilgi sonucu, hızla gelişme göstermektedir ve üretim noktasında ise giyimden jet motoru ve türbin kanatlarına kadar çeşitli alanlarda kararlı bir imalat yöntemi geçişi gerçekleşmektedir (The Economist, 2014), (LaMonica, 2015). Eklemeli imalat yöntemi yaygın olarak plastik malzemeler kullanarak katmanlar halinde üretim yapma olarak akla gelse de malzeme olarak seramik, kâğıt ve hatta polimer matrisli kompozit malzemeler kullanılabilir. Yakın zamanda, Oak Ridge Ulusal Laboratuvarı ve Cincinnati firması eski Shelby Cobra otomobilini tekrar üretmek için karbon fiber destekli ABS plastik malzeme kullanarak büyük alanda eklemeli imalat yöntemiyle aracın gövdesini imal etmişler. Bu başarı, 3B yazdırma alanında kompozit malzemedan parçalar üretimi için filament hammaddeye dayanım sağlayıcı destek malzemelerin eklenmesini cesaretlendirdi (Zelinski, 2014). Kompozit malzemeler özgül dayanımlarının yüksek olmasından dolayı uzay, havacılık ve otomobil endüstrisinde birçok uygulamada sıklıkla kullanılmaktadır.



Şekil 1. 3

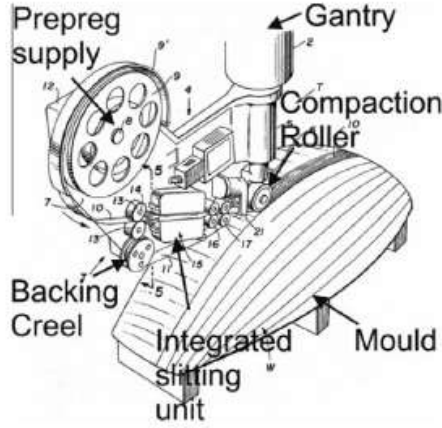
Boyutlu yazdırılmış Shelby Cobra parçaları

Geleneksel kompozit malzemeden ürün üretimi, uzun imalat süreleri ve emek yoğun olmasından dolayı aşırı maliyetli olmaktadır. Elle katman oluşturma gereksiniminden dolayı işçi ve işletme maliyetleri üretilen bu kompozit ürünlerde toplam maliyetin büyük kısmını oluşturmaktadır (Lindback, Björnsson & Johansen, 2012) İyi yetişmiş bir kompozit imalat işçisi saatte yaklaşık 1 kg'lık bir ürün üretme kapasitesine sahiptir ve iyi yetişmiş elemanlar dahi sıklıkla hatalı ürün çıkarabilmektedir (Sloan, 2008). İnsan hatası, üretim sırasında kompozit parçada boşluklar ve iç yapı düzensizlikleri oluşturur, bu da mekanik özellikleri olumsuz etkileyerek, parçaların mekanik özellikleri büyük oranda değişkenlik göstereceğinden standart kullanıma uygunsuz hale gelir. Özellikle batı Avrupa ve ABD'de bu nedenlerden dolayı üreticiler, süreci iyileştirmek, verimliliği artırmak ve kaliteyi standartlaştırmak için otomatik kompozit imalatına geçiş yapmaktadırlar (Mafeld, 2010), (Grimshaw, Manuel & Diaz, 2001), (Skinner, 2006:50).



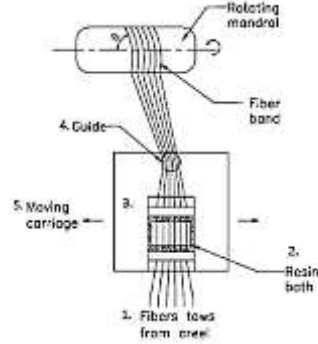
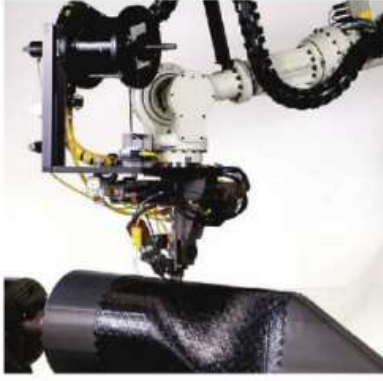
Şekil 2. Kompozit parça imalat işlemlerinin optimum verime göre sıralanması (Mafeld, 2010).

Endüstride kullanılan üç popüler otomatikleştirilmiş kompozit üretim tekniği mevcuttur. Bunlar otomatik bant yerleştirme (ATL), otomatik fiber yerleştirme (AFP) ve filament sargısıdır (FW). Bu imalat süreçleri fazlasıyla araştırılmıştır fakat sadece sınırlı uygulamalar için kullanımları uygundur. Bunun nedeni, üretim için gerekli mekanik sistemlerin özel ve aşırı pahalıya mal olması ayrıca karmaşık parçalar için geometrik sınırların olmasıdır. Öte yandan bu uygulamalar ile birlikte otomatikleştirmenin uygun olduğu alanlarda üretilen parçaların kalite standardının sağlanması, üretim süreçlerinin kısaltılması ve işçilik maliyetlerinin azaltılmasına olan katkıları geleneksel üretim yöntemine kıyasla oldukça fazladır. Otomatik kompozit bant tabakalarının uygulanması sayesinde insan çalışma saatleri %70 ile %85 arasında azalma gösterdiği havacılık endüstrisinde yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır [9]. Biyomedikal, havacılık ve mühendislik alanları gibi birçok önemli endüstrilerde katmanlı imalat gün geçtikçe hızla yaygınlaşmaktadır. Çünkü özel takımlara, yardımcı ekipmanlara ve hazırlık işlemlerine gerek kalmadan prototip parçaları hızlı ve ucuz bir şekilde üretilebilmektedir (Mechels, Feijen & Grijpma, 2010:24), (Lin, Zhang, Alexander, Yang, Tan, Cheng, & Tuan, 2013:34), (Mazolli, 2013:51), (Dimas & Buehler, 2014:10).



Şekil 3. ATL yöntemiyle kıvrımlı model üzerine katman yerleştirme (Kruth, Leu, & Nakagawa, 1998:47)

Katmanlı imalatın dezavantajlarından biri, kullanılan polimerlerin düşük mukavemetli ve zayıf bağlanma özelliğine sahip olmasıdır (Christ, Schnabel, Vorndran, Groll, & Gbureck, 2015:139), (Compton, & Lewis, 2014:26). Bu polimer imalatında dayanıklılığı artırmanın yolları dolgu maddeleri ve elyaf takviyeleri kullanmaktır. Dolgu maddeleri, bir süredir polimer sistemlerinde çatlak örtücü ve toklaştırıcı maddeler olarak kullanılmaktadır. Örneğin: Stratasys firması, ekstrüzyon baskı malzemeleri için kendi özel üretim filamanlarında milimetre büyüklüğünde cam iplikler katmaktadırlar (Stratasys Firması). Bir diğer örnekte, 3D baskı şirketi olan Fiber Forge Firması, 6×6 inch yazdırma alanına sahip karbon fiber filament yazabilen bir cihaz oluşturdu (Fiberforge Firması) Bazı gözden geçirme makaleleri, filament sarımı (FW), otomatik bant yerleştirme (ATL), otomatik fiber yerleştirme (AFP) gibi kompozit malzemeler için mevcut otomatik eklemeli imalat tekniklerini ve yeni yeni gündemde olan robotik yer değiştirme, tutup döndürme gibi ek işlemlerle beraber laboratuvar ölçekli otomasyon tekniklerini incelemektedir (Lindbäck, Björnsson & Johansen 2012) (Kim, Potter, & Weaver, 2012:43), (Angerer, Ehinger, Hoffmann, Reif, Reinhart, & Strasser, 2010). Ayrıca fotopolimerizasyon, jet yapıştırma, malzeme ekstrüzyonu, levha ekleme ve toz yatak füzyon birleştirmeli eklemeli imalat yöntemleri ile fiber destekli polimer parça imalatı tartışılmaktadır (Christ, Schnabel, Vorndran, Groll, & Gbureck, 2015:139), (Salazar, Rico, Rodríguez, Escudero, Seltzer, & de la Escalera Cutillas, 2014:59), (Tekinalp, Kunc, Velez-Garcia, Duty, Love, Naskar, & Ozcan, 2014:105).



Şekil 4. Robotik AFP uygulamasına örnek (solda) (Lu, Mapili, Suhali, Chen, & Roy, 2006:77), FW yönteminin akış diyagramı (sağda) (Wurm, Tomancok, Holl, & Trenkler, 2004:62)

Kompozitlerin Otomasyon Olarak Üretimi

İşleyişi mekanikleştirme olarak tanımlanan otomasyon aslında temel amaç olarak insan makine etkileşimini azaltmayı amaçlayan bir yöntemdir (Groover, 2007). Tarihsel ilerleyiş olarak, artan ihtiyacı ve üretim hacimlerini karşılamak için standardizasyon ve katma değerli işleme fikirlerinin ortaya atılmasıyla birlikte otomasyon kavramı gün ışığına çıkmaya başladı. 20. Yüzyılda metal işleciliği 21. Yüzyılda ise giderek artan oranda polimer takviyeli kompozitlerin imalatı ve kullanımı gündemdedir ve verimli halde kullanıma uyarlanabilmektedir. Kompozit parçaların üretimi metaller kadar kolay gerçekleştirilebilirse, çevresel, yapısal ve ağırlık kriterlerinin önemli olduğu birçok uygulamada geleneksel üretim malzemelerinin yerini alabilirler. Kompozit üretimi için birçok yöntem mevcut olmasına rağmen hepsi yüksek ürün çıktılı otomasyon sistemlerine uygulanabilir değildir. Örneğin el ile serme yöntemi az sayıda ürün adetlerinde üretim için faydalı ve karlıdır fakat otomasyonları çok daha pahalıya mal olmaktadır. Enjeksiyon kalıplama yüksek adetli parça imalatı için hızlı ve karlı bir yöntemdir fakat bu yöntemde de her bir parça ya da parça revizyonu için ayrı kalıp gereksinimi ve parçaya eklenen her unsurun özel kalıplama yöntemleri ihtiyacı nedeniyle yüksek maliyetlidir.

Metal parçaların hızlı ve hassas bir şekilde üretilmesi bilgisayar destekli imalat yöntemleri ve bilgisayarlı nümerik kontrollü (CNC) makineler sayesinde yapılmaktadır. Kompozitlerin üretimi eklemeli imalat yöntemine uygundur ve kullanılan polimer malzemelerin şekillendirilmesi

kolay ve birkaç adımlı hızlı bir süreç ile üretilebilmektedir. ATL, AFP ve FW gibi düşük seviyeli eklemeli imalat teknikleri günümüzde eklemeli imalatın temeli olarak bilinen yöntemle bilgisayar destekli üretim ve/veya bilgisayar destekli imalat modeli yardımıyla oluşturulan katman katman halinde üretim sürecidir (Dirk, Ward, & Potter, 2012:43). Bunun sonucu olarak, AFP, ATL ve FW endüstriyel bir pazar haline gelmiştir ve yeni gelişen eklemeli imalat süreci olarak kompozit malzemeler için değerlendirilmektedir. Özetle, bu yüksek çıktılı kompozit malzeme üretim yöntemlerinin eklemeli imalat varsayılma nedeni üretimin CNC makineler yardımıyla tabakalar şeklinde malzeme yatırılarak programlanmış bir süreç dahilinde yapılmasından dolayıdır.

2. Eklemeli İmalat Ve Polimer Kompozitler

Eklemeli imalat (AM) yöntemlerinden çoğu kendine uygun malzeme ve ihtiyaçlara sahiptir (Wong, & Hernandez, 2012). Uygulama alanlarının çeşitliliği; yeni organların (Melchels, Domingos, Klein, Malda, Bartolo, & Hutmacher, 2012:37) ve kranioplastilerin (Wurm, Tomancok, Holl, & Trenkler, 2004:62) basımından, daha hafif parçalar tasarlamak (Emmelmann, Sander, Kranz, & Wycisk 2011:12), yakıt hücreleri (Bourell, Leu, Chakravarthy, Guo, & Alayavalli, 2011:60) hatta sanat dallarına (Wah Wai, 2001:7) kadar sıralanabilir. Eklemeli imalat (AM) ile hayata geçirilen parçalar pahalı ve uzun üretim sürecine sahip kalıp ihtiyaçları ve enjeksiyon işlemlerine gerek kalmadan karmaşık ve özelleşmiş olma özelliklerine sahiptir. Bunların yanısıra, Eklemeli imalattaki ana sorun, yapısal destek özelliklerine sahip malzemelerin eksikliğidir. Mevcut kullanılan malzemeler tipik özellikleri olarak; son kullanıcının ihtiyaçlarını karşılayacak seviyede dayanıklı değildir (Oxman, 2011:6). Ayrıca, eklemeli imalatta küp şeklinde bir çalışma alanında üretim yapıldığından üretilen parça ebatları açısından büyük bir kısıt vardır (Jokic, Novikov, Maggs, Sadan, Jin, & Nan, 2014). Büyük endüstriyel yazıcıların yaklaşık çalışma alanı 1 m³ iken, yakın zamanda Oak Ridge Ulusal laboratuvarında 26 m³ yazdırma alanına sahip bir makine yapılmıştır (O.R.N Laboratories, 2015). Son zamanlarda eklemeli imalatın yeterliliklerini son ürün odaklı ve yapısal özellikleri karşılayacak parçalar için dikkatle yoğunlaşan çalışmalar vardır (Gu, Meiners, Wissenbach, & Poprawe, 2012:57), (Lim, Buswell, Le, Austin, Gibb, & Thorpe 2012:21), (Atzeni & Salmi, 2012:62). Kompozit malzemelerin özellikleri tam anlamıyla bu iş için uygundur, çünkü çoğu eklemeli imalat yöntemi zaten fiber takviyeli kompozitlerin ana bileşenleri olan matris polimerlerini (yani

termosetler ve termoplastikler) kullanır (Kruth, Leu, & Nakagawa, 1998:47). Tamamen yazdırılabilir ve hızlı bir kompozit parça üretimi için yapılan çalışmalarda, toz termoplastik hammaddeye fiber elyaf karıştırılarak (Floersheim, Hou, & Firestone, 2009:15) oluşturulan plastik matrisli filamentler (Tekinalp, Kunc, Velez-Garcia, Duty, Love, Naskar, & Ozcan, 2014:105) üretilmektedir.

Fotopolimerizasyonu likit bazlı eklemeli imalat sistemleri, lazer ve ultraviyole ışık (UV) ile kürlenebilen malzemeler kullanılarak 1980'lerin ortasında Chuck Hull ile başladı. 3DSystems şirketi, bu bilgiyi "hızla prototipleme" yapabilen makineler olarak satmak için kullandı (Gibson, Rosen, & Stucker, 2014:17). Bu yöntem, ASTM F2792 standartlarına göre foto polimerizasyon denir, fakat aynı zamanda stereolitografi (SLA) olarak da adlandırılmaktadır. Bu yöntemin birçok çeşidi, günümüzde Polyjet gibi firmaların yanı sıra diğer endüstriyel baskı sistemlerinde de kullanılıyor (Chua, & Leong 2014). Fotopolimerizasyon sistemlerinin çalışma esası, fotopolimer reçinenin, parça üzerinde silerek uygulanması (Haberer, Zak, Park, & Benhabib, 2003:125) reçinenin inkjet metoduyla parçaya püskürtülmesi (Elliott, Ivanova, Williams, & Campbell, 2013:15) veya parçanın fotopolimer reçine içine daldırılmasıyla elde edilmesidir. Bu ilave eklenen katman, fotopolimerizasyon yöntemi kullanılarak katı bir polimer halinde sertleştirilir. SLA, tipik olarak kütleme için UV ışık kullanır, ancak bazı sistemler görünür ışık kullanabilmektedirler (Lin, Zhang, Alexander, Yang, Tan, Cheng & Tuan, 2013:34). Projeksiyon stereolitografi, dijital ışık üretici sistemler kullanır ve bir maske kullanarak tarama yapmadan dilimler oluşturabilir (Lu, Mapili, Suhali, Chen, & Roy, 2006:77). Bu yöntem, yüksek çözünürlüğe izin verirken, imalat öncesi dilimleme işlemleri ve imalat süresini büyük ölçüde azaltır (Liska, Schuster, InfRhr, Turecek, Fritscher, Seidl, & Lichtenegger, 2007:4). Mevcut SLA sistemlerinin çoğu, aşağıdan yukarıya doğru bir üretim sırası izler, her katmanı tarar, daha sonra tabanı aşağıya doğru hareket ettirir ve tekrar foto-polimerize etmeden önce ek bir polimer tabakasını uygular (Melchels, Feijen, & Grijpma, 2010:31) (Lin, Zhang, Alexander, Yang, Tan, Cheng & Tuan, 2013:34) (Lu, Mapili, Suhali, Chen, & Roy, 2006:77) (Liska, Schuster, InfRhr, Turecek, Fritscher, Seidl, & Lichtenegger, 2007:4). Ayrıca, bazı yukarıdan aşağıya yaklaşımlar da oluşturulmuştur (Melchels, Feijen, & Grijpma, 2010:31). Bu yaklaşımların oluşturulma nedeni, her bir katmanın polimerize edildiğinde, tablaya yapışan en alt tabakanın her seferinde üzerine ek yük etkidiğinden ekstra strese maruz

kalmasıdır. Bununla birlikte, bu ek gerilimin parça üzerinde göz ardı edilebilir bir etkisi olduğu ve bu şekilde üretilen ürünlerin daha pürüzsüz yüzeylere sahip olduğu, daha az malzeme kullandığı ve diğer yönden üretilen parçalar kadar oksijen içermedikleri belirtilmiştir (Melchels, Feijen, & Grijpma, 2010:31). Reçine kürlenmesini engelleyen yüksek oranda oksijenli bir tabaka oluşması sebebiyle tabla yüzeyinden ayrılma problemini çözmek için Sürekli Katman Arayüz Üretimi (CLIP) adı verilen yeni bir yöntem geliştirilmiştir (Tumbleston, Shirvanyants, Ermoshkin, Januszewicz, Johnson, Kelly, & Samulski, 2015:347). Parçayı yukarıya kaldırarak oluşturulan katmanlı üretim sayesinde sıvı reçinede yukarıya olan hareketten kaynaklı bir emiş yaratılarak yeni katman içerisindeki oksijen miktarı azaltılmaktadır. Ölü bölge (reçinenin kürlenemediği yüksek oksijenli bölge) oluşturulması katılmış reçine tabakasını yukarı doğru hareketi ederken altta olan reçine dolgusu nedeniyle otomatik olarak baskı bölgesine doldurur ve SLA yönteminde aşağıdan yukarıya bir baskı yaklaşımı kullanma yeteneği sağlar. Böylelikle süreç daha hızlıdır çünkü reçine doldurma ve UV'ye maruz kalma, işlemleri aşamalı olmaktan ziyade sürekli ve Operasyon sürecini sadece reçine sertleştiricinin özellikleri ve viskozite sınırlayıcı faktörler olarak belirler. Sürekli tabaka oluşturma işlemi hızlı ve yüksek hassasiyette parçalar elde edilmesini sağlar. Fotopolimerizasyon yöntemiyle, doğranmış, dokunmuş veya sürekli elyaftan oluşan kompozit parçalar oluşturabilir. Kompozit parçaların oluşturulması, destek liflerin UV ile kürlenebilen reçine içine daldırılmasından sonra reçinenin sertleştirilmesi işlemleri ile gerçekleşir (Karalekas, 2003:24). Süreksiz elyaflar ile bileşikler yapmak için kullanılan bu yöntem, elyaf üzerine reçine silme yönteminden modifiye biraz edilerek; kürlenme işlemi sırasında fiberlerin çökmesini engellemek için bir karıştırıcı ilave edilerek uygulanır (Fuh, Lu, Tan, Shen, & Chew, 1999:5). İnce tabakaların uygulanmasında oluşan sorunlardan dolayı, fiber oranı arttıkça artan viskoziteye bağlı olarak yaklaşık %20'lik bir hacimsel fiber oranı kullanılabilir üst sınır olarak belirlenmiştir (Fuh, Lu, Tan, Shen, & Chew, 1999:5). Yüksek viskozite sorununu aşmanın bir yolu, reçinenin fiber tabakasının üzerine çıkmadan önce, silme cihazı ile nozul vasıtasıyla reçine lifi karışımını biriktirmektir (Haberer, Zak, Park, & Benhabib, 2003:125) (Zak, Haberer, Park, & Benhabib, 2000:6). Eklemeli imalat (AM) üretim devrimi açısından umut vaat eder. Ancak, geometrik engeller bu teknolojinin yaygın benimsenmesini sınırlar. Robotik eklemeli imalat bu sınırları aşmada eklemeli imalat yöntemine olanak sunar. Fakat, robotik uygulamaları ele alırken durum temelden

incelenmelidir ve sınırlamalar iyice ortaya konmalıdır. Bu sınırlara değinecek olursak; İlk olarak, üretim oranları son derece düşüktür. İkincisi, parçaların fiziksel boyutu genellikle küçüktür. Üçüncüsü, genellikle kullanılan polimer malzemelerin mekanik özellikleri zayıftır ve polimer parçalarının doğrudan son ürün olarak kullanımı ve fonksiyonel kullanımı bu yüzden sınırlıdır. Öte yandan; toz yataklı teknikle yazdırma yaparken toz parçayı desteklediğinden destek oluşturmadan parçayı üretebiliriz. Fakat toz yatak teknolojisine uygun malzemeler çok kısıtlı ve aşırı maliyetlidir. Ayrıca üretim sonrası iç gerilme giderme gibi ek operasyonlar gerektirmektedir. Robotik eklemeli imalat uygulamalarında ise yaptığımız her üretim robotun hareket kabiliyetinden dolayı destek yapıya ihtiyaç duymamaktadır ve bu durum işleme süresi, malzeme sarfiyatı gibi konularda büyük avantaj sağlamaktadır. Günümüzde imalat süreçleri gelişen teknoloji ile tamamen otomasyona doğru hızla ilerlemektedir. Buna bir örnek ise; 3D yazıcıları insansız hava araçlarına ekleyerek onarım yapmak gibi birçok konu hedeflenmektedir. Bir diğer önem arz eden nokta ise; parçada özellik kaybetmiş bölümlerin parçayı değiştirmeden yenilenebilmesi ele alındığında istenen bölgenin geleneksel talaşlı imalat ile boşaltılıp yerine eklemeli imalat yöntemiyle malzeme eklenmesidir. Bu konu robotik uygulamalar için eşsiz uyum göstermektedir. Uygulama alanları olarak, kalıp yüzey onarımları, yüksek maliyetli uzay, havacılık ve savunma endüstrisi parçaları olarak sıralanabilir. Hali hazırda yıpranmış jet motor türbin kanatlarında bu uygulamalar denenmektedir. Robotik eklemeli imalat yöntemi çok eksenli takım yolları oluşturarak sadece parça tasarım olanaklarını genişletmekle kalmaz, aynı zamanda parça üretim sürecinin verimliliğini ve parça boyutunun ölçeklendirebilirliğini de maksimuma çıkarır. Robotik eklemeli imalat yöntemi tam otomasyona uyarlanabilir ve mevcut üretim iş sahalarında ikincil bir süreç olarak da entegre edilebilir. Standart ebatlı bir altı eksen robot imalat aralığı, 1000 mm³ kadar küçük boyutlardan başlayarak 8 m³ e kadar, ölçeklendirilebilmektedir. Robot eklemeli imalat yöntemi kullanılarak basılan parçalar, standart kartezyen tabanlı 3D baskı teknolojisi ve yazılımı kullanılarak basılan parçalara kıyasla daha yüksek mukavemet ve üstün estetik özellikleri sunmaktadır. Karbon fiberlerin eklemeli imalatta son ürün mekanik özellik engellerini çözmek için kullanılabilirdiği çeşitli yollar mevcuttur. İlk olarak, eklemeli imalat için geliştirilmiş karbon elyaf takviyeli polimerler, havacılık endüstrisinde kullanılan kaliteye sahip alüminyum malzemelere yaklaşan özgül dayanım göstermektedir. İkincil konu olarak, bükülme ve çarpılma sorunları karbon fiber elyaf takviyesi

sayesinde polimer malzemelerin eklemeli imalatında azalma göstermektedir. Böylelikle, karbon fiber teknolojisinin ve eklemeli imalat yönteminin birbirlerini tamamlayıcı olduğu anlaşılmaktadır ve iki üretim sürecinin birleştirilmesinin, karmaşık yüksek teknoloji ürünlerinin yapılmasını mümkün kıldığını göstermektedir.

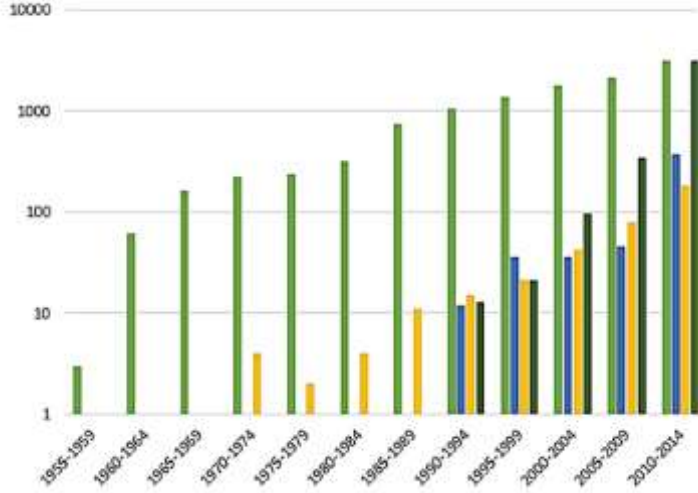
Sürekli karbon fiber takviyeli termoset kompozit yapılar, yüksek özgül mukavemeti, yüksek özgül esnemezlik, iyi yorulma performansı ve iyi korozyon direnci nedeniyle havacılık ve uzay teknolojisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Hao, Ge, Ma, Yao, & Shi, 2012:31) (Hao, Yuan, Zhu, & Chen, 2016:30). Bununla birlikte, bu malzemelerin yüksek üretim maliyetine sahip olması, otomotiv ve tüketici ürün endüstrilerindeki uygulamalarını sınırlandırmaktadır. Sonuç olarak, bu yeni malzemelerin daha yaygın kullanımı, kompozit yapıların üretilmesi için yeni düşük maliyetli üretim yöntemlerinin geliştirilmesi bağlıdır. Son zamanlarda, 3 boyutlu yazdırma teknolojisi, metalik malzemelerin (Olanakmi, Cochrane, & Dalgarno, 2015:74), seramik malzemelerin (Yi, Tan, Yu, Li, Li, Huang, & Liao, 2016:96), plastiklerin (Dalaq, Abueidda, & Al-Rub, 2016:84) (Boparai, Singh, & Singh, 2015:10), esnek filmlerin (Zhan, Cheng Chen, Wong, Mei, Hui, & Liu, 2016:84), biyolojik malzemelerin (Brunello, Sivoletta, Meneghello, Ferroni, Gardin, Piattelli, & Bressan, 2016:34) (Tran, Ngo, Ghazlan, & Hui, 2017:108) (Zhang, Wang, Hui, Qiu, & Wang, 2017:123) vb. üretimi dahil olmak üzere, eklemeli imalat yöntemiyle birlikte hızla gelişmiştir (Chua, & Leong, 2014) (Lee, An, & Chua, 2017:120). 3D yazdırma malzemelerinin karşılaştırmalı mekanik özellikleri ve bu malzemelerin performans değerleri karakterize edilmiştir (Casavola, Cazzato, Moramarco, & Pappaletta, 2017:58) (Aliheidari, Tripuraneni, Ameli, & Nadimpalli, 2017:60). Ayrıca, 3 boyutlu baskı teknikleri kullanılarak üretilen elyaf takviyeli kompozit malzemelerden ürünler üretilmiştir (Wang, Jiang, Zhou, Gou, & Hui, 2017:110). Uzun özel fiberlerle güçlendirilmiş bir termoplastik kompozit malzeme geliştirmek için yığılma biriktirme modellemesini (FDM) kullanmış ve takviye maddesi olarak termotropik sıvı kristalli polimerler kullanmışlardır (Gray IV, Baird, & Böhn, 1998:19). FDM yöntemiyle üretim için 3D yazıcı malzemelerinden olan akrilonitril-butadien-stiren (ABS) 'nin mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla, kısa cam elyafları, plastikleştiriciler ve bir uyumlulaştırıcıyı içeren birkaç farklı modifiye ekleyerek malzeme özelliklerini incelemiştir (Zhong, Li, Zhang, Song, & Li, 2001:301). FDM yöntemiyle üretimde, kısa karbon fiber takviyeli poliamid-6 kompozitlerin

çekme ve termomekanik özelliklerini incelediler (Karslı & Aytaç, 2013:51). Kısa karbon fiber takviyeli plastiklerin mekanik özellikleri de araştırılmıştır (Tekinalp, Kunc, Velez-Garcia, Duty, Love, Naskar, & Ozcan, 2014:105), (Ning, Cong, Qiu, Wei, & Wang, 2015:80). Diğer nanodolgu maddeleri de plastıklere eklenmiş ve FDM yöntemiyle kompozitler hazırlamak için kullanılmıştır (Shofner, Lozano, Rodríguez-Macías, & Barrera, 2003:89), (Weng, Wang, Senthil, & Wu, 2016:102). Plastiğe kısa fiber elyaf ekleyerek kompozitlerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi kısıtlıdır, bu nedenle bazı araştırmacılar sürekli karbon fiber takviyeli plastiklerin 3D yazıcılarda kullanılabilmesi için yöntemler geliştirmiştir (Fischer, Rommel, & Bauernhansl, 2013). Örneğin, benzer çalışmalar da, (Weng, Wang, Senthil, & Wu, 2016:102), (Fischer, Rommel, & Bauernhansl, 2013), (Melenka, Schofield, Dawson, & Carey, 2015:21), (Melenka, Cheung, Schofield, Dawson, & Carey, 2016:153) bir MakerBot 3D masaüstü yazıcı modifiye ederek sürekli fiber takviyeli 3D yazdırılmış kompozit ürünler ürettiler. Üretilen sürekli fiber takviyeli 3D yazdırılmış ürünlerin ölçüsel doğruluğu ve mekanik özellikleri ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Bir diğer çalışma da ise, FDM'ye yöntemiyle karbon fiber takviyeli polilaktit (PLA) kompozitler üretmişler ve elde edilen ürünlerin mekanik özelliklerini ve performanslarını araştırmışlardır (Tian, Liu, Yang, Wang, & Li, 2016:88). Benzer şekilde, hızlı prototipleme kullanılarak üretilen sürekli karbon fiber takviyeli PLA kompozit ürünler üretmişler (Li, Li, & Liu, 2016:238). Bu araştırmacılar, bir elektronik test makinesi ve dinamik bir mekanik analiz cihazı (DMA) kullanarak ürettikleri kompozitlerinin mekanik ve termodinamik özelliklerini ölçtüler. Bununla birlikte, 3D baskı kullanılarak sürekli karbon fiber takviyeli termoset kompozitlerin üretimi ile ilgili herhangi bir literatür raporu bulunmamaktadır. Sürekli karbon fiber takviyeli termoset kompozitler, diğer termoplastik kompozitlerden daha üstün olup, fiber ve matrisin arasında oluşan kimyasal bağlanma reaksiyonundan dolayıdır (Chiang, & Koenig, 1980:1).

3. Sonuçlar

Sonuç olarak, kompozit otomasyon yöntemleri çeşitli endüstri dallarında kullanılmaktadır ve bu üretim sürecinin gerekliliği olarak üretilecek parçaların tasarım ve geometrik özelliklerinin basitleştirilmesi üretim maliyetlerinin artmaması için önem arz etmektedir. Eğer ürünlerin geometrileri karmaşık ise manuel kompozit üretimine göre otomasyon uygulamalarının hiç bir farkı kalmamaktadır. Günümüzde endüstri

dallarında hedeflenen; esnek otomasyon uygulamalarını kompozit imalatı için makul fiyatlar ile sağlayabilmektir. Bu hedefler belirli ölçülerde ATL ve AFP yöntemleri ile sağlanabilmektedir. Bu yöntemlerin iyileştirmesinde üstesinden gelinmesi gereken konu ise fiber dökme ve reçineleme sistemlerinin birlikte çalışması gerekliliğidir. Günümüzde bu alanda yapılan çalışmaların adetleri ve artış miktarları Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 5. Google Scholar verilerine göre Soldan sağa FW, AFP, ATL ve Eklemeli İmalat konularında yıllara göre yapılan akademik çalışmaların sayıları.

Son yıllarda yapılan Eklemeli imalat ile kompozit üretimi üzerine yapılan çalışmaların Filament sargı yöntemi kadar çoktur. Bunun başta gelen nedenleri; Filament sargı vb. otomasyon sistemlerinin kurulum maliyetleri çok yüksektir ve Eklemeli imalat yöntemi diğer yöntemlerin aksine farklı parçalar üretimi ve farklı işlemler için uyarlanabilirlik noktasında gelecek vaad etmektedir.

Kompozit üretimi için Geleneksel (el ile) imalat yöntemleri ile Eklemeli imalat yöntemi kıyaslandığında sabit üretim süreleri ve daha hassas toleranslar sağlamaktadır. Şuanki akım ise, eklemeli imalat yöntemiyle sürekli fiber takviyeli katkılar kullanarak Eklemeli imalat yöntemiyle üretilen ürünlerin özgül dayanımlarını artırma yönündedir. Böylelikle el işçiliği ile kompozit üretim miktarları düşmekte, karlılık ve özelleştirilebilir daha kaliteli ürünler elde edilebilecektir.

Kaynaklar

ALIHEIDARI, N., TRIPURANENI, R., AMELI, A., & NADIMPALLI, S. (2017). Fracture resistance measurement of fused deposition modeling 3D printed polymers. *Polymer Testing*, 60, 94-101.

ANGERER, A., EHINGER, C., HOFFMANN, A., REIF, W., REINHART, G., & STRASSER, G. (2010). Automated cutting and handling of carbon fiber fabrics in aerospace industries. In *2010 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering* (pp. 861-866). IEEE.

Atzeni, E., & Salmi, A. (2012). Economics of additive manufacturing for end-usable metal parts. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 62(9-12), 1147-1155.

BOPARAI, K., SINGH, R., & SINGH, H. (2015). Comparison of tribological behaviour for Nylon6-Al-Al₂O₃ and ABS parts fabricated by fused deposition modelling: This paper reports a low cost composite material that is more wear-resistant than conventional ABS. *Virtual and Physical Prototyping*, 10(2), 59-66.

BOURELL, D. L., LEU, M. C., CHAKRAVARTHY, K., GUO, N., & ALAYAVALLI, K. (2011). Graphite-based indirect laser sintered fuel cell bipolar plates containing carbon fiber additions. *CIRP annals*, 60(1), 275-278.

BRUNELLO, G., SIVOLELLA, S., MENEGHELLO, R., FERRONI, L., GARDIN, C., PIATTELLI, A., ... & BRESSAN, E. (2016). Powder-based 3D printing for bone tissue engineering. *Biotechnology advances*, 34(5), 740-753.

CASAVOLA, C., CAZZATO, A., MORAMARCO, V., & PAPPALETTERA, G. (2017). Residual stress measurement in fused deposition modelling parts. *Polymer Testing*, 58, 249-255.

CHIANG, C. H., & KOENIG, J. L. (1980). Chemical reactions occurring at the interface of epoxy matrix and aminosilane coupling agents in fiber-reinforced composites. *Polymer Composites*, 1(2), 88-92.

CHRIST, S., SCHNABEL, M., VORNDRAN, E., GROLL, J., & GBURECK, U. (2015). Fiber reinforcement during 3D printing. *Materials Letters*, 139, 165-168.

CHUA, C. K., & LEONG, K. F. (2014). *3D Printing and Additive Manufacturing: Principles and Applications (with Companion Media Pack) of Rapid Prototyping Fourth Edition*. World Scientific Publishing Company.

CHUA, C. K., & LEONG, K. F. (2014). *3D printing and additive manufacturing*. World Scientific Publishing Company.

COMPTON, B. G., & LEWIS, J. A. (2014). 3D-printing of lightweight cellular composites. *Advanced materials*, 26(34), 5930-5935.

DALAQ, A. S., ABUEIDDA, D. W., & AL-RUB, R. K. A. (2016). Mechanical properties of 3D printed interpenetrating phase composites with novel

architected 3D solid-sheet reinforcements. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 84, 266-280.

DIMAS, L. S., & BUEHLER, M. J. (2014). Modeling and additive manufacturing of bio-inspired composites with tunable fracture mechanical properties. *Soft Matter*, 10(25), 4436-4442.

DIRK, H. J. L., WARD, C., & POTTER, K. D. (2012). The engineering aspects of automated prepreg layup: History, present and future. *Composites Part B: Engineering*, 43(3), 997-1009.

ELLIOTT, A. M., IVANOVA, O. S., WILLIAMS, C. B., & CAMPBELL, T. A. (2013). Inkjet printing of quantum dots in photopolymer for use in additive manufacturing of nanocomposites. *Advanced Engineering Materials*, 15(10), 903-907.

EMMELMANN, C., SANDER, P., KRANZ, J., & WYCISK, E. (2011). Laser additive manufacturing and bionics: redefining lightweight design. *Physics Procedia*, 12, 364-368.

FISCHER, A., ROMMEL, S., & BAUERNHANSL, T. (2013, October). New Fiber Matrix Process with 3D Fiber Printer—A Strategic In-process Integration of Endless Fibers Using Fused Deposition Modeling (FDM). In *IFIP International Conference on Digital Product and Process Development Systems* (pp. 167-175). Springer, Berlin, Heidelberg.

Fiberforge. <http://www.fiberforge.com/>.

FLOERSHEIM, R. B., HOU, G., & FIRESTONE, K. (2009). CFPC material characteristics and SLS prototyping process. *Rapid Prototyping Journal*, 15(5), 339-345.

FUH, J. Y. H., LU, L., TAN, C. C., SHEN, Z. X., & CHEW, S. (1999). Curing characteristics of acrylic photopolymer used in stereolithography process. *Rapid Prototyping Journal*, 5(1), 27-34.

GIBSON, I., ROSEN, D. W., & STUCKER, B. (2014). *Additive manufacturing technologies* (Vol. 17). New York: Springer.

GRAY IV, R. W., BAIRD, D. G., & BØHN, J. H. (1998). Thermoplastic composites reinforced with long fiber thermotropic liquid crystalline polymers for fused deposition modeling. *Polymer composites*, 19(4), 383-394.

GRIMSHAW, M. N., GRANT, C. G., & DIAZ, J. M. L. (2001). Advanced technology tape laying for affordable manufacturing of large composite structures. In *International sampe symposium and exhibition* (pp. 2484-2494).

GROOVER, M. P. (2007). *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing*. Prentice Hall Press.

GU, D. D., MEINERS, W., WISSENBACH, K., & POPRAWA, R. (2012). Laser additive manufacturing of metallic components: materials, processes and mechanisms. *International materials reviews*, 57(3), 133-164.

HABERER, M., ZAK, G., PARK, C. B., & BENHABIB, B. (2003). Design of a slot-coater-based layered-composites manufacturing system. *Journal of manufacturing science and engineering*, 125(3), 564-576.

HAO, W., GE, D., MA, Y., YAO, X., & SHI, Y. (2012). Experimental investigation on deformation and strength of carbon/epoxy laminated curved beams. *Polymer Testing*, 31(4), 520-526.

HAO, W., YUAN, Y., ZHU, J., & CHEN, L. (2016). Effect of impact damage on the curved beam interlaminar strength of carbon/epoxy laminates. *Journal of adhesion science and Technology*, 30(11), 1189-1200.

Heavy Metal: Three-dimensional Printing May Help Entrench the World's Engineering Giants, *The Economist*, Berlin, 2014.

HUMMEL, G. BAUMBACH, V. (AIRBUS), KROLL, L., SCHUEBERT, F. (Chemnitz University of Technology) ALTMAN, A. RAYCZYK, G.F. (Leibheer Aerospace Lindenberg GmbH) , 'Additive Manufacturing for high pressure hydraulic valve manifolds', *Aerodef Expo Sunumlari*, Nisan 2014.

JOKIC, S., NOVIKOV, P., MAGGS, S., SADAN, D., JIN, S., & NAN, C. (2014). Robotic positioning device for three-dimensional printing. *arXiv preprint arXiv:1406.3400*.

KARALEKAS, D. E. (2003). Study of the mechanical properties of nonwoven fibre mat reinforced photopolymers used in rapid prototyping. *Materials & design*, 24(8), 665-670.

KARSLI, N. G., & AYTAC, A. (2013). Tensile and thermomechanical properties of short carbon fiber reinforced polyamide 6 composites. *Composites Part B: Engineering*, 51, 270-275.

KIM, B. C., POTTER, K., & WEAVER, P. M. (2012). Continuous tow shearing for manufacturing variable angle tow composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 43(8), 1347-1356.

KRUTH, J. P., LEU, M. C., & NAKAGAWA, T. (1998). Progress in additive manufacturing and rapid prototyping. *Cirp Annals*, 47(2), 525-540.

LEE, J. Y., AN, J., & CHUA, C. K. (2017). Fundamentals and applications of 3D printing for novel materials. *Applied Materials Today*, 7, 120-133.

LI, N., LI, Y., & LIU, S. (2016). Rapid prototyping of continuous carbon fiber reinforced polylactic acid composites by 3D printing. *Journal of Materials Processing Technology*, 238, 218-225.

LIM, S., BUSWELL, R. A., LE, T. T., AUSTIN, S. A., GIBB, A. G., & THORPE, T. (2012). Developments in construction-scale additive manufacturing processes. *Automation in construction*, 21, 262-268.

LIN, H., ZHANG, D., ALEXANDER, P. G., YANG, G., TAN, J., CHENG, A. W. M., & TUAN, R. S. (2013). Application of visible light-based projection

stereolithography for live cell-scaffold fabrication with designed architecture. *Biomaterials*, 34(2), 331-339.

LINDBÄCK J.E., BJÖRNSSON A., JOHANSEN K., (2012) New Automated Composite Manufacturing Process: is it possible to find a cost effective manufacturing method with the use of robotic equipment? *Proceedings of the 5th International Swedish Production Symposium* 523–531.

LISKA, R., SCHUSTER, M., INFŞHR, R., TURECEK, C., FRITSCHER, C., SEIDL, B., ... & LICHTENEGGER, H. (2007). Photopolymers for rapid prototyping. *Journal of Coatings Technology and Research*, 4(4), 505-510.

LU, Y., MAPILI, G., SUHALI, G., CHEN, S., & ROY, K. (2006). A digital micro-mirror device-based system for the microfabrication of complex, spatially patterned tissue engineering scaffolds. *Journal of Biomedical Materials Research Part A: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials*, 77(2), 396-405.

M. LaMonica, 3-D Printing Will Soon Become a Routine Manufacturing Tool |MIT Technology Review, Technology Review, 2015.

MAFELD A., The Automation of Polymer Composites Manufacturing, *Creaprod*, Paris, France, 2010.

MAZZOLI, A. (2013). Selective laser sintering in biomedical engineering. *Medical & biological engineering & computing*, 51(3), 245-256.

MELCHELS, F. P., DOMINGOS, M. A., KLEIN, T. J., MALDA, J., BARTOLO, P. J., & HUTMACHER, D. W. (2012). Additive manufacturing of tissues and organs. *Progress in Polymer Science*, 37(8), 1079-1104.

MELCHELS, F. P., FEIJEN, J., & GRIJPMMA, D. W. (2010). A review on stereolithography and its applications in biomedical engineering. *Biomaterials*, 31(24), 6121-6130.

MELENKA, G. W., CHEUNG, B. K., SCHOFIELD, J. S., DAWSON, M. R., & CAREY, J. P. (2016). Evaluation and prediction of the tensile properties of continuous fiber-reinforced 3D printed structures. *Composite Structures*, 153, 866-875.

MELENKA, G. W., SCHOFIELD, J. S., DAWSON, M. R., & CAREY, J. P. (2015). Evaluation of dimensional accuracy and material properties of the MakerBot 3D desktop printer. *Rapid Prototyping Journal*, 21(5), 618-627.

NING, F., CONG, W., QIU, J., WEI, J., & WANG, S. (2015). Additive manufacturing of carbon fiber reinforced thermoplastic composites using fused deposition modeling. *Composites Part B: Engineering*, 80, 369-378.

O.R.N. Laboratories, ORNL Revealed the 3D Printed Shelby Cobra, 2015 <http://web.ornl.gov/sci/manufacturing/media/news/detroit-show/>.

O.R.N. Laboratory. <http://www.ornl.gov/>.

OLAKANMI, E. O., COCHRANE, R. F., & DALGARNO, K. W. (2015). A review on selective laser sintering/melting (SLS/SLM) of aluminium alloy powders: Processing, microstructure, and properties. *Progress in Materials Science*, 74, 401-477.

ORNL Revealed the 3D-Printed Shelby Cobra, 2015 <http://web.ornl.gov/sci/manufacturing/media/news/detroitshow/index.shtml>.

OXMAN, N. (2011). Variable property rapid prototyping: inspired by nature, where form is characterized by heterogeneous compositions, the paper presents a novel approach to layered manufacturing entitled variable property rapid prototyping. *Virtual and physical prototyping*, 6(1), 3-31.

SALAZAR, A., RICO, A., RODRIGUEZ, J., ESCUDERO, J. S., SELTZER, R., & DE LA ESCALERA CUTILLAS, F. M. (2014). Fatigue crack growth of SLS polyamide 12: Effect of reinforcement and temperature. *Composites Part B: Engineering*, 59, 285-292.

SHOFNER, M. L., LOZANO, K., RODRIGUEZ-MACIAS, F. J., & BARRERA, E. V. (2003). Nanofiber-reinforced polymers prepared by fused deposition modeling. *Journal of applied polymer science*, 89(11), 3081-3090.

SKINNER, M. L. (2006). Trends, advances and innovations in filament winding. *Reinforced Plastics*, 50(2), 28-33.

SLOAN, J. (2008). ATL & AFP: Defining the megatrends in composite aerostructures. *High performance composites*, 16(4), 68-71.

Stratasys. <http://www.stratasys.com/>.

SUZUKI T., '3D printed metal parts flight tested in RAF jet for the first time', Stars And Stripes, Ocak 2014.

TEKINALP, H. L., KUNC, V., VELEZ-GARCIA, G. M., DUTY, C. E., LOVE, L. J., NASKAR, A. K., ... & OZCAN, S. (2014). Highly oriented carbon fiber-polymer composites via additive manufacturing. *Composites Science and Technology*, 105, 144-150.

TEKINALP, H. L., KUNC, V., VELEZ-GARCIA, G. M., DUTY, C. E., LOVE, L. J., NASKAR, A. K., ... & OZCAN, S. (2014). Highly oriented carbon fiber-polymer composites via additive manufacturing. *Composites Science and Technology*, 105, 144-150.

TIAN, X., LIU, T., YANG, C., WANG, Q., & LI, D. (2016). Interface and performance of 3D printed continuous carbon fiber reinforced PLA composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 88, 198-205.

TRAN, P., NGO, T. D., GHAZLAN, A., & HUI, D. (2017). Bimaterial 3D printing and numerical analysis of bio-inspired composite structures under in-plane and transverse loadings. *Composites Part B: Engineering*, 108, 210-223.

TUMBLESTON, J. R., SHIRVANYANTS, D., ERMOSHKIN, N., JANUSZIEWICZ, R., JOHNSON, A. R., KELLY, D., ... & SAMULSKI, E. T. (2015). Continuous liquid interface production of 3D objects. *Science*, 347(6228), 1349-1352.

WAH WAI, H. (2001). RP in art and conceptual design. *Rapid Prototyping Journal*, 7(4), 217-219.

WANG, X., JIANG, M., ZHOU, Z., GOU, J., & HUI, D. (2017). 3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective. *Composites Part B: Engineering*, 110, 442-458.

WENG, Z., WANG, J., SENTHIL, T., & WU, L. (2016). Mechanical and thermal properties of ABS/montmorillonite nanocomposites for fused deposition modeling 3D printing. *Materials & Design*, 102, 276-283.

WONG, K. V., & HERNANDEZ, A. (2012) A review of additive manufacturing, *ISRN Mech. Eng.* 2012 1–10.

WURM, G., TOMANCOK, B., HOLL, K., & TRENKLER, J. (2004). Prospective study on cranioplasty with individual carbon fiber reinforced polymere (CFRP) implants produced by means of stereolithography. *Surgical neurology*, 62(6), 510-521.

YI, X., TAN, Z. J., YU, W. J., LI, J., LI, B. J., HUANG, B. Y., & LIAO, J. (2016). Three dimensional printing of carbon/carbon composites by selective laser sintering. *Carbon*, 96, 603-607.

ZAK, G., HABERER, M., PARK, C. B., & BENHABIB, B. (2000). Mechanical properties of short-fibre layered composites: prediction and experiment. *Rapid Prototyping Journal*, 6(2), 107-118.

ZELINSKI P., IMTS's 3D Printed Car Will Be Made of Carbon-Fiber-FilledPlastic, 2014 <http://www.mmsonline.com/blog/post/imtss-3d-printed-car-will-be-made-of-carbon-fiber-filled-plastic>.

ZHAN, H., CHENG, F., CHEN, Y., WONG, K. W., MEI, J., HUI, D., ... & LIU, Y. (2016). Transfer printing for preparing nanostructured PDMS film as flexible SERS active substrate. *Composites Part B: Engineering*, 84, 222-227.

ZHANG, Z., WANG, B., HUI, D., QIU, J., & WANG, S. (2017). 3D bioprinting of soft materials-based regenerative vascular structures and tissues. *Composites Part B: Engineering*, 123, 279-291.

ZHONG, W., LI, F., ZHANG, Z., SONG, L., & LI, Z. (2001). Short fiber reinforced composites for fused deposition modeling. *Materials Science and Engineering: A*, 301(2), 125-130.

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

TARIMDA POLİMER MALZEMELERİN KULLANIMI

İdris Karagöz

(Dr. Öğr. Üyesi); Yalova Üniversitesi, Polimer Mühendisliği Bölümü, 77200 Yalova,
Türkiye. E-mail: idris.karagoz@yalova.edu.tr

1. Giriş

Polimer kelime anlamı olarak çok parçalı manasına gelen, kimyasal olarak birbirine bağlı monomer denilen küçük moleküllerden oluşan, sayısız ve çok yönlü kimyasal ve mekanik özelliklere sahip bir malzeme grubunun genel adıdır (Karagöz, 2014). Isı ve basınç altında kolayca biçimlendirilebilen polimerler, üretimlerinin belirli bir aşamasında plastik kıvam aldıklarından, endüstride plastikler olarak isimlendirilmektedir.

Polimerlerin genel özellikleri arasında; ucuz olması, kolay şekillendirilebilmesi, düşük yoğunluk, yüksek korozyon direnci, yalıtkanlık, yüksek esneklik, yüksek darbe mukavemeti, yüksek tokluk, şeffaflık gibi optik özellikler, hijyen, nem almama ve üst kullanım sıcaklığının oda sıcaklığının pek üzerine çıkmaması sayılabilir (Karagöz, 2014; Yoruç & Uğraşkan, 2017). Polimerler II. Dünya savaşına kadar uzun yıllar gündelik hayatta pek çok alanda kullanılıyordu, ancak neredeyse hiç kimse o güne kadar kullanılan birkaç türü olduğu için polimerlerin farkında değildi (Namazi, 2017).

Günümüzde laboratuvar şartlarında istenilen özellikteki malzemelerin geliştirilmesi, farklı katkı ve dolgu maddeleri ile istenilen mekanik özelliklerin elde edilmesindeki sınırsızlık nedeniyle; otomotiv, havacılık, gemi inşa sanayi, makine, kırtasiye ve tekstil, ambalaj ve paketleme, elektrik-elektronik, inşaat, kompozit malzeme üretimi, medikal ve tıp, biyomühendislik ve tarım gibi çok farklı alanlarda kullanılmaktadır. Özellikle tarım sektörü, dünya nüfusuna paralel olarak artan gıda ihtiyacının karşılanması amacıyla polimer malzemelerin kullanımının giderek arttığı ve önem kazanmaya başladığı bir sektördür (Ekebafe ve ark., 2011). Tarımsal uygulamalarda, kullanım amacı, kullanım yeri, kullanım ömrü ve ekonomik uygulanabilirliklerine bağlı olarak farklı tür polimerler kullanılmakta ya da geliştirilmeye çalışılmaktadır (Milani ve ark., 2017).

Tarım sektöründe polimer malzemelerin kullanım alanları ile ilgili olarak literatürde çok farklı sınıflandırmalar mevcuttur. Ancak genel bir değerlendirme yapıldığında, tarım sektöründe polimer malzeme kullanımının, film ve sera örtüleri, sulama ve sulama sistemleri, süper absorban polimerler, kontrollü salınım amacıyla polimer kullanımı, metal iyonlarının su ve topraktan uzaklaştırılmasında kullanılan polimerler,

tarımda kullanılan biyobozunur polimerler, sürtünme azaltıcı polimerlerin tarımda kullanımı gibi ana başlıklar şeklinde sınıflandırılabiliriz.

Polimerlerin tarımsal üretimi günümüzde tüm yönleriyle etkilediği görülmektedir. Bu çalışmada, tarım sektöründe polimer malzemelerin kullanımı ile ilgili olarak genel bilgilerin verilmesi, literatürün derlenerek bu konuda yapılacak olan çalışmalara kaynak olması, tarım sektöründe doğru polimer malzeme kullanımı konusundaki bilincin arttırılması, polimerlerin tarım sektörü için sahip olduğu önemin belirlenmeye çalışılması amaçlanmıştır.

2. Polimerler ve Tarım

Günümüzde 9 milyara yaklaşan ve yıllara paralel sürekli artan dünya nüfusu, hava şartlarının ve iklimlerin değişimi, zararlı böceklerle mücadele, yabancı otların tarım alanlarından uzaklaştırılması, pazar fiyatlarının sürekli değişimi ve azalan doğal kaynakların ihtiyaçları karşılamaadaki yetersizliği gibi farklı alanlarda karşılaşılan zorluklar, çiftçiler için tarımı hiç olmadığı kadar karmaşık hale getiriyor (Gernaud, 1988). Tarım sektöründeki polimer malzeme kullanım payının %10 olduğu ve genellikle sera ve fide örtüleri, sulama boruları, dikim saksıları vb. şeklinde gerçekleştiği Tübitak, İstanbul Sanayi Odası ve Plasfed' in sektöre yönelik olarak hazırlanan raporlardan görülmektedir (Tübitak, 2004; Plasfed, 2013; ISO 2017). Polimer malzemelerin tarım sektöründe kullanılması, çiftçilerin daha fazla mahsul almasına, daha kaliteli gıdaların üretilmesine, tarımsal faaliyetlerden doğan karbon salımlarının azaltılmasına yardımcı olmuştur (). Günümüzde mevsim şartlarından bağımsız olarak sebze ve meyveler, tarlada yetiştirilenlerden daha kaliteli ve güvenilir bir şekilde dört mevsim yetiştirilebilmektedir.

Polimerlerin tarımsal uygulamalarda doğru ve bilinçli kullanımı ile (Gernaud, 1988; Ekebafe ve ark., 2011; Madakbaş ve ark., 2014);

- Suyun dağıtımı, taşınması, sula sistemlerinin etkin kullanımı ile, su israfı önenebilir.
- Kurak ve susuz yerlerde ya da topraksız tarım yapılabilir.
- Bitki besleyici maddeler doğru ve etkin bir şekilde kullanılabilir.
- Tarım ilaçlarının kullanımı azaltılabilir.
- Bitkilerin daha hızlı ve güvenli bir şekilde büyümesi sağlanabilir.
- Sebzelerin ucuzlamasını ve lüks oldukları ülkelerde ya da yetiştirilmesinin zor olduğu yerlerde yetiştirilebilmelerini sağlar.
- Yüksek sıcaklık ve zararlı hava koşullarına karşı ürünler korunabilir.

- Nakliye vb. gibi uygulamalarda bitkiler uzun süre canlı tutulabilir.

3. Tarımda Kullanılan Polimer Filmler ve Sera Örtüleri

Bahçecilikte polimer kullanımının kökeni 1948' lere kadar uzanmaktadır. İlk kez Prof. E.M. Emmert tarafından cam seralara alternatif olarak polietilen' den (PE) geliştirilen filmler sera örtüsü olarak kullanılmıştır. 1950' lerden itibaren düşük yoğunluklu polietilen (LLDPE) filmler, kağıtlara alternatif olarak malçlama ve örtü şeklinde kullanılmaya başlanmıştır (Gernaude, 1988). O yıllarda plastiklerin optik özellikleriyle ilgili yapılan çalışmalar, seralarda kullanılan cam malzemelerin yerine polimer filmlerin alternatif olabileceğini ortaya koydu (Brown, 2004). 1950' lerde plastik sektörü henüz gelişiminin başındaydı ve tarımsal uygulamalardan daha fazla pay alabilmek için tarım sektörüyle iş birliğine gitti. Plastiklerin tarımsal uygulamalarda kullanımı için büyük bir potansiyele sahip olduğu keşfedildi (Gernaude, 1988, Brown, 2004).

1956' da İngiltere' de kullanılan filmlerin %60 Pe, %40 polivinil klorür (PVC) den oluşmaktaydı. İngiltere' de PE filmler yoğun kullanırken, Japonya' da PVC filmler daha yoğun olarak kullanılmaktaydı. 1970' de Japonya' da 164.000 ton PVC, 74.000 ton PE, 14.000 ton polipropilen (PP) kullanıldığı bilinmektedir. 1970' lerde çiftçilerin hala seralarda plastik örtülerin kullanımına temkinli olarak yaklaştıkları görülmektedir. 1988 yılına gelindiğinde tarımsal uygulamalarda kullanılan filmler dünya genelinde 845.000 tona ulaşmıştır. 1994 yılında yaklaşık 1.000.000 ton PP' den üretilen filmler seralarda, örtü malzemesi ve ambalaj malzemesi olarak kullanılmıştır. 2000 yılında bu rakam 2.250.000 tona ulaşmıştır (Brown, 2004).

2000 yıllarında seracılık %60 Uzakdoğu (Çin, Japonya, Kore), %30 Akdeniz havzası ve %10 diğer olmak üzere iki alanda yoğunlaşmıştır. Bu durum kıtalara oranlandığında; Asya %63, Avrupa %27, Afrika %5 ve Amerika %5 olarak dağılmaktadır. 1950-2000 yılları arasında tarımsal uygulamalarda ortalama plastik kullanımının %20 oranında arttığı görülmektedir (Brown, 2004). Dünya genelinde 2011 yılında 34,3 milyon ton, 2014 yılında 143 milyon ton, 2015 yılında 149 milyon ton plastik ambalaj malzemesi üretilmiştir (Tübitak, 2004; PAGEV, 2016). Dünya genelinde plastik malzeme üretimi içerisinde ambalaj üretim miktarının %37 olduğu ve bunun %20' ye yakınının tarım sektöründe kullanıldığı düşünülmektedir (SEPA, 2007).

Günümüzde, PE, LDPE, LLDPE, PP, EVA ve PVC' den şeffaf, yarı saydam, silaj vb. uygulamalar için siyah ya da özel uygulamalar için renkli filmler üretilmektedir. Polimer formülasyonun geliştirilebilmesi ve ekstrüzyon teknolojisinin gelişimiyle beş kata kadar seracılıkta ve diğer

alanlarda kullanılan filmler üretilebilmektedir (Brown, 2004). Avrupa’ da her yıl yaklaşık olarak 2-3 milyon ton civarında plastik tarımsal uygulamalarda ambalaj malzemesi olarak kullanılmaktadır (Kyiko&Briassoulis, 2007). Bu oranın da yaklaşık olarak %50’ si tarım malçlarında kullanılmaktadır. Son yıllarda nişasta bazlı filmler’ de tarım malçlarında kullanılmaktadır (Otey ve ark., 1974). PLA ve fiberler harmanlanarak tekrar kullanım amacıyla kompozit filmlerde üretilerek malçlama uygulamalarında kullanılmaya başlanmıştır (Finkenstadt & Tisserat, 2010). Avrupa’ da yaygın olarak PE filmler, verimi arttırmak, büyüme mevsimini uzatmak, böcek ilacı ve herbisitlerin kullanımını azaltmak ve suyun korunmasına yardımcı olmak amacıyla tercih edilmektedir (Glen ve ark., 2014).

4. Sulama ve Sulama Sistemlerinde Polimer Kullanımı

Sulama terimi ile; bitki gelişmesi için zorunlu olan fakat doğal yağışlarla karşılanamayan suyun, gereken miktar ve zamanda en az enerji ve maliyetle toprağa eşit şekilde verilmesi (Güngör&Yıldırım, 1989; Dolgun&Yürdem, 2014), seçilen sulama yönteminin uygulanabilmesi için belirli bir tasarıma göre oluşturulan yapı, tesis, imalat ve yardımcı parçaların tümüne ise sulama sistemleri denilmektedir (Korukçü, 1980; Dolgun&Yürdem, 2014). Literatür verilerinden; dünya genelinde toplam su tüketiminin %70’ inin, ülkemizde ise 575’ inin tarım sektöründe sulama amaçlı kullanıldığı ve tarım alanlarının %16’ sında sulu tarım, %84’ ünde ise yağışa bağlı (kuru) tarım yapıldığı bilinmektedir (Gernaud, 1988; Brown, 2004; Madakbaşı ve ark., 2014). Bazı toplumların tatlı su kaynaklarına ulaşmada yaşadığı sıkıntı, tüm dünya da kuraklık baskısının kendini iyice hissettirmesi, sürdürülebilir bir çevre ve toplum yaşamı için suyun tasarruflu kullanılması gibi nedenler tarım sektöründe sulama ve sulama sistemlerinde polimer malzeme kullanım oranını giderek arttırmaktadır.

Ülkemizde sulama alanlarının %94’ ünde yüzeysel, %5’ inde yağmurlama, %1’ inde ise damla sulama yöntemi uygulanmaktadır (Aras, 2006). 1950 yılında ilk kez İsrail’ de damla sulama sistemlerinde polimer malzemeler kullanılmıştır. 1970 yılında Japonya da sulama sistemlerinde yaklaşık 8000 ton plastik kullanılmıştır. 1970’ ler den sonra özellikle damla sulama ve direk sulama sistemlerinde polimer malzeme kullanımı üretim ve verimlilik artışına büyük katkı sağlamıştır. 1988 yılında küresel tarımda plastik malzeme tüketimini 3.000.000 tona ulaşmıştır ve bunun 200.000 tonu PVC ve 680.0000 ton PE olarak direk sulama ve damla sulama sistemlerinde kullanılmıştır. Son yıllarda, diğer sulama yöntemleriyle karşılaştırıldığında damla sulama; yüzey akış ve derine sızma ile oluşan kayıpları da minimize ettiğinden daha fazla tercih edilmeye başlanmıştır. Damla sulama %70-95 arasında sulama verimi ve

kullanılan bir birim su ile daha fazla kazanç elde edilmesine imkân vermektedir (Westarp ve ark. 2003; Aras, 2006).

Damla sulama sistemlerinde suyun kaynaktan alıp, manifoldlara iletilmesinde, ana borularda genellikle 6 atm işletme basıncına dayanıklı PVC borular, küçük sistemlerde ise 4 atm işletme basıncına dayanıklı PE borular kullanılmaktadır (Aras, 2006). Yan boru hatları sulama suyunu ana borudan alıp genellikle, 4 atm işletme basınçlı, güneşin ultraviyole ışınlarına dayanıklı esnek PE borulardan oluşan laterallere iletmektedir. Lateral boru hatlarında, boru dış çapları, 12-32 mm arasında değişmektedir. Ancak en yaygın kullanılanlar ise 16 mm ve 20 mm dış çaplı PE borulardır (Yıldırım ve ark., 2004).

5. Süper Absorban Polimerlerin Kullanımı

Süper absorban polimerler (SAP) sahip oldukları çapraz bağ nedeniyle suda çözünmezler ve kendi ağırlıklarının 10-1000 katına kadar su, tuzlu su veya fizyolojik sıvıyı emerek şişebilirler (Pó, 1994; Bhagat ve ark., 2016). SAP' ler üç boyutlu ağ yapısını oluşturmak amacıyla birbirine çapraz olarak bağlanmış uzun polimer zincirlerinden oluşmaktadır. Sahip olduğu bu çapraz bağ, çözücülerde çözünmemesini sağlar. Kuru halde genelde polimer zincirleri halka şeklindedir, sıvıyı emdikleri zaman iseesnerler ve böylece ağ yapısı genişler.

Süper absorban polimerler (SAP), ilk kez 1950' lerin sonunda Amerika' da tarım uygulamalarında kullanılmak için sentezlendiği (Hedrick & Mowry, 1952), 1970 yılından itibaren de Avrupa ve Japonya' da kullanıldığı bilinmektedir (Trijasson ve ark., 1990). Granül halde, elyaf halinde, köpük formunda ve film şeklinde üretilabilmektedir. SAP' den beklenenler arasında, sıvı emme gücünün yüksek olması ve sıvıyı birkaç kez emerek tekrar serbest bırakabilmesi, sıvı emme sonrası akıp gitmemesi, iyi bir mekanik dirence sahip olması, toksik olmaması, reaksiyona girmemiş monomerleri içermemesi, monomer ve üretim maliyetinin düşük olması beklenmektedir. SAP ile ilgili yapılan çalışmalarda su ve toprak üzerinde toksik bir etkisinin olmadığı (Madakbaş ve ark., 2014; Bhagat ve ark., 2016), toprağın mikrobik aktivitelerinin geliştirilmesinde ya da kontrol altına alınmasında SAP' in kullanılabileceği belirtilmiştir (Li ve ark., 2014).

Tek kullanımlık bebek ve hasta bezleri (Trijasson ve ark., 1990), atık su kontrolü (Dhodapkar ve ark., 2007; Bhagat ve ark., 2016), hijyenik ürünler, sensörler (Chen ve ark., 2004), eczacılık ve ilaç sanayi (Mo ve ark., 2006), gıda endüstrisi (Casquilho ve ark., 2013; Bhagat ve ark., 2016), biyomühendislik (Bai ve ark., 2013), biyomedikal (del Valle ve ark., 2017;

Chatterjee ve ark., 2018) ve tarım teknolojileri (Mo ve ark., 2006; Moslemi ve ark., 2011; Bai ve ark., 2013) SAP' in yaygın kullanıldığı alanlardır. Süper absorban polimerler kimyasal yapılarına göre üç grupta sınıflandırılmaktadır (Pó, 1994; İsmail, 1999). Bunlar:

Çapraz bağlanmış poliakrilikler ya da poliakrilamidler

Selüloz ya da nişasta ilaveli akrilonitrilli graft kopolimerler

Çapraz bağlanmış maleik anhidrit kopolimeri

Tarımsal uygulamalarda yaygın olarak potasyum içeren poliakrilik ya da poliakrilamid esaslı SAP kullanılmaktadır (Moslemi ve ark., 2011; Ekebafte ve ark., 2011). SAP' in tarım uygulamalarında, gübre tutulmasına katkı sağlayarak bitki gelişimini hızlandırdığı (İsmail & Kuyulu 2003), katkı miktarına bağlı olarak bitkinin ortamla etkileşim düzeyinin farklılaştığı, su kaynaklı stresi azaltarak ürün verimini arttırdığı ifade edilmiştir (Sayyari & Ghanbari 2012). Bitkiler üzerindeki etkisi incelendiğinde bitki çapı, bitki boyu, yaprak sayısı ve yaprak genişliğini arttırdığı, sürgün verme ve kök gelişimini hızlandırdığı, bitkinin yaşam süresini uzattığı belirtilmiştir (Ruqin ve ark., 2015; Souza ve ark., 2016). SAP tohumla birlikte, tohumun kaplanması ya da SAP içerisinde çimlendirilmesi, bitki kökünde ise jel şeklinde uygulanmasıyla kullanılmaktadır (Madakbaş ve ark., 2014). SAP tarımsal uygulamalarda kullanımından hedeflenenler aşağıdaki gibidir (Ekebafte ve ark., 2011).

Toprağın su tutma kapasitesini arttırmak

Su kullanım verimliliğini arttırmak

Toprağın geçirgenliğini ve gübre kullanım verimliliğinin artırılması

Sulama sıklığını azaltmak

Toprağın sıkıştırma eğilimini azaltmak

Erozyonu önlemek ve su akışına engel olmak

Özellikle kuraklığa maruz alanlarda bitkinin büyüme performansını ve ürün verimliliğini arttırmak.

1980' li yıllardan itibaren SAP' ler toprak düzenleyici olarak kullanılmaya başlamıştır (Milani ve ark., 2017). Bu konuda ilk patentler, alkil akrilat (metil, etil, propil ve heksil), alkil metakrilat (bütil, heksil, oktil ve deşil), omega hidroksialkil akrilatlar' dan (2-hidroksietil akrilat ve hidroksimetil akrilat) üretilen filmlerin toprağa yerleştirilmesi ve toprağın

su tutma ve havalandırılma kapasitesinin artırılmasına yöneliktir (Erickson, 1984). Bu yöntem, toprağa doğrudan eklenen toz şeklindeki SAP' in kullanımına alternatif oluşturmuştur. Toz formunda eklenen SAP toprağın karıştırılması ve yönlendirilmesi esnasında bitki ve toprak üzerinde kayda değer etkilere neden olmaktadır. Ancak film şeklinde eklenen bu yeni yöntemde, polimer film sızdırmazlığı ve su tutma kapasitesini arttırmak amacıyla bükülebilir, buruşturulabilir ve bu yeni şekliyle toprağa yerleştirilebilir (Callaghan ve ark., 1988). Kurak bölgelerde, yeterli sulamanın yapılamadığı alanlarda, Çin gibi kalabalık nüfusa sahip ülkelerde, SAP kullanımının giderek arttığı, farklı tür bitkilerin, sebze ve meyvelerin üretiminde planlı bir şekilde kullanılmaya başlandığı görülmektedir.

6. Kontrollü Salınım Sistemlerinde Polimer Kullanımı

Tarımda bitki gelişiminin sağlanması için en önemli noktalardan biri de çevrede yeterli seviyede bulunmayan N, P, K, Ca, Mg ve S gibi makro besinlerden B, Cl, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni ve Zn gibi mikro besinlere kadar değişen bitkilerin besin ihtiyaçlarını sağlamaktır (Milani ve ark., 2017). Bu nedenle, kontrollü ve iyi bir bitki gelişimi için, gübreler, herbisitler ve böcek ilaçları gibi tarımsal kimyasalların kullanımı önemlidir. Benzer şekilde zirai ilaçların etkileri hakkında daha fazla bilgi sahibi oldukça tarım kimyasallarının yanlış kullanımı büyük bir sorun oluşturmaktadır (Milani ve ark., 2017).

Tarım kimyasalların çevrede ve toprakta kirlenmeye neden olmadan bitkilerin beslenme ihtiyaçlarını doğrudan ve kontrollü bir salınımla karşılaması için toprağa iletilmesi için polimerik malzemelerle birleştirilmiş tarım kimyasalların geliştirilmiş ve kullanılmaya başlanmıştır. Kontrollü salınım; aktif kimyasalların belirlenmiş bitki türlerine önceden belirlenmiş oranlarda ve zamanlarda sağlandığı bir yöntemdir. Burada polimer malzeme kullanımının amacı, kimyasalların dağıtım oranlarını, hareketliliklerini ve etki sürelerini kontrol etmektir. Kontrollü salınım ile; önceden belirlenmiş bir süre boyunca bitkilerde daha az kimyasal madde kullanarak, diğer bitki türleri ve toprak üzerinde sızma, uçma vb. nedenlerden kaynaklı etkilerin ve bozulmanın azaltılması hedeflenmektedir. Polimer malzemenin moleküllerinin karakteri, üretim boyunca kimyasal kaybın azaltılmasında anahtar faktördür. Kontrollü salınım sistemlerini uygulama şekli itibari ile iki gruba ayırmak mümkündür (Sinha, 2015).

1. Aktif madde, polimer matris veya polimer kaplama içinde çözülür, dağıtılır ve kapsül haline getirilir. Salınım difüzyon yoluyla veya polimerin biyolojik ya da kimyasal yolla parçalanmasından sonra gerçekleşir.

2. Aktif maddenin kendisi polimer zincirinin bir parçasını oluşturur veya ona eklenir. Kimyasalın salınımı, polimer veya biyoaktif madde arasındaki bağı biyolojik veya kimyasal olarak parçalanmasından sonra gerçekleşir.

Tarımsal kimyasalların kullanıldığı fiziksel sistemler arasında mikro kapsüller, fiziksel karışımlar, fiziksel karışım şeklinde plastik içinde dağıtma, laminatlar, membranlar ve boşluklu filmler yer almaktadır (Sinha, 2015, Milani ve ark., 2017). Tarım kimyasallarını enkapsüle etmek için en sık kullanılan polimerler akrilamid bazlı jellerdir. Bunun yanında doğal polimerlerden nişasta, selüloz esaslı malzemeler, kitin, alijinik asit ve lignin, polisakaritler, polietilen, VC-akrilik asit esterlerinin kopolimerleri ve siklopentadien kopolimerleri ile doymamış bir yağ asidinin gliseril esteri de kontrollü salınım sistemlerinde kullanılmaktadır (Sinha, 2015, Milani ve ark., 2017). Nispeten düşük maliyet ve biyolojik bozunabilirlik gibi avantajlara sahiptir. Formülasyonları, kapsülleme ve dispersiyon için standart çözücülerde çözünmemeleri bir dezavantaj oluştursa da kalsiyum klorür veya borik asit gibi bir kimyasal madde ve seçilen bir pestisit ile çapraz bağlanmış jelatinleştirilmiş nişasta ile birlikte kapsülendir. Bu sayede pestisit oluşan granül partikülü içinde tutulabilir. Kontrollü salınım uygulamalarının tarımda en önemli kullanımı genelde gübreleme amacıyla. Üre ve formaldehitin reaksiyonuyla oluşan polimerin hidrolizi ile toprağa üre salgılanır. Bu yöntem basit ve ucuz bir kontrollü salınım uygulama tekniğidir. Kontrollü salınımla polimer zincirinde yan grup olarak sıklıkla pentaklorofenol (PCP), 2,4-diklorofenoksiasetik asit (2,4-D) ve 4-kloro-2-metilfenoksiasetik asit; NPK (azot, fosfor ve potasyum), üre, KNO_3 , Ca_2CO_3 içeren gübre ve buna göre üretilen mikro ve makro besin maddeleri (fosfor, potasyum, manganez, çinko, bakır, molibden, bor ve diğerleri) şeklinde herbisitler ve bifentrin, tebuconazole, chlorpyrifos ve atrazine gibi böcek ilaçları kullanılmaktadır (Milani ve ark., 2017).

7. Metal İyonlarının Su ve Toprakta Uzaklaştırılmasında Polimerlerin Kullanılması

Metal iyonları; 1-Toksik metaller (Hg, Cr, Pb, Zn, Cu, Ni, Cd, As, Co, Sn vb.), 2-Değerli metaller (Pd, Pt, Ag, Au, Ru vb.), 3-Radyoaktif metaller (U, Th, Ra, Am vb.) olmak üzere üç farklı grupta sınıflandırılabilirler. Bu metallerden bazıları, gübre, böcek ilaçları, herbisit gibi tarım kimyasallarına bağlanarak toprağa karışabilirler. Tarım kimyasalı ilavesi yapılmayan toprak bitkiler ve diğer canlı organizmalar için gerekli ve doğal bir besin kaynağıdır. Toprağın bileşiminde doğal olarak önemli miktarda mikro elementler ve eser miktarda metal iyonları bulunmaktadır. Bu metal iyonları, temel mikro besinler (Fe, Zn, Mn, Ca, Na, K, Cu ve

Mo), faydalı mikroblesinler (Co, Ni ve V), gerekli olmayan mikroblesinler (Cd, Cr, Hg, Pb) Şeklinde olabilirler.

Daha fazla őrün ve kar elde etmek için yapılan yoğun tarım uygulamaları, tarımsal kimyasalların fazla kullanılması, büyük miktarda organik ve inorganik toksik kirletici maddelerin (metal iyonları) toprağa, nehirlere ve yer altı sularına karışmasını arttırdı. Metal iyonların evre için tehlikelidir ve bulunduğu ortamda doğal olarak bozulmayarak birikirler. Biriken metal iyonları, su ve yiyecek tüketimeyle insanlara, hayvanlara, böceklerle, bitkilere geçerek ciddi ekolojik zararlara neden olabilir. Bu konuda duyulan ciddi endişeler, bu metal iyonlarının toprak ve sudan uzaklaştırılması konusunda yapılan çalışmaları arttırmıştır. Bu konuda yapılan çalışmalar daha çok sulu ortamlardaki ağır metal iyonlarının giderilmesi konusunda yoğunlaşmıştır.

Kirlenmiş alanların geri kazanılmasında kullanılan bir yöntem, çok seyreltilmiş çözeltelerde bile ağır metallerin bağlanmasında kullanılan ve mikrobiyal biokütlenin biyolojik bir özelliği olan polimerik biyosorpsiyondur. Biyosorpsiyon, metal iyonlarının giderilmesinde hem su hem de toprak sistemlerinde kullanılan, iyon değişim yoluyla organik ve inorganik kirleticileri temizleyebilen alternatif bir biyomediasyon tekniğidir. Yöntemin maliyeti düşüktür ve yüksek oranda sorpsiyon kapasitesine sahiptir. Biyosorpsiyon' un yanı sıra polimerler de tarım kimyasallarından kaynaklanan toksik elementlerin uzaklaştırılması için su ve toprağı dekontamine etmenin bir yöntemi olarak da kullanılmaktadır. Bu amaçla yaygın olarak selüloz, kitin, kitosan, polisakaritler gibi biyopolimerler sıklıkla kullanılmaktadır. Polimer zincirinde yer alan karboksilik asit, alkol, amin ve amid gibi iyonik bağlanma sağlayan fonksiyonel gruplar metal iyonlarını uzaklaştırmaktadır. Şeker kamışından yapılmış torbalar, metal iyonlarını emen asidik gruplara sahip selüloz ve hemiselülozdan oluşan yeşil Hindistan cevizi ve bambu' dan çıkarılan doğal elyafta biyosorban olarak kullanılmaktadır. Bu malzemelerin en önemli avantajı genellikle düşük maliyetli ve kolayca geri kazanılabilen endüstriyel ya da tarımsal atıklar olmalarıdır.

Sulu ortamlardan metal iyonlarının uzaklaştırılması filtrasyon, elektrokimyasal arıtma, kimyasal çökeltme, iyon değişimi, membran teknolojileri ve aktif kömür adsorpsiyonudur. Bu konuda son yıllarda yapılan alışmalar, Şeker kamışı küşpesi gibi tarımsal atıklardan geri dönüştürülmüş biokütlenin kullanımı için biomalzemelerin geliştirilmesi üzerinedir. Topraktan ağır metal iyonlarının uzaklaştırılması üzerine yapılan çalışmalar ise yetersizdir. Bunun temel nedenleri arasında topraktan ağır metal iyonlarının uzaklaştırılmasının mikro ve makro besin madde oranını etkileyerek bitki gelişimini olumsuz yönde etkilemesi gösterilebilir.

8. Biyobozunur Polimerlerin Tarımda Kullanılması

Ortamdaki organik kimyasalların bozulması, bileşiklerin esas olarak mineralize edilmiş formlara dönüştürüldüğü ve mikroorganizma faaliyetleri ile parçalandığında, çevresel kirliliğe sebep olmayacak şekilde karbon, azot ve kükürt döngüleri yoluyla yeniden bileşenlerine ayrılması biyolojik bozunma olarak tanımlanır (Milani, 2017). Toplam plastik atıkların %10' una yakını tarımda kullanılan plastik atıklar oluşturmaktadır (Râpâ ve ark., 2011). Tarımda çevre ile ilgili oluşan kaygıların giderilmesi amacıyla tarımsal uygulamalarda doğal veya biyolojik olarak çözünebilir, ekili alanlar üzerinde olumsuz çevresel etkileri sınırlandırılmış polimerik malzemeler kullanılmaktadır.

Bu konuda yapılan bilimsel çalışmaların son yıllarda hızla arttığı görülmektedir (Milani, 2017). Ancak tarım yapılan büyük alanlarda, ortam, toprak ve alternatif koşullarla uyumlu, hem uzun süre salınım kontrolü yapan, hem de yüksek oranda biyolojik parçalanma oranına sahip bir polimerin bulunması oldukça zor olmaktadır. Biyopolimerler elde edildikleri kaynağa göre aşağıda verildiği gibi dört ana grupta sınıflandırılabilir (Yoruç&Uğraşkan, 2017).

- 1- Biyokütle ve tarımsal kaynaklardan elde edilen polimerler
- 2- Mikroorganizmalar ve genetiği değiştirilmiş bakterilerden elde edilen poliestерler
- 3- Biyokaynaklı monomerlerin kimyasal polimerizasyonu ile elde edilen poliestерler
- 4- Petrol kaynaklı ürünlerden elde edilen alifatik ve aromatik polimerler

Biyobozunur polimerler tarımsal uygulamalarda başlıca malç filmlerinde, fümigasyon işlemlerinde kullanılan koruma kılıflarında, erozyon kontrol sistemlerinde, herbisit ve gübrenin uzun süre belli bir hızda salıverilmesi uygulamalarında ve kazıklarda kullanılmaktadır. Polikaprolakton kaplı poliüretan membranlar, süper absorban polimerler (silikat/akrilat, poliakrilat), PE filmlerde solarizasyon için kullanılan alijinatlar, polivinil alkol ve gliserol, polibutilen suksinat (PBS), polilaktik asit (PLA), polibutilen adibat tereftalat (PBAT), polihidroksi butirat (PHB) ve velerat kopolimeri, pdi-β-hidroksibutirat-copolihidroksivalerat (PHBV), deniz yosununda bulunan agluronik asit ve P-mannuronik asit tarımda kullanılan başlıca biyobozunur polimerlerdir (Ekebafе ve ark., 2011; Milani ve ark., 2017; Yoruç&Uğraşkan, 2017).

9. Sürtünme Azaltıcı Polimerlerin Tarımda Kullanılması

Lif veya parçacık içeren büyük polimer moleküllerinin son derece küçük konsantrasyonları, bir sıvı içerisinde bulunduğunda, türbülanslı bir akışta yalnız sıvının kine kıyasla sürtünme direncinde azalmaya neden olur.

Sürtünmeyi azaltan polimerler, türbülanslı bir akıştaki sürtünmeyi henüz tam olarak anlayılamayan bir mekanizma ile azaltırken, kayma viskozitesindeki bir artış nedeniyle laminer akışta sürtünmeyi arttırmaktadır (Ekebafe ve ark., 2011). Sürtünme azaltıcı polimerlerin bu özelliği, yağmurlama sulama sistemlerinin enerji ihtiyacının azaltılmasında kullanılmıştır. Sürtünmeyi azaltan polimerleri içeren sularda, su kayıpları azalmaktadır. Bundan faydalanılarak, guar zımkı ile karıştırılarak yavaş salınımlı bir üre geliştirilmiştir (Singh ve ark., 1995).

Sürtünme azaltıcı polimerler, petrol kuyularının açılmasını içerecek şekilde büyük bir artış göstermiştir. Başlıca kullanım alanları arasında, ham petrol ve rafine petrol ürünleri taşımacılığı, yangınla mücadele, sulama, kanalizasyon ve su taşkınlarının önlenmesi, katı maddelerin hidrotransferi, su ısıtma devreleri, su jetiyle kesme, hidrolik makineler, denizcilik uygulamaları ve biomedikal uygulamalar sayılabilir (Ekebafe ve ark., 2011).

10. Sonuç ve Değerlendirme

Artan dünya nüfusu, kuraklık vb. nedenlerle, gerekli temel besin ihtiyacını karşılamak için tarımsal üretimin artırılması bir zorunluluktur. Tarımsal üretimi arttırırken, tarımda kullanılan malzeme ve yöntemlerin çevreye olumsuz bir etkisinin olmaması, ekstra maliyetler oluşturmaması, tarımsal bir atığa neden olmaması, geri dönüştürülebilir olması gibi temel hedeflere odaklanılmaktadır. Bu anlamda literatür verileri incelendiğinde ilerleyen yıllarda tarımsal uygulamalarda polimer kullanımının artacağı ve tarımda kullanılan ve %10 olan polimer atık oranının da biyobozunur polimerler kullanılarak azaltılmasının hedeflendiği görülmektedir.

Tarım uygulamalarını kolaylaştıracak, bitkiye zarar veren ortamları önleyecek, bitki gelişimini hızlandıracak ve kontrol etmeyi kolaylaştıracak, ürün verimini arttıracak yeni ürün geliştirme çalışmalarının yapılması, kaliteli ve ekonomik tarım ürünlerinin üretilebilmesi için gereklidir. Ancak bu tek başına yeterli değildir. Bu nedenle bilinçli tarım yapmanın, tarımda teknoloji ve yeni malzemeler kullanmanın öneminin de çiftçilere anlatılması gerekmektedir.

Kaynakça

- Aras, İ. (2006). *Damla Sulama Yöntemi*, Tarla Bitkileri Araştırma Enstitüsü Dergisi, 15(1-2), 49-60.
- Bai W, Song J & Zhang H (2013). *Repeated water absorbency of super-absorbent polymers in agricultural field applications: a simulation study*. *Acta Agriculturae. Scandinavica. Section B* 63(5): 433-441.
- Bhagat M S, Ghare A D & Ralegaonkar R V (2016). *Application of super absorbent polymer in flood management and agricultural water management*. *Journal of Research in Engineering and Applied Sciences* 1(1): 30-36.
- Brown, R. (2004). *Polymers in Agriculture and Horticulture Applications of Polymer*, *Rapra Review Reports*, Rapra Technology Limited, U.K.
- Callaghan, T. V., Abdelnour, H., & Lindley, D. K. (1988). *The environmental crisis in the Sudan: the effect of water-absorbing synthetic polymers on tree germination and early survival*. *Journal of Arid Environments*, 14(3), 301-317.
- Casquilho M, Rodrigues A & Rosa F (2013). *Superabsorbent polymer for water management in forestry*. *Agricultural Sciences* 4(5B): 57-60.
- Chatterjee S, Hui PC & Kan C (2018). *Thermoresponsive hydrogels and their biomedical applications: Special insight into their applications in textile based transdermal therapy*. *Polymers* 10(5): 480.
- Chen P, Zhang W, Luo W & Fang Y (2004). *Synthesis of superabsorbent polymers by irradiation and their applications in agriculture*. *Journal Applied Polymer Sciences* 93: 1748-1755.
- del Valle L J, Diaz A & Puiggali J (2017). *Hydrogels for biomedical applications: Cellulose, chitosan, and protein/peptide derivatives*. *Gels* 3(3): 27.
- Dhodapkar R, Rao N N, Pande S P, Nandy T & Devotta S (2007). *Adsorption of cationic dyes on Jalshakti®, super absorbent polymer and photocatalytic regeneration of the adsorbent*. *Reactive & Functional Polymers* 67: 540-548.
- Dolgun, K., & Yürdem, H. (2014). *Damla Sulama Sistemlerinde Kullanılan Bazı Ekipmanların İzmir İlindeki İmalat ve Pazarlama Durumu*, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 10(4), 335-347.
- Ekebafe, L.O., Ogebeifun, D.E., Okieimen, F.E. (2011). *Polymer Applications in Agriculture*, *Biokemistri*, 23(2), 81-89.
- Erickson, R. E. (1984). *US Patent No. 4.424.247*. Washington: U.S. Patent and Trademark Office.

- Finkenstadt, V. L., & Tisserat, B. (2010). *Poly(lactic acid) and Osage Orange wood fiber composites for agricultural mulch films*, *Industrial Crops and Products*, 31, 316–320.
- Garnaud, J.C. (1988). *Agricultural and Horticultural Applications of Polymer, A Report 2(2)*, Editor Rebecca Meredith, Pergamon Press, Oxford, U.K.
- Glenn, G.M., Orts, W., Imam, S., Chiou, B.S., Wood, D.F. (2014). *Starch Plastic Packaging and Agriculture Applications*, Publications from USDA-ARS / UNL Faculty. 1459.
- Güngör, Y., & Yıldırım, O. (1989). *Tarla Sulama*, A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No:1155 Ankara.
- İsmail, O. (1999). *Akrilik Asit Esaslı Süper Absorban Jellerle İlgili Çalışmalar*, Yayınlanmamış Doktora Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- İstanbul Sanayi Odası (2017). *Plastik Sektör Raporu*, www.ito.org.tr
- Karagöz, İ. (2014). *Termoplastiklerin Sürünme Karıştırma Kaynak Özellikleri*, Yayınlanmamış Doktora Tezi. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Göztepe, İstanbul.
- Korukçü, A. (1980). *Damla sulamada Yan Boru Uzunluklarının Saptanması Üzerine Bir Araştırma*, A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No:742-432, Bilimsel Araştırma ve İncelemeler, Ankara.
- Kyrikou, I., & Briassoulis, D. (2007). *Biodegradation of agricultural plastic films: A critical review*. *Journal of Polymers and the Environment*, 15, 125–150.
- Li X, He J Z, Hughes J M, Liu Y R & Zheng Y M (2014). *Effects of super-absorbent polymers on a soil-wheat (Triticum aestivum L.) system in the field*. *Applied Soil Ecology* 73: 58-63.
- Madakbaşı, S.Y., Önal, M.S., Dündar, B., Başak, H. (2014)., *Soil and Plant Functions of Water Holding Polymers, Environmental Impact and Possibilities of Their Use in Vegetable*, *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sci.*, 1(2), 173-179.
- Milani, P., França, D., Balieiro, A.G., Faez, R. (2017). *Polymers and its applications in agriculture*, *Polímeros*, 27(3), 256-266.
- Mo C, Shu-quan Z, Hua-Min L, Zhan-bin H & Shu-qin L (2006). *Synthesis of poly(acrylic acid)/sodium humate superabsorbent composite for agricultural use*. *Journal Applied Polymer Sciences* 102: 5137-5143.
- Moslemi Z, Habibi D, Asgharzadeh A, Ardakani M R, Mohammadi A & Sakari A (2011). *Effects of super absorbent polymer and plant growth*

promoting rhizobacteria on yield and yield components of maize under drought stress and normal conditions. African Journal of Agricultural Research 6(19): 4471-4476.

- Namazı, H. (2017). *Polymers in our daily life*, BioImpacts, 7(2), 73-74.
- Otey, F. H., Mark, A. M., Mehlretter, C. L., & Russell, C. R. (1974). *Starch-based film for degradable agricultural mulch*, Industrial & Engineering Chemistry Product Research and Development, 13, 90–92.
- PAGEV (2016). *Dünya ve Türkiye Plastik Ambalaj Malzemeleri*, Sektör İzleme Raporu. www.pagev.org
- PLASFED (2013). *Plastik Sektör İzleme Raporu*, www.pagder.org.tr
- Pó R (1994). *Water-absorbent polymers: A patent survey. Journal of Macromolecular. Science Part C 34(4): 607-662.*
- Râpă, M., Popa, M.E., Cinelli, P., Lazzeri, A., Burnichi, R., Mitelut, A., Gross, E. (2011). *Biodegradable alternative to plastics for agriculture application. ACRomanian Biotechnological Letters*, 16(6), 59-64.
- Ruqin F, Jia L, Shaohua Y, Yunlai Z & Zhenhua Z (2015). *Effects of biochar and super absorbent polymer on substrate properties and water spinach growth. Pedosphere 25(5): 737-748.*
- Sayyari M & Ghanbari F (2012). *Effects of super absorbent polymer A200 on the growth, yield and some physiological responses in sweet pepper (Capsicum Annuum L.) under various irrigation regimes. International Journal of Agricultural and Food Research 1(1): 1-11.*
- Singh R.P., Singh J, Deshmukh S.R. Kumar D and Kumar A. (1995). *Applications of drag-reducing polymers in agriculture, Current Science, 68(6), 631-641.*
- Sinha, R. (2015). *Synthesis and Utility of Starch Based Polymers – A Short Review, IOSR Journal of Applied Chemistry, 8(12), 27-30.*
- Souza A J J, Guimarães R J, Colombo A, Sant'Ana J A V & Castanheira D T (2016). *Quantitative analysis of growth in coffee plants cultivated with a water-retaining polymer in an irrigated system. The Revista Ciência. Agrônômica 47(1): 162-171.*
- Trijasson P, Pith T & Lambla M (1990). *Hydrophilic polyelectrolyte gels by inverse suspension. Macromolecular Symposia 35/36: 141-169.*
- Tubitak (2004). *Ulusal Bilim ve Teknoloji Politikaları 2003-2023 Strateji Belgesi*, www.tubitak.gov.tr
- Westarp, S., Chieng, S., Schreier, H. (2003). *A comparison between low-cost drip irrigation, conventional drip irrigation, and hand watering in Nepal, Agricultural Water Management 64, 143-160.*

- Yıldırım, O., Güngör, Y., Erözel, Z. (2004). *Sulama*, A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları, Bilimsel Araştırma ve İncelemeler, Ankara.
- Yoruç, A.B.H., & Uğraşkan, Y. (2017). *Yeşil Polimerler ve Uygulamaları*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17 (0107102), 318-337.
- Yoruç, A.B.H., Uğraşkan, V. (2017). *Green Polymers and Applications*, AKÜ J. Sci. Eng., 17, 318-337.

MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ

YALITILMIŞ FARKLI DUVARLARIN SES YALITIM ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Ahmet Fertelli¹

*¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği
Bölümü, Sivas, Türkiye
E-mail: fertelli@cumhuriyet.edu.tr*

Sinan AYDIN²

*²Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi Mekatronik Mühendisliği
Bölümü, Sivas, Türkiye
E-mail: sinancan@cumhuriyet.edu.tr*

1. Giriş

Binalarda hem dış hem de iç mahallerden gelen ses ve gürültüler ev içerisindeki günlük yaşamın ve konforunun en önemli problemlerinden biridir. İnsanların evlerindeki odalarında konforlu ve huzurlu yaşayabilmeleri için ses yalıtımı da ısı yalıtımı gibi yönetmeliklerde belirtilen koşullara uymak üzere 2017 tarihinden itibaren zorunlu hale getirilmiştir. Bu kapsamda Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 30082 sayılı “Binaların Gürültüye Karşı Korunması” hakkındaki yönetmelik 31 Mayıs 2017 tarihinde yayınlanmıştır. Yönetmelikte her türlü yapı ve binanın kullanımında insanların maruz kalacağı, binaların dışından veya içinden kaynaklanan gürültülerin, kişilerin huzur ve sükûnuna, beden ve ruh sağlığına olumsuz etkilerini en aza indirecek iyi işitme ve algılama koşullarının sağlanması için uyulacak kuralların belirlenmesi ve gürültülerin kontrol edilmesi amacıyla alınacak önlemler ve tasarım değerleri belirtilmiştir.

Miskinis vd. (2018), Harici ısı yalıtım kompozit sisteminin (ETICS) ilave ısı yalıtımı (EPS ve mineral yün) ve kaplama (sıva) katmanlarının duvar ses ve ısı yalıtımı üzerinde nasıl bir etkisi olduğunu değerlendirme için çalışma yapmışlardır. ETICS ısı yalıtım katmanının eklenmesi ile mineral yünlü duvarın ses yalıtımını 4 dB kadar değiştirdiğini ancak EPS kullanımında önemli bir etkisinin olmadığını belirlemişlerdir. Isı yalıtım malzemesi üzerine sıva tabakasının eklenmesi, her iki durumda da ses yalıtımında 3 dB'den 7 dB'ye kadar artış sağlamış, ancak ısı yalıtımını değiştirmemiştir. Ses yalıtımı üzerindeki etki, kullanılan ısı yalıtım malzemesinin tipine, bir kaplamanın kalınlığına bağlı iken, ısı yalıtımının sadece katmana bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Nurzyński (2015), çeşitli yapı elemanlarının termal ve akustik davranışları arasındaki farklılıkları incelemişlerdir. Farklı yapılar için elde edilen ölçüm sonuçlarının analizinde, akustik ve ısı yalıtımı arasında basit bir ilişki bulmanın oldukça zor olduğunu göstermiştir. Her durumda bir bina bölümünün ısı direncini

artıran malzemeler veya teknik çözümlerin genellikle akustik performansını düşürdüğü belirlenmiştir. Martello vd. (2015), hafif alçı levha bölümlerinin birleştirilmesiyle oluşturulan perde duvarlı iki bitişik odada hava, ses yalıtımı ve titreşim ölçümleri yapmışlardır. Yapılardaki ses aktarım yollarını daha iyi anlamak için çerçeve kolonları ve kirişler, camlar, alçıpan duvar, alçıpan asma tavan için titreşim ölçümleri yapılarak, havadaki ses yalıtımını iyileştirmek için önerilerde bulunmuşlardır. Azkorra vd. (2015), dikey yeşillik sistemlerinin ve modüler tabanlı bir yeşil duvarın gürültü üzerine olan etkilerini araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre ağırlıklı ses azaltma indeksi (R_w) 15 dB ve ağırlıklı ses emme katsayısı (alfa) 0,40'tır. Yeşil duvarların, binalar için ses yalıtım aracı olarak önemli bir potansiyele sahip olduğu, ancak modüler parçalar arasındaki birleşme yerlerinin sızdırmazlık etkinliğinin artırılması gibi bazı tasarım ayarlarının yapılması gerektiği sonucuna varmışlardır. Liu vd. (2019) piramit örgü ızgara yapısının kafeslerle ses yalıtım özelliğini araştırmak için sonlu bir eleman modeli geliştirmişler ve deneysel yöntemlerle karşılaştırmışlardır. İçi boş kafeslere sahip sandviç yapı eğim açısının, homojen kalınlığın ve kafes sabitinin uzunluğunun ses aktarım kaybı üzerinde önemli etkilere sahip olduğunu belirtmişlerdir. Optimal kafes yapısı ile ses aktarım kaybının düşük frekans bandında neredeyse % 10 oranında artırılabilceği göstermişlerdir. Asdrubali vd. (2016) kamış yapı panellerinin çok amaçlı deneysel termoakustik karakterizasyonunu incelemişlerdir. Termal analizlerde geometrinin ısı iletim katsayısı 0,05 W/mK civarında ve dolayısıyla aynı kapsam için ticari olarak satılan diğer malzemelerle karşılaştırılabilir olan üç boyutlu iletkenliği etkilediğini göstermiştir. Dik, paralel veya birleşik yönlendirmeli sap düzenlemesindeki davranışlarda özellikle, uzunlamasına sap düzeni, önemli bir ses emme performansı göstermiştir.

Bu çalışmada Sivas ilinde inşaatı tamamlanmış henüz kullanıma açık olmayan 14 katlı bir binada ses ölçümleri yapılmıştır. Farklı ses şiddetlerinde gürültü oluşturularak alt ve üst kattaki daire odalarındaki ses oranları belirlenmiştir.

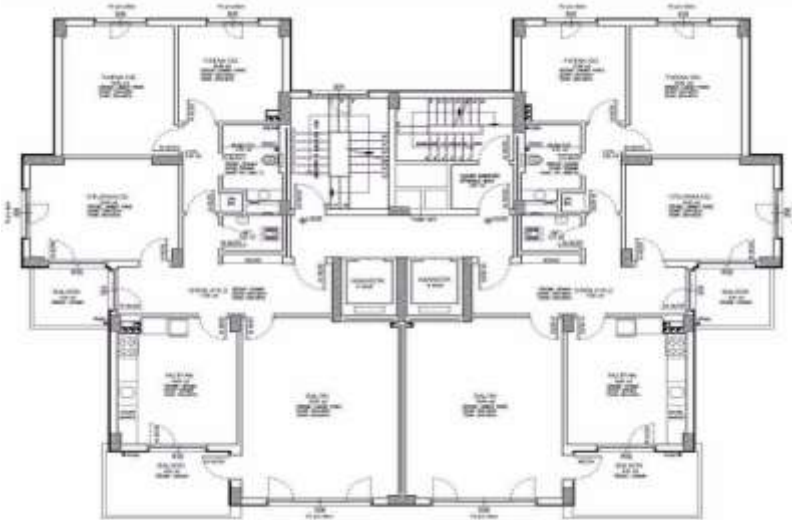
2. Malzeme ve Yöntem

Binadaki dairelerde iki yatak odası, oturma odası, salon ve mutfak bulunmaktadır (Şekil 1-2). Her katta iki daire bulunmakta olup, dairelerin salonları bitişik olacak şekilde inşa edilmiştir. Binada bulunan 5, 6, 7. katlardaki üç odadan farklı ses şiddetlerinde ölçümler yapılmıştır. 4 farklı ses şiddetinde (80 dB, 100 dB ve 110 dB) oluşturulan gürültü daima 6. Kattaki binanın salonunda üretilmekte olup, salonun sağındaki yan dairenin salonu, aynı dairedeki bitişikteki mutfak, alt ve üst katlardaki aynı odalarda ses ölçümleri yapılmıştır. Deneylerde Brüel&Kjaer Hand-Held ses ölçüm cihazı kullanılmış olup, ölçümler yapılırken oda kapıları ve pencereleri daima kapalı tutulmuştur. Ses kaynağı oda içerisinde sağa,

sola, tabandan tavana doğru değişik şekillerde konumlandırılmıştır. Binada ses yalıtımı amacıyla özel bir tasarım yapılmamış olup, ısı yalıtımı amacıyla dış duvarlarda ve bitişik duvarlarda polistiren köpük ve döşemelerde XPS kullanılmıştır. Bağımsız duvarlarda hiçbir yalıtım malzemesi kullanılmamıştır. Duvar ve zemin özellikleri ile kullanılan malzemeler Şekil 3’de gösterilmektedir.



Şekil 1. Ölçüm yapılan bina



Şekil 2. Ölçüm yapılan bina kat planı

	Dış Duvarlar			Bitişik Duvarlar		
	Malzeme Cinsi	Kalınlık (mm)		Malzeme Cinsi	Kalınlık (mm)	
	1	İç Sıva	20	1	İç Sıva	20
	2	Tuğla	185	2	Dikey Delikli	185
	3	Dış Sıva	20	3	Polistiren Isı Levhası	20
	4	Polistiren Isı Levhası	100	4	Dikey Delikli	100
	5	Sıva -Boya	8	5	İç Sıva	8

	Katlar Arası Döşeme			Bağımsız Duvarlar		
	Malzeme Cinsi	Kalınlık (mm)		Malzeme Cinsi	Kalınlık (mm)	
	1	Laminant	10	1	İç Sıva	20
	2	Seramik	20			
	3	Çimento	40			
	4	XPS	30	2	Dikey Delikli Tuğla	85
	5	Donatılı Beton	120	3	İç Sıva	8
	6	Çimento Harcı	20			

Şekil 3. Oda duvarlarına ait kesitler ve kullanılan malzemeleri

3. Sonuç ve Tartışma

Orta kat salon içerisinde 80 dB, 90 dB, 100 dB ve 110 dB değerlerinde üretilen gürültü değerleri için alt kat, üst kat ve yan odalarda ölçülen ses değerleri ve % azalma oranları sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2’de gösterilmektedir. 110 dB gürültü değeri için salon yanındaki mutfakta 66,3 dB elde edilirken, üst katta 50 dB ve alt katta 44.4 dB değeri elde edilmiştir. Tüm gürültü değerlerindeki azalma mutfaklar için tüm katlarda % 50 - %59,64 aralığında değişmektedir. Üst ve alt kat salonlarda ise mutfaklardaki ses değerlerine çok yakın ölçümler elde edilmiş olup, gürültü seviyeleri 39,3 dB - 49 dB değerleri arasında elde edilmiştir.

Tablo 1. Tüm odalar için ölçülen ses değerleri

Üretilen Ses (dB)	Üst Kat Mutfak (dB)	Orta Kat Mutfak (dB)	Alt Kat Mutfak (dB)
110	50	66,3	44,4
100	44,4	56	40,8
90	41,9	47,5	40,1
80	39,3	42	39,3
Üretilen Ses (dB)	Üst Kat Salon (dB)	Orta Kat Salon (dB)	Alt Kat Salon (dB)
110	49	110	43,1
100	42,4	100	40,4
90	40,6	90	39,8
80	39,3	80	39,5
Üretilen Ses (dB)	Üst Kat Yan Salon (dB)	Orta Kat Yan Salon (dB)	Alt Kat Yan Salon (dB)
110	42	49,5	41,6
100	40,7	44,4	40,4
90	39,1	41,6	39,7
80	39,1	39,3	39,1

Ses seviyesindeki azalma oranları ise oluşturulan gürültü düzeyine bağlı olarak 80 dB’de yaklaşık olarak hem üst hem de alt kat için %50 oranında azalmıştır. Yan dairedeki bitişik duvarla ayrılan salon için 100 dB’de elde edilen değerler üst, orta ve alt kat için sırasıyla 40,7 dB, 44,4 dB ve 40,4 dB’dir. 80 dB ve 90 dB gürültü değerinde hem alt kat hem de üst kat yan salonlarında ses düzeyleri biribiri ile hemen hemen aynıdır. 110 dB için orta katta % 55 ve diğerlerinde % 62 civarında azalma sağlanmışken, 90 dB’de % 53,78 - % 56,56 aralığında azalma elde edilmiştir.

Tablo 2. Tüm odalar için ses şiddetlerindeki % azalma oranları

Üretilen Ses (dB)	Üst Kat Mutfak (dB)	Orta Kat Mutfak (dB)	Alt Kat Mutfak (dB)
110	54,55	39,73	59,64
100	55,60	44,00	59,20
90	53,44	47,22	55,44
80	50,88	47,50	50,88
Üretilen Ses (dB)	Üst Kat Salon (dB)	Orta Kat Salon (dB)	Alt Kat Salon (dB)
110	55,45	110	60,82
100	57,60	100	59,60
90	54,89	90	55,78
80	50,88	80	50,63
Üretilen Ses (dB)	Üst Kat Yan Salon (dB)	Orta Kat Yan Salon (dB)	Alt Kat Yan Salon (dB)
110	61,82	55,00	62,18
100	59,30	55,60	59,60
90	56,56	53,78	55,89
80	51,13	50,88	51,13

Yapılan çalışmada, bir binada katlar arası döşemede XPS, bitişik ve dış duvarlarda polistüren köpük, bağımsız duvarlarda sadece tuğla ve sıva kullanılması durumunda hem alt hem de üst katlarda ve yan odalardaki ses geçirgenlikleri araştırılmıştır. Tüm odalarda oluşturulan gürültü değeri azaldıkça, ses şiddetindeki % oranlarında da azalma olduğu görülmüştür. En yüksek gürültü oluşması durumunda, mevcut yalıtım malzemeleri ile % 54,55 - % 62,18 değerleri arasında ses şiddetinde azalma olduğu görülmektedir. Duvarlarda ses yalıtımının dikkate alınarak taş yünü ve cam yünü gibi lifli malzemelerinin kullanılması ile ses şiddetindeki azalma oranlarının daha da fazla artacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Azkorra Z. Pérez G., Coma J., Cabeza L.F., Bures S., Álvaro J.E., Erkoreka A., Urrestarazu M. (2015). Evaluation of Green Walls As A Passive Acoustic Insulation System for Buildings. *Applied Acoustics*, 89, 46–56.
- Binalarin Gürültüye Karşı Korunmasi Hakkinda Yönetmelik (2017). *Resmi Gazete*.
- Asdrubali F., Bianchi F., Cotana F., D'Alessandro F., Pertosa M., Pisello A.L., Schiavoni S. (2016). Experimental Thermo-Acoustic Characterization of Innovative Common Reed Bio-Based Panels for Building Envelope. *Building and Environment*, 102, 217-229.
- Liu J., Tingting C., Yonghui Z., Guilin W., Qixiang Q., Hongxin W., Ramin S., Yi M. X. (2019). On Sound Insulation of Pyramidal Lattice Sandwich Structure. *Composite Structures*, 208, p385–394.
- Martello N. Z., Secchi S., Fausti P., Cellai G., Santonia A. (2015). Analysis of Direct and Flanking Sound Transmission Between Rooms with Curtain Wall Facades. *Energy Procedia*, 78, p164 – 169.
- Miskinis K., Dikavicius V., Buska A., Banionis K. (2018). Influence of EPS, Mineral Wool and Plaster Layers on Sound and Thermal Insulation Of A Wall: A Case Study. *Applied Acoustics*, 137, p 62–68.
- Nurzyński J. (2015). Is Thermal Resistance Correlated with Sound Insulation?. *Energy Procedia*, 78, 152 – 157.

EPOKSİ YAPIŞTIRICIDA NANOPARTİKÜLLERİN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Sinan Aydın¹,

*¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi Mekatronik Mühendisliği
Bölümü, Sivas, Türkiye,
E-mail: sinancan@cumhuriyet.edu.tr*

Ahmet Fertelli²

*²Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği
Bölümü Sivas, Türkiye,
E-mail: fertelli@cumhuriyet.edu.tr*

1. Giriş

Son yıllarda yapıştırma bağlantılarında kullanılan yapıştırıcıların özelliklerini geliştirmek ve kullanım alanlarını artırmak için çalışmalar hız kazanmıştır. Yapıştırıcının üretim teknolojisini değiştirmeden içerisine nano partikül katılarak özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar yaygınlaşmaktadır. Suzhu vd. (2010), Alüminyum plakaları yapıştırmak için karbon nanotüp (CNT) takviyeli epoksi yapıştırıcı geliştirmişler ve bağlantının termal, elektriksel ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Artırılan nanotüp miktarı ile elektrik iletkenliği ve termal kararlılığın arttığını belirlemiştir. Mekanik testlerde ise eğilme dayanımının ve tokluğun arttığını ancak ağırlıkça %1 karbon nanotüp oranından sonra tokluğun azaldığını belirtmişlerdir. Panta vd. (2015), Farklı türlerde nano partikül katılmış epoksi yapıştırıcılarıyla oluşturulan tekli bindirme bağlantıların kayma dayanımını ve diğer özelliklerini incelemiştir. Nano partikül ilavesi sayesinde epoksinin termal stabilitesinin arttığını ve kayma dayanımının nanopartikül türüne göre % 53, % 49 ve % 46 oranlarında arttığını belirlemiştir. Florian vd. (2005), tek duvarlı karbon nanotüp (SWCNT), çift duvarlı karbon nanotüp (DWCNT) ve çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) kullanılarak oluşturulan epoksi bazlı nano kompozitlerin mekanik özelliklerinin ve yüzey fonksiyonlarının değerlendirilmesini yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre ağırlıkça %0,5 oranında çift duvarlı karbon nanotüp (DWCNT) kullanılması ile sertlik artmış ve kırılma tokluğu %43 oranında artış göstermiştir. Kuang-Ting vd. (2003), Grafit fiber / epoksi kompozit malzemeleri yapıştırmak için çok duvarlı karbon nanotüplerin farklı ağırlıktaki miktarlarını kullanarak ve kompozit plakalara kayma dayanımı testi uygulamışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre kullanılan nanotüp miktarının artırılmasıyla

birlikte ortalama kayma dayanımında da artış olduğunu belirtmişlerdir. En yüksek kayma dayanımının ağırlıkça %5 oranında karbon nanotüp kullanılmasıyla elde edildiğini ifade ederek bunun karbon nanotüp ilaveli yapıştırıcı bağlantılarında kompozit fiber grafit yüzeylerinde oluşan hasarlardan kaynaklandığını tespit etmişlerdir. Sristava (2011), çok duvarlı karbon nano tüp ilave edilmiş epoksi yapıştırıcı ile birleştirilmiş C/C ve C/C-SiC seramik fiber kompozitlerin mukavemet analizlerini yapmış ve nano tüp kullanılması ile tokluk ve mukavemetin arttığını belirlemiştir. Zhai vd. (2007), %2 Al₂O₃ nano parçacık içeren epoksi yapıştırıcı ile oluşturulan metal bağlantılarının mukavemet değerlerini, morfolojisini ve kimyasal kompozisyonunu, SEM, TEM, EDX, XPS analizi ile incelemiştir. XPS analizleri sonucunda çelik ve epoksi yapıştırıcı arasında nano parçacıkların etkisi ile oluşan yeni karboksil yapısına benzer bir kimyasal grubu tespit etmişlerdir. Wei vd. (2012), Al₂O₃ eklenmiş epoksi reçine kompozitlerin, termo-mekanik davranışını incelemiştir. Kütleme davranışı, termal kararlılık, dinamik mekanik özellikler ve termal mekanik özellikleri gibi kavramları araştırmışlardır. Kompozitlerin termal genleşme katsayısının artan nano-Al₂O₃ içeriği ile azaldığını ve kompozitlerin cam geçiş sıcaklığının temiz epoksi reçinelerinkinden yaklaşık 11 °C daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Andrew vd, (2015), Yüksek içsel eksenel ısıl iletkenliklerinden dolayı yeni nesil termal ara yüz malzemesi olarak çok ilgi çeken karbon nanotüp (CNT) dizilerinde oluşan termal sınır direncini incelemiştir. Oluşturdukları yeni bir ara yüz sayesinde düşük ısıl direnç ve yüksek mekanik uyumluluğu göstermişlerdir.

Bu çalışmada epoksi bazlı E-350 yapıştırıcısı içerisine 9,5 nm çapında çok duvarlı karbon nanopartiküllerin çeşitli oranlarda katılması ile bağlantı mukavemetindeki değişim incelenmiştir.

2. Malzeme ve Yöntem

Yapılan çalışmada; epoksi bazlı metal yapıştırıcı Akfix E350, alüminyum levha (40 mm x 40 mm x 20 mm), alüminyum dolly (Ø20 mm) ve çok duvarlı karbon nanopartikül (Ø 9,5 nm) kullanılmıştır. Bu malzemeler Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Deney malzemeleri

Alüminyum levha ve dolly malzemesine yapıştırma işleminden önce yüzey hazırlık ve temizleme işlemleri uygulanmıştır. Bu işlemlerde ilk olarak Al levha yüzeyi C-180 kumlu ince zımpara ile pürüzlendirilmiştir. Bu işlemin ardından deney numuneleri, üzerinde bulunan kir, yağ ve toz vs. gibi yabancı maddelerin temizlenmesi için aseton ile yıkama ve durulama yapılmıştır. En son işlem olarak etüv içerisinde 50 °C de 30 dakika kurutma işlemi yapılarak levhalar yapıştırma işlemine hazır hale gelmiştir. Nanopartikül katkı yapıştırıcıların hazırlanması için; temiz beher içerisine epoksi ve ağırlıkça (% 1, % 1,5 ve % 2) oranında nanopartikül ve epoksi miktarının iki katı kadar aseton eklenerek ultrasonik karıştırıcıda 30 KHz frekansta 10 dakika karıştırma yapılmıştır. Karışım içindeki asetonun buharlaşması için 30°C etüv içerisinde bekletilmiştir. Nanopartikül katkı yapıştırıcıların hazırlanması için; temiz beher içerisine epoksi ve ağırlıkça (% 1, % 1,5 ve % 2) oranında nanopartikül ve epoksi miktarının iki katı kadar aseton eklenerek ultrasonik karıştırıcıda 30 KHz frekansta 10 dakika karıştırma yapılmıştır.

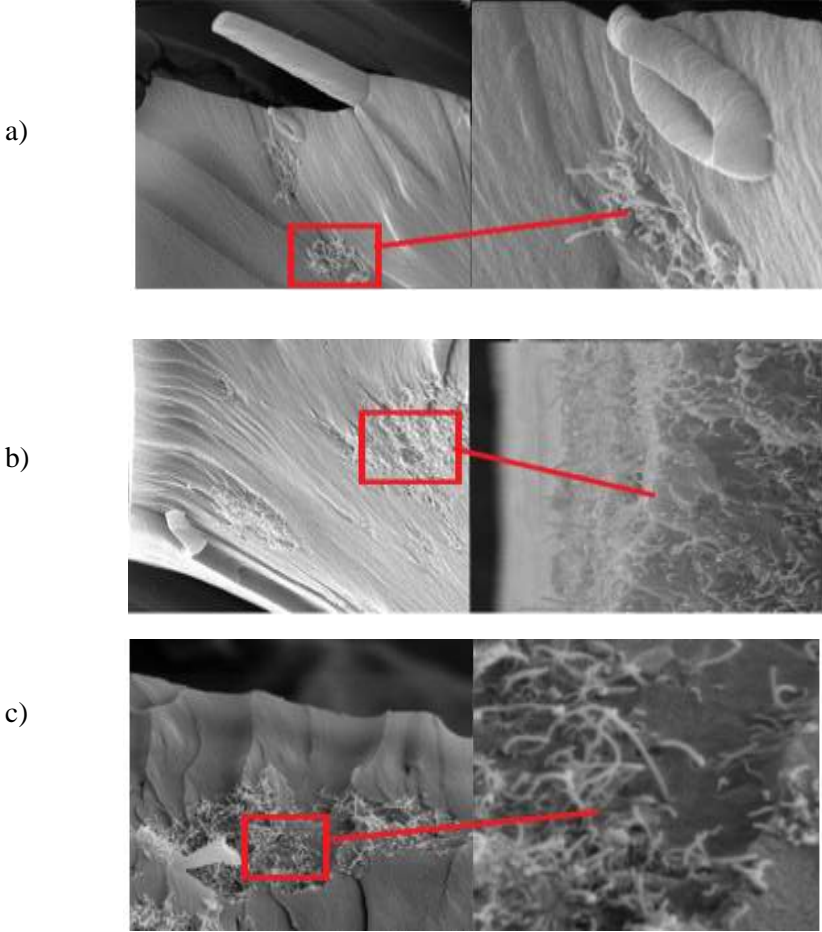


Şekil 2. Yapıştırılmaya hazır numuneler

Karışım içindeki asetonun buharlaşması için 30°C etüv içerisinde bekletilmiştir. Son işlem olarak epoksi+ nanopartikül karışımı üzerine epoksi sertleştirici eklenerek mekanik karıştırıcıda 5 dakika düşük devirde karıştırma işlemi yapılmıştır. Yapışma direnci, ASTM D 4541 ve ISO 4624 standartlarına göre adhezyon test cihazı ile ölçülmüştür. Ortalama bir değer için her durum için 5 numune test edilmiştir (Şekil 2) (Aydın 2018).

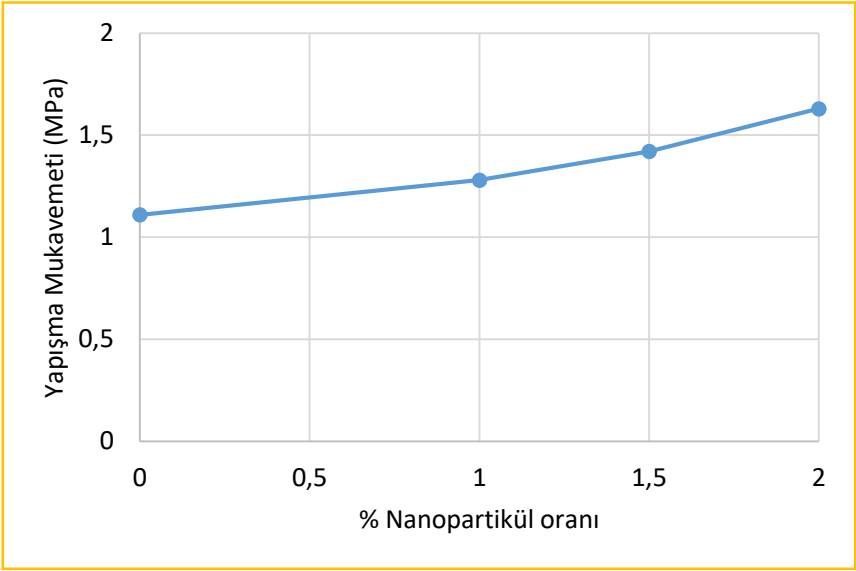
3. Sonuç ve Tartışma

Yapılan deneyler sonucu dolly üzerinde kalan yapıştırıcı kalıntılara ait SEM görüntüleri Şekil 3’de verilmektedir. Görüntüler incelendiğinde her orandaki nanopartikülün epoksi yapıştırıcı içerisinde homojen olarak dağıldığı ve bağlantıların tamamında kohezyon hasarı olduğu görülmektedir. Nano partikül miktarının artırılması ile dolly üzerinde yapıştırıcı tabakasının daha iyi tutunma sağlayarak bağlantının dayanımının artmasına sebep olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3. Nanopartikül katkıli bağlantıların SEM görüntüleri
a) %1 partikül b) %1,5 partikül c) %2 partikül

Yapışma mukavemetinin nanopartikül oranı ile değişimi Şekil 4’de gösterilmektedir. Karbon nanotüp oranının %1’den %2’ye kadar 3 farklı oranda artırılmasıyla yapışma mukavemeti artmaktadır. Dolly ile levha katkısız epoksi ile yapıştırıldığında, yapışma mukavemeti 1,11 MPa iken bu değer %1 nanopartikül ilaveli yapıştırıcı olduğunda 1,28 MPa, %2 nanopartikül ilaveli yapıştırıcı olduğunda ise 1,63 MPa’ya kadar artmaktadır. %2 nano partikül katılması ile yapışma mukavemetinde % 46,84 artış sağlanmıştır.



Şekil 4. Yapışma mukavemetinin nanopartikül oranına bağlı değişimi

Yapılan bu çalışmada yüzey pürüzlülüğü az olan olan yüzeylerde farklı oranlarda karbon nanopartikül katılan yapıştırıcı ile oluşturulan yapıştırma bağlantılarının dayanım özellikleri incelenmiştir. Yapıştırıcı içerisine nanopartikül katılması birlikte yapışma dayanımının arttığı görülmüştür. Ayrıca yüzey pürüzlülüğüde yapışma mukavetinde artış sağlamıştır. En yüksek dayanım ağırlıkça %2 nanopartikül oranına sahip yapıştırıcı bağlantısında elde edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) tarafından TEKNO-008 proje numarası ile desteklenmiştir. Katkılarından dolayı Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Suzhu Y, Min Nah T, Gary C. (2010). Use Of Carbon Nanotubes Reinforced Epoxy As Adhesives To Join Aluminum Plates. *Materials and Design*, 31, 126–129.
- Panta J, M. Jagannatham, Prathap H, G.D.J. Ram, A. P. Deshpande, S.R. Bakshi. (2015). Effect Of Different Carbon Nano-Fillers On Rheological Properties And Lap Shear Strength Of Epoxy Adhesive Joints. *Composites: Part A*, 82, 53–64.
- Florian H.G, Malte H.G.W, Bodo F, Karl S.(2005). Influence Of Different Carbon Nanotubes On The Mechanical Properties Of Epoxy Matrix Composites –A Comparative Study. *Composites Science and Technology*, 65, 2300–2313.
- Kuang-Ting H, Justin A, Suresh G A. (2003). Use Of Epoxy/Multiwalled Carbon Nanotubes As Adhesives To Join Graphite Fibre Reinforced Polymer Composites. *Nanotechnology*, 14, 791–793.
- V.K. Srivastava. (2011). Effect Of Carbon Nanotubes On The Strength Of Adhesive Lap Joints Of C/C And C/C–SiC Ceramic Fibre Composites. *International Journal of Adhesion&Adhesives*, 31, 486–489.
- L.L. Zhai, G.P. Ling, Y.W. Wang. (2007). Effect Of Nano-Al₂O₃ On Adhesion Strength Of Epoxy Adhesive And Steel. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 28, 23–28.
- Wei J, Fan-Long J, Soo-Jin P.(2012). Thermo-Mechanical Behaviors Of Epoxy Resins Reinforced With Nano-Al₂O₃ Particles. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 18, 594–596.
- Andrew J, McNamara, Y.J, Zhuomin M. Z. (2015). Thermal Resistance of Thermal Conductive Adhesive Anchored Carbon Nanotubes Interface Material. *International Journal of Thermal Sciences*, 96, 221-226.
- Aydın, S. , Fertelli, A. (2018). Nanopartikül ve Yüzey Pürüzlülüğünün Yapışma Mukavemetine Etkilerinin İncelenmesi. *Academic Perspective Procedia*, 1 (1), 1164-1170. DOI: 10.33793/acperpro.01.01.186

ENERJİ MÜHENDİSLİĞİ

MESLEK YÜKSEKOKULLARINDAKİ ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARI TEKNOLOJİSİ PROGRAMLARINA GENEL BİR BAKIŞ

***Öğr. Gör. Derya YARIMKAYA**

**Bayburt Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bayburt, Türkiye
E-mail: deryayarimkaya@bayburt.edu.tr*

****Dr. Öğretim Üyesi Ufuk TÖMAN**

***Bayburt Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Bayburt, Türkiye
E-mail: utoman@bayburt.edu.tr*

Giriş

Türkiye'nin gelişmekte olan ekonomisi ve artan nüfusuna paralel olarak enerji tüketimi her geçen gün artış göstermektedir. Ancak, mevcut enerji üretimi alt yapısı nedeniyle Türkiye'nin enerji ihtiyacının karşılanmasında büyük oranda dışa bağımlı olduğu bilinmektedir. Türkiye bu enerji altyapısını geliştirebilmek için bir yandan fosil enerji kaynağı arama çalışmaları yürütürken diğer yandan alternatif enerji kaynaklarına yönelik çalışmalar gerçekleştirmektedir (Yılmaz, 2012). Özellikle son yıllarda alternatif enerji alanındaki girişimlerin neticesinde farklı bölgelerde kurulan rüzgar ve güneş çiftliklerinin sayılarında hızlı bir artış gözlenmektedir (Şahin ve ark., 2019).

Fosil yakıtların doğaya verdiği zarar ve sınırlı rezerv durumu göz önünde bulundurulduğunda, alternatif enerji alanındaki yatırımlar büyük önem arz etmektedir (Yılmaz, 2012). Alternatif enerji alanındaki yatırımlar enerjide dışa bağımlılığı azaltacağı gibi ekonomi ve istihdam alanında önemli bir potansiyelini de beraberinde getirecektir (Şeker, 2016).

Ülkemizde 2023 vizyonu kapsamında alternatif enerjinin payının %30'a yükseltilmesi, rüzgâr enerjisinin 20.000 MW düzeyine çıkarılması, 600 MW jeotermal ve 3.000 MW güneş enerjisi kapasiteli elektrik santralleri kurulması, enerji borsası oluşturulması ve su enerjisinden tam olarak yararlanılması gibi bazı hedeflere ulaşılması öngörülmektedir (Erdal, 2012). Bu hedefler doğrultusunda en somut istihdam hedefi Türkiye Ulusal Enerji Eylem Planında belirtilmektedir. 2023 vizyonu kapsamında kurulması planlanan rüzgâr ve güneş enerji tesisleri aracılığıyla yaklaşık 38000 kişiye istihdam sağlanması planlanmaktadır (Özsoy, 2015; Baykan, 2017).

Alternatif enerji kaynakları elde edilme süreci bakımından karmaşık bir yapıdadır. Bu sebeple alternatif enerji alanda çalışan ara elemanların hem teorik hem uygulamaya dayalı bilgi ve becerilerle donatılarak yetiştirilmesi sağlanmalıdır. Ülkemizde alternatif enerji kaynakları alanında ara eleman ihtiyacı meslek liseleri, meslek yüksekokulları ve çeşitli sertifika programları aracılığıyla karşılanmaktadır (Akyüz ve ark., 2018).

Bu bölümde; sayıları son yıllarda hızla artış gösteren ve alternatif enerji alanında ara eleman yetiştiren alternatif enerji kaynakları teknolojisi programları incelenmekte ve programın meslek yüksekokullarına göre dağılımı, programın içeriği (dersler), programda görevli öğretim elemanı sayısı, dikey geçiş fırsatları ve istihdam olanakları değerlendirilmektedir.

Alternatif Enerji Kaynakları Teknolojisi Programı

Üniversitelerin meslek yüksekokulları bünyesinde yer alan alternatif enerji kaynakları teknolojisi programı; kamu ve özel sektörün enerji alanlarında üretim, dağıtım, bakım, servis ve verimlilik konularında görev yapabilecek nitelikli ara eleman yetiştirilmesini amaçlamaktadır. Alternatif enerji kaynakları teknolojisi programını başarıyla tamamlayan öğrenciler, alternatif enerji kaynakları teknolojisi “ön lisans diploması” ve “tekniker” unvanı almaya hak kazanmaktadır.

1. Programın meslek yüksekokullarına göre dağılımı

2011 yılında 6 meslek yüksekokulunda eğitim ve öğretime başlayan alternatif enerji kaynakları teknolojisi programı (Akyüz ve ark., 2018), Tablo 1’de görüldüğü üzere 2019 yılı itibariyle 39 farklı meslek yüksekokulunda yer almaktadır. Öğrencilere ülkemizin farklı bölgelerindeki devlet veya vakıf üniversitelerinde farklı öğretim türlerinde seçenekler sunulmaktadır. YÖK Program Atlası verilerine göre, 2017 yılında öğrenciler Hacettepe ve Ankara Üniversitesindeki programlar haricinde tercih yapmamıştır (Akyüz ve ark., 2018). 2018 yılında ise öğrenciler Hacettepe Üniversitesi, Ankara Üniversitesi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Kayseri Üniversitesi, Pamukkale Üniversitesi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Selçuk Üniversitesi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi ve Yakın Doğu Üniversitesi’nde olmak üzere 14 farklı alternatif enerji kaynakları teknolojisi programını tercih etmiştir (YÖK Program Atlası, 2019).

Tablo 1. *Alternatif enerji kaynakları teknolojisi programları bulunan meslek yüksekokullarının dağılımı*

Üniversite	Meslek Yüksekokulu (MYO)	Öğretim Türü
Ağrı İbrahim Çeçen	MYO	1. öğretim
Ahi Evran	Mucur MYO	1. öğretim
Aksaray	Teknik Bilimler MYO	1. öğretim
Ankara	Gama MYO	1. öğretim 2. öğretim
Ardahan	Teknik Bilimler MYO	1. öğretim
Atatürk	Pasinler MYO	1. öğretim
Aydın Adnan Menderes	Buharkent MYO	1. öğretim
	Söke MYO	1. öğretim
Bandırma Onyeddi Eylül	Gönen MYO	1. öğretim
Bayburt	Teknik Bilimler MYO	1. öğretim
Bilecik Şeyh Edebali	MYO	1. öğretim
Bingöl	Teknik Bilimler MYO	1. öğretim
Burdur Mehmet Akif Ersoy	Bucak Emin Gülmez Teknik Bilimler MYO	1. öğretim
Çanakkale Onsekiz Mart	Çan MYO	1. öğretim
Dokuz Eylül	Bergama MYO	1. öğretim
Düzce	Gölyaka MYO	1. öğretim
Erzincan Binali Yıldırım Ü	MYO	1. öğretim
Giresun	Tirebolu Mehmet Bayrak MYO	1. öğretim
Gümüşhane	MYO	1. öğretim
Hacettepe	Ankara Sanayi Odası 1.OSB MYO	1. öğretim 2. öğretim
Hitit	Osmançık Ömer Derindere MYO	1. öğretim
İzmir Ekonomi	MYO	1. öğretim
İstanbul Kültür	MYO	1. öğretim
İstanbul Şişli MYO*	İstanbul Şişli MYO	1. öğretim 2. öğretim
Kastamonu	Tosya MYO	1. öğretim
Kayseri	Mustafa Çırıkçıoğlu MYO	1. öğretim
Kocaeli	Uzunçiftlik Nuh Çimento MYO	1. öğretim
Kütahya Dumlupınar	MYO	1. öğretim
	Pazarlar MYO	1. öğretim
Muğla Sıtkı Koçman	Muğla MYO	1. öğretim 2. öğretim
Nevşehir Hacı Bektaş Veli	MYO	1. öğretim
Niğde Ömer Halis Demir	Bor MYO	1. öğretim
Pamukkale	Denizli Teknik Bilimler MYO	1. öğretim 2. öğretim
	Bozkır MYO	1. öğretim
Selçuk	Kadınhanı Faik İçil MYO	1. öğretim
	Karapınar Aydoğanlar MYO	1. öğretim
Yaşar **	MYO	1. öğretim
Yakın Doğu ***	MYO	1. öğretim
Yıldız Teknik	MYO	1. öğretim

Not: YÖK Program Atlası ve meslek yüksekokullarının internet adreslerinden derlenmiştir.

*İstanbul Şişli MYO öğrencilere 1. ve 2. öğretim altında ücretli, %50 burslu ve tam burslu olmak üzere 3'er farklı öğrenim seçeneği sunmaktadır.

** Yaşar Üniversitesi öğrencilere 1. öğretim altında %50 burslu ve tam burslu olmak üzere 2 farklı öğrenim seçeneği sunmaktadır.

*** Yakın Doğu Üniversitesi öğrencilere 1. öğretim altında burslu ve %75 indirimli olmak üzere 2 farklı öğrenim seçeneği sunmaktadır.

2. Programda yer alan bazı mesleki dersler ve kredileri

Bireylerin mesleki yeterliliklerin geliştirilmesinde, işgücü piyasasının taleplerinin yerine getirilmesinde, işsizliğin azaltılmasında, üretimde verimlilik

ve niteliğin geliştirilmesinde mesleki eğitim son derece önemli bir yere sahiptir (Aykaç, 2002; Özsoy, 2007).

Mesleki eğitimde teorik ve uygulamalı dersler birbirini bütünleyici bir anlayışla ele alınmalı ve teorik derslerin sahadaki karşılığını öğrenciye sunabilecek uygulama dersleri öğretim programlarında yer almalıdır. Bu anlayış bağlamında, ülkemizdeki meslek yüksekokullarında alternatif enerji kaynakları teknolojisi programlarında mesleki derslerin teorik ve uygulamayı bir arada içerek şekilde düzenlenmesi çalışmaları devam etmektedir (Akyüz ve ark., 2018).

Alternatif enerji kaynakları teknolojisi programlarından ön lisans mezunu olabilmek için üniversitelerin sınav yönetmeliklerine göre değişiklik göstermekle birlikte genel olarak çeşitli teorik ve uygulamalı dersleri içeren 120 AKTS'nin başarılı olarak tamamlanması gerekmektedir. Ülkemizdeki bazı meslek yüksekokullarındaki alternatif enerji kaynakları teknolojisi programına ait mesleki dersler ve bu derslerin kredileri Tablo 2'de gösterilmiştir. Ölçme tekniği, güneş enerjisi ile elektrik üretimi, rüzgâr gücü ile elektrik üretimi, biokütle ile enerji üretimi, bor teknolojisi, enerji kaynakları ve dönüştürme sistemleri, jeotermal enerji, hidrojen enerjisi, elektrik enerjisi iletimi ve dağıtım, güneş enerjisi konut ısıtma sistemleri vb. gibi bazı mesleki dersler alternatif enerji kaynakları teknolojisi öğretim programında yer almaktadır.

Programda laboratuvarlarda gerçekleştirilen uygulamalı derslere ek olarak öğrencilerin sektöre yönelik bakış açılarını geliştirebilecek enerji yönetimi ve politikaları (Akyüz ve ark., 2018) ve öğrencilerin çalışma ortamına yönelik bilgi sahibi olmalarını sağlayacak meslek etiği ve iş güvenliği gibi derslerde sunulmaktadır. Bunun yanı sıra öğrencilerin sözleşme ve keşif yapma, proje hazırlama becerileri ile sunum yapma ve rapor hazırlama yeterliliklerinin gelişimi amacıyla sözleşme, keşif ve planlama ile bilimsel araştırma yöntemleri dersleri de programda bulunmaktadır.

Alternatif enerji kaynakları teknolojisi öğretim programlarında yer alan teorik ve uygulamalı dersler, mesleki eğitim stajı ile bütünleştirilerek öğrencilerin mezuniyet sonrası çalışma ortamına uyum sağlamaları desteklenmektedir. Bu sayede öğrencilerin vizyon sahibi, sorumluluk alabilen, görev bilinci yüksek, teorik bilginin yanı sıra uygulama becerisine sahip teknik ara elemanlar olarak yetiştirilmeleri amaç edinilmektedir (Akyüz ve ark., 2018).

Tablo 2. *Alternatif enerji kaynakları teknolojisi öğretim programında yer alan bazı mesleki dersler ve kredileri*

Dersler/Üniversite	Hacettepe	Ankara	Bayburt	Düzce	Yaşar
Ölçme tekniği	3 AKTS	3 AKTS	5 AKTS		2 AKTS
Güneş enerjisi ile elektrik üretimi	4 AKTS	3 AKTS		5 AKTS	4 AKTS
Rüzgâr gücü ile elektrik üretimi	3 AKTS	4 AKTS	3 AKTS	5 AKTS	4 AKTS
Biokütle ile enerji üretimi	3 AKTS	3 AKTS	3 AKTS	2 AKTS	
Bor teknolojisi	3 AKTS	2 AKTS	3 AKTS	2 AKTS	
Enerji kaynakları ve dönüştürme sistemleri	3 AKTS	3 AKTS	3 AKTS		
Jeotermal enerji	3 AKTS	3 AKTS	3 AKTS	4 AKTS	3 AKTS
Hidrojen enerjisi	3 AKTS	2 AKTS	3 AKTS	2 AKTS	
Elektrik enerjisi iletimi ve dağıtımı	3 AKTS	3 AKTS	3 AKTS	3 AKTS	4 AKTS
Güneş enerjisi konut ısıtma sistemleri	3 AKTS		3 AKTS	3 AKTS	3 AKTS

Not: Meslek yüksekokullarının internet adreslerinden derlenmiştir.

3. Programda görevli öğretim elemanı sayısı

Ülkemizdeki meslek yüksekokulları bünyesinde yer alan 50 farklı alternatif enerji kaynakları programında 2019 yılı Mayıs ayı itibariyle 69 öğretim elemanı bulunmaktadır. Tablo 3’de görüldüğü gibi, öğretim elemanlarının 56’sı devlet üniversitelerinde, 13’ü ise vakıf üniversitelerinde görev yapmaktadır. Programlarda görevli akademisyenlerin 54’nün öğretim görevlisi, 11’inin doktor öğretim üyesi, 2’sinin doçent doktor ve 2’sinin profesör doktor olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 3. *Alternatif enerji kaynakları teknolojisi programlarındaki öğretim elemanı sayısı*

Öğretim Elemanı/Üniversite	Devlet	Vakıf	Toplam
Öğr. Gör.	45	9	54
Dr. Öğretim Üyesi	8	3	11
Doç. Dr.	1	1	2
Prof. Dr.	2	-	2
Toplam	56	13	69

Not: Meslek yüksekokullarının internet adreslerinden derlenmiştir.

4. Dikey Geçiş Fırsatları

Alternatif enerji kaynakları teknolojisi programını başarı ile tamamlayan öğrenciler, Öğrenci Seçme ve Yerleştirme Merkezi (ÖSYM) tarafından düzenlenen Dikey Geçiş Sınavı (DGS) ile 4 yıllık fakültele geçme imkânı bulabilmektedir. DGS, 2 yıllık bir ön lisans öğrenimi sonrası 4 yıllık lisans eğitimine geçiş yapmaya imkân sunan ve ÖSYM tarafından düzenlenen bir sınav sistemidir. Öğrencilerin geçiş yapacakları lisans bölümlerinin puan türlerine

uygun olan bir DGS puanı almaları ve varsa ilgili lisans bölümünün özel şartlarını sağlamış olmaları gerekmektedir. Alternatif enerji kaynakları teknolojisi programı mezunu öğrenciler, lisans bölümlerine dikey geçiş yapabilme imkânının yanı sıra Açıköğretim Fakültesinin bazı bölümlerine de DGS sınavı olmaksızın geçiş yapabilmektedir.

ÖSYM 2018 DGS sınav kılavuzuna göre, alternatif enerji kaynakları mezunu öğrencilerin geçiş yapabilecekleri lisans ve açıköğretim bölümleri şu şekildedir:

Lisans Bölümleri;

- Elektrik Mühendisliği,
- Elektrik-Elektronik Mühendisliği,
- Enerji Sistemleri Mühendisliği,
- Enerji Yönetimi,
- Fizik,
- Fizik Mühendisliği,
- Nükleer Enerji Mühendisliği.

Açıköğretim Bölümleri;

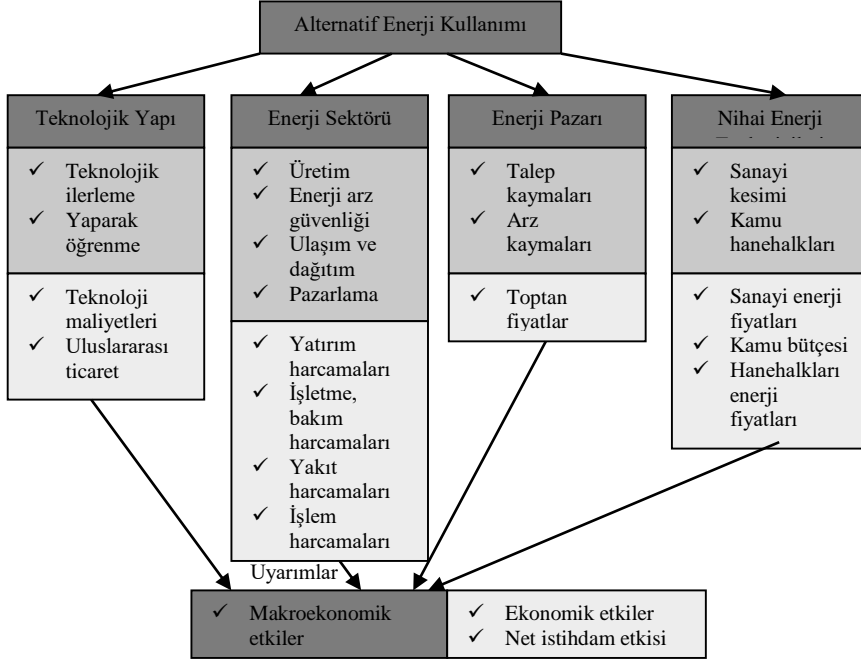
- Çalışma Ekonomisi ve Endüstri İlişkileri,
- İktisat,
- Kamu Yönetimi,
- Maliye,
- Uluslararası İlişkiler,
- İşletme,
- Konaklama İşletmeciliği,
- Halkla İlişkiler ve Reklamcılık,
- Halkla İlişkiler ve Tanıtım.

5. Mezuniyet Sonrası İstihdam Profili

Alternatif enerji kaynakları üzerine yapılan çalışmalar, alternatif enerji sistemlerinin gelişmesine paralel olarak yaşanacak ekonomik büyümelerin, bu alanda geleceği olan yeni işlerin ortaya çıkacağını ön görmektedir (Dalton ve Lewis, 2011).

Alternatif enerji kaynakları ile bağlantılı istihdam imkânları; doğrudan, dolaylı ve uyarılmış istihdam olarak 3 başlık altında ele alınmaktadır (Meyer ve Sommer, 2014). Doğrudan istihdam, bizzat alternatif enerji sektörünün oluşturduğu istihdamı ifade etmektedir. Alternatif enerji kaynaklarına yönelik teknoloji gelişimi, ARGE, üretim-kurulum-inşa ve işletme-bakım alanlarında gözlenen istihdam doğrudan istihdama örnek verilebilir. Dolaylı istihdam, alternatif enerji sektörünün tedarik zincirinde yer alan istihdamı kapsamaktadır. Uyarılmış istihdam ise alternatif enerji ile doğrudan bir bağı bulunmamasına karşın bu sektörde yaşanacak gelişmelerden etkilenen diğer sektörlerdeki istihdam değişimlerini içermektedir (Ağpak ve Özçiçek, 2018). Alternatif enerji

sektörünün istihdam potansiyelini netleştirebilmek adına Alternatif Enerji Kullanımının Net İstihdama Etkisi adlı Şekil 1'deki bilgiler analiz edilebilir. Alternatif enerji kaynaklarının kullanımı ilk olarak bir ülkenin teknolojik alt yapı, enerji sektörü ve toptan/nihai enerji fiyatları üzerinde etki oluşturmaktadır. Ardından bu alanlarda gözlenen gelişmeler ekonomi ile etkileşim içinde istihdam, milli gelir ve gelir dağılımı gibi makroekonomik değerleri etkilemektedir (Ağpak ve Özçiçek, 2018).



Şekil 1. Alternatif Enerji Kullanımının Net İstihdama Etkisi
(European Commission (2014)'den aktaran Ağpak ve Özçiçek, 2018).

Alternatif enerji kaynakları alanında ülkemizde yaşanan gelişmeler önemli bir istihdam potansiyelini beraberinde getireceği gibi (Erdal, 2012), bu alanda özellikle ara eleman ihtiyacında gün geçtikçe artış olması beklenmektedir. Ülkemizde alternatif enerji kaynakları alanında ara eleman ihtiyacının önemli bir bölümü meslek yüksekokulları bünyesindeki alternatif enerji kaynakları teknolojisi programları aracılığıyla karşılanmaktadır. Alternatif enerji kaynakları teknolojisi programlarından mezun olan öğrenciler, alternatif enerjinin farklı alanlarında üretim, dağıtım, bakım ve servis konularında tekniker olarak istihdam olanağı bulabilmektedir.

Program mezunları genel olarak; Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE), Elektrik Üretim A.Ş. (EÜAŞ), Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ), Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. (TEDAŞ), DSİ, Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ), Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO), Boru Hatları ile Petrol Taşıma Anonim

Şirketi (BOTAŞ), Türkiye Petrol Rafinerileri A.Ş. (TÜPRAŞ) ve Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK)'te çalışabilmektedir. Bunun yanı sıra, programdan mezun olan öğrenciler rüzgâr tribünlerinden güneş panellerine, bio yakıt teknolojisinden jeotermal enerji santrallerine kadar alternatif enerji alanında faaliyet gösteren özel sektör kuruluşlarında istihdam edilebilmektedir (Erzincan Üniversitesi, 2019; Hacettepe Üniversitesi, 2019).

Sonuç

Ülkemizde alternatif enerji alanındaki ara eleman ihtiyacının karşılanmasında önemli bir rol oynayan alternatif enerji kaynakları teknolojisi programlarının sayısı her geçen gün artmaktadır. Programın yurt genelindeki dağılımı farklı bölgelerdeki öğrencilerin kolaylıkla bu programı tercih etmesine imkân sunmaktadır. Program içeriğindeki teorik ve uygulamalı derslerin yanı sıra staj imkânı, öğrencilerin mezuniyet sonrası sektöre uyum sağlamasına ve nitelikli bir tekniker olarak yetişmesine destek olmaktadır. Mezuniyet sonrası öğrenciler için alternatif enerji kaynakları ve enerji ile ilgili farklı sektörlerde istihdam olanağı bulunmaktadır. Ayrıca, öğrenciler mezuniyet sonrası 4 yıllık fakültele ve açıköğretim bölümlerine geçiş imkânı bularak eğitimlerine devam edebilmektedir.

Alternatif enerji kaynaklarının elde edilme sürecindeki karmaşık yapı ve ülkemizin alternatif enerji alanında geleceğe yönelik belirlediği hedeflerin sürdürülebilirliği bu alanda nitelikli eleman yetiştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, alternatif enerji kaynakları teknolojisi programlarında verilen eğitimlerin, uluslararası örnek programlar incelenerek ARGE temelli bir yaklaşımla sürekli güncellenmesi ve üniversite aday öğrencilerde bu alana yönelik farkındalık geliştirilmesi, sektörün ihtiyaç duyduğu nitelikli ara eleman ihtiyacı bakımından önem arz etmektedir.

Kaynaklar

Ağpak, F., & Özçiçek, Ö. (2018). Bir istihdam politikası aracı olarak yenilenebilir enerji. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 11(2), 112-128.

Akyüz, A. Ö., Kumaş, K., Temiz, D., Yoldaş, F., & İnan, O. (2018). Türkiye'de alternatif enerji kaynakları için mesleki eğitim veren kuruluşlar ve durumları. *Mesleki Bilimler Dergisi (MBD)*, 7(2), 153-159.

Aykaç, N. (2002). Türkiye'de ve bazı Avrupa Birliği ülkelerinde mesleki teknik eğitim (Almanya, Fransa, İsviçre, İspanya, Yunanistan Örneği). *Milli Eğitim Dergisi*, Sayı no: 155-156.

Baykan, B. G. (2017). İşini güneşe dön projesi. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Sektörel Araştırma Raporu.

Dalton G. J., & Lewis T. (2011). Metrics for measuring job creation by renewable energy technologies, using Ireland as a case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(4), 2123-2133.

Erdal, L. (2012). Türkiye’de yenilenebilir enerji yatırımları ve istihdam yaratma potansiyeli. *Sosyal ve Beşeri Bilimler Dergisi*, 4(1), 171-181.

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi. (2019). Mezunlarının istihdam profili. <http://derspaketleri.erkincan.edu.tr/getProgram.aspx?mod=0&program=129&Adi=System.Xml.XmlElement> adresinden erişilmiştir.

Hacettepe Üniversitesi. (2019). Mezunlarının mesleki profili. http://akts.hacettepe.edu.tr/program_detay.php?birim_ref=AKDBRM_0000000000000000000000197&birim_kod=643&prg_oid=PRGRAM_00000000000000000000009&prg_kod=643&programduzey=1&submenuheader=2 adresinden erişilmiştir.

Meyer, I., & Sommer, M.W. (2014). Employment Effects of Renewable Energy Supply A Meta Analysis. *WWFforEurope Policy Paper*, 12, 1-34.

ÖSYM. (2019). Ön lisans mezuniyet alanlarına göre dikey geçiş yapılabilecek lisans programları. https://dokuman.osym.gov.tr/pdfdokuman/2018/DGS/TERCIH/TABLO2_06092018.pdf adresinden erişilmiştir.

Özsoy, C. (2007). *Türkiye’de mesleki ve teknik eğitimin iktisadi kalkınmadaki yeri ve önemi*. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayınları, 1780.

Özsoy, C. E. (2015). Mesleki eğitim-istihdam ilişkisi: Türkiye’de mesleki eğitimin kalite ve kalitesi üzerine düşünceler. *Electronic Journal of Vocational Colleges*, 4. UMYOS Özel Sayısı, 173-181.

Şahin, C., Karaçor, M., & Özbay, H. (2019). Yenilenebilir enerji kaynağı kurulum gücü minimize katsayısının belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 15, 404-411.

Şeker, A. (2016). Yenilenebilir enerji, Türkiyede yenilenebilir enerji potansiyeli ve yeşil pazarlama ve yenilenebilir enerjinin pazarlanması. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 9(46), 809-828.

Yılmaz, M. (2012). Türkiye’nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), 33-54.

YÖK Program Atlası. (2019). TYT puan türü ile öğrenci alan önlisans programları. <https://yokatlas.yok.gov.tr/tercih-sihirbazi-t3-tablo.php?p=tyt> adresinden erişilmiştir.