

FEN VE MATEMATİK BİLİMLERİ

Teori, Güncel Araştırmalar ve Yeni Eğilimler/2021



Editör

Prof. Dr. M. Çiğdem SAYIL

ISBN: 978-9940-46-068-6



Cetinje 2021

FEN VE MATEMATİK BİLİMLERİ

Teori, Güncel Araştırmalar ve Yeni Eğilimler/2021

Editör
Prof. Dr. M. Çiğdem SAYIL

Editör
Prof. Dr. M. Çiğdem SAYIL

Birinci Baskı / First Edition •© Mayıs / May 2021 /Cetinje-Montenegro

ISBN • 978-9940-46-068-6

© copyright All Rights Reserved

web: www.ivpe.me

Tel. +382 41 234 709

e-mail: office@ivpe.me



Cetinje, Montenegro

ÖN SÖZ

"FEN VE MATEMATİK BİLİMLERİ" Teori, Güncel Araştırmalar ve Yeni Eğilimler kitabı, doğa bilimleri ve matematik alanında çalışan akademisyenler ve araştırmacılar için güncel araştırmalara odaklanan disiplinler arası çalışmaları kapsamaktadır ve okuyucuları doğa bilimleri ve matematik alanlarındaki güncel konular hakkında bilgilendirmek için hazırlanmıştır. Kitapta fen ve matematik bilimleri alanlarında çalışan araştırmacılar güncel çalışmalarını ilgilenen okuyucular ile paylaşmaktadır. Böylece, bu kitapta yayınlanan akademik çalışmalardan daha fazla araştırmacı haberdar olacak ve gelecekteki çalışmaları için bazı yeni fikirlere sahip olacaklardır.

Seçilen bölümler alanlarında uzman hakemler tarafından değerlendirilip yayınlanmak üzere onaylanmıştır. Bu kitabın hazırlanmasına çalışmalarını sunan yazarlar, hiçbir karşılık beklemeden çok değerli katkılarda bulunmuşlardır. Yazarlara bu değerli katkılarından dolayı teşekkür ederim. Ayrıca, kitabın bilim dünyasına kazandırılmasında maddi ve manevi tüm imkânlarını kullanan IVPE Yayınevi'ne, değerli yöneticilerine ve kitabın düzenlenmesini büyük bir sabır ve ustalıklı gerçekleştirilen ekibe de teşekkür ediyorum.

Prof. Dr. M. Çiğdem SAYIL

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM I

Erol TERZİ & Şerife Burçin YAMAN

**RİSK ANALİZİNE İSTATİSTİKSEL YAKLAŞIMLAR VE BİR
SİGORTA ŞİRKETİ UYGULAMASI1**

BÖLÜM II

Gülsemin SAVAŞ TUNA & Gözde DUYU & Kardelen UZUN

**INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE
PLOIDY LEVEL AND THE AMOUNT OF THE PRODUCED
HYPERICIN IN *HYPERICUM PERFORATUM* L.25**

BÖLÜM III

Güzide ŞENEL

**FUZZY BITOPOLOGICAL SPACES GENERATED BY
FUZZY RELATION44**

BÖLÜM IV

İlknur KARS DURUKAN & Burcu ERTİT TAŞTAN

**BİYOMALZEMELER VE DENTAL
UYGULAMALARI48**

BÖLÜM V

Hakan ÖZTÜRK & Sermin ÖZTÜRK

**CERTAIN RESULTS FOR ALPHA COSYMPLECTIC
MANIFOLDS63**

BÖLÜM VI

Sevinç GÜLER & Çiğdem ORUÇ

**GÖZENEKLİ SİLİSYUM TABANLI YAPILAR ÜZERİNE 100-
600 nm ARALIĞINDA KAPLANAN Pd, Au, Ag, Cu
METALLERİNİN ELEKTRİKSEL PARAMETRELERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI78**

HAKEMLER

Prof. Dr. Metin Tuna, Namık Kemal Üniversitesi

Prof. Dr. Naim Çağman, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi

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

Doç. Dr. Tolga Zaman, Çankırı Karatekin Üniversitesi

BÖLÜM I

RİSK ANALİZİNE İSTATİSTİKSEL YAKLAŞIMLAR VE BİR SİGORTA ŞİRKETİ UYGULAMASI*

*Statistical Approaches to Risk Analysis and Application of An
Insurance Company*

Erol TERZİ

*(Doç.Dr.); Ondokuz Mayıs Üniversitesi, e-mail: eroltrz@omu.edu.tr,
Orcid no: 0000-0002-2309-827X*

Şerife Burçin YAMAN

*Ondokuz Mayıs Üniversitesi
e-mail: yburcin@hotmail.com*

1. Giriş

Günümüz dünyasında insanların yaşadıkları birçok farklı deneyim, karşılaşılan farklı olayların birer yansımasıdır. Bu olaylar sadece farklılıklarından dolayı bile incelemeye değerdir. Bu farklılıklar insanlığı ayrı noktalara taşısa da bir grup insan bu farklılıkların eğilimini oluşturmaya, yaşanacak farklı senaryolar karşısında takınılabilecek genel tavırlara ulaşma isteği ile istatistik bilimini oluşturmuşlardır. Tüm çıkış noktası yaşanan olaylar olan bu bilim, yaşanabilecek olaylar sonucunda meydana gelen kayıpların hesaplanmasını inceleyen aktüerya bilimi ile iç içedir.

Aktüerya; gelecekte meydana gelebilecek, belirsizlik veya risk içeren, özellikle sigorta ve emeklilikle ilgili olay ve süreçleri matematik, istatistik ve finans teorileri yardımıyla inceleyen disiplinler arası bir daldır. Sigortacılık matematiği olarak da tanımlanabilir. Aktüerya; doğum, ölüm, hastalık, sakatlık, emeklilik gibi insan yaşamını; yangın, kaza, deprem, sel,

* Bu çalışma Şerife Burçin YAMAN' ın Yüksek Lisans tezinden türetilmiştir.

hırsızlık gibi insanların mal varlığını etkileyen rastgeleliğe bağlı, ön görülmeyen olaylarla ve bu olayların finansal etkileriyle ilgilenir.

Gelecekteki riskleri belirleyerek fiyatları tespit eden ve yatırım stratejilerini oluşturan aktüerler, yatırım kârlılıklarını artırıp istihdam imkânları yaratarak çalıştıkları ülkelerin ekonomik büyümesine de katkı sağlarlar. Son yıllarda dünyada meydana gelen; özellikle ekonomik krizler, doğal afetler veya büyük riskler uzmanlarca analiz edilip, bunların ekonomik etkilerini hafifletecek güvenlik programları yapılmaktadır. Bu nedenle kurumların risklerinin tespit edilmesi ve bunların analizi hayati önem taşımaktadır. Aktüerler veya risk analizcileri genel olarak aşağıda belirtilen faaliyetleri yaparlar:

- Sigorta yapılan insan, mal, eşya vb. ortaya çıkan kayıp ve hasar miktarlarını hesaplar,
- Yangın, kaza ve ölüm gibi felaketlerin görülme sıklığına bakarak bunların gelecekte ortaya çıkabilme olasılığını hesaplar,
- Sonuçları tablo ve grafiklerle gösterir,
- Yedek kaynak ve kâr paylarını hesaplar,
- Sigorta şirketinin finansal raporlarını hazırlar.

Sigortacılık ve risk yönetimi ülkemizde hızla gelişmekte ve çeşitlenmektedir. Hayatta oluşabilecek tüm risklere karşı koruyucu ve telafi edici önlemlerin alınmasına yönelik ihtiyaçların belirlenmesi ve çeşitlenmesi, sosyal güvenlik kuruluşlarının sunmuş olduğu hizmetlere talebi artırmıştır. Buna paralel olarak bu alanda geniş bir istihdam alanı oluşmuştur.

Aktüeryal veriler, insanların mal ve can kaybına neden olabilecek kazaların miktarı ve bu kazalardan oluşan hasarların miktarlarıdır. Bu hasar tutarlarının tespit edilmesinde istatistiksel analizlere dayalı birçok yöntem kullanılmaktadır (Başer, 2007). Bu yöntemleri kullanmadan önce hasar miktarlarının ve hasar tutarlarının doğru istatistiksel dağılımlarla modellenmesi gerekir. Sigorta şirketlerinin gerçekleşmesini beklediği risklere ait hasarları ödemede zorluk çekmemek için belirli karşılıklar tutması ve bunları finansal tablolara yansıtması gerekmektedir. Bu noktada oluşabilecek büyük hatalar şirketleri iflasa sürükleyebilir. Bu nedenle, problemi genellikle istatistiksel yöntemler ile ele alan aktüerya, literatürde hasar tutarlarının tahmini klasik bir konu halini almıştır.

Ayrıca hasar sayılarının da modellenmesi gerekir. Hasar sayısının modellenmesi, sigortacılıkta poliçe priminin hesaplanması için gereklidir. Poliçe risk primi hasar sayılarının koşullu beklenen değerinin elde edilmesi ve bu değer beklenen hasar tutarı ile aktüeryal denge göz önünde bulundurularak birleştirilmesi ile hesaplanır. Prim hesaplamasında hasar

sayıları için kullanılan modelin doğru ve değişken risk faktörlerine duyarlı olması, fiyatlandırmanın iyi yapılabilmesinde önemli rol oynar (Tüzel ve Sucu, 2012).

Gelecekteki gelişmeler ve eğilimler için istatistiksel çalışmalarla birlikte olası sonuçlar için ileriki dönemleri öngörecektahminler hasar dağılımlarına dayanılarak yapılabilmektedir. Günümüzde kullanılan dağılımlar üzerine Weibull (1939, 1951), Epstein ve Sobel (1953)' in önemli etkileri olmuştur. Weibull(1939), materyallerin yaşam süresinin açıklanması için weibull dağılımı olarak adlandırılan dağılımı öngörmüştür. Daniel (1945), iplik mukavemeti ile ilgili çalışmasında normal dağılımı kullanmıştır. Epstein (1948), hasarların büyüklüğü konulu çalışmasında log-normal dağılım fonksiyonunu ve uç değer teorisinin ilgili konularını çalışmıştır. Davis (1952), hata dağılımları için hata verileri ve uyum iyiliği testlerini analiz etmiştir. Kao (1958), yaptığı çalışmalarda weibull dağılımına önem vermiştir. Buehler (1957), füze ürünlerinin güvenilirliğini hesaplamak için binom dağılımını kullanmıştır. Herd (1959), çeşitli dağılımların uygulamalarını, yoğunluk fonksiyonlarını, varyans, ortalama ve hata oranlarını özetlemiştir. Cox (1960), gamma olasılık dağılımına sahip T rastgele değişkeni yaşam süresi ise yedek bileşen sayısının Laplace dönüşümü kullanmadan hesaplanabileceğini göstermiştir. Vaupel'in (1976) çalışmasında hayat tablolarının oluşturulmasında kullanılan hassasiyet etkisi teriminin gamma dağılımına uyulduğu varsayılarak modelleme yapılmıştır. Palm ve Vlaar (1997) ve Bollerslev (1992) kalın kuyruk dağılımını kullanarak oluşturdukları modelleriyle yaptıkları çalışmalarda bu modellerin normal dağılım varsayımıyla işleyen modellerden daha iyi öngörü performansına sahip olduklarını göstermiştir. Ambagaspitiya (1999), bağımlı hasar sayıları için toplam hasar miktarı modelleri geliştirmiştir. Brazauskas ve Kleefeld (2009), yaptıkları çalışmada Danimarka sigorta verilerine Genelleştirilmiş Pareto dağılımını uygulamışlardır. Craig ve Beech (2010) aktüeryal risk verilerinin güçlü ve zayıf yönlerini özetlemişlerdir. Bulut ve Erdemir (2011), hasar tutarlarının kalın kuyruklu dağılım yapısına uyup uymadığını araştırmıştır. Tüzel ve Sucu (2012), hasar sayılarının modellenmesi amacıyla sıfır yığılmalı regresyon modellerinin kullanımı araştırmış ve sıfır yığılmalı regresyon modellerinin klasik sayı modellerine tercih edilmesi gerektiğini göstermiştir. Brunette ve arkadaşları (2015), doğal afetler için aktüeryal sigorta modeli önermişlerdir.

Bu çalışmada aktüeryal veriler için, yani hasar sayısı ve hasar tutarları için uygun istatistiksel dağılımlar incelenmiştir. Özel sigorta şirketinden alınan çimento sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın 2010-2014 yılları arasındaki mühendislik branşındaki hasarları veri olarak kullanılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Sigorta

Sigorta; aynı türden tehlikeyle karşı karşıya olan kişilerin, belirli bir miktar para ödemesi yoluyla toplanan tutarın, sadece o tehlikenin gerçekleşmesi sonucu fiilen zarara uğrayanların zararlarını karşılamada kullanılan, bir risk transfer sistemidir. Bu sistem sayesinde kişiler, karşı karşıya buldukları tehlikelerin neden olabileceği, parayla ölçülebilen zararlarını, nispeten küçük miktarlarda ödemiş oldukları primler yoluyla karşılamaktadırlar (Yalçın, 2010).

Sigortacı, sigorta sözleşmesi ile sigortalının hayatında meydana gelen belli olaylar üzerinde ödemede bulunmayı garanti eder. Sigorta sözleşmesine poliçe denir. Poliçeyi diğer sözleşmelerden ayıran en önemli özellik sigortacının edim yükümlülüğünün gelecekte belirli olmayan olgulara bağlı olması yani tesadüfi olarak ortaya çıkmasıdır.

Sigortacının hasara ilişkin olarak ödemek zorunda olduğu miktara hasar miktarı denir. Hasar miktarını oluşturan ödemeler ise, hasar ödemeleri olarak bilinmektedir. Meydana gelmiş ve sigorta şirketine bildirilmiş bir hasara ilişkin olarak ileride ödenmesi muhtemel, ancak henüz tasfiye yapılmamış yaklaşık hasar miktarı ise muallak hasarı ifade etmektedir. Sigorta şirketleri, her mali yılın sonunda, muallak hasarları toplamı üzerinden belirli yöntemlerle karşılık miktarı belirlerler (Demir Ay ve Büyükyazıcı, 2011).

2.2. Türkiye’de Sigortacılık

Türkiye’de sigortacılık faaliyetleri, özellikle teknolojik gelişmelerle beraber artan öneme sahip olmaktadır. Sigorta şirketleri Hazine ve Dış Ticaret Müsteşarlığı’na bağlanarak mali yapının bir parçası haline getirilmiştir. 1999 depremini takiben 2000 yılında meskenler için zorunlu hale getirilen deprem sigortalarını yürütmek üzere tesis edilen Doğal Afet Sigortaları Kurumu (DASK) yönetimi Milli Reasürans T.Ş.A.’ya verilmiştir. 2003 yılında bireysel emeklilik sistemi faaliyete geçmiştir. 14 Haziran 2005’te Tarım Sigortaları Kanunu çıkarılmış ve Sigorta Havuzu (TARSİM) kurulmuştur. Sigorta Bilgi Merkezi ve bu merkeze ait alt merkezler olan Trafik Sigortaları Merkezi (TRAMER), Sağlık Sigortası Bilgi Merkezi (SAGMER), Hayat Sigortası Bilgi Merkezi (HAYMER) ve Sigorta Hasar Takip Merkezi (HATMER) kurulmuştur.

2.3. Reasürans

Sigorta edilmiş riskin, belli bir kısmının veya tamamının yeniden sigorta edilmesidir. Sigorta şirketleri, teminat verdikleri rizikolarda büyük hasarların aynı zamanda gelme ihtimaline karşı, hasar ödemelerinde

zorlanmamak için reasürans (mükerrer sigorta) yaptırır. Reasürans, sigorta şirketlerine, tek başlarına yüklenmeleri, kendi sermayeleri, ihtiyatları, öz varlıkları bakımından kısaca mali yönden mümkün olmayan riskleri, sigortalayabilme imkânı verir. Bir takım mali ölçüler esas alınarak branş esasıyla tespit edilen saklama payları, sedan şirketin risk üzerindeki sorumluluk miktarını göstermekte, aşan kısımlar ise çeşitli reasürans anlaşmalarıyla, reasürans şirketlerine devredilmektedir. Reasürans işlemlerinde riski bu şekilde devreden şirkete sedan, devir alan şirkete reasürör denir. Sedan şirket, sigortalıdan toplamış olduğu primlerin ve sigortalıya ödemiş olduğu hasarların belli bir kısmını, değişik tekniklere göre yapılmış reasürans anlaşmalarıyla reasürans şirketine yansıtır. Türkiye’de Milli Reasürans adında bir reasürans şirketi faaliyet göstermektedir (Türkiye Sigorta Birliği, 2014).

2.4. Aktüerya’ da Risk Çeşitleri

2.4.1 Riskin Tanımı ve Risk Kaynakları

Risk varlıkların değerinde meydana gelebilecek kayıp tehlikesi ya da her tür ekonomik faaliyetin olduğu işletmenin planlanan faaliyetlerini tehdit eden tehlike olarak tanımlanır. Sigortacılıkta risk, gerçekleşmesi mutlak olmayan, sigortacı ve sigortalının iradesi dışında ileride meydana gelebilecek bir olaydır (Yılmaz, 2009). Risk bir zararın gerçekleşme olasılığı ve zarar miktarı üzerinde önemli rol oynar. Bu nedenden dolayı bazı sigortalananabilir menfaatler rizikolu olarak tanımlanır (Yılmaz, 2009). Riskin sosyal, fiziki, ekonomik gibi çeşitli kaynakları vardır (Gültekin, 2010).

2.4.1.1 Fiziki Risk Kaynakları

Günlük hayattaki mevcut risklerin büyük çoğunluğu fiziksel ortamlardan kaynaklanmaktadır. Bunlar; dolu, rüzgâr, sel gibi hava hareketleri; yangın, erezyon ve deprem gibi afetler olarak sayılabilir (Gültekin, 2010).

2.4.1.2 Sosyal Risk Kaynakları

Kişilerin davranışları sosyal risk kaynaklarını oluşturur. Hırsızlık, kundakçılık, kişi hatalarına bağlı oluşan kazalar kişilerin davranışları ile oluşur.

2.4.1.3 Ekonomik Risk Kaynakları

Üretim ve piyasa düzeninde karşılaşılan mevsimlik ve politik dalgalanmaların yol açtığı kriz ortamları, işletmelerde önemli kayıplara neden olmaktadır.

2.4.2 Riskin Oluşma Olasılığı

Riskin oluşma olasılığı, riskin büyüklüğünü belirleyen bir faktördür. Bu olasılık konuyla ilgili geçmiş verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesiyle tahmin edilir. Riskin oluşma olasılığının ve oluşması halinde sonuca etkisinin değerlendirilmesi ile riskin büyüklüğü belirlenebilir (Gültekin, 2010).

Bazı risklerin oluşma olasılığı çok düşük olsa da neden olacağı sonuçlar çok tehlikeli ise yüksek risk düzeyi olarak kabul edilmelidir. Risk düzeylerinin doğru belirlenmesi önemlidir. Aşağıdaki çizelge 2.1'de risk düzeylerini görebilirsiniz.

Çizelge 2.1. Risk Düzeyleri

	Olasılık	Etkisi	Risk Düzeyi
1	Düşük	Etkisi az	Düşük risk
2	Yüksek	Etkisi Fazla	Yüksek risk
3	Yüksek	Etkisi az	Düşük risk
4	Düşük	Etkisi fazla	Yüksek risk
5	Orta	Etkisi orta	Orta Risk

Oluşma olasılığı çok düşük olmasına karşın oluşması durumunda ölümcül tehlikelere yol açacaksa, riskin şiddetinin ne olacağına karar vermek için çoğunlukla matematiksel modeller ve olasılık dağılımları model olarak kullanılmaktadır.

2.4.3 Riskin Sınıflandırılması

2.4.3.1 Ticari Riskler-Rastlantısal Riskler

Ticari risklerin gerçekleşmesi sonucunda ortaya ticari zarar çıkar. Bu zarar tamamıyla işletme tarafından yüklenilir. Örneğin; fabrika kurmak için uygun bir yer aranması aşamasında, ülkenin belirli bir bölgesinde ağır sanayi kompleksi olduğu ve demiryolu idaresinin anlaşmalı olarak anayoldan buraya bir hat çektiğini gören yönetimin buraya tesis kurmak üzere planı onayladığı ve bu ucuz arazide demiryolunu kullanmak şartı ile fabrika kurduğunu düşünelim. 4 yıl sonra her şey son derece iyi giderken ağır sanayi kompleksinin kapanması, demiryolu hattının da iptal etmesi neticesinde fabrikanın konumu maliyetlerin artması nedeniyle ekonomik olmaktan çıkar. Bu bir ticari risktir (Gültekin, 2010).

Rastlantısal riskler; Doğal nedenlerden ya da işletmenin etkinlikleriyle doğrudan ilgili olmayan nedenlerden kaynaklanan risklerdir. Yangın, doğal afetler (deprem, sel, gibi), işçi-işveren uyumsuzlukları, yöneticinin ölümü, yük taşıyan bir kamyonun kazaya yapması, hırsızlık, vb. veya hastalık gibi riskler rastgele oluşur. Rastlantısal risklerin neden olduğu

kayıp ya da hasar, yönetimce belirli bir bedel karşılığında başka bir kuruma yani sigorta şirketlerine devredilebilir (Gültekin, 2010).

2.4.3.2 Dinamik Riskler-Statik Riskler

Dinamik riskler tüketici ihtiyaçlarındaki değişmelerle, teknolojideki ilerlemelerdir. Statik riskler, doğanın hareketleri ya da kişilerin yanlış davranışlarında kaynaklanır. Statik riskler genellikle toplumsal zararlara yol açarlar, belli sayıda insanı etkilerler ve daima rastlantısaldır.

2.4.3.3 Temel Riskler-Özel Riskler

Temel riskler, geniş kitleleri etkileyen risklerdir. Doğal afetler, halk hareketleri, terör ve savaşta gibi, gerçekleştiğinde toplumsal sorunlar doğururlar. Günümüzde ve dünyamızda enflasyon ve işsizlik de bu tür riskler içine girer. Özel riskler, bireysel nitelikler taşır. Kişilerin karşılaştığı sıradan kazalar, hırsızlık, salgın olmayan hastalık ya da ölüm gibi riskler bu gruba girer (Gültekin, 2010).

2.4.4 Riskin Belirlenmesi

Risk yönetiminde ilk olarak firmanın karşılaştığı riskleri belirlemek gerekir. Mal, sorumluluk ve personel kayıp alanlarını kapsayan tanımlama süreci sistematik ve sürekli bir faaliyettir. Belirlenemeyen riskin, azaltılması, ölçülmesi ve de transferi mümkün değildir. Çoğu durumda tespit edilemeyen risklerin tespit edilenlere kıyasla daha büyük oranlarda hasara yol açtıkları gözlemlenmektedir (Gültekin, 2010).

Potansiyel hasarları tespit edebilmek için hasar olasılığı doğurabilecek tüm tehlikeler hesaplanmalıdır. Hasar ve kayıp alanlarını aşağıdaki gibi sınıflamak mümkündür.

- Mal kayıpları,
- Dolaylı mal kayıpları ve net gelir kayıpları,
- Sorumluluk kayıpları.

3. AKTÜERYAL VERİLERE İSTATİSTİKSEL YAKLAŞIMLAR

Sigortacılıkta belirli bir zaman aralığında kaç adet hasar meydana geleceği ve bu hasarların büyüklüklerinin ne olacağını tahmin edilmesi çok önemlidir. Belirli bir zaman aralığında gerçekleşen hasar ya da kayıplara yapılan ödeme miktarlarının toplamı, toplam hasar miktarı olarak adlandırılır. Toplam hasar miktarının dağılımı, hasar sayısı ve hasar miktarının dağılımları temel alınarak hesaplanır. Belli zamanda gözlenen hasar sayısı kesikli olduğundan, hasar sayıları kesikli dağılımlardan biri kullanılarak modellenirken, hasar tutarı genellikle sürekli olduğundan

sürekli dağılımlardan biri kullanılarak modellenir. Mevcut veriler uygun formatta ve yeterli sayıda ise pek çok sorunun cevabı verilebilir.

Aktüeryal modellerde ödeme yapılmasına neden olan olayın ortaya çıkma olasılığı ödeme sıklığı ile ödeme tutarının büyüklüğü ayrı incelenir. Hasarın hangi sıklıkla gerçekleştiğinin ve gelecekte ne şekilde bir eğilim göstereceğinin belirlenmesi amacıyla risklerin gerçekleşme sıklığını ortaya koyan “sıklık modeli” oluşturulmaktadır (Gültekin, 2010). Sigortalanacak malın hasar sayısını (kesikli) modellemek amacıyla kullanılan bazı dağılımlar;

- Poisson Dağılımı,
- Binom Dağılımı,
- Negatif Binom Dağılımı

“Büyüklik modeli” birbirinden bağımsız ve aynı dağılımlı olan ve meydana gelme sıklığından bağımsız dağılma özelliği gösteren hasar miktarlarının sistematik bir şekilde ifade edilmesi olarak tanımlanabilir (Gültekin, 2010).

Risk priminin hesaplanabilmesi için hasar tutarları (hasar büyüklükleri) sürekli dağılımlarla modellenmelidir. Bu amaçla kullanılan bazı dağılımlar,

- Üstel Dağılımı,
- Lognormal Dağılımı,
- Gamma Dağılımı,
- Pareto Dağılımı,
- Weibull Dağılımı

Bireysel hasar büyüklüklerinin ve hasar sıklığının modellenmesinde kullanılabilecek dağılımların sigortalanan risklerin niteliğinden kaynaklanan kendine özgü bazı özellikleri taşımaları gerekmektedir (Gültekin, 2010).

3.1. Sıfır yığılmalı dağılımlar

Belirli bir dönemde yapılan gözlem sonucu elde edilen verinin sıfır değerinde aşırı yoğunluk göstererek poisson veya negatif binom dağılımlarına uygunluk varsayımı altında beklenen sıklıktan fazla olduğu durumlarda kullanılmak üzere sıfır yığılmalı dağılımlar geliştirilmiştir. Sıfır yığılmalı dağılımlar, tek değişken belirlenerek kullanılabileceği gibi, genelleştirilmiş doğrusal modellerin özel biçimi olarak çok sayıda açıklayıcı değişken ile de kullanılabilir (Tüzel, 2011).

Sıfır yığılmalı dağılım modellerinden biri olan sıfır yığılmalı Poisson modeli, otoyolların belirli bölümlerinde meydana gelen kaza sıklıklarının modellenmesinde kullanılmıştır (Tüzel, 2011).

Poisson, negatif binom ve genelleştirilmiş poisson modellerine benzer biçimde, sigortalıların bireysel özelliklerinin modele dahil edilmesi amacıyla sıfır yığılmalı regresyon modelleri elde edilmiştir. Negatif olmayan ve sıfır yığılmalı dağılım gösteren kesikli rastlantı değişkeni X_i olmak üzere; açıklayıcı değişkenlerin hem yapısal sıfır oranı olan ω için, hem de temel sayı dağılımı için kullanıldığı sıfır yığılmalı regresyon modelleri;

$$P_r(X_i = x_i) = \begin{cases} \omega_i + (1 - \omega_i)P_r(K_i = 0), & x_i = 0 \\ (1 - \omega_i)P_r(K_i = x_i), & x_i > 0 \end{cases} \quad (3.1)$$

Sıfır yığılmalı modellere ilişkin beklenen değer ve varyans sırasıyla,

$$E(X_i|x_i) = (1 - \omega_i)E(K) \quad (3.2)$$

$$V(X_i|x_i) = (1 - \omega_i)\{V(K) + \omega_i[E(K)]^2\} \quad (3.3)$$

ω_i : Yapısal sıfır oranı

eşitlikleri ile tanımlanır. Sıfır yığılmalı modellerden sıfır yığılmalı poisson, sıfır yığılmalı negatif binom modelleri birçok alanda kullanılmaktadır.

Sıfır yığılmalı Poisson modeline uyan hasar sayısı rastlantı değişkenine ilişkin olasılık fonksiyonu,

$$P_r(X_i = 0) = \omega_i + (1 - \omega_i)e^{-\mu_i} \quad (3.4)$$

$$P_r(X_i = x_i) = (1 - \omega_i) \frac{e^{-\mu_i} \mu_i^{x_i}}{x_i!} \quad (3.5)$$

$$i = 1, 2, \dots, n \quad , \quad x_i = 1, 2, 3, \dots \quad , \quad 0 < \omega_i < 1$$

Sıfır yığılmalı poisson dağılımında beklenen değer ve varyans,

$$E(X_i|x_i) = (1 - \omega_i)\mu_i ; V(X_i|x_i) = E(Y_i)(1 + \omega_i\mu_i) , i=1, \dots, n \quad (3.6)$$

biçimindedir.

Sıfır yığılmalı poisson modeli verinin sıfır değerindeki yığılmayı açıklayan bir modeldir. Sıfır değerinde aşırı yığılmanın gözlemlendiği hasar sayısı verisinin modellenmesi amacıyla sıfır yığılmalı poisson

modeline alternatif olarak sıfır yığılmalı negatif binom modeli geliştirilmiştir. Sıfır yığılmalı negatif binom modeline uyan hasar sayısı rastlantı değişkenine ait olasılık fonksiyonu,

$$P_r(X_i = 0) = \omega_i + (1 - \omega_i) \left(\frac{\alpha^{-1}}{\alpha^{-1} + \mu_i} \right)^{\alpha^{-1}} \quad (3.7)$$

$$P_r(X_i = x_i) = (1 - \omega_i) \frac{\Gamma(x_i + \alpha^{-1})}{\Gamma(x_i + 1) \Gamma(\alpha^{-1})} \left(\frac{\mu_i}{\alpha^{-1} + \mu_i} \right)^{x_i} \left(\frac{\alpha^{-1}}{\alpha^{-1} + \mu_i} \right)^{\alpha^{-1}} \quad (3.8)$$

$y_i = 1, 2, \dots$, $i = 1, 2, \dots, n$, $0 < \omega_i < 1$

eşitlikleri ile tanımlanır. α , negatif binom dağılımının yayılım parametresidir.

Sıfır yığılmalı negatif binom dağılımında beklenen değer ve varyans,

$$E(X_i | x_i) = (1 - \omega_i) \mu_i; V(X_i | x_i) = E(X_i)(1 + \alpha \mu_i + \omega_i \mu_i), \quad (3.9)$$

biçimindedir.

3.2. Log-Normal Dağılım

Bir değişkenin, logaritmik değerlerinin normal dağılması anlamına gelir. Geçmişte biyolojiden ekonomiye birçok alanda log-normal dağılım kullanılmıştır. Pozitif çarpık dağılım olması nedeniyle, aktüeryada hasar tutarı için kullanılan sürekli bir dağılımdır.

$y = \ln x$ tesadüfi değişkeni, μ ve σ parametrelili normal dağılıyor ise, x tesadüfi değişkeni μ ve σ parametrelili lognormal dağılır ve olasılık yoğunluk fonksiyonu,

$$f(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma} \right)^2 \right], 0 < x, -\infty < \mu < \infty, \sigma > 0 \quad (3.10)$$

şeklindedir.

Log-normal dağılım için beklenen değer ve varyansı aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanır. Dağılımın parametreleri şöyledir:

$$E(x) = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}} \quad (3.11)$$

$$V(x) = (e^{\sigma^2} - 1)e^{2\mu + \sigma^2} \quad (3.12)$$

3.3. Hasar Sayısı ve Miktarının Dağılımlarını Belirleme Adımları

Verilerin hangi dağılım kullanılarak modelleneceğine karar verirken izlenecek aşamalar aşağıdaki gibidir.

- Veriler ön bir inceleme ile modellenirken kullanılacak dağılıma karar verilir.
- Mevcut veriler kullanılarak dağılımın parametreleri tahmin edilir.
- Uyum iyiliği testleri ile kullanılan dağılımın verilere uygunluğu test edilir.
- Kullanılan dağılım uygun değilse başka dağılımların uyumu araştırılır.

Belirlenen dağılımların parametre tahmini için momentler yöntemi, En Çok Olabilirlik tahmini ve Bayes yöntemi kullanılır. Uyum iyiliği testi için Ki-Kare ve Kolmogrov-Simirnov uyum iyiliği testleri kullanılır.

3.3.1 Kolmogorov-Simirnov Testi

Kolmogorov-Smirnov testi rasgele elde edilmiş örnek bir verinin belirli bir dağılıma uyup uymadığını test etmek amacıyla kullanılır. Prensip olarak örnek verinin kümülatif dağılım fonksiyonunun öne sürülen kümülatif dağılım fonksiyonuyla karşılaştırılması esasına dayanır. Bu test yardımıyla bir örneklemden toplanan verilerin normal dağılım sergileyip sergilemediğini incelemek mümkündür.

Test İstatistik aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$D_n = \max|F_n(x) - F(x)| \quad (3.13)$$

Eğer D_n değeri kritik değerden küçükse varsayılan dağılım kabul edilir; aksi takdirde belirtilen anlamlılık düzeyinde reddedilir.

3.3.2 Log-Olabilirlik Oran Testi

Veri modellerinde modelin geçerliliğini birçok test ile sınamak mümkündür. Olabilirlik oranı (LR) testi, denklemin hangi model çerçevesinde tahmin edileceğini belirlemek için uygulanır (Gerni ve ark., 2012). LR test istatistiği hesaplanırken, klasik model ve tesadüfi etkiler modeli en çok olabilirlik yöntemi ile tahmin edilmekte ve her ikisinden elde edilen log-olabilirlik değerleri kullanılmaktadır. Test istatistiği aşağıdaki gibidir:

$$LR=2 [\text{Log}(kısıtlı) - \text{Log}(kısıtsız)] \quad (3.14)$$

(3.47) eşitliğindeki l (kısıtlı) klasik modele ait olabilirlik fonksiyonunu ve l (kısıtsız) ise tesadüfi etkiler modeline ait olabilirlik fonksiyonunu ifade etmektedir. LR test istatistiği, q (kısıtlama sayısı) serbestlik derceli x^2 dağılımına uymaktadır.

X_1, X_2, \dots, X_n örnekleme olasılık yoğunluk fonksiyonu $f(x/\theta)$ olan kitleden bir örneklem olan olmak üzere, θ 'nın olabirlik fonksiyonu (likelihood function);

$$L(\theta/X_1, \dots, X_n) = f(X_1, \dots, X_n/\theta) = \prod_{i=1}^n f(X_i/\theta) \quad (3.15)$$

şeklindedir.

Olabilirlik fonksiyonunun maksimize edilmesi yerine fonksiyonunun logaritması (log-likelihood) maksimize edilir. Bu fonksiyon;

$$\ln(L) = \log(L(\theta/X_1, \dots, X_n)) \quad (3.16)$$

θ : Dağılım parametresi

4. UYGULAMA

Çalışmanın bu bölümünde, teorik olarak anlatılan dağılımların uygulaması yapılacaktır. Uygulamadaki tablo ve grafiklerin oluşturulmasında SPSS, Excel ve Easyfit paket programlarından yararlanılmıştır. Easyfit paket programı Excel programının içine gömülü olarak çalışabilen mevcut verinin 55 farklı olasılık dağılımına uyum iyiliği testleri uygulayabilen verinin olasılık dağılımının tespit edilmesini sağlayan paket programıdır (Durmaz ve Yıldırım, 2014).

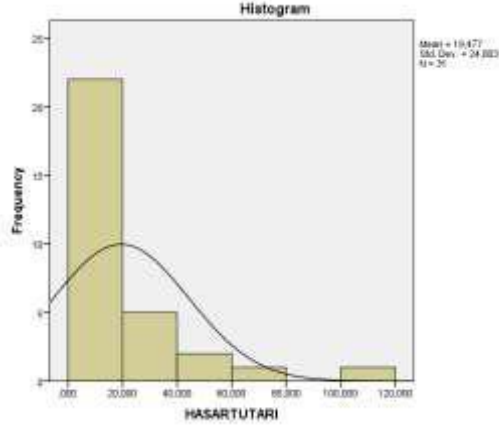
Çalışmada özel bir sigorta şirketinin, çimento sektöründe faaliyet gösteren müşterisinin 2010-2014 yılları arasındaki mühendislik branşında ki hasar tutarları veri olarak kullanılmıştır (Çizelge 4.1.).

Çizelge 4.1. Hasar Tutarları

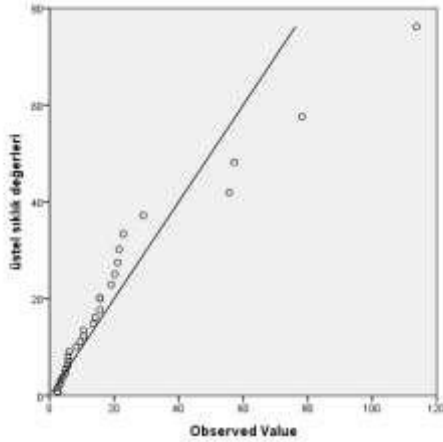
Tarih	Hasar tutarı TL	Tarih	Hasar tutarı TL
17.2.2012	8.182.65	10.8.2010	2.545.00
12.6.2012	113.704.35	24.7.2010	2.582.00
20.4.2012	55.678.28	25.9.2010	5.823.00
18.7.2012	3.277.72	10.6.2010	2.545.00
26.11.2012	21.085.94	6.9.2010	4.109.00
14.11.2012	19.129.72	17.1.2011	9.486.00
7.4.2013	21.570.04	29.3.2011	15.634.52
14.10.2013	29.029.79	16.2.2011	10.602.00

7.12.2013	13.507.00	31.5.2011	5.778.00
7.2.2013	3.376.00	21.6.2011	5.042.00
12.9.2013	14.100.13	16.9.2011	5.616.00
6.5.2014	15.660.66	9.11.2011	78.203.00
12.6.2014	57.264.86	10.11.2011	6.000.05
7.8.2014	20.236.94	30.1.2012	4.897.00
8.1.2014	10.605.23	11.1.2012	22.864.79
9.9.2014	15.660.66		

31 adet veri setinin en küçük değeri 2.545,00 TL, en yüksek değeri 113.704,35 TL dir. Ortalama hasar tutarı 19.477,03 TL'dir. Şekil 4.1.'e ve Şekil 4.2.'ye göre veriler sağa çarpık ve veri seti kalın kuyrukludur.



Şekil 4.1. Hasar Tutarlarının Histogram Grafiği



Şekil 4.2. Hasar Tutarlarının Üstel QQ grafiği

Yıllara göre toplam hasar sayıları ve toplam hasar tutarları çizelge 4.2.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Yıllara göre toplam hasar sayıları ve hasar tutarları

Yıl	Toplam Hasar Sayısı	Hasar Tutarı TL
2010	5	17.604,00
2011	8	136.361,57
2012	8	248.820,45
2013	5	81.582,96
2014	5	119.428,35

2011 ve 2012 yıllarına ait hasar sayıları diğer yıllara göre daha fazladır. Veriler 3 aylık hasar oluşma sıklığına göre sırasıyla 2010-2011 yılları birinci dönem, 2012-2013 yılları ikinci dönem, 2014 yılı üçüncü dönem olmak üzere 3 dönem halinde incelenmiş ve Çizelge 4.3' de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Üç dönem olarak hasar tutarları

Dönem	Tarih	Hasar Tutarı TL
1	10.8.2010	2.545,00
	24.7.2010	2.582,00
	25.9.2010	5.823,00
	10.6.2010	2.545,00
	6.9.2010	4.109,00
	17.1.2011	9.486,00
	29.3.2011	15.634,52
	16.2.2011	10.602,00
	31.5.2011	5.778,00
	21.6.2011	5.042,00
	16.9.2011	5.616,00
	9.11.2011	78.203,00
	10.11.2011	6.000,05
2	30.1.2012	4.897,00

	11.1.2012	22.864,79
	17.2.2012	8.182,65
	12.6.2012	113.704,35
	20.4.2012	55.678,28
	18.7.2012	3.277,72
	26.11.2012	21.085,94
	14.11.2012	19.129,72
	7.4.2013	21.570,04
	14.10.2013	29.029,79
	7.12.2013	13.507,00
	7.2.2013	3.376,00
	12.9.2013	14.100,13
3	6.5.2014	15.660,66
	12.6.2014	57.264,86
	7.8.2014	20.236,94
	8.1.2014	10.605,23
	9.9.2014	15.660,66

1. dönem hasar sıklığı Çizelge 4.4.'de, 2. dönem hasar sıklığı çizelge 4.6.' da ve 3. dönem hasar sıklığı çizelge 4.8.'de verilmiştir.

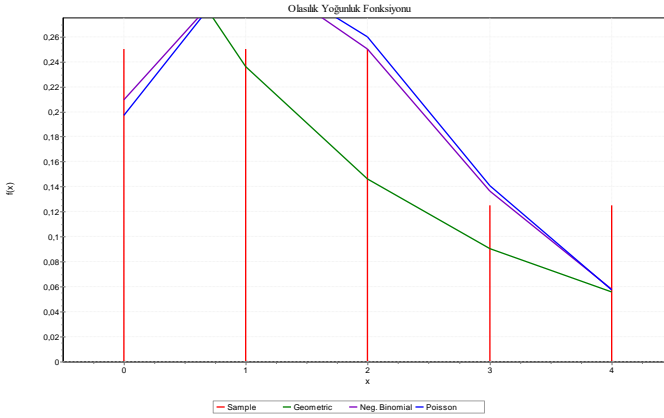
Çizelge 4.4. 1. dönem için 3 aylık Hasar Sayısı

1.Dönem	Hasar sayısı
Ocak-Şubat-Mart 2010	0
Nisan-Mayıs-Haziran 2010	1
Temmuz-Ağustos-Eylül 2010	4
Ekim -Kasım-Aralık 2010	0
Ocak-Şubat-Mart 2011	3
Nisan-Mayıs-Haziran 2011	2
Temmuz-Ağustos-Eylül 2011	1
Ekim -Kasım-Aralık 2011	2

$\alpha = 0,05$ önem seviyesinde 1. dönem için hasar sayısı için uygun olan dağılımlar Kolmogorov-Simirnov testiyle ölçülmüştür ve Çizelge 4.5' de verilmiştir.

Çizelge 4.5. 1. dönem hasar sayısı için incelenen dağılımlar ve parametreler

Dağılımlar	P değeri	$\alpha=0,05$	Parametreler
Geometrik	0,149	Kabul	$p=0,380$
Poisson	0,488	Kabul	$\lambda=1,62$
Negatif Binom	0,490	Kabul	$n= 24$ $p=0,93$



Şekil 4.3. 1.dönem hasar sayısına uygun dağılımların olasılık fonksiyon grafiği

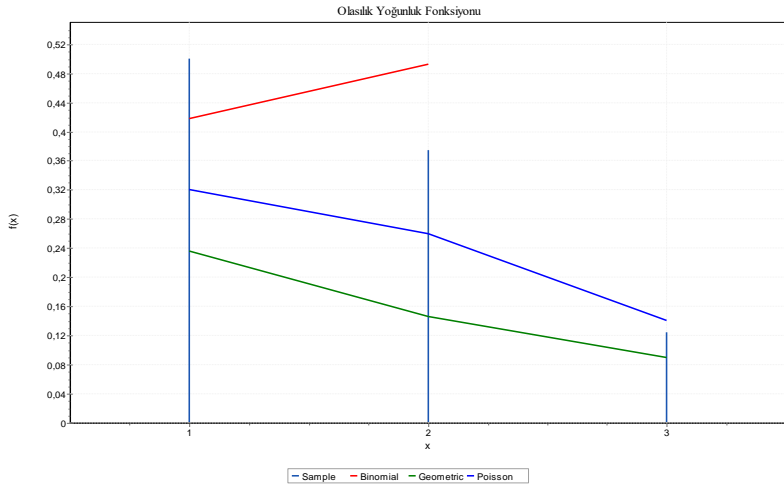
Çizelge 4.6. 2. dönem için 3 aylık hasar sayısı

2.Dönem	Hasar Sayısı
Ocak-Şubat-Mart 2012	3
Nisan-Mayıs-Haziran 2012	2
Temmuz-Ağustos-Eylül 2012	1
Ekim -Kasım-Aralık 2013	2
Ocak-Şubat-Mart 2013	1
Nisan-Mayıs-Haziran 2013	1
Temmuz-Ağustos-Eylül 2013	1
Ekim -Kasım-Aralık 2013	2

$\alpha = 0,05$ için 2.dönem hasar sayısı uygun dağılımlar Kolmogorov-Simironov testiyle ölçülmüş ve Çizelge 4.7' de verilmiştir.

Çizelge 4.7. 2. dönem hasar sayısı için incelenen dağılımlar

Dağılımlar	P değeri	$\alpha=0,05$	Parametreler
Binom	0,454	Kabul	$p=0,75$
Geometrik	0,075	Kabul	$p=0,33$
Poisson	0,077	Kabul	$\lambda=1,62$



Şekil 4.4. 2. dönem hasar sayısına uygun dağılımların grafiği

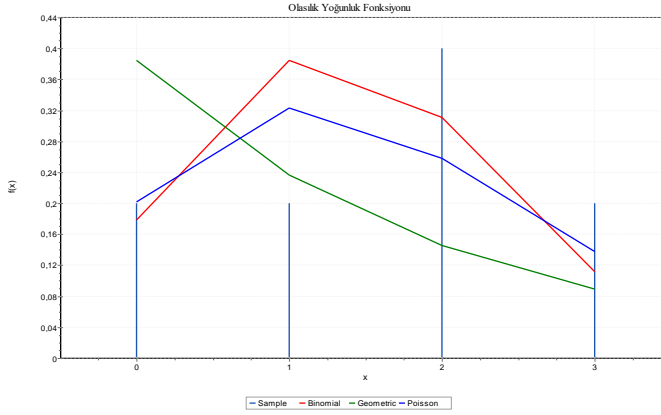
Çizelge 4.8. Üçüncü dönem için 3 aylık hasar sayısı

3.Dönem	Hasar Sayısı
Ocak-Şubat-Mart 2014	3
Nisan-Mayıs-Haziran 2014	2
Temmuz-Ağustos-Eylül 2014	1
Ekim -Kasım-Aralık 2014	2

$\alpha = 0,05$ önem seviyesinde üçüncü dönem için hasar sayısı için uygun olan dağılımlar Kolmogorov-Simironov testiyle ölçülmüştür ve Çizelge 4.9' de verilmiştir.

Çizelge 4.9. 3.dönem hasar sayısı için incelenen dağılımlar

Dağılımlar	P değeri	$\alpha=0,05$	Parametreler
Binom	0,151	Kabul	$p=0,35$
Geometrik	0,255	Kabul	$p=0,33$
Poisson	0,356	Kabul	$\lambda=1,25$



Şekil 4.5. 3. dönem hasar sayına uygun dağılımların grafiği

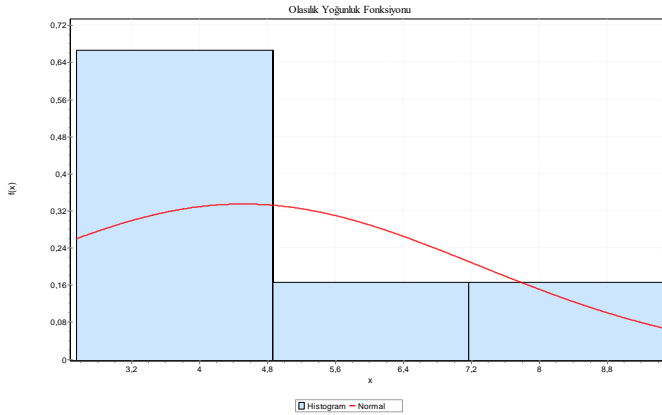
Çizelge 4.10. 1. dönem hasar tutarları

Dönem	Tarih	Hasar Tutarı TL
1	10.8.2010	2.545,00
	24.7.2010	2.582,00
	25.9.2010	5.823,00
	10.6.2010	2.545,00
	6.9.2010	4.109,00
	17.1.2011	9.486,00
	29.3.2011	15.634,52
	16.2.2011	10.602,00
	31.5.2011	5.778,00
	21.6.2011	5.042,00
	16.9.2011	5.616,00
	9.11.2011	78.203,00
	10.11.2011	6.000,05

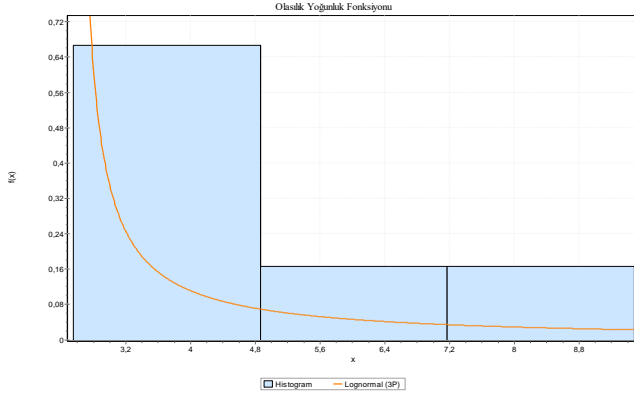
1. dönem hasar tutarı dağılımının sürekli dağılımlara uygunluğu easyfit paket programında Kolmogorov-Smirnov testi ile incelenmiştir. $\alpha=0,05$ anlam düzeyinde Normal, Log-normal, Üstel, Gamma, Weibull, Pareto dağılımlarına uyduğu görülmüş ve Çizelge 4.11’ de verilmiştir.

Çizelge 4.11. 1. dönem hasar tutarı için uygun dağılımlar

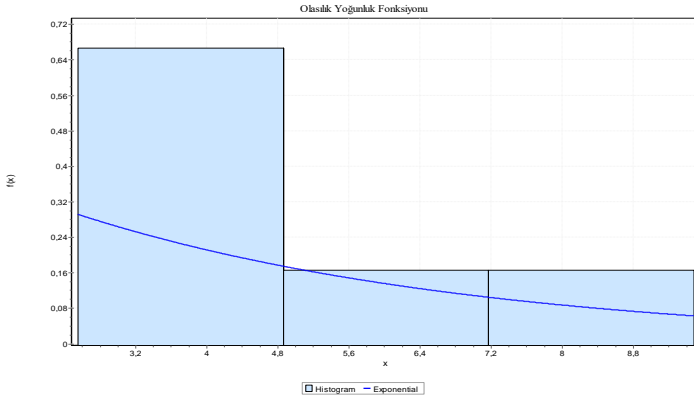
Dağılımlar	P değeri	$\alpha=0,05$	Parametreler
Normal	0,735	Kabul	$\sigma=2,75$ $\mu=4,51$
Log-normal	0,298	Kabul	$\sigma=5,73$ $\mu=0,06$
Üstel	0,157	Kabul	$\theta=0,221$
Gamma	0,727	Kabul	$\alpha=2,67$ $\beta=1,68$
Weibull	0,507	Kabul	$\alpha=1,99$ $\beta=4,17$
Pareto	0,100	Kabul	$\alpha=2,27$ $\beta=2,54$



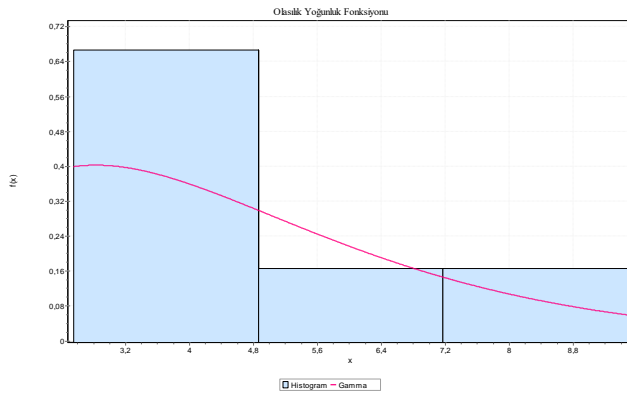
Şekil 4.6. 1. dönem hasar tutarı normal dağılım grafiği



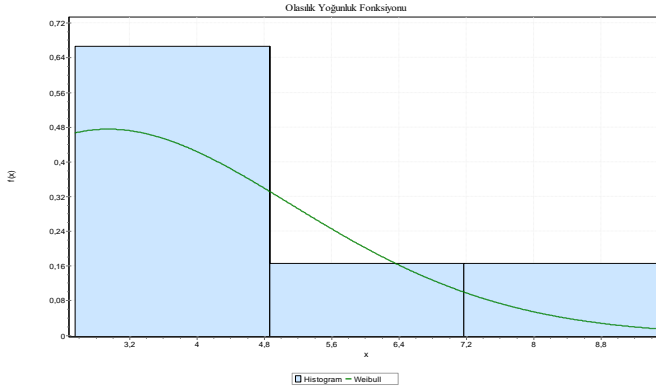
Şekil 4.7. 1. dönem hasar tutarı Log-normal dağılım grafiği



Şekil 4.8. 1. dönem hasar tutarı üstel dağılım olasılık yoğunluk grafiği



Şekil 4.9. 1. dönem hasar tutarı gamma dağılımı olasılık yoğunluk grafiği



Şekil 4.10. 1. dönem hasar tutarı weibull dağılımı olasılık yoğunluk grafiği

Benzer şekilde 2. ve 3. Dönemler için de hasar sıklığının modellenmesi incelenebilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllarda hayatın her alanında yaşanan hızlı değişimlerle beraber, kurumlar da risklere karşı ekonomik olarak kendilerini güvende hissedecek sigorta sistemlerine öncelik vermektedirler. Bu nedenle kurumların risk analizi ve güvenlik programlarının oluşturulması kaçınılmaz olmuştur. Aktüeryal uygulamalarda öncelikle hasar modellemesi yapılmalıdır. Bunun için hasar sayısı ve hasar tutarlarının ayrı ayrı dağılımı incelenir. Belirli bir zaman aralığında meydana gelen hasar sayısı kesikli dağılımlar ile modellenirken, parasal bir büyüklüğü ifade eden hasar miktarı sürekli dağılımlar ile modellenir.

Bu çalışmada aktüeryal verilere uygun olabilecek istatistiksel dağılımlar incelenmiş ve verilerin modellenmesi yapılmıştır. Modelleme yardımıyla gelecek yıllarda oluşabilecek risklere karşı alınacak güvenlik tedbirleri ve sigorta prim miktarlarının hesaplaması daha kolay olabilecektir.

Uygulamada, özel bir sigorta şirketinden alınan mühendislik branşındaki hasar sayıları ve hasar miktarları veri olarak kullanılmıştır. 2010-2014 yılları arasındaki hasar sayısının Poisson, Binom, Geometrik, Negatif Binom; hasar miktarının ise Normal, Log-normal, Üstel, Gamma, Weibull ve Pareto dağılımlarına uyduğu gözlemlenmiştir. Buna göre gelecek yıllarda da hasar sayısı ve hasar miktarının benzer dağılım özellikleri göstereceği düşünülmektedir. Bu sayede toplam hasar dağılımının beklenen değeri ve varyansı bulunarak prim hesaplaması yapılabilir. Bu sayede şirketin önümüzdeki yıllarda sigorta primlerini

yaklaşık olarak tahmin edilmesi sağlanır. Büyük sigorta primleri ödeyen firmalar kendi risk modellerini kurarak prim hesaplarını yapmalıdırlar. Aksi halde fazla prim ödemeleri ile karşı karşıya kalırlar. Ayrıca her sigorta branşı için ayrı prim sistemleri geliştirmek için çalışmalar yapılabilir. Sigorta ve risk analizi; hayatın her alanında öngörülemez risklere ve bunların sebep olacağı ekonomik zararlara karşı yapılmalıdır. Herbir iş kolu için riskler tespit edilmeli ve uzmanlarca güvenlik programları oluşturulmalıdır.

KAYNAKLAR

- Ata, N., Karabey, U. Sigortacılık sektöründe yaşam çözümlemesi, birikimli hayat sigortaları ile ilgili bir uygulama, İstatistikçiler dergisi, 80-87, (2008).
- Akdeniz, F., Erdugan, F. Aktüerya matematiği ve yaşam analiz, Nobel Kitapevi, Adana, (2014).
- Ar-Ge Eğitim Müdürlüğü, Sigortacılık Temel Bilgileri, İstanbul, (1999).
- Brazauskas, V., Kleefeld A. Robust and efficient fitting of the generalized pareto distribution with actuarial applications in view, Mathematics and Economics, (2009).
- Brunette, M., Holec, J., Sedliak, M., Tucek, J., Hanewinkel, M. An actuarial model of forest insurance against multiple natural hazard in fir (Abies Alba Mill.) stands in Slovakia, Forest policy and economics, (2015).
- Buehler, R.J. Confidence intervals for the product of two binomial parameters, J.Amer. Stat., Assoc., vol.52, (1957).
- Craig, L., Beech, A. Towards a guide to best practice in conducting actuarial risk assessments with sex offenders, Aggression and violent behavior, (2010).
- Cox, D.R. On the number of renewals in a random interval, biometrika, vol.47, (1960).
- Çiftçi, İ. Basel II çerçevesinde operasyonel risk için sermaye ayarlaması, Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 214937, (2007).
- Daniels, H.E. The statistical theory of the strength of bundles of threads, Proc. Roy. Soc. London, vol.183, (1945).
- Davis, D.J. An analysis of some failure data, J.Amer. Stat., Assoc., vol.47, 113-150, (1952).

- Dündar, S. Fourier dönüşümü ve karakteristik fonksiyonu, D.E.Ü. İ.İ.B.F Dergisi, cilt 15, s.2, ss. 115-126, (2000).
- Epstein, B. Application of the theory of extreme values in fracture problems, J. Amer. Stat. Assoc., vol. 43, 403-412, (1948).
- Erdem, İ. Matematiksel istatistik problemler ve çözümleri, Seçkin Yayıncılık, Ankara, (2012).
- Esensoy, Ö. Pırıldak, M. Bağımlı riskler için toplam hasar miktarının dağılımı, İstatistikçiler dergisi, s.1, 68-79, (2008).
- Feyza, İ. Sağkalım analiz yöntemleri ve karaciğer nakli verileri ile bir uygulama, Yüksek lisans tezi, İnönü Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Biyoistatistik ve Tıp Bilimi Anabilim Dalı, (2013).
- Gültekin, Ö.C. Demir çelik sektöründe aktüeryal riskler, Yüksek lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2010).
- Herd, G.R. Some statistical concepts and techniques for reliability analysis and prediction, Proc. Nalt. Symp. Rel and Quality Ctrl., (1959).
- İrven, P., Yapar, G. Kollektif risk modellemesinde panjer yöntemi, D.E.Ü. İ.İ.B.F Dergisi, s.1, (2011).
- Kao, J.H.K. Computer methods for estimating weibull parameters in reliability studies, IRE, Trans, Rel, And. Quality Ctrl., 15-20, (1958).
- Palm, F., Vlaar, P.J.G. Simple diagnostics procedures for modeling financial time series, Allgemeines Statistic, Archiv, 81, (1997).
- Tüzel, S. Hasar sıklıkları için sıfır yığılmalı kesikli modeller, Yüksek lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Aktüerya Bilimleri Anabilim Dalı, (2011).
- Vaupel, J.W. The impact of heterogeneity in individual frailty on the dynamics of mortality, vol. 16, (1979).
- Yılmaz, C. Sigortacılıkta hasar karşılığı hesaplama yöntemleri ve aktüeryal zincirleme merdiven metodu Türkiye uygulaması, Yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi, Bankacılık ve Sigortacılık Enstitüsü, 253827, (2009).
- Wang, G. Aggregation of coreslated risk portfolio: Models and algorithms, Proceeding of the casualty actuarial society, (1998).
- Weibull, W. A statistical theory of the strength of materials, Ing. Vetenskaps Hansl., no. 151, 293-297, (1939).

BÖLÜM II

INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE PLOIDY LEVEL AND THE AMOUNT OF THE PRODUCED HYPERICIN IN *HYPERICUM PERFORATUM* L.

Gülsemin SAVAŞ TUNA

(Dr.); *Tekirdağ Anatolian High School, Tekirdağ, Turkey. glsvs@yahoo.com*

Orcid No: 0000-0003-2089-2790

Gözde DUYU

*Bahçeşehir University, Faculty of Medicine, Istanbul, Turkey.
gozdeduyu@gmail.com, Orcid No : 0000-0002-8172-6537*

Kardelen UZUN

*Mehmet Ali Aydınlar Acıbadem University, Medical Faculty, Istanbul, Turkey.
kardelenuzun59@hotmail.com, Orcid No: 0000-0002-9121-5634*

1. Introduction

Hypericum perforatum L., also known as “St. John's Wort”, is a perennial medicinal plant (Hobbs, 1989). The species, which comes from southern Europe in terms of origin, has spread over large areas on the Earth (Robson 1981; Qu et al., 2010). *H. perforatum*, which mostly loves temperate regions, also has natural habitats throughout Turkey (Davis 1988; Koch et al. 2013). Dried above-ground parts of *H. perforatum*, which is rich in bioactive components (Naphthodianthrones, flavonoids, phloroglucinols, antioxidants, tannins, coumarins, xanthenes, indoleamines), are used as food additives and medicinal preparation (Murch et al., 2000; Barnes et al., 2001; Kasper et al., 2010). The plant that shows antiviral, antimicrobial, anticancer, and cytotoxic activity thanks to these components is used in the treatment of diabetes, chronic rheumatism, respiratory and digestive system disorders, jaundice, antidepressant, wound healing, and cancer (Duke 1985, Schinazi et al., 1990; Agostinis et al., 2002; Patocka 2003; Silva et al., 2005; Gartner et al 2005; Barcaccia et al 2006). In particular, hypericin is effective in antiretroviral, anticancer and cytotoxic activity (Lavie et al., 1995; Schempp, 2002). Hypericin is known as a potent agent with great potential in photodynamic therapy (PDT) and photodynamic diagnosis (PDD) in cancer treatment (Kosuth et al., 2003; Jendželovská et al., 2016). Also, light-activated hypericin has in vitro fungicidal (Rezusta et al., 2012; Paz-Cristobal et al., 2014) and bactericidal properties (Kashef et al., 2013; García et al., 2015), and it is

accepted as an effective antiviral agent (Price et al., 2000). In addition, *H. perforatum*, which has a protective effect on the liver, is present in almost all drugs as a liver preservative (Çakmak and Bayram, 2013). Besides its medicinal properties, *H. perforatum* is used as a model plant in studies related to apomixis (Koch and Sharbel, 2011).

In studies conducted taking into account morphological, genetic, and geographical distribution, it is reported that *H. perforatum* is a hybrid of *H. maculatum* Crantz *subsp. maculatum* ($2n = 2x = 16$) and *H. attenuatum* Choisy (Robson, 2002). The species with $n = x = 8$ chromosomes have diploid, tetraploid, hexaploid individuals (Robson, 1968; Brutovska et al., 2000; Matzk et al., 2001). In the species that has the properties of creating intraspecific and interspecific hybrid [*(H. maculatum subsp. obtusiusculum* x *H. perforatum = H. x desetangsii* Lamotte nothosubsp. *desetangsii*, $2n=32, 40, 48$) (Robson, 1981)], triploid, pentaploid and high-level polyploid individuals are observed. Tetraploids and hexaploids are common in nature (Koch and Sharbel, 2011). In plants, the ploidy analysis is classically performed by counting mitotic chromosomes on preparations, prepared using root apical meristem tissues, under a light microscope. But the method requires a lot of time, labor force, and high rates of dividing cells. The genome size is quickly and precisely determined by the flow cytometry method, whose usage is rapidly increasing today, and the obtained data is used by many researchers to determine the level of ploidy (Lu et al., 1998; Johnson et al., 1998; Tuna et al., 2001, 2004; Savaş Tuna et al., 2017, 2019).

The genome size (nuclear DNA content) determined by the flow cytometry method is measured as a “C” value (Swift, 1950; Dolezel and Bartos 2005). In diploid genotypes, $2C$ DNA content is the DNA content whose nuclear DNA has not yet been replicated (G1 phase). In the histogram, it is expressed as the G1 peak. Genome sizes in diploid *H. perforatums* have been determined as $0.65 \text{ pg } 2C^{-1}$ (Koch and Sharbel, 2011) and $0.80 \text{ pg } 2C^{-1}$ (Savaş Tuna et al., 2017). It has been found in tetraploids as $1.56 \text{ pg } 2C^{-1}$ (Vidic et al., 2009), $1.30 \text{ pg } 2C^{-1}$ (Bennet and Leitch, 2010), $1.62 \text{ pg } 2C^{-1}$ (Temsch et al., 2010), $1.45\text{-}1.54 \text{ pg } 2C^{-1}$ (Alan et al., 2015), $1.58 \text{ pg } 2C^{-1}$ (Savaş Tuna et al., 2017), and in hexaploids as $2.22\text{-}2.24 \text{ pg } 2C^{-1}$ (Alan et al., 2015), and $2.38 \text{ pg } 2C^{-1}$ (Savaş Tuna et al., 2017).

In our previous study, genome sizes and ploidy levels of 39 *H. perforatum* samples collected from 23 different geographical areas of Turkey were determined by the flow cytometry method and it was investigated whether environmental conditions at the locations where plants were collected had any effect on genome size, the relationship

between height and genome size, and how changes in height affected genome size. The aim of this study, on the other hand, is to determine the relationship between the ploidy level of plants collected from the same location and the amount of the produced hypericin.

2. Materials and methods

2.1. Plant material

In this study, seeds of *H. perforatum* L. plants collected from Aliğa (Izmir - Turkey) were used as material.

2.2. Germination of seeds

Germination of *H. perforatum* seeds is problematic, and the seeds need some special treatments before planting. The procedure described by Çırak et al. (2004) was used in the germination of seeds. The seeds harvested from the plants were taken into a cheesecloth and dried after washing for 10 minutes under the running tap. Dried seeds were kept in 50 mg L⁻¹ GA (Gibberellic acid) in a lighted medium (30 minutes). Seeds were planted in multi-pods by using peat and they were not covered with peat so that seeds could receive light during the germination process. Irrigation was carried out thanks to trays placed under the multi-pods, and no water was given from the top. In the study conducted under uncontrolled greenhouse conditions (plastic greenhouse), daily care and control of plants were carried out.

2.3. Determination of the genome size

The genome size of the accessions was determined by the flow cytometry method. Suspensions of intact nuclei were prepared using commercial kits produced by Partec (Munster, Germany). Briefly, the procedure for the performed genome size analysis was as follows. Fresh leaf tissues of *H. perforatum* (20 mg) and a standard (*Vicia sativa* L., 3.65 pg 2C⁻¹, 40 mg) were simultaneously chopped in a petri dish with a 0.5 ml extraction buffer. The homogenized solution was transferred to a glass tube through a 30 µm filter, and then 2 ml of staining buffer (CyStain PI absolute P) was added to each tube. The samples were incubated at room temperature in the dark for at least 30 minutes before analysis by the flow cytometer method (Figure 1).

Ten seedlings were analyzed individually for each accession and 5000 nuclei were analyzed in each sample. Samples were run through a Partec CyFlow Space flow cytometer (Munster, Germany) and results were analyzed by the FloMax analysis software program specifically designed for this cytometer. The genome size of *H. perforatum* seedlings was calculated based on relative positions of the G1 peaks of the sample and

standard (Equation 1). Only results of samples that had a coefficient of variation (CV) less than 3% were used in the calculations.

$$2CDNAcontentofsample(pg) = \frac{SampleG1peakmean}{StandardG1peakmean} \times StandardDNAcontent(pg)$$



Fig. 1 Stages for the determination of genome sizes by the flow cytometry method

2.4. Associating of the genome size with ploidy of the accessions

The genome sizes of the accessions were associated with their ploidy by counting mitotic chromosomes of at least one seedling from each group. Root tips (1-1.5 cm) were harvested during the early morning from adult plants growing in the greenhouse and treated with cold water for about 20 hours before fixation in farmer solution (3:1 Ethanol: Glacial acetic acid). Preparations were prepared following the classic Feulgen procedure. Preparations were examined under a light microscope (Olympus BX51) and images of the cells with well-distributed mitotic chromosomes were taken using a CCD digital camera (Spot RT Slider) attached to the microscope.

2.5. Investigation of the relationship between the ploidy level and the amount of hypericin

For hypericin analysis, the procedure used by DAC 86 codex (DAC 1986) and Kaya (1998) was followed. Leaves that had approximately equal size were collected from plants with different ploidy levels and dried in a drying-oven (40 °C, 12 hours). Samples were taken from 10 different plants from each ploidy level. 1 gram from each of the leave samples that are powdered after drying was weighed and prepared for extraction. The prepared samples were first extracted with chloroform (500 ml) and then

methanol (500 ml) in the Soxhlet device. The resulting 500 ml extract was condensed to 100 ml using an evaporator. 10 ml was taken from the extract and transferred to 25 ml of volumetric flask, and then 15 ml of methanol was added. The prepared sample was read on the spectrophotometer (590 nm) and the process was repeated three times. The zero setting of the spectrophotometer was made with methanol. The amount of % hypericin (mg) was calculated based on the following formula (factor = 718) (Equation 2).

$$\%Hipericin(mg) = \frac{E.590}{718} \times \frac{1}{gsample/100ml} \times 100$$

2.6. Statistical analysis

To be able to determine whether the differences between the genome sizes of the accessions were statistically significant, analysis of variance and Duncan's significance tests were performed using the GLM (General Linear Model) procedure of the SAS software. The relationship between the hypericin percentage and the ploidy level was statistically examined in 3 steps. Whether the intergroup relationship created a noticeable difference was tested by box plot method. With the analysis of variance (ANOVA) method, whether there was a significant difference between the groups of plants categorized on the basis of different ploidy levels were examined, and Duncan's Multiple Range Test (DMRT) was also applied. The RStudio program (R version 3.3.2 (2016-10-31) "Sincere Pumpkin Patch") was used for statistical analyses.

3. Results and discussion

As a result of chromosome count and flow cytometry analysis, it was determined that mean genome sizes of diploid ($2n = 2x=16$), tetraploid ($2n = 4x =32$), and hexaploid ($2n = 6x= 48$) *H. perforatum* samples were $0.81 \text{ pg}2C^{-1}$, $1.57 \text{ pg}2C^{-1}$, and $2.51 \text{ pg}2C^{-1}$, respectively (Figures 2, 3, 4) (Table1). Analysis of variance was performed to determine whether the differences between the values of the genome sizes determined in the study were statistically significant. As a result of the analysis, it was found that the differences between the nuclear DNA content of the populations were statistically significant ($P < 0.01$). Since the obtained data is quite similar to previous studies, the results are supported by the literature (Koch and Sharbel 2011; Vidic et al. 2009; Bennet and Leitch, 2010; Temsch et al. 2010; Alan et al., 2015; Savaş Tuna et al., 2017). Small differences may have been caused by the use of different devices and techniques and different standards, by intraspecific variation (Dolezel and Bartos 2005), or by the change in the amount of secondary metabolites that plants can

contain depending on different development periods and seasons (Price et al. 2000; Noirod et al. 2005).

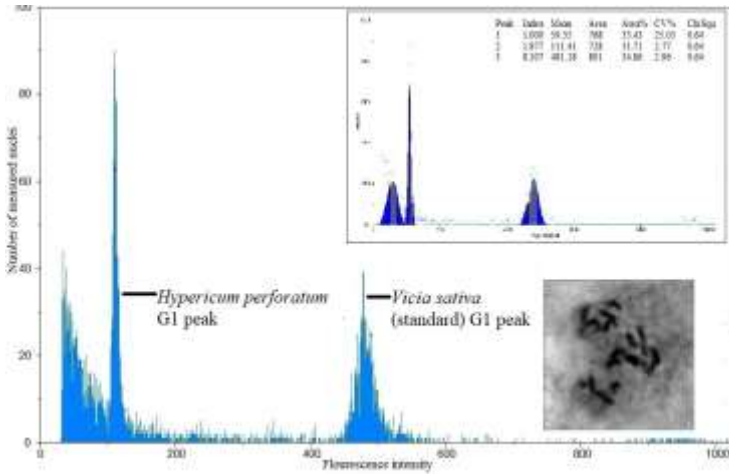


Fig. 2 Relative positions of the G1 peaks of diploid *H. perforatum* (İzm1a) and internal standard plant (*V. sativa* L.) and mitotic chromosomes of the accession (genome size: $0.83 \text{ pg}2\text{C}^{-1}$)

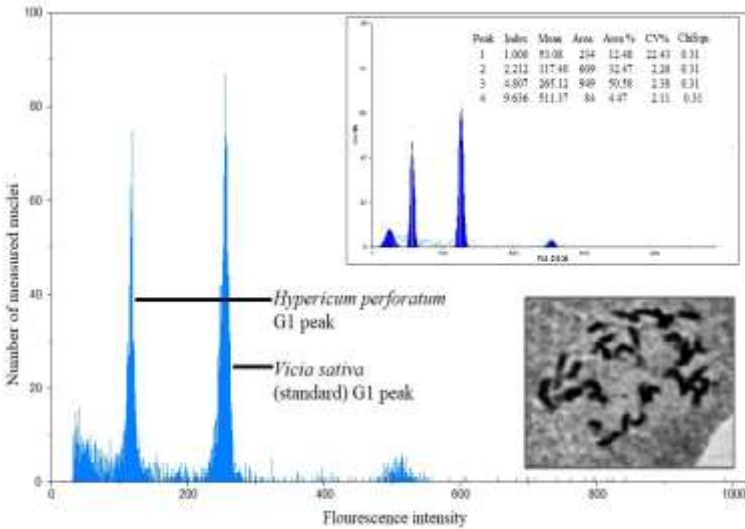


Fig. 3 Relative positions of the G1 peaks of tetraploid *H. perforatum* (İzm2) and internal standard plant (*V. sativa* L.) and mitotic chromosomes of the accession (genome size: $1.59 \text{ pg}2\text{C}^{-1}$)

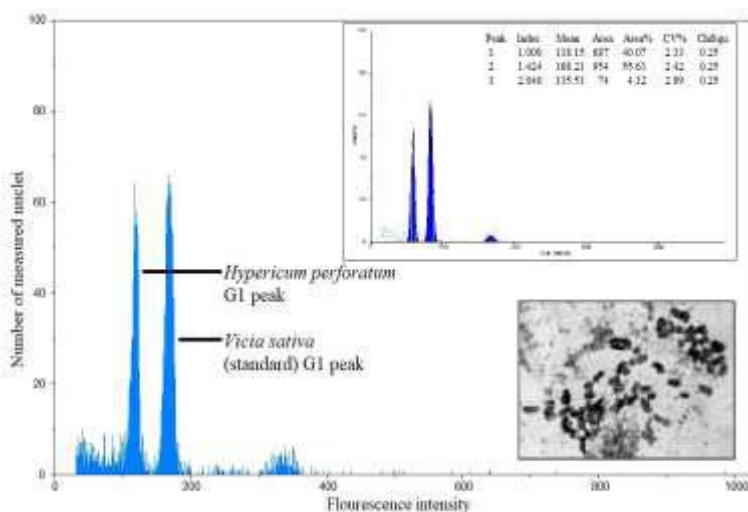


Fig. 4 Relative positions of the G1 peaks of hexaploid *H. perforatum* (İzm1b) and internal standard plant (*V. sativa* L.) and mitotic chromosomes of the accession (genome size: $2.52 \text{ pg} 2C^{-1}$)

Table 1 Accession code numbers, locations, ploidy levels, genome size, and significance groups of *H. perforatum* L. accessions

Accession codes	Location	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Ploidy level	Mean genome size ($\text{pg } 2C^{-1}$) \pm SD	Significance group
İzm1a	5 km from Aliğa - İzmir	38°46.338'	0.26°58.26'	2 m.	D	0.81 ± 0.02	a
İzm2	5 km from Aliğa - İzmir	38°46.338'	0.26°58.26'	2 m.	T	1.57 ± 0.03	b
İzm1b	5 km from Aliğa - İzmir	38°46.338'	0.26°58.26'	2 m	H	2.51 ± 0.02	c

Hypericin is the most important secondary metabolite, isolated as the first from *H. perforatum* (Brockmann et al., 1939). In analyses carried out to determine the amounts of hypericin produced by plants, it was found that the average amount of hypericin was 2.493% in diploids, 1.267% in tetraploids, and 1.434% in hexaploids (Table 2). In studies conducted in Turkey, it was determined that the amounts of hypericin ranged from 0.215 to 0.290% (Bayram et al., 2002) and from 0.132 to 0.308% (mean % 0.267) (Çakmak and Bayram, 2003). In their study, Ceylan et al. (2005) determined that samples collected from different areas of the Aegean region produced hypericin in the ecological conditions of Bornova at a rate of 0.027-0.219% in the first year and at a rate of 0.109 - 0.313% in the second year, while these samples produced hypericin at the rate of 0.088 - 0.269% (mean 0.213%) in Aydın ecological conditions. In studies conducted abroad, it was found that depending on the genotype, this ratio ranged between 0.08-0.28% (Braunewell, 1991), 0.0003-0.125%, and 0.0019-0.845% (Sirvent et al., 2002). When the hypericin rates found in this study and the values reported in the literature are compared, it seems that the obtained data is supported by the literature. The fact that some values differ may depend on the part taken from the plant when measuring, harvest time, reaping height, and especially the genotype (Bomme, 1997; Cellarova et al., 1997; Kosuth et al., 2003; Kaçar and Azkan, 2004; Couceiro et al., 2006; Sun et al., 2019).

Table 2 Ploidy levels and % Hypericin values of *H. perforatum* plants

Ploidy Level	Spectrophotometer (ABS)	% Hypericin
Diploid	0.179	2.493
Tetraploid	0.091	1.267
Hexaploid	0.103	1.434

When the relationship between ploidy levels of plants and the amount of hypericin they produced was examined, it was determined that diploids produced more hypericin than tetraploids and hexaploids. The fact that in *H. perforatum*, there were significant differences between the ploidy levels of plants and the amount of hypericin produced was also supported by

statistical analyses. After a noticeable difference was seen between the sample groups examined in the box plot (Figure 5), ANOVA was applied and it was observed that at least one of the groups was statistically different from the others ($p < 2e^{-16}$). On the other hand, when Duncan's Multiple Range test was applied, it was determined that the diploid plant group was statistically different from the hexaploid plant group (mean difference of hypericin percentage: 1.058, $p = 4.2 e^{-15}$), the diploid plant group was statistically different from the tetraploid plant group (mean difference of hypericin percentage: 1.225, $p = 2.1 e^{-15}$), and the hexaploid plant group was statistically different from the tetraploid plant group (mean difference of hypericin percentage: 0.167, $p = 4.2 e^{-15}$).

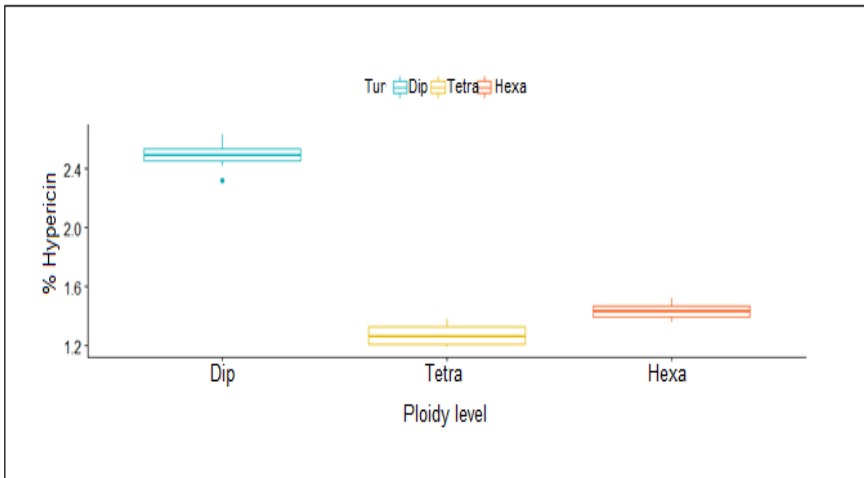


Fig. 5 Box plot showing the relationship between ploidy levels of *H. perforatum* accessions and the amount of hypericin they produce

Similar to our results, Cellarova et al. (1997) and Kosuth et al. (2003) reported that diploids produced more hypericin than polyploids. Regarding the relationship between ploidy levels and secondary metabolites produced, explanations supporting our results have also been made in studies conducted with different plants. For example, Adaramola et al. (2016) revealed that diploid *Dioscorea dumetorum* (Kunth) produced more saponin than Pax polyploids. In *Solanum bulbocastanum*, it was determined that tetraploids produced fewer phenylpropanoids, tryptophan, and tyrosine compared to diploids (Caruso et al., 2013). Lavania (2005) explained that the accumulation of essential oils in *Mentha spicata tetraploids* was at a lower concentration than diploids. On the other hand, *Scutellaria baicalensis* tetraploid produced more terpenoid or similar

triterpenic compounds compared to *Artemisia annua* and *Salvia miltiorrhiza* diploids (Gao et al., 1996, 2002; Banyai et al., 2010). In addition, it was proposed that polyploid *Papaver somniferum*s should be preferred to obtain plants with high morphine content (Mishra et al., 2010). Because secondary metabolite production is affected by factors such as soil structure, climate, and geographical region, as well as genetic factors, it is normal to obtain different results about the relationship between the level of ploidy and the amount of the produced secondary metabolite. In studies related to the hypericin production, it was reported that temperature (Couceiro et al., 2006; Brunakova et al., 2015; Yao et al., 2019), height (Tocci et al., 2013), and drought (Alibaş and Kaçar, 2016) affected the production of hypericin.

In addition to these factors, factors such as the growth-development status of plants, the rate of photosynthesis (especially when it comes to substance production), the number of cells that photosynthesize, and the amount of chlorophyll can also be considered to play a role in the production of secondary metabolites. In studies carried out related to ploidy levels, whereas it was said that flower and fruit formations of the polyploid plants occurred later because they developed more slowly than diploids (Stebbins, 1947; Corneillie et al., 2019), it was reported that polyploids had more plant volume, biomass, thicker and larger leaves, flowers, fruits and seeds, bigger cells and stomata compared to diploids (Stebbins 1947; Warner et al., 1987; Corneillie et al., 2019). However, in polyploids, the number of photosynthetic cells and the amount of chlorophyll per unit leaf area, and the capacity and speed of photosynthesis are lower than in diploids (Nageswara et al., 2001; Yıldız, 2013; Gao et al., 2017). When these data are taken into account, some of the reasons for why diploids produce more secondary metabolites than polyploids are clearly understood.

In studies to be conducted with plants, such as *H. perforatum*, that have different ploidy levels, determination of ploidy level is very important. By looking at ploidy levels, harvest times and the amount of plants to be used can be determined. Since apomixis is seen in *H. perforatum*, ploidy analysis is even more important. Therefore, studies have gained momentum in many areas, such as studying with transgenic clones in order to produce an efficient hypericin (Koperdakova et al., 2004, 2009; Khan et al., 2018), collecting in vitro germplasm and developing variety (Bruni and Sacchetti, 2009; Alan et al., 2015), conducting biotechnology-supported research (Brasili et al., 2014; Valletta et al., 2016, Montazeri et al., 2018). As the usage and importance of hypericin increases in medicine and other fields, its commercial value also increases. For this reason, cultivated varieties with high hypericin production should be popularized and they

should be recommended to farmers for planting. In this way, plant collection from nature is reduced, endangering of species can be prevented, and supporting of farmers economically can also be ensured.

References

- Adaramola, T.F., Sonibare, M.A., Sartie, A., Lopez- Montez, A., Albach, D.C., Integration of ploidy level, secondary metabolite profile and morphological traits analyses to define a breeding strategy for trifoliolate yam (*Dioscorea dumetorum* (Kunth) Pax), *Plant Genetic Resources*, Vol.14 (2016), pp.1-10.
- Agostinis P., Vantieghem, A., Merlevede, W., De Witte, D., Hypericin in cancer treatment: more light on the way, *International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, Vol.34 (2002), pp.221–241.
- Alan, A.R., Susan, J.M., Praveen, K.S., Evaluation of ploidy variations in *Hypericum perforatum* L. (St. John’s wort) germplasm from seeds, in vitro germplasm collection, and regenerants from floral cultures, *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 51 (2015), pp.1-11.
- Alibaş, İ., Kaçar, O., Microwave Drying Kinetics, Hypericin Content, Effective Moisture Diffusivity and Activation Energy of *Hypericum perforatum* L, *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, Vol.19 (2016), pp. 454-465.
- Banyai, W., Sangthong, R., Karaket, N., Inthima, P., Mii, M., Supaibulwatana, K., Overproduction of artemisinin in tetraploid *Artemisia annua* L, *Plant Biotechnology*, Vol.27 (2010), pp.427-433
- Barcaccia, G., Arzenton, F., Sharbel, T.F., Varotto, S., Parrini, P., Lucchin, M., Genetic diversity and reproductive biology in ecotypes of the facultative apomict *Hypericum perforatum* L, *Heredity*, Vol.96 (2006), pp.322–334.
- Barnes, J., Anderson, L.A., Phillipson, J.D., St John’s wort (*Hypericum perforatum* L.): review of its chemistry, pharmacology and clinical properties, *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, Vol.53 (2001), pp. 583–600.
- Bayram, E., Arabacı, O., Çakmak, H.E., Bornova Ekolojik Koşullarında *Hypericum perforatum* L. Klonlarının Agronomik Özelliklerinin ve Hypericin Oranlarının Belirlenmesi, *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, Vol.39 (2002), pp.41-48.

- Bennett, M.D., and Leitch, I.J., Angiosperm DNA C-values database (release 7.0), (2010), <http://www.kew.org/cvalues/>.
- Bomme, U., Produktions technologie von Johanniskraut (*Hypericum perforatum* L.) Z.F Arznei-und Gewürzpflanzen, Vol.2 (1997), pp.127–134.
- Brasili, E., Praticò, G., Marini, F., Valletta, A., Capuani, G., et al., A non-targeted metabolomics approach to evaluate the effects of biomass growth and chitosan elicitation on primary and secondary metabolism of *Hypericum perforatum* in vitro roots, *Metabolomics*, Vol.10 (2014), pp. 1186–1196.
- Braunewell, H., Ökologische, Ontogenetische und Morphogenetische Einflüsse auf Ertrag und Inhaltsstoffgehalt von *Hypericum spp.*, Diss. Giessen, (1991), pp. 252.
- Brockmann, H., Haschad, M. N., Maier, K., Pohl, F., Über das Hypericin, den photodynamisch wirksamen Farbstoff aus *Hypericum perforatum*. *Naturwissenschaften*, Vol. 27 (1939), pp.550.
- Brunáková, K., Petijová, L., Zámecník, J., Turecková, V., Cellárová, E., The role of ABA in the freezing injury avoidance in two *Hypericum* species differing in frost tolerance and potential to synthesize hypericins. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, Vol.122 (2015), pp.45-56.
- Bruni, R., Sacchetti, G., Factors affecting polyphenol biosynthesis in wild and field grown St. John's wort (*Hypericum perforatum* L. Hypericaceae/Guttiferae), *Molecules*, Vol.14 (2009), pp. 682–725.
- Brutovská, R., Kušniriková, P., Bogyiová, E., Cellárová, E., Karyotype analysis of *Hypericum perforatum* L., *Biologia Plantarum*, Vol.43 (2000), pp. 133–136.
- Caruso, I., Dal Piaz, F., Malafrente, N., De Tommasi, N., Aversano, R., et al., Impact of ploidy change on secondary metabolites and photochemical efficiency in *Solanum bulbocasta* *Natural Product Communications*, Vol. 8 (2013), pp.1387-92.
- Cellarova, E., Brutovska, R., Daxnerova, Z., et al., Correlation between hypericin content and the ploidy of somaclones of *Hypericum perforatum* L., *Acta Biotechnol.*, Vol.17 (1997), pp.83-90.
- Ceylan, A., Bayram, E., Arabaci, A., Marquard, R.A., Özay, N., Geren, H., Ege Bölgesi Florası Kantaron (*Hypericum perforatum* L.) Popülasyonlarında Uygun Kemotiplerin Belirlenmesi ve Islahı. *Ege Üniv. Ziraat. Fak. Derg.*, Vol. 42 (2005), pp.33-44

- Corneillie, S., De Storme, N., Van Acker, R., Fangel, J.U., De Bruyne, M., et al., Polyploidy Affects Plant Growth and Alters Cell Wall Composition, *Plant Physiology*, Vol.179 (2019), pp.4–87.
- Couceiro, M.A., Afreen, F., Zobayed, S.M.A., Kozai, T., Enhanced growth and quality of St. John's wort (*Hypericum perforatum* L.) under photoautotrophic *in vitro* conditions, *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, Vol.42 (2006), pp. 278–282.
- Çakmak, E.H., Bayram, E., Muğla Orijinli Sarı Kantaron (*Hypericum perforatum* L.) Popülasyonlarının Bazı Agronomik ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi, *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, Vol. 40 (2013), pp.57-64.
- Çırak, C., Ayan, A., Kevseroğlu, K., The Effects of Light and Some Pre-soaking Treatments on Germination Rate of St. John' Worth (*Hypericum perforatum* L.) Seeds, *Pakistan Journal of Biological Sciences*, Vol.7 (2004), pp. 182-186.
- DAC (Deutscher Arzneimittel Codex), (1986), 3. Ergantung 1991, JohannisKraut - Hyperici herba. J-010, Frankfurt am Main: Govi Verlag.
- Davis, P.H., *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*, Edinburgh University Press, Vol.10 (1988), pp.96-103.
- Dolezel, J., and Bartos, J., Plant DNA flow cytometry and estimation of nuclear genome size, *Annals of Botany*, Vol.95 (2005), pp.99-110.
- Duke, J.A., *Handbook of Medicinal Herbs*, CRC. Boca Raton. Florida., (1985), pp.242.
- Gao, S., Yan, O., Chen, L., Song, Y., Li, J., Fu, C., Dong, M., Effects of ploidy level and haplotype on variation of photosynthetic traits: Novel evidence from two *Fragaria* species, *PLOS ONE*, Vol. 23 (2017), pp.1-13
- Gao, S.L., Chen, B.J., Zhu, D.N., *In vitro* production and identification of autotetraploids of *Scutellaria baicalensis*, *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, Vol.70 (2002), pp.289-293
- Gao, S.L., Zhu, D.N., Cai, Z.H., Xu, D.R., Autotetraploid plants from colchicine treated bud culture of *Salvia miltiorrhiza* Bge, *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, Vol.47 (1996), pp.73–77
- García, I., Ballesta, S., Gilaberte, Y., Rezusta, A., Pascual, A., Antimicrobial photodynamic activity of hypericin against methicillin-susceptible and resistant *Staphylococcus aureus* biofilms *Future Microbiology*, Vol.10 (2015), pp.347–356.

- Gartner, M., Muller, T., Simon, J. C., Giannis, A., Sleeman, J. P., Aristoforin, a novel stable derivative of hyperforin, is a potent anticancer agent, *Chembiochem*, Vol.6 (2005),pp. 171–177.
- Hobbs, C., St. John's wort: *Hypericum perforatum* L. A review. *Herbal Gram.*, Vol.18 (1989), pp.24–33
- Jendželovská, Z., Jendželovský, R., Kuchárová, B., Fedorocko, P., Hypericin in the Light and in the Dark: Two Sides of the Same Coin, *Frontiers in Plant Science* , Vol.7 (2016), pp.560.
- Johnson, P.G., Riordan, T.P., Arumuganathan, K., Ploidy level determinations in buffalograss clones and populations, *Crop Science*, Vol.38 (1998), pp.478-482.
- Kaçar, O., ve Azka, N., Sarı Kantaron'da (*Hypericum perforatum* L.) Hiperisin ve Üst Drog Herba Verimi ile Bazı Morfolojik ve Agronomik Özellikler Arasındaki İlişkiler, *Uludağ Üniv. Zir. Fak. Derg.*, Vol.18 (2004), pp.109-122
- Kashef, N., Borghei, Y. S., Djavid, G. E., Photodynamic effect of hypericin on the microorganisms and primary human fibroblasts. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, Vol.10 (2013), pp.150–155.
- Kasper, S., Caraci, F., Forti, B., Drago, F., Aguglia, E., Efficacy and tolerability of *Hypericum* extract for the treatment of mild to moderate depression, *European Neuropsychopharmacology*, Vol.20 (2010), pp. 747–765.
- Kaya, N., *Biyokimya uygulama kılavuzu*. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları (1998), No: 57, Bornova, İzmir
- Khan, S.A., Verma, P., Arbat, A., Gaikwad, S., Parasharami, V.A., Development of enhanced hypericin yielding transgenic plants and somaclones: High throughput direct organogenesis from leaf and callus explants of *Hypericum perforatum*, *Industrial Crops and Products* , Vol.111 (2018), pp. 544-554
- Koch, M., and Sharbel, T., Evolutionary history of *Hypericum perforatum* L. Combined Faculties for the Natural Sciences and for Mathematics of the Ruperto-Carola University of Heidelberg (2011), Germany.
- Koch, M.A., Scheriau, C., Betzin, A., Hohmann, N., Sharbel, T.F., Evolution of cryptic gene pools in *Hypericum perforatum*: the influence of reproductive system and gene flow, *Annals of Botany*, Vol.111 (2013), pp. 1083–1094.

- Koperdakova, J., Brutovska, R., Cellarova, E., Reproduction pathway analysis of several *Hypericum perforatum* L. somaclonal families. *Hereditas*, Vol.140 (2004), pp. 34-41.
- Koperdakova, J., Komarovska, H., Kosuth, J., Giovannini, A., Cellarova, E., Characterization of hairy root-phenotype in transgenic *Hypericum perforatum* L. Clones, *Acta Physiologiae Plantarum*, Vol.31 (2009), pp.351–358
- Kosuth, J., Koperdakova, J., Tolonen, A., Hohtola, A., Cellarova, A., The content of hypericins and phloroglucinols in *Hypericum perforatum* L. seedlings at early stage of development, *Plant Science*, Vol.165 (2003), pp.515-521
- Lavania, U.C., Genomic and ploidy manipulation for enhanced production of phyto-pharmaceuticals, *Plant Genetic Resources*, Vol.3 (2005), pp.170-177.
- Lavie, G., Mazur, Y., Lavie, D., Meruelo, D., The chemical and biological properties of hypericin a compound with a broad spectrum of biological activities. *Medicinal Research Reviews*, Vol.15 (1995), pp.111-119.
- Lu, K., Kaeppler, S.M., Vogel, K.P., Arumuganathan, K., Lee, D.J., Nuclear DNA content and chromosome numbers in switchgrass, *Great Plains Research*, Vol. 8 (1998), pp.269- 280.
- Matzk, F., Meister, A., Brutovska, R., Schubert, I., Reconstruction of reproductive diversity in *Hypericum perforatum* L. opens novel strategio ménage apomixis, *Plant Journal*, Vol. 26 (2001), pp. 275-282.
- Mishra, B.K., Pathak, S., Sharma, A., Trivedi, P.K., Shukla, S., Modulated gene expression in newly synthesized autotetraploid of *Papaver somniferum* L., *South African Journal of Botany*, Vol.76 (2010), pp.47-452.
- Montazeri, M., Azadbakht, M., Najafi, Z., Zadeh, N., Pakdin, P.A., Davoodi, A., Hairy Root Cultures of *Hypericum perforatum* L.; A Promising Method for The High Scale Production of Hypericini, *Journal of Medicinal Plants*, Vol.17 (2018), pp. 55-67
- Murch, S.J., Krishna, R., Saxena, P.K., Tryptophan is a precursor for melatonin and serotonin biosynthesis in in vitro regenerated St. John's wort (*Hypericum perforatum* L.cv. Anthos) plants, *Plant Cell Reports*, Vol.19 (2000), pp. 698-704.
- Nageswara, R.R.C., Talwar, H.S., Wright, G.C., Rapid assessment of specific leaf area and leaf nitrogen in peanut (*Arachis hypogaea* L.) using chlorophyll meter, *Journal of Agronomy and Crop Science*, Vol.189 (2001), pp. 175-182.

- Noirot, M., Barre, P., Duperray, C., Hamon, S., De Kochko, A., Investigation on the causes of stoichiometric error in genome size estimation using heat experiments: consequences on data interpretation, *Annals of Botany*, Vol.95 (2005), pp.111-118.
- Patocka, J., The chemistry, pharmacology, and toxicology of the biologically active constituents of the herb *Hypericum perforatum* L. *Journal of Applied Biomedicine*, Vol.1 (2003), pp.61–73
- Paz-Cristobal, M. P., Gilaberte, Y., Alexandre, C., Pardo, J., Revillo, M. J., Rezusta, A., In vitro fungicidal photodynamic effect of hypericin on *Trichophyton spp.*, *Mycopathologia* , Vol.178 (2014), pp. 221–225.
- Price, H.J., Hodnett, G., Johnston, J.S., Sunflower (*Helianthus annulus*) leaves contain compounds that reduce nuclear propidium iodide fluorescence, *Annals of Botany*, Vol.86 (2000), pp. 929-934.
- Qu, L., Widrlechner, M.P., Rigby, S.M., Analysis of Breeding Systems. Ploidy. and the Role of Hexaploids in Three *Hypericum perforatum* L. Populations, *Industrial Crops and Products*, Vol. 32 (2010), pp. 1–6.
- Rezusta, A., Lopez-Chicon, P., Paz-Cristobal, M.N., Alemany-Ribez, M., Royo-Diez, et al., In Vitro Fungicidal Photodynamic Effect of Hypericin on *Candida* Species, *Photochemistry and Photobiology*, vol.88 (2012), pp.613-619.
- Robson, N., Studies in the genus *Hypericum* L. (Guttiferae) 4(2). Section 9. *Hypericum* senso lato (part 2): subsection 1. *Hypericum* series 1. *Hypericum*. *Bull. Nat. Hist. Mus. Lond. Bot.*, Vol.32 (2002), pp.61-123.
- Robson, N., and Adams, P., Chromosome numbers in *Hypericum* and related genera, *Brittonia*, Vol.20 (1968), pp. 95–106.
- Robson, N.K.B., Studies in the genus *Hypericum* L. (Guttiferae): 2. Characters of the genus. *Bulletin of the British Museum (Natural History)*, *Botany*, Vol. 8 (1981), pp. 55–226.
- Savaş Tuna, G., Başer, I., Tuna, M., Genome size variation among natural populations of *Brachypodium distachyon* and *B. hybridum* collected from different regions of Turkey. *Turkish Journal of Botany*, Vol.43 (2019), pp. 196-207.
- Savaş Tuna, G., Duyu, G., Uzun, K., Yücel, G., Tuna, M., Determination of nuclear DNA content and ploidy of *Hypericum perforatum* L. accessions collected from Western Turkey, *Journal of Agricultural Sciences*, Vol. 23 (2017), pp. 395-403.

- Schempp, C.M., Simon-Haarhaus, B., Simon, J.C., Phototoxic and apoptosis-inducing capacity of pseudohypericin, *Planta Medica*, Vol.68 (2002), pp. 171/173.
- Schinazi, R.F., Chu, C.K., Babu, J.R., Oswald, B., Saalman, V., et al., Anthraquinones as a new class of antiviral agents against human immunodeficiency virus, *Antiviral Research*, Vol.13 (1990), pp.265–272
- Silva, B.A., Ferreres, F., Malva, J.O., Dias, A.C.P., Phytochemical and antioxidant characterization of *Hypericum perforatum* alcoholic extracts, *Food Chemistry*, Vol.90 (2005), pp.157–167
- Sirvent, T.M., Walker, L., Vance, N., Gibson, D.M., Variation in Hypericins from Wild Populations of *Hypericum perforatum* L. in the Pacific Northwest of the U.S.A. *Economic Botany*, Vol.56 (2002), pp.41-48.
- Stebbins, G.L., Types of polyploids: their classification and significance, *Advances in Genetics*, Vol.1 (1947), pp. 403–429.
- Sun, P., Kang, T., Xing, H., Li, M.F., Phytochemical Changes in Aerial Parts of *Hypericum perforatum* at Different Harvest Stages, *Records of Natural Products*, Vol.124 (2019), pp.510-518
- Swift, H.H., The desoxyribose nucleic acid content of animal nuclei., *Physiological Zoology*, Vol. 23 (1950), pp.169-198.
- Temsch, E.M., Temsch, W., Ehrendorfer-Schratt, L., Greilhuber, J., Heavy metal pollution. selection. and genome size: The species of the Žerjav study revisited with flow cytometry, *Journal of Botany*, (2010), 596542.
- Tocci, N., D'Auria, F. D., Simonetti, G., Panella, S., Palamara, A. T., et al., Bioassay-guided fractionation of extracts from *Hypericum perforatum in vitro* roots treated with carboxymethylchitosans and determination of antifungal activity against human fungal pathogens, *Plant Physiology and Biochemistry*, Vol. 70 (2013), pp.342–347.
- Tuna, M., Khadka, D.K., Shrestha, M.K., Arumuganathan, K., Goldhirsh, A.G., Characterization of natural orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.) populations of the Thrace Region of Turkey based on ploidy and DNA polymorphisms, *Euphytica*, Vol.135 (2004), pp. 39-46.
- Tuna, M., Vogel, K.P., Arumuganathan, K., Kulvinder, S.G., DNA content and ploidy determination of bromegrass germplasm accessions by flow cytometry, *Crop science*, Vol.5 (2001), pp.1629-1634.
- Valletta, A., De Angelis, G., Badiali, C., Brasili, E.M., Di Cocco, M.E., Pasqua, G., Acetic acid acts as an elicitor exerting a chitosan-like effect

- on xanthone biosynthesis in *Hypericum perforatum* L. root cultures, *Plant Cell Reports*, Vol.35 (2016), pp. 1009–1020
- Vidic, T., Greilhuber, J., Vilhar, B., Dermastia, M., Selective significance of genome size in a plant community with heavy metal pollution, *Ecological Applications*, Vol.19 (2009), pp.1515–1521.
- Warner, D.A., Ku, M.S.B., Edwards, G.E., Photosynthesis, leaf anatomy, and cellular constituents in the polyploid C4 grass *Panicum virgatum*. *Plant Physiology*, Vol. 84 (1987), pp.461-466.
- Yao, Y., Kang, T., Jin, L., Liu, Z., Zhang, Z., et al., Temperature-dependent growth and hypericin biosynthesis in *Hypericum perforatum*., *Plant Physiology and biochemistry*, Vol.139 (2019), pp.613-619.
- Yıldız, M., Plant Responses at Different Ploidy Levels, *Current Progress in Biological Research*, Chapter 16 (2013), pp. 1-24

BÖLÜM III

FUZZY BITOPOLOGICAL SPACES GENERATED BY FUZZY RELATION

Güzide ŞENEL

(Assoc. Prof. Dr.); Amasya University, Faculty of Science, Department of Mathematics, Amasya, Turkey, e-mail: g.senel@amasya.edu.tr

Orcid No: 0000-0003-4052-2631

1. Introduction

In recent years, the variety of applications of fuzzy topology have increased significantly. We can define fuzzy topology in different ways. In one point of view, fuzzy topology is a logical system, which is an extension of multivalued logic in a narrow sense. Another view to fuzzy topology is that of a simply fuzzy rule. Fuzzy topology is all about the relative importance of precision: How important is it to be exactly right when a rough answer will do? There are important studies about this concept as ([1], [4], [6]). The area of fuzzy bitopological space is studied by Indurin and Knoblauch in 2013. Authors had introduced and studied bitopological spaces generated by binary relations. In this paper, I study fuzzy bitopological spaces generated by fuzzy relations and separation axioms T_0 and T_1 . Apart from definitions and theorems are numbered, known concepts are mentioned in the text along with the reference [4].

2000 *Mathematics Subject Classification*. 54J05, 54A05, 03H05.

Key words and phrases. Fuzzy Sets, Topological Spaces, Bitopological Spaces, Fuzzy Relation.

2. Preliminaries

In this section we recall the notions of bitopological spaces [3], fuzzy relation [7] and fuzzy topological space generated by a fuzzy relation [4].

Definition 2.1. [3] Let $\neq \emptyset$, τ_1 and τ_2 be two different topologies on X . Then (X, τ_1, τ_2) is called a bitopological space.

Definition 2.2. [7] Let X be a non-empty set. Then a fuzzy relation on \mathcal{R} on X is a mapping $\mathcal{R}: X \times X \rightarrow I$.

Definition 2.3. (Klir and Yuan 1997) A fuzzy relation \mathcal{R} on a set X is called

- (1) Reflexive if $\mathcal{R}(x, x) = 1$, for each $x \in X$.

- (2) Irreflexive if $\mathcal{R}(x, x) \neq 1$, for some $x \in X$.
- (3) Antireflexive if $\mathcal{R}(x, x) = 0$, for each $x \in X$.
- (4) Symmetric if $\mathcal{R}(x, y) = \mathcal{R}(y, x)$, for each $(x, y) \in X \times X$.

The following definitions are from Figueira et al. (2005):

- (5) Transitive if $\mathcal{R}(x, z) \leq \min\{\mathcal{R}(x, y), \mathcal{R}(y, z)\}$, for each $x, y, z \in X$.
- (6) Asymmetric if $\min\{\mathcal{R}(x, y), \mathcal{R}(y, x)\} = 0$, for each $(x, y) \in X \times X$.
- (7) Antisymmetric if $\min\{\mathcal{R}(x, y), \mathcal{R}(y, x)\} = 0$, for each $(x, y) \in X \times X$ such that $x \neq y$.
- (8) Negatively transitive if $\max\{\mathcal{R}(x, y), \mathcal{R}(y, z)\} \geq \mathcal{R}(x, z)$, for each $x, y, z \in X$.
- (9) Total if $\max\{\mathcal{R}(x, y), \mathcal{R}(y, x)\} = 1$, for each $x \in X$.
- (10) Connecting if $\max\{\mathcal{R}(x, y), \mathcal{R}(y, x)\} = 1$, for each $(x, y) \in X \times X$, such that $x \neq y$.

We mention here that the definitions 9 and 10 have been called as strongly complete and complete, respectively, in Figueira et al. (2005).

Definition 2.4. [4] A fuzzy topological space generated by a fuzzy relation which is generated by the subbase $S = \{L_x\}_{x \in X} \cup \{\mathcal{R}_x\}_{x \in X}$ is called the fuzzy topology generated by \mathcal{R} and is denoted by $\tau_{\mathcal{R}}$.

3. Fuzzy Bitopological Spaces Genareted By Fuzzy Relation

Definition 3.1. [5] A fuzzy bitopological space is a triple (X, τ_1, τ_2) where X is a non-empty set and τ_1, τ_2 are any fuzzy topologies on X .

The following is a generalization of the corresponding concept given in Induráin and Knoblauch (2013).

Definition 3.2. [4] A fuzzy bitopological space (X, τ_1, τ_2) is said to be generated by a fuzzy relation \mathcal{R} on X if $\tau_{\mathcal{R}} = \tau_1$ and $\tau_{\mathcal{R}^a} = \tau_2$.

An Example for Characterization of Fuzzy Bitopological Space Generated by Fuzzy Relation [4]

Let \mathcal{R} be a fuzzy relation on $X = x, y$, given by

\mathcal{R}	x	y
x	0.5	0.7
y	0.3	0.4

It is easy to verify that the adjoint \mathcal{R}^a of \mathcal{R} is the fuzzy relation on $X =$

x, y , given by

\mathcal{R}^a	x	y
x	0.5	0.7
y	0.3	0.6

Then in view of Example 3.3, the fuzzy topology τ_1 generated by a fuzzy relation \mathcal{R} is given by:

$$\tau_{\mathcal{R}} = \left\{ 0_X, 1_X, L_x, L_y, \mathcal{R}_x, \mathcal{R}_y, \frac{0.5}{x}, \frac{0.4}{y}, \frac{0.3}{x}, \frac{0.3}{y}, \frac{0.7}{x}, \frac{0.7}{y} \right\}$$

Now the fuzzy topology τ_2 generated by \mathcal{R}^a is generated by the subbasis $\{L_x^a, L_y^a, \mathcal{R}_x^a, \mathcal{R}_y^a\}$ where $L_x^a, L_y^a, \mathcal{R}_x^a$ and \mathcal{R}_y^a are given as follows:

$$L_x^a = \frac{0.5}{x} + \frac{0.3}{y}, \quad L_y^a = \frac{0.7}{x} + \frac{0.6}{y},$$

$$\mathcal{R}_x^a = \frac{0.5}{x} + \frac{0.7}{y}, \quad \mathcal{R}_y^a = \frac{0.3}{x} + \frac{0.6}{y}$$

and hence

$$\tau_2 = \left\{ 0_X, 1_X, L_x^a, L_y^a, \mathcal{R}_x^a, \mathcal{R}_y^a, \frac{0.3}{x}, \frac{0.3}{y}, \frac{0.5}{x}, \frac{0.6}{y}, \frac{0.7}{x}, \frac{0.7}{y} \right\}.$$

Therefore (X, τ_1, τ_2) is a fuzzy bitopological space generated by \mathcal{R} .

Theorem 3.3. [4] *A fuzzy bitopological space (X, τ_1, τ_2) is generated by a fuzzy relation if and only if there exist collections $\{U_x : x \in X\}$ and $\{V_x : x \in X\}$ of τ_1 -fuzzy open sets such that*

1. $U_x : x \in X \cup V_x : x \in X$ is a subbase of τ_1 .
2. $\{1_X \setminus U_x : x \in X\} \cap \{1_X \setminus V_x : x \in X\}$ is a subbase for τ_2 .
3. $U_y(x) = V_x(y)$, for each $x, y \in X$.

Theorem 3.3. [4] *Let (X, τ_1, τ_2) be a fuzzy bitopological space that is generated by some fuzzy relation. Then the following properties hold:*

1. The fuzzy topology τ_1 is T_1 iff the fuzzy topology τ_2 is T_1 .
2. The fuzzy topology τ_1 is T_0 iff the fuzzy topology τ_2 is T_0 .

4. Results And Conclusions

The main result of this study is that if (X, τ_1, τ_2) is the fuzzy bitopological space generated by a fuzzy relation \mathcal{R} , then the fuzzy topology τ_1 is T_i iff τ_2 is T_i , $i = 0, 1$. There will be some studies for future research in this direction that are listed below:

1. Binary relations have been used to induce topological structures by several authors in many areas, e.g., data reduction (Salama 2008),

dynamics (Galton 2003), rough set theory and approximation space (Pawlak 1982, 1991), digital topology (Iapal 2001) and biochemistry (Stadler and Stadler 2002).

2. In case of a fuzzy bitopological space generated by a fuzzy relation, in this paper, we have only studied separation axioms T_1 and T_2 . For the future work, other separation axioms, e.g., Hausdorffness, regularity and normality, compactness and connectedness in these spaces may be discussed.

Acknowledgement: I would like to thank the references for the development of the article and the valuable opinions of the dear arbitration committee.

References

- [1]J. Fang, Y. Qiu, Fuzzy orders and fuzzifying topologies, Int J. Approx Reason., Vol.48, pp. 98-109 (2008).
- [2]E. Indurin, V. Knoblauch, On topological spaces whose topology is induced by a binary relation, Quaest Math. Vol.36, pp. 47-65 (2013).
- [3]J. C. Kelly, Bitopological Spaces, Proceedings of the London Mathematical Society, Vol.1, pp. 71-89 (1963).
- [4]S. Mishra, R. Srivastava, Fuzzy Topologies generated by fuzzy relations, Soft Computing., Vol.22, pp. 373-385 (2018).
- [5]A. Safiya et.al., Fuzzy separation axioms and fuzzy continuity in fuzzy bitopological spaces, Fuzzy Sets Syst 62, pp. 367373 (1994)
- [6]SP. Tiwari, AK, Srivastava, Fuzzy rough sets, fuzzy preorders and fuzzy topologies. Fuzzy Sets Syst., Vol.210, pp. 63-68 (2013).
- [7]LA. Zadeh, Fuzzy sets, Inf Control. Vol.8, pp. 338-353 (1965).

BÖLÜM IV

BİYOMALZEMELER VE DENTAL UYGULAMALARI

İlknur KARS DURUKAN

*(Doç. Dr.); Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Ankara Türkiye
ilknurdurukan@gazi.edu.tr
Orcid No: 0000-0001-5697-0530*

Burcu ERTİT TAŞTAN

*(Doç. Dr.); Gazi Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Dişçilik
Hizmetleri Bölümü Ankara Türkiye burcuertit@gazi.edu.tr
Orcid No: 0000-0003-4644-8305*

1. Giriş

Biyomalzemeler, geçmişten günümüze kullanılmakla beraber teknoloji sayesinde bu bilimde büyük gelişmeler kat edilmiş ve biyomalzemelerin kullanım alanları çeşitlenmiştir. Biyomalzemelerin tıp alanındaki uygulamalarının yanısıra, biyoteknoloji alanında da kullanımları mevcuttur. İnsan vücudunda hastalıklı/hasarlı dokuların onarımı, teşhis, tedavi ve iyileşmeye yardımcı olmak, estetiksel sorunları gidermek ve fonksiyonelliği arttırmak gibi problemlerin çözümü biyomalzemelerin temel amacıdır.

İnsan vücudunda çeşitli problemlerin çözümünde kullanılan bu malzemeler, kullanım alanlarına göre metalik özellikli, polimer, seramik ve kompozit olarak ayrılırlar. İnsan vücudunda, sürekli veya kısa süreli kullanımı olan biyomalzemelerin seçiminde dikkat edilesi gereken noktalar; biyouyumluluk ve fonksiyonelliktir.

Bu kitap bölümünde, biyomalzemelerin genel özellikleri hakkında ayrıntılı bilgiler verildikten sonra, biyomalzemelerin diş implantı, diş dolgu maddesi ya da diş dokusunun yeniden oluşturulması işlemlerinde kullanımlarından ve bu alandaki son gelişmelerden bahsedilecektir.

2. Biyomalzemelere Genel Bakış

Biyomalzemeler, günümüzde oldukça popüler olmasına karşın, Mısır mumyalarında çeşitli vücut parçalarında görülmesi, bu malzemelerin kullanımlarının oldukça eski zamanlara dayandığını göstermektedir. Yakın geçmişe kadar diş yapımında kullanılan altının, ilk kullanımının 4000 yıl

önce olduğu bilinmektedir. 19.yy sonlarına doğru fildişinden yapılmış protezler kullanılmaya başlanmış, 1938’de ise ilk metal protez Vanadyum Çeliği üretilmiştir (Park vd., 2019). Metal korozyonuna uğrayan bu protezler, 1960’lara kadar kullanılmaya devam etmiştir. 1972 yılında ise seramik yapıda olan alumina ve zirkonya isimli yapılar kullanılmaya başlanmış, bu yapılar biyolojik yönden herhangi bir olumsuzluk oluşturmamalarına rağmen, yapıları nedeniyle dokulara bağlanamamıştır. Bu problemin kısmen çözümü Hench tarafından geliştirilen biyoaktif seramiklerle (biyocam ve hidroksiapatit) gerçekleştirilmiştir (Hench, 1991). Hench’e Vietnam’daki yaralı askerlerin yaralarının tedavisine yardım etmesi teklif edilir. Bu teklifin ardından, Hench bir araştırma yapar. Kemik yapısının seramik ve cam seramiklere uygunluğunu belirleyerek, çalışmalarını bu doğrultuda geliştirir. Hench ve çalışma arkadaşlarının yaptıkları bu çalışma biyoseramikler konusunda bir çığır açmıştır (Pasinli, 2004). İlk yapay protezler olan kemik plakaları iskeletteki kırıkların onarımında kullanılmıştır. Bu protezleri, 1950’lerde kan damarları ve yapay kalp ile ilgili çalışmalar, 1960’larda da kalça protezleri üzerinde çalışmalar izlemiştir. Kalp ile ilgili olan çalışmalarda kalbin yapısına uygun esnek poliüretan, kalça protezlerinde ise oldukça sağlam yapıda olan paslanmaz çelikler tercih edilmiştir. 1970’li yıllarda poliglukolikasitten ameliyat ipliği üretilmiştir. 1980’li yıllarda insan kemiği üzerine yapılan çalışmalar sonucunda, insan vücudunun farklı kemik dokularına uygun kemik dokusu geliştirilmiştir (Gümüderelioğlu, 2002). Son yıllarda, pek çok biyomalzeme, vücudun farklı parçalarının onarımı veya fonksiyonelliğinin artırılması için kullanılmıştır.

Biyomalzemeler, yalnızca implant malzemesi olarak değil, vücuda yerleştirilmeyen ama vücutla etkileşimde olan cihazların, eczacılıkta kullanılan çeşitli malzemelerin ve teşhis amacıyla başvurulan kitlerin yapısında sıklıkla kullanılmaktadır.

Biyomalzeme bilimi tıp, biyoloji, fizik, kimya ve malzeme bilimi gibi pek çok bilim dalıyla koordineli çalışmayı gerektiren multidisiplinler arası bir bilimdir (Meyers ve Hodge, 2008). Çeşitli bilim dallarının birlikte çalışmasıyla, biyomalzemelerin seçimi ve doku-malzeme etkileşimleri incelenmektedir. İnsan vücudunda hangi amaçla kullanılırsa kullanılsın bir biyomalzemenin üretimi için oldukça ayrıntılı süreçler birbirini takip eder. Bu süreçler:

- Biyomalzeme olarak kullanılacak hammaddenin seçimi ve bu hammaddenin özelliklerinin incelenmesi
- Seçilen ve özellikleri bilinen biyomalzemenin fonksiyonel bir biçimde tasarlanarak, vücut dokularıyla uyumunun incelenmesi
- En uygun üretim yöntemi belirlenerek, üretiminin yapılması
- İn-vitro (vücut dışı) testlerinin yapılması, biyoyumluluğu değerlendirmek için yapılan bu testler vücut sıvılarına benzer özellikte

çözeltiler kullanılarak yapılır. Bu testler hücre kültüründe ya da canlı organizma dışında yapılabilir.

•Daha sonra in-vivo (vücut içi) testleri etik kurul oluru alındıktan sonra yapılabilir. Testler ilk olarak bir deney hayvanına, ardından olumlu sonuçlar verdiğinde gönüllü hastalar üzerine uygulanarak biyomalzemenin uygulanabilirliği test edilmiş olur.

3. Biyomalzeme Uygulamaları

İnsan vücudunda kullanılan biyomalzemeler geçici uygulamalar ve kalıcı uygulamalar olmak üzere iki farklı şekilde sınıflandırılabilir. Geçici uygulamalar insan vücuduna tedavi amacıyla yerleştirilen ve sonrasında alınan, kalıcı uygulamalar ise herhangi bir doku veya organın görevini yerine getirebilen biyomalzemelerdir.

Geçici Uygulamalar (Çok kısa ve kısa süreli uygulama)

- Ameliyat sırasında kullanılan ekipmanlar
- Estetiksel uygulamalar (Diş teli, silikon)

Kalıcı Uygulamalar

- Diş implantı
- Omurga kafesi
- Kalp pilleri
- Kalp stentleri
- Anevrizma mandalları
- Anevrizma halkaları

4. Biyomalzemelerden Beklenen Temel Özellikler

İnsan vücuduna herhangi bir, tedavi amaçlı veya sürekli, biyomalzeme girdiğinde doku ile etkileşir. Bu etkileşim toksik veya toksik olmayan tepkimeler şeklinde gerçekleşir. Eğer toksik tepkime gerçekleşiyor ise malzemenin vücut tarafından kabul edilmeyip, diğer yakın dokularda ölümünün olabileceği anlamına gelir (Hench and Wilson, 1993). Toksik olmayan bir tepkime gerçekleşmişse, malzeme vücuda uygun yani biyoaktif/biyo inert şeklinde yorumlanabilir. Toksik olmayan bir durumda vücut yabancı malzemeye üç farklı şekilde tepki verebilir. Birincisi; biyo inert malzemeye fiberimsi doku oluşumu, ikincisi; biyoaktif malzemeye aralarında güçlü bir bağ oluşumu, üçüncüsü; malzemenin çevre dokular tarafından emilip, yerine geçme şeklinde sıralanabilir.

Bir biyomalzemenin tercih edilme sebebi biyoyuumluluğudur. Biyoyuumluluk, esasen vücuda yabancı madde olarak giren biyomalzemenin vücut içinde, çevre dokularla uyum içinde olması, herhangi bir toksik durum (korozyon, pıhtı atımı, iltihap gibi) oluşturmamasıdır. Biyoyuumluluk vücudun yabancı malzemeye verdiği cevap olarak tanımlanırken, araştırmacıların bazıları biyoyuumluluğu yapısal ve yüzey uyumluluğu olarak ikiye ayırmaktadır (Wintermantel vd.,

1996). Yapısal uyumluluk vücut dokularının biyomalzeme ile mekaniksel olarak uyumu iken, yüzey uyumluluğu dokuların biyomalzeme ile fiziksel kimyasal ve biyolojik olarak uyumdur.

Biyomalzemelerin bir diğer önemli özelliği ise fonksiyonelliğidir. İmplant olarak uygulanacak biyomalzeme, vücudun hangi bölgesine uygulanacak ise ona uygun seçilmelidir. Örneğin; implant kemik dokusuna uygulanacak ise çeşitli basınç değişimlerine uygun olmalıdır. Kemiklerimiz gün içinde 4 MPa basınca, tendonlarımız ise 40 ila 80 MPa basınca maruz kalırlar. Hatta kalça kemiklerimizde bu değer vücut ağırlığının üç katına çıkarken, bir sıçrama eyleminde ise 10 katına çıkar. Biyomalzemeler tüm bu basınç değişimlerine uygun olarak seçilmelidir (Gümüsderelioğlu, 2002). Geçmişte deneme yanılma yoluyla çeşitli doğal veya yapay biyomalzemeler çalışılmıştır. Önemli olan bu malzemelere vücudun verdiği tepkilerdir. Günümüzde nanoteknoloji, malzeme bilimi ve diğer bilim dalları ile gerçekleştirilen ortak çalışmalar ile mükemmel biyoyum ve fonksiyonel biyomalzemelerin geliştirilmesi hedeflenmektedir (Gümüsderelioğlu, 2002).

Vücudun biyomalzemelere verdiği toksik cevaplardan biri korozyondur. Özellikle metalik biyomalzemelerin en büyük sıkıntısı, vücut ortamının korozyona elverişli bir ortam oluşturmasıdır. İmplant olarak vücuda giren biyomalzeme, korozyona uğrarsa ortamın pH'ı değişerek başka reaksiyonlar da oluşabilir. Korozyon sonucu oluşan ürünler toksik yapıda veya kanserojen olabilirler. Bu nedenle implant malzemesi seçilirken malzemenin biyoyumlu olması ve korozyon direncinin yüksek olması gerekir.

5. Biyomalzemelerin Sınıflandırılması

5.1 Metal Biyomalzemeler

Biyomalzeme denilince en sık kullanılan malzemelerden biri olan metaller, diğer biyomalzemelere göre daha ekonomik olmasından dolayı tercih edilmektedir. Metal biyomalzemelerin kristal yapıya sahip olmaları, metalik özelliklerinin güçlü olmasını sağlamıştır. Metallerin yüksek mukavemeti, sertliği, yorulma sürtünme direncinin yanında sünek olmaları olumlu yönleridir. Özellikle kalça eklemlerinde kullanılan paslanmaz çelikler, yüksek mukavemetleri nedeniyle, yüksek basınçlara dayanabilmektedir. Metallerin sünek özelliği, istenilen forma kolayca getirilmesini sağlamaktadır. Metallerin bu özelliği bağ yapıları ve kristal yapılarından kaynaklanmaktadır (Gümüsderelioğlu, 2002). Vücut sıvıları metal biyomalzemelere korozif bir ortam oluşturabilmektedir. Korozyon, vücut için toksik bir etki oluşturduğundan, seramik yapıların kaplama malzemesi olarak kullanımı, vücut sıvılarının metal ile etkileşimini engellemektedir (Gümüsderelioğlu, 2002). Metal biyomalzemeler alerji riski yüksek insanlarda, metal salınımı nedeniyle risk oluşturabilmektedir.

Metal biyomalzemeler ortopedi ve kalp damar cerrahisinde, ağız çene cerrahisinde, ameliyatta kullanılan aletlerde ve teşhis için kullanılan cihazlarda sıklıkla kullanılmaktadır (Gümüsderelioğlu, 2002, Cömert vd., 2006).

5.2 Polimer Biyomalzemeler

Polimer biyomalzemeler, metal ve seramiklere göre daha kompleks yapıda olup daha geniş bir biyomalzeme sınıfıdır. Monomer isimli yapıların polimerizasyonu ile polimer yapılar oluşmaktadır. Polimer malzemeler doğal ve yapay olabilmektedir. Doğal polimerler selüloz ve doğal kauçuk gibi bitkisel, heparin ve kollajen gibi hayvansal olabilmektedir. Polimerik biyomalzemelerin mekanik özellikleri diğer malzeme sınıflarıyla karşılaştırıldığında zayıftır. Yüksek mukavemet gerektiren kalça, diz gibi implantlarda yetersiz kalmaktadır. Ancak mukavemet özelliği moleküler yapıya bağlı olduğundan, örneğin polietilenin daha güçlü dayanım özelliği gösterdiği bilinmektedir. Polimer biyomalzemelerin sıvıları emme özelliklerine sahip olmaları, tehlikeli sıvıları bünyelerine almalarına yol açmaktadır. Bu durum kişiler için bir risk oluşturmaktadır (Ramakrishna vd.,2004).

Polimerik malzemeler, diğer malzeme sınıflarına göre daha hafiftir ve yoğunlukları dokulara daha uyumludur. Polimer biyomalzemenin seçimi insan vücudunda uygulanan bölgenin özelliklerine göre değişmektedir. Örneğin kalça protezi için kullanılacaksa yüksek yoğunluklu, kırıkların tedavisinde vida olarak kullanılacaksa tedavi işleminden sonra kendiliğinden parçalanabilen özellikte olması tercih edilir. Polimerik biyomalzemelerin oftalmoloji uygulamalarında, kalp damar cerrahisinde, dermatolojik uygulamalarda, eczacılık uygulamalarında, ilaç salımı/dağıtım sistemlerinde ve ortopedi cerrahisinde kullanımları mevcuttur (Gümüsderelioğlu, 2002, Paital and Dahotre, 2009).

5.3 Biyoseramikler

Zarar vermeyip, zarar da görmeyen yapısıyla bilinen biyoseramikler, yoğun kullanım alanları ile karşımıza çıkmaktadırlar. Biyoseramiklerin en güçlü özelliği, vücut dokuları ile uyum içinde olmalarıdır. Hidroksiapatit olarak bilinen biyoseramik, insan ve hayvan kemiklerinde doğal olarak bulunmaktadır. Bu tip biyomalzemelerin kullanımı daha güvenli olup, vücut dokularıyla da uyumludur. Biyomalzemelerin mekanik özelliklerinden olan sertlik, mukavemet ve aşınma direnci tatmin edici niteliktedir. Biyomalzemelerin gevreklik özelliği ve düşük kırılma tokluğu olumsuz özellikleri olmasına rağmen, metal ve polimer yapılarla kompozit yapı oluşturularak bu durum tolere edilebilir. Seramik malzemelerin ısı ve elektrik iletimi zayıf olduğundan yalıtım malzemesi olarak kullanılabilirler (Toy and Baykara, 1994, Choi vd.,1998). Seramik

malzemeler korozyon ve sürtünmeye karşı dirençlidir. Seramik malzemelerin yüzeylerinin oldukça düzgün olması ve ıslatılabilirlik özelliğinin bulunması doku malzeme etkileşimi için iyi bir özelliktir. Poröz yapıli biyoseramikler, düşük mukavemet değeri sergilemelerine karşın, metal biyomalzemelerde kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Biyoseramikler özellikle biyomedikal uygulamalarda yoğun bir şekilde talep edilmektedir (De Aza vd., 2005).

5.4 Biyokompozitler

En az iki farklı malzemenin bileşimi ile oluşan biyokompozitler, malzeme dünyasında önemli bir yeri olan malzeme sınıfıdır. İki farklı malzemede eksik yönler tolere edilerek, performansı yüksek yapılar oluşturulması hedeflenmiştir. Kompozit yapılar birbirinden farklı yapılar olan metal, polimer veya seramik yapıların bileşimi ile oluştuıkları için yapıları oldukça komplekstir. Biyokompozitler metal, seramik ve polimer yapıların eksik yanlarını tolere edebilen, biyoyumlu, estetik görünüme sahip, korozyona uğramama gibi pek çok özelliğinin yanı sıra bileşimindeki kullanılan malzemelere göre daha hafif olabilmek özellikleri tercih nedenleri arasındadır. Biyokompozit malzemelerin olumsuz özelliği maliyetidir. Pratik uygulama metotlarıyla biyokompozitler daha fazla uygulama alanı bulmuştur. Biyokompozitler ortopedi cerrahisinden, dermatoloji uygulamalarına kadar pek çok alanda kullanılmaktadır (Ramakrishna vd., 2004).

6. Dental Biyomalzemelerin Özellikleri

Biyomalzemeler, biyomedikal cihaz tasarımında, hücre içi ilaç dağıtımında, cihaz uyumluluğunda, doku değışimi ve nice doku mühendisliğı çözümlerinin geliştirilmesinde son yıllarda giderek artan önemli bir role sahip olmuştur. Bu alanda malzemelerin biyolojik uyumluluğunu ve biyolojik olarak parçalanabilirliğini iyileştirmek için bitkiler ve hayvanlara özgü doğal substratları kullanmaya yönelik artan bir eğilim vardır. Aynı zamanda, bu malzemeler mekanik özelliklere de sahiptir ve genellikle biyolojik olarak inert olarak kabul edilirler. Daha da önemlisi, geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılan biyomalzemeler biyolojik aktivitelerini artıran benzersiz kimyasal bileşimleri ve yapıları nedeniyle doğal moleküllere ve özelliklere de sahiptirler. Biyomalzemeler toksik olmama, korozyona karşı direnç gösterme, ısıl iletkenlik, dayanıklılık ve biyoyumluluk gibi birçok özelliğe de sahip olmalıdırlar. Doğal biyomalzemeler, fonksiyonel yapıları nedeniyle genellikle bu gereksinimleri büyük ölçüde karşılamaktadırlar (Joyce vd., 2021).

Ağız ve diş hastalıkları dünyadaki en yaygın sağlık sorunlarından biridir. Biyomalzemeler, gösterdikleri doku biyo-uyumluluk yetenekleri ile diğer malzemelere göre vücut tarafından daha kolay kabul edilebilirler.

Kullanılan malzemelerin türü, kalitesi ve biyo-uyumluluğu diş hekimliğinde tedavinin başarısını etkileyen en önemli faktörler arasındadır. Biyomalzemeler ile ilgili endüstriler son otuz yıldır etkin faaliyet göstermekte ve günümüzde 700'den fazla şirketin dâhil olduğu çok sayıda ticari işletme için de önem arz etmektedirler. Diğer önemli bir nokta ise, biyomalzemelerin hacim olarak çok düşük ancak fiyat bakımından yüksek fiyatlarla satılması ve stratejik ürünler olarak kabul edilmesidir (Abdolahpour vd., 2017). Oldukça farklı alanlarda gerçekleştirilen biyomalzemelerin çalışma alanlarından biri, ağız ve diş sağlığı alanında kullanılan diş biyomalzemeleridir (Şekil 1).

Diş hekimliğinde kullanılan biyomalzemeler polimer, seramik, metaller ve kompozitler olmak üzere dört genel kategoriye ayrılır (Abdolahpour vd., 2017).



Şekil 1. Biyomalzemeler ve dental uygulama alanları

6.1 Polimerler

Malzeme biliminin gelişmesiyle birlikte günümüzde polimerler diş hekimliğinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Diş hekimliğinde polimerlerin en yaygın kullanım alanlarından biri, tam ve kısmi protezde polimerik temelli malzemelerin kullanımınıdır. Polimerik temelli malzemelerin diş hekimliğinde kullanım alanları arasında, protez yumuşak astarlar, rezin simanlar, çukur ve fissür örtücüler örnek olarak verilebilir.

Polimerler, diş hekimliğinin çoğu alanında önemli bir role sahiptir. Polimerlerin diğer malzeme türlerinde olmayan bir dizi ayırt edici özellikleri onların klinik uygulamalarda sıklıkla tercih edilmelerini

sağlamaktadır. En yaygın kullanılan ölçü malzemeleri (aljinatlar, polieterler, polisülfidler ve silikonlar) polimerlerdir. Partikül seramik dolgulu (kuvars) polimerik matris en sık kullanılan restoratif malzemedir. Ek uygulamalar arasında protez tabanı, protez dişler, dentin / seramik / metal bağlama sistemleri, simanlar, kalıplar, geçici kronlar, endodontik dolgular, doku düzenleyiciler, çukur ve fissür örtücüler bulunur. Bununla birlikte, miktar açısından polimerlerin birincil kullanımı, tam protezlerin ve hareketli kısmi protezlerin doku taşıyan kısımlarının yapımında gerçekleştirilmektedir (Kutz, 2009).

Diş hekimliğinde polimer kullanımının bir başka örneği, diş yapılarının yenilenmesi alanındadır. Diş implantları kaybedilen dişlerin yerine konulmasında en yaygın yöntemdir ve bu işlem sırasında biyolojik ve mekanik arızalardan kaçınmak için diş yuvasında belli bir miktarda kemik bulundurulması gerekmektedir. (Irudhayam ve Hariram, 2021).

6.2 Seramikler

Dişler, insan vücudunun karmaşık organlarıdır ve hem sert hem de yumuşak olan çeşitli dokulardan oluşurlar. Diş, birçok zararlı etkiye maruz kalır. Restoratif diş hekimliği, hasarlı dişleri ve bunların destekleyici yapılarını onarmakla ilgili çalışmaları yürütür.

Restoratif diş hekimliğinde seramiğin rutin kullanımı günümüzde sıklıkla tercih edilmesine rağmen, dayanıklı ve estetik bir malzeme ihtiyacına yönelik arayış oldukça eskidir. Yüzyıllar boyunca pek çok kültürde dişler sağlığın, gençlik ve güzelliğin bir ölçüsü olarak kabul edilmiştir. Bu nedenle, diş yapısındaki hasarlar ve özellikle eksik dişlerin fiziksel ve fonksiyonel problemler oluşturması tüm kültürlerde evrensel ortak bir etkiye sebep olmuştur. On sekizinci yüzyılda yapay dişler, insan dişlerinden, insan dişlerinin boyutuna ve şekline göre oyularak hazırlanmış hayvan dişlerinden, fildişi, kemik veya mineral (porselen) dişlerden yapılmıştır. O dönemlerde yapay diş malzemelerinin seçimi, mekanik özelliklerine ve biyolojik stabilitelere dayanmaktaydı. Hayvan dişleri tükürükteki aşındırıcı maddelere karşı kararsızdı ve fildişi ve fil kemiği kolayca lekelenen gözenekler içermekteydi. Günümüzde de estetik kavramı büyük önem taşımaktadır ve dişlerin estetik onarımına herhangi bir şekilde kalıcı ve tatmin edici bir çözüm sunan en önemli tıbbi malzeme seramik olarak kabul edilmektedir (Kutz, 2009).

Seramikler basınca karşı çok iyi bir dirence sahiptir, ancak kesme ve çekme kuvvetleri altında fazla direnç gösteremezler. Seramiklerin diş hekimliğinde birçok uygulama alanı vardır.

Toksik olmayan, düşük ağırlıklı, düşük yoğunluklu ve yüksek basınca dayanıklı, düşük maliyetle kolayca üretilebilen yeşil biyomateryal köpükler diş hekimliği uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedir. Yapı iskelesi olarak implante edildiğinde, cam-seramik kompozitler kemik

bağlanması, bağ dokusu büyümesi ve kaybedilen dokunun rekonstrüksiyonu için önemli potansiyele sahiptirler. Araştırmalar, yumurta kabuğu tozundan, kalsiyum fosfat ve sodyum silikat bağlayıcıların desteklediği biyo-hücresele cam-seramik kompozitin biyomedikal ve dişçilik uygulamaları için alternatif bir biyomateryal olduğunu ortaya koymaktadır (Kongpaopong vd., 2021).

6.3 Metaller

“Metalsiz” diş hekimliğine yönelik eğilim, son yıllarda yükselişe geçmiş ve günümüzde de metal içermeyen diş bilimleri hızla gelişmektedir (Toussi vd., 2018). Ancak metaller hala dayanıklı ve uzun ömürlü olma nedenleri ile klinik uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadırlar. Metaller, çözelti içinde pozitif iyon yüklü elementlerdir ve periyodik tablonun yaklaşık yüzde 70'ini oluşturmaktadırlar.

Son 25 yıldır diş hekimliğinde kullanılan metal alaşımlar daha çeşitli hale gelmiştir. Modern alaşımlar, altın, paladyum, platin, gümüş, nikel, kobalt, krom ve titanyum dâhil olmak üzere bir dizi elementten oluşmaktadır. Diş protezlerinin uzun vadede iyi performans göstermesi, bu alaşımların doğru seçimini gerekli kılmaktadır.

20. yüzyılda metal alaşımları restoratif materyaller olarak önemli bir rol üstlenmiştir. Mevcut örnekler arasında kobalt-krom (Co-Cr) alaşımları tıpta ve özellikle diş hekimliğinde giderek daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. Kullanım tercihleri temel olarak sertlik, mukavemet ve korozyon direnci gibi mekanik özelliklerinden ve yüksek biyouyumluluk yeteneklerinden kaynaklanmaktadır (Vaicelyte vd., 2020). Diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılan metalik elementler bax metaller ve soy metaller olmak üzere iki gruba ayrılır. Baz metaller, açık havada ısıtıldığında oksitlenen ve kıymetli metallere göre daha ucuz olan bir grup elementtirler. Bu elementler arasında titanyum, gümüş, bakır, çinko, indiyum, kalay, galyum, nikel ve kobalt bulunmaktadır. Altın, platin, paladyum, iridyum, rodyum, osmiyum ve rutenyum soy metaller olarak kabul edilirler. Isıtmada, lehimlemede ve ağızda kullanımda oksidasyona, kararmaya ve korozyona karşı dirençleri oldukça iyidir (Abdolahpour vd., 2017).

Son yıllarda değerli metallere (Au, Pt, vb.), paslanmaz çeliğe, Co-Cr alaşımları ve titanyum alaşımlarına kadar değişen çeşitli implant malzemeleri tasarlanmıştır. Nispeten yüksek mukavemet ve yüksek korozyon direnci titanyum alaşımı günümüzde tüm metaller arasında popüler bir dental implant malzemesi haline getirmiştir (Niu vd., 2021).

Altın alaşımı, günümüzde diş hekimliğinde kullanılan metal alaşımlardan biridir. Altın, yeni malzemelerin ortaya çıkmasına rağmen diş hekimliğinin çeşitli alanlarında hala kullanılan en eski malzemelerden biridir. Konservatif ve restoratif diş hekimliğinde olduğu kadar ortodonti

de altın ya saf metal olarak ya da baz metaller ve soy metallerle alaşım halinde kullanılır (Knosp vd., 2003). Yüksek biyouyumluluk, düşük korozyon, düşük plak birikimi ve iyi biyolojik uyum en önemli özellikleri olarak kabul edilir. Diş hekimliğindeki en önemli uygulamaları arasında; indirek restorasyonlar (inley ve onley), kuron, köprü, protez için çerçeve çalışması ve implantlar örnek olarak verilebilir (Miura vd., 2004).

Tüm alaşımlar ağız içinde bir dereceye kadar korozyona uğrar, ancak birbirlerinden önemli ölçüde farklılık gösterirler. Korozyon, estetik anlamda hoş olmayan görüntülere, fiziksel özelliklerde değişimlere veya artan biyolojik tahrişe neden olabilir. Korozyon karmaşıktır ve sadece alaşımın bileşimine dayanarak tahmin edilmesi güçtür. Bununla birlikte, birden fazla fazın varlığı veya soy elementlerin yüksek oranda varlığı da korozyon riskini arttırmaktadır.

Alaşımlardan sızabilecek metallerin biyolojik güvenliği konusunda her zaman bazı tartışmalar olmuştur. Üreticiler bu sorunu ortadan kaldırmak için yeni alaşımlar geliştirmeye çalışmaktadırlar. Hastanın herhangi bir malzeme ile uyumluluğunu test etmek için klinik olarak yapılabilecek değerlendirmelere ağırlık verilmesi biyolojik güvenliği konusunda daha fazla bilgiye ulaşılmasını sağlayacaktır.

6.4 Kompozitler

Dental kompozitler zengin bir geçmişe, günümüzde yerini koruyan sağlam bir temele ve her geçen gün artan araştırma alanı ile ümit verici bir geleceğe sahiptirler. Hibrit dental kompozitler diş tedavisinde önemli bir yere sahiptir. Aşınma direnci de dâhil çoğu kompozit dolgu teknolojileri, günümüzde daha fazla nanofiller kullanımını içermektedir. Nanofiller, önemli ölçüde daha küçük parçacıklar arası mesafelere izin vermekte ve reçine matrisini aşınmaya karşı korumaktadır. Nanofiller partiküllerinin çeşitli dental kompozit materyallerin yapısına katılarak özelliklerini geliştirdiği bilinmektedir. Hibrit dental kompozitler ayrıca diş yapısının mekanik özelliklerinin artırılmasına önemli ölçüde katkıda bulunurlar. Silanla muamele edilmiş bir dolgu, dişte kompozit bağlanma gücünü arttırmaktadır (Yadav ve Kumar, 2019).

Diş tedavisinde, dişin yeniden yapılandırılması, renginin değiştirilmesi, kontur düzeltilmesi ve görsel açıdan güzel görünümün sağlanması için kompozit reçineler kullanılır. Kompozit laboratuvar reçineleri restoratif olarak çok iyi yanıt veren, finansal açıdan kısıtlama olmaksızın estetik anlamda çok işlevli malzemelerdir. Bu malzemeler klinisyenlere fazla çaba gerektirmeden kolay uygulanabilirlik sağlamaktadırlar. Ayrıca hastanın porselen kullanımını reddettiği durumlarda da tercih nedeni olmaktadır (Murariu vd., 2020).

Kompozitler, dolgu bileşenlerinin boyutuna veya türüne göre sınıflandırılır. Dolgu bileşenlerinin boyutu açısından, kompozitler iki

kategoriye ayrılır: ince (ortalama 0.4-3 mikrometre boyutunda) ve mikro ince (ortalama 0.2-0.4 mikrometre boyutunda) (Abdolahpour vd., 2017).

Dolgu maddelerinin türüne bağlı olarak, kompozitler mikrohibrit ve mikro dolgulu kompozitler olmak üzere iki gruba ayrılır. Mikrohibritteki dolgu parçacıkları, ince ve mikro ince bileşimlerdir. Mikro dolgulu kompozitler, geniş bir yüzeye sahip mikro-ince dolgu parçacıklarına sahiptir (Abdolahpour vd., 2017).

7. Dental Biyomalzemelerin Avantajları

Biyomalzeme bilimi, yeni ve heyecan verici teknolojileri pek çok alana uygulamak için tarihinin zirvesinde bir bilim dalıdır. Gerçekte uzun vadeli etkileri tam anlamıyla detaylı klinik çalışma bilgilerine bağlı olmakla birlikte, biyomateryal araştırmalarında mevcut çalışmalar hızla artmaktadır.

Polimerler sıklıkla protez tabanı için kullanılmaktadır. Protez tabanı için pek çok malzeme kullanılmasına rağmen, sıklıkla poli metil metakrilatlar tercih edilmektedirler. Poli metil metakrilatların yaygın bir polimer olarak kullanımını sağlayan bazı özellikleri vardır. Bunlar arasında düşük maliyet, düşük ağırlık, düşük çözünürlük, düşük su emme, onarım imkanı, rahat ve kolay işleme gibi özellikler yer almaktadır. Bu polimerin zayıf yönlerinden biri ise, darbe kuvvetleri veya kullanıma bağlı kırılmalarıdır. Bu sorunu çözmek için, bu maddenin esnekliği ve mukavemeti artırılmaya çalışılmış, bu amaçla bu malzeme, kopolimer, çeşitli cam, metalik elyaf ve nanopartiküller gibi maddelerle birleştirmiştir.

Diş implantları, kısmen veya tamamen dişsiz hastaların rehabilitasyonu için oldukça yaygın bir tedavi yöntemi haline gelmiştir. Dental implantları çevreleyen yumuşak dokular, estetiğin sağlanmasında, mikroorganizmaların ve diğer tehlikeli ajanların invazyonunun önlenmesinde ve krestal kemik kaybının önlenmesinde ve böylece implant destekli restorasyonların uzun ömürlülüğünün sağlanmasında önemli bir rol oynamaktadır (Bertram vd., 2021). İmplant protez malzemeleri olarak metal alaşımları, seramikler ve polimer esaslı malzemeler kullanılmaktadır.

Restoratif diş hekimliğinde porselenin yaygın kullanımı genellikle kırılma olmasına rağmen estetik görünümünden kaynaklanmaktadır. Porselenler laboratuvarında yapılan taç, köprü ve kaplama gibi biyoyumlu diş restorasyonlarında kullanılmaktadır. Bu bileşiklerin faydaları arasında mükemmel bir biyoyumluluk, kimyasal olarak doğal olma, güzel görünüm, çözünme ve yüksek sertliğe ve dayanıklılığa sahip olma sayılabilir (Kaiyum vd., 2021).

Altın, 4000 yıldan uzun süredir diş tedavilerinde kullanılan en eski diş restoratif malzemesidir. İlk uygulamaları çoğunlukla estetiğe dayanmaktaydı. İlk olarak Fenikeliler dişleri bağlamak için altın tel

kullandılar ve ardından Etrüskler ve ardından Romalılar altın şeritten sabit köprüler yapma sanatını keşfettiler. Orta Çağ boyunca bu tekniklerin uygulaması azaldı ve on dokuzuncu yüzyılın ortalarında farklı bir biçimde yeniden keşfedildi. Altın alaşımlar bükülmeye karşı direnç ve porselene yakın termal genişleme katsayısı gibi benzersiz özelliklerinden dolayı diş hekimliğinde, özellikle restoratif diş tedavilerinde tercih edilmektedirler. Diş restorasyonlarına ek olarak, bazı ortodontik teller ve ateller de altın alaşımı ile yapılabilir (Knosp vd., 2003). Kompozitlerin avantajları arasında ise güzel görünüm, mikro mekanik bant ile diş yapısına bağlanma, onarım kolaylığı, amalgamın aksine diş yüzeylerinin kapsamlı işlenmesi ihtiyacını azaltma, ortamdaki civa salınımını ve civa maruziyetini azaltma sayılabilir.

Tükürük bileşenlerinin dişler ve dental biyomalzemeler üzerine adsorbe edilmesiyle oluşan bir katman olan tükürük zarının, diş hekimliğinin uygulama alanlarında doğrudan etkileri bulunmaktadır. Tükürük zarlarının dental biyomalzemeler üzerindeki farklı birçok etkisi araştırılmış ve gelecekteki dental biyomalzemeler için tasarım kriterleri üzerindeki etkileri, malzeme işlevi ve hasta sonuçları da göz önüne alınarak modellemeler için zemin oluşturmuştur (Fischer ve Aparicio, 2021).

Son yıllarda yapılan çalışmalarda dental biyomalzemelerin avantajları da vurgulanmaktadır. Abou ElReash vd. (2021), tarafından yapılan çalışmada MTA-HP, iRoot-BP-Plus ve ACTIVA isimli üç endodontik biyomalzemenin insan dental pulp kök hücrelerinin (hDPSC'ler) proliferasyonunu, mineralizasyonunu ve bağlanmasını başarılı bir şekilde teşvik ettiği bulunmuştur.

8. Sonuç

Farklı kullanım alanı bulunan biyomalzemeler, geçmişten günümüze diş hekimliğinde de yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar. Dental olarak kullanılan biyomalzemelerin kullanım alanları oldukça çeşitlidir. Enfeksiyon sonucu oluşan diş çürümleri ile kaybedilen dişler yerine dolgu oluşturmak, teşhis ve tedavi amaçlı kullanmak, iyileşmeye yardımcı olmak, doğuştan gelen veya sonradan oluşan estetik problemlere çözüm bulmak gibi çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Günümüzde, biyomalzeme/doku etkileşimi üzerinde yapılan çalışmalar ile vücut sıvıları ile biyouyumlu, toksik özellik göstermeyen, estetik açıdan tercih edilen malzemelerin araştırılması için önemli çalışmalar yapılmaktadır.

Kaynaklar

- Abdolahpour, Z., Saneipour, Z., Azarhoosh, M.J. (2017) Application of Biomaterials in Dentistry. *Curr Trend Biom Eng Biosci* 2(3), 44-47.
- Abou ElReash, A., Hamama, H., Grawish, M., Saeed, M., El-Din, A.M.Z., Zaen El-Din, A.M., Shahin, M.A., Zhenhuan, W., Xiaoli, X. (2021). A laboratory study to test the responses of human dental pulp stem cells to extracts from three dental pulp capping biomaterials. *Int Endodon J*, doi: 10.1111/iej.13495
- Bertram, A., Eckert, A.W., Emschhof, R. (2021). Implant-to-root dimensions projected by panoramic radiographs in the maxillary canine-premolar region: implications for dental implant treatment. *BMC Med Imag*, 21(1), 46.
- Choi, J. W., Kong, Y. M., Kim, H. E. (1998). Reinforcement of Hydroxyapatite Bioceramic by Addition of Ni₃Al and Al₂O₃. *J. Am. Ceram. Soc.*, 81(7), 1743-1748.
- Cömert, I., Cömert, Z. Y., Bakkaloglu, A. (2006). Biomaterials Used in Powder Metallurgy. *Proceedings of 11th International Materials Symposium*. 826-834.
- De Aza, P. N., De Aza A. H., De Aza, S. (2005). Crystalline Bioceramic Materials. *Bol. Soc. Esp. Ceram. V.* 44(3), 135-145.
- Fischer, N.G., Aparicio, C. (2021). The salivary pellicle on dental biomaterials. *Colloids Surf B*, 200, 111570.
- Gümüşderelioglu, M. (2002). Yeni ufuklara biyomalzemeler. *Bilim ve Teknik Dergisi*, 7, 2-5.
- Hench, L. L., Wilson, J. (1993). An Introduction to Bioceramics, Chapter 1, p. 4, World Scientific, Singapore.
- Hench, L.L. (1991). Bioceramics from concept to clinic. *Jour. Amer. Ceram. Soc.*, 74(7), 1487-1510.
- Irudhayam, S.J., Hariram, V. (2021) Dental implant biomaterials, design and importance of FEA – A brief review. *Mater Today: Proc*, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.205>
- Joyce, K., Fabra, G.T., Bozkurt, Y., Pandit, A. (2021). Bioactive potential of natural biomaterials: identification, retention and assessment of biological properties. *Signal Transduct Target Ther*, 6(1), 122.
- Kaiyum, M.A., Ahmed, A., Hasnat, M.H., Rahman, S. (2021). Effect of MgO on physical and mechanical properties of dental porcelain. *J Korean Cer Soc*, 58(1), 42-49.

- Knosp, H., Holliday, R.J., Corti, C.W. (2003). Gold in dentistry: Alloys, uses and performance. *Gold Bull*, 36(3), 93-101.
- Kongpaopong, K., Ratchatawatanapipat, N., Tangboriboon, N. (2021). Bio-cellular glass–ceramic composite with embedded calcium phosphate from eggshell for alternative biomaterials in medical and dental applications. *J Appl Poly Sci*, 138(20), e50439.
- Kutz M (2009) Biomedical Engineering and Design Handbook, Volume 1. *Dent Biomat*, Chapter (McGraw-Hill, 2009, 2003). <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071498388/chapter/chapter17>
- Meyers, M. A., Hodge, A. M. (2008). Advances in Biological Materials and Biomaterials Science. *The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society (TMS)*, 60, 18.
- Miura, E., Tabaru, T., Liu, J., Tanaka, Y., Shiraishi, T., Hisatsune, K. (2004). Effect of Gold Coating on Interfacial Reaction between Dental Porcelain and Titanium. *Mat Transact*, 45(10), 3044-3049.
- Murariu, A., Dinu, C., Forna, D., Stefanescu, V., Topor, G., Forna, N., Fotea, S., Gurău, G., Iordache, C. (2020). Composite Resins - Multifunctional Restorative Material and Practical Approaches in Dental Field. *Material Plast*, 57(2), 276-284.
- Niu, J.Z., Guo, Y.H., Li, K., Liu, W.J., Dan, Z.H., Sun, Z.G., Chang, H., Zhou, L. (2021). Improved mechanical, bio-corrosion properties and in vitro cell responses of Ti-Fe alloys as candidate dental implants. *Mat Sci Eng, C*, 122, 111917.
- Paital, S. R., Dahotre, N. B. (2009). Calcium Phosphate Coatings For Bio-Implant Applications: Materials, Performance Factors And Methodologies. *Materials Science And Engineering R*, 66, 1-70.
- Park, J.B., Kim, Y.K. (2000). *Metallic Biomaterials, The Biomedical Engineering Handbook: Second Edition*. CRC Press LLC, 2000.
- Pasinli, A. (2004). Biyomedikal uygulamalarda kullanılan biyomalzemeler. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4, 25-34.
- Ramakrishna, S., Huang, Z. M., Kumar, G. V., Batchelor, A. W., Mayer, J.(2004). *An Introduction To Biocomposites-Series On Biomaterials and Bioengineering*. Volume 1, Imperial College Press, London, 1-15, 18-32.
- Toussi1, C.A., Ezatpour, H.R., Haddadnia, J., Shiri, J.G. (2018). Effect of using different metal and ceramic materials as restorations on stress

- distribution around dental implants: a comparative finite element study. *Mat Res Exp*, 5(11), 115403.
- Toy, Ç., Baykara, T. (1994). 21. Yüzyılın Malzemesi Seramikler, *Bilim ve Teknik Dergisi*, 6, 13.
- Vaicelyte, A., Janssen, C., Le Borgne, M., Grosgeat, B. (2020). Cobalt–Chromium Dental Alloys: Metal Exposures, Toxicological Risks, CMR Classification, and EU Regulatory Framework. *Crystals*, 10, 1151.
- Wintermantel, E., Mayer, J., Blum, J., Eckert, K.L., Lüscher, P. and Mathey, M. (1996). Tissue engineering scaffolds using superstructures. *Biomaterials*, 17, 83-91.
- Yadav, R., Kumar, M. (2019). Dental restorative composite materials: A review. *J Oral Biosci*, 61(2),78-83.

BÖLÜM V

CERTAIN RESULTS FOR ALPHA COSYMPLECTIC MANIFOLDS

Hakan ÖZTÜRK

*(Dr.); Afyon Kocatepe University, Afyonkarahisar, Turkey,
e-mail: hakser23@gmail.com
Orcid No: 0000-0003-1299-3153*

Sermin ÖZTÜRK

*(Dr.); Afyon Kocatepe University, Afyonkarahisar, Turkey,
e-mail: ssahin@aku.edu.tr
Orcid No: 0000-0002-8535-0792*

1. Introduction

Tanno classified connected almost contact metric manifolds whose automorphism groups possess the maximum dimension (Tanno, 1969). The sectional curvature of plane sections for such manifolds containing the vector field ξ is a constant which is called c . The author proved that these manifolds can be divided into three classes:

- (1) Homogenous normal contact Riemannian manifolds with $c > 0$,
- (2) Global Riemannian products of a line or a circle with Kaehler manifold whose constant holomorphic sectional curvature under the condition $c = 0$.
- (3) A warped product space $R \times_f C$ for the case $c < 0$.

It is well known that the class (1) are characterized by admitting a Sasakian structure. Kenmotsu defined a structure closely related to the warped product which is characterized the differential geometric properties of the manifolds of class (3). The structure is known as Kenmotsu structure and in general, these structures are not Sasakian (Kenmotsu, 1972).

Weakly symmetric and weakly Ricci-symmetric Riemannian manifolds are generalizations locally symmetric manifolds and pseudo symmetric manifold, respectively. These are manifolds in which the covariants derivative ∇R of the curvature tensor R is a linear expression in R . The

appearing coefficients of this expression are called associated 1-forms which hold in the specified types of manifolds gradually weaker conditions.

Firstly, the notions of weakly symmetric and weakly Ricci-symmetric manifolds were introduced by Tamássy and Binh (Tamássy and Binh, 1992). The authors studied on weakly symmetric and weakly projective symmetric Riemannian manifolds. Then the authors considered weakly symmetric and weakly Ricci symmetric Einstein and Sasakian manifolds (Tamássy and Binh, 1993). In recent years, some authors have obtained necessary conditions for the compatibility of several K -contact structure with weak symmetry and weakly Ricci-symmetry (De et al., 2000). Also, Özgür investigated weakly symmetric and weakly Ricci-symmetric Riemann-para Sasakian manifolds (Özgür, 2002).

The notion of special weakly Ricci symmetric manifolds were introduced by Singh, and Khan (Singh and Khan, 2001). The authors considered special weakly symmetric manifolds. Next, Khan studied some geometric properties of conharmonic Sasakian manifolds and obtained some results on special weakly Ricci-symmetric Sasakian manifolds (Khan, 2004).

In this study, we investigate alpha cosymplectic manifolds with flatness conditions for n -dimensional case where α is a smooth function such that $d\alpha \wedge \eta = 0$. In particular, we consider φ -conformally flat, φ -conharmonically flat and φ -projectively flat alpha cosymplectic manifolds. We shall prove some results on these manifolds by using the class (3). Moreover, special weakly Ricci-symmetric alpha cosymplectic manifolds are considered. Finally, we give some examples on alpha cosymplectic manifolds depending on α .

2. Preliminaries

Let (M^n, g) be an n -dimensional Riemannian manifold. We denote by ∇ the covariant differentiation with respect to the Riemann metric g . Then we have

$$R(X, Y)Z = \nabla_X \nabla_Y Z - \nabla_Y \nabla_X Z - \nabla_{[X, Y]} Z,$$

$$R(X, Y, Z, W) = g(R(X, Y)Z, W).$$

The Ricci tensor of M^n is defined as

$$S(X, Y) = \sum_{i=1}^n R(X, e_i, Y, e_i),$$

where $\{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ is a local orthonormal basis and X, Y, Z, W are arbitrary vector fields on M^n .

The Ricci operator Q is a tensor field of type (1,1) on M^n defined by

$$g(QX, Y) = S(X, Y)$$

for any vector fields.

Let (M^n, g) , $n = \dim M$, $n > 3$, be a connected Riemannian manifold of class C^∞ and ∇ be its Riemannian connection. The Weyl conformal curvature tensor C , the conharmonic curvature tensor K and the projective curvature tensor P of (M^n, g) are defined by

$$C(X, Y)Z = R(X, Y)Z - \left(\frac{1}{n-2}\right) [S(Y, Z)X - S(X, Z)Y + g(Y, Z)QX - g(X, Z)QY] + \left(\frac{\tau}{(n-1)(n-2)}\right) [g(Y, Z)X - g(X, Z)Y], \quad (2.1)$$

$$K(X, Y)Z = R(X, Y)Z - \left(\frac{1}{n-2}\right) [S(Y, Z)X - S(X, Z)Y + g(Y, Z)QX - g(X, Z)QY] \quad (2.2)$$

and

$$P(X, Y)Z = R(X, Y)Z - \left(\frac{1}{n-1}\right) [g(Y, Z)QX - g(X, Z)QY], \quad (2.3)$$

respectively, where Q is the Ricci operator, S is the Ricci tensor, $\tau = \text{tr}(S)$ is the scalar curvature and $X, Y, Z \in \chi(M^n)$, $\chi(M^n)$ being the Lie algebra of vector fields of M^n (Yano and Kon, 1984).

Let C be the Weyl conformal curvature tensor of M^n . Since at each point $p \in M^n$ the tangent space $T_p(M^n)$ can be decomposed into the direct sum $T_p(M^n) = \varphi(T_p(M^n)) \oplus L(\xi_p)$, where $L(\xi_p)$ is a 1-dimensional linear subspace of $T_p(M^n)$ generated by ξ_p , we have a map

$$C: T_p(M^n) \times T_p(M^n) \times T_p(M^n) \rightarrow \varphi(T_p(M^n)) \oplus L(\xi_p).$$

Then the following particular cases are held:

(a) $C: T_p(M^n) \times T_p(M^n) \times T_p(M^n) \rightarrow L(\xi_p)$, i.e., the projection of the image of C in $\varphi(T_p(M^n))$ is zero.

(b) $C: T_p(M^n) \times T_p(M^n) \times T_p(M^n) \rightarrow \varphi(T_p(M^n))$, i.e., the projection of the image of C in $L(\xi_p)$ is zero.

(c) $C: \varphi(T_p(M^n)) \times \varphi(T_p(M^n)) \times \varphi(T_p(M^n)) \rightarrow L(\xi_p)$, i.e., when C is restricted to $T_p(M^n) \times \varphi(T_p(M^n)) \times \varphi(T_p(M^n))$, the projection of the image of in $\varphi(T_p(M^n))$ is zero. Also, this condition is equivalent to

$$\varphi^2 C(\varphi X, \varphi Y)\varphi Z = 0. \quad (2.4)$$

A differentiable manifold (M^n, g) , $n > 3$, satisfying the Eq. (2.4) is said to be φ -conformally flat.

A differentiable manifold (M^n, g) , $n > 3$, satisfying the condition

$$\varphi^2 K(\varphi X, \varphi Y)\varphi Z = 0 \quad (2.5)$$

is said to be φ -conharmonically flat.

A differentiable manifold (M^n, g) , $n > 3$, satisfying the condition

$$\varphi^2 P(\varphi X, \varphi Y)\varphi Z = 0 \quad (2.6)$$

is said to be φ -projectively flat (Blair, 1976).

The cases (a) and (b) were studied by Zhen (Zhen, 1992 and 1997). The case (c) was considered for K -contact manifolds (Cabrerizo, 1999). Following these studies, the authors considered (k, μ) -contact manifolds satisfying Eq. (2.5) (Arslan et al., 2000). Furthermore, the authors studied (k, μ) -contact metric manifolds satisfying Eq. (2.4) (Arslan et al., 2000).

Besides, Özgür proved that an n -dimensional ($n > 3$) conformally flat Lorentzian para-Sasakian manifold is an η -Einstein manifold and conharmonically flat Lorentzian para-Sasakian manifold is an Einstein manifold with zero scalar curvature (Özgür, 2003). Also, the author showed that a projectively flat Lorentzian para-Sasakian manifold is an Einstein manifold with scalar curvature $\tau = n(n - 1)$.

3. Alpha Cosymplectic Manifolds

Let M^n be an n -dimensional differentiable manifold equipped with a triple (φ, ξ, η) , where φ is a $(1,1)$ -tensor field, ξ is a vector field, η is a 1-form on M^n such that

$$\eta(\xi) = 1, \varphi^2 = -I + \eta \otimes \xi, \quad (3.1)$$

which implies

$$\varphi\xi = 0, \eta \circ \varphi = 0, \text{rank}(\varphi) = n - 1. \quad (3.2)$$

If M^n admits a Riemannian metric g , such that

$$g(\varphi X, \varphi Y) = g(X, Y) - \eta(X)\eta(Y), \eta(X) = g(X, \xi) \quad (3.3)$$

then M^n is said to have an almost contact structure (φ, ξ, η, g) .

On such a manifold, the fundamental Φ of M^n is defined by

$$\Phi(X, Y) = g(\varphi X, Y),$$

for any vector fields X and Y .

An almost contact metric manifold $(M, \varphi, \xi, \eta, g)$ is said to be almost cosymplectic if $d\eta = 0$ and $d\Phi = 0$, where d is the exterior differential operator. The products of almost Kaehler manifolds and the real line R or the S^1 circle are the simplest examples of almost cosymplectic manifolds. An almost contact manifold (M, φ, ξ, η) is said to be normal if the Nijenhuis torsion

$$N_\varphi(X, Y) = [\varphi X, \varphi Y] - \varphi[\varphi X, Y] - \varphi[X, \varphi Y] + \varphi^2[X, Y] + 2d\eta(X, Y)\xi$$

vanishes for any vector fields X and Y . A normal almost cosymplectic manifold is called a cosymplectic manifold. It is well known that an almost contact metric structure is cosymplectic if and only if both $\nabla\eta$ and $\nabla\Phi$ vanish.

An almost contact metric manifold M^n is said to be almost alpha Kenmotsu if $d\eta = 0$ and $d\Phi = 2\alpha\eta \wedge \Phi$, α being a non-zero real constant. It is worthwhile to note that almost alpha Kenmotsu structures are related to some special local conformal deformations of almost cosymplectic structures.

In order to combine these two classes, we have a new notion of an almost alpha cosymplectic manifold for any real number α such that

$$d\eta = 0, \quad d\Phi = 2\alpha\eta \wedge \Phi. \quad (3.4)$$

(Kim and Pak, 2005). A normal almost alpha cosymplectic manifold is called an alpha cosymplectic manifold. An alpha cosymplectic manifold is either cosymplectic under the condition $\alpha = 0$ or alpha Kenmotsu under the condition $\alpha \neq 0$ for $\alpha \in R$.

On such an alpha cosymplectic manifold, we have

$$(\nabla_X\varphi)Y = \alpha[g(\varphi X, Y)\xi - \eta(Y)\varphi X], \quad (3.5)$$

for $\alpha \in R$ on M^n .

Let M be a n -dimensional alpha cosymplectic manifold. From Eq. (3.5), it is easy to see that

$$\nabla_X\xi = -\alpha\varphi^2X, \quad (3.6)$$

where ∇ denotes the Riemannian connection.

4. Curvature Properties

By using the properties of Riemannian curvature tensor, the following proposition are held on alpha cosymplectic manifolds.

Proposition 4.1 Let M^n be an alpha cosymplectic manifold. Then we have

$$R(X, Y)\xi = [\alpha^2 + \xi(\alpha)](\eta(X)Y - \eta(Y)X),$$

$$R(X, \xi)\xi = [\alpha^2 + \xi(\alpha)](\eta(X)\xi - X), \quad (4.1)$$

$$S(X, \xi) = -2n[\alpha^2 + \xi(\alpha)]\eta(X), \quad (4.2)$$

$$S(\varphi X, \varphi Y) = S(X, Y) + [\alpha^2 + \xi(\alpha)](n-1)\eta(X)\eta(Y), \quad (4.3)$$

$$g(R(\xi, X)Y, \xi) = [\alpha^2 + \xi(\alpha)][\eta(X)\eta(Y) - g(X, Y)], \quad (4.4)$$

$$Q\xi = -[\alpha^2 + \xi(\alpha)](n-1)\xi, \quad (4.5)$$

$$S(\xi, \xi) = -[\alpha^2 + \xi(\alpha)](n-1), \quad (4.6)$$

where α is a smooth function such that $d\alpha \wedge \eta = 0$, for any vector fields X, Y on M^n (Öztürk, 2017). In these formulas, R is the Riemannian curvature tensor and S the Ricci tensor of M^n .

Moreover, an alpha cosymplectic manifold M^n is said to be Einstein if its Ricci tensor S is of the form

$$S(X, Y) = \lambda g(X, Y) \quad (4.7)$$

where λ is constant and it is called η -Einstein if its Ricci tensor S is of the form

$$S(X, Y) = \lambda_1 g(X, Y) + \lambda_2 \eta(X)\eta(Y), \quad (4.8)$$

for any vector fields X and Y , where λ_1 and λ_2 are functions on M^n (Yano and Kon, 1984).

5. Some Certain Conditions

Theorem 5.1 Let M^n be an alpha cosymplectic manifold. If M^n is conharmonically flat Einstein manifold, then M^n is a manifold of constant curvature such that α is parallel along the vector field ξ .

Proof. We assume that M^n be an alpha cosymplectic manifold satisfying following condition

$$K(X, Y)Z = 0. \quad (5.1)$$

Then it follows from Eq.(2.2)

$$R(X, Y)Z = (1/(n-2))[S(Y, Z)X - S(X, Z)Y + g(Y, Z)Q(X) - g(X, Z)Q(Y)]. \quad (5.2)$$

Let the manifold be Einstein. Then Eq. (5.2) reduces to

$$R(X, Y)Z = ((2\lambda)/(n - 2))[g(Y, Z)X - g(X, Z)Y], \quad (5.3)$$

or

$$g(R(X, Y)Z, W) = \left(\frac{2\lambda}{n-2}\right)[g(Y, Z)g(X, W) - g(X, Z)g(Y, W)]. \quad (5.4)$$

Putting $X = W = \xi$ in Eq. (5.4), then we get

$$g(R(\xi, Y)Z, \xi) = \left(\frac{2\lambda}{n-2}\right)[g(Y, Z) - \eta(Y)\eta(Z)]. \quad (5.5)$$

Next, make use of Eq.(5.5) by using Eq.(4.4), we obtain

$$\left(\frac{2\lambda}{n-2} + \alpha^2 + \xi(\alpha)\right)[g(Y, Z) - \eta(Y)\eta(Z)] = 0. \quad (5.6)$$

From Eq. (5.6) it follows that

$$\left(\frac{2\lambda}{n-2} + \alpha^2 + \xi(\alpha)\right) = 0$$

or

$$g(Y, Z) - \eta(Y)\eta(Z) = 0.$$

However, it is noted that if $g(Y, Z) - \eta(Y)\eta(Z) = 0$, then we have $g(\varphi Y, \varphi Z) = 0$ which is a contradiction. Thus it holds

$$\left(\frac{2\lambda}{n-2} + \alpha^2 + \xi(\alpha)\right) = 0.$$

According to the hypothesis, it follows that M^n is alpha cosymplectic and has zero constant curvature for $\lambda = 0$. Otherwise, we may write $\lambda = (((2 - n)\alpha^2)/2)$ with $\alpha \neq 0$. Hence, alpha Kenmotsu case has a constant curvature such that α^2 is constant. Thus it completes the proof. As a special case, if we choose $\alpha = 1$, we obtain that a conharmonically alpha cosymplectic manifold is locally isometric with a unit sphere (Khan, 2004).

Definition 5.1 An n -dimensional Riemannian manifold (M^n, g) is called a special weakly Ricci-symmetric manifold if

$$(D_X S)(Y, Z) = 2\zeta(X)S(Y, Z) + \zeta(Y)S(X, Z) + \zeta(Z)S(Y, X), \quad (5.7)$$

where ζ is a 1-form and is defined by

$$\zeta(X) = g(X, \rho) \quad (5.8)$$

where ρ is the associated vector field (Tamássy and Binh, 1993).

Then we state the following result:

Theorem 5.2 If a special weakly Ricci-symmetric alpha cosymplectic manifold admits a cyclic Ricci tensor, then the 1-form ζ can not be vanished where α is parallel along the vector field ξ .

Proof. Let Eqs. (5.7) and (5.8) be satisfied on an alpha cosymplectic manifold M^n . Then taking cyclic sum of Eq.(5.7), we have

$$\begin{aligned} & (D_X S)(Y, Z) + (D_Y D_- \{Y\} S)(Z, X) + (D_Z S)(X, Y) \\ &= 4[\zeta(X)S(Y, Z) + \zeta(Y)S(X, Z) + \zeta(Z)S(Y, X)]. \end{aligned} \quad (5.9)$$

Let M^n admit a cyclic Ricci tensor. Then Eq. (5.9) reduces to

$$\zeta(X)S(Y, Z) + \zeta(Y)S(X, Z) + \zeta(Z)S(Y, X) = 0. \quad (5.10)$$

Taking $Z = \xi$ in Eq.(5.10), we have

$$\zeta(X)S(Y, \xi) + \zeta(Y)S(X, \xi) + \eta(\rho)S(Y, X) = 0, \quad (5.11)$$

and also putting $Y = \xi$ in Eq. (5.11), we get

$$\zeta(X)S(\xi, \xi) + \eta(\rho)S(X, \xi) + \eta(\rho)S(\xi, X) = 0. \quad (5.12)$$

Then using $X = \xi$ in Eqs. (5.11) and (5.12), we obtain

$$-3[\alpha^2 + \xi(\alpha)](n-1)\eta(\rho) = 0, \quad (5.13)$$

and

$$\eta(\rho) = 0. \quad (5.14)$$

In view of Eqs. (5.14) and (5.12), we have $\zeta(X) = 0$ for any vector field X and $\xi(\alpha) = 0$. At this point, we recall that 1-form ζ has to be vanished for alpha Kenmotsu case. Obviously, the cosymplectic case requires that 1-form ζ can not be vanished. Hence, the 1-form ζ does not have to be vanished for $\alpha = 0$. This completes the proof.

Theorem 5.3 A special weakly Ricci-symmetric alpha cosymplectic manifold can not be an Einstein manifold if the 1-form ζ is equal to zero where α is parallel along the vector field ξ .

Proof. Since alpha cosymplectic manifold is an Einstein manifold, it holds $(D_X S)(Y, Z) = 0$ and $S(Y, Z) = \lambda g(Y, Z)$. Hence, Eq. (5.7) gives

$$2\zeta(X)S(Y, Z) + \zeta(Y)S(X, Z) + \zeta(Z)S(Y, X) = 0. \quad (5.15)$$

Putting $Z = \xi$ in Eq. (5.15), we get

$$2\zeta(X)S(Y, \xi) + \zeta(Y)S(X, \xi) + \eta(\rho)S(Y, X) = 0. \quad (5.16)$$

Furthermore, taking $X = \xi$ in Eq. (5.16), we have

$$2\eta(\rho)S(Y, \xi) + \zeta(Y)S(\xi, \xi) + \eta(\rho)S(Y, \xi) = 0. \quad (5.17)$$

Then putting $Y = \xi$ in Eq. (5.17) and with the help of Eqs.(3.1) and (4.6) provides

$$-4[\alpha^2 + \xi(\alpha)](n-1)\eta(\rho) = 0. \quad (5.18)$$

In view of Eq.(5.18) in Eq.(5.17), we obtain $\zeta(Y) = 0$ for any vector field Y such that $\xi(\alpha) = 0$ for $\alpha^2 \neq 0$. On the other hand, the cosymplectic case implies that the 1-form ζ does not have to be zero. Thus we complete the proof.

6. Certain Flatness Conditions

Theorem 6.1 Let M^n be an n -dimensional, ($n > 3$), φ -conformally flat alpha cosymplectic manifold. Then M^n is an η -Einstein manifold such that α is parallel along the vector field ξ .

Proof. Suppose that $(M^n, g), n > 3$, be a φ -conformally flat alpha-cosymplectic manifold. It is clear that $\varphi^2 C(\varphi X, \varphi Y)\varphi Z = 0$ holds if and only if

$$g(C(\varphi X, \varphi Y)\varphi Z, \varphi W) = 0,$$

for any vector fields X, Y, Z and W . Then using Eq. (2.1), we have

$$\begin{aligned} g(R(\varphi X, \varphi Y)\varphi Z, \varphi W) &= \left(\frac{1}{n-2}\right) [g(\varphi Y, \varphi Z)S(\varphi X, \varphi W) \\ &-g(\varphi X, \varphi Z)S(\varphi Y, \varphi W) + g(\varphi X, \varphi W)S(\varphi Y, \varphi Z) - \\ &g(\varphi Y, \varphi W)S(\varphi X, \varphi Z)] \quad (6.1) \\ &- \left(\frac{\tau}{(n-1)(n-2)}\right) [g(\varphi Y, \varphi Z)g(\varphi X, \varphi W) - g(\varphi X, \varphi Z)g(\varphi Y, \varphi W)]. \end{aligned}$$

Let $\{e_1, e_2, \dots, e_{n-1}, \xi\}$ be a local orthonormal basis of vector fields on M^n . Also, we may write $\{\varphi e_1, \dots, \varphi e_{n-1}, \xi\}$ is also a local orthonormal φ -basis, if we put $X = W = e_i$ in Eq. (5.2) and sum up with respect to i , then from Eq. (6.1) we obtain

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n g(R(\varphi e_i, \varphi Y)\varphi Z, \varphi e_i) &= \quad (6.2) \\ \left(\left(\frac{1}{n-2}\right)\right) \sum_{i=1}^{n-1} [g(\varphi Y, \varphi Z)S(\varphi e_i, \varphi e_i) - g(\varphi e_i, \varphi Z)S(\varphi Y, \varphi e_i) \\ &+ g(\varphi e_i, \varphi e_i)S(\varphi Y, \varphi Z) - g(\varphi Y, \varphi e_i)S(\varphi e_i, \varphi Z)] \\ &- \left(\left(\frac{\tau}{(n-1)(n-2)}\right)\right) \sum_{i=1}^{n-1} [g(\varphi Y, \varphi Z)g(\varphi e_i, \varphi e_i) - g(\varphi e_i, \varphi Z)g(\varphi Y, \varphi e_i)]. \end{aligned}$$

It follows that

$$\sum_{i=1}^{n-1} g(R(\varphi e_i, \varphi Y)\varphi Z, \varphi e_i) = S(\varphi Y, \varphi Z) + \alpha^2 g(\varphi Y, \varphi Z), \quad (6.3)$$

$$\sum_{i=1}^{n-1} S(\varphi e_i, \varphi e_i) = \tau + \alpha^2(n-1), \quad (6.4)$$

$$\sum_{i=1}^{n-1} g(\varphi e_i, \varphi Z)S(\varphi Y, \varphi e_i) = S(\varphi Y, \varphi Z), \quad (6.5)$$

$$\sum_{i=1}^{n-1} g(\varphi e_i, \varphi e_i) = n-1, \quad (6.6)$$

and

$$\sum_{i=1}^{n-1} g(\varphi e_i, \varphi Z)g(\varphi Y, \varphi e_i) = g(\varphi Y, \varphi Z). \quad (6.7)$$

Taking into account of Eqs. (6.3-6.7), Eq. (6.2) can be written as

$$S(\varphi Y, \varphi Z) = \left(\frac{\tau}{n-1} + \alpha^2 + \xi(\alpha)\right)g(\varphi Y, \varphi Z). \quad (6.8)$$

By the help of Eqs. (3.5) and (4.3), Eq. (6.8) takes the form

$$S(Y, Z) = \left(\frac{\tau}{n-1} + \alpha^2 + \xi(\alpha)\right)g(Y, Z) - \left(\frac{\tau}{n-1} + \alpha^2 + \xi(\alpha)n\right)\eta(Y)\eta(Z), \quad (6.9)$$

which implies that M^n is an η -Einstein manifold. Thus the proof is completed.

Theorem 6.2 Let M^n be an n -dimensional, ($n > 3$), alpha cosymplectic manifold. There can not exist φ -projectively flat alpha cosymplectic manifolds such that α is parallel along the vector field ξ with zero scalar curvature.

Proof. Assuming that M^n be an n -dimensional, ($n > 3$), φ -projectively flat alpha cosymplectic manifold. It can be easily seen that $\varphi^2 P(\varphi X, \varphi Y)\varphi Z = 0$ holds if and only if

$$g(R(\varphi X, \varphi Y)\varphi Z, \varphi W) = 0,$$

for any vector fields X, Y, Z and W . From Eqs. (2.3) and (4.3), we have

$$g(R(\varphi X, \varphi Y)\varphi Z, \varphi W) = \left(\frac{1}{n-2}\right) [g(\varphi Y, \varphi Z)S(\varphi X, \varphi W) - g(\varphi X, \varphi Z)S(\varphi Y, \varphi W)]. \quad (6.10)$$

Choosing $\{e_1, e_2, \dots, e_{n-1}, \xi\}$ as a local orthonormal basis of vector fields on M^n . Moreover, the φ -basis is given by $\{\varphi e_1, \dots, \varphi e_{n-1}, \xi\}$ if we put $X = W = e_i$ in Eq. (6.10) and sum up with respect to i , then we get

$$\sum_{i=1}^{n-1} g(R(\varphi e_i, \varphi Y)\varphi Z, \varphi e_i) = \left(\frac{1}{n-2}\right) [g(\varphi Y, \varphi Z)S(\varphi X, \varphi W) - g(\varphi X, \varphi Z)S(\varphi Y, \varphi W)]. \quad (6.11)$$

Then applying Eqs. (4.3) and (4.4) into Eq. (6.11) gives

$$S(\varphi Y, \varphi Z) = \left(\frac{\tau}{n}\right)g(\varphi Y, \varphi Z), \quad (6.12)$$

and

$$S(Y, Z) = \left(\frac{\tau}{n}\right)g(Y, Z) - \left(\frac{\tau}{n} + \alpha^2 + \xi(\alpha)(n-1)\right)\eta(Y)\eta(Z). \quad (6.13)$$

Contracting Eq. (6.13) with respect to $Y = Z = e_i$, we obtain

$$\tau + \alpha^2 + \xi(\alpha)n(n-1) = 0. \quad (6.14)$$

From Eq. (6.14) the condition $\alpha = 0$ is implied that $\tau = 0$. On the other hand, the alpha Kenmotsu case holds for $n = 0$ and $n = 1$. Therefore, this case shows a contradiction. Thus we complete the proof.

Theorem 6.3 Let M^n be an n -dimensional, ($n > 3$), φ -conharmonically flat alpha cosymplectic manifold. Then M^n is an η -Einstein manifold such that α is parallel along the vector field ξ with zero scalar curvature.

Proof. We suppose that (M^n, g) , ($n > 3$), be a φ -conformally flat alpha cosymplectic manifold. It obvious that $\varphi^2 K(\varphi X, \varphi Y)\varphi Z = 0$ holds if and only if

$$g(K(\varphi X, \varphi Y)\varphi Z, \varphi W) = 0,$$

for any vector fields X, Y, Z and W . Then making use of Eq. (2.2), φ -conformally flat gives

$$\begin{aligned} g(R(\varphi X, \varphi Y)\varphi Z, \varphi W) &= \left(\frac{1}{n-2}\right) [g(\varphi Y, \varphi Z)S(\varphi X, \varphi W) - \\ &g(\varphi X, \varphi Z)S(\varphi Y, \varphi W) + g(\varphi X, \varphi W)S(\varphi Y, \varphi Z) - \\ &g(\varphi Y, \varphi W)S(\varphi X, \varphi Z)]. \end{aligned} \quad (6.15)$$

With the help of the similar proof technique used in the above theorem, we obtain

$$\begin{aligned} &\sum_{i=1}^{n-1} g(R(\varphi e_i, \varphi Y)\varphi Z, \varphi e_i) = \\ &\left(\frac{1}{n-2}\right) \sum_{i=1}^{n-1} [g(\varphi Y, \varphi Z)S(\varphi e_i, \varphi e_i) - g(\varphi e_i, \varphi Z)S(\varphi Y, \varphi e_i) \\ &+ g(\varphi e_i, \varphi e_i)S(\varphi Y, \varphi Z) - g(\varphi Y, \varphi e_i)S(\varphi e_i, \varphi Z)]. \end{aligned} \quad (6.16)$$

Follows from (6.16) we have

$$S(\varphi Y, \varphi Z) = (\tau + \alpha^2 + \xi(\alpha))g(\varphi Y, \varphi Z), \quad (6.17)$$

and

$$\begin{aligned} S(Y, Z) &= (\tau + \alpha^2 + \xi(\alpha))g(Y, Z) \\ &\quad - (\tau + [\alpha^2 + \xi(\alpha)]n)\eta(Y)\eta(Z). \end{aligned} \quad (6.17)$$

By contracting Eq. (6.17) we obtain $(2-n)\tau = 0$ for $\xi(\alpha) = 0$. Hence, the scalar curvature τ is zero. Thus it completes the proof.

7. Some Examples

Example 7.1 Let us denote the standart coordinates of $R^3(x, y, z)$ and consider 3-dimensional manifold $M \subset R^3$ defined by

$$M = \{(x, y, z) \in R^3: z \neq 0\}.$$

The vector fields are

$$e_1 = e^{z^3} \left(\frac{\partial}{\partial x} \right), \quad e_2 = e^{z^3} \left(\frac{\partial}{\partial y} \right), \quad e_3 = \left(\frac{\partial}{\partial z} \right)$$

It is clear that $\{e_1, e_2, e_3\}$ are linearly independent at each point of M . Let g be the Riemannian metric defined by

$$g(e_1, e_1) = g(e_2, e_2) = g(e_3, e_3) = 1,$$

$$g(e_1, e_2) = g(e_1, e_3) = g(e_2, e_3) = 0,$$

and given by the tensor product

$$g = \left(\frac{1}{e^{z^3}} \right) (dx \otimes dx + dy \otimes dy) + dz \otimes dz.$$

Let η be the 1-form defined by $\eta(X) = g(X, e_3)$ for any vector field X on M and φ be the (1,1) tensor field defined by

$$\varphi(e_1) = e_2, \quad \varphi(e_2) = -e_1, \quad \varphi(e_3) = 0.$$

Then using linearity of g and φ , we have

$$\varphi^2 X = -X + \eta(X)e_3, \quad \eta(e_3) = 1,$$

$$g(\varphi X, \varphi Y) = g(X, Y) - \eta(X)\eta(Y),$$

for any vector fields on M .

Let ∇ be the Levi-Civita connection with respect to the metric g . Then we get

$$[e_1, e_3] = -3z^2 e_1, \quad [e_2, e_3] = -3z^2 e_2, \quad [e_1, e_2] = 0.$$

It follows that the structure of (φ, ξ, η, g) can easily be obtained. So it is sufficient to check that the only non-zero components of the second fundamental form Φ are

$$\Phi \left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y} \right) = -\Phi \left(\frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial x} \right) = -\frac{1}{e^{z^3}},$$

and

$$\Phi = -\frac{1}{e^{z^3}} (dx \wedge dy),$$

where $\Phi(e_1, e_2) = -1$ and otherwise $\Phi(e_i, e_j) = 0$ for $i \leq j$. Thus the exterior derivation of Φ is given by

$$d\Phi = 6z^2 \frac{1}{e^{2z^3}} (dx \wedge dy \wedge dz).$$

Since $\eta = dz$, we have

$$d\Phi = -6z^2(\eta \wedge \Phi),$$

where α defined $\alpha(z) = -3z^2$. Moreover, it can be noted that Nijenhuis torsion tensor of φ vanishes. Hence, the manifold is an alpha Kenmotsu.

Example 7.2 Let M be a manifold of dimension $(2n + 1)$ such that

$$M = \{(x_1, \dots, x_n, y_1, \dots, y_n, z) \in R^{2n+1}: z \neq 0\}, M \subset R^{2n+1}$$

The vector fields as a global basis of M are given by

$$X_i = 2z \frac{\partial}{\partial x_i}, Y_i = \frac{-2}{z^3} \frac{\partial}{\partial y_i}, \xi = \frac{\partial}{\partial z}, i = 1, 2, \dots, n.$$

Also, we can take

$$g = \sum_{i=1}^n \frac{1}{4} \left(\frac{1}{z^2} dx_i^2 + z^6 dy_i^2 \right) + dz^2, \eta = dz,$$

and

$$\varphi\left(\frac{\partial}{\partial x_i}\right) = -\frac{1}{z^4} \frac{\partial}{\partial y_i}, \varphi\left(\frac{\partial}{\partial y_i}\right) = z^4 \frac{\partial}{\partial x_i}, \varphi(\xi) = 0.$$

Then the structure (φ, ξ, η, g) is an almost contact one. In order to check whether it is almost alpha cosymplectic or not, we verify the condition $d\Phi = 2\alpha(\eta \wedge \Phi)$, where all Φ_{ij} 's vanish except for

$$\Phi_{ii} = g\left(\varphi\left(\frac{\partial}{\partial y_i}\right), \frac{\partial}{\partial x_i}\right) = \frac{z^2}{4},$$

Hence, the exterior derivative $d\Phi$ can be given by

$$d\Phi = \frac{1}{8z} (\eta \wedge \Phi).$$

Therefore, M is an almost alpha cosymplectic manifold with the smooth function $\alpha(z) = \frac{1}{16z}$. Moreover, it is note that Nijenhuis torsion tensor of φ does not vanish.

References

- Arslan, K., Murathan, C. and Ozgür, C., On φ -conformally flat contact metric manifolds, *Balkan J. Geom. Appl.*, Vol.5, No. 2 (2000), pp. 1–7.
- Arslan, K., Murathan, C. and Ozgür, C., On contact manifolds satisfying certain curvature conditions, *Proceedings of the Centennial "G. Vranceanu" and the Annual Meeting of the Faculty of Mathematics (Bucharest, 2000)*. *An. Univ. Buc. Math. Inform.*, Vol. 49 (2000), pp. 17–26.
- Blair, D., *Contact manifolds in Riemannian Geometry*, Lecture Notes in Math. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, New York, USA, (1976).
- Cabrerizo, J.L, Fernandez, L.M. and Zhen, G., The structure of a class of K -contact manifolds, *Acta Math. Hungar.*, Vol. 82 (1999), pp. 331–340.
- De, U.C., Binh, T.Q. and Shaikh, A.A., On weakly symmetric and weakly Ricci-symmetric K -contact manifolds, *Acta Mathematica Academiae Paedagogicae Nyiregyháziensis*, Vol. 16 (2000), pp. 65–71.
- Jun, J. B., De, U. C. and Pathak, G., On Kenmotsu manifolds, *J. Korean Math. Soc.* Vol. 42 (2005), pp. 435–445.
- Kenmotsu, K., A class of contact Riemannian manifold, *Tohoku Math. J.*, Vol. 24 (1972), pp. 93–103.
- Kim, T.W, Pak, H.K., Canonical foliations of certain classes of almost contact metric structures, *Acta Math. Sinica, Eng. Ser. Aug.*, Vol. 21 (2005), pp. 841–846.
- Khan, Q, On conharmonically and special weakly Ricci-symmetric Sasakian manifolds, *Novi Sad J. Math.*, Vol. 34 (2004), pp. 71–77.
- Özgür, C., On weak symmetries of Riemann para-Sasakian manifolds, *Radovi Matamatički*, Vol. 11 (2002), pp. 263–270.
- Özgür, C., φ -Conformally flat Lorentzian para-Sasakian manifolds, *Radovi Matamatički*, Vol. 12 (2003), pp. 99–106.
- Öztürk, H., Some notes on almost α -cosymplectic manifolds. *International Journal of Mathematics, Game Theory and Algebra*, Vol. 25 (2016), pp. 1–12.
- Öztürk, H., On almost α -Kenmotsu manifolds with some tensor fields, *AKU J. Sci. Eng.*, Vol. 16 (2016), pp. 256–264.

- Öztürk, H., On α -Kenmotsu manifolds satisfying semi-symmetric conditions, Konuralp Journal of Mathematics, Vol. 5, No. 2 (2017), pp. 192–206.
- Singh, H., Khan, Q., On special weakly symmetric Riemannian manifolds, Publ. Math. Debrecen, Vol. 58 (2001), pp. 523–536.
- Tamássy, L., Binh, T.Q., On weakly symmetric and weakly projective symmetric Riemannian manifolds, Coll. Math. Soc. J. Bolyai, Vol. 56 (1992), pp. 663–670.
- Tamássy, L., Binh, T.Q., On weak symmetries of Einstein and Sasakian manifolds, Tensor N.S, Vol. 53 (1993), pp. 140–148.
- Tanno, S., The automorphism groups of almost contact Riemannian manifolds, Tohoku Math. J., Vol. 21 (1969), pp. 21–39.
- Yano K., Kon, M., Structures on manifolds, Series in Pure Math: Vol.3, World Sci., Singapore, (1984).
- Zhen, G., On conformally symmetric K -contact manifolds, Chinese Quart. Journal of Math., Vol. 7 (1992), pp. 5–10.
- Zhen, G., Cabrerizo, J.L., Fernandez L.M. and Fernandez, M., On ξ -conformally flat contact metric manifolds, Indian J. Pure Appl. Math., Vol. 28 (1997), pp. 725–734.

BÖLÜM VI

GÖZENEKLİ SİLİSYUM TABANLI YAPILAR ÜZERİNE 100-600 nm ARALIĞINDA KAPLANAN Pd, Au, Ag, Cu METALLERİNİN ELEKTRİKSEL PARAMETRELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI*

Sevinç GÜLER

(Dr. Öğretim Üyesi); İstanbul Aydın Üniversitesi, e mail:
sevincguler@aydin.edu.tr
Orcid No: 0000-0002-7974-3100

Çiğdem ORUÇ

(Doç. Dr.); Yıldız Teknik Üniversitesi, e mail: oruc@yildiz.edu.tr
Orcid No: 0000-0001-8745-2461

1. Giriş

Hidrojen yakıt pilleri gelecekte enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanılacak güvenli ve temiz araçlardır. Bu enerji ihtiyacının karşılanması için de ileri teknolojilerden olan hidrojen enerji sistemi kullanılabilir. Gözenekli silisyum hidrojen pili bu teknolojinin örneklerinden biridir. Son yıllarda fosil yakıtların (kömür, petrol ve doğal gaz vb.) hızlı tükenmesi ve çevre kirliliği, düşük enerji verimliliği bulunan yeni enerji kaynaklarını hızlandırmıştır. Nükleer ve doğal kaynaklar (Güneş, rüzgar, jeotermal ve hidroelektrik) alternatif enerji kaynakları olarak düşünülmektedir.

Hidrojen yakıt hücreleri, gelecekte enerji ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılan temiz, güvenli enerji dönüştürücü araçlardır. Hidrojeni temiz bir enerji kaynağı olarak kullanma teknolojilerinin, kaynak eksikliğinin gelecekteki potansiyel sorunlarının üstesinden gelmek için önemli olduğu düşünülmektedir (Dzhafarov et al. 2010). Gözenekli silisyum (GS), nanometre mertebesinde mikrometre mertebesine kadar değişen boyutlarda boşluklarla çevrelenmiş, silisyum bölgelerden oluşan bir ağıdır. Silisyumun hidroklorik asit içinde elektrokimyasal aşındırılması sırasında 1956'da keşfedilmiştir (Uhlir 1956). Gözenekli silikon (GS)1950'lerde

* Bu çalışma yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

teknolojik kullanıma sunulduktan sonra bilimin birçok alanında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Canham 2014).

Gözenekli silisyum yüzeyleri silisyum hidrit ve silisyum oksitle kaplıdır. Gözenekli silisyumun içteki geniş yüzeye yayılması nedeniyle, yüzey bağları, özellikle de Si-H bağları elektrik, optik ve fotolüminesans düzenliliğinde büyük bir rol oynar.

Gözenekli silisyum yapının ve kompozisyonunun değişim sebebinin hidrojen ve oksijen difüzyonu olduğu sıkça düşünülmüştür (Lehmann and Gösele 1991). Nanoyapılı gözenekli Si (GS), geniş iç yüzey alanı, ayarlanabilir gözenek boyutu, gözenekliliği ve üretim kolaylığı nedeniyle birçok çalışmada kullanılan bir malzeme haline gelmiştir (Basu 2007).

Elektrolitte HF konsantrasyonu, akım yoğunluğu, silisyum katkı maddelerinin yoğunluğu, aydınlatma işlemi ve aşındırma süresi gibi parametrelere bağlı olarak birkaç nanometreden birkaç mikrometreye kadar değişen çeşitli gözenek boyutları elde edilebilir (Ossei-Wusu et al. 2013). Gözenek boyutuna bağlı olarak, GS, mikro gözenekli (≤ 2 nm), mezo gözenekli (2-50 nm) ve makro gözenekli (>50 nm) olmak üzere üç gruba ayrılabilir (Evans et al. 2017). Gözenekli silisyumun yüzeyinin toplam en geniş hali yaklaşık $10^3 \text{ m}^2.\text{cm}^{-3}$ 'dür (Dzhafarov, Oruc, and Aydin 2004).

Asit veya proton iletkeni ile doldurulmuş GS nafion membran geliştirtirerek gözenekli silikon yapı yakıt hücresi membranına monte edildiğini bildirmişlerdir (Pichonat and Gauthier-Manuel 2006). Yakıt pilinin elektrotlarını makro gözenekli silisyum teknolojisini kullanarak üretmiştir. Gözenekli silisyum elektrodunun mikro gözeneklerinin kılcal davranışı pilin yönelimine bakılmaksızın pilin tepkime bölgelerine doğru yakıt pompalayacağını ve gözenekli elektrodun eğri yüzeyi boyunca kılcal itme basıncının gözenek çapının azalmasıyla artacağını göstermişlerdir (Aravamudhan, Rahman, and Bhansali 2005).

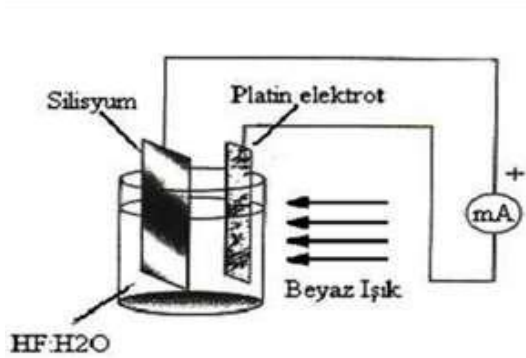
GS tabakası ile su arasındaki reaksiyonda kritik bir role sahip olan Si-H bağlarının miktarının, GS yüzeyindeki aşındırma akımına güçlü bir şekilde bağlı olduğu bildirilmiştir (Zhan et al. 2011). Elektriksel, dielektrik ve ışıldayan özellikleri, yüzey gruplarının ikame edilmesi ve GS hidrojen içeriğinin değiştirilmesi ile değiştirilebileceği belirtilmiştir (Manilov and Skryshevsky 2013).

Metal-GS-Si schottky tipi yapılar, önyargı gerilimi olmadan farklı hidrojen bazlı sıvılara daldırıldığında potansiyel farklılıklar yaratır. Bu nedenle, bir mini hidrojen yakıt hücresinde kullanılabilir. PEM tipi yakıt hücreleri, diğer enerji kaynakları ile üretilebilen saf hidrojen gazı üzerinde

de çalışabilir, ancak Metal-PS-Si doğrudan hidrojen yakıt hücreleri hidrojen iyonlarını doğrudan sudan ayırabilir (Oruc and Guler 2014). Farklı H_2S konsantrasyonunda $H_2S + H_2O$ çözeltisindeki Au/GS/Si hücresi için elde açık devre voltajının elde edildiğini bildirerek, H_2S konsantrasyonunun 17 ile 75 mM arasında artmasıyla neredeyse doğrusal bir voltaj artışı (230 ile 400 mV) olduğunu gözlemlemiştirler (Dzhafarov and Yuksel 2011).

2. Materyal Yöntem

GS/Si yapılar, tek kristal n tipi Si üzerinde 1:3 konsantrasyonlu HF: dH_2O çözeltileri içerisinde, sabit akım yoğunluğu altında ($15mA/cm^2$) ve tek kristalin tipine göre beyaz ışık aydınlatması eşliğinde (50W, 12V halojen lamba) elektrokimyasal anodizasyon yöntemiyle aşındırılması sonucunda elde edilir. GS/Si yapıların çok iyi bir şekilde temizlenmiş olması sonuçların performansının daha iyi olması bakımından önem taşımaktadır. Temizleme işleminde, de-iyonize su, etil alkol ve hidroklorik asit kullanılmıştır. Anodizasyon işleminin gerçekleştiği hücrelerin şematik gösterimi Şekil 1’ de görülmektedir. Si malzeme gözenekli bir yapı haline getirildikten sonra arka yüzüne İndiyum (In) metali ile kontak yapılarak omik kontaklar elde edilmiştir.



Şekil 1. Elektrokimyasal aşındırma yöntemi şematik gösterimi

Elektrokimyasal aşındırma işlemi esnasında, silisyum anod, platin ise katot görevi üstlenmektedir. Anodizasyon işlemi başlamadan önce silisyum kristalinin bir yüzü parlatılır ve alkol ile temizlenir. Aydınlanma şiddeti ölçümleri Oriol 70261 termopile ile alınarak ve istenilen şiddette ışık silisyumun parlak yüzeyine doğru olacak şekilde anodizasyon hücresi hazırlanır.

Anodizasyon süresi, akım yoğunluğu, aydınlatma şiddeti gibi elektrokimyasal anodizasyon şartları değiştirilerek homojen farklı

özelliğe GS/Si yapılar elde edilebilir. Bu sistemde n-tipli tek kristal silisyum için anodisasyon mümkündür. GS silisyumun sadece elektrolit tarafına bakan yüzünde oluşmaktadır. Bu sistem gözeneklilik ve kalınlık parametrelerinin kontrolü açısından daha kolay uygulamaya sahip olması nedeniyle geniş çapta kullanım ortamı yakalamıştır.

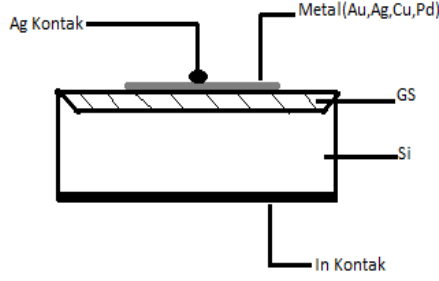
Bu çalışmada kullanılan malzemeler, (111) oryantasyonlu ve 1.25×10^{-2} Ω .cm öz dirençli n tipi tek kristalli silisyum (Si) kullanılarak üretilmiştir. Ortalama gözeneklilik için birçok farklı yöntem kullanılmakla beraber bunlar arasında en sık ve güvenilir olarak kullanılan, ağırlık ölçüm yöntemidir. Üretilen GS/Si yapıların gözeneklilik miktarı % 60.5 olarak belirlenmiş ve kalınlık 10-15 μ m olarak ölçülmüştür (Orucius and Yıldırım 2014). Ortalama gözeneklilik, yani gözenekli tabakadaki boşluk fraksiyonu gravimetrik teknikle ölçülmüştür (Dzhafarov et al. 2004).

Yüzey aşındırma işleminden hemen sonra, çeşitli kalınlıklarda yüksek saflıkta bulunan Pd, Au, Cu ve Ag metalleri ayrı ayrı elektron ışını buharlaşma tekniği kullanılarak GS/Si yapıda bulunan gözenekli yüzeyine buharlaştırılmıştır.

Düşük direnç oluşturabilmek için Si yüzeyinin arkası İndiyum (In) ile kaplanarak omik kontak elde edilmiştir. Yarıiletken aygıtların, elektriksel karakteristiklerini ölçümünde omik kontaktarın önemi büyüktür ve uygun malzemeler kullanılarak farklı yöntemlerle malzemeye omik kontaktar hazırlanır. İyi bir omik kontakta olması gereken özelliklerin başında iki omik kontak arasında alınan akım-gerilim karakteristiği doğrultucu özellik göstermemesi gelmektedir, yani kontak direnci akım yönüne bağlı olmamalıdır.

Diğer önemli özellikler ise; kontak direnci akım şiddetine bağlı olmamalıdır. Kontak direnci yarıiletkenin direncinden çok küçük olmalıdır. Kontakta akım geçerken gürültü olmamalıdır. Kontak malzemesi yarıiletkenle mekanik olarak iyi birleşmelidir. Ayrıca kontak için metal seçilirken; n-tipi yarıiletkende kullanılan metalin çıkış işi, yarıiletkenin termodinamik çıkış işinden daha küçük olmalı ve metal, bu yarıiletkende donör özelliği göstermelidir.

GS tabakasının morfolojileri, 20 kV voltaj ile hızlanarak çalışan taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Elektriksel ölçümlerin gerçekleştirilebilmesi için Şekil 2' de gösterildiği gibi silisyum yüzeye uygun omik kontak, GS ve metal kaplı yüzeylere de gümüş pasta kontak yapılarak, hidrojen içeren çeşitli sıvıların içine yerleştirilmiş ve Voc (açık devre gerilimi), Isc (kısa devre akımı) belirlenmiştir.



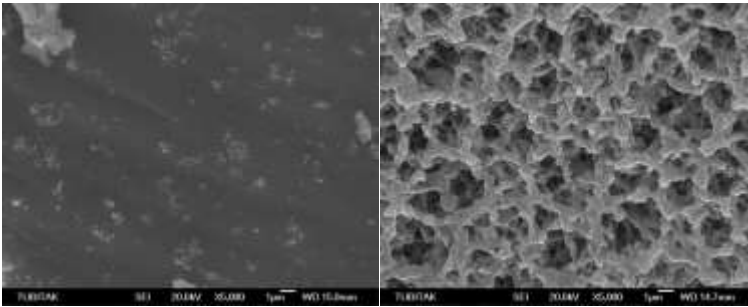
Şekil 2. Metal-GS-Si eklemi şematik gösterimi

In omik arka kontaklar ile elde edilen Metal/GS/Si/In yapılar suya daldırıldığında metal film arasında üretilen Voc ve Isc parametreleri ‘Thurbly’ 1503 dijital multimetre kullanılarak ölçülmüştür (Orucus and Yıldırım 2014).

3. Bulgular

Bu çalışmanın temel amacı, dört farklı metal olan Pd, Au, Ag ve Cu metal filmlerin kalınlığının direkt hidrojen yakıt hücresinin performans parametreleri üzerindeki etkisini karşılaştırmaktır. Bu amaçla, metal filmler (Pd, Au, Ag ve Cu) üzerinde çeşitli kalınlıktaki metalin kaplanması sonucu elde edilen Metal/GS/Si/In yapılar üzerinde bir dizi deney gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3 (a) ve (b), tek kristal Si ile GS/Si yapılarının taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntülerini göstermektedir. SEM mikrografının üstten görünümünden GS katmanının homojen olduğu açıktır.



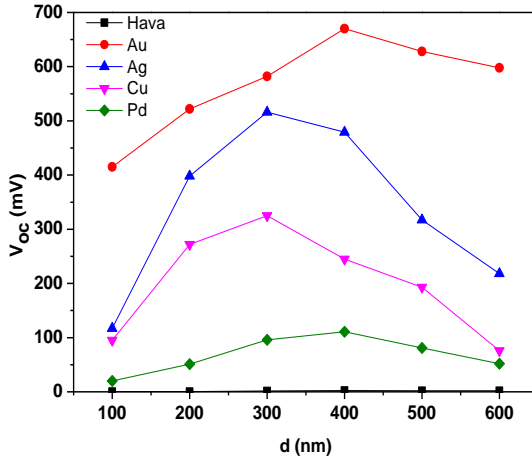
a.

b.

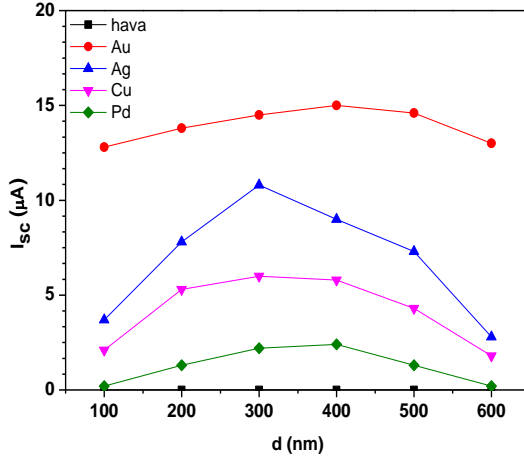
Şekil 3. Tek kristal Si (a) ile GS/Si (b) yapılarının taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntüleri

Metal/GS/Si/In yapıları suya daldırıldığında, metal (Pd, Au, Ag ve Cu) ve Si malzemesi arasında açık devre voltajının oluşumu gözlenmiştir. Metal (Pd, Au, Ag ve Cu) kalınlığının performansa etkisini araştırmak için üretilen yapıların parametreleri, metal (Pd, Au, Ag ve Cu) filmlerin kalınlığı 100 ile 600 nm arasında değiştirilmiştir.

Bu çalışmada metal filmlerin biriktirilmesi elektron ışını yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir Optimum çalışma filmi kalınlığını (d) belirlemek ve üretim hakkında daha detaylı bilgi almak için metal film ve GS kontaktları arasında bir Voc ve Isc ölçümleri yapılmıştır. Film kalınlığıyla birlikte Voc ve Isc değerleri sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5' te gösterilmektedir.



Şekil 4. Metal (Pd, Au, Ag ve Cu) /GS/Si/In yapılarının hava ve su ortamındaki metal film kalınlığı ile Voc varyasyonu.



Şekil 5. Metal (Pd, Au, Ag ve Cu) /GS/Si/In yapılarının hava ve su ortamındaki metal film kalınlığı ile Isc varyasyonu

Şekil 4'ten görülebileceği gibi, tüm metal filmler (Pd, Au, Ag ve Cu) için film kalınlığındaki artış açık devre gerilimi V_{OC} değerlerinde bir artmaya neden olmaktadır, ancak film kalınlığının belirli bir değerinden sonra V_{OC} değerlerinde azalmaya gidildiği görülmektedir. Metal/GS/Si/In yapısında Au filmin tüm kalınlıkları için en yüksek V_{oc} değerlerini oluşturduğu Şekil 4'ten de açıkça görülmektedir. Kalınlık bağımlılığının Isc eğrisi, V_{oc} 'de gözlemlenene çok benzer görünmektedir. (Bkz. Şekil 5).

Proton Değişim Membranı (PEM) yakıt hücresine benzer olacak şekilde Metal/GS/Si/In hücresinde de Metal film ve GS katmanı, sırasıyla katalitik anot ve elektrolit rolünü oynar (Dzhafarov et al. 2004). Metal film ile Si arasındaki kontaklar arasındaki açık devre voltajı nemli koşullar altında incelendiğinde, GS tabakasındaki metal filmi bir katalizör gibi davranır ve nem moleküllerini, özellikle su moleküllerini protonlara, elektronlara ve gaz halindeki oksijene ayırır.

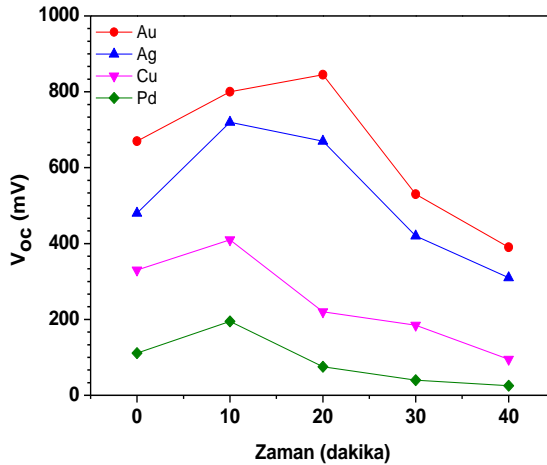
Metal katalizöründen oldukça küçük protonların metal film boyunca katalizör GS arayüzüne difüzyon penetrasyonunun daha baskın olduğuna ve bu durumun metal ve Si arasındaki açık devre voltajının üretilmesinden olduğu düşünülmektedir. Su ortamındaki 100 nm kalınlığında Au metali için, V_{oc} ve Isc değerleri yaklaşık 0.4 V ve

0.013 mA' dır. 400nm Au filmleri için gözlenen Voc ve Isc değerleri yaklaşık 0.67 V ve 0.015 mA olarak belirlenmiştir. Bu kalınlık değerinden sonra elektriksel parametrelerde bir azalma meydana gelmiştir. Aynı şekilde, 100 nm kalınlığında Ag metali için, Voc ve Isc değerleri yaklaşık 0.12 V ve 0.0037 mA iken elektriksel değerlerin maksimumuna ulaştığı 300nm kalınlığındaki Ag filmleri için gözlenen Voc ve Isc değerleri yaklaşık 0.48 V ve 0.011 mA olarak belirlenmiştir. 100 nm kalınlığında Cu metali için ise Voc ve Isc değerleri yaklaşık 0.095 V ve 0.0021 mA iken Voc ve Isc değerlerinin maksimumuna ulaştığı kalınlık 300 nm olarak belirlenmiştir ve Voc ve Isc değerleri yaklaşık olarak 0.33 V ve 0.006 mA olarak bulunmuştur. Benzer durum Pd metali için de geçerlidir. 100 nm kalınlıktaki Pd metali için, Voc ve Isc değerleri yaklaşık 0.02 V ve 0.0002 mA iken 400 nm kalınlığındaki Pd metali için maksimum Voc ve Isc değerleri sırasıyla 0,11 V ve 0.0024 mA olarak bulunmuştur.

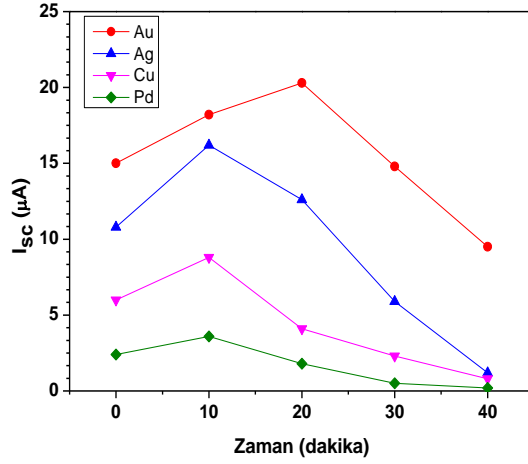
100 nm film kalınlığında elde edilen Au/GS yapılarında oluşan gözeneklerin iç duvarının Au atomları ile iyi kaplanmadığı ve bu nedenle ayrılmış su moleküllerinin sayısının, daha kalın olan Au filminden daha az olduğu belirlenmiştir. Au-GS kavşağında gözlemlenen Voc ve Isc'nin üretilen protonların sayısı ile orantılı olduğunu varsayarsak; Voc ve Isc'nin 100 nm Au film yapısında düşük olmasının nedeni budur. 400nm Au filmi için Voc ve Isc'de gözlenen iyileşme varsayımımızı desteklemektedir. Voc üretim mekanizması, hidrojen iyonlarının metal yüzeyden Metal/GS ara yüzlerine difüzyon penetrasyonuna dayanır. Oluşan açık devre voltajının büyüklüğü protonların sayısına bağlı olması nedeniyle, açık devre voltajının büyüklüğü metal filmin kalınlığına güçlü bir şekilde bağlıdır. GS tabakasının yüzey kaplamasındaki artış, daha homojen metal tabakanın oluşumunu yansıtır, bu da metal filmin katalitik performansında bir iyileşmeye yol açar ve bu nedenle daha fazla proton üretilir. Metal filmin kalınlığı belirli bir değere ulaştığında, gözenekler metal atomları tarafından doldurulmaya başlar ve üretilen protonların difüzyon penetrasyonları sınırlıdır. Böylece, açık devre voltajı metal kalınlığı ile artık artamaz. Bu sonuç Jeske ve ark. tarafından elde edilen verilerle tutarlıdır (Jeske et al. 1995). Bu sonuçlar, GS gözeneklerine metal birikiminin oluşabileceğini ve elektrotsuz birikimin GS yapısını oksitlediğini göstermektedir. Aynı durumun Ag, Cu, Pd metalleri ile kaplanmış örnekler için de benzerlik gösterdiği belirlenmiştir.

Isıl işlemin Metal/GS/Si/In yapılarının performans parametrelerini geliştirdiğini göstermiştir. Isıl işlemin performans parametreleri üzerindeki etkisinin incelenmesi için, numuneler 10 dakikalık bir süre

boyunca 200 ° C sabit bir sıcaklıkta havada sıra ile tavlamaya maruz bırakılmışlardır. 200 ° C' lik bir sıcaklıkta ilk termal tavlamanın, Au için 0.67 V'dan 0.8 V'a, Ag filmi için 0.48 V 'dan 0.72 V'a yükselen açık devre voltajında önemli bir artışa yol açtığı bulunmuştur. Benzer şekilde Cu filmi için Voc değeri 0,33 V' dan 0,41 V' a yükselirken, Pd metali için ise Voc değeri 0,11 V' dan 0,19 V' a yükseldiği belirlenmiştir. Tavlama işleminin, metal filmlerinin yapısını değiştirerek açık devre voltajında bir artışa neden olduğu ve böylece daha iyi proton üretimini kolaylaştırdığı düşünülmüştür. İkinci tavlama periyodundan sonra açık devre voltaj değerinde sadece Au filminin elektriksel değerlerinde bir artış gözlenirken Ag, Cu ve Pd filmlerinin elektriksel değerlerinde bir azalma gözlemlendiği tespit edilmiştir. Üçüncü tavlama periyodundan sonra ise tüm metal filmlerin elektriksel değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Artan tavlama döngüleri ile açık devre voltajında gözlenen azalma, oksit tabakasının oluşumuna bağlanabilir. Oksit tabakası, hidrojen iyonlarının metal yüzeyden metal/GS ara yüzüne difüzyonunu önlemektedir. Tavlama süresinin artmasıyla birlikte, bir oksit yüzey tabakası oluştuğu ve elektriksel parametre değerlerinin azaldığı bildirilmiştir. Sonuç olarak, açık devre voltajında ve kısa devre akımında bir azalma meydana gelir. Termal tavlamanın Metal/GS/Si/In yapıya doğrudan hidrojen yakıt hücrelerinde açık devre voltajı üzerindeki etkisi Şekil 6' da gösterilmektedir. Benzer şekilde termal tavlamanın Isc kısa devre akımı üzerindeki etkisi Şekil 7' de gösterilmektedir.



Şekil 6. Metal (Pd, Au, Ag ve Cu) /GS/Si/In yapılarının tavlama süresi ile Voc varyasyonu.



Şekil 7. Metal (Pd, Au, Ag ve Cu) /GS/Si/In yapılarının tavlama süresi ile Isc varyasyonu

4. Tartışma

Bu çalışmada, Metal/GS/Si/In doğrudan hidrojen yakıt hücresinin gözenekli bir silikon membranı ve Au veya Ag veya Cu veya Pd katalizör ince filmi ile üretimi ve karakterizasyonu sunulmuştur. Metal/GS/Si/In hidrojen yakıt hücresinin performansı, oda sıcaklığında su ile beslenerek ölçülmüştür. Au veya Ag veya Cu veya Pd metal tabakalarının kalınlıkları 100 ila 600 nm arasında değiştirilmiştir. Metal film kalınlığındaki artışın, Metal/GS/Si/In yapılarının elektriksel parametrelerinde önemli bir iyileşmeye yol açtığı gözlenmiştir. En iyi sonuç, Ayrıca, 200 ° C' de ve farklı zaman aralıklarında ortam atmosferinde tavlamanın cihazların performans parametreleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. 200 °C' de tavlandıktan sonra Au veya Ag veya Cu veya Pd metal ile kaplı yapıların performans parametrelerinde bir iyileşme gözlemlendiği tespit edilmiştir. Tavlama süresi arttığında, bir oksit yüzey tabakası oluştuğu ve cihaz performansı azaldığı bildirilmiştir. Tüm bu bulgular, Metal/GS/Si/In yapılarının yakıt hücresi parametrelerinin, metal (Au veya Ag veya Cu veya Pd) film tabakasının kalınlığının optimizasyonu ile geliştirilebileceğini göstermektedir.

5. Kaynaklar

- Aravamudhan, Shyam, Abdur Rub Abdur Rahman, and Shekhar Bhansali. 2005. "Porous Silicon Based Orientation Independent, Self-Priming Micro Direct Ethanol Fuel Cell." in *Sensors and Actuators, A: Physical*.
- Basu, Suddhasatwa. 2007. *Recent Trends in Fuel Cell Science and Technology*.
- Canham, Leigh. 2014. *Handbook of Porous Silicon*.
- Dzhafarov, T. D., C. Oruc, and S. Aydin. 2004. "Humidity-Voltaic Characteristics of Au-Porous Silicon Interfaces." *Journal of Physics D: Applied Physics* 37(3):404–8.
- Dzhafarov, T. D., C. Oruc Lus, S. Aydin Yuksel, M. Caliskan, and S. S. Yesilkaya. 2010. "Au/Porous Silicon-Based Sodium Borohydride Fuel Cells." *International Journal of Energy Research*.
- Dzhafarov, T. D., and S. Aydin Yuksel. 2011. "Porous Silicon-Based Direct Hydrogen Sulphide Fuel Cells." in *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*.
- Evans, Jack D., Kim E. Jelfs, Graeme M. Day, and Christian J. Doonan. 2017. "Application of Computational Methods to the Design and Characterisation of Porous Molecular Materials." *Chemical Society Reviews*.
- Jeske, M., J. W. Schultze, M. Thönissen, and H. Münder. 1995. "Electrodeposition of Metals into Porous Silicon." *Thin Solid Films*.
- Lehmann, V., and U. Gösele. 1991. "Porous Silicon Formation: A Quantum Wire Effect." *Applied Physics Letters*.
- Manilov, A. I., and V. A. Skryshevsky. 2013. "Hydrogen in Porous Silicon - A Review." *Materials Science and Engineering B: Solid-State Materials for Advanced Technology*.
- Oruc, Cigdem, and Sevinc Guler. 2014. "Effect of Au, Ag and Cu Thin Films' Thickness on the Electrical Parameters of Metal-Porous Silicon Direct Hydrogen Fuel Cell." *International Journal of Hydrogen Energy*.
- Oruclus, Cigdem, and Sevinc Yildirim. 2014. "Effect of Cu Thin Films' Thickness on the Electrical Parameters of Metal-Porous Silicon Direct Hydrogen Fuel Cell." in *TMS Annual Meeting*.
- Ossei-Wusu, E., J. Carstensen, E. Quiroga-Gonzalez, M. Amirmaleki,

- and H. Foll. 2013. "Investigation of Pore Diameter Modulation in Depth in P-Type Silicon." *ECS Transactions*.
- Pichonat, T., and B. Gauthier-Manuel. 2006. "Realization of Porous Silicon Based Miniature Fuel Cells." *Journal of Power Sources*.
- Uhlir, A. 1956. "Electrolytic Shaping of Germanium and Silicon." *Bell System Technical Journal*.
- Zhan, Changyong, Paul K. Chu, Ding Ren, Yunchang Xin, Kaifu Huo, Yu Zou, and N. K. Huang. 2011. "Release of Hydrogen during Transformation from Porous Silicon to Silicon Oxide at Normal Temperature." *International Journal of Hydrogen Energy*.