



# Journal of Science

Volume: 11, Issue: 1, Year: 2015

## Contact

Celal Bayar University

Institute of Natural and Applied Sciences

Muradiye Campus

45140 Yunus Emre – MANİSA, TURKEY

Tel: (00 90) 236 201 27 00

Fax: (00 90) 236 241 21 49

E-mail: cbujos@gmail.com

Web: <http://dergipark.ulakbim.gov.tr/cbayarfbe/index>



ISSN 1305-130X

E-ISSN 1305-1385

CBUJoS is published biannually at Celal Bayar University Printing House

“CBU Journal of Science is a refreed scientific journal”



## Fen Bilimleri Dergisi

Cilt: 11, Sayı: 1, Yıl:2015

### İletişim

Celal Bayar Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Muradiye Kampüsü

45140 Yunus Emre - MANİSA

Tel: (0236) 201 27 00

Faks: (0236) 241 21 49

E-posta: cbujos@gmail.com

Web: <http://dergipark.ulakbim.gov.tr/cbayarfbe/index>



ISSN 1305-130X

E-ISSN 1305-1385

Basıldığı Yer: Celal Bayar Üniversitesi Matbaası

Yılda iki defa yayımlanır

“Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi hakemli bir bilimsel dergidir”

# Celal Bayar University Journal of Science

## Owner

Prof. Dr. Kenan DOST, Celal Bayar University, Department of Chemistry on behalf of the Institute of Natural and Applied Sciences

## Editor

Prof. Dr. Kenan DOST, Celal Bayar University, Department of Chemistry  
Assoc. Prof. Dr. Bülent ERGÖNÜL, Celal Bayar University, Department of Food Engineering

## Editorial Board

Prof. Dr. Kenan DOST, Celal Bayar University, Department of Chemistry  
Assoc. Prof. Dr. Bülent ERGÖNÜL, Celal Bayar University, Department of Food Engineering  
Assoc. Prof. Dr. Emin UĞURLU, Celal Bayar University, Department of Biology, Turkey

## International Scientific Advisory Board

Prof. Dr. Thomas MAVROMOUSTAKOS, Chemistry Department of Kapodistrian University of Athens, Greece  
Prof. Dr. Brahim HNICI, Izmir University of Economics, Faculty of Engineering and Computer Sciences, Department of Computer Engineering, İzmir, Turkey  
Prof. Dr. Thamer Ahmad MOHAMMAD, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universiti Putra Malaysia, Malaysia  
Assoc. Prof. Dr. Nur Izura UZDIR, Head of the Department of Computer Science, Faculty of Computer Science and Information Technology, Universiti Putra Malaysia, Serdang, Selangor, Malaysia  
Assoc. Prof. Dr. Barbara MESSINA, Università Degli Studi Di Salerno, Department of Civil Engineering, Salerno, Italy  
Assoc. Prof. Dr. Alyani Binti ISMAIL, Department of Computer and Communication Systems Engineering, Universiti Putra Malaysia, Serdang, Malaysia  
Assoc. Prof. Dr. Zoran MARKOV, Faculty of Mechanical Engineering, University Ss. Cyril and Methodius in Skopje, Macedonia  
Asst. Prof. Dr. Donatella ALBANESE, Department of Industrial Engineering, University of Salerno, Italy  
Adj. Prof. Dr. Mary KALAMAKI, Division of Technology and Science, American College of Thessaloniki, Greece  
Dr Jens OLDELAND, Biocentre Klein Flottbek and Botanical Garden, University of Hamburg, Germany  
Dr Shri SHAJI, Department of Geology, University of Kerala, India

## National Scientific Advisory Board

Prof. Dr. Ahmed KAYACIER, Bursa Technical University, Natural Sciences, Architecture and Engineering Faculty, Food Engineering Department, Bursa  
Prof. Dr. Brahim HNICI, Izmir University of Economics, Faculty of Engineering and Computer Sciences, Department of Computer Engineering, İzmir, Turkey  
Prof. Dr. Enver ATİK, Celal Bayar University, Department of Mechanical Engineering  
Prof. Dr. Erhan PESEN, Celal Bayar University, Department of Physics  
Prof. Dr. Gökhan ALTINTAŞ, Celal Bayar University, Department of Civil Engineering  
Prof. Dr. Necdet BİLDİK, Celal Bayar University, Department of Mathematics  
Prof. Dr. Şenay AYDIN, Celal Bayar University, Department of Agricultural Sciences, Alaşehir, Manisa  
Prof. Dr. Neriman BAĞDATLIOĞLU, Celal Bayar University, Department of Food Engineering  
Prof. Dr. Üsame TAMER, Celal Bayar University, Department of Biology  
Assoc. Prof. Dr. Evrim ÖZKALE, Celal Bayar University, Department of Biology  
Assoc. Prof. Dr. Funda DEMİRHAN, Celal Bayar University, Department of Chemistry  
Assoc. Prof. Dr. Hülya DURMUŞ, Celal Bayar University, Engineering Faculty, Materials Engineering Department, Manisa  
Assoc. Prof. Dr. Mehmet ÇEVİK, İzmir Katip Çelebi University, Faculty of Architecture and Engineering, Department of Mechanical Engineering, İzmir  
Assoc. Prof. Dr. Murat UYGUN, Adnan Menderes University, Koçarlı Vocational School, Aydın  
Assoc. Prof. Dr. Pınar MIZRAK ÖZFIRAT, Celal Bayar University, Engineering Faculty, Industrial Engineering Department, Manisa, Turkey  
Assoc. Prof. Dr. Sezai TAŞKIN, Celal Bayar University, Department of Electrical and Electronics Engineering  
Asst. Prof. Dr. Ali DEMİR, Celal Bayar University, Department of Civil Engineering, Manisa, Turkey  
Asst. Prof. Dr. Ali KONURALP, Celal Bayar University, Department of Mathematics, Manisa  
Asst. Prof. Dr. Hilal YILDIZ, Nevşehir Hacı Bektaş Veli University, Faculty of Engineering and Architecture, Food Engineering Department, Nevşehir  
Asst. Prof. Dr. İlhan BAŞTÜRK, Adnan Menderes University, Faculty of Engineering, Electrical and Electronics Engineering, Aydın  
Asst. Prof. Dr. Levent PARALI, Celal Bayar University, Electric and Otomation Department, Manisa, Turkey  
Asst. Prof. Dr. Soner ŞEKER, Uşak University, Engineering Faculty, Civil Engineering Department, Uşak  
Lecturer Özın KALEMCI, Gediz University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Industrial Engineering, İzmir

# Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi

## Sahibi

Prof. Dr. Kenan DOST, Celal Bayar Üniversitesi, Kimya Bölümü (CBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü adına)

## Editör

Prof. Dr. Kenan DOST, Celal Bayar Üniversitesi, Kimya Bölümü

Doç. Prof. Dr. Bülent ERGÖNÜL, Celal Bayar Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü

## Yayın Kurulu

Prof. Dr. Kenan DOST, Celal Bayar Üniversitesi, Kimya Bölümü

Doç. Prof. Dr. Bülent ERGÖNÜL, Celal Bayar Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü

Doç. Prof. Dr. Emin UĞURLU, Celal Bayar Üniversitesi, Biyoloji Bölümü

## Uluslararası Bilimsel Danışma Kurulu

Prof. Dr. Thomas MAVROMOUSTAKOS, Kapodistrian University of Athens, Yunanistan

Prof. Dr. Brahim HNICI, Izmir University of Economics

Prof. Dr. Thamer Ahmad MOHAMMAD, Universiti Putra Malaysia, Malezya

Doç. Dr. Nur Izura UZDIR, Universiti Putra Malaysia, Serdang, Selangor, Malezya

Doç. Dr. Barbara MESSINA, Università Degli Studi Di Salerno, İtalya

Doç. Dr. Alyani Binti ISMAIL, Universiti Putra Malaysia, Serdang, Malezya

Doç. Dr. Zoran MARKOV, University Ss. Cyril and Methodius in Skopje, Makedonya

Yrd. Doç. Dr. Donatella ALBANESE, University of Salerno, İtalya

Yrd. Doç. Dr. Mary KALAMAKI, American College of Thessaloniki, Yunanistan

Dr Jens OLDELAND, University of Hamburg, Almanya

Dr Shri SHAJI, University of Kerala, Hindistan

## Ulusal Bilimsel Danışma Kurulu

Prof. Dr. Ahmed KAYACIER, Bursa Teknik Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü

Prof. Dr. Brahim HNICI, İzmir Ekonomi Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

Prof. Dr. Enver ATİK, Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü

Prof. Dr. Erhan PESEN, Celal Bayar Üniversitesi, Fizik Bölümü

Prof. Dr. Gökhan ALTINTAŞ, Celal Bayar Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Prof. Dr. Necdet BİLDİK, Celal Bayar Üniversitesi, Matematik Bölümü

Prof. Dr. Şenay AYDIN, Celal Bayar Üniversitesi, Alaşehir MYO, Tarımsal Bilimler Bölümü

Prof. Dr. Neriman BAĞDATLIOĞLU, Celal Bayar Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü

Prof. Dr. Üsame TAMER, Celal Bayar Üniversitesi, Biyoloji Bölümü

Doç. Dr. Evrim ÖZKALE, Celal Bayar Üniversitesi, Biyoloji Bölümü

Doç. Dr. Funda DEMİRHAN, Celal Bayar Üniversitesi, Kimya Bölümü

Doç. Dr. Hülya DURMUŞ, Celal Bayar Üniversitesi Malzeme Mühendisliği Bölümü

Doç. Dr. Mehmet ÇEVİK, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü

Doç. Dr. Murat UYGUN, Adnan Menderes Üniversitesi, Kimya Bölümü

Doç. Dr. Pınar MIZRAK ÖZFIRAT, Celal Bayar Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

Doç. Dr. Sezar TAŞKIN, Celal Bayar Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

Yrd. Doç. Dr. Ali DEMİR, Celal Bayar Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yrd. Doç. Dr. Ali KONURALP, Celal Bayar Üniversitesi, Matematik Bölümü

Yrd. Doç. Dr. Hilal YILDIZ, Nevşehir Hacı Bektaş -ı Veli Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü

Yrd. Doç. Dr. İlhan BAŞTÜRK, Adnan Menderes Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

Yrd. Doç. Dr. Levent PARALI, Celal Bayar Üniversitesi, Turgutlu MYO, Elektrik ve Otomasyon Bölümü

Yrd. Doç. Dr. Soner ŞEKER, Uşak Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Öğr. Gör. Özın KALEMCI, Gediz Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

## CBU Journal of Science

CBU Journal of Science is a refereed scientific journal published two times annually (June and December) by Institute of Natural and Applied Sciences of Celal Bayar University. Articles are written in Turkish and English are accepted to be evaluated.

Articles are accepted related to scientific areas below;

Basic and Applied Sciences (Physics, Chemistry, Biology, Mathematics, Statistics etc.), Engineering Sciences (Mechanical, Civil, Food, Industrial, Electrical and Electronic etc.)

**CBU Journal of Science is indexed by Index Copernicus and also is included in DOAJ, CiteFactor and OAJI databases. Digital Object Identifier (DOI) number will be assigned for all the articles being published in CBU Journal of Science.**

[Instructions for Authors and Article Template](http://dergipark.ulakbim.gov.tr/cbayarfbe/index) can be found on the main page of CBU Journal of Science (<http://dergipark.ulakbim.gov.tr/cbayarfbe/index>)



## CBÜ Fen Bilimleri Dergisi

CBÜ Fen Bilimleri Dergisi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından Haziran ve Aralık aylarında olmak üzere yılda 2 kez basılan hakemli bir bilimsel dergidir. Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Mühendislik (Makine, İnşaat, Gıda, Elektrik Elektronik vb) ve Fen Bilimleri (Fizik, Kimya, Biyoloji, Matematik, İstatistik vb) alanlarındaki bilimsel çalışmalarını değerlendirmek üzere kabul etmektedir

CBÜ FBD 2005 yılından bu yana yayın hayatını sürdürmekte ve Index Copernicus, DOAJ, CiteFactor ve OAJI uluslararası veritabanlarında yer almaktadır. Dergimizde yayınlanan makalelere CrossRef aracılığıyla DOI numarası verilmektedir.

Makale yazım kuralları ve gönderim bilgileri <http://dergipark.ulakbim.gov.tr/cbayarfbe/index> adresinde yer almaktadır



Contents / İçindekiler

<u>Articles / Makaleler</u>	<u>Sayfa / Pages</u>
<b>Tek katlı yaprak yaylarda sonlu elemanlar yöntemi ile yorulma analizi</b> <b>Fatigue analysis of single leaf springs with finite element method</b> ( <i>Araştırma Makalesi / Research Article</i> ) Özgün Sunar, Mehmet Çevik	1-6
<b>Undrained response of loose fiber reinforced sand</b> ( <i>Araştırma Makalesi / Research Article</i> ) Devrim Erdoğan, Selim Altun	7-16
<b>Titreşim analizi ile rulmanlarda kestirimci bakım</b> <b>Predictive maintenance with vibration analysis on bearings</b> ( <i>Araştırma Makalesi / Research Article</i> ) Engin Yıldırım, Mustafa Mehmet Fatih Karahan	17-23
<b>Yarı direkt ve karma aydınlatma türlerinin teknik yönden karşılaştırılması</b> <b>Comparison of the semi-direct and mixed type of lighting in terms of technical aspects</b> ( <i>Araştırma Makalesi / Research Article</i> ) Mustafa Şahin, Yüksel Oğuz, Fuat Büyüktürk	25-35
<b>Performans sıralaması yöntemiyle mevcut binaların bölgesel deprem risk dağılımının belirlenmesi</b> <b>Determination of the regional earthquake risk distribution using performance point method</b> ( <i>Araştırma Makalesi / Research Article</i> ) Ali Gürbüz, Muhammed Duran Tekin	37-48
<b>AA 2024 alaşımının artışı şekillendirilebilirliğinin incelenmesi</b> <b>Investigation of incremental sheet formability of AA 2024 alloy</b> ( <i>Araştırma Makalesi / Research Article</i> ) Halil Bayram, Nurullah Sinan Köksal	49-58
<b>Kemalpaşa ve Çevresi (İzmir) mikrobiotasının belirlenmesi</b> <b>Determination of the myxobiota of Kemalpaşa and surrounding (İzmir)</b> ( <i>Araştırma Makalesi / Research Article</i> ) Mustafa Oskay, Ömür Tüzün	59-68





## **TEK KATLI YAPRAK YAYLARDA SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE YORULMA ANALİZİ**

**Özgün SUNAR<sup>1\*</sup>, Mehmet ÇEVİK<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, 45150 Manisa

**Özet:** Bu çalışmada yeni yaprak yay tasarımları için mümkün olan en az sayıda prototipin üretilmesini ve seri üretime en kısa sürede geçilebilmesini sağlayacak bir yöntem geliştirilmesi amaçlanmıştır. Yorulma ömrünü belirlemeden önce parabolik yaprak yay tasarımına ve yorulma ömrüne etki eden faktörler incelenmiştir. Tek katlı bir parabolik yaprak yay için sonlu elemanlar modeli üzerinde gerilme ve yorulma analizleri Ansys Workbench 14.5 ve Ansys nCode Design Life 14.5 programları ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar fiziksel test değerleri ile karşılaştırılıp yorumlanmıştır. Yapılan yorulma ömrü çalışması ağır ve hafif ticari araçlarda kullanılan yaprak yayların tasarımlarında prototip üretim sonrasında parça üzerinde uzun süren denemeler olmadan, yorulma ömürlerine sonlu elemanlar analizleri ile ulaşılmasının mümkün olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Yorulma , yaprak yay, sonlu elemanlar yöntemi.*

## **FATIGUE ANALYSIS OF SINGLE LEAF SPRINGS WITH FINITE ELEMENT METHOD**

**Abstract:** In this study the main goal is to produce a new method which provide to minimize manufacturing and test periods for leaf springs. Before fatigue life determination of leaf springs, parameters which effect on fatigue life prediction and parabolic leaf spring design have investigated. Parabolic leaf spring's FEM model's stress and fatigue life analysis have substantiated with Ansys Workbench 14.5 and Ansys nCode Design Life 14.5. The results obtained were verified by comparing the value of physical tests. This finite element fatigue life studies have proved that it is possible to reach fatigue life prediction of the leaf spring used in light and heavy commercial vehicles without longtime experiments tests on track after prototype manufacturing.

**Keywords:** *Fatigue , leaf springs, finite element method.*

## 1. GİRİŞ

Yaprak yaylar, yol koşulları nedeniyle ani olarak şasi ve aktarma organlarına gelen yüklerin oluşturduğu enerjiyi üzerinde depolayıp, daha sonra açığa çıkararak sürüş konforu ve emniyeti sağlayan süspansiyon elemanlarıdır. Yaprak yaylar tek katlı olabildiği gibi birçok katmandan oluşan çok katlı yaprak yay çeşitleri de mevcuttur. Boyları birbirinden farklı, lama şeklindeki parçaların üst üste konmasıyla meydana getirilir. Parçaların tümü, bir merkez civatasıyla birbirine bağlanır. Yayların dağılmasını önlemek için saç kelepçeler veya kılıflar kullanılır. Ana yaprağın her iki ucu kıvrılarak yay bağlantı gözleri oluşturulur. Ön ve askı sisteminde ön dingile, arka askı sisteminde arka köprüye U civatalarıyla bağlanır [1].

Yaprak yay eksenel titreşimleri ve yol düzensizliğinden kaynaklanan titreşimleri sönmek zorundadır. Bu sebeple yaprak yayların enerji sönmek kabiliyeti çok önemlidir [2].

Yaprak yaylar araç üstünde değişken ve tekrarlı yüklere maruz kalmaktadırlar. Etki eden bu kuvvetlerin yarattığı gerilme değerleri malzemenin karakteristik değerleri olan akma ve kopma dayanımından küçüktürler. Ancak dinamik yüklemeler altında malzemeler bir süre sonra maruz kaldıkları bu yükleri taşıyamaz ve kırılırlar. Bu durum yaprak yayın yorulması olarak değerlendirilir ve yaprak yayın yorulma ömrünün tayinini zorunlu kılar. Statik incelemelerin yanı sıra, bileşenler dinamik yüklemelere daha çok maruz kalacağından yorulma dayanımının önemi ön plana çıkmaktadır.

Daha çok hafif ve ağır ticari araçlarda sürüş konforu ve emniyetini sağlayan yaprak yayların güvenilirliği, statik ve dinamik etkiler altında "Sonlu Elemanlar Yöntemi" yazılımları sayesinde incelenmektedir. Deneysel olarak bu değerler doğrulanıp tüketici güvenini ve

güvenliğini artırıcı yöntemler geliştirilmeye devam edilmektedir.

Güven vd. parabolik ve konvansiyonel yaprak yayların sonlu elemanlar analizleri için çalışmalar yapmış ve sonuçları deneysel yöntemlerle doğrulamışlardır. Elde ettiği sonuçlar sayesinde test sürecinin sonlu elemanlar analizi yöntemleri ile kısaltıldığını ve bu sayede daha kısa sürede doğru sınır şartları altında gerçeğe en yakın analiz sonuçları elde etmeyi başarmışlardır [3].

Esen çalışmasında, kompozit yaprak yaylar ile yaklaşık aynı ağırlığa sahip çelik yaprak yayları karşılaştırmış ve sonuçları sonlu elemanlar analizi ile kıyaslamıştır. Aynı ağırlığa sahip çelik yaprak yaya göre daha uzun ömürlü kompozit yaprak yay üretmiştir [4]. Kumar vd. Sonlu elemanlar yöntemi ile elde ettikleri yaprak yay yorulma ömürlerini deneysel yöntemlerle kıyaslamışlardır [5]. Shokrieh vd. Sonlu elemanlar yöntemi ile optimizasyonunu yaptıkları kompozit yaprak yay ile çelik yaprak yayı kıyaslamış, kompozit yaprak yay üzerinde daha düşük gerilmeler elde etmişlerdir [6]. Soner vd. sonlu elemanlar yöntemi aracılığı ile yaptıkları optimizasyon çalışmaları sonucunda yaprak yay üzerinde ağırlık yaklaşık 20 kg azaltılmıştır [7].

Sonlu elemanlar yazılımları ile elde edilen yorulma dayanım değerleri sayesinde geliştirilen ürünlerin çatlak başlangıçları önceden belirlenebilecek, daha iyi tasarım gerçekleştirilebilecektir.

Bu çalışmada yeni yaprak yay tasarımları için mümkün olan en az sayıda prototipin üretilmesi ve seri üretime en kısa sürede geçilebilmesini sağlayacak bir yöntem geliştirilmiştir.

Çalışma süresince gerilme ve yorulma analizleri Ansys Workbench v14.5 sonlu elemanlar yazılımı ile gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar fiziksel test değerleri ile karşılaştırılıp yorumlanmıştır.

## 2. MALZEME ve YÖNTEM

Çalışmada 51CrV4 yay çeliğinden imal edilmiş tek katlı parabolik yaprak yay kullanılmıştır. Yaprak yay tasarımında kullanılan parametreler Tablo 1’de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Yaprak yay parametreleri

Parametre	Değer
Deplasman	146 mm
Yay uzunluğu	1375 mm
Yay oranı	85 N / mm
Ön göz-eksen mesafesi	694 mm
Yay genişliği	60 mm
Statik Yük	12410 N
Max Yorulma Yüğü	12410 N
Min Yorulma Yüğü	1700 N

**Tablo 2.** %Kimyasal Bileşenler [8]

C	Si	Mn	Cr	V	Diğer
0.5	0.25	0.9	1.10	0.12	(Pb)

Yorulma ömrünün belirlenebilmesi için ortalama gerilmelerin etkileri incelenmelidir. Ortalama gerilmenin yeri hakkında bilgi vermesi bakımından DIN 50100’de bir gerilme oranı S değeri tanımlanmıştır. S değeri, alt gerilmenin üst gerilmeye oranıdır [9].

$$S = \frac{\sigma_a}{\sigma_u} \quad (1)$$

Yorulma mukavemeti incelenirken belirlenirken ortalama gerilme etkisi göz önünde bulundurularak gerilme genliğine bağlı ömür eğrisi (S-N) eğrisi elde edilmektedir. Ortalama gerilme ile izin verilen gerilme genliği arasında lineer bir ters orantı vardır. Ortalama gerilme etkilerini ortaya koyabilmek için Goodman tarafından teorik bir yaklaşım önerilmiştir.

$$\frac{S_a}{S_n} + \frac{S_m}{S_u} = 1 \quad (2)$$

$S_i$  Belirli bir ömürde ortalama gerilmeye karşılık gelen gerilme genliği

$S_n$ : Dayanım limiti

$S_i$  Ortalama gerilme

$S_i$  Malzemenin kopma dayanımı

## 3. BİLGİSAYAR DESTEKLİ GERİLME VE YORULMA ANALİZLERİ

### 3.1. Statik Gerilme Analizi

51CrV4 malzemeden imal edilmiş parabolik yaprak yay Solidworks programı ile tek parça olarak modellenmiştir.

Yaprak yayın sonlu elemanlar modelinin mesh işlemi “hex dominant” yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 3.** Model Özellikleri

	Değer
Young Modülü	$2.1 \times 10^5$ MPa
Poisson Oranı	0.3
Mesh Büyüklüğü	5 mm
Eleman Sayısı	23134
Düğüm Sayısı	94986
Statik Yük	12410 N

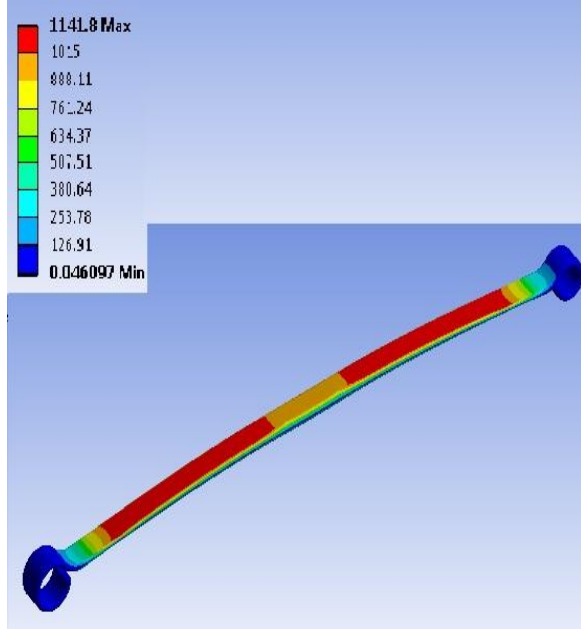
Mesh hassasiyetini belirlemek için yakınsama çalışması yapılmıştır.

**Tablo 4.** Yakınsama Çalışması

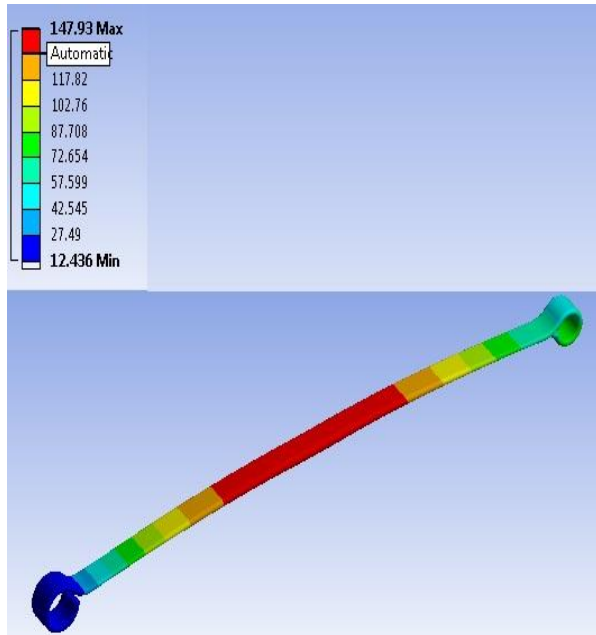
Mesh Size [mm]	Eleman	Gerilme [MPa]	Deplasman [mm]
20	1878	1141	147.83
18	2143	1219	148.33
16	2779	1171	148.38
14	3214	1150	148.11
12	4311	1142	148.05
10	5896	1181	148.02
8	8946	1163	148.01

6	15017	1141.5	147.94
5	23134	1141.8	147.93

Yapılan yakınsama çalışmasında en az değişim 23134 eleman sayılı, mesh büyüklüğünün 5 mm olduğu modelde gerçekleşmiştir.



Şekil.1 Gerilme Dağılımı (MPa)



Şekil.2 Yay Deplesmanı (mm)

Uygun mesh boyutunun belirlenmesi ile birlikte Von-Mises Gerilme kriteri ile statik gerilme analizi gerçekleştirilmiş ve maksimum 1141,8 MPa gerilme ve 147,93 mm deplasman değerleri elde edilmiştir.

### 3.2. Yorulma Ömrü Analizi

Yaprak yay yorulma ömrünü belirleyebilmek için Ansys nCode 14.5 sonlu elemanlar yöntemi yazılımından faydalanılmıştır.

nCode yazılımında girdi olarak Ansys Workbench ile elde edilen sonlu elemanlar modeli kullanılmıştır.

Yorulma ömrü için S-N parametreleri 600 MPa ortalama gerilmeye bağlı olarak gerilme genliği cinsinden girilmiştir.

Çözümler sonlu elemanlar modelinde kullanılan Von-Mises kriterine göre gerçekleştirilmiştir.

Yapılan analiz çalışmasında en hassas bölgenin 126200 çevrim yorulma ömrüne sahip olduğu görülmüştür.

8	9	10
Non-proportionalit	Dominant stress d	Life
	degrees	Repeats
0	88.6	1.262e+05
0	88.44	1.263e+05
0	88.54	1.263e+05
0	88.64	1.263e+05

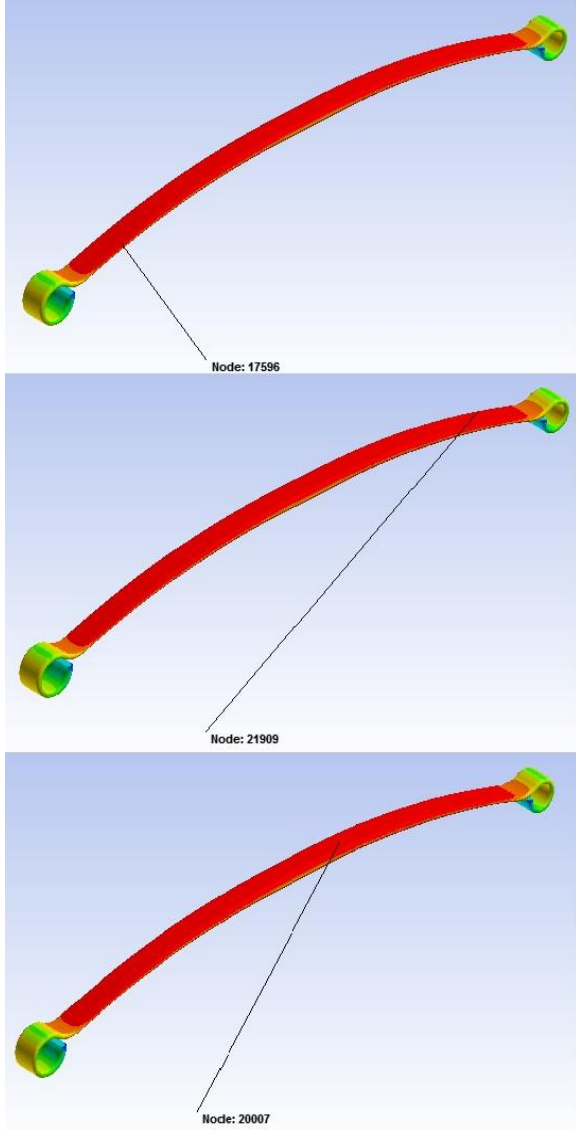
Şekil 3. nCode Yorulma Ömrü Sonuçları

Ayrıca Ansys nCode “Hotspot spot detection” yöntemi ile yorulma çatlaklarının başlayabileceği kritik bölgeler belirlenmiş ve model üzerinde gösterilmiştir.

Yorulmaya bağlı çatlak oluşumunun yapılan analiz sonucunda 17586, 21909, 20007. düğüm bölgeleri etrafında meydana gelebileceği öngörülmüştür.

#### 4. YORULMA ÖMRÜ TESTİ

Prototipi üretilen tek katlı parabolik yaprak yayın tek eksenli bir yorulma cihazı üzerinde ömür testleri aşağıdaki parametrelere göre gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. Olası Yorulma Başlangıç Çatlağı Bölgeleri

Tablo 5. Test Değerleri

	Değer
Düşey Test Yüğü	1700-12410 N
Hedeflenen Ömür	100000 üzeri
Frekans	½

Gerçekleştirilen yorulma ömür testi sonucunda yaprak yayda 117462 çevrim sayısında merkez-arkagöz arasında merkezden 170 mm uzaklıkta yorulma kırılması meydana gelmiştir. Yorulma kırılmasının parça üzerindeki konumu Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 5. Yorulma Ömür Testi

#### 5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada 51CrV4 yay çeliğinden imal edilmiş tek katlı parabolik yaprak yayın Ansys Workbench ve nCode yazılımları ile bilgisayar destekli analizleri yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları, test değerleri ile kıyaslanarak doğruluğu incelenmiştir.



Şekil 6. Yorulma Kırılması

Tablo 6. Test ve Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

	Yorulma Ömrü [Çevrim]	Bağlı Fark
FEM	126200	-
DeneySEL	117462	%6.92

Elde edilen sonuçlara göre;

- Yaprak yay yorulma testinde ve sonlu elemanlar ile yorulma analizinde sonuçlar birbirini doğrulayacak yakınlıktadır.
- Yorulma testi sonunda meydana gelen yorulma kırılması Şekil 4'te gösterilen 20007. düğüm etrafında gerçekleşmiş ve yapılan kritik nokta belirlemesini doğrulamıştır.
- Yapılan yorulma ömrü çalışması otomotiv ana sanayinde hafif ve ağır ticari araçlarda kullanılan yaprak yay tasarımlarında prototip üretim sonrasında parça üzerinde uzun süren denemeler olmadan yaprak yay yorulma ömürlerine sonlu elemanlar analizleri ile ulaşılmasının mümkün olduğunu göstermiştir.
- Daha tasarım aşamasındayken, yaprak yaydan istenilen yorulma dayanımını sağlayacak en uygun yay malzemesini ve mukavemet özelliklerini seçmek ve yaprak yayda yorulmaya etkileyen parametreleri analiz programları aracılığıyla önceden öngörebilmek olası olacaktır.
- Bu durum işgücü, malzeme, enerji kaynaklarının verimli kullanılmasını sağlayacaktır.

Bu çalışma Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından 0369.STZ.2013-2 kodlu Santez projesi kapsamında desteklenmiştir.

**Geliş Tarihi:19.12.2013**

## **Kaynaklar**

- [1] Manual on design and application of leaf springs, SAE International, 978-0-89883-383-6, 1980.
- [2] Corvi A, A preliminary approach to composite beam design using finite element analysis, Composite Structures, 16,259-275, 1990.
- [3] Güven, N., Temiz, V., Parlar, Z., "Evaluation of leaf spring design and fatigue life", International Conference on Advances in Materials and Processing Technologies, 2011.
- [4] Esen, Ö., "Kompozit Yaprak yaylarda sonlu elemanlar yöntemi ile yorulma analizinin yapılması", Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 2009.
- [5] Kumar M.S., Vijayarangan S., "Static analysis and fatigue life prediction of steel and composite leaf spring for light passenger vehicles", Journal of Scientific & Industrial Research, 66, 128-134, 2007.
- [6] Shokrieh, M., Rezaei, "Analysis and optimization of a composite leaf spring", Composite Structures, 60, 317-325, 2003.
- [7] Soner, M., Güven, N., Erdogus, T., Karaagaç, M., "Parabolic leaf spring design optimization considering FEA and rig test correlation", SAE Commercial Vehicle Engineering Congress, USA, 11CV-0013, 2011.
- [8] Saerstahl - 51CrV4 (50CrV4) Material specification Sheet.
- [9] Meran, C., Yüksel, M., "Malzeme Bilgisine Giriş", Cilt 2,TMMOB Makine Mühendisleri Odası,251-252, 2010.

**Kabul Tarihi: 25.07.2014**

## UNDRAINED RESPONSE OF LOOSE FIBER REINFORCED SAND

Devrim ERDOĞAN<sup>1\*</sup>, Selim ALTUN<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 35100, İzmir, TURKEY

**Abstract:** In the context of this paper, undrained response of fiber reinforced sands is investigated through consolidated undrained triaxial tests conducted under effective consolidation pressures of 50, 100 and 200 kPa. in loose state of the host sand ( $D_r=25\%$ ) and at fiber concentrations of 0.5% and 1%. Results were challenging since addition of fiber reinforcement caused increased dilative tendency of the host sand giving way to considerable amount of decrease in excess pore water pressures which is advantageous for undrained loading conditions especially for earthquake loading conditions. This behaviour brought about the fact that both fiber phase and the sand matrix should be contributing to hydrostatic and deviatoric stress states of the fiber reinforced samples which was also proved very recently by a couple of researchers in the literature.

**Keywords:** fiber reinforced sand, drained and undrained triaxial testing

## FİBER KATKILI KUMLARIN DRENAJSIZ KOŞULLARDAKİ KAYMA DAYANIMI DAVRANIŞI

**Özet:** Bu çalışma kapsamında fiber katkıli gevşek ( $D_r=25\%$ ) suya doymun kumların drenajsız yükleme koşulları altındaki davranışları konsolidasyonlu drenajsız üç eksenli basınç deneyleri ile incelenmiştir. Deneyler 50, 100 ve 200 kPa efektif konsolidasyon basınçları altında ve %0.5 ile %1 fiber katkıli durumları için gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları fiber katkısının gevşek kumların drenajsız koşullardaki kayma dayanımı davranışında iyileşme sağlandığını göstermiştir. Deneylerde gözlemlenen ilginç bir sonuç, çoğu örnekte drenajsız kesme koşullarında elde edilen hacim değişimi eğilimlerinin genellikle hacim artışı ve dolayısı ile aşırı boşluk suyu basınçlarını azaltıcı yönde gerçekleşmiş olmasıdır. Aşırı boşluk suyu basınçlarındaki azalma efektif gerilmelerin ve dolayısı ile kayma dayanımının artışına olanak sağlamaktadır ki deprem durumundaki yükleme koşulları için elverişli bir durumdur. Ancak fiber katkıli kumların hacim değişimi eğilimleri ile ilgili olarak literatürde çok az çalışma bulunmaktadır. Bu deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar, kum matrisi ve fiber fazının, deviatorik ve hacimsel davranışa ayrı ayrı katkı yaptıklarını göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** fiber katkıli kum, drenajlı ve drenajsız üç eksenli basınç deneyleri

## 1. INTRODUCTION

Fiber reinforced soil which is a mechanical means of soil reinforcement may be one of the most practical reinforcement methods due to its technical feasibility and cost effectiveness. Fiber reinforcement has a potential use in pavement layers, retaining walls, embankments, protection of slopes, stabilisation of thin soil veneers and in geotechnical earthquake engineering applications (ex: as an alternative liquefaction mitigation technique) [1-2]. Considerable amount of experimental data has been accumulated over the past few decades concerning fiber reinforced soils. Polypropylene, polyester, polyethylene, polyamide, steel and glass fibers were frequently used in these experimental studies in which effect of fiber properties (fiber type, fiber material, tensile strength, fiber length, diameter, and aspect ratio, fiber content, fiber orientation), soil properties (soil type, relative density, sand gradation, particle shape), and test parameters (normal stress in direct shear tests, effective confining pressure in triaxial tests, loading rate, effect of drained and undrained loading, effect of extension and compression loading modes, effect of isotropic compression stage, etc.) on stress-strain, volumetric and shear strength behaviour of soils were investigated. Experimental data on fiber reinforced sands was mostly obtained from drained tests. However, data is very few for undrained loading conditions which shows that fibers also perform well in granular soils for use against stability problems under undrained loading conditions like static liquefaction of slopes and embankments as well as under earthquake loading conditions by reducing the potential of excess pore pressure development, post-liquefaction settlements and lateral spreading [3-10]. So in the context of this paper, consolidated undrained triaxial testing program is conducted in order to investigate the undrained response of fiber reinforced sand in which contribution of fiber reinforcement to shear strength is evaluated

depending on strain level. It is believed this experimental data will contribute to the gap in literature especially on undrained behaviour of fiber reinforced sands.

## 2. EXPERIMENTAL PROGRAM

### 2.1 Materials

In this experimental program, river sand from Torbalı city in the boundaries of Izmir is used as the host sand material and the polypropylene fiber obtained from SİKA is used as the reinforcing fiber material. Host sand is well graded sand (SW) with relative density and grain size distribution parameters given in Table 1 and grain size distribution curve given in Figure 1. In addition, several index and strength parameters of the polypropylene fiber (Figure 2) are given in Table 2 and important ratios concerning fiber geometry and sand granulometry are also given in Table 3. Aspect ratio of the polypropylene fibers is 667 which is a high value and literature shows that high aspect ratios may provide strain-hardening stress-strain behaviour in fiber-reinforced sands.

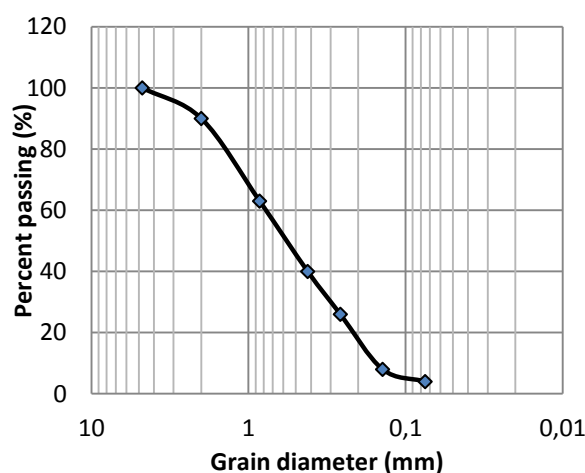


Figure 1. Grain size distribution of the host sand





Figure 2. Polypropylene fiber

Table 1. Index properties of sands used in this study.

Parameters	Soil Type SW
<b>Relative density parameters</b>	
Maximum dry unit weight, $\gamma_{d,max}$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.79
Minimum dry unit weight, $\gamma_{d,min}$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.54
Maximum void ratio, $e_{max}$ (ASTM D4254)	0.72
Minimum void ratio, $e_{min}$ (ASTM D4253)	0.36
<b>Grain size distribution parameters</b>	
Effective diameter, $D_{10}$ , (mm)	0.13
$D_{30}$ (mm)	0.3
$D_{60}$ (mm)	0.8
$D_{50}$ (mm)	0.6
Coefficient of uniformity, $C_u$	6.1
Coefficient of curvature, $C_c$	1.1

Table 2. Several index and strength parameters of polypropylene fiber.

Property	Analysis result
Color	Transparent
Diameter (micron) (Df)	18
Length (mm) (Lf)	12
Specific surface area (m <sup>2</sup> /kg)	250
Specific gravity (gr/cm <sup>3</sup> )	0.91
Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	300-400
Modulus of elasticity (N/mm <sup>2</sup> )	4000

Table 3. Ratios related with fiber geometry and sand granulometry.

Ratio	Value
Aspect Ratio (Lf / Df)	667
Df / D50	0.03
Lf / D50	20

## 2.2 Sample Preparation and Testing Method

Consolidated undrained triaxial tests are performed on control (unreinforced) and fiber reinforced specimens at a relative density of 25% and at fiber inclusion levels of 0.5% and 1% and under three confining pressure levels 50 kPa, 100 kPa and 200 kPa. Triaxial sample dimensions were 50 mm. x100 mm. Reinforced samples were prepared at selected fiber concentrations by dry weight of sand, that is, the quantity of sand was kept unchanged when different proportions of fibers were added at a constant relative density. Fibers were mixed randomly by hand into the host sand in small increments until all the fibers were distributed uniformly within the host sand. Dry deposition method was used for compacting the sand-fiber mixture to the desired density in the split mould by slightly tamping successive layers of the mixture with a circular tamper. İbrahim et al. [9] and Freilich et al. [11] stated that the fibers tend to assume a close to horizontal orientation during mixing with dry sand and that horizontal direction is the direction of tensile strain during triaxial compression. So, it is most likely that the fibers are anisotropically distributed inside the host sand. Samples were saturated with CO<sub>2</sub> and back pressure methods and saturation is maintained until B values of at least 0.95 were obtained. Samples are consolidated under 50, 100 and 200 kPa effective consolidation pressures afterwhitch shearing of the specimen is conducted until obtaining constant pore

water pressure or reaching a relative axial deformation of 20%.

### 3. INTERPRETATION OF TEST RESULTS

#### 3.1 Unreinforced Samples

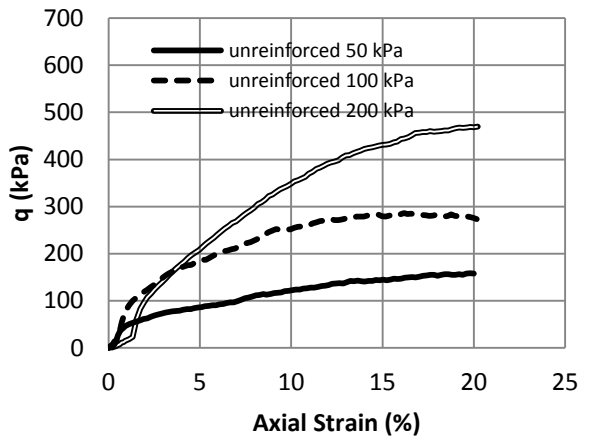
##### 3.1.1 Deviatoric And Pore Pressure Response

Figure 3 shows the variation of deviatoric stresses, pore pressures and mobilised internal friction angles with axial strain for loose unreinforced specimens under 50, 100 and 200 kPa effective consolidation pressures. Deviator stress ( $q=\sigma_1-\sigma_3=\sigma_1'-\sigma_3'$ )-axial strain behaviour of all samples irrespective of consolidation pressure exhibit strain-hardening response with no noticeable peak which is typical of compacted samples (Figure 3a). Correspondingly, pore pressure responses (Figure 3b) exhibit contractive volume change tendency resulting in increase in pore pressures until axial strain level of approximately %2-%3 after which the behaviour is dominated by dilative volume change tendency decreasing the pore pressures considerably. Dilative tendency becomes more effective at lower effective confining pressures. Irrespective of consolidation pressure, unreinforced samples reached the pore pressure ratio of utmost 0.6 at axial strain levels of %2-%3.

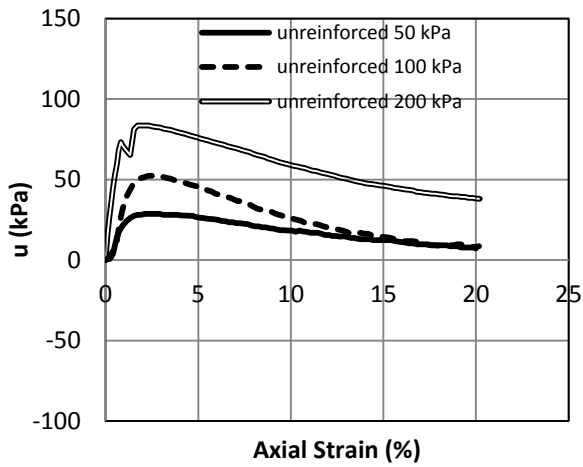
It may be expected that the host sand would exhibit more contractive tendency in loose state. Ogbonnaya et al. [12] showed that well graded sands have a great potential to exhibit contractive volume change tendency as that of poorly graded sands under undrained loading conditions. However, literature also points out that the volume change behaviour of sand is greatly influenced by the fabric formed during its deposition and sand samples prepared with the dry deposition method (the method used in this research), even the ones prepared in loose state, usually demonstrate dilative behaviour [13].

##### 3.1.2. Undrained Effective Stress Path And Phase Transformation Line

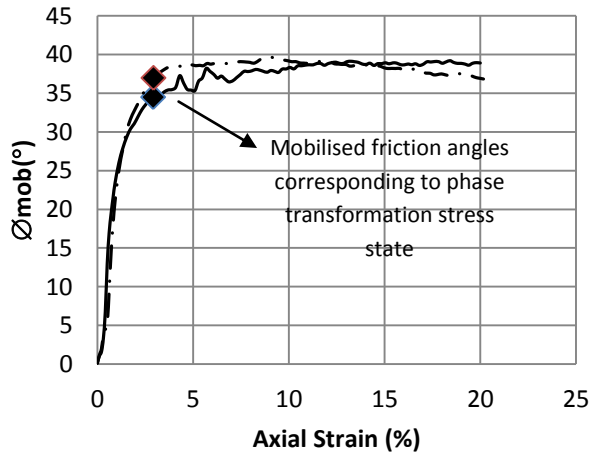
Undrained effective stress path (Figure 5) is evaluated in  $s'$ - $t'$  stress plane representing MIT stress path convention in which  $s'=(\sigma_1'+\sigma_3')/2$  represents the hydrostatic component of stress (mean effective stress) and  $t'=(\sigma_1'-\sigma_3')/2$  represents the deviatoric component of stress. It is seen that loose unreinforced samples, clearly exhibit dilation tendency irrespective of consolidation pressure due to compaction during sample preparation. Phase transformation line below which stress combinations lead to volumetric contraction tendency and above which lead to volumetric dilation tendency is constructed by using the phase transformation stress states (Figure 4) [14-15]. These points are the  $s'$ - $t'$  stress points corresponding to either the maximum pore pressure points on the pore pressure –axial strain relations or the stress states corresponding to  $\delta s'=0$  on the effective stress paths for each test. Phase transformation angle has been found to be  $\phi_p=36.0^\circ$  (figure 6).



(a)

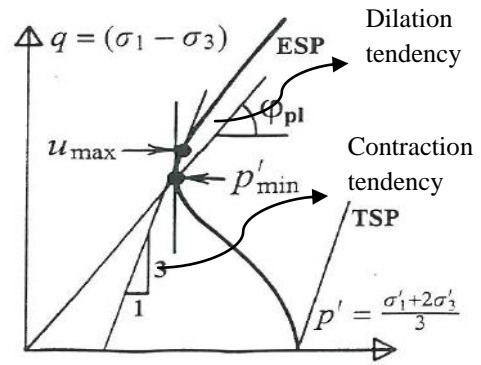


(b)

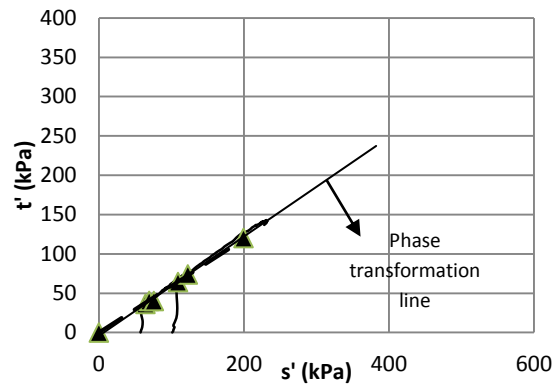


(c)

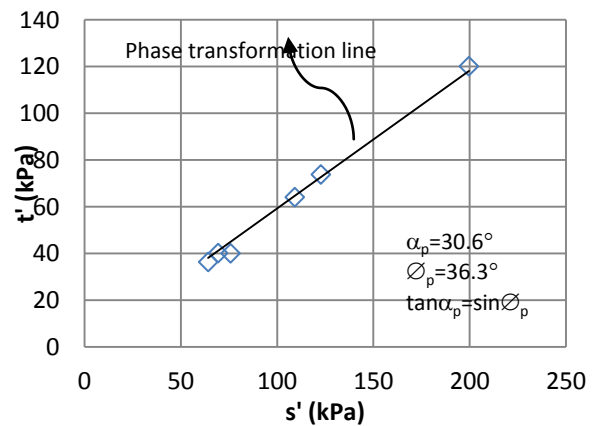
**Figure 3.** Variation of deviator stress (a), pore pressures (b) and mobilised friction angles (c) for loose unreinforced sand



**Figure 5.** Schematic diagram of phase transformation state in CU triaxial test on sand [14-15]



**Figure 4.** Undrained effective stress path for loose unreinforced samples

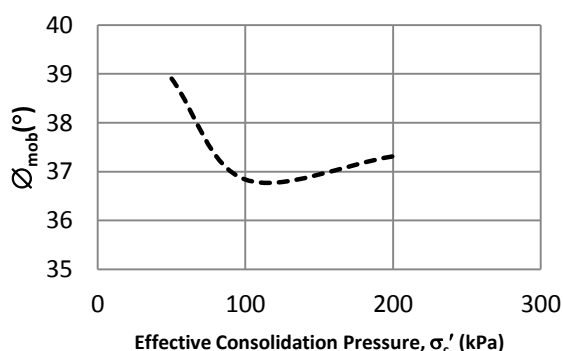


**Figure 6.** Phase transformation line and phase transformation angle for unreinforced samples

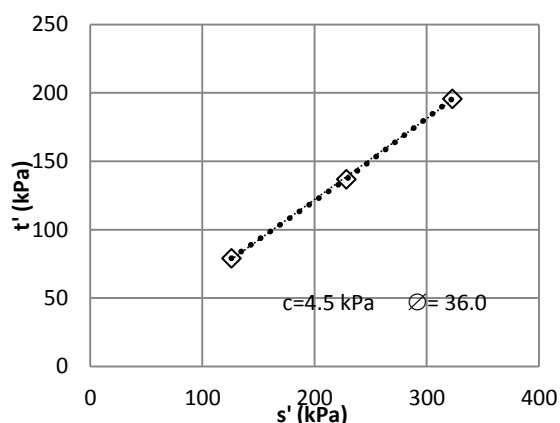
### 3.1.3 Failure Line and Shear Strength Parameters

Internal friction angles mobilised at any strain level for the loose state of the host sand is shown in Figure 3 (c). In addition, values

mobilised at phase transformation stress states (stress states at the onset of dilation tendency) is plotted with bigger and bold points in this figure. Figure 6 shows the variation of mobilised friction angles of the host sand according to effective consolidation pressure at strain level of %20. Mobilised friction angles attain higher values at 50 kPa due to dilation tendency at lower consolidation pressures. Dilation tendency is suppressed as effective consolidation pressure increase which is accompanied by a decrease in mobilised friction angles. Mohr-Coulomb shear strength parameters are determined for the limiting axial strain value of %20 since stress-strain relations exhibit strain hardening behaviour with no clear peak. Cohesion and internal friction angle of loose samples are obtained as 4.5 kPa and 36.0 (figure 8).



**Figure 7.** Variation of mobilised friction angles with effective consolidation pressure at limiting axial strain value of %20 (for the host sand)



**Figure 8.** Effective shear strength parameters for loose and dense states of the host sand for limiting axial strain value of %20

## 3.2 Fiber-Reinforced Samples

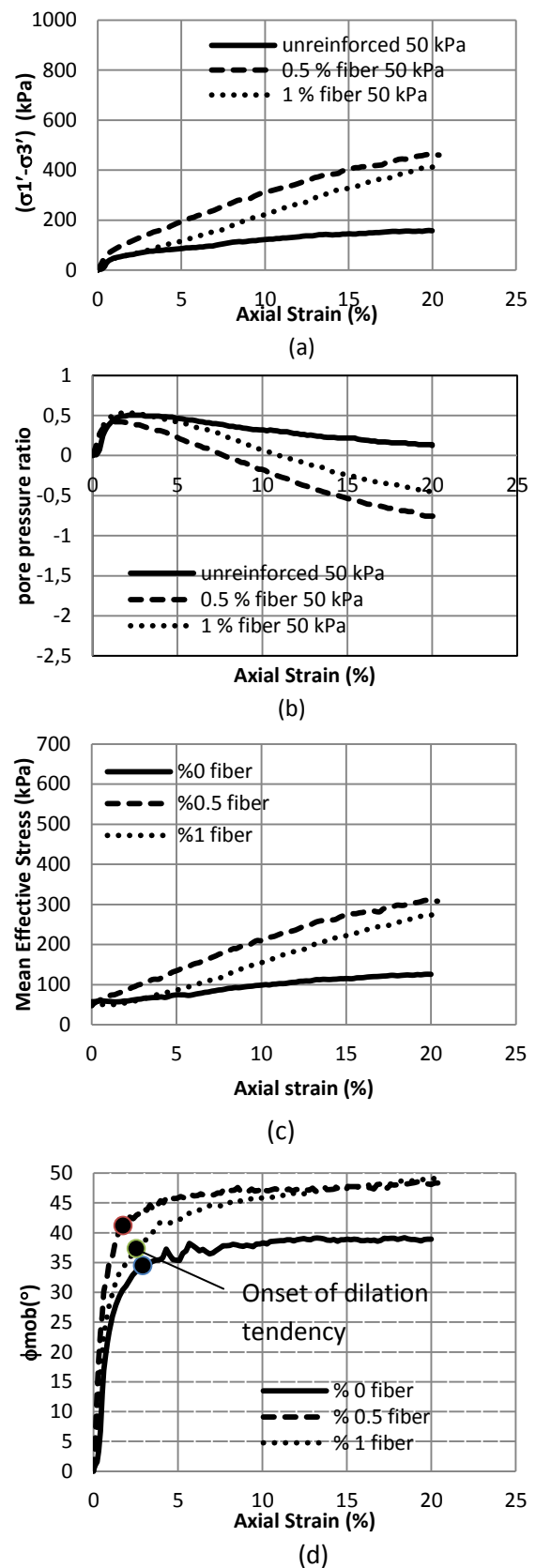
### 3.2.1 Deviatoric And Pore Pressure Response

Typical results from consolidated undrained triaxial tests on reinforced samples under 50 kPa effective consolidation pressure is shown in Figure 9. Test results indicate that undrained stress-strain behaviours of fiber-reinforced specimens are of strain-hardening type with no clear peak irrespective of effective consolidation pressure and fiber content. Fiber reinforcement clearly enhanced the already strain-hardening behaviour of unreinforced samples. This kind of behaviour was also observed by other researchers [9,4] who stated that fiber reinforcement transforms strain-softening response into strain-hardening one preventing the occurrence of static liquefaction in saturated sands (Figure 9a)

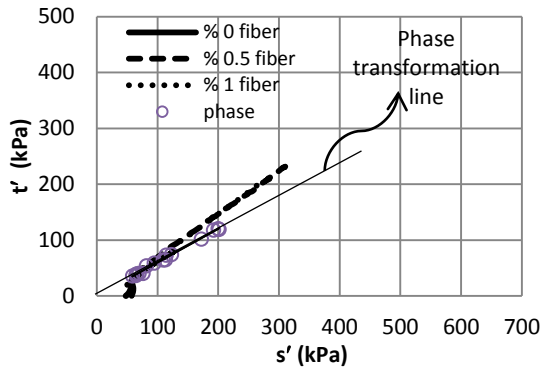
Initial behaviour of the composite is controlled by the sand matrix, i.e. fibers begin to respond to tensile strains only after some strain level has been reached. This strain level is around %1 for 50 kPa effective consolidation pressure while under 200 kPa, it is around %5-%10 which means higher consolidation pressures may be prohibiting the activation of tensile strains and hence the stresses inside the fibers. Variation of excess pore pressure ratios with axial strain evaluates that presence of fibers cause decrease in excess pore water pressures and hence increases in effective mean stresses which are advantageous under undrained loading conditions especially for earthquake loading conditions (Figure 9 (a) and (b)). Mobilisation of friction angles with axial strain given in Figure 9 (d) demonstrate that mobilised friction angles of unreinforced samples attain higher values than reinforced ones reaching the highest values (approximately 50° at %20 axial strain) at 50 kPa effective consolidation pressure.

### 3.2.2 Undrained Effective Stress Paths and Phase Transformation Line

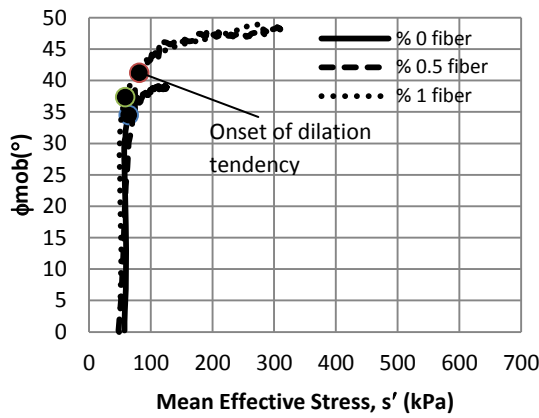
Typical undrained effective stress paths (figure 10a) for 50 kPa effective consolidation pressure show that fiber reinforced samples tend to dilate more than unreinforced ones causing pronounced increase in mean effective and deviatoric stresses of the composite material. Phase transformation stress states corresponding to onset points of dilation tendency for both reinforced and unreinforced samples irrespective of fiber content, and effective consolidation pressure are presented in Figure 11. All of the points fall on a distinct linear regression line indicating that phase transformation angle of reinforced samples is the same as that of unreinforced samples ( $\phi_p=36.3^\circ$ ). This means the volumetric behaviour of fiber reinforced samples is governed by the same rules as that of unreinforced sand (that is a change in volumetric behaviour of the sand matrix governs). Confinement supplied by the fibers helps to increase the deviatoric stresses of the reinforced samples. In addition to that, reinforced samples exhibiting more dilative tendency than unreinforced ones is advantageous for undrained behaviour since it helps to decrease the excess pore water pressures and hence an increase is achieved in effective mean stresses giving rise to improvement of interaction between the fiber and the sand grains. Chen [4], Romero [6], and İbrahim et al. [9] as well observed the same kind of dilation tendency in their consolidated undrained triaxial tests on fiber reinforced sands.



**Figure 9.** (a) Variation of deviator stress, (b) pore pressure ratio (c) mean effective stress and (d) mobilised friction angles at 50 kPa effective consolidation pressure

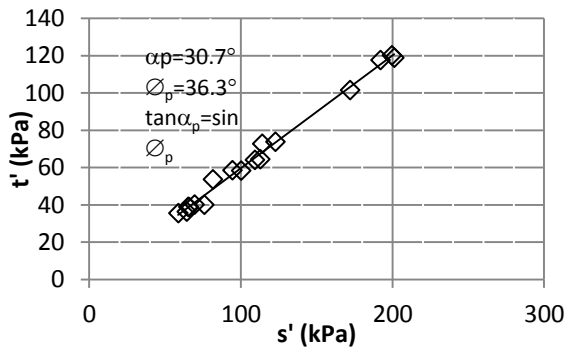


(a)



(b)

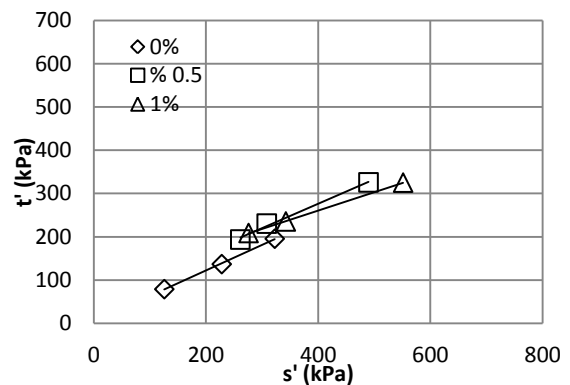
**Figure 10.** Undrained effective stress paths (a), mobilised friction angles (b) for 50 kPa effective consolidation pressures.



**Figure 11.** Phase transformation stress states and phase transformation line for both unreinforced and reinforced samples irrespective of fiber content and effective consolidation pressure

### 3.2.3 Shear Strength Envelopes and Shear Strength Parameters

Since fiber reinforced samples exhibit strain hardening behaviour, shear strength envelopes are evaluated at some selected axial strain levels which are. 1%, 5%, 10%, 15% and 20%. Envelopes for axial strain level of 20% in Figure 12. Apparent cohesion and internal friction angle values corresponding to the evaluated envelopes at selected strain levels are plotted in Figure 13 where it is clearly observed that mobilisation of tensile stresses and strains inside the reinforcing fibers is strongly strain-dependent. Reinforced samples exhibit linearly increasing apparent cohesion values with axial strain which are also greater than the corresponding unreinforced samples Internal friction angles are found to be lower than that for unreinforced samples, Considerable amount of decrease in friction angles values for loose state may be attributed to weaker interaction between sand grains and the fibers. Figure 14 (a) and (b) show the variation of apparent cohesion and friction angle values with fiber content. There is a linear increase in apparent cohesions and approximately linear decrease in friction angles which is reasonable.



**Figure 12.** Shear strength envelopes at axial strain level of 20% for %0, %0.5 and %1 fiber contents

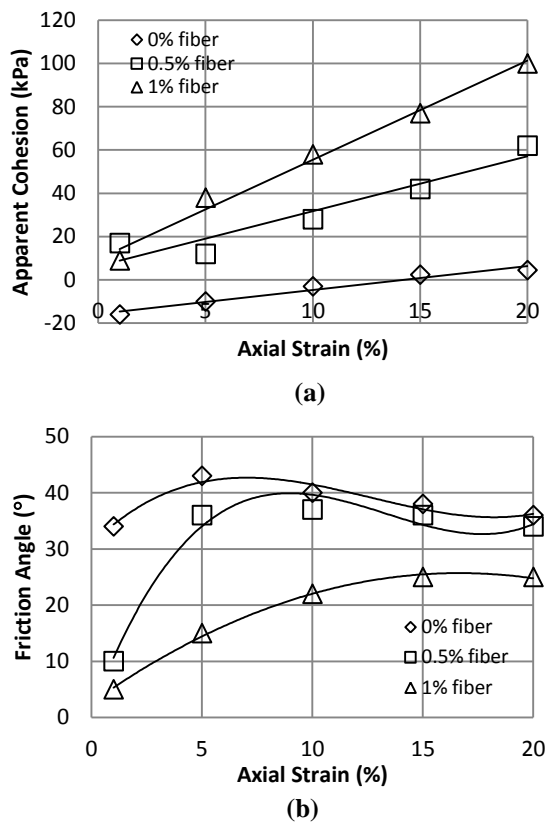


Figure 13. Apparent cohesion (a) and internal friction angle (b) values at selected axial strain levels of %1, %5, %10, %15 and %20.

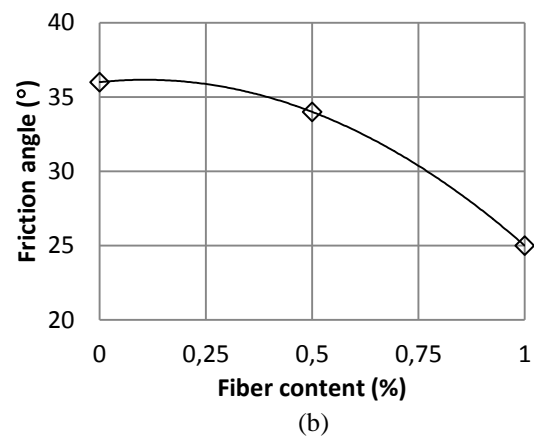
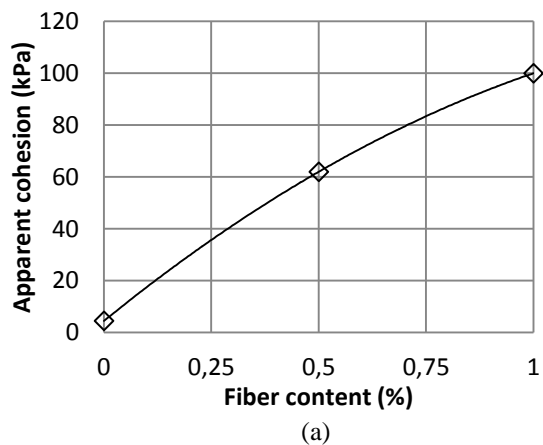


Figure 14. Variation of (a) Apparent cohesion values and (b) Internal Friction angles with fiber content at axial strain level of 20%

#### 4. CONCLUSION

In the literature, there is considerable amount of experimental data on drained triaxial testing of fiber-reinforced sands; however, data is very few for undrained loading conditions which proved that presence of fibers absolutely improved the undrained shear strength behaviour of loose saturated sands by decreasing the excess pore water pressures and changing strain-softening stress-strain behaviour into strain-hardening one.

In the context of this paper, consolidated undrained triaxial testing program was conducted on loose sand samples reinforced with polypropylene fibers in order to contribute to the gap in undrained behaviour of fiber reinforced sands. Samples were tested under effective consolidation pressures of 50, 100 and 200 kPa and at two different fiber concentrations (0.5% and 1% by dry weight of sand). Results showed that presence of fibers caused a considerable amount of decrease in excess pore water pressures while contributing to increase in deviatoric stresses of the samples. This would only be possible if sand matrix and the fiber phase both contributed to deviatoric and hydrostatic stress state of the reinforced samples which was proved to be absolutely strain level dependent.

## References

- [1] **Heyazi, S.M., Sheikhzadeh, M., Abtahi, S.M., Zadhoush, A.** (2012) “A Simple Review of Soil Reinforcement By Using Natural and Synthetic Fibers”, *Construction and Building Materials*, Vol.30, pp.100-116.
- [2] **Omarov, M.** (2010) “Liquefaction Potential and Post-Liquefaction Settlement of Saturated Clean Sands and Effect of Geofiber Reinforcement”, MSc. Thesis, University of Alaska Fairbanks, 196 p.
- [3] **Chen, C.W.** (2006). "Drained and undrained behavior of fiber-reinforced sand." Midwest Transportation Consortium of Student Papers, Transportation Scholars Conference, Iowa State University, Ames, Iowa.
- [4] **Chen, C. W.** (2007). “A constitutive model for fiber-reinforced soil.” Ph.D. thesis, Univ. of Missouri, Columbia, MO.
- [5] **Loehr, J.E., Romero, R.J., Ang, E.C.** (2005) “Development of a Strain-Based Model To Predict Strength of Geosynthetic Fiber Reinforced Soil”, *Proceedings of Geosynthetics Research and Development In Progress, Geo-Frontiers Congress 2005*, Texas, Austin, USA.
- [6] **Romero, R.J.** (2003). "Development of a constitutive model for fiber-reinforced soils." Dissertation submitted in partial fulfillment for the requirements of the Doctoral Degree, University of Missouri-Columbia.
- [7] **Diambra A, Ibraim E, Muir Wood D, Russell AR.** (2010) “Fibre Reinforced Sands: Experiments and Modelling. *Geotextiles and Geomembranes*, 28:238–250.
- [8] **Diambra A, Ibraim E, Russell AR, Muir Wood D.** (2011). “Modelling the undrained response of fibre reinforced sands”. *Soils and Foundations* 2011; 51(4):625–636.
- [9] **Ibraim E, Diambra A, Muir Wood D, Russell AR.** (2010) “Static liquefaction of fibre reinforced sand under monotonic Loading”. *Geotextiles and Geomembranes*, 28:374–385.
- [10] **Freilich B.J., Li, C., Zornberg, J.G..** (2010) “Effective Shear Strength Of Fiber Reinforced Clays”, 9th International Conference on Geosynthetics, Brazil, 2010, pp.1997-2000.
- [11] **Michalowski, RL., Cermák J.** (2003). “Triaxial compression of sand reinforced with fibers”, *ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 129(2), pp. 125–136.
- [12] **Ogbonnaya, I., Kyoji, S., Hiroshi, F.** (2009) “Geotechnical Properties of Sands With Varying Grading In a Stress-Controlled Ring Shear Tests, *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, EJGE, Vol.14.pp.1-21.
- [13] **Ishihara, K.** (1996) “Soil behaviour In Earthquake Geotechnics”, Oxford University Press, NewYork.
- [14] **İbsen, L.B., Lade, P.V.** (1998) “The Role of Characteristic Line In Static Soil Behaviour”, *Localisation and Bifurcation for soils and Rocks*, Adachi, Oda and Yashimina (eds.), Balkema, Rotterdam.
- [15] **Lade, P.V., İbsen, L.B.** (1997) “A Study of The Phase Transformation and the Characteristic Lines of Sand Behaviour”, *Symposium on Deformation and Progressive Failure In Geomechanics*, Nagoya, Japan, Soil Mechanics Paper No.12.

**Recieved: 31 Dec 2014**

**Accepted: 7 Jan 2015**



## **TİTREŞİM ANALİZİ İLE RULMANLARDA KESTİRİMCİ BAKIM**

**Engin YILDIRIM<sup>1\*</sup>, M.M. Fatih KARAHAN<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü 45140 Manisa TÜRKİYE

<sup>2</sup>Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü 45140 Manisa TÜRKİYE

**Özet:** Rulmanlar makineleri yataklamak için kullanılan ekipmandır. Rulmanlarda meydana gelen titreşimleri izleyerek makinelerde oluşan yada oluşması muhtemel hasarları tespit etmek mümkündür. Bu çalışmada kompresör yataklanmasında kullanılan rulmanlarda yapılan titreşim analizi ile kestirimci bakım çalışmasının sonuçları sunulmuştur. Yapılan çalışmada rulmanda hem dış bilezik hasarı hem de iç bilezik hasarı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Kestirimci bakım, titreşim, rulman*

## **PREDICTIVE MAINTENANCE WITH VIBRATION ANALYSIS ON BEARINGS**

**Abstract:** Bearings are equipment used to make machines bear. It's possible to establish the damages which occur or are likely to occur in the machines by observing the vibrations occurred on the bearings. In this paper, the results of the predictive maintenance work by means of vibration analysis made on the bearings used to make the compressor bear have been presented. Both the outer race damage and inner race damage have been established in this work.

**Key Words:** *Predictive maintenance, vibration, bearing*

---

\*Engin YILDIRIM

engin2010@hotmail.com

## 1. GİRİŞ

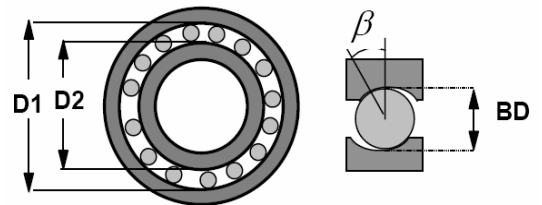
Endüstride dönen makina elemanlarının yataklanmasında rulmanlar yaygın biçimde kullanılmaktadır. Makinaların sorunsuz bir şekilde çalışması rulmanların sağlıklı çalışmasıyla yakından ilgilidir. Rulmanlarda oluşan hasarlar titreşim düzeyini arttıran en önemli sebeplerden biridir. Rulmanların yaydıkları titreşim miktarı kalan ömürlerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Rulman titreşimleri izlenerek, bilezikler ve yuvarlanma elemanlarının yüzeyinde meydana gelen pürüzlülükler hakkında bilgi sahibi olunabilir. Kestirimci bakım metodlarında temel çalışma prensibi çalışma esnasında yapılan ölçümlerle makinaların performanslarının izlenerek, bakımın ne zaman gerekli olacağına karar verip, kısa bir süre için çalışmaya ara vererek önceden belirlenen arızayı onarmaktır [1]. Çimento, demir-çelik, kimya, petrol ve kağıt sanayindeki pek çok kuruluş bu yöntemi kolayca benimsemiş ve makinaların daha az durması ile birlikte üretimdeki artış sonucu karlılıklarını büyük ölçüde artırmışlardır [2,3]. McFadden ve Smith [4, 5] sabit yük etkisindeki bir rulmanın iç bileziğindeki tek ve çoklu hasarın oluşturduğu titreşimi tanımlamak için matematiksel bir model oluşturmuş, deneysel yolla elde edilen sonuçların hesapla bulunan sonuçlarla uyum içinde olduğunu tespit etmişlerdir. Aktürk vd. [6] açısız temaslı iki rulman ile yataklanmış mil-rulman sisteminde aksel ve radyal titreşimleri incelemek için matematiksel model oluşturmuşlardır. Aktürk vd. [7] iki açısız bilyeli rulman ile yataklanmış bir mil-rulman sisteminde bilye boyutunda meydana gelen değişimin milin aksel ve radyal titreşimlerine olan etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla bir bilgisayar programı oluşturulmuş ve sonuçlar zaman ve frekans ortamında sunulmuştur. Ölçü dışı bilyelerin kafes hızında ve harmoniklerinde titreşimler oluşturduğu tespit edilmiştir [7]. Tandon ve Choudhury [8] rulmanlarda oluşan bölgesel ve yayılı hataları belirlemeye yarayan titreşim ve akustik ölçüm

metotlarını içeren çalışmaları özetlemişlerdir. Orhan vd. [9] mevcut olan titreşim analizi metodu ile rulman arızalarının belirlenmesi ele almışlardır. Rulman titreşimleri, ölçümü ve analizi özet olarak verilmiş, silindirik tip yuvarlanma elemanına sahip bir rulmanda oluşan dış bilezik hasarının titreşim analiziyle belirlenmesi sunulmuştur. Aktürk vd. [10] rulman titreşimlerinin oluşması, ölçülmesi ve değerlendirilmesinden bahsetmişlerdir. Önemli frekansların hesaplanmasında kullanılan formüller verilerek kestirimci bakım ile ilgili hazır bir referans oluşturmuşlardır [10]. Orhan vd. izleme ve spektrum analizi ile [11] küresel ve silindirik bilye elemanına sahip rulmanlı yataklarda hata teşhisi konusunu inceleyerek küresel bilye elemanına sahip rulmanlı yatakta eksen kaçıklığı ile rulman dış bilezik hasarı ve silindirik bilye elemanına sahip rulmanlı yatakta ise rulman dış bilezik hasarı başarılı şekilde teşhis etmişlerdir.

Bu çalışmada sabit bilyeli rulmanlar ile yataklanmış bir kompresörün yataklarında oluşan titreşimler radyal yönde periyodik ölçümler alınarak incelenmiştir. İncelenen kompresörün konstrüksiyon özelliğinden dolayı diğer yönlerden titreşim ölçümü yapılamamıştır. Yapılan çalışmada hem sabit bilyeli rulmanın hem dış bilezik temel hasar frekansı ve çoklu katlarında hem de iç bilezik temel hasar frekansı ve çoklu katlarında genlikler tespit edilmiştir.

Karahan [12] titreşim analizi ile makinelerde arıza teşhisi çalışmasının sonucunda, titreşim analizi ile kestirimci bakım yapılarak dış bilezik rulman hasarı tespit etmiştir.

## 1. TEORİK ESASLAR



Şekil 1. Rulman Geometrisi [12]

Şekil 1 de rulman geometrisi verilerek rulmanda temel hasar frekanslarının hesaplanmasında kullanılacak ölçüler gösterilmiştir. Hasarlı rulmanlar, hasar frekansları ve harmoniklerinde titreşimlere neden olurlar. Spektrum grafiğinde, hasarlı bir rulmanın oluşturduğu titreşimin belirtileri dört aşamada ifade edilebilir.

**1. Aşama:** Hasarın ilk zamanlarında spektrum grafiğinde hasar titreşim frekansının harmonikleri gözlemlenir. Temel hasar frekansı oluşmaz. Rulman hasarlarında ilk belirtiler 20,000-60,000 Hz gibi ultrasonik frekanslarda oluşur. Ses duyulmaz ve sıcaklık normal düzeydedir. Arıza mikroskobik seviyede olduğundan titreşimler ölçülemez.

**2. Aşama:** Spektrum grafiğinde hasar titreşim frekansının harmoniklerinin sayısı artar. Bozulma devam ettiğinde hasar titreşim frekansları mil dönme frekansı ile modülasyona uğrayarak yan bantları oluşturur. Oluşan yan bantların genliği hasar frekansının genliğini geçerse, hasarın önemli olduğu anlaşılır. Rulman elemanları 500-2000 Hz frekans aralığında gürültü oluşturmaya başlar. Ses hafifçe duyulur ve sıcaklık normal seviyededir. Titreşim genlikleri logaritmik grafiklerde ortaya çıkabilir.

**3. Aşama:** Bu aşamada spektrum grafiğinde titreşim hasar frekansı harmonikleri ve yan bantlarına ek olarak esas hasar frekansı da ortaya çıkar. Rulman ömrü, uygulanan yüke ve mil hızına bağlı olarak azalmıştır. Rulmanın sesi duyulur ve sıcaklık bir miktar artar.

**4. Aşama:** Rulman bozulmaya devam ettiği için rulman elemanlarının bozulmasını hızlandıran iç boşluklar artmaya başlar. Bu boşluklar rulman elemanları arasındaki çarpmaları artırır bu çarpmalar sonucu meydana gelen titreşimin spektrum grafiğinde geniş bant gürültü oluşur. Titreşimlerin genlikleri azalabilir ve geniş bant gürültüden zor ayırt edilebilirler [8]. Hasar artık had safhadadır. Rulman ömrünün %98'inden

fazlasını tamamlamıştır. Bu aşamadaki rulman için hemen bakım yapılmalıdır.

Bilyeli rulmanların her bir elemanına ait hasar frekansı hesaplamaları mevcuttur. Bu hesaplamalar şu şekilde yapılmaktadır.

$$PD = \frac{D1 + D2}{2}$$

$$f_{du} = \frac{n}{2} f_r \left[ 1 - \frac{PD}{BD} \cos \beta \right]$$

$$f_{iç} = \frac{n}{2} f_r \left[ 1 + \frac{PD}{BD} \cos \beta \right]$$

$$f_{bilye} = \frac{1}{2} f_r \frac{PD}{BD} \left[ 1 - \left( \frac{BD}{PD} \cos \beta \right)^2 \right]$$

$$f_{kafes} = \frac{1}{2} f_r \left[ 1 - \frac{BD}{PD} \cos \beta \right]$$

Yukarıdaki formüllerde;

$f_{du}$  : Rulman dış bilezik temel hasar frekansını

$f_{iç}$  : Rulman iç bilezik temel hasar frekansını

$f_{bilye}$  : Bilye frekansını

$f_{kafes}$  : Kafes frekansını

$f_r$  : Mil dönme frekansını

$n$  : Yuvarlanma elemanı sayısını

$BD$  : Bilye çapını

$\beta$  : Temas açısını

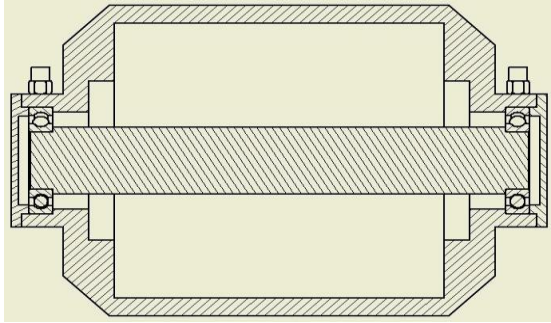
temsil etmektedir.

## 2. UYGULAMA ÇALIŞMASI

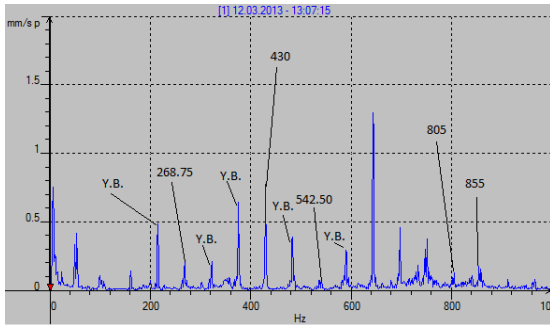
Gücü 90 kW devri 2970 d/d olan bir kompresörde belirli periyotlarda gerçekleştirilen titreşim ölçümlerinde belirgin genlikte frekanslar oluştuğu görülmüştür.

Bu çalışmada titreşim ölçümlerinin analizi için Brüel&Kjaer firmasının ürettiği VIBROTEST 60 veri ölçeri ve AS065S/N tipinde ivmeölçeri kullanılmıştır. Elde edilen titreşim frekanslarının analiz edilmesi sonucunda kompresör rulmanının (SKF 6213) hem dış bilezik temel hasar frekansı ve çoklu katları hem de iç bilezik temel hasar frekansı ve çoklu

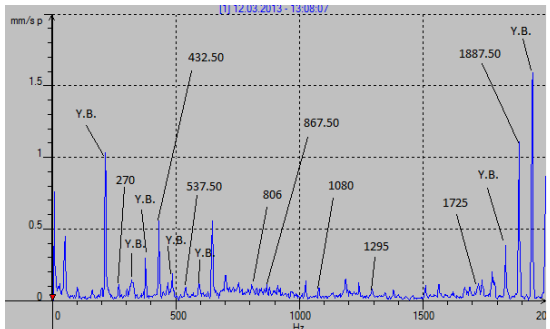
katlarında belirgin genlikler görülmüştür. Ayrıca bu frekansların yan bantlarında da belirgin genlikler görülmüştür. Bu koşullarda rulman daha önce belirtilen dört aşama içerisinde üçüncü aşamada yer almaktadır. Şekil 2’de uygulama çalışmasının yapıldığı kompresör şematik olarak gösterilmiştir. Yapılan çalışmada periyodik olarak alınan titreşim ölçümlerinin 0-1000 Hz aralığı ile 0-2000 Hz aralığı şekil 3’ten itibaren gösterilmektedir. İki farklı frekans aralığı gösterimi ile hem alınan ölçümlerin güvenilirliği ortaya çıkmaktadır hem de temel hasar frekanslarının ne kadar çok sayıda harmoniklerinin oluştuğu gösterilmiştir.



Şekil 2. Kompresör yataklarının şematik gösterimi

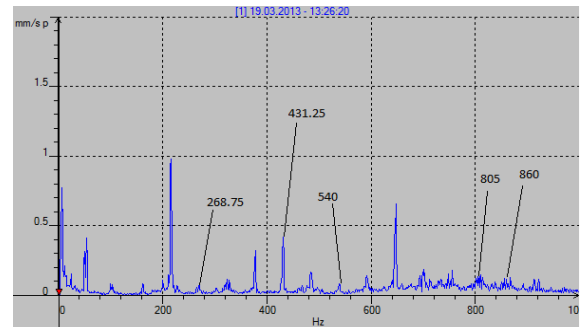


Şekil 3. Titreşim spektrum grafiği (12.03.2013, 1000 Hz )

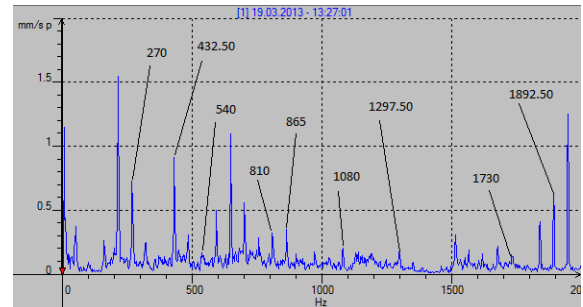


Şekil 4. Titreşim spektrum grafiği (12.03.2013, 2000 Hz )

Rulman dış bilezik hasar frekansı 278,28 Hz ve rulman iç bilezik hasar frekansı 414,72 Hz olarak hesaplanmıştır. Şekiller 3 ve 4 12 Mart 2013 tarihinde alınan ölçümlerdir ve bu ölçümlerde hem rulman dış bilezik hasar frekansı ve harmonikleri hem de rulman iç bilezik hasar frekansı ve harmonikleri gözlemlenmiştir. Ayrıca hem dış bilezik hasar frekansı ve harmoniklerinin hem de iç bilezik hasar frekansı ve harmoniklerinin yan bantları oluşmuştur. Dış bilezik hasar frekansının yedinci harmoniği ve bu harmoniğin yan bantı dahi görülmektedir. Özellikle dış bilezik temel hasar frekansının ve harmoniklerinin yan bantlarının genlik değerleri, kendi genlik değerlerinden daha fazladır. Rulman her iki hasar içinde 3. aşamadır. Rulman için tehlikeli bir durum söz konusudur. Ölçümler sık şekilde alınmalıdır.



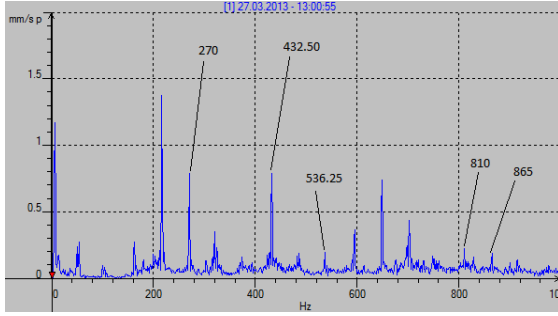
Şekil 5. Titreşim spektrum grafiği (19.03.2013, 1000 Hz )



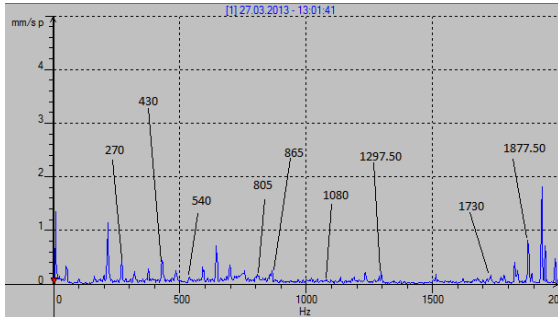
Şekil 6. Titreşim spektrum grafiği (19.03.2013, 2000 Hz )

Şekil 5 ve 6’da 19 Mart’ta alınan ölçümler gösterilmiştir. Bu tarihteki ölçümlerde dış bilezik hasar frekansının yan bandının genliğinde bir artış söz konusudur. Bu durum

hasarın ilerlediğinin göstergesidir. Ölçümler alınmaya devam edilmelidir.

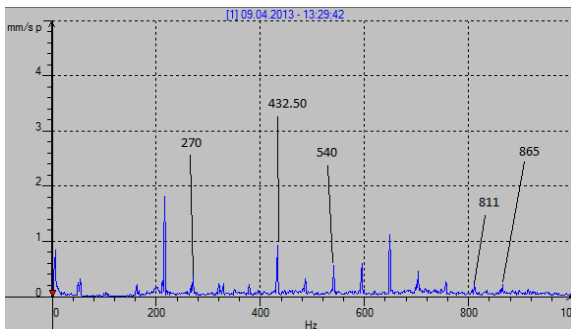


Şekil 7. Titreşim spektrum grafiği (27.03.2013, 1000 Hz )

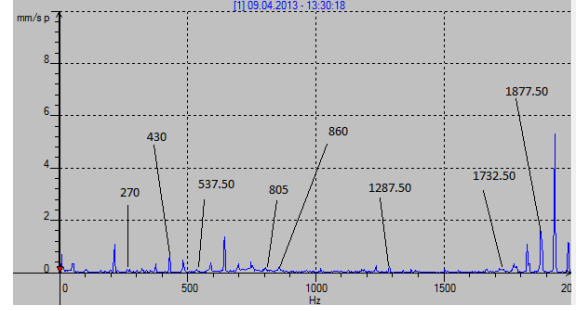


Şekil 8. Titreşim spektrum grafiği (27.03.2013, 2000 Hz )

Şekil 7 ve 8'de 27 Mart'ta alınan ölçümler gösterilmiştir. Bu tarihte yapılan ölçümler daha önce yapılan ölçümlerle benzerlik göstermektedir. Dış bilezik hasar frekansının 7. harmoniğinin yan bandının genliği artmıştır. Bu durum hasarın ilerleyerek devam ettiğini göstermektedir. Ölçümler alınmaya devam edilmelidir.

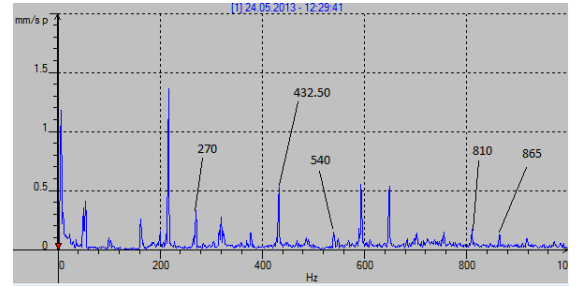


Şekil 9. Titreşim spektrum grafiği (09.04.2013, 1000 Hz )

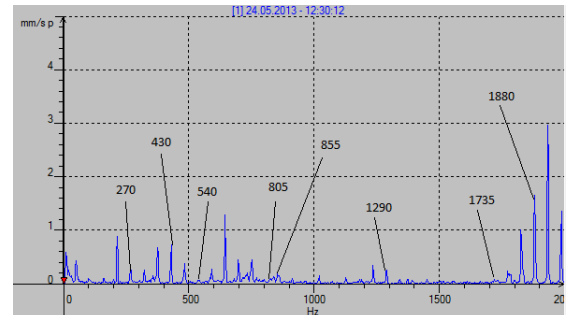


Şekil 10. Titreşim spektrum grafiği (09.04.2013, 2000 Hz )

Şekil 9 ve 10'da 9 Nisan'da alınan ölçümler gösterilmiştir. Bu tarihteki ölçümlerde özellikle dış bilezik temel hasar frekansının 7. harmoniğinin genliğinde çok ciddi bir artış söz konusudur. Bu durum hasarın ilerlediğini göstermektedir.



Şekil 11. Titreşim spektrum grafiği (24.05.2013, 1000 Hz )

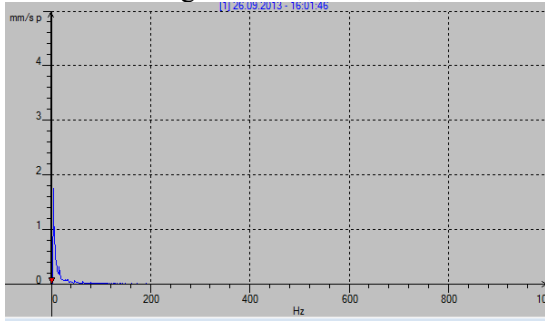


Şekil 12. Titreşim spektrum grafiği (24.05.2013, 2000 Hz )

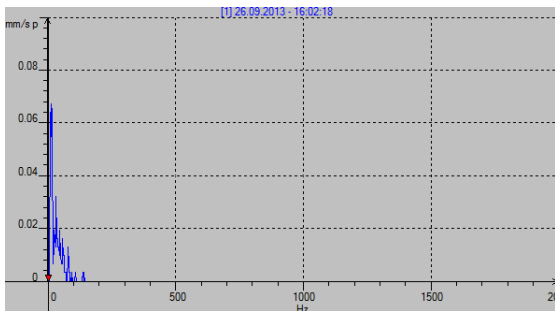
Şekil 11 ve 12'de 24 Mayıs tarihine ait ölçümler gösterilmiştir. Bu tarihteki ölçümlerde daha önceki ölçümlere benzerlik göstermektedir. Bu durum bize sistemde hem dış bilezik hem de iç bilezik hasarının olduğunu göstermektedir.

24 Mayıs 2013 tarihine kadar alınan ölçümlerde rulman hem dış bilezik temel hasar frekansı ve çoklu katları hem de iç bilezik temel hasar frekansı ve çoklu katlarında pikler mevcuttur. Ayrıca hem dış hem de iç bilezik hasar frekanslarında yan bantların oluşumu da gözlemlenmiştir. Bu durum rulmanın dört aşama içerisinde üçüncü aşama içinde olduğunu göstermektedir. 24 Mayıs 2013 tarihinden sonra kompresörler bakıma alınmış ve bakım sonrası alınan ölçümlerde bu hasarların ortadan kalktığı gözlemlenmiştir. Şekil 13 ve 14'te bakım sonrasında alınan ölçümler gösterilmektedir. Bu durum yapılan analizlerin doğruluğunu göstermektedir.

Bakım sonrası grafikleri incelersek;



Şekil 13. Titreşim spektrum grafiği (26.09.2013, 1000 Hz )



Şekil 14. Titreşim spektrum grafiği (26.09.2013, 2000 Hz )

Çizelge 1'de kompresör rulmanının teorik olarak hesaplanan dış bilezik temel hasar frekansı ve çoklu katları ile ölçüm ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır.

Çizelge 1. Kompresör rulmanı dış bilezik frekansları

Ölçüm ile elde edilen hasar frekansları Hz	Teorik hesapla elde edilen hasar frekansları Hz
270	278,28 $1 \times f_{du}$
540	556,56 $2 \times f_{du}$
805	834,84 $3 \times f_{du}$
1075	1113,12 $4 \times f_{du}$
1880	1947,96 $7 \times f_{du}$

Çizelge 2'de kompresör rulmanının teorik olarak hesaplanan iç bilezik temel hasar frekansı ve çoklu katları ile ölçüm ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır.

Çizelge 2. Kompresör rulmanı iç bilezik frekansları

Ölçüm ile elde edilen hasar frekansları Hz	Teorik hesapla elde edilen hasar frekansları Hz
430	414,72 $1 \times f_{du}$
865	829,44 $2 \times f_{du}$
1297,50	1244,16 $3 \times f_{du}$
1730	1658,88 $4 \times f_{du}$

### 3. SONUÇLAR

Bu çalışmada titreşim analizi ile rulmanlarda kestirimci bakım çalışması yapılmıştır. Bu maksatla fabrika çalışma ortamında bulunan kompresör yataklarından belirli periyotlarla titreşim ölçümleri alınmıştır. Alınan titreşim ölçümleri incelendiğinde rulmanda hem dış bilezik temel hasar frekansı ve çoklu katlarında genlikler hem de iç bilezik temel hasar frekansı ve çoklu katlarında genlikler tespit edilmiştir. Ayrıca yan bant oluşumları da gözlemlenmiştir. Bu durum rulmanın dört aşama içerisinde üçüncü aşama içerisinde olduğunu göstermektedir. Yapılan bakım

çalışmasının ardından rulmanda mevcut olan hasarların ortadan kalktığı gözlemlenmiştir.

## Kaynaklar

- [1] Belek, T. ve Toprak, T. “Endüstriyel Tesislerde Makina Performansının İzlenmesi ve Bilgisayar Destekli Bakım Planlanması”, Brüel & Kjaer Teknik Personel Eğitimi Kurs Notları., İTÜ Makina Fakültesi., 1991
- [2] Belek, T. ve Toprak, T. “Titreşim Ölçümüne Dayalı Makina Bakımı”, Brüel & Kjaer Teknik Personel Eğitimi Kurs Notları., İTÜ Makina Fakültesi, İstanbul, 2003
- [3] Tekelioğlu, M., “Titreşim Analiziyle Kestirimci Bakım”, Bilgilendirme Semineri, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü. İzmir, 1992
- [4] McFadden, P. D. and Smith, J. D., “Model for the Vibration Produced by a Single Point Defect in a Rolling Element Bearing”, Journal of Sound and Vibration, 96(1a), 69-82, 1984.
- [5] McFadden, P. D. and Smith, J. D., “The Vibration Produced by a Multiple Point Defect in a Rolling Element Bearing”, Journal of Sound and Vibration, 98(2), 263-273, 1985.
- [6] Aktürk, N., Uneeb, M. and Gohar, R., "The Effects of Number of Balls and Preload on Vibrations Associated with Ball Bearings", Journal of Tribology, 119, 747-753, October 1997.
- [7] Aktürk, N. and Gohar, R., "The Effect of Ball Size Variation on Vibrations Associated with Ball-Bearings", Proc. I.Mech.E., 212 Part J, 101-109, 1998.
- [8] Tandon, N. and Choudhury, A., “A Review of Vibration and Acoustics Measurement Methods for the Detection of Defects in Rolling Element Bearings”, Tribology International, 32, 469- 480, 1999.
- [9] Orhan, S., Arslan, H. ve Aktürk, N., “Titreşim Analiziyle Rulman Arızalarının Belirlenmesi”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 18, No 2, 39-48, 2003
- [10] Aktürk, N., Üzkürt, İ., Yüksel, Ş., “Titreşim Analizi İle Rulmanların Çalışabilirlik Durumlarının Belirlenmesi”, Mühendis ve Makina Cilt:41 Sayı:481 Şubat 2000.
- [11] Orhan, S., Aktürk, N., Çelik, V.,”Vibration Monitoring For Defect Diagnosis of Rolling Element Bearings As A Predictive Maintenance Tool: Comprehensive Case Studies”, NDT&E International 39 293-298 2006.

[12] Karahan, F., “Titreşim Analizi İle Makinalarda Arıza Teşhisi“, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Manisa 2005.

## EKLER

### Rulman Geometrisi

Dış çap : 120 mm

İç çap : 65 mm

Masura sayısı (  $N_b$  ) : 14

Temas açısı : 0

PD : 93.15 mm

BD : 18.34 mm

$f_{kafes} = 19.94$  Hz

$f_{du} = 278.28$  Hz

$f_{iç} = 414.72$  Hz

$f_{bilya} = 120.83$  Hz

**Geliş Tarihi:** 20.02.2014

**Kabul Tarihi:** 05.01.2015

## **YARI DİREKT VE KARMA AYDINLATMA TÜRLERİNİN TEKNİK YÖNDEN KARŞILAŞTIRILMASI**

**Mustafa ŞAHİN<sup>1</sup>, Yüksel OĞUZ<sup>2</sup> Fuat BÜYÜKTÜMTÜRK<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Erzincan Üniversitesi M.Y.O. Uçak Teknolojisi Bölümü, 24000 Erzincan, TÜRKİYE

<sup>2</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fak. Elk & Elek. Müh. Böl., 03000 Afyonkarahisar, TÜRKİYE

<sup>3</sup>Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fak. Elk. Eğt. Böl., 34000 İstanbul, TÜRKİYE

**Özet:** Bu çalışmada, iç mekân aydınlatmasında yarı direkt ve karma aydınlatma türlerinin teknik yönden karşılaştırılması yapılmış ve bu aydınlatma türlerinin seçiminin iç mekân aydınlatmasına katkısından bahsedilmiştir. Çalışma için örnek iki farklı ortam seçilmiş ve tüm fiziksel ortam koşulları aynı kalmak şartıyla sadece aydınlatma türleri değiştirilmiştir. Ortamda yarı direkt ve karma aydınlatma türleri kullanılmış ve bu iki aydınlatma çeşidi için ayrı ayrı ortam içerisinde yerden 90 cm sabit yükseklikte birçok noktada aydınlık düzeyi ölçümleri yapılmıştır. Ölçülen bu değerler bir kâğıt üzerine matris şeklinde kaydedilmiştir. Daha sonra, bu iki aydınlatma çeşidi için kaydedilen bu değerler MATLAB ortamında üç boyutlu olarak grafiklendirilip karşılaştırılmıştır. Böylece bir aydınlatma sisteminin tasarımı aşamasında seçilen aydınlatma türünün aydınlatma elemanlarının gereksinim duyduğu enerji talebindeki azalmaları da beraberinde getirdiği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak bu çalışmada, iç mekân aydınlatma türü ve aydınlık düzeyi dağılımı ilişkisi, yapılan ölçümlerle sayısal olarak karşılaştırılmıştır. Aydınlatma türü seçiminin hem ekonomiklik hem de kullanım açısından aydınlatma sistemlerine olumlu katkıda bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** *İç Mekân Aydınlatması, Aydınlatma Türleri, Yarı Direkt Aydınlatma, Karma Aydınlatma, Aydınlatma Ekonomisi, Ergonomi.*

## **COMPARISON OF THE SEMI-DIRECT AND MIXED TYPE OF LIGHTING IN TERMS OF TECHNICAL ASPECTS**

**Abstract:** In this study, the semi-direct and mixed types of lighting for the interior illumination have been compared in terms of technical aspects. The contribution of these lighting's type choices to the interior illumination has been address. Two different environments were selected and only the type of illumination was changed while all other physical condition of environments remains same. The semi-direct and mixed types of lighting were used for illumination and luminance level for each environment were measured 90cm above from the ground at many different points. These values were noted on a piece of paper as a matrix. Then, these values were drawn into a 3D graphic in MATLAB workspace to compare with each other. Thus, it has been observed that the chosen type of lighting system in design stage reduces the energy demand needed by the illumination elements. Consequently in this study, relationship of interior lighting type and its illumination level distribution were compared with numerical measurements. And it was concluded that the choice of lighting type contributes to illumination system positively in terms of both ergonomically and economical aspect.

**Keywords:** *Indoor Lighting, Lighting Types, Semi Direct Lighting, diffused lighting, Lighting Economy, Ergonomics.*





## 1. GİRİŞ

Aydınlatma için harcanan enerji, bina enerji tüketimini büyük ölçüde etkiler. Ülkemizde tüketilen toplam elektrik enerjisinin % 45'i binalar tarafından tüketilmekte ve %45'lik toplam tüketimin % 25'lik kısmı da konutlar tarafından tüketilmektedir. Binalar ölçeğinde, elektrik enerjisi tüketiminde aydınlatma % 56 pay ile en ağırlıklı sektördür [1]. Elektrik enerjisinin üretim ve kullanım maliyeti yüksek olması nedeniyle verimli kullanılması gerekmektedir [2]. Kullanmakta olduğumuz enerji kaynaklarının hızlı ve bilinçsiz bir şekilde tüketilmesi insanoğlunu yeni alternatif enerji kaynakları bulmaya itmiştir. Aynı zamanda mevcut enerji potansiyellerini de en ekonomik bir şekilde kullanmak amacıyla bir takım enerji tasarrufu yöntemleri geliştirmeye sevk etmiştir. Bu amaçla özellikle son zamanlarda gerek Türkiye'de gerekse uluslararası düzeyde alternatif enerji kaynakları ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır [3, 4, 5]. Yapılan bu araştırmaların birçoğu elektrik enerjisinin optimal kullanılmasına yönelik, aydınlatma sistemlerinde enerji tasarrufu ile ilgilidir.

Örneğin; Matta ve Mahmud [6], Galasiu vd [7] ve Dubin [8] aydınlatma sistemlerinde otomatik kontrol sistemlerini kullanarak enerji tasarrufuna gitmişlerdir. Benzer şekilde; Jafrancesco vd [9] çalışmalarında iç mekân aydınlatmasını solar kolektörlerle desteklerken Dounis vd [10] ise enerji tasarrufu için akıllı kontrol sistemlerini kullanmıştır. Yukarıda bahsedilen çalışmalara ek olarak Gençoğlu [11] aydınlatmada enerji tasarrufu ile ilgili, Özbudak [12] iç mekân aydınlatmasında renk ve aydınlatma sistemi ilişkisi ile ilgili, Singh ve Garg [13], Kazanasmaz vd [14] ve Krainer vd [15] ise gün ışığı temelli aydınlatma sistemleri ile ilgili çalışmalar yapmışlardır.

Bu çalışmada yukarıda bahsedilen çalışmalardan farklı olarak aynı iç mekânlar kullanmak şartıyla sadece iç mekânda kullanılan aydınlatma türü değiştirilip aydınlık düzeyi dağılımı irdelenmiştir. Yani bir iç

mekânda sadece aydınlatma türünün değiştirilmesi suretiyle, o mekândaki aydınlık düzeyi dağılımının değiştirilebileceği yapılan ölçümlerle sayısal olarak kanıtlanmıştır. Bu sayede, bir iç mekânda kurulum aşamasında bilinçli aydınlatma türü seçimi ile daha ergonomik ve daha ekonomik bir aydınlatma sistemi tasarımı yapılmasının önemi vurgulanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1 Aydınlatma Sistemleri

Günümüzde binaların iç hacimlerinde yaşayan insanların en önemli ihtiyaçları arasında aydınlatma önemli bir unsurdur. Aydınlatma, en basit tanımıyla, bir işlevin görülebilmesi için gerekli aydınlık düzeyinin sağlanmasıdır. Aydınlatma, Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) tarafından “çevrenin ve nesnelerin gereği gibi görülmesini sağlamak amacıyla ışık uygulamak” şeklinde tanımlanmıştır [16]. Söz konusu nesne ve çevre her aydınlatma uygulamasında amaca göre çeşitlilik gösterir. Bu çeşitlilik Aydınlatma Tekniği kavramının çıkmasına sebep olur. Aydınlatma tekniği öncelikli olarak en iyi şekilde nesnelerin algılanmasını sağlamak zorundadır. Bunun yanı sıra da ilk kurulum giderleri ve kurulum sonrası harcamalar için en ekonomik çözüm yollarının bulunmasını amaç edinmeli ve aynı zamanda bunu yaparken aydınlatmanın estetik değerler ve mimariye uyumu bakımından da doyurucu olmasını sağlamak zorundadır [16]. Görüldüğü üzere aydınlatma tekniği, estetik, psikoloji ve ekonomik kazanımlar peşinde olan bir kavramdır. Günümüzde aydınlatma; öncelikle kişilerin fizyolojik görme ihtiyacına cevap vermeyi amaç edinmenin yanı sıra, görme konforunu, iş verimliliğini ve mimaride hacim ve yüzeylerin mimari özelliklerini ön plana çıkarmayı amaç edinen bir konu haline gelmiştir [17]. Uygulamada aydınlatmanın nicelik ve nitelik olarak iki önemli boyutu vardır.

Aydınlığın niceliği sayısal olarak gerekli aydınlık seviyesinin sağlanmasıdır. Gerekli aydınlık seviyesinin belirlenmesinde ise ortamda yapılan işin niteliği, çalışanların ortamda bulunma süreleri, çalışanların yaşları vb. özellikler etkenler önem taşır. Aydınlatmada önemli olan kullanılan mekânda yapılan işin amaçlarına uygun bir aydınlatmayı sağlamasıdır. Amaca uygun bir aydınlatmanın sağlanmasında ise ışığın rengi, doğrultusu, mekânda oluşan gölgelerin niteliği önemli ölçüde rol oynar. [18].

Günümüzde insanların özel isteklerine cevap vermek için ve olağan üstü koşullar karşısında bulunan toplumların aydınlatma ile ilgili sorunlarını çözmek için iyi planlanmış bir aydınlatma zorunluluk halini almıştır [19]. Aksi halde, iyi planlanmamış, gelişi güzel aydınlatılmış bir ortamda göz yorgunlukları ortaya çıkar. Ortaya çıkan bu göz yorgunlukları neticesinde ise çalışma alanlarında ciddi yaralanmalar medya gelir. Bir çalışma ortamında yapılan araştırmada, çalışanların %66'sında iş yerindeki fiziksel yorgunluğun sebebinin yeterli olmayan aydınlatmadan dolayı olduğu saptanmıştır. [20].

Uygun bir aydınlatmanın faydalarından önce akla ilk gelen “doğru bir aydınlatma nasıl olmalıdır?” sorusudur. Sadece dış görünüşüne bakılarak iç mekânları süslemeye, ya da herhangi bir yere bir gelişi güzel bir lamba asıp, karanlığı yok etmeye çalışmanın, “aydınlatma” kavramı ile hemen hemen hiçbir ilgisi yoktur [21].

İnsanın duyuşal ve algısal verileri kapsamında, aydınlatma ile görsel algılama önemli bir yer tutmaktadır. Bütün algılamaların % 80 ile %90'ı görme ile gerçekleşmektedir. Görme duyularını ise, renk ve ışık uyarıları meydana getirmektedir. Bu nedenle çalışanların optimal aydınlatma koşullarında çalışması onların göz sağlığı ve görme yeteneğini koruması açısından önemlidir ve buna bağlı olarak mekânda kullanım amacına

uygun bir aydınlatma yapılması gerekmektedir [22].

## **2.2 İç Mekân Aydınlatma Türleri**

Dâhili aydınlatma (iç aydınlatma) ışığın yüzeye ne şekilde geldiğine yani aydınlık düzeyi dağılımına göre kendi içinde 5 gruba ayrılmaktadır [23, 24].

### **2.2.1 Direkt (Dolaysız) Aydınlatma**

Direkt aydınlatma, ışığın %90'ı ile %100'ünün, doğrudan aydınlatılacak yüzeye yönlendirilmesidir. Direkt aydınlatmalarda sınırlar belirgin ve gölgeler settir. Direkt aydınlatmalara en önemli örnek olarak spotlar verilebilir. Özellikle üç boyutlu sanat eserlerinin aydınlatılmasında bu aydınlatma türü uygulanmalıdır. Örneğin; heykel sergilenen müze salonlarında hacim ve gölgeler, bu aydınlatma sayesinde belirgin olacaktır.

### **2.2.2 Yarı Direkt (Yarı Dolaysız) Aydınlatma**

Işığın %60'ı ile %90'ı arasında kalan kısmını, doğrudan aydınlatılacak düzleme yollayan aydınlatma türüdür. Bu aydınlatma şekline tavan aydınlatmaları örnek verilebilir.

### **2.2.3 Karma (Dağıtılmış) Aydınlatma**

Işığın %40'ı ile %60'ı arasında kalan kısmının aydınlatılacak düzleme yollayan aydınlatma şeklidir. Karma aydınlatmalara tavan ve duvar yansıtıcıları örnek olarak verilebilir [25].

### **2.2.4 Yarı Endirekt (Yarı Dolaylı) Aydınlatma**

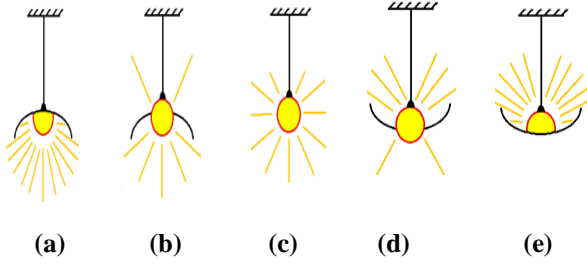
Işığın %10'u ile %40'ı arasında kalan kısmını aşağı doğru, kalanını yukarı doğru gönderen armatürlerle yapılan aydınlatma türüdür. Burada amaç kullanıcılar için loş ve huzur verici bir ortamın sağlanmasıdır.

### **2.2.5 Endirekt (Dolaylı) Aydınlatma**

Dolaylı ışık veren armatürlerle ışığın % 0'ı ile %10'u arasını aşağı doğru, kalanını duvarların üst taraflarına ve tavana doğru gönderilmesiyle

yapılan aydınlatma biçimidir. Dolaylı aydınlatma yansıtma faktörü yüksek mekânlarda tercih edilir. Tavan ve duvar renkleri önemli bir etkiye sahiptir [26].

Aşağıdaki şekil 1; (a), (b), (c), (d), ve (e)'de sırasıyla Direkt Aydınlatma, Yarı Direkt Aydınlatma, Karma Aydınlatma, Yarı Endirekt Aydınlatma ve Endirekt Aydınlatma örnekleri sırasıyla verilmiştir.



Şekil 1. Dâhili (iç) Aydınlatma türleri

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 3.1 Karma ve Yarı Endirekt Aydınlatma Türleri İçin Aydınlık Düzeyi Dağılımı Ölçümleri

Aydınlatma sistemlerinde gözün görme yeteneği ve görsel konfordan taviz vermeden gerekli minimum düzeyde aydınlık şiddetinin sağlanması ön koşuldur. Bu sayede insanın göz, ruh, fizik, estetik ve motivasyon birlikteliği sağlanarak verimli bir çalışma ortamı oluşturulmuş olacaktır. Bu bilgiler doğrultusunda çalışmamızda ölçüm yapmak amacıyla iki farklı ortam belirlenmiştir. Bu iki farklı ortamlar sırayla karma ve yarı endirekt aydınlatma türlerinin ikisi ile aydınlatılmıştır.



Şekil 2. Ölçümlerin yapıldığı krem rengi iç mekânın genel görünümü

Bu amaçla; ilk olarak şekil 2'de görüldüğü gibi duvar rengi krem, eni: 3.10 metre, boyu: 3.80 metre ve yüksekliği: 2.60 metre olan bir iç mekân ölçüm yapmak üzere belirlenmiştir.

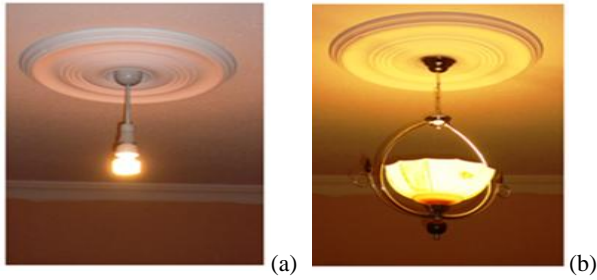
İkinci olarak ise, şekil 3'de görüldüğü gibi duvarları şampanya rengi, eni: 2.80 metre, boyu: 3.90 metre ve yüksekliği: 2.60 metre olan bir iç mekân ölçüm yapmak üzere belirlenmiştir.



Şekil 3. Ölçümlerin yapıldığı şampanya rengi iç mekânın genel görünümü

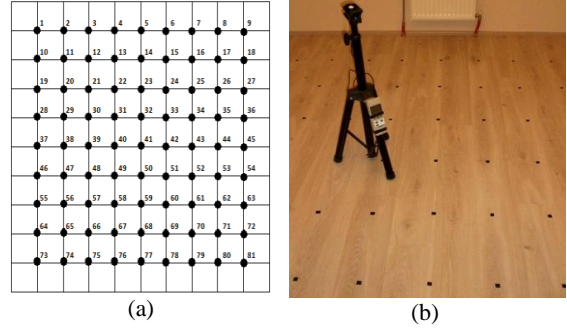
Belirlenen iç mekânlarda ölçümler iki farklı aydınlatma türü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İç mekân aydınlatma türleri şekil 4 (a)'da görüldüğü gibi birinci durum için karma aydınlatma, şekil 4 (b)'de görüldüğü gibi ikinci durum için yarı endirekt

aydınlatma olarak belirlenmiştir. İlk olarak birinci ortam (Şekil 2) sırasıyla karma ve yarı indirekt aydınlatma türleriyle aydınlatılmış ve bu iki aydınlatma türü için ayrı ayrı aydınlık düzeyi ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra ikinci ortam (Şekil 3) karma ve yarı indirekt aydınlatma türleriyle aydınlatılmış ve yine bu iki aydınlatma türü için aydınlık düzeyi dağılımları ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Mekân içerisinde karma ve yarı indirekt aydınlatma türlerinin kullanılmasının nedeni ise bu iki aydınlatma türünün iç mekan aydınlatmasında çok tercih ediliyor olması ve aynı zamanda sayısal olarak mukayese edebilmektir. İç mekân aydınlatmasında her iki aydınlatma türü için de kompakt flüoresan ampul kullanılmıştır. Aydınlatmada kompakt flüoresan ampul kullanılmasının sebebi ise iç mekân aydınlatmasında çok tercih ediliyor olmasıdır.



Şekil 4. İç mekânda kullanılan karma (a) ve (b) yarı indirekt aydınlatma türleri

Deneyin yapıldığı iç mekânlar aşağıda Şekil 5 (a)'da görüldüğü gibi önce kâğıt üzerinde ve sonrasında Şekil 5 (b)'de görüldüğü fiziksel olarak karelere ayrılmıştır. Her bir karenin köşesine numara verilmiştir ve toplam  $9 \times 9 = 81$  adet ölçüm noktası elde edilmiştir.



Şekil 5. İç mekânın (a) kâğıt üzerinde ve (b) fiziksel olarak 30x35 cm lik karelere ayrılmış şekli.

Ölçümler 81 adet noktada, iki farklı mekânda ve ikişer aydınlatma türü için, yerden yüksekliği 90 cm olan çalışma masası yüksekliğinde LUTRON marka kalibrasyon ayarı olan (kalibrasyon sertifikasına sahip) lüksmetre ile yapılmıştır. Ölçümler ilk olarak krem rengi iç mekânda karma aydınlatma türü için yapılmış ve 9x9 matris şeklinde tablo 1'te görüldüğü gibi kaydedilmiştir.

Tablo 1. Karma aydınlatılan krem rengi iç mekânda aydınlık düzeyi dağılımı

68,0	74,1	82,5	89,8	94,0	91,7	85,0	78,4	71,8
72,1	81,7	91,4	103	107	104	96,5	86,6	75,9
76,6	87,3	101	115	121	116	106	93,0	81,4
77,6	90,7	108	122	125	121	110	98,0	84,3
76,8	90,0	107	119	122	121	113	98,5	83,4
75,1	87,8	105	115	120	119	110	95,0	82,6
70,7	80,7	95	106	111	111	101	88,6	78,4
65,4	73,3	87	96,2	100	98,6	91,8	83,0	74,2
56,6	63,8	73	83,5	88	87,8	83,1	76,1	69,8

Daha sonra aynı iç mekânda yani krem rengi ortamda aydınlatma türü karma aydınlatmadan yarı indirekt aydınlatmaya çevrildikten sonra tüm fiziksel şartlar sabit kalmak şartıyla aynı ölçümler yarı indirekt aydınlatma için yapılmış ve 9x9 matris şeklinde tablo 2'de görüldüğü gibi kaydedilmiştir.

Tablo 2. Yarı endirekt aydınlatılan krem rengi iç mekandaki aydınlık düzeyi dağılımı

51,4	57,1	62	66,9	69,1	67,5	64,1	59,7	54,3
55,4	61,6	68,1	74,3	77,2	75,6	70,3	64,5	59
58,6	65,8	74,3	82,7	87,9	84,4	76,9	69,5	61,9
60,7	68,6	79,7	89,3	94,4	92,3	82,8	72,9	64,5
60,8	70	81,2	92,4	99,6	95,6	86,1	75,6	66,8
59,2	68	78,4	88	94,4	91,8	84,2	73,6	65,5
56,3	64,3	73,1	81,3	86,4	84,2	77,9	69,9	62,8
54,5	61,5	68,8	75,9	79,1	78,8	73,2	67,1	60,2
48,2	54	62	68	70,8	70,6	66,9	61,9	56,5

Krem rengi ortamda karma ve yarı endirekt aydınlatma türleri için ayrı ayrı ölçümler yapıldıktan sonra ölçüm yapmak amacıyla şekil 3’de görülen şampanya rengi iç mekâna geçilmiştir. Bu ortamda da ilk olarak karma aydınlatma türü kullanılmış, bu aydınlatma türü için iç mekân içerisinde aydınlık düzeyi ölçümleri yapılmış ve tablo 3’de görüldüğü gibi kaydedilmiştir.

Tablo 3. Karma aydınlatılan şampanya renk iç mekandaki aydınlık düzeyi dağılımı

57,6	62,1	65,6	67,4	67,8	66,6	64,3	60,6	56,3
68,1	73	78,3	82,2	83,1	79,8	75,9	71,1	65,4
76,9	86,1	96,8	102	101	98,1	90,8	81,9	73,9
85,2	96,8	107	112	111	108	101	91,4	81,3
87,3	99,2	107	111	112	110	104	93,2	82,4
81,4	91,9	100	105	107	105	97,7	87,1	76,6
72,8	79,6	85,5	90,9	91,7	87,6	81	74,2	67,3
64,1	68,5	71,8	74,2	74,6	71,8	67,9	63,2	57,5
56,6	59,9	62,4	63,5	63,4	60,8	56,2	54,3	50,8

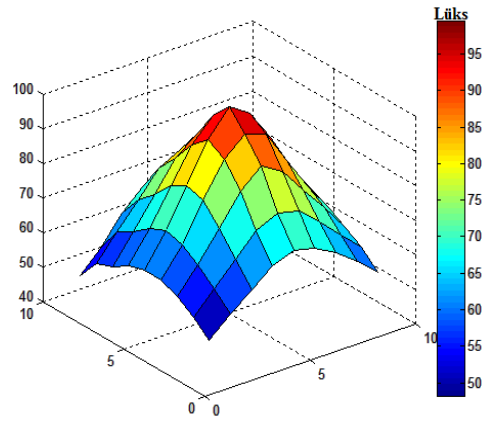
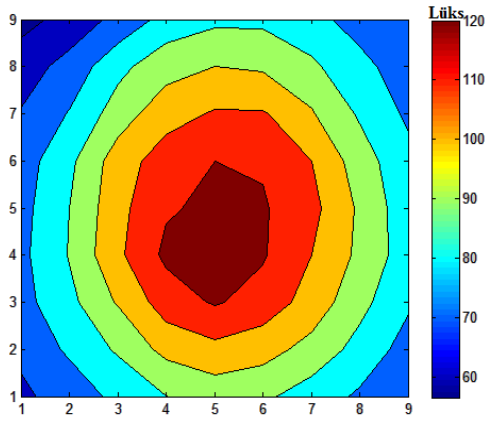
Son olarak şampanya renk iç mekânda aydınlatma türü karma aydınlatmadan yarı endirekt aydınlatmaya çevrildikten sonra tüm fiziksel şartlar sabit kalmak şartıyla aynı ölçümler yarı endirekt aydınlatma için yapılmış ve 9x9 matris şeklinde tablo 4’de görüldüğü gibi kaydedilmiştir.

Tablo 4. Yarı endirekt aydınlatılan şampanya renk iç mekandaki aydınlık düzeyi dağılımı

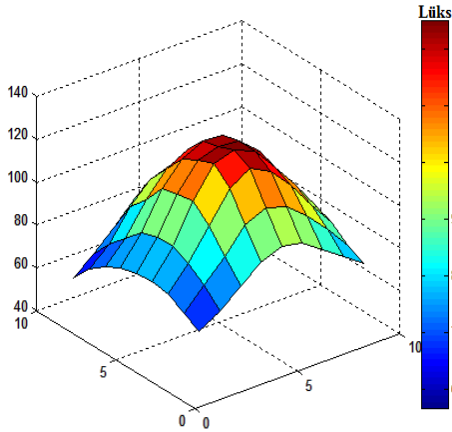
50,1	54	56,8	58,2	59	57,8	55,6	52,2	48,7
57,6	62,3	66	68,5	69,6	68	65,1	60,9	56,6
54,3	71	76,4	80,4	81,9	79,5	75,2	70	64
69,8	76,5	84,6	90,4	92,2	89,7	83,5	76,3	68,6
80	91	95,3	101	96,1	92,5	89,2	81,1	70,2
79	84,2	86,6	90,4	89,9	85,7	79	72,8	66,3
71,8	73,7	76,1	77,7	77,2	74,3	69,2	64,9	58,7
54,2	59,8	63,5	66,1	66,3	63,1	59,5	55,7	51,7
49,8	55,9	57,5	55,4	56,3	53,7	49,9	45,3	42,2

### 3.2 Karma ve Yarı Endirekt Aydınlatma Türlerinin Karşılaştırılması

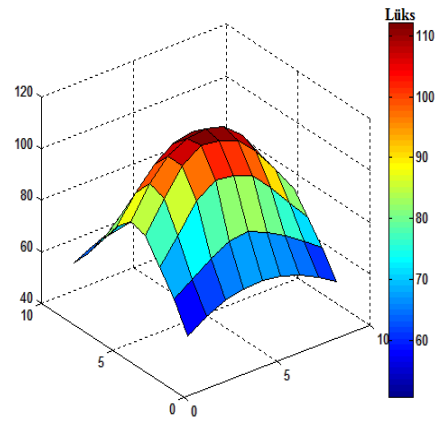
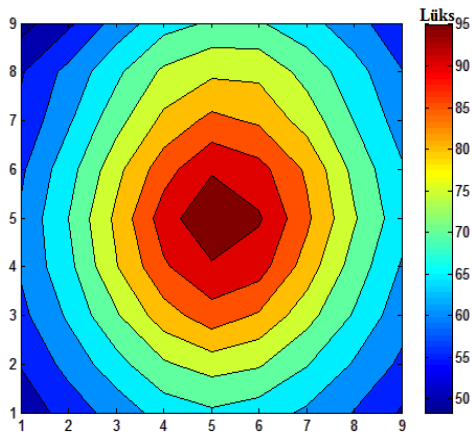
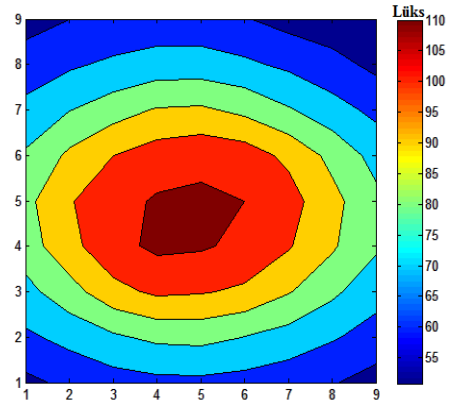
Aydınlatma sistemlerinin tasarımları aşamasında hedeflenen aydınlık düzeyi, ortamın kullanım ihtiyaçları göz önüne alınarak iyi tespit edilmelidir. Uygun bir aydınlatmanın faydalarından önce akla ilk gelen “doğru bir aydınlatma nasıl olmalıdır?” sorusudur. Bu bağlamda çalışmada seçilen iç mekânların aydınlık düzeyi dağılımlarına, iç mekânda kullanılan aydınlatma türlerinin katkısı incelenmiştir. Bu doğrultuda farklı iç mekânda tüm koşullar aynı kalmak şartıyla sırasıyla karma ve yarı endirekt aydınlatma türleri kullanılmıştır. Her bir aydınlatma türü için ayrı ayrı aydınlık şiddeti ölçümleri yapılmıştır. Şekil 6’da ve şekil 7’de birinci ortamda (krem rengi iç mekânda) sırasıyla karma ve yarı endirekt aydınlatma türlerinin kullanıldığı durumlarda ölçülen aydınlık düzeyi dağılımlarının MATLAB ortamında iki ve üç boyutlu olarak grafiklendirilmiş hali görülmektedir. Şekil 8’de ve şekil 9’da ikinci ortamda (şampanya rengi iç mekânda) sırasıyla karma ve yarı endirekt aydınlatma türlerinin kullanıldığı durumlarda ölçülen aydınlık düzeyi dağılımlarının MATLAB ortamında iki ve üç boyutlu olarak grafiklendirilmiş hali görülmektedir.



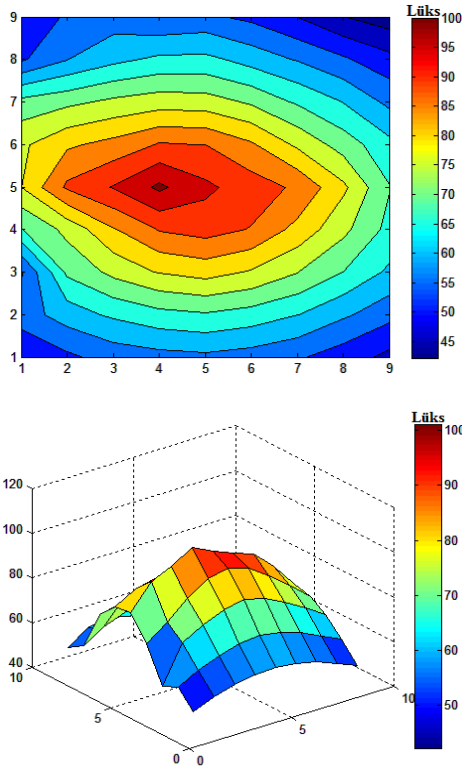
Şekil 7. Yarı Endirekt aydınlatılan krem rengi iç mekândaki aydınlık düzeyi dağılımlarının iki ve üç boyutlu grafikleri.



Şekil 6: Karma aydınlatılan krem rengi iç mekândaki aydınlık düzeyi dağılımlarının iki ve üç boyutlu grafikleri.



Şekil 8. Karma aydınlatılan şampanya rengi iç mekândaki aydınlık düzeyi dağılımlarının iki ve üç boyutlu grafikleri.



**Şekil 9.** Yarı Endirekt aydınlatılan şampanya renk mekândaki aydınlık düzeyi dağılımlarının iki ve üç boyutlu grafikleri.

Görüldüğü üzere birinci iç mekânda yapılan ölçümler neticesinde karma aydınlatma için mekândaki lüks dağılımı Şekil 6'daki gibi ölçülmüş ve aynı ortamda yarı endirekt aydınlatma için mekândaki lüks dağılımı Şekil 7'deki gibi ölçülmüştür ve bu iki aydınlatma türü için aydınlık düzeyi dağılımları birbirinden farklı çıkmıştır. Bu fark aydınlık düzeyi değerleri 9x9 matris şeklinde tablo 5'de görülmektedir.

**Tablo 5.** Karma ve Yarı Endirekt aydınlatma türü kullanılan krem rengi iç mekânda aydınlık düzeyi dağılımlarının lüks olarak farkları

16,60	17,00	20,50	22,90	24,90	24,20	20,90	18,70	17,50
16,70	20,10	23,30	28,70	29,80	28,40	26,20	22,10	16,90
18,00	21,50	26,70	32,30	33,10	31,60	29,10	23,50	19,50
16,90	22,10	28,30	32,70	30,60	28,70	27,20	25,10	19,80
16,00	20,00	25,80	26,60	22,40	25,40	26,90	22,90	16,60
15,90	19,80	26,60	27,00	25,60	27,20	25,80	21,40	17,10
14,40	16,40	21,90	24,70	24,60	26,80	23,10	18,70	15,60
10,90	11,80	18,20	20,30	20,90	19,80	18,60	15,90	14,00
8,40	9,80	11,00	15,50	17,20	17,20	16,20	14,20	13,30

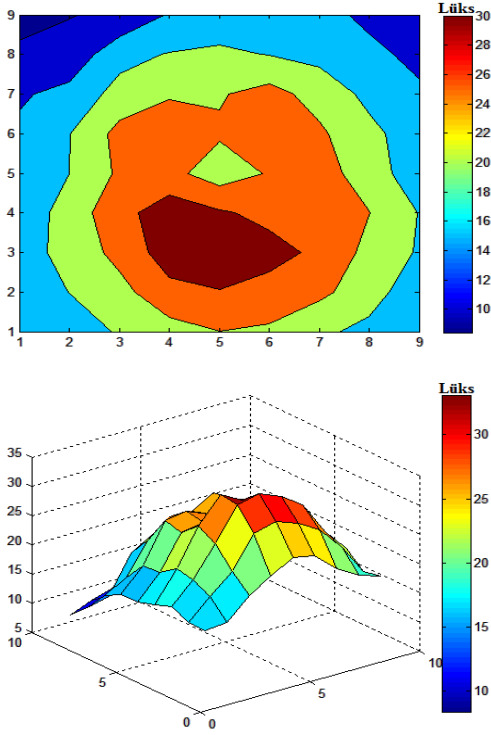
İkinci iç mekânda yapılan ölçümler neticesinde ise karma aydınlatma için mekândaki lüks dağılımı Şekil 8'deki gibi ölçülmüş ve aynı ortamda yarı endirekt aydınlatma için mekândaki lüks dağılımı Şekil 9'daki gibi ölçülmüştür ve bu iki aydınlatma türü için aydınlık düzeyi dağılımları da birbirinden farklı çıkmıştır. Bu fark aydınlık düzeyi değerleri 9x9 matris şeklinde tablo 6'da görülmektedir.

**Tablo 6.** Karma ve Yarı Endirekt aydınlatma türü kullanılan şampanya rengi iç mekânda aydınlık düzeyi dağılımlarının lüks olarak farkları

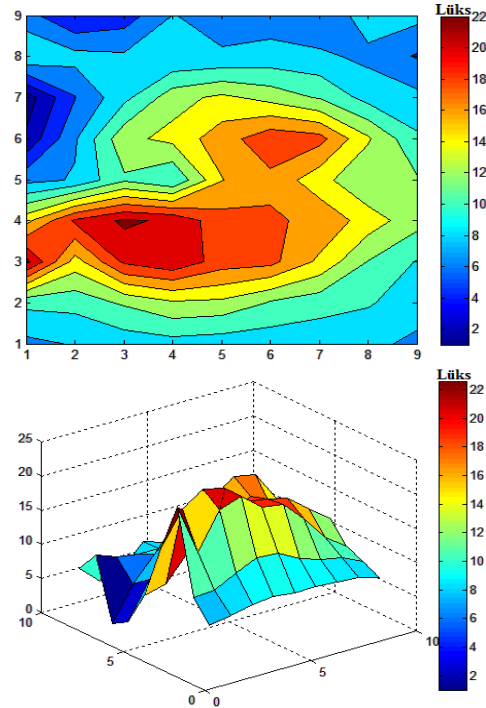
7,50	8,10	8,80	9,20	8,80	8,80	8,70	8,40	7,60
10,50	10,70	12,30	13,70	13,50	11,80	10,80	10,20	8,80
22,60	15,10	20,40	21,60	19,10	18,60	15,60	11,90	9,90
15,40	20,30	22,40	21,60	18,80	18,30	17,50	15,10	12,70
7,30	8,20	11,70	10,00	15,90	17,50	14,80	12,10	12,20
2,40	7,70	13,40	14,60	17,10	19,30	18,70	14,30	10,30
1,00	5,90	9,40	13,20	14,50	13,30	11,80	9,30	8,60
9,90	8,70	8,30	8,10	8,30	8,70	8,40	7,50	5,80
6,80	4,00	4,90	8,10	7,10	7,10	6,30	9,00	8,60

Bu fark lüks değerleri yine MATLAB programında 3 boyutlu olarak grafiklendirilmiş ve ortam içerisindeki dağılımının iki ve üç boyutlu grafikleri aşağıda Şekil 10 ve Şekil 11'de verilmiştir.





Şekil 10. Karma ve Y. Endirekt aydınlatılan krem rengi ortamdaki aydınlık düzeyi dağılımı farkı (lüks)



Şekil 11. Karma ve Y. Endirekt aydınlatılan şampanya rengi ortamdaki aydınlık düzeyi dağılımı farkı (lüks)

Krem rengi ortamda karma aydınlatma türü için ortalama aydınlık düzeyi  $E_{ort}=92.85$  Lüks, aynı iç mekânda yarı endirekt aydınlatma türü kullanıldığında ortalama aydınlık düzeyi ise  $E_{ort}=71.49$  Lüks olarak ölçülmüştür. Şampanya rengi iç mekân, karma aydınlatma türü ile aydınlatıldığında ortalama aydınlık düzeyi  $E_{ort}=81.18$  Lüks, bu iç mekân yarı endirekt aydınlatma türü ile aydınlatıldığında ise ortalama aydınlık düzeyi ise  $E_{ort}=69.51$  Lüks olarak ölçülmüştür. Krem rengi ortamda karma aydınlatmadaki aydınlık düzeyi dağılımı yarı endirekt aydınlatmaya göre ortalama 21.36 lüks fazla çıkmıştır. Aynı şekilde şampanya renk ortamda karma aydınlatmadaki aydınlık düzeyi dağılımı yarı endirekt aydınlatmadaki aydınlık düzeyine göre ortalama 11.67 lüks daha fazla çıkmıştır. Yani Ortalama fark lüks krem rengi iç mekânda 21.36 lüks, şampanya renk iç mekânda ise 11.67 lüks olarak ölçülmüştür.

Krem rengi iç mekânda aydınlatma türü karma aydınlatmadan yarı endirekt aydınlatmaya çevrildiğinde %23.21 kayıp olmaktadır. Şampanya rengi iç mekânda aydınlatma türü karma aydınlatmadan yarı endirekt aydınlatmaya çevrildiğinde ise %14.40 kayıp olmaktadır. Krem rengi ve şampanya rengi iç mekânlarda kayıp oranlarının eşit çıkmadığı görülmektedir. Normalde krem renginin yansıtma katsayısı şampanya renginden büyük olduğu için krem rengi ortamda kayıpların daha az olması gerekir. Fakat krem rengi ortamda aydınlatma türü karma aydınlatmadan yarı endirekt aydınlatma çevrildiğinde şampanya renk ortama göre kayıp yüzdesi daha fazla çıkmıştır.

Krem rengi ortam yarı endirekt aydınlatıldığında  $E_{ort}=71.49$  Lüks, şampanya rengi ortam yarı endirekt aydınlatıldığında  $E_{ort}=69.51$  dir. Yani her iki renk için yarı endirekt aydınlatmada ortalama aydınlık düzeyleri neredeyse aynıdır. Çünkü yarı endirekt aydınlatmada ışığı yansıtan beyaz renk tavadır ve tavan rengi her iki durumda

da aynıdır. Karma aydınlatmada ise ışığın büyük bir çoğunluğu duvardan yansıdığı için krem rengi ortamda karma aydınlatma kullanıldığında şampanya rengine göre daha fazla ışık duvardan yansiyacaktır. Bu yüzde karma aydınlatmada duvar rengi, tavan rengine göre daha önemlidir.

Sonuç olarak karma aydınlatmada duvar rengi ön planda iken yarı indirekt aydınlatmada tavan rengi ön plandadır. Bu yüzden her iki ortamda da tavan rengi beyaz olduğu için yarı indirekt aydınlatmada her iki durumda da ortalama aydınlık düzeyi neredeyse aynıdır. Karma aydınlatmada ise duvardan yansıyan ışık miktarı tavandan yansıyan ışık miktarından çok daha fazla olduğu için karma aydınlatmada duvar rengi daha önemlidir. Bu yüzden karma aydınlatmada krem rengi ortamın ortalama aydınlık düzeyi şampanya rengi ortamın ortalama aydınlık düzeyinden 11.67 Lüks fazla çıkmıştır.

#### 4. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, iç mekân aydınlatma sistemlerinin tasarımı aşamasında seçilen aydınlatma türünün öneminden ve bu ortamlardaki aydınlık düzeyi dağılımlarına seçilen aydınlatma türünün katkısından bahsedilmiştir. Bu doğrultuda farklı renklerde iki adet iç mekân belirlenmiş. Bu iç mekânlarda karma ve yarı indirekt olmak üzere iki farklı aydınlatma türü için aydınlık düzeyi ölçmeleri yapılmıştır. Ölçülen bu değerler şekil 6'da, şekil 7de, şekil 8'de ve şekil 9'da görüldüğü gibi MATLAB ortamında iki ve üç boyutlu olarak grafiklendirilmiştir. Oluşturulan bu grafikler karşılaştırılmış ve farkları alınarak şekil 10'daki ve şekil 11'deki iki ve üç boyutlu grafikler elde edilmiştir. Aydınlatma sistemlerinin tasarımları aşamasında seçilen aydınlatma türünün önemine vurgu yapılmıştır. Yapılan sayısal ölçümlerde de görüldüğü gibi aynı aydınlatma elemanını kullanarak sadece iç mekândaki aydınlatma türünü değiştirmek suretiyle ortam

içersindeki aydınlık düzeyini değiştirmenin mümkün olduğu Tablo5 ve tablo6'da görüldüğü gibi sayısal olarak ispat edilmiştir. Yani bir mekânın gerçek boyutları sabit tutulduğu halde farklı aydınlatma türleri kullanılarak, farklı boyutsal etkiler ortaya çıkarmanın mümkün olduğu ölçümlerle kanıtlanmıştır.

Sonuç olarak bir iç mekânda kullanılan duvar rengine göre yarı indirekt aydınlatma türü yerine karma aydınlatma türünün kullanılması, aydınlık düzeyi dağılımında krem rengi mekân için %23.21 ve şampanya rengi mekân için %14.40'lik bir farkı beraberinde getirdiği görülmüştür. Yani aydınlatma türünün ve iç mekân renginin bilinçli olarak seçilmesi iç mekânda ferahlığın yanı sıra bir takım enerji tasarruflarını da beraberinde getirmiştir. Sonuç olarak bir iç mekânda aydınlık şiddeti dağılımında ve dolayısıyla bina enerji tüketiminde, iç mekânda kullanılan aydınlatma türünün ve iç mekân renginin etkili olduğu sayısal olarak kanıtlanmıştır.

#### 5. KAYNAKLAR

- [1] Akella, A.K. Saini, R.P. ve Sharma, M.P., 'Social, economical and environmental impacts of renewable energy systems', Proceedings of Renewable Energy, Elsevier, vol. 34, pp. 390-396, (2009).
- [2] Sümengen, Ö. ve Yener, A., 'Akıllı Konutlarda Aydınlatma ve Örnekler' 8.ci Ulusal Aydınlatma Kongresi ATMK, 14-15 Nisan (2011).
- [3] Varınca B.K. ve Gönüllü, M.T., 'Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma', I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi Eskişehir.
- [4] Shafiullah, G.M., Amanullah M. T., Jarvis D., Shawkat A. ve Wolfs P., 2010, "Prospects of solar energy in Australia", 6th International Conference on Electrical and Computer Engineering, pp. 350-353, (2010).
- [5] Cullen, J. M., Allwood, J. M. ve Borgstein, E. H., "Reducing energy demand: What are the practical limits?", Cambridge, Vol. 45, pp. 1711-1718, (2011).

- [6] Matta, S. ve Mahmud, S.M., “An intelligent light control system for power saving”, 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, pp. 3316 – 332, (2010).
- [7] Galasiu, A.D., Newsham, G.R., Suvagau, C. ve Sander, D.M., “Energy saving lighting control systems for open-plan offices: a field study”, *Leukos*, vol. 4, pp. 7-29, (2007).
- [8] Dubin, F.S., “Energy-efficient building design. Innovative HVAC, lighting, energy-management control, and fenestration”, Elsevier, vol.36, pp. 11-20, (1990).
- [9] Jafrancesco, D., Mercatelli, L., Fontani, D., Francini, F. ve Sansoni, P., “ Indoor illumination by solar light collectors”, Chartered Institution of Building Services Engineers, Lighting Research & Technology, Vol. 40, pp. 323–332, (2008).
- [10] Dounis, A.I., Tiropanis, P., Argiriou, A. ve Diamantis, A., “Intelligent control system for reconciliation of the energy savings with comfort in buildings using soft computing techniques”, *Energy and Buildings*, vol. 43, pp. 66–74, (2011).
- [11] Gençoğlu M.T., “İç Aydınlatmada Enerji Tasarrufu”, III. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi, (2005).
- [12] Özbudak B.Y., Gümüş B. ve Çetin F.D., “İç Mekan Aydınlatmasında Renk ve Aydınlatma Sistemi İlişkisi”, II. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu Ve Sergisi Bildirileri, Diyarbakır. (2003).
- [13] Singh, M.C., Garg, S.N., “Illuminance estimation and daylighting energy savings for Indian regions”, *Renewable Energy*, Vol. 35 pp. 703-711, (2010).
- [14] Kazanasmaz, T., Günaydın, M., Binol, S., “Artificial neural networks to predict daylight illuminance in office buildings”, *Building and Environment*, vol. 44, Issue 8, pp. 1751-1757, (2009).
- [15] The Correlation of Models of Vision and Visual Performance, Commission Internationale de L’Eclairage, CIE Publication, Vienna, Avustria, (2002).
- [16] Görgülü S., Kocabay S., Yüksek İ., ve Dursun B. “Enerji Verimliliği Kapsamında Yapılarda Doğal Aydınlatma Yöntemleri: Kırklareli Örneği” Uluslar arası II. Trakya Bölgesi Kalkınma-Girişimcilik Sempozyumu, 1-2 Ekim (2010).
- [17] Yavuz, C., “Stadium Lighting Techniques- Applications Around The World And Turkey”, Aydınlatma Türk Milli Komitesi, (2004).
- [18] Kocabay, S., “İç Hacimlerde Aydınlık Düzeyi Dağılımının Bulunması ve Sonlu Elemanlar Yöntemi İle İncelenmesi”, ’Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2008).
- [19] Doğan, H., “Sonlu Farklar Yöntemiyle Aydınlatma Hesabının Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2004).
- [20] The Impact of Lighting on Office Workers, Steelcase Workplace Index.: [www.steelcase.com](http://www.steelcase.com), (12.8.2009).
- [21] Sirel, Ş. “Aydınlatma Tekniği Nedir?” Yapı Fiziği Uzmanlık Uygulamaları, (1991).
- [22] Çetin F.D., Gümüş B., ve Özbudak Y.B., “Aydınlatma Özelliklerinin Ergonomik Açıdan Değerlendirilmesi”, II. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi Bildirileri, 08-10 Mayıs (2003).
- [23] Özlü, K., “Konut Yaşama Mekânlarında Yapay Aydınlatma” Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2008.
- [24] Gordon, G., “Interior Lighting for Designers” Fourth Edition, John Wiley & Sons, Inc. Canada, (2003).
- [25] Yapar, T. “Aydınlatma Otomasyonu İle Enerji Tasarrufu” Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2007).
- [26] Dursun, B., “Dâhili Ortamlarda Aydınlatma Hesaplama Tekniklerinin Analizi ve Bir Uygulama Örneği” Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, (2005).

**Geliş Tarihi: 10.04.2014**

**Kabul Tarihi: 17.01.2015**

## PERFORMANS SIRALAMASI YÖNTEMİYLE MEVCUT BİNALARIN BÖLGESEL DEPREM RİSK DAĞILIMININ BELİRLENMESİ

Ali GÜRBÜZ<sup>1\*</sup>, Muhammed TEKİN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Rize, TÜRYİYE

<sup>2</sup>Gelişim Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, TÜRKİYE

**Özet:** Deprem riski altındaki yapıların tespit edilmesi ve risk önceliklerinin araştırılması afete hazırlık açısından son derece önem teşkil etmektedir. Bu makale; bir deprem sonrasında binalarda meydana gelecek hasar seviyelerini tahmin etmek için mühendisleri bilgilendirmeyi hedeflemektedir. Deprem riski altındaki bina sayısı göz önüne alındığında bu yapıları tek tek incelemek uzun zaman alan bir süreç oluşturmaktadır. Bu nedenle bölgesel çalışmalar ve hızlı risk analizi yöntemleri oldukça önem teşkil etmektedir. Konuya ilişkin Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hazırlanan ve 2 Temmuz 2013’de Resmi Gazete’de yayınlanarak yürürlüğe giren yönetmelikte “Binaların Bölgesel Deprem Risk Dağılımını Belirlemek İçin Kullanılacak Yöntemler” başlığıyla verilen performans sıralaması yöntemi önerilmiştir. Bu çalışmada; harita üzerinde hayali bir bölge kurgulanmış ve bu bölgedeki yapıların yönetmeliğe göre performans puanları hesaplanmıştır. Örnek yapı stokunda bulunan binalar performans puanlarına göre sıralanarak deprem risk dağılımları incelenmiştir. Bu çalışmada kullanılan yöntem sayesinde çok sayıda binayı hızlı bir şekilde değerlendirmek ve risk önceliklerini belirlemek mümkün olacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Deprem Risk Analizi, Yapıları Hızlı Değerlendirme Yöntemleri, Performans Sıralaması

## DETERMINATION OF THE REGIONAL EARTHQUAKE RISK DISTRIBUTION USING PERFORMANCE POINT METHOD

**Abstract:** Detection of the structures have damage risk is one of the important issues for earthquake engineering. But there is too much building stock in earthquake zones. This article aims to inform engineers about estimation of buildings damage levels after an earthquake. To make individual solution for each building is a laborious task and it takes a long time. Therefore, the rapid risk assessment methods have been gaining importance. For this purpose; The Republic of Turkey Ministry of Environment and Urbanization has issued a regulation on July 2013. The regulation suggests some rapid assessment methods for distribution of the regional earthquake risk of buildings. In this study; First step methodology of "The Methods to Determine of the Regional Earthquake Risk Distribution for Buildings" was explained according to July 2013 regulation. In this study; a sample region edited on a map then performance scores are calculated for selected buildings. Selected buildings were ranked according to performance scores. Then distribution of earthquake risk of these buildings was examined. Owing to the method used in this study; a large number of buildings will be able to evaluate and prioritize about risks rapidly.

**Keywords:** Earthquake Risk Assessment, Rapid Assessment Methods, Performance Ranking

---

\*Ali GÜRBÜZ

ali.gurbuz@erdogan.edu.tr

## 1. GİRİŞ:

Aktif bir deprem kuşağı üzerinde yer alan ülkemizde kısa zaman aralıkları ile yıkıcı depremler meydana gelmektedir [1]. Bu nedenle, ülkemizdeki yapı stoğunun acil olarak incelenip, güçlendirmeye ihtiyacı olan yapıların, uygun güçlendirme yöntemleri ile yenilenmesi zorunlu hale gelmiştir [2]. Türkiye ulusal deprem araştırmaları programı (TUDAP)'a göre ülkemiz topraklarının çok büyük bir bölümü hasar verici şiddette deprem tehlikesi altındadır ve her 8 ayda bir ülkemizde hasar yapıcı deprem meydana gelmektedir [3]. Yine 2005 yılında yapılan araştırma sonuçlarına göre Türkiye'de son yüz yılda meydana gelmiş depremlerde yaklaşık 100.000 kişi hayatını kaybetmiş, 500.000'e yakın bina yıkılmıştır. Sadece 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerinde yaklaşık 20.000 insanımız hayatını kaybetmiştir. 124,000 yıkık-ağır hasarlı konut, 110.000 orta hasarlı konut ve 100.000 az hasarlı konut olmak üzere toplam 334.000 konutta hasar saptanmıştır.. Depremlerin ülkemize verdiği ekonomik zararlar ise 20 milyar Türk Lirasına ulaşmıştır. Bir yapının göçme riskinin ortaya konabilmesi için; zemin ve malzeme parametrelerinin saptanması, yapının bilgisayar modelinin oluşturularak nonlinear yöntemlerle statik veya dinamik analizlerin yapılması gerekmektedir [4, 5].

Ülkemizdeki mevcut yönetmeliklerin de öngördüğü bu değerlendirmeyi yapabilmek için deneysel ve analitik çalışmaların gerçekleştirilmesi gerekmektedir [5]. Ancak çok sayıda bina içeren bir yapı stoku için böyle bir çalışma yükünü gerçekleştirmek, zaman ve finansman açısından neredeyse olanaksız görülmektedir [5, 6]. Sadece İstanbul'daki güvensiz binaların incelenerek güçlendirme işleminin yapılabilmesi için en az 25 milyar dolar ve 25 yıla ihtiyaç vardır [3, 5, 7].

Bu nedenle bölgesel çalışmalar ve hızlı risk analizi yöntemleri oldukça önem teşkil etmektedir [8, 9]. Konuya ilişkin Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından bir yönetmelik hazırlanmıştır. 2

Temmuz 2013'de Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe giren yönetmelikte; deprem riski altındaki binalar için hızlı değerlendirme yöntemleri önerilmektedir [10]. Bu çalışmada; 2 Temmuz yönetmeliğinde; Binaların Bölgesel Deprem Risk Dağılımını Belirlemek İçin Kullanılabilecek 1. Kademe değerlendirme yöntemi açıklanmaktadır.

## 2. BİNALARIN BÖLGESEL DEPREM RİSK DAĞILIMINI BELİRLEMEK İÇİN KULLANILABİLECEK YÖNTEMLER

“2 Temmuz 2013 yönetmeliği kapsamında belirli alanlarda önceliklerin ve riskli olabilecek binaların bölgesel dağılımının belirlenmesi amacıyla; bina özelliklerini ve deprem tehlikesini göz önüne alan Birinci Aşama değerlendirme yöntemlerinde binanın dışarıdan ve kısmen içeriden belirlenen ve deprem davranışını etkileyen parametreler kullanılır” [10]. Mevcut malzeme dayanımlarının tahmini için, deneyler yapılmadan uygun kabuller de yapılabilir” (ARAADHK 2013). “Bölgesel risk durumunun tanımlanmasında kullanılacak yöntemler bilim ve tekniğin gereği istatistiksel olarak anlamlı sayıda bina ihtiva eden alanlarda uygulanabilir. Bu yöntemler tekil binada risk değerlendirme amaçlı olarak kullanılamazlar.” [10].

### 2.1. Betonarme Binalar için Birinci Aşama Değerlendirme Yöntemi

Bu Yöntem 1 ilâ 7 katlı mevcut betonarme binalar için kullanılabilir [10]. Yöntemin kullanılabilmesi için gerekli olan parametreler aşağıda verilmektedir:

1. **Taşıyıcı sistem türü:** Binanın taşıyıcı sistemi belirlenerek, “betonarme çerçeve” (BAÇ) veya “betonarme çerçeve ve perde” (BAÇP) sistemlerinden biri olarak seçilecektir [10].

2. **Kat adedi:** Kritik kat dikkate alınarak serbest kat adedi ( $n_s$ ) tespit edilecektir [10].
3. **Mevcut durum ve görünen kalite:** Binanın görünen kalitesi malzeme ve işçilik kalitesine ve binanın bakımına verilen önemi yansıtır. Binanın görünen kalitesi iyi, orta ve kötü olarak sınıflandırılacaktır [10].
4. **Yumuşak kat/zayıf kat:** Kat yüksekliği farkının yanı sıra katlar arası belirgin rijitlik farkı da dikkate alınarak gözlemsel olarak belirlenecektir [10].
5. **Düşeyde düzensizlik:** Düşeyde devam etmeyen çerçeve ve değişen kat alanlarının etkisini yansıtmak amacıyla dikkate alınacaktır. Bina yüksekliği boyunca devam etmeyen kolonlar veya perdeler düşeyde düzensizlik oluşturur [10].
6. **Ağır çıkmalar:** Zemine oturan kat alanı ile zemin üstündeki kat alanı arasındaki farklılık belirlenecektir [10].
7. **Planda düzensizlik/Burulma etkisi:** Planın geometrik olarak simetrik olmaması ve düşey yapısal elemanların düzensiz yerleştirilmesi olarak tanımlanır. Binada burulmaya yol açabilecek şekildeki plan düzensizlikleri dikkate alınacaktır [10].
8. **Kısa kolon etkisi:** Bu aşamada sadece dışarıdan gözlenen kısa kolonlar değerlendirmede dikkate alınacaktır [10].
9. **Yapı nizamı/Çarpışma etkisi:** Bitişik binaların konumları deprem performansını çarpışma nedeniyle etkileyebilmektedir. Kenarda yer alan binalar bu durumdan en olumsuz etkilenmekte, bitişik bina ile kat seviyeleri farklıysa bu olumsuzluk daha da artmaktadır. Çarpışma etkisinin söz konusu olduğu durumlar dışarıdan yapılacak gözlemler ile belirlenecektir [10].

10. **Tepe/yamaç etkisi:** Belli bir eğimin üzerindeki yamaçlarda inşa edilmiş binalarda bu etki dikkate alınacaktır [10].
11. **Deprem tehlikesi ve zemin sınıfı:** 2007 deprem yönetmeliğinde belirtilen deprem bölgeleri ve zemin sınıfları ile uyumlu olacak şekilde dikkate alınacaktır [10].

Binaların dışarıdan incelenmesi sonucu toplanacak olan veriler Şekil 2.1'de verilen form kullanılarak kayıt altına alınır.

Toplanan veriler değerlendirilerek her bina için bir performans puanı hesaplanmakta ve elde edilen sonuçlar bölgelerin risk önceliklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Betonarme binaların performans puanları, binaların buldukları yerin deprem tehlikesini ve mevcut bina özelliklerini yansıtan parametrelere bağlı olarak hesaplanmaktadır. Tablo 2.1 kullanılarak incelenen her bina için, binanın bulunduğu yerin deprem tehlike bölgesine ve kat sayısına bağlı bir taban puan (TP) belirlenir. Deprem tehlike bölgeleri ile Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası ve DBYBHY'de verilen zemin sınıfları arasındaki ilişki Tablo 2.2'de verilmektedir.

Taşıyıcı sistem türünün etkisi olumlu puan olarak dikkate alınmaktadır. BAÇ sistemine sahip binalar için herhangi bir ilave puan verilmeyip, BAÇP sistemli binalarda Tablo 2.1 kullanılarak olumlu parametre puanı (OP) verilmektedir.

Görünen kalite dışındaki tüm olumsuzluk parametreleri için "var" veya "yok" şeklinde tespitler yapılır. Bu tespitlere karşılık gelen olumsuzluk parametre değerleri ( $O_i$ ) "var" ve "yok" durumları için sırasıyla 1 ve 0 alınır. Görünen kalite değerlendirmesi "iyi" ise olumsuzluk parametre değeri ( $O_i$ ) 0, "orta" ise 1 "kötü" ise 2 olarak işaretlenir. Her bir parametreye karşı gelen olumsuzluk katsayıları Tablo 2.3'te gösterilmektedir.

Bina için performans puanı (PP) Denklem 2.1'nin uygulanması ile hesaplanmaktadır.

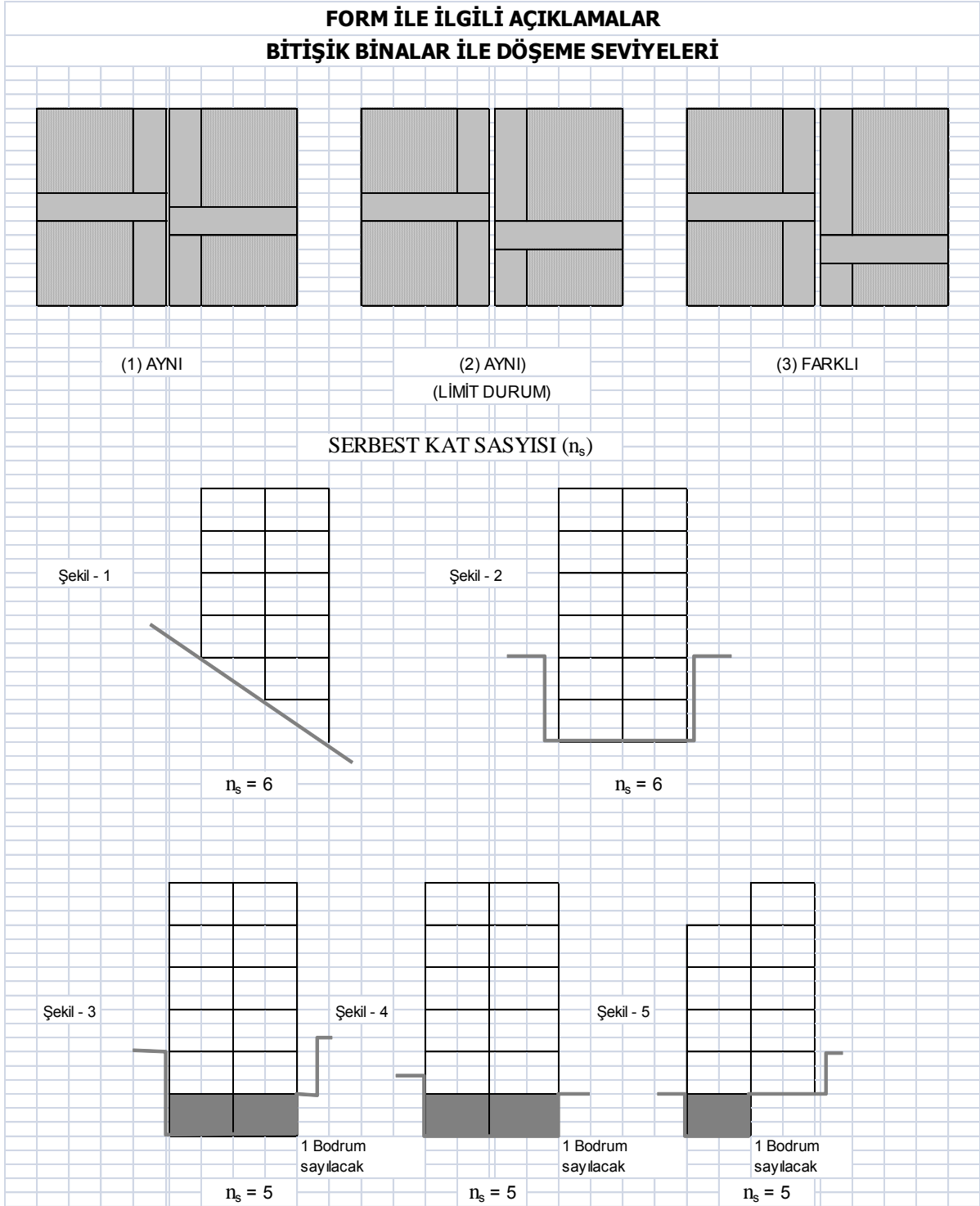
$$PP = TP + \sum_{i=1}^n O_i * OP_i + YSP \dots\dots\dots (1)$$

Denklem 1’de TP taban puanını,  $O_i$  her bir olumsuzluk parametresini ( $i=1$ 'den 8'e kadar),  $OP_i$  olumsuzluk parametre puanını (Tablo 2.4) ve YSP olumlu parametre puanını temsil etmektedir. Yapısal sistem puanları (YSP) Tablo 2.1'de verilmiştir.

İncelenen bölgedeki binalara yöntemin uygulanması sonucu her bir bina için performans puanı PP hesaplanacaktır. Hesaplanan performans puanları büyükten küçüğe doğru sıralanacaktır. Bu şekilde hesaplanan puanların dağılımı kullanılarak bölgeler arasında risk önceliği belirlenebilir.

<b>BETONARME BİNALAR İÇİN VERİ TOPLAMA FORMU</b>					
<b>TARİH :</b>					
<b>FORM 1 BİNA KİMLİK BİLGİLERİ</b>				<b>Sıra No:.....</b>	
<b>BÖLGE NO</b>					
<b>MAHALLE</b>					
<b>CADDE / SOKAK</b>					
<b>KAPI NO / BİNA ADI</b>					
<b>PAFTA / ADA / PARSEL</b>					
<b>KENT BİLGİ SİST.NO</b>					
<b>BİNANIN TAHMİNİ YAŞI</b>					
<b>COĞRAFİ KOORDİNATLAR ( GPS ) ( E / N )</b>					
<b>FORM 2 BİNA TEKNİK BİLGİLERİ</b>					
<b>YAPISAL SİSTEM TÜRÜ</b>	<input type="checkbox"/> BA ÇERÇEVE		<input type="checkbox"/> BA ÇERÇEVE VE PERDE		
<b>SERBEST KAT ADEDİ</b>	.....ADET				
<b>YAPI NİZAMI</b>	<input type="checkbox"/> AYRIK	<input type="checkbox"/> BİTİŞİK	<input type="checkbox"/> KÖŞEDE BİTİŞİK		
<b>BİTİŞİK BİNALARLA DÖŞEME SEVİYELERİ</b>	<input type="checkbox"/> AYNİ	<input type="checkbox"/> FARKLI			
<b>AĞIR ÇIKMALAR</b>	<input type="checkbox"/> VAR	<input type="checkbox"/> YOK			
<b>ZAYIF / YUMUŞAK KAT</b>	<input type="checkbox"/> VAR	<input type="checkbox"/> YOK			
<b>KISA KOLONLAR</b>	<input type="checkbox"/> VAR	<input type="checkbox"/> YOK			
<b>DÜŞEYDE DÜZENSİZLİK</b>	<input type="checkbox"/> VAR	<input type="checkbox"/> YOK			
<b>PLANDA DÜZENSİZLİK</b>	<input type="checkbox"/> VAR	<input type="checkbox"/> YOK			
<b>BİNA GÖRSEL KALİTESİ</b>	<input type="checkbox"/> İYİ	<input type="checkbox"/> ORTA	<input type="checkbox"/> KÖTÜ		
<b>TABİİ ZEMİN EĞİMİ</b>	<input type="checkbox"/> DÜZ	<input type="checkbox"/> EĞİMLİ (Eğim>30°)			
<b>ZEMİN SINIFI</b>	<input type="checkbox"/> Z1	<input type="checkbox"/> Z2	<input type="checkbox"/> Z3	<input type="checkbox"/> Z4	
<b>NORMAL KATLAR FONKSİYONU</b>	<input type="checkbox"/> KONUT	<input type="checkbox"/> TİCARET	<input type="checkbox"/> SANAYİ	<input type="checkbox"/> KAMU	<input type="checkbox"/> METRUK

**Şekil 2.1:** Betonarme binalar için veri toplama formu [10].



Şekil 2.1: Betonarme binalar için veri toplama formu (devam) [10].



**Tablo 2.1:** Taban ve yapısal sistem puanı tablosu[10]

Toplam kat sayısı	Taban puanı				Yapısal sistem puanı (YSP)	
	Tehlike bölgesi				Yapısal sistem	
	I	II	III	IV	BAÇ	BAÇP
1 ve 2	90	120	160	195	0	100
3	80	100	140	170	0	85
4	70	90	130	160	0	75
5	60	80	110	135	0	65
6 ve 7	50	65	90	110	0	55

**Tablo 2.2.** DBYBHY'e göre belirlenen deprem bölgeleri [10]

Tehlike bölgesi	DBYBHY'e göre deprem bölgesi	DBYBHY'e göre zemin sınıfı
I	1	Z3/Z4
II	1	Z1/Z2
	2	Z3/Z4
III	2	Z1/Z2
	3	Z3/Z4
IV	3	Z1/Z2
	4	Tüm zeminler

**Tablo 2.3:** Olumsuzluk parametre değerleri ( $O_i$ ) [10]

Olumsuzluk parametre no	Olumsuzluk parametresi	Durum 1		Durum 2	
		Parametre tespiti	Parametre değeri	Parametre tespiti	Parametre değeri
1	Yumuşak kat	Yok	0	Var	1
2	Ağır çıkma	Yok	0	Var	1
3	Görünen kalite	İyi	0	Orta (Kötü)	1 (2)
4	Kısa kolon	Yok	0	Var	1
5	Tepe/Yamaç etkisi	Yok	0	Var	1
6	Planda düzensizlik	Yok	0	Var	1

**Tablo 2.4:** Olumsuzluk parametre puan ( $OP_i$ ) tablosu [10]

Toplam kat sayısı	Olumsuzluk parametre puanları (OP)										
	Yumuşak kat	Görünen kalite	Ağır çıkma	Kat seviyesi/Bağımsız bina durumu				Düşeyde düzensizlik	Planda düzensizlik / Burulma	Kısa kolon	Tepe/yamaç etkisi
				Ayn 1	Ayn 1	Farklı	Farklı				
1,2	-10	-10	-10	0	-10	-5	-15	-5	-5	-5	-3
3	-20	-10	-20	0	-10	-5	-15	-10	-10	-5	-3
4	-30	-15	-30	0	-10	-5	-15	-15	-10	-5	-3
5	-30	-25	-30	0	-10	-5	-15	-15	-10	-5	-3
6,7	-30	-30	-30	0	-10	-5	-15	-15	-10	-5	-3

İncelenen bölgedeki binalara yöntemin uygulanması sonucu her bir bina için performans puanı PP hesaplanacaktır. Hesaplanan performans puanları büyükten küçüğe doğru sıralanacaktır. Bu şekilde hesaplanan puanların dağılımı kullanılarak bölgeler arasında risk önceliği belirlenebilir.

### 3. ÖRNEK UYGULAMA

Şekil 3.1’de sanal olarak türetilen bir harita ve bina yerleşimlerine örnek verilmektedir. Tablo 3.1’de ise uygulamada kullanılmak üzere türetilen 50 adet sanal bina verisi görülmektedir. Binalar ve harita yöntemi anlatmak amacıyla üretilmiş olup gerçek veriler kullanılmamıştır.



Şekil 3.1. Uygulama Haritası

Tablo 3.1 aynı zamanda örnek binaların değerlendirmeye esas olan kriterlerini ve performans sıralaması yöntemine göre bu kriterlerin olumlu ve olumsuz puan olarak değerlerini göstermektedir.

Tablo 3.1 Örnek Binalara Ait Veriler

Bina Kodu	Yapısal Sistem Türü	Kat Adeti	Zemin Türü	YAPI NİZAMI		AĞIR ÇIKMA		ZAYIF / YUMUŞAK KAT		KISA KOLON		DÜŞEY DÜZENSİZLİK		PLANDA DÜZENSİZLİK		EĞİM		GÖRÜNEN KALİTE	
				N <sub>1</sub>	Değer	N <sub>2</sub>	Değer	N <sub>3</sub>	Değer	N <sub>4</sub>	Değer	N <sub>5</sub>	Değer	N <sub>6</sub>	Değer	N <sub>7</sub>	Value	N <sub>8</sub>	Değer
A01_1	BAÇ	3	Z2	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-20
A01_2	BAÇ	2	Z3	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-20
A01_3	BAÇ	2	Z3	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-20
A01_4	BAÇ	2	Z3	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-20
A01_5	BAÇ	2	Z4	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-20
A01_6	BAÇ	2	Z3	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-20
A01_7	BAÇ	2	Z3	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-20
A01_8	BAÇ	2	Z3	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-20
A01_9	BAÇ	2	Z3	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-20
A01_10	BAÇ	2	Z3	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-20
A01_11	BAÇ	2	Z4	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-20
A01_12	BAÇ	2	Z3	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-20
A01_13	BAÇ	2	Z4	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-20
A01_14	BAÇ	2	Z3	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-20
A01_15	BAÇP	5	Z4	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Var	-10	Yok	0	Kötü	-50
A01_16	BAÇ	3	Z4	Ayrık	0	Yok	0	yok	0	yok	0	Yok	0	yok	0	yok	0	Kötü	-20
A01_17	BAÇ	3	Z3	Ayrık	0	yok	0	yok	0	yok	0	yok	0	yok	0	yok	0	Kötü	-20
A01_18	BAÇ	3	Z3	Ayrık	0	yok	0	yok	0	yok	0	yok	0	yok	0	yok	0	Kötü	-20
A01_19	BAÇ	3	Z3	Ayrık	0	yok	0	yok	0	yok	0	yok	0	yok	0	yok	0	Kötü	-20
A01_20	BAÇ	3	Z3	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-20
A01_21	BAÇ	3	Z3	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-20
A01_22	BAÇ	3	Z3	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-20
A01_23	BAÇ	2	Z3	Ayrık	0	Var	-10	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-20
A01_24	BAÇ	2	Z3	Ayrık	0	Var	-10	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-20
A01_25	BAÇ	2	Z3	Bitişik	-15	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-20
A01_26	BAÇ	3	Z3	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Var	-10	Yok	0	Kötü	-20

Performans Sıralaması Yöntemiyle Mevcut Binaların Bölgesel Deprem Risk Dağılımının Belirlenmesi

A01_27	BAÇ	3	Z4	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Var	-10	Yok	0	Kötü	-20
A01_28	BAÇ	4	Z2	Ayrık	0	yok	0	yok	0	yok	0	yok	0	Var	-10	yok	0	Kötü	-30
A01_29	BAÇP	6	Z3	Ayrık	0	Yok	0	Var	-30	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-60
A01_30	BAÇP	5	Z3	Ayrık	0	Yok	0	Var	-30	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Var	-3	Kötü	-50
A01_31	BAÇ	4	Z3	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-30
A01_32	BAÇ	4	Z4	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-30
A01_33	BAÇ	4	Z3	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-30
A01_34	BAÇ	3	Z3	Ayrık	0	Var	-20	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-20
A01_35	BAÇ	3	Z4	Ayrık	0	Var	-20	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-20
A01_36	BAÇ	5	Z2	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-50
A01_37	BAÇ	5	Z2	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-50
A01_38	BAÇ	4	Z3	Ayrık	0	yok	0	yok	0	yok	0	yok	0	Var	-10	yok	0	Kötü	-30
A01_39	BAÇ	5	Z2	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-50
A01_40	BAÇ	4	Z3	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Var	-10	Yok	0	Kötü	-30
A01_41	BAÇP	6	Z3	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Var	-15	Yok	0	Var	-3	Kötü	-60
A01_42	BAÇ	5	Z3	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-50
A01_43	BAÇ	5	Z3	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-50
A01_44	BAÇ	5	Z3	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-50
A01_45	BAÇ	5	Z3	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-50
A01_46	BAÇ	5	Z4	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-50
A01_47	BAÇ	5	Z3	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-50
A01_48	BAÇ	5	Z3	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-50
A01_49	BAÇ	5	Z3	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-50
A01_50	BAÇ	5	Z3	Ayrık	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Yok	0	Kötü	-50

#### 4. SAYISAL SONUÇLAR

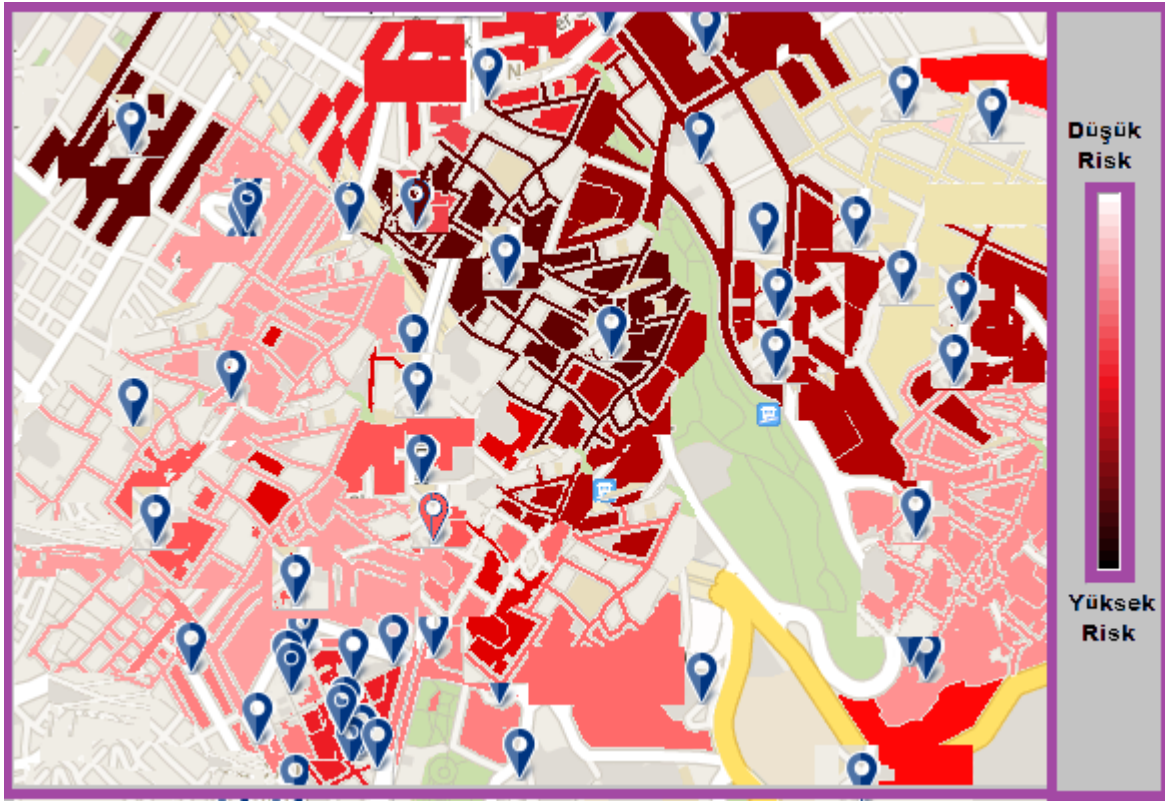
50 adet binaya ait veriler denklem A2.1’de yerine koyularak Binaların performans puanları hesaplanmıştır.

**Tablo 4.1** Örnek Binaların Performans Sıralaması

BİNA KODU	TB	BS	SP	SN <sub>T</sub>	Performans Puanı
A01_1	II	100	0	0	80
A01_2	I	90	0	0	70
A01_3	I	90	0	0	70
A01_4	I	90	0	0	70
A01_5	I	90	0	0	70
A01_6	I	90	0	0	70
A01_7	I	90	0	0	70
A01_8	I	90	0	0	70
A01_9	I	90	0	0	70
A01_10	I	90	0	0	70
A01_11	I	90	0	0	70
A01_12	I	90	0	0	70
A01_13	I	90	0	0	70
A01_14	I	90	0	0	70
A01_15	I	60	65	0	65
A01_16	I	80	0	0	60
A01_17	I	80	0	0	60
A01_18	I	80	0	0	60
A01_19	I	80	0	0	60
A01_20	I	80	0	0	60
A01_21	I	80	0	0	60
A01_22	I	80	0	0	60
A01_23	I	90	0	0	60
A01_24	I	90	0	0	60
A01_25	I	90	0	-15	55
A01_26	I	80	0	0	50
A01_27	I	80	0	0	50
A01_28	II	90	0	0	50
A01_29	I	50	55	0	45
A01_30	I	60	65	0	42
A01_31	I	70	0	0	40
A01_32	I	70	0	0	40
A01_33	I	70	0	0	40
A01_34	I	80	0	0	40
A01_35	I	80	0	0	40
A01_36	II	80	0	0	30
A01_37	II	80	0	0	30
A01_38	I	70	0	0	30
A01_39	II	80	0	0	30
A01_40	I	70	0	0	30
A01_41	I	50	55	0	27
A01_42	I	60	0	0	10

Tablo 4.1’de yüksek puandan alçak puana doğru performans sıralaması (PS) görülmektedir.

Tablo 4.1’de TB taban puanı, SP olumlu parametre puanı, SN<sub>T</sub> toplam olumsuz parametre puanını göstermektedir. Tablo’nun son sütununda yer alan performans sıralaması binaların deprem önceliği hakkında yönetmelikçe kabul görmüş bir görüş sağlamaktadır. En düşük puanı alan binalar, depremde hasar olasılığı yüksek olan binalar olarak düşünülmeli, daha ayrıntılı inceleme ve güçlendirme çalışmalarında bu binalara öncelik verilmelidir. Değerlendirilen binalar harita üzerinde incelendiğinde bölgesel deprem riskini ve öncelikli önlem alınması gereken bölgeleri görmek de mümkün olacaktır. Şekil 4.2’de harita üzerinde risk dağılımını gösteren bir örnek görülmektedir.



Şekil 4.2 Temsili Harita Üzerinde Bölgesel Risk Dağılımı

## 5. SONUÇLAR

Deprem riski altındaki yapıların acil olarak tespit edilmesi, hangi yapı ve hangi bölgelerde tehlikenin daha yüksek düzeyde olduğunun belirlenmesi gerekmektedir. Ülkemiz yerleşim bölgelerinin çok büyük bir kısmı fay hattı üzerinde olduğundan deprem riski altındaki bina sayısı, bu yapıları tek tek incelemeyi zorlaştırmaktadır. Uzun zaman alan bu sürecin sağlıklı olarak tamamlanması için öncelik sıralaması yapılması en doğru yol olacaktır.. Bu nedenle bölgesel çalışmalar ve hızlı risk analizi yöntemleri oldukça önem teşkil etmektedir.

Bu çalışmada anlatılan Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2 Temmuz 2013 tarihli yönetmelikte birinci aşama değerlendirme yöntemleri olarak anlatılan yöntemin uygulaması yapılmıştır. Örnek olarak 50 adet bina verisi kullanılmış ve hızlı bir değerlendirme sunulmuştur. Bu yöntem sayesinde çok daha fazla sayıda binayı hızlı bir şekilde değerlendirmek ve risk önceliklerini belirlemek mümkün olacaktır.

Çalışmadaki binalar performans puanına göre sıralandığında; +80 ile +10 puan arasında bir tablo elde edilmiştir.

Bu yöntemle yapılan tespitler sadece öncelik belirlemek amaçlı olup Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmeliğin ekinde “esaslar” bölümünde tanımlanan “bina deprem performans değerlendirmesi ve güçlendirmesi” amacıyla kullanılamaz [10]. Mevcut bina performans değerlendirmesi ve güçlendirmesi için 2007 deprem yönetmeliği kullanılmalıdır [10].

İncelenen binalar harita üzerinde değerlendirildiğinde bölgesel risk öncelikleri gözlenebilmektedir. Örnek olarak türetilen Şekil 4.2’deki haritada koyu renkli alanlar deprem riski yüksek öncelikli bölgeleri, açık renkli bölgeler düşük öncelikli bölgeleri göstermektedir.

Bu çalışmada kullanılan harita ve binalar yöntemin anlatılması amacıyla verilmiş olduğundan, gerçek bir bölge veya bina stokunu kapsamamaktadır.

## Kaynaklar

- [1] Alyamaç, K.E., Erdoğan, E.S., “Geçmişten Günümüze Afet Yönetmelikleri Ve Uygulamada Karşılaşılan Tasarım Hataları”, Deprem Sempozyumu, Kocaeli, 23-25 Mart 2005
- [2]A. Ünal, H.H. Korkmaz, M.Y. Kaltakçı, M. Kamanlı, F. Bahadır ve F.S. Balık, “Deprem Dayanımı Yetersiz Betonarme Çerçevelerin DüzlemDışı Perde Duvar İle Güçlendirilmesi”, 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Hatay 25-27 Eylül 2013
- [3] Anon. UDSEP-2023 Ulusal Deprem Stratejisi ve Eylem Planı. AFAD, Ankara (2013)
- [4] Kaplan, H., S. Yılmaz, H. Binici, E. Yazar and N. Çetinkaya. "May 1, 2003 Turkey—Bingöl earthquake: damage in reinforced concrete structures." *Engineering Failure Analysis* **11**(3): 279–291, (2004).
- [5] S. Kahraman, T. Baran, Ö. Özçelik, A. Saatçı, S. Mısır ve S.C. Girgin, “Yapı Stoku Envanter Çalışmaları: İzmir Balçova Ve Seferihisar Pilot Projeleri”, 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Hatay 25-27 Eylül 2013

- [6] Singhal, A., Kiremidjian, A.S. "Method for Probabilistic Evaluation of Seismic Structural Damage." *Journal of Structural Engineering* **122**(12): 1459-1467, (1996).
- [7] Spence, R.. Earthquake Disaster Scenario Predictions and Loss Modeling for Urban Areas, LESSLOSS Risk Mitigation for earthquakes and landslides, Report:2007/7, IUSS Press, Pavia, Italy (2007).
- [8] Anon. "Earthquake Loss Estimation Methodology " HAZUS Technical Report Federal Emergency Agency and National Institute **4**(4) (2004).
- [9] Lignos, D. G., Karamanci, E.. "Drift-based and dual-parameter fragility curves for concentrically braced frames in seismic regions." *Journal of Constructional Steel Research* **90**: 209-220, (2013).
- [10] Anon. "Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanunun Uygulama Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik." T.C Çevre Ve Şehircilik Bakanlığı, (2013).

**Geliş Tarihi:**15.05.2014

**Kabul tarihi:** 20.01.2015

## AA 2024 ALAŞIMININ ARTIŞLI ŞEKİLLENDİRİLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Halil BAYRAM<sup>1\*</sup>, N. Sinan KÖKSAL<sup>2</sup>

1 Amasya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, 05100 Amasya, TÜRKİYE

2 Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 45140 Manisa, TÜRKİYE

**Özet:** Ürün ve tüketim hacmi geniş olan sac metal şekillendirme sektörü, ürün başına maliyeti düşürmesi sebebiyle geleneksel sac metal şekillendirme yöntemlerini kullanmaktadır. Ancak sac metal sektöründeki giderek artan ve farklılık gösteren az sayıdaki talepleri daha ekonomik bir şekilde karşılayabilmek için artışlı şekillendirme yöntemi (AŞY) son yıllarda ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada; 1 mm kalınlığındaki AA 2024-T3 levhalarda devir 500 dev/dak, takım çapı 10 mm ve yatay ilerleme 1000 mm/dak ile artışlı şekillendirme gerçekleştirilmiştir. Ayrıca işlem esnasında kullanılan iki farklı yağında etkisi incelenmiştir. Bu yağ çeşitlerinin farklılık oluşturmadığı görülmüştür. Üç farklı takım yolu denenmiş olup, bunlardan 0,5 mm dikey ilerlemeli 1. takım yolunda en başarılı sonuç elde edilmiştir. Ürün maliyeti açısından da, 500 adetin altındaki üretimlerde, AŞY kalıpla üretim yöntemine göre daha ekonomiktir.

**Anahtar Kelimeler:** Artışlı Şekillendirme Yöntemi, AA 2024, Alüminyum Alaşımları

## INVESTIGATION OF INCREMENTAL SHEET FORMABILITY OF AA 2024 ALLOY

**Abstract:** Sheet metal forming industries which have a large product and consumption volume use conventional sheet metal forming techniques due to low production cost per unit. However, in order to afford increasing economical demands and demands which has few differences in more economical way, incremental sheet forming (ISF) stand out in recent years in the sheet metal industry. In this study, incremental sheet forming has been performed by 500 RPM as the spindle speed, 10 mm as the tool diameter, 1000 mm/min as the feed rate with AA 2024-T3 sheets which are 1 mm thickness. In addition, two different lubricant kinds used in the process are investigated. It has been seen that these lubricant kinds haven't done any differences. Three different tool paths have been tried and best result has been achieved with the first tool path which has 0.5 mm step down values. From the point of the product cost, under number of 500 manufacturing, ISF is more economic than molding.

**Keywords:** Incremental Sheet Forming, AA 2024, Aluminium Alloys



## 1.GİRİŞ

Geleneksel sac metal şekillendirme yöntemlerinin maliyet ve zaman yönünden parçaya bağımlılığı yüksektir. Sac metal şekillendirme yönteminde artan parça çeşitliliği esnek imalat gereksinimlerinin doğmasına neden olmuştur. AŞY bu esnek imalatı zaman ve maliyet yönünden ekonomik bir şekilde karşılayabilen yöntemlerden biridir. Sac metal parça üretiminde en çok tercih edilen yöntem kalıpla üretimdir. Özellikle ürün hacmi yüksek olan üretimlerde birim parça üzerine düşen maliyet azalacağından dolayı bu yöntem oldukça verimlidir. Ancak son zamanlarda müşterilerin artan özel ve az sayıdaki taleplerini daha ekonomik bir şekilde mal edebilmek için yeni üretim yöntemleri üzerinde çalışılmaktadır. Bu yöntemlerin başında ise Artışlı şekillendirme yöntemi gelmektedir.

Artışlı şekillendirme yöntemi fikri ilk olarak 1967 yılında ortaya atılmıştır fakat Computer Numerical Control (CNC) freze ve katı modelleme imkanı olmayışından dolayı o yıllarda kullanılamamıştır. Bu yöntem için ilk olarak ‘dieless’ terimi adı altında patent alınmıştır [1].

Artışlı şekillendirme yöntemi ürün hacmi düşük üretimleri yeni parça ve makinelere ihtiyaç duyulmadan gerçekleştirebilmesiyle dikkatleri üzerine çekmiştir. Bu çalışmanın temel odağı ise Bilgisayarlı Sayısal Kontrol (BSK) daha yaygın kullanımıyla CNC makinelerini artışlı şekillendirme yönteminde kullanma gibi büyük bir avantaja çevirmektir. Artışlı şekillendirme yöntemi için bir CNC dik işleme merkezi, yapılacak şeklin negatif yada pozitif şablonu, şekillendirme işlemi boyunca levhayı sabit tutabilmek için bir levha tutucu kalıp ve şekillendirmeyi gerçekleştirecek olan iş miline takılmış uygun boyutta bir takım yeterlidir. Parçanın karmaşık geometrisi ve boyutsal dayanıklılığını sağlayabilmek için parçanın altına konulan kalıp malzemesi çelikler, polimerik malzemeler, termoset

reçineler ve sert ağaçlar gibi malzemeler olabilir [2].

Artışlı şekillendirme yöntemi hem bu yöntem için özel olarak tasarlanmış makinelerde hem de birçok imalat olanağı sağlayan CNC freze tezgâhlarında uygulanabilir. Ayrıca artışlı şekillendirme yöntemi tek noktalı artışlı şekillendirme yöntemi(SPIF: Single Point Incremental Sheet Forming) ve iki noktalı artışlı şekillendirme yöntemi (TPIF: Two Point Incremental Sheet Forming) olmak üzere iki kategoriye ayrılır. Sırasıyla pozitif şekillendirme ve negatif şekillendirme olarak da adlandırılırlar. Artışlı şekillendirme yönteminde kullanılan takımlar yarım küre ve bilyeli olarak farklı şekillerde kullanılır. Takımın boyutsal özellikleri verilen geometriye göre belirlenir. Bilyeli takımlarda çok dik açılı şekillendirme işlemlerinde takımın sap kısmının şekil verilen malzemeye temas etmemesi için bilye şeklindeki baş kısmından küçük olması istenir. Ayrıca sürtünmeyi azaltmak ve takım ömrünü uzatmak için takımlara kaplama yapılabilir [3]. Takımların kafa çapları 6 mm ‘den başlar ve büyük parçalar için 100 mm ‘ye kadar çıkabilir. Buna ek olarak takım çapı seçilirken elde edilmek istenen geometrinin en düşük içbükeyine bakılır [1].

Artışlı şekillendirme yönteminde takım yolu; boyut doğruluğuna, şekillenebilirliğe, yüzeylerin son haline, kalınlık değişimine ve işlem süresine doğrudan etki eder. Spiral takım yolu diğer takım yollarına göre daha uniform bir kalınlık dağılımına sahiptir. En yaygın kullanılan takım yolu ise geleneksel frezeleme takım yoludur. Takım yolunun yanı sıra takım çapı, dikey adım boyutu, eğim açısı, yağlama ve takım hızı yüzey kalitesinde etkili olan parametrelerdir [4].

Şekillendirilebilirlik sınır diyagramı şekillendirmenin sınır limitlerini belirleyen en yaygın faktördür. Bu faktör güvenli ve riskli bölgeleri gösterir. SPIF’ yi etkileyen en önemli faktörler malzeme tipi, malzeme kalınlığı, oluşturulan şeklin geometrisi, takım boyutu

(çapı) ve artışlı şekillendirme tipi olarak tespit edilmiştir. Ham ve Jeswiet'in deneysel çalışmaları şekillendirilebilirliğin tüm kritik faktörlerinde yeni sonuçlar sunmuştur [5].

Artışlı şekillendirme yönteminin deformasyon mekanizması özel hazırlanmış bakır levhalar ile deneysel yollarla incelenmiştir. Artışlı şekillendirme yönteminin gerilme dağılımlar her iki yöntem içinde (SPIF ve TPIF) ölçülmüştür. Bu ölçümler SPIF ve TPIF'nin gerilme, takımın dikey düzlemdeki kaymasını ve takımın paralel düzlemdeki kaymasının deformasyon mekanizmalarını göstermektedir. Artan gerilme ve takım yönündeki dikey kayma, sinüs yasası tahminini ve SPIF ve TPIF için ölçülen duvar kalınlığı arasındaki farkları açıklar. SPIF ve TPIF'nin gözlemlenmiş mekanizmalarının daha önce varsayılan saf kayma mekanizmalarından farklılık gösterdiği kabul edilmiştir [1].

Ambrogio vd [6] magnezyum alaşımlarının sıcak artışlı şekillendirilebilirliğini araştırmıştır. Isıtma işlemini sürekli bir akım sağlayarak gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak ise çeşitli alaşımlar üzerinde yaptığı deneylere dayanarak sıcak artışlı şekillendirme yönteminin soğuk olana göre daha iyi bir performans sağladığını belirtmiştir.

Bulut [7], AA 5754 malzemesi kullanarak dikey ilerleme, takım kaplaması, yağlama ve takım çapı parametrelerini kullanarak bir çalışma yapmıştır. Simülasyon programlarıyla parçanın simülasyonunu yapmış ve bunu deney sonuçlarıyla karşılaştırmıştır. Takım çapı olarak 10 mm, dikey ilerleme olarak 0,7 mm ve takım kaplaması olarak TiAlN kaplamasının artışlı şekillendirme işlemi için uygun olduğunu belirtmiştir. Kullanılan yağ olarak ise makine ve gres yağının bor yağına göre daha elverişli olduğu sonucuna varmıştır.

Bu çalışmada, geleneksel sac metal şekillendirme yöntemleri ve artışlı şekillendirme yöntemi ile ilgili literatür taramaları yapılmıştır. Yapılan bu taramalar ışığında optimum deney parametreleri belirlenmiş ve bu parametrelerin uygulamaları

yapılmıştır. Yapılan deneyler sonrasında ise deney numuneleri 3 boyutlu lazer tarama yöntemi ile ölçülmüş ve geometrik doğrulukları incelenerek yorumlanmış, ideal artışlı şekillendirme için bulunan deney parametreleri belirtilmiştir. Ayrıca artışlı şekillendirme yönteminin fiyat avantajını belirlemek için firmalardan fiyat teklifleri alınıp ve bu fiyatlar geleneksel sac metal şekillendirme yöntemlerinin fiyatlarıyla karşılaştırılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOD

### 2.1 Materyal

Artışlı şekillendirme yönteminde alüminyum alaşımlarıyla ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde ağırlıklı olarak AA 5754 malzemesi kullanılmıştır. Bu yapılan çalışmada ise artışlı şekillendirme yöntemine farklı bir açıdan bakabilmek için ısıl işlem kabiliyeti olan 2xxx alüminyum alaşımı serisinden AA 2024-T3 temper hali kullanılmıştır. Deney numunesinin boyutları 200x200x1 mm' dir. AA 2024' ün literatürdeki kimyasal bileşimi Çizelge 1.' de, çalışmada kullanılan AA 2024' ün kimyasal bileşimi Çizelge 2.' de verilmiştir.

Çizelge 1. AA 2024' ün Kimyasal bileşimi [8].

Element	%
Cu	3.8-4.9
Mg	1.2-1.8
Si	0.5
Mn	0.3-0.9
Cr	0.1
Zn	0.25
Ti	0.15
Fe	0.5
Al	Kalanı

**Çizelge 2.** Deneyde kullanılan AA 2024 numunesinin spektral analiz sonuçları

Element	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Pb	Al
%	0.073	0.102	4.59	0.54	1.46	0.020	0.009	0.009	93.141

## 2.2 Metot

### 2.2.1 Takım Çapı

Artışlı şekillendirme yönteminde, takım çapının şekillendirmeye etkisini sabitlemek için 10 mm'lik çaplarda takımlar kullanılmıştır.

### 2.2.2 Takım Kaplaması

Deneyde çapı 10 mm olan kaplamasız karbür takım kullanıldı. Ancak parametrelerin birinde yaşanan yırtılmayı ortadan kaldırmak için krom nitrür kaplamalı takım kullanılarak kaplamanın artışlı şekillendirme yöntemine olan etkisi kısmen gözlemlendi.

### 2.2.3 Yatay İlerleme

Artışlı şekillendirme yöntemiyle ilgili yapılan literatür araştırmasında 1000 mm/dak yatay ilerlemenin optimum değer olduğu görülmüş ve bu değer kullanılmıştır [1].

### 2.2.4 Takım Devri

Yapılan çalışmada devir olarak 500 dev/dk sabit tutuldu. Bu değeri belirleme aşamasında ise öncelikle daha önce yapılan çalışmalara bakıldı. Bu çalışmalar gölgesinde 0, 50, 500, 600, 675, 750 ve 1000 dev/dk değerleri denendi. Bu denemelerde ise 500 ve 600 dev/dak değerleri dışında başarı sağlanamadı. Sonuç olarak gözle yapılan muayene sonucu AA 2024 malzemesi için 500 dev/dk optimum değer olarak kabul edildi.

### 2.2.5 Takım Yolu

Modeller için NX Unigraphics CAM programında farklı takım yolları denenerek, takım yolunun artışlı şekillendirme yöntemi üzerine etkisi incelenmek amaçlanmıştır. Bu

takım yolları ise dikey ilerlemeyi spiral şeklinde yapan ve dikey ilerlemeyi daima aynı noktadan tek seferde verip yatayda sabit olarak bir turu tamamlayıp tekrar aynı yerden dikey ilerleme yapan şeklinde olmak üzere iki tanedir. Deneyler esnasında yırtılan bir parça için üçüncü bir takım yolu kullanarak alternatif bir takım yolu denenmiştir. Bu yeni takım yolu ise daha önceki iki takım yolunun karışımı şeklinde belirlenmiştir. Denenen yeni takım yolunda yırtılma ortadan kalkmış ve diğer takım yollarıyla karşılaştırma yapılmıştır.

### 2.2.6 Dikey İlerleme

Şekillendirme esnasında şeklin yüzeyinin düzgün çıkması ve numunede yırtılmaları minimuma indirmesi için 0,2, 0,3, 0,5 ve 0,7 mm değişik dikey ilerleme parametreleri denenmiş ve 0,2 mm ve 0,5 mm dikey ilerleme parametrelerinin artışlı şekillendirmeye etkilerini görebilmek için deney parametreleri olarak seçilmiştir.

### 2.2.7 Yağlama

Yağlamanın artışlı şekillendirmeye etkisinin araştırılması ve sac plaka ile takım arasındaki sürtünmeyi en aza indirmek için iki farklı yağlama tercih edilmiştir. Bunlardan ilki geleneksel talaşlı imalat soğutma sıvısı olan bor yağı emülsiyonudur. İkinci seçenek olarak ise sıvama yağı seçilmiştir.

## 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Artışlı Şekillendirme deneyleri Celal Bayar Üniversitesi Turgutlu Meslek Yüksekokulu Atölyesinde bulunan First MCW300 CNC freze tezgâhında yapılmıştır. Seçilen parametrelere göre deneyin yapılabilmesi için; artışlı şekillendirme için özel imal edilmiş olan

tutucu kalıp komparatör ile paralelliği sağlanıp tezgâha bağlanmıştır. Kalıba bağlanacak şekilde (200x200x1 mm) lazer kesim yapılan AA 2024-T3 numuneler 8 adet M10 cıvata yardımıyla şekillendirme esnasında en ufak bir kayma olmaması için iyice sıkılarak numune sabitlendi. Modellenen parça simetrik olduğu için tutucu kalıba bağlanırken hadde yönüne bakılmaksızın bağlanmıştır [2].

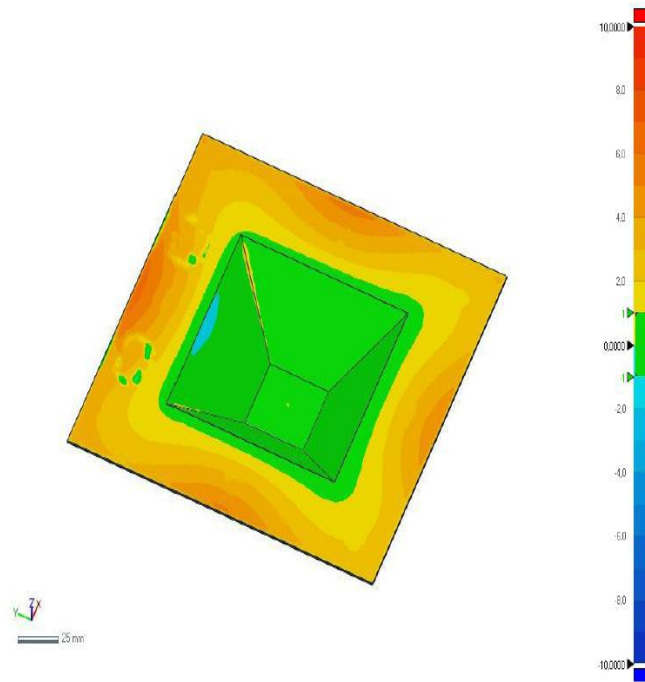
İlk olarak yağlama parametresi sabit tutulmuş ve sıvama yağı seçilmiştir. Sabit tutulan yağ parametresi eşliğinde dikey ilerleme parametreleri 0,2 mm, 0,3 mm, 0,5 mm ve 0,7 mm sırasıyla denenmiş ve 0,7 mm' de yırtılmalar gözlemlenmiştir. Bu işlemden bittikten sonra takım yolu değiştirilip ikinci takım yoluyla tüm işlemler tekrarlanmıştır. Alınan başarılı sonuçlara müteakip yağlama faktörü değiştirilerek tüm parametreler bor yağı kullanarak gerçekleştirilmiştir. İkinci yağlama faktöründe de gözlemlenen olumlu sonuçlar neticesinde tüm parametreler her biri

üçer tekrar olmak üzere denenmiştir. İkinci takım yolunun 0,5 mm dikey ilerleme deneyinde yaşanan yırtılmayı gidermek için üçüncü bir takım yolu ve kaplamalı takım denenmiş, bu alternatif çözümlerden yeni takım yolu başarı gösterirken krom nitrür kaplamalı takım yırtılmaların önüne geçememiştir.

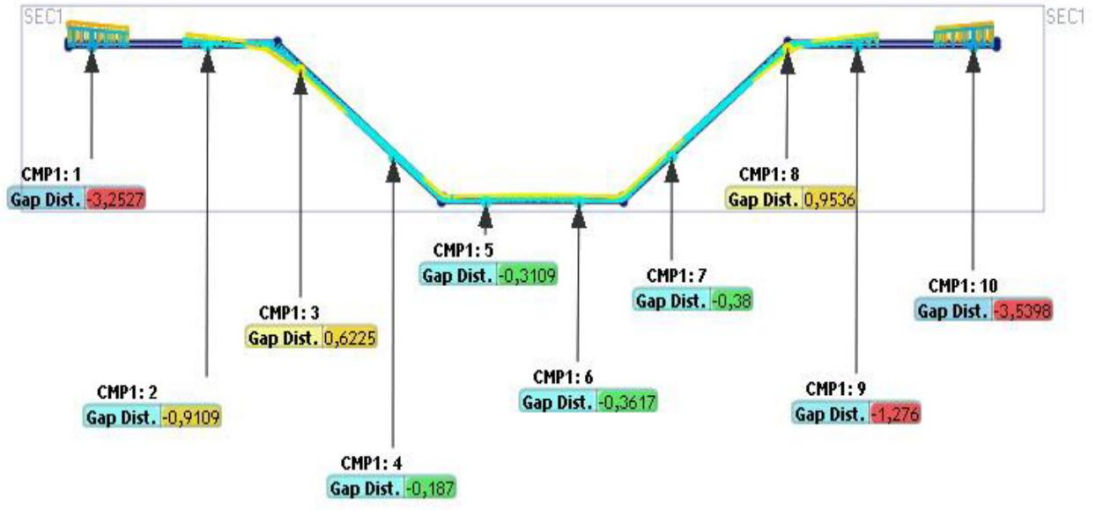
## 4. TEST VE ÖLÇÜM

### 4.1 3 Boyutlu Lazer Tarama

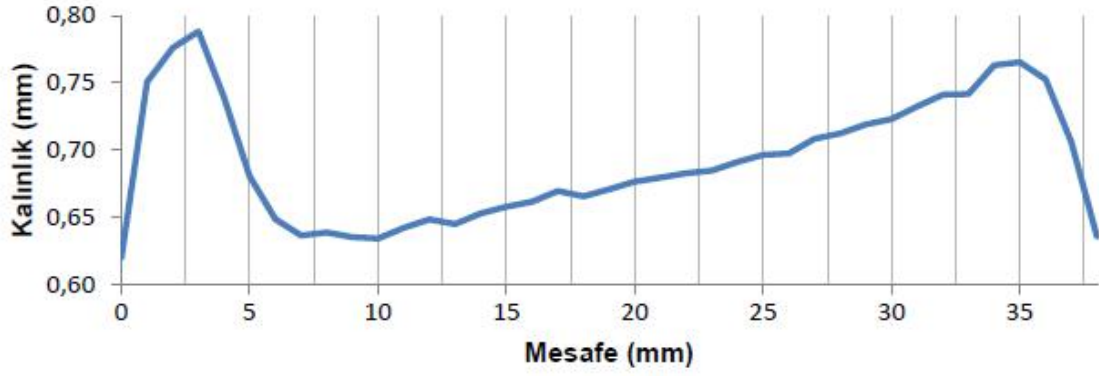
Artışlı şekillendirme yöntemiyle şekillendirilen numunelerin 3 boyutlu lazer tarama yöntemiyle katı modelleri elde edilmiştir. Elde edilen bu katı modeller ile numunelere verilmek istenen geometriler karşılaştırılarak numunelerin geometrik doğrulukları incelenmiş ve ayrıca kalınlık dağılımlarına da bakılmıştır.



(a)

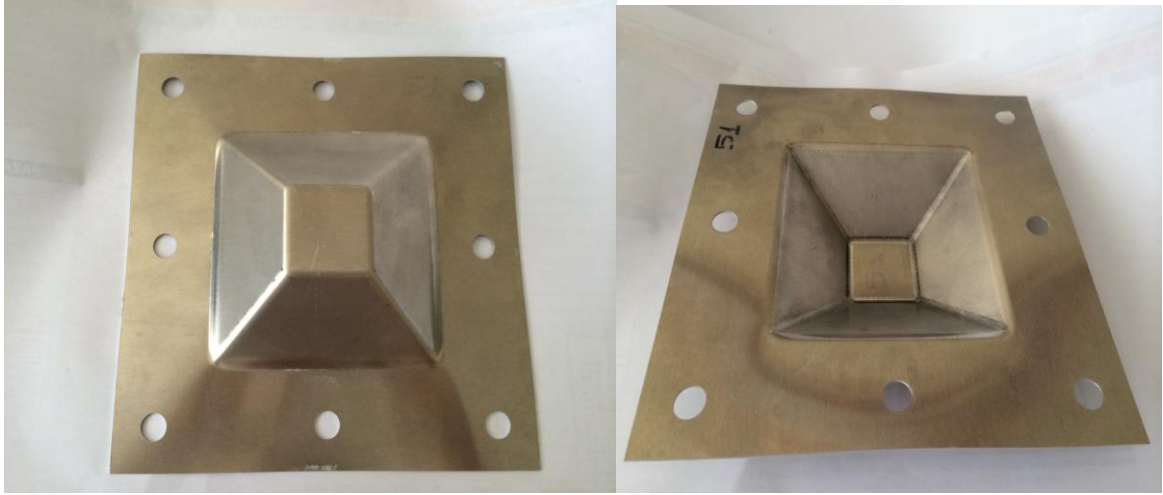


(b)

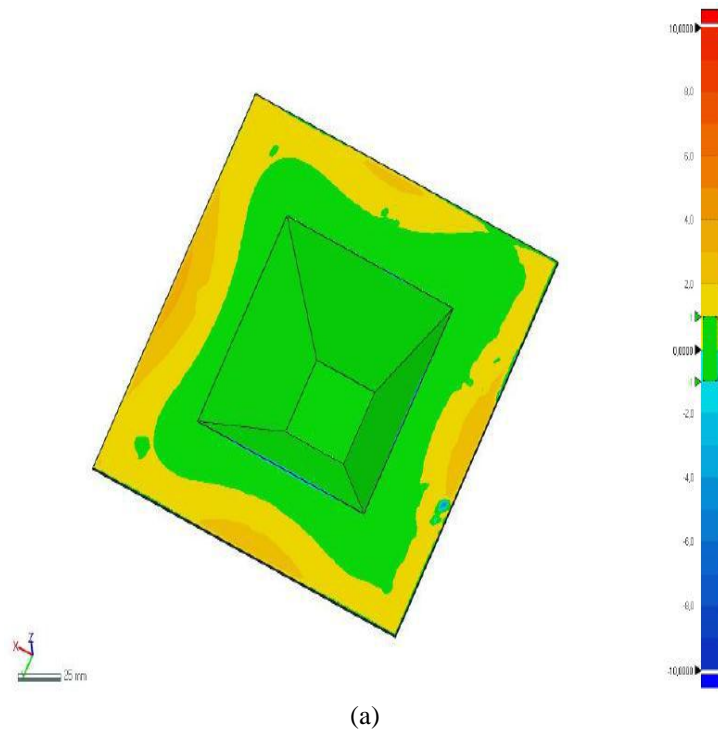


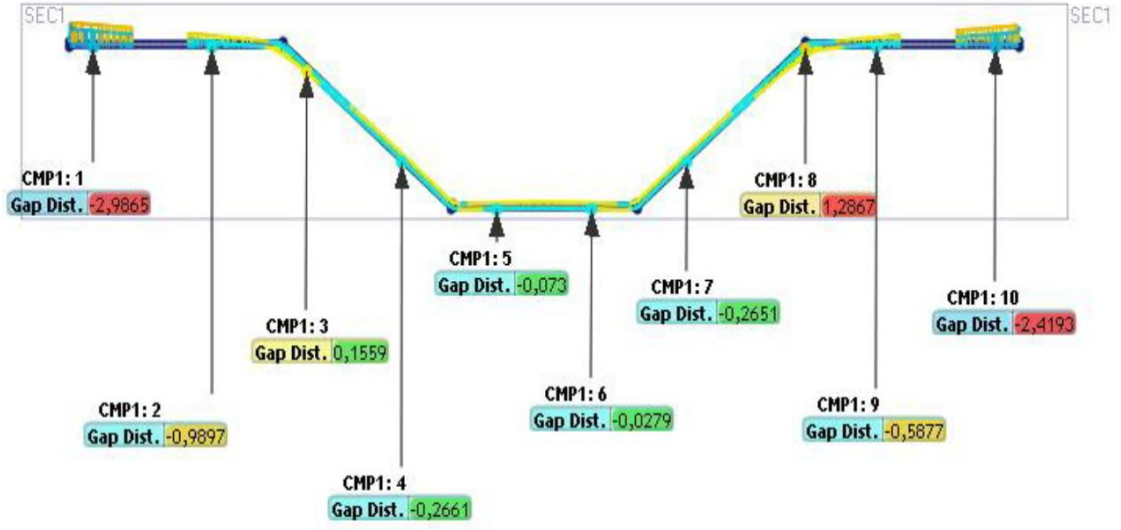
(c)

**Şekil 1.** Sıvama yağı, 0,5 mm dikey ilerleme ve 1. takım yolu parametrelerine sahip numunenin (a-b) Geometrik tamlık sonuçları (c) Eğik bölge kalınlık dağılım sonuçları ve numunedeki yerleri

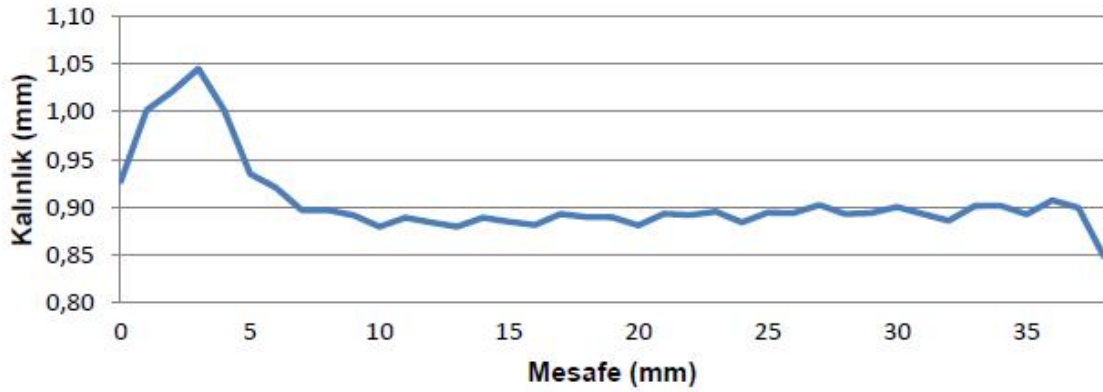


Şekil 2. Sıvama yağı, 0,5 mm dikey ilerleme ve 1. takım yolu parametrelerine sahip numunenin grnşleri



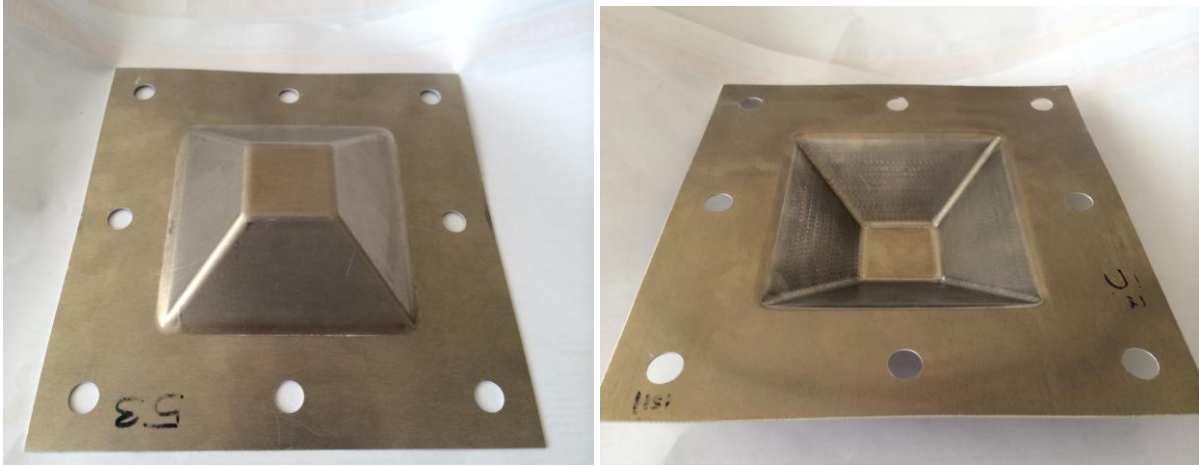


(b)



(c)

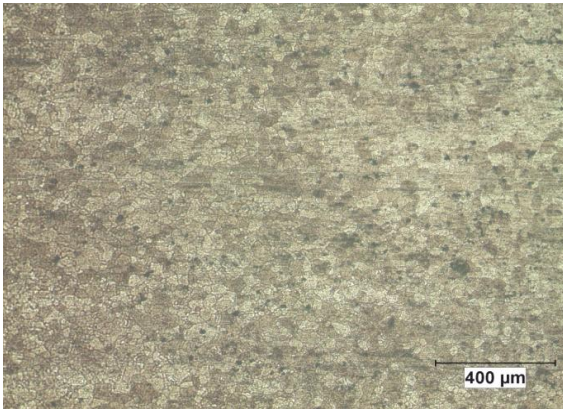
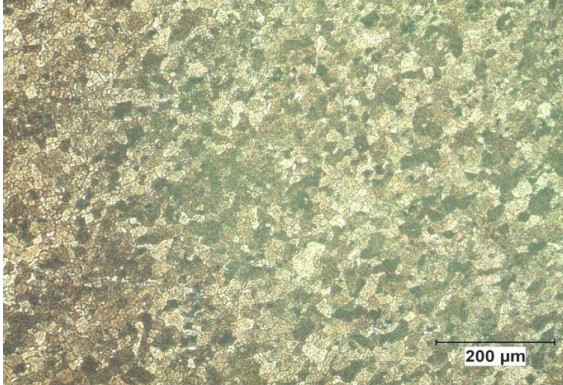
Şekil 3. Bor yağı, 0,5 mm dikey ilerleme ve 2. takım yolu parametrelerine sahip numunenin numunenin (a-b) Geometrik tamlık sonuçları (c) Eğik bölge kalınlık dağılım sonuçları ve numunedeki yerleri



Şekil 4. Bor yağı, 0,5 mm dikey ilerleme ve 2. takım yolu parametrelerine sahip numunenin görüntüleri

#### 4.2 Metalografik İnceleme

Numunelere metalografik inceleme yapılarak içyapıları incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucu elde edilen içyapı resimleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 5. İçyapı görüntüleri

#### 5. FİYAT ANALİZİ

Basit bir geometriye sahip olan deney numuneleri için Manisa Muradiye orta ölçekli sanayi bölgesinde yapılan fiyat araştırması sonucu ortalama 5000 TL kalıp maliyeti teklif edilmiştir. Aynı geometri, artışlı şekillendirme yöntemiyle ortalama 20 dakikada imal edilmektedir. Takım maliyeti ortalama 80 TL, CNC tezgâhının 20 dakika işletme ücreti ise 10 TL civarındadır. Geleneksel kalıpla üretimde bir adet işletme ücreti ise 2 kuruş olarak belirlenmiştir. Her iki yöntemde diğer masraflar göz ardı edilmiştir.

Çizelge 3. Maliyet dağılım çizelgesi

	Artışlı Şekillendirme Yöntemi	Kalıpla Üretim
Kalıp Maliyeti	-	5000 TL
Takım Maliyeti	80 TL	-
Parça Başına İşçilik Ücreti	10 TL	0,02 TL
1 Adet Üretim İçin Toplam Maliyet	90 TL	5000,02 TL



## 6. SONUÇLAR

Deneylerde bor yağı ve sıvama yağı kullanılmıştır. Bu iki yağlama arasında kullanılan takım yolu ve dikey ilerlemenin etkili bir faktör olduğu ve her yağın hemen hemen aynı oranda başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

Takım yolu olarak 3 farklı yol izlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda 1. takım yolunun birçok değişken için en başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. 2. ve 3. takım yolları ise başarılı olmakla beraber geometrik doğruluk ve kalınlık dağılımında 1. takım yolu kadar etkin olamamışlardır.

Dikey ilerlemenin artışı şekillendirme yöntemine etkisini görebilmek için aynı şartlar altında yapılan çalışmalar karşılaştırıldığında 0,5 mm dikey ilerleme parametresinin 0,2 mm' ye göre çok daha fazla geometrik doğruluk ve kalınlık dağılımı sergilediği gözlemlenmiştir.

Yapılan fiyat araştırmasına göre yaklaşık 500 adet altındaki üretimlerde artışı şekillendirme yöntemi kalıpla üretim yöntemine göre daha ekonomiktir. Ancak adet sayısı 500' e yaklaştıkça artışı şekillendirme yöntemi fiyat avantajını kaybetmektedir.

## 7. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Celal Bayar Üniversitesi (BAP 2014-078) Bilimsel Araştırma Projeleri Fonu tarafından desteklenmiştir.

## Kaynaklar

[1] Nimbalkar D.H. “Review of Incremental Forming of Sheet Metal Components” Int. Journal of Engineering Research and Applications Vol. 3, Issue 5, Sep-Oct 2013, pp.39-51.

[2] Ceretti, E., Giardini, C., Attanasio, A., “Experimental and simulative results in sheet incremental forming on CNC machines”, Journal of Materials Processing Technology, 152:176-18, (2004).

[3] Le Van Sy, “Modeling of Single Point Incremental Forming Process For Metal and

Polymeric Sheet” PhD thesis University Of Pauda-2009.

[4] Jeswiet, J., Micari, F., Hirt, G., Bramley, A., Dufloy, J., Allwood, J. “Asymmetric Single Point Incremental Forming of Sheet Metal” CIRP Annals manufacturing technology, 54(2),623-649 (2005).

[5] Ham, M., Jeswiet, J. “Single Point Incremental Forming and the Forming Criteria for AA3003” Annals of the CIRP Vol. 55/1/2006

[6] Ambrogio, G., Filice, L., Gagliardi, F., “Formability of lightweight alloys by hot incremental sheet forming” Materials and Design 34, 501–508, (2012)

[7] Bulut, C. “Artışlı Şekillendirme ile AA 5754 Sacın Biçimlendirilmesi ve Teorik Modellenmesi” Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Bilim Uzmanlığı Tezi, 2008.

[8] Liu, Z., Chong, P.H., Butt, A.N., Skeldon, P., Thompson, G.E. “Corrosion mechanism of laser-melted AA 2014 and AA 2024 alloys” Applied Surface Science 247, 294–299, (2005).

**Geliş Tarihi:**18.09.2014

**Kabul Tarihi:**12.02.2015

## KEMALPAŞA VE ÇEVRESİ (İZMİR) MİKSOBİOTASININ BELİRLENMESİ

Mustafa OSKAY<sup>1\*</sup>, Ömür TÜZÜN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Celal Bayar Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 45030 Manisa, TÜRKİYE

<sup>2</sup>Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, 45030 Manisa, TÜRKİYE

**Özet:** Bu araştırma Ekim-2013 ile Temmuz 2014 arasında Kemalpaşa (İzmir) ve çevresinde belirlenen alanlarda miksomisetlerin bulunuşu ve dağılımını belirlemek üzere yapılmıştır. Çalışmada genellikle *Quercus* sp. ve *Pinus* sp. ağaçları başta olmak üzere, yaprak döküntüleri, canlı ağaçların ölü kabukları ve toprak örnekleri olmak üzere 11 lokaliteden 91substrat toplanmıştır. Her bir çalışılan alan için, miksomisetler hem doğal substratlar üzerinde hem de nemli oda kültürü ile belirlenerek karakterizasyonları yapılmıştır. Sıcaklık, nem ve ışık yoğunluğu gibi çevresel faktörler gerçek zamanlı olarak ölçülmüş ve buna bağlı türlerin dağılımı tartışılmıştır. Sonuçlarımıza göre, 10 familyaya ait 29 tür (7'si doğal) ve 1 cins bazında olmak üzere toplam 30 takson tanımlanmıştır. Türlerin çoğunluğu (%77) nemli oda kültüründen, diğerleri (%23) doğal olarak elde edilmiş olup, belirlenen 16 cins sırasıyla; *Ceratiomyxa*, *Echinostelium*, *Cribraria*, *Lycogala*, *Licea*, *Arcyria*, *Perichaena*, *Trichia*, *Didymium*, *Physarum*, *Collaria*, *Comatricha*, *Enerthenema*, *Macbrideola*, *Stemonitis* ve *Stemonitopsis*'dir. Çalışılan alanlardaki miksomiset dağılımları genellikle benzerlik göstermekte ve belirlenen çoğu tür kozmopolittir. Araştırma alanında belirlenen en yaygın tür ise *Arcyria cinerea*'dir.

**Anahtar Kelimeler:** *Biyocoşetlilik, ekoloji, Kemalpaşa, nemli oda kültürü, miksomisetler, Protista, civık küfler.*

## DETERMINATION THE MYXOBIOTA OF KEMALPAŞA AND SURROUNDING (İZMİR)

**Abstract:** This research assessed the occurrence and distribution of myxomycetes, and it was carried out in the selected surrounding areas of Kemalpaşa, (İzmir) between October 2013 and July 2014. A total of 91 specimens in 11 localities were collected in *Quercus* sp. and *Pinus* sp. plants were the most common type of substrate investigated, but leaf litter, dead barks of living trees and soil materials were also included in the survey. Myxomycetes were determined and characterized both on natural substrates and in the moist chambers for each of the study sites. Environmental factors such as temperature, humidity and light intensity were analyzed with real time and occurrence of some species was discussed. The obtained results showed that a total of 30 taxa representing 29 species (7 species naturally) with 1 genus belonging to 10 families were identified. Most of the species collected from prepared moist chambers (77%) and others from nature (23%) resulted in 16 genera including *Ceratiomyxa*, *Echinostelium*, *Cribraria*, *Lycogala*, *Licea*, *Arcyria*, *Perichaena*, *Trichia*, *Didymium*, *Physarum*, *Collaria*, *Comatricha*, *Enerthenema*, *Macbrideola*, *Stemonitis* and *Stemonitopsis*. A comparison of the distribution of myxomycete showed similarities in this area and many species were reported as cosmopolite. *Arcyria cinerea* was the most wide spread species in the research area.

**Keywords:** *Biodiversity, ecology, Kemalpaşa, moist chamber culture, myxomycetes, Protista, slime moulds.*

---

\*Mustafa OSKAY

mustafa.oskay@cbu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Miksomisetler çok nükleuslu, tek veya çok sayıda sporofor meydana getirebilen, hücre çeperi bulunmayan organizmalardır. Vejetatif fazında çok sayıda nükleusa sahip, plazma zarı ile çevrelenmiş, ince yapılı ve çoğunlukla yapışkan kılıf ile sarılmış asellüler protoplazma yığını olan plazmodyum şeklinde bulunmaktadır [1, 2]. Sporlanma dönemini protoplazma tarafından salgılanan spor keseleri içerisinde bulunan sporlar temsil eder. Spor keselerinin içinde kapillitium ve pseudokapillitium bulunmaktadır. Taksonomik açıdan önemli bir değere sahip olan kireç birikimleri bazı gruplarda bulunabilmektedir

Miksomisetlerin ekolojisi hakkında yapılan çalışmalarda, tropikal bölgelerde, boreal ormanlarda, otlak, tundra, çöller, alpin ve subalpin dağlık alanlar ile orman alanlarında yoğun olarak buldukları tespit edilmiştir [2, 3, 4]. Buna ilave olarak miksomisetler canlı veya ölü ağaç kabukları, çürümüş meyve ve artıkları, çürümüş ağaç gövdeleri, dallar, yaprak ve yaprak döküntüleri, bazı organik maddeler, taşlar, hayvan kemikleri, otobur hayvan dışkıları üzerinde dağılım göstermektedirler [5, 6].

Miksomisetler bilimsel açıdan önemlidir. Mitoz bölünmenin incelenmesinde, morfogenezis araştırmalarında, üremeyi yöneten kimyasal değişimlerin, protoplazma hareketinin, yaşlanmanın, yapısal fizyoloji ve benzeri konuların araştırılmasında miksomisetlerden yararlanılmaktadır [7]. Ayrıca miksomisetlerden biyolojik olarak aktif sekonder metabolitlerin üretimi ile ilgili araştırmalar son zamanlarda yoğunlaşmıştır [8].

Dünya genelinde miksomiset taksonlarının sayısı yaklaşık olarak 1200'dir. Türkiye'de ise 265 takson rapor edilmiştir [6, 9]. Ülkemizin ılıman iklim kuşağında yer alması ve zengin floristik yapıya sahip olması nedeniyle, bu araştırmada daha önceden çalışılmamış bir bölge olan Kemalpaşa ve çevresi mikrobiotasının belirlenmesi ve Türkiye miksomiset biotasına katkı sağlamak amaçlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Çalışma Alanı ve Örneklerin Toplanması

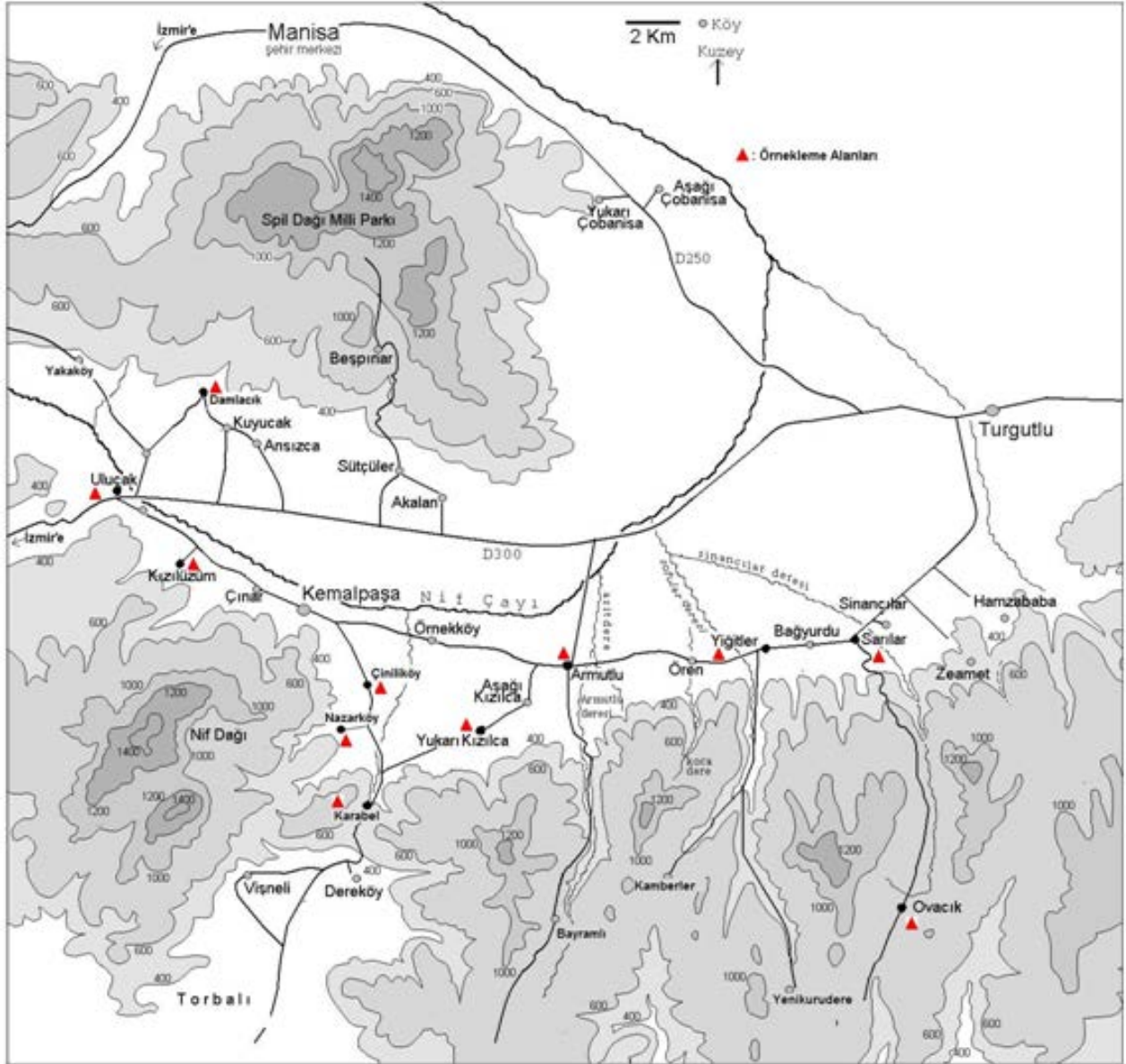
Kemalpaşa, Ege bölgesi sınırları içinde İzmir iline bağlı bir ilçedir. Doğu ve kuzeyinde Manisa, batısında Buca ve Bornova, güneyinde Bayındır ve Torbalı ile çevrilmiştir [10]. İzmir iline uzaklığı 29 km'dir. 27°-28° doğu boylamları ile 38°-39° kuzey enlemleri arasında bulunur. İlçenin yüz ölçümü 658 km<sup>2</sup>, denizden yüksekliği 200 m'dir [11]. Kemalpaşa'nın kuzey ve güney kesimleri dağlık alanlardır. Kuzey kesimini Spil Dağı'nın güney uzantıları, güney kesimini Bozdağların batı uzantısı olan Mahmut Dağı (1.382 m) ve Nif Dağı (1.446 m) oluşturur. Bu dağlar karaçam ve kızılçam ormanlarıyla kaplı haldedir. İlçenin orta kesimini ovalar kaplamaktadır. Nif ovası Belkahve eşiğine kadar uzanır. Kemalpaşa ilçesinin topraklarını Nif Dağı'nın doğu yamaçlarından kaynaklanan, Gediz Nehri'ne katılan Nif Çayı sulamaktadır [10].

Arazi çalışmaları Kemalpaşa ilçesi ve çevresinde, Ekim 2013-Temmuz 2014 periyotları arasında 11 farklı lokalite de gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Düzenlenen arazi çalışmalarında ağaç kabukları, ağaç kütük parçaları, yapraklar, dal parçaları, döküntü ve çürümekte olan kozalaklar (N=91) vb. materyaller ile sporofor aşamasında olan miksomiset örneklerine zarar vermeden substratlarıyla birlikte karton kutu ya da kese kâğıtlarına konularak laboratuara getirilmiştir. Örneklerin üzerine tarih ve istasyon numarası yazılarak bir arazi defteri oluşturulmuştur. Arazi defterine örneklerin özellikleri, renkleri, habitat özellikleri, sporoforun tipi, hangi aşamada olduğu ve bölgenin vejetasyonuna ait bilgiler işlenmiştir. Ayrıca araştırma bölgesinde örneklemelerin yapıldığı alanların yüksekliği (Seyahat Altimetre Lite), sıcaklık, nisbi nem oranı (Hanna Instruments HI 8564 thermohygrometer) ve ışık miktarı (Hanna HI 97500 Portable Luxmeter) gerçek zamanlı olarak ölçülmüştür.

## 2.2. Nem Odası Tekniğiyle Fruktifikasyonların Eldesi

Laboratuara getirilen miksomiset sporlarını içerdiği düşünülen materyaller seçilerek Gilbert ve Martin (1933)' in geliştirdiği Nem Odası Tekniği ile fruktifikasyonlar elde edilmiştir [12]. Kısaca bu yöntem şu şekilde gerçekleştirilmiştir; öncelikle 9cm. çaplı, steril, plastik, tek kullanımlık petri kutularına birkaç kat filtre kâğıdı serilip üzerlerine

toplanan materyaller yerleştirilmiştir. Bunların üzerine distile su eklenip 24-48 saat arasında ıslatılıp şişmeleri sağlanmıştır. Sonra petri kutularındaki fazla su boşaltılarak laboratuvar ortamında diffüz ışık altında ve oda sıcaklığında (21-26 °C) inkübasyon yapılmıştır. 3. günden itibaren başlanarak belirli zaman periyotlarında örnekler stereomikroskopta incelenip sporofor gelişmeleri kaydedilmiştir [2].



Şekil 1. Araştırma Bölgesi ve Örnekleme Yapılan İstasyonlar

### 2.3. Mikroskopik ve Makroskopik İncelemeler, Türlerin Tanınması

Nem odası örnekleriyle gelişme görülen arazi örneklerinin mikroskopik özelliklerini belirlemek amacıyla kalıcı veya geçici preparatlar yapılmıştır. Geçici preparat yapımında %3'lük KOH veya saf su kullanılmıştır. Daimi preparat yapımında Farr (1981)'e göre Amman'ın laktofenol ortamı, Hantsch'ın sıvısı veya Hoyer ortamı kullanılmıştır [13].

Örneklerin teşhisinde; fruktifikasyonun genel yapısı, rengi, şekli, makroskopik ölçüleri, kireç olup olmaması, kirecin rengi ve şekli stereomikroskop (Olympus SZ51) kullanılarak incelenmiştir. Işık mikroskobu (Nikon SE) kullanılarak ise kapillitium, pseudokapillitium, kolumella bulunup bulunmaması, bulunuyorsa şekli ve ölçüleri, spor ornemantasyonları, sporların büyüklüğü, rengi, şekli, kapillitiumu oluşturan iplerin ornemantasyonları, dallanma şekli, pseudokapillitiumun özellikleri, kolumellanın serbest veya sapa bağlı olup olmaması gibi karakterler belirlenmiştir. Miksomiset örneklerinin tanımlanmalarında Martin ve Alexopoulos [14], Neubertve ark. [15], Baba [2], Oran [16] ile Sesli ve Denchev [17], literatürlerinden yararlanılmıştır. Ayrıca tanılama aşamasında on-line veri tabanları da kullanılmıştır [18-21].

### 2.4 Fungarium Materyallerinin Oluşturulması

Sporofor gelişimi görülen örnekler ile nem odası tekniği kullanılarak elde edilen miksomiset örnekleri kurutma kâğıtları bulunan petri kutularına aktarılmış ve oda sıcaklığında kurutma işlemi uygulanmıştır. Hazır karton kutulara girecek şekilde kesilen kartonlar örneklerin zarar görmemesi için oluklu bir yapı halinde kıvrılmış, bu oluklu yapının ortasına miksomiset örnekleri substratlarıyla birlikte yapıştırılmıştır. Örnekleri taşıyan oluklu kartonlar kutu içerisine yerleştirilip ağzı sıkıca kapatılmıştır. Böylelikle örnekler

fungarium materyali haline dönüştürülmüş olup uzun süre bozulmadan saklanabilmektedir. Fungarium örneklerinin üstüne fungarium numarası, substrat, rakım, toplama tarihi, türün adı, familyası, teşhis edenin adı gibi bilgiler yazılarak etiketlenmiştir [2]. Elde ettiğimiz ve tanıladığımız miksomiset örnekleri Üniversitemiz Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü kültür koleksiyonunda saklanmaktadır.

### 3. BULGULAR

Tanımlanan miksomiset türleri, bulunduğu substrat, doğal olup olmadığı, örneğin toplandığı istasyon numarası ve yükseklik, tarih gibi bilgiler verilerek aşağıda listelenmiştir.

#### *Ceratiomyxales*

#### *Ceratiomyxaceae*

#### *Ceratiomyxa fructiculosa* (Müll.) Macbr.

Yigitler, *Pinus brutia* gövde kabuğunda, 229 m. 23.03.2014, Ö.Tüzün, 8Y1a (**Doğal**); Armutlu, *Pinus brutia* dalında, 198 m. 18.05.2014, Ö.Tüzün, 6A11; Karabel, *Pinus brutia* gövde parçasında, 386 m. 12.01.2014, Ö.Tüzün, 5L1g.

#### *Echinosteliales*

#### *Echinosteliaceae*

#### *Echinostelium minutum* de Bary

Yukarı Kızılca, Toprak örneği, 231 m, 30.10.2013, Ö.Tüzün, 4K2e; Yukarı Kızılca, *Quercus* sp. gövde kabuğu, 163 m, 30.11.2013, Ö.Tüzün, 4K2g; Nazarköy, *Pinus brutia* dalında, 200 m. 29.10.2013, Ö.Tüzün, 3D1a.

#### *Liceales*

#### *Cribrariaceae*

#### *Cribraria cancellata* (A.Lister) Nann.- Bremek

Çiniliköy, *Quercus* sp. dal kabuğu, 208 m, 29.10.2013, Ö.Tüzün, 2C1b.

***Cribraria violacea* Rex**

Armutlu, *Pinus brutia* gövde kabuğunda, 166 m. 18.05.2014, Ö.Tüzün, 6A1j.

***Liceales***

***Enteridiaceae***

***Lycogala epidendrum* (L.) Fries**

Sarılar, *Pinus brutia* gövde kabuğunda, 168 m. 16.02.2014, Ö.Tüzün, 7Ö1a.

***Liceaceae***

***Licea castanea* G.Lister**

Ulucak, *Quercus* sp. dal kabuğu üzerinde, 114 m. 13.05.2014, Ö.Tüzün, 9U1b.

***Licea kleistobolus* Martin**

Karabel, çürümüş *Pinus* sp. dalı üzerinde, 170 m. 12.01.2014, Ö.Tüzün, 5L11.

***Licea minima* Fries**

Damlacık, çürümüş *Pinus brutia*. gövde odunu üzerinde, 520 m. 23.07.2014, Ö.Tüzün, 11D2b.

***Trichiales***

***Arcyriaceae***

***Arcyria* sp.**

Kızılızüm, *Pinus brutia* gövde kabuğunda, 205 m. 20.10.2013. Ö.Tüzün, 1K1e; Armutlu, *Pinus brutia* kökünde, 106 m. 19.01.2014, Ö.Tüzün, 6A1b α; Sarılar, *Pinus brutia* gövde kabuğunda, 210 m. 16.02.2014, Ö.Tüzün, 7Ö1c; Armutlu, *Pinus brutia* kozalağında, 198 m. 18.05.2014, Ö.Tüzün, 6A1m α; Armutlu, *Pinus brutia* dalında, 198 m. 18.05.2014, Ö.Tüzün, 6A1l.

***Arcyria cinerea* (Bull.) Pers.,**

Yukarı Kızılca, *Pinus brutia* gövde kabuğunda, 182 m. 03.02.2014, Ö.Tüzün, 4K2q11 β; Nazarköy, *Pinus brutia* gövde kabuğunda, 181 m. 29.10.2013, Ö.Tüzün, 3D1d α; Armutlu, *Pinus brutia* gövde

kabuğunda, 204 m. 18.05.2014, Ö.Tüzün, 6A1n+; Yukarı Kızılca, *Pinus brutia* gövde kabuğunda, 163 m. 30.10.2013, Ö.Tüzün, 4K2d α; Nazarköy, *Pinus brutia* gövde kabuğunda, 181 m. 29.10.2013, Ö.Tüzün, 3D1d β4; Nazarköy, *Pinus brutia* gövde kabuğunda, 181 m. 29.10.2013, Ö.Tüzün, 3D1d β; Yukarı Kızılca, *Pinus brutia* gövde kabuğunda, 163 m. 30.10.2013, Ö.Tüzün, 4K2c; Çiniliköy, *Quercus* sp. gövde kabuğunda, 208 m. 29.10.2013, Ö.Tüzün, 2C1b; Armutlu, *Pinus brutia* gövde kabuğunda, 204 m. 18.05.2014, Ö.Tüzün, 6A1n; Yukarı Kızılca, *Pinus brutia* gövde kabuğunda, 163 m. 30.11.2013, Ö.Tüzün, 4K2g; Karabel, *Pinus brutia* gövde kabuğunda, 386 m. 12.01.2014, Ö.Tüzün, 5L1g (**Doğal**).

***Arcyria obvelata* (Oeder) Onsberg.,**

Nazarköy, *Pinus brutia* gövde kabuğunda, 181 m. 29.10.2013, Ö.Tüzün, 3D1d.

***Arcyria nigella* Emoto,**

Nazarköy, *Pinus brutia* gövde kabuğunda, 181 m. 29.10.2013, Ö.Tüzün, 3D1d β1; Çiniliköy, *Quercus* sp. dalında, 181 m. 29.10.2013, Ö.Tüzün, 2C1e (**Doğal**).

***Arcyria globosa* Schwein.,**

Yukarı Kızılca, *Pinus brutia* gövde kabuğunda, 163 m. 30.10.2013, Ö.Tüzün, 4K2d β.

***Arcyria pomiformis* (Leers) Rostaf.,**

Yukarı Kızılca, *Pinus brutia* gövde kabuğunda, 177 m. 03.02.2014, Ö.Tüzün, 4K2q3 α.

***Arcyria insignis* Kalchbr. & Cooke,**

Yukarı Kızılca, *Pinus brutia* gövde kabuğunda, 182 m. 03.02.2014, Ö.Tüzün, 4K2q11 β1; Armutlu, *Pinus brutia* kozalağında, 198 m. 18.05.2014, Ö.Tüzün, 6A1m β2; Armutlu, *Pinus brutia* dalında, 201 m. 18.05.2014, Ö.Tüzün, 6A1k.

***Arcyria annulifera* G. Lister & Torrend,**

Armutlu, *Pinus brutia* kozalağında, 198 m. 18.05.2014, Ö.Tüzün, 6A<sub>1m</sub> β<sub>1</sub>; Nazarköy, *Pinus brutia* gövde kabuğunda, 181 m. 29.10.2013, Ö.Tüzün, 3D<sub>1d</sub> β<sub>3</sub>; Nazarköy, *Pinus brutia* dalında 177 m. 21.04.2014, Ö.Tüzün, 3D<sub>1k</sub>.

***Arcyria ferruginea*** Sauter.

Karabel, *Pinus brutia* dalında, 170 m. 12.01.2014, Ö.Tüzün, 5L<sub>1l</sub>.

***Perichaena corticalis*** (Batsch ) Rost.

Yukarı Kızılca, *Pinus brutia* dalında, 230 m. 30.10.2013, Ö.Tüzün, 4K<sub>2b</sub>; Nazarköy, *Pinus brutia* dalında, 185 m. 12.01.2014, Ö.Tüzün, 3D<sub>1h</sub>.

**Trichiales**

**Trichiaceae**

***Trichia decipiens*** (Pers.) Macbr.

Kızılüzüm, çürümüş *Quercus* sp. gövde odunu üzerinde 205 m. 20.10.2013, Ö.Tüzün, 1K<sub>1e</sub>.

**Physarales**

**Didymiaceae**

***Didymium difforme*** (Pers.) S.F.Gray

Kızılüzüm, *Quercus* sp. yaprağı üzerinde, 205 m. 20.10.2013, Ö.Tüzün, 1K<sub>1c</sub> (**Doğal**); Karabel, *Pinus brutia* dal kabuğunda, 375 m. 15.12.2013, Ö.Tüzün, 5L<sub>1f</sub>.

***Didymium squamulosum*** (Alb.&Schw.) Fries

Armutlu, *Pinus brutia* kökünde, 112 m. 19.01.2014, Ö.Tüzün, 6A<sub>1d</sub>.

**Physaraceae**

***Physarum album*** Pers.

Armutlu, *Pinus brutia* dal kabuğu üzerinde, 199 m. 19.01.2014, Ö.Tüzün, 6A<sub>1f</sub>; Armutlu, *Pinus brutia* kozalağında, 198 m. 18.05.2014, Ö.Tüzün, 6A<sub>1m</sub>.

***Physarum cinereum*** (Batsch) Pers.

Sarılar, *Pinus brutia* gövde kabuğunda, 168 m. 16.02.2014, Ö.Tüzün, 7Ö<sub>1b</sub>.

**Stemonitales**

**Stemonitidaceae**

***Collaria lurida*** (Lister) Nann.-Bremek.,

Nazarköy, *Pinus brutia* kozalağında, 181 m. 21.04.2014, Ö.Tüzün, 3D<sub>1n</sub> (**Doğal**).

***Comatricha ellae*** Harkönen

Yiğitler, *Pinus brutia* gövde kabuğunda, 229 m. 23.03.2014, Ö.Tüzün, 8Y<sub>1a</sub>; Ovacık, *Pinus brutia* gövde kabuğunda, 250 m. 14.06.2014, Ö.Tüzün, 10O<sub>1a</sub>.

***Comatricha nigra*** (Pers. Ex J.F. Gmel.) J. Schröt.,

Karabel, *Pinus brutia* dalında, 374 m. 15.12.2013, Ö.Tüzün, 5L<sub>1d</sub>(3) β.

***Enerthenema papillatum*** (Pers.) Rost

Yukarı Kızılca, *Pinus brutia* dalı kabuğunda, 177 m. 03.02.2014, Ö.Tüzün, 4K<sub>2q3</sub>.

***Macbrideola cornea*** (G. Lister&Cran) Alexop.,

Yukarı Kızılca, *Pinus brutia* dalında, 163 m. 30.11.2013, Ö.Tüzün, 4K<sub>2pα</sub> (**Doğal**); Yukarı Kızılca, *Pinus brutia* dalında, 164 m. 03.02.2014, Ö.Tüzün, 4K<sub>2q2</sub>(2)α; Nazarköy, *Pinus brutia* kozalak, 181 m. 21.04.2014, Ö.Tüzün, 3D<sub>1n</sub>(2).

***Stemonitis fusca*** Roth.

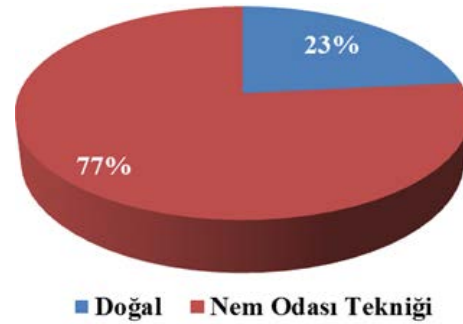
Yukarı Kızılca, *Pinus brutia* dalında, 140 m. 01.02.2014, Ö.Tüzün, 4K<sub>2y</sub> (**Doğal**); Yukarı Kızılca, *Pinus brutia* dalında, 176 m. 22.12.2013, Ö.Tüzün, 4K<sub>2v</sub>; Nazarköy, *Pinus brutia* gövde kabuğunda, 175 m. 21.04.2014, Ö.Tüzün, 3D<sub>1m</sub>.

***Stemonitopsis amoena*** (Nann.-Bremek.) Nann.-

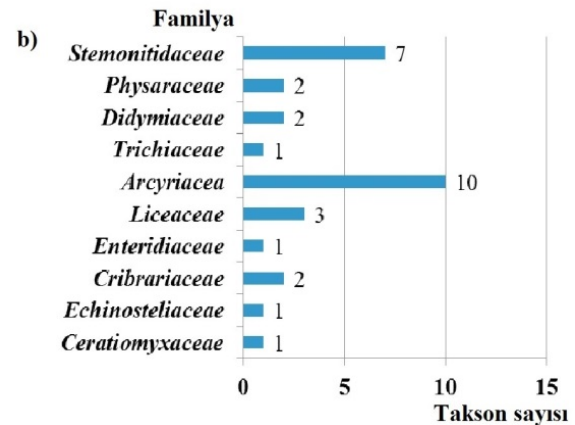
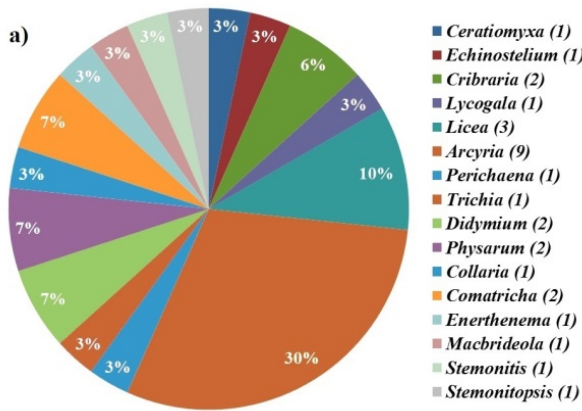
Bremek. Yukarı Kızılca, *Pinus brutia* gövde kabuğunda, 182 m. 03.02.2014, Ö.Tüzün, 4K<sub>2q</sub>.

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Kemalpaşa ilçesi ve çevresinde 2013-2014 yılları arasında 4 mevsimi kapsayacak şekilde arazi çalışmaları düzenlenmiştir. Arazi çalışmaları sonucunda 29 tür (7 tür doğal ortamdan) ve 1 cins bazında olmak üzere 10 familyaya ait toplam 30 takson belirlenmiştir. Tanılanan türlerin %23 (7)'ü doğal ortamdan, %77 (23)'si ise nemli oda kültürü çalışmalarından elde edilmiştir (Şekil 2). *Collaria lurida* sadece doğal ortamdan toplanan *Pinus brutia* kozalağı üzerinde; diğer doğal ortamında belirlenen 6 takson aynı zamanda nem odası tekniğiyle de belirlenebilmiştir.



Şekil 2. Doğal ve Nem Odası Tekniğinden Elde Edilen Türlerin Yüzdeleri



Şekil 3. Cins (a) ve Familya (b) Bazında Belirlenen 30 Taksonun Dağılımı

Araştırma bölgesinden tespit edilen türler ve genuslar taksonomik sırasına göre: *Ceratiomyxa fructiculosa* (3) (1'i Doğal), *Echinostelium minutum* (3), *Cribraria cancellata* (1), *Cribraria violacea* (1), *Lycogala epidendrum* (1), *Licea castanea* (1), *Licea kleistobolus* (1), *Licea minima* (1), *Arcyria* sp. (5), *Arcyria cinerea* (11) (2'si Doğal), *Arcyria obvelata* (1), *Arcyria nigella* (2) (1'i Doğal), *Arcyria globosa* (2), *Arcyria pomiformis* (1), *Arcyria insignis* (3), *Arcyria annulifera* (3), *Arcyria ferruginea* (1), *Perichaena corticalis* (2), *Trichia decipiens* (1), *Didymium difforme* (2) (1'i Doğal), *Didymium squamulosum* (1), *Physarum album* (2), *Physarum cinereum* (1), *Collaria lurida* (1) (Doğal), *Comatricha ellae* (2), *Comatricha nigra* (1),

*Enerthenema papillatum* (1), *Macbrideola cornea* (3) (1'i Doğal), *Stemonitis fusca* (3) (1'i Doğal), *Stemonitopsis amoena* (1)'dir. Topladığımız materyallerin önemli bir kısmını çürümekte olan materyaller ve ağaçların gövde kabukları oluşturduğu için dikkate değer şekilde en büyük payları *Corticulous* ve *Lignicolous* miksomisetleri almaktadır. Çalışmamızda %11 *Quercus* sp. %85 *Pinus brutia* ve %4 diğer substratlar üzerinde miksomisetler belirlenmiştir.

Arazi gezilerinde yaptığımız ölçümlerde; ışık değerinin 59 alanda 0.97-9.87 lux arasında, nem oranının 82 alanda %21.1-49.7 arasında ve sıcaklıkların da 54 alanda 20 °C'nin altında ölçülmesi sebebiyle diğer çalışmalar [2, 22, 23]' a



kıyasla bizim çalışmamızda daha az sayıda miksomiset tür sayısı elde edilmiştir (Tablo 1).

**Tablo 1.** Belirlenen Taksonların Aylara Göre Dağılımı ve Ortalama İklimsel Verileri

Aylar	Taksonlar	Sıcaklık (°C)*	Nem (%)	Işık (lux)
<b>Ocak</b>	<i>Ceratiomyxa fructiculosa</i> ; <i>Licea kleistobolus</i> ; <i>Arcyria</i> sp.; <i>Arcyria cinerea</i> ; <i>Arcyria ferruginea</i> ; <i>Perichaena corticalis</i> ; <i>Didymium squamulosum</i> ; <i>Physarum album</i>	16.85 (N=11)	54.34 (N=11)	9.14 (N=11)
<b>Şubat</b>	<i>Lycogala epidendrum</i> ; <i>Arcyria</i> sp.; <i>Arcyria cinerea</i> ; <i>Arcyria pomiformis</i> ; <i>Arcyria insignis</i> ; <i>Physarum cinereum</i> ; <i>Enerthenema papillatum</i> ; <i>Macbrideola cornea</i> ; <i>Stemonitis fusca</i> ; <i>Stemonitopsis amoena</i>	15.54 (N=12)	32.24 (N=12)	11.15 (N=12)
<b>Mart</b>	<i>Ceratiomyxa fructiculosa</i> ; <i>Comatricha ellae</i>	21.30 (N=2)	41.75 (N=2)	14.27 (N=2)
<b>Nisan</b>	<i>Arcyria annulifera</i> ; <i>Collaria lurida</i> ; <i>Macbrideola cornea</i> ; <i>Stemonitis fusca</i>	20.88 (N=10)	38.70 (N=10)	6.66 (N=10)
<b>Mayıs</b>	<i>Ceratiomyxa fructiculosa</i> ; <i>Cribraria violacea</i> ; <i>Licea castanea</i> ; <i>Arcyria</i> sp.; <i>Arcyria cinerea</i> ; <i>Arcyria insignis</i> ; <i>Arcyria annulifera</i> ; <i>Physarum album</i>	24.55 (N=11)	31.68 (N=11)	8.83 (N=11)
<b>Haziran</b>	<i>Comatricha ellae</i>	32.50 (N=2)	32.35 (N=2)	16.60 (N=2)
<b>Temmuz</b>	<i>Licea minima</i>	34.25 (N=2)	27.20 (N=2)	20.45 (N=2)
<b>Ağustos</b>	Örnekleme Yapılmadı	Ölçüm Yapılmadı		
<b>Eylül</b>	Örnekleme Yapılmadı	Ölçüm Yapılmadı		
<b>Ekim</b>	<i>Echinostelium minutum</i> ; <i>Cribraria cancellata</i> ; <i>Arcyria</i> sp.; <i>Arcyria cinerea</i> ; <i>Arcyria obvelata</i> ; <i>Arcyria nigella</i> ; <i>Arcyria globosa</i> ; <i>Arcyria annulifera</i> ; <i>Perichaena corticalis</i> ; <i>Trichia decipiens</i> ; <i>Didymium difforme</i>	21.51 (N=21)	32.2 (N=21)	6.96 (N=21)
<b>Kasım</b>	<i>Echinostelium minutum</i> ; <i>Arcyria cinerea</i> ; <i>Macbrideola cornea</i>	13.87 (N=20)	43.03 (N=20)	8.63 (N=20)
<b>Aralık</b>	<i>Didymium difforme</i> ; <i>Comatricha nigra</i> ; <i>Stemonitis fusca</i>	6.16 (N=10)	32.26 (N=10)	2.99 (N=10)

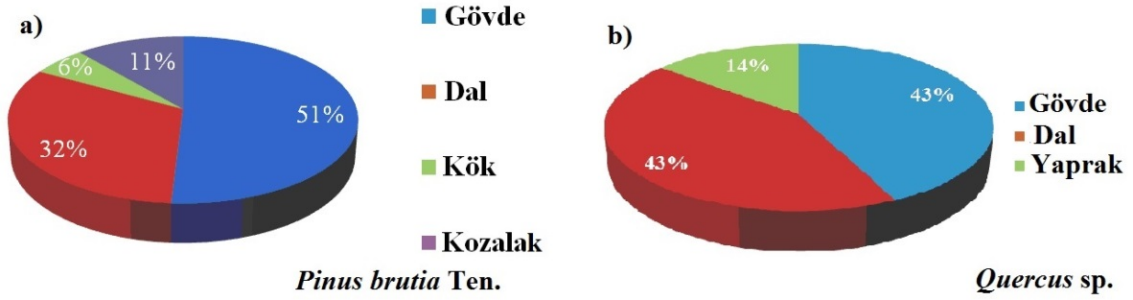
\* iklimsel veriler ortalama değerler olarak verilmiştir N, ölçüm sayısını göstermektedir.

Sıcaklık ve nem miksomisetlerin oluşumunu sınırlayan önemli faktörlerdendir. Ayrıca araştırma alanının yüksekliği 106-770 m arasında değişmekle beraber türlerin çoğunluğu yaklaşık 200 m' ye kadar olan alan örneklemelerinden tespit edilmiştir. Sonuç

olarak nem oranının yüksek (yaklaşık olarak %32-54) ve sıcaklık oranının yaklaşık olarak 17-25 °C olduğu ay/mevsimlerde daha fazla sayıda miksomiset taksonu belirlenmiştir. Nem oranının düşük olduğu kuru aylarda (örneğin Şubat, Mayıs ve Ekim ayları,

nem oranı yaklaşık %32) ise daha fazla taksonomik olarak farklı miksomiset taksonları tespit edilmiştir (Tablo 1). Ancak bazı türlerin nem ve sıcaklığa bağlı dağılımlarında farklılıklar mevcuttur, bu durumun ay bazında yapılan örneklemelerin farklı sayılarda olmasından kaynaklandığını düşünmekteyiz. Aynı zamanda örnekleme sayısının düşük olduğu aylarda nem ve sıcaklık ölçümleri de düşük sayıdadır. Bu durumda iklimsel verilere bağlı olarak istatistiksel

olarak tutarlı miksomiset sayısı ve farklı taksonlarını tespit etmek güçleşmektedir. Benzer sonuçlar daha önce yapılmış çalışmalarda da görülmektedir. Çalışma alanında *Pinus brutia* için; %51 gövde kabuğu, %32 dal, %11 kozalak, %6 kök ve *Quercus* sp. için; %43 gövde kabuğu, %43 dal ve %14 yaprak üzerinde miksomisetler tespit edilmiştir (Şekil 4). Ayrıca gövde kabuğunda en çok *Aryria cinerea* nemli oda kültürlerinden elde edilebilmiştir.



Şekil 4. Miksomisetlerin Substratların Üzerinde Geliştiği Yere Göre Yayılımları (a: *Pinus brutia*; b: *Quercus* sp.)

Araştırma bölgesinden tespit edilen 16 cinsin yüzdeleri sırasıyla; *Ceratiomyxa* (%3), *Echinostelium* (%3), *Cribraria* (%6), *Lycogala* (%3), *Licea* (%10), *Arcyria* (%30), *Perichaena* (%3), *Trichia* (%3), *Didymium* (%7), *Physarum* (%7), *Collaria* (%3), *Comatricha* (%7), *Enerthenema* (%3), *Macbrideola* (%3), *Stemonitis* (%3) ve *Stemonitopsis* (%3)'dir (Şekil 3).

Çalışılan alanlardaki miksomiset dağılımları genellikle benzerlik göstermekte ve belirlenen çoğu tür kozmopolittir. Araştırma alanında belirlenen en yaygın tür ise *Arcyria cinerea*'dir. Baba [2] Manisa ilinde yaptığı çalışmasında en çok tespit ettiği türler: *Echinostelium minutum*, *Arcyria cinerea* ve *Arcyria pomiformis*'dir. Dagamac ve ark. [24] yapmış oldukları bir çalışmada belirledikleri 21 miksomiset türünden *A. cinerea*'nin en yaygın tür olduğunu belirtmişlerdir.

Ülkemizde miksomisetlerle ilgili son zamanlarda farklı bölgelerde çok sayıda araştırma gerçekleştirilmiştir [25-27]. Ancak araştırmalar beklenen seviye de değildir. Daha önce miksobiyotası

çalışılmamış olan Kemalpaşa ve civarının miksomiset dağılımını ve yaygın türlerini belirlemeye yönelik yapılan bu çalışmanın ileride yapılacak olan araştırmalara ve ülkemiz miksobiyotasına katkı sağlayabileceğini düşünmekteyiz.

## Kaynaklar

- [1] Keller, H.W., Kilgore, M.C., Everthart, S.E., Carmack, J.G., Crabtree, D.C. and Scarborough, R.A., "Myxomycete Plasmodial and Fruiting Bodies: Unusual Occurrences and User-Friendly Study Techniques", *Fungi*, 1(1): 24-37 (2008).
- [2] Baba, H., "Manisa İli Miksomisetlerinin Taksonomik Yönden İncelenmesi", Doktora Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Manisa, 114, (2007).
- [3] Kilgore, M.C., Keller, W.H. and Ely, S.J., "Aerial Reproductive Structures of Vascular Plants as a Microhabitat for Myxomycetes", *Mycologia*, 101(3): 305-319 (2009).
- [4] Stephenson, S.L. and Stempen, H., "Myxomycetes: A Handbook of Slime Molds", Timber Press, Inc., USA. (1994).

- [5] Alexopoulos, C.J., Mims, C.W. and Blackwell, M., “Introductory Mycology”, 4<sup>th</sup> Edition, John Wiley and Sons, Inc. New York (1996).
- [6] Zümre, M., Baba, H. ve Gelen, M., “Türkiye Miksomisetleri için Yeni Bir Varyete Kaydı”, Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 3(8): 47-51 (2013).
- [7] Sarıoğlu, S., “Eskişehir Kırka Ormanı Myxomyceteleri”, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Afyonkarahisar, 94, (2011).
- [8] Keller, H.W. and Everhart, S.E., “Importance of Myxomycetes in Biological Research and Teaching” Fungi, 3(1): 13-27 (2010).
- [9] Süerdem, T.B., “Dünyada ve Türkiye’de Miksomiset Çalışmaları ve Taksonomik Özelliklerine Genel Bir Bakış” 1.Ulusal Mikoloji Günleri, Erzurum, 37-38, (2014).
- [10] Şimşek, C., Demirkıran, Z., Çetiner, L., Gündüz, O. ve Öcal, G., “Kemalpaşa Ovasının Üç Boyutlu İnteraktif Hidrojeolojik Modeli”, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 11(31): 11-21 (2009).
- [11] Yörük, Ş., “Kemalpaşa İlçesinde Eğitim Çevre İlişkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Uşak Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Uşak, 116, (2010).
- [12] Gilbert, H.C. and Martin, G.W., “Myxomycetes Found on the Bark of Living Trees”, University of Iowa, Iowa Studies in Natural History. 15(3): 3-5 (1933).
- [13] Farr, M.L., “True Slime Molds”, Wm. C. Brown, Comp. Pulp. Dubuque, Iowa, 132, (1981).
- [14] Martin, G.W. and Alexopoulos, C.J., “Monograph of the Myxomycetes” University of Iowa Press, Iowa City (1969).
- [15] Neubert, H., Nowotny, W., Baumann, K. and Marx, H., “Die Myxomyceten (Band III)”, Gomaringen, Karlheinz Baumann Verlag, (2000).
- [16] Oran, R.B., “Marmara Bölgesinde Yayılış Gösteren *Quercus* L. (Meşe) Türleri Üzerindeki Kortikol Miksomisetlerin Belirlenmesi”, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 225, (2011).
- [17] Sesli, E. and Denchev, C.M., “Checklists of the Myxomycetes, larger *Ascomycetes* and larger *Basidiomycetes* in Turkey”, Mycotaxon, 106: 65-67 (2009).
- [18] Anonim, <http://www.speciesfungorum.org> Erişim tarihi: 10.01.2015.
- [19] Anonim, <http://www.catalogueoflife.org> Erişim tarihi: 15.01.2015.
- [20] Anonim, <http://www.nomen.eumycetozoa.com> Erişim tarihi: 15.01.2015.
- [21] Anonim, <http://www.discoverlife.org> Erişim tarihi: 15.01.2015.
- [22] Baba, H., “Myxomycetes of Mustafa Kemal University campus and environs (Turkey)”, Turkish Journal of Botany, 36: 769-777 (2012).
- [23] Baba, H., “Diversity and Ecology of Myxomycetes in Antakya-Hatay (Turkey)” Mantar Dergisi, 3(1-2): 5-11 (2012).
- [24] Dagamac, N.H.A., Stephenson, S.L. and Dela Cruz, T.E.E., “Occurrence, distribution and diversity of myxomycetes (plasmodial slime moulds) along two transects in Mt. Arayat National Park, Pampanga, Philippines”, Mycology, 3(2): 119-126 (2012).
- [25] Eroğlu, G., Öztürk, C., Kaşık, G., Doğan, H.H., Aktaş, S. and Alkan, S., “Some myxomycete from Çivril (Denizli-Turkey) province”, Journal of Selçuk University Natural and Applied Science, 3(4): 21-26 (2014).
- [26] Oran, R.B. and Ergül, C.C., “New Records for the Myxobiota of Turkey”, Turkish Journal of Botany, 28: 511-515 (2004).
- [27] Baba, H., “A new Myxomycetes Genus and Three Species Record for Turkey”, International Journal of Botany, 4(3): 336-339 (2008).

**Geliş Tarihi:** 31.03.2015

**Kabul Tarihi:** 12.05.2015