

TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası

Teknik Dergi

Cilt 30 Sayı 3 Mayıs 2019

TEKNİK DERGİ YAYIN İLKELERİ

Teknik Dergi, inşaat mühendisliğinin bütün alanlarını içeren, Science Citation Index Expanded (Genişletilmiş Bilimsel Atıf Endeksi) kapsamında bilimsel ve teknik bir dergidir. Ocak, Mayıs ve Eylül aylarında Türkçe, Mart, Temmuz ve Kasım aylarında İngilizce olmak üzere yılda altı sayı olarak yayımlanır. Derginin yayın ilkelerinden başlıcaları aşağıda özetlenmektedir:

1. Yalnızca özgün bilimsel araştırma çalışmalarını ve ilginç mühendislik uygulamaları yansıtan yazılara yer verilir. “Özgünlük” kapsamı içinde, çalışmanın ya yeni bilgi üretmiş olması veya varolan bilgiye yeni bir boyut kazandırmış olması, ya da yeni bir yöntem geliştirmiş veya bilinen bir yöntemi elle tutulur bir ölçüde ilerletmiş olması koşulu aranır.
2. Bilimsel çalışmaların öndeğerlendirme sonuçlarını aktaran yazılar ile bilimsel içeriği makale için yeterli görülmeyen, ancak okuyucuya yararlı bilgi aktarabileceği düşünülen yazılar, “teknik not” olarak yayımlanabilir.
3. Yayın tarihinden başlayarak üç ay içinde, okurlardan alınan tartışma yazıları, Yayın Kurulu’nca değerlendirildikten sonra, yazarın yanıtı ile birlikte yayımlanır.
4. Yayımlanmak üzere gönderilen yazılar iki veya üç danışman tarafından değerlendirilir; kabul-red kararı Yayın Kurulu tarafından verilir. Yazıları değerlendiren danışman adları yazarlara bildirilmez. Yeterli görülmeyen yazıların danışman önerileri doğrultusunda geliştirilmesi genel yaklaşımdır. Amaçlanan düzeye erişilemeyen yazılar reddedilir.
5. Yazardan, yazının daha önce “dergi makalesi veya kitap bölümü olarak yayımlanmamış” olduğunu belirten imzalı bir bildirim alınır. Yayın Kurulu, yazının ufak tefek değişikliklerle başka bir dergide/kitapta yayımlanmış olduğu ya da intihal vb bir başka etik ihlali bulunduğu kanısına ulaşırsa, yalnızca o yazı değil, o yazarın hiçbir yazısı yayımlanmaz.
6. Daha önce bir konferansa bildiri olarak sunulmuş olan bir çalışmayı geliştirerek aktaran yazılar yayımlanabilir. Bu durumda, daha önce sunulduğu konferans, birinci sayfada dip not olarak belirtilir.
7. Ayrıca, yazar(lar) tarafından imzalanmış, yazının telif hakkının TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası’na devredildiğini bildiren bir belgenin yazı ile birlikte gönderilmesi istenir.

 TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası

Teknik Dergi

*Technical Journal
of
Turkish Chamber of Civil Engineers
Volume 30 Number 3 May 2019*

Cilt 30 Sayı 3 Mayıs 2019



TMMOB

İnşaat Mühendisleri Odası

Necatibey Cad. No: 57, Kızılay 06440 Ankara

Tel: 0.312.294 30 00 - Faks: 294 30 88

E-posta: imo@imo.org.tr - www.imo.org.tr

Sahibi:

TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası adına

Cemal GÖKÇE

Yazı İşleri Müdürü:

Bahaettin SARI

Cilt 30 - Sayı 3 - Mayıs 2019

İki ayda bir yayınlanır, yerel süreli yayın.

Baskı tarihi: 1 Mayıs 2019 / 1.000 adet basılmıştır.

Yayın Kurulu'nun yazılı onayı olmaksızın alıntı yapılamaz.

ISSN: 1300-3453

TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası

Teknik Dergi

Yayın Kurulu:

Süheyl AKMAN
Ender ARKUN
İsmail AYDIN
Özer ÇİNİCİOĞLU
Metin GER
Gürkan Emre GÜRCANLI
Alper İLKİ
Cem OĞUZ
Kutay ORAKÇAL
Günay ÖZMEN
Baki ÖZTÜRK
İsmail ŞAHİN
Özkan ŞENGÜL
Tuğrul TANKUT

Editör:

Tuğrul TANKUT

Yardımcı Editörler:

Ender ARKUN
İsmail AYDIN
Özer ÇİNİCİOĞLU
Metin GER
Gürkan Emre GÜRCANLI
Alper İLKİ
Kutay ORAKÇAL
İsmail ŞAHİN
Özkan ŞENGÜL

Yayın Sekreteri:

Cemal ÇİMEN

Teknik Dergi

- Science Citation Index Expanded
- Scopus
- Journal Citation Reports / Science Edition
- Engineering Index
- Concrete Abstracts (American Concrete Institute)
- National Technical Information Service (US NTIS)
- CITIS
- Ulrich's International Periodical's Directory
- TÜBİTAK / ULAKBİM

tarafından taranmaktadır.

Teknik Dergi, özgün bilimsel araştırmalar ile ilginç uygulama çalışmalarına yer veren ve bu niteliği ile hem araştırmacılara hem de uygulamadaki mühendislere seslenmeyi amaçlayan hakem sistemini etkin kullanan açık erişimli bir dergidir.

Danışmanlar:

Bu liste, son iki yayın yılında danışmanlık yapmış olan kişileri içerir ve her Ocak sayısında yenilenir.

Ayda Şafak AĞAR ÖZBEK	Hilmi Berk ÇELİKOĞLU	M. Rifat KAHYAOĞLU	Mehmet SALTAN
Ragıp AKBAŞ	Kemal Önder ÇETİN	Volkan KALPAKÇI	Altuğ SAYGILI
Sami Oğuzhan AKBAŞ	Mecit ÇETİN	Erhan KARAESMEN	Hasan SAYGIN
Rıfat AKBIYIKLI	Reha ÇETİNKAYA	Halil KARAHAN	Neslihan SEÇKİN
Özge AKBOĞA KALE	Safiye Feyza ÇİNİCİOĞLU	Himmet KARAMAN	Serdar SELAMET
Burcu AKÇAY	Erdal ÇOKÇA	Mustafa KARASHAHİN	Serdar SOYÖZ
ALDANMAZ	Kutlu DARILMAZ	İlker KAZAZ	Ayşe Filiz SUNAR
Cihan Taylan AKDAĞ	Cem DEMİR	Cevza Melek	Erol ŞADOĞLU
Cem AKGÜNER	Ender DEMİREL	KAZEZYILMAZ ALHAN	Burak ŞENGÖZ
M. Vefa AKPINAR	Mehmet Cüneyd DEMİREL	Mustafa Kubilay	Aykut ŞENOL
Atakan AKSOY	Fatih DİKBAŞ	KELEŞOĞLU	Ali Ünal ŞORMAN
Zuhal AKYÜREK	Seyyit Ümit DİKMEN	Elçin KENTEL	Özcan TAN
Fatih ALEMDAR	İrem DİKMEN TOKER	Havvanur KILIÇ	Ali Hamza TANRIKULU
Pelin ALPKÖKİN	Ahmet Anıl DİNDAR	Ufuk KIRBAŞ	Serhan TANYEL
Sinan ALTIN	Emrah DOĞAN	Veysel Şadan Özgür KIRCA	Ergin TARI
Hilmi Doğan ALTINBİLEK	Nurhan ECEMİŞ ZEREN	Gökhan KIRKIL	Taha TAŞKIRAN
Adlen ALTUNBAŞ	Özgür EKİNCİOĞLU	Niyazi Uğur KOÇKAL	Gökmen TAYFUR
Fuat ARAS	Alper ELÇİ	Önder KOÇYİĞİT	Berrak TEYMUR
Davit ARDITI	Şebnem ELÇİ	Mete KÖKEN	H. Onur TEZCAN
Deniz ARTAN İLTER	Nilay ELGINÖZ KANAT	Ali Ümran KÖMÜŞÇÜ	Mesut TİĞDEMİR
Hakan Nuri ATAHAN	Murat Altuğ ERBERİK	Özgür KURÇ	Şahnaz TİĞREK
Shady ATTIA	E. Mete ERDEMGİL	Akif KUTLU	Vedat TOĞAN
Mustafa Tamer AYVAZ	Saffet ERDOĞAN	Semih KÜÇÜKARSLAN	Onur Behzat TOKDEMİR
Lale BALAS	Esin ERGEN PEHLEVAN	Hilmi LUŞ	Nabi Kartal TOKER
Selim BARADAN	Aysen ERGİN	Kasım MERMERTAŞ	Mustafa TOKYAY
Bekir Oğuz BARTIN	Gökmen ERGÜN	Mehmet Murat MONKUL	Ali TOPAL
Bilge BAŞ	Esra Ece ESELLER BAYAT	Yetiş Şazi MURAT	Cem TOPKAYA
Zeynep BAŞARAN	Tuğba ESKİŞAR TEFCİ	Elif OĞUZ	Ahmet TORTUM
BUNDUR	Güngör EVREN	Mehmet Hakkı OMURTAG	Gökçe TÖNÜK
Cüneyt BAYKAL	Antonio FORMISANO	Sema ONURLU	Nursu TUNALIOĞLU
Zerrin BAYRAKДАР	Nuray GEDİK	Engin ORAKDÖĞEN	Eda TURAN
İdris BEDİRHANOĞLU	Ergun GEDİZLIOĞLU	Şeref ORUÇ	Ahmet TÜRER
Serkan BEKİROĞLU	Haluk GERÇEK	Okan ÖNAL	Kaan TÜRKER
Mehmet BERİLGİN	İlgin GÖKAŞAR	Akın ÖNALP	Handan TÜRKÖĞLU
Saadet Arzu BERİLGİN	Çağlar GÖKSU	Aybike ÖNGEL	Cüneyt TÜZÜN
Niyazi Özgür BEZGİN	Burcu GÜLDÜR ERKAL	Bihra ÖNÖZ	Eren UÇKAN
Selçuk BİLDİK	Fazlı Erol GÜLER	Ali Hakan ÖREN	Berna UNUTMAZ
Senem BİLİR MAHÇİÇEK	Zeynep GÜLERCE	Murat ÖZEN	Mehmet UTKU
Barış BİNİCİ	Taylan GÜNAY	Pelin ÖZENER	Volkan Emre UZ
İlknur BOZBEY	Necmettin GÜNDÜZ	Abdullah Tolga ÖZER	Deniz ÜLGEN
Zafer BOZKUŞ	Abdurrahman GÜNER	Eren Arman ÖZGÜVEN	Aslı ÜLKE KESKİN
Burcu BURAK BAKIR	Ülker GÜNER BACANLI	Hakkı Oral ÖZHAN	Alper ÜNLÜ
Erdem CANBAY	Aslı Pelin GÜRGÜN	Zeynep Huri ÖZKUL	Ahmet YAKUT
Zekai CELEP	İpek GÜRSEL DİNO	BİRGÖREN	İsmail Özgür YAMAN
Cihan CENGİZ	Gürşans GÜVEN İŞİN	Beliz ÖZORHON	A. Melih YANMAZ
Halim CEYLAN	Soner HALDENBİLEN	ORAKÇAL	Mert Yücel YARDIMCI
Ömer CİVALEK	Murat HAMDERİ	Sadık ÖZTOPRAK	Ufuk YAZGAN
Mustafa CÖMERT	Zeki HASGÜR	Turan ÖZTURAN	Anıl YAZICI
Ali Fırat ÇABALAR	Abdul HAYIR	Baki ÖZTÜRK	Emine Beyhan YEĞEN
Barlas Özden ÇAĞLAYAN	Nejan HUVAJ SARIHAN	Mustafa ÖZUYSAL	İrem Zeynep YILDIRIM
Özgür ÇAKIR	Zeynep İŞİK	Tolga Yılmaz ÖZÜDOĞRU	Koray Kamil YILMAZ
Gülben ÇALIŞ	Sabriye Banu İKİZLER	Nilüfer ÖZYURT	M. Tuğrul YILMAZ
Necati ÇATBAŞ	Eren İNCİ	ZİHNİOĞLU	Mehmet YILMAZ
Erkan ÇELEBİ	Pınar İNCİ	Bekir Yılmaz PEKMEZCİ	İsmail YÜCEL
Kutay ÇELEBİOĞLU	Erdal İRTEM	Şamil Şeref POLAT	Yeliz YÜKSELEN AKSOY
Ahmet Ozan ÇELİK	Recep İYİSAN	Gül POLAT TATAR	Nabi YÜZER
Oğuz Cem ÇELİK	Nihat KABAY	Selim PUL	Ahmet Şahin ZAİMOĞLU
Osman Nuri ÇELİK		Selman SAĞLAM	

TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası

Teknik Dergi

Cilt: 30 Sayı: 3 Mayıs 2019

İÇİNDEKİLER

- Mesnetlerinden Farklı Yer Hareketlerine Maruz Çok Katlı Çerçevelerin
Deplasman Yüklemesine Göre Analizi..... 9053
Çağlayan HIZAL, Gürsoy TURAN
- Batı Akdeniz Havzası Sınırlarının Yüksek Doğrulukla Belirlenmesi..... 9073
**Türkay GÖKGÖZ, Mustafa ERDOĞAN, Kemal SEYREK,
İ. Murat OZULU**
- İstanbul'daki 2000 Yılı Sonrası Binalar İçin Tasarıma Esas Deprem Seviyesi
Altında Karşılaştırmalı Yapısal Hasar ve Mali Kayıp Tahminleri..... 9107
Ufuk HANCILAR, Karın ŞEŞETİYAN, Eser ÇAKTI
- Tarihi Yapı Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesinde Yeni Bir Yöntem Önerisi:
Lala Paşa Camii Örneği..... 9125
İrfan KOCAMAN, Dilek OKUYUCU, İlker KAZAZ
- İnşaat Sektöründe Mesleki Eğitim Performans Göstergeleri..... 9147
**Zeynep IŞIK, Cenk BUDAYAN, Hande ALADAĞ,
Gökhan DEMİRDÖĞEN, Tamer YILMAZ, David ARDITI**
- İstanbul'da Yol Kenarı Parklarda Kullanıcı Alışkanlıklarının İncelenmesi 9175
Abdullah DEMİR
- TEKNİK NOT**
- Yağışın Alansal Dağılımının Haritalandırılmasında Enterpolasyon
Yöntemlerinin Karşılaştırılması: Akdeniz Bölgesi Örneği..... 9213
Ahmet İLKER, Özlem TERZİ, Erhan ŞENER

Mesnetlerinden Farklı Yer Hareketlerine Maruz Çok Katlı Çerçeveselerin Deplasman Yüklemesine Göre Analizi

Çağlayan HIZAL¹
Gürsoy TURAN²

ÖZ

Yapıların sismik analizinde, genellikle tüm mesnetlerde aynı yer hareketinin olduğu kabul edilmektedir. Yapı temelinin rijit plakla teşkil edildiği durumlarda gerçekçi olduğu düşünülen bu yaklaşım, mesnetlerin birbirinden bağımsız hareket edebilmesi durumunda deprem dalgası ilerleyişinin dinamik analize olan etkisini hesaba katamamaktadır. Bu çalışmada, mesnetlerinden farklı yer hareketlerine maruz çok katlı çok açıklıklı çerçeveselerin dinamik davranışı, deprem yükünün yer deplasmanına bağlı olarak tanımlandığı deplasman yüklemesi kullanılarak incelenmiştir. Farklı mesnet hareketlerine maruz yapıların modal analiz prosedürü detaylı olarak anlatılmış ve sözde statik deplasmanların yapının dinamik davranışına olan etkisi vurgulanmıştır. Deplasman yüklemesi ile ortaya çıkan yüksek mod etkilerinin, az sayıda titreşim modu hesaba katılarak elde edilmesi için bir statik düzeltme yöntemi kullanılmış ve yöntemin geçerliliği verilen bir sayısal örnekle gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Deplasman yüklemesi, çoklu mesnet hareketi, statik düzeltme yöntemi.

ABSTRACT

Analysis of Multi Story Frames Subjected to Multiple Support Excitation by Using Displacement Loading

In seismic analysis of structures, generally it is assumed that all supports are subjected to identical ground motions. This approach is assumed to be realistic when the foundation of the structure is formed as a rigid plate, but it cannot consider the dynamic effects of the earthquake wave propagation if the supports are able to move independently. In this study, the multi-support excitation analysis of multi-story, multi bay frames is performed by using displacement loading which defines the seismic load depending on the ground displacement. The modal analysis procedure of the structures subjected to multi-support excitations is given

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 27.03.2017 günü ulaşmıştır. 17.04.2018 günü yayımlanmak üzere kabul edilmiştir.
- 31 Temmuz 2019 gününe kadar tartışmaya açıktır.

• <https://dx.doi.org/10.18400/tekderg.298564>

1 İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir - caglayanhizal@iyte.edu.tr
<https://orcid.org/0000-0002-9783-6511>

2 İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir - gursoyturan@iyte.edu.tr
<https://orcid.org/0000-0003-4817-0351>

in detail and the effect of pseudo-static displacement on the dynamic response of the structure is highlighted. A static correction approach is implemented with a numerical example to reflect the higher mode effects which are a natural result of displacement loading.

Keywords: Displacement loading, multi-support excitation, static correction method.

1. GİRİŞ

Yapıların deprem etkisi altındaki davranışı incelenirken, deprem yükü genellikle yer ivmesi ve yapı kütesine bağlı olarak elde edilmektedir. Bina türü yapılarda ise dinamik hesap modeli oluşturulurken bütün mesnetlerin aynı deprem ivmesine maruz kaldığı kabul edilmektedir. Mesnet sayısının az ve mesnetler arasındaki mesafelerin kısa olması durumunda bu varsayım gerçekçi olabilmektedir. Yapı temelinin yeterince rijit olmadığı durumlarda deprem dalgasının zemindeki ilerleme hızı, özellikle yumuşak zeminlerde, dikkate alındığında ise tüm mesnetlerde aynı deprem ivmesinin oluşması beklenemez. Bu durumda dinamik hareket denkleminin çoklu/farklı mesnet hareketlerini içerecek şekilde elde edilmesi gerekmektedir. Çoklu mesnet hareketinin köprü türü uzun açıklıklı yapılara olan etkisi literatürde birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir [1-8]. Bu araştırmacıların çoğu deprem dalgasının yalnızca zaman gecikmesine uğramadığını, aynı zamanda uzaysal değişime de maruz kaldığını vurgulamaktadır. Literatürde çoklu/farklı mesnet hareketlerine göre dinamik analiz genellikle köprü benzeri yapılar için incelenmiş olup bina türü yapılar için Allam ve Rambabu'nun tek katlı ve iki açıklıklı yapılar üzerine yaptıkları incelemeler dışında bilinen bir çalışma bulunmamaktadır [9-10].

Yapılan araştırmaların birçoğunda deprem hareketi yer ivmeleriyle tanımlanmaktadır. Bu tanım gereğince hareket denklemleri rölatif deplasmanlara göre elde edilmekte olup farklı mesnet hareketlerine göre analiz yapılması durumunda yapının mutlak deplasmanlarının elde edilmesi bir gereklilik haline almaktadır [11]. Yapının mutlak deplasmanları ise rölatif ve sözde statik yapısal deplasmanların toplamı olarak elde edilmektedir. Mesnetlerin aynı deprem hareketine maruz kalması durumunda mutlak deplasmanlar rölatif deplasmanlarla yer deplasmanının toplanması ile kolayca elde edilebilmektedir. Farklı mesnet hareketi durumunda ise sözde statik deplasmanların önemi artmaktadır. Deprem yükünün mesnet rijitliği ve yer deplasmanına bağlı olarak tanımlandığı deplasman yüklemesinde, hareket denklemleri mutlak koordinatlara göre elde edildiğinden herhangi bir koordinat dönüşümüne gerek kalmamaktadır.

Deplasman yüklemesinin yarattığı en önemli problem, yüksek modların tetiklenmesi durumudur [12]. Modal analiz yapılması durumunda, yapıların deprem tasarımında önemli rol oynayan taban kesme kuvveti ve eğilme momentleri, ivme yüklemesinde az sayıda moda katılarak elde edilebilmektedir. Deplasman yüklemesinde ise yüksek modların baskın olması sebebiyle gerçekçi bir çözüm için bazı durumlarda neredeyse bütün modların hesaba katılması gerekmektedir. Bu durum Tsai [11] tarafından önerilen bir statik düzeltme yöntemiyle aşılabilmekte ve az sayıda moda katılarak gerçek taban kesme kuvveti/eğilme momentleri elde edilebilmektedir. Deplasman yüklemesi ile ilgili literatürde yer alan çalışmalarda çoğunlukla kapalı çözüm uygulanmış ve nümerik hatalar üzerinde durulmuştur [13]. Yapılan literatür incelemesinde, yalnızca birkaç çalışmada deplasman yüklemesine maruz sistemlerin modal davranışının incelendiği görülmüştür [5, 11].

Dinamik analiz sırasında, incelenen yapının ve/veya yapıya etki eden dinamik kuvvetlerin frekans içeriğine bağlı olarak da yüksek mod etkileri ortaya çıkabilmektedir. Yüksek mod periyotlarının uygulanan dinamik yükün periyoduna oranla çok küçük olması nedeniyle, bu modlara ait eylemsizlik ve sönüm etkilerinin ihmal edilmesi mümkündür [14]. Bu durum için Chopra [14] tarafından önerilen formülasyonla yüksek modların dinamik (rölatif) deplasmanlara olan etkisi statik olarak hesaplanabilmektedir. Deplasman yüklemesinde görülen yüksek mod etkisi ise uygulanan dinamik yükün veya yapının frekans içeriğine bağlı olarak değil, yer hareketine bağlı olarak oluşan sözde statik deplasmanlar nedeniyle meydana gelmektedir [11]. Bu nedenle Tsai [11] tarafından deplasman yüklemesi için önerilen statik düzeltme yönteminin Chopra [14] tarafından bahsedilen yöntemden farkı da dinamik (rölatif) deplasmanlara değil, sözde-statik deplasmanlara uygulanmasıdır.

Bu çalışmada, yalnızca zaman gecikmesine sahip sismik yer deplasmanları nedeniyle mesnetlerinde farklı yer ivmelerine maruz kalan çok katlı çok açıklıklı modal analizi deplasman yüklemesine göre gerçekleştirilmiş, verilen sayısal analizde yer hareketinin taban kesme kuvvetlerine olan etkisi incelenmiştir.

2. HAREKET DENKLEMİNİN ELDE EDİLMESİ

Deprem hareketine maruz, çok serbestlik dereceli topaklanmış kütleli bir sistemin hareket denklemi, yapısal ve kısıtlanmış(mesnet) serbestlik derecelerini içerecek şekilde aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} M_{ss} & 0 \\ 0 & M_{rr} \end{bmatrix} + \begin{Bmatrix} \ddot{u}_s(t) \\ \ddot{u}_r(t) \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{ss} & C_{sr} \\ C_{rs} & C_{rr} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{u}_s(t) \\ \dot{u}_r(t) \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{ss} & K_{sr} \\ K_{rs} & K_{rr} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_s(t) \\ u_r(t) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ F_r(t) \end{Bmatrix} \quad (1)$$

Burada M_{ss} , C_{ss} ve K_{ss} yapısal serbestlik derecelerine ait kütle, sönüm ve rijitlik matrisini, M_{rr} , C_{rr} ve K_{rr} kısıtlanmış serbestlik derecelerine ait kütle, sönüm ve rijitlik matrisini, C_{rs} ve K_{rs} ise yapısal ve kısıtlanmış serbestlik derecelerinin birleşik sönüm ve rijitlik matrisini göstermektedir. $u_s(t)$ ve $u_r(t)$ ise sırasıyla yapısal mutlak deplasmanları ve yer deplasmanı vektörünü göstermektedir. Yapısal serbestlik derecesi sayısının N ile, kısıtlanmış serbestlik derecesi sayısının ise N_g ile gösterilmesi durumunda M_{ss} , C_{ss} ve K_{ss} matrisleri $N \times N$, M_{rr} , C_{rr} ve K_{rr} matrisleri $N_g \times N_g$, C_{rs} ve K_{rs} matrisleri ise $N \times N_g$ boyutlu olmaktadır. Eğer sönüm matrisi kütle ile orantılı olarak kabul edilirse C_{rs} matrisi sıfır matrisi olmaktadır. Bu durumda Denklem (1)'in birinci ve ikinci satırı aşağıdaki gibi yazılır.

$$M_{ss} \ddot{u}_s(t) + C_{ss} \dot{u}_s(t) + K_{ss} u_s(t) = -K_{sr} u_r(t) \quad (2)$$

$$M_{rr} \ddot{u}_s(t) + C_{rr} \dot{u}_g(t) + K_{rs} u_s(t) + K_{rr} u_r(t) = F_r(t) \quad (3)$$

Burada, Denklem (2) ve (3) sırasıyla yapısal ve kısıtlanmış serbestlik derecelerine ait hareket denklemini göstermektedir. Yapısal deplasman vektörü mod süperpozisyon yöntemi kullanılarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$u_s(t) = \sum_{n=1}^N \phi_n q_n(t) \quad (4)$$

Bu durumda n 'inci moda ait ayrık hareket denklemi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$M_n \ddot{q}_n(t) + C_n \dot{q}_n(t) + K_n q_n(t) = \phi_n^T K_{sr} u_r(t) \quad (5)$$

Denklem (5)'de verilen M_n , C_n ve K_n , n 'inci moda ait genelleştirilmiş kütle, sönüm ve rijitlik değerini göstermektedir.

$$\begin{aligned} M_n &= \phi_n^T M_{ss} \phi_n \\ C_n &= \phi_n^T C_{ss} \phi_n \\ K_n &= \phi_n^T K_{ss} \phi_n \end{aligned} \quad (6)$$

Denklem (5)'in her iki tarafı M_n 'ye bölünürse ayrık hareket denklemi aşağıdaki hale gelir.

$$\ddot{q}_n(t) + 2\xi_n \omega_n \dot{q}_n(t) + \omega_n^2 q_n(t) = \Gamma_n u_r(t) \quad (7)$$

Burada Γ_n , $1 \times N_g$ boyutlu modal katılım vektörünü göstermektedir.

$$\Gamma_n = - \frac{\phi_n^T K_{sr}}{\phi_n^T M_{ss} \phi_n} \quad (8)$$

Denklem (2)'nin sağ tarafındaki $-K_{sr}$ matrisi yer deplasmanı vektörünün uzaysal dağılımı olarak adlandırılabilir. Bu durumda uzaysal dağılımın modal bileşenleri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$K_{sr} = \sum_{n=1}^N s_n \quad (9)$$

Burada s_n , yer deplasmanının n 'inci moda ait $N \times N_g$ boyutlu uzaysal dağılım matrisini göstermekte olup aşağıdaki gibi yazılır.

$$s_n = \sum_{n=1}^N M_{ss} \phi_n \Gamma_n \quad (10)$$

s_n matrisinin ve i 'inci kolonu, i 'nci kısıtlanmış serbestlik derecesinin 1 birim hareketi ile oluşan uzaysal dağılım vektörünü göstermektedir.

3. STATİK DÜZELTME YÖNTEMİ

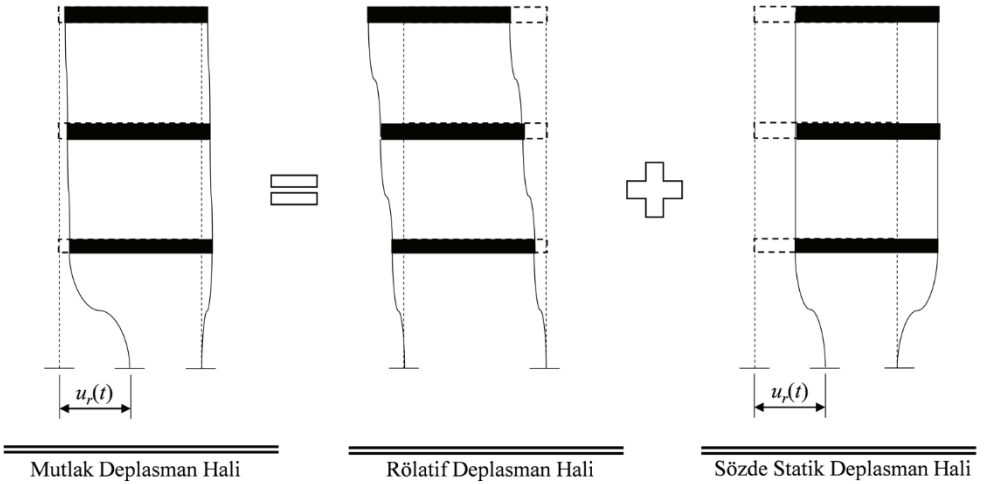
Mutlak deplasmanlarla dinamik (rölatif) deplasmanlar arasındaki ilişki yapıya etki eden elastik kuvvetler ile hesaplanabilir.

$$K_{ss}u_s(t) + K_{sr}u_r(t) = K_{ss}v(t) \quad (11)$$

Burada $v(t)$, yapının dinamik etkilerin görüldüğü rölatif deplasman vektörünü göstermektedir. Yapının mutlak deplasman vektörü ise

$$u_s(t) = v(t) + u_{qs}(t) \quad (12)$$

eşitliğiyle elde edilebilir (bkz. Şekil 1) [11]. Burada, $u_{qs}(t)$ sözde statik deplasman vektörünü göstermekte olup mesnetteki hareketin üst yapıda meydana getirdiği deplasmanlara karşılık gelmektedir. Sözde statik deplasmanlar, yapının dinamik tepkisini içermemekte olup dinamik etkiler rölatif deplasmanlara yansımaktadır.



Şekil 1 - Deplasman durumlarının şematik gösterimi

Eğer Denklem (12), Denklem (11)'de yerine yazılırsa

$$u_{qs}(t) = Ru_r(t) \quad (13)$$

eşitliği elde edilir. Burada R , $N \times N_g$ boyutlu tesir matrisini göstermekte olup aşağıdaki gibi yazılır.

$$R = K_{ss}^{-1} K_{sr} \quad (14)$$

Bu durumda Denklem (12) aşağıdaki gibi yazılır.

$$u_s(t) = v(t) + Ru_r(t) \quad (15)$$

Literatürdeki çalışmalardan bilindiği üzere deplasman yüklemesinde yüksek modlar, ivme yüklemesinde ise genellikle düşük modlar etkili olmaktadır [11-12]. Denklem (15)'de görüldüğü üzere yüksek mod etkisi sözde statik deplasmanlardan kaynaklanmaktadır. Eğer sözde statik deplasmanların etkisi, az sayıda titreşim modunun dikkate alınması durumu için hesaba katılabilirse deplasman yüklemesindeki yüksek mod etkisi ortadan kaldırılabilir. Bu amaçla, deplasman yüklemesinin uzaysal dağılımı, tüm modal bileşenlerin toplamı olarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$-K_{sr} = \sum_{n=1}^N M_{ss} \phi_n \Gamma_n \quad (16)$$

Denklem (16)'da $M_{ss} \phi_n$ yerine $K_{ss} \phi_n / \omega_n^2$ ifadesi yazılır ve gerekli düzenlemeler yapılırsa

$$R = \sum_{n=1}^N \frac{\phi_n \Gamma_n}{\omega_n^2} = \sum_{n=1}^N \phi_n \gamma_n \quad (17)$$

denklemini elde edilir. Burada γ_n , ivme yüklemesi için elde edilen modal katılım oranını göstermekte olup aşağıdaki gibi yazılır.

$$\gamma_n = \frac{\phi_n^T MR}{\phi_n^T M \phi_n} \quad (18)$$

Böylece sözde statik deplasmanlarda hesaba katılmayan yüksek modlar nedeniyle oluşacak etki aşağıdaki denklemle hesaba katılır.

$$\bar{u}_s(t) = \left[R - \sum_{n=1}^m \phi_n \gamma_n \right] u_r(t) \quad (19)$$

Burada m , hesaba katılan mod sayısını göstermektedir. Böylece modal analiz sonunda, ilk m modun hesaba katılmasıyla elde edilen düzeltilmiş deplasman vektörü aşağıdaki gibi yazılır.

$$u_s^d(t) = u_s(t) + \bar{u}_s(t) \quad (20)$$

4. HESABA KATILACAK MOD SAYISININ BELİRLENMESİ

İvme yüklemesinde hesaba katılması gereken mod sayısı için literatürde en çok bilinen yöntem olan toplam etkin kütle oranı baz alınmaktadır. Toplam etkin kütle oranı, 1 birim yer ivmesi etkisi altında her bir modda harekete katılan toplam kütle, yapının toplam kütlelerine bölünmesiyle elde edilmektedir (bkz. Denklem 21) [12].

$$M^* = \frac{\sum_{n=1}^m L_n^2 / M_n}{\mathbf{1}^T M_{ss} R \mathbf{1}} \quad (21)$$

Burada

$$L_n = \mathbf{1}^T M_{ss} \phi_n \quad (22)$$

olarak elde edilmekte olup $\mathbf{1}$ ve $\underline{\mathbf{1}}$, sırasıyla $N \times 1$ ve $N_g \times 1$ boyutlu birim vektörleri göstermektedir. Deplasman yüklemesinde deprem yükü yapının kütleleriyle ilişkili olmayıp, K_{sr} ile yer deplasmanının çarpımı olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle, hesaba katılacak mod sayısının tayininde etkin kütle oranı belirleyici değildir. Deplasman yüklemesinde hesaba katılması gereken belirlenmesi için ise her bir modda harekete geçen rijitliğin hesaplanması gerekmektedir. Bu amaçla, tüm mesnetlerin aynı yer deplasmanına maruz kaldığı kabul edilirse, n 'inci modda oluşan taban kesme kuvveti aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned} V_{bn} &= \mathbf{1}^T M_{ss} \phi_n \Gamma_n \underline{\mathbf{1}} \\ &= \mathbf{1}^T \omega_n^2 M_{ss} \phi_n \Upsilon_n \underline{\mathbf{1}} \end{aligned} \quad (23)$$

Bu durumda toplam etkin rijitlik oranı, hesaba katılan modlardan elde edilen toplam taban kesme kuvvetinin, harekete geçen toplam kuvvete bölünmesiyle Denklem (24)'deki gibi elde edilir.

$$K^* = \frac{\sum_{n=1}^m \mathbf{1}^T K_{ss} \phi_n \Upsilon_n \underline{\mathbf{1}}}{\mathbf{1}^T K_{sr} \underline{\mathbf{1}}} \quad (24)$$

Statik düzeltme uygulanması durumunda ise dinamik çözüm ivme yüklemesinden elde edilen çözüme denk olduğundan, hesaba katılacak mod sayısı toplam etkin kütle oranı kullanılarak elde edilebilir [5].

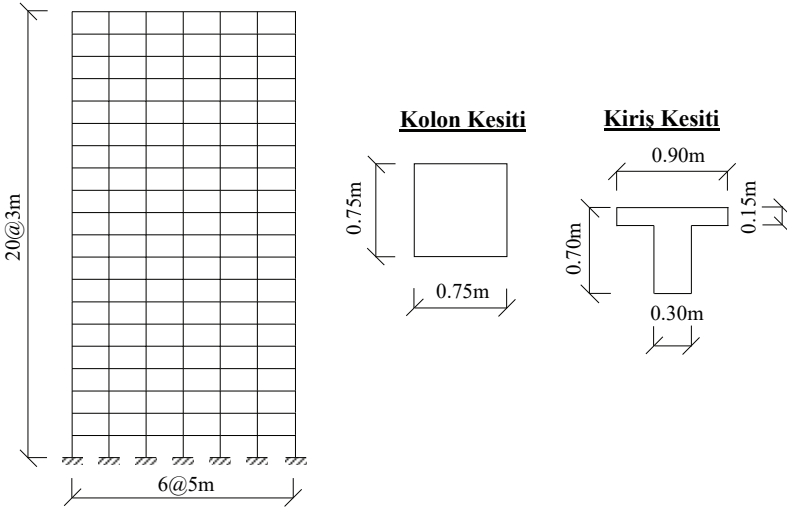
5. SAYISAL ANALİZLER VE TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında sunulan yöntemin tutarlılığının belirlenmesi ve deprem dalgası ilerleme hızının çerçeve türü yapılara olan etkisini görebilmek adına iki adet sayısal uygulama verilmiştir. Sayısal uygulama 1'de deplasman yüklemesinin, statik düzeltme uygulanması ve uygulanmaması durumunda taban kesme kuvveti ve çatı kat

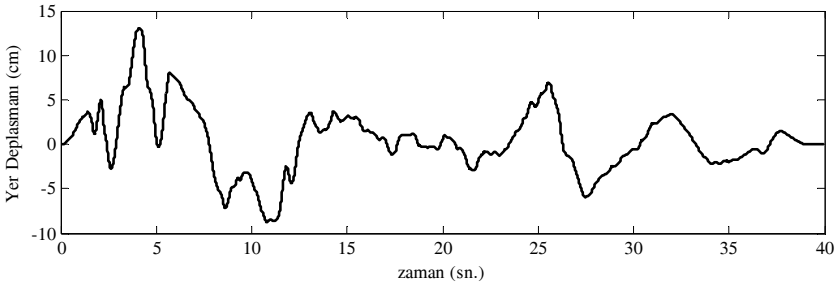
deplasmanlarının modal değişimi üzerine etkisi sunulmuştur. Sayısal uygulama 2’de ise deprem dalgası ilerleme hızının taban kesme kuvvetine olan etkisi incelenmiştir.

5.1. Sayısal Uygulama-1

Deplasman yüklemesinin, taban kesme kuvveti ve çatı katı mutlak deplasmanı modal değişimine olan etkisi 20 katlı ve 6 açıklıklı bir moment çerçevesi üzerinden incelenmiştir. Şematik gösterimi Şekil 2’de verilen moment çerçevesinin her bir katının ağırlığı 1500 kN, betonarme malzemenin elastisite modülü 30.000 MPa’dır. Sönüm oranı ise tüm modlar için %5 olarak alınmıştır. Yapının 2 boyutlu hesap modeli yazarlar tarafından geliştirilen bir MATLAB [15] programı yardımıyla elde edilmiştir. MATLAB [15] modelinin doğruluğunu test etmek amacıyla ayrıca bir SAP 2000 [16] modeli oluşturulmuş ve serbest titreşim periyotları kıyaslanmıştır. Dinamik analiz ise, Şekil 3’de verilen Imperial Valley 1940 depreminin kuzey-güney bileşenine ait yer deplasmanı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

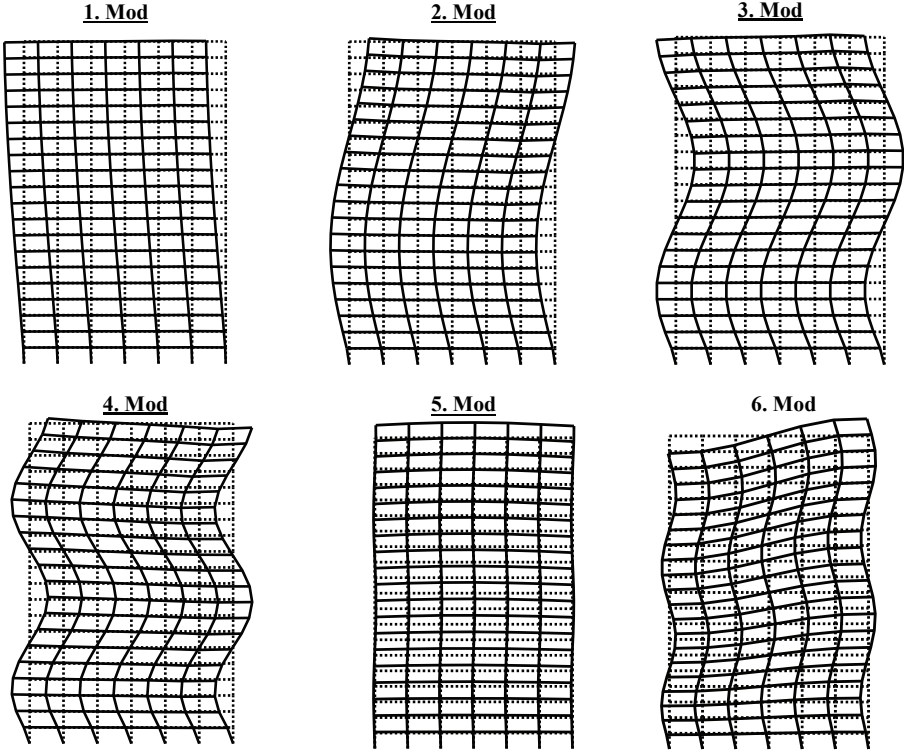


Şekil 2 - 20 katlı 6 açıklıklı kayma çerçevesinin şematik gösterimi



Şekil 3 - Yer deplasmanının zamana bağlı değişimi (Imperial Valley 1940)

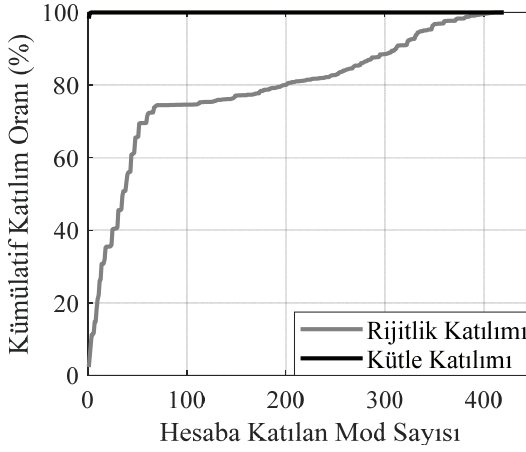
20 katlı çerçevenin yatay doğrultudaki ilk 6 moduna ait serbest titreşim mod şekilleri Şekil-4'de, periyotları ise Çizelge 1'de sunulmuştur. Şekil 3'de görüldüğü üzere ilk dört mod yatay doğrultuda, beşinci ve altıncı modlar ise düşey doğrultudadır. Çizelge 1'de ise MATLAB [15] ve SAP 2000 [16] modelinden elde edilen serbest titreşim periyotları birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 4 - Çerçevenin ilk 6 moduna ait modal deplasman şekilleri

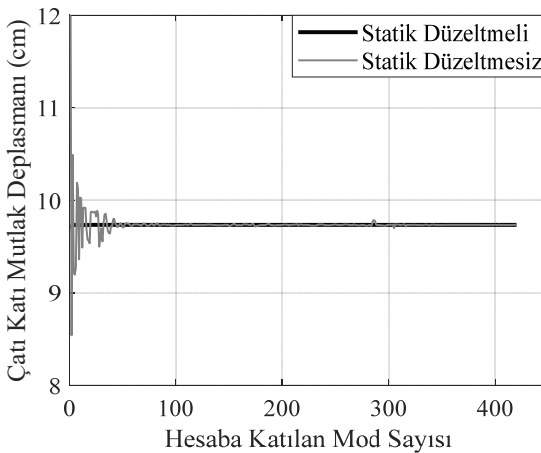
Çizelge 1 - Çerçevenin ilk 6 moduna ait serbest titreşim periyotları

Mod Sayısı	Periyot (sn.)	
	MATLAB Modeli	SAP 2000 Modeli
1	1,4311	1,4355
2	0,4685	0,4698
3	0,2661	0,2674
4	0,1869	0,1863
5	0,1786	0,1790
6	0,1494	0,1501



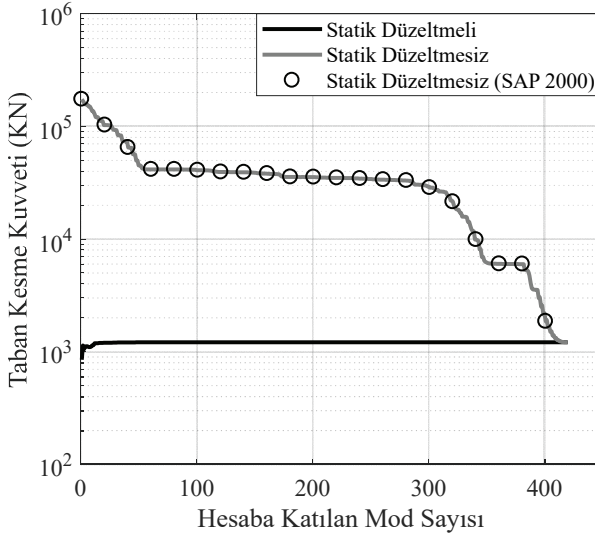
Şekil 5 - Toplam etkin kütle ve rijitlik oranı dağılımı

Şekil 5’de, 20 katlı kayma çerçevesinin yatay doğrultudaki toplam etkin kütle ve rijitlik katılım oranları sunulmuştur. Görüldüğü üzere, rijitlik katılımı mod sayısı ile birlikte kademeli olarak artmakta ve ancak 320. moddan sonra %90 nispetini aşmaktadır. Bu durumda gerçekçi bir çözüm elde etmek için neredeyse tüm modların (420 mod) hesaba katılması gerekmektedir. Toplam etkin kütle oranı ise yalnızca ilk modun hesaba katılmasıyla %99’a ulaşmaktadır. Rijitlik ve kütle katılım oranlarının dağılımındaki bu büyük fark deplasman yüklemesinin neredeyse tüm modları tetiklediğini göstermektedir. İvme yüklemesinde ise ilk modların katkısı çok yüksek olmaktadır. Statik düzeltme uygulanması durumunda ise modal katkı oranının dağılımının kütle oranı dağılımıyla aynı olması beklenmektedir.



Şekil 6 - Çatı katı mutlak deplasmanının hesaba katılan mod sayısına göre değişimi

Şekil 6’da statik düzeltmenin uygulanması ve uygulanmaması durumları için çatı katı mutlak deplasmanlarının, hesaba katılan mod sayısına göre değişimi sunulmaktadır. İlk bakışta, statik düzeltme uygulanması durumunda çatı katı deplasmanının gerçek değerine yakınsaması için ilk iki mod yeterli olmaktadır. Statik düzeltmenin uygulanmaması durumunda ise gerçek değer etrafında genliği giderek azalan salınımlar oluşmaktadır. 50. moddan itibaren ise mutlak deplasmanlar gerçek değerine yakınsamaktadır. Denklem (17)’de görüldüğü üzere sözde statik deplasmanlar açısal frekansın karesiyle ters orantılıdır. Bu nedenle 50. moddan sonraki yüksek modların etkisi ortadan kalkmaktadır.

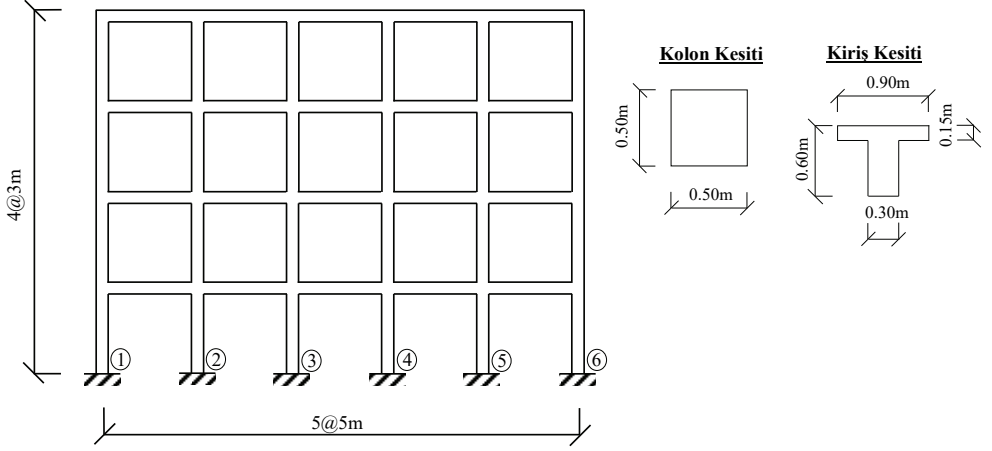


Şekil 7 - Taban kesme kuvvetinin hesaba katılan mod sayısına göre değişimi

Şekil 7’de, maksimum taban kesme kuvvetinin hesaba katılan mod sayısına göre değişimi sunulmaktadır. Taban kesme kuvveti dağılımlarının, Şekil 4’de verilen rijitlik ve kütle dağılımlarıyla şekilsel ve oransal olarak aynı olduğu görülmektedir. Statik düzeltme yapılmaması durumunda, gerçek taban kesme kuvvetini elde edebilmek için en azından ilk 415 modun hesaba katılması gerekmektedir. Statik düzeltmesiz durum için elde edilen taban kesme kuvvetleri SAP 2000’den elde edilen sonuçlarla örtüşmektedir. Statik düzeltme yapılması durumunda ise gerçek taban kesme kuvvetini elde edebilmek için ilk üç mod yeterli olmaktadır. SAP 2000 yazılımında, çoklu mesnet hareketi için, mesnetlere yer deplasmanı tanımlanabilmektedir; ancak problemin çözümü için direkt integrasyon yöntemi (kapalı çözüm) önerilmektedir [17]. Modal analiz için, Chopra [14] tarafından bahsedilen statik düzeltme yöntemi seçenek olarak bulunmakla birlikte deplasman yüklemesi için işe yaramamaktadır. Bu nedenle kıyaslamada yalnızca statik düzeltmesiz durum için elde edilen taban kesme kuvveti kullanılmıştır. Statik düzeltme yapılmaması durumundaki hata miktarı 230 kata kadar çıkmaktadır. Denklem (23)’de görüldüğü üzere modal taban kesme kuvveti açısal frekansın karesiyle doğru orantılıdır. Bu nedenle yüksek modların taban kesme kuvvetine etkisi, deplasmanlara olan etkisine nazaran çok daha fazla olmaktadır.

5.2. Sayısal Uygulama-2

Sayısal uygulama 2’de, depreme ait kayma dalgası hızının (deprem dalgası ilerleme hızı) taban kesme kuvvetine olan etkisi 4 katlı ve 5 açıklıklı, tekil temeller üzerine oturan betonarme bir moment çerçevesi modeli kullanılarak incelenmiştir (bkz. Şekil-8). Betonarme çerçevenin kat ağırlığı 1250 kN, sönüm oranı %5 ve beton elastisite modülü 30.000 MPa’dır. Dinamik analiz için 6 farklı deprem hareketi seçilmiştir. Deprem dalgası ilerleme hızının çerçeve üzerinde olan etkisini görebilmek için yapı temelleri arasında bağ kirişi olmadığı ve mesnetteki düğüm noktalarının birbirinden bağımsız hareket edebildikleri varsayılmıştır. Yapı dizaynında kritik rol oynayan taban ve kat kesme kuvvetlerinin deprem dalgası ilerleme hızına göre değişimi Şekil 10’da verilen yer deplasmanlarına göre elde edilmiş ve sonuçlar kıyaslanmıştır.



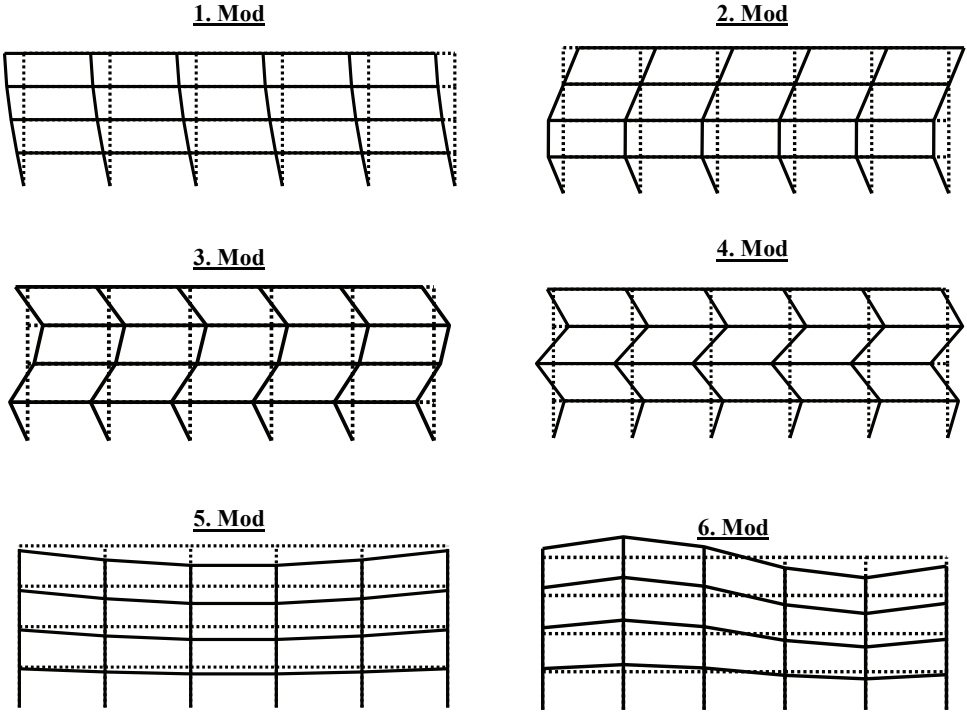
Şekil 8 - Model 1, 2 ve 3'ün şematik gösterimi

Çizelge 2 - Çerçevenin ilk 6 moduna ait serbest titreşim periyotları

Mod Sayısı	Periyot (sn.)	
	MATLAB Modeli	SAP 2000 Modeli
1	0,3266	0,3270
2	0,1132	0,1150
3	0,0737	0,0745
4	0,0600	0,0608
5	0,0575	0,0570
6	0,0527	0,0530

İncelenen 4 katlı çerçevenin yatay doğrultudaki ilk 6 moduna ait serbest titreşim periyotları ve mod şekilleri, sırasıyla Çizelge 2 ve Şekil 9’da sunulmaktadır. Yazarlar tarafından

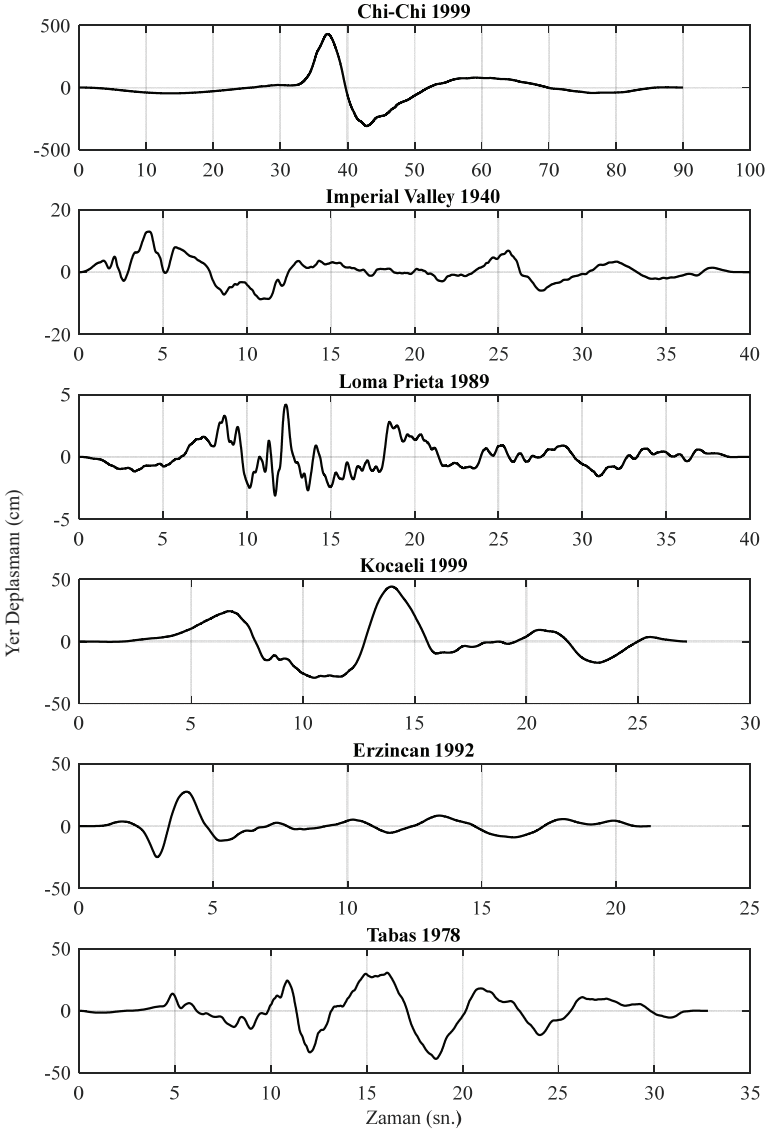
kullanılan MATLAB programı ve SAP 2000 yazılımı kullanılarak elde edilen sonuçların birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Şekil 9'da görüldüğü üzere ilk dört mod yatay doğrultuda, beşinci ve altıncı modlar ise dikey doğrultudadır.



Şekil 9 - Çerçevenin ilk 6 moduna ait modal deplasman şekilleri

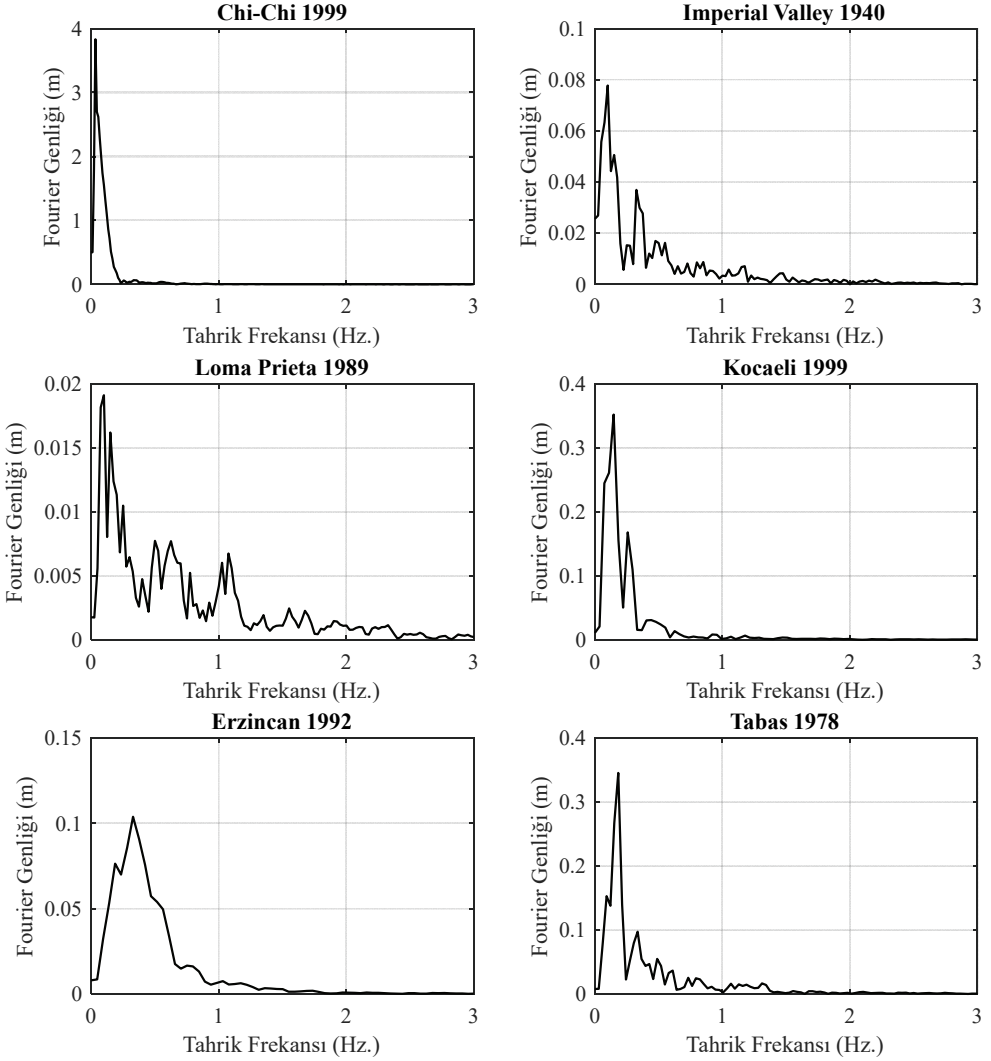
Deprem dalgasının zemin içerisindeki ilerleme hızının belirlenmesinde zemin özellikleri ön plana çıkmaktadır. Literatürden bilindiği üzere yapı mesnetlerinde titreşim hareketine neden olan deprem dalgası yıkım etkisi yüksek olan ve S dalgası olarak bilinen kayma (kesme) dalgalarıdır. Literatürde, S dalgalarının yumuşak ve sık zeminlerdeki ilerleme hızı ise 100 m/sn'nin dahi altına düşebildiği vurgulanmaktadır [18]. Bu durumda deprem dalgasının yapı mesnetlerine ulaşma zamanı uzamakta ve kaçınılmaz olarak çoklu mesnet hareketi durumu oluşmaktadır. Bu nedenle sayısal analizde deprem dalgası ilerleme hızı için 10 ile 500 m/sn. arasında değişen değerler seçilmiştir.

Kullanılan yer-deplasman kayıtlarına ait Fourier genlikleri Şekil 11'de sunulmaktadır. Görüldüğü üzere Loma Prieta 1989 haricindeki depremler düşük frekanslardan (1 Hz.'den küçük) etkilenmektedir. Loma Prieta 1989 depreminin ise yüksek frekanslardaki genlik değişimleri göreceli olarak yüksek gözükmektedir. Bu durumda her bir mesnette oluşacak yer deplasmanı genliklerinin birbirinden oldukça farklı olacağı ve yapının çoklu mesnet hareketi etkisinden etkileneceği görülmektedir.



Şekil 10 - Sayısal analizde kullanılan depremlere ait yer deplasmanları

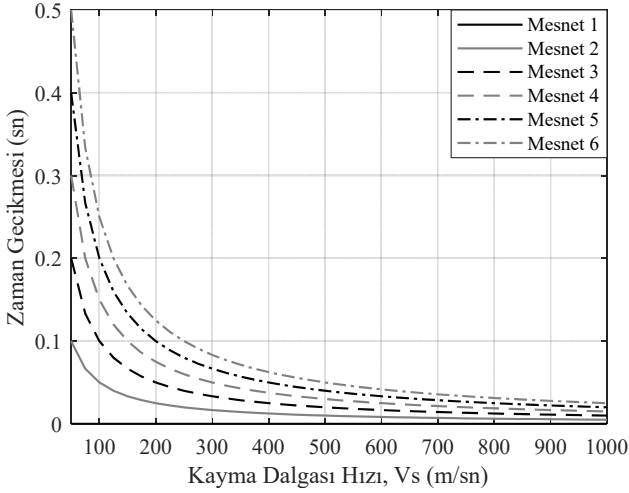
Şekil 10'da verilen yer deplasmanları 1 no'lu mesnete aynen uygulanmış, diğer mesnetlere ise oluşacak zaman gecikmeleri hesaplanarak eklenmiştir (Yer deplasmanları zaman ekseninde oluşacak gecikme kadar kaydırılmıştır). Her bir mesnet için kayma dalgası hızına bağlı olarak hesaplanan zaman gecikmeleri Şekil 12'de sunulmaktadır. Görüldüğü üzere mesnetler arasındaki zaman gecikmesinin maksimum değeri, $V_s=50$ m/sn için 0.10 sn olmaktadır.



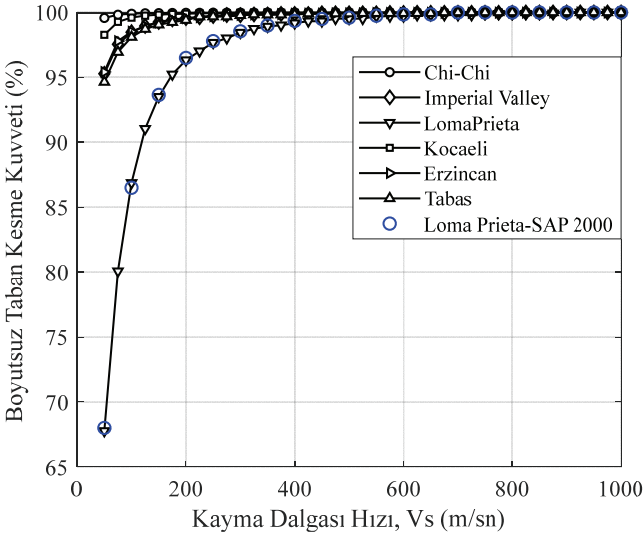
Şekil 11 - Analizde kullanılan depremlere ait yer deplasmanlarının Fourier dönüşümleri

Şekil 13’de, seçili deprem verileri kullanılarak elde edilen boyutsuz taban kesme kuvvetlerinin kayma dalgası hızına göre değişimi sunulmaktadır. Burada, boyutsuz taban kesme kuvveti, herhangi bir kayma dalgası hızı için elde edilen taban kesme kuvvetinin, eş zamanlı mesnet hareketi için elde edilen taban kesme kuvvetine olan oranıdır. Kayma dalgası hızına bağlı olarak, özellikle düşük dalga hızlarında ($V_s < 300$ m/sn.) zemin rijitliğinde azalma olması kaçınılmazdır [19]. Bu düşük hızlarda zemin kayma modülü değişiklik göstereceğinden bu durumun zemin-yapı etkileşimi analiziyle irdelenmesi gerekmektedir. Ancak, bu durumda zemin ve yapı sisteminin frekansı her bir dalga hızı için farklı olacaktır.

Frekans değişiminden ötürü farklı taban kesme kuvveti talepleri oluşacaktır. Bu araştırmanın amacı ise taban kesme kuvvetinde yalnızca deprem dalgası ilerleme hızına bağlı çoklu mesnet hareketi nedeniyle oluşacak değişimlerin incelenmesidir. Çalışma sonucunda karşılaştırılabilir neticelerin alınabilmesi için incelenen örnekte yapı zemin etkileşimi ihmal edilmiştir.



Şekil 12 - Mesnetlerde oluşan zaman gecikmelerinin kayma dalgası hızına bağlı değişimi



Şekil 13 - Taban kesme kuvveti oranının deprem dalgası ilerleme hızına göre değişimi

Rölatif taban kesme kuvvetlerinin kayma dalgası hızına göre değişiminin, Loma Prieta dışındaki depremler için birbirlerine yakın olduğu görülmektedir. Bunlar için elde edilen rölatif taban kesme kuvvetleri düşük kayma dalgası hızları için (50-250 m/sn. arası) en fazla %95 mertebesine kadar düşerken 250 m/sn.'den sonra en az %100'e yaklaşmaktadır. Kayma dalgası hızının 200 m/sn.'den yüksek olduğu durumlar için çoklu mesnet hareketi etkisinin kaybolduğu görülmektedir. Loma Prieta depremi için elde edilen rölatif taban kesme kuvvetinin değişimi ise diğer deprem kayıtlarından elde edilenlere oranla oldukça farklı olmaktadır. Kayma dalgası hızının 50 ile 250 m/sn arasında olması durumunda, rölatif taban kesme kuvveti %67 ile %97 arasında değişmektedir. Kayma dalgası hızının 250 m/sn'den yüksek olması durumunda ise rölatif taban kesme kuvveti %100'e yaklaşmaktadır. Düşük kayma dalgası hızları için Loma Prieta depreminden elde edilen sonuçların diğer depremlerden elde edilen sonuçlardan farklı olmasının, yer deplasmanının yüksek frekanslarda etkin olmasına (bkz. Şekil 11) bağlı olduğu anlaşılmaktadır. Loma Prieta depreminin yer deplasmanı kaydı diğer deprem kayıtlarıyla kıyaslandığında, değişim frekansının oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu nedenle, mesnetlerde oluşan zaman gecikmeleri sebebiyle her mesnette birbirinden oldukça farklı ve zıt genlikte deplasmanlar meydana getirebilmektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada deprem dalgasının ilerleme hızı nedeniyle mesnetlerinden farklı yer deplasmanlarına maruz çerçevelerin dinamik analizi deplasman yüklemesine göre incelenmiş ve yüksek mod etkilerini ortadan kaldırmak için bir statik düzeltme yöntemi kullanılmıştır. Yazarlar tarafından geliştirilen MATLAB [15] programı yardımıyla elde edilen analiz sonuçları, SAP 2000 [16] yazılımıyla doğrulanmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Deplasman yüklemesinden kaynaklanan yüksek mod etkilerinin çatı katı deplasmanında %20'nin altında kaldığı görülmüştür. Statik düzeltme yönteminin uygulanması ile birlikte, deplasman yöntemi için hesaba katılması gereken titreşim modu sayısının, ivme yöntemi için gereken mod sayısına eşdeğer hale getirilebildiği anlaşılmaktadır.
- Statik düzeltme yapılmaması durumunda hesaplanan taban kesme kuvvetindeki fark çok yüksek olmakta ve gerçekçi bir çözüm elde etmek için neredeyse tüm modların hesaba katılmasını gerektirmektedir. Statik düzeltme yapılması durumunda ise gerçek taban kesme kuvvetini elde etmek için ilk üç mod (sunulan örnek için) yeterli olmaktadır.
- Yüksek sismik dalga hızları için elde edilen rölatif taban kesme kuvveti %100 mertebesindedir. Düşük sismik dalga ilerleme hızları için ise rölatif taban kesme kuvvetinin %25 mertebesine kadar düştüğü görülmüştür.
- Yer-deplasman kaydı değişiminin düşük frekanslı olması durumunda zaman gecikmesinin taban kesme kuvvetine olan etkisinin, 100 m/sn' den daha yüksek ilerleme hızları için, oldukça az olduğu görülmektedir. Yer-deplasman kaydı değişiminin yüksek frekanslı olması durumunda ise zaman gecikmelerinin düşük

yayımlı hızlarında ($V_s < 300$ m/sn) taban kesme kuvveti üzerindeki etkisinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

- Sonuç olarak, yapı temelini rijit plaklarla teşkil edilemediği veya mesnetlerin birbirinden bağımsız hareket edebildiği çerçeve sistemlerin zaman-tanım aralığındaki çözümünde, deprem dalgası ilerleme hızının hesaba katılmasıyla birlikte tasarım kuvvetlerinde önemli miktarda bir azalma olduğu anlaşılmaktadır.

Kaynaklar

- [1] Ye, J., Zhang, Z., Liu, X., A simplified multi-support response spectrum method, *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 11, 243-256, 2012.
- [2] Cui, P.J., Gao, D.F., Travelling wave effect analysis of long-span cable-stayed bridge, *Advanced Materials Research*, 243-249, 308-312, 2011.
- [3] Soyuluk, K., Comparison of random vibration methods for multi-support seismic excitation analysis of long-span bridges. *Engineering Structures*, 26, 1573-1583, 2004.
- [4] Su, L., Donk, S. and Kato, S., Seismic design for steel trussed arch to multi-support excitations, *Journal of Constructional Steel Research*, 63, 725–734, 2007.
- [5] Hızal, Ç., Turan, G., Importance of static correction and damping in the analysis of a cable-stayed bridge subjected to displacement loading, *Journal of Bridge Engineering*, 22(6), 04017009(1-14), 2017.
- [6] Zhang, Y.H. Li, Q.S., Lin, J.H. and Williams, F.W., Random vibration analysis of long-span structures subjected to spatially varying ground motions, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 29, 620–629, 2009.
- [7] Yau, J.D., Dynamic response analysis of suspended beams subjected to moving vehicles and multiple support excitations, *Journal of Sound and Vibration*, 325, 907–922, 2009.
- [8] Yau, J.D., Fryba, L., Response of suspended beams due to moving loads and vertical seismic ground excitations, *Engineering Structures*, 29(12), 3255-3262, 2007.
- [9] Rambabu, K.V., Allam M.M., Response of an open-plane frame to multiple support horizontal seismic excitations with soil–structure interaction, *Journal of Sound and Vibration*, 299, 388-396, 2007.
- [10] Allam, M.M., Multiple support excitations of open-plane frames by a filtered white noise and soil–structure interaction, *Journal of Sound and Vibration*, 329, 4212–4226, 2010.
- [11] Tsai H.C., Modal superposition method for dynamic analysis of structures excited by prescribed support displacements, *Computers and Structures*, 66(5), 675-683, 1998.
- [12] Wilson, E.L., Three dimensional static and dynamic analysis of structures. *Computers and Structures, Inc., California, USA, 2002.*

- [13] Tian, Y., Yang, Q., On time step in structural seismic response analysis under-ground displacement/acceleration, *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 8(3), 341-347, 2009.
- [14] Chopra, A.K., *Dynamics of structures: theory and applications*, 4th Edition, Prentice Hall, e-ISBN: 978-0-13-285803-8, 2015.
- [15] MATLAB (Computer software), MathWorks, Natick, M.A.
- [16] SAP 2000 (Structural Software for Analysis and Design), Computers and Structure, Berkeley, California, USA.
- [17] CSi Knowledge Base, Manual multi-support excitation, <https://wiki.csiamerica.com>.
- [18] Yılmaz, Ö., *Engineering seismology with applications to geotechnical engineering*, Society of Exploration Geophysicists, e-ISBN: 978-1-56080-330-0, 2015.
- [19] Thitimakorn, T., Channoo, S., Shear wave velocity of soils and NEHRP site classification, *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 17, 2891-2904, 2012.

Batı Akdeniz Havzası Sınırlarının Yüksek Doğrulukla Belirlenmesi

Türkay GÖKGÖZ¹
Mustafa ERDOĞAN²
Kemal SEYREK³
İ. Murat OZULU⁴

ÖZ

Bu çalışmada Batı Akdeniz Havzası sınırlarının yüksek doğrulukla belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda 1:25,000 ölçekli yüksek doğruluklu 3 boyutlu vektör yükseklik ve hidrografiya verileri kullanılarak coğrafi bilgi sistemleri araçlarıyla 10 m çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli üretilmiş ve bu modelden havza sınırları türetilmiştir. Birinci düzey alt havzalardan biri Avlan Gölü'ne karşılık gelen çukur nesnesine dayalı olarak türetilen kapalı havzadır. Bu havza mevcut havza setlerinde bulunmamaktadır. Havza sınırlarının ve sayısal yükseklik modelinin doğruluğu sırasıyla ağırlıklı karesel ortalama yatay ve düşey konum hatalarına göre değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, elde edilen havza sınırlarının ve sayısal yükseklik modelinin yüksek doğruluklu olduğu söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Batı Akdeniz Havzası, coğrafi bilgi sistemleri, sayısal yükseklik modelleri, karesel ortalama hata.

ABSTRACT

Determining the High Accuracy Boundaries of Western Mediterranean Basin

The purpose of this study is to determine the high accuracy boundaries of Western Mediterranean Basin. In accordance with this purpose, a digital elevation model with 10 m horizontal resolution is generated and the basin boundaries are derived from this model through the tools of geographical information systems using the high accuracy 3D vector

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 25.04.2017 günü ulaşmıştır. 16.05.2018 günü yayımlanmak üzere kabul edilmiştir.
- 31 Temmuz 2019 gününe kadar tartışmaya açıktır.

• <https://dx.doi.org/10.18400/tekderg.309105>

1 Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul - gokgoz@yildiz.edu.tr
<https://orcid.org/0000-0001-8716-6131>

2 Harita Genel Komutanlığı, Fotogrametri Dairesi, Ankara - mustafa.erdogan@hgk.msb.gov.tr
<https://orcid.org/0000-0003-3219-5546>

3 DSİ Genel Müdürlüğü, Teknoloji Dairesi Başkanlığı, Ankara - kseyrek@dsi.gov.tr
<https://orcid.org/0000-0002-4565-2438>

4 Hitit Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Çorum - imuratozulu@hitit.edu.tr
<https://orcid.org/0000-0002-0963-3600>

elevation and hydrography data at 1:25,000 scale. One of the sub-basins at first level is a closed sub-basin, which is derived by using a sink in the model corresponding to Avlan Lake. It does not exist in the current basin sets. The accuracy of basin boundaries and digital elevation model are evaluated with respect to the weighted root mean square errors in position and height respectively. Consequently, it can be stated that basin boundaries and digital elevation model are obtained at high accuracy.

Keywords: Western Mediterranean Basin, geographical information systems, digital elevation models, root mean square error.

1. GİRİŞ

Günümüzde çözümlenmesi gereken en önemli problemlerden biri su kaynakları yönetimidir ve mevcut su kaynaklarından daha etkin yararlanılabilmesi ile çevresel problemlerin azaltılabilmesi bakımından bütünleşik havza yönetimi tüm dünyada önem kazanmaktadır. Bütünleşik havza yöntemini gerçekleştirebilmek için öncelikle havza sınırlarının yeterli doğruluk ve duyarlılıkla belirlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Havza sınırları büyük oranda coğrafi bilgi sistemlerinde (CBS) sayısal yükseklik modellerinden (SYM) türetilmektedir. Veri kaynağına ve kullanım amacına bağlı olarak SYM üretiminde kullanılacak çeşitli enterpolasyon (ara hesaplama) yöntemleri (2. ve 3. derece polinomlar (çok terimliler) ile enterpolasyon, multiquatrik (çoklu ikinci dereceliler) enterpolasyon, ağırlıklı aritmetik ortalama ile enterpolasyon, kayan yüzey yardımıyla enterpolasyon, yüzey toplamları ile enterpolasyon, sürekli parça parça polinomlar ile enterpolasyon, dörtgen gridde (ağda) enterpolasyon, üçgen ağında enterpolasyon, vd.) vardır [1]. Günümüzde jeomorfometrik analizler için SYM'lerin üretiminde en yaygın kullanılan ve literatürde önerilen yöntemlerden biri Hutchinson [2] tarafından "ayrıklaştırılmış ince plaka spline tekniğine" dayalı olarak geliştirilmiş enterpolasyon yöntemidir [3]. Bu yöntemde ilave yükseklik ve hidrografiye verileri de kullanılarak –aşağıda bahsedilen– yapay çukurlar ortadan kaldırılırken drenaj çizgilerine denk gelen SYM noktalarının kotları dengelenmektedir. Bu nedenle, bu yöntemle elde edilen SYM "hidrolojik düzeltilmiş SYM" olarak adlandırılmaktadır. Böylece, sürekli formda drenaj ağları üretmek mümkün olmaktadır. Aynı zamanda kartografyadaki "arazinin iskelet çizgileri (bu çalışmadaki karşılığı drenaj ağı) münhanilerin maksimum eğriliğe sahip noktalarında konumlanmalıdır [4,5]" koşulu da sağlanmaktadır.

Bir sayısal yükseklik modelinden havza sınırları başlıca aşağıdaki işlem adımlarıyla belirlenmektedir [6,7]:

- Çukurların doldurulması,
- Akış doğrultularının belirlenmesi,
- Akış birikinti değerlerinin hesaplanması ve
- Akış birikinti değerlerine göre drenaj ağlarının türetilmesi ve havza sınırlarının belirlenmesi.

Veri toplama tekniğine ve çözünürlüğe bağlı olarak genellikle SYM'lerde yapay çukurlar ortaya çıkar. Bunlar drenaj ağında kopukluklar meydana gelmesine, başka bir deyişle sürekli

bir drenaj ağı elde edilememesine neden olur. Ayrıca yine aynı nedenlerle drenaj ağında yatay konum hataları meydana gelir. O'Callaghan ve Mark [8] ve Mark [9] tarafından bu çukurlar yumuşatma yoluyla ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır. Sığ çukurlarda başarılı olan bu yaklaşım, derin çukurlarda başarılı olamamaktadır. Bir diğer yaklaşım ise çukur içinde kalan her bir noktanın çukur sınırı boyunca en düşük kotlu nokta seviyesine getirilmesi yoluyla çukurun doldurulmasıdır [10].

Akış doğrultularını belirlemek için en yaygın olarak kullanılan yaklaşım ilk olarak O'Callaghan ve Mark [8] ve Mark [9] tarafından tanıtılan ve kısaca D8 olarak bilinen "belirleyici sekiz nokta" yaklaşımıdır. Çukurlara ve düzlüklere duyarlı oluşu, basit ve etkili hesaplama tekniği nedeniyle günümüzde ticari yazılımların hemen tamamı bu yaklaşımı kullanmaktadır [11]. Bununla birlikte, "rastgele dört/sekiz nokta", "çoklu akış doğrultusu" ve kısaca D∞ olarak bilinen çeşitli yaklaşımlar da vardır [11-13].

Çukurların doldurulması "yapay düzlükler" ve beraberinde "yapay drenaj çizgileri" sorununu getirmektedir. Bu sorunla yalnız yapay düzlüklerde değil, aynı zamanda sabit eğimli yamaçlarda da karşılaşmaktadır [10]. Bu sorunu aşmak için bir dizi araştırma yapılmıştır [14-21]. Bu sorunu, Gülgen ve Gökgöz [22] tarafından geliştirilen, klasik D8 yaklaşımı ile PPA (Profile Recognition and Polygon Breaking Algorithm) algoritmasının matematik temellerinin birleştirildiği yaklaşımla tam olarak aşılmıştır.

Havza sınırları, akış birikinti değerlerinden türetilen drenaj ağlarına göre belirlenmektedir. Drenaj ağlarının türetilmesinde belirleyici olan akış birikinti eşik değeridir. Farklı akış birikinti eşik değerleri, uzunluk ve çizgi nesne sayısı bakımından farklı drenaj ağlarının türetilmesi ve dolayısıyla sayı ve alan bakımından farklı havzaların belirlenmesi sonucunu doğurmaktadır [6,13]. Bu bağlamda, drenaj ağlarının türetilmesi ve havza sınırlarının belirlenmesinde en kritik aşamalardan biri akış birikinti eşik değerinin belirlenmesidir.

Akış birikinti eşik değerinin belirlenmesinde iyi bilinen üç temel yaklaşım vardır. Birincisi, yaygın olarak kullanılan CBS araçlarının da kullanıcıya hazır olarak sunduğu, maksimum akış birikinti değerinin % 1'inin akış birikinti eşik değeri olarak kullanılmasıdır [23]. Bir diğer yaklaşım, ortalama akış birikinti değerinin kullanılmasıdır [24]. Üçüncü olarak, mevcut akarsuları temsil eden çizgi nesnelerin membalarında hesaplanan akış birikinti değerlerinin ortalamasının eşik değer olarak kullanılmasıdır [25]. Gökgöz vd. [13] tarafından geliştirilen dördüncü yaklaşımda ise türetilen drenaj ağındaki çizgilerin uç noktalarını içeren hücreler arasındaki yakınlık ve doğrultu ilişkisi dikkate alınarak akış birikinti eşik değeri belirlenmektedir.

Avrupa Birliği ile müzakere süreci devam eden Türkiye, Avrupa Birliği Direktifleri doğrultusunda yükümlülüklerini yerine getirmeye çalışmaktadır. Bu çalışmanın konusunu doğrudan ilgilendiren iki Avrupa Birliği Direktifi vardır: WFD (Water Framework Directive) ve INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe). 23 Ekim 2000 tarihinde yürürlüğe giren WFD [26] hedefleri; tüm kıta içi yüzey ve yer altı suları ile kıyı ve geçiş sularını, su ekosistemlerini ve suya bağlı karasal ekosistemlerini korumak, bozulmalarını ve kirlenmelerini önlemek, taşkınların ve kuraklığın etkilerinin yumuşatılmasına katkıda bulunmak ve su kaynaklarının korunmasını sağlamaktır. Direktif, hedeflerine ulaşmak için havza bazında yönetim esasını benimsemiştir [27]. 2019 yılında tamamlanacak bir süreçte farklı uygulama aşamalarını içeren INSPIRE direktifi 15 Mayıs 2007 tarihinde yürürlüğe girmiştir. INSPIRE direktifi, Avrupa Parlamentosu mekânsal veri altyapısını oluşturmayı

amaçlanmaktadır. Bu durum Avrupa içinde çevreyle ilgili mekânsal verilerin kamu kurumları arasında paylaşılmasına ve mekânsal bilgilere kamusal erişimin daha kolay hale gelmesine olanak tanıyacaktır. INSPIRE, sınırları aşan bir politikanın oluşturulmasına yardımcı olacaktır. Bu yüzden direktifin kapsadığı mekânsal veri yaygın olup, çok çeşitli başlık ve teknik temaları kapsamaktadır. Bunlardan biri de hidrografya temasıdır. Drenaj ağı ve havza nesnelere bu tema kapsamındadır. Hidrografya temasındaki tüm nesnelere WFD'ye uygun olarak tanımlanmıştır. INSPIRE Hidrografya Çalışma Grubu tarafından hazırlanan ve 26.04.2010 tarihinde yayınlanan yönergede hidrografya teması tüm ayrıntıları ile açıklanmaktadır. Türkiye'de INSPIRE'a uygun hidrografya veri seti henüz mevcut değildir. Bununla birlikte, Haziran 2017 tarihine kadar kullanıma hazır hale getirilmesi planlanmıştır [28,29]. Bugüne kadar çeşitli çalışmalar yapılmış ve çeşitli veri tabanları üretilmiş olmasına karşın, Avrupa düzeyinde de INSPIRE'a tamamen uygun bir hidrografya veri seti henüz mevcut değildir.

Bu çalışmada, Avrupa Birliği direktifleri perspektifiyle ve özgün bir metodolojiyle Batı Akdeniz Havzası sınırlarının yüksek doğrulukla belirlenmesi amaçlanmıştır. Doğruluk değerlendirmesi için havza sınırlarının ağırlıklı karesel ortalama yatay konum hatası ve sayısal yükseklik modelinin ağırlıklı karesel ortalama düşey konum hatası hesaplanmıştır. Bölüm 2'de ayrıntılı olarak açıklanan metodolojiye göre elde edilen sonuçlar Bölüm 3'te verilmiştir. Sonuçlara dayalı değerlendirmeler ise Bölüm 4'te bulunmaktadır.

2. METODOLOJİ

Bu çalışmada, her biri ayrı bir başlık altında ayrıntılı açıklanan aşağıdaki adımlar izlenmiştir.

- Verilerin yeniden konumlandırılması
- Veri temizleme ve düzenleme
- Temizlenmiş verilerin kaynaştırılarak tek bir veri tabanında toplanması
- Kıyı çizgisinin sıfır kotlu münhane olarak bütünleşik veri tabanına dâhil edilmesi
- Pafta bazında SYM sınırlarının belirlenmesi
- Pafta bazında SYM üretiminde kullanılacak verilerin bütünleşik veri tabanındaki verilerden kırılarak elde edilmesi
- SYM'lerin üretilmesi
- Hidrolojik ağın elde edilmesi
- Hidrolojik analiz 1: Kapalı havza sınırı ve drenaj çizgilerinin türetilmesi
- Hidrolojik analiz 2: Havza ve alt havza sınırlarının türetilmesi
- Havza sınırı karesel ortalama yatay konum hatasının hesaplanması
- SYM karesel ortalama düşey konum (yükseklik) hatasının hesaplanması

2.1. Verilerin Yeniden Konumlandırılması

Bu çalışmada, Harita Genel Komutanlığınca (HGK) üretilen TOPO25 veri tabanlarındaki yükseklik (münhane ve kot noktası) ve hidrografya (geniş dere, dar dere, kanal,

göl ve kıyı) verileri kullanılmıştır. Bu veriler 3 boyutlu nokta ve çizgi geometri tipinde vektör verilerdir. Bu verilerin üretiminde 2009 ve 2010 tarihli hava fotoğrafları kullanılmıştır. Hava fotoğrafları 6000 m yükseklikten yaklaşık 1:65,000 ölçeğinde çekilmiş olup, 45 cm çözünürlüğe sahiptir. Bu fotoğrafların yöneltilmesinde GPS/IMU bilgileri ve yaklaşık 1:100,000 ölçekli paftayı kapsayan bir blokta jeodezik yöntemle ölçülmüş ve işaretlenmiş en az 4 yer kontrol noktası kullanılmıştır. Fotogrametrik nirengi ve dengeleme işlemleri Match-AT yazılımında 44 parametrelili self-kalibrasyon ile yapılmıştır. Dengeleme sonucu tüm noktalarda elde edilen iç doğruluklar yatayda ± 5 cm, düşeyde ± 15 cm, yer kontrol noktaları karesel ortalama hataları ise yatayda ± 50 cm, düşeyde ± 1 m civarındadır. Bu nedenle veriler yüksek doğruluğa sahiptir. Ana münhane aralığı (eş yükseklik değeri) 10 m ve düşey konum (yükseklik) doğruluğu % 95 güven düzeyinde ± 3 m'dir. Hidrografiya verilerinin yatay (planimetrik) ve düşey (yükseklik) konum doğruluğu % 95 güven düzeyinde sırasıyla ± 4 m ve ± 3 m'dir. Batı Akdeniz Havzasına ait veriler 207 adet veri tabanında yer almaktadır.

Özgün veriler coğrafi koordinat sisteminde konumlandırılmıştır. Coğrafi koordinat sisteminde konumlandırılmış verilerle de analizler yapılabilir. Ancak, bu sistemde ekvatordan uzaklaştıkça deformasyon miktarı giderek artar ve bu durum analiz sonuçlarını olumsuz etkiler. Bu nedenle, koordinat sisteminden kaynaklı hataları minimize etmek için özgün verilerin uygun bir projeksiyonda yeniden konumlandırılması yoluna gidilmiştir. Uygun projeksiyon, amaca (verilerin hangi amaç doğrultusunda ne tür analizlerde kullanılacağına), çalışma bölgesinin konumuna (ekvator bölgesinde, kutup bölgesinde, vb.), biçimine (doğu-batı uzanımlı, kuzey-güney uzanımlı, vb.) ve büyüklüğüne bağlı olarak belirlenir.

Batı Akdeniz Havzası orta enlem kuşağında (36.13 ve 37.67 derece enlemleri arasında) doğu-batı uzanımlı (27.23 ve 30.59 derece boylamları arasında) oldukça büyük (yaklaşık 20,332 km²) bir havzadır. Hidrolojik analizler açısı (şekil) bilgisinden çok uzunluk ve alan bilgisinin önemli olduğu analizlerdir. Bu nedenlerle bu çalışmada Albers alan koruyan konik projeksiyon tercih edilmiştir.

Bu çalışmanın sürdürülebilir olması (bu çalışmada geliştirilen yaklaşımla ülkemizin diğer havzaları için de benzer çalışmaların yapılabilir olması) için Albers alan koruyan konik projeksiyonun parametrelerinin havza bazında değil ülke bazında belirlenmesi gerektiği düşüncesiyle, HGK tarafından bu projeksiyon için ülkemizin bütünü göz önüne alınarak belirlenen aşağıdaki parametreler aynen kullanılmıştır.

Projeksiyon	: Albers
Sağa Değer (Başlangıç)	: 0
Yukarı Değer (Başlangıç)	: 0
Orta Meridyen	: 35
Standard Paralel 1	: 36.5
Standard Paralel 2	: 41
Başlangıç Enlemi	: 0
Uzunluk Birimi	: Metre
Coğrafi Koordinat Sistemi	: WGS_1984
Datum	: WGS_1984

Başlangıç Meridyeni : Greenwich
Açı Birimi : Derece

2.2. Veri Temizleme ve Düzenleme

Bu aşamada verilerin hatalardan arındırılması hedeflenmiştir. Olası hatalar şunlardır: Yükseklik değeri yanlış olan kot noktası, yükseklik değeri 0 m olan münhane, yükseklik değeri yanlış olan münhane, çok parçalı tek nesne biçiminde meydana getirilmiş dar dere, akış yönünün tersi yönünde çizilmiş dere, kesişen münhane, iki kez çizilmiş münhane, derinlik eşdeğer çizgisi niteliğinde çizilmiş münhane, münhaniyle kesişen göl, bir noktada birleşen iki kolun tek bir nesne olarak meydana getirildiği nesne, bir noktada birleşen iki kolun münferit tek bir nesne olarak meydana getirildiği nesne, eyer biçimli boyun şeklindeki arazilerde boyunun iki tarafındaki derelerin boyundan itibaren alçalan iki çizgi ile değil boyunu da geçen tek bir çizgi ile meydana getirildiği dere, çizilmemiş/eksik kanal, vd. Hatalı nesnelere tespitinde ve düzenlenmesinde hem manuel, hem hazır araçlar (ArcGIS'in Topology, Data Reviewer ve Editing araçları), hem de AutoCAD'in makro programlama dili olan AutoLISP ile yazılan bir program (tersdere.lsp) kullanılmıştır. Tersdere programının algoritması kısaca şöyledir: Bir çizgi ele alınır. Çizginin başlangıç ve son noktası arasındaki yükseklik farkı hesaplanır. Yükseklik farkının sıfırdan küçük olması durumunda, ele alınan geniş dere/dar dere/kanal akış yönünün tersi yönünde çizilmiş demektir ve çizgi son noktasından başlangıç noktasına doğru birleştirilerek yeniden meydana getirilir. Böylece, ele alınan geniş dere/dar dere/kanal akış yönü düzeltilmiş olur. Bu şekilde tüm çizgiler sırayla ele alınır.

Nesne ilişkilerine dayalı olarak hataları tespit etmek için topoloji oluşturulmuştur. Böylece; kendisiyle örtüşen, kendisiyle kesişen, aynı sınıfta veya başka bir sınıfta bir nesneyle örtüşen, aynı sınıfta veya başka bir sınıfta bir nesneyle kesişen, başka bir nesneye o nesnenin son noktası dışında bir noktasında birleşen ya da kesen, bir bütün olması gerekirken ardışık iki ya da daha fazla nesne olarak meydana getirilen hatalı nesnelere tespit edilmiş ve çeşitli araçlarla düzeltilmiş ya da silinmiştir.

Yukarıdaki aşamalardan geçen veriler son olarak ArcGIS Data Reviewer aracı ile kalite kontrol işlemlerine tabi tutulmuş ve verilerin yapılacak analizlerde kullanılabilir nitelikte olduğu anlaşılmıştır.

2.3. Temizlenmiş Verilerin Kaynaştırılarak Tek Bir Veri Tabanında Toplanması

207 adet veri tabanındaki temizlenmiş veriler nesne sınıflarına göre kaynaştırılarak altı katmanlı yeni bir bütünleşik veri tabanı oluşturulmuştur.

2.4. Kıyı Çizgisinin Sıfır Kotlu Münhane Olarak Bütünleşik Veri Tabanına Dâhil Edilmesi

Özgün veri tabanlarında sıfır kotlu münhaniler bulunmamakla birlikte kıyı nesnelere vardır. Ancak, kıyı nesnelere sabit (her noktasında) 0 m kotlu çizgiler değil, nokta yükseklikleri -1.05 m ile 22.36 m arasında değişen çizgilerdir. Bu nedenle, özgün veri tabanlarındaki kıyı

nesneleri birleştirilmiş, sabit 0 m kotlu birer çizgi olacak şekilde yeniden düzenlenmiş ve bütünleşik veri tabanındaki münhani katmanına ilave edilmiştir.

2.5. Pafta Bazında SYM Sınırlarının Belirlenmesi

207 adet veri tabanındaki verilerin tümünü birden kullanarak ArcGIS TopoToRaster aracı ile bir SYM elde edilmesi mümkün olmamıştır. Verinin hacmi TopoToRaster aracının işlem kapasitesinin çok üstündedir. Bu nedenle TopoToRaster aracı ile pafta/veri tabanı bazında SYM'ler üretilmesine, üretilen SYM'lerin ArcGIS Mosaic aracı ile bir araya getirilmesine ve böylece Batı Akdeniz havzasının bütünleşik SYM'sinin elde edilmesine karar verilmiştir. Ancak, pafta bazında SYM'ler üretildiğinde ve bu SYM'ler bir araya getirildiğinde kenarlaşma problemi; başka bir deyişle, SYM sınırları boyunca yükseklik hataları ortaya çıkar. Çünkü TopoToRaster aracının yaptığı işlem özde bir enterpolasyon işlemidir: Girdi olarak verilen topoğrafya ve hidroğrafya verilerinden enterpolasyon yoluyla SYM hücrelerinin yükseklik değerleri hesaplanır. Enterpolasyon işleminin etkisi sınırlara doğru giderek artar. Bu nedenle, bindirmeli SYM'lerin yani, sınırları boyunca ortak alanları olan SYM'lerin bir araya getirilmesi en iyi yoldur. Ortak alanlar, özgün pafta sınırları belli bir miktar genişletilerek meydana getirilebilir. Fakat bu kez yeni sınırlar boyunca kenarlaşma problemi ortaya çıkar. Kenarlaşma problemini bütünüyle ortadan kaldırmak için bu çalışmada şöyle bir yol izlenmiştir: (1) Özgün pafta sınırı 6000 m genişletilerek yeni bir sınır meydana getirilmiş, (2) bu yeni sınır içinde kalan verilerle bir SYM üretilmiş, (3) özgün pafta sınırı 3000 m genişletilerek yeni bir sınır daha meydana getirilmiş ve (4) ikinci adımda üretilen SYM, üçüncü adımda meydana getirilen sınıra göre kırılmıştır. 3000 m ve 6000 m mesafeleri yapılan bir dizi test sonucunda belirlenmiştir.

2.6. Pafta Bazında SYM Üretiminde Kullanılacak Verilerin Bütünleşik Veri Tabanındaki Verilerden Kırılarak Elde Edilmesi

Özgün pafta sınırları 6000 m genişletilerek elde edilen SYM sınırlarına göre bütünleşik veri tabanındaki münhani, kot noktası, geniş dere, dar dere ve göl verileri kırılmış ve böylece pafta bazında SYM üretiminde kullanılacak veriler elde edilmiştir.

2.7. SYM'lerin Üretilmesi

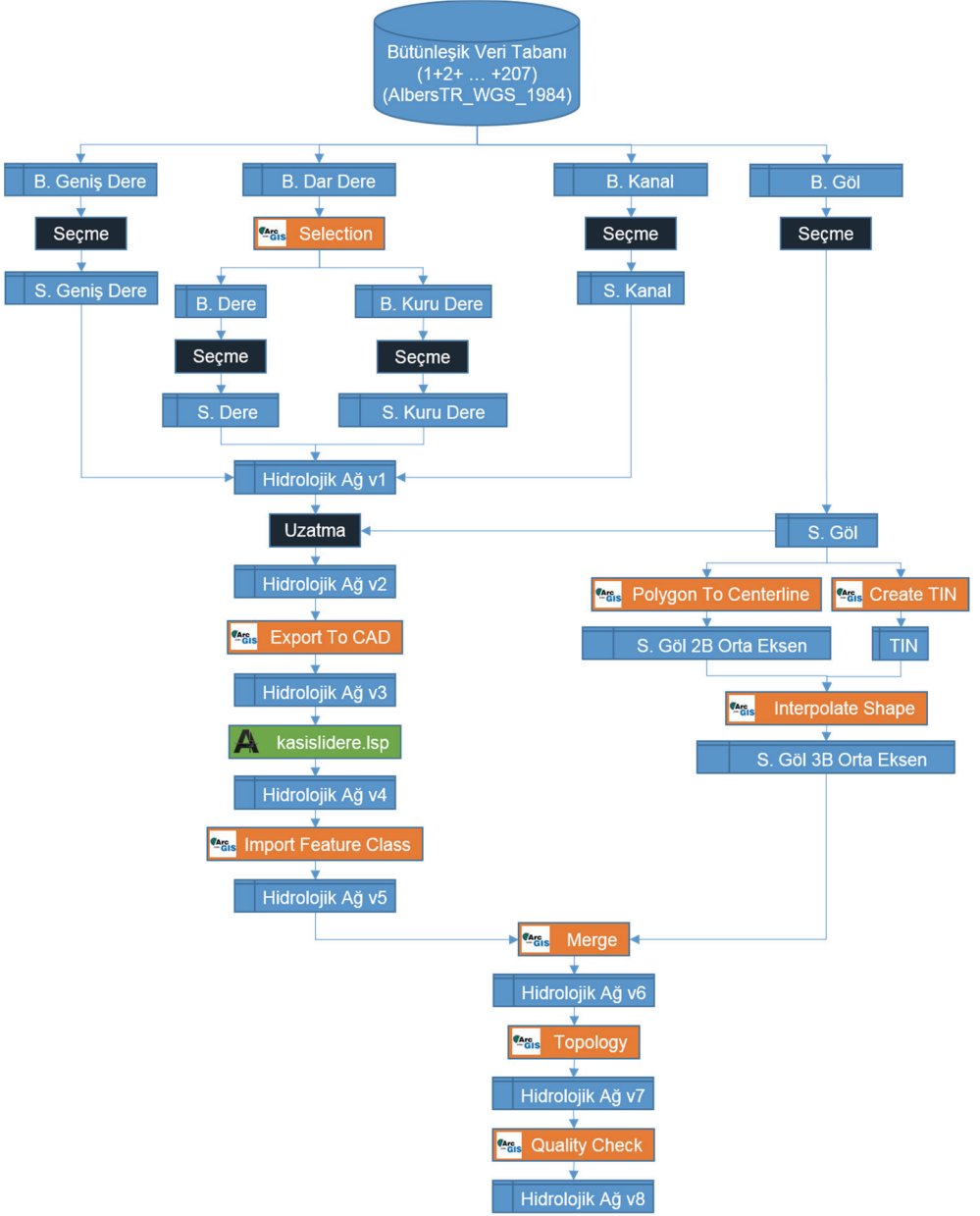
Hengl [30], uygun SYM çözünürlüğünün belirlenmesi konusunu ele aldığı yazısında, Weihau ve Montgomery [31] tarafından 2, 4, 10, 30 ve 90 m çözünürlüklü SYM ile gerçekleştirilen bir çalışmada en uygun sonuçların 10 m çözünürlüklü SYM ile elde edildiğini ifade etmektedir. Kendisi tarafından gerçekleştirilen bir çalışmaya dayalı olarak da 10 m aralıklı münhanilerden üretilecek SYM için en uygun çözünürlüğün 12.0-53.5 m aralığında olabileceğini belirtmektedir. Ayrıca, çalışma ölçeğine bağlı olarak en düşük, en yüksek ve makul SYM çözünürlüğünün hesabında kullanılacak bağıntıları vermektedir. Buna göre, SYM çözünürlüğü; $SN \times 0.0025$ bağıntısı ile hesaplanacak değerden daha düşük ve $SN \times 0.0001$ bağıntısı ile hesaplanacak değerden daha yüksek olmamalıdır. Makul değer ise $SN \times 0.0005$ bağıntısı ile hesaplanabilir. Bu bağıntılarda geçen SN , ölçek faktörü ya da sayısıdır. Bu çalışmada kullanılan münhaniler 1:25,000 ölçekli veri setinde yer almaktadır. Bu

bağlamda, $SN = 25,000$ alınarak hesap yapıldığında en düşük, en yüksek ve makul çözünürlük için sırasıyla 62.5, 2.5 ve 12.5 m değerleri elde edilmektedir. Ayrıca, Erdoğan [32] tarafından yapılan çalışmada, 2008 yılına kadar 1:25,000 ölçekli topoğrafik haritaların üretiminde kullanılan 1:35,000 ölçekli hava fotoğraflarından 10 m aralıklı münhani üretimi ve otomatik görüntü eşleme ile elde edilecek SYM'lerin en iyi (optimum) çözünürlüğünün 8-16 m arasında olması gerektiği ifade edilmektedir. Bu bilgiler ışığında bu çalışmada üretilecek SYM için çözünürlük değeri 10 m olarak belirlenmiştir.

Bütünleşik SYM'nin elde edilmesi için öncelikle pafta bazında SYM üretimi için hazırlanan veriler kullanılarak ArcGIS TopoToRaster aracı ile 207 adet SYM üretilmiştir. 207 adet SYM'in her biri ArcGIS Extract by Mask aracı ile kırılarak bütünleşik SYM üretiminde kullanılacak SYM'ler elde edilmiştir. Bu SYM'ler ArcGIS Mosaic aracı ile birleştirilerek de bütünleşik SYM elde edilmiştir.

2.8. Hidrolojik Ağın Elde Edilmesi

Hidrolojik ağın elde edilmesine ilişkin akış diyagramı Şekil 1'de görünmektedir. Öncelikle bütünleşik geniş dere katmanında yer alan nesnelerin tümü ve bütünleşik dar dere katmanında yer alan kalıcı/sürekli dere niteliğindeki nesnelerin tümü seçilmiş ancak sürekli formda bir ağ elde edilememiştir. Aralardaki boşlukların çoğunda bütünleşik dar dere katmanında yer alan kuru dere niteliğindeki nesnelerin bulunduğu görülmüştür. Bununla birlikte, bazı boşluklar ardışık bir-iki kuru dere ile tamamlanabilecekken, bazılarının tamamlanabilmesi için ardışık çok sayıda kuru derenin seçilmesi gerektiği; başka bir deyişle, bazı geniş ve kalıcı/sürekli derelerin birbirlerinden çok uzak konumlarda bulunduğu tespit edilmiştir. Çok az sayıdaki böylesi geniş ve kalıcı/sürekli dereler elimine edilmiştir. Geriye kalan çok az boşlukta ise bütünleşik kanal katmanında yer alan çoğu geniş kanal niteliğindeki nesnelerin bulunduğu görülmüştür. Kısacası, geniş dere ve kalıcı/sürekli derelerin hemen tamamı, kuru dere ve kanallardan ise boşlukları dolduracak olanlar seçilerek büyük ölçüde sürekli formda bir ağ elde edilmiştir. Anlaşılacağı üzere ağın doğal nesnelere meydana gelmesine özen gösterilmiştir. Elde edilen ağın nesne sayısı bakımından yalnızca yaklaşık % 1'i yapay nesnelere (kanallardan) meydana gelmiştir. İkinci aşamada bu ağdaki nesneler ile ilişki içinde olan göller seçilmiştir. Seçilen göllerin ArcGIS Polygon to Centerline aracı ile 2B orta eksenleri üretilmiştir. 2B orta eksenleri 3B orta eksenlere dönüştürmek (orta eksen noktalarına yükseklik değeri atamak) için ArcGIS Create TIN aracı ile 3B poligonlar kullanılarak düzensiz üçgen ağı (Triangulated Irregular Network – TIN) modelleri meydana getirilmiştir. ArcGIS Interpolate Shape aracı ile bu modellerde orta eksen noktalarının yükseklikleri hesaplanmış ve z değerleri olarak atanmıştır. Böylece 2B orta eksenler 3B orta eksenlere dönüştürülmüştür. Üçüncü aşamada, seçilen göllerin 3B orta eksenlerine erişememiş olan kollar uzatılarak aralardaki boşluklar doldurulmuş ve böylece süreklilik sağlanmıştır. Böylece ortaya çıkan ağın kolları ayrıntılı incelendiğinde bazı kollar –deyim yerindeyse– kesik olduğu görülmüştür. Başka bir deyişle, bazı kollarla başlangıç noktalarından son noktalarına kadar sürekli alçalma olmadığı, desimetre mertebesinde kadar yükselmelerin olduğu tespit edilmiştir. Akarsuların doğasına aykırı olan bu durumları ortadan kaldırmak için AutoCAD'in makro programlama dili olan AutoLISP ile bir program (kasislidere.lsp) yazılmıştır.



Şekil 1 - Hidrolojik ağın elde edilmesi (Kısaltmalar: Bütünleşik (B.), Seçilen (S.), Versiyon (v); Renkler: Turuncu (ArcGIS Araçları), Yeşil (AutoLISP Programı), Lacivert (Manuel), Mavi (Girdiler ve Çıktılar))

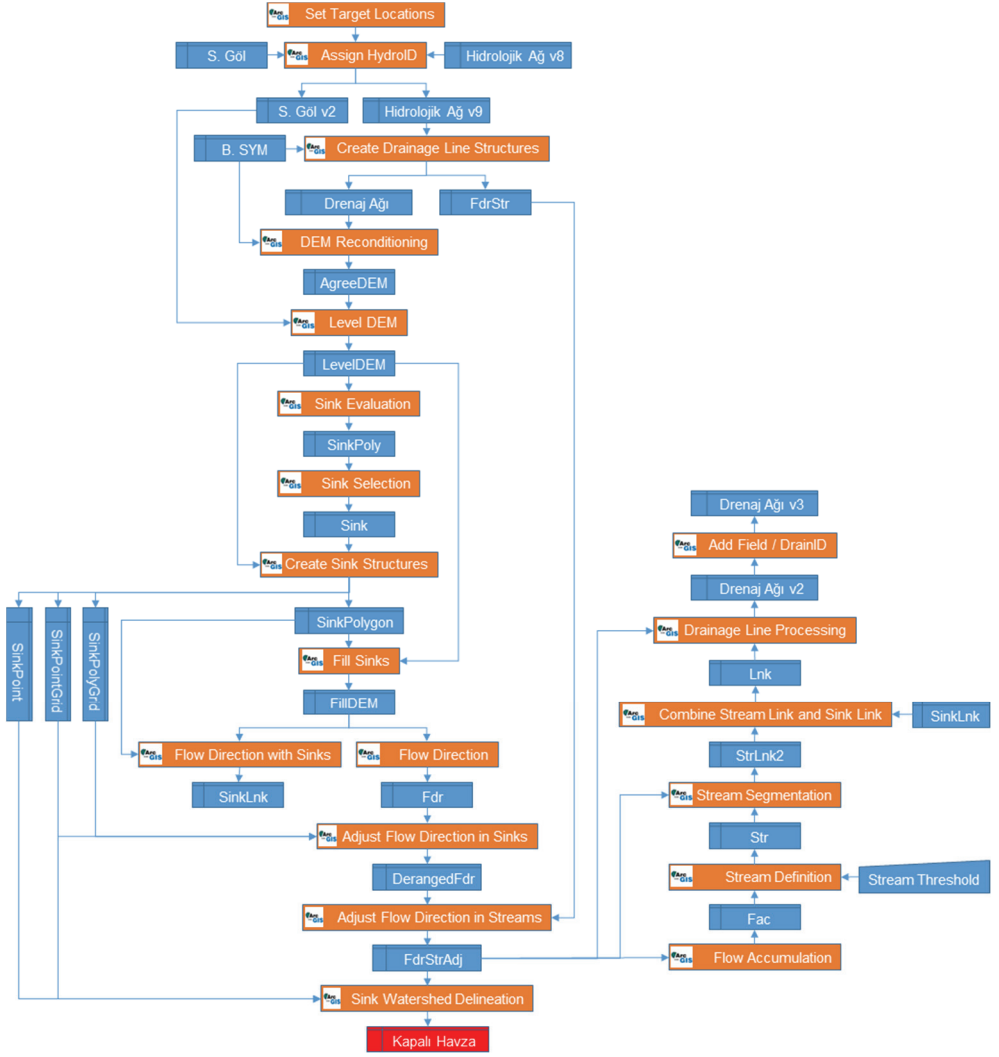
Kasislidere programı ile hidrolojik ağın her kolu sırayla ele alınarak kolları meydana getiren noktaların yükseklik değerleri incelenmektedir. Bir noktanın yükseklik değeri bir önceki noktanın yükseklik değerinden küçük ise o nokta seçilmekte, tersi durumda elenmektedir. Son olarak, bir kolun başlangıç noktası, son noktası ve seçilen noktalarıyla yeni bir çizgi meydana getirilmektedir. Kasis problemi de giderildikten sonra tüm çizgiler (tüm kollar ve 3B göl orta eksenleri) kaynaştırılmıştır. Son aşamada, hidrolojik ağın son haliyle topoloji oluşturulmuş ve kendisiyle örtüşen, kendisiyle kesişen, başka bir çizgiyle örtüşen, başka bir çizgiyle kesişen, başka bir çizgiyle o çizginin son noktası dışında bir noktasında birleşen ya da kesen, bir bütün olması gerekirken ardışık iki ya da daha fazla çizgi olarak meydana getirilen hatalı çizgiler tespit edilmiş ve çeşitli araçlarla düzeltilmiştir. Son olarak ArcGIS Data Reviewer aracı ile kalite kontrol işlemlerine tabi tutulmuş ve hidrolojik ağın artık ArcHydro Create Drainage Line Structures işleminde kullanılmaya hazır olduğu anlaşılmıştır.

Bölgede sürekli formda bir hidrolojik ağ elde edilememesinin başlıca nedenlerinden biri Avlan Gölü yakınında bulunan “eyer biçimli boyun” şeklindeki arazidir. Bu boyun, kuzeyindeki derelerin denize ulaşmasına engel olmaktadır. Başka bir deyişle, bu bölgede suların Avlan Gölü’nde toplandığı bir kapalı havza vardır. Bu nedenle hidrolojik ağın bu kısmında (boyun bölgesinde) bir kopukluk meydana gelmektedir. Bu aşamada görsel incelemelerle tespit edilmiş olan bu kapalı havza, bir sonraki aşamada ArcGIS ArcHydro araçları yardımıyla otomatik olarak türetilmiştir.

2.9. Hidrolojik Analiz 1: Kapalı Havza Sınırı ve Drenaj Çizgilerinin Türetilmesi

Şekil 2’deki akış diyagramında görüldüğü gibi kapalı havza sınırı, bütünlüklü SYM’de Avlan Gölü’ne karşılık gelen çukura (sink) dayalı olarak türetilmiştir. Çukurlar ise ArcHydro Sink Evaluation aracıyla belirlenmiştir.

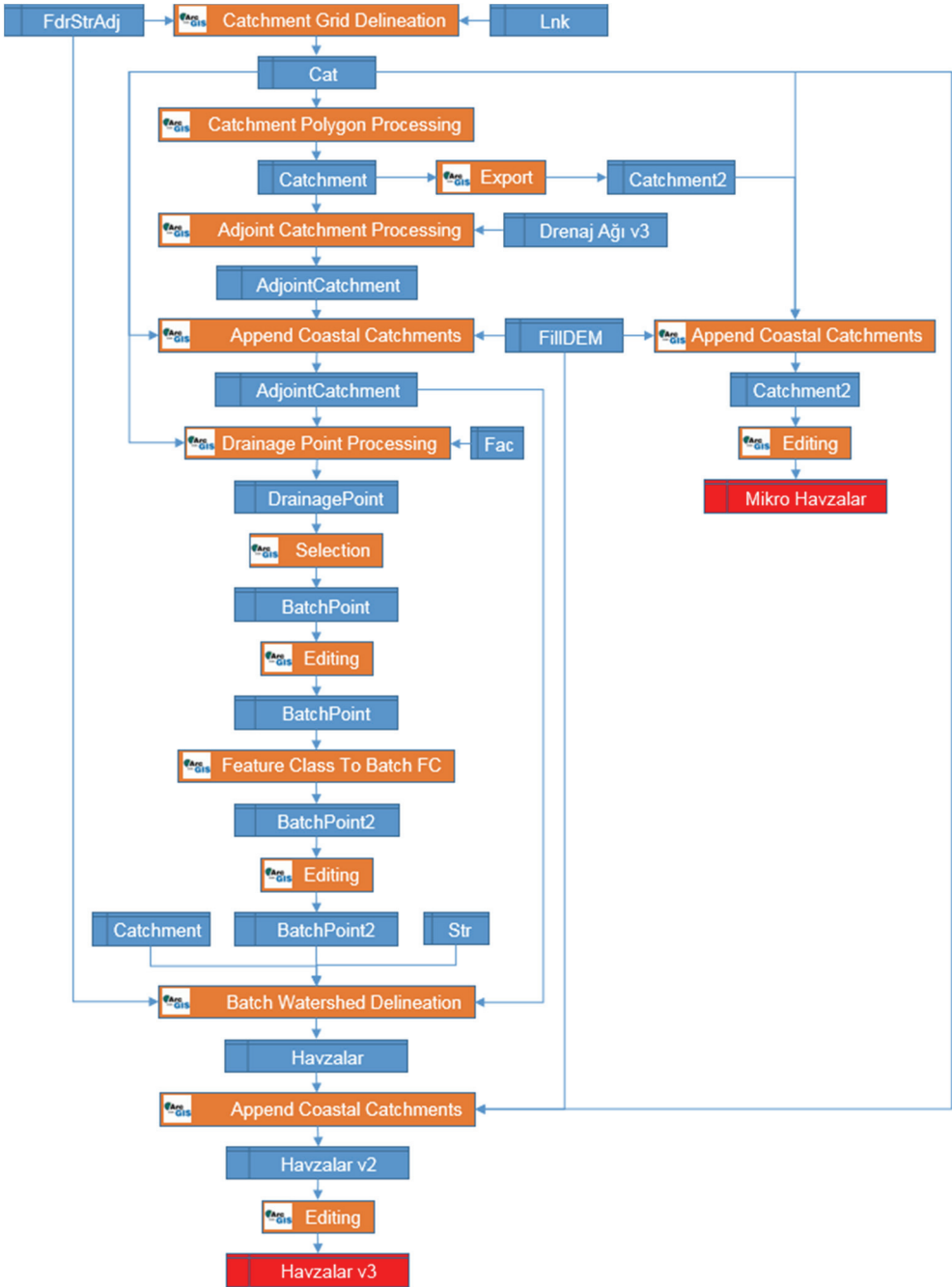
Drenaj çizgileri, ArcHydro Stream Definition aracının ‘Number of cells to define stream’ parametresine Gökgöz vd. [13] tarafından geliştirilen ve kısaca BeST (Best Stream Threshold) adıyla anılan yaklaşıma göre belirlenen değer girilerek elde edilen ‘stream grid’e dayalı olarak türetilmiştir. BeST yaklaşımına göre birikinti eşik değeri *c#* programlama dilinde yazılan bir program ile hesaplanmıştır. Tam otomatik çalışan BeST programının girdileri; akış doğrultu (flow direction) ve akış birikinti (flow accumulation) dosyalarıdır. Raster veri yapısındaki bu dosyalar birer matris gibi düşünülebilir. BeST algoritmasına göre akış birikinti eşik değerine bağlı olarak akış birikinti matrisinden drenaj matrisi (stream definition) elde edilmekte ve bu matrise göre akış doğrultuları incelenerek çizgilerin başlangıç noktalarında paralellik olup olmadığı tespit edilmektedir. Akış birikinti eşik değeri için başlangıç değeri 1’dir. Paralellik tespit edilmesi durumunda akış birikinti eşik değeri bir artırılarak aynı işlemler yeniden gerçekleştirilmektedir. Paralelliğin tespit edilmediği durumda kullanılan akış birikinti eşik değeri BeST değeri olarak kabul edilmektedir. BeST değeri, türetilen drenaj ağında komşu iki hücreden başlayan çizgiler olmamasını garanti etmektedir. Bununla birlikte, komşu iki hücreden başlamayan iki çizgi giderek birbirine yaklaşabilir, belli bir yerden sonra komşu olabilir, paralel yol alabilir ve bir noktada birleşebilirler.



Şekil 2 - Hidrolojik Analiz 1: Kapalı havza sınırı ve drenaj çizgilerinin türetilmesi (Kisaltmalar: Bütünleşik (B.), Seçilen (S.), Versiyon (v)); Renkler: Turuncu (ArcGIS Araçları), Mavi (Girdiler ve Çıktılar), Kırmızı (Sonuç Ürün)

2.10. Hidrolojik Analiz 2: Havza ve Alt Havza Sınırlarının Türetilmesi

Havza ve alt havza sınırlarının türetilmesine ilişkin akış diyagramı Şekil 3'te görünmektedir. Havza sınırlarını belirlemede kullanılacak çıkış (mansap) noktalarını manuel değil de yarı otomatik belirlemek için şöyle bir yol izlenmiştir: ArcHydro Drainage Point Processing aracıyla drenaj noktaları belirlenmiştir. Bu noktalardan DrainID değeri Null olanlar (iki veya daha fazla çizginin birleştiği nokta olmayanlar) seçilmiş ve BatchPoint olarak kaydedilmiştir.

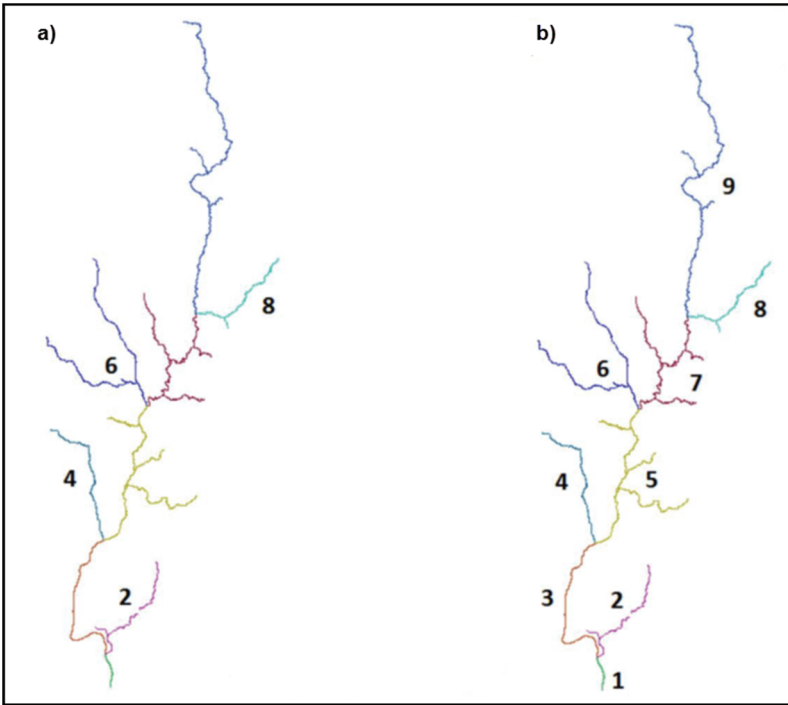


Şekil 3 - Hidrolojik Analiz 2: Havza ve alt havza sınırlarının türetilmesi (Kısaltmalar: Versiyon (v); Renkler: Turuncu (ArcGIS Araçları), Mavi (Girdiler ve Çıktılar), Kırmızı (Sonuç Ürünler))

Ancak bu noktaların tamamının denize ulaşan çizgilerin uç noktaları veya kapalı havzadaki göle ulaşan çizgilerin son noktaları olmadığı görülmüştür. Bu nedenle, bahsedilen nitelikte olmayan noktalar silinmiştir. Kalan noktalar, ArcHydro Feature Class To Batch FC aracıyla, istenen (ArcHydro Batch Watershed Delineation aracıyla kullanılabilir nitelikte) noktalara dönüştürülmüştür. Ayrıca, kapalı havzadaki göle ulaşan çizgilerin sonlarında yer alan noktaların ScrType öznelik değerleri 1 olarak değiştirilmiş ve böylece çıkış (outlet) değil, göle giriş (inlet) noktaları olarak tanımlanmıştır.

Bu çalışmada kullanılan veriler, Batı Akdeniz Havzası sınırının bir miktar dışına taşıdığı için ArcHydro Batch Watershed Delineation ve Append Coastal Catchments araçlarıyla belirlenen havzalar arasında Büyük Menderes, Burdur ve Antalya Havzası sınırları içinde kalan “havza parçaları” da vardır. Bu “havza parçaları” silinmiştir. Ayrıca, sahil boyunca bazı havzalar kaynaştırılmıştır. Böylece Batı Akdeniz Havzasının birinci düzey alt havzaları elde edilmiştir. Ayrıca, Batı Akdeniz Havzası sınırı dışında kalan su toplama alanları (Catchments) silinmiş ve geriye kalanlar Batı Akdeniz Havzası'nın mikro havzaları olarak kaydedilmiştir. Son olarak, Batı Akdeniz Havzası sınırı dışında kalan drenaj çizgileri silinmiş ve geriye kalanlar Batı Akdeniz Havzası'nın drenaj ağı (StreamNetwork) olarak kaydedilmiştir.

Akarsu ağının, drenaj alanları ile bağlantılı bir şekilde düzenlenebilmesi için, “European Rivers and Catchments Coding System / ERICA-CS” ve “European Catchments and Rivers Network Systems / ECRINS” çalışmalarında da kullanılan Pfafstetter yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin iki temel kuralı aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Şekil 4).



Şekil 4 - Pfafstetter yönteminin iki temel kuralı

Kural 1: En yüksek 4 su toplama alanındaki (en büyük drenaj alanındaki) akarsu kolları mansaptan membaya doğru artacak şekilde tek haneli çift sayılarla (2, 4, 6, 8) numaralandırılır (Şekil 4a).

Kural 2: Ana kol boyunca yer alan geçiş havzalarındaki (inter-basin) akarsu kolları yine mansaptan membaya doğru artacak şekilde tek haneli tek sayılarla (1, 3, 5, 7, 9) numaralandırılır (Şekil 4b). Denize dökülen kolun kodu daima 1'dir. Memba tarafındaki en uzun kolun kodu daima 9'dur. Geçiş havzası sayısı 5'ten az olması durumunda bile memba tarafındaki en uzun kolun kodu daima 9 olur.

Birinci ve ikinci kural uygulandığında birinci düzey kodlama gerçekleştirilmiş olur. Birinci düzey kapalı havzalara ise 0 kodu atanır [33].

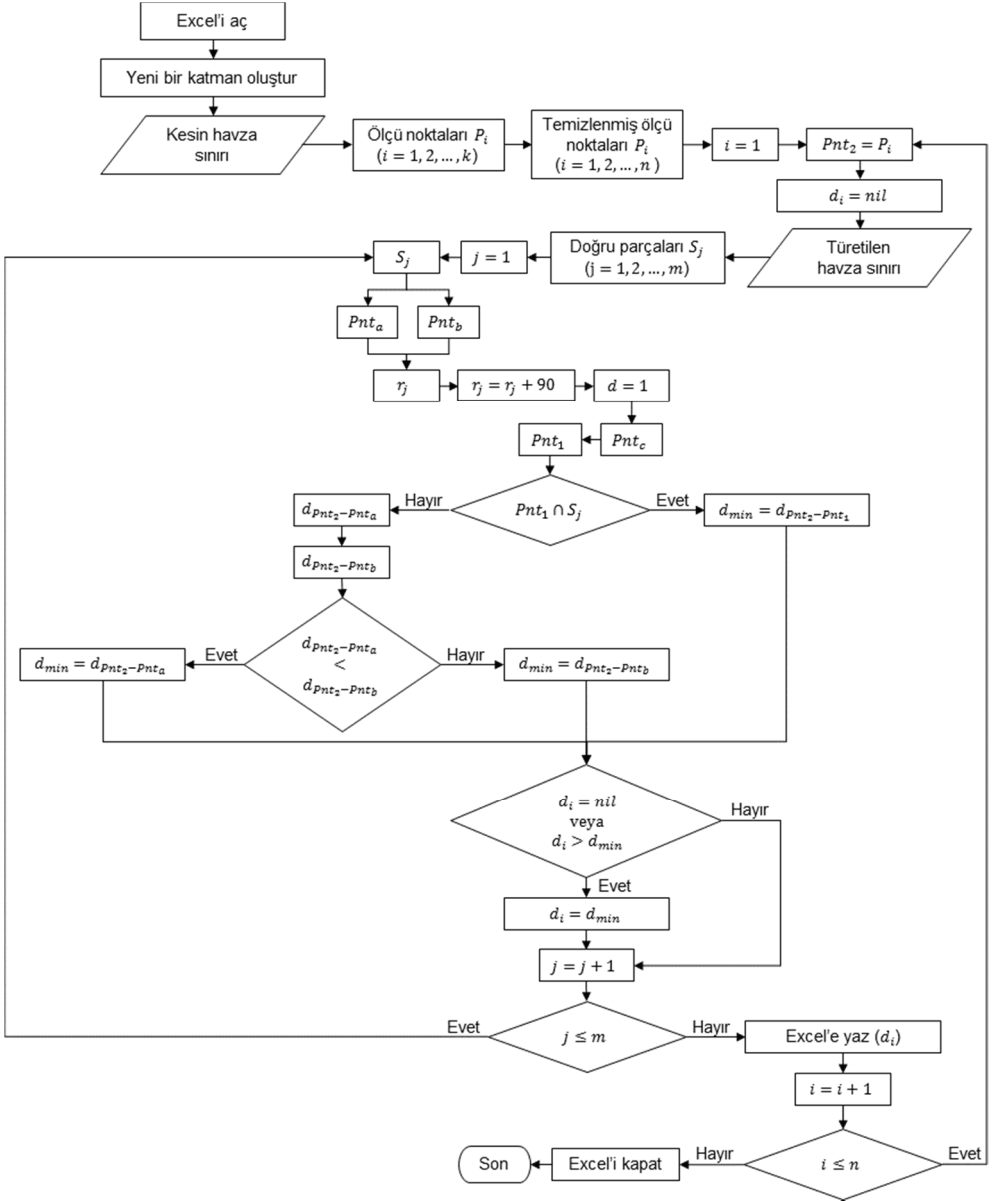
2.11. Havza Sınırı Karesel Ortalama Yatay Konum Hatasının Hesaplanması

Türetilen havzaların karesel ortalama yatay konum hataları aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmıştır.

$$m_l = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n}} \quad (1)$$

Bu bağıntıda; d_i , kesin (doğru olarak kabul edilen) havza sınırını temsil eden çizgiye ait her bir nokta (ölçü noktası) ile türetilen havza sınırını temsil eden çizgi arasındaki yatay konum farkıdır. n ise ölçü (yatay mesafe) ya da ölçü noktası sayısıdır. d_i mesafeleri AutoCAD'in makro programlama dili olan AutoLISP ile yazılan bir program (rmse.lsp) yardımıyla otomatik ölçülmüş ve bir Excel sayfasına yazdırılmıştır. Karesel ortalama yatay konum hatası (m_l) bu ölçülerle Excel'de hesaplanmıştır. Karesel ortalama yatay konum hatası, seçilen üç havza verisi ile hesaplanmıştır. Seçilen havza sınırları HGK'da görev yapan deneyimli bir operatör tarafından, özellikleri Bölüm 2.1'de açıklanan hava fotoğrafları kullanılarak ortaya konulan stereo modeller üzerinde dikkatlice üç boyutlu olarak çizilmiştir. Bu nedenle, operatör tarafından çizilen havza sınırlarının yatay (planimetrik) ve düşey (yükseklik) konum doğruluğu, aynı fotoğraflardan kıymetlendirilen TOPO25 veri tabanlarındaki hidrografya verilerinin yatay (planimetrik) ve düşey (yükseklik) konum doğruluğu ile aynıdır (% 95 güven düzeyinde sırasıyla ± 4 m ve ± 3 m). Bu 3B çizgiler kesin havza sınırları olarak kabul edilmiştir. Akış diyagramı Şekil 5'te görünen rmse.lsp programının algoritması aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Excel'i aç.
2. Ölçü noktalarının yerleştirileceği katmanı oluşturun.
3. Kesin havzayı temsil eden çizgiyi al.
4. Çizgiyi meydana getiren ardışık doğru parçalarının birleşim yerlerinde (vertices) nokta nesnelere (ölçü noktaları, P_i , $i = 1, 2, \dots, k$) meydana getirin.
5. Bir kesişim yerinde birden fazla ölçü noktası meydana getirilmişse, biri hariç diğerlerini sil (P_i , $i = 1, 2, \dots, n$).
6. Ölçü noktalarını bir diziyeye yerleştirin.



Şekil 5 - RMSE algoritmasının akış diyagramı

7. Diziden birinci ölçü noktasını al.
8. Türetilen havzayı temsil eden çizgiyi al.
9. Bu çizgiyi meydana getiren doğru parçalarından ($S_j, j = 1, 2, \dots, m$) birincisini al.

10. Bu doğru parçasının uç noktalarını (Pnt_a ve Pnt_b) al.
11. Bu iki nokta arasındaki açıyı (r_j) hesapla.
12. Bu açıya 90° ilave ederek yeni doğru parçasının doğrultu açısını hesapla.
13. Ölçü noktasından bu doğrultu boyunca 1 birim uzaklıkta ($d = 1$) yeni bir nokta (Pnt_c) tanımla.
14. Bu nokta ve ölçü noktasıyla tanımlı doğru parçası ile türetilen havzayı temsil eden çizginin ele alınan doğru parçasının gerçek ya da uzantıda kesişim noktasını (Pnt_1) belirle.
15. Kesişim noktası, türetilen havzayı temsil eden çizginin ele alınan doğru parçası üzerinde ise ($Pnt_1 \cap S_j$) kesişim noktası ile ölçü noktası arasındaki yatay mesafeyi minimum mesafe ($d_{min} = d_{Pnt_2-Pnt_1}$) olarak kaydet. Değilse, kesişim noktası ile türetilen havzayı temsil eden çizginin ele alınan doğru parçasının uç noktaları arasındaki mesafeleri ($d_{Pnt_2-Pnt_a}$ ve $d_{Pnt_2-Pnt_b}$) hesapla ve kısa olanı minimum mesafe olarak kaydet.
16. Minimum mesafeyi (d_{min}) yatay konum farkı (d_i) ile karşılaştır. Küçük ise ($d_i > d_{min}$) minimum mesafe değerini yatay konum farkı olarak kaydet ($d_i = d_{min}$).
17. Türetilen havzayı temsil eden çizginin geriye kalan doğru parçalarıyla 10uncu ve 16ncı adımlar arasındaki işlemleri tekrarla.
18. Yatay konum farkı değerini (d_i) Excel'e yaz.
19. Ölçü noktaları dizisindeki geriye kalan noktalarla 7nci ve 18inci adımlar arasındaki işlemleri tekrarla.
20. Excel'i kapat.

2.12. SYM Karesel Ortalama Düşey Konum (Yükseklik) Hatasının Hesaplanması

Bölüm 2.11'de açıklandığı gibi, rmse.lsp programı ile havza sınırı karesel ortalama yatay konum hatası hesaplanırken; dördüncü adımda, çizgiyi (havza sınırı) meydana getiren ardışık doğru parçalarının birleşim yerlerinde (vertices) nokta nesnelere meydana getirilmekte, beşinci adımda ise bir kesişim yerinde birden fazla nokta meydana getirilmişse, biri hariç diğerleri silinmektedir. HGK'da görev yapan deneyimli bir operatör tarafından stereo modeller üzerinde çizilen bu çizgiler üç boyutlu olduğu için bu noktalar da üç boyutludur. SYM karesel ortalama düşey konum (yükseklik) hatası hesabında; bu noktaların yükseklikleri "kesin değerler", bu noktalara karşılık gelen (bu noktaların üzerinde yer aldığı) SYM hücrelerinin değerleri ise "ölçüler" olarak kabul edilmiş ve aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır.

$$m_h = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n dh_i^2}{n}} \quad (2)$$

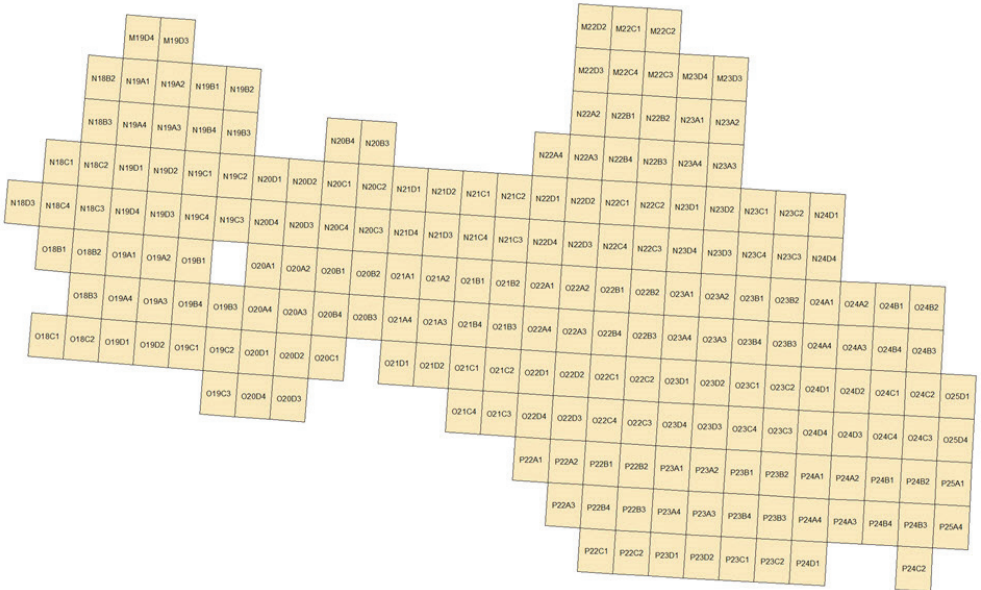
Bu bağıntıda; dh_i , ölçülerin kesin değerlerden farkları, n ise ölçü (nokta) sayısıdır.

3. UYGULAMA SONUÇLARI

Şekil 6 ve 7’de görünen pafta sınırları, coğrafi koordinat sisteminde konumlandırılmış özgün verilerin Albers alan koruyan konik projeksiyonda yeniden konumlandırılmasının uzunluk ve açı deformasyonları bakımından sonuçlarını en yalın biçimde göstermektedir.



Şekil 6 - Coğrafi koordinat sisteminde konumlandırılmış özgün pafta sınırları



Şekil 7 - Albers alan koruyan konik projeksiyonda yeniden konumlandırılmış pafta sınırları

Tersdere programı yardımıyla otomatik olarak tespit edilmiş ve düzeltilmiş dar dere ve kanal sayıları geometri türüne göre Tablo 1’de verilmiştir.

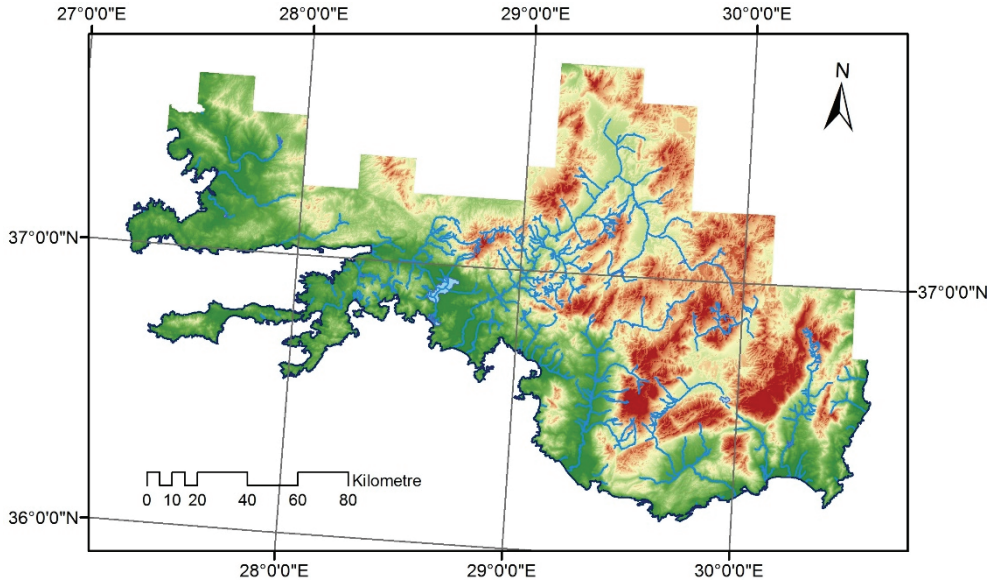
Tablo 1 - Akış yönünün tersi yönünde çizilmiş ‘polyline’ ve ‘line’ türünde dar dere ve kanal sayıları

	Dar Dere		Kanal	
	Polyline	Line	Polyline	Line
Toplam	12,931	152	6082	397

207 adet SYM’nin birleştirilmesiyle elde edilen bütünleşik SYM’ye ait istatistikler aşağıdaki gibidir.

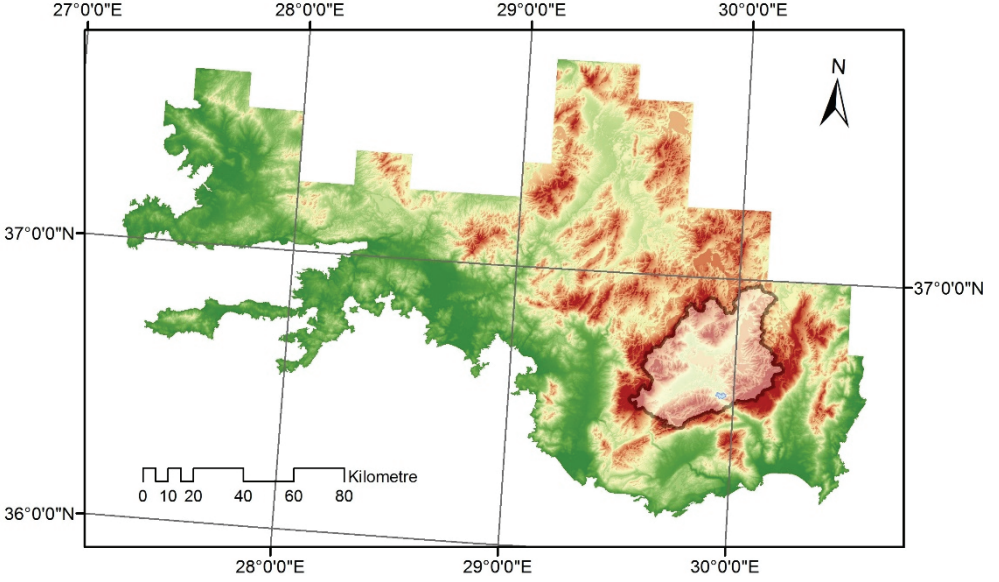
Minimum : 0 m
Maksimum : 3070.713 m
Ortalama : 916.181 m
Standart Sapma : 605.676 m

Hidrolojik ağ, arc-node veri yapısında 1001 adet akarsu ve 36 adet göl nesnesinden meydana gelmektedir. Akarsu nesnelerinin tamamı akış yönünde ve membalardan itibaren sürekli alçalan çizgilerdir. Göl nesneleri sabit kotlu poligonlardır. Bütünleşik SYM ve hidrolojik ağ Şekil 8’de görünmektedir.

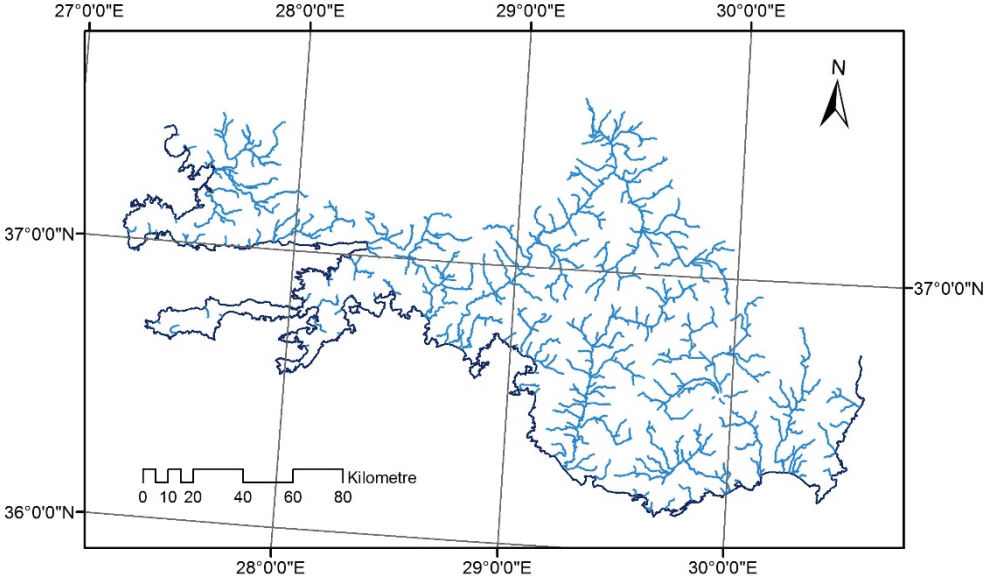


Şekil 8 - SYM ve hidrolojik ağ (arc-node veri yapısında 1001 adet akarsu ve 36 adet göl)

ArcHydro Sink Evaluation aracıyla yüzölçümleri 100 m² ile 53,887,400 m² arasında değişen 58,772 adet çukur belirlenmiştir. Bunlardan biri de Avlan Gölü'dür. Avlan Gölü'ne karşılık gelen çukur nesnesine dayalı olarak türetilen kapalı havza sınırı, Avlan Gölü'ne karşılık gelen çukur nesnesi haricindeki tüm çukurların doldurulmasıyla elde edilen hidrolojik SYM ve Avlan Gölü Şekil 9'da görünmektedir.



Şekil 9 - Kapalı havza, hidrolojik SYM ve Avlan Gölü

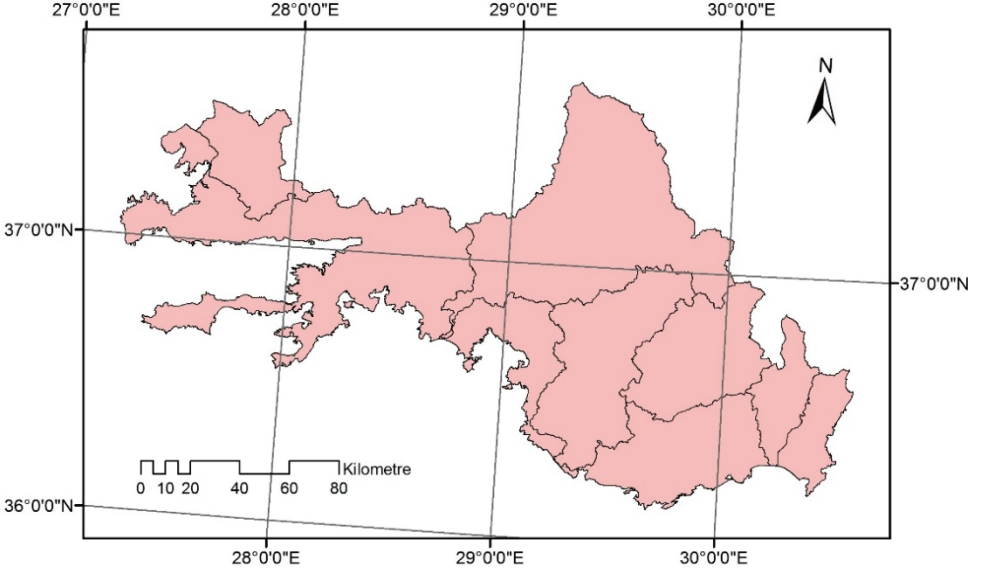


Şekil 10 - BeST drenaj ağı

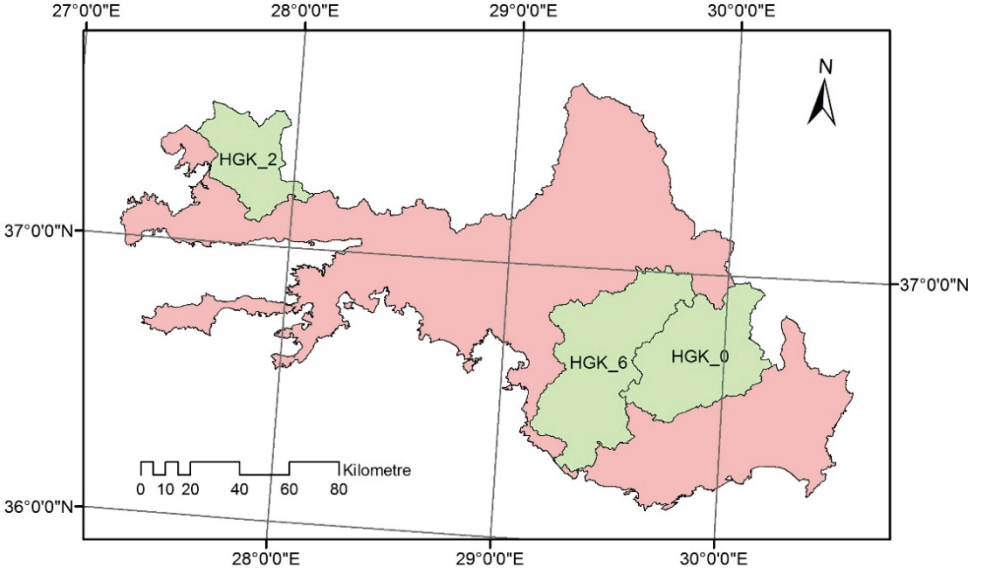
Batı Akdeniz Havzası Sınırlarının Yüksek Doğrulukla Belirlenmesi

BeST programı yardımıyla hesaplanan birikinti eşik değeri 117,622'dir. Bu eşik değere göre türetilen drenaj ağı (BeST drenaj ağı) Şekil 10'da görünmektedir. Toplam uzunluğu 4,586,301.92 m olan bu ağ, arc-node veri yapısında 891 nesneden meydana gelmektedir.

BeST drenaj ağına dayalı olarak belirlenen birinci düzey alt havzalar Şekil 11'de görünmektedir. BeST havza setinde en küçük altıncı düzeyde alt havzalar yer almaktadır.



Şekil 11 - BeST birinci düzey alt havza sınırları



Şekil 12 - HGK'da çizilen alt havza sınırları (HGK_0, HGK_2 ve HGK_6)



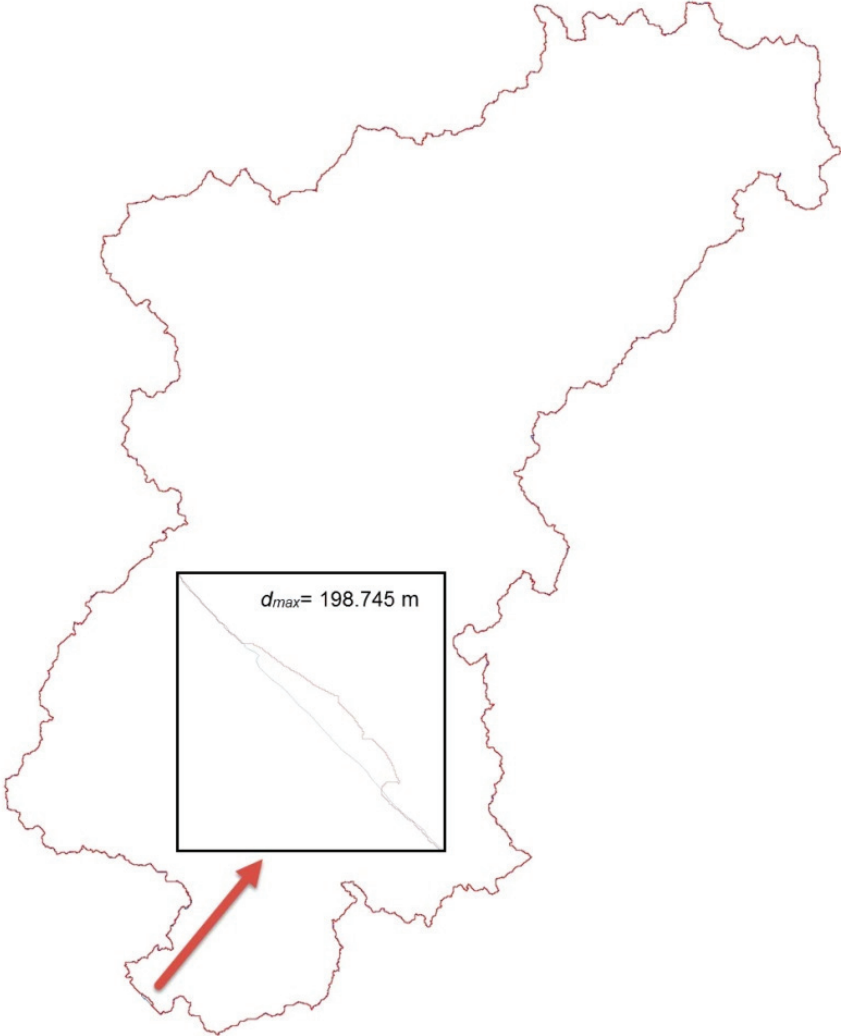
Şekil 13 - HGK_0 (mavi) ve BeST_0 (kırmızı) havza sınırları



Şekil 14 - HGK_2 (mavi) ve BeST_2 (kırmızı) havza sınırları

HGK'da görev yapan deneyimli bir operatör tarafından stereo modeller üzerinde dikkatlice üç boyutlu çizilen ve havza sınırı karesel ortalama yatay konum hatası hesabında kesin sınır olarak kullanılan üç havza (BeST değerleriyle türetilen birinci düzey havzalardan kıyı kodu 0, 2 ve 6'ya karşılık gelen üç havza) Şekil 12'de görülmektedir. Bundan sonra HGK'da çizilen bu üç alt havza kısaca HGK_0, HGK_2 ve HGK_6 adıyla anılacaktır. Benzer biçimde, BeST değeriyle türetilen alt havzalar ise BeST_0, BeST_2 ve BeST_6 adıyla anılacaktır.

HGK_0, HGK_2 ve HGK_6'nın nokta sayıları sırasıyla 8676, 10,838 ve 12,301'dir. HGK_0 ile BeST_0, HGK_2 ile BeST_2 ve HGK_6 ile BeST_6 karşılaştırılmış halde sırasıyla Şekil 13, 14 ve 15'te görülmektedir. Karesel ortalama yatay konum hatasına ilişkin istatistikler Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 15 - HGK_6 (mavi) ve BeST_6 (kırmızı) havza sınırları

Tablo 2 - Karesel ortalama yatay konum hatasına ilişkin istatistikler

Havza	Ölçü Sayısı	d_{min} [m]	d_{max} [m]	m_l [m]
BeST_0	8676	0.002	171.241	14.36
BeST_2	10,838	0.0003	233.565	16.14
BeST_6	12,301	0.002	198.745	14.80

Aşağıdaki bağıntıyla, bu çalışmada türetilen üç alt havza için hesaplanan karesel ortalama yatay konum hatalarının ağırlıklı ortalaması alınarak, bu çalışmada türetilen tüm havzalar için bir ağırlıklı karesel ortalama yatay konum hatası hesaplanmıştır.

$$\bar{m}_l = \frac{\sum_{j=1}^3 w_j m_{l_j}}{\sum_{j=1}^3 w_j} \quad (3)$$

Bu bağıntıda; w_j , ölçü sayıları ($w_1 = 8676$, $w_2 = 10,838$ ve $w_3 = 12,301$) ve m_{l_j} , karesel ortalama yatay konum hataları ($m_{l_1} = 14.36$, $m_{l_2} = 16.14$ ve $m_{l_3} = 14.80$) olmak üzere, ağırlıklı karesel ortalama yatay konum hatası $\bar{m}_l = 15.14$ m olarak hesaplanmıştır.

BeST havzalarının ortalama yatay konum doğruluğu için eşik değer ise aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmıştır [34].

$$M_l = (2 \times P) + m_l \quad (4)$$

Bu bağıntıda; P , hücre büyüklüğü (SYM çözünürlüğü) ve m_l , SYM üretiminde kullanılan verilerin ortalama yatay konum doğruluğudur. Bu çalışmada kullanılan verilerin ortalama yatay konum doğruluğu ∓ 4.00 m'dir. Buna göre, $M_l = (2 \times 10) + 4 = \pm 24$ m'dir.

Ayrıca, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) standartlarına göre ortalama yatay konum doğruluğu için eşik değer aşağıdaki bağıntıyla da hesaplanabilir [35].

$$M_l = C \times P \quad (5)$$

Bu bağıntıda; P , hücre büyüklüğü (SYM çözünürlüğü) ve C , sınıf değeridir. ASPRS standartlarına göre doğruluk, yapılan çalışmanın niteliğine bağlı olarak belirlenmektedir ve çalışmalar üç sınıfta toplanmıştır: (1) Yüksek doğruluk gerektiren çalışmalar, (2) standart haritalama ve CBS çalışmaları ve (3) görselleştirme ve yüksek doğruluk gerektirmeyen çalışmalar. Bu çalışma ikinci sınıfa girmektedir ve bu nedenle bağıntıdaki C parametresinin değeri 2'dir. Buna göre, $M_l = 2 \times 10 = \pm 20$ m'dir.

Sonuç olarak, BeST havzalarının ağırlıklı karesel ortalama yatay konum hatası ($\bar{m}_l = 15.14$ m) yukarıda hesaplanan her iki eşik değerden de ($M_{l_1} = \pm 24$ m, $M_{l_2} = \pm 20$ m) küçük olduğu için BeST havzalarının ortalama yatay konum doğruluğunun oldukça yüksek olduğu söylenebilir.

HGK_0, HGK_2 ve HGK_6 havza sınırlarında meydana getirilen sırasıyla 8676, 10,838 ve 12,301 noktanın yükseklikleri (kesin değerler, \bar{h}_i), bu noktalara karşılık gelen SYM hücrelerinin değerleri (ölçüler, h_i) ve yükseklik farklarına ($dh = h_i - \bar{h}_i$) göre belirlenen minimum yükseklik farkları (dh_{min}), maksimum yükseklik farkları (dh_{max}) ve karesel ortalama düşey konum hataları (m_h) Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3 - Karesel ortalama düşey konum hatasına ilişkin istatistikler

Havza	Ölçü Sayısı	dh_{min} [m]	dh_{max} [m]	m_h [m]
HGK_0	8676	0.00	20.90	2.44
HGK_2	10,838	0.00	32.09	2.83
HGK_6	12,301	0.00	20.90	2.63

Aşağıdaki bağıntıyla, HGK_0, HGK_2 ve HGK_6 havzasına dayalı olarak hesaplanan SYM karesel ortalama düşey konum hatalarının ağırlıklı ortalaması alınarak, bu çalışmada üretilen bütünleşik SYM için bir ağırlıklı karesel ortalama düşey konum hatası hesaplanmıştır.

$$\bar{m}_h = \frac{\sum_{j=1}^3 w_j m_{h_j}}{\sum_{j=1}^3 w_j} \quad (6)$$

Bu bağıntıda; w_j , ölçü sayıları ($w_1 = 8676$, $w_2 = 10,838$ ve $w_3 = 12,301$) ve m_{h_j} , karesel ortalama düşey konum hataları ($m_{h_1} = 2.44$, $m_{h_2} = 2.83$ ve $m_{h_3} = 2.63$) olmak üzere, ağırlıklı karesel ortalama düşey konum hatası $\bar{m}_h = 2.65$ m olarak hesaplanmıştır.

SYM üretiminde kullanılan verilerin ortalama düşey konum doğruluğu, SYM'nin ortalama düşey konum doğruluğu için bir eşik değer olarak kabul edilebilir. Bu çalışmada, SYM üretiminde kullanılan verilerin ortalama düşey konum doğruluğu ± 3.00 m'dir. Ayrıca, ASPRS, National Map Accuracy Standard (NMAS) [36] ve National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA) [37] standartlarına göre, SYM üretiminde kullanılan yükseklik eğrilerinin eş yükseklik değerinin yarısı, ortalama düşey konum doğruluğu için eşik değer olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada kullanılan yükseklik eğrilerinin eş yükseklik değeri 10 m'dir. Buna göre, ortalama düşey konum doğruluğu için eşik değer $M_h = 10/2 = \pm 5$ m'dir.

Sonuç olarak, BeST havzalarının ağırlıklı karesel ortalama düşey konum hatası ($\bar{m}_h = 2.65$ m) yukarıda hesaplanan her iki eşik değerden de ($M_{h_1} = \pm 3$ m, $M_{h_2} = \pm 5$ m) küçüktür. Bu nedenle BeST havzalarının ortalama düşey konum doğruluğunun da oldukça yüksek olduğu söylenebilir.

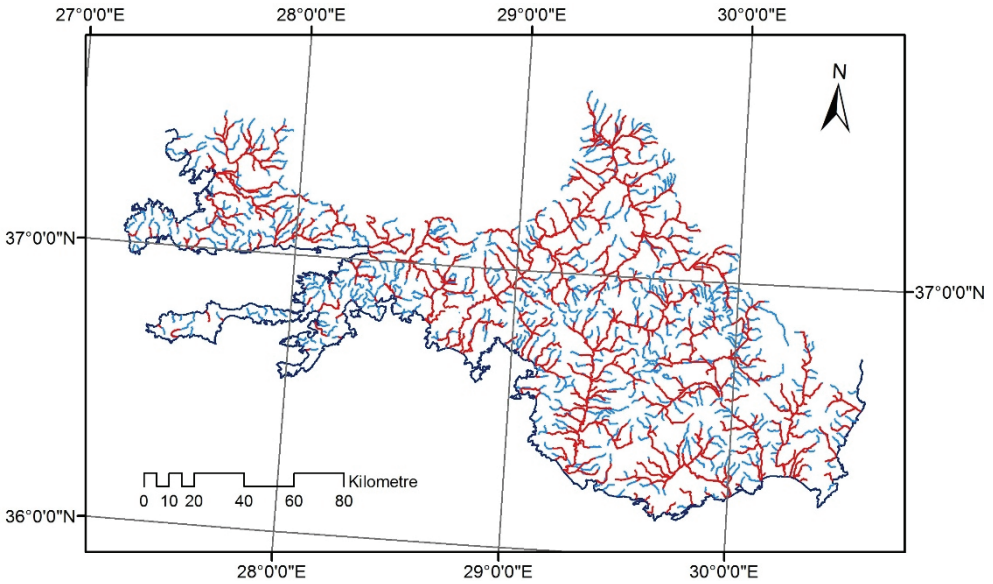
Son olarak, hidrolojik analizde SYM çözünürlüğünün etkisini göstermek amacıyla, DSİ tarafından 90 m çözünürlüğe sahip SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) 3 Arc SYM kullanılarak üretilen drenaj ağı (DSİ drenaj ağı) ve birinci düzey alt havza sınırları (DSİ birinci düzey alt havza sınırları), bu çalışmada üretilen drenaj ağı (BeST drenaj ağı) ve birinci düzey alt havza sınırları (BeST birinci düzey alt havza sınırları) ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, DSİ havzalarının ağırlıklı ortalama yatay konum hatası hesaplanmış ve hem ortalama yatay

konum hatası eşik değeri ile hem de BeST havzalarının ağırlıklı karesel ortalama yatay konum hatası ile karşılaştırılmıştır.

DSİ drenaj ağı, toplam uzunluğu 6,213,223.21 m olan ve arc-node veri yapısında 1170 nesneden meydana gelen bir ağıdır. Buna göre; BeST drenaj ağındaki nesne sayısı (891), DSİ drenaj ağındaki nesne sayısının yaklaşık % 76'sı; BeST drenaj ağının toplam uzunluğu (4,586,301.92 m) ise DSİ drenaj ağının toplam uzunluğunun yaklaşık % 74'ü kadardır. Görsel karşılaştırma da yapılabilmesi için, BeST ve DSİ drenaj ağları çakıştırılmış halde Şekil 16'da gösterilmiştir.

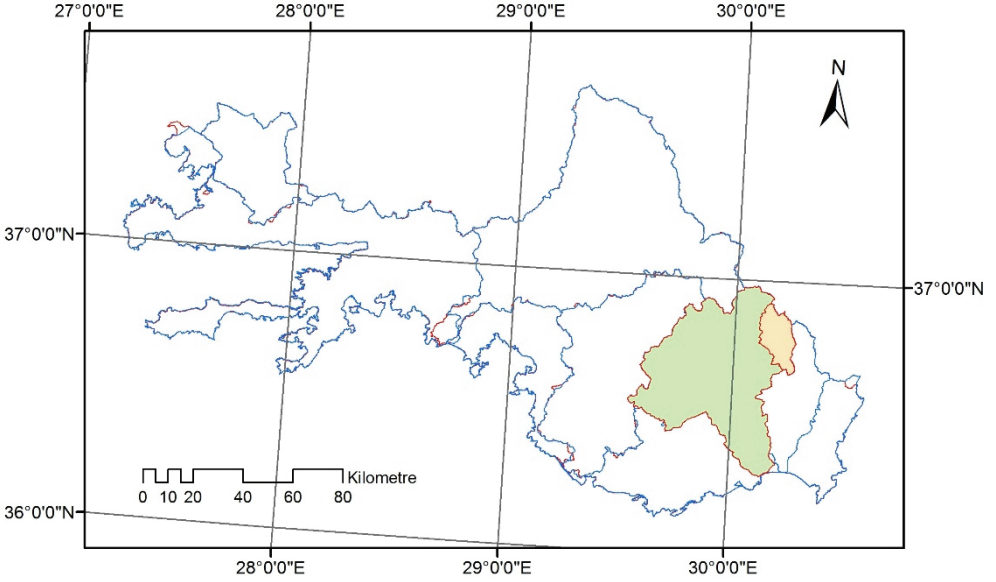
BeST ve DSİ birinci düzey alt havza sınırları çakıştırılmış halde Şekil 17'de gösterilmiştir. Bej renkli havza, BeST birinci düzey alt havzalarında bulunmayan DSİ birinci düzey alt havzasıdır. Yeşil renkli havza ise BeST kapalı havzasını da içine alan DSİ açık havzasıdır. Bej ve yeşil renkli havzalar, BeST ve DSİ havzaları arasındaki başlıca fark olarak görünmektedir. Bu havzalar dışındaki havzalar arasında da kısmen farklar olduğu görünmektedir. Bunun nedeni, DSİ girdilerinin (1:25,000, 1:100,000 ve 1:250,000 ölçekli standart topoğrafik haritalardan meydana getirilen hidrolojik ağ ve 90 m çözünürlüklü SRTM) ve metodolojisinin, BeST girdilerinden (bu çalışmada üretilen hidrolojik ağ ve 10 m çözünürlüklü SYM) ve metodolojisinden farklı olmasıdır.

DSİ birinci düzey alt havza sınırları arasında BeST_0'a (kapalı havzaya) karşılık gelen bir havza bulunmadığı için hata hesabı HGK_2 ve HGK_6'ya karşılık gelen DSİ havzaları ile yapılmıştır. HGK_2 ile DSİ_2 çakıştırılmış halde Şekil 18'de görünmektedir. Minimum ve maksimum yatay konum farkları sırasıyla 0.006 m ve 1258.006 m'dir. 10,838 ölçüyle yapılan hesap sonucunda DSİ_2'nin ortalama yatay konum hatası $m_l = 145.39$ m olarak bulunmuştur.



Şekil 16 - BeST (kırmızı) ve DSİ (mavi) drenaj ağları

Batı Akdeniz Havzası Sınırlarının Yüksek Doğrulukla Belirlenmesi



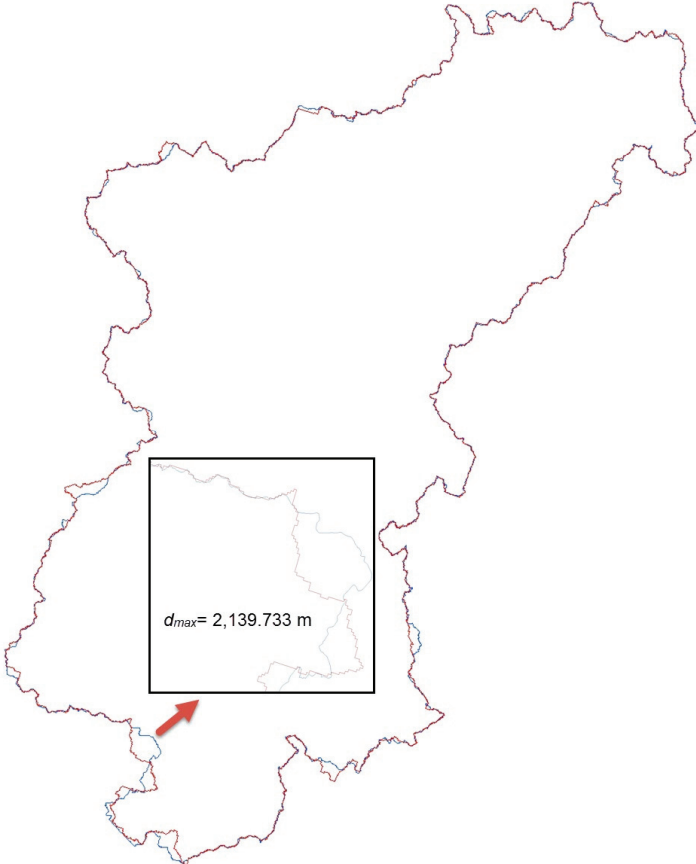
Şekil 17 - BeST (mavi) ve DSİ (kırmızı) birinci düzey havzaları: BeST kapalı havzasını da içine alan DSİ açık havzası (yeşil) ve BeST havzalarında bulunmayan DSİ havzası (bej)



Şekil 18 - HGK_2 (mavi) ve DSİ_2 (kırmızı) havza sınırları

HGK_6 ile DSİ_6 çakıştırılmış halde Şekil 19'da görünmektedir. Minimum ve maksimum yatay konum farkları sırasıyla 0.008 m ve 2139.733 m'dir. 12,301 ölçüyle yapılan hesap sonucunda DSİ_6'nın ortalama yatay konum hatası $m_l = 210.60$ m olarak bulunmuştur.

DSİ havzalarının ağırlıklı ortalama yatay konum hatası, DSİ_2 ve DSİ_6 havzalarının ortalama yatay konum hataları ($m_{l_1} = 145.39$ m ve $m_{l_2} = 210.60$ m) ve ölçü sayıları ($w_1 = 10,838$ ve $w_2 = 12,301$) kullanılarak Bağntı 3 ile $\bar{m}_l = 180.06$ m olarak hesaplanmıştır. Ancak, DSİ havza sınırlarının üretiminde kullanılan SYM çözünürlüğü hariç diğer verilerin ortalama yatay konum hatası tam olarak bilinmediği için Bağntı 4'e göre eşik değeri hesaplanamamıştır. Bununla birlikte, Bağntı 5'e göre eşik değeri, $M_{l_2} = 2 \times 90 = \pm 180$ m'dir. Buna göre, DSİ havzalarının ağırlıklı ortalama yatay konum hatası, çok az da olsa eşik değerden büyüktür. Bu çalışmada türetilen havza sınırlarının ağırlıklı ortalama yatay konum doğruluğu ile DSİ havza sınırlarının ağırlıklı ortalama yatay konum doğruluğu karşılaştırıldığında ise, bu çalışmada türetilen havza sınırlarının ağırlıklı ortalama yatay konum doğruluğunun ($\bar{m}_l = 15.14$ m), DSİ havza sınırlarının ağırlıklı ortalama yatay konum doğruluğundan yaklaşık 12 kat daha yüksek olduğu görünmektedir.



Şekil 19 - HGK_6 (mavi) ve DSİ_6 (kırmızı) havza sınırları

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

CBS’de yapılan analizlerin ve elde edilen sonuçların kalitesi, öncelikle verinin kalitesine bağlıdır. Veri ne kadar kaliteli ise elde edilen sonuçlar da o kadar kaliteli olacaktır. Bunun tersi de doğrudur. SYM üretiminde kullanılan yükseklik ve hidrografya verilerinde kalitatif ve kantitatif çok sayıda hata ile karşılaşmıştır. Bu hataların büyük bir kısmı bu çalışma kapsamında AutoLISP programlama dilinde yazılan iki program (tersdere.lsp ve kasislidere.lsp) yardımıyla otomatik olarak giderilmiştir. Geriye kalanlar ise CBS araçları yardımıyla yarı otomatik ve/veya manuel giderilmiştir. Bu çalışmada yapıldığı gibi, verilerdeki hataları gidermek için çeşitli araçlar geliştirilebilir ancak, esas hedef hatasız veri üretmek olmalıdır. Başka bir deyişle, hataları gidermek için değil, hatasız veri üretmek için araçlar geliştirilmelidir. Verimlilik ve veri kalitesi arasında en uygun dengeyi sağlayacak şekilde geliştirilecek araçlar sayesinde otomatik kontrollü üretim gerçekleştirilebilir. Geliştirilecek otomatik kontrol araçları veri üretim faaliyetinin bir miktar yavaşlamasına neden olabilir. Ancak, veriyi temizlemek için harcanacak zaman ve her şeye rağmen verinin bütünüyle temizlenememe olasılığı göz önüne alındığında, bunun anlamlı, faydalı, değerli ve gerekli olduğu anlaşılacaktır.

Yükseklik ve hidrografya verileriyle SYM üretimi bilinen ve yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Ancak, üretilen SYM’in doğruluk analizi genellikle yapılmamaktadır. Oysaki SYM, hidrolojik analizlerin iki temel girdisinden biridir. SYM’in doğruluğu, hidrolojik analizlerin ve bu analizlerden elde edilecek ürünlerin doğruluğunu doğrudan etkiler. Bu çalışmada, üretilen SYM’in ağırlıklı karesel ortalama düşey konum hatası özgün bir yöntemle belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, üretilen SYM’in ortalama düşey konum doğruluğu, SYM üretiminde kullanılan verilerin ortalama düşey konum doğruluğundan daha yüksektir ve ASPRS, NMAS ve NSSDA standartlarına göre kabul edilebilir niteliktedir. Bu sonuç, veri temizleme işleminin yeterli düzeyde yapıldığının ve üretilen SYM’in güvenle kullanılabilmesinin bir ispatıdır. Ayrıca, böyle yüksek doğruluklu bir SYM’den türetilen drenaj ağlarının ve havzaların da yüksek doğruluklu olacağına dair bir güven ölçütüdür. SYM doğruluk analizinin ülkemizde bir standart haline getirilmesi büyük önem arz etmektedir. SYM doğruluk analizi, yönetmelik, teknik şartname vb. ile bir zorunluluk haline getirilmelidir. Yeterli doğrulukta olmayan SYM’lerin kullanılmasına ve bu SYM’lerle çeşitli ürünler elde edilmesine izin verilmemelidir.

Çalışma bölgesine ait SYM’in bir adımda tek parça halinde üretimi ideal olmaktadır. Ancak, bu çalışmada kullanılan verilerin hacmi, SYM üretiminde kullanılan CBS aracının kapasitesinin çok üstünde olduğu için, pafta bazında 207 adet bindirmeli SYM üretilmiş ve sonra bunlar kaynaştırılmıştır. SYM bindirme mesafesi, yapılan bir dizi test sonucunda belirlenmiştir. Üretilen SYM’in yüksek doğruluklu olmasında bu test çalışmasının da önemli bir katkısı olmuştur.

Hidrolojik analiz için ikinci temel girdi olan hidrolojik ağı meydana getirilmesi son derece önemli bir aşamadır. Olabildiğince doğal nesnelere ve arazi şekilleri dikkatlice incelenerek hidrolojik ağ meydana getirilmelidir. Gerekirse arazide kontrol bile yapılabilir. Bu çalışmada, Avlan Gölü bölgesinde hidrolojik ağda bir kopukluk olduğu ve bunun nedeninin de Avlan Gölü yakınındaki eyer biçimli bir boyun olduğu, gerek münhaniler üzerinde gerekse uydu görüntüleri üzerinde yapılan incelemeler sonucu, hiç şüpheye yer olmaksızın tespit edilmiştir. Böylece, aynı zamanda Avlan bölgesindeki çukur ve kapalı havza da tespit

edilmiştir. DSİ tarafından yapılan daha önceki çalışmalarda bu boyun tespit edilemediği için DSİ drenaj ağlarında bu bölgede bir kopukluk yoktur ve bu kapalı havza tespit edilememiştir.

Akış birikinti eşik değeri, hidrolojik analiz sonucu elde edilecek drenaj ağını ve havza sınırlarını doğrudan etkileyen kullanıcı tanımlı ve önemli bir parametredir. BeST yaklaşımıyla, memba noktalarının birbirine bir hücre büyüklüğünden daha yakın olmayacağı drenaj ağını üretecek ilk akış birikinti değeri belirlenmektedir. Bu nedenle, BeST değeriyle elde edilen drenaj ağında paralel çizgiler ortaya çıkmamıştır. BeST değeri aslında akış birikinti eşik değerleri için de bir eşik değerdir. Başka bir deyişle, bir akış birikinti eşik değeri, BeST değerinden küçükse, o eşik değerle türetilen drenaj ağının memba noktalarından bazılarının birbirlerine bir hücre büyüklüğü yakınlığında olabileceği veya tersi durumda (bir akış birikinti eşik değeri BeST değerinden büyükse) memba noktalarının birbirlerine bir hücre büyüklüğünde yakın olmayacağı önceden tespit edilebilir. BeST değeri, kullanılacak en küçük eşik değer olduğu için, BeST değeriyle elde edilen drenaj ağı, en fazla nesne sayısına sahip ve toplam uzunluğu en fazla drenaj ağı olacaktır.

Bu güne kadar yapılan benzer çalışmalar incelendiğinde, türetilen havza sınırlarının doğruluğuna ilişkin, ölçülere dayalı olarak ortaya konmuş bir bilgiye rastlanmamaktadır. Bu çalışmada, havza sınırlarının ortalama yatay konum doğruluğu özgün bir yöntemle belirlenmiştir. Bu amaç doğrultusunda AutoLISP programlama dilinde yazılan bir program (rmse.lsp) yardımıyla işlemler büyük ölçüde otomatik gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada türetilen havza sınırlarının ağırlıklı karesel ortalama yatay konum hatasının, bu çalışmada kullanılan verilerin ortalama yatay konum hatasına ve SYM çözünürlüğüne bağlı olarak hesaplanan eşik değerinin çok altında olduğu ve ayrıca ASPRS standartlarına göre kabul edilebilir nitelikte olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, bu çalışmada türetilen havza sınırlarının ortalama yatay konum doğruluğunun, DSİ havza sınırlarının ortalama yatay konum doğruluğundan yaklaşık 12 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Başka bir deyişle, bu çalışmada, yüksek doğruluklu bir SYM'den yüksek doğruluklu havza sınırları türetilmiştir.

Semboller

- BeST : Best Stream Threshold
CBS : Coğrafi Bilgi Sistemleri
SYM : Sayısal Yükseklik Modeli
PPA : Profile Recognition and Polygon Breaking Algorithm
WFD : Water Framework Directive
INSPIRE : Infrastructure for Spatial Information in Europe
HGK : Harita Genel Komutanlığı
GPS : Global Positioning System
IMU : Inertial Measurement Unit
ASPRS : American Society for Photogrammetry and Remote Sensing
NMAS : National Map Accuracy Standard

NSSDA	: National Standard for Spatial Data Accuracy
SRTM	: Shuttle Radar Topography Mission
m_l	: Karesel Ortalama Yatay Konum Hatası
d_i	: Yatay Konum Farkı
n	: Ölçü Nokta Sayısı
m_h	: Karesel Ortalama Düşey Konum Hatası
dh_i	: Kesin değerlerden farklar
w_j	: Ölçü sayısı
M_l	: Yatay konum doğruluğu için eşik değer
C	: Sınıf değeri
P	: Hücre büyüklüğü (SYM çözünürlüğü)
M_h	: Düşey konum doğruluğu için eşik değer

Teşekkür

Yazarlar, çalışmaya desteğinden dolayı TÜBİTAK'a (Proje No: 115Y411), Prof. Dr. Zekâi Şen'e ve makalenin gelişmesine katkıda bulunan hakemlere teşekkür eder.

Kaynaklar

- [1] Güler, A., Sayısal Arazi Modellerinde İnterpolasyon Yöntemleri, Harita Dergisi, 85, 53-70, 1978.
- [2] Hutchinson, M.F., A New Procedure for Gridding Elevation and Stream Data with Automatic Removal of Spurious Pits, Journal of Hydrology, 106, 211-232, 1989.
- [3] Hengl, T., Evans, I.S., Mathematical and Digital Models of the Land Surface, Developments in Soil Science, 33, 31-63, 2009.
- [4] Finsterwalder, R., Zur Bestimmung von Tal-und Kammlinien, Zeitschrift für Vermessung Wesen, 111 (5), 184-89, 1986.
- [5] Gökgöz, T., Generalization of Contours Using Deviation Angles and Error Bands, The Cartographic Journal, 42 (2), 145-156, 2005.
- [6] Li, Z.L., Zhu, Q., Gold, C., Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology, New York: CRC Press, 2005.
- [7] Chang, K.T., Introduction to Geographic Information Systems (3. Basım), New York: Mc Graw Hill, 2006.

- [8] O'Callaghan, J.F., Mark, D.M., The Extraction of Drainage Networks from Digital Elevation Data, *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 28 (3), 323-344, 1984.
- [9] Mark, D.M., Automated Detection of Drainage Networks from Digital Elevation Models, *Cartographica*, 21 (2-3), 168-178, 1984.
- [10] Jenson, S.K., Dominique, J.O., Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54 (11), 1593-1600, 1988.
- [11] Zhou, Q., Liu, X., Error Assessment of Grid-Based Flow Routing Algorithms Used in Hydrological Models, *International Journal of Geographical Information Science*, 16 (8), 819-842, 2002.
- [12] Zhang, W., Fu, C., Yan, X., Automatic Watershed Delineation for a Complicated Terrain in the Heihe River Basin, Northwest China, *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 4, 2347-2350, 2005.
- [13] Gökgöz, T., Uluğtekin, N., Başaraner, M., Gülgen, F., Doğru, A.Ö., Bilgi, S., Yücel, M.A., Çetinkaya, S., Selçuk, M., Uçar, D., Watershed Delineation from Grid DEMs in GIS: Effects of Drainage Lines and Resolution, 10th International Specialised Conference on Diffuse Pollution and Sustainable Basin Management, 18-22 Eylül, İstanbul, Türkiye, 2006.
- [14] Fairfield, J., Leymarie, P., Drainage Networks from Grid Digital Elevation Models, *Water Resources Research*, 27 (5), 709-717, 1991.
- [15] Tribe, A., Automated Recognition of Valley Lines and Drainage Networks from Grid Digital Elevation Models: a Review and a New Method, *Journal of Hydrology*, 139, 263-293, 1992.
- [16] Costa-Cabral, M.C., Burges, S.J., Digital Elevation Model Networks (DEMON): a Model of Flow Over Hillslopes for Computation of Contributing and Dispersal Areas, *Water Resources Research*, 30 (6), 1681-1692, 1994.
- [17] Tarboton, D.G., A New Method for the Determination of Flow Directions and Upslope Areas in Grid Digital Elevation Models, *Water Resources Research*, 33 (2), 309-319, 1997.
- [18] Garbrecht, J., Martz, L.W., The Assignment of Drainage Over Flat Surfaces in Raster Digital Elevation Models, *Journal of Hydrology*, 193, 204-213, 1997.
- [19] Martz, L.W., Garbrecht, J., The Treatment of Flat Areas and Depressions in Automated Drainage Analysis of Raster Digital Elevation Models, *Hydrological Processes*, 12, 843-855, 1998.
- [20] Turcotte, R., Fortin, J.P., Rousseau, A.N., Massicotte, S., Villeneuve, J.P., Determination of the Drainage Structure of a Watershed Using a Digital Elevation Model and a Digital River and Lake Network, *Journal of Hydrology*, 240, 225-242, 2001.

- [21] Jones, R., Algorithms for Using a DEM for Mapping Catchment Areas of Stream Sediment Samples, *Computers & Geosciences*, 28 (1), 1051-1060, 2002.
- [22] Gülgen, F., Gökğöz, T., A New Algorithm for Extraction of Continuous Channel Networks without Problematic Parallels from Hydrologically Corrected DEMs, *Boletim de Ciencias Geodesicas*, 16 (1), 20-38, 2010.
- [23] Olivera, F., Furnans, J., Maidment, D.R., Djokic, D., Ye, Z., *ArcHydro: GIS for Water Resources*, Editör: Maidment, D.R., Redlands: ESRI Press, 2002.
- [24] Tang, G.A., *A Research on the Accuracy of Digital Elevation Models*, Beijing: Science Press, 2000.
- [25] Heine, R.A., Lant, C.L., Sengupta, R.R., Development and Comparison of Approaches for Automated Mapping of Stream Channel Networks, *Annals of the Association of American Geographers*, 94 (3), 477-490, 2004.
- [26] EU Water Framework Directive. “Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy”. http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index_en.html Son erişim tarihi: 19 Mart 2017.
- [27] Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü. “Su Politikası Alanında Topluluk Faaliyeti için Bir Çalışma Çerçevesi Oluşturan 23 Ekim 2000 Tarihli Avrupa Parlamentosu ve Konseyinin 2000/60/EC Sayılı Direktifi”. http://www.cem.gov.tr/erozyon/Files/faaliyetler/dis_iliskiler/Avrupa_Birligi/AB_Su_Cerceve_Tur.pdf Son erişim tarihi: 19 Mart 2017.
- [28] Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü. “INSPIRE Yol Haritası”. <http://www.csb.gov.tr/gm/cbs/index.php?Sayfa=sayfa&Tur=webmenu&Id=36623>. Son erişim tarihi: 19 Mart 2017.
- [29] INSPIRE Thematic Working Group Hydrography. “D2.8.I.8 INSPIRE Data Specification on Hydrography – Guidelines” http://inspire.ec.europa.eu/documents/Data_Specifications/INSPIRE_DataSpecification_HY_v3.0.1.pdf Son erişim tarihi: 19 Mart 2017.
- [30] Hengl, T., Finding the Right Pixel Size, *Computers & Geosciences*, 32, 1283-1298, 2006.
- [31] Weihau, Z., Montgomery, D., Digital Elevation Model Grid Size, Landscape Representation, and Hydrologic Simulations, *Water Resources Research*, 30 (4), 1019-1028, 1994.
- [32] Erdoğan, M., Veri Türü, Kalitesi ve Üretim Yöntemine Göre Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) Standartlarının Belirlenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2007.
- [33] De Jager, A.L., Vogt, J.V., Development and Demonstration of a Structured Hydrological Feature Coding System for Europe, *Hydrological Sciences Journal*, 55 (5), 661-675, 2010.

- [34] Multinational Geospatial Co-Production Program Technical Reference Documentation (Inherent Report), Harita Genel Komutanlığı, Ankara, 2009.
- [35] American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS). ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data. http://www.asprs.org/a/society/committees/standards/ASPRS_Positional_Accuracy_Standards_Edition1_Version100_November2014.pdf Son erişim tarihi: 19 Mart 2017.
- [36] United States National Map Accuracy Standards, Office of Management and Budget, Washington, D.C. <https://nationalmap.gov/standards/pdf/NMAS647.PDF> Son erişim tarihi: 19 Mart 2017.
- [37] Federal Geographic Data Committee, FGDC-STD-007.3-1998, Geospatial Positioning Accuracy Standards, Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA), FGDC, c/o U.S. Geological Survey. <https://www.fgdc.gov/standards/projects/FGDC-standards-projects/accuracy/part3/chapter3> Son erişim tarihi: 19 Mart 2017.

İstanbul'daki 2000 Yılı Sonrası Binalar İçin Tasarıma Esas Deprem Seviyesi Altında Karşılaştırmalı Yapısal Hasar ve Mali Kayıp Tahminleri

Ufuk HANCILAR¹
Karin ŞEŞETİYAN²
Eser ÇAKTI³

ÖZ

İstanbul Olası Deprem Kayıp Tahminleri (2009) çalışması kapsamında derlenen İstanbul bina envanterinde yaklaşık 1,2 milyon bina bulunmaktadır. Bu binaların %15'i (180.000 civarı) 2000 yılı ve sonrasında inşa edilmiş, 5 ve üzeri katlı, betonarme çerçeve tipi yapılardır. Bu çalışmada, 2000 yılından sonra inşa edilen ve Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (1998)'e [1] göre tasarlandıkları varsayılan bu binalar için, tasarıma esas deprem seviyesi altında yapısal hasar ve yapısal hasar kaynaklı mali kayıp tahminleri sunulmaktadır. Bu amaçla, ELER (Earthquake Loss Estimation Routine) [2] yazılımının kapasite spektrumu yöntemini uygulayan Kentsel Deprem Kayıpları Tahmin Modülü (Hancılar vd., 2010) [3] kullanılmıştır. Spektral ivme ve yerdeğiştirmeye bağlı hasar analizlerinde deprem talebi %5 sönümlü ivme tepki spektrumu ile temsil edilirken bina yatay yük taşıyıcı sistemi kapasite eğrisi ile sunulur ve spektral yerdeğiştirmeler cinsinden kırılma fonksiyonları yoluyla farklı hasar seviyeleri için hasar olasılıkları hesaplanır. Analizlerde deprem etkileri, 50 yılda %10 aşılma olasılığı (475 yıllık yinelenme süresi) için Şeşetiyân vd. (2016)'da [4] sunulan deprem tehlike modeli ile elde edilen zemin bağımlı spektral ivmeler (0,2s ve 1.0s için) kullanılarak oluşturulan tepki spektrumları ile dikkate alınmıştır. Hasar analizleri, bina kapasite eğrileri ve kırılma fonksiyonları için üç farklı model dikkate alınarak aynı deprem seviyesi altında gerçekleştirilmiştir: i) Hancılar ve Çaktı (2015)'te [5] sunulan, yapısal analizlere dayalı kapasite eğrileri ve kırılma fonksiyonları; ii) *İstanbul Olası Deprem Kayıp Tahminleri* (İBB-2009) [6] çalışmasında kullanılan, geçmiş analitik çalışmalara ve uzman görüşü/yorumuna dayanan yapısal kırılma fonksiyonları ile taşıyıcı sistem kapasite eğrileri ve iii) Benzer bina sınıfları için HAZUS-MH MR4 (2004)

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 06.07.2017 günü ulaşmıştır. 16.05.2018 günü yayımlanmak üzere kabul edilmiştir.
- 31 Temmuz 2019 gününe kadar tartışmaya açıktır.

• <https://dx.doi.org/10.18400/tekderg.326939>

1 Boğaziçi Üni., Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü - İstanbul - hancilar@boun.edu.tr
<https://orcid.org/0000-0002-9180-7816>

2 Boğaziçi Üni., Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü - İstanbul - karin@boun.edu.tr
<https://orcid.org/0000-0001-5109-6477>

2 Boğaziçi Üni., Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü - İstanbul - eser.cakti@boun.edu.tr
<https://orcid.org/0000-0003-1381-1833>

Teknik Kılavuzu'nda [7] verilen kapasite eğrileri ve kırılgenlik fonksiyonları. Üç modele ait sonuçlar hasarlı bina sayıları ve dağılımları ile yapısal hasar kaynaklı mali kayıplar cinsinden karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapısal hasar, tasarıma esas deprem seviyesi, deprem riski, ekonomik kayıp, yeni binalar, İstanbul.

ABSTRACT

Comparative Damage and Economic Loss Estimations under Design Basis Earthquake Level for Post-2000 Buildings in Istanbul

The building inventory compiled within the framework of the study entitled *Probable Earthquake Losses for Istanbul* (2009) contains about 1.2 million buildings. 15% of them (approximately 180,000 buildings) are reinforced concrete (RC) frame type structures with 5 or more floors constructed after the year 2000, which can be assumed to be designed in accordance with the provisions of Turkish Earthquake Resistant Design Code (1998) [1]. This study presents a comparative damage assessment exercise for high-code buildings in Istanbul under the earthquake ground motion level with a 10% probability of exceedance in 50 years. Spectral acceleration-displacement based damage assessment methodology is implemented for the estimation of damage to these buildings with Urban Earthquake Loss Assessment Module of ELER (Earthquake Loss Estimation Routine) software package [2], [3]. Regarding the ground motion input, we rely on the site-dependent mean ground motion values (i.e. 5%-damped spectral accelerations at 0.2s and 1s) for 475-year return period using the seismic hazard model given by Sesetyan et al. (2016) [4]. Damage analyses for the same level of ground motion are realized by alternating building capacity and fragility functions: i) Structural capacity and fragility functions for code complying RC frames by Hancılar and Caktı (2015) [5]; ii) Expert judgment based capacity and fragility functions for post-2000 buildings as of the study of *Probable Earthquake Losses for Istanbul* (IMM-2009) [6] and iii) High-code seismic design level structural capacity and fragility functions for RC frame building typologies of HAZUS-MH MR4 (2004) [7]. The results for three cases are compared in terms of number of damaged buildings and associated monetary losses.

Keywords: Structural damage, design basis earthquake, seismic risk, economic loss, high-code buildings, Istanbul.

1. GİRİŞ

Olası bir depremde oluşabilecek bina hasarları ve buna bağlı can kayıpları ile mali kayıpların envanter verisi (bina, nüfus gibi) kullanılarak değerlendirilmesi için, şiddet bazlı (makro-sismik) ve/veya analitik (mühendislik) modeller uygulanmaktadır. Geçmiş deprem gözlemlerinden elde edilen hasar verilerine dayanan makro-sismik yöntem ile bölgesel ölçekte hasarlı bina dağılımlarının tahmini gerçekleştirilebilir. Bu iş için şiddet bazlı ampirik hasar-görebilirlik ilişkilerinden yararlanılır [8]-[13]. Kentsel alanlarda mühendislik servisi olarak depreme dayanıklı tasarım ilkelerine göre tasarlanıp inşa edilen binalardan oluşan envanterlerin deprem riskinin değerlendirilmesi için, ki bu yeni binalar için geçmiş deprem

hasar verisi bulunmadığı da göz önüne alındığında, analitik yöntemler kullanılması uygun olacaktır.

Deprem riskinin analitik yöntemle değerlendirilebilmesi için risk altındaki unsurların envanterleri çıkarılarak sınıflandırılmalı ve belirlenen bina sınıfları için hasar-görebilirlik ilişkileri tanımlanmalıdır. Hasar-görebilirlik, deprem riski altındaki belirli bir fiziksel unsur ya da unsur grubunun (nüfus, bina, içme suyu boru hatları vb. gibi) uğrayacağı olası zararın/hasarın nicel ifadesidir. Risk altındaki bir elemanın hasar-görebilirlik fonksiyonları (hasar-görebilirlik/kırılma eğrileri) fiziksel ve sosyo-ekonomik şartlara bağlı olarak, bu elemanın deprem hareketine verdiği tepkinin değişik performans sınır durumlarını aşma olasılığını temsil eder. Analitik hasar-görebilirlik fonksiyonları, yapıların (bina sınıflarını temsilen) matematiksel olarak modellenerek deprem etkileri altında analizlerinin yapılması ve yapısal performans sonuçlarının istatistiksel olarak değerlendirilmesiyle elde edilir (örneğin [14]-[18]).

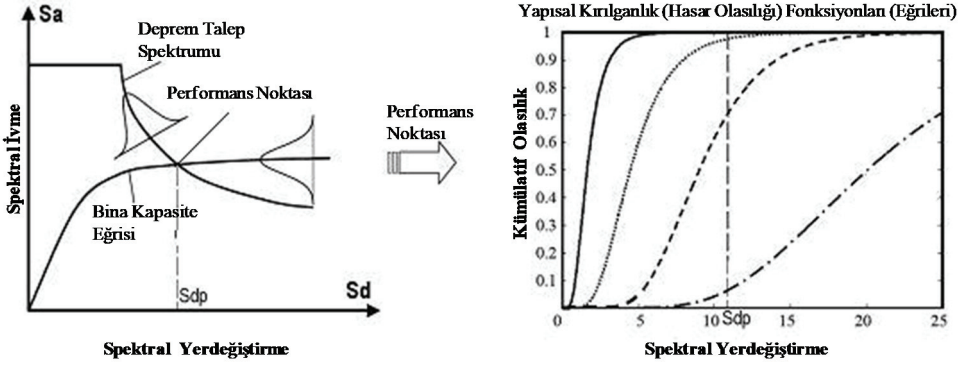
İstanbul Olası Deprem Kayıp Tahminleri (İBB-2009) çalışması [6] kapsamında derlenen İstanbul bina envanterinde yaklaşık 1,2 milyon bina vardır. Bu binaların %15'i (180.000 civarı) 2000 yılı ve sonrasında inşa edilmiş, 5 ve üzeri katlı, betonarme çerçeve tipi yapılardır. Bir önceki envanter ile karşılaştırıldığında, İstanbul metropolitan alan sınırlarının doğu-batı yönünde genişlediği ve, orta yükseklikteki (5 ila 8 katlı) ve yüksek (9 ila 19 katlı) bina sayılarında sırasıyla %53 ve %580 artış olduğu gözlenmektedir. Deprem kayıplarını tahmin etmeye yönelik İstanbul için gerçekleştirilen bu en son çalışmada (İBB-2009) [6], 2000-2008 yılları arasında inşa edilen binaların Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (1998)'e [1] göre tasarlandıkları kabul edilmektedir. Bu durumda, söz konusu binaların 50 yıllık bir süre içinde aşılma olasılığı %10 olan tasarım depremi etkileri altında belli derecede hasar alarak *Can Güvenliği* performans düzeyini sağlamaları beklenebilir. Öte yandan, diğer mevcut tüm binalar gibi bu binalar için de hasar-görebilirlik/kırılma fonksiyonları ile taşıyıcı sistem kapasite eğrilerinin deprem risk analizlerinde kullanılmak üzere tanımlanmış olması gereklidir. İBB-2009 çalışmasında, 2000-2008 yıl bandındaki binalar için geçmiş analitik çalışmalara ve uzman görüşü/yorumuna dayanan yapısal kırılma fonksiyonları ile taşıyıcı sistem kapasite eğrileri kullanılmıştır.

Bu çalışmada, Hancılar ve Çaktı (2015)'te [5] sunulan yapısal kırılma fonksiyonları ve kapasite eğrileri kullanılarak risk analizleri gerçekleştirilmiş, hasarlı bina sayısı dağılımları ve buna bağlı mali kayıp tahminleri hesaplanmıştır. Spektral ivme ve yerdeğiştirmeye bağlı risk analizlerinde deprem talep spektrumları, 50 yılda %10 aşılma olasılığı için Şeşetyan vd. (2016) [4] tarafından verilen deprem tehlike modeli ile elde edilen zemin bağımlı spektral ivmeler (0,2s ve 1.0s için) kullanılarak hesaplanmıştır. Analizler, aynı kuvvetli yer hareketi seviyesi için iki farklı hasar-görebilirlik modeli daha kullanılarak tekrarlanmıştır. İlk modelde İBB-2009 [6] çalışmasında kullanılan bina kapasite eğrileri ve kırılma fonksiyonları uygulanmış, diğer modelde ise benzer bina sınıfları için HAZUS-MH MR4 (2004)'de [7] verilen kapasite eğrileri ve kırılma fonksiyonlarından yararlanılmıştır. Aynı deprem seviyesi altında üç hasar modelinden alınan sonuçlar hasarlı bina sayıları ve dağılımları ile yapısal hasar kaynaklı mali kayıplar cinsinden karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır.

2. YÖNTEM

2.1. Spektral İvme ve Yerdeğiştirmelere Bağlı Risk Analizi

Kentsel alanda deprem risklerinin tahmininde yer sarsıntısı parametresi olarak spektral ivmeler ve yerdeğiştirmeler yaygın olarak kullanılmaktadır. Spektral ivme-yerdeğiştirmeye bağlı hasar tahmin yöntemi, ABD'de geçtiğimiz yıllarda gerçekleştirilen HAZUS projesi (1999) [19] çerçevesinde modern yöntemler kullanılarak geliştirilmiştir. Yapısal hasar-görebilirliğin analitik olarak değerlendirilmesi, bina taşıyıcı sistem kapasitesinin depremin binadan talebiyle karşılaştırılarak binanın sismik performansının ortaya konmasına dayanır. Spektral ivme-yerdeğiştirmeye bağlı hasar tahmin yönteminin şematik bir gösterimi Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1 - Spektral ivme ve yerdeğiştirmelere bağlı risk analiz algoritmasının grafiksel sunumu

Yöntemin ana bileşenleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Yapısal sistem sunumu: Bina Kapasite Spektrumu
- Deprem talep sunumu: Deprem Talep Spektrumu
- Yapısal davranış değerlendirmesi: Performans Noktası
- Olasılıksal hasar sunumu: Yapısal Kırılma Olasılığ/Hasar-görebilirlik Fonksiyonu

Bina taşıyıcı sistemlerinin deprem etkileri altında doğrusal olmayan muhtemel davranışları esas alınarak, her bina sınıfı için birer *Kapasite Spektrumu* ve binanın bulunduğu yer için tanımlanan ivme spektrumundan elde edilen *Deprem Talep Spektrumu* tanımlanmaktadır. *Kapasite Spektrumu* ve *Deprem Talep Spektrumu* eğrileri matematiksel olarak keşiştirilerek, binanın taşıma kapasitesine karşı gelen ve *Performans Noktası* olarak isimlendirilen spektral yerdeğiştirme değeri saptanmaktadır. Performans noktasının hesaplanmasında uluslararası alanda kabul gören ve yaygın olarak kullanılan şu üç yöntem kullanılmıştır:

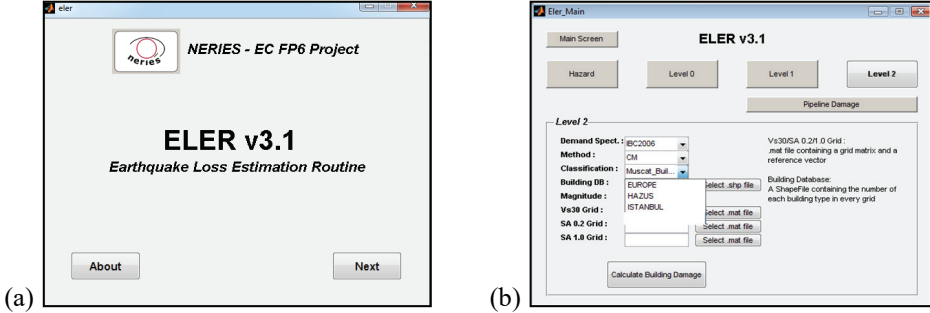
- Kapasite Spektrumu Yöntemi [20]
- Değiştirilmiş İvme-Deplasman Tepki Spektrumu Yöntemi [21]
- Katsayı Yöntemi [22]

Yukarıdaki üç yöntemden biri kullanılarak hesaplanan performans noktası, söz konusu bina sınıfı için tanımlanmış *Yapısal Kırılgnalık (Olasılıksal Hasar) Fonksiyonuna* girilerek binada oluşması beklenen hasar düzeyi olasılıksal olarak bulunur. Bina hasarları *hafif, orta, ağır ve çok ağır* olmak üzere gruplanarak hasarlı bina sayıları dağılım haritaları üretilir.

Spektral ivme ve yerdeğiştirmelere bağlı hasar değerlendirme yönteminin az, orta ve çok katlı farklı bina tiplerine uygulanabilirliği ile ilgili detaylar HAZUS (1999 ve 2004) teknik kılavuzlarında [7],[19] ve ilgili deprem mühendisliği literatüründe sunulmaktadır. Yöntemin uygulanmasında yapılan önemli varsayım; çok serbestlik dereceli binaların deprem davranışının eşdeğer tek serbestlik dereceli sistem modeli ile idealize edilmesidir. Diğer taraftan, görece olarak daha yüksek olan ve daha uzun doğal titreşim periyoduna sahip binaların deprem etkileri altındaki davranışlarında üst mod katkılarının da rol oynadığı unutulmamalıdır.

2.2. Kullanılan Yazılım

Risk analizleri, Avrupa Birliği 6. Çerçeve Programı *NERIES* projesi kapsamında geliştirilen *ELER (Earthquake Loss Estimation Routine)* yazılımı ile gerçekleştirilmiştir [2], [3], [23]. ELER, deprem kaynak parametrelerinden başlayarak önce deprem yer hareketini yerel zemin etkilerini göz önünde bulundurarak belirlemede ve yer sarsıntısı dağılım haritalarını üretmekte, daha sonra bu yer hareketine maruz kalan bina envanteri ve altyapı sistemlerinde (içme suyu, doğal gaz, vb. boru hatları gibi) oluşacak hasarları ve dolaylı can ve mal kayıplarını ilgili kırılgnalık/hasar-görebilirlik fonksiyonlarını kullanarak tahmin etmektedir.



Şekil 2 - ELER-v3.1 Kullanıcı Arayüzü: a) Ana Ekran, b) Kentsel Deprem Kayıpları Tahmin Modülü (Level 2) Ekranı

Bölgesel ve kentsel ölçekte deprem kayıplarının gerçekçi bir şekilde tahmin edilebilmesini mümkün kılan ELER metodolojisi ve yazılım paketi, GEM (Global Earthquake Model) projesi kapsamında Pavia Üniversitesi-İtalya tarafından Los Angeles şehrinin senaryo bazlı deprem kayıplarının hesaplanmasında (2012) ve Yunanistan, Gürcistan, Ermenistan, Azerbaycan, Ürdün, Lübnan, İran, Pakistan, Abu Dhabi Emirliği ve Umman Sultanlığı'nda kentsel deprem risklerinin değerlendirilmesi uygulamalarında kullanılmıştır (2010-2014). 23 Ekim 2011 tarihinde meydana gelen Van Depremi'nden hemen sonra bölgesel ölçekte can kaybı ve yaralı sayıları ile hasarlı bina sayıları gerçeğe yakın bir şekilde ELER ile tahmin

edilebilmiştir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ile Boğaziçi Üniversitesi arasında imzalanan 'Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun Kapsamında Ortak Hizmet Uygulaması' başlıklı protokol çerçevesinde Türkiye genelinde kentsel dönüşüm uygulamalarına ışık tutmak üzere yüksek deprem riskine sahip bölgelerin belediyeler bazında deprem riski önceliklendirmesi yapılmış ve ayrıca seçilen üç ilde farklı senaryo depremleri sonucunda ortaya çıkması muhtemel can kaybı ve yaralı sayıları, hasarlı bina dağılımları ve yapısal hasarlardan kaynaklanan ekonomik kayıplar ELER ile hesaplanmıştır (2013-2016). ELER, en son olarak, 28 Avrupa Birliği ülkesinin deprem kayıplarının tahmin edilmesi amacıyla European Commission-Joint Research Centre ile birlikte gerçekleştirilen bir çalışmada kullanılmıştır [24].

Yazılımın Kentsel Deprem Kayıpları Tahmin Modülü, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında derlenen hücre bazlı bina envanteri ve nüfus verilerini, yerel zemin koşullarını temsilen kayma dalgası yayılım hızı ($V_{s,30}$) verisini ve 0,2s ve 1s periyotları için spektral ivmelerin hücre bazlı coğrafi dağılım verisini kullanmaktadır. ELER kullanıcı arayüzüne ait görseller Şekil 2'de sunulmaktadır.

2.3. Mali Kayıpların Hesabı

Yapısal hasar kaynaklı (direkt) mali kayıplar, bina inşa maliyetinin binanın hasar durumuna göre kabul edilen bir mali kayıp katılım katsayısı ile çarpılması sonucu hesaplanır. Farklı hasar seviyeleri için kabul edilen maliyete katılım katsayıları (İBB-2009) [6] çalışmasından alınmıştır (Tablo 1).

Tablo 1 - Hasar durumuna göre mali kaybın hesabında dikkate alınan inşa maliyeti çarpanları

Hasar Durumu	Maliyete Katılım Katsayısı
Çok Ağır	%100
Ağır	%80
Orta	%40
Hafif	%10
Hasarsız	0

Çalışmada analiz edilen bina sınıfları için ortalama inşa maliyetleri Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2017 Yılı Yapı Yaklaşık Birim Maliyetleri dikkate alınarak hesaplanmıştır.

3. BİNA ENVANTERİ VE ANALİZ GİRDİLERİ

3.1. Bina Envanteri Sınıflandırması

İstanbul bina envanterinin sınıflandırmasında dikkate alınan üç parametre:

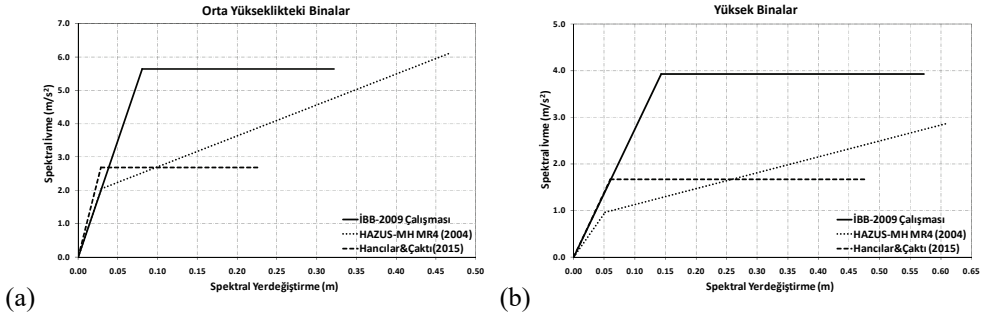
- Yatay yük taşıyıcı sistem tipi: Betonarme çerçeve; Betonarme perde duvar; Yığma; Prefabrik; Çelik.

- ii) Bina yüksekliği: Yüksek olmayan binalar (1 ila 4 katlı); Orta yükseklikteki binalar (5 ila 8 katlı); Yüksek binalar (9 ila 19 katlı).
- iii) İnşa yılı: 1979 öncesi (depreme dayanıklı tasarlanmadığı varsayılan binalar); 1980-2000 bandı (1975 yönetmeliğine göre tasarlandığı varsayılan binalar); 2000 yılı ve sonrası (1998 yönetmeliğine göre tasarlandığı varsayılan binalar).

Bu sınıflandırma sistemine göre CBS ortamında derlenerek 0,005x0,005 derecelik hücre sistemi içinde risk analizleri gerçekleştirilen, 2000 yılı ve sonrasında inşa edilmiş, betonarme çerçeve tipi orta yükseklikteki ve yüksek binaların sayıları sırasıyla 120.161 ve 60.257'dir.

3.2. Bina Kapasite Spektrumları (Eğrileri)

Bina kapasite spektrumu, doğrusal olmayan bina davranışı göz önünde tutularak, düşey ekseninde binaya etkileyen toplam eşdeğer deprem yükü, yatay ekseninde ise binanın karakteristik bir yerdeğiştirmesi (örneğin tepe yerdeğiştirmesi) alınarak çizilen *bina yatay yük taşıma kapasitesi eğrisinin*, yatay ekseninde *spektral yerdeğiştirme*, düşey ekseninde ise *spektral ivme* olacak biçimde dönüştürülmesi ile elde edilen bir eğri olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir deyişle, çok serbestlik dereceli bina taşıyıcı sisteminin deprem etkileri altındaki elastik ötesi (doğrusal olmayan) davranışının eşdeğer tek serbestlik dereceli sistem olarak modellenmesi olarak ifade edilebilir. Bina kapasite spektrumunun temelini oluşturan bina yatay yük taşıma kapasitesi eğrisi, deprem mühendisliği literatüründe *İtme Analizi (Pushover Analysis)* adı verilen ve monotonik olarak arttırılan statik eşdeğer deprem yükleri altında bina taşıyıcı sistemi için yapılan doğrusal olmayan analiz sonucunda elde edilen yerdeğiştirmeleri deprem yüklerinin fonksiyonu olarak gösteren eğri olarak tanımlanmaktadır. Bina yatay yük taşıma kapasitesi eğrisi, yatay yük taşıma kapasitesi düşey ekseninde, binanın tepe yerdeğiştirmesi yatay ekseninde olmak üzere çizilen eğridir. İdealleştirilmiş (bi-lineer) kapasite spektrumu, bina yatay yük taşıma kapasitesi eğrisi eksenlerinin spektral ivme - yerdeğiştirme şeklinde dönüştürülmesi ile elde edilir.



Şekil 3 - Bina kapasite eğrileri: a) Orta yükseklikteki (5 ila 8 katlı) binalar, b) Yüksek binalar (9 ila 19 katlı)

Analizlerde kullanılan üç modele ait bi-lineer kapasite eğrileri Şekil 3'de karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır. Orta yükseklikteki bina sınıfı için İBB-2009 ve HAZUS-MH MR4 (2004) modelleri aynı elastik periyodu (0,75s) kullanırken Hancılar ve Çaktı (2015) modeli

kısmen daha kısa periyot (0,65s) kabul etmektedir. Yüksek bina sınıfı için ise İBB-2009 ve Hancılar ve Çaktı (2015) modelleri aynı (1,2s), HAZUS-MH MR4 (2004) modeli daha uzun (1,45s) elastik periyot kullanmaktadır. Her iki bina sınıfı için de en büyük dayanım kapasitesini İBB-2009 modeli ve en büyük elastik ötesi yerdeğiştirme kapasitesini HAZUS-MH MR4 (2004) modeli öngörmektedir.

3.3. Yapısal Kırılabilirlik (Olasılıksal Hasar) Fonksiyonları

Bina hasarı olasılık fonksiyonları (olasılıksal kırılabilirlik fonksiyonları), binanın belirli deprem şiddeti altında tahmin edilen davranışını nitel olarak ifade eden bir deprem davranış parametresine bağlı olarak (örneğin katlar arası en büyük görelî yerdeğiştirme oranı, kat ivmeleri gibi), yapısal veya yapısal olmayan hasarların belirli hasar düzeylerine (hafif, orta, ağır, çok ağır) erişmesinin veya o düzeyleri aşmasının birikimli (kümülatif) olasılığını ifade eden fonksiyonlardır. Bina hasarı olasılık fonksiyonu X-Y düzleminde çizdirildiğinde, yatay eksenindeki değişken deprem talep parametresi (en büyük yer ivmesi, spektral yerdeğiştirme, vb.), düşey eksen ise yapısal hasarın belli bir hasar düzeyine erişmesinin veya aşmasının yığılımlı olasılığını göstermektedir.

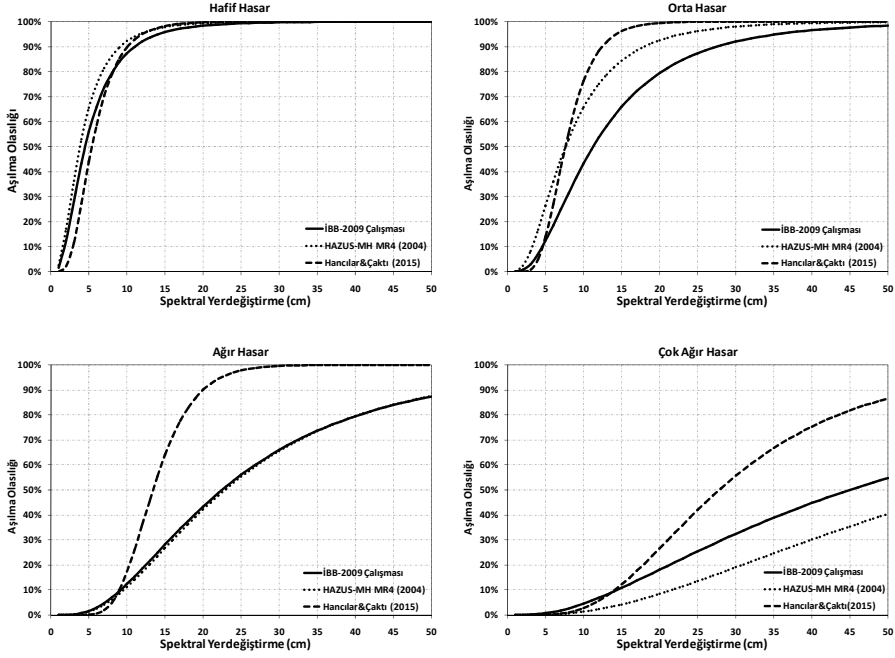
Deprem hasarlarının olasılıksal dağılımının log-normal dağılıma uyduğu varsayımı ile her bir hasar düzeyi için olasılık eğrisinin analitik ifadesi aşağıdaki biçimde yazılabilir [25], [26]:

$$P \left[\text{Hasar} \geq D_k | S_{dp} \right] = \Phi \left[(1/\beta_k) \ln \left(S_{dp} / \bar{S}_{d,k} \right) \right] \quad (1)$$

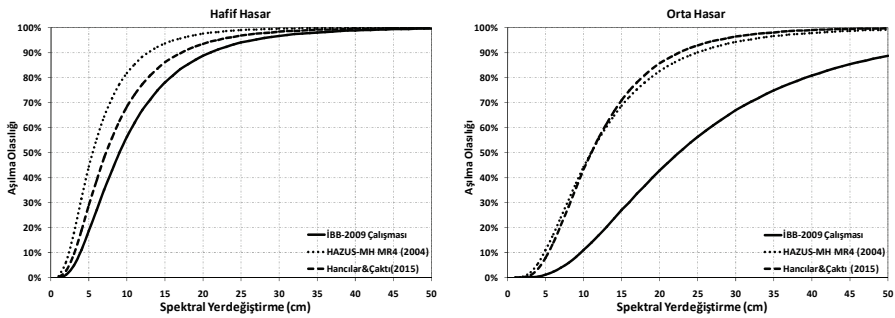
Burada, D_k : hasar düzeyi (hafif, orta, ağır veya çok ağır); S_{dp} : performans noktası; $\bar{S}_{d,k}$: hasarın ilgili hasar düzeyine eriştiği duruma karşı gelen medyan spektral yerdeğiştirme değeri; ve β_k : ilgili hasar düzeyi için spektral yerdeğiştirme değerlerinin doğal logaritmalarına ait standart sapma; ve Φ ise yığılımlı (kümülatif) standart normal dağılım fonksiyonu olmak üzere, performans noktasının belirli bir değeri için hasarın belli bir düzeye erişme ve aşma olasılığı P 'dir. Bir log-normal yapısal kırılabilirlik fonksiyonu iki parametre ile ifade edilebilir: medyan ve standart sapma. Bir hasar düzeyine erişilmesine neden olan medyan spektral yerdeğiştirme değeri, $S_{d,k}$, her bir bina sınıfı için belirlenmiş en büyük görelî yerdeğiştirme oranı eşik değerinin aşılmasına bağlı olarak istatistiksel analiz yoluyla hesaplanır. Bu istatistiksel modelde standart sapma β_k ise, ilgili hasar düzeyinin tanımındaki, binanın deprem yükü taşıma kapasitesinin tanımlanmasındaki ve oluşması muhtemel deprem yer hareketi değerinin hesaplanmasındaki belirlenmesindeki belirsizlikleri içermektedir.

Analizlerde kullanılan üç modele ait kırılabilirlik eğrileri dört farklı hasar seviyesi için (hafif, orta, ağır ve çok ağır hasar olmak üzere) Şekil 4 ve Şekil 5'de gösterilmektedir. Hancılar ve Çaktı (2015), 34 farklı deprem sırasında alınan 734 ivme (yatay bileşen) kaydı altında, 1998 yönetmeliğine göre tasarlanmış betonarme çerçeve türü binaların doğrusal olmayan dinamik analizlerini gerçekleştirmiş ve analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi sonucunda log-normal yapısal kırılabilirlik fonksiyonlarını türetmişlerdir. Zaman-tanım alanında doğrusal olmayan analizler, yayılı plastisite (distributed plasticity) yaklaşımı ve lifli kesitler (fiber sections) kullanılarak OpenSees (<http://opensees.berkeley.edu>) yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. HAZUS-MH MR4 (2004) modeli için, çalışma binalarını temsilen (CIM ve CIH bina sınıflarına ait *high-code seismic design level* için verilen) ilgili parametreler

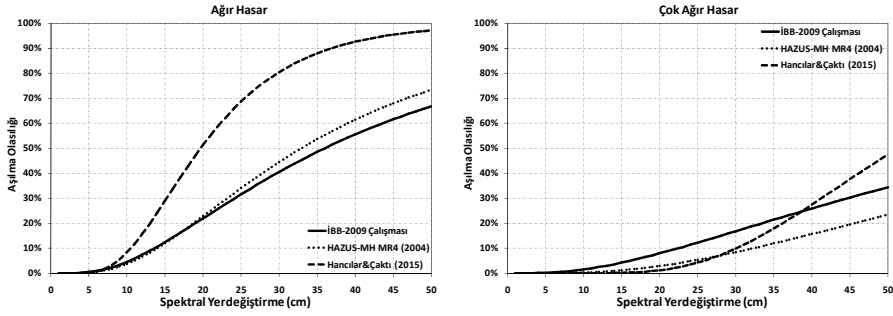
HAZUS teknik kılavuzundan alınmıştır. İBB-2009 çalışmasında ise, geçmiş analitik çalışmalar ve uzman görüşü/yorumu ışığında HAZUS'tan uyarlanan yapısal kırılmalık fonksiyonları kullanılmıştır. Sunulan üç modelde de, her bir hasar düzeyi, en büyük katlar arası görece yerdeğiştirme oranı medyan değerinin belli bir sınır değeri aşması durumu için tanımlanmaktadır. Bu sınır değerleri Tablo 2'de sunulmaktadır.



Şekil 4 - Orta yükseklikteki (5 ila 8 katlı) binalar için yapısal kırılmalık eğrileri



Şekil 5 - Yüksek (9 ila 19 katlı) binalar için yapısal kırılmalık eğrileri



Şekil 5 - Yüksek (9 ila 19 katlı) binalar için yapısal kırılma eğrileri (devam)

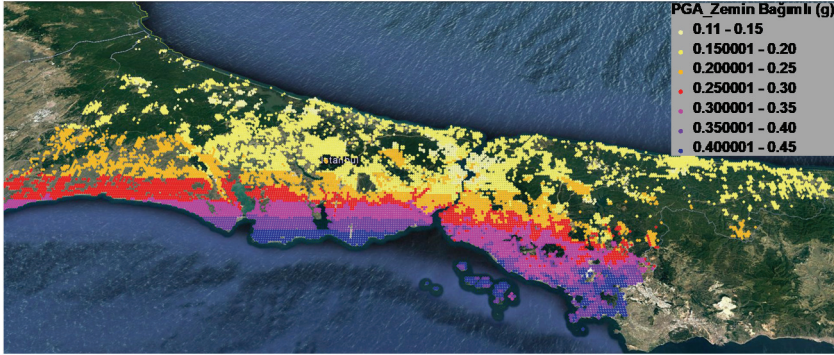
Şekillerden (Şekil 4 ve Şekil 5) gözlemlendiği üzere, spektral yerdeğiştirmenin belli bir değeri için, her üç model de *Hafif Hasar* düzeyi için birbirine yakın olasılıklar veriyor iken hasar düzeyi arttıkça modeller birbirinden farklılaşmaktadır. *Orta Hasar* düzeyi için İBB-2009 modeli diğer modellerden daha düşük hasar aşılma olasılıkları vermektedir. İBB-2009 ve HAZUS-MH MR4 (2004) modelleri *Ağır Hasar* olasılığını birbirine yakın hesaplarken Hancılar ve Çaktı (2015) modeli daha büyük olasılıklar öngörmektedir. Hem orta yükseklikteki hem de yüksek bina sınıfları için *Çok Ağır Hasar* (göçme) olasılığını HAZUS-MH MR4 (2004) modeli en düşük vermektedir.

Tablo 2 - Hasar durumu tanımlamasında kullanılan en büyük katlar arası görelî yerdeğiştirme oranı sınır değerleri

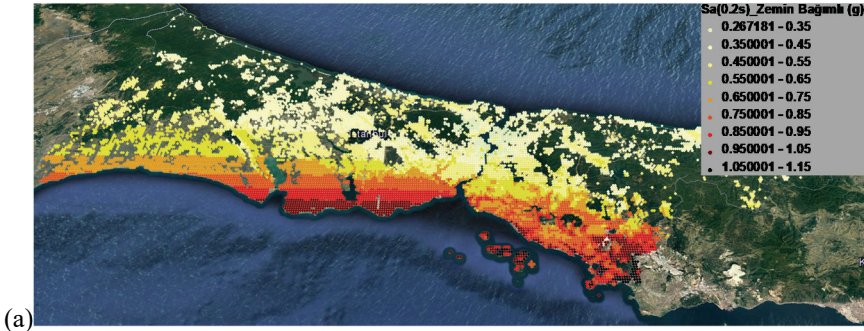
a) Orta Yükseklikteki (5 ila 8 katlı) Binalar			
Hasar Durumu	İBB-2009 Modeli	HAZUS-MH MR4 Modeli	Hancılar&Çaktı (2015) Modeli
Hafif	0.0040	0.0033	0.0033
Orta	0.0100	0.0067	0.0067
Ağır	0.0200	0.0200	0.0156
Çok Ağır	0.0400	0.0533	0.0400
b) Yüksek (9 ila 19 katlı) Binalar			
Hafif	0.0040	0.0025	0.0025
Orta	0.0100	0.0050	0.0050
Ağır	0.0160	0.0150	0.0117
Çok Ağır	0.0320	0.0400	0.0300

3.3. Deprem Talep Spektrumu

Deprem talep spektrumu, kuvvetli yer hareketinin %5 sönüm oranlı elastik ivme tepki spektrumunun bina taşıyıcı sisteminin elastik ötesi davranışı gözönüne alınarak yaklaşık biçimde azaltılması ile elde edilir. Çalışma alanı içindeki her bir coğrafi hücre için, %5 sönümlü tepki spektrumları Şeşetyan vd. (2016) deprem tehlike modeli ile elde edilen zemin bağımlı 0,2s ve 1s periyotlarındaki spektral ivme değerleri kullanılarak ELER yazılımı tarafından otomatik olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 6 - 475 yıllık yinelenme süresi için zemin bağımlı en büyük yer ivmesi (PGA) değerlerinin dağılımı



Şekil 7 - 475 yıllık yinelenme süresi için zemin bağımlı spektral ivme değerlerinin dağılımı: a) Sa(0,2s), b) Sa(1s)

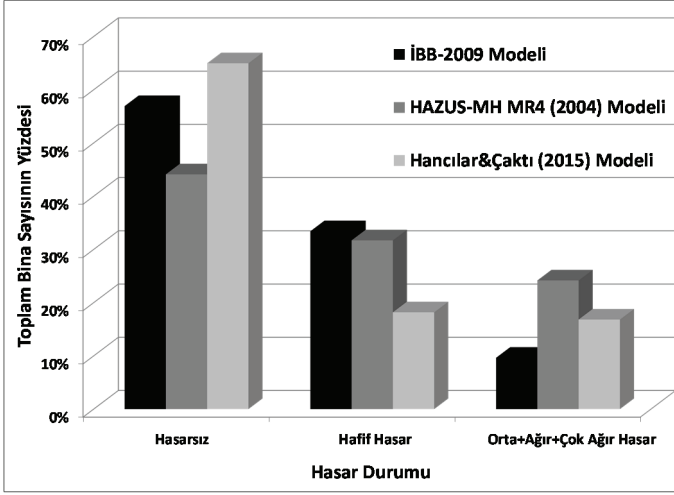
Şeşetyan vd. (2016), Türkiye deprem bölgeleri haritasının güncellenmesi çalışmaları çerçevesinde, güncel depremsellik ve fay veri tabanlarını, yeni kuvvetli yer hareketi tahmin modellerini ve alan kaynak modelleme yöntemini kullanarak gerçekleştirdikleri olasılıksal sismik tehlike analizleri sonucunda tüm Türkiye için mühendislik ana kayası olarak tanımlanan referans zemin koşulları için 72, 475 ve 2475 yıllık yinelenme sürelerine ait en büyük yer ivmesi ve %5 sönümlü spektral ivme değerlerini hesaplamışlardır. Bu çalışmada ise, aynı deprem tehlikesi modeli ve İstanbul ili yerel zemin koşullarını temsil eden hücre bazlı kayma dalgası yayılım hızı ($V_{s,30}$) verisi kullanılarak 50 yılda %10 aşılma olasılığı altında İstanbul için zemin bağımlı en büyük yer ivmeleri (PGA) ve, 0,2s ve 1s periyotları için spektral ivmeler elde edilmiştir. Bahsedilen yer hareketi değerlerinin değişimini gösteren haritalar Şekil 6 ve Şekil 7'de sunulmaktadır. Buna göre, en büyük yer ivmelerinin 0,45g'ye kadar ulaşması beklenirken kısa ve 1 s periyotlu spektral ivmeler sırasıyla 1,15g ve 0,5g değerlerine kadar çıkabilmektedir.

4. SONUÇLAR

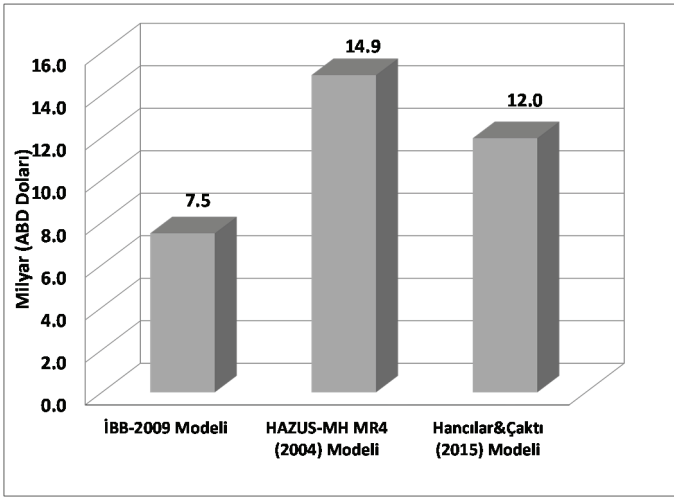
Analizler sonucunda üç modelden elde edilen hasarlı bina sayısı ve yapısal hasar kaynaklı mali kayıp tahminleri Tablo 3, Şekil 8 ve Şekil 9'da karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır. Orta ve üzeri hasar durumundaki bina sayısı tahminlerine bakıldığında en olumsuz tablo HAZUS-MH MR4 modelinden elde edilirken İBB-2009 modeli daha iyimser sonuçlar vermektedir. Bu durumun bir sonucu olarak, üç modelden elde edilen mali kayıp tahminlerinin de benzer biçimde sıralandığı görülebilir. Envanterdeki yaklaşık 180.000 binanın, sırasıyla İBB-2009, Hancılar ve Çaktı (2015), HAZUS-MH MR4 (2004) modellerine göre, %10, %17 ve %24'ünün orta ve üzeri hasar almasının beklendiği söylenebilir. Burada vurgulanması gereken bir konu, yer hareketi veya diğer bir ifadeyle deprem talep spektrumunun olasılıksal yöntem ile elde edilmiş olması nedeniyle, sonuç olarak sunulan hasar ve mali kayıp tahminlerinin de belirli bir anda meydana gelecek olan toplam kayıplar olmadığıdır. Bu sonuçlar, İstanbul'un farklı bölgelerinde deprem yer hareketi seviyesinin 50 yıl içinde %10 ihtimalle aşılması şartına bağlı olarak hesaplanan şartlı (conditional) hasar ve mali kayıp tahminlerini ifade etmektedir.

Tablo 3 - Hasarlı bina sayısı tahminleri

Hasar Durumu	İBB-2009 Modeli	HAZUS-MH MR4 Modeli	Hancılar&Çaktı (2015) Modeli
Hasarsız	102,713	79,582	117,237
Hafif	60,294	57,210	32,818
Orta	13,256	39,841	25,502
Ağır	2,619	3,445	4,651
Çok Ağır	1,538	340	211
Orta+Ağır+Çok Ağır	17,413	43,626	30,364

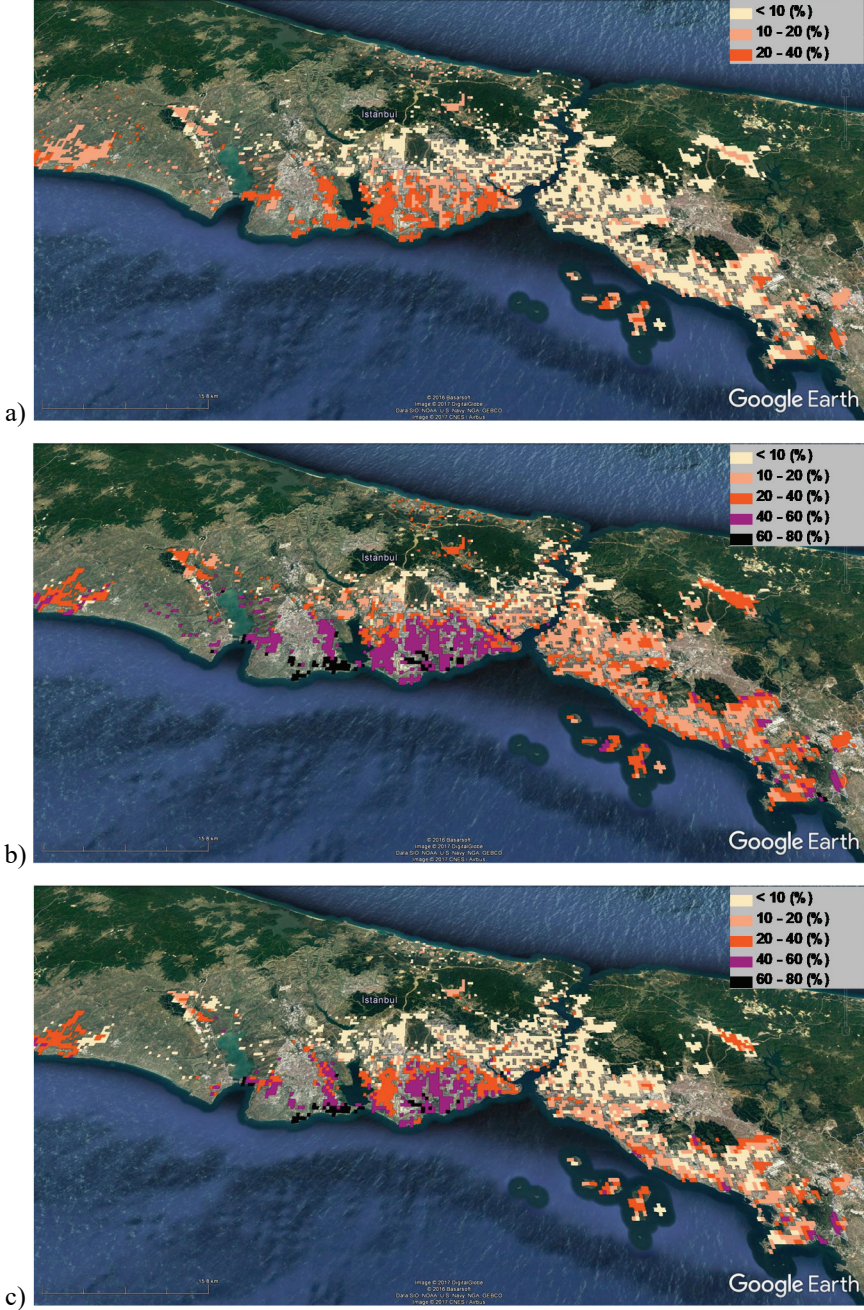


Şekil 8 - Farklı hasar durumundaki bina sayısı tahminlerinin çalışma kapsamında değerlendirilen toplam bina sayısına oranı



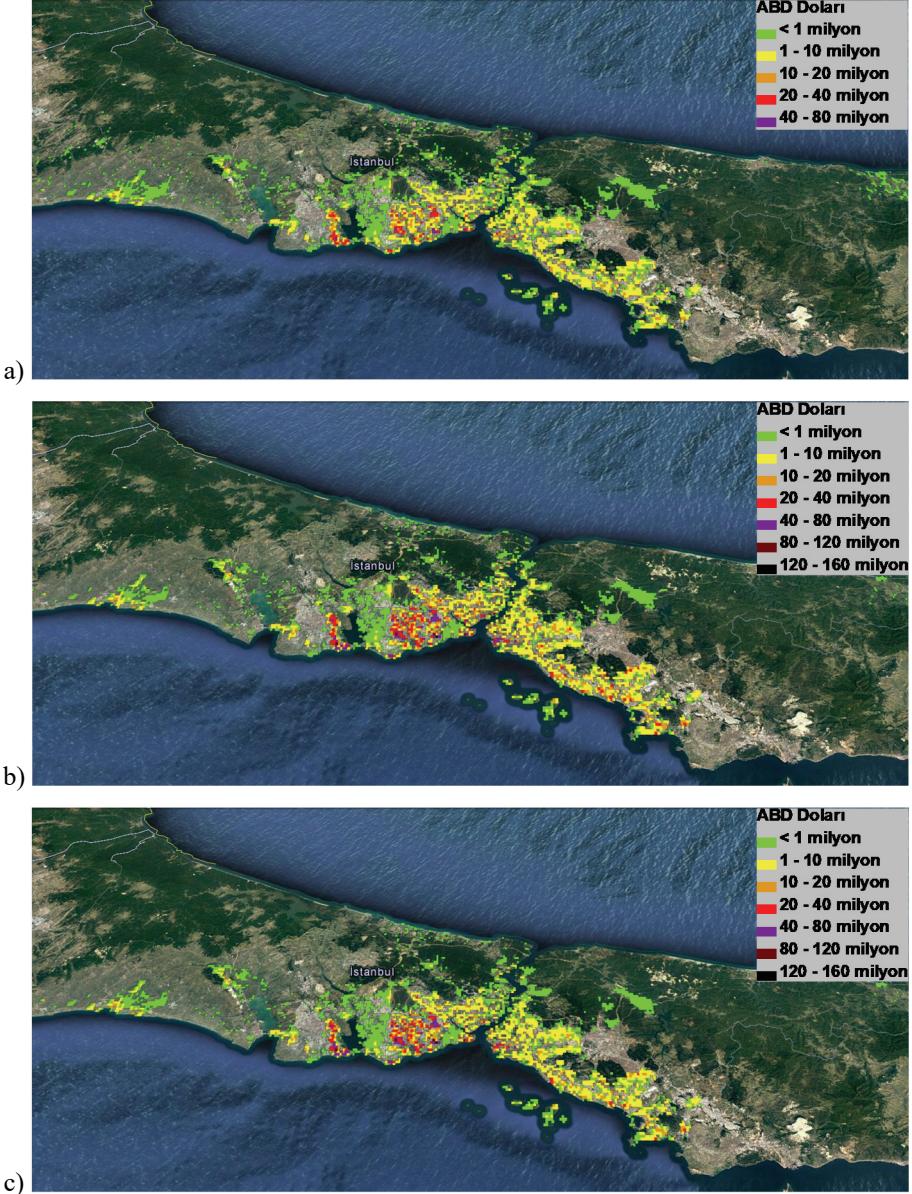
Şekil 9 - Yapısal hasar kaynaklı mali kayıp tahminleri

Orta ve üzeri hasar durumundaki bina sayılarının çalışma kapsamında değerlendirilen toplam bina sayısının yüzdesi cinsinden hücre bazlı dağılımları Şekil 10'da gösterilmektedir. Değerler, Hancılar ve Çaktı (2015) ve HAZUS-MH MR4 (2004) modellerine göre bazı hücrelerde %80 mertebelerine kadar çıkarken İBB-2009 modeline göre en çok %40'a ulaşmaktadır. Benzer karşılaştırmalar, Şekil 11'de sunulan mali kayıpların hücre bazlı dağılımları için de yapılabilir. Mali kayıp tahminleri orta yükseklikteki (5 ila 8 katlı) ve yüksek (9 ila 19 katlı) bina sınıfları için ortalama inşaat alanı kabul edilerek hesaplanan ve farklı modellerin sonuçlara nasıl yansıdığını göstermek üzere sunulan indikatif değerlerdir.



Şekil 10 - Orta ve üzeri hasarlı bina sayılarının çalışma kapsamında değerlendirilen toplam bina sayısının yüzdesi cinsinden dağılımı: a) İBB-2009 modeli, b) HAZUS-MH MR4 (2004) modeli, c) Hancılar&Çakıtı (2015) modeli

Deprem kayıp tahmin çalışmalarındaki belirsizliklerin en önemli nedenlerinden biri doğal denge içinde deprem oluşumlarının rassalığından (aleatory uncertainty) kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada sunulan tahminlerin farklılığı ise matematiksel modelleme (analitik) kaynaklı belirsizliklerin (epistemic uncertainty) bir sonucu olarak değerlendirilebilir.



Şekil 11 - Mali kayıp tahminleri dağılımı: a) İBB-2009 modeli, b) HAZUS-MH MR4 modeli, c) Hancılar&Çaktı (2015) modeli

Kaynaklar

- [1] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1998, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- [2] ELER v3.1 - Earthquake Loss Estimation Routine, Technical Manual and Users Guide, Bogazici University, Department of Earthquake Engineering, İstanbul, 2010. (http://www.koeri.boun.edu.tr/Haberler/NERIES%20ELER%20V3.1_6_176.depmuh)
- [3] Hancılar, U., Tuzun, C., Yenidogan, C., Erdik, M.: ELER software - a new tool for urban earthquake loss assessment, Natural Hazards & Earth System Sciences 2010; 10: 2677-2696.
- [4] Şeşetyan, K., Demircioglu, M.B., Duman, T.Y., Can, T., Tekin, S., Azak, T.E., Fercan, O.Z.: A probabilistic seismic hazard assessment for the Turkish territory-part I: the area source model, Bull. of Earthquake Eng., September 2016, published online.
- [5] Hancılar, U. Ve Çaktı, E.: Fragility functions for code complying RC frames via best correlated IM-EDP pairs, Bulletin of Earthquake Engineering 2015; 13(11): 3381-3400.
- [6] İBB-2009: İstanbul Olası Deprem Kayıp Tahminleri. İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Daire Başkanlığı, Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü, Ekim 2009.
- [7] HAZUS-MH MR4: Technical Manual, Federal Emergency Management Agency (FEMA), Washington, DC, USA, 2004.
- [8] Spence R., Coburn A.W., Pomonis, A. 1992. Correlation of ground-motion with building damage: the definition of a new damage-based seismic Intensity scale. 10th World Conference on Earthquake Engineering, pp. 551-556.
- [9] Sabetta F., Goretti A., Lucantoni A. 1998. Empirical fragility curves from damage surveys and estimated strong ground-motion. 11th European Conference on Earthquake Engineering, Paris, France.
- [10] Orsini G. (1999): A model for buildings' vulnerability assessment using the parameterless scale of seismic intensity (PSI). Earthquake Spectra 15(3): 463-483.
- [11] Rossetto T., Elnashai A. 2003. Derivation of vulnerability functions for European-type RC structures based on observational data. Engineering Structures 25: 1241-1263.
- [12] Colombi M., Borzi B., Crowley H., Onida M., Meroni F., Pinho R. (2008): Deriving vulnerability curves using Italian earthquake damage data. Bulletin of Earthquake Engineering 6(3): 485-504.
- [13] Hancılar, U., Taucer F. and Corbane, C. Empirical fragility functions based on remote sensing and field data after the January 12, 2010 Haiti earthquake, Earthquake Spectra 2013; 29(4): 1275-1310.
- [14] Vacareanu R., Radoi R., Negulescu C., Aldea A. 2004. Seismic vulnerability of RC buildings in Bucharest, Romania. 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada.

- [15] Borzi B., Crowley H., Pinho R. 2008. The influence of infill panels on vulnerability curves for RC buildings. 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China.
- [16] Erberik M.A. (2008): Fragility-based assessment of typical mid-rise and low-rise RC buildings in Turkey. *Engineering Structures* 30(5): 1360-1374.
- [17] Hancılar, U., Cakti, E., Erdik, M., Franco, G., Deodatis, G.: Earthquake vulnerability of school buildings: Probabilistic structural fragility analyses, *Soil Dynamics & Earthquake Engineering* 2014; 67: 169-178.
- [18] Hancılar, U., Safak, E. and Cakti, E.: An exercise on the derivation of fragility functions for tall buildings, 16th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Chile, 2017.
- [19] HAZUS 99: User and technical manuals, Federal Emergency Management Agency (FEMA), Washington D.C., USA, 1999.
- [20] ATC 40: Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, Applied Technology Council, Redwood City, California, USA, 1996.
- [21] FEMA 440: Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures, Federal Emergency Management Agency, Applied Technology Council, Washington D.C., USA, Rep. no.440,2005.
- [22] ASCE/SEI 41-06: Seismic rehabilitation of existing buildings, American Society of Civil Engineers, USA, 2006.
- [23] Erdik, M., Sesetyan, K., Demircioglu, M.B., Hancılar, U., Zulfikar, C., Cakti, E., Kamer, Y., Yenidogan, C., Tuzun, C., Cagnan, Z., Harmandar, E.: Rapid earthquake hazard and loss assessment for Euro-Mediterranean Region, *Acta Geophysica* 2010; 58(5): 855-892.
- [24] Corbane, C., Hancılar, U., Ehrlich, D., De Groeve, T.: Pan-European seismic risk assessment: a proof of concept using the Earthquake Loss Estimation Routine (ELER), *Bulletin of Earthquake Engineering*, 2017; 15(3): 1057-1083.
- [25] National Institute of Building Sciences - NIBS (1997): HAZUS: Hazards U.S.: Earthquake Loss Estimation Methodology, NIBS Document Numbers 5200-5203, Washington, D.C.
- [26] Kircher, C.A., Nassar, A.A., Kustu, O., Holmes, W.T.: Development of building damage functions for earthquake loss estimation, *Earthquake Spectra* 1997; 13(4): 663-682.

Tarihi Yapı Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesinde Yeni Bir Yöntem Önerisi: Lala Paşa Camii Örneği

İrfan KOCAMAN¹

Dilek OKUYUCU²

İlker KAZAZ³

ÖZ

Sismik olarak dünyanın en aktif bölgelerinden birisi olan Anadolu yarımadası pek çok medeniyetin izlerini taşıyan tarihi yığma yapılara ev sahipliği yapmaktadır. Mimari kültür mirasımızın depremlerin yıkıcı etkilerinden korunabilmesi için bu yapıların dinamik davranışları gerçekçi yaklaşımlarla belirlenmelidir. Yığma yapılarda malzeme mekanik özelliklerinin tespitindeki zorluk ve belirsizlikler bilgisayar ortamında kurgulanan yapısal modelleri her zaman sorgulanır kılmaktadır. Bu çalışmada Erzurum il merkezinde yer alan Lala Mustafa Paşa Camii'nin taşıyıcı eleman malzeme özelliklerini belirlemek için literatürde mevcut yığma malzeme modelleri incelenerek teorik bir yaklaşım ortaya konulmuştur. Yapının sonlu eleman modeli oluşturularak teorik modal analizi, Operasyonel Modal Analiz yöntemiyle de deneysel modal analizi gerçekleştirilmiştir. Teorik ve deneysel olarak belirlenen modal parametreler irdelenerek yapının malzeme özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonlu eleman modelinde, 1992 Erzincan Depremi ivme kayıtları kullanılarak gerçekleştirilen dinamik analizler neticesinde yapının göçme mekanizması araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Malzeme özellikleri, tarihi yığma cami, operasyonel modal analizi, sonlu eleman modeli, dinamik karakteristik, Lala Mustafa Paşa Camii.

ABSTRACT

Determination of Material Properties of Historical Masonry Structures with Dynamic Parameters: Lala Pasha Mosque Example

Being one of the most active seismic zones of the earth; Anatolian peninsula hosts historic masonry structures which carry traces of numbers of civilizations. Dynamic behavior of these

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 30.10.2017 günü ulaşmıştır. 16.05.2018 günü yayımlanmak üzere kabul edilmiştir.
- 31 Temmuz 2019 gününe kadar tartışmaya açıktır.

• <https://dx.doi.org/10.18400/tekderg.347739>

1 Erzurum Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum - irfan.kocaman@erzurum.edu.tr
<https://orcid.org/0000-0002-1774-7114>

2 Erzurum Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum - okuyucu@erzurum.edu.tr
<https://orcid.org/0000-0001-7694-9405>

3 Erzurum Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum - ilkerkazaz@erzurum.edu.tr
<https://orcid.org/0000-0002-3885-1885>

structures should be estimated with realistic approaches in order to protect our architectural historic heritage from destructive effects of earthquakes. Difficulties and uncertainties in determination of mechanical properties of masonry structures make their computer models questionable. In this study, a theoretical approach is presented for determination of material properties for structural elements of Lala Mustafa Pasha Mosque located in Erzurum. Theoretical modal analysis was realized over finite element model of the structure; experimental modal analysis was realized by operational modal analysis method. Material properties of the structure were finally defined by evaluating theoretical and experimental modal parameters. Collapse mechanism of the structure was investigated by realizing dynamic analysis of finite element model using 1992 Erzincan earthquake acceleration records.

Keywords: Material properties, historical masonry mosque, operational modal analysis, finite element model, dynamic characteristics, Lala Mustafa Pasha Mosque.

1. GİRİŞ

Tarihi yapıların korunması ve gelecek nesillere aktarılması modern toplumların en önemli sorumluluklarından birisidir. Kültürel mirasımızın önemli unsurları olan bu yapılar aynı zamanda turizme de ciddi katkılar sunmaktadır. Tarihi yapıların deprem, trafik, rüzgâr vb. gibi dinamik etkiler altındaki davranışlarının belirlenmesi önemli bir husustur. Yapıda oluşmuş veya oluşabilecek hasarların tespiti, koruyucu ya da onarıcı önemlerin alınması gerekmektedir.

Tarihi yapıların yapısal davranışlarının belirlenmesi için birçok araştırmacı farklı yapılar üzerinde deneysel ve teorik çalışmalar yapmışlardır. Durukal vd. [1] çalışmalarında İstanbul'da bulunan en önemli iki tarihi yapıdan Ayasofya ve Sultanahmet Camii'lerinin 1999 Kocaeli ve Düzce deprem kayıtlarını kullanarak dinamik davranışlarını belirlenmişlerdir. Gentile ve Saisi, [2] tarihi Monza Katedrali'nin 74m uzunluğunda 1.4m kalınlığında duvarlara sahip çan kulesinin çevresel titreşim testi ile hasar durumunu irdelemişlerdir. Bayraktar vd. [3] tarihi yığma minarelerin deneysel ve teorik modal analizlerini gerçekleştirmiş; deneysel modal analiz sonrası malzeme özelliklerini kalibre ederek deneysel ve teorik modal parametrelerini karşılaştırmaya çalışmışlardır. Bayraktar vd. [4] çalışmalarında tarihi Trabzon Ayasofya Camii'nin minaresi üzerinde deneysel titreşim testi ile çalışmalar yaparak minarenin dinamik karakteristiklerini belirlemişlerdir. Ramos vd. [5] çalışmalarında tarihi Mogadouro saat kulesinin ve Jeronimos Manastır Kilisesi' nin modal analizlerini deneysel ve teorik olarak gerçekleştirmişleridir. Her iki yapının da sonlu eleman modellerini oluşturarak deneysel modal analiz sonuçlarına göre sonlu eleman modelini kalibre etmişlerdir. Yapıların hasar durumlarını ve yapılacak müdahaleleri belirlemek için deneysel modal analiz ve sonlu eleman modeli yöntemlerinin beraber işlediği durumlarda oldukça doğru sonuçlar verdiğini göstermişlerdir. Şeker [6] doktora tezinde Mimar Sinan Camii'nin statik ve dinamik yükler altında davranışlarını teorik olarak irdelemiştir. Mimar Sinan strüktürü yapıların benzer özellikler gösterdiğini öne sürmüştür. Mustafaraj ve Yardım [7] çalışmalarında tarihi Naziresha Camisi'ni ele almışlardır. Yapının sonlu eleman modelini oluşturarak deprem analizi gerçekleştirmişlerdir. Yapıda var olan çatlaklar ile deprem analizi sonucunda oluşabilecek hasar karşılaştırılarak, yapıdaki çatlaklara neden olan etkenler irdelemiştir. Şeker vd. [8] tarihi Kara Mustafa Paşa

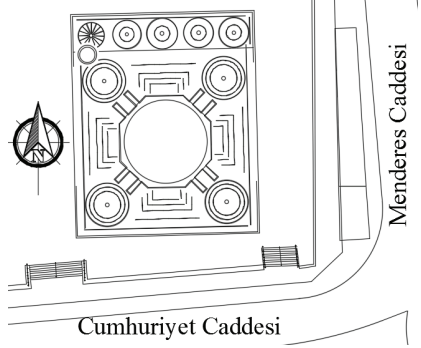
Camisi'nin sonlu eleman modelini oluşturmuşlardır. Model üzerinde statik ve dinamik analizler gerçekleştirerek, yapının deprem davranışını belirlemeye çalışmışlardır. Köseoğlu ve Canbay [9] çalışmalarında tarihi Cenabı Ahmet Paşa Camisi'ni ele almışlardır. Yapının sonlu eleman modeli oluşturulmuş ve çevresel yükler altında yapının davranışı belirlenmeye çalışılmıştır. Yapıda oluşan çatlakların sebepleri belirlenmiş ve onarım önerileri sunulmuştur. Boru ve Kutanis [10] çalışmalarında mevcut bir betonarme binanın dinamik parametreleri teorik ve deneysel modal analiz yöntemleri ile belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırmışlardır. Sonlu eleman modelini güncelleyerek yapı rijitliğindeki değişimlerle deneysel ve teorik modal parametreleri yakınsamışlardır. Operasyonel Modal Analiz yönteminin, yapıların modal parametrelerinin belirlenmesi için oldukça etkin bir yol olduğunu gözlemlemişlerdir. Çalık vd. [11] çalışmalarında tarihi Dürbinar Camisi'nin restorasyon öncesi ve sonrası durumlarında deneysel modal analizini gerçekleştirmişlerdir. 18. yüzyılda inşa edilen caminin mod şekilleri ve malzeme özellikleri deneysel modal analiz yöntemiyle belirlenmiştir. Çakır vd. [12] çalışmalarında yığma kemerleri ele almışlardır. Modelleri, mekanik özelliklerini deneysel olarak belirlenen tuğla ve Horasan harcından oluşturmuşlardır. Laboratuvar ortamında modelledikleri yığma kemerleri farklı kompoze malzemelerle güçlendirerek deneysel modal analiz yöntemiyle mod şekilleri ve modal frekanslar gibi dinamik karakteristikleri belirlemişlerdir. Güçlendirme öncesi ve sonrası modal özelliklerdeki değişikliği belirleyerek, sonlu eleman modelleri ile teorik çözümler yapmışlardır. Deneysel ve teorik modal analiz değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu göstermişlerdir. Çalışmada yığma kemerlerin modal parametrelerinin belirlenmesinde deneysel modal analiz yöntemi ile teorik modal analiz yönteminin birbiri ile etkin şekilde çalıştığını göstermişlerdir. Torres vd. [13] çalışmaların Şili'de bulunan Santiago Metropol Katedrali'nin deneysel ve teorik modal analiz sonuçlarını irdelenmişlerdir. Operasyonel Modal Analiz yöntemiyle belirlenen deneysel modal frekansları referans olarak malzeme özelliklerini değiştirmek suretiyle yapının sonlu eleman modelinin kalibrasyonunu gerçekleştirmişlerdir.

Yapılan çoğu çalışmada ele alınan tarihi yapının sonlu eleman modeli oluşturulmuş ve deneysel modal analiz sonuçları kullanılarak sonlu eleman modelleri kalibre edilmiştir. Ancak deneysel modal analiz uygulaması hem testlerin yapılma aşamasında oluşabilecek hatalar hem de deney düzeneğinin tedarik sorunları sebebiyle her bir yapı için gerçekleştirilmesi oldukça zahmetli ve pahalı bir işlem olabilmektedir. Deneysel modal analiz çalışması esasen tarihi yığma yapıların malzeme mekanik özelliklerinin belirlenmesinde ve analitik modele uygulanmasındaki hataların giderilmesi adına yapılmaktadır.

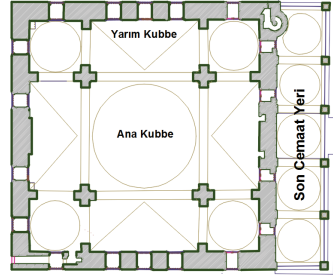
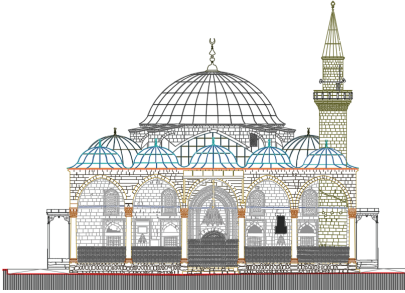
Bu çalışmada tarihi Erzurum Lala Paşa Cami ele alınmıştır. Çalışma kapsamında literatür ışığında, hasarsız deneyler de kullanılarak yapının her bir yapı elemanı için malzeme özellikleri belirlenmiştir. Belirlenen malzeme özellikleri ile yapının teorik modal analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar sonrasında yapının dinamik karakteristikleri deneysel olarak Operasyonel Modal Analiz yöntemiyle de belirlenerek teorik ve deneysel modal analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler neticesinde malzeme özelliklerinin belirlenmesi için önerilen yöntemin doğruluğu ve kullanılabilirliği irdelenmiştir. Yapının gerçek davranışını yansıttığı kabul edilen sonlu eleman modeli ile 1992 Erzincan depremi yer hareketleri kullanılarak iki yönlü deprem analizi gerçekleştirilmiştir. Yapının Erzincan gibi şiddetli bir deprem anında göçme mekanizması irdelenmiştir.

2. ERZURUM LALA PAŞA CAMİ

Lala Paşa Cami Erzurum şehir merkezinde Cumhuriyet Caddesi'nde bulunmaktadır. Batısında Yakutiye Medresesi, doğu ve güneyinde şehrin önemli trafik yollarından ikisi bulunmaktadır (Şekil 1). Yapı Erzurum'da inşa edilmiş ilk Osmanlı eseridir ve günümüzde Vakıflar Erzurum Bölge Müdürlüğü'nün sorumluluğundadır. 16. yüzyılda Erzurum valisi Lala Mustafa Paşa tarafından, Gürcistan ve Kıbrıs fatihi olarak da bilinir, yaptırılmıştır. Mimar Sinan caminin mimarı/mühendisidir [14]. Cami başlangıçta külliye, saray, hamam, şadırvan ve mektep olarak inşa edilmiştir. Ancak zamanla saray, şadırvan ve mektep yok olmuş sadece Lala Paşa Camisi ve hamamı günümüze ulaşabilmiştir [15].



Şekil 1 - Erzurum Lala Paşa Cami ve vaziyet planı



Şekil 2 - Lala Paşa Cami Kuzey cephe görünüşü ve -0.90m kotunda planı [17]

Lala Paşa Cami, Mimar Sinan eserlerinden olan İstanbul Şehzade Cami, Gebze Çoban Mustafa Paşa Cami, Payas Sokullu Sarı Selim Cami gibi kare planlı ve merkez kubbeli camiler grubuna girmektedir. Caminin orta kısmında yer alan dört adet sekizgen taş kolon üzerinde ana kubbe bulunmaktadır. Bu ana kubbe dört yandan yarım kubbeler ve payandalarla desteklenmiştir [16]. Ana kubbe 13m çapında, 17.45m yüksekliğinde ve yaklaşık olarak 50cm kalınlığındadır. Caminin ana boyutları (son cemaat yeri hariç) 26m x 26m'dir. Son cemaat yeri ise 26m x 5m'dir. Son cemaat yeri 6 kolon ve 5 küçük kubbeyle

meydana gelmektedir. Yapının ana duvar kalınlığı yaklaşık olarak 180cm'dir. Dört taraftaki duvarlar, çatı seviyesine kadar yükselmiştir. Caminin, doğu ve batı yüzeylerinde 4 aşağıda ve 5 yukarıda pencere boşluğu, güney yüzeyinde aşağıda ve yukarıda 4'er pencere boşluğu, kuzey yüzeyinde ise aşağıda ve yukarıda 4 pencere boşluğu ve aşağıda 1 kapı boşluğu bulunmaktadır. Bu duvarlar ana kubbeyi ve diğer tam ve yarım kubbeleri taşımaktadır. Caminin minaresi ise camiye birleşik şekilde güney-batı kısmına konumlandırılmıştır. Yapıda kullanılan taşların aynı formasyonda olduğu gözlemlenmiştir. Vakıflar Bölge Müdürlüğü'nden alınan bilgiye göre yapı, taşıyıcı elemanlarda malzeme değişikliği yapılan bir restorasyon geçirmemiştir. Ancak yapının üst pencere kenarlarından çatı kısmına doğru giden hat boyunca taşların, duvarın diğer kısımlarındaki taşlar farklı renkte olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum yapının kayıt dışı bir müdahaleye maruz kaldığını göstermektedir. Şekil 2'de caminin farklı cephelerden görünüşlerini ve kesitleri sunulmaktadır.

3. MALZEME ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

3.1. Taşın, Harcın ve Moloz Dolgunun Basınç Dayanımının Belirlenmesi

Tarihi eserlerin malzeme özelliklerinin belirlenmesi oldukça karmaşık olabilmektedir. Yapının yıllar boyunca farklı çevresel etkilere maruz kalması, malzemenin tabii özelliğinin farklı görünmesi, aynı ocaktan çıkmasına rağmen farklı numunelerin farklı dayanımlar göstermesi, rüzgar ya da güneşin hakim olduğu cephede mekanik yüklere maruz kalması, tarihi yapılarla malzeme özelliklerinin belirlenmesinin zorluğuna birkaç örnektir.

Erzurum Vakıflar Bölge Müdürlüğü'nden alınan bilgiye göre eser üzerinde malzeme özelliklerinin belirlenmesine yönelik herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Bu yapıların öneminden dolayı tahribatlı yöntemlerle malzeme özelliklerinin belirlenmesi çok fazla tercih edilmemektedir. Bu sebeple taş ve harç dayanımı, literatür taraması ve hasarsız yöntemler yardımıyla belirlenmiştir.

Horasan harcı üzerinde önceki çalışmalarda yapılan deneylerden basınç dayanımının 5.5MPa, birim hacim ağırlığının 17,6kN/m³ olduğu kabul edilmiştir [19]. Çekme dayanımı ise basınç dayanımının yaklaşık %5'i mertebesinde (0.3MPa) belirlenmiştir. Caminin duvarlarında kullanılan dolgu malzemesinin basınç dayanımı ise literatür çalışmaları yardımıyla belirlenmiştir. Osmanlı dönemi eserlerinden olan İstanbul Fatih Camisi dolgu malzemesinin basınç dayanımları 3.3, 3.1 ve 2.6MPa (ortalama 3.0MPa) olarak bulunmuştur [20]. Belirtilen çalışmalar ve sonuçlardan yola çıkarak, bu çalışmada, Erzurum Lala Paşa Camisi'nin kesme taş dayanımı (f_b) 25.6 MPa, moloz dolgu dayanımı (f_r) 3.0MPa, harç dayanımı (f_m) 5.5MPa olarak kabul edilmiştir.

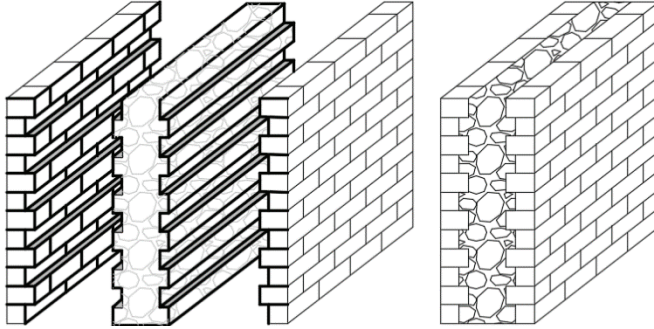
Mimar Sinan strüktüründe kullanılan taş genellikle traverten veya kumtaşından oluşur. Taş malzeme için birim basınç dayanımı 35MPa, birim hacim ağırlığı 26.5kN/m³'tür [18]. Lala Paşa Camii'nin taş dayanımını belirlemek için hasarsız bir deney yöntemi olan Schmidt sertlik çekici kullanılarak ortalama bir sertlik değeri elde edilmiştir. Bu değerler Tablo 1'de verilmiştir. Sertlik ölçümü sonucunda kesme taş kısmında dayanım 25.6MPa olarak belirlenmiştir. Tabloda f_b , taşın basınç dayanımını temsil etmektedir.

Tablo 1 - Lala Paşa Camisi Schmidt Çekici sertlik ölçümü sonuçları

Schmidt Sertlik Deneyi Sonuçları					
Geri Vurma Değeri	f_b (N/mm ²)	Geri Vurma Değeri	f_b (N/mm ²)	Geri Vurma Değeri	f_b (N/mm ²)
34	29	26	18	31	26
34	29	29	24	27	18
27	18	29	24	29	24
31	26	33	28	39	42
28	24	26	18	33	28
37	18	44	51	34	29
30	26	31	26	31	26
34	29	26	18	Ortalama: 25.6 ± 7.76 MPa	

3.2. Duvarların Basınç Dayanımlarının ve Elastisite Modüllerinin Belirlenmesi

Osmanlı döneminde Mimar Sinan'ın yapmış olduğu eserlere bakıldığında, eserler arasında birçok benzerlik görülebilmektedir. Bu benzerlik sadece mimari özellikler değil, yapım teknikleri ve malzeme açısından da belirgin durumdadır. Erzurum Lala Paşa Camii; kubbelerin yükünü taşıyan dış duvarları, “üç yapraklı duvar” olarak adlandırılan iki kesme taş duvarın arasında, harç, moloz vb. bağlayıcılar bulunan dolgu duvar tekniğiyle inşa edilmiştir (Şekil 3). Bu tip duvarların basınç dayanımı ve elastisite modüllerinin belirlenmesi için, önce ayrı ayrı kesme taş duvar dayanımı ve dolgu duvar dayanımının belirlenmesi gerekmektedir [20].



Dış Duvar + Moloz Dolgu + Dış Duvar = Üç Yapraklı Duvar

Şekil 3 - Üç yapraklı duvar tipi

3.2.1. Dış Duvarın Dayanımının Belirlenmesi

Duvarların basınç dayanımlarının belirlenmesi farklı parametrelere bağlıdır. Duvarın yapım tekniği, yapımında kullanılan taşın, tuğlanın, harcın vb. malzemelerin mekanik özellikleri,

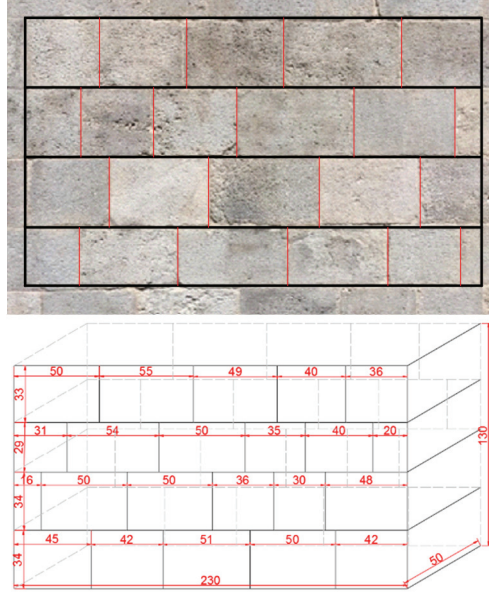
duvarın boyutları bu parametrelerin birkaçıdır. Yapılan çalışmalarda, malzeme özellikleri bilinen duvarların basınç dayanımlarının belirlenmesi için farklı bağlantılar önerilmiştir.

İlk olarak malzeme dayanımı bilinen tek yapraklı duvarların basınç dayanımının belirlenmesi için Tsoutrelis ve Exadaktylos [21] Denklem 1-2'yi önermektedir. Tsoutrelis ve Exadaktylos çalışmalarında yöresel bir mermer çeşidi kullanarak kaya blokları arasındaki süreksizliklerden (derzler) kaynaklanacak basınç dayanımı farklılıklarını deneysel olarak incelemişler ve teorik bir yaklaşım önermişlerdir. Bu yaklaşım, kuru derzli yığma duvarların basınç dayanımlarının belirlenmesinde etkilidir.

$$f_k = e^{-0.3117 \times L \times f} \times f_b \quad (1)$$

$$L = \sqrt[3]{l \times h \times t} \quad (2)$$

Bu denklemde f_k , duvar karma basınç dayanımı; f_b taşın basınç dayanımı; l , h , t sırasıyla duvarın genişliği, yüksekliği, kalınlığı ve f çatlak yoğunluğunu temsil etmektedir. Çatlak yoğunluğu duvarı oluşturan taşların bütün boyutlarda sürekliliği bozan yüzeylerinin toplam alanının duvarın hacmine bölümüdür (m^2/m^3). Bu denklem ışığında Lala Paşa Camisi'nden alınan temsili duvar örgüsü ve taş boyutları görüntüsüne bağlı olarak (Şekil 4), çatlak yoğunluğu $4.26 m^2/m^3$ ve taş duvar basınç dayanımı ise $5.63 MPa$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4 - Yapıda elastik modülün hesaplanmasında temel alınan duvar elemanı ve çatlak yoğunluğu faktörü hesaplamasında kullanılan yatay ve düşey süreksizlik yüzeyleri

İkinci olarak taş ve bağlayıcı harçla inşa edilen duvarlarda basınç dayanımının belirlenmesi için Tomazeviç [22] Denklem 3'ü önermektedir.

$$f_k = 0.5 \times f_b^{0.65} \times f_m^{0.25} \quad (3)$$

Bu denklemde, f_k , duvarın basınç dayanımı, f_b , taşın basınç dayanımı ve f_m harcın basınç dayanımıdır. Bu bilgiler ışığında taş duvar dayanımı bu duvar dayanımı 6.3MPa olarak elde edilir.

Ancak Tsoutrelis ve Exadaktylos tarafından önerilen bağıntı, Lala Paşa Camii'nde mevcut harçsız kuru duvarların davranışını belirlemesine daha uygun olduğu için kesme taş duvarın basınç dayanımı 5.63 MPa olarak alınmıştır.

3.2.2. Üç Yapraklı Duvarın Dayanımının Belirlenmesi

Yığma duvarların dayanımlarının ve elastisite modüllerinin belirlenmesi için literatürde birçok analitik yaklaşım bulunmaktadır. Ancak üç yapraklı duvarların dayanımının analitik olarak belirlenmesi birçok değişkene bağlı olması ampirik önerileri kısıtlamaktadır. Binda vd. [23] üç yapraklı duvarların basınç dayanımının belirlenmesi için Denklem 4'ü önermektedir.

$$f_k = \frac{2t_e}{2t_e + t_i} \times f_e \times \theta_e + \frac{t_i}{2t_e + t_i} \times f_i \times \theta_i \quad (4)$$

Bu denklemde $f_e=f_k$ ve $f_i=f_r$ olacak şekilde, sırasıyla dış ve iç duvarın basınç dayanımları, t_e ve t_i sırasıyla dış ve iç duvarın kalınlıkları ve θ_e ve θ_i ise sırasıyla dış ve iç duvarın doğruluk faktörüdür. Doğruluk faktörü iç ve dış duvarın üç yapraklı duvar dayanımına katkı katsayısıdır. Bu değerleri Binda vd. (2006) $\theta_e=0.7$ ve $\theta_i=1.3$ olarak önermiştir.

Basınç dayanımı bilinen yığma duvarların Elastisite modülüne geçiş parametresi Tomazevic [22] tarafından 200-1000 arasında olduğu belirlenmiştir. Basınç dayanımından elastisite modülüne geçiş olarak Avrupa Birliği Standartları [24] Denklem 5'i önermektedir.

$$E = 1000f_k \quad (5)$$

Bu bilgiler ışığında üç yapraklı duvarın basınç dayanımı 3.92MPa, bu duvarların elastisite modülü ise 3920MPa olarak elde edilir.

3.3. Fil Ayaklarının, Kubbelerin ve Kemerlerin Dayanımlarının Belirlenmesi

Eserde merkez kubbeyi taşıyan fil ayaklarını ve kemerleri oluşturan taşların basınç dayanımları, duvarları oluşturan taşlarla (25.6 MPa) aynı kabul edilmiştir. Fil ayaklarının ve kemerlerin dayanımları Bölüm 3.2.1'de elde edilen dış duvar dayanımıyla (5.63 MPa) aynı alınmıştır. Literatüre bakıldığında kubbe kısımlarının elastisite modülleri için kullanılan değer ortalama 3000 MPa olarak önerilmektedir [6-8]. Bu sebeple hem literatür ışığında hem de Denklem 1 ve Denklem 5 yardımıyla fil ayakları, kemerler ve kubbelerin dayanımları Tablo 2'de verildiği gibi kabul edilmiştir.

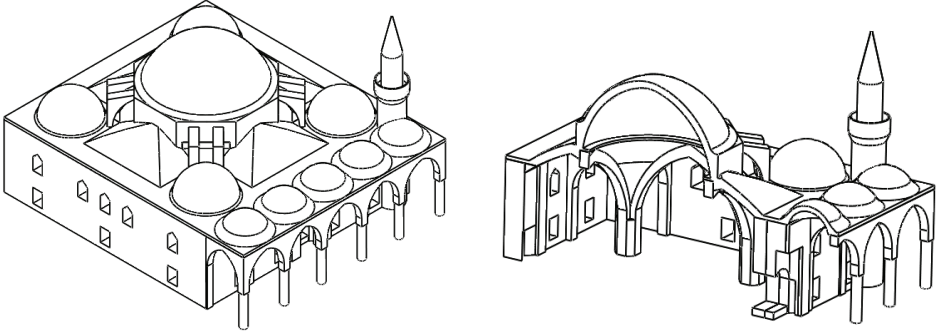
Görüldüğü gibi tarihi eserlerin malzeme özelliklerinin belirlenmesi fazla sayıda belirsizlik içermektedir. Malzeme özelliklerinin belirlenmesi için farklı varsayımlar, kabuller ve analitik öneriler dikkate alınarak, yukarıdaki yöntem önerilmiş ve malzeme parametreleri belirlenmiştir. Erzurum Lala Paşa Cami malzeme özellikleri Tablo 2’de verildiği gibi kabul edilmiş ve analizler bu değerlere göre yapılmıştır.

Tablo 2 - Erzurum Lala Paşa Camisinin malzeme özellikleri

Cami Bölümü	Elastisite Modülü, MPa	Basınç Dayanımı, MPa	Çekme Dayanımı, MPa
Duvarlar	3920	3.92	0.3
Fil Ayakları ve Kemerler	5630	5.63	0.3
Kubbeler	3000	3.00	0.3

4. SONLU ELEMAN MODELİ

Cami gibi farklı yapısal taşıyıcı formların iç içe kullanıldığı yığma yapıların hesap modellerinin klasik elemanlarla oluşturulması ve davranışlarının belirlenmesi zor olabilmektedir. Tarihi yığma yapıların taşıyıcı sistemleri, geleneksel yapıların taşıyıcı sistemlerinden oldukça farklıdır. Mimari detaylarından kaynaklanan karmaşıklık, bu yapıların modellenmesinde sorunlar çıkarmaktadır. Bilgisayar teknolojisinin ve yazılımların gelişmesi, yığma yapıların davranışlarının üç boyutlu modellenerek belirlenmesine olumlu katkı sağlamıştır. Karmaşık mimarili camiler, hamamlar, köprüler ve birçok yığma yapının modellenmesi imkânli hale gelmiştir.

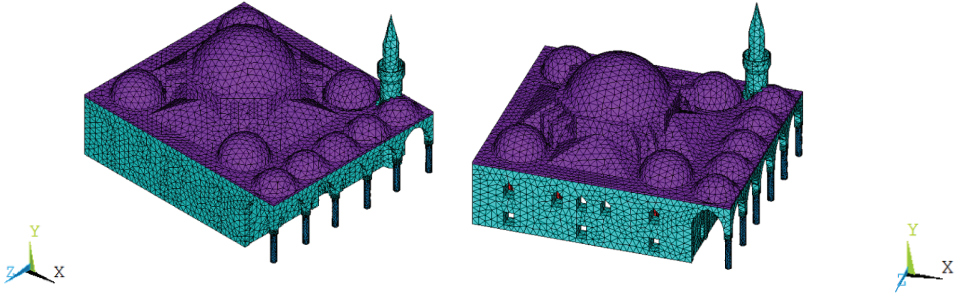


Şekil 5 - Lala Paşa Camiinin katı modeli

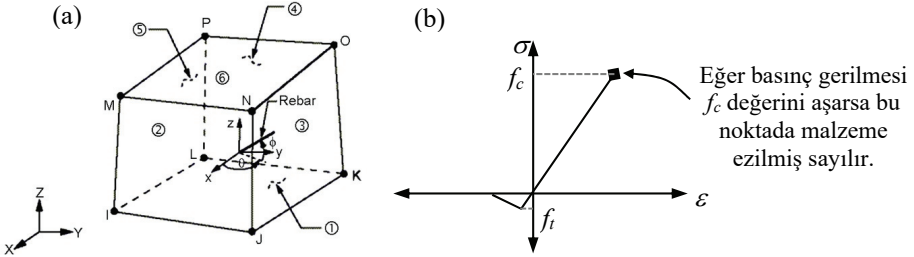
Bu çalışmada yapısal davranışa etki etmediği düşünülen mimari ince unsurlar modellenmemiş, göz ardı edilmiştir. Şekil 5’te görüldüğü gibi Lala Paşa Camisi, SolidWorks [25] yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Oluşturulan model ANSYS APDL [26]

yazılımına aktarılmış ve sonuçta 17860 düğüm noktalı ve 66521 sonlu elemanlı model elde edilmiştir (Şekil 6).

ANSYS modelinde SOLID65 elemanı kullanılmıştır. SOLID65 elemanı, her düğüm noktasında üç öteleme serbestlik derecesine sahip sekiz düğüm noktasından oluşan bir elemandır. Bu 3D katı eleman, çekme gerilmelerinde çatlama, basınç gerilmelerinde ezilme özelliklerine ve plastik şekil değiştirme yeteneğine sahiptir. Kullanılan malzeme izotropik olarak tanımlanmıştır. Geometri, düğüm yerleri ve koordinat sistemi Şekil 7a'da verilmiştir.



Şekil 6 - Lala Paşa Camii' nin sonlu elemanlar modeli



Şekil 7 - (a) SOLID65 elemanı geometrisi [26]
(b) ANSYS'de Willam-Warnke bir eksenli gerilme durumu [27]

Malzeme modeli olarak beş parametrelili Willam-Warnke modeli kullanılmıştır [27]. Bu modelde taşın çekme (f_t) ve basınç dayanımları (f_c) kullanılarak malzemenin göçme yüzeyi oluşturulur. Yığma malzemesi homojenize kabul edilerek, Willam-Warnke modeline göre tanımlanan göçme yüzeyi içerisinde kalan gerilme durumunda malzemenin elastik davrandığı, çatlama veya ezilme durumlarında ilgili elemanlarda sistem direngenliğine verilen katkı sıfıra yakın olacak şekilde eleman davranış değiştirilir. Sargısız beton ve taş-toprak yığma gibi malzemelerde bu model yeterli olurken malzemenin en büyük gerilmeye ulaştıktan sonra sergileyeceği dayanımda yumuşama tam olarak modellenemez. Bundan dolayı Willam-Warnke modeli programda mevcut plastisite modellerinden birisiyle birlikte kullanılarak ezilme davranışı daha gerçekçi modellenebilir. Ancak yığma yapı hesaplamalarında basınç altında ezilmeden ziyade malzemenin çekme dayanımının çok düşük olmasından dolayı (ihmal edilebilir) birimler arasında ayrışma problemi ortaya

çıkacağından, Willam-Warnke modelinin kendi başına kullanımının yeterli olacağı düşünülmüştür. Bir eksenli gerilme-şekil değiştirme ilişkisi Şekil 7b’de verilmiştir. Bu şekilde Tablo 2’de verilen çekme ve basınç dayanımları modelin davranışını belirler.

5. MODAL ANALİZ

Bilgisayar ortamında oluşturulan sonlu eleman modellerinde kullanılan malzeme özellikleri, yapıya verilecek tahribattan dolayı deneysel olarak belirlenemediği durumlarda, dinamik deneysel ölçümler ile kalibre edilmelidir. Bu kalibrasyon işlemi tayin edilen malzeme mekanik özelliklerinin yapı dinamik özelliklerini verecek şekilde değiştirilmesiyle yapılmaktadır. Bu amaçla öncelikle model üzerinde teorik modal analizler yapılarak yapının dinamik davranış parametreleri belirlenmiş; sonrasında deneysel modal analiz yapılarak söz konusu parametreler elde edilmiş ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Çalışma detayları bu bölümde sunulmaktadır.

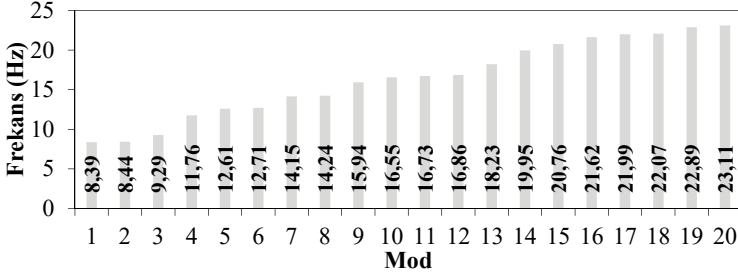
5.1. Teorik Modal Analiz

Lala Paşa Camii’nin yapısal çözümlerinde öncelikle modal analiz sonucunda elde edilen mod şekilleri ve titreşim periyotları belirlenmiştir. Çözümler 20 mod için yapılmış ve yapının hakim ilk altı modu üzerinde durulmuştur. Yapının modları belirlenirken, ilk iki mod minarenin hakim modu çıkmıştır. Bu iki mod şekli, yapının bütünü temsil etmeyen lokal modlar olduğu için dikkate alınmamıştır. Aşağıda Tablo 3’de yapının yatay ve düşeyde davranışını belirleyen hakim ilk altı moda ait frekans ve kütle katılım oranları, Şekil 8’de tüm modlara ait frekans değerleri ve Şekil 9’da ilk altı moda ait şekil değiştirme hali gösterilmektedir. Yapının toplam kütlesi 5679 ton olarak hesaplanmıştır.

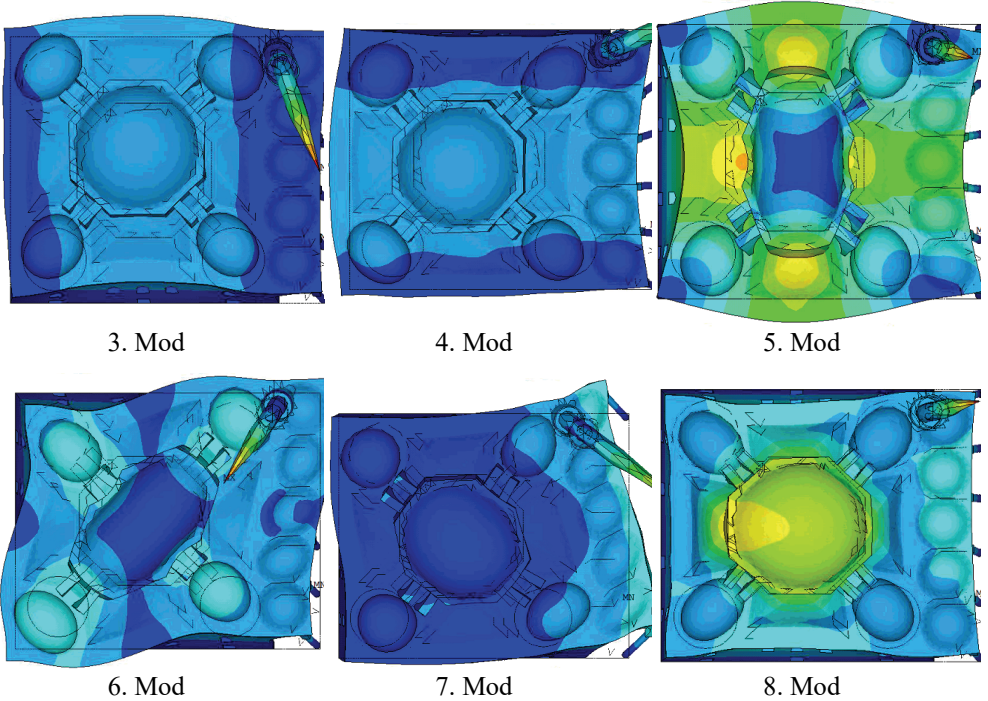
Tablo 3 - Lala Paşa Cami’nin dikkate alınan hakim altı moduna ait kütle katılım oranları ve frekans değerleri

Mod	Frekans (Hz)	Küt. Kat. Oranı (x doğ.-yatay)	Küt. Kat. Oranı (y doğ.-düşey)	Küt. Kat. Oranı (z doğ.-yatay)	Küt. Kat. Oranı (y dönme)
3	8.44	0.06	0.48E-5	0.56	0.49
4	8.50	0.55	0.79E-4	0.06	0.57
5	9.30	0.57E-3	0.25E-4	0.36E-4	0.57
6	11.74	0.25E-4	0.30E-3	0.84E-3	0.58
7	12.55	0.13E-3	0.97E-4	0.14E-1	0.83
8	12.70	0.44E-4	0.16	0.41E-4	0.84

Modelin mod şekillerine bakıldığında yapının 3. modu doğu-batı (z doğrultusu) doğrultusunda enine ve burulma, 4. modu kuzey-güney (x doğrultusu) doğrultusunda enine ve burulma, 5. mod ve üstü modlar burulma ve 8. mod düşey ve burulma modudur. Mod şekilleri, yapının deformasyonunu belirleyen salınım şekilleridir. Bu salınımlar gözlemlendiğinde, deprem sırasında son cemaat yeri, ana kubbe ve minarenin zorlanacağı söylenebilir. Ayrıca doğu-batı doğrultusunda duvarlar ve özellikle son cemaat yerinin mesnetlendiği kuzey cephesindeki duvarda, düzlem dışı hareketlilik sebebiyle hasar gözlemlenebilir.



Şekil 8 - Lala Paşa Cami'nin ilk 20 moda ait frekans değerleri



Şekil 9 - Lala Paşa Cami'nin hakim ilk altı moda ait deformasyon şekilleri

5.2. Deneysel Modal Analiz

Bu çalışmada Lala Mustafa Paşa Camii' nin deneysel olarak dinamik parametrelerinin belirlenmesi amacıyla Operasyonel Modal Analiz (OMA) yöntemi kullanılmıştır. Operasyonel modal analiz yöntemi yapıların doğal frekans, mod şekli ve sönüm gibi dinamik karakteristiklerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden biridir. Yapıların deprem, rüzgar, taşıt ve insan hareketleri, makine titreşimleri gibi genliği ve zamanla değişimi tam olarak bilinmeyen titreştiriciler tarafından tetiklendiği bilinmektedir. Operasyonel modal analiz yöntemi girdi olarak trafik, dalga, rüzgâr ve sismik etki gibi çevresel etkileri kullanmaktadır. Gelişen teknoloji, çevresel etkiler altında yapıda oluşan titreşimlerin kayıt altına alınmasına olanak sağlamaktadır. Bu yöntem, gerçek servis şartları altında dinamik karakteristiklerin belirlenmesine imkân vermesi, ölçüm esnasında yapının kullanımını kesintiye uğratmaması, hızlı ve ucuz olması gibi avantajlarından dolayı tercih edilmektedir. [28]

Operasyonel modal analiz 1990'ların başından beri inşaat mühendisliği alanında ilgi gören bir yöntem olup köprülere, kulelere binalara ve deniz aşırı platformlara uygulanmıştır [29]. Söz konusu yöntemin tarihi yapılara uygulandığı pek çok çalışma vardır [2-5]. Bu çalışmalarda genel olarak incelenen yapıların dinamik karakteristiklerinin deneysel ve teorik olarak belirlenmesi ve kıyaslanması amaçlanmıştır.

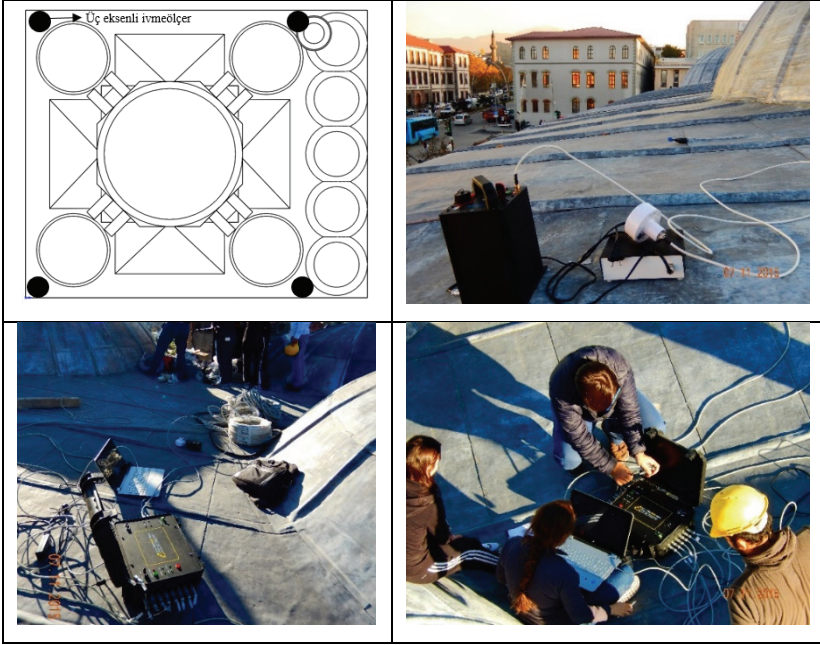
Operasyonel modal analiz çalışmasının ilk basamağı teorik modal analiz çalışmasından elde edilen mod şekilleri dikkate alınarak titreşim kayıt noktalarının belirlenmesi ve ivme kayıtlarının alınmasıdır. Bu yöntemde yapıyı titreştirmek amacıyla uygulanan kuvvetin genliği ve zamanla değişimi tam olarak bilinemediğinden dolayı, ölçümlerin yapının ölçüm yapılan frekans aralığında tahrik edilmesini temin edebilecek kadar uzun süreli alınması esastır. Operasyonel modal analizde veri işleme yöntemleri zaman alanında ve frekans alanında frekans yöntemler diye kategorize edilebilir. Frekans alanında ayrıştırma (FFD) tekniği frekans alanında çalışan bir tekniktir ve çalışmada bu metod kullanılmıştır. Bu yöntemde tepkinin güç yoğunluğu fonksiyonu (PSD) hesaplanır ve sistemin ölçeksiz mod şekillerini de içeren modal parametrelerini belirlemek için tekil değer ayrışımı gerçekleştirilir. Bilinmeyen etki ve ölçülen tepkiler arasındaki ilişki aşağıdaki gibi verilir [30,31].

$$[G_{yy}(\omega)] = [H(\omega)]^* [G_{xx}(\omega)] [H(\omega)]^T \quad (6)$$

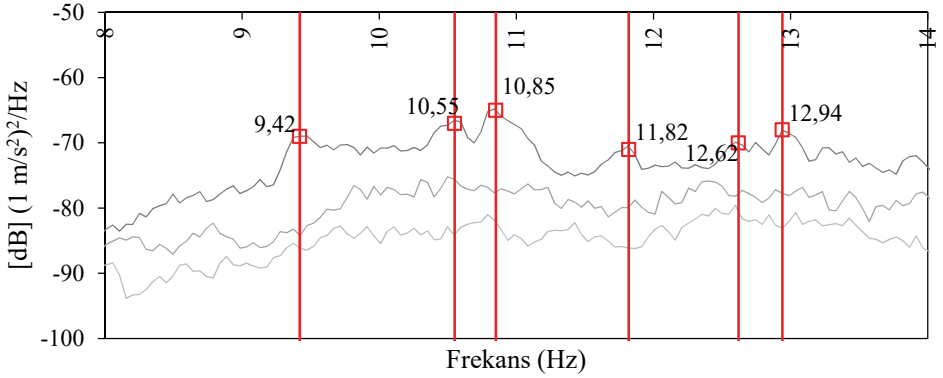
Denklemden, $[G_{xx}(\omega)]$ ve $[G_{yy}(\omega)]$ etki ve tepki sinyaline ait güç spektral yoğunluk fonksiyonlarını, $[H(\omega)]$ ise frekans davranış fonksiyonunu göstermektedir. Ayrıca denklemden * ve T sırasıyla fonksiyonun kompleks eşleniğini ve transpozunu göstermektedir. Tepki sinyaline ait güç spektral yoğunluk fonksiyonu, tekil değer ayrışımı gerçekleştirilerek ayrık değerler olarak,

$$G_{yy}(j\omega_i) = U_i S_i U_i^H \quad (7)$$

Burada, U_i , u_{ij} tekil vektörlerden (mod vektörlerinden) oluşan birim matrisi, S_i ise s_{ij} tekil değerlerden (öz değerlerden) oluşan diyagonal matrisi göstermektedir [32].



Şekil 10 - Lala Paşa Cami titreşim ölçüm krokisi ve ölçüm görüntüleri



Şekil 11 - Lala Paşa Cami GFOAY ile elde edilen tekil değerler

Ölçümler sırasında 4 adet üç eksenli ivmeölçer kullanılmıştır. Yapı dinamik karakteristiklerin belirlenmesi için yapının tepkileri yatay ve düşey yönlere uygun yerlere yerleştirilen ivmeölçerler yardımıyla belirlenmiştir. İvmeölçerlerin yerleri Şekil 10'da gösterilmektedir. Dinamik karakteristikler Geliştirilmiş Frekans Ortamında Ayrışma Yönteminden (GFOAY) her bir titreşim sinyalinden tekil değerler olarak elde edilir.

GFOAY için bütün sinyallerden elde edilen tekil değerler Şekil 11’de doğal frekans değerleri ise Tablo 4’de verilmiştir. Elde edilen veriler ARTEMIS Modal Pro [33] yazılımı yardımıyla işlenerek yapının deneysel modal karakteristikleri belirlenmiştir.

Tablo 4’de gösterildiği gibi yukarıda teorik modal analiz sonucu elde edilen yapı frekansları ile Operasyonel Modal Analizle belirlenen yapının deneysel frekansları arasındaki fark en fazla %19.4, en az %0.6’dır. Bu değerler malzeme özelliklerinin belirlenmesinin oldukça zor olan tarihi yapılarda kabul edilebilir seviyelerdedir [34]. Bu sebeple önerilen yöntemle belirlenen malzeme özelliklerinde herhangi bir kalibrasyon yapmaksızın oluşturulan sonlu eleman modelinin yapının gerçek davranışını yansıtacağı kabul edilmiştir. Bu kabul ile yapının deprem analizi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4 - Deneysel ve teorik frekans değerlerinin karşılaştırılması

Mod	Teorik Frekans (Hz)	Deneysel Frekans (Hz)	Fark (%)
3	8.44	9.42	10.4
4	8.5	10.55	19.4
5	9.3	10.85	14.3
6	11.74	11.82	0.7
7	12.55	12.62	0.6
8	12.7	12.94	1.9

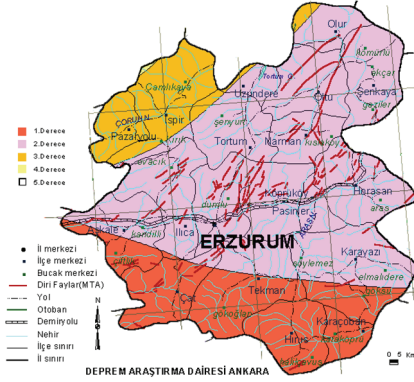
6. DEPREM YÜKLERİ ALTINDA ANALİZ

Doğu Anadolu Bölgesi bulunduğu konum sebebiyle tarih boyunca birçok büyük ve küçük depreme maruz kalmıştır. Tarihi kaynaklara bakıldığında 1790, 1843, 1850, 1852, 1859, 1868 yıllarında can ve mal kaybına neden olmuş depremler görülmektedir. 1900 yılından günümüze kadar meydana gelen büyük depremler; 1924 Horasan M6.8, 1946 Hınıs M5.9, 1952 Hasankale M5.8, 1966 Hınıs-Varto M6.8, 1983 Erzurum-Kars M6.9, 1984 Balkaya-Şenkaya M6.4, 1999 Şenkaya M5.1 ve 2004 Aşkale M5.6 olarak sıralanabilir [35]. Vakıflar Erzurum Bölge Müdürlüğü’nden alınan bilgiye göre, yapı belirtilen bu depremler esnasında herhangi bir ciddi hasar almamıştır. Bu çalışmada Lala Paşa Camii’nin dinamik çözümlemesi zaman tanım alanı hesap yöntemiyle, 13 Mart 1992 tarihinde Erzincan’da meydana gelen 6.8 büyüklüğündeki depremin doğu-batı ve kuzey-güney ivme bileşenleri ve ivme spektrumu dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 13). 1992 Erzincan depremi büyüklüğünde bir depremin yapının bulunduğu alanda meydana gelmesi ön görülmemektedir. Ancak bu çalışmada yapının olası bir depremde sismik performansından ziyade, yapı belirtilen malzeme özellikleri kullanılarak göstereceği yıkılma mekanizmasının belirlenmesi hedeflendiği için 1992 Erzincan deprem kaydı gibi yapılar üzerinde yüksek süneklik talebi oluşturacak bir depremin kullanılmasına karar verilmiştir.

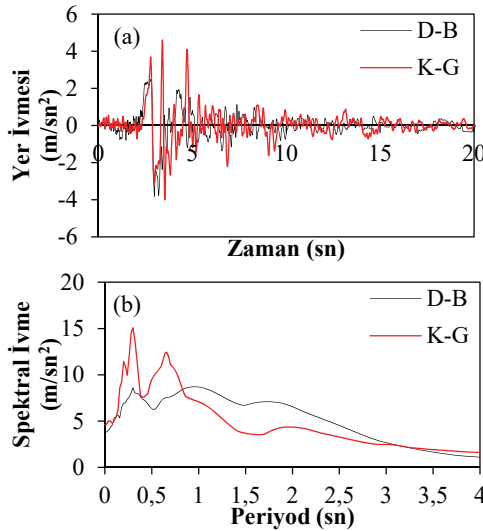
Doğrusal olmayan dinamik analizler efektif deprem yükü konsepti üzerinden gerçekleştirilmiştir [36]. Dinamik davranış, yer ivmesi değerleri yapı üzerinde tüm düğüm noktalarına etkileyen bir ivme alanı oluşturacak şekilde uygulanarak ve malzemenin doğrusal

olmayan davranışı dikkate alınarak Denklem 8'in çözümüyle hesaplanmıştır. Yapıda %3'lük bir sönüm Rayleigh sönüm modeli kullanılarak uygulanmıştır ($[C] = \alpha[M] + \beta[K]$). Burada $[C]$ sönüm matrisi, $[M]$ kütle matrisi, $[K]$ rijitlik matrisi, α ve β ise etkin iki moda ve bu modlardaki sönümlere bağlı olarak belirlenen katsayılardır. Dinamik analizlerde malzeme için doğrusal olmayan malzeme modelleri kullanıldığında sönüm için yüksek değerlerin kullanılması gerekmemektedir.

$$[M] \cdot \{\ddot{u}\} + [C] \cdot \{\dot{u}\} + [K] \cdot \{u\} = -[M] \cdot \{\ddot{u}_g(t)\} \quad (8)$$

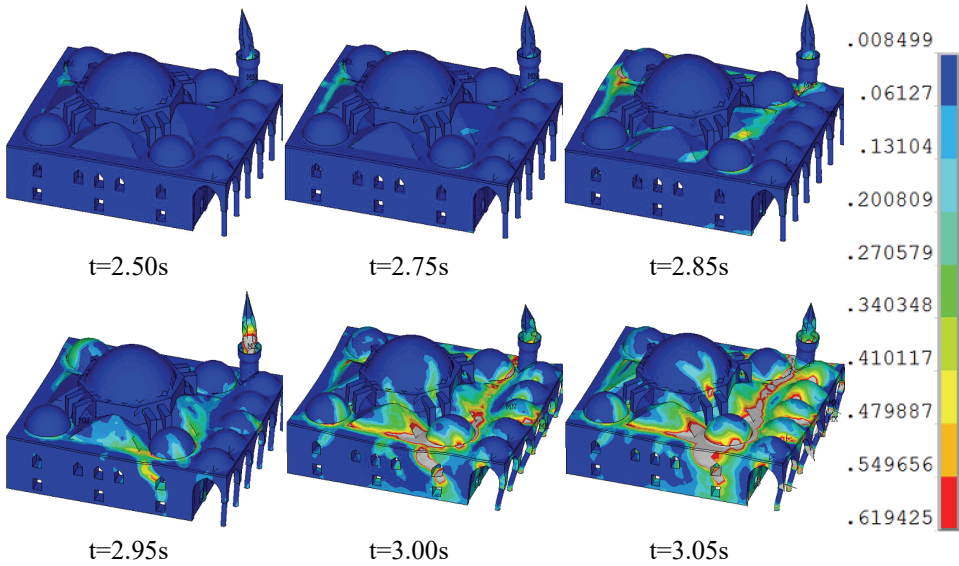


Şekil 12 - Erzurum İli Deprem Haritası [37]



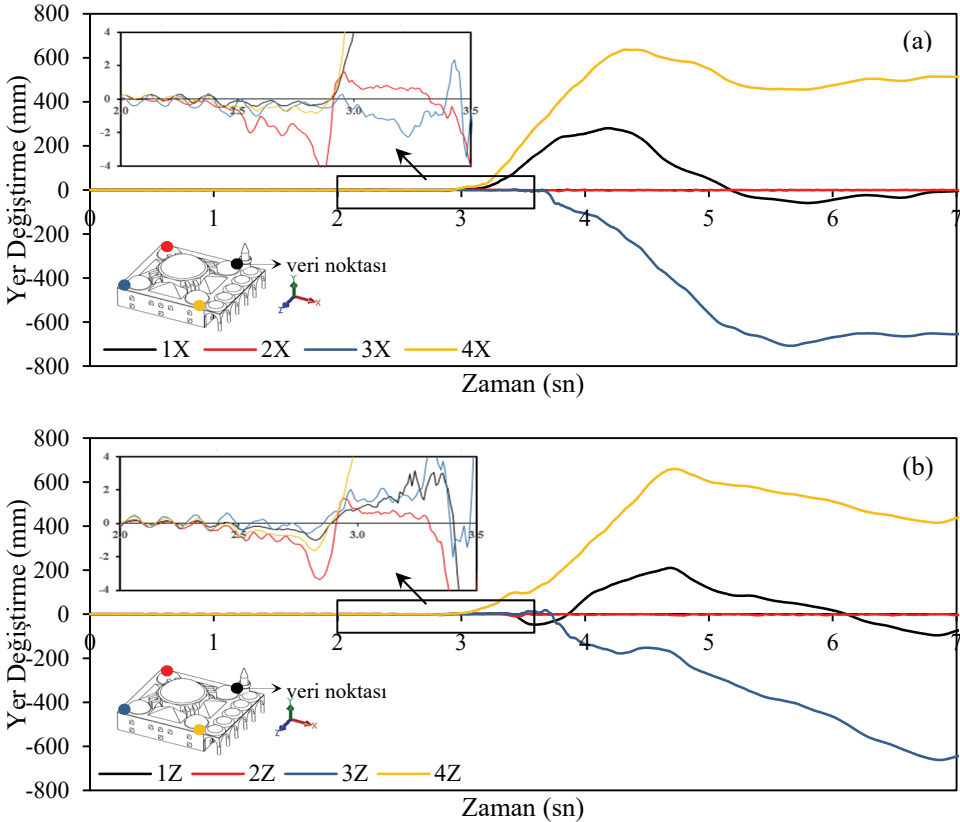
Şekil 13 - (a) Erzincan depremi D-B ve K-G ivme bileşenleri; (b) Erzincan depremi D-B ve K-G ivme spektrumları

Dinamik analiz sonucunda yapıda oluşan çekme asal birim şekil değiştirmeleri (çatlak ve ayrılma bölgeleri) Şekil 14’de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi yapıda 2.50’nci saniyeye kadar birim şekil değiştirmeler gözle görülemeyen mikro çatlaklara sebep olmaktadır. 0.1-0.3mm arasında olan bu mikro çatlaklar literatürde taşıyıcı sisteme ve yapının kullanımına etkisi olmayan çatlaklar olarak tanımlanır [38]. Önerilen sınırlara göre bu çatlak genişlikleri kabul edilir seviyededir, ancak yapının kuzeybatısında bulunan küçük kubbe çevresinde ve minarenin şerefe kısmında çatlaklar yoğunlaşmıştır. 2.75’inci saniyede yapı, gelen dinamik yük karşısında yapı mevcudiyetini korumakta ve elastik davranış sergilemeye devam etmektedir. 2.85’inci saniyede, yapının minaresi şerefe ve duvar üst noktası seviyesinde aşırı şekil değiştirmeye maruz kaldığı için minarenin göçmesine sebep olacak çatlaklar meydana gelmiş ve minarenin göçme bölgesine geçtiği değerlendirilmiştir. Yine bu zaman diliminde yapı ile son cemaat yerinin mesnetlendiği bölgelerde çekme birim şekil değiştirmelerin yoğunlaştığı görülmektedir. 2.95’inci saniyede yapının doğu kısmında bulunan yarım kubbenin mesnet bölgesinden pencere boşluğuna doğru bir hat şeklinde ilerleyen geniş hasar çatlakları meydana gelmiştir [38]. 3.00’üncü saniyede, yapının son cemaat yerinde büyük çatlaklardan dolayı göçme meydana geleceği değerlendirilmektedir. Doğru kısmında pencere boşluğuna doğru oluşan çatlak hattı, doğu taşıyıcı duvarının göçmesine sebep olmuştur. Yine bu zaman diliminde yapının hemen her yerinde ciddi çatlaklar oluşmuştur. 3.05’inci saniyede, yapının ana kubbesinde, küçük kubbelerinde, pencere boşluklarının çevrelerinde çatlaklar oluşmuş ve yapının güneybatı köşesi hariç tamamen göçmüş olabileceği belirlenmiştir.



Şekil 14 - Dinamik analiz sırasında meydana gelen çekme asal birim şekil değiştirmeleri

Şekil 15'de yapının kare planı oluşturan dış duvarların (son cemaat yeri hariç) üst köşelerinde zamana bağlı hesaplanan x ve z yatay yönlerindeki yer değiştirme grafikleri gösterilmiştir. Yapının güneybatı kısmı (2 nolu veri noktası) hariç diğer kısımlarda oluşan yer değiştirmeler, yapının dinamik yük nedeniyle göçtüğünü göstermektedir. 2 nolu veri noktasında göçme meydana gelmemesinin muhtemel sebebinin analizlerde kullanılan deprem bileşenlerinin uygulanış yönüyle alakalı olduğu değerlendirilmektedir. Şekil 14a'da gösterilen iki yer ivmesi bileşenin etkin bileşesi model üzerinde 2-4 diyagonalı doğrultusunda (yani güneybatı-kuzeydoğu istikametinde) en büyük değerini almaktadır ve yaklaşık olarak 1.1 saniye periyotlu ve 6.1 m/s^2 genliğinde sinüzoidal bir atım şeklinde etkimektedir. Bu istikamette bu atıma bağlı olarak hesaplanan en büyük yer hızı 1.95 m/s olmaktadır. Elde edilen değer, Erzincan depreminin yıkıcı şiddetini göstermektedir. Bu değer büyük depremlerde yakın sahada gözlemlenen, oldukça yüksek bir yer hızına tekabül etmektedir. Belirtilen atım etkisinde 2 numaralı köşe önce basınç sonra çekmeye maruz kalırken, 4 numaralı köşede önce çekme sonra basınç gerilmeleri meydana gelmektedir. Çekme etkisinde oluşan çatlaklar sonucu 4 nolu köşeye birleşen duvarlarda rijitlik kaybı meydana gelmekte ve izleyen çevrimde basınç ve kesme kuvvetleri etkisiyle bu bölgede ağır hasar ortaya çıkmaktadır (Şekil 17, $t=2.95\text{-}3.00$ saniyeler).



Şekil 15 - Dinamik analizde yapının köşelerinde oluşan yer değiştirmeler (mm), (a) x doğrultusu; (b) z doğrultusu

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik [39] Bölüm 5.4.4.'te, planda birbirine dik doğrultuların her biri boyunca uzanan taşıyıcı duvarların, pencere ve kapı boşlukları sayılmaksızın toplam uzunluğunun brüt kat alanına oranı (l_d/A) $0.2I$ m/m^2 'den daha az olmayacaktır hükmüne istinaden, yapılan hesaplamalarda l_d/A oranı x ve z yönlerinde 0.077 bulunmuştur. Hesaplanan oranlar 0.2 değerinden düşüktür. Yapının x ve z yönlerinde duvar alanlarının yapının toplam alanına oranları her iki yönde de %14'tür. Bu oran yönetmelikte minimum duvar kalınlığı 0.5m olarak varsayılarak %10 olarak önerilmektedir. Görüldüğü gibi, yapının duvar kalınlığının fazla olması yapının ele alınan dinamik yükler karşısında yeterli dayanıma ulaşmasına yardımcı olmamıştır.

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada, 16. yüzyılda inşa edilmiş Erzurum Lala Paşa Camii'nin tüm taşıyıcı elemanlarının malzeme özellikleri önerilen yöntemle belirlenmiştir. Yapının sonlu eleman modelinde bu değerleri kullanarak teorik modal analiz gerçekleştirilmiştir. Yapının deneysel modal analizi Operasyonel Modal Analiz yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiş ve yapının hakim altı modu belirlenmiştir. Bu hakim altı mod için teorik ve deneysel veriler arasında en az %0.6, en fazla %19.4'lük fark olduğu belirlenmiştir. Kullanılan malzeme modelinin tarihi yapılarda çatlama ve ezilme davranışının modellenmesinde etkin bir şekilde kullanılabileceği ve bu tür yapılarda oluşabilecek göçme mekanizmalarını ortaya çıkarabileceği gösterilmiştir.

Dinamik yüklerin uygulandığı deprem analizi sonucunda, yapıda öncelikle minarede, son cemaat yerinde, küçük kubbelerde ve nihayetinde yapının tamamında ciddi hasarlar meydana geldiği belirlenmiştir. Elde edilen veriler, yapının 1992 Erzincan Depremine benzer bir yer hareketi etkisinde göçeceği yönündedir.

Bu çalışmada tek bir yığma yapı için elde edilmiş bu sonuçların güvenle uygulanabilmesi için daha çok ve farklı geometrik özellikte yığma yapı kullanılarak benzer çalışmaların sayısı artırılmalıdır.

Teşekkür

Bu çalışma, 1001-114M280 kod nolu TÜBİTAK Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Durukal, E., Cimilli S., Erdik M., Dynamic Response of Two Historical Monuments In İstanbul Deduced From The Recordings of Kocaeli and Duzce Earthquakes, Bulletin of The Seismological Society of America, 93(2), 694-712, 2003.
- [2] Gentile, C., Saisi, A., Ambient Vibration Testing of Historic Masonry Towers For Structural Identification and Damage Assessment, Construction and Building Materials, 21, 1311-1321, 2007.

- [3] Bayraktar, A., Altunisik, A.C., Sevim, B., Türker, T., Akköse, M., Çoşkun, N., Modal Analysis, Experimental Validation, and Calibration of A Historical Masonry Minaret. *Journal of Testing and Evaluation*, 36(6), 516-24, 2008.
- [4] Bayraktar A., Türker T., Sevim B., Altunışık A.C., Yıldırım F., Modal Parameter Identification of Hagia Sophia Bell-Tower Via Ambient Vibration Test, *Journal of Nondestructive Evaluation*, 28 (1), 37-47, 2009.
- [5] Ramos, L.F., Marques, L., Lourenço, P.B., De Roeck, G., Campos-Costa, A., Roque, J., Monitoring Historical Masonry Structures With Operational Modal Analysis: Two Case Studies, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 24, 1291-1305, 2010.
- [6] Şeker, B.Ş., Mimar Sinan Camilerinin Statik ve Dinamik Yükler Etkisinde Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 2011.
- [7] Mustafaraj, E., Yardım, Y., Conditional Assessment of Historical Structures: Earthquake Performance of Naziresha Mosque, *International Students Conference of Civil Engineering*, Tirana, Albania, 2012.
- [8] Şeker, B.Ş., Doğangün, A., Çakır, F., Merzifonlu Kara Mustafa Paşa Cami Taşıyıcı Sistemi Üzerine İrdeleme, *SDU International Technologic Science*, 5, 112-120, 2013.
- [9] Koseoglu, G.C., Canbay, E., Assessment and Rehabilitation of The Damaged Historic Cenabı Ahmet Pasha Mosque, *Engineering Failure Analysis*, 57, 389-398, 2015.
- [10] Boru, E.O., Kutanis, M., Çevrel Titreşim Kayıtları Kullanılarak Yapı Dinamik Parametrelerinin Belirlenmesi, *SAÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 19(1), 59-66, 2015.
- [11] Çalık, İ., Bayraktar, A., Türker, T., Betonarme Kubbeli Taş Yığma Duvarlı Camilerin Dinamik Davranışına Etkisinin Çevresel Titreşim Yöntemiyle İncelenmesi, *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31(3), 621-630, 2016.
- [12] Cakir, F., Uysal, H., Acar, V., Experimental Modal Analysis of Masonry Arches Strengthened With Graphene Nanoplatelets Reinforced Prepreg Composites, *Measurement*, 90, 233-241, 2016.
- [13] Torres, W., Almazán, J.L., Sandoval, C., Boroscchek, R., Operational Modal Analysis and FE Model Updating of The Metropolitan Cathedral of Santiago, Chile, *Engineering Structures*, 143, 169-188, 2017.
- [14] Yenişehirlioğlu, F., Madran, E., Mimar Sinan Yapıları. Türk Tarih Kurumu Basım Evi, Ankara, 1989.
- [15] Gündoğdu H., Erzurum: History and Civilization. Writers Union of Turkey, Erzurum 2011 Series -1, Ankara-Turkey, 2011.
- [16] Konyalı I.H., History of Erzurum With Monuments and Inscription. Ercan Matbaası, Istanbul, Turkey, 1960.
- [17] Bozal M., Erzurum Lala Paşa Cami Rölöve Restorasyon Restitüsyon Projesi, Envar Mimarlık, Ankara, 2015.
- [18] Çamlıbel, N., Sinan Mimarlığında Yapı Strüktürünün Analitik İncelenmesi. Doçentlik Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1998.

- [19] Bayülke, N., Yığma Yapılar, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı- Afet İşleri Genel Müdürlüğü. Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 1992.
- [20] Demir C., Ilki A., Characterization of Materials Used In The Multi-Leaf Masonry Walls of Monumental Structures In İstanbul, Turkey. *Construction and Building Materials*, 64, 398-413, 2014.
- [21] Tsoutrelis C.E. ve Exadaktylos G.E., Effect of Rock Discontinuities on Certain Rock Strength and Fracture Energy Parameters Under Uniaxial Compression, *Geotech Geol Eng*, 11(2), 81-105, 1993.
- [22] Tomazevic M., *Earthquake Resistant Design of Masonry Buildings*, Singapore: Imperial College Press, 268, 1999.
- [23] Binda L., Pina-Henriques J., Anzani A., Fontana A., Lourenco P.B., A Contribution For The Understanding of Load-Transfer Mechanisms In Multi-Leaf Masonry Walls: Testing and Modelling, *Engineering Structure*. 28(8), 1132-1148, 2006.
- [24] Eurocode 6: Design of Masonry Structures. Part 1.1: General Rules For Reinforced and Unreinforced Masonry Structures, European Committee For Standardization, ENV 1996-1-1:1995, 1995.
- [25] Solidworks, Modeling Software, 2013.
- [26] ANSYS V.16.0, Swanson Analysis System, 2015.
- [27] Willam K.J. and Warnke E.D., Constitutive Model For The Triaxial Behavior of Concrete, International Association For Bridge and Structural Engineering, 19, 1975.
- [28] Rainieri, C. and Fabbrocino, G., Operational Modal Analysis for the Characterization of Heritage Structures, *GEOFIZIKA* , 28, pp.109-126, 2011.
- [29] Zhang, L., Brincker, R., Andersen, P., An Overview of Operational Modal Analysis:Major Development and Issues, Proc. Of the International Modal Analysis Conference, Copenhagen, Denmark, 26-27, April, 2005.
- [30] Bendat, J.S. and Piersol, A.G., *Random data: analysis and measurement procedures*. John Wiley & Sons, 1986.
- [31] Brincker, R., Zhang, L., Andersen P., Modal Identification from Ambient Responses using Frequency Domain Decomposition. Proceedings 18th International Modal Analysis, Texas, USA, 625-630, 2000.
- [32] Brincker, R., Zhang, L., Andersen, P., Output-only Modal Analysis by Frequency Domain Decomposition. in: Proceedings of the ISMA25 Noise and Vibration Engineering, Leuven, Belgium; 2000.
- [33] Svibs. ARTEMIS, Ambient Response Testing and Modal Identification Software, Versiyon Modal 5.1, 2016.
- [34] Bayraktar, A., Altunişik, A.C., Sevim, B., Türker T., Akköse, M., Çoşkun, N., Modal Analysis, Experimental Validation, and Calibration of a Historical Masonry Minaret, *Journal of Testing and Evaluation*, 36(6), 2008.

- [35] Erzurum Çevre Durum Raporu, Erzurum Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Erzurum, 2011.
- [36] Kazaz İ., Yakut A., Gülkan P., Numerical Simulation of Dynamic Shear Wall Tests: A Benchmark Study, *Computers & Structures*, 84(8-9), 549-562, 2006.
- [37] T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı, Sayısal Veriler, [Http://Kyh.Deprem.Gov.Tr/Ftpt.Htm](http://kyh.deprem.gov.tr/ftpt.htm) Erişim Tarihi Ocak 30, 2013.
- [38] Bayülke, N., Yapıların Onarımı ve Güçlendirilmesi. İnşaat Mühendisliği Odası İzmir Şubesi, 15, 1999.
- [39] T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik”. Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 2007.

İnşaat Sektöründe Mesleki Eğitim Performans Göstergeleri

Zeynep IŞIK¹

Cenk BUDAYAN²

Hande ALADAĞ³

Gökhan DEMİRDÖĞEN⁴

Tamer YILMAZ⁵

David ARDITI⁶

ÖZ

İnşaat sektörünün proje temelli yapısı göz önüne alındığında, proje başarısının hem şirketin hem de sektörün başarısını etkilemesi beklenmektedir. Mesleki eğitim de, inşaat sektöründe proje başarısının önemli bir parçasıdır. İnşaat projelerinde çalışanların mesleki anlamda eğitilmesi, işçilikten kaynaklı hataları azaltarak sahadaki verimliliği ve projenin performansını arttıracaktır. Bu çalışmanın amacı, çalışmaya veri teşkil eden ülkelerin (Almanya, Hollanda, Litvanya ve Türkiye) mesleki eğitim Temel Performans Göstergeleri (TPG) arasında karşılaştırmalı bir değerlendirme yapmaktır. Bu amaçla, inşaat sektöründeki mesleki eğitim kurumlarının TPG'leri, Kurumsal Karne (KK) yönteminin finansal, eğitim alanların memnuniyeti, iç süreç ve öğrenme ve büyüme perspektifleri ele alınarak tanımlanmıştır. TPG'ler Almanya, Hollanda, Litvanya ve Türkiye'de gerçekleştirilen çalıştaylarda değerlendirilmiş; toplanan veriler, Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHS) kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışma, inşaat sektöründeki mesleki eğitim kurumlarının TPG'lerini belirlenmesi ile mesleki eğitim kurumlarına yönelik bir performans ölçüm sisteminin geliştirilmesi hususlarında literatüre katkıda bulunmaktadır. Mesleki eğitim kurumlarının verimliliğinin ve buna bağlı çıktılarının inşaat sektöründeki proje başarısının

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 05.12.2017 günü ulaşmıştır. 04.07.2018 günü yayımlanmak üzere kabul edilmiştir.
- 31 Temmuz 2019 gününe kadar tartışmaya açıktır.

• <https://dx.doi.org/10.18400/tekderg.362251>

1 Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - zeynep@yildiz.edu.tr
<https://orcid.org/0000-0002-7849-8633>

2 Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - budayan@yildiz.edu.tr
<https://orcid.org/0000-0002-8433-2824>

3 Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - haladag@yildiz.edu.tr
<https://orcid.org/0000-0001-7627-8699>

4 Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - gokhand@yildiz.edu.tr
<https://orcid.org/0000-0002-2929-2399>

5 Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gaziantep - tyilmaz@hku.edu.tr
<https://orcid.org/0000-0002-9529-8174>

6 Illinois Institute of Technology, İnşaat, Mimarlık ve Çevre Mühendisliği Bölümü, Chicago, ABD - arditi@iit.edu - <https://orcid.org/0000-0002-1580-324X>

önemli bir bileşeni olduğu göz önüne alındığında, bu verimliliğin iyileştirilmesi inşaat projelerinin ve şirketlerin performansını da arttıracaktır.

Anahtar Kelimeler: Performans yönetimi, performans iyileştirmesi, temel performans göstergesi, mesleki eğitim, inşaat sektörü, bulanık analitik hiyerarşi süreci.

ABSTRACT

Key Performance Indicators of Vocational Education and Training in the Construction Industry

Considering the project-based nature of the construction industry, the success of a project is expected to affect the success of a company and in turn, the success of the industry. Vocational education and training (VET) can also be considered as a significant component of project success in the construction industry. Training the construction workers is likely to enhance the performance of construction projects by reducing the rework on site. The objective of the study was to have a comparative analysis of the Key Performance Indicators (KPIs) of the VETs of four countries (Germany, Netherlands, Lithuania, and Turkey). The KPIs of VET institutions in the construction industry were identified using the financial, trainee satisfaction, internal process, and learning and growth perspectives of the Balanced Scorecard (BSC). The KPIs were rated in workshops conducted in aforementioned countries. The data collected were analyzed by using Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP). This study fills the gap in the literature by identifying the KPIs of VET, and developing a performance measurement system of VET institutions in the construction industry. Considering that VET is a significant component of project success in the construction industry, performance improvement of VET institutions are expected to enhance the performance of construction projects and construction companies.

Keywords: performance management, performance improvement, key performance indicator (KPI), vocational training, construction industry, fuzzy analytical hierarchy process (FAHP).

1. GİRİŞ

Son yıllarda, küreselleşen pazarlar, gelişen teknoloji ve buna bağlı artan rekabet inşaat sektöründe stratejik planlama ve performans değerlendirmesini gündeme getirmiştir. İnşaat sektörünün proje temelli yapısı, inşaat şirketlerini ve inşaat projelerini sektörün ana bileşenleri olarak görmemizi sağlamıştır. Dolayısıyla, tümevarımsal bir yaklaşımla, bir inşaat şirketinin performansının, şirketin inşaat projelerindeki başarısına; inşaat sektörünün performansının inşaat şirketlerinin başarısına ve ülke ekonomisinin performansının inşaat sektörü de dâhil olmak üzere gayri safi milli hasılda önemli yere sahip tüm sektörlerinin başarısına bağlı olduğu varsayılabılır. Bu varsayımdan hareketle, ekonomiyi iyileştirmek veya sektörel başarıyı elde etmek için bu bileşenlerde bir iyileşme olması gerekmektedir. İnşaat sektörünün dinamik yapısı, proje başarısı için çeşitli yeni yöntem ve proje türlerini gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda, inşaat projelerinin ve dolayısıyla inşaat şirketlerinin ve inşaat sektörünün performansının, ilgili proje ekibine bağlı olduğu unutulmamalıdır [1]. Ancak inşaat sektörü nitelikli iş gücü sıkıntısı çekmektedir. [2]'ye göre, inşaat sektöründe rekabet avantajı kazanmak için insan kaynaklarının eğitilerek geliştirilmesi gerekmektedir.

Diğer yandan, herhangi bir mesleki eğitim almamış işçilerin deneyimle yer bulabildiği iş gücü profili, inşaat sektöründe eğitilmiş iş gücüne olan talebi azaltmaktadır. Bu kapsamda, şirketler iki farklı yöntem uygulamaktadırlar: "İşbaşı eğitim" ve "İş dışında eğitim". "İşbaşı eğitim" yöntemi ile çalışanlar önceden hazırlanmış eğitimleri alırlar ve mesleklerini öğrenmek için farklı iş yerlerine gönderilirler. Bununla birlikte, bu çalışanlar "iş dışında eğitim" alanlar kadar verimli değildirler çünkü eğitim harcamaları, sözleşme ve işçi teşviki eksikliği inşaat şirketleri için sorun olabilir. "İş dışında eğitim" önemli sağlayıcılarından biri ise Mesleki Eğitim (ME) kurumlarıdır. [3]'ün belirttiği gibi, ME yeterince eğitilmiş iş gücü sağlar, bu da yeniden çalışmayı azaltarak ve saha verimliliğini artırarak doğrudan inşaat şirketinin rekabet gücünü artırır.

Buna ek olarak, iş gücünün bugünün ve yarının işlerinde gerekli olacak becerilerle donatılması, tüm gelişmiş ülkelerin ulusal büyüme ve gelişme görünümünde stratejik bir sorundur [4]. Becerileri yükseltme ihtiyacı mevcut nesildeki işçiler için geçerlidir [5]. Bu nedenle, bir beceri geliştirme stratejisi oluşturmak iyi kalitede eğitim ve öğretim sistemleri ile verimliliği sağlayacak güvenilir performans ölçümü gerektirir. Bu bağlamda, bilgi sunmanın artık geleneksel yükseköğrenim kurumlarıyla sınırlı olmadığı düşünülürse ME, bilgi tabanlı ekonomi çağında kaçınılmaz hale gelmiştir. Sonuç olarak, ME kurumları şirketlerin ve sektörün hedeflerine ulaşmasında önemlidir. ME kurumları inşaat işçilerinin mesleklerini öğrenmeleri amacıyla onlara eğitim verdikleri için, bu kurumlar proje performansını azaltılmış maliyet, daha iyi kalite ve daha kısa sürelerde iş tamamlama açısından iyileştirerek bir inşaat şirketi için rekabet avantajı yaratır [6, 7].

İnşaat sektöründe önemli yönetim görevlerinden biri, sektörün performansını artıracak performans değerlendirmesidir. Örneğin, [8] ve [9]'un raporları İngiltere'de performans değerlendirmesine olan ihtiyacı vurgulamıştır [10]. Yukarıda belirtildiği üzere, inşaat sektöründeki ME performanslarının artması sırasıyla inşaat projelerinin ve şirketlerinin performansında doğrudan bir artışa neden olacaktır. Bu nedenle, eğitim sistemlerinin performansını ölçmek için şeffaf bir gösterge setinin belirlenmesi önemlidir [5]. ME sisteminin kurulmasına ilaveten, performans ölçüm sistemlerinin de kurulması gerekmektedir. ME'nin performansının ölçülmesi ise daha iyi eğitim ve öğretim programlarının sağlanmasına yardımcı olacaktır.

Performans değerlendirme sistemleri, kuruluşların işlerini iyileştirmesine olanak veren bir mekanizma sağlar [11]. Bu nedenle, bir performans değerlendirme sisteminin geliştirilmesinde önemli adımlardan biri, Temel Performans Göstergelerinin (TPG'ler) tanımlanmasıdır. TPG'ler, kuruluşun mevcut ve gelecek başarısı için en kritik olan organizasyonel performans yönlerine odaklanan bir dizi önlem temsil eder [12]. ME'nin kavramsal performans ölçüm sistemini tasarlarlarken, TPG'lerin belirlenmesi çok önemlidir çünkü bu TPG'ler ME sonuçlarını iyileştirebilir ve ME sağlayıcılarını uzun vadeli ve hedef odaklı bir geliştirme çalışması yapmaları konusunda teşvik edebilir. Böylece TPG'ler endüstri tarafından ME için belirlenen hedeflerin başarılmasını kolaylaştırır.

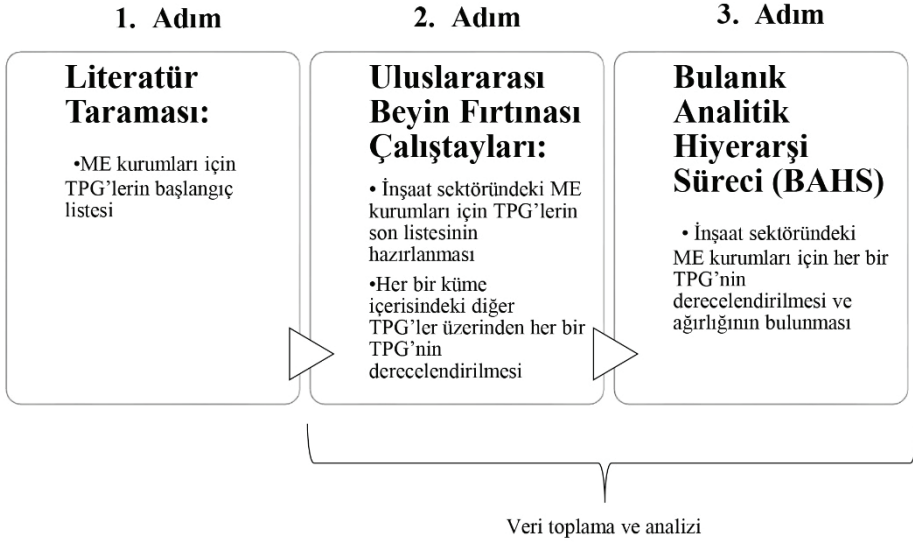
Bu bağlamda çalışmanın amacı, üç farklı Avrupa Birliği (AB) ülkesi ve adayı olan Türkiye'deki saha üretiminde çalışacak inşaat işçilerine yönelik eğitim veren ME kurumlarının ekonomik, kültürel ve sosyal özelliklerinde belirgin farklılıklar gösteren TPG'lerinin karşılaştırmalı bir analizini yapmaktır. Çalışmada, [13]'ün belirttiği üzere 12 seviyede tanımlanan inşaat işçisi sınıfından üçüncü seviyeye karşılık gelen işçiler (Örneğin: asfalt betonarme işçisi, duvar işçisi vb.) dikkate alınmıştır. Çalışma kapsamında odaklanılan üçüncü seviye inşaat işçisi genel denetim altında, gelen emirlere göre çalışan işçi seviyesidir.

Birinci ve ikinci seviye ile karşılaştırıldığında, işçi yaptığı işe temel seviyede hâkimdir ancak mesleki eğitime tabi tutularak gelişimi hedeflenmektedir. Bu bağlamda çalışma kapsamında ele alınan ME, üçüncü seviye inşaat işçilerine eğitim veren mesleki eğitim kurumlarını ifade etmektedir.

Literatürde, ME kurumlarının TPG'leri ile ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır [14, 15, 16, 17]. Ayrıca bu çalışmalar özel olarak inşaat sektörüne odaklanmamaktadır. Bu nedenle, mevcut çalışma, "mesleki eğitim merkezlerinin ve modellerinin" inşaat sektörlerindeki verimlilik üzerindeki etkisini araştırması bakımından önceki çalışmalardan farklılık göstermektedir. Çalışma kapsamında inşaat sektöründeki ME kurumlarının TPG'lerinin belirlenmesi ile bu kurumlara yönelik bir performans ölçüm sisteminin geliştirilmesi literatürdeki ilgili boşluğu doldurmaktadır. ME kurumlarının TPG'lerinin belirlenmesi ile ME kurumlarına yönelik bir performans ölçüm sisteminin geliştirilmesi, ME kurumlarının performansının artırılmasına katkıda bulunacaktır. ME kurumlarının inşaat sektöründeki proje başarısının önemli bir bileşeni olduğu göz önüne alındığında, ME kurumlarındaki performans artışı ise, inşaat projelerinin ve şirketlerin performansını da uzun vadede yükseltecektir. ME kurumlarının TPG'lerinin belirlenerek ülkeler arası karşılaştırılması uzun vadede performanslarının standardize edilmeleri için bir altlık oluşturmaktadır. ME kurumlarında eğitim alanların AB içinde dolaşımının sağlanması üye ülkeler içinde söz konusu olup bu bakımdan ME kurumlarının karşılaştırma yapılarak performans bakımından aradaki farklılıkların ve benzerlikleri ortaya çıkması buna bağlı olarak standardizasyonun sağlanması için iyileştirilmesi gerek yönlerin belirlenmesi önem arz etmektedir. Literatüre ve ME'de uygulama aşamalarına sağlanacak bu katkılar çalışmanın değerini oluşturmaktadır.

2. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

Bu makalenin temel amacı, üç farklı AB ülkesi ve AB aday ülkesi olan Türkiye'deki saha üretiminde çalışacak üçüncü seviye inşaat işçilerine yönelik eğitim veren ME kurumları için TPG'lerin karşılaştırmalı bir analizini yapmak ve inşaat sektöründe mesleki eğitim sisteminin performansını artırma açısından bir uzlaşma yeterlilik çerçevesi oluşturmaktır. Bu çalışma ME TPG'lerini belirlemek için kapsamlı bir literatür taraması ile başlamıştır. İlk denemede toplam 74 gösterge tespit edilmiştir. Bu TPG'ler, Almanya, Hollanda, Litvanya ve Türkiye'de ME yöneticileri, eğitimciler, Eğitim alanlar, akademisyenler ve profesyoneller de dâhil olmak üzere mesleki eğitim ve öğrenim paydaşları ile dört ayrı uluslararası beyin fırtınası çalıştaylarında tartışılmış ve derecelendirilmiştir. Dört farklı çalıştay sonunda elde edilen TPG'ler konsolide edilerek sayısı 76'dan 48'e düşürülmüştür. Konsolide edilerek sayısı 76'dan 48'e düşürülen güncel TPG'ler ise her bir ülkede ayrı ayrı düzenlenen çalıştaylarda uzmanlar tarafından tekrar değerlendirilmiştir. Bu çalıştaylarda uzmanlardan her bir TPG'yi her kümedeki diğer TPG'lere göre değerlendirmeleri istenmiştir. Elde edilen veriler, çok yönlü karar verme yaklaşımı olan Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHS) kullanılarak analiz edilmiş ve karşılaştırmalı analiz sonuçları tartışılmıştır. Böylece, her bir kümedeki her TPG'yi derecelendirmek ve önceliklendirmek mümkün olmaktadır. Bu çalışmadan elde edilen çıkarımlar, ME kurumlarının operatörleri için değerli bilgiler sağlamaktadır. Araştırma yöntem biliminin aşamaları Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1 - Araştırma Yönteminin Aşamaları

3. ME İÇİN TPG'LER İLE İLGİLİ LİTERATÜR

Literatürde ME'in TPG'leri konusunda sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Lee vd. [13], SWOT analizini, kurumsal karneyi (KK) ve kalite fonksiyonu dağıtım yöntemlerini bütünleştirerek ME için bir strateji geliştirmiştir. Önce SWOT analizini kullanarak 26 adet TPG belirlenmiş ve SWOT analizinin bulguları KK'ye entegre ederken 8 adet TPG'yi çıkarmışlar, ayrıca, Malcom Baldrige Ulusal Kalite Ödülü kriterlerini performans kriterleri olarak belirlemişlerdir. Fretwell [15], ME'in değerlendirilmesinde ME sisteminin sosyal ve ekonomik amaçlarını göz önüne alarak bir yapı geliştirmiştir. ME'nin sosyal yararlarının dikkate alınmaması durumunda, değer kaybına uğrayacağını belirtmiştir. Diğer bir çalışmada ise, KK yöntemine göre 35 adet TPG tespit edilmiş ve bu TPG'ler Analitik Ağ Süreci (AAS) kullanarak değerlendirilmiştir [17]. Rowland-Jones vd. [16], ME için TPG'lerin belirlenmesinde, finansal profiller, birim harcamalar, araştırma, öğrenci nüfusu, elde edilen nitelikler, sektör için katılım oranları, son yeterlilik, ilk hedef, başvuru ve kabul hakkında mevcut istatistiklerin kullanılabilmesini önermişlerdir. Seyfried [18], ME kalitesini değerlendirmek için AB'ne ait üç politika hedefini ele almıştır: i) istihdam edilebilirlik, ii) yetkinlikler ve nitelikler için arz ve talebin birbiri ile uygun olması, iii) iş gücü piyasasına erişim.

Bu çalışmalara ek olarak, ME'de kalite göstergelerine ilişkin bazı ulusal uygulamalar bulunmaktadır. Örneğin, Danimarka Eğitim Bakanlığı Mesleki Eğitim ve Öğretim Bölümü, ME kurumları için eğitim sistemi, kaynaklar, öğrenci/öğrenci akışı ve sonuçlar olmak üzere dört geniş kategoriye ayrılmış 43 göstergeden oluşan stratejik bir plan geliştirmişlerdir [18]. ME'nin stratejik olarak yönlendirilmesinden Eğitim Bakanlığı sorumludur ve bakanlık sonuç göstergesi, öğretmen yeterlilik göstergesi ve personel geliştirme göstergesi olmak üzere üç göstergelyi dikkate alarak ME için bir performans endeksi geliştirmiştir [19].

4. ME İÇİN TPG'LERİN BELİRLENMESİ

Performans değerlendirmesi ile ilgili birçok çalışma, yalnızca bir bakış açısı, yani yanıtıcı sonuçlara neden olan finans boyutu dikkate alınarak yapılmıştır. Sadece ekonomik yararlar değil, aynı zamanda toplumsal faydalara sahip olan ME için, yalnızca finansal göstergelere dayanan bir performans değerlendirmesi kapsamlı bir kavrama sağlamamaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada, kapsamlı bir literatür taraması yapılarak ME performans değerlendirmesinin tüm yönlerini ortaya koymak için farklı göstergelere dayalı bir çerçeve oluşturulmuştur.

KK kavramı, tek bir mali göstergeye odaklanan geleneksel performans sistemlerinin yerini alması için önerilmiştir [20]. Mali perspektif hâlen KK'nin temel performans kriteridir, ancak müşteri, endüstriyel süreç ve öğrenme ve büyüme olmak üzere üç perspektif daha ele alınmaktadır. Bu model, dengeli bir performans değerlendirmesi oluşturmakta ve kuruluşların verimliliği hakkında kapsamlı bilgiler sağlamaktadır. KK yaygın olarak performansı ölçmek için kullanılmaktadır. Örneğin, Manville [21] kâr amacı gütmeyen küçük ve orta ölçekli işletmenin performansını ölçmek için KK'yi kullanırken, Shen vd. [22], Kurumsal Kaynak Planlaması (KKP) operasyonlarının performansını ölçmek için KK'yi kullanmıştır.

KK'ye dayanan çerçeveler, eğitim kurumlarının performans değerlendirmesi ile ilgili araştırmalarda yaygın olarak kullanılmıştır. Örneğin, KK, Wu ve diğerleri [17] tarafından Tayvan'daki üniversitelerdeki uzatma eğitim merkezlerinin performansının değerlendirilmesinde; Zolfani ve Ghadikolaei [23] tarafından İran'daki özel üniversitelerin değerlendirilmesinde ve Al-Hosaini ve Sofian [24] tarafından Malezya'daki yükseköğretim kurumlarının değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan çerçeve KK'ye dayanmaktadır çünkü KK, birçok kritik çalışmada başarılı olduğunu kanıtlamıştır ve ayrıca hem finansal hem de finansal olmayan yönleri kapsamaktadır.

Bu çalışmada geliştirilen çerçeve, inşaat sektöründeki ME ile ilgili belirli konuları yansıtacak göstergeleri kullanan dört perspektife dayanmaktadır. Bu göstergeler kapsamlı bir literatür taramasından sonra ve Kaplan ve Norton'un [25] puan kartı geliştirme sürecinde ortaya attığı soruların ışığında belirlenmiştir: "mali açıdan başarılı olmak için hissedarlarımıza nasıl bakmalıyız; vizyonumuzla başarılı olmak için müşterilerimize nasıl bakmalıyız; hissedarlarımızı ve müşterilerimizi tatmin etmek için hangi dâhili iş süreçlerinin üstesinden gelmek zorundayız ve vizyonumuz ile başarılı olmak için öğrenme ve büyüme kapasitemizi nasıl sürdürmeliyiz". Ayrıca bu çalışmadaki amaç, AB ülkelerindeki TPG'leri belirlemek olduğundan, ME sistemlerinin cazip, alakalı, kariyer odaklı, yenilikçi, erişilebilir ve esnek olması gerektiği göz önünde bulundurularak AB'nin mesleki eğitim ve öğretim hakkındaki küresel vizyonu ele alınmıştır.

5. VERİ TOPLAMA

Almanya, Hollanda, Litvanya ve Türkiye'de her bir ülkedeki mesleki eğitim kurumlarını temsil eden yerel organizasyonlar tarafından mesleki eğitim ve öğretim yöneticileri (VM), eğiticiler (TR), eğitim alanlar (TN), akademisyenler (A) ve profesyoneller (P) dâhil olmak üzere mesleki eğitim ve öğretim paydaşları ile dört adet çalıştay düzenlenmiştir. Her ülkedeki uzman sayısı ve dağılımı Almanya'da 3 VM, 2 TR, 2 TN, 1 A, 1 P; Hollanda'da 2 VM, 2

TR, 1 TN, 1A, 2 P; Litvanya’da 2 VM, 2 TR, 2 TN, 2 A, 1 P ve Türkiye’de 1 VM, 3 TR, 1 TN, 2 A, 2 P olacak şekildedir. ME paydaşlarının pozisyonları ve deneyim süreleri Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 1 - Uluslararası Çalıştaylardaki ME Paydaşlarının Pozisyonları ve Deneyim Süreleri

Ülke	Pozisyon (Mesleki eğitim ve öğretim yöneticileri) ve Deneyim Süreleri
Almanya	VM1: 17 yıl, VM2: 20 yıl, VM3: 15 yıl
Hollanda	VM1: 25 yıl, VM2: 18 yıl
Litvanya	VM1: 14 yıl, VM2: 16 yıl
Türkiye	VM1: 20 yıl
Ülke	Pozisyon (Eğiticiler)
Almanya	TR1: 11 yıl, TR2: 13 yıl
Hollanda	TR1: 10 yıl, TR2: 14 yıl
Litvanya	TR1: 11 yıl, TR2: 14 yıl
Türkiye	TR1: 10 yıl, TR2: 9 yıl, TR3: 11 yıl
Ülke	Pozisyon (Eğitim alanlar)
Almanya	TN1: 4 yıl, TN2: 5 yıl
Hollanda	TN1: 7 yıl
Litvanya	TN1: 3 yıl, TN2: 3 yıl
Türkiye	TN1: 4 yıl
Ülke	Pozisyon (Akademisyenler)
Almanya	A1: 25 yıl
Hollanda	A1: 18 yıl
Litvanya	A1: 15 yıl, A2: 20 yıl
Türkiye	A1: 15 yıl, A2: 15 yıl
Ülke	Pozisyon (Profesyoneller)
Almanya	Proje müdürü: 12 yıl
Hollanda	İnşaat mühendisi: 15 yıl İnşaat mühendisi: 18 yıl
Litvanya	Büyük ölçekli inşaat şirketi sahibi: 25 yıl
Türkiye	Proje müdürü: 7 yıl Büyük ölçekli inşaat şirketi sahibi: 10 yıl

Bu çalıştaylarda, literatür araştırmasında elde edilen TPG'lerin bir listesi başlangıç noktası olarak kullanılmıştır. Uzmanlar bu TPG'leri değerlendirmiş ve bazılarını ortadan kaldırmak ve yenilerini eklemek için beyin fırtınası oturumları gerçekleştirmişlerdir. Dört farklı çalıştay sonunda elde edilen TPG'ler konsolide edilerek sayısı 76'dan 48'e düşürülmüştür. Bu

makalede açıklanan çalışma, AB Erasmus + Programı tarafından finanse edilen “İnşaat Sektörünün Mesleki Eğitim Modellerinde Temel Performans Göstergeleri (TPG'ler) için AB Standardının Belirlenmesi” isimli proje kapsamında gerçekleştirilen dört farklı çalıştayda uzmanlar tarafından değerlendirilerek elde edilen 4 farklı TPG seti her ülkeden temsilcisi bulunan proje ekibi tarafından dört ülkenin de bakış açısını entegre edecek şekilde konsolide edilmiştir. Konsolide edilerek sayısı 76'dan 48'e düşürülen güncel TPG'ler ise her bir ülkede ayrı ayrı düzenlenen çalıştaylarda uzmanlar tarafından tekrar değerlendirilmiştir (Tablo 2-5). Bu değerlendirmenin temel amacı ise her göstergenin bulanık bir AHS ölçeğine dayalı olarak diğer göstergeler üzerindeki göreceli öneminin bulunmasıdır. Her bir bakış açısı için hazırlanan matrisler uzmanlar tarafından tartışılmış ve tutarsızlıklar çözülmüştür. Analizlerde toplam 16 matris kullanılmıştır.

Tablo 2 - ME Kurumları için Finansal TPG'ler

Finansal bakış açısı	Tanım	Kaynaklar
Yıllık gelir	Bir yıl içerisindeki toplam gelir miktarı	[17]
Maliyet kontrolü	Ürünlerin ve hizmetlerin direkt maliyetini azaltmak için sarf edilen çabalar	[17; 26]
Bütçe kontrolü	Bütçeyi kontrol etmek için sarf edilen çabalar	[17; 26]
Verimlilik	Girdilerin (maaş, genel giderler ve kamu hizmeti gibi toplam yatırımlar) ve çıktılarının (Eğitim alanların ücretlerini içeren toplam gelir) oranı	[17]
Yatırım stratejileri	Endüstri-akademi iş birliği ile yeni kurslar ve projeler geliştirecek stratejiler için sarf edilen çabalar	[17]
Finanse edilmeyen gelir	Finanse edilmeyen gelir ile toplam gelirin oranı	[16; 17]
Net gelir	Eğitim ve öğretim ile ilişkili olan yıllık gelir eksi yıllık maliyet	[17]
Yatırım getirisi (ROI)	İşletme karı (net gelir)/işletme anaparası (toplam anapara)	[17; 27]
Reklam maliyeti	Reklam ve promosyon masrafları	[17]

Tablo 3 - ME Kurumları için Eğitim Alanlar ile ilişkili TPG'ler

Eğitim alanların bakış açısı	Tanım	Kaynaklar
Eğitim alanların memnuniyeti	Eğitim ve öğretimdeki katılımcıların memnuniyeti	[17]
Elde tutma oranı	Elde tutma oranını artıracak ve okulu terk edenlerin sayısını minimuma indirecek çabalar	[17]

Tablo 3 - ME Kurumları için Eğitim Alanlar ile ilişkili TPG'ler (Devam)

Eğitim alanların bakış açısı	Tanım	Kaynaklar
Eğitim alanlar ile ilişki	Eğitim alanlar ile iyi ilişkiler geliştirmek için çabalar	[17]
Kaydedilme	Yeni eğitim alanların sayısını artıracak çabalar	[17]
Pazar payı	Kaydedilmenin toplam pazar talebine oranı	[17]
Öğrenme çevresi	Tesislerin ve öğretme/öğrenme için ekipmanların uygunluğu	[17; 28]
Ürün ve hizmet yelpazesi	İnşaat şirketleri tarafından talep edilen becerilerin verileceği kursların ve öğretmenlerin/eğitmenlerin ulaşılabilirliği	[17]
Hizmetin esnekliği	Kursların inşaat sektöründeki değişikliklere ve yeniliklere uyum sağlayabilmesi	[17; 28; 29]
İmaj ve itibar	İnşaat pazarındaki kuruluşun saygınlığı	[14; 17]
Eğitim alanların güveni	ME kurumundaki eğitim alanlar güveni	[17]
Ürün kalitesi	ME kurumundaki aktivitelerin kalite yönetiminin uygunluğu	[17; 30; 31]
İleriki eğitim ve öğretim için fırsatlar	Yeni kurslar ve programlar yaratacak ME kurumunun yeteneği	[28; 32]

Tablo 4 - ME Kurumları için İç Süreç ilişkili TPG'ler

İç süreç bakış açısı	Tanım	Kaynaklar
İsteğe göre uyarlanmış kurslar	İnşaat şirketlerinin taleplerine cevap vermek amacıyla geliştirilen kursların mevcut olması	[17; 28]
Eylemsel iş süreci	İş ve yönetsel uygulamalarını geliştirmek için eylemsel süreçlerin periyodik gözden geçirmelerinin mevcut olması	[14; 17; 28]
Mezuniyet sonrası hizmetler	Eski mezunlar için kariyer hizmetlerinin ve işe yönlendirme sistemlerinin elverişliliği	[17]
Standart işletme prosedürleri	Ders müfredatı ve hizmetinin düzenlenmesi için ISO sertifikasyonuna sahip olunması	[17]
Tesisler	Eğitim alanlar için yeterli tesis ve kaynağın bulunması	[17]
Temel programlar	ME'nün çekirdek programlarının elverişliliği	[17]
Yönetim verimliliği	İçsel süreçleri gözden geçirmek ve geliştirmek için uygulamaların kullanılabilirliği	[17]

Tablo 4 - ME Kurumları için İç Süreç ilişkili TPG'ler (Devam)

İç süreç bakış açısı	Tanım	Kaynaklar
Öğretme kalite değerlendirmesi	Öğretme kalite değerlendirmesi için araçların kullanılabilirliği	[17]
Öğretmen ve eğiticilerin öğretme deneyimi	Öğretmen ve eğiticilerdeki öğretme deneyiminin takdir edilmesi	[14; 28; 33]
Öğretmen ve eğiticilerin endüstri deneyimi	Öğretmen ve eğiticilerdeki endüstri deneyiminin takdir edilmesi	[14; 28; 33]
Kurs içeriklerinin ve önerilerinin güncellenme sıklığı	İnşaat endüstrisi talebine bağlı olan kurs içeriklerini ve önerilerini sıklıkla güncellemek için süreçlerin elverişliliği	[26]
Personel gelişimi için harcama	Personel gelişimi için kaynakların elverişliliği	[14; 33]
Çoklu-disiplinli kurslar	Çoklu-disiplinli kurslara ulaşılabilirlik	[14]

Tablo 5 - ME Kurumları için Öğrenme ve Gelişme ilişkili TGP'ler

Öğrenme ve gelişme bakış açısı	Tanım	Kaynaklar
Ekonomik gelişme	Eğitim alanların gelişmiş ekonomik durumu	[32]
Çalışan memnuniyeti	Fırsatlar ve eğitim programları açısından memnuniyet	[32; 34; 35]
Firmanın performansı	Gelişmiş şirket performansı	[32]
Çalışanın elde tutulması	Çalışan sayısındaki azalmanın düşük oranı	[17]
Çalışan verimliliği	Çalışanların kaynak ağırlıklı girdileri ve çıktılarının oranı	[32]
Kazançlar	Eğitim alanların artan geliri	[15]
İş gücü kalitesi	Gelişmiş iş gücü kalitesi	[32]
Suç seviyesi	İnşaatlardaki azalan suç oranı	[32]
Sosyal uyum	Farklı sosyal gruplar arasında daha iyi bir uyum	[32]
Kuşaklararası faydalar	Kuşaklar arasındaki azalan problemler	[32]
Ezilen grupların katılımı	Ezilen grupların inşaatlardaki iş gücüne katılmasının teşvik edilmesi	[32]
Çalışan hareketliliği	Yurt dışında çalışma ihtimalinin artması	[28]

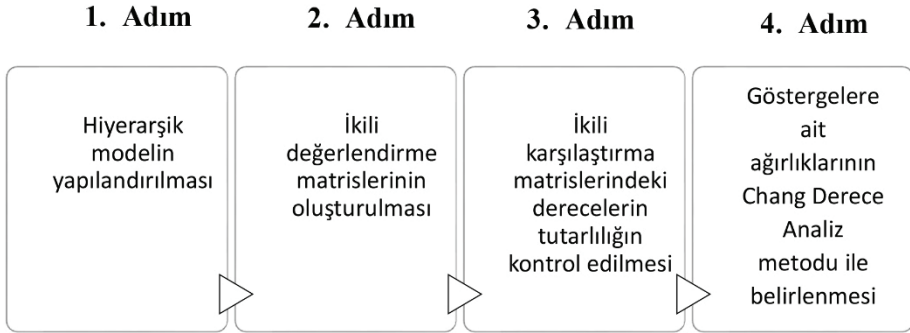
6. VERİ ANALİZLERİ

Her göstergenin bulanık bir AHS ölçeğine dayalı olarak diğer göstergeler üzerindeki göreceli önemini bulunması için gerçekleştirilen çalışmada elde edilen veriler, çok yönlü karar

verme yaklaşımı olan BAHS kullanılarak analiz edilmiştir. BAHS yöntemi, nitelikli, kesin olmayan bilgi türünü sistematik olarak ele alabilir ve geleneksel AHS'nin aksine karar vericilerin almış oldukları kararlarda mevcut bulanıklığı ve belirsizliği ortadan kaldırmaktadır [36]. Karar vericilerin genellikle, kararlarını tek bir sayısal değerler formunda ifade etmek yerine yargılarını aralıklı olarak vermekte kendilerini daha güvende hissettikleri görülmektedir ve bunun sonucunda bulanık AHS ve uzantıları alternatif seçim ve gerekleme problemlerini çözmek için geliştirilmektedir [37]. Ayrıca literatürde, BAHS'nin bu tür karar verme mekanizmalarına nispeten daha fazla açıklama getirdiğine dair kanıt sağlayan çok sayıda çalışma bulunmaktadır [38; 39; 36]. BAHS, ikili karşılaştırma süreci ile tutarlı ve tutarsız yargılardan öncelikler çıkarma konusunda daha pratik sonuçlar vermektedir [40; 41].

Bu çalışma, finansal, müşteri, endüstriyel süreç ve öğrenme ve büyüme olmak üzere dört ana bakış açısına sahip KK modelini benimsemektedir. İnşaat sektöründeki ME kurumları için belirlenen TPG'ler, her bir TPG'nin performans bakış açısının her bir kümesindeki önem düzeyini belirlemek amacıyla, bu dört performans bakış açısı altında kategorize edilmiştir. Bu çalışma bağlamında, ilişkilerin belirlenmesi yerine, sadece AHS kullanılarak çift yönlü değerlendirmelere dayanan her bir küme içerisindeki TPG'nin derecelendirilmesi ve sıralanmasının belirlenmesi amaçlanmıştır. Böylece, veriler ağ modeli (AAS) yerine AHS kullanılarak analiz edilmiştir.

BAHS dört temel aşamadan oluşmaktadır. Çalışma kapsamında uygulanan BAHS yöntemine ait aşamalar ayrıca Şekil 2'de sunulmaktadır. BAHS'nin uygulama adımlarının ayrıntılı bir açıklaması için, Chang Derece Analizi [38] incelenebilir.



Şekil 2 - BAHS Aşamaları

Çalışma kapsamında BAHS analiz için toplanan veriler, Tablo 5'de pozisyon ve deneyim süreleri belirtilen mesleki eğitim ve öğretim yöneticileri (VM), eğiticiler (TR), akademisyenler (A) ve profesyoneller (P) dâhil olmak üzere toplam 29 adet katılımcıdan elde edilmiştir. Genellikle BAHS değerlendirmelerinde katılımcı sayısı için herhangi bir asgari sayı bulunmamakla birlikte, katılımcıların sayısal nicelik temsiliyetinden ziyade deneyim ve nitelikleri önem kazanmaktadır [42], [43]. Beyin fırtınası yönteminin uygulandığı uluslararası çalışmada, katılımcılardan belirlenen göstergeler arasındaki üstünlük ve ilişkileri belirlemek üzere yapacakları yargısal değerlendirmelerde üçgen bulanık sayılar kullanarak

ikili matrislere cevap vermeleri istenmiştir. Katılımcıların bireysel kararlarının dışında bütün katılımcıların mutabık olduğu bir grup kararının nasıl oluşturulacağı hususu, karar verme sürecinde önemli bir sorunu teşkil etmektedir [44]. Bu sorunu çözmek için her bir ikili kıyaslama için ortak bir grup kararı oluşturulabileceği gibi, karar vericilerin bireysel olarak verdikleri değerlerin geometrik ortalamasının alınabileceği belirtilmektedir [44], [45]. Ancak özellikle karşılaştırma matris sayısının ve ikili kıyaslamaların fazlaştığı modellerde her bir ikili kıyaslama değeri için, karar vericilerin mutabık oldukları tutarlı ortak bir değer üstünde anlaşmaya varmak hem katılımcılar arasında fikir uyuşmazlığı yaşanma ihtimalini arttırması nedeniyle zor olacak hem de çok uzun bir süre alabilecektir [45]. Bu nedenle katılımcıların bireysel yargılarının birleştirilerek grup yargısına varılması aşamasında geometrik ortalama yöntemi çoğunlukla kullanılmaktadır [43]. Eğer karar vericilerin yargılarının kendi aralarında farklı önem öncelikleri varsa, sonuçlar karar vericilerin birikimi, deneyim vb. özelliklerine bağlı olarak karar üstündeki ağırlıkları kadar önem derecelerine yükseltir ve geometrik ortalaması alınır [45], [46], [47]. Çalışma kapsamında katılımcıların bilgi birikimi ve deneyim düzeyleri çok büyük farklılıklar göstermediği için karar vericilerin karar üstünde eş ağırlığa sahip olduğu kabul edilmiş ve ilgili grup karar değerlerinin bulunması aşamasında bireysel olarak verilen değerlerin geometrik ortalaması alınmıştır. Dolayısıyla her dört ülkeden toplamda 29 kişinin katılmış olup, inşaat sektöründeki ME'ye ait bütün paydaşları yansıtan katılımcı profili, toplanan veriler üzerinden alınan sonuçların inşaat sektörü açısından anlamlı olmasını sağlamıştır.

Tablo 6 - Üçgen Bulanık Ölçeği [49]

Dilbilimsel değişkenler olarak belirtilen tercihler	Sayısal değişkenler	Üçgen bulanık ölçeği	Üçgen bulanık karşıt ölçeği
Eşit derece önemli/öncelikli	1	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
Hafif derecede önemli/öncelikli	2	(1, 2, 3)	(1/3, 1/2, 1)
Orta derecede önemli/öncelikli	3	(2, 3, 4)	(1/4, 1/3, 1/2)
Temel olarak önemli/öncelikli	4	(3, 4, 5)	(1/5, 1/4, 1/3)
Güçlü derecede önemli/öncelikli	5	(4, 5, 6)	(1/6, 1/5, 1/4)
Oldukça güçlü derecede önemli/öncelikli	6	(5, 6, 7)	(1/7, 1/6, 1/5)
Çok güçlü derecede önemli /öncelikli	7	(6, 7, 8)	(1/8, 1/7, 1/6)
Çok, çok güçlü derecede önemli/öncelikli	8	(7, 8, 9)	(1/9, 1/8, 1/7)
Kesinlikle önemli/öncelikli	9	(9, 9, 9)	(1/9, 1/9, 1/9)

BAHS yönteminde, ilk adım olarak, problemle ilişkili hiyerarşik model yapılandırılmıştır. İkinci aşamada, bulanık yargılar ve üçgen bulanık ölçekli bileşenlerden ikili matrisler oluşturulmuştur. Bu çalışmada Tablo 6'da gösterilen üçgensel bir bulanık ölçek kullanılmıştır. Her bir dilbilimsel ölçek sırasıyla “minimum”, “yüksek ihtimalle”, ve “maksimum” şeklinde simgelenmiş (l_i, m_i, u_i) üç parametre tarafından tanımlı bir üçgensel bulanık ölçeği ile sunulmaktadır. Sonuç olarak, bulanık bir sayı $M_z = (l_z, m_z, u_z)$ şeklinde ifade edilir. Bulanık bir sayının üç parametresini belirlerken, bulanıklık derecesi (δ) belirleyici faktör olarak düşünülmüştür. Farklı araştırmacılar, çalışmalarında kullandıkları

bulanıklık derecesi hakkında farklı varsayımlarda bulunmaktadır. Bu çalışmada ise üçgensel dağılımın birinci ve üçüncü veri noktaları (l ve u), Li ve diğerlerinin [48] çalışmasından uyarlanmış olan δ değerini ± 1 alarak belirlenmiştir. Daha sonra, bulanık sayılar kullanılarak her bir gösterge için ikili karşılaştırma matrislerinin uzmanlar tarafından değerlendirilmiştir. İkili karşılaştırma matrisine bir örnek Tablo 7'de sunulmuştur.

Tablo 7 - Göstergelerin İkili Karşılaştırması

İkili karşılaştırma matrisi									
	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9
I1	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,2,3)	(2,3,4)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(3,4,5)
I2	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1/3,1/2,1)	(1,2,3)	(1/4,1/3,1/2)	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)
I3	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/3,1/2,1)	(1/3,1/2,1)	(1/3,1/2,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)
I4	(1/4,1/3,1/2)	(1/3,1/2,1)	(1,2,3)	(1,1,1)	(1/3,1/2,1)	(1/3,1/2,1)	(1/3,1/2,1)	(1/3,1/2,1)	(1,2,3)
I5	(1/3,1/2,1)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/3,1/2,1)	(1/3,1/2,1)	(1,2,3)
I6	(1/3,1/2,1)	(1/3,1/2,1)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/3,1/2,1)	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)
I7	(1,2,3)	(2,3,4)	(2,3,4)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,1,1)	(1,1,1)	(3,4,5)
I8	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,1,1)	(1,1,1)	(3,4,5)
I9	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/3,1/2,1)	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)

I1: Yıllık gelir I2: Maliyet kontrolü I3: Bütçe kontrolü I4: Verimlilik I5: Yatırım stratejileri I6: Finanse edilmeyen gelir I7: Net gelir I8: Yatırım getirisi (ROI) I9: Reklam maliyeti

BAHS'nin üçüncü basamağı olarak, AHS'de kabul edilebilir bir güvenilirlik seviyesinin elde edilmesi önemli olduğu için, ikili karşılaştırma matrislerindeki derecelerin tutarlılığı kontrol edilmiştir. Derecelendirmelerin tutarlılığı, tüm matrisler için Xu [50] tarafından belirtilen 0.1 eşiğinin altına düşen tutarlılık oranının hesaplanmasıyla değerlendirilmiştir. Dördüncü aşama olarak, Chang'ın derece analiz metodu uygulanmıştır. Chang'ın derece analizi [38] bulanık nicelikler konusunda yeni matematik kavramlarını kullanan genel bir metot sağlar. Chang'ın Derece Analizi metodu kullanılarak sırasıyla bulanık sentetik derecenin değeri (S_i); olasılık derecesi $V (M_1 \geq M_2)$; minimum olasılık derecesi (d'); normalize edilmiş ağırlık vektörü (W) ve ağırlık vektörü (W') değerleri hesaplanmaktadır. Çalışma kapsamında belirlenen göstergelerin ikili karşılaştırması için bulanık sentetik derecesinin değerlerine (S_i) yönelik örnek bir hesaplama Tablo 8'de verilmiştir. Sentetik derecelerin değerleri hesaplandıktan sonra hesaplanan olasılık dereceleri ($V (M_1 \geq M_2)$) ise Tablo 9'da verilmiştir. Bu hesaplamalar Tablo 7 ve 8'deki değerler kullanılarak yapılmıştır. Sonrasında ise, minimum olasılık derecesi bulunmuş (d') ve ilgili değerler Tablo 10'da verilmiştir. Bu tablo, Tablo 8

ile 9'daki bilgi kullanılarak ve her bir gösterge için minimum olasılık derecesi göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur. Sonrasında ise, W değerinin bulanık olmayan bir sayı durumunda olduğu normalize edilmiş ağırlık vektörleri kullanılarak hesaplanmıştır. Normalize edilmiş değerler, toplam değerlerin ağırlıklara bölünmesiyle elde edilmiştir. Göstergelerin öncelikleri veya normalize edilmiş ağırlık vektörlerinin sırası ise Chang'ın derece analizi prosedüründe belirlediği ilgili formüllerin kullanılmasıyla elde edilmiştir. Chang'ın derece analizi prosedüründe belirlediği ilgili formüllerin kullanılmasıyla örneğe ait normalize edilmiş ağırlık vektörlerinin sırası aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$W = (0.1803, 0.0890, 0.0368, 0.0848, 0.1284, 0.0935, 0.1976, 0.1762, 0.0133)^T \quad (1)$$

Tablo 8 - Göstergelerin İkili Karşılaştırması için Bulanık Derecesinin Değeri

Gösterge	Göstergelerin ikili karşılaştırması için bulanık derecesinin değeri	Minimum	Yüksek ihtimalle	Maksimum
I1	$(11.33, 17.5, 24) \times \left(\frac{1}{70.0167}, \frac{1}{103.25}, \frac{1}{144.5} \right)$	0.0784	0.1695	0.3428
I2	$(6.25, 8.83, 12.5) \times \left(\frac{1}{70.0167}, \frac{1}{103.25}, \frac{1}{144.5} \right)$	0.0433	0.0856	0.1785
I3	$(4.916, 5.83, 8.5) \times \left(\frac{1}{70.0167}, \frac{1}{103.25}, \frac{1}{144.5} \right)$	0.0340	0.0565	0.1214
I4	$(4.916, 7.83, 12.5) \times \left(\frac{1}{70.0167}, \frac{1}{103.25}, \frac{1}{144.5} \right)$	0.0340	0.0759	0.1785-
I5	$(7, 11.5, 17) \times \left(\frac{1}{70.0167}, \frac{1}{103.25}, \frac{1}{144.5} \right)$	0.0484	0.1114	0.2428
I6	$(6.33, 9, 13) \times \left(\frac{1}{70.0167}, \frac{1}{103.25}, \frac{1}{144.5} \right)$	0.0438	0.0872	0.1857
I7	$(13, 20, 27) \times \left(\frac{1}{70.0167}, \frac{1}{103.25}, \frac{1}{144.5} \right)$	0.0899	0.1937	0.3856
I8	$(11, 17, 23) \times \left(\frac{1}{70.0167}, \frac{1}{103.25}, \frac{1}{144.5} \right)$	0.0761	0.1646	0.3285
I9	$(5.27, 5.75, 7) \times \left(\frac{1}{70.0167}, \frac{1}{103.25}, \frac{1}{144.5} \right)$	0.0364	0.0557	0.0999

I1: Yıllık gelir I2: Maliyet kontrolü I3: Bütçe kontrolü I4: Verimlilik I5: Yatırım stratejileri I6: Finanse edilmeyen gelir I7: Net gelir I8: Yatırım getirisi (ROI) I9: Reklam maliyeti

Tablo 9 - Olasılık Derecesi

I1 göstergesinin olasılık derecesi	I2 göstergesinin olasılık derecesi	I3 göstergesinin olasılık derecesi	I4 göstergesinin olasılık derecesi	
$V(S1>S2) = 1$	$V(S2>S1) = 0.5439$	$V(S3>S1) = 0.2755$	$V(S4>S1) = 0.5167$	
$V(S1>S3) = 1$	$V(S2>S3) = 1$	$V(S3>S2) = 0.7289$	$V(S4>S2) = 0.9332$	
$V(S1>S4) = 1$	$V(S2>S4) = 1$	$V(S3>S4) = 0.8185$	$V(S4>S3) = 1$	
$V(S1>S5) = 1$	$V(S2>S5) = 0.8343$	$V(S3>S5) = 0.5707$	$V(S4>S5) = 0.7856$	
$V(S1>S6) = 1$	$V(S2>S6) = 0.9882$	$V(S3>S6) = 0.7166$	$V(S4>S6) = 0.9226$	
$V(S1>S7) = 0.9126$	$V(S2>S7) = 0.4502$	$V(S3>S7) = 0.1864$	$V(S4>S7) = 0.4291$	
$V(S1>S8) = 1$	$V(S2>S8) = 0.5642$	$V(S3>S8) = 0.2951$	$V(S4>S8) = 0.5356$	
$V(S1>S9) = 1$	$V(S2>S9) = 1$	$V(S3>S9) = 1$	$V(S4>S9) = 1$	
I5 göstergesinin olasılık derecesi	I6 göstergesinin olasılık derecesi	I7 göstergesinin olasılık derecesi	I8 göstergesinin olasılık derecesi	I9 göstergesinin olasılık derecesi
$V(S5>S1) = 0.7388$	$V(S6>S1) = 0.5657$	$V(S7>S1) = 1$	$V(S8>S1) = 0.9810$	$V(S9>S1) = 0.1592$
$V(S5>S2) = 1$	$V(S6>S2) = 1$	$V(S7>S2) = 1$	$V(S8>S2) = 1$	$V(S9>S2) = 0.6551$
$V(S5>S3) = 1$	$V(S6>S3) = 1$	$V(S7>S3) = 1$	$V(S8>S3) = 1$	$V(S9>S3) = 0.9879$
$V(S5>S4) = 1$	$V(S6>S4) = 1$	$V(S7>S4) = 1$	$V(S8>S4) = 1$	$V(S9>S4) = 0.7657$
$V(S5>S6) = 1$	$V(S6>S5) = 0.8500$	$V(S7>S5) = 1$	$V(S8>S5) = 1$	$V(S9>S5) = 0.4806$
$V(S5>S7) = 0.6499$	$V(S6>S7) = 0.4732$	$V(S7>S6) = 1$	$V(S8>S6) = 1$	$V(S9>S6) = 0.6407$
$V(S5>S8) = 0.7578$	$V(S6>S8) = 0.5857$	$V(S7>S8) = 1$	$V(S8>S7) = 0.8914$	$V(S9>S7) = 0.0676$
$V(S5>S9) = 1$	$V(S6>S9) = 1$	$V(S7>S9) = 1$	$V(S8>S9) = 1$	$V(S9>S8) = 0.1796$
I1: Yıllık gelir I2: Maliyet kontrolü I3: Bütçe kontrolü I4: Verimlilik I5: Yatırım stratejileri I6: Finanse edilmeyen gelir I7: Net gelir I8: Yatırım getirisi (ROI) I9: Reklam maliyeti				

Tablo 10 - Olasılık Derecesinin Minimum Değeri

Her bir gösterge için olasılık derecesinin minimum değeri
$d'(A_1) = V(S_1 \geq S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9) = \text{Min}(1,1,1,1,1,0.913,1,1) = 0.9126$
$d'(A_2) = V(S_2 \geq S_1, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9) = \text{Min}(0.544,1,1,0.834,0.988,0.45,0.56,1) = 0.4502$
$d'(A_3) = V(S_3 \geq S_1, S_2, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9) = \text{Min}(0.28,0.73,0.82,0.57,0.72,0.17,0.29,1) = 0.1864$
$d'(A_4) = V(S_4 \geq S_1, S_2, S_3, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9) = \text{Min}(0.52,0.93,1,0.79,0.92,0.43,0.54,1) = 0.4291$
$d'(A_5) = V(S_5 \geq S_1, S_2, S_3, S_4, S_6, S_7, S_8, S_9) = \text{Min}(0.74,1,1,1,1,0.65,0.76,1) = 0.6499$
$d'(A_6) = V(S_6 \geq S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_7, S_8, S_9) = \text{Min}(0.57,1,1,1,0.85,0.47,0.58,1) = 0.4732$
$d'(A_7) = V(S_7 \geq S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_8, S_9) = \text{Min}(1,1,1,1,1,1,1,1) = 1$
$d'(A_8) = V(S_8 \geq S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_9) = \text{Min}(0.98,1,1,1,1,1,0.89,1) = 0.8914$
$d'(A_9) = V(S_9 \geq S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8) = \text{Min}(0.16,0.65,0.99,0.77,0.48,0.64,0.07,0.18) = 0.0676$

Bu çalışmada, çözüm prosedürü olarak Chang'ın Derece Analizi yöntemi kullanılarak BAHS matrislerini çözmek için Microsoft Excel yardımıyla bulanık bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Matrislerin başlangıç konfigürasyonu, problemin ifadesi, giriş matrisleri, çözülmüş BAHS matrislerinin sonuçları, tutarlılık oranı ve ağırlıklı değerler (W) ile ilgili hesaplamaların hepsi Microsoft Excel çalışma alanında yapılmıştır.

7. BULGULARIN TARTIŞILMASI

BAHS analizlerin sonuçları Tablo 11-14'te her gösterge ve ülke için sunulmuştur. Bu tablolara göre, farklı göstergeler farklı ülkelerde en çok ve en az önemli göstergeler olarak bulunmuştur. Örneğin, Tablo 11'e göre, "yıllık gelir", Litvanya ve Hollanda'da en önemli gösterge olarak belirlenirken, Türkiye ve Almanya'da daha düşük bir öncelik seviyesine yerleşmiştir. Farklı ülkelerdeki göstergelerin öncelikleri, ülkeler arasındaki kültürel, yasal ve organizasyonel farklılıklardan dolayı farklılık göstermektedir. Bununla birlikte, bazı göstergeler dört ülkede de aynı önceliğe sahip olduklarından, bulguların bazıları genelleştirilebilir.

"Finansal bakış açısı" kriterindeki göstergeler için yapılan analiz sonuçları Tablo 11'de verilmiştir. Bu tabloya göre, "yıllık gelir" Türkiye ve Almanya'nın en önemli göstergesi olmamasına rağmen, bu kriter bu ülkelerde hâlen önemli bir gösterge olarak görülmektedir (öncelik sıralamasında en üstte değildir fakat üst sıralarda bulunmaktadır). Gerçekten de yıllık gelir, endüstride bir şirketin genel faaliyetini yansıtan ve şirketin kârlılığı üzerinde doğrudan etkisi olan bir göstergedir. Bu bulgu şaşırtıcı değildir çünkü yıllık gelir KK modelinin finansal boyutunun önemli bir parçasıdır [17] ve ME performansı açısından

önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenlerden ötürü, "yıllık gelir" in önemli bir gösterge olduğu ve bir ME kurumunun performansı değerlendirildiğinde bu göstergenin dikkate alınması gerektiği sonucuna varılabilir.

Tablo 11 - Finansal Bakış Açısı Kriterinin Ağırlıkları

Finansal Bakış Açısı	Almanya		Litvanya		Hollanda		Türkiye	
	Ağırlık	Derece	Ağırlık	Derece	Ağırlık	Derece	Ağırlık	Derece
F1 Yıllık gelir	0.1604	4	0.3891	1	0.4014	1	0.1803	2
F2 Maliyet kontrolü	0.1710	3	0.1077	4	0.1737	2	0.0890	6
F3 Bütçe kontrolü	0.2202	1	0.1432	2	0.0963	4	0.0368	8
F4 Verimlilik	0.0628	7	0.0437	6	0.1676	3	0.0848	7
F5 Yatırım stratejileri	0.1020	5	0.0437	6	0.0356	7	0.1284	4
F6 Finanse edilmeyen gelir	0.0278	8	0.0962	5	0.0386	5	0.0935	5
F7 Net gelir	0.1836	2	0.0437	6	0.0364	6	0.1976	1
F8 Yatırım getirisi (ROI)	0.0648	6	0.1301	3	0.0148	9	0.1762	3
F9 Reklam maliyeti	0.0074	9	0.0026	9	0.0356	7	0.0133	9

"Reklam maliyeti", tüm ülkelerde en az önemli gösterge olarak belirlenmiştir. Wu vd. [17] de çalışmalarında en az önemli gösterge olarak "reklam maliyeti"ni belirlemişlerdir. Reklamcılık, satışların artırılmasına yardımcı olmaktadır ve dolayısıyla gelir açısından önemli olabilmektedir. Öğrencilerin çeşitli eğitim programlarına başvurmaları için çeşitli reklam kanalları kullanılabilir. Bununla birlikte, özellikle "ikili" bir eğitim sistemi olmadan bir şantiyede çalışmanın mümkün olmadığı Hollanda ve Almanya'da, ME'nün ücretler ve sosyal ilerleme açısından muhtemel katkıları hakkında büyük bir farkındalık vardır. Bu nedenle, "reklam maliyetinin" ME kurumlarının performans değerlendirmesinde diğer göstergelere kıyasla daha az öncelik taşıması şaşırtıcı değildir. Ayrıca, bu bulgu eğitim sistemi yapısının bir sonucu olarak değerlendirilebilir çünkü bu ülkelerdeki ME merkezleri orta öğretim sonrası başarısız olan öğrencileri cezbetmektedir [51]. Örneğin, Türkiye'de ortaokul tamamlandığında, öğrenciler ulusal sınav sonuçlarına göre meslek liselerine atanmaktadırlar. Ayrıca, "devlet bütçesi, istihdam fonu, mesleki eğitim fonu, yerel belediye

bütçesi ve diğer kaynaklar" vasıtasıyla mesleki eğitim merkezlerinin finansmanı sağlanmakta ve bu fonlar reklama para harcamayarak elde edilmektedir. Örneğin, Hollanda'da, meslek merkezleri için fonlar Federal Çalışma Bakanlığı tarafından güvenceye alınmaktadır. Ayrıca, diğer sektörler bütçe kesintilerine maruz kalabilirken, eğitim faaliyetleriyle ilgili bütçe bu durumdan etkilenmemektedir. Dahası, eğitim bütçesi hükümet tarafından sıklıkla artırılmaktadır. Diğer bir taraftan, pastadan adil bir dilim almak, bir eğitim programının ekonomik sürdürülebilirliğini sağlamak için önemlidir. Mesleki merkezlerin bütçeyle ilgili endişeleri (yıllık gelir, net gelir, maliyet kontrolü ve bütçe kontrolü) bu kaynaklardan fon alma konusunda oldukça ciddi olabilir. Bu durum ayrıca analiz bulgularında da gözlemlenmektedir.

"Yatırım stratejileri" diğer göstergeler kadar önemli olarak tanımlanmamaktadır. Bunun nedeni, kursların içeriğinin bu ülkelerdeki devlet kurumları tarafından belirlenmesi olabilir. Örneğin, Hollanda'da belediyeler bütçeleme ve içerikten sorumludur [52]. Litvanya'da, bir devlet kurumu olan İş Gücü Piyasası Eğitim Kurumu, iş gücü eğitimini koordine etmekten sorumludur. Müfredat ve ders malzemeleri bu kurum tarafından hazırlanmaktadır. Almanya'da, müfredat endüstriyel ortakların iş birliğiyle hazırlanmaktadır [53]. Ayrıca, ME stratejileri ulusal politikalara dayanmaktadır. Örneğin, Litvanya İstihdam Bürosu, gelecekteki iş gücü talebini tahmin etmek ve "yatırım stratejileri" hazırlamak için bir anket yürütmektedir. Ayrıca, anket sonuçları yeni müfredat oluşturmak için kullanılmaktadır.

"Eğitim alanlar bakış açısı" göstergeleri için yapılan analizlerin bulguları Tablo 12'de sunulmuştur. Bu tabloya göre "eğitim alanların memnuniyeti", Türkiye, Hollanda ve Litvanya'da en önemli gösterge olarak belirlenmiş ve Almanya'da ikinci sırada yer almıştır. Wu ve diğerleri [17] de eğitim alanların memnuniyetinin önemini vurgulamıştır. ME programlarına başvuran adayların akademik performansı oldukça düşük olmakta ve başvuru yapanlar okula gitmekten hoşlanmamaktadırlar. Kabul edilen öğrencilerin ME programlarında buldukları zaman incelendiğinde yüksek bir bırakma oranı gözlemlenmektedir. Frey ve Ruppert [54]'a göre, bu oran AB ülkelerinde yüksektir. Örneğin, Almanya'da, tüm ME programlarındaki ortalama bırakma oranı %20'dir. 2011/12'de Hollanda'da bu oran %6,9'dur [55]. Litvanya'daki bırakma oranı hakkında bir veri bulunmamasına rağmen, bir AB Komisyonu [56] belgesi bu oranın çok yüksek olduğunu belirtmiştir. Türkiye'de bu oran yaklaşık %10,9 [57]. Sonuç olarak, yüksek bırakma oranları göz önüne alındığında, ME programları için performans değerlendirmesi yapılırken "eğitim alanların memnuniyeti" de değerlendirilmelidir. ME kurumları, endüstrinin ihtiyaçlarına yanıt veren programlar sağlayarak, işe yerleştirmeyi ve işte tutmayı iyileştirerek ve yaratıcı öğretim teknikleri kullanarak eğitim alanların memnuniyetini en üst düzeye çıkarabilir [58]. Ayrıca unutulmamalıdır ki, "eğitim alanlarla ilişki", "öğrenme ortamı" ve "imaj ve itibar" olmak üzere eğitim alanların memnuniyetiyle ilgili performans göstergeleri önemli performans göstergeleri olarak değerlendirilmektedir.

Tüm ülkelerde en az önemli gösterge üzerinde bir tutarlılık olduğunu söylemek zor olsa da tüm ülkelerde düşük öncelikler aldıkları için "hizmet esnekliği" ve "ürün ve hizmet yelpazesi" en az önemli göstergeler olarak düşünülebilir. Bu sonucun altında yatan sebep ise inşaat sektörünün inovasyon açısından çok muhafazakâr bir yapıya sahip olması şeklinde yorumlanabilir [59]. İnşaat endüstrisinin geleneksel yapısı, müfredatta yeni dersler ve beceriler açısından daha az talebe neden olmaktadır.

Tablo 12 - Eğitim Alanların Bakış Açısı Kriterinin Ağırlıkları

Eğitim alanların bakış açısı (Müşteri)	Almanya		Litvanya		Hollanda		Türkiye	
	Ağırlık	Derece	Ağırlık	Derece	Ağırlık	Derece	Ağırlık	Derece
TS1 Eğitim alanların memnuniyeti	0.1940	2	0.4909	1	0.2914	1	0.2338	1
TS2 Eğitim alanların sürekliliği	0.0288	9	0.0910	3	0.0689	4	0.0206	8
TS3 Eğitim alanların ilişkisi	0.1781	3	0.0483	5	0.0629	5	0.1348	4
TS4 Yeni eğitim alanların sayısının artması	0.0696	7	0.0475	6	0.1908	2	0.0624	6
TS5 Pazar payı	0.0251	10	0.0406	7	0.0098	11	0.0612	7
TS6 Öğrenme çevresi	0.0733	5	0.0475	6	0.0421	7	0.1390	3
TS7 Ürün ve hizmet yelpazesi	0.0136	11	0.0345	8	0.0429	6	0.0035	12
TS8 Hizmet sisteminin esnekliği	0.0116	12	0.0003	9	0.0377	9	0.0177	10
TS9 İmaj ve itibar	0.0882	4	0.0003	9	0.1781	3	0.1078	5
TS10 Eğitim alanların güveni	0.2080	1	0.0003	9	0.0421	7	0.1933	2
TS11 Ürün kalitesi	0.0704	6	0.1486	2	0.0311	10	0.0061	11
TS12 İleriki eğitim ve öğretim için fırsatlar	0.0392	8	0.0503	4	0.0022	12	0.0198	9

"İç süreç" bakış açısının göstergeleri Tablo 13'te verilmiştir. Bu tabloya göre, ülkeler arasında en önemli kriterler konusunda bir mutabakat bulunmamaktadır. Dört ülkede yaygın olan iç süreçler arasındaki kültürel ve örgütsel farklılıklar, farklı ülkelerdeki iç süreçler açısından ortak zemini engelleyen bir rol oynamaktadır. Ülkelerin kültürel ve iç süreç farklılıklarına ek olarak, ekonomik koşulları da ME için iç süreçlerin oluşturulmasında etkili olabilmektedir. Örneğin, Almanya, Litvanya, Hollanda ve Türkiye için, en önemli ekonomik göstergelerden birisi olan kişi başına düşen GSYİH ait 2016 verileri sırasıyla 42.326\$, 14.899\$, 45.210\$ ve 9.317\$'dir [60]. Bu durum, ekonomik kriterler açısından ülkeler arasındaki farkı göstermektedir. Türkiye'de paydaşlar "eğitmenleri ve eğitimcilerin öğretim deneyimi" ve "eğitmen ve eğitimcilerin sanayi deneyimi"nin en yüksek öneme sahip olduğunu bildirirken, Almanya ve Litvanya'daki ME paydaşları, "özel kurslar" göstergesinin diğer göstergelerle karşılaştırıldığında en yüksek öneme sahip olduğunu bildirmiştir. Hollanda'daki paydaşlar ise "ders içeriklerinin ve ders tekliflerinin güncelleme sıklığı" ve "eğitmenlerin ve eğitimcilerin

endüstri deneyiminin" diğer göstergelere kıyasla çok daha fazla önemli olduğunu bildirmiştir. Açıkçası, dört ülkede toplanan veriler arasında hangi göstergenin en çok önceliğe sahip olduğu sıralaması konusunda herhangi bir mutabakat bulunmamaktadır.

Tablo 13 - İç Süreç Kriterinin Ağırlıkları

İç süreç bakış açısı	Almanya		Litvanya		Hollanda		Türkiye	
	Ağırlık	Dere-ce	Ağırlık	Dere-ce	Ağırlık	Dere-ce	Ağırlık	Dere-ce
IP1 Özelleştirilmiş kurslar	0.1363	2	0.2687	1	0.0513	8	0.0039	15
IP2 Eylemsel iş süreci	0.0176	12	0.1287	2	0.1085	3	0.0295	10
IP3 Satış sonrası hizmet	0.0881	5	0.0766	7	0.0936	5	0.0072	14
IP4 Standart işletme prosedürleri	0.0489	10	0.0787	6	0.1007	4	0.0909	5
IP5 Karakteristiklerin okulu	0.1588	1	0.0833	4	0.0397	9	0.0887	6
IP6 Temel programların kurulması	0.0851	6	0.0875	3	0.0521	7	0.1120	4
IP7 Yönetimsel verimliliğin artması	0.0720	7	0.0359	10	0.0380	10	0.0716	7
IP8 Öğretme kalite değerlendirmesi	0.0581	9	0.0814	5	0.0253	12	0.1414	3
IP9 Öğretimde öğretmen ve eğiticilerin deneyimi	0.0882	4	0.0560	8	0.0226	13	0.1754	1
IP10 Uygulamada öğretmen ve eğiticilerin deneyimi	0.0488	11	0.0273	11	0.1523	2	0.1423	2
IP11 Kurs içeriklerinin ve programının güncellenme sıklığı	0.0612	8	0.0473	9	0.1575	1	0.0217	13
IP12 Personel gelişimine yönelik harcama	0.0079	14	0.0071	13	0.0217	15	0.0321	8
IP13 Çoklu-disiplinli kursların geliştirilmesi	0.0162	13	0.0075	12	0.0886	6	0.0285	11
IP14 Bilgi sistemi yetenekleri	0.1060	3	0.0071	13	0.0225	14	0.0310	9
IP15 Motivasyon metotları	0.0068	15	0.0069	15	0.0255	11	0.0238	12

Yukarıda belirtildiği gibi, derslerin müfredatı, Almanya'da uygulayıcılarla iş birliği yaparak hazırlanmaktadır; böylece kurslar, endüstrinin ihtiyaçlarına göre özelleştirilmektedir. Aksi takdirde ME'lerin performansı düşük kabul edilmektedir. Öte yandan, Türkiye'de ME müfredatları Milli Eğitim Bakanlığı tarafından sanayi ihtiyaçları veya tercihleri dikkate alınmadan hazırlanmaktadır. Ayrıca, bu sistem sık sık güncelleştirilmemektedir. Bu nedenle, "özel dersler" ve "ders içeriği ve ders programı güncellemeleri sıklığı", ME'lerin Türkiye'de performans değerlendirmesi için önemli göstergeler olarak değerlendirilmemektedir. Sayan ve Yavçan'ın [57] rapor ettiği gibi, "öğretmenlik kalitesi değerlendirmesi" ve "öğretmenlerin ve eğiticilerin deneyimi", öğrencilerin yetersiz eğitim geçmişleri ve kadrosu yetersiz okullar

nedeniyle Türkiye'de öncelik taşımaktadır. İlginçtir ki "özelleştirilmiş kurslar" göstergesi Hollanda ile ilgili elde edilen bulgulara göre çok düşük derecelendirilirken, "ders içeriği sıklığı ve kurs programı güncellemeleri" en önemli gösterge olarak bulunmuştur. Brockmann vd. [61] tarafından yapılan çalışmaya göre, Hollanda'nın ME sistemi talebe yöneliktir. Bu nedenle, "özelleştirilmiş kurslar" ile ilgili ilginç bulgu sonraki çalışmalarda araştırılmalıdır. Brockmann vd. [61] tarafından ulaşılan bulgular ile ters düşen bir başka ilginç bulgu, Almanya'daki ME sistemi için "bilgi sistemi yetenekleri"nin nispeten yüksek derecelendirilmesi ile ilgilidir; çünkü Brockmann ve diğerleri [61] ikili sistemin teknolojik gelişmeleri ve yenilikleri olumsuz etkilediğini tespit etmiştir. Mevcut çalışmada, bu gösterge Almanya için iç süreçlerin önemli bir değerlendirme kriteri olarak bulunmuştur. Öte yandan, dört ülkede "motive edici yöntemler" en az önemli göstergedir.

Tablo 14 - Öğrenme ve Gelişme Kriterlerinin Ağırlıkları

Öğrenme ve gelişme bakış açısı	Almanya		Litvanya		Hollanda		Türkiye	
	Ağırlık	Derece	Ağırlık	Derece	Ağırlık	Derece	Ağırlık	Derece
LG1 Ekonomik gelişim	0.0871	5	0.2777	1	0.0446	9	0.0265	11
LG2 Çalışanların memnuniyeti	0.0755	6	0.1193	4	0.1078	5	0.0509	7
LG3 Firmanın performansı	0.1492	3	0.1400	2	0.1292	2	0.0457	8
LG4 Çalışanların elde tutulması	0.0646	7	0.1313	3	0.1022	6	0.1006	4
LG5 Çalışanların verimliliği	0.1326	4	0.0681	6	0.1099	3	0.1322	3
LG6 Kazançlar	0.1884	2	0.0479	8	0.1589	1	0.0982	5
LG7 Artan iş gücü kalitesi	0.1946	1	0.0572	7	0.1079	4	0.1379	2
LG8 Suç oranında azalma	0.0194	9	0.0164	11	0.0347	10	0.2196	1
LG9 Sosyal uyum	0.0508	8	0.0093	12	0.0838	7	0.0139	12
LG10 Kuşaklararası faydalar	0.0080	12	0.0752	5	0.0766	8	0.0366	10
LG11 Ezilen grupların dâhil edilmesi	0.0131	11	0.0170	10	0.0270	11	0.0443	9
LG12 Çalışan hareketliliği ihtimali	0.0167	10	0.0405	9	0.0173	12	0.0937	6

Tablo 14'te "öğrenme ve büyüme" bakış açısı ile ilgili bulguları gösterilmiştir. "İş gücü kalitesi" her ülkede yüksek öncelik taşımıştır. ME'nün temel faydası çok eğitilmiş bir iş gücü sunmasıdır ve bu nedenle ME'den iş gücü kalitesini yükseltmeye yönelik evrensel bir kabulün

var olması şaşırtıcı değildir. Buna ek olarak, "suç seviyesi" diğer göstergelerle karşılaştırıldığında da öncelik taşımaktadır. ME ile ilgili geçmiş AB raporlarına ve nesiller arasındaki ilişkiler, sağlık durumu, sosyal uyum ve toplumsal entegrasyona göre, suç azalması AB ülkelerinin çoğunun ortak bir sosyal göstergesidir [32]. Gençlerin ME programlarına dâhil edilmesi, sigara, alkol veya uyuşturucu bağımlılığı gibi sağlıksız davranışları önlemekte ve bu durum bazı ülkelerde suç faaliyetlerinde azalmaya katkıda bulunmaktadır [32]. Türkiye'de kişi başına düşen gelir, okullaşma derecesi ve işsizlik oranı suç oranında hayati bir rol oynamaktadır [62]. Yine Türkiye'de inşaat sektöründe büyük bir vasıfsız iş gücü kullanılmaktadır. Örgün eğitim alma fırsatı bulamayan iş gücü, mesleki niteliklerinin belgelendirilmediği inşaat alanlarında eğitilmektedir [63]. İş gücü piyasasının ihtiyaçlarını ME kurumu ile ilişkilendiren iyi uygulanmış bir ME sistemi, yüksek sosyal prestijli iyi ücretli mesleklerle doğrudan bağlantılı niteliklere yol açmaktadır. Nitelik Karabulut [64], ME programlarının, istihdamı artırır ve buna bağlı olarak suç oranlarını azaltacak hayati araçlar olduğunu önermektedir.

8. SONUÇ

İnşaat sektörü çok yoğun emek istemekte ve hükümetler tarafından istihdamı arttırmak ve buna bağlı olarak makroekonomiyi iyileştirmek amacıyla teşvik edilmektedir. Nitelikli iş gücü, inşaat sektöründe verimliliği ve rekabet gücünü artırabilmektedir. ME, bireylerin bir meslekte uzmanlaşmaları için tasarlanmıştır. Bu anlamda ME, inşaat sektöründe emek üretkenliğini, ücretleri, istihdam oranını, hareketliliği, rekabet gücünü ve artan performansı olumlu etkileyebilmektedir. Bu nedenle, ME'de temel performans göstergelerinin (TPG'ler) belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. ME araştırmaları henüz yeni ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu çalışmanın amacı, ME kurumları için kavramsal performans ölçüm sistemi tasarlamak amacıyla TPG'leri belirlemektir. TPG'leri belirlemek için ilk olarak kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır; ikinci olarak, üç farklı AB ülkesi ve Türkiye'de (Almanya, Hollanda, Litvanya ve Türkiye) dört çalıştay yapılmış ve tespit edilen 48 adet TPG, KK yöntemi kullanılarak dört kümeye ayrılmıştır. Son olarak, dört ülkedeki öncelikler arasında bir mutabakat olup olmadığını görmek için ME'nün önemli TPG'lerini belirlemek amacıyla bir Bulanık AHS (BAHS) modeli kurulmuştur. BAHS analizlerinin sonuçları şunu göstermektedir:

- Dokuz finansal göstergenin dördünde "yıllık gelir" en büyük öneme sahiptir. Öte yandan, "reklam maliyeti" en az öneme sahiptir, bu durum reklam maliyetinin ME kurumlarının stratejik hedeflerinde çok az önemi olduğunu göstermektedir.
- Eğitim alanlar ile ilgili on iki gösterge içerisinde, dört ülkeden toplanan veriler arasında "eğitim alanların memnuniyeti"nin en büyük öneme sahip olduğu konusunda fikir birliğine varılmıştır.
- Dört ülkede toplanan veriler arasında, iç süreç ile ilgili on beş göstergeye göre hangisinin en önemli olduğu üzerinde fikir birliğine varılamamıştır. Dört ülkede yaygın olan iç süreçler arasındaki kültürel, ekonomik ve örgütsel farklılıklar, farklı ülkelerdeki iç süreçlerdeki ortak zemini engelleyen bir rol oynamaktadır.
- Öğrenme ve büyüme bakış açısı altında sınıflandırılan on iki göstergeden sadece iki gösterge, "iş gücü kalitesi" ve "suç oranları" için fikir birliği sağlanmıştır.

Her ülkenin uluslararası uygulamaları ve eğitim kalitesini iyileştirmeye yönelik kişisel ve toplumsal beklentileri dikkate alan eğitim ve istihdam politikalarını açık bir şekilde ifade etmesi, ulusal önceliklerinden biridir. Bu bağlamda, çoğu AB ülkesi, tüm AB ülkelerinde eğitim ve istihdam sistemlerinin kurulması ve işleyişi için "AB Yeterlilikler Çerçevesi"ne katkıda bulunabilecek kendi ulusal niteliklerini geliştirmeye başlamıştır. Kuşkusuz, ulusal yeterliliklerin çerçeveleri geliştirilirken, ülkeden ülkeye değişebilen öncelikler tanımlanmalı ve analiz edilmelidir. Bu çalışma, bu sistemleri dört farklı ülke (Almanya, Hollanda, Litvanya ve Türkiye) arasında koordine etmek için kullanılacak ME performans göstergelerini belirleyerek yeterlilik sistemlerini bütünleştirmeye katkıda bulunmaktadır. Bu çalışmada sadece üç AB ülkesi ve 1 AB aday ülkesi ele alınması çalışmanın bir sınırlılığını oluşturmaktadır ancak bu çalışma tüm AB ülkelerini kapsayan daha ayrıntılı bir çalışmaya önyak olmaktadır.

AB çapında ME sistemlerini kurmak, kaçınılmaz olarak AB'deki bireysel ülkelerin farklı gerçekleri ve ihtiyaçları ile ilgili ulusal politika hedeflerinin entegrasyonunu gerektirir, çünkü bu ülkeler yapı ve koşullar açısından oldukça heterojendir. AB ülkelerindeki ME performansını ölçebilecek ortak bir sistemin kurulması yararlı bir başlangıç noktası olabilir. Buna ek olarak, bu çalışmada tanımlanan TPG'ler ve dört ülkede belirlenen ağırlıklar, bu ülkeler yeterlilik sistemlerini düzenlediklerinde ve yeterlilik çerçevelerini geliştirdiklerinde diğer AB ülkelerine de fayda sağlayabilirler.

Üst yönetim, vasıflı iş gücü, proje ekibi motivasyonu, tüm proje katılımcılarının özverisi, yeterli iletişim ve mali bütçe gibi inşaat projelerinin başarısını yöneten birçok faktör vardır. ME, iş yerlerine özgü bilgi ve becerileri kazandırmak üzere tasarlanmıştır ve iyi eğitilmiş işçilerin mevcudiyeti ME ile birlikte artacağı için inşaat sektöründe proje başarısının önemli bir bileşeni olarak görülmektedir. Bu bağlamda, ME kurumları için TPG'lerin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu araştırma, dört KK bakış açısını kullanarak ve Almanya, Hollanda, Litvanya ve Türkiye'de ME paydaşlarının toplanan bilgilerini analiz ederek inşaat sektöründe ME kurumları için TPG'lerini tanımlamaktadır. ME TPG'lerine ilişkin sınırlı sayıda çalışma vardır ve hiçbir çalışma inşaat sektöründeki ME ile ilgili değildir. Bu anlamda bu çalışma, inşaat sektöründeki ME kurumlarının TPG'lerini belirleyerek literatürdeki bu boşluğu doldurmaktadır. Performans yönetimi literatürü, çoğunlukla maliyet, kâr ve verimlilik de dâhil olmak üzere finansal konularda yoğunlaşan çabaları vurgularken, bu çalışma ME performansında yalnızca finansal konuların değil aynı zamanda Eğitim alanlar, iç süreçler ile öğrenme ve büyüme ile ilişkili konuların da etkilerini ölçebilen kavramsal bir performans ölçüm sistemini inceler. Özetle, bu çalışmanın önemi şunları içermektedir: (1) ME kurumlarının TPG'lerinin tanımlanması ve (2) ME kurumlarının performans ölçüm sisteminin geliştirilmesi.

Buna ek olarak, araştırmanın bulgularının uzun vadede inşaat projelerinin ve inşaat şirketlerinin başarısına katkıda bulunması beklenmektedir. ME'nün inşaat sektöründeki proje başarısının önemli bir bileşeni olduğu göz önüne alındığında, etkili ME kurumlarının saha verimliliğini artırarak ve yeniden çalışmayı, proje süresini ve maliyeti azaltarak inşaat projelerinin performansını artırması beklenmektedir. Şüphesiz, inşaat sektöründe ME kurumlarının TPG'lerinin belirlenmesi ve dört KK bakış açısını kullanan kavramsal bir performans ölçüm sisteminin tasarımı muhtemelen ME'nün etkinliğini artıracak ve dolayısıyla inşaat projelerinin ve şirketlerin performansını da yükseltecektir.

Gelecekteki araştırmalar, birçok paydaşın anlayışını tek bir AB çerçevesi içerisinde konsolide edip edemeyeceğini görmek için geriye kalan AB ülkelerine yönelik olabilir. Ayrıca, ileri çalışmalar, TPG'ler arasındaki sebep/sonuç ilişkisinin daha ayrıntılı bir analizine ve standardizasyonuna odaklanabilir.

Semboller

$d' (A_i)$: Olasılık derecesinin minimum değeri

$M_z = (l_z, m_z, u_z)$: Bulanık üçgensel sayı

S_i : Bulanık sentetik derecenin değeri

$V (M_1 \geq M_2)$: Olasılık derecesi

W : Normalize edilmiş ağırlık vektörü

W' : Ağırlık vektörü

Teşekkür

Bu makalede açıklanan çalışma, AB Erasmus + Programı tarafından finanse edilmiştir: Proje Adı ve Numarası: İnşaat Sektörünün Mesleki Eğitim Modellerinde Temel Performans Göstergeleri (TPG'ler) için AB Standardının Belirlenmesi, 2014-1-TR01-KA202-012537.

Kaynaklar

- [1] Garbharran, H., Govender, J., Msani, T., Critical Success Factors Influencing Project Success in the Construction Industry. Acta Structilia, 19(2), 90-108, 2012.
- [2] Tabassi, A. A., Ramli, M., Bakar, A. H. A., Training and Development of Workforces in Construction Industry. International Journal of Academic Research, 3(4), 509-515, 2011.
- [3] Yusof, Z. M., Building Capacity in Vocational Education in Malaysian Construction Industry – Human Capital Development Strategy and Implementation Framework, 2009.
<http://www.academia.edu/11032028/BUILDING_CAPACITY_IN_VOCATIONAL_EDUCATION_IN_MALAYSIAN_CONSTRUCTION_INDUSTRY_HUMAN_CAPITAL_DEVELOPMENT_STRATEGY_AND_IMPLEMENTATION_FRAMEWORK> (02 Şubat 2017).
- [4] Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). A Skilled Workforce for Strong, Sustainable and Balanced Growth: A G20 Training Strategy, 2010. <<https://www.oecd.org/g20/summits/toronto/G20-Skills-Strategy.pdf>> (02 Şubat 2017).
- [5] European Commission (EC), New Skills for New Jobs: Action Now, Report by the Expert Group, 2010.
<http://ec.europa.eu/danmark/documents/alle_emner/beskaeftigelse/nsnj_expert_group_report_en.pdf> (02 Şubat 2017).

- [6] Bilginsoy, C., The Hazards Of Training: Attrition And Retention In Construction Industry Apprenticeship Programs.” ILR Review, 57(1), 54-67, 2003.
- [7] Tabassi, A. A., Bakar, A. A., Training, Motivation, and Performance: The Case of Human Resource Management in Construction Projects in Mashhad, Iran. International Journal of Project Management, 27(5), 471-480, 2009.
- [8] Latham, M., Constructing the Team, HMSO, London. UK, 1994.
- [9] Egan, J., Rethinking Construction: Report of the Construction Task Force, HMSO, London, 1998.
- [10] Bassioni, H. A., Price, A. D., Hassan, T. M., Performance Measurement in Construction. Journal of Management in Engineering, 20(2), 42-50, 2004.
- [11] Robinson, H. S., Anumba, C. J., Carrillo, P. M., Al-Ghassani, A. M., Business Performance Measurement Practices In Construction Engineering Organizations. Measuring Business Excellence, 9(1), 13-22, 2005.
- [12] Parmenter, D., Key Performance Indicators: Developing, Implementing, and Using Winning KPIs, John Wiley & Sons, New York, 2015.
- [13] Civil Construction, operations and maintenance general award-state 2016. (2016) http://www.qirc.qld.gov.au/qirc/resources/pdf/awards/c/civil_construction_operations_and_maintenance_general.pdf (29 Mayıs 2018).
- [14] Lee, S. F., Lo, K. K., Leung, R. F., Sai On Ko, A., Strategy Formulation Framework For Vocational Education: Integrating SWOT Analysis, Balanced Scorecard, QFD Methodology And MBNQA Education Criteria. Managerial Auditing Journal, 15(8), 407-423, 2000.
- [15] Fretwell, D., A Framework for Evaluating Vocational Education and Training (VET). European Journal of Education, 38(2), 177-190, 2003.
- [16] Rowland-Jones, R., Holifield, D., Clarke, T. Educational Performance Indicators, 2010. “<<http://www.cedc.ro/media/MSD/Papers/Volume%202%20no%201%202010/2.pdf> > (02 Şubat 2017).
- [17] Wu, H. Y., Lin, Y. K., Chang, C. H., Performance Evaluation Of Extension Education Centers In Universities Based On The Balanced Scorecard. Evaluation and Program Planning, 34(1), 37-50, 2011.
- [18] Seyfried, E., Indicators for Quality in VET: To Enhance European Cooperation, CEDEFOP Panorama series, Luxembourg, 2007.
- [19] Haven, H., Tuononen, T., Performance Indicator for Initial Vocational Education and Training in Finland, Finnish National Board of Education, Helsinki, Helsinki, 1-13. 2011.
- [20] Kaplan, R. S., Norton, D. P., The Balanced Scorecard: Measures That Drive Performance. Harvard Business Review, 70(1), 71-79, 1992.
- [21] Manville, G., Implementing a Balanced Scorecard Framework in a Not For Profit SME. International Journal of Productivity and Performance Management, 56(2), 162-169, 2007.

- [22] Shen, Y. C., Chen, P. S., Wang, C. H. A study of Enterprise Resource Planning (ERP) System Performance Measurement Using the Quantitative Balanced Scorecard Approach. *Computers in Industry*, 75, 127-139, 2016.
- [23] Zolfani, S. H., Ghadikolaei, Performance Evaluation of Private Universities Based on Balanced Scorecard: Empirical Study Based on Iran. *Journal of Business Economics and Management*, 14(4), 696-714, 2013.
- [24] Al-Hosaini, F. F., Sofian, S., A Review of Balanced Scorecard Framework in Higher Education Institution (HEIs). *International Review of Management and Marketing*, 5(1), 26-35, 2015.
- [25] Kaplan, R. S., Norton, D. P., Using the Balanced Scorecard as a Strategic Management System. *Harvard Business Review*, 74(1), 75-85, 1996.
- [26] Nielsen, S. P., Quality in Vocational Training in Denmark, Copenhagen. DEL, 1995.
- [27] Tonhäuser, C., Seeber, S., Assessing the Return on Investments in Human Resource Development. *Human Resource Management Practices*, 69-87, 2015.
- [28] Avrupa Birliği, Supporting Vocational Education and Training in Europe: The Bruges Communiqué, 2016). <http://ec.europa.eu/education/library/publications/2011/bruges_en.pdf> (02 Şubat 2017).
- [29] Hiebert, B., Raising the Profile of Career Guidance: Educational and Vocational Guidance Practitioner. *International Journal for Educational and Vocational Guidance*, 9(1), 3-14, 2009.
- [30] Plant, P., Quality in Career Guidance: Issues and Methods. *International Journal for Educational and Vocational Guidance*, 4(2-3), 141-157, 2004.
- [31] Plant, P. Quality Assurance And Evidence In Career Guidance In Europe: Counting What Is Measured Or Measuring What Counts? *International Journal for Educational and Vocational Guidance*, 12(2), 91-104, 2012.
- [32] CEDEFOP, The Benefits of Vocational Education and Training, 2016. <http://www.cedefop.europa.eu/EN/Files/5510_en.pdf> (02 Şubat 2017).
- [33] Finnish National Board of Education (FNBE), Performance Indicator for Initial Vocational Education and Training in Finland, 2011. “<http://www.oph.fi/download/132466Performance_Indicator_for_initial_vocational_education_and_training_in_Finland_2011.pdf> (02 Şubat 2017).
- [34] Ryan, C., Individual Returns to Vocational Education And Training Qualifications: Their Implications For Lifelong Learning, National Centre for Vocational Education Research, Australia, 2002.
- [35] Beicht, U., Walden, G., Herget, H., Costs and Benefits of In-Company Vocational Education and Training in Germany, Bielefeld: Bertelsmann, 2004.
- [36] Aggarwal, R., Singh, S., AHP and Extent Fuzzy AHP Approach for Prioritization of Performance Measurement Attributes. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*, 7(1), 6-11, 2013.
- [37] Erensal, Y. C., Öncan, T., Demircan, M. L., Determining Key Capabilities In Technology Management Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process: A Case Study Of Turkey. *Information Sciences*, 176(18), 2755-2770, 2006.

- [38] Chang, D. Y., Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95(3), 649-655, 1996.
- [39] Boender, C. G. E., De Graan, J. G., Lootsma, F. A., Multi-Criteria Decision Analysis With Fuzzy Pairwise Comparisons. *Fuzzy Sets and Systems*, 29(2), 133-143, 1989.
- [40] Mikhailov, L., Singh, M. G. Fuzzy Analytic Network Process and Its Application to the Development of Decision Support Systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, 33(1), 33-41, 2003.
- [41] Yasmin, F., Kumar, A., Kumar, A., Fuzzy Theory Concept Applied in Analytic Network Process. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 3(5), 832-837, 2013.
- [42] Powell, C. The Delphi Technique: Myths and Realities. *Journal of Advanced Nursing*, 41(4): 376–382,2003.
- [43] Dikmen, I., Birgonul, M.T., Ozorhon, B., Eğilmezer Sapci, N. Using Analytic Network Process To Assess Business Failure Risks Of Construction Firms. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 17(4): 369–386, 2010.
- [44] Saaty, T.L. Decision Making-The Analytic Hierarchy And Network Processes (AHP/ANP). *Journal of Systems Science And Systems Engineering*, 13(1): 1-35, 2004.
- [45] Ishizaka, A. ve Labib, A. Review Of The Main Developments in The Analytic Hierarchy Process. *Expert Systems With Applications*, 38(11): 14336-14345, 2011.
- [46] Saaty, T.L. Relative Measurement And Its Generalization in Decision Making: Why Pairwise Comparisons Are Central in Mathematics For The Measurement Of Intangible Factors - The Analytic Hierarchy/Network Process. *RACSAM (Review of the Royal Spanish Academy of Sciences, Series A, Mathematics)*, 102(2): 251–318, 2008.
- [47] Aydın, S. ve Kahraman, C. A Modified Fuzzy Analytic Hierarchy Process Based Multicriteria Decision Making Methodology For Assessing E-commerce Website Quality: A Case Study in Turkey. In *Proceedings of the World Congress on Engineering*, 2011.
- [48] Li, L., Shi, Z. H., Yin, W., Zhu, D., Ng, S. L., Cai, C. F., Lei, A. L., A Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) Approach To Eco-Environmental Vulnerability Assessment For The Danjiangkou Reservoir Area, China. *Ecological Modelling*, 220(23), 3439-3447, 2009.
- [49] Lin, C. T., Lee, C., Wu, C. S., Optimizing a Marketing Expert Decision Process for the Private Hotel. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 5613-5619, 2009.
- [50] Xu, Z., On Consistency of the Weighted Geometric Mean Complex Judgement Matrix in AHP. *European Journal of Operational Research*, 126(3), 683-687, 2000.
- [51] Laužackas, R., Danilevičius, E., Vocational Education and Training in Lithuania: Reform Processes and Tendencies. *Springer Netherlands*, 2006.
- [52] Maes, M., Adams, J. M., Bousquet, S., Mossoux, A. F., van Rens, J., and Stavrou, D. S., Vocational Education and Training in the Netherlands—Short Description, 2004. <<http://www.cedefop.europa.eu/en/publications-and-resources/publications/4142>> (15 Haziran 2017).

- [53] CEDEFOP, VET in Europe – Country Report, 2014. <https://cumulus.cedefop.europa.eu/files/vetelib/2014/2014_CR_DE.pdf> (08 Haziran 2017).
- [54] Frey, A., Ruppert, J. J., Prevention of Dropout in Vocational Training, 2009.
- [55] OECD, Education Policy Outlook-Netherland, 2014. http://www.oecd.org/edu/EDUCATION%20POLICY%20OUTLOOK_NETHERLANDS_EN%20.pdf (15 Haziran 2017).
- [56] Avrupa Komisyonu (EC)., Education And Training Monitor 2016-Lithuania, 2016. <https://ec.europa.eu/education/sites/education/files/monitor2016-lt_en.pdf> (15 Haziran 2017).
- [57] Sayan, S., Yavçan, B., Mapping of VET Educational Policies and Practices for Social Inclusion and Social Cohesion in the Western Balkans, Turkey And Israel, Ülke Raporu: Türkiye, Avrupa Eğitim Vakfı, 2013.
- [58] Johnson, J. A. Two Research Studies on Vocational Education Programs: Final Report, 2016.<<http://www.personal.psu.edu/faculty/j/5/j5j/papers/TwoVocEdResearchStudies.pdf>> (02 Şubat 2017).
- [59] Staniewski, M. W., Nowacki, R., Awruk, K., Entrepreneurship and Innovativeness of Small and Medium-Sized Construction Enterprises. International Entrepreneurship and Management Journal, 12(3), 861-877, 2016.
- [60] Knoema. World GDP per Capita Ranking 2016/Data and Charts/Forecast, 2016. <<https://knoema.com/sijweyg/world-gdp-per-capita-ranking-2016-data-and-charts-forecast>> (15 Haziran 2017).
- [61] Brockmann, M., Clarke, L., Winch, C., Knowledge, Skills, Competence: European Divergences in Vocational Education and Training (VET)—The English, German And Dutch Cases. Oxford Review of Education, 34(5), 547-567, 2008.
- [62] Cömertler, N., Muhsin, K. A. R., Türkiye'de Suç Oranının Sosyo-Ekonomik Belirleyicileri: Yatay Kesit Analizi. Ankara Üniversitesi SBF Dergisi, 62(2), 37-57, 2007.
- [63] INTES, Turkish Qualification Framework - Vocational Qualifications for Turkish Construction Sector, 2012. <<http://intes.org.tr/content/intesmym.pdf>> (02 Şubat 2017).
- [64] Karabulut, A. Türkiye'deki İşsizliği Önlemede Aktif İstihdam Politikalarının Rolü ve Etkinliği, Uzmanlık Tezi, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı Türkiye İş Kurumu Genel Müdürlüğü, 2007.

İstanbul'da Yol Kenarı Parklarda Kullanıcı Alışkanlıklarının İncelenmesi

Abdullah DEMİR¹

ÖZ

İstanbul, yaklaşık 15 milyonluk nüfusu, 2,669 milyonu otomobil olmak üzere 3,875 milyonluk araç parkı ve kontrollü/kontROLSÜZ park etmenin %70'i aşan oranda yol kenarlarında olduğu mega bir şehirdir. Bu çalışmada İstanbul'daki yol kenarı otopark kullanıcı davranışlarındaki değişimler, yaklaşık 8 yıllık otopark verilerinden yararlanılarak; saat, gün, ay, mevsim ve yıllara göre analiz edilmiştir. Ayrıca ücret artışının ve kısa süreli ücretsiz park uygulamalarının etkileri de incelenmiştir. Çalışma neticesinde; günde %20'lik park girişinin saat 09.00 ile 11.00 arasında, en fazla işlemin haftanın orta günü olan Çarşamba'da, en az işlem ve en uzun ortalama park etme süresinin de Pazar gününde meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca yıllar geçtikçe araçların otoparkta kalma sürelerinin artış göstererek 2 saate yaklaştığı ve Avrupa yakasında saat 14.00-15.00 arasında doluluk oranının %86'ya eriştiği de saptanmıştır. Bir diğer önemli incelemede yol kenarı otoparklarda uygulanan 0-15 dakika ücretsiz park seçeneğinin geçici bir süre kaldırılmasıyla; devinimlerde belirgin düşme, tahsilat oranında, her bir işlem başına düşen gelirden, ortalama park etme sürelerinde ise artış olduğu ve 15 dakika ücretsiz park etme hakkının tekrar uygulanmasıyla birlikte tahakkuk-tahsilat oranında belirgin artış olduğu ve bu durumun kullanıcı ödeme alışkanlığını pozitif yönde etkilediği de saptanmıştır. Bunlardan başka mevsim bazlı ortalama park süresi zaman serisiyle incelenmiş ve ulaşım ana planında verilmiş olan otopark ücretlendirme modeli Stata 14 yazılım programı kullanılarak regresyon analiziyle incelenmiş ve tutarsızlığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Park etme davranışı, yol kenarı otopark, park süresi ve fiyatı, 0-15 dakika ücretsiz park seçeneği.

ABSTRACT

Investigation of User's Behaviors in Paid On-street Parking in İstanbul

Istanbul is a megacity with a population of approximately 15 million, motor vehicles of 3.875 million including 2.669 million passenger cars, and on-street parking exceeding 70 percent

1

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 15.12.2017 günü ulaşmıştır. 04.07.2018 günü yayımlanmak üzere kabul edilmiştir.
- 31 Temmuz 2019 gününe kadar tartışmaya açıktır.

• <https://dx.doi.org/10.18400/tekderg.366692>

1 Marmara Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul - ademir@marmara.edu.tr
<https://orcid.org/0000-0003-4042-7626>

of charged- or free-on-street parking, or illegal parking. In this study, changes in on-street parking users' behavior in Istanbul were analyzed as hours, days, months, seasons and years with taking advantage of the car parking data for about last 8 years. Effects of fee increases and short-term free parking practices were also examined. As a result of the study; It was found that 20 percent of the day parking entry was between 09.00 and 11.00, the maximum transactions occurred on Wednesday the middle day of the week, both the minimum transactions and the longest average parking time took place on Sunday. In addition, the average parking duration of the vehicles in on-street parking was increased year after year, furthermore the occupancy (parking index) in European side was reached 86 percent between 14.00 and 15.00, and the average parking time was about 2 hours. In another important investigation, in that 0-15 minute free parking option applied on on-street parking was temporarily removed; there were a marked decrease in parking turnovers, and increase in a rate of collection, income per transaction and the average parking time. However, when the 0-15 minute-free parking option was reapplied, a significant increase in assessment and collection rate was observed and positive effects on payment behaviors of parking users were determined.

Keywords: Parking behavior, on-street parking, parking time and fee, 0-15 minute-free parking.

1. GİRİŞ

Kentiçi ulaştırma sisteminde ortaya çıkan park etme gereksiniminin, planlı ve sistematik bir şekilde yönetilmesi; bir taraftan trafik tıkanıklıklarında gözle görülür iyileşmeler sağlarken, diğer taraftan ulaşım planlamalarının etkili araçlarından birini oluşturmaktadır [1]. Otoparklar; ücretlendirme, kısıtlama ve sıkı kontroller ile trafik talep yönetiminin bir aracı olarak değerlendirilmektedir. Kendi tarihselliği içinde gelişen, değişen ve çeşitlenen otopark arz politikaları temelde geleneksel, piyasa odaklı ve talep yönetimi (otopark yönetimi yaklaşımı) olmak üzere üç farklı yaklaşımla yürütülmektedir [2-6]. Geleneksel yaklaşım; otopark talebini kontrol eden veya yöneten uygulamaları değil otopark talebini karşılamaya yönelik sunumu ölçen uygulamaları içermektedir [2-3]. Bu yaklaşım, otomobil odaklı olup, park yeri ihtiyacının araç sayısı arttıkça arttırılmasına ve her fonksiyonun birbirinden bağımsız olarak otopark temin etmesine dayanmaktadır. Gelişmekte olan ülke kentlerinde gözlemlenen bu yaklaşımda otopark sorunu arz sorunu olarak görülmekte olup “talebi tahmin et ve gerekli arzı üret” şeklinde bir yaklaşımla yürütülmektedir. Piyasa-odaklı yaklaşımda ne kadar park alanı sunulacağı arz-talep etkileşimi içinde belirlenmektedir. Bu yaklaşım, araçların gece parklarında özellikle yol-kenarı park talebinin arzı geçtiği alanlarda özel amaçlı park alanları olarak ortaya çıkmaktadır. Otopark talep yönetimi ise Kuzey Amerika ve Avrupa’da uygulanan bir yaklaşım olup, diğer ulaşım türleri ile entegre bir otopark politikası oluşturulması esasına dayanmaktadır. Toplu taşımanın etkin kullanımına yönelik olarak, merkezî alanlara özel araçlı yolculukları azaltacak park et devam et (P + R) otoparklarının yapılmasını teşvik eden ve otopark talebini ücret, süre ve kısıtlamalara dayalı bir şekilde yöneten bir yaklaşımdır [2-5]. Otopark talebini karşılamak amacıyla sadece otopark kapasitesini arttırmak araç sahipliğini ve kullanımını teşvik ederken, diğer ulaşım türlerini/seçeneklerini zayıflatma potansiyeline sahiptir [7]. Bu yaklaşımı diğer yaklaşımlardan farklı kılan temel husus, sadece doğrudan maliyetlere değil, dolaylı maliyetlere de odaklanarak otopark talebinin kontrol edilmesi ve yönetilmesidir [8-10].

Otopark yönetimi temelde otopark arzının verimli kullanılmasını sağlayacak politika ve programları içerir [5]. İstanbul için ikili otopark politikasına ihtiyaç vardır. Bir taraftan otopark sunumu yapılırken, diğer taraftan da mevcut otoparkların yönetimi ve piyasa koşullarında değerlendirilmesi gerekmektedir. Bunun için de sokakların ciddi anlamda kontrol edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada İstanbul'daki yol kenarı otoparklardaki uygulamaların kullanıcı davranışlarında oluşturduğu değişimler, yaklaşık 8,5 yıllık otopark verilerinden yararlanarak; saat, gün, ay, mevsim ve yıllara göre analiz edilmiştir. Bu amaçla mevcut çalışma, beş bölümde tasarlanmıştır. Birinci bölümün devamında konu ile ilgili literatür özeti verilmiştir. İkinci bölümde; nüfus, demografi ve araç sahipliği, otopark algısı, talebi ve ücretlendirme, otopark arzı ve yol kenarı otopark işletmeciliği gibi İstanbul'a ilişkin bazı ulaşım ve otopark göstergelerine değinilmiştir. Üçüncü bölümde; analizde incelenen ana konular, parametreler ve bu parametrelerle ilgili açıklamalar ile giriş ve günlük otopark ücretleri, kapasite, çalışan personel sayısı gibi analize konu olan otoparkların temel özelliklerine yer verilmiştir. Dördüncü bölümde hem İBB Ulaşım Ana Planı (2011) hem de İBB Otopark Ana Planı (2016)'nda yer almayan kullanıcı davranışlarındaki değişimler veri tabanında kayıtlı verilerden yararlanılarak hem saat, gün, ay, mevsim ve yıllara göre hem de ücret artışının ve kısa süreli ücretsiz park uygulamalarının etkileri ile doluluk oranlarındaki değişim incelenmiş, grafikleri oluşturulmuş ve analiz edilmiştir. Ayrıca mevsim bazlı ortalama park süresi zaman serisiyle incelenmiştir. Bir diğer konuda yol kenarı ve yol dışı otoparklarda uygulanmakta olan ücretlendirme yaklaşımı ve ücretlendirmenin temel bileşenleri verilmiştir. Aynı kısımda ulaşım ana planında verilmiş olan otopark ücretlendirme modeli Stata 14 yazılım programı kullanılarak regresyon analiziyle incelenmiş ve tutarsızlığı tespit edilmiştir. Son bölümde ise çalışmadan çıkarılacak sonuçlara ve geliştirilebilecek yol kenarı park politikalarına yönelik önerilere değinilmiştir.

1.1. Literatür Özeti

Bu kısımda; düzenlenmiş otoparklar ve yönetilmesi, yol kenarı otopark ücretlendirmelerine örnekler, ücret ve süre politikalarının etkileri, doluluk oranı, performans dayalı (hassas) ücretlendirme, otopark ücretlerindeki artışın etkisi, İstanbul'daki yol kenarı otopark işletmeciliği ve çok işlevli el terminallerinin kullanılması, ücretsiz otopark sunumu ile trafiğin akışını bozacak parklanmalar başlıklarında kısa bir literatür özeti verilmiştir.

Düzenlenmiş otoparklar ve yönetilmesi: Düzenlenmiş otoparklar; ekonomik, sosyal, ekolojik, mobilite ve şehir yönetimi (imar ve tesis) açısından ciddi faydalar sağlayarak otopark sorunlarının giderilmesinde en iyi çözüm araçlarından biridir [11]. Fatih ilçesi Oğuzhan Caddesi araştırma alanında yapılan ölçüm ve analizler sonucu elde edilen veriler doğrultusunda, uygulanan ideal park etme stratejisiyle araç geçiş yoğunluğunda %4,94 ve trafik akış hızında %7,92 artış görülmüştür. Uygulanan ideal park etme stratejisi sonrası trafik yoğunluğunda azalmanın etkisiyle referans alınan egzoz emisyon sonuçlarına göre egzoz emisyon kirleticilerinde %6,20 oranında da azalma gerçekleşmiştir [12].

Yol kenarı otopark ücretlendirmelerine örnekler: Chicago'da yol kenarı iki saatlik park ücreti 13 \$ iken, San Francisco'da ve New York City'de ise 12 \$'dır [13]. Amsterdam'da ise 2015 yılı verileri baz alındığında otopark ücretleri saatlik 5 € ve günlük 40 € düzeyindedir [14]. Ayrıca ortalama saatlik ücretler, Paris'de 4 €, Londra'da 8 € ve Barselona 3,7 €'dur.

Aynı şehirlerdeki günlük ücretler sırasıyla 36 €, 48 € ve 25 €'dur. Avrupa'da 32 şehirdeki ortalama saatlik ücret ise 3 €'dur [15].

Yol kenarı otoparklarda ücret ve süre politikasının etkileri: Otopark talebini yönetmek üzere atılan ilk adımlar “**ücret**” ve “**süre**” politikaları olmuştur [9]. Ücretlendirme stratejileri, genellikle tekil hedeflerden çok, bir hedef kombinasyonuna ulaşmak amacıyla kullanılmaktadır. Mevcut durumda pek çok otopark yeri, yetersiz fiyatlandırıldığından, tüketicilerin ödedikleri ücretler, otopark kullanımının gerçek maliyetini yansıtmamaktadır [16]. Hollanda'da park ekonomisi üzerine yapılan bir çalışmada yol kenarına park etme fırsatı ile park zamanı arasındaki ilişki incelenmiş ve 90 dakikalık bir parklanmada park etme fırsatının %25'in altına düşeceği belirtilmiştir [17]. Yapılan bir başka çalışmada otopark ücretlendirme ve süre sınırlandırmasıyla yol kenarında %26 düzeyinde bir talep azalımı olabileceği belirtilmiştir [18]. İstanbul'da otopark ücretlerinin belirlenmesinde belirli bir sistematik yaklaşım yoktur. Her işletme kendi ücret tarifesini kendi tayin etmektedir. Bazı yol kenarı otoparklar; yol dışı, açık ve kapalı otoparklardan daha ucuz olabilmektedir.

Hâlbuki yol kenarı otoparkları, yol dışı otoparklardan daha pahalı tutmakla sürücülerin yol dışı otoparkları tercih etmesi teşvik edilebilir [19-20]. Böylece park yeri arama süresinin dolayısıyla sıkışıklığın, trafik odaklı emisyonların ve intikal sürelerinin azaltılması sağlanmış olur [20].

Otoparkların tam fiyatlandırması, katlı otoparklarla yol kenarı ve yol dışı otoparkları eşit maliyetli yapan seyir düzeyi arasındaki etkileşimdir. Çok az sayıda çalışma, katlı otopark kullanıcılarının davranışlarını ve yol kenarı ile yol dışı otopark düzenleme araçları arasındaki etkileşimleri (yani ücretler, zaman sınırlamaları, park izinleri, park alan tipleri ve bunların mekansal dağılımı veya denetim düzeyi gibi) analiz etmiştir [21].

Otopark talebiyle ilgili yapılan ampirik çalışmalar büyük ölçüde, yol kenarı otopark düzenlemelerinin taşıtın seyahat seçenekleri üzerindeki etkilerine tercih anketleri kullanarak odaklanmışlardır [22]. Yol kenarı park talebi; gelirle azalmakta [23-24], kalma süresiyle [25-26], seyahat amacına bağlı olarak [27-28] ve alternatif ulaştırma modlarının düzeyiyle artmaktadır [29-30]. Ek olarak, talep segmentlerinin heterojen ve nonliner olması beklenmektedir [27,31]. Yapılan bir başka çalışmada bir meta analiz regresyonuna dayanarak, ABD için biraz daha düşük (-0,30) ve ABD dışı çalışmalar için çok daha yüksek (-0,86) olan park ücretine göre -0,39'luk ortalama talep esnekliği tespit edilmiştir [22]. Farklı çalışmalarda yol kenarı ve katlı otopark talebinin, otopark ücreti ile negatif ilişkili olduğu tespit edilmiştir [26,32]. Ancak katlı otopark talep esnekliği; 60 ve 20 dakikalık park süreleri için sırasıyla -2,2 ile -1,5 aralığında hesaplanmıştır [26].

Ampirik literatür, yaygın şekilde yol kenarı otoparklara odaklanma eğilimindedir ve genellikle katlı otoparkları basit bir dış seçenek olarak kabul etmektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda yol kenarı park düzenleme araçlarının, kat otopark talebi ve özel işletmelerin fiyat belirleme davranışlarına olan etkileri dikkate alınmamıştır. Yürütülen çalışmada otopark talebi üzerine (hem zaman hem de aboneler için), kat otoparkı ücretinin ve yol kenarı otopark düzenleme özelliklerinin (ücret ve özel alanların türü gibi) etkisi analiz edilmiştir [33].

Otopark doluluk oranı: Kamuya ait yol kenarı parkların kullanım oranları için temel opsiyonlar; zaman sınırı, imtiyazlı ya da rezerve erişimler (izinler) ve ücretlendirme olarak sayılabilir [34]. Otopark ücretlendirme opsiyonu; arz ile talebi dengelemek, yol kenarı ve yol

dışı otoparklar arasındaki talebi, talep dağılımını, park etme süresinin uzunluğunu ve kullanıcı değişikliğini/alışkanlıklarını ve gelir seviyesini etkilemek için kullanılabilir. Ayrıca doluluk oranları, ücretleri ve sınırlı otopark kapasitesi gibi hususlar sürücü davranışlarında; alternatif park yeri bulma, seyahate başka bir zamanda başlama, farklı bir ulaşım modu seçme, varış yerini değiştirme ve seyahatin tamamından kaçınma olarak beş farklı etki oluşturabilmektedir [35]. Konunun uzmanları tarafından, otopark alanlarının %15'inin boş olmasının sürücülerin park yeri bulmak için harcadıkları zamanı en aza indirmeleri açısından en uygun oran olduğu belirtilmektedir. Bunun yönetilmesi için ücretlendirme yeniden gözden geçirilmelidir [35-38]. Literatürde %85-90 doluluk oranı gözetilerek yapılan ücretlendirme, performansla dayalı ya da hassas ücretlendirme olarak tanımlanmaktadır [36-37]. Son zamanlarda bazı şehirlerde doluluk oranına bağlı olarak dinamik ücretlendirme yöntemi benimsenmektedir. Örneğin San Francisco'da saatlik ücret minimum 0,5 ve maksimum 8 \$ düzeyindedir. Saatlik ücretlerin doluluk oranındaki değişime bağlı olarak uygulanabileceğine dikkat çekilmiştir. Doluluk oranı %80 ve üzeri olduğunda, saatlik ücret 0,25 \$ artırılır, doluluk oranı %60 ve üzerindeyse ancak yüzde 80'in altındaysa, saatlik ücret değiştirilmez ve doluluk oranı %60'ın altındaysa, saatlik ücret 0,25 \$ düşürülür [39].

Otopark ücretlerindeki artışın etkisi: Otopark ücretlerini arttırmak, yol ağında etkinlik artışı sağlayarak park cirosunda meydana gelen artışın ötesinde bir refah kazancı sağlayabilecek potansiyele sahiptir. Şayet park fiyatlarını arttırmak politik olarak riskli ise ve özel otoparkların sağlanması maliyet bakımından mümkün olamıyorsa, ikinci en iyi politika seçeneği yol kenarı park yeri kapasitesini yol kenarı park yeri aramayı yok edene kadar arttırmaktadır [40]. Otoparkların stratejik yönetiminde ücretlendirme parametresi kullanılarak, parklanma %10 ile %30 arasında azaltılabilir [9]. Otopark ücretlerindeki %10'luk artışın; 2 saate kadar park eden sürücülerin park talebinde %1; 2 ile 4 saat arasında park eden sürücülerde ise %3'lük bir düşmeye, ayrıca Birleşik Devletlerde otopark ücretlerindeki %10'luk artışın ise araç seyahatlerinde %1 ile 3 arasında bir azalmaya neden olacağı belirtilmiştir [41]. San Francisco'da doluluk oranına bağlı uygulanan dinamik ücretlendirme örneğinden hareketle çeşitli araştırmacılar, park ücretlerinde %10'luk artışın, talebi %3 ile 10 arasında azaltabileceğini tespit etmişlerdir [42].

Şehirlerdeki otopark problemi, arama trafiği ve etkileri: Şehirlerdeki otopark sorunu; trafik tıkanıklığı, trafik kazaları ve çevre kirliliği gibi sorunlarla doğrudan ilişkilidir [44]. Araçların ortalamada %30'u park yeri aramak için dolaşmakta ve bu iş için ortalama 8,1 dakika harcamaktadırlar. Park yeri aramakla geçen bu zaman ciddi bir refah kaybına neden olmaktadır [36, 44]. Otopark arama trafiğinin ortalama 3,5 ile 13,9 dakika arasında değişebildiği belirtilmiştir [45]. Trafik yoğunluğunun %14'ünü otopark yeri arayan araçların oluşturduğu tahmin edilmektedir. Ayrıca bu durumun tıkanıklığa bağlı zaman kaybında ise %50'lik bir artış meydana getirdiği belirtilmektedir [46]. İstanbul'da 537 sürücüyle yapılan bir ankette sürücülere otopark yeri ararken harcadıkları zaman sorulmuştur. Katılımcıların %51,2'si günde 0-5 dakika, %28,7'si günde 6-10 dakika, %11,9'u ise günde 11-15 dakika park yeri aradıklarını ifade etmiştir [47]. Birleşik Devletlerde yapılan araştırmalarda ticari merkezlerdeki trafik sıkışıklıklarının %8-74 arasında yol kenarında park alanı bulmaya çalışan araçlardan kaynaklandığı belirtilmektedir [48]. INRIX tarafından 6.000 Amerikalı ve 12.000'de Büyük Britanya ve Almanyalı sürücü üzerinde yapılan araştırmalarda; Amerikalıların yılda park yeri aramadaki zaman kaybı, yakıt tüketimi ve emisyon yükünün oluşturmuş olduğu maliyet 73 milyar \$ olarak tespit edilmiştir. Bu değer ülke genelinde kişi başına yılda ortalama 345 \$'a, Chicago'da ikamet edenler için ise 1.174 \$'a tekabül

etmektedir. Yine aynı raporda park probleminin bölgesel ekonomiye etkisi olmaktadır. Araştırmaya katılan Amerikalı sürücülerin %63'ü varılan yerdeki park yeri bulma güçlüklerinden dolayı ve yine %39'u benzer gerekçelerden dolayı alışveriş merkezlerine gitmekten kaçındıklarını belirtmişlerdir [13].

İstanbul'da yol kenarı otopark işletmeciliği: 2008 yılından bugüne kadar yol kenarı otoparklardaki ödeme ve kontrol, personele dayalı bir sistemle el terminalleri üzerinden yürütülmektedir. Çok işlevli el terminalleri, park etme beyanının hem elektronik hem de görevli esasına göre yapılabileceği bir yazılımla kullanılmaktadır. Taşıt, park yerine girdikten sonra görevli tarafından ilgili peron numarasına göre sisteme manuel (elle) aracın plakası yazılır ve taşıt sürücüsünün kalmayı düşündüğü süre öğrenilerek ilgili seçeneklerle sisteme giriş yapılır [49-52].

Ücretsiz ve kontrolsüz otopark sunumu: Yol kenarı park yerleri gereğinden ucuz sağlanıyor olsa da olmasa da yüksek talep yoğunluklarında yol kenarı park yeri sağlamak optimal değildir. Bunun yerine yolu trafik akışı için kullanmak daha optimal olacaktır [40]. Parklanma konusunda yazılmış ve belki de toplum nezdinde en büyük etkiyi oluşturmuş eserlerden biri Shoup'un (2005) *The High Cost of Free Parking* isimli eseridir. Yazar bu eserde özetle kentlerde park alanları için doğru miktarda yer ayırmamanın ve park yerlerini doğru fiyatlandırmamanın toplum refahını nasıl olumsuz etkilediğini ve bu bağlamda "ücretsiz otopark" diye bir şeyin olmadığını belirtmektedir [36]. Park yerleri iktisadi anlamda bir ara üründür ve bu ürün gereği gibi "fiyatlandırılmıyorsa" muhakkak ki bir "kapasite" problemi ortaya çıkacaktır. Bu kapasite problemi, kent merkezlerinde park yerlerine ayrılacak arazi miktarı kısıtlı olduğu için ancak *uzun vadede* çözülebilecek bir problemdir. Kaldı ki bütün kentte her bir araç için iki park yeri temin edilse dahi park yeri sıkıntısı yaşandığı durumlar mutlaka olacaktır [53].

İkinci sıra ve yolun sol kısmındaki usulsüz parklar trafik akışını olumsuz etkilemektedir. Literatürde belirtildiği üzere ikinci sıra parkların önlenmesiyle, gecikmelerde %33'e ve durma zamanlarında %47'ye kadar azalma sağlanabilirken, ortalama trafik akış hızlarında %44'e kadar bir artışta elde edilebilmektedir [54]. Otopark yetersizliğine bağlı olarak ortaya çıkan ve varlığı ile otopark yetersizliğini arttıran sorunlardan biri de ücretsiz otopark yerlerinin işgal veya gasp edilmesidir. Yani kişilerin kendi mesken veya iş yerlerinin önündeki yol kenarı parkları sahiplenerek başka kullanıcılara izin vermemesidir. Bu durum İstanbul genelinde son derece yaygın olarak gözlemlenmektedir. Park yeri gaspı hem kamusal kaynakların adaletsiz kullanımına neden olmakta hem de otopark kullanıcıları arasında tartışmalara/sorunlara sebebiyet vererek, kamusal düzenin bozulmasına neden olabilmektedir. Araç geçiş yollarına ve yaya güzergahları üzerine hatalı park edilen araçlar hem ilgili bölgedeki araç trafiğini olumsuz etkilemekte hem de yaya konforunu ve güvenliğini tehdit etmektedir. Hatalı park edilen araçlar acil durumlarda ulaşımı sekteye uğrattığından, can ve mal kaybı açısından risk oluşturmakta ayrıca görüntü kirliliğine neden olarak kentsel estetiği de bozmaktadır [19].

2. İSTANBUL'A İLİŞKİN BAZI ULAŞIM VE OTOPARK GÖSTERGELERİ

İstanbul birçok dünya metropolü ile benzer bir otopark gelişimi yaşamıştır. Tarihsel olarak otomobil sahipliğinin az ve sokakların park etmeye elverişli olduğu dönemlerde otopark önemli bir sorun olmamıştır. Ancak otomobil sahipliğinin arttığı, sokak ve caddelerin park

etmek için yetersiz kaldığı ve son yıllarda yol dışında bölge otoparkı yatırımlarının yapılmasıyla bu sorunun giderileceği şeklinde geleneksel bir yaklaşımla yönetilmektedir. Mevcut durumda yürütülen bu yaklaşımla da otopark talebinin park yeri temin etme ile karşılanamayacağı açıktır [5]. İldeki nüfus, kayıtlı motorlu araç sayısı ile İSPARK AŞ'nin işlettiği otopark kapasite ve işlem sayıları Tablo 1'de gösterilmiştir. Tablodan; ildeki araç sayısının hızla arttığı ve nüfus artış hızının yavaşladığı görülmektedir.

Tablo 1 - İstanbul nüfusu, araç sayısı ve İBB'nin otopark kapasite ve işlem sayısı [55-58]

Yıl	Otopark İşlem Sayısı		İBB Otopark Kapasitesi		Araç		İstanbul Nüfusu	
	Sayı	Artış oranı, %	Sayı	Artış oranı, %	Sayı	Artış oranı, %	Sayı	Artış oranı, %
2013	26.016.588	-	61.221	5,0	3.230.908	5,0	14.160.467	2,2
2014	31.926.280	23	77.984	27,4	3.383.812	4,7	14.377.018	1,5
2015	35.368.829	11	80.913	3,8	3.651.166	7,9	14.657.434	2,0
2016*	37.249.869	5	84.334	4,2	3.875.145	6,1	14.804.116	1,0
2017**	18.957.678	-	83.583	-	-	-	-	-

Not: * 15 Temmuz -12 Ağustos 2016 tarihleri arasında yol kenarı otoparkları çalıştırılmadığından, toplam 1.080.000 işlem kaybı olmuştur. ** 2017 yılı verileri ilk 6 ayı kapsamaktadır.

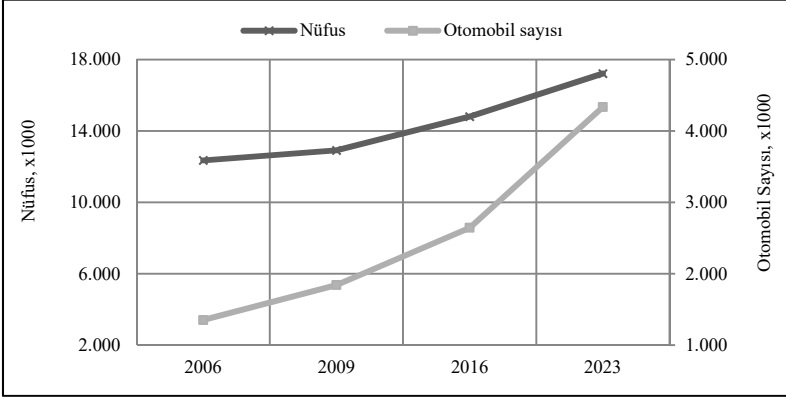
2.1. Nüfus, Demografi ve Araç Sahipliği

İstanbul'un demografik yapısı oldukça dinamik ve değişkendir. Nüfus ve nüfus yoğunluğu hem iç hem de dış dinamiklerle sürekli artmakta, ortalama hanehalkı büyüklüğü ise düşmektedir. Merkezi ilçelerde nüfus azalmakta, buna karşın dış çeperlerde yer alan toplu konut ve site türü yerleşim alanlarında ise nüfus artış eğilimi devam etmektedir [59].

Araç ya da otomobil sahipliği, bütün ülkeler için kullanılan genel bir birimdir. İlde yaşayan her 1000 kişinin kaçının araç ve kaçının otomobil sahibi olduğunun anlaşılmasını sağlar¹. İstanbul'da 2016 yılı sonu itibarı ile araç sahipliği 260 Araç/1.000 Kişi ve otomobil sahipliği ise 178 Otomobil/1.000 Kişi olarak hesaplanmıştır². Bu değer, İstanbul için zamanla artma eğilimindedir. Son 10 yılın değerleri dikkate alındığında İstanbul'da her gün ortalama 355 yeni otomobilin tescili yapılmaktadır. Bu değer, yaklaşık büyük bir katlı otoparkın araç sığasına eşdeğerdir. Diğer bir ifade ile İstanbul'da trafiğe katılan araçlar için her gün büyük bir katlı otopark yapılması sadece trafiğe yeni katılan araçlara cevap verebilecektir. 2000 yılında otomobil sayısı 1 milyon ve nüfus 10 milyon iken, 2016 yılı sonu itibarıyla otomobil sayısı yaklaşık 2,644 milyon, nüfus yaklaşık 14,8 milyon seviyesine ulaşmıştır (Şekil 1). Son 16 yıl içinde otomobil sayısının artış yüzdesi, nüfus artış yüzdesinden yaklaşık 3,5 kat daha hızlı olmuştur.

¹ Literatürde araç sahipliği; ya hane başına, kişi başına ya da yetişkin başına (18 yaşından büyük olanlar) araç sayısı olarak karşımıza çıkabilmektedir [14].

² İstanbul 2,669 milyonu otomobil olmak üzere 3,875 milyonluk araç parkına sahiptir [56].



Şekil 1 - İstanbul'un yıllara göre nüfus dağılımı, otomobil sayısı değişimi¹ [56-59]

2.2. Otopark Algısı, Talebi ve Ücretlendirme

Otopark alanı toplum tarafından ücretsiz sunulan ve/ya sunulması gereken ortak bir alan olarak algılanır. Bu algı otomobil sahiplerinin konutları civarında uzun parklanmalarının ücretsiz olması gibi bir algıyı da beraberinde getirmektedir. Başka amaçlarla kullanılabilen alanlar ücretsiz otopark olarak kullanıldığında bir fırsat maliyeti doğmaktadır. 2006 ve 2012 Ulaşım Ana Planı hane halkı anketleri incelendiğinde 2006 yılında sokağa park etme oranı %62,1 iken 2012'de bu oran %70,07 seviyelerine gelmiştir. Bu bağlamda sokakta park etmenin giderek mekâna yayıldığı, konut alanlarında yapı ya da parsel bünyesinde yeterince otopark alanının olmadığı ve abonelik yoluyla ücretli otoparka park etme alışkanlığının da zayıf olduğu belirtilmektedir [35]. Ayrıca akşam ve gece vakitlerinde konut yakınlarında otopark alanı bulunamaması, gündüz vakitlerinde ise ana arterlerde ve ticari merkezlere yakın otoparklarda taşmaların olması otoparkları daha önemli hale getirmiştir.

Gayrimenkul ve Gayrimenkul Yatırım Ortaklığı Derneği'nin (GYODER) 2015 yılında hazırladığı "Gayrimenkul Sektörü ve İstanbul Konut Piyasası Saha Araştırma Raporu" sonuçlarına göre yapılarda otoparkın varlığı %13,6 oranında bir değer ile ikinci sırada konutun fiyatına olumlu etkide bulunmaktadır. Aynı araştırmanın konut alırken dikkat edilen hususlar konusundaki cevaplar incelendiğinde ise; yapıda otopark olup olmamasını birinci öncelikli tercih görenlerin oranı %6,4 iken, verdiği tüm cevaplar dikkate alındığında ise yaklaşık %10'luk bir oranda konutta öncelikle otopark arandığı göstermektedir [35].

Şehrin merkezindeki mevcut otopark talebi, buradaki kentsel işlevlerin yeri, tipi, yoğunluğu ile aynı zamanda park yerlerinin varlığı, ücreti ve toplu taşıma sisteminin kullanım düzeyi ile ilgilidir. Günümüzde İstanbul'un merkezindeki otopark talebini; otomobil sahibi olan merkezdeki işyeri çalışanları, iş takibi nedeniyle merkeze gelenler ve alışveriş-gezi eğlence amacıyla gelenler oluşturmaktadır.

Geneli itibari ile özel otomobiller günde 1-3 saat hareketli iken, 20 saatin üzerinde bir park yerini işgal etmektedir. Her bir park yeri alan bazlı olarak 15 ile 30 m² arasında bir alanı

¹ İstanbul için 2023 yılı otomobil sahipliği hesaplanırken otomobil sayısı yıllık artış oranı kullanılmıştır [59].

kaplamakta olup gün içerisinde bir otomobil ortalama olarak en az iki farklı mekânda (örneğin ev ve işyeri) park yerine ihtiyaç duymaktadır [35].

Park etme davranışları ve talebi; bölgeleme, mekânsal değişkenlikler ve ikamet edilen bölge, ev sahipliği ve kiracı statüsü, bina tipi, gece – gündüz, hafta içi ve sonu, mevsim ve otomobil özelliklerinin etkileri gibi alt başlıklarda incelenebilir. İstanbul’da hem otomobil sahipliği, hem de farklı parklanma türlerindeki arz, kent içinde mekânsal olarak değişkenlik göstermektedir. İstanbul’un farklı kentsel gelişim eğilimleri, mekânsal olarak otopark ihtiyacı ve arzını da farklılaştırmaktadır. Üç temel mekânsal değişken öne çıkmaktadır: Yaka¹, kent merkezi ve ücretli otopark arzı. Her bir bölgenin özelliği gece oluşacak talebin değişimi, sokak parklanmasının ortaya çıkardığı park alan baskısı ve bu parklanmaların gün içerisindeki dağılımları ile değişmektedir [35]. Ayrıca toplam yol kenarı parklanma kapasitesinin %59’u Avrupa Yakası’nda ve geri kalan %41’lik kısmı ise Anadolu Yakası’ndadır. Sabah 08.00’den 19.00 kadar son 7,5 yıllık veriler incelendiğinde; araç başına yol kenarında ortalama park etme süresi Avrupa yakasında yaklaşık 2 saat ve Anadolu yakasında ise 1,5 saatin üzerindedir [55].

Gün içerisinde zaman ve mekânda farklılıklar arz eden parklanma davranışları, haftalık farklılıklar da göstermektedir. Hafta içi genelinde iş ve okul yolculukları dışında farklı faaliyetlerin aktif olduğu zamanları içermektedir. Birçok faaliyet hafta sonuna geçiş ile hafta sonu tatiline girmekte, dolayısı ile özellikle iş ve okul faaliyetleri ile ilişkili olanlar hafta içi gözlemlendiği şekli ile gündüz parklanmalarının azalmasına katkıda bulunmaktadır. Buna karşın farklı mahallerde gündüz parklanmasının yoğunlaşmasına neden olmaktadır. Parklanma davranışları mevsimlik farklılıklar da göstermektedir. Yıl içerisinde yaz-kış döngüsü, okulların tatil olması, yaz aylarında şehir dışına çıkılmasının sıklaşması gibi nedenlerle park talebinde azalma olmaktadır. Gündüz ve ara parklanmaların zaman ve mekânda sezonlara göre hafta sonlarında değişkenliğinin ortaya çıkardığı park alan arzının talep değişkenliğine uyumlu olarak esnek olmasını desteklemektedir [35].

Yol kenarı park ücretleri, otopark arayarak trafiği yavaşlatan araç sayısını azaltmak ve kaldırım alanlarının kullanımını iyileştirmek için düzenlenmektedir [35]. Bölgesine göre yol kenarı otoparklarda genellikle 0-1 saat giriş ücreti olarak 7 ile 8 TL ve kısmen de 0-2 saat girişte aynı ücretler uygulanabilmektedir. Sonraki ilave saatlerde genellikle 1 bazen de 2 TL gibi ücretler giriş ücretine ilave edilmektedir. Günlük ücretler yaygın olarak minimum 12 TL, maksimum 20 TL’ye kadar çıkabilmektedir. İstanbul’da İSPARK tarafından işletilen yol kenarı otoparklardaki ücretler, yüksek fiyattan daha düşük fiyata doğru bir politikayla

¹ Anadolu Yakasında büyük parselleri olan konaklar yerine yüksek katlı apartmanlar yapılmış, Avrupa Yakasında ise daha küçük parseller üzerinde olan binalara ya kat eklenmiş ya da bina tamamı ile yıkılarak yeniden ve daha yüksek katlı olarak inşa edilmiştir. Anadolu Yakasında daha önce konakların parselleri içinde yapılan yüksek katlı apartmanların otopark ihtiyacı parsel içinde bırakılan açık alanlarda karşılanırken, Avrupa Yakasında açık alan bırakmadan mevcut binaların oldukları yerde yükselmesi ile ortaya çıkan konut alanlarında otopark ihtiyacı ancak sokaklarda çözülmüştür. Her iki durum zaman içerisinde artan araç sayısı ile değişik ölçülerde yetersiz kalmaya başlamıştır. Anadolu Yakasında yavaş yavaş parsel içindeki alanlardan sokaklara doğru yayılma gözlemlenirken Avrupa Yakası’nda da sokakların park açısından kullanımının yoğunluğu giderek artmıştır. İstanbul’un en yoğun yapılaşmış olan alanları olarak öne çıkan Fatih, Beyoğlu, Beşiktaş, Üsküdar ve Kadıköy ilçelerinin yerleşme tarihi çok daha eski dönemlere dayanmaktadır. İstanbul genelinde yola park etme ortalaması 0,59 seviyesindedir. En yüksek yola park etme oranı olan ilçe 0,75 ile Fatih ilçesidir. Ayrıca 0,70 üstünde yola park etme oranı gerçekleşen ilçeler ise **Beyoğlu, Gaziosmanpaşa, Kağıthane, Esenler, Güngören, Zeytinburnu ve Arnavutköy**’dür. Ücretli otopark sunumunun diğer ilçelere göre fazla olduğu Şişli ve Fatih ilçelerinde alternatif parklanma için ilçenin mekânsal ve yapısal özellikleri imkân tanımamaktadır. Hem yol kenarı hem de parsel-bina otopark alanları kısıtlıdır. Bu da ücretli otoparkların seçilmesine etki eden bir sebep olarak ortaya çıkmaktadır [35].

yürütülmektedir. Bu durum araç sürücülerinin belli düzeyde ücretsiz otopark arayışına itilmesine neden olmakta; dolayısıyla arama trafiği ve otopark sorununu arttırıcı etki oluşturmaktadır. İstanbul için park yeri arama süresi yaklaşık 5,6 dakika olarak hesaplanmıştır¹.

2.3. Otopark Arzı ve Yol Kenarı Otopark İşletmeciliği

Otopark arzı temelde yol dışı ve yol kenarı olarak sınıflandırılabilir. Yol kenarı otoparklarda parklanma yapılıp yapılmadığı, parklanma şekli, parklanma yönü, kapasite, varsa ücret ve işletmeci bilgisiyle; yol dışı otoparklar ise, otoparkın yapım şekli, kat adedi, açık, kapalı ve toplam park kapasitesi, otoparkın kullanım amacı ve hangi fonksiyona ait olduğu, ücret ve işletmeci durumu gibi bilgilerle tanımlanmıştır. İOAP (2016)'a göre; İstanbul genelinde otopark arzı **1.984.733** iken, talebi ise **2.661.031**'dir. Bu rakamlardan **710.113** araçlık bir otopark ihtiyacı bulunduğu tespit edilmiştir. Maltepe, Ümraniye, Bahçelievler, Bağcılar ve Üsküdar otopark ihtiyacının en çok olduğu ilçelerdir [35].

Otoparkların yapılış şekillerine göre dağılımı incelendiğinde; il genelinde 2.442 adet 168.119 araç kapasiteyle açık otopark, 406 adet 52.727 araçlık kapalı otopark bulunmaktadır. Geneli itibariyle kapasitenin %76'sı açık alan düzenlemesi ile elde edilmiştir [35]. Tablo 2'de verilmiş olan yol dışı otoparklara konut dışı fonksiyon otoparkları ilave edilmemiştir. Ayrıca bu tabloda yer alan otoparkların işletmecisine göre dağılımı incelendiğinde; 2.491 adet otoparkın 146.528 araç kapasiteyle birlikte özel işletmeler; 357 adet otopark, 74.318 araç kapasitesiyle yani %33,6'sı İSPARK tarafından işletilmektedir.

Konut dışı fonksiyon otoparklarının toplam kapasitesi 451.017 olup, bu kapasitenin %31,6'sını alışveriş merkezleri ve %15,8'ini ise iş merkezlerine ait otoparklar oluşturmaktadır. Özellikle büyük alan kullanıma sahip alışveriş merkezleri, fuar, havaalanı, marina, üniversite kampüsleri, rekreasyon alanları, mesire yerleri ve turizm tesis alanları bünyesindeki otoparkların kapasitesi de oldukça yüksektir [35].

İstanbul'da yol kenarı parklanmayı olumsuz etkileyen bina giriş-çıkışları, yol kesişimleri, kavşak başlangıç ve bitişleri, otobüs durakları, trafik ışıkları, okul ve yaya geçitleri, resmi kurum bina önleri, çöp konteynırları, trafo, çeşme, yangın musluğu, ağaç gibi kapasite kısıtlayıcı özellikler dikkate alınarak yol kenarı otopark kapasitesi tespit edilmiştir. Bu kabule göre yol kenarında toplamda **1.348.268** araçlık bir otopark kapasitesi bulunmaktadır. Bu kapasitenin %59'u olan 803.688 araçlık kapasite Avrupa Yakası'nda ve geri kalan %41'lik kısım olan 544.580 araçlık kapasite ise Anadolu Yakası'ndadır [35]. Şehirde toplam 24.859 km yol ağının 8.475 km'si üzerinde parklanma yapılmaktadır. Parklanma yapılan yol ağının 5.294 km'si üzerinde tek taraflı, 3.181 km'si üzerinde ise çift taraflı parklanma görülmektedir. Yol kenarı otopark kapasitesinin %55'i (739.801 araç) çift taraflı, %45'i (608.467 araç) ise tek taraflı park etmektedir. Geneli itibariyle yol kenarı otoparklar fiziksel tasarımı açısından yola paralel şekilde gelişmiştir. Parklanma yapılan yol ağının 8.126 km'si üzerinde kapasitesinin %93'ü yani 1.249.004 araçlık paralel park, 215 km'si üzerinde kapasitesinin %4'ü yani 54.570 araçlık açılı park ve 134 km'si üzerinde kapasitesinin %3'ü yani 44.694 araçlık dik açılı park şeklindedir [35].

¹ İstanbul'da 537 sürücüyle yapılan bir anketle sürücülere otopark yeri ararken harcadıkları zaman sorulmuştur. Katılımcıların %51,2'si günde 0-5 dakika, %28,7'si günde 6-10 dakika, %11,9'u ise günde 11-15 dakika park yeri aradıklarını ifade etmiştir [47].

Yol kenarındaki otopark işletmeciliği İstanbul Büyükşehir Belediyesinin iktisadi teşekkülü olan İSPARK AŞ tarafından yapılmaktadır. Ancak Maltepe, Kadıköy ve Üsküdar ilçe belediyeleri de yol kenarı otopark işletmeciliği yapmaktadır¹ (Tablo 2). Ayrıca şehrin bazı bölgelerinde çeşitli işyerleri tarafından yol kenarında vale hizmeti verilmek suretiyle işletmecilikte yapılmaktadır [35].

Tablo 2 - İSPARK AŞ'nin genel otopark envanteri ve diğer otoparklar [35, 55]

İSPARK AŞ	Anadolu Yakası	Avrupa Yakası	Toplam
Lokasyon sayısı	186	456	642
Toplam otopark kapasitesi	30624	61051	91675
Yol kenarı otopark kapasitesi	4804	10081	14885
Yol dışı katlı otopark kapasitesi	5543	16075	21628
Yol dışı açık otopark kapasitesi	13703	27558	41261
Park et devam et otopark kapasitesi	6574	7287	13861
Günlük ortalama işlem sayısı	38896	63594	102490
Diğer İlçe Belediyeleri ve Özel İşletmeciler			
	Diğer Belediyeler	Özel	
Lokasyon sayısı	3 İlçe Belediyesi ²	2491	
Toplam otopark kapasitesi	1522	146.528	
Otoparkların Yapılış Şekillerine Göre			
	Adet	Kapasite	Toplam
Açık otopark	2.442	168.119	220.846
Kapalı otopark	406	52.727	2.848

İstanbul'da yol kenarı otopark işletmeciliği 2005 yılında İstanbul Otopark İşletmeleri Tic. AŞ - İSPARK AŞ'nin kurulmasıyla başlatılmıştır. Dip koçanlı fişle başlayan tahsilat 2008 yılında yerini aşamalı olarak el terminaliyle tahsilata bırakmıştır. SMS park 2009 yılında lokal bazda uygulanmış olmasına rağmen halihazırda kullanılmamaktadır. Çok işlevli el terminaleri, park etme beyanının hem elektronik hem de görevli esasına göre yapılabileceği bir yazılımla kullanılmaktadır. Taşıt, park yerine girdikten sonra görevli tarafından ilgili peron numarasına göre sisteme elle plakası yazılır ve taşıt sürücüsünün kalmayı düşündüğü süre öğrenilerek ilgili seçeneklerle sisteme girilir. Bu bilgilerin bir çıktısı sürücüye de verilir. Ödeme; nakit, kredi kartı, akıllı kart, önceden veya sonradan ödeme şekillerine cevap verebilecek altyapıya sahiptir [49-52].

Yol kenarındaki toplam 1.348.268 araçlık otopark kapasitesinin; 9 ilçe 49 lokasyonu Anadolu ve 17 ilçe ile 200 lokasyonu Avrupa yakasında olmak üzere toplamda 26 ilçede 249

¹ Ayrıca İSPARK tarafından Kadıköy'de 9 farklı yol kenarı lokasyonda 795 ve Üsküdar'da ise 7 farklı lokasyonda 561 araçlık ekstra kapasite işletilmektedir. Şirketin Maltepe'de yol kenarı otopark işletmeciliği bulunmamaktadır.

² Maltepe Belediyesi (Mapark): 200, Kadıköy Belediyesi (Kasdaş): 1245 ve Üsküdar Belediyesi: 80 araçlık kapasiteye sahiptir [35].

lokasyonunda %1,1'lik dilimi yani **14.885** araçlık kısmında İSPARK tarafından ücretli otopark işletmeciliği yapılmaktadır (Tablo 2) [35].

3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada incelenen otoparklar ve parametreler açıklamalarıyla/gerekçeleriyle birlikte Tablo 3'de ve incelenen bir kısım otoparkların temel özellikleri ise Tablo 4'de verilmiştir.

3.1. İncelenen Ana Konular, Parametreler ve İlgili Açıklamalar

Bu çalışmada öncelikle incelenmesi düşünülen tüm konulara yönelik şablonlar oluşturulmuştur. Bu şablonlar için gerekli işlenmemiş veriler, veri tabanından Microsoft Excel programına aktarılmıştır. Bulgular kısmındaki grafiklerin oluşturulmasında kullanılan minimum süre 6 ay ve maksimum süre 8 yıldır. Ayrıca bir kısım destekleyici veriler İBB Otopark Ana Planı ve İBB Ulaşım Ana Planı'ndan alınmıştır. Ancak bu çalışmada verilen kullanıcı alışkanlıklarına yönelik değerler her iki planda da incelenmemiştir.

Tablo 3 - Analiz yapılan temel konular ve incelenen parametreler

İncelenen Ana Konular	Toplanan/Alınan Veriler	Açıklama
Otoparklarda uygulanan tarifeler	- Süre ve tarife çizelgeleri	- Farklı özelliklerde Anadolu yakasından 6 ve Avrupa yakasından 12 farklı yol kenarı otoparklardaki tarife çizelgeleri incelenmiştir.
Yol kenarı otoparklarının kullanımının (saat, gün, ay, mevsim ve yıl bazlı olarak) incelenmesi	- Park etme süresinin % dağılımı - Toplam işlem sayısı - Ortalama park etme süresi	Yol kenarı otoparkların kullanımına yönelik olarak; saat, gün, ay, mevsim ve yıllara göre otoparkların kullanımı incelenmiştir. - Saat bazlı incelemede park etme süresi ve % dağılımı 2015, 2016 ve 2017'nin ilk altı aylık verilerinden incelenmiştir. - Gün bazlı incelemede işlem sayısı ve park etme süresi değişimi 2009 ile 2016 yılı dahil 8 yıllık sürede incelenmiştir. - Ay bazlı incelemede işlem sayısı ve park etme süresi değişimi 2015 ve 2016 yılı dikkate alınarak incelenmiştir. - Mevsim bazlı incelemede işlem sayısı ve park etme süresi değişimi 5 yıllık verilerinden incelenmiştir. Ayrıca aynı yıllar arasında mevsim bazlı ortalama park süresi, zaman serisi analiziyle incelenmiştir. - Yıl bazlı incelemede ise işlem sayısı ve park etme süresi değişimi 7,5 yıllık verilerinden incelenmiştir.
Otopark doluluk oranlarının incelenmesi	- Yol kenarı otopark kapasiteleri - Saat bazlı kullanım miktarı ve doluluk oranları (%)	- Son 2,5 yıllık verilerden sabah 08.00 ile 19.00 saatleri arasında İstanbul genelinde yol kenarı otoparkların kullanım miktarı ve doluluk oranları (%) incelenmiştir. Kritik doluluk oranının (%85) aşıldığı saat/ler tespit edilmiştir. - Yakalar arasında otoparklarda kalma süreleri hesaplanmıştır.
Otopark ücretlerindeki artışın etkisi	- Nakit işlem sayısı - Nakit park süresi - 0-15 d ücretsiz işl. - Tahakkuk-tahsilat oranındaki değişimler	- Anadolu yakasında 3 ve Avrupa yakasında 5 farklı ilçeden, yol kenarı otoparklar seçilmiştir. Bu otoparkların özellikleri Tablo 4'de verilmiştir. Ücret artış miktarları ve bu artışların kısa süreli etkisi, 1 ay öncesi ve sonrası veri tabanından alınan ham verilerin işlenmesiyle analiz edilmiştir.

Tablo 3 - Analiz yapılan temel konular ve incelenen parametreler (devam)

İncelenen Ana Konular	Toplanan/Alınan Veriler	Açıklama
Kısa süreli ücretsiz park uygulamasının etkisinin incelenmesi	- Devinin - İşlem başı gelir - Tahakkuk ve tahsilat oranları, - Genel tahsilat, - Ortalama park etme süreleri	Anadolu yakasında YKO-9-10-11 kodlu 3 adet yol kenarı otoparklarda daha önce uygulanmakta olan ilk girişte 0-15 dakika ücretsiz park uygulaması belli bir süreliğine kaldırılmış, akabinde öncesi ve sonrasıyla bir kısım parametrelerdeki değişimler incelenmiştir. * YKO-9 otoparkında 28 Şubat-08 Ekim 2012 tarihleri arasında 0-15 d. ücretsiz park uygulaması kaldırılmış ve bu caddedeki analizler 01-31 Mart 2012 ile yine 01-31 Mart 2013 tarihleri arasında yapılmıştır. * YKO-10 otoparkında 28 Şubat - 8 Ekim 2012 tarihleri arasında 0-15 d. ücretsiz otopark uygulaması kaldırılmış ve bu caddedeki analizlerde 01-15 Haziran 2012 tarihleri ile 15-30 Haziran 2012 ve 01-30 Haziran 2013 tarihleri arasındaki verilerden analiz edilmiştir. * YKO-11 otoparkında 23 Nisan - 08 Ekim 2012 tarihleri arasında 15 d. ücretsiz otopark uygulaması kaldırılmış ve bu caddedeki analizlerde 01-21 Nisan 2012 tarihleri ile 23 Nisan - 31 Mayıs 2012 ve 01-31 Mayıs 2013 tarihleri arasındaki kayıtlar incelenmiştir.
İUAP'deki günlük ortalama otopark ücreti formülünün incelenmesi	- Günlük ortalama park ücreti - KBGSYH - Otomobil sahipliği	- İUAP'de verilmiş olan otopark ücretlendirme modeli Stata 14 yazılım programı kullanılarak regresyon analiziyle incelenmiş ve tutarsızlığı tespit edilmiştir.

Tablo 4 - İnceleme yapılan yol kenarı otoparkların bir kısmının temel özellikleri [55]

Parklar	İlçe	Otopark açılış tarihi	Kapasite	Çalışma saatleri	Giriş saati ve ücreti (TL) ¹	Ara saatler ve ücreti (TL)	Tam gün ücreti (TL)
YKO-1	Ümraniye	01.02.2010	10	08.00-18.00	0-1: 6	1-2: 8; 2-4: 9; 4-8: 11	14
YKO-2	Kartal	19.01.2006	70	08.30-18.30	0-2: 7	2-4: 8; 4-6: 9; 6-8: 10	12
YKO-3	Kartal	28.11.2014	70	09.00-18.00	0-1: 7	1-2: 8; 2-4: 9; 4-6: 10; 6-8: 11	12
YKO-4	Sarıyer	07.07.2006	16	09.00-19.00	0-1: 7	1-2: 8; 2-4: 10; 4-8: 13	15
YKO-5	Şişli	21.03.2007	38	09.00-19.00	0-1: 8	1-2: 10; 2-4: 14; 4-8: 18	20
YKO-6	Bakırköy	01.11.2007	19	09.00-18.00	0-1: 7	1-2: 8; 2-4: 9; 4-8: 11	14
YKO-7	Bayrampaşa	09.10.2008	60	08.30-18.00	0-1: 7	1-2: 8; 2-4: 9; 4-8: 11	14
YKO-8	Avcılar	13.05.2009	58	09.00-17.30	0-1: 7	1-2: 8; 2-4: 9; 4-8: 11	13
YKO-9	Üsküdar	11.05.2006	103	09.00-18.00	0-1: 7	1-2: 8; 2-4: 10; 4-8: 13	15
YKO-10	Ataşehir	11.07.2006	265	09.00-18.00	0-1: 7	1-2: 8; 2-4: 9; 4-8: 11	14
YKO-11	Pendik	19.01.2010	45	09.00-19.00	0-1: 7	1-2: 8; 2-4: 10; 4-8: 11	13

¹ 6, 7 ve 8 TL'lik ilk dilim (giriş) ücretleri, İSPARK tarafından yürütülen yol kenarı ücretlendirmenin %81'ini temsil etmektedir.

3.2. Analiz Yapılan Otoparkların Temel Özellikleri

Parkların ücret artış miktarları ve bu artışların 1 ay öncesi ve sonrası; ortalama işlem sayısı, ortalama park süreleri, 15 dakika girişler, tahakkuk ve tahsilat miktarlarındaki değişimleri incelemek üzere Anadolu yakasından 3 (YKO 1-3) ve Avrupa yakasında 5 farklı ilçede (YKO 4-8) işletilmekte olan yol kenarı otoparklar seçilmiştir. Tablo 4'de analizi yapılan otoparkların temel özellikleri verilmiştir.

3.3. Fiyat Tarife Değişiklikleri ve Günlük Otopark Ücretleri

Bu çalışmada ilçesine ve ilçedeki konumuna göre Anadolu yakasından 6 ve Avrupa yakasından 12 farklı lokasyonlardaki ücret tarifleri incelenmiştir. Anadolu yakasındaki, 5 otoparkın giriş ücreti 0-1 saat 7 TL ile başlayarak, günlük minimum 12 TL ve maksimum 15 TL ücrete kadar çıkabilmektedir. Diğer otoparkta ise giriş ücreti 0-2 saat 7 TL ile başlamakta ve günlük 12 TL ücret alınmaktadır. Aynı durum için Avrupa yakası incelendiğinde 0-1 saat giriş ücreti 9 lokasyonda 7 TL ve 3 lokasyonda 8 TL olarak başlamakta ve günlük ücret 13 TL ile 20 TL arasında değişebilmektedir. Ara saatlerdeki değişim Tablo 4'den incelenebilir. Özdeş fiyatlandırmalardan dolayı Avrupa yakasındaki 7 otoparka tabloda yer verilmemiştir.

4. BULGULAR

Yol kenarı otoparkların kullanımına yönelik olarak; saat, gün, ay, mevsim ve yıllara göre incelemeler yapılmıştır. Ayrıca mevsim bazlı ortalama park süresi zaman serisiyle incelenmiş, otoparkların doluluk oranları, ücret artışının ve kısa süreli ücretsiz park uygulamalarının devinim ve tahakkuk-tahsilat oranını nasıl etkilediği değerlendirilmiştir. Bir diğer konuda yol kenarı ve yol dışı otoparklarda uygulanmakta olan ücretlendirme yaklaşımı ve ücretlendirmenin temel bileşenleri ile İUAP'de verilmiş olan otopark ücretlendirme modeli Stata 14 yazılım programı kullanılarak regresyon analiziyle incelenmiş ve tutarsızlığı tespit edilmiştir.

4.1. Otoparkların Kullanımı ile İlgili Analizler

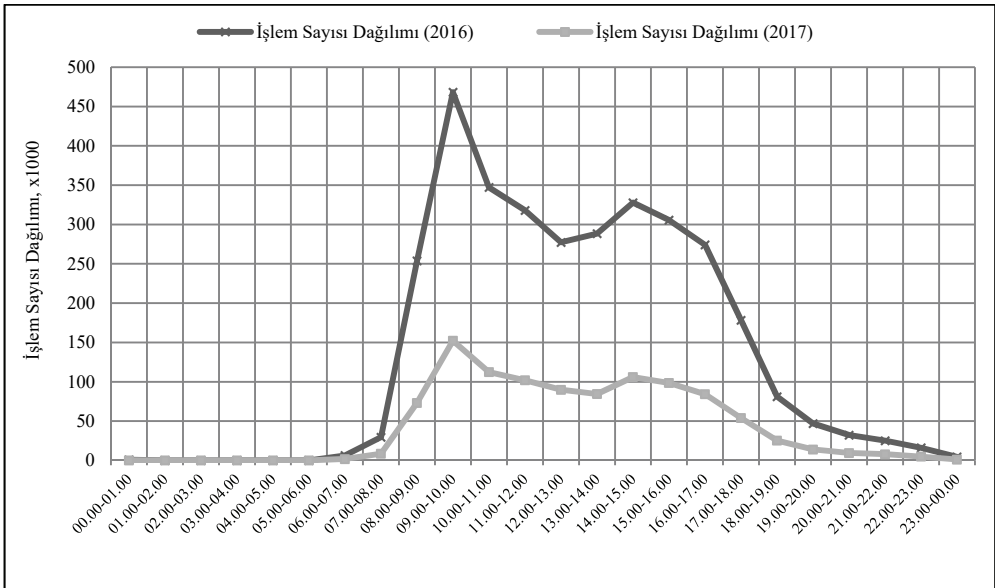
Saat bazlı inceleme: Şekil 2'de bir yıllık verilerden ortalama bir günlük otopark doluluk oranlarının saat bazlı dağılımı 5.533.616 işlem üzerinden incelenmiştir. Bu incelemede yol kenarı otoparklara en yoğun giriş %14 oranıyla sabah saat 09.00 ile 10.00 arasında, ayrıca 09.00 ile 12.00 saatleri arasında ise %35'lik toplam giriş olmuştur. Yaz mevsiminde ise 19.00-24.00 saatleri arasındaki hem otopark kullanım kapasitelerinde hem de ortalama park sürelerinde artış olduğu da tespit edilmiştir.

Gün bazlı inceleme: Gün içerisinde park etme davranışları zaman ve mekânda farklılıklar göstermektedir. Birçok aktivite hafta sonuna geçiş ile hafta sonu tatiline girmekte, dolayısı ile hafta içi gözlemlendiği şekli ile gündüz parklanmalarının azalmasına katkıda bulunmaktadır. Buna karşın farklı mahallerde gündüz parklanmasının yoğunlaşmasına neden olmaktadır. Yıl içerisinde yaz-kış döngüsü okulların tatil olması, yaz aylarında şehir dışına çıkılmasının sıklaşması nedenleri ile parklanmaların azalmasına neden olmaktadır. Gündüz ve ara parklanmaların zaman ve mekânda mevsimlere göre hafta sonlarında değişkenliğinin

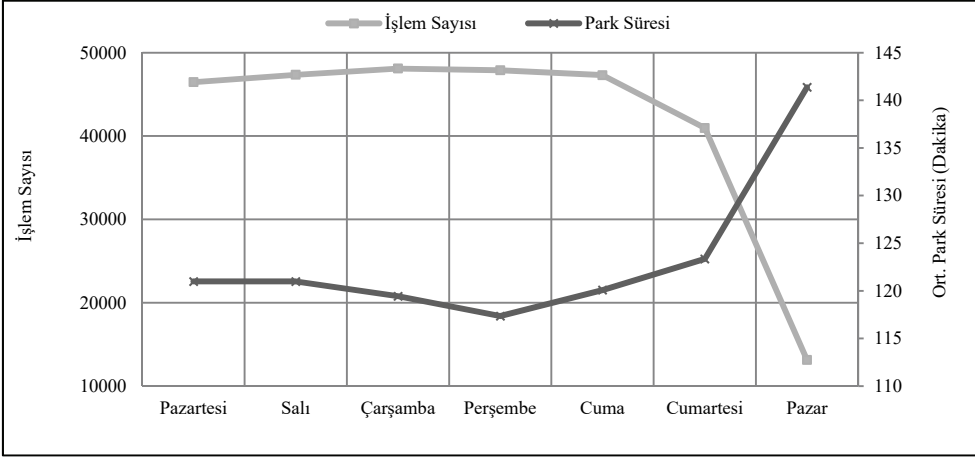
ortaya çıkardığı park alan sunumunun talep değişkenliğine uyumlu olarak esnek olmasını desteklemektedir [35].

15.191.262 yol kenarı otopark işlemi verileri baz alınarak, günler arasındaki değişim Şekil 3’de gösterilmiştir. Bu grafik incelendiğinde en fazla işlemin haftanın orta günü olan Çarşamba gününde ve en az işlemin de Pazar gününde gerçekleştiği; ayrıca otoparklarda ortalama kalma süresinin Pazar günlerinde diğer günlerden yaklaşık 20 dakika daha uzun olduğu da tespit edilmiştir. Yol kenarlarında ortalama parkta kalma süresi yaklaşık 120 dakikadır. Yapılan bir anket çalışmasında sürücülere “Otopark yeri bulmada en çok zorlandıkları gün?” sorulmuş; bu soruya %31,5’i Cumartesi, %22’si Pazartesi, %20,3’ü Pazar ve %19,4’ü Cuma günü cevabını vermiştir [47]. Bu cevaplar, Şekil 3’deki verilerle belli düzeyde çelişmektedir.

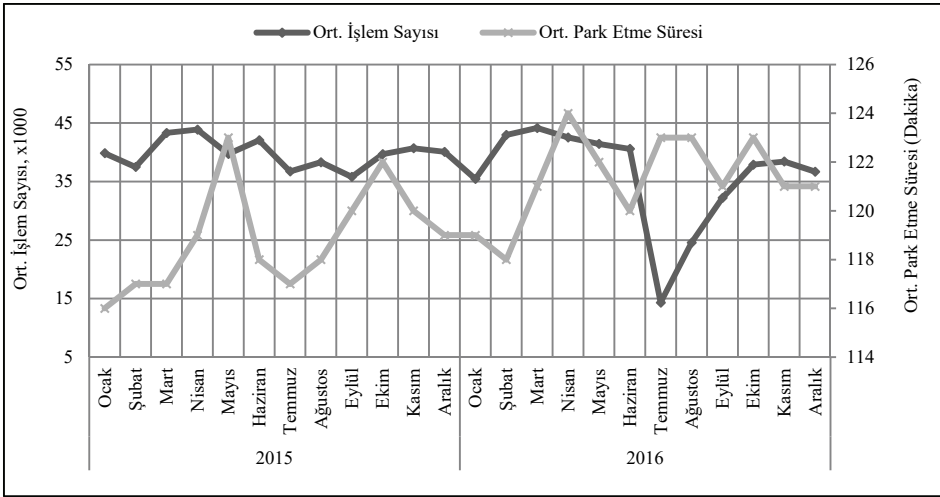
Ay bazlı inceleme: Şekil 4’de 2015 ve 2016 yıllarına ait 27.658.406 işlem dikkate alınmıştır. En çok işlem her iki yılda da Mart ayında ve en az işlem ise 2015 yılı Şubat ayı ile 2016 yılında ise sırasıyla başta Temmuz ayı olmak üzere Ağustos ve Eylül aylarında gerçekleşmiştir. Bu aylardaki otopark işlem sayısındaki keskin düşüşlerde, 15 Temmuz kalkışma/darbe girişiminin etkisi sebep olmuştur. Ortalama park etme süresi 2015 yılı Mayıs ve 2016 yılı Nisan ayında maksimum iken; en az ortalama park etme süresi ise 2015 yılı Ocak ayında 116 dakika ve 2016 yılında ise Şubat ayında 118 dakika olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4). Ayrıca otoparkta kalma süreleri açısından aylar arasındaki sapma 2015 yılında maksimum 7, 2016 yılında ise 6 dakikadır.



Şekil 2 - Saat bazlı yol kenarı parklardaki işlem sayısı dağılımı



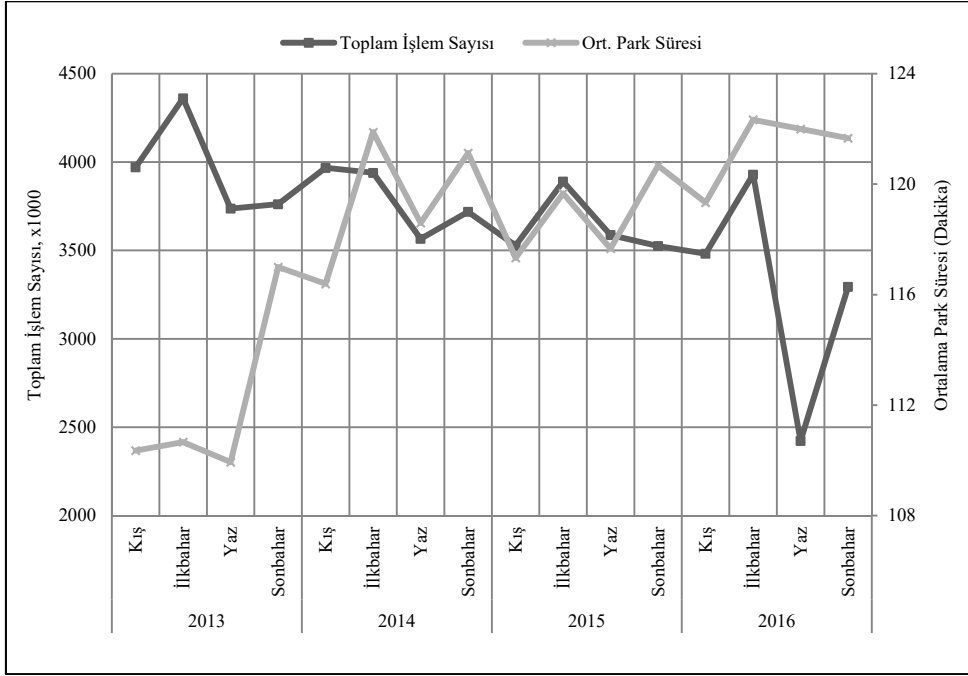
Şekil 3 - 2009-2016 yılları arasında tüm otoparklarda gün bazlı ortalama işlem sayısı ve park etme sürelerinin değişimi



Şekil 4 - 2016 yılı ay bazlı işlem sayısı ve ortalama park etme sürelerinin değişimi

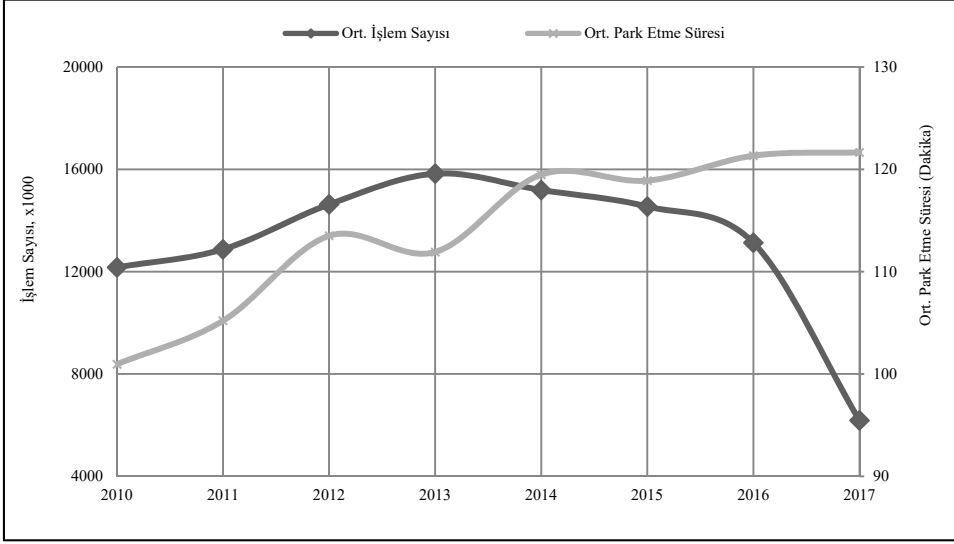
Yıllara göre mevsim bazlı inceleme: Şekil 5’de 2013-2016 yılları arası mevsim bazlı incelemede toplam 58.679.693 işlem üzerinden park sayısı ve ortalama park etme süreleri tespit edilmiştir. İşlem sayısı açısından en yüksek değerler ilkbahar mevsiminde olmuştur. 2016 yılı yaz mevsiminde işlem düşüklüğündeki belirginlikte kalkışmanın etkisi belirleyici olmuştur. Otoparklarda kalma süreleri yıllar geçtikçe artmış ve 2 saat sınırına gelmiştir. Ayrıca mevsimler arası sapma 2013 yılında 7 dakika, 2014 yılında 5 dakika, 2015 ve 2016 yılında ise 3 dakika olarak tespit edilmiştir. Ayrıca 2013-2017 yılları arasındaki mevsim bazlı ortalama park süresi, zaman serisi analizinde incelenmiştir. 2018 yılı için yapılan tahminde

ortalama otoparkta kalma süresinin yaklaşık tüm mevsimlerde %1,8 düzeyinde yani yaklaşık 2,2 dakika artış göstereceği tespit edilmiştir. Bu incelemenin verileri ekte verilmiş olan Tablo E1'den incelenebilir ve grafiği Şekil E1'den görülebilir.



Şekil 5 - 2013-2016 yılları arasında mevsim bazlı yol kenarı otoparklarda işlem sayısı ve park etme sürelerinin değişimi

Yıl bazlı inceleme: 2010-2017 yılları arasında, toplam 104.550.480 otopark işlemi üzerinden inceleme yapılmıştır. Şekil 6 incelendiğinde yıllar geçtikçe ortalama park süresinde artma olduğu görülmektedir. Bu artışın iyi irdelenmesi gerekmektedir. Bu durum “yol kenarı otoparkları kısa süreli park alanı olarak tanımlayan bir yönetim” açısından özendirici politikaların geliştirilmesi ve uygulanmasında yeterince etkili olunamadığını göstermektedir. Şekil 8’den de görüleceği üzere giriş ücretlerinin yüksek tutulması bu durumun nedenlerinden biridir. Eklerde verilen Tablo E2’den 2010 ve 2017 yılındaki günlük ortalama otopark ücretinde ciddi bir değişiklik olmazken, ilk dilim ücretinde hem süre azaltılmış hem de ücret keskin bir şekilde artırılmıştır. Özellikle uygulanmakta olan fiyat-süre düzenlemeleri ile fiziksel kısıtlama üzerinde ciddiyetle durulması gereken hususlardandır. Ayrıca işlem sayısının ilk yıllarda artması ve sonraki yıllarda düşmeye başlaması bazı yol kenarı otoparkların acil ulaşım yolu olarak düzenlenmesinden kaynaklanmaktadır. Grafikte 2017 yılının düşük park işlem değeri, ilk 6 aylık işlem miktarının gösterilmesinden kaynaklanmıştır.



Şekil 6 - 2010-2017 yılları arasında yıllık işlem sayısı ve parkta kalma sürelerinin değişimi

4.2. Doluluk Oranı Değişimlerinin İncelenmesi

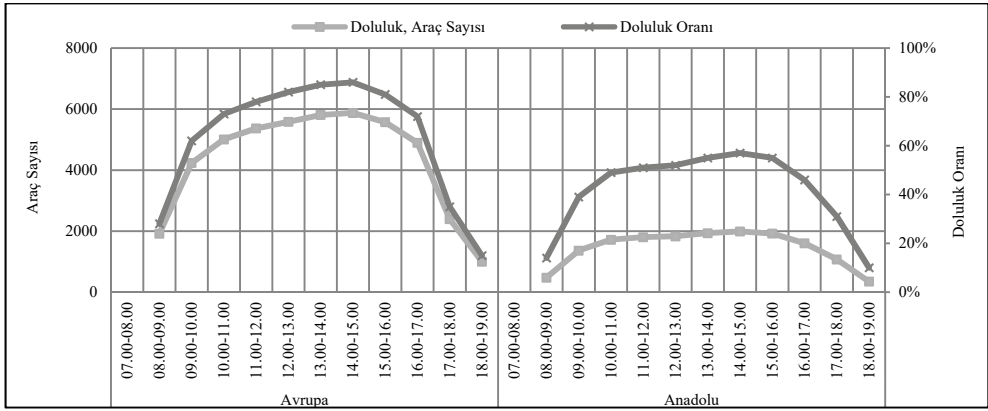
Şekil 7'den görüldüğü üzere saat bazlı son 2,5 yılın ortalaması dikkate alındığında Anadolu yakasında maksimum doluluk oranına %57 ile 14.00-15.00 saatleri arasında; Avrupa yakasında ise yine aynı saatler arasında %86 doluluk oranına erişilmektedir. Ayrıca yine aynı yakada 12.00-16.00 saatleri arasındaki doluluk oranı %80'i aşmaktadır. Doluluk oranı %80'nin üzerinde olan lokasyonlarda yönetim açısından ciddi bir şekilde durulması gerekmektedir. Irmscher (2015) tarafından hazırlanan "Otopark Tasarımı" eserinde yol boyunca yer alan park alanlarının tipik günlük kapasite oranlarının verildiği grafikte; kısa süreli park etme saat 17.00'de maksimum değerine (%100) ve aynı saatte konut park etme oranı ise %85 düzeylerine ulaşmaktadır. Gün içerisinde park etme düzeyi yaklaşık %65 ile saat 15.00'de gerçekleşmektedir [60].

4.3. Ücret Artışının Park Etme Davranışına Etkileri

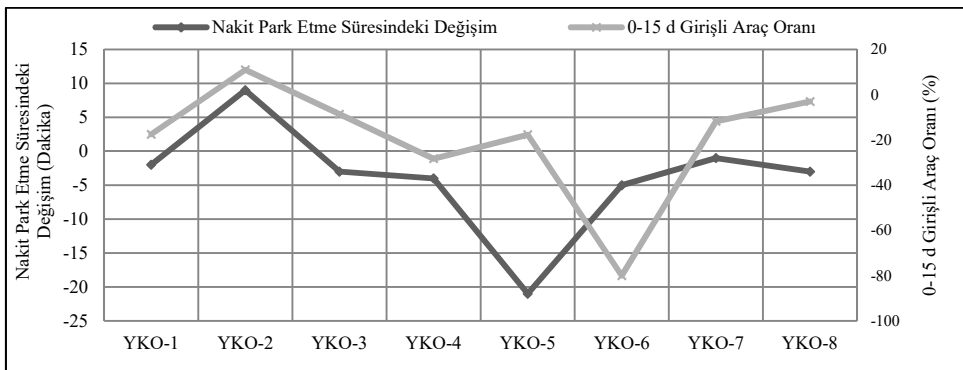
Şehir merkezleri ve kullanım çeşitlilikleri, çalışanlar ve müşteriler açısından park baskısı oluşturabilir. Genel memnun etmek için değil merkezin canlılığını ve yaşam kalitesini korumak için park politikaları oluşturulmalıdır. Merkezi alanlarda genel otopark kapasitesini arttırmamak, süre kısıtlamaları, yüksek otopark ücretleriyle uygulanabilir. Toplu taşıma araçları taleplerinin bir bölümünün değişmesini sağlamak için toplu taşıma seçenekleri ne kadar daha uygun bir hale getirilirse, zaten kısıtlı sayıda ve yüksek ücretli olan otoparklara gereksinim de aynı oranda düşecektir [35].

Anadolu yakasından 3 farklı (YKO 1-3) ve Avrupa yakasında 5 farklı ilçede (YKO 4-8) işletilmekte olan yol kenarı parkların ücret artış miktarları ve bu artışların 1 ay öncesi ve sonrası ortalama işlem sayısı, ortalama park süreleri, 15 dakika girişler, tahakkuk ve tahsilat

miktarlarındaki değişimler incelenmiştir. Ücret artışları, otoparkların tam günlük değeri korunarak, giriş ücretlerinin 1 TL arttırılmasıyla ve ara saatlerde çok az düzenlemeler yapılarak uygulanmıştır. 8 otoparkın ilk giriş ücretlerine toplamda yaklaşık %11'lik yapılan zamla, otoparkları kullanan araç sayısında %2,5 azalma, aynı otoparkların %75'inde devinimde düşme ve toplam devinimde ise %7 düzeyinde azalma olduğu tespit edilmiştir. Bu durum ekte verilen Tablo E3'den incelenebilir. Ayrıca YKO-2 otoparkı hariç tüm otoparklarda nakit olarak park süresinde ortalama 5,5 dakika ve 0-15 d ücretsiz giriş yapan araç oranında da ortalama %24 oranında azalma olmuştur. Ancak nakit park süresindeki düşme, ücret artışının müşteride geçici bir süre ürkeklik oluşturmasıyla yorumlanabilir. Çünkü müşteri ilk giriş ücretini peşin ödediğinden ücret artışının diğer zamanlara da yayılmış olacağı öngörüsünden hareketle parklanmayı daha hızlı sonlandırmak istemiştir. Diğer parametreler için anlamlı ilişki kurulamamıştır.



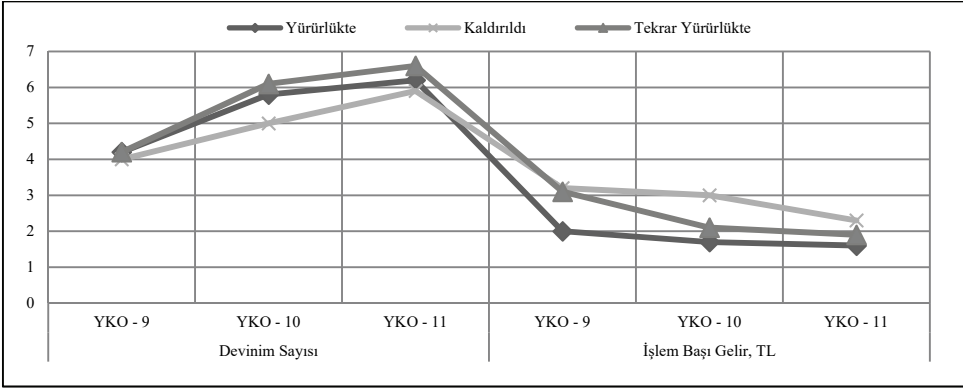
Şekil 7 - Anadolu ve Avrupa yakası saat bazlı doluluk oranı değişimi (son 2,5 yıllık veri)



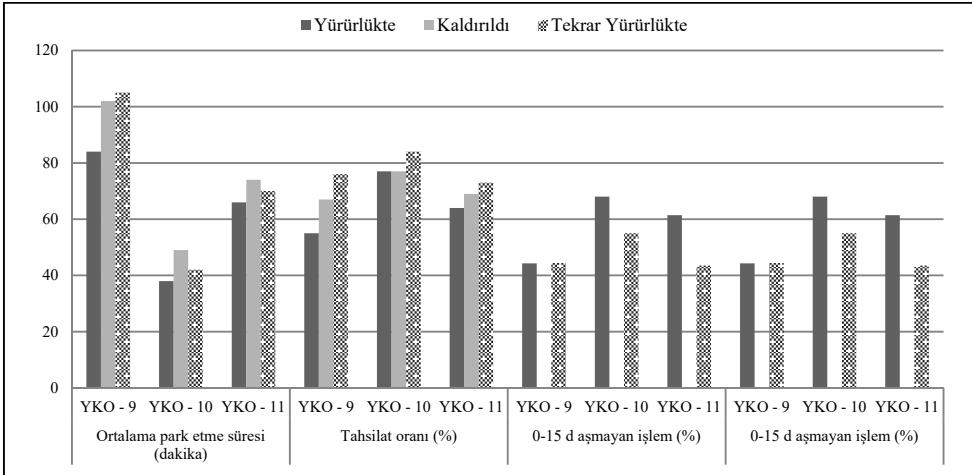
Şekil 8 - Yol kenarı otoparklardaki ücret artışının park etme süresi ve 0-15 dakika girişli araç oranına etkisi

4.4. Kısa Süreli Ücretsiz Park Uygulamasının İncelenmesi

Şekil 9 ve 10'da Anadolu yakasında üç farklı ilçede bulunan YKO-9-10-11 kodlarıyla tanımlanmış olan yol kenarı otoparklarda uygulanan 15 dakika ücretsiz otopark uygulaması bir yıldan az olmayan bir süre uygulandıktan sonra, en az 5 ay kaldırılıp, daha sonra tekrar ilk uygulamaya dönülmüştür. Bu geçici uygulamada; devinim, işlem başı gelir, tahakkuk ve tahsilat oranları, genel tahsilat ve ortalama park etme sürelerindeki değişimler incelenmiş ve ortak tespitler aşağıda verilmiştir.



Şekil 9 - 0-15 dakika ücretsiz park uygulamasının devinim ve işlem sayısına etkisi



Şekil 10 - 0-15 d ücretsiz park uygulamasının park süresi, tahsilat oranı, işlem sayısına etkisi

15 dakika ücretsiz park uygulamasının geçici bir süre **kaldırılmasıyla** her üç otoparkta da;

- Devinimde en az %4,8 ve en çok %13,8 düşme (Şekil 9),

- İşlem başı ortalama gelirden en az %44 ve en çok %76 artma (Şekil 9),
- Genel tahsilat oranında en az %0 ve en çok %21 artma (Şekil 9),
- Ortalama park etme süresinde en az %12 (11 dakika) ve en çok %21,5 (18 dakika) artma (Şekil 10) olmuştur.

Bir diğer hususta 15 dakika ücretsiz park uygulamasının kaldırılmasıyla birlikte gerçekte kısa süreli park etme ihtiyacı bulunan araç sahiplerinin, 5-10 dakikalık park etmek için ücret ödemeyerek, park alanı içine tam parklanma yapmayarak ve/ya **akan trafiğe engel** oluşturacak şekilde araçlarını ikinci sıraya bırakarak parklanma yaptıkları, ayrıca bu araçların sürücülerini ile otopark personelleri arasında bazen tartışmalar yaşandığı da tespit edilmiştir.

15 dakika ücretsiz park uygulamasının geçici bir süre **kaldırıldıktan sonra tekrar uygulamaya alınmasıyla** her üç otoparkta da;

- Devrimde en az %0 ve en çok %5 artma,
- İşlem başı ortalama gelirden en az %19 ve en çok %55 artma,
- Genel tahsilat oranında en az %9 ve en çok %38 artma,
- Ortalama park etme süresinde en az %6 ve en çok %25 artma,
- Tahakkuk edip tahsil edilen ücret oranlarında en az %8 ve en çok %56 artma,
- 0-15 dakika kalmayı beyan ederek ücretsiz yararlananların oranında bir otopark hariç belirgin bir azalma olmuştur (Şekil 9-10).

4.5. Park Etmede Süre Aşımı ve Ödeme Alışkanlığının İncelenmesi

Yapılan incelemelerde yol kenarı otoparklardaki toplam işlem sayısının yaklaşık %18'i 0-15 d ücretsiz seçeneği kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu oranın %33,7'si süre aşımı olmadan otoparktan çıkmıştır. %41'i süre aşımı olmasına rağmen ücretini ödemiş ve %24'ü ise süresini aştığı halde ödeme yapmadan çıkış yapmıştır. Ayrıca yapılan diğer tespitler şu şekildedir:

- 0-15 d ücretsiz seçeneğinden gerçekleşen girişlerin %7,5'lik dilimi 17.00-19.00 saatleri arasında olmuştur. %34'lük dilimi ise mesai saati bitimi olan 17.00-19.00 saatleri arasında çıkış yapmıştır.
- Anadolu yakasına göre Avrupa yakasındaki sürücülerin 0-15 dakika ücretsiz beyanlarına %4 daha sadakat göstermişlerdir.
- 0-15 d ücretsiz seçeneğinden gerçekleşen girişlerde süre aşımı olduğu halde ödeme yapmadan çıkış yapan araçların toplam işlem içerisindeki oranı yaklaşık %4,37'dir.
- Son yıllarda 0-15 dakika ücretsiz girişlerde düşme ve aşan sürelerde ödeme alışkanlıklarında yükselme olmuştur. Bu durum müşterilerin zamanla İSPARK'ı ve dolayısıyla otopark işletmeciliğini daha çok benimsediklerine işaret etmektedir.

4.6. Yol Kenarı ve Yol Dışı Otoparklarda Ücretlendirme¹

Tablo 4 incelendiğinde bölgesine göre yol kenarı otoparklarda genellikle 0-1 saat giriş ücreti olarak 7 ile 8 TL ve kısmen de 0-2 saat girişte aynı ücretler uygulanabilmektedir. Sonraki ilave saatlerde genellikle 1 TL bazen de 2 TL gibi ücretler bir önceki tutara ilave edilmektedir. Günlük ücretler yaygın olarak minimum 12 TL ve maksimum 20 TL'dir. Günlük ücreti 20 TL olan otoparkların giriş ücreti 0-1 saat ve 8 TL olarak uygulanmaktadır. Yol kenarı otoparkların giriş ücreti, günlük ücretin minimum değerinin %67'si, maksimum değerinin ise %40'ıdır. Giriş ücretlerinin yüksekliğini anket sonuçları da doğrulamaktadır. Yapılan bir çalışmada sürücülerin %84,4'ünün İSPARK otoparklarını pahalı bulduğu tespit edilmiştir [35]. Ayrıca son 7,5 yıllık veriler incelendiğinde yol kenarı otoparklarda kalma süresi ortalama 2 saatin altındadır. Son 2,5 yıllık veriler dikkate alındığında ise yol kenarı otoparklarda ortalama kalma süreleri Anadolu yakasında 93, Avrupa yakasında ise 115 dakikadır². Aynı durum katlı otoparklarda sırasıyla 273 ve 412 dakika; açık otoparklarda 208 ve 161 dakika, park et-devam et uygulamasının yapıldığı otoparklarda ise 522 ve 469 dakika olarak tespit edilmiştir. Bir diğer hususta son 2,5 yıllık veriler dikkate alındığında ise günlük toplam yol kenarı park işleminin %29'u, 3 saatten daha uzun süre park eden araçlara aittir. Bu duruma giriş ücretlerinin çok yüksek, ara ücretlerin düşük olması sebep olmuştur.

Yol kenarı otoparklarda ücretlendirme: Yol dışı otoparklara yönelik olarak örnek teşkil edecek ücretlendirme politikaları belirlenmiştir. Tablo E4'de verilen ücretler ve kullanım oranları toplam 15.256 araçlık yol kenarı otopark kapasitesinin tüm günlük ortalama park ücreti; yoğun bölgelerde 25 TL, orta yoğun bölgede 20 TL ve düşük yoğun bölgelerde ise 12 TL'dir. Aynı tablodan %15'lik bir abone girişi ve aboneler hariç araçların %18'inin ise 4 saatten daha fazla park ettiği tespit edilmiştir.

Yol dışı otoparklarda ücretlendirme: 6 farklı ilçede bulunan 3085 araç kapasiteli 9 katlı otoparkın günlük araç başına ücret ortalaması yaklaşık 12 TL olarak tespit edilmiştir. Devininin ortalaması 1,72'dir (Tablo E5). Tüm katlı otoparkların devinimi dikkate alındığında 0,88 civarındadır.

İUAP'deki otopark ücretlendirme modeli: İUAP'de 2010 yılı merkez alanda 1-3 saatlik park için ortalama 5 \$, 7-9 saatlik park için ise ortalama 10 \$ ücret alınmakta olduğu belirtilmektedir. Günlük ortalama otopark ücreti ise 8,49 \$'dır. Otopark talep yönetimi açısından bugün kullanılan merkez alanlarda daha kısa süreli parklanma ve daha yüksek fiyat politikasından yararlanılarak merkez alanlarda otopark fiyatlandırmasının nasıl olacağı konusunda yapılan araştırmada 2023 yılı için üç farklı tahmin yapılmıştır. Buna göre hesaplanan değerler;

- %3,2 ortalama hane halkı gelirine paralel büyüme ile 13,29 \$,

¹ ***İyi bir ücretlendirme politikasında şu hususların dikkate alınması gerekir:*** Sirkülasyon (devininin), kapasite, bölge, park etme karakteristiği, otopark tipi, mevcut tarife, alternatif otopark seçenekleri ve ücretleri, trafik üretim-çekim verileri, aktif/atıl kapasite miktarı, taşıma, esnaf, hane sakini ve abone sayıları ile park etme karakteristikleri, mevcut esnaf, ev sahibi ve abone ücretleri, toplu ulaşım imkanları, ev sahiplerine yönelik özgün uygulamalar (otopark harcı vs.) gibi hususlar dikkate alınarak tespit edilir.

² Sabah 08:00'den 19:00'a kadar olan son 2,5 yıllık yol kenarı otoparklarda araç başına ortalama park etme süresi Avrupa yakasında 115 dakika ve Anadolu yakasında ise 93 dakikadır. İki yakanın tam gün ortalaması 120 dakika olarak tespit edilmiştir.

- %5,2 GSYİH büyümesine paralel büyüme ile 17,26 \$ ve
- %6,3 gelişmiş kentler regresyon modeli büyümesi ile 20,15 \$ şeklindedir [59].

Birinci yöntemde hane halkı gelirindeki %3,2'lik artışa koşut bir büyüme ile 13,29 \$, ikinci yöntemde GSYİH büyümesine koşut büyüme ile %5,2 artış ile merkez alanda ortalama otopark ücretinin 17,26 \$ olacağı hesaplanmıştır. Üçüncü yöntemde ise Colliers International tarafından yapılmış dünya kentleri merkez alanları otopark fiyatlandırması çalışmasından yararlanılarak 2023 yılı İstanbul için merkez alanları fiyatlandırması yapılmıştır. Öncelikle dünya kentlerindeki otopark ücretlerinin özel araç sahipliği ve kişi başına düşen GSYH değerlerinden etkilenip etkilenmediği araştırılmıştır. Dünya genelinde 20 şehirden alınan, 1000 kişi başına düşen otomobil sayısı, kişi başı düşen GSYH ve günlük ortalama otopark ücretlerinden yararlanarak yapılan regresyon modellemesi sonucunda günlük otopark ücretindeki değişkenliğin %92'sinin özel araç sahipliği ve kişi başına düşen gelir değişkenleri ile açıklanabildiği ortaya konmuştur. Bu çalışma sonucunda, otopark ücretinin hesaplanmasında kullanılacak formül aşağıdaki şekilde elde edilmiştir [59]:

$$\text{Günlük Ortalama Otopark Ücreti} = 0,0015 * \text{GSYH} - 0,0436 * \text{Otomobil Sahipliği}$$

Bu formül doğrultusunda İstanbul için 2023 yılı merkez alanı günlük ortalama otopark ücreti 20,15 \$ olarak hesaplanmıştır. Yukarıdaki üç değerlendirme sonucunda 2023 yılı otopark ücretlerinin ortalama 13 \$ ile 20 \$ arasında değişebileceği sonucuna varılmıştır [59].

Stata 14 yazılım programı kullanılarak yapılan regresyon analizi sonucunda İUAP'de verilmiş olan “*Günlük Ortalama Otopark Ücreti (\$) = 0,0015 * KBGSYH - 0,0436 * Otomobil Sahipliği*” formülünde sabit terimin dikkate alınmadığı tespit edilmiştir. Eklerde verilen Tablo E6'da sabit terimli ve sabit terimsiz regresyon analizlerinin sonuçları incelendiğinde sabit terimin istatistiksel olarak anlamlı olduğu ve bu nedenle modelde yer alması gerektiği saptanmıştır. Böylece model “*Günlük Ortalama Otopark Ücreti (\$) = 46,7957 + 0,0007 * KBGSYH - 0,0839 * Otomobil Sahipliği*” olmalıdır. Sabit terimin dikkate alınmaması modelin tahminlerinde sapmaların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Sabit terim olmayan ve sabit terimli ifade de güncel değerler¹ üzerinden günlük ortalama otopark ücreti hesaplandığında sırasıyla; 8,94 \$ ve 39,64 \$ bulunmaktadır. Günlük İstanbul'daki uygulanan ortalama değer ise 4,47 \$'dır. Ayrıca gözlem sayısının 20 ile sınırlı olması, tutarlı tahminler üretecek bir modelin elde edilmesinin önündeki en önemli engellerden biridir.

Yol kenarı ve yol dışı otoparklarda ücretlendirmenin temel bileşenleri: Otopark işletmelerinin ücretlendirme politikaları; karma kullanım, konut dışı ve konut alanındaki, düşük, orta ve yüksek yoğunluklu bölgelerdeki kamulaştırma maliyetleri de göz önünde bulundurularak toplam maliyetin hesaplanmasıyla tespit edilmelidir.² İstanbul'da

¹ İstanbul için KBGSYİH, 11.134 \$ ve otomobil sahipliği ise 178/1000 kişi tespit edilmiştir.

² İstanbul'da yerleşimin dağılımı homojen yapıda olmadığı gibi yayılımda herhangi bir hiyerarşiden de söz edilemez. Bu farklılıkların temel sebebi yereldeki sosyo-ekonomik farklılıklardır. Otopark işletmesinde ve ücret yönetiminde; değişen park alanı ihtiyacı, ekonomik yapı ve işyerleri ile konutların dağılımından dolayı yerelde farklı otopark kullanım düzeyleri söz konusudur. Bir mahalle ile komşu mahalle arasında emlak değeri ve ortalama gelir ile ilgili önemli derecede farklılık olması muhtemeldir. Aynı tip otoparkın, farklı emlak değeri, yerleşim bölgesindeki gelir durumu, otomobil sahipliği ve farklı talep yoğunluğu gibi nedenlerden dolayı farklı ücretlendirmeye tabi olması söz konusudur. Bu temel parametreleri hem ücretlendirme hem de bölgeleme çalışmalarında dikkate almak gerekir.

fiyatlandırma politikalarının sağlıklı yönetilebilmesi için aşağıdaki hususların ve/ya bulguların birlikte dikkate alınması gerekmektedir.

- Fiyatlandırmada ve işletmenin sürdürülebilirliğine yönelik olarak yol kenarı ve yol dışı otoparkların yönetimi ve hizmet kalitesinde; sosyo-ekonomik yapı, otopark talep düzeyi ve araç sahipliğine göre ayarlama/düzenleme yapılmalıdır.
- İSPARK'ın temel yaklaşımlarından biri yol dışı otopark imkanı varsa, yol kenarı otoparkları yol dışı otoparklardan daha yüksek ücretle işletmek suretiyle yol dışı otoparkları teşvik etmektir. Halihazırda İSPARK tarafından işletilen yol kenarı park ücretleri, yol dışı park ücretlerinin ortalama 1,2 katıdır.¹ Ancak bu politika yol kenarı otoparklarda süre kısıtlamalarıyla da desteklenmelidir². Bu yöndeki politikalar eksiktir. Bir başka hususta Tablo 4'den görüldüğü üzere otoparklarda uygulanan ara kademe ücretlerinin bilimsellikten uzak olmasıdır.
- Yol dışı otoparkların ücretlendirmelerinde kamu ve özel sektör otoparkları birlikte düşünülürse daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Ancak burada çelişkili bir durum söz konusudur. İl şartlarında, arsa maliyetleri hariç diğer maliyet unsurları dikkate alınarak birim otopark alanı üretmek için yapılan ortalama yatırım miktarları otopark sistemlerine bağlı olarak 25.000 - 100.000 TL arasında değişkenlik göstermektedir³. Buna ek olarak bölgesel etkin otopark yönetimi yapılmaması ve emlak değerlerinden dolayı özel müteşebbisler katlı otopark yatırımlarından kaçınılmaktadırlar⁴. Bu sorunun çözümüne yönelik şöyle bir politika geliştirilebilir: Farklı işletme bölgelerine göre ücreti daha düşük olan yol dışı otoparkların sübvansede edilebilmesi için yol kenarı otoparkların genel karından yararlanılabilir. Yol kenarındaki karın maksimize edilebilmesi için personele dayalı sistemden vazgeçilmelidir.
- Otoparkların giriş ve günlük ücret sınır değerlerinde temel parametre olarak devinim⁵ dikkate alınmaktadır. İSPARK tarafından işletilen tüm otoparklar kendi içerisinde düşünülerek devinim değeri tespit edilmiştir. Bu bağlamda devinim oranı, 1'in altındaysa düşük; 1 ile 3 arasında orta ve 3'ün üzerinde ise yüksek devinimli otopark olarak tanımlanmıştır. Otoparklardaki ortalama devinim oranları; yol kenarı otoparklarda, 3,1; yol dışı açık otoparklarda 1,7 ve kapalı otoparklarda ise 0,88 olarak hesaplanmıştır. Gelir-gider dengesi incelendiği zaman çoğunlukla, düşük ve orta devinimli otoparklar, kamu tarafından işletiliyorsa sübvansede edilmesi gerektiği de tespit edilmiştir.

¹ Bu hesaplama İSPARK tarafından işletilen otoparklar için yapılmıştır. Ayrıca İSPARK'ın işlettiği otoparkların dışında kalan otoparklar için şu an bir senkronizasyonun yapılması pek mümkün görünmemektedir.

² Dünya uygulamalarında bu problem yol kenarı otoparklarda genel olarak süre sınırı ve ciddi fiyat artışlarıyla sağlanmaktadır.

³ Bu değer İSPARK'taki uygulamalardan elde edilmiştir. EPA, yeraltı otoparklardaki park alanı başına inşaat maliyetini, karma merkezi kentsel alanlarda 25.000 ila 50.000 Euro arasında belirtmektedir [61].

⁴ Her işletme kendi ücret tarifesini kendi tayin etmektedir. Bazı otopark alanlarında ücretli yol kenarı otoparklar; yol dışı otoparklardan daha ucuz olabilmektedir. Hâlbuki araçları yol dışı otoparklara teşvik etmek için yol kenarı otoparklar daha pahalı olmalıdır. Ayrıca ücretsiz, düşük ücretli ya da denetimsiz yol kenarı parklarının bölgesel otopark yönetimiyle kontrol edilmesi de gerekmektedir.

⁵ Devinim; bir birimlik otopark alanını gün boyunca kullanan araç sayıdır.

- Yol kenarı otoparklarda personeller 10 saat esasına göre çalışmakta ve kişi başına ortalama 19; katlı otoparklarda ise çift vardiya usulüyle 24 saat esasına göre çalışılmakta ve yaklaşık personel başına 71 kapasite düşmektedir.¹
- Yol kenarı otoparklardaki ücret artışının yansımada yakın bölgelerde daha cazip yol dışı otopark seçeneğinin bulunup bulunmaması da etkili olmaktadır.
- Yol kenarlarında yüksek ücretten düşük ücrete doğru bir fiyatlandırma politikası izlenmektedir.² Yani ilk dilim ücretini ödeyenler için otoparkta kalmayı özendirici bir politika uygulanmaktadır. Ücret kademelerinin birçok bölge için 0-15 dakika ücretsiz uygulanması haricinde ilk 2 saate kadar 0,5 saat kademeleriyle yapılması gerekir. Bu durum otoparklarda kalma süresinin azalmasına ve doğal olarak otoparklardan daha fazla kullanıcının yararlanmasına olanak sağlar. Bir diğer hususta arama trafiğinin azaltılması da sağlanmış olur.
- Tahakkuk edip tahsil edilemeyen ücretler için yasal adımlar atılmalıdır. Bunun yapılması yol dışı için teşvik edici olacaktır.
- Yerine göre 3-4 saatlik park kısıtlarının uygulanması gerekir. UKOME kararıyla süreyi aşan araçlara günlük ücret uygulaması gerçekleştirilebilir³. Bu durum şu anda uygulanmamaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

İyi düzenlenen ve yönetilen yol kenarı park alanları; yerel ekonomiyi ve sosyal hayatı destekler, çevreyi korur, emniyeti sağlar, araçlı yolculukların toplu taşımaya yönlendirilmesine katkı sunar, mobilite ve şehir yönetimine (imar ve tesis açısından) belirgin faydalar sağlar. Bu çalışmada 2009 ve 2017 yılının ilk 6 ayı dahil toplam 8,5 yıllık bir veri incelemesi yapılarak aşağıdaki neticelere ulaşılmıştır.

İSPARK tarafından işletilen tüm yol kenarı otoparklarda yıllık verilerden ortalama bir günlük otopark doluluk oranlarının saat bazlı dağılımı 5.533.616 işlem üzerinden incelendiğinde; en yoğun giriş %14 oranıyla sabah saat 09.00 ile 10.00 arasında olmuştur. Ayrıca toplam girişin %35'lik dilimi ise 09.00 ile 12.00 saatleri arasında gerçekleşmiştir.

15.191.262 yol kenarı otopark işlemi verileri baz alınarak, günler arasındaki değişim incelenmiştir. Bu incelemede en fazla işlemin haftanın orta günü olan Çarşamba gününde ve en az işlemin de Pazar gününde gerçekleştiği; ayrıca otoparklarda ortalama kalma süresinin Pazar günlerinde diğer günlerden yaklaşık 20 dakika daha uzun olduğu da tespit edilmiştir. Yapılan bir anket çalışmasında sürücülere **“Otopark yeri bulmada en çok zorlandıkları gün?”** sorulmuş; bu soruya %31,5'i Cumartesi, %22'si Pazartesi, %20,3'ü Pazar ve %19,4'ü Cuma günü cevabını vermiştir [47]. Bu cevaplar, bu çalışmadaki verilerle belli düzeyde çelişmektedir.

¹ Mevcut durumda yol kenarı otoparklar %90 düzeyinde 11-12 saat esasına göre işletilmekte ve ücretlendirilmektedir. Yol dışı otoparkların ücretlendirilmesinde bu durum gözardı edilmemelidir.

² Yol kenarı otoparkların giriş ücreti, günlük ücretin minimum değerinin %67'si, maksimum değerinin ise %40'ıdır.

³ Şuanda yol kenarı park alanları kısa süreli park yeri olarak isimlendirilmekte ancak gün boyu park edilebilmektedir. Bu çelişkili bir durumdur.

Ay bazlı incelemede 2015 ve 2016 yıllarına ait 27.658.406 işlem dikkate alınmıştır. En çok işlem her iki yılda da Mart ayında ve en az işlem ise 2015 yılı Şubat ayı ile 2016 yılında ise sırasıyla başta Temmuz ayı olmak üzere Ağustos ve Eylül aylarında gerçekleşmiştir. Bu aylardaki otopark işlem sayısındaki keskin düşüşlerde, 15 Temmuz **kalkışma/darbe girişiminin** etkisi olmuştur. Ortalama park etme süresi 2015 yılı Mayıs ve 2016 yılı Nisan ayında maksimum iken; en az ortalama park etme süresi ise 2015 yılı Ocak ayında 116 dakika ve 2016 yılında ise Şubat ayında 118 dakika olarak gerçekleşmiştir. Ayrıca otoparkta kalma süreleri açısından aylar arasındaki sapma 2015 yılında maksimum 7, 2016 yılında ise 6 dakikadır.

Yıllara göre mevsim bazlı incelemede 2013 - 2016 yılları arasındaki toplam 58.679.693 otopark işlem sayısı dikkate alınmıştır. İşlem sayısı açısından en yüksek değerler ilkbahar mevsiminde olmuştur. 2016 yılının yaz mevsimindeki işlem düşüklüğündeki belirginlikte kalkışmanın etkisi belirleyici olmuştur. Otoparklarda kalma süreleri yıllar geçtikçe artmış ve 2 saat sınırına gelmiştir. Ayrıca mevsimler arası sapma 2013 yılında 7 dakika, 2014 yılında 5 dakika, 2015 ve 2016 yılında ise 3 dakika olarak tespit edilmiştir. Ayrıca 2013-2017 yılları arasındaki mevsim bazlı ortalama park süresi, zaman serisi analizyle incelenmiştir. 2018 yılı için yapılan tahminde ortalama parkta kalma süresinin yaklaşık tüm mevsimlerde %1,8 düzeyinde yani yaklaşık 2,2 dakika artış göstereceği saptanmıştır. Bu incelemenin verileri Tablo E1'de verilmiş ve grafiği ise Şekil E1'de gösterilmiştir.

Yıl bazlı incelemede 2010 ve 2017 yılının ilk altı ayı (7,5 yıllık veriler) dahil toplam 104.550.480 otopark işlemi üzerinden bir tetkik yapılmıştır. Yıllar geçtikçe ortalama park süresinde artma olduğu görülmüştür. Bu artışın iyi irdelenmesi gerekmektedir. Bu durum "yol kenarı otoparkları kısa süreli park alanı olarak tanımlayan bir yönetim" açısından özendirici politikaların geliştirilmesi ve uygulanmasında yeterince etkili olunamadığını göstermektedir. Ayrıca işlem sayısının ilk yıllarda artması ve sonraki yıllarda düşmeye başlaması bazı yol kenarı otoparkların acil ulaşım yolu olarak düzenlenmesinden kaynaklanmıştır.

Saat bazlı son 2,5 yılın ortalaması dikkate alındığında Anadolu yakasında maksimum doluluk oranı %57 ile 14.00-15.00 saatleri arasında; Avrupa yakasında ise yine aynı saatler arasında %86 doluluk oranına erişildiği tespit edilmiştir. Ayrıca yine aynı yakada 12.00-16.00 saatleri arasındaki doluluk oranı %80'i aşmıştır. Doluluk oranı %80'den fazla olan lokasyonlarda ücret-süre yönetim araçlarının yeniden dikkate alınması gerekmektedir.

Anadolu yakasından 3 farklı (YKO 1-3) ve Avrupa yakasında 5 farklı ilçede (YKO 4-8) işletilmekte olan yol kenarı parkların ücret artış miktarları ve bu artışların 1 ay öncesi ve sonrası ortalama işlem sayısı, ortalama park süreleri, 15 dakika girişler, tahakkuk ve tahsilat miktarlarındaki değişimler incelenmiştir. Ücret artışları, otoparkların tam günlük değeri korunarak, giriş ücretlerinin 1 TL arttırılmasıyla ve ara saatlerde çok az düzenlemeler yapılarak uygulanmıştır. 8 otoparkın ilk giriş ücretlerine toplamda yaklaşık %11'lik yapılan zamlar, otoparkları kullanan araç sayısında %2,5 azalma, aynı otoparkların %75'inde devinimde düşme ve toplam devinimde ise %7 düzeyinde azalma olduğu tespit edilmiştir (Tablo E3). Ayrıca YKO-2 otoparkı hariç tüm otoparklarda nakit olarak park süresinde ortalama 5,5 dakika ve 0-15 d ücretsiz giriş yapan araç oranında da ortalama %24 oranında azalma olmuştur. Ancak nakit park süresindeki düşme, ücret artışının müşteride geçici bir süre ürkeklik oluşturmasıyla yorumlanabilir. Çünkü müşteri ilk giriş ücretini peşin

ödediğinden ücret artışının diğer zamanlara da yayılmış olacağı öngörüsünden hareketle parklanmayı daha hızlı sonlandırmak istemiştir.

Anadolu yakasında üç farklı ilçede bulunan YKO-9-10-11 kodlarıyla tanımlanmış olan yol kenarı otoparklarda uygulanan 15 dakika ücretsiz otopark uygulaması bir yıldan az olmayan bir süre uygulandıktan sonra, en az 5 ay kaldırılıp, daha sonra tekrar ilk uygulamaya dönülmüştür. Bu uygulamadan şu tespitler yapılmıştır. 0-15 dakika ücretsiz park uygulamasının geçici bir süre **kaldırılmasıyla** her üç otoparkta da; devinimlerde en az %4,8 ve en çok %13,8 düşme, işlem başı ortalama gelirden en az %44 ve en çok %76 artma, genel tahsilat oranında en az %0 ve en çok %21 artma ile ortalama park etme süresinde en az %12 (11 dakika) ve en çok %21,5'lik (18 dakika) artma tespit edilmiştir.

0-15 dakika ücretsiz park uygulamasının kaldırılmasıyla birlikte gerçekte kısa süreli park etme ihtiyacı bulunan araç sahiplerinin, 5-10 dakikalık park etmek için ücret ödemeyerek, park alanı içine tam parklanma yapmayarak ve/ya akan trafiğe engel oluşturacak şekilde araçlarını ikinci sıraya bırakarak parklanma yaptıkları, ayrıca bu araçların sürücüleri ile otopark personelleri arasında bazen tartışmalar yaşandığı da tespit edilmiştir.

0-15 dakika ücretsiz park uygulamasının geçici bir süre **kaldırıldıktan sonra tekrar uygulamaya alınmasıyla** her üç otoparkta da; devinimde en az %0 ve en çok %5, işlem başı ortalama gelirden en az %19 ve en çok %55, genel tahsilat oranında en az %9 ve en çok %38, ortalama park etme süresinde en az %6 ve en çok %25 ile tahakkuk edip tahsil edilen ücret oranlarında da en az %8 ve en çok %56 artma olmuştur. Ayrıca 0-15 dakika kalmayı beyan ederek ücretsiz yararlanmaların oranında bir otopark hariç belirlenmiş bir azalma olmuştur.

Yapılan incelemelerde yol kenarı otoparklardaki toplam işlem sayısının yaklaşık %18'i 0-15 d ücretsiz seçeneği kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu oranın %33,7'si süre aşımı olmadan otoparktan çıkmıştır. %41'i süre aşımı olmasına rağmen ücretini ödemiş ve %24'ü ise süresini aştığı halde ödeme yapmadan çıkış yapmıştır.

0-15 d ücretsiz seçeneğinden gerçekleşen girişlerin %7,5'lik diliminin 17.00-19.00 saatleri arasında otoparka giriş yaptığı ve %34'lük diliminin ise mesai saati bitimi olan 17.00-19.00 saatleri arasında çıkış yaptığı tespit edilmiştir.

0-15 d ücretsiz seçeneğinden gerçekleşen girişlerde süre aşımı olduğu halde ödeme yapmadan çıkış yapan araçların toplam işlem içerisindeki oranı yaklaşık %4,37'dir. Bir diğer hususta Anadolu yakasına göre Avrupa yakasındaki sürücülerin 0-15 d ücretsiz beyanlarına %4 daha sadakat gösterdikleri tespit edilmiştir.

Yol kenarı otoparklarda genellikle 0-1 saat giriş ücreti olarak 7 ile 8 TL ve kısmen de 0-2 saat girişte aynı ücretler uygulanabilmektedir. Sonraki ilave saatlerde genellikle 1 TL bazen de 2 TL gibi ücretler bir önceki tutara ilave edilmektedir. Günlük ücretler yaygın olarak minimum 12 TL ve maksimum 20 TL'dir. Günlük ücreti 20 TL olan otoparkların giriş ücreti 0-1 saat ve 8 TL olarak uygulanmaktadır. Yol kenarı otoparkların giriş ücreti, günlük ücretin minimum değerinin %67'si, maksimum değerinin ise %40'ıdır. Giriş ücretlerinin yüksekliğini anket sonuçları da doğrulamaktadır. Yapılan bir anket çalışmasında sürücülerin %84,4'ünün İSPARK otoparklarını pahalı bulduğu belirtilmiştir.

Son 7,5 yıllık veriler incelendiğinde yol kenarı parklarda kalma süresi ortalama 2 saatin altındadır. Bir diğer hususta son 2,5 yıllık veriler baz alındığında ise günlük toplam yol kenarı

park işleminin %29'u, 3 saatten daha uzun süre park eden araçlara aittir. Bu duruma giriş ücretlerinin çok yüksek, ara ücretlerin düşük olmasına sebep olmuştur.

Son yıllarda 0-15 dakika ücretsiz girişlerde düşme ve aşan sürelerde ödeme alışkanlıklarında yükselme olmuştur. Bu durum müşterilerin zamanla İSPARK'ı ve dolayısıyla otopark işletmeciliğini daha çok benimsediklerine işaret etmektedir.

Yol kenarı otoparklarda tüm günlük ortalama park ücreti; yoğun bölgelerde 25 TL, orta yoğun bölgede 20 TL ve düşük yoğun bölgelerde ise 12 TL'dir.

Stata 14 yazılım programı kullanılarak yapılan regresyon analizi sonucunda İUAP'de verilmiş olan "*Günlük Ortalama Otopark Ücreti (\$) = 0,0015*KBGSYH - 0,0436*Otomobil Sahipliği*" formülünde sabit terimin dikkate alınmadığı tespit edilmiştir. Tablo E6'da sabit terimli ve sabit terimsiz regresyon analizlerinin sonuçları incelendiğinde sabit terimin istatistiksel olarak anlamlı olduğu ve bu nedenle modelde yer alması gerektiği saptanmıştır. Böylece model "*Günlük Ortalama Otopark Ücreti (\$) = 46,7957 + 0,0007*KBGSYH - 0,0839*Otomobil Sahipliği*" olmalıdır. Sabit terimin dikkate alınmaması modelin tahminlerinde sapmaların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Sabit terim olmayan ve sabit terimli ifade de güncel değerler¹ üzerinden günlük ortalama otopark ücreti hesaplandığında sırasıyla; 8,94 \$ ve 39,64 \$ bulunmaktadır. Günlük İstanbul'daki uygulanan ortalama değer ise 4,47 \$'dır. Ayrıca gözlem sayısının 20 ile sınırlı olması, tutarlı tahminler üretecek bir modelin elde edilmesinin önündeki en önemli engellerden biridir.

Çalışma bağlamında sunulabilecek öneriler:

Özel otomobil kullanımını azaltıcı önlemler olarak, raylı sistem ağının yaygınlaşması ile birlikte orta ve uzun vadede kademeli olarak, tüm yol kenarı otoparklarda düşük ücretten yüksek ücrete doğru bir fiyatlandırmanın benimsenmesi ve merkezi alanlardaki işyeri sahipleri hariç yol kenarı parkların 3 saat ile sınırlandırılması için gerekli stratejiler ve uygulamalar yapılmalıdır.

Yol kenarı otoparkları kısa süreli park alanı olarak tanımlayan bir yönetimin hem kısıtlayıcı hem de özendirici politikalar uygulayarak otoparklardan daha fazla müşterinin yararlanabilmesine olanak sağlaması gerekir.

Yol kenarı park ücretleri, otopark arayarak trafiği yavaşlatan araç sayısını azaltmak ve kaldırım alanlarının kullanımını iyileştirmek için düzenlenmelidir. Yakın gelecekte yol kenarı park ücretleri, talep duyarlılığına dayalı olarak dinamik bir şekilde ayarlanmak suretiyle daha verimli kullanılabilir.

Sürücülere otopark kullanım alışkanlığının kazandırılması ve parklanmanın ücret karşılığı bir hizmet olduğu anlayışının yerleştirilmesi için özendirici stratejiler geliştirilmelidir.

Otopark yönetmeliğinin taslak çalışmasının kamuoyu ile paylaşıldığı bu günlerde yol kenarı otopark düzenlemelerine ilişkin esasların net belirlenmesi ve yasal açıdan ihtilafli hususların giderilmesi sağlanmalıdır.

¹ İstanbul için KBGSYH, 11.134 \$ ve otomobil sahipliği ise 178/1000 kişi tespit edilmiştir.

Yol kenarı otoparklarda belediye adına işletmecilik yapan kuruluşlara denetim yetkisinin verilmesi gerekir.

Ücretsiz, düşük ücretli ya da denetimsiz yol kenarı parkların bölgesel otopark yönetimiyle kontrol edilmesi gerekir. Ayrıca otopark taleplerinin etkin ve verimli yönetilmesi için yol dışı ve yol kenarı otoparklarının bütünleşik olarak ücretlendirilmesi çok önemlidir.

Otopark %80-85'in üzerindeki doluluğa ulaştığında fiyat-süre uygulamaları yeniden gözden geçirilmelidir.

Şehir merkezi ve ana ticaret aksları üzerindeki yol kenarı uzun süreli park işgallerinin kaldırılarak, kısa süreli parklanmalara dönüştürmek ve daha fazla araç için devinim elde etmek gerekir.

Özel aracı ile yolculuk edenlere; park yerleri, gerçek zamanlı doluluk boşluk oranları, ön rezervasyon, kurallar, ücretler ve seçenekler hakkında internet, SMS, telefon uygulamaları, sosyal medya kanalları, radyo-televizyon gibi mecralardan bilgilendirmeler yapılmalıdır.

Yol kenarı otoparkların büyük bir bölümünde denetimli işletmecilik yapılmadığından dolayı, vale park düzenleme esaslarının net bir şekilde belirlenmesi, denetimli ve kayıtlı bir sistem geliştirilmesi gerekir.

Araç işgali altındaki sokakların bir plan dahilinde parklanması, kullanıcı öncelikleri ve süre yönetimi ile park basıncının kontrollü yönetilmesi gerekmektedir.

Yol kenarı parklanma kurallarının ihlal edildiği durumların tanımlandığı, cezaların belirlendiği ve uygulama sürecini belirten bir bilgilendirme kılavuzunun hazırlanması gerekmektedir.

Otopark politikaları, sadece otopark ihtiyacı duyanların değil; etkileri ve sonuçları itibarıyla herkesi ilgilendirdiğinden tüm topluma iyi anlatılmalı ve ortak bir anlayış oluşturulmalıdır. Anlayışın aktarımında "her türlü trafik oluşturanların bedelini ödemesi gerektiğine" özel vurgu yapılmalıdır. Bu yapılırken, iyi bir halkla ilişkiler çalışması ve tamamlayıcı otopark politikaları ile güvenin ve bağlılığın artırılması da sağlanmalıdır.

Otoparklarda arz talep dengesinin bozulduğu zamanlarda, lokal stratejiler belirlenmelidir.

Sokakların ve yol kenarı otopark alanlarının engelli, yaşlı ve çocuklu aileler için güvenli, yayalar için konforlu ve bisiklet kullanıcıları için emniyetli olacak şekilde yeniden tasarlanması gerekmektedir.

İnsana dayalı otopark işletmeciliğinin payı hızlı bir şekilde azaltılmalı ve başta EDS gibi denetim çözümleriyle desteklenen; mobil/SMS park, parkmetre gibi teknolojik ödeme araçlarının daha yaygın uygulanmasına geçilmelidir.

Semboller

EDS : Elektronik Denetleme Sistemi

EPA : Avrupa Park Endüstrisi - European Parking Association

GSYH : Gayri Safi Yurtiçi Hasıla

İBB : İstanbul Büyükşehir Belediyesi

İOAP : İstanbul Büyükşehir Belediyesi - İstanbul Otopark Ana Planı

İSPARK : İstanbul Otopark İşletmeleri Tic. AŞ

İUAP : İstanbul Metropolitan Alanı Kentsel Ulaşım Ana Planı

KBGSYH: Kişi Başına Gayri Safi Yurtiçi Hasıla

TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu

YDO : Yol Dışı Otopark

YKO : Yol Kenarı Otopark

Teşekkür

Çalışmanın gerçekleştirilmesinde, veri desteği sağlayan başta İSPARK AŞ Genel Müdürü Sn. Nurettin Korkut'a, Genel Müdür Yardımcıları Sn. Samet Aslan ve Sn. Salih Selman Cebeci'ye, özellikle Anadolu Yakası İşletmeler Müdürü Sn. Mustafa Tüten ile Veri Analiz Uzmanı Sn. Yasin Ağırılmış'a teşekkürü bir borç bilirim.

Kaynaklar

- [1] Okubay, M., Bölgesel Otopark Yönetimi ve Stratejileri: Tarihi Yarımada - Eminönü Bölgesi Örneği. YTÜ - Fen Bilimleri Enstitüsü - Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2008.
- [2] Barter, P.A., Off-Street Parking Policy without Parking Requirements: A Need for Market Fostering and Regulation. Transport Reviews, 30, 571-588, 2010.
- [3] Asian Development Bank (ADB), Parking Policy in Asian Cities, Manila, 2011.
- [4] Şenbil, M., Yetişkul, E., İstanbul için Gece Parklanma Davranışları Modellemesi. İMO Teknik Dergi, 2016 7515-7532, Yazı 457, 2016.
- [5] Külekçi, O., Ayözen, Y.E. ve İnaç, H., İstanbul Otopark Master Planı Çalışmaları. 4th International Transport and Vehicle Park Areas Management Symposium, CNR Expo, 27-28 May 2015.
- [6] Karasay, T., Mekanik Otopark Tesislerinin Yer Seçimi ve Boyutlandırılması için Genetik Algoritma Tabanlı Bir Yaklaşım. İstanbul Teknik Üniversitesi - Fen Bilimleri Enstitüsü - Bilişim Anabilim Dalı - Mimari Tasarımda Bilişim Bilim Dalı, Yüksek Lisans Türkçe, 2016.
- [7] Shoup, D., The High Cost of Free Parking, Chicago. American Planning Association, 2011.
- [8] Victoria Transport Policy Institute - VTPI, Parking Management, Strategies for More Efficient Use of Parking Resources. Online TDM Encyclopedia, www.vtpi.org, 2015.
- [9] Litman, T., Parking Management, Strategies, Evaluation and Planning. Victoria Transport Policy Institute (www.vtpi.org), 2013.
- [10] Barhani, E. ve Ergün, G., Sürdürülebilir Otopark Stratejileri, 7. Ulaştırma Kongresi, İstanbul. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul Şubesi, 2007.
- [11] Demir, A., Günümüzde ve Gelecekte Otomobil ve Otopark Trendi. 1. Kentiçi Ulaşımında Otopark Politikaları ve Uygulamaları Konferansı, 2009

- [12] Uzun, Ö.L., İstanbul'da Otopark Problemi. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü - Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2009.
- [13] Stone, N., Chicago Ranks Third in The Nation for Parking Costs. Chicago Tribune, <http://www.chicagotribune.com/news>, 2017.
- [14] Groote, J.D., Ommeren, J.V., Koster, H.R.A., Car Ownership and Residential Parking Subsidies: Evidence from Amsterdam. *Economics of Transportation* 6, 25-37, 2016.
- [15] Euronews, The Cost of Parking across Europe - A Euronews Investigation. <http://www.euronews.com>, 10/05/2016, Erişim Tarihi: 14.08.2017
- [16] Özen, M., Küçük Kentlerde Otopark Planlaması ve Yönetimi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı - Ulaştırma Programı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2014.
- [17] Ommeren, J.V., The Economics of Parking: Experiences from the Netherlands. 3. Uluslararası Ulaşım ve Araç Park Alanları Yönetimi Sempozyumu Bildiri ve Sunum Kitabı, Intertraffic İstanbul - İstanbul Exhibition Center, 0-31 May 2013.
- [18] Barhani, E., Parking Management Strategies For Sustainable Transportation 'A Case Study For Istanbul'. Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü - Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2005.
- [19] Uyur, E., Otopark Sorununun Arz ve Talep Temelinde İncelenmesine Yönelik Bir Araştırma: Kadıköy Merkez Örneği. Bahçeşehir Üniversitesi - Fen Bilimleri Enstitüsü - Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi, Yüksek Lisans Türkçe, 2015.
- [20] Ison, S., 21st ACEA Parking Management Policy: Its Potential in Improving Urban Traffic Flows. Loughborough University, March 2014.
- [21] Albert Gragera, A. ve Albalade, D., The Impact of Curbside Parking Regulation on Garage Demand. *Transport Policy* 47, 160-168, 2016.
- [22] Concas, S., Nayak, N., A Meta-Analysis of Parking Price Elasticity. In: Proceedings of the TRB Annual Meeting, Washington, DC, 2012.
- [23] Gillen, D.W., Estimation and Specification of The Effects of Parking Costs on Urban Transport Mode Choice. *J. Urban Econ.* 4, 186-199, 1977.
- [24] Shoup, D.C., Wilson, R., Employer-Paid Parking: The Problem and Proposed Solutions. *Transp. Q.* 46, 169-196, 1992.
- [25] Khodaii, A., Aflaki, E., Moradkhani, A., Modeling The Effect of Parking Fare on Personal Car Use. *Trans. A: Civil Eng.* 17, 209-216, 2010.
- [26] Kobus, M.B.W., Guitierrez-i-Puigarnau, E., Rietveld, P., Van Ommeren, J.N., The On-Street Parking Premium and Car Drivers' Choice between Street and Garage Parking. *Reg. Sci. Urban Econ.* 43, 395-403, 2013.
- [27] Kelly, J.A., Clinch, J.P., Influence of Varied Parking Tariffs on Parking Occupancy Levels by Trip Purpose. *Transp. Policy* 13, 487-495, 2006.
- [28] Simicevic, J., Milosavljevic, N., Maletic, G., Kaplanovic, S., Defining Parking Price Based on Users' Attitudes. *Transp. Policy* 23, 70-78, 2012.
- [29] Hess, D.B., The Effects of Free Parking on Commuter Mode Choice: Evidence from Travel Diary Data. *Transp. Res. Rec.* 1753, 35-42, 2001.

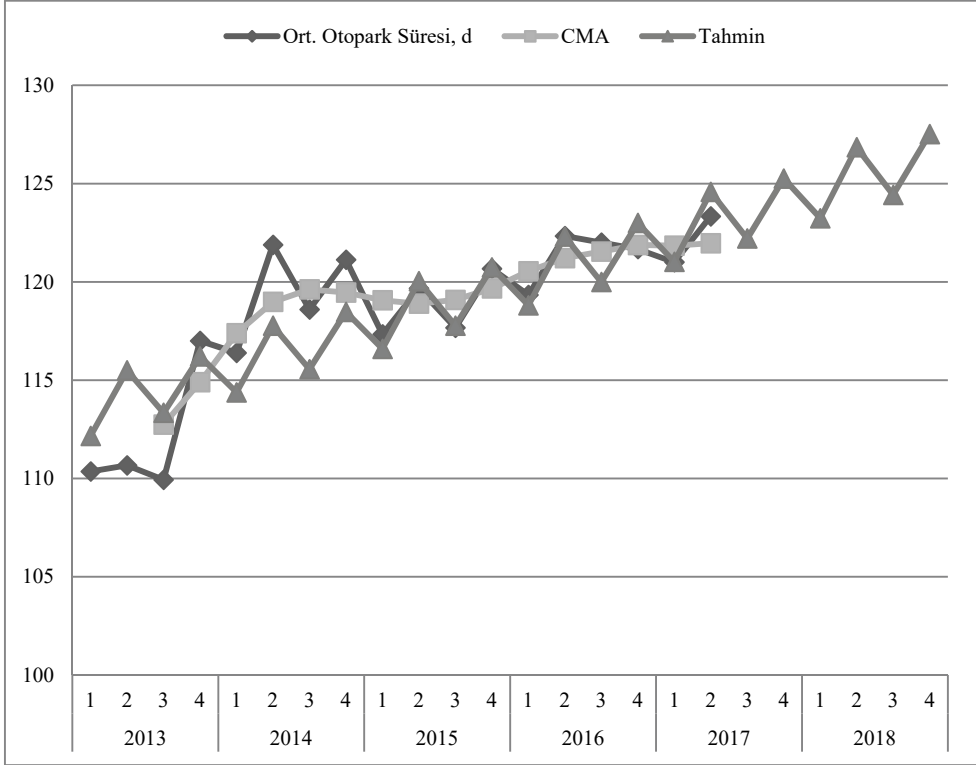
- [30] Weis, C., Vrtic, M., Widmer, P., Axhausen, K.W., Influence of Parking on Location and Mode Choice: A Stated Choice Survey. In: Proceedings of the 91st TRB Annual Meeting, Washington, DC, 2012.
- [31] Tsamboulas, D.A., Parking Fare Thresholds - A Policy Tool. *Transport Policy* 8, 115–124, 2001.
- [32] Simicevic, J., Vukanovic, S., Milosavljevic, N., The Effect of Parking Charges and Time Limit to Car Usage and Parking Behaviour. *Transp. Policy* 30, 125–131, 2013.
- [33] Gragera, A., The Economics of Parking: Essays on Regulation. Competition and Information Frictions, Universitat de Barcelona, <http://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/118745>, 2017.
- [34] Barter, P., On-street Parking Management. SUTP, GİZ, 2016.
- [35] İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB), İstanbul Otopark Ana Planı – İOAP, 2016.
- [36] Shoup, D., The High Cost of Free Parking. Planners Press (www.planning.org), 2005.
- [37] Litman, T., Parking Pricing Implementation Guidelines How More Efficient Parking Pricing Can Help Solve Parking and Traffic Problems, Increase Revenue, and Achieve Other Planning Objectives. Victoria Transport Policy Institute, 2016.
- [38] AT - Auckland Transport, AT Parking Strategy Document 2015.
- [39] SFMTA, Demand-Responsive Parking Pricing Policies, On-Street Parking Meters and Off-Street Lots. San Francisco Municipal Transportation Agency, December 5, 2017.
- [40] İnci, E., Kentte Parklanmanın Politikası. 3. Uluslararası Ulaşım ve Araç Park Alanları Yönetimi Sempozyumu Bildiri ve Sunum Kitabı, Intertraffic İstanbul - İstanbul Exhibition Center, 0-31 May 2013.
- [41] Palmer, D. ve Ferris, C., Parking Measures and Policies Research Review. Transport Research Laboratory, 27.05.2010
- [42] Berg, N., Lots to Lose: How Cities Around The World Are Eliminating Car Parks. <https://www.theguardian.com/cities/2016/sep/27/cities-eliminating-car-parks-parking>, Tue 27 Sep 2016.
- [43] Liu, Y., Wang, W. ve diğ., Metropolis Parking Problems and Management Planning Solutions for Traffic Operation Effectiveness. *Mathematical Problems in Engineering*, 1-6, 2012.
- [44] Evaluation Report, On-Street Car Sharing Pilot Program. San Francisco Municipal Transportation Agency, Sustainable Streets Division-Parking, January 2017.
- [45] Belloche, S., On-street Parking Search Time Modelling and Validation with Survey-based Data. *Transportation Research Procedia* 6, 313 – 324, 2015
- [46] Arnott, R. ve Rowse, J., Downtown Parking in Auto-City. *Regional Science and Urban Economics*, 39(1), 1-14, 2009.
- [47] Kozalı, B., Kentiçi Otopark Hizmetlerinde Özel Sektör Katılımının Sürücülerin Park Etme Tercihleri ve Tutumları Üzerine Etkisi. *Journal of Life Economics*, 1(2), 191-191.
- [48] Litman, T., Parking Pricing Implementation Guidelines. Victoria Transport Policy Institute, 2010.
- [49] Gurbetci, K., Demir, A., Çavdar, A., İstanbul'da Sürdürülebilir Ulaşımında Otomobil Ögesi. TRODSA, 4. Ulusal Yol ve Trafik Güvenliği Kongresi, Bil. Kitabı, 201-211, Ankara, 2007.

- [50] Demir, A., Çavdar, A., Yol Kenarı Park Etme Teknolojileri ve İstanbul Uygulaması. OTEKON'08-4. Otomotiv Teknolojileri Kongresi, Bil. Kitabı, 645-653, Bursa, 2008.
- [51] Yardım, M.S., Demir, A., İstanbul Otopark Yönetimde Akıllı Ulaştırma Sistemlerinin Kullanımı. İMO, 8. Ulaştırma Kongresi, 2009.
- [52] Gurbetci, K., Demir, A., Karahmet, A., Otopark Uygulamalarında Teknoloji, Çevre ve Emniyet Faktörleri. İlke Yayıncılık, ISBN: 978-605-5961-38-1, 2014.
- [53] İnci, E., Bedava Park Etmenin Dayanılmaz Hafifliği. Uluslararası Otopark Politikaları ve Uygulamaları Sempozyumu, Mayıs, İstanbul, 2011.
- [54] Kladeftiras, M., Antoniou, C., Simulation-Based Assessment of Double-Parking Impacts on Traffic and Environmental Conditions. Dec 2013.
- [55] İSPARK – İstanbul Otopark İşletmeleri Tic. AŞ, Otoparklarla İlgili Bir Kısım Verileri Tedarik Edilmesi, Görüşme Yazışma Usulü, 10.08.2017.
- [56] TÜİK-Türkiye İstatistik Kurumu, Motorlu Kara Taşıtları, Ocak 2017. Sayı: 24596, 10 Mart 2017, www.tuik.gov.tr, Erişim Tarihi: 06.05.2017.
- [57] İsimli, İstanbul Nüfusu. <http://www.nufusu.com/il/istanbul-nufusu>, Erişim Tarihi: 10.07.2017
- [58] TÜİK-Türkiye İstatistik Kurumu, Nüfus İstatistikleri. www.tuik.gov.tr, Erişim Tarihi: 06.05.2017.
- [59] İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB), İstanbul Metropolitan Alanı Kentsel Ulaşım Ana Planı - İUAP, Mayıs 2011.
- [60] Irmscher, I., Otopark Tasarımı, Planlama İlkeleri, Projeler ve Yapılar. YEM Yayın, ISBN: 978-605-4793-46-4, s.78, 2015.
- [61] EPA, Outline of The Umbrella Organization of The European Parking Industry. European Parking Association, [epa-booklet_2015.pdf](#), Erişim Tarihi: 10.05.2018.

EKLER

Tablo E1 - Zaman serisi analiziyle 2013-2017 yılları arasındaki mevsim bazlı ortalama park süresi

t	Yıl	Mevsimler	Ortalama Park Süresi, d	MA	CMA	St, It	St	Deasonal	Tt	Forecast
1	2013	1	110,36				0,989	111,58	113,41	112,16
2		2	110,66				1,013	109,20	113,97	115,50
3		3	109,94	111,99	112,74	0,98	0,990	111,09	114,53	113,34
4		4	117,00	113,50	114,90	1,02	1,010	115,87	115,09	116,21
5	2014	1	116,39	116,30	117,38	0,99	0,989	117,69	115,65	114,38
6		2	121,88	118,47	118,98	1,02	1,013	120,27	116,21	117,77
7		3	118,60	119,50	119,62	0,99	0,990	119,84	116,77	115,56
8		4	121,13	119,74	119,46	1,01	1,010	119,96	117,33	118,47
9	2015	1	117,33	119,18	119,06	0,99	0,989	118,64	117,89	116,59
10		2	119,67	118,95	118,89	1,01	1,013	118,09	118,45	120,04
11		3	117,67	118,83	119,08	0,99	0,990	118,90	119,01	117,77
12		4	120,67	119,33	119,67	1,01	1,010	119,50	119,57	120,73
13	2016	1	119,33	120,00	120,54	0,99	0,989	120,66	120,13	118,81
14		2	122,33	121,08	121,21	1,01	1,013	120,72	120,69	122,31
15		3	122,00	121,33	121,54	1,00	0,990	123,28	121,25	119,99
16		4	121,67	121,75	121,88	1,00	1,010	120,49	121,81	123,00
17	2017	1	121,00	122,00	121,84	0,99	0,989	122,35	122,37	121,02
18		2	123,33	121,68	121,97	1,01	1,013	121,70	122,93	124,58
19		3	120,70	122,26			0,990	121,97	123,49	122,21
20		4	124,00				1,010	122,81	124,05	125,26
21	2018	1					0,989		124,61	123,24
22		2					1,013		125,17	126,85
23		3					0,990		125,73	124,42
24		4					1,010		126,29	127,52



Şekil E1 - Zaman serisi analiziyle 2013-2017 yılları arasındaki mevsim bazlı ortalama park süresi ve 2018 yılı tahmini

Tablo E2 - 2010 ve 2017 yılındaki giriş ve günlük ücret tarifeleri¹

	Giriş Saati ve Ücreti (TL)				Tam Gün Ücreti (TL)	
	2010		2017		2010	2017
	0-2	0-3	0-1	0-2		
YKO-2	5*			7	10	12
YKO-4	4	6	7	8	10	15
YKO-5	5	7	8	10	17	20
YKO-6	5	7	7	8	12	14
YKO-7	4	6	7	8	12	14
YKO-8	3	5	7	8	10	13
YKO-9	4	6	7	8	10	15
YKO-10		5	7	8	10	14

* Günlük sabit ücret 5 TL dir.

¹ Tarife değişikliği 2017'nin başı itibari ile geçerlidir.

İstanbul'da Yol Kenarı Parklarda Kullanıcı Alışkanlıklarının İncelenmesi

Tablo E3 - Zam öncesi ve sonrası otoparklardaki günlük ortalama işlem ve devinim oranları

Otopark Lokasyonları	Kapasite	Tarife değişikliği, TL		Günlük Ortalama İşlem Sayısı		Devinim	
		Önce	Sonrası	Öncesi	Sonrası	Önce	Sonra
YKO-1	10	0-1: 6	0-1: 6	95	94	9,50	9,40
YKO-2*	70	0-2: 6	0-2: 7	359	369	5,13	5,27
YKO-3	70	0-1: 6	0-1: 7	483	445	6,90	6,35
YKO-4	16	0-1: 6	0-1: 7	77	68	4,81	4,25
YKO-5	38	0-1: 7	0-1: 8	190	148	5,00	3,89
YKO-6**	19	0-1: 6	0-1: 7	114	195	6,00	10,26
YKO-7	60	0-1: 7	0-1: 7	411	364	6,85	6,07
YKO-8	58	0-1: 6	0-1: 7	286	280	4,93	4,83

* Zam öncesi 0-15 d giriş 169 Zam sonrası 0-15 d giriş 188

** Zam öncesi 0-15 d giriş 76 Zam sonrası 0-15 d giriş 137

Tablo E4 - Yol kenarı otoparklarda uygulanmakta olan ücretlendirme¹

Park etme süresi, saat	Kullanım oranı, %	Bölgelerin ücreti, TL		
		Yoğun	Orta yoğun	Düşük yoğun
0-1	35	9	7	4
0-2	20	12	9	6
0-4	12	16	11	7
0-6	5	18	12,5	8
0-12	5	22	15	10
Aylık abone (Günlük)	15	13	9	6

Tablo E5 - Yol dışı otoparklarda ortalama otopark birim ücretinin hesaplanması

Otopark	Kapasite	Devinim	Günlük araç başı ücret, TL
YDO-1	250	0,8	12,49
YDO-2	275	1,1	17,96
YDO-3	250	1,4	6,52
YDO-4	150	1,5	5,62
YDO-5	250	2	10,6
YDO-6	750	2,5	15,68
YDO-7	240	1,2	16,02
YDO-8	500	1,5	5,91
YDO-9	420	2	18,17

¹ Değerlendirmelerde ortak zemin oluşturabilmek için yol kenarı ücretlendirme süresi 12 saat üzerinden dikkate alınmıştır.

Tablo E6 - Sabit terimli ve terimsiz regresyon modeli istatistikleri

Sabit terimli model

Source	SS	df	MS	Number of obs =	20
Model	2163.51467	2	1081.75734	F(2, 17) =	17.90
Residual	1027.20437	17	60.4237866	Prob > F =	0.0001
				R-squared =	0.6781
				Adj R-squared =	0.6402
Total	3190.71904	19	167.932581	Root MSE =	7.7733

ücret	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
GSYIH	.0007026	.0002685	2.62	0.018	.0001362 .001269
sahiplik	-.0838953	.016513	-5.08	0.000	-.1187347 -.049056
_cons	46.79566	12.74339	3.67	0.002	19.90946 73.68186

Sabit terimli model (robust)

Linear regression	Number of obs =	20
	F(2, 17) =	28.76
	Prob > F =	0.0000
	R-squared =	0.6781
	Root MSE =	7.7733

ücret	Coef.	Robust Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
GSYIH	.0007026	.0002455	2.86	0.011	.0001846 .0012206
sahiplik	-.0838953	.0123158	-6.81	0.000	-.1098794 -.0579113
_cons	46.79566	10.43678	4.48	0.000	24.77598 68.81534

Sabit terimsiz model

Source	SS	df	MS	Number of obs =	20
Model	23714.7276	2	11857.3638	F(2, 18) =	115.87
Residual	1842.00096	18	102.333387	Prob > F =	0.0000
				R-squared =	0.9279
				Adj R-squared =	0.9199
Total	25556.7285	20	1277.83643	Root MSE =	10.116

ücret	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
GSYIH	.0014915	.0002095	7.12	0.000	.0010514 .0019317
sahiplik	-.0436425	.016072	-2.72	0.014	-.0774084 -.0098766

Sabit terimsiz model (robust)

Linear regression	Number of obs =	20
	F(2, 18) =	99.60
	Prob > F =	0.0000
	R-squared =	0.9279
	Root MSE =	10.116

ücret	Coef.	Robust Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
GSYIH	.0014915	.000173	8.62	0.000	.001128 .001855
sahiplik	-.0436425	.0115657	-3.77	0.001	-.0679411 -.0193439

Korelasyon tablosu

	ücret	GSYIH sahiplik	
ücret	1.0000		
GSYIH sahiplik	0.4350	1.0000	
sahiplik	-0.7405	-0.1037	1.0000

TEKNIK NOT

Yağışın Alansal Dağılımının Haritalandırılmasında Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması: Akdeniz Bölgesi Örneği

Ahmet İLKER¹
Özlem TERZİ²
Erhan ŞENER³

ÖZ

Çalışmada, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile Akdeniz Bölgesi'nde yağışın alansal dağılım haritaları oluşturulmuştur. Ters Mesafe Ağırlıklı, Kriging ve Spline enterpolasyon yöntemleri kullanılmıştır. Haritaların doğruluk analizi, determinasyon katsayısı (R^2) ve karekök ortalama hata değerlerine göre yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, genel olarak IDW enterpolasyon yönteminin uygun sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Ayrıca, Kriging yöntemi de bazı istasyonlarda IDW yönteminden daha yüksek R^2 değerleri vermiştir. Akdeniz Bölgesi'nde yağışın alansal dağılımında IDW enterpolasyon yönteminin kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akdeniz Bölgesi, yağış, CBS, IDW, kriging, spline.

ABSTRACT

Comparing of Interpolation Methods in Mapping Spatial Distributions of Rainfall: Case Study of Mediterranean Region

In the study, spatial distribution maps of rainfall in the Mediterranean Region have been prepared with Geographic Information Systems (GIS). Inverse Distance Weighted (IDW), Kriging and Spline interpolation methods have been used. The accuracy analysis of maps has been made regarding the determination coefficient (R^2) and the root mean square error values. Examining results of the analysis, it has been determined that IDW interpolation method usually provides appropriate results. Moreover, Kriging interpolation method gives higher

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 11.08.2017 günü ulaşmıştır. 17.04.2018 günü yayımlanmak üzere kabul edilmiştir.
- 31 Temmuz 2019 gününe kadar tartışmaya açıktır.

• <https://dx.doi.org/10.18400/tekderg.334186>

1 Çankırı Karatekin Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çankırı - ahmetilker@karatekin.edu.tr
<https://orcid.org/0000-0002-6276-7309>

2 Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta - ozlemterzi@sdu.edu.tr
<https://orcid.org/0000-0001-6429-5176>

2 Süleyman Demirel Üniversitesi, Uzaktan Algılama Merkezi, Isparta - erhansener@sdu.edu.tr
<https://orcid.org/0000-0001-6263-8366>

Yaklaşık 120.000 km²'lik yüzölçümüyle Türkiye'nin toplam yüzölçümünün yaklaşık %15'ini oluşturur (Şekil 1). Yıllık sıcaklık ortalaması 18°C'dir. Kıyıda yıllık yağış miktarının 1000 mm'yi bulduğu yerler vardır. Akdeniz kıyıları kış mevsiminin en ılık geçtiği bölgemizdir.

Çalışmada, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'ne ait Akdeniz Bölgesi'nde bulunan 99 adet meteoroloji istasyonunun uzun yıllar aylık toplam yağış ortalaması verileri (1975-2009) kullanılmıştır.

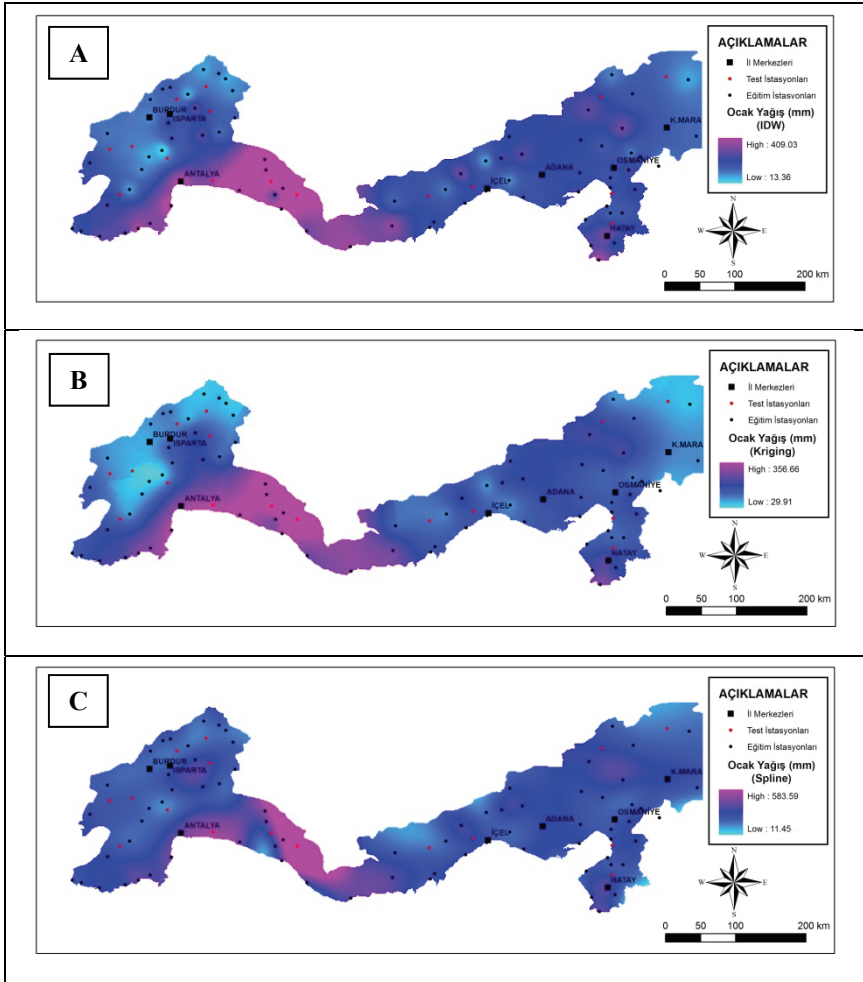
2.2. Enterpolasyon Yöntemleri

Coğrafi bilgi sistemi (CBS) temelinde bir bilgi sistemidir. Bilgi sistemleri genel olarak "bilgi elde etmek için, verileri önceden belirlenmemiş biçimlerde anlık yöntemlerle kullanılmak üzere saklayan bir sistem" biçiminde tanımlanmaktadır. CBS ortamında enterpolasyon ve raster yüzey oluşturmanın çeşitli yolları vardır. Bu çalışmada IDW (Inverse Distance Weighted), Spline ve Kriging enterpolasyon yöntemleri, değerleri bilinmeyen noktaları doğru bir şekilde kestirmek için kullanılmıştır. Modellenen veri türüne göre seçilen enterpolasyon yöntemleri daha doğru modeller ortaya koyar. Bunun yanında fazla sayıda ölçüm yapılması ve noktaların olabildiğince üniform dağılımı da güvenilir sonuçların ortaya çıkmasını sağlamaktadır [2].

Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi (Inverse Distance Weighted – IDW) örneklem nokta verilerinden enterpolasyonla grid üretmede çoğunlukla tercih edilen bir yöntemdir. IDW enterpolasyon tekniği enterpole edilecek yüzeyde yakındaki noktaların uzaktaki noktalarda daha fazla ağırlığa sahip olması esasına dayandırılmıştır. Bu teknik enterpole edilecek noktadan uzaklaştıkça ağırlığı da azaltan ve örneklem noktalarının ağırlıklı ortalamasına göre bir yüzey enterpolasyonu yapar. Kriging enterpolasyon yöntemi konumsal tahmin için kullanılan geoistatistiksel esaslı bir yöntemdir. Bu yöntem, matematiksel jeodezide kollokasyon olarak bilinen en iyi lineer yansız tahminci ya da en iyi lineer yansız hesaplayıcı olarak tanımlanır. Kriging yöntemi birçok alanda kullanılabilirliği ve popüleritesi kanıtlanmış bir enterpolasyon yöntemidir [3]. Spline enterpolasyon yöntemi ise giriş değerlerinden (değeri bilinen noktalar) minimum eğrilik yüzeyi geçirerek enterpolasyon işlemini gerçekleştirmektedir. Bu yöntem yükseklik, su derinliği haritası ve hava kirliliği grafiklerinde tercih edilir. Bu fonksiyon kısa yatay mesafelerde büyük değişimlerin olduğu veriler için uygun değildir [2].

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, Akdeniz Bölgesi için farklı enterpolasyon teknikleri ile yağışın alansal dağılım haritaları oluşturulmuştur. Bunun için, bölgede bulunan 99 adet meteoroloji istasyonunun uzun yıllar aylık toplam yağış ortalaması verileri kullanılmıştır. Yılın her ayı için üç farklı enterpolasyon tekniği ile seçilen 80 adet istasyonun verileri kullanılarak yağış dağılım haritaları oluşturulmuştur. Doğruluk analizi için kalan 19 adet istasyon verileri kullanılarak Akdeniz Bölgesi için yağış dağılımında en uygun enterpolasyon yöntemi belirlenmeye çalışılmıştır. Söz konusu olan 19 adet doğruluk analizi test istasyonlarının konumları ve ölçüm değerleri ve veri gurubundaki yerleri belirlenirken, Doğru vd. [4]'nde belirtilen hususlar göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 2- Ocak ayı ortalama yağış dağılım haritaları (A-IDW, B-Kriging, C- Spline)

ArcGIS yazılımı ortamında Mekansal Analiz (Spatial Analyst) aracı kullanılarak, Ters Mesafe Ağırlıklı (Inverse Distance Weighted – IDW), Ordinary Kriging ve Spline enterpolasyon yöntemleriyle her ay için yağış dağılım haritaları oluşturulmuştur (Şekil 2). DMİ tarafından ölçülen yağış değerlerinin minimum ve maksimum değerleri ile IDW, Kriging ve Spline enterpolasyon yöntemleri kullanılarak elde edilen yağış dağılım haritalarından okunan minimum ve maksimum yağış değerleri incelendiğinde, çalışma bölgesinin en çok kış aylarında (Aralık, Ocak, Şubat) yağış aldığı tespit edilmiştir. Bu değerler mevsimlere göre incelendiğinde ise, kış mevsiminden sonra sırasıyla sonbahar, ilkbahar ve yaz mevsimlerinde en çok yağış aldığı görülmüştür. Bölge, minimum yağışı Ağustos ayında (0.1 mm), maksimum yağışı (409.1 mm) Ocak ayında almıştır. Özellikle Mayıs, Haziran, Ekim, Kasım ile nispeten Mart ve Nisan aylarında üç enterpolasyon

yöntemine göre yağışın minimum ve maksimum gözleendiği alanlar birbirine çok yakın sonuçlar vermiştir. Diğer aylarda ise enterpolasyon sonuçlarının nispeten birbirlerinden çok daha farklı sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Örneğin Ocak ayı yağış dağılım haritaları incelendiğinde üç enterpolasyon yöntemine göre maksimum yağışın Antalya çevresinde olduğu görülmüştür. Minimum yağışın ise IDW yöntemine göre Burdur, Kriging yöntemine göre Burdur, Isparta ve Kahramanmaraş, Spline yöntemine göre ise İçel çevresinde olduğu görülmüştür.

Çizelge 1 - Doğruluk analizi istasyonları için hesaplanan R² ve KOH değerleri

İstasyon adı	IDW		Kriging		Spline	
	R ²	KOH (mm)	R ²	KOH (mm)	R ²	KOH (mm)
Gelendost	0.73	12.56	0.50	16.95	0.39	18.77
Atabey	0.57	12.48	0.55	12.68	0.80	8.41
Aksu	0.85	15.94	0.76	19.78	0.73	20.95
Kemer-Sertaç	0.79	5.83	0.75	6.32	0.25	10.99
Tefenni	0.92	5.27	0.93	5.24	0.69	10.66
Dağ	0.30	39.60	0.69	26.48	0.27	40.41
Elmalı	0.95	5.38	0.55	16.43	0.82	10.50
Serik	0.94	20.24	0.94	19.62	0.89	26.75
Güzelsu-Antalya	0.87	40.66	0.80	50.03	0.87	40.52
Köprülü	0.85	38.37	0.88	34.63	0.67	57.14
Kırobası	0.42	21.53	0.46	20.78	0.39	22.20
Kuzucubelen	0.56	24.46	0.46	27.03	0.38	29.08
Adana	0.95	7.85	0.94	8.95	0.58	23.80
Serinyol	0.93	12.87	0.94	11.73	0.94	11.86
Payas-Yakacık	0.52	15.36	0.40	17.06	0.36	17.65
Osmaniye	0.96	6.99	0.97	6.01	0.91	11.06
Kahramanmaraş	0.82	20.34	0.79	21.77	0.80	21.38
Saimbeyli	0.75	21.65	0.69	23.75	0.65	25.54
Afşin	0.74	10.61	0.44	15.43	0.32	16.97

Ortalama yağışın 12 aylık periyot boyunca alansal dağılımında en uygun enterpolasyon yöntemini belirlemek için, doğruluk analizinde kullanılan istasyonlardan ölçülen yağış değerleri ile enterpolasyon yöntemlerinden elde edilen yağış değerleri determinasyon katsayısı (R²) ve karekök ortalama hata (KOH) değerlerine göre karşılaştırılmıştır (Çizelge 1). Buna göre 19 adet analiz istasyonundan 10 adet istasyonda IDW enterpolasyon yönteminde yüksek R² ve en düşük KOH değerleri elde edilmiştir. Bu istasyonlar içerisinde

en yüksek R^2 (0.96) ve en düşük KOH (6.99 mm) değerleri Osmaniye istasyonunda hesaplanmıştır. Analiz istasyonlarına bakıldığında Dağ, Kırobası, Payas-Yakacık, Kuzucubelen ve Atabey istasyonlarında diğer istasyonlara göre nispeten daha düşük R^2 değerleri elde edilmiştir. Kriging enterpolasyon yönteminde ise sırasıyla Osmaniye, Adana, Serinyol, Serik ve Tefenni istasyonlarında diğer istasyonlara göre daha yüksek R^2 değerleri bulunmuştur. Spline enterpolasyon yöntemi ile Serinyol ve Osmaniye istasyonlarında en yüksek R^2 değerleri elde edilmiştir. Bütün istasyonlar için kullanılan yöntemler incelendiğinde, genel olarak IDW yöntemi en başarılı yöntem olarak belirlenmekle birlikte en yüksek R^2 değerini Kriging yöntemi 0.97 ile Osmaniye istasyonunda vermiştir.

Kırobası, Kuzucubelen ve Payas-Yakacık istasyonlarının R^2 değerlerinin, bütün enterpolasyon yöntemlerinde düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun sebebi araştırıldığında, üç istasyonun da çevrelerindeki meteoroloji istasyonlarından yağış rejimleri ve aylık yağış değerleri olarak farklılıklar gösterdiği tespit edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Çalışmada, DMİ Genel Müdürlüğü'nden temin edilen yağış verileri ile CBS ortamında IDW, Kriging, Spline enterpolasyon yöntemleri kullanılarak ortalama aylık yağış dağılım haritaları oluşturulmuştur. Söz konusu haritaların R^2 ve KOH kriterlerine göre doğruluk analizini yapmak için 19 adet meteoroloji istasyonu test istasyonu olarak kullanılmıştır. Test istasyonlarının doğruluk analizine göre Akdeniz Bölgesi için yağışın alansal dağılımının haritalanmasında en uygun yöntemin IDW enterpolasyon yöntemi olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Spline enterpolasyon yönteminin yağışın alansal dağılımının haritalanmasında uygun olmadığı tespit edilmiştir. Yağışın iklim, bitki örtüsü ve topoğrafya gibi faktörler ile doğrudan ilişkili olduğu düşünüldüğünde Akdeniz Bölgesi'ne benzer özellikler gösteren ve yağış rejimi benzer olan bölgelerde yağışın alansal dağılımının haritalanmasında IDW enterpolasyon yönteminin uygulanabilir olduğu görülmüştür.

Çalışmada kullanılan tüm enterpolasyon yöntemlerinde, Kırobası, Kuzucubelen ve Payas-Yakacık istasyonlarında başarılı sonuçlar elde edilememesinin sebebi olarak sözkonusu istasyonların yakınlarındaki istasyonlardan yağış miktarları bakımından farklılık göstermesi düşünülmektedir.

Sonuç olarak, hidroloji çalışmalarında önemli bir parametre olan yağışın belirli bir alan üzerindeki dağılımı hakkında bilgi sahibi olabilmek, meteoroloji istasyonunun bulunmadığı noktalarda yağış miktarını tahmin edebilmek, istasyonların arızalanması veya veri kaybı gibi durumlarda tahmin yapabilmek için IDW enterpolasyon yönteminin kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

Teşekkür

“Akdeniz Bölgesi'nde Yağışın Alansal Dağılımı” konuluve 2192-YL-10 no.lu proje kapsamında bu çalışmayı maddi olarak destekleyen SDÜ Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Güler, M., Kara, T., Alansal Dağılım Özelliği Gösteren İklim Parametrelerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Belirlenmesi Ve Kullanım Alanları; Genel Bir Bakış, OMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, 22(3), 322-328, 2007.
- [2] Şen, A., Elektrik Alan Şiddetlerinin Ölçümü ve Coğrafi Bilgi Sistemi Ortamında Yapay Sınır Ağları İle Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [3] Köroğlu, S., Farklı Enterpolasyon Yöntemlerinin Hacim Hesabına Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [4] Doğru, A. Ö., Keskin, M., Özdoğdu, K., İliev, N., Uluğtekin, N. N., Balçık, Bektaş, F., Göksel, Ç., Sözen, S., Meteorolojik Verilerin Değerlendirilmesi ve Sunulması İçin Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması, TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, Antalya, 2011.

TMMOB İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI

TEKNİK DERGİ YAZIM KURALLARI

1. Yazı tümüyle (metin, çizelgeler, denklemler, çizimler) bilgisayarda düzenlenmeli ve baskıya hazır biçimde teslim edilmelidir. Yazı, A4 (210 x 297 mm) boyutlu kağıda, Word ortamında, 10 punto (ana başlık 15 punto) Times New Roman font kullanılarak, bir aralıkla yazılmalı, kağıdın sol ve sağ yanında 40 mm, üst ve alt yanlarında 52.5 mm boşluk bırakılmalıdır.
2. Çizimler ve çizelgelerle birlikte, makaleler 25 sayfadan, teknik notlar 6 sayfadan daha uzun olmamalıdır.
3. Yazı, DergiPark sistemi üzerinden gönderilmelidir. (<http://dergipark.gov.tr/tekderg>)
4. Metin yalnız bir dil ve anlatımla yazılmalı, Türkçe yazım kurallarına uygun olmalı, üçüncü tekil şahıs ve edilgen fiiller kullanılmalı, devrik cümleler içermemelidir.
5. Başlık kısa (en çok 10 kelime) ve açık olmalı, içeriği yansıtabilmelidir.
6. Bölümler (i) öz ve anahtar kelimeler, (ii) diğer dilde başlık, öz ve anahtar kelimeler, (iii) ana metin, (iv) semboller, (v) teşekkür (gerekliyse) ve (vi) kaynaklar sırası içinde düzenlenmelidir.
7. İki dildeki öz çalışmanın amacını, kapsamını, yöntemini ve ulaşılan sonuçları kısaca tanımlamalı ve 100 kelimeyi aşmamalıdır. Gerekli görüldüğünde, öz(ler) yazara sorulmadan yeniden yazılabilir. En az üç tane anahtar kelime verilmelidir. İki dildeki başlık ve öz ve anahtar kelimeler birinci sayfaya sığdırılmalı, birinci sayfanın altında on satır boş bırakılmalı ve ana metin ikinci sayfadan başlatılmalıdır.
8. Bölüm ve alt bölüm başlıkları numaralanmalıdır (TS1212).
9. Semboller uluslararası kullanıma uygun seçilmeli; her bir sembol ilk kullanıldığı yerde tanımlanmalı, ayrıca metnin sonunda (Kaynaklardan önce) tüm semboller alfabetik sıra ile (önce Latin, sonra Yunan alfabesi) listelenmelidir.
10. Denklemler numaralanmalı ve bu numaralar satır sonunda parantez içinde gösterilmelidir.
11. Çizelgeler, çizimler ve fotoğraflar metin içine yerleştirilmeli, birbirine numara ve başlık verilmeli ve başlıklar çizim ve fotoğrafların altına, çizelgelerin üstüne yazılmalıdır.
12. Yazılarda yalnızca SI birimleri kullanılmalıdır.
13. Etik kuralları gereğince, alıntılar tırnak içinde verilmeli ve bir referans numarası ile kaynak belirtilmelidir.
14. Teşekkür olabildiğince kısa olmalı, çalışmaya katkısı ve desteği bulunan kişi ve kuruluşlar belirtilmelidir.
15. Kaynaklar metinde köşeli parantez içinde numaralanmalı ve kaynaklar listesinde metin içinde verilmiş sırasına uygun biçimde belirtilmelidir. Kaynaklarda şu bilgiler verilmelidir:
Kaynak makale ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, makalenin tam başlığı, derginin adı, cilt, sayı, başlama ve bitiş sayfaları, yıl.
Örnek : Naghdi, P. M., Kalnins, A., On Vibrations of Elastic Spherical Shells. J. Appl. Mech., 29, 65-72, 1962.
Kaynak kitap ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, kitabın adı, cilt numarası, varsa editörü, yayımlandığı yer, yayımlandığı yıl.
Örnek : Kraus. H., Thin Elastic Shells, New York. Wiley, 1967.
Kaynak bildiri ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, bildirinin adı, konferansın adı, yapıldığı yer, yıl.
Kaynak tez ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, tezin adı, derecesi, sunulduğu üniversite, yıl.
Kaynak rapor ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, raporun adı, türü, numarası, kuruluşun adı, yayımlandığı yer, yıl.
16. Teknik Dergi’de yayımlanmış bir yazı ile ilgili tartışma yazıları, en fazla iki sayfa olmalı, değinilen noktaları somut ve kısa biçimde ifade etmeli, yazarı değil içeriği eleştirmeli ve nezaket kurallarına uygun bir dille yazılmalıdır. Yazar yanıtları da yukarıda belirtilen ilkelere uygun olmalıdır.
17. Aynı bir sayfada düzenlenmiş bir bilgi notu yazı ile birlikte gönderilmelidir. Bilgi notunda, (i) yazar adları, iş ve ev adresleri ile telefon numaraları, (ii) yazarların kısa birer özgeçmişleri ve (iii) tüm yazarlarca imzalanmış olan “Bu yazının tümüyle özgün bir çalışmanın ürünü olduğunu ve daha önce, bu veya buna benzer bir biçimiyle, hiçbir yerde yayımlanmadığını, dürüstlük içinde bildiririm.” notu bulunmalıdır.
18. Sorumlu yazar tarafından imzalanmış telif hakkı devir formu da yazı ile birlikte gönderilmelidir.

İÇİNDEKİLER

Mesnetlerinden Farklı Yer Hareketlerine Maruz Çok Katlı Çerçevesinin Deplasman Yüklemesine Göre Analizi.....	9053
Çağlayan HIZAL, Gürsoy TURAN	
Batı Akdeniz Havzası Sınırlarının Yüksek Doğrulukla Belirlenmesi.....	9073
Türkay GÖKGÖZ, Mustafa ERDOĞAN, Kemal SEYREK, İ. Murat OZULU	
İstanbul'daki 2000 Yılı Sonrası Binalar İçin Tasarıma Esas Deprem Seviyesi Altında Karşılaştırmalı Yapısal Hasar ve Mali Kayıp Tahminleri.....	9107
Ufuk HANCILAR, Karin ŞEŞETİYAN, Eser ÇAKTI	
Tarihi Yapı Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesinde Yeni Bir Yöntem Önerisi: Lala Paşa Camii Örneği.....	9125
İrfan KOCAMAN, Dilek OKUYUCU, İlker KAZAZ	
İnşaat Sektöründe Mesleki Eğitim Performans Göstergeleri.....	9147
Zeynep İŞİK, Cenk BUDAYAN, Hande ALADAĞ, Gökhan DEMİRDÖĞEN, Tamer YILMAZ, David ARDITI	
İstanbul'da Yol Kenarı Parklarda Kullanıcı Alışkanlıklarının İncelenmesi	9175
Abdullah DEMİR	
TEKNİK NOT	
Yağışın Alansal Dağılımının Haritalandırılmasında Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması: Akdeniz Bölgesi Örneği.....	9213
Ahmet İLKER, Özlem TERZİ, Erhan ŞENER	

ISSN: 1300-3453