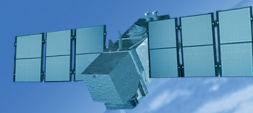


# JEODEZİ VE JEOİNFORMASYON DERGİSİ

## JOURNAL OF GEODESY AND GEOINFORMATION



TMMOB

Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası

UCTEA Chamber of Survey and Cadastre Engineers



TMMOB

**Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası**

**Yayıncı / Publisher**

TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası  
UCTEA Chamber of Surveying and Cadastre Engineers, Turkey

**Yayın İdare Merkezi / Head Office**

Sümer 1 Sokak, No: 12 / 4, Kızılay, Ankara - Turkey  
Tel: + 90 (312) 2325777 • Fax: + 90 (312) 2308574  
jjd@hkmo.org.tr ; hkmojjd@gmail.com  
dergipark.org.tr/hkmojjd

**Tasarım ve Mizanpaj / Design & Layout**

TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası  
UCTEA Chamber of Surveying and Cadastre Engineers, Turkey

**Baskı & Cilt / Printing & Binding**

*Elma Teknik Basım Matbaacılık Ltd. Şti.*  
İvedik OSB Matbaacılar Sitesi 151/1 Sokak No:36  
Yenimahalle Ankara - Turkey  
Tel: +90 (312) 229 92 65 • Fax: +90 (312) 231 67 06  
elma@elmateknikbasim.com.tr

**Basım Tarihi / Publication Date: Kasım 2019 / November 2019**

**Baskı Adedi / Circulation: 2000**

Hakemli bir dergidir. / A Peer - reviewed journal.

Yaygın ve süreli yayındır. / A widely distributed periodical.

Yılda iki defa yayımlanır (Mayıs - Kasım) / Published semiannually (May - November).

[Cilt/Volume:06] [Sayı/Issue:02] [Kasım/November 2019] [Dergi No/Journal No.:110]

[ISSN: 2147-1339] [e-ISSN: 2667-8519]

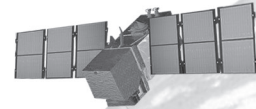


UCTEA

**Chamber of Survey and Cadastre Engineers**

# JEODEZİ VE JEOİNFORMASYON DERGİSİ

JOURNAL OF  
GEODESY AND GEOINFORMATION



TMMOB

Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası

UCTEA Chamber of Survey and Cadastre Engineers

# JEODEZİ VE JOURNAL OF GEODESY

## EDİTÖR / EDITOR IN CHIEF

Doç. Dr. Bahattin ERDOĞAN  
Yıldız Teknik Üniversitesi  
İstanbul

## EDİTÖR YARDIMCILARI / CO-EDITORS

Doç. Dr. Tarık TÜRK  
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi  
Sivas

Doç. Dr. Nursu TUNALIOĞLU  
Yıldız Teknik Üniversitesi  
İstanbul

## EDİTÖR KURULU / EDITORIAL BOARD

Prof.Dr.Arif Çağdaş AYDINOĞLU,  
Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli

Prof.Dr.Atunç PIRTI,  
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Prof.Dr.Cengizhan İPBÜKER  
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Prof.Dr.Çetin CÖMERT  
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon

Prof.Dr.Çetin MEKİK  
Hacettepe Üniversitesi, Ankara

Prof.Dr.Ekrem TUŞAT  
Konya Teknik Üniversitesi, Konya

Prof.Dr.Erol KÖKTÜRK  
Okan Üniversitesi, İstanbul

Prof.Dr.Faik Ahmet SESLİ  
Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun

Prof.Dr.Ferruh YILDIZ  
Konya Teknik Üniversitesi, Konya

Prof.Dr.Haluk ÖZENER  
Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul

Prof.Dr.Haluk KONAK  
Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli

Prof.Dr.Hülya DEMİR  
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Prof.Dr.İbrahim Öztuğ BİLDİRİCİ  
Konya Teknik Üniversitesi, Konya

Prof.Dr.İsmail Rakıp KARAS  
Karabük Üniversitesi, Karabük

Prof.Dr.Mahmut Onur KARSLIOĞLU  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara

Prof.Dr.Metin SOYCAN  
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Prof.Dr.Mualla YALÇINKAYA  
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon

Prof.Dr.Mustafa TÜRKER  
Hacettepe Üniversitesi, Ankara

Prof.Dr.Naci YASTIKLI  
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Prof.Dr.Nebiye MUSAOĞLU  
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Prof.Dr.Necla ULUĞTEKİN  
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Prof.Dr.Oğuz GÜNGÖR  
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon

Prof.Dr.Rahmi Nurhan ÇELİK  
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Prof.Dr.Sebahattin BEKTAŞ  
Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun

Prof.Dr.Süleyman Savaş DURDURAN  
Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya

Prof.Dr.Şenol Hakan KUTOĞLU  
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak

Prof.Dr.Taşkın KAVZOĞLU  
Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli

Prof.Dr.Uğur DOĞAN  
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Doç.Dr.Ahmet Özgür DOĞRU  
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Doç.Dr.Aydın ÜSTÜN  
Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli

Doç.Dr.Ayşe YAVUZ ÖZALP  
Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin

Doç.Dr.Devrim AKÇA  
Işık Üniversitesi, İstanbul

Doç.Dr.Emine Tanır KAYIKÇI  
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon

Doç.Dr.Güler YALÇIN  
Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye

Doç.Dr.Halil AKINCI  
Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin

Doç.Dr.Hüseyin TOPAN  
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak

Doç.Dr.Murat UYSAL  
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar

Doç.Dr.M.Tevfik ÖZLÜDEMİR  
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Doç.Dr.Özgün AKÇAY  
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale

Doç.Dr.Saygın ABDİKAN  
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak

Doç.Dr.Sultan KOCAMAN GÖKÇEOĞLU  
Hacettepe Üniversitesi, Ankara

Doç.Dr.Taylan ÖCALAN  
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Doç.Dr.Uğur AVDAN  
Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir

Doç.Dr.Volkan ÇAĞDAŞ  
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Dr.Öğr.Üyesi Caner GÜNEY  
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Dr.Öğr.Üyesi Emin Özgür AVŞAR  
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale

Dr.Öğr.Üyesi Mehmet Güven KOÇAK  
İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, İzmir

Dr.Öğr.Üyesi Melis UZAR  
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Dr.Öğr.Üyesi Nusret DEMİR  
Akdeniz Üniversitesi, Antalya

## SAHİBİ (HKMO adına)

OWNER (on behalf of CSCE)  
Orhan KASAP  
HKMO, Ankara

## YAZI İŞLERİ MÜDÜRÜ MANAGING EDITOR

Ali İPEK  
HKMO, Ankara

## YAYIN KURULU / PUBLICATION BOARD

Bahattin ERDOĞAN, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Nursu TUNALIOĞLU, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Tarık TÜRK, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas

Taylan ÖCALAN, HKMO, Ankara

Timur Bilinç BATUR, HKMO, Ankara

# JEOİNFORMASYON DERGİSİ AND GEOINFORMATION

## Dergi Hakkında

Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası'na ait altı ayda bir yayımlanan (Mayıs ve Kasım ayları), hakemli, açık erişimli, süreli, özgün makalelerin yer aldığı bilimsel bir dergidir.

## Amaç ve Kapsam

Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi, jeodezi, jeoinformasyon bilimleri ve teknolojileri konularında geniş kapsamlı araştırma alanlarını içermektedir. Geleneksel çalışma alanlarının yanında, yer bilimleri, yere yönelik uzay bilimleri ve ilişkili disiplinler arası çalışmalara da dergide yer verilmektedir.

Dergide en az iki bilim insanı veya araştırmacı tarafından hakem değerlendirmesinden geçmiş, aşağıda listelenen alanlarda Türkçe veya İngilizce makaleler yayımlanmaktadır.

- Ölçme ve Algılama Sistemleri
- Matematiksel, Fiziksel, Uzay ve Mühendislik Jeodezisi
- Yer Bilimleri
- Uzaktan Algılama
- Fotogrametri
- Yere Yönelik Uzay Bilimleri
- Kartografya
- Coğrafi Bilgi Sistem ve Teknolojileri
- Arazi Yönetimi
- Yazılım Geliştirme

## Makale Gönderme

Makale gönderme, değerlendirme ve düzenleme süreçleri <http://dergipark.gov.tr/hkmojjd> sistemi üzerinden gerçekleştirilmektedir.

## Telif Hakkı Bildirimi

Jeodezi ve Jeoinformasyon dergisi ücretsiz ve açık erişimli bir dergidir. Uygun şekilde kaynak göstermek koşulu ile makalenin herhangi bir bölümünün araştırma, çalışma, ders veya bilimsel ve teknik dokümanlarda kullanımı ücretsizdir. Ticari amaçla kopyalanması ve kullanımı TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası'ndan alınacak özel izne tabidir.

## Yayın Etiği

Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi bünyesindeki tüm yayınlar için yayın etiğini en yüksek standartlarda uygulamayı amaçlar ve "The Committee on Publication Ethics (COPE)" tarafından ortaya konulan kural ve ilkelere uymayı taahhüt eder.

## About the Journal

Journal of Geodesy and Geoinformation is a peer-reviewed, semiannual (May and November), open access journal, which covers original scientific manuscripts, published by UCTEA Chamber of Surveying and Cadastre Engineers, Turkey.

## Aim and Scopes

Journal of Geodesy and Geoinformation covers a broad range of research topics in geodetic and geoinformation sciences and technologies. Besides the traditional areas, it also includes study fields concerned with the earth sciences, earth-oriented space sciences and related interdisciplinary subjects.

The journal publishes peer-reviewed papers in the fields listed below in both English or Turkish, which are reviewed by at least two scientists and researchers.

- Surveying and Sensoric
- Mathematical, Physical, Space and Engineering Geodesy
- Earth Sciences
- Remote Sensing
- Photogrammetry
- Earth Oriented Space Sciences
- Cartography
- Geographical Information Systems and Technologies
- Land Management
- Software Development

## Submission of Manuscript

Manuscript submission, review and editing processes are available on <http://dergipark.gov.tr/hkmojjd>

## Copyright Information

Journal of Geodesy and Geoinformation is an open access and free of charge journal. There is no charge for use of any part of this publication in research, study, teaching or republications in scientific and technical documents, but the materials must be cited appropriately. Use and reproduction for commercial purposes requires special permission from Chamber of Surveying and Cadastre Engineers.

## Publication Ethics

Journal of Geodesy and Geoinformation aims to apply high quality ethical standards for all publications and commits to obey the rules and principles of "The Committee on Publication Ethics (COPE)".

# İÇİNDEKİLER

# CONTENTS

---

## ARAŞTIRMA MAKALELERİ / RESEARCH ARTICLES

Hassas mutlak nokta konulamada GIPSY-OASIS II v6.4 yazılımı ile elde edilen varyans kovaryans matrisinin güvenilirliğinin araştırılması

Investigation of reliability of the variance covariance matrices obtained from GIPSY-OASIS II v6.4 software for precise point positioning..... 75-86

*Bahattin Erdoğan, Orhan Kayacık, Ali Hasan Doğan*

GNSS alıcılarındaki saat sıçramalarının hassas nokta konumlama (PPP) performansına etkisinin araştırılması

Investigation the impact of clock jumps in GNSS receivers on the performance of precise point positioning (PPP) ..... 87-95

*Berkay Bahadır, Metin Nohutcu*

Almanya’da arazi düzenlemesi

Land readjustment in Germany ..... 96-114

*Volkan Çağdaş , Hans Joachim Linke*

Hız-ve-durum sürtünme yasaları ve Burridge-Knopoff yay blok sistemi kullanılarak depremlerin dinamik modellenmesi

Modelling of earthquakes by using Rate-and-State friction laws on the Burridge-Knopoff spring-block system ..... 115-127

*Eyüp Sopaçı*

## DERLEME / REVIEW

Mekansal zekanın getirdiği paradigma değişimi

Mekansal zekanın getirdiği paradigma değişimi/ Paradigm ..... 128-142

*Caner Güney*

---

## Hassas mutlak nokta konumlamada GIPSY-OASIS II v6.4 yazılımı ile elde edilen varyans kovaryans matrisinin güvenilirliğinin araştırılması

Bahattin Erdoğan<sup>1\*</sup> , Orhan Kayacık<sup>1</sup> , Ali Hasan Doğan<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Davutpaşa Kampüsü, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Esenler, İstanbul.

**Öz:** Hassas Mutlak Konum Belirleme (Precise Point Positioning - PPP) tekniği, harita/geomatik mühendisliği uygulamalarında son yıllarda öne çıkan önemli konulardan birisidir. PPP tekniğinde konumu belirlenecek noktada yalnızca bir tek Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri (Global Navigation Satellite Systems (GNSS)) alıcısının kullanılması yeterlidir. Bu nedenle kullanıcılar bu tekniği birçok uygulamada geleneksel bağıl konumlama yöntemine göre tercih etmektedirler. PPP tekniği ile yapılan çalışmalarda veri değerlendirme ve analiz aşamalarında günümüzde genellikle bilimsel yazılımlar kullanılmaktadır. Bu yazılımlardan elde edilen Varyans kovaryans (VKV) matrisleri ise çok iyimser sonuçlar vermektedir. VKV matrislerinden hesaplanan değerler istatistiksel yorumlamalarda önemli etkiye sahip unsurlardır. GNSS veri değerlendirmesi sonucunda elde edilen VKV matrisleri deformasyon analizi gibi jeodezik çalışmalarda kullanılmaktadır. Bu bağlamda araştırmacılar VKV matrislerini ölçekleme ihtiyacı hissetmektedirler. Bu çalışmada, Uluslararası GNSS Servis (International GNSS Service – IGS) ağına ait 10 adet sürekli gözlem yapan sabit referans istasyonlarının, 2014 yılına ait 11 günlük verileri GIPSY-OASIS II v6.4 bilimsel yazılımı kullanılarak PPP tekniği ile analiz edilmiştir. 2, 4, 6, 8, 12 ve 24 saatlik gözlem süreleri için GIPSY-OASIS II v6.4 PPP sonuçlarından elde edilen VKV matrislerine ait ölçek faktörü kestirilmesi amaçlanmıştır. Analiz sonuçlarına göre ölçek faktörü değerlerinin gözlem süresi arttıkça büyüdüğü gözlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Hassas mutlak konum belirleme, GIPSY-OASIS II v6.4, Varyans kovaryans matrisi, Ölçek faktörü, Güvenirlilik

### Investigation of reliability of the variance covariance matrices obtained from GIPSY-OASIS II v6.4 software for precise point positioning

**Abstract:** In recent years Precise Point Positioning (PPP) technique is one of the most important subjects in Geomatic Engineering. PPP technique needs only one Global Navigation Satellite Systems (GNSS) receiver thus users have preferred it instead of traditional relative positioning technique for several applications. Nowadays, scientific software generally has been used for PPP solutions and the Variance covariance (VCV) matrices estimated from software are very optimistic. The formal errors estimated from VCV matrices have major effects on statistical interpretation. VCV matrices derived from GNSS processing software play important role for deformation analysis and scientists sometimes need to scale VCV matrices. In this study, 10 continuously operating International GNSS Service (IGS) reference stations have been considered for 11 days dated 2014. All points have been analyzed by GIPSY-OASIS II v6.4 scientific software. It is aimed to estimate scale factor for the PPP results obtained from GIPSY-OASIS II v6.4 with considering different session durations as 2, 4, 6, 8, 12 and 24 hours. According to the results, the values of the scale factors raise depending on the raises in respect of session duration.

**Keywords:** Precise point positioning, GIPSY-OASIS II v6.4, Variance covariance matrix, Scale factor, Reliability

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tel: +90 212 383 5291

Geliş Tarihi/Received: 04.03.2019  
Kabul Tarihi/Accepted: 30.07.2019



0000-0002-8060-9208, berdogan@yildiz.edu.tr (Erdoğan B.)  
0000-0001-6394-4197, orhan\_kayacik@hotmail.com (Kayacık O.)  
0000-0002-8490-890X, alihasan@yildiz.edu.tr (Doğan A.H.)

## 1. Giriş

Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri (Global Navigation Satellite Systems – (GNSS)) yapay uydulardan uzay geriden kestirme tekniğine dayalı olarak geliştirilmiş bir konum belirleme yöntemidir. Jeodezik çalışmalarda her türlü hava koşulunda çalışabilmesi, noktaların birbirini görmesini gerektirmemesi, gece-gündüz gözlem yapılabilmesi ve hassas konum bilgisinin elde edilebilmesi gibi katkılarından dolayı günümüzde farklı nitelikteki pek çok uygulamada sıklıkla tercih edilmektedir. GNSS ölçme yöntemi, temel jeodezik ağların oluşturulması, kadastral çalışmalar, batimetrik ölçmeler, tektonik hareketlerin modellenmesi, deformasyonların izlenmesi, çeşitli mühendislik uygulamaları vb. gibi cm, mm duyarlılığında hassas konum doğruluğu gerektiren çalışmalarda etkin biçimde kullanılmaktadır (Gao, Wojciechowski & Chen, 2005; Calais, Han, DeMets & Nocquet, 2006; Dixon, 2006; Ohta, Meilano, Sagiya, Kimata & Hirahara, 2006; Ohta vd., 2008; Larson & Miyazaki, 2008; Geng, Teferle, Meng & Dodson, 2010; Reilinger, McClusky, Paradisis, Ergintav & Vernant, 2010; Doğan, Tunahoglu, Erdoğan & Öcalan, 2018). Bu çalışmalarda genellikle konumu iyi bilinen referans noktalarına dayalı olarak yeni noktaların koordinatlarının belirlenmesinde bağıl konum belirleme yöntemi kullanılmasına karşın, günümüzde bu yöntem alternatif hassas mutlak konum belirleme (Precise Point Positioning (PPP)) tekniği de sıklıkla tercih edilir olmuştur. PPP tekniği tek bir GNSS alıcısı ile başta uydu yörünge-saat düzeltme bilgileri ile diğer hata kaynaklarına ilişkin düzeltme modellerinin kullanıldığı mutlak konumlama tekniğidir. Bu teknikte bağıl konum belirleme tekniklerinden farklı olarak koordinatı bilinen bir ya da daha fazla referans istasyonuna gereksinim duyulmamaktadır. Zumberge, Heflin, Jefferson, Watkins ve Webb (1997) bu teknikle başka bir alıcıya ihtiyaç duymaksızın, kod ve faz ölçülerinin lineer kombinasyonlarının kullanılmasıyla cm hassasiyetinde konum doğruluğu elde edilebileceğini ortaya koymuştur. Kouba ve Héroux (2001) ve Gao ve Shen (2001) GNSS hata kaynaklarının elimine edilmesinde uydu ve alıcı arasındaki fark alma tekniklerini kullanmak yerine, dış düzeltme unsurları olarak adlandırılan ürün ve modeller kullanmıştır. Günümüzde PPP tekniği ile gerçekleştirilen 24 saatlik çözümlerde yatay koordinat bileşenlerinde 2-3 mm, düşey koordinat bileşeninde ise 5 mm hassasiyetinde konum bilgisine ulaşılabilmektedir (Wang, 2013). Her ne kadar tamsayı belirsizliği çözümü aşamasında uzun yakınsama süresi ihtiyacı olsa da bu yöntem ile elde edilen doğruluğun, bağıl konum belirlemeye alternatif olabileceği vurgulanmaktadır (Tekiç, 2009; Öcalan, 2015).

GNSS yöntemiyle elde edilen konum bilgilerinin doğruluğu çözüm tekniğiyle birlikte ölçüm yöntemi, çevresel ve atmosferik etkiler, manyetik fırtınalar ve kullanılan yazılım gibi etkenlere bağlıdır. İstenilen doğruluğa ulaşılabilmesi için hata kaynaklarının çözüm aşamasında veya öncesinde giderilmesi gerekmektedir. Bundan dolayı verilerin değerlendirildiği yazılımın seçimi de önem arz etmektedir. Ancak her ne kadar yazılımlardan elde edilen konum doğrulukları istenilen seviyede olsa da Varyans-Kovaryans (VKV) matrisleri, fiziksel korelasyonların ihmal edilmesi, sistematik hataların modellenememesi ve epoklar arası korelasyonların dikkate alınmamasıyla çözüm aşamasında sadece blok-diagonal matrislerin hesaba katılmasından dolayı iyimser sonuçlar vermektedir (Ananga, Coleman & Rizos, 1994; McClusky vd., 2000; Nocquet, Calais & Nicolon, 2002; Geirsson, 2003; Kashani, Wielgosz & Grejner-Brzezinska, 2004). Bu durum VKV matrislerine dayalı istatistiksel testlerin yanlış yorumlanmasına sebep olmaktadır. Yorumlamalarda doğru sonuçların elde edilebilmesi için VKV matrislerinin daha gerçekçi elde edilmesi gerekmektedir. Varyans bileşen kestirimi, standartlaştırma ve ölçekleme gibi farklı yöntemler kullanılarak daha gerçekçi VKV matrisi elde edilmesiyle ilgili birçok çalışma gerçekleştirilmiştir (Ananga vd., 1994; Han & Rizos, 1995; Geirsson, 2003; Kashani vd., 2004; Li, Shen & Lou, 2011; Li, Lou & Shen, 2015; Çetin, Aydın & Doğan, 2018; Erdoğan & Doğan, 2019). Geirsson (2003), Bernese yazılımından hesaplanan her bir koordinat bileşeni için ayrı ayrı ölçek faktörlerini (ÖF) hesaplamıştır. Çalışmada ÖF değerleri doğu bileşeni için 4.2, kuzey bileşeni için 3.9 ve yukarı bileşen için 2.3 olarak belirlense de yatay bileşenler için 4, düşey bileşen için 2.5 değerleri seçilmiştir. Kashani vd. (2004) çalışmasında Geirsson (2003)'ün aksine her bileşen için ayrı bir kestirim yapmak yerine tüm bileşenler için tek bir değer belirlemiştir. Bernese ve Gamit yazılımları için ÖF değerleri sırasıyla 23 ve 1.9 olarak belirlenmiştir. Han ve Rizos



(1995)'de ise epok korelasyonları dikkate alınarak standartlaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Standartlaştırılan VKV matrislerinin %4 oranında iyileştiğinin vurgulanmasına rağmen yine de bu matrislerin ölçeklenmesi gerektiği vurgulanmıştır. Çetin vd. (2018) de bir ölçekleme çalışması gerçekleştirmiştir. Bernese ve Gamit yazılımları ile elde edilen çözümlerinin dikkate alındığı bu çalışmada ÖF değerleri sırasıyla 3.82 ve 0.38 olarak hesaplanmıştır. Erdoğan ve Doğan (2019) Bernese v5.2 yazılımı sonuçlarının ölçeklendirilmesi amacıyla gözlem süresine bağlı olarak logaritmik bir fonksiyon ortaya koymuştur.

Literatürdeki birçok çalışmada bağıl konum belirleme yöntemiyle elde edilen VKV matrislerinin güvenilirliği araştırılmıştır. Bu çalışmada ise PPP çözümlerinden elde edilen VKV matrislerinin güvenilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Bunun için GIPSY-OASIS II v6.4 yazılımı kullanılarak 10 adet sürekli gözlem yapan GNSS istasyonuna ait 11 günlük veriler bu araştırmada kullanılmıştır. Çalışmada yer merkezli kartezyen dik koordinat sisteminde gerçekçi VKV matrislerinin elde edilebilmesi için ÖF değerleri kestirilmiştir. Ayrıca, koordinatlara ait zaman serilerindeki uyumsuz ölçüleri belirlemek için Medyan ve ÖF kestirimi aşamasında ise modelden uzaklaşan ölçüleri dışlamak için Pope test yöntemi kullanılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde, PPP yönteminin matematiksel modeli ve hata kaynakları açıklanmaktadır. Üçüncü bölümde, ÖF değerlerinin kestirimi için kullanılan veri analiz modelleri ortaya konmuş, dördüncü bölümde, ÖF analizleri incelenmiştir. Beşinci bölümde ise çalışmanın sonuçlarına yer verilmektedir.

## 2. PPP Matematiksel Modeli ve Hata Kaynakları

PPP tekniği tek bir GNSS alıcısı kullanılarak mutlak konumlama ile cm seviyesinde konum doğruluğunun elde edilmesini sağlayan bir yöntemdir. PPP yöntemi ilk olarak Zumberge vd. (1997)'de ortaya konulmuştur. Kouba ve Héroux (2001) PPP yönteminde kod ve faz ölçülerinin lineer kombinasyonlarını ve Uluslararası GNSS Servisinin (International GNSS Service – IGS) sağladığı hassas yörünge ve saat ürünlerini kullanarak PPP'nin temel matematiksel modelini ortaya koymuşlardır. Bu modelde hem taşıyıcı faz hem de kod gözlemlerinin birlikte kullanılması, yüksek doğrulukla nokta konumlama için çok önemlidir. PPP tekniğinde geleneksel anlamda iyonosfer kaynaklı hataların etkisini azaltmak için çift frekanslı GPS gözlem modelleri benimsenmiştir. Buna göre iyonosfer-bağımsız kod ve taşıyıcı faz gözlemleri, L3 olarak bilinen kombine edilmiş iyonosfer-bağımsız yapıya dönüştürülmektedir. Böylece GPS sinyalinin iyonosfer tabakasında uğradığı kayıklıklar (refraksiyon bias), büyük oranda elimine edilmektedir (Öcalan, 2015). Eşitlik (1) ve (2)'de Kouba ve Héroux (2001) tarafından verilen PPP yönteminin basitleştirilmiş matematiksel modeli görülmektedir.

$$\ell_p = \rho + c (dT - dt) + Tr + \varepsilon_p \quad (1)$$

$$\ell_\phi = \rho + c (dT - dt) + Tr + N\lambda + \varepsilon_\phi \quad (2)$$

Burada;  $\ell_p$  ve  $\ell_\phi$  sırasıyla iyonosfer bağımsız kod ve faz ölçülerini,  $\rho$ ; uydusu ve alıcı arasındaki geometrik mesafeyi,  $dT$  ve  $dt$  sırasıyla alıcı ve uydusu saat hatalarını,  $Tr$ , troposferik gecikmeyi,  $N$ , faz ölçülerinin başlangıç tamsayı belirsizliğini,  $\varepsilon_p$  ve  $\varepsilon_\phi$  kod ve faz ölçülerindeki gürültüleri ifade etmektedir.

Uydusu ve alıcı arasında hesaplanan geometrik mesafe  $\rho$ , bir t epeğinde yayınlanan uydusu konumu ( $X_s, Y_s, Z_s$ ) ile alıcı ( $X_r, Y_r, Z_r$ ) konumunun fonksiyonu olarak (3) eşitliğiyle hesaplanmaktadır.

$$\rho = \sqrt{(X_s - X_r)^2 + (Y_s - Y_r)^2 + (Z_s - Z_r)^2} \quad (3)$$

PPP çözümlerinin doğruluğunun artırılabilmesi için hata kaynaklarının ürünler yardımıyla veya modellenerek giderilmesi

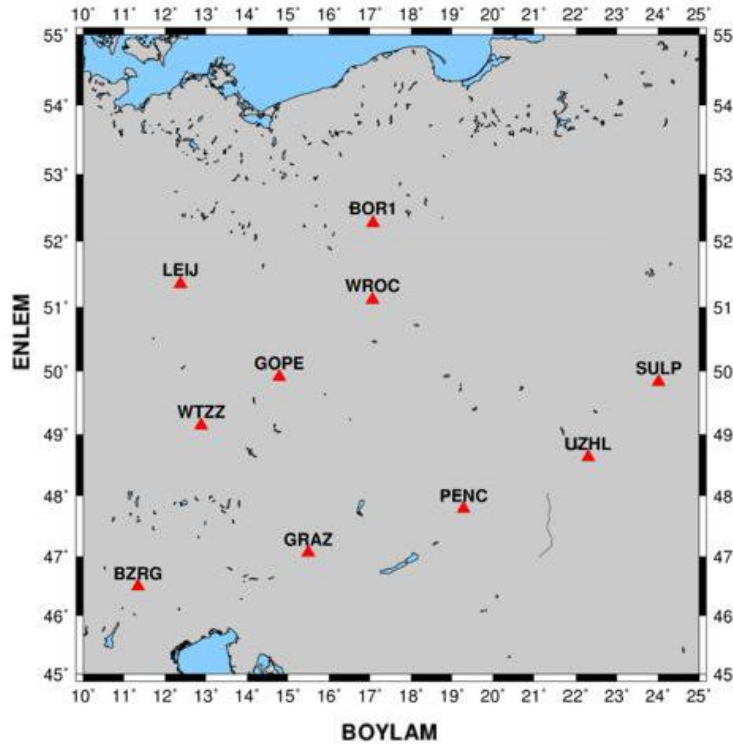
gerekmektedir. Uydu saat hatası ve anten faz merkezi kayıklığı gibi hatalar farklı kurum ve kuruluşlar tarafından üretilen ürünler yardımıyla giderilebilirken kutup gezinmesi ve karasal gelgit gibi hataların modellenmesi gerekmektedir. Rizos, Janssen, Roberts ve Grinter (2012), PPP yöntemindeki hata kaynaklarını Tablo 1'deki şekilde özetlemiştir.

**Tablo 1:** PPP hata kaynakları ve düzeltme modelleri (Rizos vd., 2012)

Hata Kaynakları ve Düzeltme Modelleri	Düzeltilme Türü
<i>Uydu Kaynaklı Hatalar</i>	Hassas uydu saat düzeltmeleri
	Uydu anteni faz merkezi offset değerleri
	Uydu anteni faz merkezi kayıklıkları
	Hassas uydu yörüngeleri
	Diferansiyel grup gecikmeleri
	Görelilik koşulu
<i>Alıcı Kaynaklı Hatalar</i>	Uydu anteni faz dönmesi
	Alıcı anteni faz merkezi offset değerleri
	Alıcı anteni faz merkezi kayıklıkları
<i>Jeofiziksel Modeller</i>	Alıcı anteni faz dönmesi
	Katı yeryuvarı gelgiti
	Okyanus yüklemesi
	Kutup gelgiti
<i>Atmosferik Modelleme</i>	Plaka tektonik hareketleri
	Troposferik gecikme
	İyonosferik gecikme

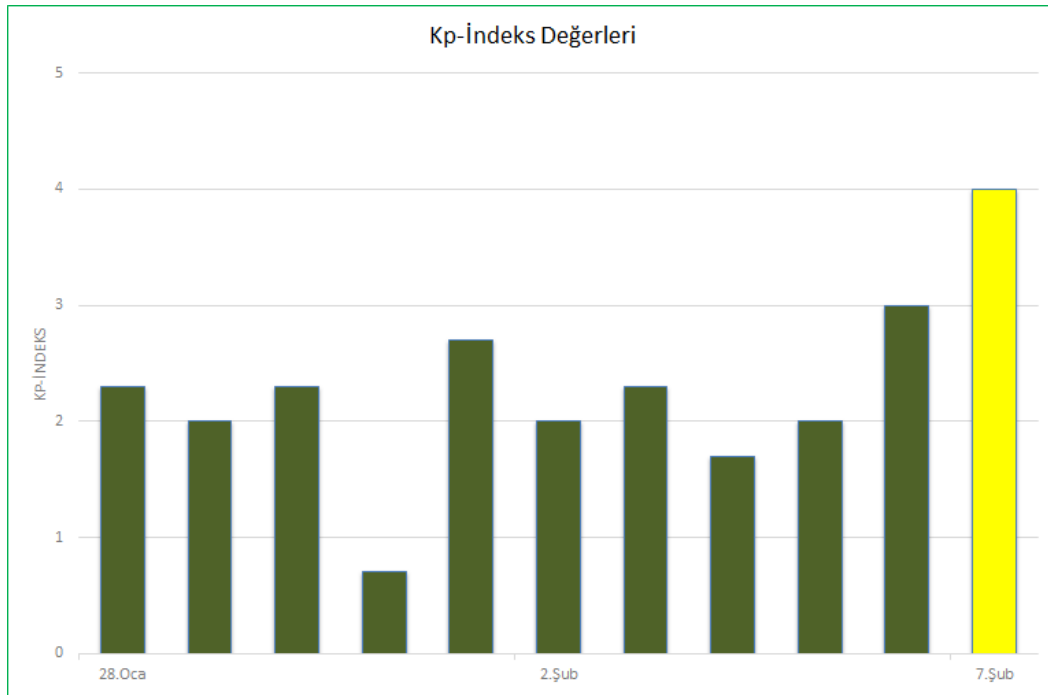
### 3. Veri Analizi

Bu çalışma, 10 adet sürekli gözlem yapan sabit GNSS referans istasyonunun, 2014 yılının 28. ve 38. günleri arasında denk gelen 11 günlük verilerini içermektedir (Şekil 1). Bu dönemin seçilme sebebi "Kp-indeks" değerlerinin uygun olmasıdır (Şekil 2).



**Şekil 1:** Çalışma alanı

Kp-indeks değeri dünya üzerine dağılmış manyetometrelerle 3 saatlik gözlemler sonucunda elde edilmektedir. 0 ile 9 arasında yer alan bu değerler küresel ölçekte jeomanyetik etkiyi ifade etmektedir. 0, çok az etkiyi gösterirken; 9, yüksek derecede jeomanyetik fırtınaların gerçekleştiğini göstermektedir. 4 değeri sınır değer olarak ifade edilmektedir (URL-1). Bu değerler Ocak ayının sonu ile Şubat ayının başlangıç kısımlarında düşük olarak gözlemlenmiştir. Noktaların günlük verileri Scripps Orbit and Permanent Array Center (SOPAC) arşivinden elde edilerek Jet Propulsion Laboratory (JPL) tarafından geliştirilen GIPSY-OASIS II v6.4 yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmada sadece GPS verileri değerlendirilmiştir ve değerlendirilen istasyonlar seçilirken enlemin etkisi göz önünde bulundurularak orta kuşakta bulunan istasyonlar tercih edilmiştir. GPS uydularının yörünge tasarımından dolayı ekvatora yakın olan noktalarda, uydular Kuzey-Güney doğrultusunda hareket etmektedir. Bu durum orta kuşakta bulunan noktalarda görülmektedir (Blewitt, 1997). Noktaların aynı özellikte olmaları bakımından yaklaşık olarak yakın enlemdaki noktalar seçilmiştir. Noktaların yaklaşık koordinat bilgileri Tablo 2’de verilmektedir.



Şekil 2: Çalışma dönemine ait Kp-İndeks değerleri (URL-1)

Tablo 2: Noktaların yaklaşık enlem, boylam ve elipsoidal yükseklik değerleri (WGS84)

Nokta Adı	Coğrafi Koordinat Değerleri		
	Enlem (derece)	Boylam (derece)	Elipsoidal Yükseklik (m)
BOR1	52.1002	17.0668	124
BZRG	46.4990	11.3368	329
GOPE	49.9137	14.7856	593
GRAZ	47.0420	15.4935	538
LEIJ	51.2114	12.2222	178
PENC	47.7896	19.2815	292
SULP	49.8356	24.0145	371
UZHL	48.6320	22.2976	232
WROC	51.1131	17.0619	181
WTZZ	49.1442	12.8789	666

Literatürde gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde GNSS uygulamalarında hesaplanan koordinat değerlerine ilişkin doğruluk analizi çalışmalarında tekrarlılıklardan hesaplanan Karese Ortalama Hata (Root Mean Square-RMS) değerleri kullanılmıştır ve GPS çözümlerinin doğruluğunun gözlem süresine bağlı olduğu görülmektedir (Eckl, Snay, Soler, Cline &

Mader, 2001; Soler, Michalak, Weston, Snay & Foote, 2006; Şanlı & Engin, 2009). Bu durumda GIPSY-OASIS II v6.4 yazılımıyla elde edilen standart sapma değerlerinin de gözlem süresine bağlı olarak değişmesi beklenir. Dolayısıyla, bu çalışmada VKV matrislerinin güvenilirliği araştırıldığından ÖF değerlerinin de gözlem süresine bağlı olup olmadığını belirleyebilmek için GPS verileri 2, 4, 6, 8, 12 ve 24 saatlik alt gözlem sürelerine bölünmüştür.

GIPSY-OASIS II v6.4, PPP çözüm yaklaşımını kullanan bilimsel bir yazılımdır. PPP tekniğinde hassas nokta konum bilgisine ulaşabilmek için Bölüm 2’de verilen hata kaynaklarının giderilmesi ve modellenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada GPS verilerinin değerlendirilmesi ve analizi aşamasında; JPL tarafından üretilen hassas uydu yörünge ve saat bilgileri kullanılmıştır. Alıcı saat hatası modellenmiştir. Alıcı ve uyduların anten faz merkezi kayıklıkları giderilmiştir. Karasal ve okyanus gelgiti etkileri göz önünde bulundurulmuştur. Troposferik ıslak gecikme, doğu ve kuzey bileşenlerindeki gradyentler kestirilmiştir. Ayrıca ikinci mertebeden iyonosferik etki de göz önünde bulundurulmuş, “iri” modeli yardımıyla giderilmiştir (Kedar, Hajj, Wilson & Heflin, 2003). GIPSY-OASIS II v6.4 yazılımı çözüm stratejileri için ayrıntılı bilgiye URL-2’den ulaşılabilir.

Çözümler ITRF2008 datumunda gerçekleştirilmiştir. Yazılım sonuç ürün olarak yer merkezli kartezyen sisteminde dik koordinatları, standart sapmaları ve korelasyon katsayılarını vermektedir. Bu çalışmada daha gerçekçi VKV matrislerinin elde edilmesi amaçlanmaktadır. GPS’in doğruluğunun araştırıldığı çalışmalarda doğruluk, koordinat tekrarlılıklarından hesaplanan RMS değerleri ile ilişkilendirilmiştir (Eckl vd., 2001; Soler vd., 2006; Şanlı & Engin 2009; Tut, Şanlı, Erdoğan & Hekimoğlu, 2013; Doğan, Uludağ & Demir, 2014). Koordinat serilerinden elde edilen RMS değerlerinin doğruluğu yansıttığı düşünüldüğü için elde edilen standart sapmaların da RMS değerlerine yakın olması beklenir. Bundan dolayı PPP çözümleri için uygun ÖF değerini belirleyebilmek için (4) ve (5) eşitliklerindeki modeller oluşturulmuştur:

$$RMS_{i,j,k} = \text{ÖF} \times STD_{i,j,k,t} \quad (4)$$

$$\text{ÖF} = \frac{RMS_{i,j,k}}{STD_{i,j,k,t}} \quad (5)$$

Burada RMS; koordinat serilerinden elde edilen RMS değerlerini; STD, yazılımdan elde edilen standart sapmaları ve ÖF ölçek faktörü değerini ifade etmektedir. (i: istasyon, j: koordinat bileşeni, k: gözlem süresi, t: gözlem sayısı)

RMS değerleri (6) eşitliği kullanılarak elde edilmiştir. Bu aşamada koordinat serilerindeki uyumsuz olan ölçüler Medyan yöntemi kullanılarak elimine edilmiştir (Eşitlik 7). Medyan yöntemi %50 kırılma noktasıyla en güvenilir robust yöntemlerden bir tanesidir (Hampel, Ronchetti, Rousseeuw & Stahel, 2011; Hekimoğlu, 2005).

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_R)^2}{n}} \quad (6)$$

Burada RMS, koordinat serilerinden elde edilen RMS değerlerini;  $X_R$ , referans koordinat değerini;  $X_i$ , i. koordinat değerini ve n, ölçü sayısını ifade etmektedir. RMS değerleri her bir nokta, her bir bileşen ve her bir gözlem süresi için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Referans değer olarak 24 saatlik koordinat değerlerinin ortalaması kullanılmıştır.

$$med = \text{median}(\mathbf{X}) \quad (7a)$$

$$mad = \begin{cases} 1.2533 \times \frac{1}{n} \times \sum |\mathbf{X} - med|, & \text{median}|\mathbf{X} - med| = 0 \\ 1.4826 \times \text{median}|\mathbf{X} - med|, & \text{median}|\mathbf{X} - med| \neq 0 \end{cases} \quad (7b)$$

Burada  $\mathbf{X}$ , düzeltmeleri;  $med$ , düzeltmelerin ortanca değerini ve  $n$ , ölçü sayısını ifade etmektedir. Bu yöntemde düzeltmeler  $3 \times med$  değeri ile karşılaştırılır. Sınır değerden küçük veya eşit olan ölçüler uyumlu, büyük olan ölçüler uyumsuz olarak kabul edilir. Şekil 3-5 medyan yöntemine göre uyumsuz ölçü analizi sonucunda hesaplanan RMS değerlerini göstermektedir.

(4) ve (5) eşitliklerinde ÖF değerleri kestiriminde En Küçük Kareler (EKK) yöntemi kullanılmıştır (Eşitlik 8). Ayrıca, ilgili modelde farklılık gösteren ölçüler Pope test yöntemiyle çözümden çıkarılmıştır (Eşitlik 9). Pope test yönteminde her bir ölçüye ait düzeltme değerleri için test değerleri hesaplanır. Tau dağılımlı sınır değerden büyük olan en büyük test değerine sahip ölçü dengelemeden çıkarılır. İteratif olarak uyumsuz ölçü kalmayınca kadar bu işlem tekrarlanır (Pope, 1976).

$$\mathbf{x} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{l} \quad (8a)$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} STD_{1,j,k,t} \\ \vdots \\ STD_{n,j,k,t} \end{bmatrix} \quad (4) \text{ nolu eşitlik için } \mathbf{A} \text{ katsayılar matrisi} \quad (8b)$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5) \text{ nolu eşitlik için } \mathbf{A} \text{ katsayılar matrisi} \quad (8c)$$

$$\bar{\mathbf{v}} = \mathbf{A} \mathbf{x} - \mathbf{l} \quad (8d)$$

$$\mathbf{l} = \begin{bmatrix} RMS_{1,j,k} \\ \vdots \\ RMS_{n,j,k} \end{bmatrix} \quad (4) \text{ nolu eşitlik için } \mathbf{l} \text{ ölçü vektörü} \quad (8e)$$

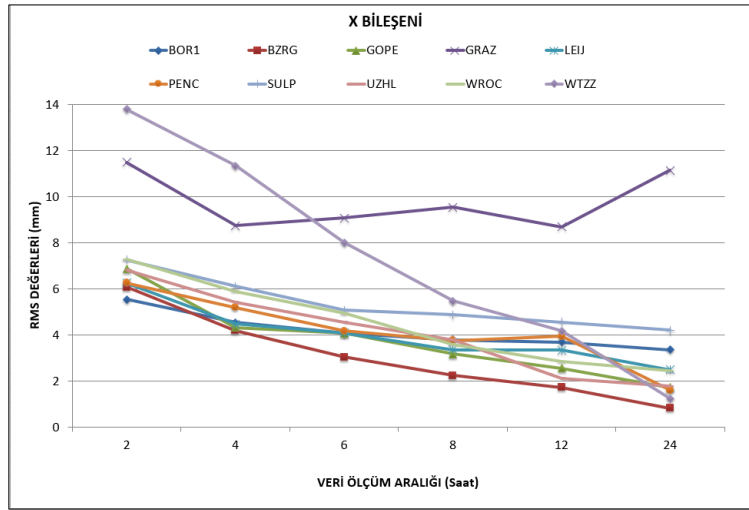
$$\mathbf{l} = \begin{bmatrix} RMS_{1,j,k} \\ STD_{1,j,k,t} \\ \vdots \\ RMS_{n,j,k} \\ STD_{n,j,k,t} \end{bmatrix} \quad (5) \text{ nolu eşitlik için } \mathbf{l} \text{ ölçü vektörü} \quad (8f)$$

$$\mathbf{Q}_{\bar{\mathbf{v}}\bar{\mathbf{v}}} = \mathbf{E} - \mathbf{A}(\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \quad (8g)$$

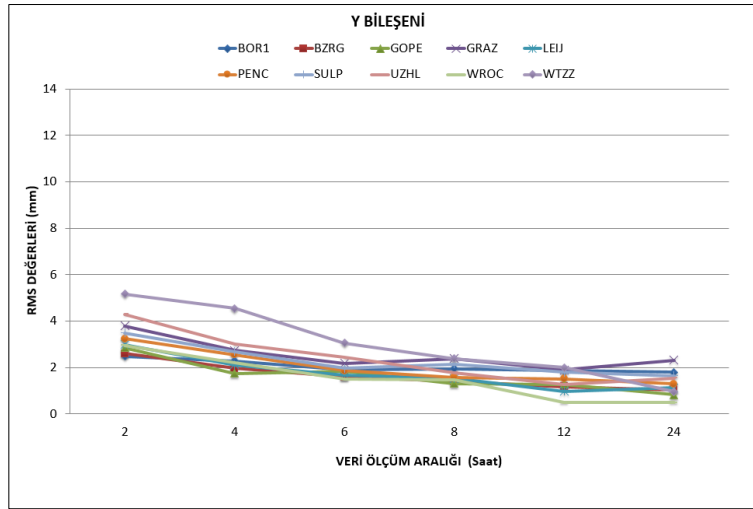
$$S_0 = \sqrt{\frac{\bar{\mathbf{v}}^T \bar{\mathbf{v}}}{n-1}} \quad (8h)$$

$$\tau_i = \frac{|\bar{v}_i|}{S_0 \times \sqrt{q_{\bar{\mathbf{v}}\bar{\mathbf{v}}}_i}} \quad (9)$$

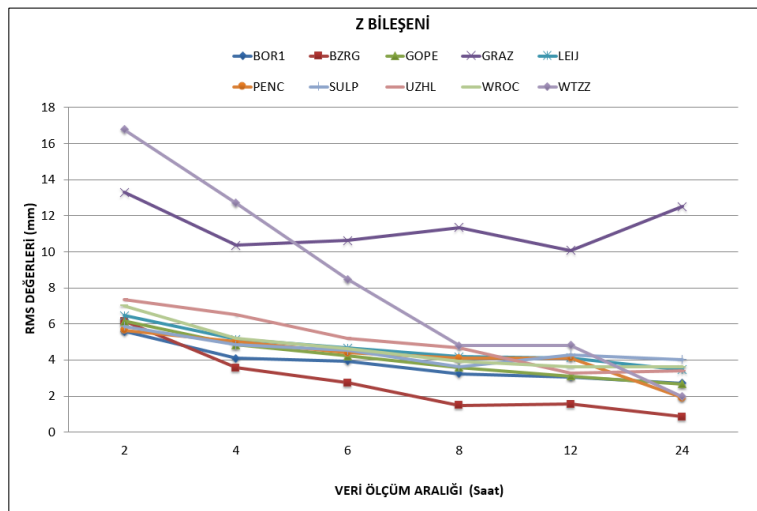
Burada  $\mathbf{A}$ , katsayılar matrisini;  $\mathbf{l}$ , ölçü vektörünü;  $\bar{\mathbf{v}}$ , düzeltme vektörünü;  $\mathbf{E}$ , birim matrisi;  $n$ , ölçü sayısını;  $S_0$ , birim ağırlıklı sonsal standart sapmayı;  $\mathbf{Q}_{\bar{\mathbf{v}}\bar{\mathbf{v}}}$ , düzeltmelerin kofaktör matrisini;  $q_{\bar{\mathbf{v}}\bar{\mathbf{v}}}_i$ ,  $i$ . düzeltmenin kofaktör elemanını;  $\tau_i$ ,  $i$ . düzeltmenin test değerini ve  $\mathbf{x}$ , bilinmeyen olan ÖF değerini ifade etmektedir.



Şekil 3: Noktaların X koordinat bileşenleri için RMS değerleri



Şekil 4: Noktaların Y koordinat bileşenleri için RMS değerleri



Şekil 5: Noktaların Z koordinat bileşenleri için RMS değerleri

#### 4. Ölçek Faktörü Analizleri

Bu çalışmada koordinat zaman serilerinden hesaplanan RMS değerleri ile yazılımdan kestirilen standart sapmalar arasında ilişki kuracak iki farklı model karşılaştırılmıştır. Ayrıca bu iki farklı modelde ÖF değerinin hesabı için iki farklı strateji kullanılmıştır. Birinci stratejide ÖF değerleri, her bir istasyonun her bir gözlem süresi (veri seti) için ayrı ayrı hesaplanırken, ikinci stratejide esas olarak gözlem süreleri dikkate alınarak tüm istasyonların verilerine dayalı hesaplama gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında hangi modelin daha uygun sonuçlar verdiğini belirleyebilmek için norm değerleri hesaplanmıştır. Norm değeri, farklı yöntem ve stratejilerin performanslarını karşılaştırmak için kullanılan matematiksel bir büyüklüktür. Farklı yöntem ve stratejilerden elde edilen vektör veya matrisler, beklenen vektör veya matrislerle karşılaştırılmaktadır.

Norm değeri; bu uygulamada, farklı model ve stratejilerden hesaplanan ÖF değerleri kullanılarak ölçeklendirilen standart sapma değerleri ile koordinat serilerinden hesaplanan RMS değerleri arasındaki farklar kullanılarak belirlenmiştir (Eşitlik 10).

$$N = \sqrt{\sum_{t=1}^n (\text{ÖSTD}_{i,j,k,t} - \text{RMS}_{i,j,k})^2} \quad (10)$$

Burada RMS, GPS koordinat zaman serilerinden hesaplanan RMS değerlerini; ÖSTD, ölçeklendirilen standart sapma değerlerini ve N, norm değerini ifade etmektedir (i: istasyon, j: koordinat bileşeni, k: gözlem süresi, t: gözlem sayısı).

**Tablo 3:** Birinci modelde her bir veri seti için sonuçlar

Nokta	2 saat		4 saat		6 saat		8 saat		12 saat		24 saat	
	ÖF	Norm (mm)	ÖF	Norm (mm)	ÖF	Norm (mm)	ÖF	Norm (mm)	ÖF	Norm (mm)	ÖF	Norm (mm)
BOR1	0.80	14.94	0.93	9.21	1.07	5.40	1.09	6.12	1.30	4.95	1.67	3.53
BZRG	0.77	19.19	0.77	5.74	0.73	3.22	0.56	4.21	0.61	2.09	0.48	2.04
GOPE	0.79	20.84	0.84	4.82	0.96	3.30	0.90	1.71	0.95	1.49	0.39	7.53
GRAZ	1.81	29.59	2.05	15.62	2.60	14.15	3.20	12.89	3.55	9.72	6.31	8.97
LEIJ	0.90	15.10	1.02	4.84	1.14	2.52	1.16	1.47	1.34	3.22	1.60	1.13
PENC	0.76	16.16	1.00	5.31	1.01	2.98	1.09	2.41	1.36	2.38	0.92	1.22
SULP	0.85	24.39	1.07	12.37	1.17	6.85	1.22	7.21	1.57	4.00	2.08	2.13
UZHL	0.95	45.15	1.21	5.44	1.23	4.33	1.21	3.08	0.98	2.25	1.38	2.54
WROC	1.04	19.74	1.18	10.19	1.25	6.69	1.16	2.25	1.19	3.76	1.50	2.53
WTZZ	2.12	33.63	2.50	12.66	2.14	5.11	1.56	5.13	1.70	1.09	0.90	1.48
<b>Toplam</b>		238.74		86.19		54.55		46.49		34.95		33.10

Tablo 3 ve 4'te birinci model için hesaplanan ÖF ve norm değerleri görülmektedir. Norm değerlerinin küçük olması koordinat zaman serilerinden elde edilen RMS değerlerinin, ölçeklendirilen değerlere yakın olduğunu göstermektedir. Bu şekilde farklı stratejilerden elde edilen norm değerleri karşılaştırılarak hangi stratejinin daha uygun sonuç verdiğine karar verilebilir. Tablo 3'e göre GRAZ ve WTZZ noktalarında ÖF değerlerinin diğer noktalarda hesaplanan değerlere göre daha büyük olduğu görülmektedir. Ayrıca diğer noktalarda gözlem süresi arttıkça ÖF değerlerinde de bir artış olduğu görülmektedir. Nokta bazlı ÖF değerinin hesaplanmasında genel anlamda gözlem süresine bağlı bir artış görülse de noktalar arasında farklılıklar bulunmaktadır. Bu bağlamda tüm noktaları içeren gözlem süresine bağlı ÖF değerinin kestirilmesi daha anlamlı olacaktır.

Tablo 4'te birinci model için gözlem sürelerine göre hesaplanan ÖF ve norm değerleri verilmektedir. Akademik yazılımlarda gözlem süresi arttıkça analiz sonucunda elde edilen standart sapmalar küçülmektedir. Bu nedenle gözlem süresi arttıkça ÖF değerlerinin de arttığı görülmektedir.

**Tablo 4:** Birinci modelde her bir gözlem süresi için sonuçlar

	2 Saat	4 Saat	6 Saat	8 Saat	12 Saat	24 Saat
ÖF	1.03	1.22	1.28	1.10	1.40	1.69
Norm (mm)	187.49	98.57	63.67	58.27	41.49	50.70

Tablo 5, ikinci model için elde edilen ÖF ve norm değerlerini içermektedir. ÖF değerleri incelendiğinde bu modelde noktalara ait hesaplanan ÖF değerlerinde büyük farklılıklar olduğu görülmektedir. Bu noktalar birinci modelde de benzer etkiye sahip olan GRAZ ve WTZZ noktalarıdır. Bu durum noktalara özgü bozucu etkiler sebebiyle ortaya çıkabilmektedir. Tablo 6'da tüm gözlem süreleri dikkate alındığında gözlem süresi arttıkça ÖF değerlerinin de arttığı görülmektedir.

Çalışmada araştırılan iki modele ilişkin sonuçlar incelendiğinde birinci modeldeki norm değerlerinin yani beklenen değerden sapmaların daha küçük olduğu görülmektedir. Bu bağlamda analizlerde birinci model tercih edilebilir. Ayrıca, gözlem süresine göre gerçekleştirilen değerler tüm noktaların özelliklerini içerdiği için ÖF değerlerinin hesabında Tablo 4'de verilen değerler tercih edilebilir.

**Tablo 5:** İkinci modelde her bir veri seti için sonuçlar

Nokta	2 saat		4 saat		6 saat		8 saat		12 saat		24 saat	
	ÖF	Norm (mm)	ÖF	Norm (mm)	ÖF	Norm (mm)	ÖF	Norm (mm)	ÖF	Norm (mm)	ÖF	Norm (mm)
BOR1	0.84	15.83	1.02	10.44	1.12	5.82	1.22	6.99	1.44	5.58	1.89	4.07
BZRG	0.82	20.51	0.83	6.88	0.81	4.32	0.69	5.37	0.73	2.92	0.72	2.89
GOPE	0.84	22.59	0.83	4.80	1.00	3.62	0.89	1.71	0.98	1.61	0.93	13.15
GRAZ	1.71	31.04	1.88	17.30	2.28	17.45	2.82	15.98	3.05	12.53	5.40	11.73
LEIJ	0.97	17.65	1.06	5.46	1.13	2.52	1.16	1.48	1.22	3.78	1.56	1.18
PENC	0.81	17.37	1.00	5.36	0.98	3.16	1.04	2.77	1.28	2.82	1.01	1.45
SULP	0.92	26.26	1.11	12.56	1.15	6.88	1.26	7.31	1.51	4.04	2.01	2.24
UZHL	1.05	51.80	1.23	5.53	1.24	4.39	1.17	3.23	0.95	2.30	1.41	2.55
WROC	1.07	20.38	1.19	10.22	1.19	7.04	1.14	2.29	0.98	5.05	1.22	3.39
WTZZ	2.07	33.91	2.47	12.57	2.10	5.25	1.64	5.51	1.73	1.27	0.99	1.66
<b>Toplam</b>		257.32		91.12		60.44		52.62		41.90		44.31

**Tablo 6:** İkinci modelde her bir gözlem süresi için sonuçlar

	2 Saat	4 Saat	6 Saat	8 Saat	12 Saat	24 Saat
ÖF	1.11	1.26	1.29	1.16	1.39	1.74
Norm (mm)	191.0	98.9	63.7	57.3	41.5	51.2

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada PPP çözümlerinden elde edilen VKV matrislerinin güvenilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla daha gerçekçi VKV matrisi elde edebilmek için iki farklı modelde iki farklı strateji kullanılarak ÖF değerleri hesaplanmıştır. Analiz sonuçları incelendiğinde birinci modelden hesaplanan değerlerin norm değerleri bazında ikinci modele göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Ayrıca, PPP tekniğine ilişkin doğruluk fonksiyonlarının gözlem süresine bağlı olarak değiştiği düşünüldüğünde, gözlem süreleri dikkate alınarak tüm istasyonların verilerine dayalı gerçekleştirilen hesaplamalar dikkate alındığı durumlardaki ÖF değerlerinin kullanımının daha anlamlı olduğu görülmüştür. Sonuç olarak deformasyon analizi ve tektonik hareketlerin modellenmesi gibi istatistiksel analizlerde kullanılması için GIPSY-OASIS II v6.4 yazılımının VKV matrislerinin ölçeklendirilmesi gerekmektedir. Norm değerlerinin küçük olması durumu dikkate alındığında genel anlamda



birinci modelden her bir gözlem süresine dayalı hesaplanan ÖF değerleri kullanılabilir.

## Teşekkür

GIPSY-OASIS II v6.4 yazılımı ve hassas uydu yörünge ve saat bilgileri için NASA JPL'e, GPS verileri için SOPAC'a teşekkür ederiz. Ayrıca, Şekil 1 Generic Mapping Tools (GMT) yazılımı kullanılarak çizilmiştir (Wessel & Smith, 1995).

## Kaynaklar

- Ananga, N., Coleman, R., & Rizos, C. (1994). Variance-covariance estimation of GPS networks. *Bulletin géodésique*, 68(2), 77-87.
- Blewitt, G. (1997). Basics of the GPS technique: observation equations. *Geodetic applications of GPS*, 10-54.
- Calais, E., Han, J. Y., DeMets, C., & Nocquet, J. M. (2006). Deformation of the North American plate interior from a decade of continuous GPS measurements. *Journal of geophysical research: solid earth*, 111(B6).
- Çetin, S., Aydın, C., & Doğan, U. (2018). Comparing GPS positioning errors derived from GAMIT/GLOBK and Bernese GNSS software packages: A case study in CORS-TR in Turkey. *Survey Review*, 1-11.
- Dixon, K. (2006). StarFire: A global SBAS for sub-decimeter precise point positioning. In *Proceedings of ION GNSS* (pp. 26-29).
- Doğan, U., Uludağ, M., & Demir, D. O. (2014). Investigation of GPS positioning accuracy during the seasonal variation. *Measurement*, 53, 91-100.
- Doğan, A. H., Tunalioglu, N., Erdoğan, B., & Öcalan, T. (2018). Evaluation of the GPS Precise Point Positioning technique during the 21 July 2017 Kos-Bodrum (East Aegean Sea) Mw 6.6 earthquake. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(24), 775.
- Eckl, M. C., Snay, R. A., Soler, T., Cline, M. W., & Mader, G. L. (2001). Accuracy of GPS-derived relative positions as a function of interstation distance and observing-session duration. *Journal of geodesy*, 75(12), 633-640.
- Erdoğan, B., & Doğan, A. H. (2019). Scaling of the variance covariance matrix obtained from Bernese software. *Acta Geodaetica et Geophysica*, 2(54), 197-211.
- Gao, Y., & Shen, X. (2001). Improving ambiguity convergence in carrier phase-based precise point positioning. In *Proceedings of the 14th international technical meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GPS 2001)*, 1532-1539.
- Gao, Y., Wojciechowski, A., & Chen, K. (2005). Airborne kinematic positioning using precise point positioning methodology. *Geomatica*, 59(1), 29-36.
- Geirsson, H. (2003). *Continuous GPS measurements in Iceland 1999 - 2002* (Yüksek Lisans Tezi). University of Iceland, Akureyri, İzlanda.
- Geng, J., Teferle, F. N., Meng, X., & Dodson, A. H. (2010). Kinematic precise point positioning at remote marine platforms. *GPS solutions*, 14(4), 343-350.
- Hampel, F. R., Ronchetti, E. M., Rousseeuw, P. J., & Stahel, W. A. (2011). *Robust statistics: the approach based on influence functions*. John Wiley & Sons.
- Han, S., & Rizos, C. (1995). Standardisation of the variance-covariance matrix for GPS rapid static positioning. *Geomatics Research Australasia*, 37-54.
- Hekimoğlu, Ş. (2005). Do robust methods identify outliers more reliably than conventional test for outlier. *Zeitschrift für Vermessungswesen*, 3, 174-180.
- Kashani, I., Wielgosz, P., & Grejner-Brzezinska, D. A. (2004). On the reliability of the VCV Matrix: A case study based on GAMIT and Bernese GPS Software. *GPS Solutions*, 8(4), 193-199.
- Kedar, S., Hajj, G. A., Wilson, B. D., & Heflin, M. B. (2003). The effect of the second order GPS ionospheric correction on receiver positions. *Geophysical Research Letters*, 30(16).
- Kouba, J., & Héroux, P. (2001). Precise point positioning using IGS orbit and clock products. *GPS solutions*, 5(2), 12-28.
- Larson, K. M., & Miyazaki, S. I. (2008). Resolving static offsets from high-rate GPS data: the 2003 Tokachi-oki earthquake. *Earth, planets and space*, 60(8), 801-808.
- Li, B., Shen, Y., & Lou, L. (2011). Efficient estimation of variance and covariance components: a case study for GPS stochastic model

- evaluation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(1), 203-210.
- Li, B., Lou, L., & Shen, Y. (2015). GNSS elevation-dependent stochastic modeling and its impacts on the statistic testing. *Journal of Surveying Engineering*, 142(2), 04015012.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., ... & Kastens, K. (2000). Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105(B3), 5695-5719.
- Nocquet, J., Calais, E., & Nicolon, P. (2002). Reference frame activity: Combination of National (RGP) and Regional (REGAL) Permanent Networks Solutions with EUREF-EPN and the ITRF2000. In *Proceedings of The EUREF 2002 Symposium*, 398-404.
- Ohta, Y., Meilano, I., Sagiya, T., Kimata, F., & Hirahara, K. (2006). Large surface wave of the 2004 Sumatra-Andaman earthquake captured by the very long baseline kinematic analysis of 1-Hz GPS data. *Earth, planets and space*, 58(2), 153-157.
- Ohta, Y., Ohzono, M., Miura, S., Iinuma, T., Tachibana, K., Takatsuka, K., Miyao, K., Sato, T., & Umino, N. (2008). Coseismic fault model of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake deduced by a dense GPS network. *Earth, planets and space*, 60(12), 1197-1201.
- Öcalan, T. (2015). *GNSS Ağlarında GPS Hassas Nokta Konumlama (GPS-PPP) Tekniği Yaklaşımli Çözümler* (Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Pope, A. J. (1976). *The statistics of residuals and the detection of outliers* (No. NOS-65-NGS-1).
- Reilinger, R., McClusky, S., Paradisis, D., Ergintav, S., & Vernant, P. (2010). Geodetic constraints on the tectonic evolution of the Aegean region and strain accumulation along the Hellenic subduction zone. *Tectonophysics*, 488(1-4), 22-30.
- Rizos, C., Janssen, V., Roberts, C., & Grinter, T. (2012). Precise point positioning: is the era of differential GNSS positioning drawing to an end?
- Soler, T., Michalak, P., Weston, N. D., Snay, R. A., & Foote, R. H. (2006). Accuracy of OPUS solutions for 1-to 4-h observing sessions. *GPS solutions*, 10(1), 45-55.
- Şanlı, D. U., & Engin, C. (2009). Accuracy of GPS positioning over regional scales. *Survey Review*, 41(312), 192-200.
- Tekiç, S. (2009). *Accuracy Of GPS Precise Point Positioning (PPP)* (Yüksek Lisans Tezi). Boğaziçi Üniversitesi, Deprem Araştırma Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Tut, I., Şanlı, D. U., Erdoğan, B., & Hekimoğlu, Ş. (2013). Efficiency of BERNESE single baseline rapid static positioning solutions with search strategy. *Survey review*, 45(331), 296-304.
- Wang, G. Q. (2013). Millimeter-accuracy GPS landslide monitoring using Precise Point Positioning with Single Receiver Phase Ambiguity (PPP-SRPA) resolution: a case study in Puerto Rico. *Journal of geodetic science*, 3(1), 22-31.
- Wessel, P., & Smith, W. H. (1995). New version of the generic mapping tools. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 76(33), 329-329.
- Zumberge, J. F., Heflin, M. B., Jefferson, D. C., Watkins, M. M., & Webb, F. H. (1997). Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks. *Journal of geophysical research: solid earth*, 102(B3), 5005-5017.
- URL-1: <https://www.spaceweatherlive.com/en/archive>, (Erişim Tarihi: 12 Mart 2017).
- URL-2: [https://gipsy-oasis.jpl.nasa.gov/gipsy/docs/GD2P\\_PPP.pdf](https://gipsy-oasis.jpl.nasa.gov/gipsy/docs/GD2P_PPP.pdf), (Erişim Tarihi: 12 Mart 2017).

## GNSS alıcılarındaki saat sıçramalarının hassas nokta konumlama (PPP) performansına etkisinin araştırılması

Berkay Bahadır<sup>1\*</sup> , Metin Nohutcu<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Hacettepe Üniversitesi, Beytepe Kampüsü, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Çankaya, Ankara.

**Öz:** GNSS (Global Navigation Satellite Systems) alıcılarında, GNSS uydularında kullanılan yüksek hassasiyetli atomik saatlerin aksine, genellikle daha ekonomik saatler kullanılmaktadır. Kristal osilatörlere sahip bu saatlerin kullanıldığı alıcılar, kendi zaman ölçülerini GPS zamanı ile senkronize tutabilmek için iç saat hataları belirli bir seviyenin üzerine çıktığında GNSS ölçülerine periyodik düzeltmeler getirmektedir. Saat sıçraması (clock jump) olarak anılan bu düzeltmeler, faz kesikliğinden farklı olarak alınan tüm sinyallerde eşit miktarda ve milisaniyenin tam sayı katı olarak görülmektedir. Bu sıçramalar GNSS alıcıları tarafından üretilen zaman, kod ve faz ölçülerini etkilemekte, türü ve boyutu alıcıdan alıcıya farklılık göstermektedir. Özellikle kod ve faz ölçülerinde farklı etkilere sahip olduğunda, bu sıçramalar saat süreksizliğine neden olmakta ve tespit edilmediği durumlarda konum belirleme performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Saat sıçraması diferansiyel ve rölatif GNSS tekniklerinde farklar yardımıyla ortadan kaldırıldığı için çoğunlukla göz ardı edilmesine rağmen, Hassas Nokta Konumlama (Precise Point Positioning-PPP) gibi mutlak konum belirleme tekniklerinde tespit edilip uygun bir şekilde düzeltilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada öncelikle etki ettiği GNSS ölçü türlerine göre farklı saat sıçraması tipleri tanımlanmıştır. Daha sonra GNSS ölçülerindeki saat sıçramalarını tespit etmek ve gidermek için geliştirilen algoritma detayları ile açıklanmıştır. Gerçek GNSS verileri kullanılarak yapılan testler, ilgili algoritmanın saat sıçramalarının tespitinde başarı ile kullanılabileceğini göstermiştir. Son olarak, saat sıçramalarının tespit edilmediği durumlarda konum belirleme performansını nasıl etkilediğini araştırmak amacıyla gerçekleştirilen test ve buradan elde edilen sonuçlar bu çalışma kapsamında sunulmaktadır. Sonuçlar, saat sıçramalarının uygun bir şekilde tespit edilmediği takdirde, özellikle PPP tekniğinin konum belirleme performansını hem konum doğruluğu hem de tam sayı belirsizliği için geçen yakınsama süresi açısından olumsuz yönde etkilediğini ortaya koymaktadır.

**Anahtar Sözcükler:** GNSS, Saat sıçraması, Hassas nokta konumlama

### Investigation the impact of clock jumps in GNSS receivers on the performance of precise point positioning (PPP)

**Abstract:** The atomic clocks with cheap internal oscillators are usually used in GNSS (Global Navigation Satellite Systems) receivers rather than highly stable and accurate atomic clocks used in GNSS satellites. In order to be synchronized with GPS time, the receivers employing the atomic clocks equipped with crystal oscillators get periodical corrections to the GNSS observations when internal clock offset exceeds a threshold. These corrections so-called clock jumps are typically as an integer number of milliseconds and their amount is the same for the whole received signals, unlike the cycle slips. Since these clock jumps influence the time tag, pseudorange and carrier phase measurements produced by GNSS receivers, their types and amounts change from one receiver to another. Especially, when the clock jumps have different effects on code and phase measurements, they cause clock discontinuity and if they are not detected appropriately, they negatively affect the positioning performance. Although the impact of clock jumps is mostly ignored in differential and relative positioning techniques as they are eliminated by using double-differences, it is required to detect and repair clock jumps properly in absolute positioning techniques, such as Precise Point Positioning (PPP). In this study, the types of clock jumps depending on their effects on the measurements are introduced firstly. Then, the algorithm developed to detect and repair the clock jumps is explained in details. The experimental tests which include real GNSS data indicate that the algorithm can successfully be used for detecting clock jumps. Finally, an additional test, which is conducted to investigate how the positioning performance is influenced when the clock jumps are not appropriately detected, and its results are provided as a part of this study. The results present that if the clock jumps are not detected properly, they affect the positioning performance of PPP negatively in terms of positioning accuracy and convergence time.

**Keywords:** GNSS, Clock jumps, Precise point positioning

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tel: +90 312 297 6990

Geliş Tarihi/Received: 22.05.2019  
Kabul Tarihi/Accepted: 27.08.2019



0000-0003-3169-8862, berkaybahadur@hacettepe.edu.tr (Bahadır B.)\*  
0000-0001-9582-582X, mnohutcu@hacettepe.edu.tr (Nohutcu M.)

## 1. Giriş

GNSS (Global Navigation Satellite System) alıcılarının çoğunda yüksek doğruluğa sahip olmayan daha ekonomik osilatörlerin yer aldığı atomik saatler kullanılmaktadır. Bu alıcılar, saat hatalarının yüksek değerlere ulaşmasına engel olabilmek için kendi saatlerini GPS (Global Positioning System) zamanı ile senkronize tutmaya çalışır (Kim & Langley, 2001). Bunun için GNSS alıcısı üreticileri tarafından yaygın olarak kullanılan iki temel yaklaşım mevcuttur. Bunlardan ilkinde, alıcı saat hatasını neredeyse sıfırda tutacak şekilde osilatör yönlendirebilir. Bu durumda alıcının saat hatası belirli bir gürültü seviyesi içinde sabit olarak kalır. İkinci yaklaşımda ise, alıcı GPS zamanına göre kendi iç saat hatası belirli bir seviyenin üzerine çıktığında periyodik sıçramalar şeklinde bu farkı ölçümlere yansıtır. GNSS alıcılarında temel olarak üretilen zaman, kod ve faz ölçülerinden en az bir tanesi bu sıçramalardan etkilenir. Bunlara saat sıçraması adı verilir ve karakteristik olarak milisaniyenin tam katı olarak gözlenir. Saat sıçramaları faz kesikliklerinin aksine alınan tüm sinyallerde eşit miktarda bir etki yaratır (Guo & Zhang, 2014).

Alıcıdan bağımsız veri değişim formatı olan RINEX (Receiver Independent Exchange Format) dosyalarında kod ve faz ölçüleriyle birlikte ilgili ölçülerin alıcı tarafından ne zaman kaydedildiğini gösteren zaman bilgisi yani saat etiketi (time tag) bulunmaktadır. Bu üç temel RINEX verisi saat sıçramasından etkilenebilir ancak saat sıçramasının etkisi üç temel ölçü üzerinde her zaman benzer şekilde görülmez. Genel anlamda etki ettikleri GNSS ölçü türlerine göre dört tip saat sıçraması vardır (Tablo 1). Tip 1’de sadece gözlem dosyalarındaki saat etiketlerinde saat sıçraması görülür ve saat etiketi aralıkları gözlem süresi boyunca sabit değildir. Tip 2 saat sıçramasında ise Tip 1’e ek olarak kod ölçüsü de saat sıçramasından etkilenir. Tip 2 saat sıçraması her zaman Tip 1 ile birlikte görülmektedir. Tip 3 saat sıçramasına gelindiğinde ise yalnızca kod ölçüsü saat sıçramalarından etkilenirken saat etiketi ve faz ölçüsü sıçramalardan etkilenmez. Son olarak, Tip 4’de saat etiketleri saat sıçramasından etkilenmezken kod ve faz ölçüleri birlikte saat sıçramasından etkilenir (Guo & Zhang, 2014).

**Tablo 1:** Etki ettikleri GNSS ölçü türlerine göre saat sıçraması tipleri

Saat Sıçraması Tipi	Saat Etiketi	Kod Ölçüsü	Faz Ölçüsü
Tip 1	+	-	-
Tip 2	+	+	-
Tip 3	-	+	-
Tip 4	-	+	+

Tip 1 ve Tip 4 saat sıçramalarında, kod ve faz ölçüleri arasında tutarsızlık olmadığı için genellikle bu tip saat sıçramalarının düzeltilmesine gerek yoktur. Ancak Tip 2 ve Tip 3 saat sıçramalarının, kod ve faz ölçüleri arasında tutarsızlık yarattığı için dikkatli bir şekilde ele alınması gerekmektedir. Rölatif ve/veya diferansiyel konum belirleme tekniklerinde saat sıçramasının neden olduğu tutarsızlıklar, fark alma teknikleri yardımıyla ortadan kaldırıldığı için genellikle göz ardı edilir. Ancak tek alıcının kullanıldığı mutlak konum belirleme tekniklerinde, özellikle Hassas Nokta Konumlama (Precise Point Positioning - PPP) yönteminde, saat sıçramalarının yarattığı ölçü tutarsızlıkları uygun bir şekilde tespit edilip ele alınmazsa konum belirleme performansını kötü yönde etkilemektedir. Özellikle, bilinmeyen parametrelerin tahmininde navigasyon uygulamalarında yaygın olarak uygulanan Kalman Filtresi kullanıldığı durumlarda saat sıçramalarının neden olduğu ölçü tutarsızlıkları nedeniyle bilinmeyen parametrelerin gerek öncül gerekse ölçü süresi boyunca stokastik karakterlerini belirlemek oldukça güçtür (Grewal, Weill & Andrews, 2007; Lonchay, Bidaine & Warnant, 2011). Bu durum, parametrelerin yanlış ya da daha az duyarlılıkla belirlenmesine yol açar. Diğer taraftan, saat sıçramalarının neden olduğu tutarsızlıklar aykırı verilerin tespit edildiği ön işlem adımında da algoritmaların başarılı bir şekilde çalışmasını engellemektedir (Grewal vd., 2007).

Bu çalışmada öncelikle GNSS alıcı saat sıçramalarını tespit etmek ve etkisini gidermek için geliştirilen algoritma kapsamlı

bir şekilde sunulacaktır. Daha sonra bu algoritmanın saat sıçramalarının tespitinde ne kadar başarılı olduğu gerçek ve simüle edilmiş GNSS verileri yardımıyla ölçülecek ve belirlenecektir. Son olarak saat sıçramalarının konum belirleme üzerindeki etkisi detaylı olarak incelenecektir.

## 2. Saat Sıçramalarının Tespiti ve Etkisinin Giderilmesi

Saat sıçramaları daha önce belirtildiği üzere periyodik şekilde milisaniyenin tam katı olarak alınan bütün sinyallerde eşit miktarda görülmektedir (Kim & Langley, 2001). Bu karakteristik özellikleri sayesinde saat sıçramaları GNSS ölçüleri üzerinden tespit edilebilir. Bu çalışma kapsamında saat sıçramalarının tespiti için kod ve faz gözlemlerinin iyonosferden bağımsız lineer kombinasyonlarını temel alan bir gözlem denklemi kullanılmıştır. Kod (P) ve faz (L) gözlemlerinin iyonosferden bağımsız lineer kombinasyonları (IF) için ölçü eşitlikleri aşağıdaki şekilde yazılabilir (Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger & Wasle, 2007; Grewal vd., 2007):

$$P_{IF} = \rho + cdt_r - cdt^s + T + b_{r,IF} - b_{IF}^s + \varepsilon(P_{IF}) \quad (1)$$

$$L_{IF} = \rho + cdt_r - cdt^s + T + \lambda_{IF}N_{IF} + B_{r,IF} - B_{IF}^s + \varepsilon(L_{IF}) \quad (2)$$

burada  $\rho$  geometrik mesafeyi,  $cdt_r$  alıcı saat hatasını,  $cdt^s$  uydu saat hatasını,  $T$  sinyaller üzerindeki troposferik etkiyi,  $\lambda_{IF}$  ve  $N_{IF}$  sırasıyla iyonosferden bağımsız kombinasyon için dalga boyu ve belirsizlik parametresini,  $b_{r,IF}$  ve  $b_{IF}^s$  sırasıyla iyonosferden bağımsız kombinasyon için kod donanım kaynaklı alıcı ve uydu hatalarını,  $B_{r,IF}$  ve  $B_{IF}^s$  sırasıyla iyonosferden bağımsız kombinasyon için faz donanım kaynaklı alıcı ve uydu hatalarını,  $\varepsilon$  ise gürültüyü ifade etmektedir. Eşitlik (1) ve (2) kullanılarak yeni bir gözlem aşağıdaki gibi oluşturulabilir.

$$W = P_{IF} - L_{IF} = (b_{r,IF} - b_{IF}^s) - \lambda_{IF}N_{IF} - (B_{r,IF} - B_{IF}^s) + \varepsilon(W) \quad (3)$$

Eşitlik (3)'ten görüleceği üzere oluşturulan yeni gözlem (W) kod ve faz ölçülerinin bir kombinasyonudur. İlgili gözlem kod ve faz ölçülerinin içerdiği geometrik ve atmosferik kısımları ortadan kaldırmaktadır. Ancak bu kombinasyonla birlikte daha hassas olduğu bilinen faz ölçüleri yüksek gürültü değerine sahip kod ölçüleriyle kirletilmektedir. Saat sıçramalarının tespiti ve belirlenmesi esnasında bu durum göz önünde bulundurulmalıdır. Sonuçta, (W) gözlemi yalnızca belirsizlik parametresini ve kod ile faz gözlemleri için donanım kaynaklı hataları içermektedir. Faz kesikliği olmadığı ya da varsa düzeltildiği varsayılırsa donanım kaynaklı hatalar oldukça stabildir ve kısa sürelerde ciddi değişiklikler göstermez. Tüm bunlar göz önünde bulundurulursa, saat sıçramalarının tespiti için aşağıdaki eşitlik kullanılabilir.

$$\Delta W = W(i) - W(i - 1) \quad (4)$$

Burada  $i$  spesifik bir epogu,  $\Delta$  ise epoklar arası fark operatörünü göstermektedir. Saat sıçraması meydana geldiğinde Eşitlik (4)'te sunulan  $\Delta W$  gözleminde ciddi bir değişiklik meydana gelir ve bu şekilde saat sıçramaları tespit edilebilir. Ancak yine de  $\Delta W$  gözleminde meydana gelen her değişiklik saat sıçramasından kaynaklı değildir.  $\Delta W$  gözleminde meydana gelen değişikliklerin saat sıçramasından kaynaklı olup olmadığını anlamak için saat sıçramalarının milisaniyenin tam katı olma karakteristiği kullanılabilir. Yani meydana gelen saat sıçraması en az 1 milisaniye olacaktır ve dolayısıyla  $\Delta W$ 'de oluşan fark belirli bir gürültü seviyesi içerisinde bu değerden büyük olursa ancak saat sıçraması kaynaklı denilebilir. Bunun için kullanılacak kriter aşağıda sunulmuştur (Guo & Zhang, 2014).

$$|\Delta W| > 10^{-3} \cdot c - 3\sigma \quad (5)$$

Burada  $c$  mutlak değer operatörünü,  $c$  ışık hızını ve  $\sigma$  ise  $W$  gözleminin gürültü seviyesini göstermektedir ( $\sigma = 3-5$  m). Bununla birlikte saat sıçramaları ile ilgili ilave bir doğrulama testi yapılabilir. Saat sıçramaları sinyal alınan bütün uyduların gözlemlerinde eşit miktardadır. Buradan yola çıkarak Eşitlik (5)'in saat sıçraması olduğu öngörülen epok için görülen bütün uydularda tespit edilip edilmediği kontrol edilmelidir. Bu doğrulamadan sonra  $\Delta W$  gözlemi en yakın tam sayıya yuvarlanarak kaç milisaniyeye eşit olduğu hesaplanabilir.

Saat sıçramaları tespit edildikten sonra uygun bir yöntemle kod ve faz ölçüleri arasındaki tutarsızlığın ortadan kaldırılması gerekir. Burada saat sıçramalarına faz kesikliği gibi davranarak ölçülerin sürekliliğini sağlamak için kod ölçülerini tespit edilen saat sıçramaları ile düzeltmek alıcı saat hatasında kümülatif bir artışa neden olur. Bu durum konum belirleme performansını kötü yönde etkileyecektir. Bunun yerine saat sıçraması görülmeyen faz ölçüleri, kod ölçülerinde saat sıçraması tespit edilen epoklarda ilgili sıçrama miktarı kadar düzelterek kod ve faz ölçüleri birbirleriyle uyumlu hale getirilir (Guo & Zhang, 2014; Momoh, Bhattarai & Ziebart, 2019). Yani bir başka deyişle faz ölçülerine ilave saat sıçramaları eklenerek kod ölçülerine benzer hale getirilir. Böylelikle ölçüler arasında tutarsızlık bulunan Tip 2 ve Tip 3 saat sıçramaları Tip 4 haline dönüştürülmüş olur. Tüm bu işlemler RINEX dosyasının yapısını bozmadan ilgili GNSS çözümünden önce ön işlem adımında gerçekleştirilmelidir. GNSS çözümünde ön işlem adımında saat sıçraması düzeltildikten sonra elde edilen yeni gözlemler kullanılmalıdır.

### 3. Uygulama

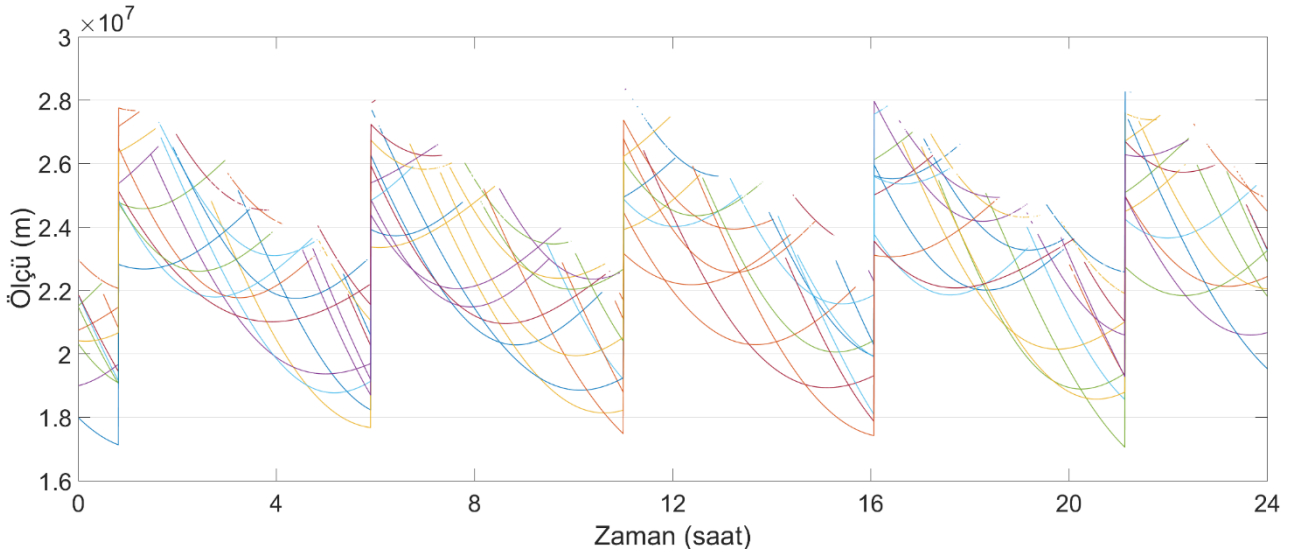
Bu kısımda öncelikle saat sıçramalarının ölçüler üzerinde yarattığı tutarsızlıklar gerçek GNSS verileri yardımıyla irdelenecektir. Daha sonra bir önceki bölümde açıklanan algoritma ile saat sıçramalarının tespiti araştırılacaktır. Ayrıca simüle edilmiş veriler kullanılacak ve algoritmanın ne kadar başarı ile saat sıçramalarını tespit ettiği ortaya konacaktır. Son olarak, saat sıçramalarının konum belirleme performansı üzerindeki etkisi örneklerle incelenecektir.

#### 3.1 Deneysel Çalışma 1: Gerçek Veri

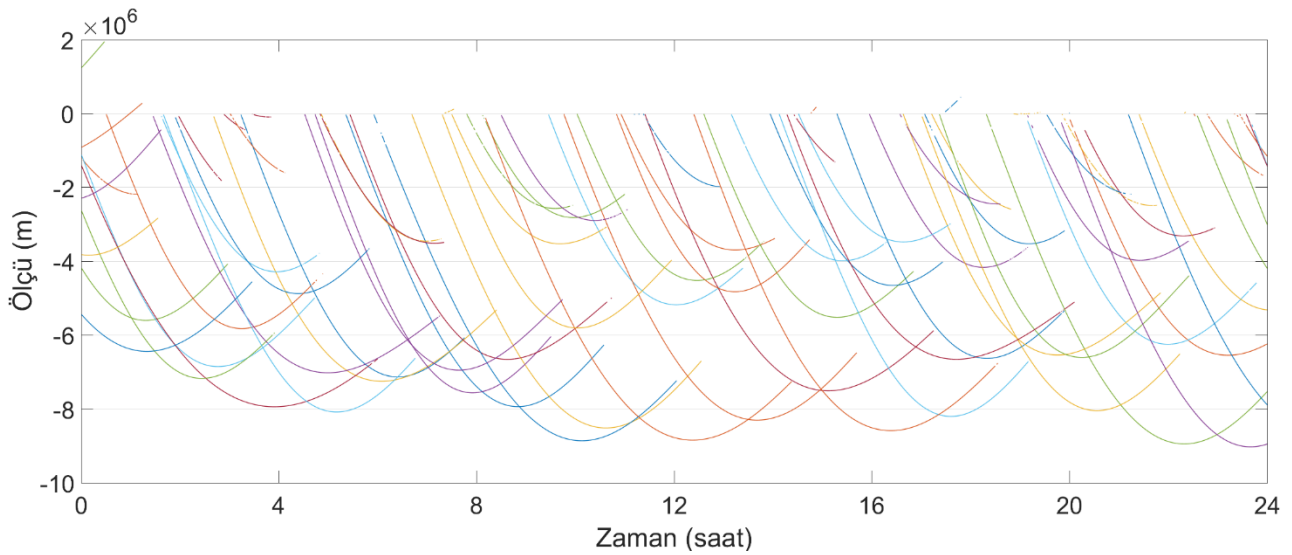
Her tip saat sıçramasının düzeltilmesine gerek olmadığından bu bölümde kod ve faz ölçüleri arasında tutarsızlığa neden olan Tip 2 ve Tip 3 saat sıçramaları incelenmiştir. Öncelikle saat sıçramalarının gerçek GNSS verisi üzerindeki etkisini gözlemleyebilmek için 2017 yılının ilk gününde ZWE2 adlı IGS (International GNSS Service) istasyonunda toplanan 24 saatlik ve 30 saniye aralıklı gözlem verisi kullanılmıştır. Tüm IGS istasyonlarından toplanan gözlem verileri taranarak çalışmada kullanılmaya uygun yani Tip 2 ve Tip 3 saat sıçramalarına sahip gözlem verileri tespit edilmiş ve aralarından ZWE2 istasyonu çalışma için belirlenmiştir. İlgili istasyon SEPT POLARX2 model GNSS alıcısına sahiptir ve gözlem verisinde Tip 3 saat sıçraması mevcuttur. Şekil 1 ve 2 sırasıyla ZWE2 istasyonunda toplanan bütün GPS uydularına ait P1 ve L1 ölçülerini göstermektedir. Şekillerden rahatlıkla görüleceği üzere ölçüler arasında tutarsızlığa neden olan Tip 3 saat sıçraması bu istasyonda görülmektedir. İlgili istasyonda yaklaşık her 5 saatte bir 19 milisaniyelik saat sıçraması meydana gelmektedir. Daha öncede belirtildiği üzere saat sıçramasının meydana geldiği anda görülen bütün uydular bundan etkilenmektedir. Daha ayrıntılı bakılacak olursa, ZWE2 istasyonundan toplanan günlük GNSS verisinde yer alan PRN02 uydusu için P1 ve L1 gözlemleri Şekil 3'te sunulmuştur. Görüleceği üzere uydunun görünür olduğu zamana düşen saat sıçramalarından P1 ölçüsü etkilenmiş ve L1 ölçüsü ile arasında tutarsızlık meydana gelmiştir. Bu tutarsızlık eğer tespit edilip düzeltilemezse konum belirleme performansını kötü yönde etkileyecektir.

Saat sıçraması kaynaklı ölçü tutarsızlıklarını tespit edebilmek için bir önceki bölümde kod ve faz gözlemlerinin iyonosferden bağımsız kombinasyonlarına bağlı yeni bir gözlem önerilmişti. ZWE2 istasyonunun PRN02 uydusu için  $\Delta W$  değerleri Şekil 4'te sunulmuştur. Ayrıca Şekil 5 bu farkların yakınlaştırılmış halini göstermektedir. Şekil 5'ten görüleceği üzere saat

sıçraması olmadığı zaman  $\Delta W$  gözlemi belirli bir gürültü seviyesi içinde sabittir. Saat sıçraması olduğunda  $\Delta W$  gözlemi büyük miktarlarda değişmektedir. Bu durum Şekil 4'te daha iyi bir şekilde gözlenmektedir.



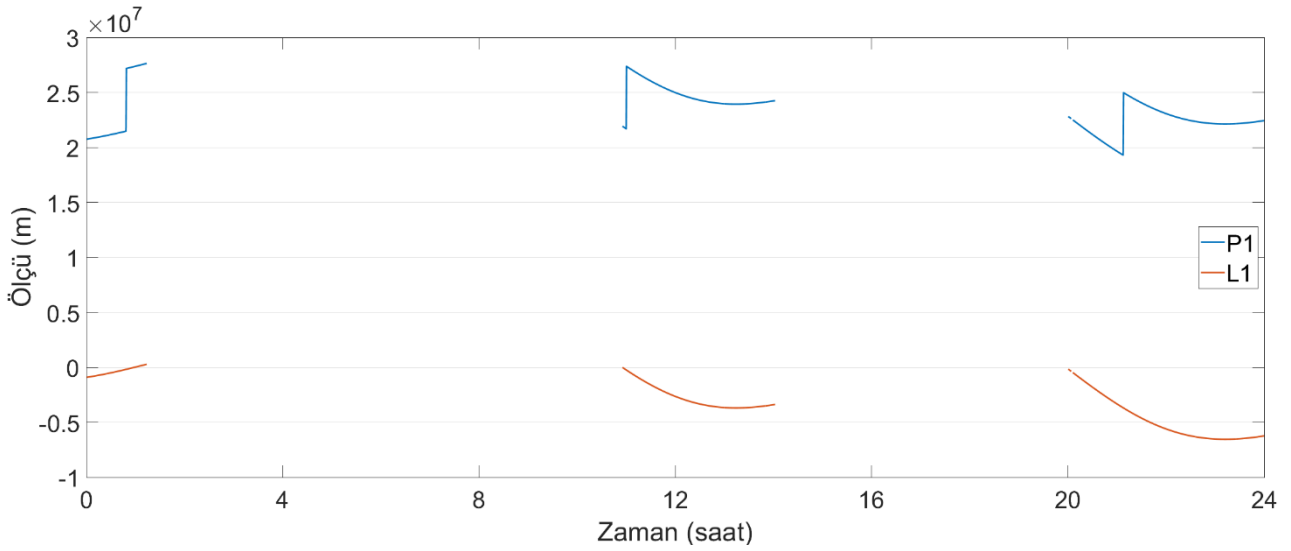
Şekil 1: 2007 yılının ilk gününde ZWE2 istasyonunda bütün gün boyunca toplanan GPS uyduları için P1 ölçüsü



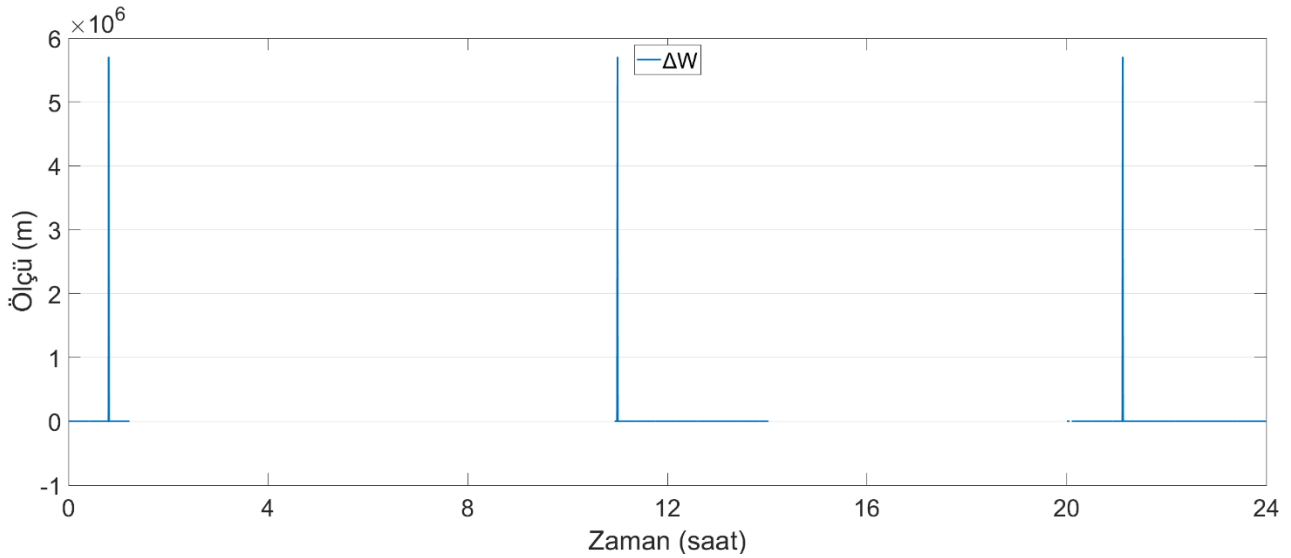
Şekil 2: 2007 yılının ilk gününde ZWE2 istasyonunda bütün gün boyunca toplanan GPS uyduları için L1 ölçüsü

### 3.2 Deneysel Çalışma 2: Simülasyon Verisi

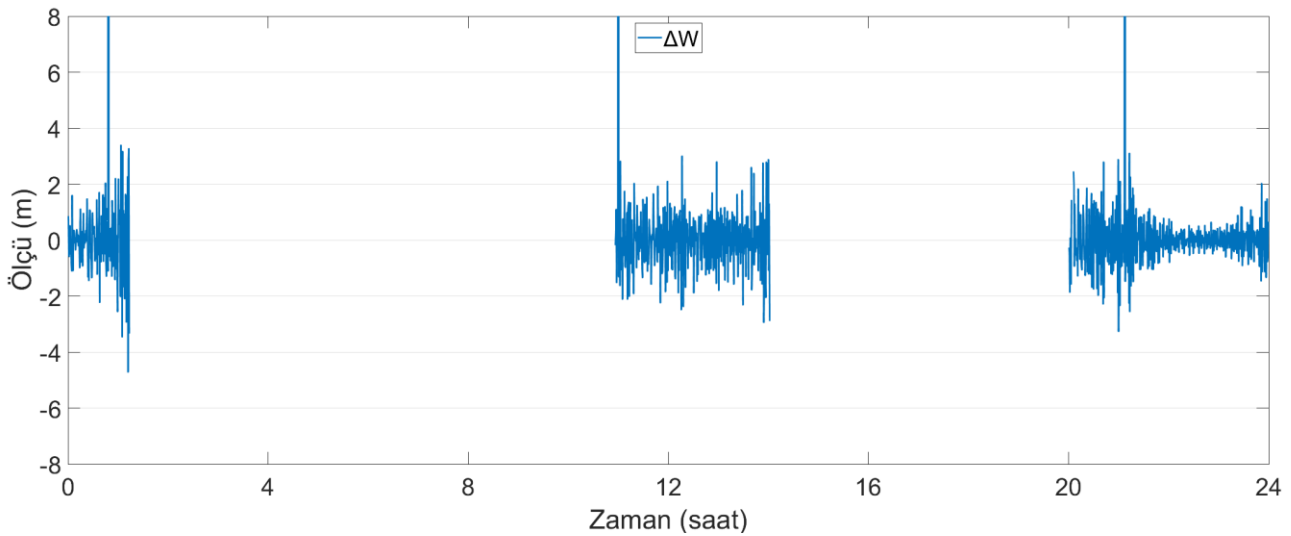
Saat sıçramaları, karakteristik özellikleri kullanılarak bir önceki bölümde açıklanan algoritma yardımıyla belirlenebilir. Bu algoritmanın saat sıçramalarını ne kadar başarıyla belirleyebildiğini araştırmak için ayrıca bir test gerçekleştirilmiştir. Bu testte 2019 yılının 70. gününde IGS ağına dahil İstanbul'daki ISTA istasyonunda toplanan ve öncesinde yapılan analizlerde saat sıçraması barındırmadığı tespit edilen günlük GNSS verisine farklı miktar ve aralıklarda saat sıçramaları eklenerek simüle edilmiştir. Simüle edilmiş bu verilerden, ilgili algoritma kullanılarak saat sıçramaları tespit edilmeye çalışılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir. Tablodan görüleceği üzere 500 tane Tip 2 ve 500 tane Tip 3 olmak üzere toplamda 1000 adet saat sıçraması simüle edilmiştir. İlgili algoritma bunların neredeyse %99'unu başarı ile tespit etmiştir. Burada algoritmanın oldukça yüksek bir yüzdeyle saat sıçramalarını belirleyebildiği söylenebilir.



Şekil 3: 2007 yılının ilk gününde ZWE2 istasyonunda toplanan PRN02 adlı GPS uydusuna ait P1 ve L1 ölçüleri



Şekil 4: PRN02 uydusuna ait  $\Delta W$  gözlemleri



Şekil 5: PRN02 uydusuna ait  $\Delta W$  gözlemleri (yakınlaştırılmış)

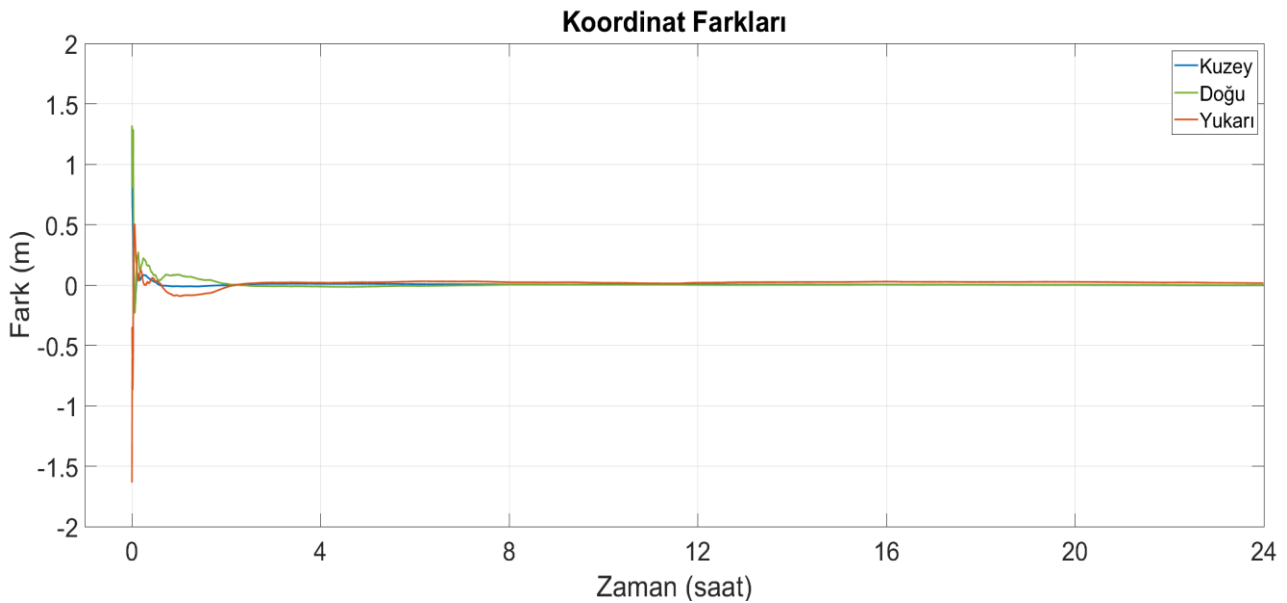


**Tablo 2:** Etki ettikleri GNSS ölçü türlerine göre saat sıçraması tipleri

Simüle Edilen Saat Sıçraması Sayısı	Tespit Edilen Saat Sıçraması Sayısı	Başarı Oranı (%)
Tip 2	500	99.2
Tip 3	500	98.4
Toplam	1000	98.8

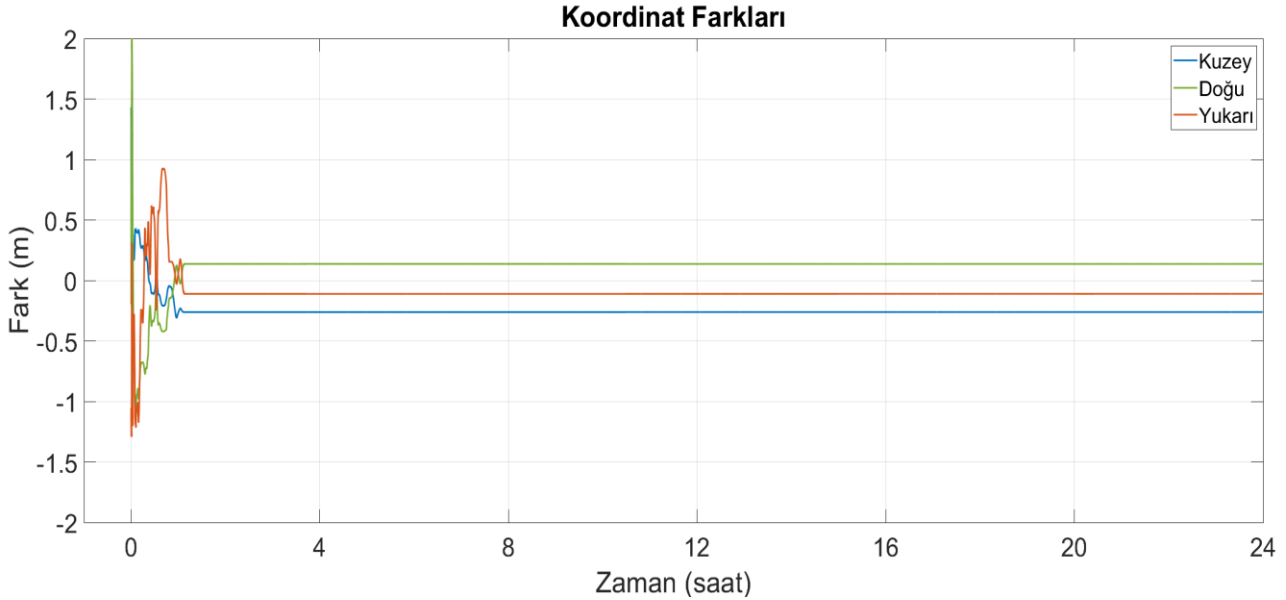
### 3.3 Saat Sıçramalarının Konum Doğruluğuna Etkisi

Saat sıçramalarının tespit edilemediği durumlarda konum belirleme performansını nasıl etkilediğini araştırmak için yine 2019 yılının 70. gününde ISTA istasyonundan toplanan günlük GNSS verisi kullanılmıştır. Bu veriye birinci saatin sonunda başlamak üzere yaklaşık birer saat arayla 1 milisaniyelik saat sıçramaları yapay olarak eklenerek ilgili gözlem verisi Tip 3 saat sıçraması içerir hale dönüştürülmüştür. Elde edilen veri kullanılarak saat sıçraması tespit edilmiş ve düzeltilerek statik modda PPP çözümü gerçekleştirilmiştir. PPP çözümü için çoklu-GNSS entegrasyonu gerçekleştirebilen açık-kaynaklı bir GNSS analiz yazılımı olan PPPH kullanılmıştır (Bahadur & Nohutcu, 2018). Bu şekilde gerçekleştirilen PPP çözümünden elde edilen koordinat farkları Şekil 6'da sunulmuştur. Burada bahsi geçen koordinat farkları IGS haftalık çözümlerinden elde edilen hassas istasyon koordinatları referans alınarak lokal koordinat sisteminde (kuzey, doğu ve yukarı) hesaplanmıştır. Şekil 6'dan görüleceği üzere PPP çözümü kısa bir süre içerisinde yakınsamıştır. Günün sonunda yani 24 saatlik çözümün sonunda kuzey, doğu ve yukarı yönde elde edilen koordinat farkları sırasıyla -0.2, -0.1 ve 1.6 cm'dir. Ayrıca koordinat farkları için hesap edilen karesel ortalama hata (KOH) değerleri ise sırasıyla 0.5, 1.6 ve 2.9 cm'dir. Bu değerler PPP çözümünün gerçekleştirildiği PPPH adlı yazılımdan hesaplanmıştır ve hesaplamalar ile ilgili detaylı bilgiler Bahadur ve Nohutcu (2018)'de bulunabilir.

**Şekil 6:** Saat sıçraması düzeltilen PPP çözümünden elde edilen koordinat farkları (kuzey, doğu ve yukarı)

Diğer taraftan ilgili PPP çözümü aynı şartlar altında bu sefer saat sıçraması düzeltilmeden gerçekleştirilmiştir. Buradan elde edilen koordinat farkları ise yine kuzey, doğu ve yukarı yönlerde Şekil 7'de sunulmuştur. Şekil 7'den görüleceği üzere saat sıçramaları konum belirleme doğruluğunu kötü yönde etkilemiştir. Kod ve faz gözlemleri arasındaki tutarsızlık çözümün doğruluğunu azaltmış ve bir noktadan sonra saat sıçraması ilgili yazılımda filtreleme aşamasında kullanılan robust istatistik yöntemler tarafından aykırı değer olarak değerlendirilmiştir. Dolayısıyla sinyal alınan bütün uydular saat sıçramasından etkilendiği için bütün uyduların ölçüleri aykırı değer olarak kabul edilip çözümünün yanlış bir yere yakınsamasına yol

açmıştır. Çözümün sonunda elde edilen koordinat farkları kuzey, doğu ve yukarı yönde sırasıyla -26.2, 13.7 ve -11.0 cm'dir. Elde edilen KOH değerleri ise sırasıyla 26.2, 17.8 ve 16.3 cm'dir. Yine bu değerler PPP çözümün gerçekleştirildiği PPPH adlı yazılımdan hesaplanmıştır. Özetle, elde edilen sonuçlar göstermiştir ki saat sıçramalarının tespit edilip uygun bir şekilde düzeltilmediği durumlarda özellikle PPP gibi hassas mutlak konum belirleme tekniklerinin performansı kötü yönde etkilenmektedir.



Şekil 7: Saat sıçraması düzeltilmeyen PPP çözümünden elde edilen koordinat farkları (kuzey, doğu ve yukarı)

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, öncelikle saat sıçraması ve etki ettiği ölçü türlerine göre saat sıçrama tipleri açıklanmıştır. Daha sonra, kod ve faz ölçüleri arasında tutarsızlığa yol açan Tip 2 ve Tip 3 saat sıçramalarını tespit edilebilmek için geliştirilen ölçülerin iyonosferden bağımsız lineer kombinasyonlarına dayanan algoritma detaylarıyla birlikte sunulmuştur. Ayrıca, saat sıçramalarının ölçüler üzerinde yarattığı tutarsızlıklar gerçek GNSS verileri kullanılarak incelenmiştir. Ardından, bu çalışma kapsamında geliştirilen algoritmanın saat sıçramalarının tespitinde olan başarısını ölçmek için 1000 adet yapay saat sıçraması gerçek GNSS verilerine simüle edilmiştir. Simüle edilen bu veriler üzerinden gerçekleştirilen testler, ilgili algoritmanın %99 gibi yüksek bir başarı yüzdesi ile saat sıçramalarını tespit edebildiğini ortaya koymuştur. Diğer taraftan, saat sıçramalarının konum belirleme performansına olan etkisini araştırmak için deneysel bir test gerçekleştirilmiştir. Bu testte, yapay olarak saat sıçraması eklenen günlük GNSS verisi kullanılarak öncelikle saat sıçramaları düzeltilerek ve ardından da aynı veri kullanılarak saat sıçraması düzeltilmeden PPP çözümleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, saat sıçramalarının düzeltilmediği durumlarda PPP çözümünün konum belirleme performansını kötü yönde etkilediğini göstermektedir.

Sonuçta, PPP gibi tek alıcıya dayanan mutlak konum belirleme tekniklerinde kod ve faz ölçüleri arasında tutarsızlığa yol açtığı durumlarda saat sıçramalarının mutlaka uygun bir yöntem kullanılarak tespit edilmesi ve düzeltilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde bilinmeyen parametrelerin kestirimi için ihtiyaç duyulan stokastik süreçlerin gerçekçi bir biçimde belirlenmesi önemli ölçüde güçleşmektedir. Ayrıca, saat sıçramaları mutlak konum belirleme tekniklerinin temel işlem adımları arasında yer alan faz kesikliği ve diğer aykırı değerlerin tespitinde zorluklara yol açmaktadır. Dolayısıyla, saat sıçramaları diferansiyel/rölatif konum belirleme tekniklerinin aksine PPP gibi mutlak konum belirleme tekniklerinde mutlaka göz önünde bulundurulması gereken önemli bir konudur.



## Teşekkür

Bu çalışma, 118Y410 no'lu proje kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmektedir.

## Kaynaklar

- Bahadır, B., & Nohutcu, M. (2018). PPPH: a MATLAB-based software for multi-GNSS precise point positioning analysis. *GPS Solutions*, 22(4), 113.
- Grewal, M. S., Weill, L. R., & Andrews, A. P. (2007). *Global positioning systems, inertial navigation, and integration*. John Wiley & Sons.
- Guo, F., & Zhang, X. (2014). Real-time clock jump compensation for precise point positioning. *GPS solutions*, 18(1), 41-50.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. (2007). *GNSS—global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*. Springer Science & Business Media.
- Kim, D., & Langley, R. B. (2001). Instantaneous real-time cycle-slip correction of dual frequency GPS data. *Proceedings of the international symposium on kinematic systems in geodesy, geomatics and navigation*, 255-264.
- Lonchay, M., Bidaine, B., & Warnant, R. (2011, September). An efficient dual and triple frequency preprocessing method for GALILEO and GPS signals. *3rd International Colloquium—Scientific and Fundamentals Aspects of the GALILEO Programme*.
- Momoh, J. A., Bhattarai, S., & Ziebart, M. (2019). Receiver clock jump and cycle slip correction algorithm for single-frequency GNSS receivers. *GPS Solutions*, 23(2), 38.

## Almanya'da arazi düzenlemesi

Volkan Çağdaş<sup>1\*</sup> , Hans Joachim Linke<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Davutpaşa Kampüsü, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Esenler, İstanbul, Türkiye.

<sup>2</sup>Darmstadt Teknik Üniversitesi, Jeodezi Enstitüsü, Arazi Yönetimi Anabilim Dalı, Darmstadt, Almanya.

**Öz:** Arazi düzenlemesi parsellerin geometrik ve hukuki durumunu imar planlarına göre biçimlendiren, teknik altyapı ve sosyal donatı tesisleri için gereksinim duyulan alanların edinimini sağlayan ve düzenleme dolayısıyla oluşan değer artışını kamuya kazandıran bir arazi geliştirme yöntemidir. Görece adil, eşitlikçi, katılımcı ve düşük maliyetli bir yöntem olan arazi düzenlemesi Almanya, Avustralya, Endonezya, Fransa, Hindistan, İspanya, İsrail, Japonya, Kolombiya, Tayvan ve Türkiye (bkz. De Souza, 2018, s. 93-96) gibi pek çok ülkede uygulanmaktadır. Bu makale, kent imarında başarılı bir geçmişe sahip Alman arazi düzenlemesi uygulamalarının kurumsal ve teknik boyutlarına odaklanmaktadır. Bu amaçla Almanya'da arazi düzenlemesinin kurumsal çerçevesini oluşturan kadastral sistem, taşınmaz değerlendirme ve mekânsal planlama sistemleri genel olarak incelenmiş, ardından Alman arazi düzenlemesinin iş süreçleri, özellikle değer esaslı dağıtım yaklaşımı ve değer takdir ilkeleri açıklanmış ve örneklendirilmiştir. Makalenin değer esaslı arazi düzenlemesinin Türkiye'ye uyarlanmasına yönelik çalışmalara katkı sağlaması beklenmektedir.

**Anahtar Sözcükler:** Arazi düzenlemesi, Arazi yönetimi, Almanya

### Land readjustment in Germany

**Abstract:** Land readjustment is a land development process, which forms geometries and legal status of land parcels according to detailed land use plans, acquires ownership of land needed for technical and social infrastructure facilities and captures value created by the development activities. It is a fair, equitable, participatory and cost-effective method applied in many countries, such as Germany, Australia, Indonesia, France, India, Spain, Israel, Japan, Colombia, Taiwan and Turkey (see De Souza, 2018, p. 93-96). This article focuses on institutional and technical aspects of the German land readjustment which has a history with great success in urban development. To this purpose, the institutional framework of the German land readjustment consisting of cadastral system, real estate valuation and spatial planning systems is investigated. Then, business processes of the German land readjustment, value-based reallocation methodology and valuation principles are explained and exemplified. This article is expected to provide contributions to works concerning to the adaptation of the value-based land readjustment method into Turkey.

**Keywords:** Land readjustment, Land administration, Germany

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tel: +90 212 383 5313

Geliş Tarihi/Received: 19.09.2019  
Kabul Tarihi/Accepted: 24.10.2019



## 1. Giriş

Yerleşme alanlarının arazi düzenlemesiyle geliştirilmesi Almanya’da uzun bir geçmişe sahiptir. İlk yasa Frankfurt am Main kenti için 1902 yılında çıkartılan Lex Addickes’dir (Müller-Jöckel, 2004). Güncel uygulamalar İmar Kanunu’na (Baugesetzbuch - BauGB) (§§ 45-79) göre yapılmaktadır. Geçmişte tarım arazilerini imara elverişli hale getirmek için kullanılan bu yöntem günümüzde kentsel dönüşüm amacıyla da başarılı biçimde uygulanmaktadır (Linke, 2013).

İmar Kanunu boyut, değer veya tüm tarafların kabul etmesi durumunda başka bir ölçüt üzerinden arazi düzenlemesi yapılmasına olanak vermektedir. Ancak pratikte tüm uygulamalar değer esası üzerinden yapılmaktadır. Seçilen ölçüt ne olursa olsun kentsel gelişim sonucunda oluşan ekonomik yararın taşınmaz malikleri ve belediye arasında paylaşılması amaçlanır. Planlama dolayısıyla oluşan değer artışı (=ham imar arazisi değeri<sup>1</sup>–tarım arazisi değeri) taşınmaz malikine; arazi düzenlemesi nedeniyle oluşan değer artışı (=imar arazisi değeri<sup>2</sup>–ham imar arazisi değeri) belediyeye bırakılır. Arazi düzenlemesi nedeniyle oluşacak değer artışı, arazinin imara elverişli duruma getirilmesi için gerekli faaliyetlerin malikler tarafından yapılması durumunda karşılaşılabilecek maliyete (ör. ölçme, haritalama ve parselasyon masrafları, noter harçları, tapu ve kadaströ harçları) yakındır. Ancak aynı sonuç arazi düzenlemesi ile daha kısa sürede alınacağından taşınmaz malikleri arazi düzenlemesi yoluyla yeni imar arazileri oluşturulmasına olumlu yaklaşırlar. Belediye bu süreçte taşınmaz maliklerinin çelişen çıkarları arasında arabuluculuk yapar.

Bu makale, Almanya’da uygulanan arazi düzenlemesi yöntemi ile bu yöntemin kurumsal çevresini oluşturan arazi yönetim sistemini tanımlamayı amaçlamaktadır. İzleyen bölümde Almanya’daki kadastral sistem, taşınmaz değerlendirilmesi ve mekânsal planlama sistemleri genel içeriği ile incelenmiştir. Üçüncü bölümde arazi düzenlemesi süreci, değer esaslı dağıtım metodolojisi ve değerlendirme ilkeleri anlatılmış, değer esaslı dağıtım yaklaşımına ilişkin varsayımsal bir örnek sunulmuştur. Makale dördüncü bölümde sunulan değerlendirmeler ile sonlandırılmıştır.

## 2. Almanya’da Arazi Yönetimi

### 2.1 Kadastral Sistem

Tapu sicili ve kadastrodan oluşan kadastral sistem, taşınmaz mülkiyetine güvence sağlamanın temelini oluşturur. Tapu sicili taşınmazların hukuki, kadastro geometrik nitelikleri ile ilgilenir.

#### 2.1.1 Tapu Sicili

Alman Taşınmaz Hukuku 1 Ocak 1900 tarihinde yürürlüğe giren Alman Medeni Kanununun (*Bürgerliches Gesetzbuch*) üçüncü kitabı ile düzenlenmiştir. Tapu sicil sisteminin temelleri de 1897 yılında yürürlüğe giren Tapu Sicil Kanunu (*Grundbuchordnung*) ile tanımlanmıştır. Diğer yasal düzenlemeler Kat Mülkiyeti Kanunu (*Wohnungseigentumsgesetz*) ve Tapu Tescil Tüzüğü (*Grundbuchverfügung*) içerir (Polten, 2011, s. 3).

Tapu sicili taşınmazlarla ilgili yasal ilişkilerin kanıtlanmasına hizmet eden bir kamu sicilidir. Alman Anayasasının (*Grundgesetz*) 14’üncü maddesinde tanımlanan taşınmaz mülkiyetine devlet güvencesi sağlar (Polten, 2011, s. 3). Tapu sicili

<sup>1</sup> Ham imar arazisi terimi, (i) imar planı kapsamında olan ancak arazi düzenlemesine konu olmamış ve altyapı bağlantıları sağlanmamış araziler ile (ii) arazi düzenlemesine konu olmuş ama altyapı bağlantıları sağlanmamış arazileri kapsar. Ayrım için birincisine düzenlenmemiş ham imar arazisi, ikincisine düzenlenmiş ham imar arazisi denilebilir. Ancak basitlik ve anlaşılabilirliği artırmak için bu tercih edilmemiştir. Bu makalede ham imar arazisi terimi, imar planı kapsamında olan ama arazi düzenlemesine konu olmamış arazileri, başka bir deyişle *düzenlenmemiş ham imar arazilerini* ifade etmektedir.

<sup>2</sup> İmar arazisi terimi, arazi düzenlemesi ile imara uygun duruma getirilmiş ve altyapı bağlantıları sağlanmış arazileri ifade eder.

idari bir kuruluş değil, adli sistemin bir parçasıdır; yerel mahkemelerin (*Amtsgericht*) tapu sicil daireleri (*Grundbuchamt*) tarafından tutulur. Tapu sicil daireleri, aynı hâkimler gibi bağımsız, yansız ve sadece kanuna bağlı çalışan adli hizmet uzmanları (*Rechtspfleger*) tarafından yönetilir (Schmid, Hertel & Wicke, 2005, s. 3). Bakanlıklar, kamu yönetimleri, parlamentolar ve hükümetler bu uzmanlara emir verme yetkisine sahip değildir (Wilsch, 2012, s. 225).

Taşınmaz (*Grundstück*) terimi tapu kütüğüne kaydedilen sınırlandırılmış bir yeryüzü parçasını, yani parseli ifade eder. Ancak taşınmaz mülkiyeti sadece parselin yüzeyini değil, parselin altındaki ve üstündeki yeryüzü katmanlarını da kapsar. Bu nedenle parsel terimi bir alanı değil, hacmi ifade eder. Bir taşınmaz bir ya da birden çok parselden oluşabilir. Ayrıca bazı aynı haklar (ör. üst hakkı) veya özel mülkiyet türleri (ör. kat mülkiyeti) de taşınmaz olarak tescil edilir. Bu tür taşınmazlar için özel siciller tutulur (ör. üst hakkı kütüğü, kat mülkiyeti kütüğü) (Steudle, 2015, s. 446-447). Her taşınmaz tapu kütüğünün ayrı bir sayfasına (*Grundbuchblatt*) tescil edilir. Tapu kütüğü sayfası aşağıdaki kısımlardan oluşur:

- Başlık: İlgili mahkeme adı, ilçe adı, sayfa numarası
- Taşınmazlar listesi: Taşınmazı oluşturan parsellerin numaraları, konumları, alanları, kullanım türleri, pay miktarı
- Kısım I: Taşınmaz malikinin adı ve edinim bilgileri
- Kısım II: Tüm aynı ve kişisel irtifak hakları ve diğer kısıtlılıklar
- Kısım III: Rehin hakları (Schmid vd., 2005, s. 14; Seifert, 2011, s. 667).

Tescil talebinin özel bir biçim koşulu bulunmamaktadır. Ancak taşınmaz mülkiyetinin devrine ilişkin sözleşmenin noterler tarafından onaylanması gerekir. Bu nedenle tapu sicili ile ilgili tüm başvuru belgeleri noterler tarafından hazırlanır. Böylelikle, haklar tescil edilmeden önce ilki noter ve ikincisi adli hizmet uzmanları tarafından olmak üzere iki kez kontrol edilmiş olur (Schmid vd., 2005, s. 14).

Almanya'da tüm taşınmazların tapu kütüğüne tescil edilmesi zorunludur. Bunun istisnası eyaletler, belediyeler ve kiliselerin mülkiyetindeki taşınmazlar ile nehirler ve demiryolları gibi satışa çıkarılmayacak yerlerdir. Ancak bunlar da maliklerinin istemi üzerine tescil edilebilirler. Pratikte taşınmazların neredeyse tamamı (~%95) tescil edilmiştir (Schmid vd., 2005, s. 13).

### 2.1.2 Kadastro

Kadastro, parselleri konumsal ve metinsel verilerle tanımlayan resmi bir sicildir. Kökeni 19'ncü yüzyılın başlarında vergisel amaçlarla oluşturulan mali kadastrolara dayanır. Kadastronun yönetimi eyalet hükümetlerinin sorumluluğundadır. Bu amaçla her eyalette farklı kurumsal yapıya sahip harita ve kadastro kuruluşları bulunur. Federal düzeyde standardizasyon eyalet kuruluşlarının temsilcilerinden oluşan Federal Almanya Cumhuriyeti Eyaletleri Harita ve Kadastro Kuruluşları Çalışma Kurulu (*Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland*) ile sağlanır (Seifert, 2011, s. 667).

Kadastronun üç bileşeni vardır:

- Kadastro sicili (*Liegenschaftsbuch*),
- Kadastro haritası (*Liegenschaftskarte*),
- Ölçü krokisi (*Vermessungszahlenwerk*), kadastro dosyası (*Liegenschaftskatasterakten*) (Steudle vd., 2015, s. 450-451).

Kadastro sicili ve haritalarının otomasyonuna ilişkin çalışmalar 1970’li yıllarda başlamış, metin verileri için Otomatik Kadastro Sicili (*Automatisiertes Liegenschaftsbuch*) ve geometrik veriler için Otomatik Kadastro Haritası (*Automatisierte Liegenschaftskarte*) adlı veri tabanları geliştirilmiştir. 2015 yılında yürürlüğe giren Resmi Kadastro Bilgi Sistemi (*Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem - ALKIS*) ile geometrik ve metin verileri tek sistem altında toplanmıştır. ALKIS’da kayıtlı metin verileri, taşınmaz sahibinin adı, doğum tarihi, adresi ve payı, parselin adres ve merkez koordinatları, kadastral tanımlayıcıları, alanı, kullanım türü, oluşturulma tarihi, ilgili kadastro haritası ve ölçü krokisi numaraları ile tapu sicilinde kayıtlı olduğu sayfa numarasını içerir. ALKIS’da kayıtlı coğrafi veriler ise parsel sınırları ve köşe nokta tesisleri, parsel numaraları, ilçe sınırları, yer kontrol noktaları, bina sınırları, bina numaraları, cadde adları, kullanım türü ve topoğrafik detaylardır (ör. bordürler, bisiklet yolları, toprak setler, duvarlar).

Bavyera dışındaki 15 eyalette kadastral ölçmelere ‘kamu tarafından atanmış harita mühendisleri’ (*Öffentlich bestellten Vermessungsingenieure*)<sup>3</sup> katılır. Kamu tarafından atanmış harita mühendisleri, serbest meslek mensupları olarak devlet adına resmi görevleri yerine getirme yetkisine sahiptirler. Bu unvan ilgili eyalet bakanlığının sorumluluğu altında organize edilen ‘devlet sınavı’nda (*Staatsexamen*)<sup>4</sup> başarılı olanlara verilir. Sınav yazılı ve sözlü olmak üzere iki aşamalı yapılır. Adayların yeterlilikleri ilgili kurum temsilcileri, öğretim üyeleri ve meslek temsilcilerinden oluşan bir jüri tarafından değerlendirilir. Alınan lisans sadece ilgili eyalet sınırları içinde geçerlidir. Kamu tarafından atanmış harita mühendislerinin faaliyetleri özel düzenlemelere tabidir.

## 2.2 Taşınmaz Değerlemesi

Taşınmaz değerlemesine ilişkin temel düzenlemeler İmar Kanunu ile yapılmıştır. İmar Kanunu değerlendirme kurullarının oluşumu, yetkileri ve sorumlulukları ile ilgili hükümler içerir. Piyasa değerlerinin takdiri ve değerlendirme verilerinin üretilmesinde federal düzeyde tutarlılık sağlamak amacıyla kapsamlı bir içeriğe sahip olan Taşınmaz Değerleme Tüzüğü yayımlanmıştır. (*Immobilienwertermittlungsverordnung*) (Ziegenbein, Reuter & Voß, 2015, s. 597-602).

Değerleme kurulları (*Gutachterausschüsse für Grundstückswerte*), taşınmaz piyasasını şeffaflaştırma amacıyla kurulmuş özerk ve bağımsız kuruluşlardır. Bu kurullar, değerlendirme alanında hem uzmanlığa hem de deneyime sahip bir başkan ve onur üyelerinden oluşur (§193 Abs. 2 BauGB). Başkan ve üyeler, yerel yönetimler tarafından uzatma seçeneği ile dört ya da beş yıllığına atanırlar. Aşağı Saksonya eyaletinde kadastro dairelerinin bir parçası olarak, diğer eyaletlerde ilçe düzeyinde organize edilmişlerdir. Kurullar harita mühendisliği, mimarlık, inşaat mühendisliği, bankacılık, emlak komisyonculuğu, şehir planlama, ziraat ve orman mühendisliği gibi farklı meslek disiplinlerinden gelen üyelerden oluşur (Voß & Bannert, 2018, s. 36). Kurulların yeterli personel ve donanımına sahip bir merkez ofisi (§193 Abs. 4 BauGB) ve başkan tarafından verilen talimatlara göre çalışan yerel ofisleri bulunur (Ziegenbein vd., 2015, s. 609).

Değerleme kurulları satış fiyatları envanterlerinin oluşturulması, standart zemin değerlerinin takdiri, piyasa raporlarının hazırlanması ve taşınmaz değerlemesinde kullanılacak verilerin üretilmesinden sorumludur (§193 Abs. 3 BauGB; Voß & Bannert, 2018, s. 36). Ayrıca bu kurullar, belediyeler ve taşınmaz değerlerinin belirlenmesinden sorumlu diğer kuruluşlar ile mahkemelerin istemi üzerine yapıli ve yapısız taşınmazlar ile sınırlı aynı hakların piyasa değerlerine ilişkin uzman görüşü sunmakla yükümlüdür (§193 Abs. 1 BauGB). Uzman görüşleri aksi kararlaştırılmadıkça bağlayıcı değildir (§193 Abs. 4 BauGB). Eyalet hükümetleri değerlendirme kurullarına ilave görevler verebilir (§199 BauGB).

<sup>3</sup> <https://www.bdvi.de/en/>

<sup>4</sup> Harita mühendislerinin yanı sıra hekimler, öğretmenler, eczacılar, psikoterapistler ve hukukçular (ör. avukatlar, hakimler, savcılar, noterler) da devlet sınavına girerek kamu hizmet sunma yetkisi edinebilirler. (bkz. [https://en.wikipedia.org/wiki/Staatsexamen#cite\\_note-2](https://en.wikipedia.org/wiki/Staatsexamen#cite_note-2)).

### 2.2.1 Satış Fiyatları Envanteri

İmar Kanunu, taşınmaz satış ve kira sözleşmelerinin kopyalarının noterler başta olmak üzere ilgili kuruluşlar tarafından değerlendirilmesine gönderilmesini şart koşar. Diğer kuruluşlar da taşınmaz devir işlemleri (ör. icra, haciz, kamulaştırma, parselasyon planı) hakkında kurulları bilgilendirmekle yükümlüdür (§195 Abs. 1 BauGB). Değerleme kurulları kendisine iletilen sözleşmelerden derlediği verileri (ör. satış tarihi, satış fiyatı, kullanım türü) analiz ederek satış fiyatları envanteri adı verilen bir veri tabanı oluşturur. Satış sözleşmelerinden derlenmeyen veriler taşınmazın yerinde yapılacak incelemeler veya görüşmeler yoluyla edinilir. Değerleme kurulları, satış fiyatları envanterlerinde tutulan verileri istatistiksel yöntemlerle analiz ederek standart zemin değerleri ve endeks serilerini üretir, taşınmaz piyasasına ilişkin raporlar hazırlar. Satış fiyatları envanterleri çoğu eyalette veri tabanı formunda yazılım desteğiyle yönetilir (Ziegenbein vd., 2015, s. 609).

Değerleme kurulları, uzman bilgisine sahip kişilerden ve söz konusu taşınmazla ilgili bilgi sağlayabilecek durumdaki kişilerden yazılı veya sözlü bilgi alma yetkisine sahiptir (§197 Abs. 1 BauGB). Ayrıca mahkemeler ve kamu kuruluşları değerlendirme kurulları ile iş birliği içinde çalışmakla yükümlüdür (§197 Abs. 2 BauGB). Satış fiyatları envanterleri veri koruma mevzuatı kapsamındadır. Satış verileri yalnızca vergi idarelerine vergisel amaçlarla verilebilir. Mahkemeler ve savcılık makamları da görülen davalarla ilgili verileri değerlendirme kurullarından alabilirler (§195 Abs. 2 BauGB).

### 2.2.2 Standart (Referans) Zemin Değerleri

İmar Kanunu değerlendirme kurullarına standart veya referans zemin değerleri belirleme görevi vermiştir (§196 BauGB). Buna göre değerlendirme kurulları, satış fiyatları envanterlerinde kayıtlı verileri esas alarak belediye sınırları içindeki arazilerin birim metrekare zemin değerlerini takdir eder. Standart zemin değerleri güncel piyasa değerlerini yansıtır; kamu taşınmazlarının satışı, emlak ve veraset vergisinin hesaplanmasında referans değer olarak dikkate alınır (Schöttler, 2016, s. 44-45).

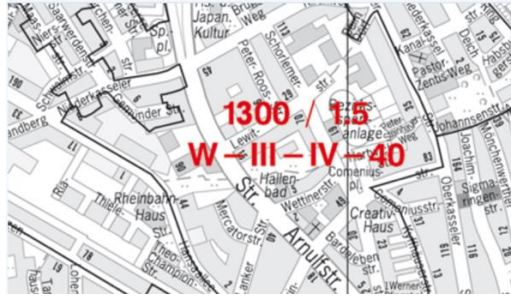
Standart zemin değerleri, (altyapı bağlantısı yapılmış) imar arazileri için belirlenir (§196 Abs. 3 BauGB). Yapılaşmış alanlarda zemin değerleri, arazinin yapılaşmamış olduğu varsayımıyla takdir edilir (§196 Abs. 1 BauGB). Standart zemin değerleri, imar planı ve satış fiyatları envanteri verilerinden yararlanılarak, değere etki ettiği düşünülen nitelikler (ör. konum, büyüklük, imar durumu, kullanım türü) açısından benzerlik gösteren bölgeler esasında belirlenir. Başka bir deyişle, yapısal kullanım açısından benzerlik gösteren bir bölgede, standart / tipik olarak tanımlanmış yapısız bir imar arazisinin birim değerini ifade eder (Voß & Bannert, 2018, s. 37). Aynı değer bölgesi içinde standart niteliklerden sapan taşınmazların değerleri dönüşüm katsayıları ile belirlenebilir. Bir bölge içinde konum, imar durumu ve kullanım türü gibi esas nitelikler genellikle aynı olduğundan, sadece boyut için dönüşüm katsayısı sunulur (Ziegenbein vd., 2015, s. 614).

Standart zemin değerleri çoğu eyalette takvim yılının sonunda yıllık, bazılarında iki yılda bir belirlenir, ilgili vergi daireleri tarafından yayımlanır. Değerleme kurulları, İmar Kanununun uygulanmasından sorumlu idarelerin başvurusu üzerine arazi düzenlemesi ve kentsel dönüşüm gibi amaçlarla özel standart arazi değerleri belirleyebilirler (§196 Abs. 1 BauGB).

Standart zemin değerleri bir örneği Şekil 1'de sunulan haritalar (*Bodenrichtwertkarte*) ile görselleştirilir. Bu örnek, kat alanı katsayısı 1,5 olan dört katlı konut inşaatına elverişli, 40 m derinliğe sahip imar arazilerini içeren bir değer bölgesinin standart zemin değerini 1.300 €/m<sup>2</sup> olarak göstermektedir. Almanya'daki 16 eyaletin 15'inde standart zemin değerlerinin çevrimiçi erişilmesine olanak veren coğrafi bilgi sistemleri (*Bodenrichtwertinformationssystem*)<sup>5</sup> geliştirilmiştir (Ziegenbein vd., 2015, s. 619).

<sup>5</sup> <http://www.gutachterausschuesse-online.de>





Şekil 1: Düsseldorf şehri için hazırlanmış standart zemin değeri haritasından bir kesit<sup>6</sup>

### 2.2.3 Değerleme Verileri

Değerleme kurulları, yukarıdaki verilerin yanı sıra fiyat endeksleri, dönüşüm katsayıları ve taşınmaz faiz oranları gibi verilerin üretilmesinden sorumludur. Fiyat endeksleri (*Preisentwicklung*), taşınmaz piyasasındaki genel değerlerin zamana bağlı değişimini gösterir. Satış fiyatları envanterindeki verilerin analizi ile tek ve çok ailelik konutlar, ticari taşınmazlar ile tarım arazileri için hesaplanır. Dönüşüm katsayıları (*Umrechnungskoeffizienten*), taşınmaz niteliklerindeki farklılaşmanın değere etkisini belirtir. Bu katsayılar, standart taşınmaz niteliklerinden sapan niteliklerinin değere dönüştürülmesini olanaklı kılar. Taşınmaz faiz oranları ise (*Liegenschaftszinssätze*) taşınmaz piyasasına özgü ortalama faiz oranlarıdır. Gelir yönteminin tersten uygulanmasıyla gelir getiren taşınmazlar (ör. kiralık konutlar) için standart taşınmaz nitelikleri esas alınarak hesaplanır (*Ziegenbein vd., 2015, s. 619-621*).

### 2.3 Mekânsal Planlama

Almanya'da mekânsal planlama sistemi İmar Kanunu ve Mekânsal Planlama Kanunu (*Raumordnungsgesetz*) ile düzenlenmiştir. Planlama yetkileri federal, eyalet ve yerel yönetim düzeyleri arasında paylaşılmıştır.

#### 2.3.1 Yerel Üstü Düzeyde Planlama

Almanya'da merkezi bir planlama otoritesi bulunmamaktadır. Federal yönetim, mekânsal planlama kılavuzları, ilkeleri ve hedeflerini belirleyerek eyalet mekânsal planlama yasaları için bir çerçeve sunar (ör. Mekânsal Planlama Raporu, 2005; Federal Alanın Mekânsal Kalkınması İçin Kılavuz, 2006) (*Pahl-Weber & Henckel, 2008, s. 69-73*).

Eyalet düzeyinde mekânsal planlama, eyaletin bütününde eşit ve sağlıklı yaşam ve çalışma koşulları oluşturmayı hedefler. Başlıca amacı endüstri, ticaret, ulaşım, altyapı hizmetleri, konut, rekreasyon, doğa ve çevre korumayla ilgili tüm önemli ilkeleri ve bağlayıcı hedefleri tanımlamaktır. Eyalet düzeyindeki planlar, eyalet kalkınma planı (*Landesentwicklungsplan*), eyalet kalkınma programı (*Landesentwicklungsprogramm*) veya eyalet mekânsal planlama programı (*Landesraumordnungsprogramm*) olarak adlandırılır. Eyalet kalkınma planları genel olarak bir rapor, plan ve haritadan oluşur. Eyaletin tümünü kapsayacak biçimde (ölçek ~1:300.000) eyaletin en yüksek mekânsal planlama otoritesi tarafından hazırlanır; parlamento tarafından onaylanarak tüzük, hükümet tarafından onaylanarak yönetmelik formunda yürürlüğe girer. Eyalet mekânsal planları ve programları, düzenli aralıklarla (ör. 10 yılda bir) güncellenir (*Pahl-Weber & Henckel, 2008, s. 73-74*).

Bölge düzeyinde planlama, belediye sınırlarının ötesindeki arazi kullanım meselelerini koordine etmeyi amaçlar. Bir bölgenin genel çıkarlarını yerel yönetimlerin özel çıkarlarına karşı savunur. Eyalet mevzuatına göre hazırlanır. Planlama bölgelerinin tanımlanması ve bölgesel planların içeriğinin belirlenmesi eyalet yönetimlerinin sorumluluğundadır. Farklı eyaletlerde bölgesel plan (*Regionalplan*), bölgesel kalkınma planı (*regionaler Entwicklungsplan*) veya alan kalkınma planı

<sup>6</sup> <https://gutachterausschuss.duesseldorf.de/en/products/standard-ground-value-map.html>

(*Gebietsentwicklungsplan*) gibi adlarla anılır. Genellikle 1:50.000 ila 1:100.000 arasında değişen ölçeklerde hazırlanır. Uzun vadeli hedeflere sahip bölgesel planlar düzenli aralıklarla (ör. 10 yılda bir) güncellenir (Pahl-Weber & Henckel, 2008, s. 77-78).

### 2.3.2 Yerel Düzeyde Arazi Kullanım Planları

Arazi kullanım planları, nazım imar planı (*Flächennutzungsplan*) ve uygulama imar planından (*Bebauungsplan*) oluşur. Bu planlarının gerekli olan en kısa sürede hazırlanması belediyelerin sorumluluğundadır (§1 Abs. 3 BauGB). Nazım imar planı, tüm belediye bölgesi için öngörülen arazi kullanım türlerini özetler, uygulama imar planları için bir çerçeve ve temel sağlar. Tüm belediye sınırlarını kapsaması gerektiğinden ölçeği belediyenin büyüklüğüne bağlı olarak 1:5.000 ila 1:25.000 arasında değişir. Uygulama imar planı ise arazi kullanımını yönetmek ve denetlemek için parsel düzeyinde tanımlamalar içerir (§8 Abs. 1 BauGB). 1:500 ila 1:2.000 arasında değişen ölçeklerde hazırlanabilir. Uygulama imar planı, arazi düzenlemesi, arazi iyileştirme (yerel altyapı sağlanması) ve kamulaştırma gibi önlemleri biçimlendirir (Pahl-Weber & Henckel, 2008, s. 79-80). Hem nazım hem de uygulama imar planları önerilen kentsel gelişimin hedeflerini ve amaçlarını açıklayan, çevresel etki değerlendirmesi sunan bir açıklama raporu içerir (§1a BauGB).

Arazi kullanım planlarının hazırlanmasına ilişkin süreç İmar Kanunu ile tanımlanmıştır. Nazım ve uygulama imar planı hazırlama süreçleri karar aşamasına kadar aynıdır. Süreç resmi olarak bir planlama kararı ile başlar. Bu karar, eyalet ve yerel mevzuata bağlı olarak ilgili kurullar tarafından alınır ve belediyede alışıldık yollarla ilan edilir. İmar Kanununda tanımlanan erken halk katılımı, halkın planlamanın genel amaçları ve hedefleri hakkında bilgilendirilmesine ve onların görüşlerinin alınmasına hizmet eder (§3 Abs. 1 BauGB). Belediye ayrıca, kamu yönetimleri ile plandan etkilenebilecek tüm kamu kuruluşlarını mümkün olan en erken tarihte planın amaç ve hedefleri hakkında bilgilendirir (§4 Abs. 1 BauGB). Tüm yorum ve görüşler toplanır toplanmaz, özel ve kamusal çıkarlar değerlendirilir. Hazırlanan taslak plan açıklama raporu ile bir aylığına askıya çıkar (§3 Abs. 2 BauGB). Bu sürece paralel olarak ilgili diğer kamu kuruluşlarına da görüşlerini sunmaları için bir aylık süre tanınır (§4 Abs. 2 BauGB). Uygulama imar planı bu sürecin sonunda belediye tarafından tüzük formunda kabul edilir (§1 Abs. 1 BauGB), onay kararının yayımıyla yürürlüğe girer (§10 Abs. 3 BauGB). Nazım imar planı ise onay için üst düzey idari otoriteye sunulur (§6 Abs. 1 BauGB), onayın ardından belediyede yapılan ilan ile duyurulur, onay kararının yayımı ile yürürlüğe girer (§6 Abs. 5 BauGB).

## 3. Almanya'da Arazi Düzenlemesi

İmar Kanunu yeni yerleşim alanları oluşturulması veya yerleşim alanlarının iyileştirilmesi amacıyla arazilerin konum, biçim ve büyüklük koşullarına uygun biçimde düzenlenmesine olanak vermektedir (§45 Abs. 1 BauGB). Buna göre belediyeler (arazi düzenleme daireleri), yeni yerleşim alanları için öngörülen kentsel gelişimin sağlanması amacıyla imar planının uygulanmasını sağlayacak arazi düzenlemesi çalışmalarına en kısa sürede başlamalıdır (Linke, 2018, s. 129). Arazi düzenlemesi imar planı henüz hazırlanmamış yerlerde bile başlatılabilir. Arazi düzenlemesi ile ilgili müzakerelerin imar planı kararlarını etkileme olasılığı nedeniyle imar planı hazırlama ve arazi düzenlemesi süreçleri sıklıkla paralel biçimde yürütülür. Ancak imar planı, parselasyon planının kabulüne ilişkin kararın (§66 Abs. 1 BauGB) alınmasından önce yürürlüğe girmiş olmalıdır (§45 Abs. 2 BauGB).

Belediyeler düzenleme ile ilgili yetkilerini, arazi toplulaştırma otoritelerine veya yeterli deneyime sahip diğer kamu kuruluşlarına devredebilir. Ayrıca, arazi düzenlemesi süreci ile ilgili görevlerden bir kısmı (ör. müzakereler, ölçme ve haritacılık faaliyetleri) kamu tarafından atanmış harita mühendislerine devredilebilir (§46 Abs. 4 BauGB). Arazi düzenlemesi sürecine katılan diğer taraflar taşınmaz malikleri, kısıtlı ayni ve şahsi hak sahipleri, belediyeler ve yerel kamu altyapısı

sağlamakla görevli kamu kuruluşlarıdır (§48 BauGB). Taraflardan herhangi birinin temsil edilmediği durumlarda, arazi düzenleme dairesinin talebi üzerine vesayet mahkemesince teknik açıdan ehliyetli bir temsilci atanır (§207 BauGB).

İmar Kanunu eyalet yönetimlerine bağımsız karar alma gücüne sahip arazi düzenleme kurulları oluşturma yetkisi vermiştir (§46 Abs. 2 S. 1 BauGB). Bu kurulların oluşumu eyaletlere göre değişse de genel olarak bir harita ve kadastro uzmanı, bir değerlendirme uzmanı, bir hukukçu ve belediye meclisi tarafından atanan iki üyeden oluşur. Arazi düzenleme kurullarına verilen görevler, kurulların oluşturulmadığı yerlerde arazi düzenleme daireleri tarafından yerine getirilir.

Düzenleme, arazi düzenleme dairesi tarafından alınan bir kararla başlar. Bu kararda düzenleme sahasının adı ve sınırları belirtilir, düzenleme sahası içinde kalan taşınmazlar listelenir (§47 BauGB). Düzenleme sahası arazinin pratik biçimde düzenlenmesine olanak verecek biçimde belirlenir. Bir düzenleme sahası birbirine bitişik olmayan parselleri içerebilir (§52 Abs. 1 BauGB). Genel olarak bir düzenleme sahası, farklı maliklerin tasarrufunda bulunan iki parselden küçük olmamalıdır. Ekonomik sonuçlar doğurmasından ötürü düzenleme kararı alınmadan önce taşınmaz sahipleri ile görüşülür.

Düzenleme kararı belediyede geleneksel yollarla yapılan bir ilanla kamuya duyurulur. İlgili tüm tarafların anlaşması durumunda kamuya açık bildirim yapılmayabilir (§50 Abs. 1 BauGB). İlanda düzenleme sahasındaki parseller ile ilgili tescil edilmemiş haklar varsa bunların bir aylık süre içinde hak sahipleri tarafından tapu siciline başvurarak tescil edilmesine yönelik bir çağrı da yapılır (§50 Abs. 2 BauGB). Düzenleme kararı tapu sicili ile kadastronun yürütülmesinden sorumlu kuruluşlara bildirilir. Hemen ardından tapu sicil kayıtlarına parsellerin arazi düzenlemesine konu olduğuna dair şerh konulur. Düzenleme kararının alınmasıyla tasarruf yasağı yürürlüğe girer; taşınmazlar üzerine aynı hak tesisi veya terkini gibi hukuki tasarruflar ile değer değişimine neden olabilecek fiziki tasarruflar (§51 Abs 1 S. 1-4 BauGB) arazi düzenleme dairesinin iznine tabi olur. Arazi düzenleme dairesi, düzenlemeyi ciddi biçimde engelleyeceği veya zora sokacağı düşünülen tasarruflara izin vermeyecektir (§51 Abs. 3 BauGB). Arazi düzenlemesi sonrasında müstakil dağıtıma olanak vermeyecek ölçüde küçük parseller oluşturulmasına yönelik ifraz işlemleri veya pay satışları, geçit hakkı tesisi, yeni oluşacak parsellerin geometrisinin bozulmasına neden olabilecek bina inşaatları bu tür tasarruflara örnek verilebilir.

Arazi düzenleme kurulu düzenleme sahasının halihazır haritasını hazırlar, uygulamadan etkilenen parsellere ilişkin bir envanter oluşturur. Harita, parseller ve binaların güncel konumunu ve biçimini; envanter ise parsellerin sahiplerini, tapu sicili ve kadastro sicilinde kayıtlı tanımlamaları, boyut, kullanım türü, adres ile tapu siciline kayıtlı kısıtlılık bilgilerini gösterir (§53 Abs. 1 BauGB). Halihazır harita ve envanter bir ay boyunca belediyede askıya çıkar (§53 Abs. 2 BauGB).

Arazi düzenlemesinin nihai ürünü taşınmaz sahiplerinin görüşleri de dikkate alınarak hazırlanan parselasyon planıdır (§66 Abs. 1 BauGB). Parselasyon planı biçim ve içerik açısından kadastro sicili ile ilgili teknik hükümlere uygun hazırlanır (§66 Abs. 2 BauGB). Parselasyon planı bir harita ve envanterden oluşur (§66 Abs. 3 BauGB). Parselasyon haritası, düzenleme sahasının imar planına göre yeniden düzenlenmiş durumunu yansıtır; yeni oluşturulan parsellerin sınırlarını, tanımlayıcılarını ve yerel kamu altyapısını gösterir (§67 BauGB). Parselasyon envanteri ise parsellerin düzenlemeden önceki ve sonraki durumlarını eşleştirir; parsellerin boyutu, kullanım türü, maliki, diğer aynı ve şahsi hak sahipleri, yerel kamu altyapısı için yapılacak ödemeler, belediye kararları ve kamu irtifak haklarını gösterir (§68 BauGB).

Parselasyon planının kabulüne ilişkin karar belediyede alışılmış yollarla yapılan ilanla kamuya duyurulur. İlanda parselasyon planının incelemeye açık olacağı yer ile parselasyon planının ilgili kısımlarının kopyalarının hak sahiplerine verilebileceği de belirtilir (§69 Abs. 1 BauGB). Parselasyon planı, yeni oluşan parsellerin tesciline dek ilgisini kanıtlayacak kişiler tarafından incelenebilir (§75 BauGB). İlanın ardından parselasyon planının kesinleşeceği tarih, arazi düzenleme dairesi tarafından duyurulur (§71 Abs. 1 BauGB). Kamuya duyuru, yeni sahiplerin kendilerine tahsis edilen parsellere tasarruf etme

yetkisini verir (§72 Abs. 1 BauGB). Arazi düzenleme dairesi, parselasyon planının kesinleşme kararı ile parselasyon planının onaylı kopyalarını tapu sicili ve kadastro sicilinin tutulmasından sorumlu kuruluşlara göndererek sicillerde gerekli değişikliklerin yapılmasını ister (§74 Abs. 1 BauGB). Arazi düzenlemesi, tapu sicili ve kadastro sicilinde yapılan tescil ile sona erer.

### 3.1 Dağıtım Metodolojisi

Düzenleme sahasındaki parsellerin düzenlemeden önceki ve sonraki alanları toplamı sırasıyla katılım kitlesi ve dağıtım kitlesi olarak adlandırılır. Katılım kitlesi ve dağıtım kitlesi arasındaki fark yeni yerel kamusal altyapı tesisleri için ayrılmış alandır. Yerel kamusal altyapı, yaya ve konut yollarını içeren caddeler, toplayıcı yollar, halka açık alanlar ve araç park yerlerini kapsar (§55 Abs. 2 S. 1 BauGB). Ayrıca, çocuk oyun yerleri, zararlı çevresel faktörlere karşı koruma sağlayacak tesisler de dahil olmak üzere yeşil alanlar ile düzenleme sahasında yaşayanların gereksinimlerini karşılaması koşuluyla yağmur suyu ıslah ve taşkın önleme tesis alanları da yerel kamusal altyapı alanlarındandır (55 Abs. 2 S. 2 BauGB).

Köy yolları gibi artık gereksinim duyulmayan eski altyapı alanları, yeni altyapı için gereken arazi miktarını düşürmek için kullanılır. Yerel kamusal altyapı alanlarının dışında düzenleme sahası dışındaki insanlara da yarar sağlaması beklenen tesis alanları (ör. kreş, okul, mezarlık), düzenleme sahası içinde veya dışında alternatif arazi sağlaması durumunda katılım kitlesinden çıkartılarak ilgili kamu kuruluşuna tahsis edilir (§55 Abs. 5 BauGB).

Dağıtım kitlesi, düzenleme sonrası arazi sahiplerine tahsis edilecek net imar arazisi (arsa) miktarıdır. Dağıtım kitlesi boyut veya değer ölçütleri üzerinden tahsis edilebilir. Uygulanacak ölçüt tarafların çıkarları değerlendirildikten sonra arazi düzenleme dairesi tarafından oybirliğiyle belirlenir (§56 Abs. 1 BauGB). Değer Almanya'daki uygulamalarda kullanılan neredeyse tek ölçüttür. Ancak boyut veya tüm tarafların kabul etmesi durumunda başka ölçütler üzerinden de dağıtım yapılabilir (§56 Abs. 2 BauGB).

Değer esaslı dağıtımda, bir malikin düzenleme sonrası alacağı parselin değeri bu malikin katılım kitlesindeki parselinin değerine eşit olmalıdır. Başka bir deyişle, her malike parselinin düzenleme kararının alındığı gündeki piyasa değerine eşit değerde yeni parseller tahsis edilir (§57 BauGB). Değer esaslı dağıtımda, altyapı tesis alanları için yapılacak kesinti miktarı için bir sınır belirlenmemiştir. [Kötter \(2018\)](#), alan kesintisinin düzenleme dolayısıyla oluşan değer artışıyla uyumlu olması gerektiğini, %50'nin üzerinde olabilecek bir alan kesintisinin problemlere neden olabileceğini belirtmektedir (s. 166). Boyut esaslı dağıtımda ise düzenleme nedeniyle oluşan değer artışı karşılığı yapılan alan kesintisinin ardından kalan miktar taşınmaz malikine tahsis edilir. Kesinti oranı önceden yerel altyapı sağlanmamış yeni imara açılacak yerlerde en çok %30, diğer yerlerde en çok %10 olabilir. Arazi düzenleme dairesi alan kesintisini kısmen veya tamamen bedele dönüştürebilir (§58 Abs. 1 BauGB).

Katılım parsellerinin boyut veya değer esaslı üzerinden hesaplanmış paylarına karşılık olanaklı olduğu ölçüde aynı veya eşdeğer yerde dağıtım yapılır (§59 Abs. 1 BauGB). Bu sağlanamazsa dağıtım nedeniyle oluşan değer farkı nakden veya aynen (arazi olarak) tazmin edilir (§58 Abs. 2 BauGB). Tazminat miktarı düzenleme kararının alındığı günkü değerler üzerinden hesaplanır (§58 Abs. 3 BauGB). Bu nedenle, boyuta dayalı dağıtım uygulamalarında da parsellerin düzenleme öncesi ve sonrasındaki değerleri takdir edilir.

Var olan imar planı kapsamında arazi dağıtımını yapılamaması durumunda dağıtım finansal anlaşma yoluyla da yapılabilir (§59 Abs. 2 BauGB). Etkilenen diğer parsel sahiplerinin rızasıyla anlaşmada şu çözümler sunulur: (1) Parasal bedel, (2) düzenleme sahası dışında taşınmaz, (3) paylı mülkiyete konu bir taşınmazda pay, mülkiyet dışında ama mülkiyet hakkına benzer aynı haklar (ör. üst hakkı), Kat Mülkiyet Kanunu kapsamındaki haklar veya düzenleme sahası içinde veya dışında diğer aynı

haklar (§59 Abs. 4 BauGB).

İmar Kanunu, maliklerin onayı ile dağıtımın paylı mülkiyet biçiminde yapılmasına (§62 Abs. 1 BauGB) veya paylı mülkiyetin bireysel mülkiyete dönüştürülmesine (§62 Abs. 2 BauGB) olanak vermektedir.

### 3.2 Arazi Düzenlemesinde Değerleme

Arazi düzenlemesinde parsellerin takdir edilmiş piyasa değerleri esas alınır. İki değer belirlenir: Düzenleme öncesi değer (katılım değeri) ve düzenleme sonrası değer (dağıtım değeri) (Linke, 2008). Değerleme günü, her iki değer takdir işlemi için de düzenleme kararının alındığı gündür.

Değerleme arazi düzenleme kurulları tarafından yapılır. Değer takdirinde gereksinim duyulan veriler (ör. standart zemin değerleri, emsal satış fiyatları, değer endeksleri, faiz oranı) değerlendirilirden edinilir. Değerleme kurulları, belediyelerin istemi üzerine arazi düzenlemesi ve diğer imar önlemleri için taşınmazların piyasa değerlerine ilişkin uzman görüşü sunmak (§193 Abs. 1 BauGB) ve özel standart arazi değerleri belirlemekle yükümlüdür (§196 Abs. 1 BauGB).

Düzenleme öncesi ve sonrası değerler parsel esaslı değil, değere etki eden faktörler (ör. konum ve yapılanma koşulları) açısından benzerlik gösteren bölgeler esasında belirlenir. Düzenleme sonrası imar arazisi değeri, imar planı kapsamında benzer nitelikli ve benzer konuma sahip imar arazileri için ödenen fiyatların karşılaştırılmasıyla takdir edilir. Düzenleme öncesi ham imar arazisi değeri ise düzenleme kararının alındığı tarihe yakın zamanda gerçekleşmiş yeterli sayıda (5-10) satış olması durumunda karşılaştırma yöntemiyle takdir edilebilir. Ancak düzenleme kararının alındığı tarihe yakın zamanda satılmış yeterli sayıda ham imar arazisi bulmak güçtür. Diğer düzenleme sahalarından edinilen satış fiyatları ise ancak dönemsel ve niteliksel düzeltmelerden sonra emsal olarak kullanılabilir. Böyle bir durumda ham imar arazisi değeri, Seele (1998) tarafından geliştirilen tümdengelim yöntemiyle imar arazisi değerinden geliştirme maliyeti düşülerek hesaplanır. Daha açık bir ifadeyle ham imar arazisi değeri; imar arazisi için ödenen satış fiyatı, araziye geliştirmek için gereken bekleme süresi, yerel kamu altyapısı için yapılacak alan kesintisi ve geliştirme giderleri dikkate alınarak belirlenir. Bekleme süresi boyunca araziye bağlı ana paranın faizi de dikkate alınır. Buna göre, imar arazisi değeri ( $B$ ) ile buna karşılık gelen ham imar arazisi değeri ( $W$ ) arasındaki ilişki (1) numaralı eşitlikte gösterilmiştir:

$$W = (B - E) \cdot \frac{1-f}{q^N} \quad (1)$$

(1) numaralı eşitlikte  $B$  düzenleme sonrası imar arazisinin beklenen değerini,  $E$  araziye imara uygun duruma getirmek için yapılacak giderleri,  $f$  yerel altyapı için yapılacak arazi kesintisi oranını (%),  $N$  araziye imara uygun duruma getirmek için gereken bekleme süresini (yıl),  $q$  taşınmaz piyasasına özgü faiz oranı ( $p$ ) ile hesaplanacak faiz faktörünü  $(1+p)$  ifade eder.

Düzenleme sonrası imar arazisinin beklenen değeri ( $B$ ) değerlendirilirden genel koşullara göre olası riskler de dikkate alınarak karşılaştırma yöntemiyle takdir edilir.

Geliştirme maliyeti ( $E$ ), maliklerin (1) yerel kamusal altyapı tesis bağlantıları için ödemek zorunda kalacakları bedeller ile (2) araziye kendi başlarına özel satış sözleşmeleri ile geliştirmeleri durumunda karşılaştacakları giderleri içerir. Bu ikinci kalem (a) mühendislik hizmetleri (ör. parselasyon planı hazırlama), (b) proje yönetimi (ör. maliklerle görüşme ve uzlaşma), (c) vergi ve harçlar (ör. noter harçları, tapu harçları), (d) danışmanlık ve uzmanlık (ör. değerlendirme uzmanları) ile (e) kamu sicillerinin güncellenmesi (ör. kadastro ve tapu sicili) için yapılacak harcamaları kapsar. Geliştirme maliyeti değerlendirilirden günündeki fiyatlar esas alınarak belirlenir.

Yerel kamu altyapısı için gereksinim duyulan arazi için yapılacak kesinti oranı ( $f$ ) var olan imar planına göre hesaplanır. Bu aşamada artık gereksinim duyulmayan eski yerel altyapı alanları, yeni altyapı alanları için gereken arazi miktarını düşürmek için kullanılır.

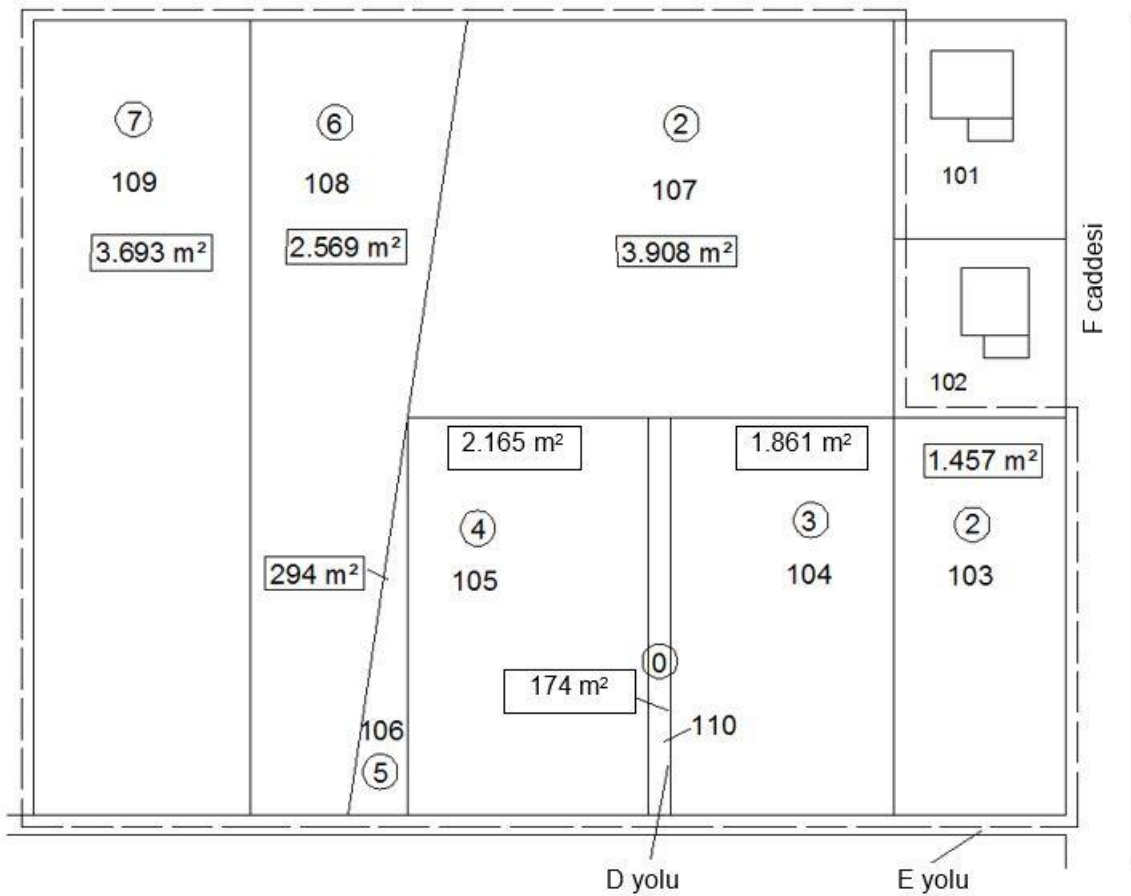
Bekleme süresi ( $N$ ) arazinin özel satış sözleşmeleri ile imar arazisine dönüştürülmesi için gereken tahmini süredir. Bekleme süresi, yeni imar planının hazırlanması, belediye ve malikler arasındaki müzakereler, olası ihtilafların çözülmesi, satış sözleşmelerinin edinilmesi ve düzenlemenin maliklerce gerçekleştirilmesini kapsar. Ancak katılım değerleri düzenleme kararının alındığı gün için takdir edildiğinden arazi düzenlemesi için geçecek sürenin ( $u$ ) bekleme süresinden düşülmesi gerekir. Bu durumda bekleme süresi  $N - u$  olur.

Taşınmaz piyasasına özgü faiz oranı ( $p$ ) için değerlendirme kurulları tarafından belirlenmiş oranlar varsa bu oranlar kullanılır. Aksi durumda, sermaye piyasası faiz oranları ile imar yatırımının yerel finansal riskleri göz önüne alınarak belirlenir. Özel bir yerel durum ve yüksek yatırım riski söz konusu değilse, konut parselleri için faiz oranı tipik olarak %5,5 alınmaktadır.

Açıklanan tümdengelim yönteminin basitleştirilmiş bir örneği izleyen bölümde sunulmuştur.

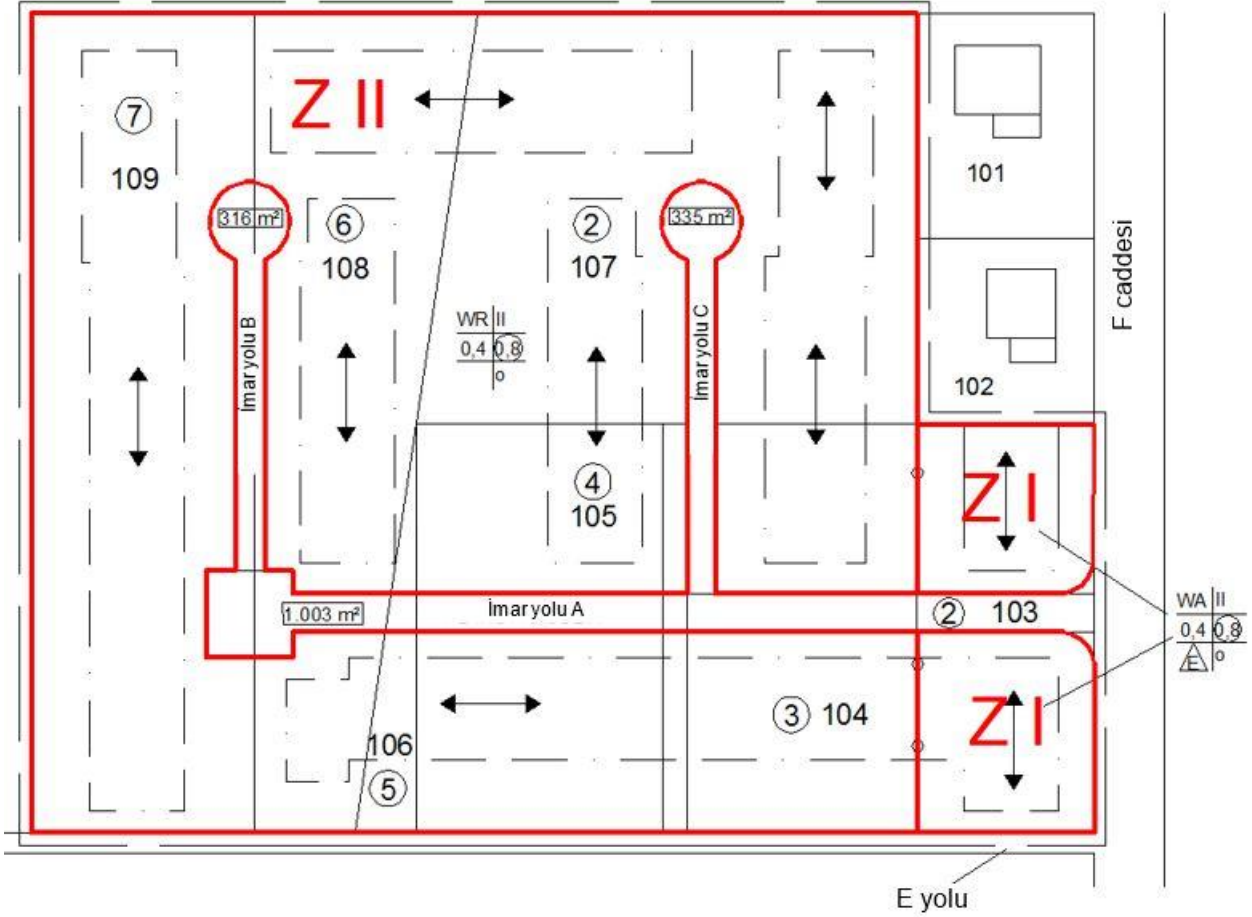
### 3.3 Arazi Düzenlemesine İlişkin Varsayımsal Bir Örnek

A belediyesi F caddesinin doğusundaki alanı imara açmak istemektedir (Şekil 2). Bu alandaki 103 no'lu parcel halihazırda imar arazisi niteliğindedir. Diğer parseller ham imar arazisi niteliğindedir; tarımsal üretim amacıyla kullanılmakta ve D yolu (110 no'lu parcel) ile E yolu üzerinden yola erişim sağlamaktadırlar.



Şekil 2: Kadastro planı

Belediye tarafından hazırlanan imar planı (Şekil 3), ham imar arazilerini içeren alanda iki katlı ayrıık veya bitişik düzen konut amaçlı binaların yapılmasına; imar arazisi niteliğindeki 103 no'lu parselde ise ayrıık düzen iki katlı konut ve ticaret binalarının inşasına izin vermektedir. Ayrıca imar planı ile üç yeni imar yolunun açılmasını öngörmektedir: İmar yolu A, imar yolu B ve imar yolu C.

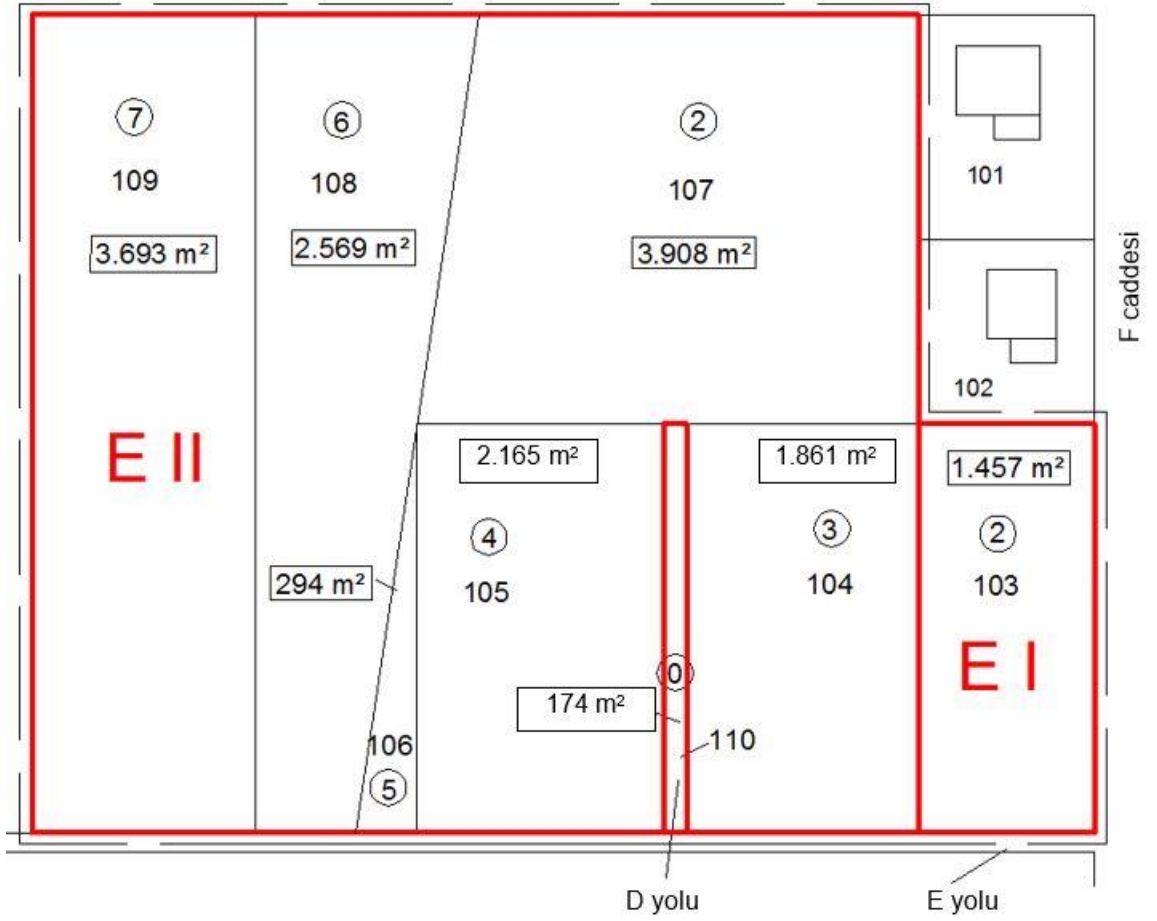


Şekil 3: Yeni imar planı

### 3.3.1 Katılım ve Dağıtım Bölgeleri

Katılım bölgeleri, parsellerin arazi düzenlemesi öncesindeki nitelikleri (ör. imar arazisi, ham imar arazisi) ve değere etki ettiği düşünülen diğer faktörler (ör. manzara) dikkate alınarak belirlenir. Bu örnekte iki farklı katılım bölgesi tanımlanmıştır (Şekil 4). Tablo 1' de gösterildiği gibi E I bölgesi halihazırda imar arazisi niteliğindeki 103 no'lu parseli içermektedir. Bu parselin düzenleme sonrası ne niteliği ne de yapılanma koşulları değişecektir. E II bölgesi ise 103 no'lu parsel dışında kalan ham imar arazisi niteliğindeki parselleri içermektedir. 110 no'lu parsel (D yolu), yeni imar yolları için gereken arazi miktarını düşürmek için kullanılacaktır (bkz. Tablo 1).

Dağıtım bölgeleri, aynı kullanım ve yapılanma koşullarına sahip alanlar esas alınarak belirlenir. Bu örnekte iki farklı dağıtım bölgesi tanımlanmıştır (Şekil 5). Z I bölgesi ayrıık düzen iki katlı konut ve ticari amaçlı bina yapımına elverişli parselleri; Z II bölgesi ise ayrıık veya bitişik düzen iki katlı konut amaçlı bina yapımına uygun parselleri kapsamaktadır (bkz. Tablo 2).



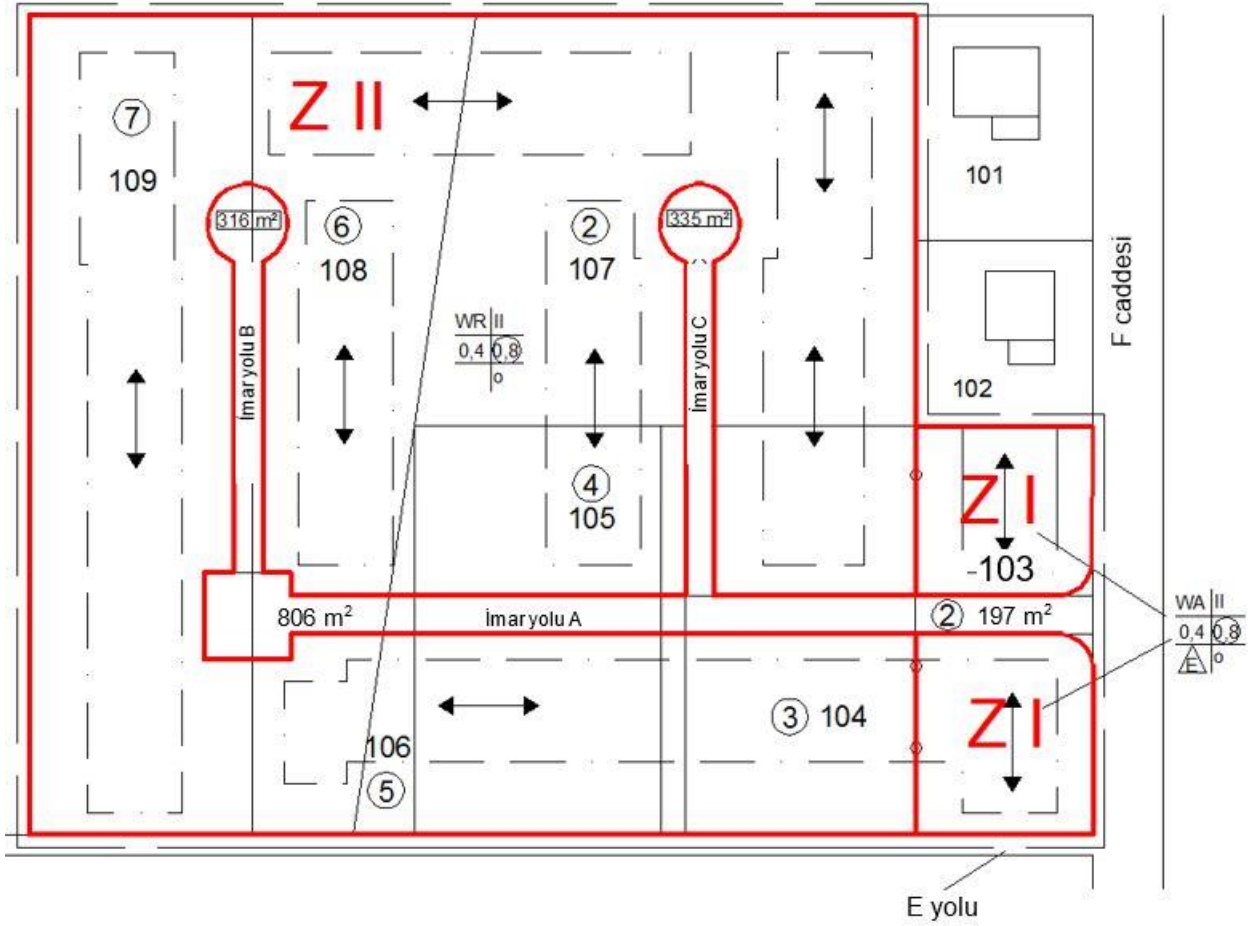
Şekil 4: Katılım bölgeleri

Tablo 1: Katılım bölgeleri

Bölge	Parsel No	Alan (m <sup>2</sup> )
E I	103	1.457
	<b>E I Katılım Bölgesi</b>	<b>1.457</b>
E II	104	1.861
	105	2.165
	106	294
	107	3.908
	108	2.569
	109	3.693
	110 (Kapanan D yolu)	174
	<b>E II Katılım Bölgesi</b>	<b>14.664</b>
<b>Katılım Kitlesi</b>		<b>16.121</b>

Dağıtım bölgelerinin birim değerleri benzer imar arazilerine ödenen fiyatların karşılaştırılmasıyla takdir edilir. Bu örnekte Z I bölgesinin dağıtım değeri 110 €/m<sup>2</sup>, Z II bölgesinin dağıtım değeri 130 €/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Dağıtım bölgelerinin ve dağıtım kitlelerinin değerleri Tablo 3'de verilmiştir.





Şekil 5: Dağıtım bölgeleri

Tablo 2: Dağıtım bölgeleri

Bölge	Parsel No	Alan (m <sup>2</sup> )
Z I	103	1.457
	İmar yolu A'nın ilgili kesimi	-197
	<b>Z I Dağıtım Bölgesi</b>	<b>1.260</b>
Z II	104	1.861
	105	2.165
	106	294
	107	3.908
	108	2.569
	109	3.693
	110 (Kapanan D Yolu)	174
	İmar yolları A, B ve C	-1.457
	<b>Z II Dağıtım Bölgesi</b>	<b>13.207</b>
	<b>Dağıtım Kitlesi</b>	<b>14.467</b>

Tablo 3: Dağıtım kitlesi

Bölge	Alan (m <sup>2</sup> )	Birim Değer (€/m <sup>2</sup> )	Dağıtım Değeri (€)
Z I	1.260	110	138.600
Z II	13.207	130	1.716.910
<b>Toplam</b>	<b>14.467</b>		<b>1.855.510</b>

E I bölgesi (103 no'lu parsel) yeni imar planı onaylanmadan önce konut ve ticari kullanıma uygun, ayrı düzen iki katlı bina yapımına elverişli bir imar arazisiydi. Yeni imar planı bu bölgenin niteliğinde ve yapılanma koşullarında bir değişik

yapmamıştır. Bu nedenle E I bölgesinin katılım değeri, dağıtım değerine eşit alınmıştır.

E II bölgesinin katılım değeri ise yeterli sayıda emsal satış bulunamamasından dolayı 1 numaralı eşitlikteki değişkenlerin aşağıda varsayılan değerleri ile tündengelim yaklaşımıyla hesaplanmıştır:

- İki katlı ayrıık veya bitişik düzen konut bölgesi için imar arazisi değeri (B): 130 €/m<sup>2</sup>
- Geliştirme giderleri (E): 10 €/m<sup>2</sup>
- Yerel altyapı için kesinti oranı (% f): İmar arazisi niteliğinde olan ve imar yolu A'ya gereksinim duymayan E I katılım bölgesindeki parsellerden kesinti yapılamayacaktır. E II katılım bölgesindeki parsellerden kesinti yapılacak, 110 no'lu parsel (kapanan yol) kesinti oranını düşürmek için kullanılacaktır. Buna göre kesinti oranı  $(16.121 - 14.467 - 174)/(14.664 - 174) \cong \%10$  olarak hesaplanır.
- Faiz oranı (p): %5,5
- Arazi düzenlemesi yapılmadan geçen bekleme süresi (N): 4 yıl
- Arazi düzenlemesi süresi (u): 1 yıl

$$W = (B - E) \cdot \frac{1-f}{(1+p)^{N-u}} \quad (2a)$$

$$W = (130 - 10) \cdot \frac{1-0,10}{(1+0,055)^{4-1}} \cong 92 \text{ €/m}^2 \quad (2b)$$

Katılım bölgelerinin ve katılım kitlesinin değerleri Tablo 4'de verilmiştir. 110 no'lu parsel (kapanan D yolu) yeni imar yolları için gereksinim duyulan arazi miktarını azaltmak için kullanıldığından E II katılım bölgesi alanından düşülmüştür (14.664-174=14.490).

**Tablo 4: Katılım kitlesi**

Bölge	Alan (m <sup>2</sup> )	Birim Değer (€/m <sup>2</sup> )	Dağıtım Değeri (€)
E I	1.457	110	160.270
E II	14.490	92	1.333.080
<b>Toplam</b>	<b>15.947</b>		<b>1.493.350</b>

### 3.3.2 Dağıtım Katsayıları

Dağıtım katsayısı, bir katılım kitlesindeki parsellerde arazi düzenlemesi nedeniyle oluşan görelî yararı veya değer değişimini ifade eder. Bu katsayı, katılım değerlerinin dağıtım değerlerine bölünmesiyle her katılım bölgesi için ayrı ayrı hesaplanır (bkz. Tablo 5).

**Tablo 5: Dağıtım katsayıları**

Bölge	Dağıtım Değeri / Katılım Değeri	Dağıtım Katsayısı
E I	138.600 € / 160.270 €	0,864791
E II	1.716.910 € / 1.333.080 €	1,287927

E I bölgesinin dağıtım katsayısı 1'den küçüktür. Bu 103 no'lu parselde imar yolu A için gereksinim duyulan 197 m<sup>2</sup>lik alan nedeniyle oluşan değer azalımının sonucudur. Ancak daha önce belirtildiği gibi 103 no'lu parsel halihazırda imar arazisi

niteliğindedir, düzenleme öncesinde F caddesine erişimi vardır ve imar yolu A'ya ihtiyacı yoktur. Ayrıca yeni imar planı 103 no'lu parselde değer değişimine neden olabilecek bir değişiklik içermemektedir. Bu nedenle 103 no'lu parselde arazi düzenlemesi nedeniyle bir değer artışı veya azalışı olmamalıdır. Öte yandan imar yolu A, E II katılım bölgesindeki parsellerin imara uygun duruma gelmesi için gereklidir. Bu nedenle imar yolu A için gereksinim duyulan 21,670 € (=160.270-138.600) değerindeki arazi E I yerine E II bölgesindeki parsellerden karşılanmalıdır. Bu durumda, dağıtım katsayıları E I için dağıtım katsayısı 1 olacak biçimde Tablo 6'da gösterildiği gibi düzeltilir.

**Tablo 6:** Düzeltilmiş dağıtım katsayıları

Bölge	Dağıtım Değeri / Katılım Değeri	Dağıtım Katsayısı
E I	(138.600 € + 21.670 €) / 160.270 €	1,000000
E II	(1.716.910 € - 21.670 €) / 1.333.080 €	1,271672

### 3.3.3 Dağıtım İşlemi, Tazminat ve Bedel Denkleştirilmesi

Dağıtım işlemi düzenleme öncesinde 103 ve 107 numaralı parsellerin sahibi olan Malik 2 örneğinde gösterilmiştir. Tablo 7, Malik 2'nin arazi düzenlemesi öncesindeki parsellerini, bu parsellerin içinde buldukları katılım bölgelerini, parsellerin alanları ve birim değerleri ile katılım ve hak edilen dağıtım değerlerini göstermektedir.

**Tablo 7:** Malik 2 için katılım değerleri

Malik	Parsel	Bölge	Alan (m <sup>2</sup> )	Değer (€/m <sup>2</sup> )	Katılım Değeri (€)	Dağıtım Katsayısı	Hak Edilen Dağıtım (€)
2	103	E I	1.457	110	160.270	1,000000	160.270,00
	107	E II	3.908	92	359.536	1,271672	457.211,86
<b>Toplam</b>					<b>519.806</b>		<b>617.481,86</b>

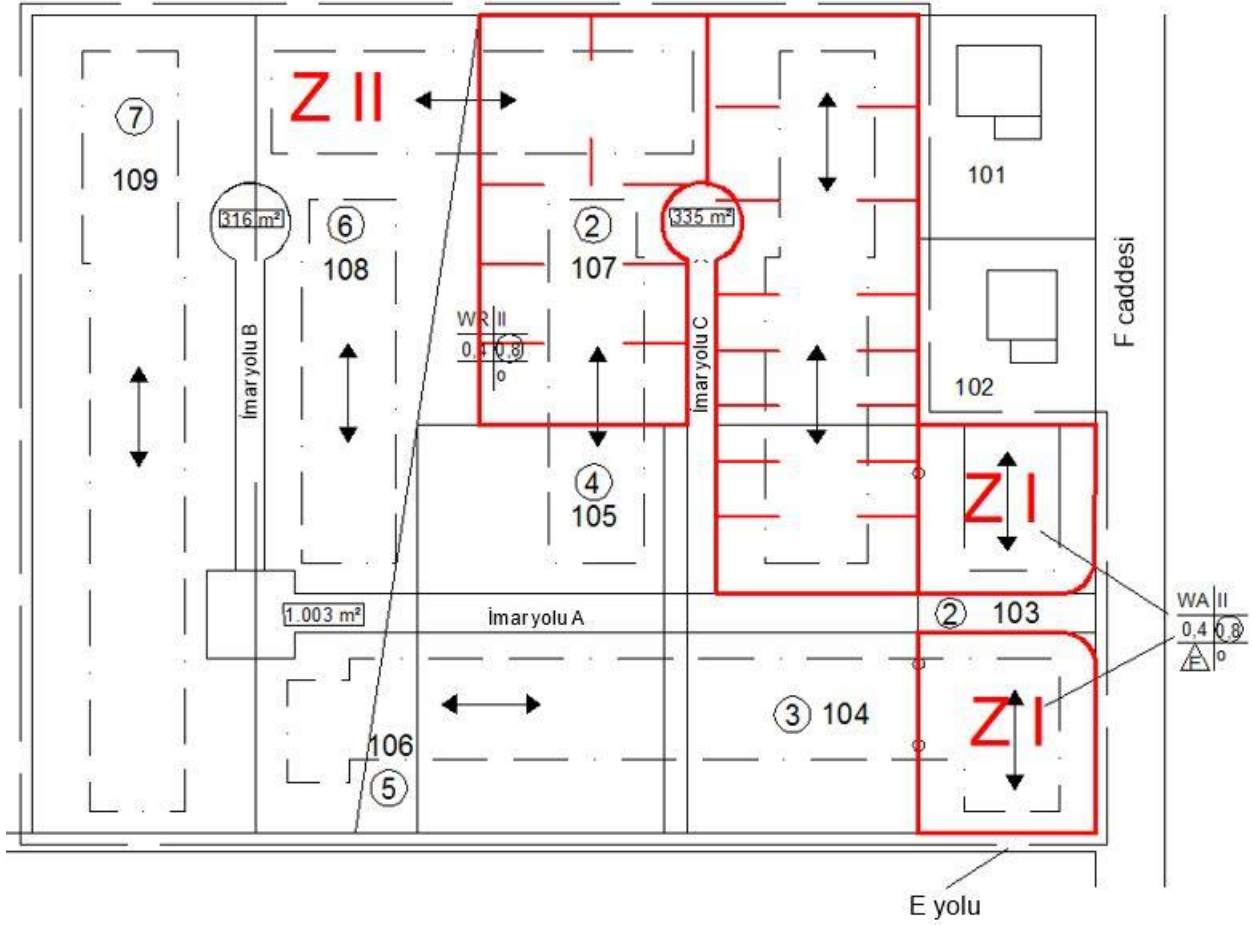
Malik 2'nin düzenleme sonrasında alacağı değer onun dağıtım kitlesindeki payına eşit, alacağı parseller orijinal parselleriyle eşdeğer konumda olmalıdır. Malik 2'nin katılım bölgesi E I'de yeni yol için kaybı, E II bölgesinde tazmin edilecektir (bkz. Şekil 6). İmar arazisinin dağıtımını imar planına, diğer maliklerin dağıtım paylarına, orijinal parsellerin bulunduğu konuma ve maliklerin arazilerin kullanımı ile ilgili fikirlerine bağlıdır. Bu ölçütler dikkate alınarak Malik 2'ye Z I dağıtım bölgesinde 2 adet parsel, Z II dağıtım bölgesinde 12 adet parsel tahsis edilmesine karar verilmiştir.

Tablo 8'de gösterildiği gibi Malik 2'ye tahsis edilen miktar onun hak ettiği değerden biraz fazladır. Fazla yapılan dağıtım, Malik 2'nin belediyeye yapacağı 38.14 € (=617.520-617.481,86) miktarındaki ödeme ile denkleştirilecektir

Malik 2 arazi düzenlemesi nedeniyle parsellerinin katılım ve dağıtım değerleri arasındaki fark miktarı kadar bir avantaja sahip olur. Bu ekonomik avantaj belediyenin yaptığı düzenleme nedeniyle oluşan ve maliklerin arazi düzenlemesi işlemini kendileri yapmaları durumunda karşılaşacakları maliyete yakın bir miktardır. Bu nedenle, katılım ve dağıtım değerleri arasındaki fark maliklerden tahsil edilerek geliştirme masraflarının finansmanında kullanılır. Bu örnekte Malik 2 arazi düzenlemesi nedeniyle oluşan değer artışı karşılığı olarak belediyeye 97.675,86 € (=617.481,86-519.806) ödeme yapacaktır (bkz. Tablo 9).

**Tablo 8:** Malik 2 için dağıtım değerleri

Malik	Parsel	Bölge	Alan (m <sup>2</sup> )	Değer (€/m <sup>2</sup> )	Gerçekleşen Dağıtım (€)
2	1-2	Z I	1.260	110	138.600
	3-14	Z II	3.684	130	478.920
<b>Toplam</b>					<b>617.520</b>



Şekil 6: Malik 2'ye yapılan imar arazisi dağıtımı

Tablo 9: Malik 2 için denkleştirme bedeli ve kamuya aktarılan değer artışı

Malik	Gerçekleşen (€) (A)	Hak Edilen (€) (B)	Katılım Değeri (€) (C)	Denkleştirme Bedeli (€) (A-B)	Değer Artışı (€) (B-C)
2	617.520	617.481,86	519.806	38,14	97.675,86

#### 4. Sonuçlar

Almanya'da uygulanan arazi düzenlemesi, düzenleme nedeniyle oluşan değer artışının kamuya kazandırılması ilkesi üzerine kuruludur. Bu ilke hem boyut hem de değer esaslı dağıtım yaklaşımlarında düzenleme nedeniyle oluşan değer artışının belirlenmesini gerektirir. Her iki yaklaşımda da değer takdiri yaşamsal bir rol oynar. Gelişmiş bir değerlendirme sisteminin varlığı Alman arazi düzenlemesi yönteminin kritik başarı faktörlerinden biridir. Değerleme verileri, yöntemleri ve süreçleri, kapsamlı ve güçlü teorik içeriğe sahip bir mevzuat (ör. Taşınmaz Değerleme Tüzüğü) ile düzenlenmiştir. Taşınmaz piyasasının şeffaflaşması için bağımsız değerlendirme kurumları çalışmaktadır. Değerleme sisteminin omurgasını oluşturan bu kurullar, taşınmaz devir işlemlerine ilişkin yerel envanterlerin tutulması, standart veya referans arazi değerlerinin takdiri, değer haritalarının üretilmesi, piyasa raporlarının hazırlanması, değerlendirme verilerinin türetilmesi ve arazi düzenlemesi gibi işlemler için uzman görüşleri sunulması gibi önemli görevler yürütmektedir.

Arazi düzenlemesine ilişkin kurumsal yapı şeffaflığı ve katılımcılığı desteklemektedir. Maliklerin arazi düzenlemesi sürecine bilgi alma, danışmanlık ve iş birliği bağlamında katılımı teşvik edilir. Düzenlemenin başında maliklerle bireysel görüşmeler yapılır. Bu görüşmelerde maliklerin talepleri ile taleplerin gerçekleştirilme durumları üzerinde tartışılır. Arazi düzenlemesinin

sonunda da taslak durumundaki parselasyon planı hakkında malikler ile bireysel görüşmeler yapılır. Malikler hukuki korumaya sahiptir, tüm idari kararlara karşı dava açma hakları vardır. Ancak kararların tam bir uzlaşıyla alınması için çaba harcanır.

Arazi düzenlemesi yönteminin başarısını etkileyen bir diğer faktör bağımsız karar alma yetkisine sahip arazi düzenleme kurullarıdır. Tüm yetki ve sorumluluk belediye yönetiminin bir parçası olmayan bu özerk kurullara bırakılmıştır. Arazi düzenleme kurulları, çıkar çatışmalarını önlemek ve maliklerin güvenini kazanmak için sadece uzman üyelerden (ör. harita mühendisi, hukukçu, değerlendirme uzmanı) ve belediye meclislerince atanan yerel politikacılardan oluşturulur. Bu kurumsal ve profesyonel özerklik, arazi düzenleme kurullarının toplum katında yüksek düzeyde kabul görmesini sağlar (Kötter, 2018, s. 166-169).

## Teşekkür

Bu makale, birinci yazarın TÜBİTAK 2219-Yurt Dışı Doktora Sonrası Burs Programı desteği ile Darmstadt Teknik Üniversitesi, Arazi Yönetimi Ana Bilim Dalında yürüttüğü çalışmanın sonuçlarından biridir. Desteklerinden ötürü her iki kuruluşa teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

- De Souza, F.F. (2018). A Brief History of Land Readjustment in the World and Case Studies, F.F. De Souza, T. Ochi, A. Hosono (ed.), *Land Readjustment: Solving Urban Problems Through Innovative Approach* (s. 81-96). Japan International Cooperation Agency Research Institute: Tokyo.
- Kötter, T. (2018). A German perspective on land readjustment: a proper instrument of modern urban governance for efficient land use, J.-D. Gerber, T. Hartman, A. Hengstermann (ed.), *Instruments of Land Policy* (s. 164-169). Routledge: New York.
- Linke, H. J. (2008). Wertermittlung in der Umlegung. *DVW Schriftenreihe Band 55/2008*, 65 – 86.
- Linke, H. J. (2013). Siedlungsumbau aufgrund des demografischen Wandels, E. Hepperle, R. Dixon-Gough, R. Mansberger, V. Maliene, J. Paulsson & A. Pödör (ed.), *Land Management: Potential, Problems and Stumbling Blocks* (s. 107-121). European Academy of Land Use and Development, vdf Hochschulverlag: Zürich.
- Linke, H. J. (2018). The Land Readjustment System in Germany, F. F. de Souza, T. Ochi & A. Hosono (ed.), *Land Readjustment: Solving Urban Problems Through Innovative Approach* (s. 128-136). Japan International Cooperation Agency Research Institute: Tokyo.
- Müller-Jöckel, R. (2004). Land Readjustment – A Win-Win-Strategy for Sustainable Urban Development. *FIG Working Week*, Atina, Yunanistan, Mayıs 22-27, 2004.
- Pahl-Weber, E., & Henckel, D. (2008). *The planning system and planning terms in Germany - A glossary*. Akademie für Raumforschung und Landesplanung: Hannover.
- Polten, E.P. (2011). *German and Canadian real property law: A comparison*. <https://www.poltenassociates.com/Site-Map-English/German-and-Canadian-Real-Property-Law-A-Comparison.pdf>
- Schmid, C. U., Hertel, C. & Wicke, H. (2005). *Real Property Law and Procedure in the European Union - National Report Germany*. <https://www.eui.eu/Documents/DepartmentsCentres/Law/ResearchTeaching/ResearchThemes/EuropeanPrivateLaw/RealPropertyProject/GeneralReport.pdf>
- Seele, W. 1998. Bodenwertermittlung durch deduktiven Preisvergleich, *Vermessungswesen und Raumordnung (VR)*, 8/1998, 393–411.
- Schöttler, R. (2016). *Essays on Germany: Market Access, Industry Location, Price of Land*. Doktora Tezi, Humboldt-Universität zu Berlin.
- Seifert, M. (2011). Legal, Law, Cadastre, W. Kresse & D. M. Danko (ed.) *Springer Handbook of Geographic Information* (s. 657-681). Springer: Berlin, Heidelberg.
- Studle, G., Ehrmantraut, E., & Zurhorst, M. (2015). Liegenschaftskataster und Liegenschaftsvermessungen, K. Kummer, T. Kötter & A. Eichorn (ed.), *Das deutsche Vermessungs-und Geoinformationswesen* (s. 433-519). Wichmann: Berlin.

- Voß, W., & Bannert, J. (2018). Reference land values in Germany: Land policy by market transparency, J.-D. Gerber, T. Hartman, A. Hengstermann (ed.), *Instruments of Land Policy* (s. 35-48). Routledge: New York.
- Wilsch, H. (2012). The German “Grundbuchordnung”: History, Principles and Future about Land Registry in Germany. *Zeitschrift für Vermessungswesen*, 4, 224-33.
- Ziegenbein, W., Reuter, F. & Voß, W. (2015). Immobilienwertermittlung, K. Kummer, T. Kötter & A. Eichorn (ed.), *Das deutsche Vermessungs-und Geoinformationswesen* (s. 589-666). Wichmann: Berlin.

## Hız-ve-durum sürtünme yasaları ve Burridge-Knopoff yay blok sistemi kullanılarak depremlerin dinamik modellenmesi

Eyüp Sopacı<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup>Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri Bölümü, Çankaya, Ankara.

**Öz:** Depremlerin fiziksel oluşum mekanizmaları henüz tam anlamıyla bilinmemekle birlikte, kırılğan kabukta gerçekleştiği durumda büyük ölçüde sürtünme yasaları ile açıklanabilmektedir. Bu durumda depremler, tutma-bırakma hareketi sonucu oluşan sürtünme kararsızlığının (frictional instability) bir sonucudur. Hız-ve-Durum yasaları (Rate-and-State Friction law, RSF) ile doğadaki deprem olaylarına benzer artçı depremler, yavaş depremler, sismik ve sismik olmayan hareketler modellenmektedir. Bu çalışmada Dieterich, Ruina ve Perrin tipi RSF yasaları tek serbestlik dereceli Burridge-Knopoff (BK) yay-blok sistemine entegre edilerek irdelenmiştir. Modellemenin gerçekçi olması bakımından fay geometrisi ve fiziksel yapısı San Andreas/Parkfield fayına uygun olarak belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan dinamik sistemler doğrusal olmayan sert (stiff) diferansiyel denklemlerden oluşmaktadır. Bu nedenle önerilen modellerin doğrusal olmayan karakteri ile çözümü için nümerik öneriler sunulmuştur. Modellere kararlılık analizi uygulanmış ve sistemin sürtünme kararlılığı (sismik olmayan hareket) ve kararsızlığı (sismik döngü) sergilediği kritik bölgeler belirlenmiştir. RSF parametre uzayı değiştirilerek sadece sürtünme kararsızlığı sergilediği durumlar için sistem simüle edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucu RSF yasalarından kaynaklı sistemin oluşturacağı dinamiklerin büyüklüğünün kararlılık eğrisinden sapma ile orantılı olduğu bulunmuştur. Bu eğriden sabit oranda sapma olduğunda ise sistemin aynı dinamikleri sergilediği görülmüştür. Yapılan literatür taramasında, bulunan ölçütün ilk kez bu çalışma kapsamında elde edildiği belirlenmiştir. Bu çalışma, ileride depremleri tetikleyen güçsüz sinyallerin araştırılmasına fayda sağlayacaktır.

**Anahtar Sözcükler:** Deprem, Hız-ve-Durum sürtünme yasaları, Burridge-Knopoff, Jeodinamik, Doğrusal olmayan dinamikler

### Modelling of earthquakes by using Rate-and-State friction laws on the Burridge-Knopoff spring-block system

**Abstract:** Although physical mechanism of earthquakes has not been clearly answered yet, it can be explained substantially with friction laws when the slip event subjects to the brittle crust. In such cases earthquakes are a result of frictional instability accompanied by stick-and-slip motion. Earthquakes, foreshocks, aftershocks, slow slip events have been modelled by using Rate-And-State Friction (RSF) laws. In this study Dieterich, Ruina and Perrin type RSF laws have been studied on the Burridge-Knopoff (BK) spring-block system, which was originally proposed with a velocity dependent friction law. In order to comply with the reality, fault geometry and its physical structure are chosen appropriate to the San Andreas/Parkfield fault. Since the proposed systems are stiff nonlinear dynamics, they are offered with numeric procedure adapted to solve stiff differential equations. By applying stability analysis, the critical boundaries between stable and unstable sliding (seismic cycle) are determined. The model is simulated by tuning the RSF law parameters for unstable sliding regime. As a result of the studies it has been found that, the magnitude of the slip event is proportional to the distance from the curve which separates stable and unstable sliding regimes. Besides, when system parameters deviates with a fixed amount from the stability curve, the system shows the same dynamics. To the best of my knowledge, the defined criterion is being published for the first time within the scope of this work. This study will pave the way for further researches of earthquake and weak triggering effects.

**Keywords:** Earthquake, Rate-and-State friction law, Burridge-Knopoff, Geodynamics, Nonlinear dynamics

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tel: +90 505 696 7780

Gönderim Tarihi/Received: 24.05.2019  
Kabul Tarihi/Accepted: 25.10.2019



## 1. Giriş

Depremlerin fiziksel mekanizmalarını ve onu etkileyen-tetikleyen etkilerini araştırmak için yay-blok sistemleri ve sürtünme yasaları etkin bir şekilde kullanılmaktadır. [Burridge ve Knopoff \(1967\)](#), yay ve bloklardan oluşan basit bir dinamik model ile laboratuvar testleri ve nümerik simülasyonlar gerçekleştirmiş ve gözlenen dinamiklerin doğada gözlenenlere ne kadar yakın olduklarını araştırmıştır. Blokların çekici bir hız ve sürtünme kuvveti etkisi altındaki hareketlerinin Gutenberg-Richter (GR) yasasına uyduğunu tespit etmiştir. Ancak, literatürde sadece hıza bağlı bir sürtünme yasasının gerçeği yeterince yansıtamadığından bahsedilmektedir ([Scholz, 1998](#); [Marone, 1998](#)). Sürtünmenin, hızın yanında sürtünen yüzeylerin birbirini tutabilme gücünü de temsil eden, durum parametresine bağlı olduğu yapılan laboratuvar testlerinde gösterilmiştir ([Dieterich, 1979](#); [Ruina, 1983](#); [Perrin, Rice & Zheng, 1995](#); [Nagata, Nakatani & Yoshida, 2012](#)). Bu tür sürtünme yasalarına Hız-ve-Durum sürtünme yasaları (Rate-and-State Friction, RSF) denilmektedir.

Depremlerin sürtünme kararsızlığı nedeniyle oluşan tutma-bırakma hareketinden kaynaklandığı varsayılmaktadır. RSF yasaları ve basit bir yay-blok sistemi kullanarak sürtünme kararsızlığı (hız zayıflatıcı-sismik bölgeler) ve kararlı kayma hareketine (hız güçlendirici-sismik olmayan bölgeler, creeping) ait dinamikler oluşturulmaktadır. Bu dinamikler ile kosismik, post-sismik, artçı şoklar, yavaş depremler ve heyelan olayları, RSF parametrelerine bağlı olarak modellenebilmektedir ([Marone, 1998](#)). Laboratuvar ortamında oluşturulan bu yasaların gerçek doğaya uygulanması konusundaki tartışmalar devam etmektedir. Özellikle 2004 yılında meydana gelen Parkfield depremine ait kosismik ve post-sismik deformasyonlar RSF yasaları kullanılarak araştırılmıştır ([Johnson, Burgmann & Larson, 2006](#); [Savage & Langbein, 2008](#); [Barbot, Fialko & Bock, 2009](#); [Helmstetter & Shaw, 2009](#); [Chang, Avouac, Barbot & Lee, 2013](#)). Bahsedilen çalışmalarda deprem sırasındaki ve özellikle sonrasındaki deformasyona ilişkin değerler jeodezik ve sismik veriler kullanılarak RSF temelli modeller ile kestirilmiştir. Kullanılan modeller ile deformasyona ait değerleri kestirmek aynı zamanda RSF'ye ait parametreleri kestirmek anlamına gelmektedir. Ancak aynı bölgede aynı veriler kullanılmasına rağmen kestirilen RSF parametreleri ciddi farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıkların, laboratuvar ortamında geliştirilen sürtünme yasalarının ölçek problemlerinden, faydaki gerilim ve sürtünme heterojenliğinin tam olarak bilinmemesinden ve depremlerin karmaşık ilişkilerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca, [Helmstetter ve Shaw \(2009\)](#), basit bir yay-blok sistemi ve RSF yasaları kullanılarak çok sayıda RSF parametre kümesinin 2004 Parkfield deprem verilerine uygun olarak kestirilebildiğini belirtmektedir. Bunun yanında her ne kadar laboratuvar ortamında benzer sonuçlar göstermiş olsalar da farklı RSF yasaları farklı dinamikler üretebilmektedir.

Bu çalışmada BK modeline Dieterich, Ruina ve Perrin tipi RSF yasaları entegre edilmiştir. Çalışılan modeller, deprem ve fiziksel mekanizması arasında ilişki kuran oldukça basit modellerdir. Bu şekilde yapılan basitleştirmelerin sebeplerinin başında, depremi etkileyen veya tetikleyebilecek bir kuvveti, diğer karmaşık ilişkilerden bağımsız olarak inceleyebilme fırsatı sunması gelmektedir ([Kawamura, Ueda, Kaktui, Morimoto & Yamamoto, 2017](#)). Örneğin yakın ve uzak merkezde gerçekleşen depremlerin, başka depremleri tetikleyip tetiklemeyeceği sorusu, RSF yasası ile yürütülen tek serbestlik dereceli bir model ile test edilmiştir ([Gomberg, Blanpied & Beeler, 1997](#); [Belardinelli, Bizzarri & Cocco, 2003](#)). Bu çalışmalarda deprem mekanizması sürtünme yasaları ile yürütülen basit bir yay-blok modeli ile tanımlanmış, dolayısıyla dışarıdan gelecek sismik yer hareketi ve gerilim seviyesinde değişikliğe neden olabilecek sinyaller, diğer karmaşık ilişkilerden bağımsız bir şekilde araştırılmış ve doğada gözlenenlerle karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada öncelikle BK modeli ve RSF yasaları sunulmuş ve denklemlere boyutsuzlaştırma işlemi uygulanmıştır. Temel alınan model, Ruina tipi bir sürtünme yasası ile [Erickson, Birnir ve Lavallée \(2008\)](#) tarafından sunulmuştur. Ancak Dieterich ve Perrin tipi yasalar ilk kez bu çalışmada önerilen modele entegre edilmiştir. Oluşturulan modellere doğrusal kararlılık (linear stability) analizi uygulanmıştır. Böylece sistemin kararlı (sismik olmayan) bir durumdan kararsız (sismik) bir duruma



geçiş ile ilgili analitik bir denklem elde edilmiştir. Gu, Rice, Ruina ve Simon (1984) tarafından Ruina tipi RSF yasası için kararlılık analizleri basit bir yay-blok sistemi kullanarak ve atalet terimini göz ardı ederek detaylı bir şekilde yapılmıştır. Bu çalışmada farklı olarak kararlılık analizine atalet terimi de eklenmiştir. Kararlılık analizi sonucu elde edilen bağıntı ile RSF yasalarının kritik değerleri için karşılaştırmalar yapılmıştır. Daha sonra Ruina tipi RSF yasası kullanılarak ve sürtünme parametreleri değiştirilerek simülasyonlar yapılmıştır. Simülasyon sırasında fay geometrisi ve diğer özellikler sabit kabul edilerek sadece RSF parametrelerinin etkileri araştırılmıştır.

Bu çalışmanın amacı farklı RSF yasaları ve tek serbestlik dereceli bir BK modeli kullanarak oluşan dinamikleri araştırmaktır. Sistemin ne zaman sismik bir döngü veya kararlı bir kayma hareketi (creeping) sergileyeceği, gözlenen gerilim, hız, tekrarlanma süresi ve benzeri dinamiklerin hangi parametrelere bağlı olarak değiştikleri belirlenecektir. Böylece modelde kullanılan parametrelerin deprem analogisinde nelere karşılık geldiği tartışılacaktır. Bunun yanında RSF yasaları da karşılaştırılacaktır. Çünkü her ne kadar bu yasalar, laboratuvar ve simülasyonlarda benzer sonuçlar üretseler de farklı sürtünme tanımlarına dayanmaktadırlar. Dolayısıyla sismik yer hareketi, gerilim yüklemesi veya başka tür tetikleyici etkiler araştırılırken, RSF yasalarındaki farklılıkların ciddi anlamda sonuçlara etki edebileceği öngörülmektedir. Bu karşılaştırma önemlidir, çünkü bu çalışmada kullanılan model daha sonra güçsüz sinyallerin depremleri ne yönde tetikleyeceğini gösteren çalışmalarda kullanılacaktır.

## 2. Yöntem

### 2.1 Hız-ve-Durum Sürtünme Yasaları

RSF yasasının sürtünme ve gerilime ilişkin bağıntısı aşağıda verilmiştir.

$$f = \left(\frac{\tau}{\sigma}\right) = f_0 + \Theta + a \ln\left(\frac{v}{V_0}\right) \quad (1)$$

Burada sırasıyla  $f, \tau, \sigma, f_0, a, v$  ve  $V_0$ , sürtünme katsayısı, kayma gerilimi, normal gerilim, referans sürtünme sabiti, materyal sabiti, blok hızı ve referans hızı temsil etmektedir. (1) numaralı denklemin tanımlanabilmesi için iki yüzey arasındaki tutma gücünün veya gerçek pürüzlü temas eden yüzeyi ifade eden durum (state) parametresinin tanımlanması gerekmektedir. Üç farklı sürtünme yasası için durum parametresi ( $\Theta$ ), aşağıdaki bağıntılarla ifade edilmektedir.

$$\frac{d\Theta}{dt} = \frac{bV_0}{L} \left[ \exp\left(-\frac{\Theta}{b}\right) - \frac{v}{V_0} \right] \quad (2a)$$

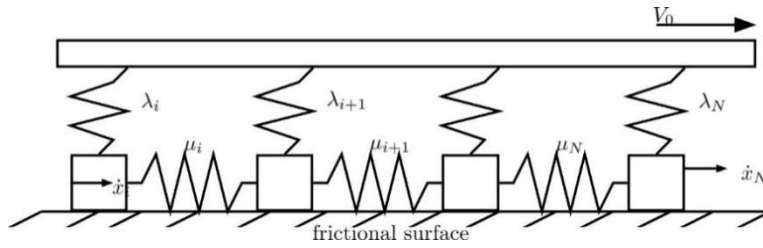
$$\frac{d\Theta}{dt} = -\frac{v}{L} \left[ \Theta + b \ln\left(\frac{v}{V_0}\right) \right] \quad (2b)$$

$$\frac{d\Theta}{dt} = \frac{b}{2L} \left[ V_0 \exp\left(-\frac{\Theta}{b}\right) - \exp\left(\frac{\Theta}{b}\right) \frac{v^2}{V_0} \right] \quad (2c)$$

(2) numaralı denklemde sırasıyla Dieterich, Ruina ve Perrin tipi sürtünme yasaları için durum parametresinin bağıntıları verilmiştir. Denklemlerdeki  $b$  ve  $L$  parametreleri, materyal sabiti ve iki yüzey arasında yeniden bir durum parametresinin başlaması için gerekli olan kritik mesafelerdir. Üç sürtünme yasası da laboratuvar testlerinde birbirlerine yakın sonuçlar üretmelerine rağmen farklı sürtünme temellerine sahiptirler. Henüz hangi yasanın gerçeği daha iyi ifade edebildiği açık bir problemdir. Daha ayrıntılı bilgi için Marone (1998) çalışmasına bakılabilir.

## 2.2 Burridge-Knopoff Modeli

BK modeli, sürtünmeli bir yüzey üzerinde bulunan  $N$  adet bloğun  $V_0$  referans hızlı sürücü bir blok ile çekilmesinden oluşan hareket denklemdir. Model, Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1: Burridge-Knopoff yay-blok sistemi

Şekil 1’de  $\lambda_i$  ve  $\mu_i$  sırasıyla  $i$ . bloğa ait sürücü ve eşleşmeli blokların yay sabitlerini tanımlamaktadır.  $x_i$  ve  $\dot{x}_i$  değerleri  $i$ . bloğun boylamsal eksenindeki konumunu ve hızını tanımlamaktadır.  $V_0$  referans hızını temsil etmektedir. Yani bloklar  $V_0$  hızı ile sürtünmeli düzlem üzerinde harekete zorlanmaktadır. Modelin hareket denklemi aşağıda verilmiştir.

$$m_i \ddot{x} = \mu_i (x_{i+1} - 2x_i + x_{i-1}) - \lambda_i (x_i - V_0 t) - F_i(\dot{x}_i, \Theta_i) \quad (3)$$

Denklemden  $m$ ,  $\mu$  ve  $\lambda$ , sırasıyla kütle, sürücü ve eşleşmeli blokların yay sabitlerini temsil etmektedir. Yay sabitleri iki yüzey arasındaki elastik lineer özelliği tanımlamaktadır (Scholz, 2002). Yay sabiti için  $\lambda = \mu \approx G/H$  bağıntısı kullanılabilir. Burada,  $G$ , kesme modülünü,  $H$  ise fay yüzeyinin kalınlığını temsil etmektedir. Bu çalışma kapsamında fay kalınlığı ve derinliği eşit kabul edilmiştir. Tüm türevler zamana bağlıdır.  $F_j(\dot{x}_i, \Theta_i)$ , denklem (1)’de verilen sürtünme kuvvetini temsil etmektedir. Sistem üzerinde analizleri daha kolay yapabilmek için önce  $x_i = u_i + V_0 t$  bağıntısıyla, boylamsal konum, sürücü bloğa göre konumu şeklinde yeniden yazılabilir. Buradaki  $t$  zamanı temsil etmektedir. Ayrıca  $u = \bar{u}L$ ,  $v = \bar{v}V_0$ ,  $\Theta = \bar{\Theta}a$  ve  $t = TL/V_0$  parametreleri tanımlanarak sistem boyutsuzlaştırılır. Böylece (1) ve (3) denklemleri tekrar aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$\ddot{u}_i = \gamma_\lambda^2 (\bar{u}_{i+1} - 2\bar{u}_i + \bar{u}_{i-1}) - \gamma_\mu^2 \bar{u}_i - \frac{\gamma_\mu^2}{\xi} (\bar{f} + \bar{\Theta}_i + \ln(\bar{v}_i)) \quad (4)$$

Denklemden  $\bar{u}$ ,  $\bar{v}$ ,  $\bar{\Theta}$  değişkenleri sırasıyla boyutsuzlaştırılmış kayma, hız ve durum parametrelerini ifade etmektedir.  $\gamma_\lambda = \sqrt{\frac{\lambda}{m} \frac{L}{V_0}}$  ve  $\gamma_\mu = \sqrt{\frac{\mu}{m} \frac{L}{V_0}}$  parametreleri boyutsuzlaştırılmış frekansları,  $\xi = \frac{\mu L}{\sigma a}$  parametresi boyutsuzlaştırılmış yay sabitini ve  $\bar{f} = f/a$  parametresi sürtünme sabitini ifade etmektedir. (4) numaralı denklemi tamamlamak için (2) numaralı denklemlerdeki durum değişkenlerine de aynı işlemler uygulanarak aşağıdaki şekilde ifade edilirler.

$$\dot{\bar{\Theta}}_i = \beta \left[ \exp\left(-\frac{\bar{\Theta}_i}{\beta}\right) - (\bar{v}_i) \right] \quad (5a)$$

$$\dot{\bar{\Theta}}_i = -v_i (\bar{\Theta}_i + \beta \ln(v_i)) \quad (5b)$$

$$\dot{\bar{\Theta}}_i = \frac{\beta}{2} \left[ \exp\left(-\frac{\bar{\Theta}_i}{\beta}\right) - \exp\left(\frac{\bar{\Theta}_i}{\beta}\right) \bar{v}_i^2 \right] \quad (5c)$$

(5) numaralı denklemler sırasıyla Dieterich, Ruina ve Perrin tipi sürtünme yasaları için boyutsuzlaştırılmış durum parametresinin bağıntılarıdır. Burada  $\beta = b/a$  parametresi sürtünme ile bağlantılı hareketi zorlaştırıcı (work hardening)

parametredir. (4) numaralı denklem ile (5) numaralı denklemlerden bir tanesi kullanılarak hareket denklemleri tanımlanmış olur. Denklemlerin boyutsuzlaştırılması ve sürtünme yasaları hakkında daha ayrıntılı bilgi [Nakatani \(2001\)](#), [Erickson vd. \(2008\)](#) ve [Erickson, Birnir ve Lavallée \(2011\)](#)'den elde edilebilir.

### 2.3 Tek Serbestlik Dereceli Model

Tek blok için hareket denklemi yazıldığında, (4) ve (5) numaralı denklemler birinci dereceden adi diferansiyel denklem şeklinde aşağıdaki gibi yazılır.

$$\dot{\bar{u}} = \bar{v} - 1 \quad (6a)$$

$$\dot{\bar{v}} = -\gamma^2 \left[ \bar{u} + \frac{(\bar{f} + \bar{\theta} + \ln(\bar{v}))}{\xi} \right] \quad (6b)$$

$$\dot{\bar{\theta}} = -\bar{v}(\bar{\theta} + \beta \ln(\bar{v})) \quad (6c)$$

(6) numaralı denklemlerde Ruina tipi sürtünme yasası sunulmuştur. Başka bir sürtünme yasası için, durum parametresinin türevi (5) numaralı denklemdeki bağıntılardan herhangi biri ile değiştirilebilir. Bu haliyle sistem sadece tek bloğun sürtünmesinden kaynaklı oluşan dinamikleri sergilemektedir. Bu dinamiklerden, periyodik (sismik döngü) ve kararlı hareketler Şekil 2'de gösterilmiştir.

Kararlı durumda sistem belirli bir süre salınım yaparak sabit noktaya gitmektedir (Şekil 2- Sağ grafik). Sistemin sürtünme kararlılığı veya kararsızlığı ile ilgili analiz üçüncü bölümde anlatılmıştır. Sürtünme kararsızlığı olduğu durumda periyodik bir hareket görülmektedir. Periyodik hareket, hızlı ve yavaş zaman olarak ikiye ayrılabilir. Sistem yavaş zamandayken blok uzun süre düşük bir hız ile (referans hızına yakın) gerilim biriktirir. Bu sürede sürtünme düzlemindeki bloğun tutabilme gücünü gösteren durum parametresi de zamanla artar. Sistem hızlı zaman dilimindeyken ise yayda biriken gerilim ani bir hareket ile salınır, hız parametresi sıvırılır, durum parametresi aniden düşer ve sürtünmeli blok sürücü bloğa yaklaşır. Ancak bloktaki ani değişim nedeniyle hız değişkeninin sıfıra çok hızlı yaklaştığı durumda, (6) numaralı denklemdeki logaritmik ifade bir matematik hatası verecektir. Özellikle hız değişimi  $-\gamma^2/\xi$  parametresine bağlıdır. Gerçek bir fay boyutu için  $\gamma$  parametreleri  $10^4 - 10^{12}$  arasında değerler almaktadır ([Erickson vd., 2008](#)). Bu değer sistemin sertliğini arttırmakta ve modeli gerçekçi parametreler ile çözmeyi zorlaştırmaktadır. Nümerik hesaplama sırasında çok küçük integral adımları kullanılsa dahi, açık (explicit) yöntemler sistemi çözmekte başarısız olabilirler. Bu çalışmada, sistemin çözümü için iki farklı çok adımlı kapalı (implicit) nümerik integral alma yöntemi birlikte kullanılmıştır. Sistem yavaş bir şekilde evrilirken Adam-Bashforth-Moulton yöntemi kullanılmış, sistem hızlı zamana geçtiğinde ise daha sert diferansiyel denklemler için uygun olan geri yönde diferansiyel "Backward Differentiation" yöntemi uygulanmıştır. İki yöntemin birlikte kullanılabilmesi için her adımda sistemin sertlik hesaplamasının yapılması gerekmektedir. (6) numaralı denklemin Jacobi matrisinin her nümerik entegrasyon adımında hesaplanması ve özdeğerlerinin bir önceki durum ile karşılaştırılması gerekmektedir. Bu durum ayrıca işlem yükü getirmesine rağmen, sistemin dinamikleri göz önüne alındığında ve bu çalışmadaki deneysel gözlemlere göre, sistemin çözümü için uygun ve etkili bir algoritma olduğu görülmüştür. Yöntem hakkında daha ayrıntılı bilgi için [Petzold \(1983\)](#) çalışmasına bakılabilir.

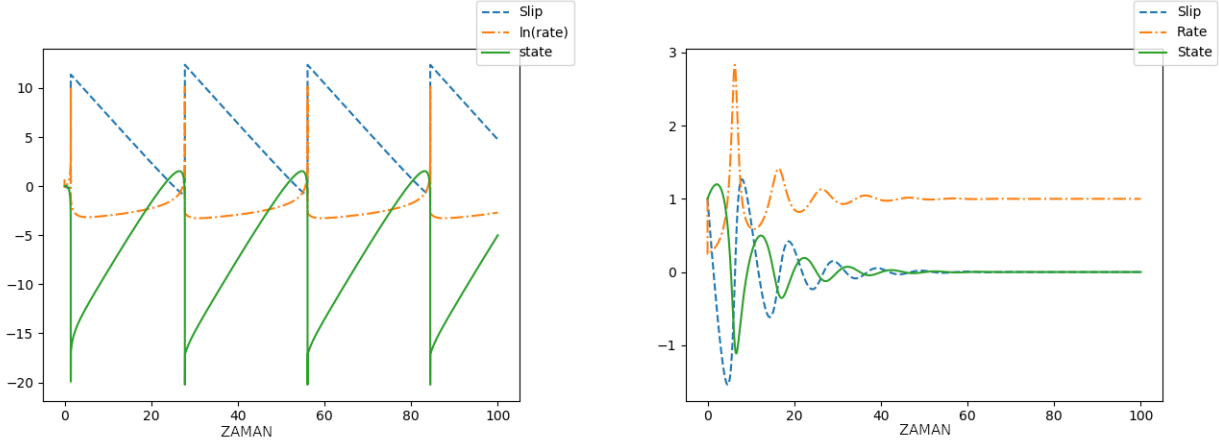
## 3. Bulgular

### 3.1 RSF Yasalarının Tek Serbestlik Dereceli Modelde Karşılaştırılması

(6) numaralı denklemin üç sürtünme yasası için sadece bir sabit noktası vardır ( $\bar{u}^*, \bar{v}^*, \bar{\theta}^* = 0,0,1$ ) ( $f$  sürtünme sabiti,

sistemin kararlılık analizinde etkili olmadığı için 0 kabul edilmiştir). Dolayısıyla doğrusal kararlılık analizi için (6) numaralı denklemin sabit noktadaki Jacobi matrisi (7) numaralı denklemdaki gibi hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -\gamma^2 & -\frac{\gamma^2}{\xi} & -\frac{\gamma^2}{\xi} \\ 0 & -\beta & -1 \end{bmatrix} \quad (7)$$



**Şekil 2:** Sismik periyodik döngü ve kararlı hareketi gösteren grafik: (Yatay eksen zamanı temsil etmektedir. Sol taraftaki grafikte sürtünme kararsızlığından kaynaklı oluşan sismik döngü gösterilmektedir. Bu döngüye göre, hız değerinin doğal logaritması (turuncu çizgi) uzun süre sıfıra yakındır. Bu dönem yavaş zaman olarak adlandırılır. Bu sürede, gerilim birikimi (mavi kesikli çizgi) ve iki yüzey arasındaki tutunma gücünü ifade eden durum değişkeni (yeşil sürekli çizgi) artmaktadır. Daha sonra, biriken gerilim kritik bir eşiğe ulaşır ve yayda (fayda) biriken enerji hızla salınır. Bu aşamaya hızlı zaman denir. Bu aşamada hız değeri (turuncu) aniden sıvırılır, durum parametresi (yeşil) ve biriken gerilim (mavi) düşer. Sağ taraftaki grafik kararlı durumu göstermektedir. Sistem başlangıç konumundan kaynaklı gerilimi yavaşça salarak kararlı duruma ulaşmaktadır. Not: grafikte kayma, hız ve durum değişkenlerini daha iyi gösterebilmek için ölçek uygulanmıştır.)

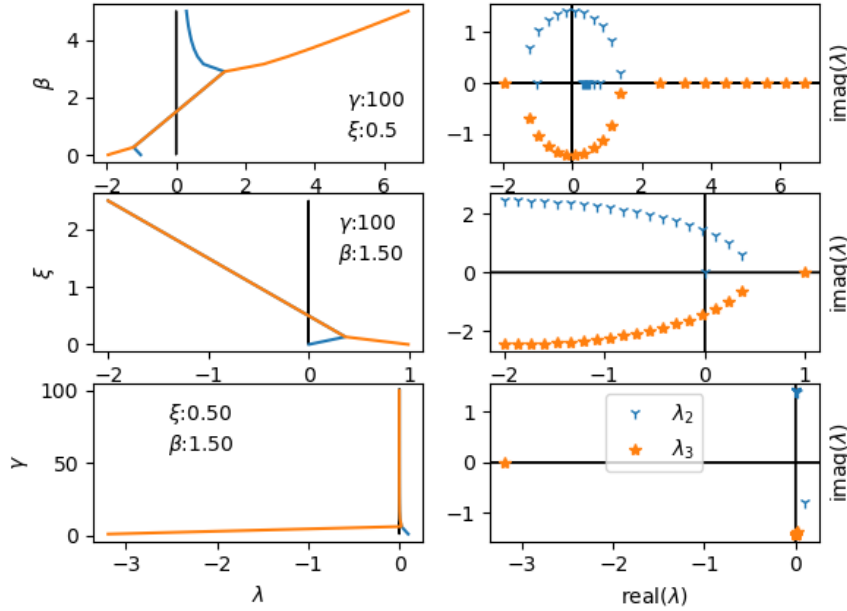
Doğrusal kararlılık analizi için denklem 7'nin özdeğerleri incelenir. Eğer tüm özdeğerlerin reel kısımları negatif ise sistem kararlıdır. Bir tanesi ya da daha fazlası pozitif olduğu durumda sistem sabit noktası çevresinde kararlılığını kaybetmiş demektir. 7 numaralı matrisin özdeğerleri üçüncü dereceden karakteristik bir polinoma dönüştürülerek Routh Hurwitz ölçütü uygulanmıştır. Routh-Hurwitz ölçütüne göre sistemin özdeğerlerinin işaretini  $\xi_{cr} = -\frac{\gamma^2(\beta-1)}{\beta-\gamma^2-1}$  bağıntısı kontrol etmektedir. Buradaki kararlı durumdan kararsız duruma geçiş bir Hopf çatallaşmasıdır (Strogatz, 2018). Gerçekçi bir fay için  $\gamma$  parametresi  $10^4 - 10^{12}$  aralarında değerler almakta, buna karşın  $\xi \approx 0.5$  ve  $\beta = 1 - 3$  parametreleri görece düşük değerler almaktadır.  $\gamma$  parametresinin çok büyük değerler aldığı göz önünde bulundurulursa sistemin kritik durumunu belirten bağıntı  $\xi_{cr} \approx \beta - 1$  şeklinde sadeleştirilebilir. Böylece, bu çalışmada bulunan bağıntı Gu vd. (1984)'te atalet terimi göz ardı edilerek bulunan bağıntı ile aynı olmuş olur.

Sistemin sabit noktasında model parametreleri değiştirilerek hesaplanan özdeğerlerine ait grafik Şekil 3'te verilmiştir.

Şekil 3'te özdeğerlerin parametrelere göre değişimini gösteren grafik, Routh-Hurwitz ölçütüne göre bulunan bağıntıyı doğrulamaktadır. Sistem RSF parametreleri  $\beta$  ve yay sabiti  $\xi$  değerlerine bağlı olarak kararlı ya da kararsız duruma geçmektedir.  $\gamma$  parametresinin değişiminin, kararlılık analizindeki etkisi azdır. Sadece çok küçük olduğu durumda dinamikleri büyük ölçüde etkilemektedir.

Hesaplanan kararlılık ölçütü kullanılarak üç RSF yasası kıyaslanmıştır. Kıyaslama sonucu sistem kararlı durumdayken üç yasanın da benzer sonuçlar ürettiği görülmüştür (Şekil 4).  $\xi$  ve karşılık gelen  $\beta$  parametreleri yeterince büyük olduklarında

ise, Perrin yasası, Dieterich ve Ruina yasasından farklı bir yörünge çizdiği görülmüştür (Şekil 5). Dieterich yasasının, Ruina yasasına göre daha uzun süre salınım yaparak sabit noktaya ulaştığı görülmüştür. Perrin yasasının  $\beta$  ve  $\xi$  değerleri büyük olduğu durumda, kararlılık kriterine uymamış olmasının sebebi doğrusallaştırma işlemi sırasında göz ardı edilen doğrusal olmayan terimleri olabilir.



**Şekil 3:** Parametre değişimine göre sistemin kararlılık durumunun değişimini gösteren şekil: (Yukarıdan aşağı doğru sırasıyla  $\beta, \xi, \gamma$  parametreleri değiştirilip diğer parametreler sabit tutularak özdeğerlerin işaret değiştirdiği kritik değerler incelenmiştir. Yatay eksenin işaret değiştirdiği yerler siyah çizgi ile gösterilmiştir. Sol tarafta yatay eksen olarak özdeğerlerin ( $\lambda$ ) reel kısımları sırasıyla  $\beta, \xi, \gamma$  parametrelerine göre çizilmiştir. Sağ tarafta ise bu değerlere ait reel ve sanal değerleri çizilmiştir. Sistemin reel değerinin işaret değiştirmesi sistemin kararlı durumdan, kararsız duruma geçişini gösterir. Not: özdeğerlerin bir tanesi kesin olarak negatif olduğu için geri kalan iki özdeğer şekilde gösterilmiştir.)

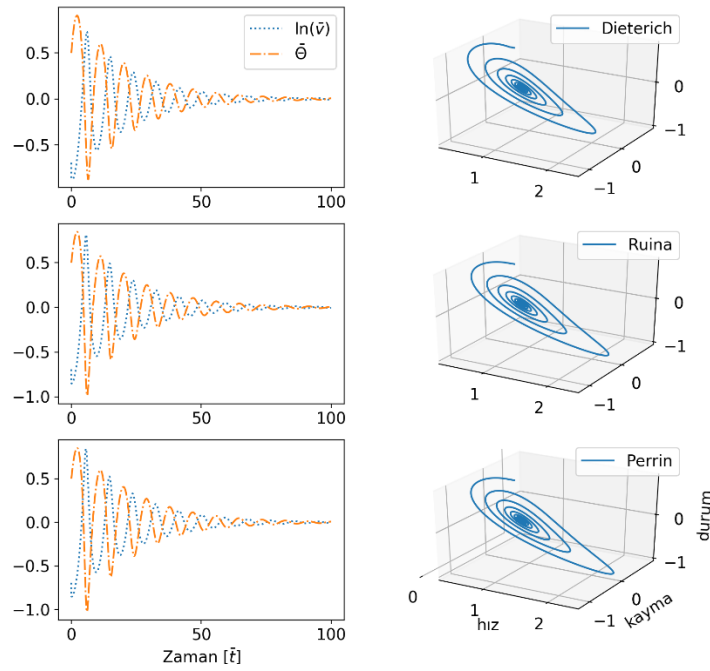
Sistem  $\xi \leq \xi_{cr}$  durumda sürtünme kararsızlığı sergilemektedir (Şekil 6). Sürtünme kararsızlığı olduğu durumda, sistem periyodik bir limite yaklaşmaktadır. Şekil 6'da RSF yasaları karşılaştırıldığında, ilgili periyodik limitin büyükten küçüğe doğru sıralaması Perrin, Dieterich ve Ruina yasası şeklindedir. Ruina yasası en hızlı şekilde periyodik limite yakınsarken, Dieterich yasası en yavaştır. Sistem kararlı durumdan çıktığında, doğrusal kararlılık analizi, sistemin nasıl davranacağı konusunda yeterli bilgiyi vermez. Bunun için doğrusal olmayan analizler gereklidir. Ancak bu çalışma kapsamında doğrusal olmayan analizler yapılmamış, bunun yerine RSF yasalarına göre simülasyon yapılmıştır.

### 3.2 Simülasyon

Bu çalışma kapsamında Ruina tipi RSF yasasını kullanarak BK modelinin simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Simülasyonda fay geometrisi sabit kabul edilerek sadece RSF parametrelerinin etkileri araştırılmıştır. Simülasyonda kullanılan parametreler Parkfield bölgesi çalışmalarında kullanılan ve kestirilenlere yakın değerlerdir.

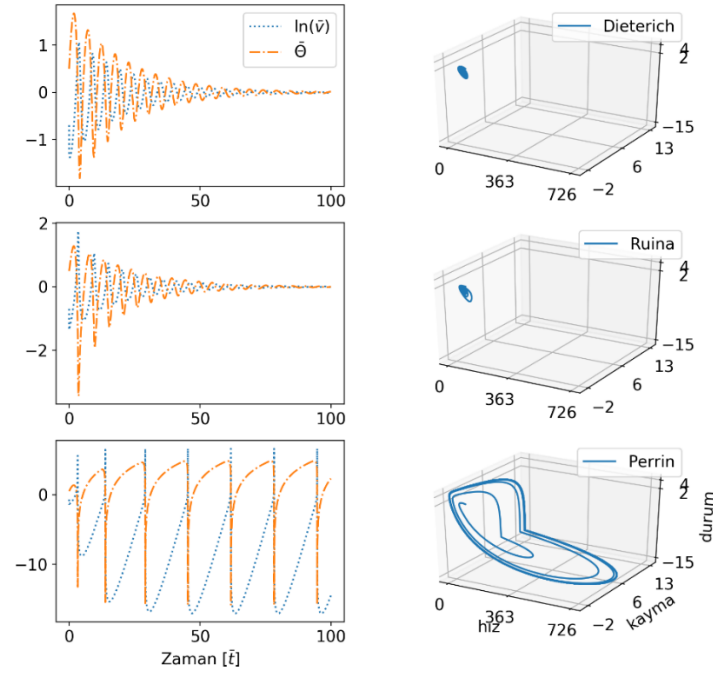
Parkfield, yaklaşık 22 yıllık yarı periyodik yapısı nedeniyle, deprem çalışmaları için en ilgi çeken yerlerden birisidir. Bu nedenle yaklaşık 50 km uzunluğundaki sağ yönlü ve eğim açısı 90 dereceye yakın olan doğrultu atımlı fay çevresi jeodezik ve sismik ağlarla donatılmıştır. Son deprem 2004 yılında gerçekleşmiştir. Bu depremin derinliği yaklaşık 5-6 km olup, 12 km uzunluğundaki kısmında kırılma gerçekleşmiştir. Kosmik depremin neden olduğu en yüksek deformasyon 60 cm civarındadır (Johnson vd., 2006; Savage & Langbein, 2008; Barbot vd., 2009; Helmstetter & Shaw 2009; Chang vd., 2013).

$$\gamma:100 \xi:0.50 \beta:1.40$$



**Şekil 4:** RSF yasalarının (sırasıyla Dieterich, Ruina ve Perrin yasaları)  $\xi > \xi_{cr}$  ölçütüne göre kararlı durumda karşılaştırılması: (Sol tarafta, sırasıyla üç farklı yasanın (Dieterich, Ruina ve Perrin) aynı başlangıç parametreleriyle, yatay ekseninde zaman ve dikey ekseninde logaritmik hız ve durum değişkenleri görülmektedir. İki değişken de gerilimin salınmasıyla birlikte kararlı duruma ulaşmaktadır. Sağ taraftaki grafik ise faz çizimini göstermektedir. Faz çizimleri değişkenlerin birbirlerine göre durumlarını ifade etmektedir. Buradaki değişkenler sırasıyla yatayda hız ve kayma (yatay eksen) ve dikeyde durum değişkenleridir. Sistem kararlı olduğunda bu üç değişken sırasıyla  $(1,0,0)$  kararlı duruma doğru ilerleyen bir yörünge çizmektedir. Not: grafikteki zaman, hız, kayma ve durum parametreleri boyutsuzlaştırılmış değerlerdir.)

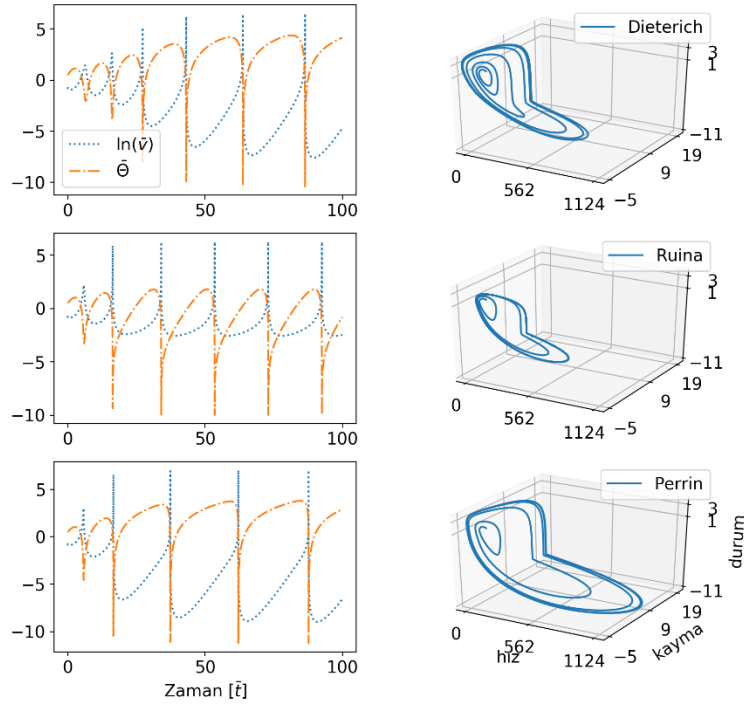
$$\gamma:100 \xi:1.50 \beta:2.40$$



**Şekil 5:** RSF yasalarının (sırasıyla Dieterich, Ruina ve Perrin yasaları)  $\xi > \xi_{cr}$  ölçütüne göre kararlı durumda ama  $\xi - \beta$  parametrelerinin yeterince büyük olduğu durumda karşılaştırılması. (Çizimdeki eksenler ve çizgi tipleri (4) numaralı şekilde açıklanmıştır. Dieterich ve Ruina yasaları kararlı kayma hareketi gösterirken, Perrin yasası sürtünme kararsızlığı göstermiştir. Not: grafikteki zaman, hız, kayma ve durum parametreleri boyutsuzlaştırılmış değerlerdir.)

Simülasyon için sürücü hız  $V_0 = 35 \text{ mm/yıl}$ , litosfer yoğunluğu  $\rho = 2700 \text{ kg/m}^3$ , kesme modülü  $G = 30 \text{ GPa}$  olarak sabit kabul edilmiştir. Bu parametreler Tullis'in (1996), Parkfield fayının simülasyonunda kullandığı parametrelerdir. Henüz hangi RSF parametrelerinin deprem analogisini tam olarak yansıttığı bilinmemektedir. Bu çalışmada,  $a \in (0.006 - 0.008)$  ve  $b \in (0.007 - 0.015)$ , sürtünme için kritik uzaklık  $L \in (0.001 - 0.05) \text{ m}$  ve efektif normal gerilim  $\sigma_n \in (50 - 100) \text{ MPa}$  arasında değiştirilmiştir. Simülasyonda kullanılan parametreler özet halinde (1) numaralı tabloda sunulmuştur.

$$\gamma:100 \quad \xi:0.50 \quad \beta:1.60$$



**Şekil 6:** RSF yasalarının (sırasıyla Dieterich, Ruina ve Perrin yasaları)  $\xi \leq \xi_{cr}$  ölçütüne göre sürtünme kararsızlığı durumunda karşılaştırılması: (Çizimdeki eksenler ve çizgi tipleri (4) numaralı şekilde açıklanmıştır. Üç yasa da sürtünme kararsızlığı nedeniyle kararlı periyodik davranış sergilemiştir. Dieterich yasası daha yavaş periyodik limite ulaşırken, en hızlı Ruina yasası ulaşmıştır. Periyodik limitler büyüklüğü bakımından karşılaştırıldığında Perrin, Dieterich ve Ruina yasası şeklindedir. Not: grafikteki zaman, hız, kayma ve durum parametreleri boyutsuzlaştırılmış değerlerdir.)

**Tablo 1:** Simülasyonda kullanılan parametreler

a	b	L (m)	V0 (mm/y)	$\sigma_n$ (MPa)	Derinlik (km)	Uzunluk (km)	G (GPa)	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
0.006-0.008	0.007-0.015	0.001-0.05	35	50-100	6	12	30	2700

Simülasyon sonucu kayma, hız, dinamik-statik gerilim ve sismik periyot ya da tekrarlanma zamanı gibi sonuçlar kaydedilmiştir. Bunlardan kayma değeri 50-70 cm arasında olanlar (2) numaralı tabloda sunulmuştur. Tabloya göre sonuçlar, Parkfield depremi değerlerinden uzaktırlar. Özellikle hız değerleri beklenenden çok daha düşük çıkmıştır. Bu uyuşumsuzluğun sebeplerinden birisi yay sabiti değeri olabilir. Bu çalışmada fay yüzeyinin genişliği ve derinliği eşit kabul edilerek ( $H=6 \text{ km}$ ,  $\lambda = \mu \approx \frac{30 \text{ GPa}}{6000 \text{ m}} = 5 \text{ MPa/m}$ ) değerleri hesaplanmıştır. Turcotte ve Schubert (2014) kırılğan kabukta olan faylar için fay yüzeyinin 75 m-7.5 km arasında değerler alabileceğini hesaplamıştır. Bu çalışmada kullanılan değerler hesaplanan aralık içerisinde. Ancak, yay-blok sistemi ve RSF yasaları ile yapılan diğer yayınlarda, Roy ve Marone (1996) yay sabitini 1-5 GPa/m, Gomberg vd. (1997) ve Belardinelli vd. (2003) 12.5 MPa/m olarak kullanmışlardır. Dolayısıyla yay

sabiti olarak belirlenen değerler arasında ciddi farklar vardır. Ayrıca laboratuvar ortamında oluşturulan RSF parametrelerinin doğadaki karşılıkları tam olarak bilinmemektedir. Bunların yanında tek serbestlik dereceli bir model ile yapılan simülasyonlar ile depremlerin karmaşık ilişkilerini modellemek fazla iyimserliktir. Yine de, (2) numaralı tabloda bulunan sonuçlar RSF parametrelerinin deprem analogisine etkilerini açıklamak için kullanılabilir.

**Tablo 2:** Simülasyon sonuçları

a	b	L (m)	N_gerilim (Pa)	gamma	xi	beta	fs	fd	Kayma (m)	Hız (m/sn)	Periyot (yıl)	D_gerilim (Pa)
0.0060	0.007	0.001	75000000	111	0.01	1.17	0.11	0.09	0.52	0.00003	7.7	1449000
0.0060	0.008	0.001	50000000	111	0.02	1.33	0.11	0.08	0.59	0.00004	8.6	1638500
0.0070	0.008	0.001	75000000	111	0.01	1.14	0.11	0.09	0.55	0.00003	8.1	1530750
0.0070	0.009	0.001	50000000	111	0.02	1.29	0.11	0.08	0.61	0.00004	8.9	1702500
0.0070	0.008	0.001	100000000	111	0.01	1.07	0.11	0.09	0.50	0.00003	7.4	1340000
0.0080	0.009	0.001	75000000	111	0.01	1.12	0.11	0.09	0.58	0.00004	8.5	1608750
0.0060	0.007	0.002	100000000	223	0.02	1.17	0.11	0.09	0.68	0.00004	10.1	1910000
0.0060	0.008	0.002	50000000	223	0.04	1.33	0.11	0.08	0.55	0.00003	8.2	1554500
0.0070	0.008	0.002	75000000	223	0.02	1.14	0.11	0.09	0.52	0.00003	7.8	1457250
0.0070	0.009	0.002	50000000	223	0.03	1.29	0.11	0.08	0.58	0.00003	8.5	1617500
0.0080	0.009	0.002	75000000	223	0.02	1.12	0.11	0.09	0.55	0.00003	8.2	1533000
0.0060	0.007	0.004	100000000	446	0.04	1.17	0.11	0.09	0.64	0.00004	9.6	1806000
0.0060	0.008	0.004	50000000	446	0.07	1.33	0.11	0.08	0.51	0.00003	7.7	1462000
0.0070	0.008	0.004	100000000	446	0.03	1.14	0.11	0.09	0.67	0.00004	10.2	1911000
0.0070	0.009	0.004	50000000	446	0.06	1.29	0.11	0.08	0.53	0.00003	8.1	1523000
0.0070	0.009	0.004	75000000	446	0.04	1.20	0.11	0.08	0.69	0.00004	10.3	1944000
0.0080	0.009	0.004	75000000	446	0.04	1.12	0.11	0.09	0.51	0.00003	7.8	1443000
0.0060	0.007	0.006	100000000	669	0.05	1.17	0.11	0.09	0.60	0.00003	9.3	1736000
0.0070	0.008	0.006	100000000	669	0.05	1.14	0.11	0.09	0.64	0.00004	9.9	1838000
0.0070	0.009	0.006	50000000	669	0.09	1.29	0.11	0.08	0.50	0.00003	7.8	1460500
0.0070	0.009	0.006	75000000	669	0.06	1.20	0.11	0.08	0.65	0.00004	10.0	1872000
0.0080	0.009	0.006	100000000	669	0.04	1.12	0.11	0.09	0.67	0.00004	10.4	1934000
0.0060	0.007	0.010	100000000	1115	0.09	1.17	0.11	0.09	0.54	0.00003	8.8	1628000
0.0060	0.009	0.010	50000000	1115	0.18	1.50	0.11	0.07	0.67	0.00004	10.4	1958000
0.0070	0.008	0.010	100000000	1115	0.08	1.14	0.11	0.09	0.58	0.00003	9.4	1724000
0.0075	0.009	0.010	75000000	1115	0.10	1.20	0.11	0.08	0.59	0.00003	9.5	1763250
0.0080	0.009	0.010	100000000	1115	0.07	1.12	0.11	0.09	0.61	0.00003	10.0	1815000

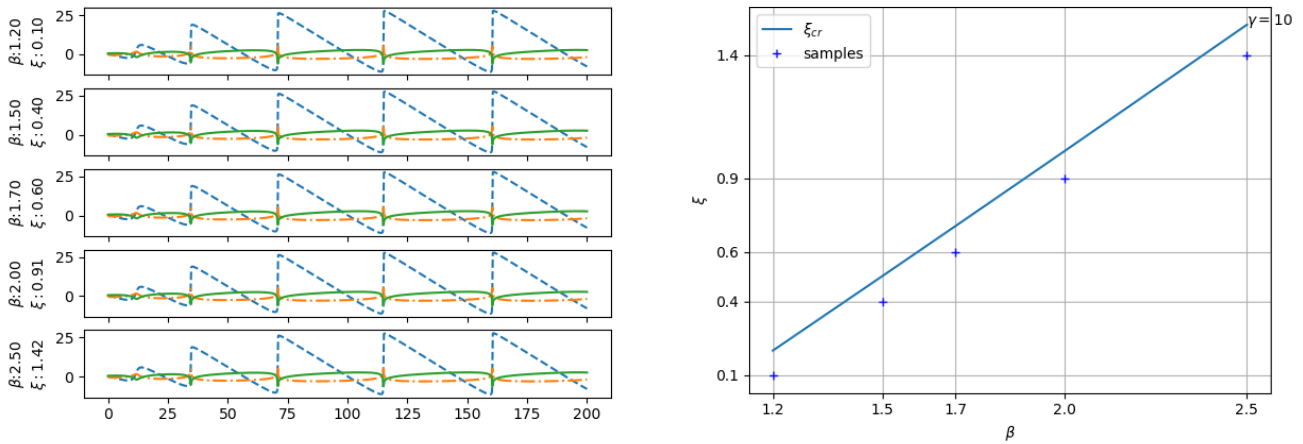
sürtünme sabiti  $f_0 = 0.1$  olarak alınmıştır

Tabloda sırasıyla ‘‘a’’, ‘‘b’’ ve ‘‘L’’ değerleri RSF parametrelerini, ‘‘N\_gerilim’’ stnu normal gerilimi, ‘‘gamma’’, ‘‘xi’’ ve ‘‘beta’’ stnları  $\gamma, \xi, \beta$  model parametrelerini, ‘‘fs’’ ve ‘‘fd’’ stnları statik ve dinamik gerilimi, ‘‘kayma’’, ‘‘hız’’ ve ‘‘periyot’’ stnları da kayma, hız ve sismik periyodu ve ‘‘D\_gerilim’’ stnu kayma sırasında salınan gerilimi belirtmektedir. Kayma, hız ve periyot değerleri doğru orantılı olarak değişmektedir. Simülasyon sonuçlarına göre çok sayıda RSF parametresinin 50-70 cm arasında kayma değeri oluşturabildiği görülmüştür. Sonuçlara göre fay geometrisi, normal gerilim ve diğer etkiler sabit kabul edildiğinde sistemin büyüklüğünü belirleyen ana etkenin  $\beta$  ve  $\xi$  parametreleri olduğu görülmüştür. Bu iki parametre ‘‘a’’, ‘‘b’’ ve ‘‘L’’ RSF parametreleri ve iki yüzey arasındaki lineer elastik özelliği tanımlayan yay sabiti ‘‘ $\mu$ ’’ ve efektif gerilim ‘‘ $\sigma$ ’’ değerlerine göre değişmektedir ( $\beta = \frac{b}{a}, \xi = \frac{\mu L}{\sigma a}$ ). Özellikle b/a oranı arttıķa sistemin sismik gücü artmakta, dolayısıyla periyot, hız ve gerilim gibi değerler de artmaktadır. Bunun yanında yayın sertliği ‘‘ $\mu$ ’’ veya kritik uzaklık ‘‘L’’ arttıķa sistem sismik olarak daha gcsz hale gelmektedir. Tersi şekilde efektif normal gerilimin artması da sistemin sismik gücünü



arttırmaktadır.

Şekil 7’de, sol taraftaki grafikte farklı  $\xi$  ve  $\beta$  parametrelerinin oluşturdukları dinamikler görülmektedir. Kullanılan  $\xi$  ve  $\beta$  parametre çiftlerini ve sismik ve sismik olmayan bölgeleri ayıran  $\xi_{cr}$  eğrisi sağdaki grafikte gösterilmiştir. Grafikten de görüldüğü üzere farklı  $\xi$  ve  $\beta$  parametre çiftleri aynı dinamikleri üretmektedir. Bu parametreler  $\xi_{cr}$  kritik eğrisinden eşit uzaklıkta seçilmiştir (Şekil 7-Sağ grafik). Tablo 1’den ve Şekil 7’den de anlaşılacağı üzere sistemin ya da depremin büyüklüğü  $\xi_{cr}$  kritik eğrisinden uzaklığıyla orantılıdır. Buradaki sonuç Helmstetter ve Shaw (2009)’un tartıştığı basit yay-blok sistemi kullanarak deprem verilerine uygun çok sayıda RSF parametresinin kestirilebileceği ifadesini desteklemektedir. Ayrıca  $\beta$  ve  $\xi$  parametreleri sabit kabul edildiğinde, sistemin ürettiği büyüklüğün  $\gamma$  frekans parametresi ile ters, normal gerilim ile doğru orantılı olduğu görülmüştür.



**Şekil 7:** Farklı parametreler ile aynı dinamiklerin elde edildiğini gösteren grafik: (Sol tarafta farklı  $\beta$  ve  $\xi$  parametreleri kullanılması rağmen sistemin aynı sonuçları ürettiği görülmektedir. Burada mavi kesik çizgiler kayma değerlerini, turuncu ile gösterilen çizgi hızın doğal logaritmik değerini, yeşil düz çizgi ise durum parametresini göstermektedir. Sağ taraftaki grafikte ise, sol taraftaki hesaplamalarda kullanılan ( $\beta, \xi$ ) parametre çiftlerinin çizimi görülmektedir. Buradaki eğri  $\gamma=10$  değerine göre çizilen  $\xi_{cr}$  kritik değeridir. Bu kritik eğriden  $\xi = \xi_{cr} - 0.1$  kadarlık sapmalar (+) işareti ile çizilmiştir. Grafikten anlaşılacağı gibi kritik eğriden sabit bir sapma olduğunda, sistemde aynı dinamikler görülmektedir.)

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma kapsamında Dieterich, Ruina ve Perrin RSF yasaları tek serbestlik dereceli BK modeli kullanılarak karşılaştırılmıştır. Öncelikle çalışılan sistemin kararlılık analizi yapılarak, analitik bir bağıntı bulunmuştur. Üç sürtünme yasası da bulunan bağıntıya göre analiz edilmiştir. Sistem kararlı durumdayken RSF yasaları birbirlerine çok benzer dinamikler sergilemiştir. Sürtünme parametresi  $\beta$  ve yay sabitini belirleyen  $\xi$  parametresi yeterince büyük olduğunda ise Perrin yasası, Dieterich ve Ruina yasasından farklı sonuçlar üretmiştir. Bu farklılığın sebebi, Perrin yasasında sistemin doğrusallaştırma işlemi sırasında göz ardı edilen diğer doğrusal olmayan terimlerinden kaynaklı olabileceği şeklinde yorumlanmıştır.

Kararlılık analizi sadece sistem sabit noktaya yakın olduğu durumda dinamiklerle ilgili bilgi vermektedir. Sistem sabit noktadan uzaklaştığında ve sürtünme kararsızlığı sergilediğinde dinamikler hakkında bilgi edinebilmek için sistem simüle edilmiştir. Simülasyonda kullanılan parametreler 2004 Parkfield depremine yakın olarak seçilmiştir ve sadece RSF parametrelerinin etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan bazıları (2) numaralı tabloda sunulmuştur. Tabloda sunulan değerler ile doğada gözlenen değerler hakkında yakın bir karşılaştırma yapılamamıştır. Çünkü yapılan basitleştirme her ne kadar deprem analogisini temel anlamda karşılarsa da diğer taraftan birçok önemli karmaşık detayı hesaba katmamaktadır. Yine de tabloda sunulan sonuçlar belirli parametrelerin ve değişkenlerin deprem olayını ne yönde etkilediği ile ilgili önemli

bilgiler vermektedir. Sonuçlara ve Şekil 7 sağ taraftaki grafiğe göre, deprem büyüklüğünün  $\xi_{cr}$  kritik eğrisinden saptmasıyla orantılı olduğu görülmüştür ( $\gamma$  parametresinin yeterince büyük olduğu durumlar için eğri  $\xi_{cr} = \beta - 1$  şeklinde doğrusal olmaktadır). Şekil 7 sağdaki eğrinin altta kalan kısmı sismik bölgeleri, üstte kalan kısımları ise kararlı kaymanın olduğu bölgeleri göstermektedir. Bu eğriden aşağıya doğru uzaklaştıkça sistemin üreteceği dinamiklerin büyüklüğü (hız, kayma, salınan gerilim ve dolayısıyla depremin büyüklüğü) artmakta, tersi şekilde yukarı doğru uzaklaştıkça, sistemin kararlı duruma ulaşmasının hızı artmaktadır.

Şekil 7’de görüldüğü üzere kritik eğriden sabit oranda sapma olduğunda, farklı RSF parametreleri kullanılmış olsa da sistem aynı sonuçları üretmektedir. Dolayısıyla doğadaki bir kayma hareketini tanımlayabilecek sonsuz sayıda RSF parametresi bulunabilmektedir. Bu durum Helmstetter ve Shaw (2009) çalışmasında bahsettiği çok sayıdaki RSF parametresinin 2004 Parkfield depremi verilerinden RSF yasaları ve basit yay-blok sistemi kullanılarak kestirilebileceğini açıklamaktadır. Çalışmada RSF parametreleri olarak, literatürde kullanılan kestirilen parametrelere yakın değerler kullanılmıştır. Yine de hangi parametrelerin doğada gözlenenler için uygun olduğu açık bir problemidir.

Bu çalışmada sistemin sadece kararlı olduğu ya da sabit noktanın kararlılığını kaybederek çatalaşma sonucu oluşan limit döngüye yaklaştığı dinamikler sunulmuştur. Bunların yanında kritik eğriden uzaklaştıkça sistemin limit döngüsü de kararlılığını kaybedebilmektedir. Ayrıca belirli parametre aralığında tek serbestlik dereceli modelde periyot ikilemeleri şeklinde farklı periyotlar gözlenerek sistem daha sonra kaotik davranmaktadır. Ancak, belirtilen kararsız limit döngü ve kaotik davranışlar bu çalışmada incelenmemiştir (Gu vd., 1984; Erickson vd., 2008).

Sonuç olarak, depremi tek serbestlik dereceli bir bloğun gerçekçi bir sürtünme kuvveti etkisindeki dinamik hareketleri şeklinde basitleştirmek, belirli parametrelerin veya kuvvetlerin etkisini araştırmak bakımında yararlı olacaktır. Özellikle yakın faylarda gerçekleşen bir deprem diğer depremleri tetikleyebilmektedir. Diğer depremin tetiklenmesi sonucu oluşan deprem tekrarlama zamanındaki (recurrence time) gecikme ve öne alma, sistemin sismik döngüsüne doğrusal olmayan bir şekilde bağlıdır. Sistem doğrusal olarak çözüldüğünde gözlenemeyecek birtakım olaylar ise doğrusal olmayan dinamik sistemlerde gözlenebilmektedir (Gomberg vd., 1997; Strogatz, 2018). Tekrarlama zamanındaki gecikme ve öne alma ilişkisi bu olaylardan birisidir. Bunların yanında, RSF yasaları her ne kadar laboratuvarında benzer sonuçlar üretmiş olsalar da farklı fiziksel temellere sahiptirler. Literatürde RSF yasaları kullanılarak deprem tetiklemesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Ancak bahsedilen çalışmalarda RSF yasalarından kaynaklanabilecek farklılıklar incelenmemiştir. Bu çalışma ileride başka depremlerin veya yer kabuğundaki gel-git ve benzeri güçsüz sinyallerin depremi ne yönde etkileyeceği konulu araştırmalara fayda sağlayacaktır.

## Kaynaklar

- Barbot, S., Fialko, Y., & Bock, Y. (2009). Postseismic deformation due to the Mw 6.0 2004 Parkfield earthquake: Stress-driven creep on a fault with spatially variable rate-and-state friction parameters. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 114(B7).
- Belardinelli, M. E., Bizzarri, A., & Cocco, M. (2003). Earthquake triggering by static and dynamic stress changes. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 108(B3).
- Burridge, R., & Knopoff, L. (1967). Model and theoretical seismicity. *Bulletin of the seismological society of america*, 57(3), 341-371.
- Chang, S. H., Avouac, J. P., Barbot, S., & Lee, J. C. (2013). Spatially variable fault friction derived from dynamic modeling of aseismic afterslip due to the 2004 Parkfield earthquake. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 118(7), 3431-3447.
- Dieterich, J. H. (1979). Modeling of rock friction: 1. Experimental results and constitutive equations. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 84(B5), 2161-2168.
- Erickson, B., Birnir, B., & Lavallée, D. (2008). A model for aperiodicity in earthquakes. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 15(1), 1-12.

- Erickson, B., Birnir, B., & Lavallée, D. (2011). Periodicity, chaos and localization in a Burridge–Knopoff model of an earthquake with rate-and-state friction. *Geophysical Journal International*, 187(1), 178-198.
- Gomberg, J., Blanpied, M. L., & Beeler, N. M. (1997). Transient triggering of near and distant earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 87(2), 294-309.
- Gu, J. C., Rice, J. R., Ruina, A. L., & Simon, T. T. (1984). Slip motion and stability of a single degree of freedom elastic system with rate and state dependent friction. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 32(3), 167-196.
- Helmstetter, A., & Shaw, B. E. (2009). Afterslip and aftershocks in the rate-and-state friction law. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 114(B1).
- Johnson, K. M., Burgmann, R., & Larson, K. (2006). Frictional properties on the San Andreas fault near Parkfield, California, inferred from models of afterslip following the 2004 earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96(4B), S321-S338.
- Kawamura, H., Ueda, Y., Kakui, S., Morimoto, S., & Yamamoto, T. (2017). Statistical properties of the one-dimensional Burridge-Knopoff model of earthquakes obeying the rate-and state-dependent friction law. *Physical Review E*, 95(4), 042122.
- Marone, C. (1998). Laboratory-derived friction laws and their application to seismic faulting. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 26(1), 643-696.
- Nagata, K., Nakatani, M., & Yoshida, S. (2012). A revised rate-and state-dependent friction law obtained by constraining constitutive and evolution laws separately with laboratory data. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 117(B2).
- Nakatani, M. (2001). Conceptual and physical clarification of rate and state friction: Frictional sliding as a thermally activated rheology. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 106(B7), 13347-13380.
- Perrin, G., Rice, J. R., & Zheng, G. (1995). Self-healing slip pulse on a frictional surface. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 43(9), 1461-1495.
- Petzold, L. (1983). Automatic selection of methods for solving stiff and nonstiff systems of ordinary differential equations. *SIAM journal on scientific and statistical computing*, 4(1), 136-148.
- Roy, M., & Marone, C. (1996). Earthquake nucleation on model faults with rate-and state-dependent friction: Effects of inertia. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 101(B6), 13919-13932.
- Ruina, A. (1983). Slip instability and state variable friction laws. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 88(B12), 10359-10370.
- Savage, J. C., & Langbein, J. (2008). Postearthquake relaxation after the 2004 M6 Parkfield, California, earthquake and rate-and-state friction. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 113(B10).
- Scholz, C. H. (1998). Earthquakes and friction laws. *Nature*, 391(6662), 37.
- Scholz, C. H. (2002). *The mechanics of earthquakes and faulting*. Cambridge university press.
- Strogatz, S. H. (2018). *Nonlinear dynamics and chaos: with applications to physics, biology, chemistry, and engineering*. CRC Press.
- Tullis, T. E. (1996). Rock friction and its implications for earthquake prediction examined via models of Parkfield earthquakes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93(9), 3803-3810.
- Turcotte, D., & Schubert, G. (2014). *Geodynamics*. Cambridge university press.

## Mekansal zekanın getirdiği paradigma değişimi

Caner Güney<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup>Istanbul Teknik Üniversitesi, Maslak Kampüsü, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Sarıyer, İstanbul.

**Öz:** Niceliksel ve niteliksel olarak artan, veri türü olarak çeşitlenen görüntü kaynaklarından anlamlı ve faydalı bilginin yapay öğrenme temelli olarak üretilmesi giderek yaygınlık kazanmaktadır. Mekansal bilgi sistemi uygulamalarında bilinçli karar verebilmek için nesnelere, olgulara ve içinde buldukları ortama ilişkin bağlamın, ilişkilerin, örüntülerin ve eğilimlerin yapay öğrenme teknikleri ile belirlenmesi mekansal bilgi sistemi projelerinin başarımını ve verimliliğini arttırmaktadır. Bu tür yönelimler mekansal bilişim endüstrisinde mekansal zeka temelli sistemlerin kullanımını yaygınlaştırmaktadır. Gözlem ve ölçme sistemlerinden bulut ortamında çalışan bilgi sistemlerine kadar geniş bir yelpazede mekansal zeka özellikli çözümler geliştirilebilmektedir. Mekansal zeka özellikli sistemlerin etkin ve verimli biçimde kullanılabilmesi için mekansal zeka kavramının ne olduğu, hangi alanlarda kullanılabileceği ve daha yüksek bir katma değer sağlayabilmesi için nasıl bir yol haritasının oluşturulması gerektiği bu çalışma kapsamında irdelenmeye çalışılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Mekansal zeka, Yapay zeka, Makine öğrenmesi, Derin öğrenme, Mekansal bilgi sistemi, Mekansal veri altyapısı

### Paradigm shift by spatial intelligence

**Abstract:** It is becoming prevalent to produce meaningful and useful information based on artificial learning from quantitative and qualitatively increasing data sources. In order to make informed decisions in spatial information system applications, determining the context, relations, patterns and trends related to objects, facts and environment by artificial learning techniques increases the performance and efficiency of spatial information system projects. Such trends will accelerate the spread of GeoAI-based systems in the spatial informatics industry. A wide range of spatial intelligence solutions can be developed from observation and measurement systems to cloud computing information systems. In the scope of the study, it has been examined that first what the concept of spatial intelligence means, then in which areas geospatial intelligence can be utilized, and finally, how to create a road map to provide a higher added value from spatial intelligence.

**Keywords:** Spatial intelligence, Artificial intelligence, Machine learning, Deep learning, Geospatial information system, Spatial data infrastructure

## 1. Giriş

Endüstriyel ekonomiden bilgi ekonomisine, bilgi ekonomisinden de girişim ekonomisine geçilmesi ve 21. yüzyılın başında 4. Endüstri Devrimi (2. Bilgi Devrimi)'nin hız kazanmasıyla, yenilikçi düşünce ile fark yaratma ve yüksek katma değerli ürün geliştirme sürdürülebilir kalkınma için üzerinde en çok durulan konulardan biri olmuştur.

Bulut bilişim, büyük veri, nesnelerin interneti, sanal/arttırılmış/karma gerçeklikler, blok zinciri, kripto-paralar, oyun motorları, robotik, otonom sistemler, siber fiziksel sistemler, akıllı etmenler, yapay zeka, siber güvenlik vb. alanlardaki hızlı gelişim ve bunun sonucunda ortaya çıkan ezber/oyun bozan teknolojiler (*disruptive technologies*) (Christensen, 1997; Yu & Hang, 2010) mühendislik, tasarım, tıp, iktisat, hukuk gibi farklı disiplinleri ve bu disiplinlerin çalışma yöntemlerini evirmektedir. Bu oluşan yeni dijital ekosistemde başarılı olabilmek için hem farklı bir düşünceye sahip bir iş modeli kurabilmek hem de bu iş modeli içerisinde sözü edilen ileri teknolojileri etkin kullanıp değer katabilen ürünler/uygulamalar/çözümler geliştirmek gerekmektedir. Bunun gibi bir ekosistemde hemen hemen her sektörde görülmeye başlayan “Akıllı Şey” ve/veya “Akıllı Sistemler” kavramları dijital dönüşümde ve dijital ekonomide önemli yer almakta ve böylelikle problem çözme veya karar verme aşamaları daha akıllı biçimde gerçekleştirilebilmektedir.

İnsanoğlunun sosyal medya üzerinde sürekli konum ve zaman etiketli bilgiler paylaşımı, nesnelerin interneti yaklaşımı ile sensörlerin neredeyse her yerde kullanılmaya başlanmış olması ve sürekli veri üretimi, sensörler ve bilgi sistemleri arasındaki bağlantıların artması “akıllılık” kavramının yaygınlaşmasına neden olmaktadır. 21. yüzyılda akıllı kentler, akıllı ulaşım sistemleri, akıllı binalar, akıllı arabalar vb. her şey giderek daha “akıllı” olmaya başlamış ve akıllı cihazlarla iletişim ve problem çözme daha önemli konuma gelmiştir. “Akıllılık” kavramının yaygınlaşması beraberinde birçok zeka kavramını ortaya çıkarmaktadır. İş dünyasında kullanılan iş zekası, rekabetçi zeka, işlemsel zeka, bilgisayar mühendisliği alanında ortaya çıkan ve veri biliminde de sıklıkla kullanılan yapay zeka, malzeme alanında kullanılan fiziksel zeka bu kavramlara örnek olarak verilebilir. Benzer biçimde mekansal bilgi sektöründe de mekansal bilgidен **mekansal zeka** kavramına geçiş süreci başlamıştır (Güney, 2016).

## 2. Mekansal Zeka

Yerin merkezinden uzayın derinliklerine ve siber dünyaya kadar her yerde gerçekleşen olguların ve insan faaliyetlerinin mekansal modellenmesinde, analizinde, görselleştirilmesinde, mekansal problemlerin çözümünde ve mekansal karar vermede yapay zeka yöntemlerinin yukarıda ifade edilen ileri teknolojilerle birlikte toplum yararına kullanımını **mekansal zeka** (*spatial intelligence, geospatial intelligence - GeoAI, location intelligence - GeoBI*) olarak tanımlanabilir.

Gerçeklik çok karmaşık bir sistemler sistemi (*a system of systems*) olup tüm olasılıkları klasik programlama dilleri ile kod geliştirerek modellemek olası değildir. Bunun yerine veriden kendi kendine öğrenebilen algoritmaların kullanıldığı yapay zeka yaklaşımına geçilmektedir. Mekansal zekanın rolü de insanların ve sensörlerin birbirlerine bağlı olduğu bir ortamda, gerçek dünya problemlerinin çözümünde, mekansal veri kümelerine dayalı (*data-driven*) bulguları çok daha doğru ve anlamlı hale getirip, anlam çıkarma üzerinden değer yaratan uygulamaları ve çözümleri çok daha etkin ve verimli biçimde geliştirebilmektir.

Mekansal zeka yalnız yapay öğrenme teknikleri kullanılarak örüntü tanıyan, görüntüler ve diğer mekansal veri kümeleri üzerinde sınıflandırma yapan araç olarak algılanmamalı, aynı zamanda veri kümeleri üzerinden öğrendiklerini kullanarak akıl yürütmeler (*reasoning*) ve çıkarımlar (*inference*) da yapabilen bir **paradigma değişimi** olarak algılanmalıdır.

Mekansal verinin yalnızca yerel yönetimlerden, kamu kurum ve kuruluşlarından temin edilmesi yerine mekansal veri kümelerinin; nesnelerin interneti, sosyal medya, kitle kaynaklı veri, üçüncü parti veri, açık veri, akan veri, yapılandırılmamış veri vb. yaklaşımlar üzerinden koordinat, metin, görüntü, video, ses gibi farklı formatlardaki veri kümelerinden türetilmesi ve kamu kurumları tarafından üretilmiş yapılandırılmış veri kümeleri ile birlikte kullanılması sözü edilen paradigma kaymasına örnek olarak gösterilebilir. Diğer tür paradigma değişimlerine örnek olarak; mekansal zeka tarafından bir haritanın tasarımı ve üretilmesi, mekansal zeka tarafından yapılan bir imar planı, mekansal zeka tarafından belirlenen taşınmaz değeri, gezgin sürü robotlarca üretilen topoğrafik haritalar vb. uygulamalar gösterilebilir.

Aşağıda ifade edilen ve benzeri birçok yeni teknolojik kavramın ortaya çıkması, bunların farklı biçimlerde farklı uygulamalarda yer bulması, **mekansal bilişim endüstrisi** için de zihinsel dönüşümün neden gerekli olduğunu ortaya koymakta ve **mekansal zeka ‘devrimi’nin** altyapısını oluşturmaktadır.

- Uydu görüntülerinin artan mekansal, zamansal, radyometrik ve spektral çözünürlüklerde, daha az maliyetle ve kimi zaman ücretsiz olarak web üzerinden daha kolay ulaşılabilir olması,
- İnsanlı veya insansız, sabit ya da döner kanatlı hava araçlarından elde edilen dijital görüntülerin ve nokta bulutlarının daha kolay üretiliyor olması,
- Nokta bulutlarının, görüntülerin ve videoların (video-tabanlı görüntülerin) uzay ve hava ortamlarına ek olarak yerden (*ground-level*) mobil harita üretim araçları, gözlem sistemleri (*surveillance systems*), sokak görünümüleri (*Street View*), akıllı telefonlar gibi farklı sensörler ve sistemlerle daha yaygın biçimde üretiliyor olması,
- Görüntü elde etme kaynaklarının çoğalması ve zenginleşmesi, elektromanyetik spektrumun görünür ışık bölgesi dışında radar ve kızıl ötesi gibi diğer alanlarının da kullanılarak multispektral veya hiperspektral görüntülerin üretiliyor olması,
- Sunucu tarafında daha geniş ve ucuz depolama alanlarının bulut üzerinden hizmet olarak sunulması, bulut üzerinden Landsat vb. uydu görüntülerinin servis ediliyor olması,
- Bulut tarafındaki sunucularda ve uç (*edge*) (Hassan, Gillani, Ahmed, Yaqoob & Imran, 2018) taraftaki gömülü sistemlerde hesaplama gücünün artmış olması,
- Google, Amazon (AWS), Azure, IBM gibi global bulut çözümü sunan firmaların platformlarında otomatik ölçeklendirmenin yapılabiliyor olması, yüksek kapasiteli işlem birimlerinin (CPU), hafıza birimlerinin (RAM), Grafik İşleme Birimlerinin (*Graphics Processing Unit*, GPU) kullanılıyor olması ve tüm bunları servis olarak sunabiliyor olmaları,
- Bulut bilişimin olanakları kullanılmadan özellikle mekansal büyük veriye ilişkin sorgulamaların ve analizlerin gerçekleştirilmesinin çok uzun zaman alıyor olması vb. nedenlerle yapay öğrenme uygulamalarında bulut çalışma ortamlarına ve bu bulut ortamında paralel hesaplama mimarilerine duyulan gereksinimin giderek artması,
- Web üzerinde gelişkin 3 boyutlu (3B) görselleştirme araçlarının kullanılmaya başlanmış olması, 3B kent modellerinin web üzerinden paylaşılmasının yaygınlık kazanıyor olması,
- 3B kent modellerinin “3B/4 boyutlu (4B) veya çok boyutlu kadaströ” uygulamaları ile bütünleştirilmeye çalışılıyor

olması,

- Makine öğrenmesi (Blum & Langley, 1997), derin öğrenme (Schmidhuber, 2015) gibi yapay öğrenme algoritmalarının büyük bir hızla gelişmesi ve birçok alanda kullanılıyor olmaları,
- 5. nesil (5G) kablosuz ağ teknolojisi ile internet hızının artacak olması, nesnelerin interneti ve artan internet bağlantı hızının getireceği yeniliklerin diğer sektörlerde olduğu gibi mekansal bilgi sektöründeki geleneksel iş modellerini radikal biçimde değiştirecek olması,
- Mekansal bilişimin büyük veri, nesnelerin interneti, blok zinciri vb. kavramlarla birlikte kullanılarak bir sinerji oluşturmaya başlaması ve mekansal büyük veri (*spatial big data*), nesnelerin coğrafyası (*geography of things*), kripto koordinatlar vb. kavramların uygulamalarda kullanılmaya başlanmış olması.

Bu tür zihinsel dönüşümlerle birlikte ‘mekansal veri bilimi analisti (*geospatial data science analyst*)’, ‘mekansal veri madencisi’, ‘mekansal veri sorumlusu (*spatial data steward*)’, ‘siber güvenlik uzmanı’, ‘mekansal zeka model geliştiricisi’, ‘mekansal zeka uzmanı’ gibi yeni ve farklı uzmanlıkların yakın gelecekte ortaya çıkması olası görülmektedir.

### 3. Mekansal Zeka Yaklaşımının Katkıları

İçinde bulunulan çağda sensörlerden, cihazlardan, sosyal medyadan ve bilgi sistemlerinden büyük miktarda elde edilen verinin daha fazla değer yaratabilmesi için mekansal olarak daha iyi anlaşılması/yorumlanması beklenmektedir. Bu nedenle geleneksel yaklaşımların dışında bulunan yapay zeka yöntemleri gibi araçlar ve algoritmalar kullanılarak çok daha karmaşık mekansal analizler ve görselleştirmeler gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Mekansal analizlerde kullanılan yapay öğrenme modelleri, çok sayıda değişkenin büyük mekansal veri üzerinde analiz edilmesini, geleneksel yöntemlerle gerçekleştirilemeyecek çok boyutlu mekansal analizlerin yapılabilmesini ve yine geleneksel yöntemlerle ortaya çıkarılamayacak sonuçların elde edilebilmesini sağlamaktadır.

Daha önce üretilmiş analog haritalardan, elektromanyetik spektrumun farklı dalga boylarındaki herhangi bir ışınımından oluşacak bir sinyale kadar farklı veri türleri ve yapıları mekansal zeka çözümlerinde kullanılabilir. Mekansal zeka uygulamaları, kapalı alan olarak bir bina içerisinde veya açık alanda bir kent içerisinde ya da gezegenin bütününde veya siber dünyada bir oyunun içinde herhangi bir ortamda farklı ölçeklerde ve çözünürlüklerde geliştirilebilir.

Mekansal Zekanın, mekansal bilişim dünyasında kolaylıkla öne çıktığı üç alan olarak mekansal verinin elde edilmesi ile mekansal verinin analizi ve mekansal verinin görselleştirilmesi gösterilebilir. Mekansal verinin elde edilmesinde mekansal zeka yaklaşımı uydu görüntüsü, insansız hava araçları, lazer tarama gibi algılama teknik ve teknolojileri ile elde edilen veri kümelerinde detay yakalama, nesne çıkarma gibi konularda öne çıkmaktadır. Mekansal bilişim alanında mekansal analizlerin gerçekleştirilmesinde ise Coğrafi/Mekansal Bilgi Sistemleri (CBS) (*Geospatial Information System, GIS*) kullanılmaktadır. CBS uygulamalarında sınıflandırma, kümeleme, tahmin etme ve regresyon yöntemleri uzun yıllardır kullanılmaktadır. Örneğin tahmin işi için konumsal olarak ağırlıklandırılmış regresyon veya enterpolasyon, sınıflandırma işi için Destek Vektör Makinesi (*Support Vector Machine, SVM*) (Cortes & Vapnik, 1995) CBS ortamında yaygın olarak kullanılmaktadır. Mekansal verinin dağılımı, yoğunluğu, yakınlıkların, bağlantılı olma durumlarının analizi vb. mekansal analizler CBS ortamında sıklıkla gerçekleştirilen istatistiksel analizlerdir ve bu tür analizler makine öğrenmesi algoritmalarında kullanılmaya uygun niteliktedir. Bu nedenle mekansal zeka kapsamında mekansal verinin analizinde ve mekansal karar destek süreçlerinde yapay öğrenme yöntemleri CBS uygulamalarında etkin olarak kullanılabilir. Mekansal verinin

görselleştirilmesinde veya harita tasarımında, kavramsallaştırma, sınıflandırma ve optimizasyon gibi süreçler yapay öğrenme yöntemlerinden olan Çekişmeli Üretici Ağlar (*Generative Adversarial Network*, GAN) (Goodfellow vd., 2014) kullanılarak gerçekleştirilebilir.

Mekansal Zeka yaklaşımının mekansal bilgi endüstrisine sağladığı katkılar genel olarak aşağıda ifade edilmeye çalışılmıştır:

- Farklı formatlarda bulunan büyük mekansal-zamansal veriden anlamlı bilginin üretilmesi,
  - Jeodezik ölçüler arasında veya mekansal veri kümeleri arasındaki ilişkilerin kendi kendine kurulması, yığın mekansal veriden anlamlı haritaların üretilmesi,
  - Konum etiketli sosyal medya paylaşımlarından ve/veya konumu bilinen sensörlerden elde edilen gerçek zamanlı veri kümelerinin bulut üzerinde anlamlı mekansal veriye dönüştürülmesi ve bu veri kümelerinin karmaşık gerçek dünya problemlerinin çözümünde kullanılması,
  - Çevrimiçi platformlar üzerinden büyük miktardaki mekansal verinin işlenmesi ve işlenen mekansal bilginin karar verme süreçlerinde gerçek zamanlı ya da gerçek zamana yakın (*near real-time*) kullanımı,
  - Uydu gravimetrisi, uydu altimetrisi, enterferometrik yapay açıklıklı radar (InSAR), sayısal zenit kamera sistemi gibi birbirinden farklı jeodezik ölçme yöntemlerinden elde edilen bilgiler ve yapay öğrenme teknikleri kullanılarak geoit sinyalinin uzun, orta ve kısa dalga boylu kısımlarının belirlenmesi ve ulusal jeodezik veri altyapısında bulunması gereken jeopotansiyel değerlerin doğruluğunun ve mekansal çözünürlüklerinin artırılması,
  - Farklı zamansal ve mekansal çözünürlüklü yüzlerce, binlerce görüntü üzerinde yapay ve doğal nesnelerin insan müdahalesi olmadan tespit edilmesi/bulunması (*detection*), tanımlanması/sınıflandırılması (*recognition/classification*), takip edilmesi (*tracking*), bölütlenmesi (*segmentation*), tanımlanan nesnelerin üzerinde çalışılabilir veri türüne dönüştürülmesi/sayısallaştırılması (*extraction*) ve daha sonra bu veri kümelerinin Mekansal Bilgi Sistemi ortamlarında bilinçli karar vermek (*informed decisions*) için kullanılması,
  - Uzayda, havada veya yerde bulunan bir platformdan elde edilen görüntüde doğal ve/veya yapay bir nesnenin tanımlanarak makine öğrenme algoritmasıyla görüntü üzerindeki benzer nesnelerin tespit edilmesi ve tanımlanması,
  - Uzaydaki, havadaki ve yerdeki taşıyıcı platformlar üzerinde bulunan farklı sensörlerden elde edilen milyonlarca sayıdaki hiperspektral, multispektral ve optik görüntülerin Evrişimli Sinir Ağı (*Convolutional Neural Network*, CNN) (Krizhevsky, Sutskever & Hinton, 2012) ve türevleri gibi derin öğrenme teknikleri (LeCunn, Bengio & Hinton, 2015) yardımıyla arazi örtüsü, arazi kullanımı vb. amaçlı otomatik ya da yarı-otomatik sınıflandırılması ve nesnelerin çıkarımı,
  - Düşük çözünürlüklü uzaktan algılama görüntülerine derin öğrenme teknikleri uygulanarak farklı spektral bant kombinasyonlarında detay tanımlama başarısının artırımının sağlanması,
  - Akıllı telefonlardan gözetleme sistemlerindeki kameralara, insansız hava araçlarından uzaydaki uydulara kadar olan farklı taşıyıcı platformlarda bulunan farklı sensörlerden algılama yöntemiyle elde edilen görüntülerin derin



öğrenme teknikleri ile analizi ve bu analiz sonuçlarından tematik haritaların üretilmesi,

- Özellikle sosyal medya paylaşımlarından, web dokümanlarından ya da insan sesinden Doğal Dil İşleme (*Natural Language Processing*, NLP) (Collobert & Weston, 2008) tekniği ile metinden konum bilgisinin çıkarılması, coğrafi kodlama (*geocoding*) yaklaşımıyla diğer mekansal veri kümeleri ile ilişkilendirilmesi,
- Geleneksel yöntemlere göre daha doğru modelleme yapılarak daha iyi karar verme süreçlerinin oluşturulması, geleneksel yöntemlerle ortaya çıkarılmayacak analiz sonuçlarının elde edilebilmesi,
  - Mekansal verinin içeriğinin anlaşılmasında, büyük mekansal veri içerisinde bulunan değişkenler arasındaki gizli ve derin ilişkilerin ortaya çıkarılmasında, mekansal örüntülerin bulunmasında, eğilimlerin belirlenmesinde ve çok değişkenli tahminlerin (*prediction*) gerçekleştirilmesinde makine öğrenmesi gibi yapay öğrenme algoritmalarının kullanılması,
  - Makine öğrenmesi algoritmaları ile karmaşık mekansal ilişkilerin bulunduğu veri yığnında geleneksel yöntemlerle ortaya çıkarılmayacak örüntülerin bulunması ve bu sayede çok daha doğru karar verme süreçlerinin oluşturulması,
  - Geçmiş zamana ilişkin veri kümeleri üzerinden öğrenerek gelecekte verilen bir tarih ve zamanda kaza, hastalık, kirlilik, trafik sıkışıklığı, suç vb. bir olayın/olgunun tehlikeli düzeye ulaşmadan öngörülebilmesi (*forecasting*),
  - Vektör veya raster formatındaki nüfus, arazi kullanımı gibi internet üzerinden servis edilebilen veri kümelerinin yapay öğrenme algoritmaları kullanılarak grid (*tile*) tabanlı veya idari sınır tabanlı üretilmesi.

#### 4. Mekansal Zeka Yaklaşımının Kullanım Alanları

Bugünlerde özellikle öne çıkan ve disiplinler üstü uygulama alanı olan “akıllı” şehirler ile otonom ve bağlantılı araçlar, mekansal verinin ve mekansal zekanın etkin kullanılabileceği uygulamalar arasındadır.

‘Akıllı’ şehir kavramının hayat bulması için

- Bir şehrin nesnelerin interneti yaklaşımıyla çöp kutularından, aydınlatmalarına kadar yüz milyonlarca sensörlerle donatılması;
- Büyük veri yaklaşımıyla bu sensörlerden elde edilen veri kümelerinin anlamlı biçimde bütünleştirilmesi;
- Yapay öğrenme yaklaşımıyla şehrin sorunlarının çözümüne ilişkin çıkarımların yapılabilmesi;
- Sanal/arttırılmış gerçeklik gibi ileri görselleştirme yaklaşımları kullanılarak şehir hayatı canlandırmalarının ve benzetimlerinin kentlilerle paylaşılabilmesi;
- Blok zinciri yaklaşımı ile evrak işlerinin herkese açık olarak yapılabilmesi;
- 5G gibi geniş bantlı kesintisiz bir iletişim yaklaşımı ile bağlantıların kurulması;
- Tüm bunların Kent Bilgi Sistemleri üzerinden planlanması, izlenmesi ve yönetimi

vb. yaklaşımların şehirlerin yetileri arasında yer alması beklenilmektedir (Güney, 2019).

Derin öğrenme teknikleri ile uzaktan algılama görüntülerinden bir şehirde bulunan binaların, yolların otomatik çıkarımı, makine öğrenmesi teknikleri ile şehrin gelişiminin tahmin edilmesi (*prediction*), orman alanlarının ne kadar azaldığının tespit edilmesi ve bu durumda hava kirliliğinin ne kadar artacağına öngörülmesi (*forecasting*) gibi çalışmalar mekansal zekanın “akıllı” şehirler uygulamalarında nasıl kullanılabilmesine örnek olarak gösterilebilir. Bunun için örneğin CNN algoritmasıyla uydu görüntülerinden yalnız binaların çıkarılmasında arkaplan, bina sınırı ve bina içi olmak üzere üç farklı sınıf oluşturulabilir. Görüntü üzerinde bina olarak tanımlanan pikseller Douglas-Peucker vb. bir algoritma kullanılarak vektör veri yapısında bir poligona dönüştürülebilir. Bu şekilde 2B bina taban alanlarının (*building footprint*) oluşturulması kentlilerin mekansal dağılımlarını belirlemede, şehrin büyüme eğilimini analiz etmede vb. amaçlarla kullanılabilir. Yine hava fotogrametrisi ve 3B kent modelleri için önemli bir konu olan bina çatı hatlarının otomatik belirlenmesi, geometrilerinin, şekillerinin ve eğimlerinin yapay öğrenme yöntemleri ile otomatik üretilmesi fotovoltaiik panellerin bina çatılarına nasıl yerleştirilmesi gerektiğini analiz etmek için kullanılabilir.

“Akıllı” şehir ekosisteminin parçası olan “akıllı” ulaşım sistemleri yollar, trafik işaretleri, sinyalizasyon gibi bileşenlerin yanında bağlantılı ve otonom araçlarla birlikte yeni nesil bir ulaşım kavramını ortaya çıkarmaktadır. Otonom/sürücüsüz araçların başarılı biçimde sürüşlerini gerçekleştirebilmeleri için yazılım, donanım gibi gerekli olan temel bileşenlerden biri de harita ve konum bilgisidir. Geomatik/Harita Mühendisliğinde geleneksel olarak üretilen navigasyon amaçlı yol haritaları sürücüsüz araçların navigasyonlarını otonom biçimde gerçekleştirebilmeleri için yeterli düzeyde değildir. Bu nedenle şerit genişliklerinden kaldırım yüksekliklerine kadar farklı türdeki bilgileri kapsamlı biçimde içeren “*high-precision map* veya *precision map* (HD-map)” (Jiao, 2018) olarak isimlendirilen yeni tür çok yüksek ayrıntı düzeyindeki haritaların üretimine ve bunları hızlı biçimde güncelleyen sistemlere gereksinim duyulmaktadır. Üstelik harita yerine otonom araçlar için özel mekansal zeka uygulamalarının geliştirilmesi, otonom araçların mekansal bilgi destekli karar süreçlerinde daha etkin olmalarını sağlayacaktır (Güney & Çelik, 2017).

Otonom sürüşte karmaşık sürüş ortamlarında güvenli bir yolculuk için sensör füzyonundan elde edilen veri kümeleri üzerine pekiştirmeli öğrenme (*reinforcement learning*) (Kaelbling, Littman & Moore, 1996) ve özellikle derin pekiştirmeli öğrenme (*deep reinforcement learning*, DRL) (Yu, Shi, Huang, Li & Ma, 2017) yaklaşımı uygulanmaktadır. Otonom araçlar yolculuk süresince takip ettikleri güzergahın mekansal modelini görüntü, radar, LiDAR gibi sensörlerden elde edilen veri kümelerini kullanarak oluşturur. Bu mekansal model sonrasında sürüş tekniği ve trafik kuralları ile bütünleştirilir. Sürücüsüz araçlar için sokak düzeyinde (*street-level data*) üç boyutlu ve çok yüksek çözünürlüklü topoğrafik veriye gereksinim bulunmaktadır. Bu tür veri, farklı kurumlarca ve farklı amaca yönelik olarak mobil harita üretim sistemlerince üretilmektedir. Üretilen bu mekansal veri otonom araçların eğitimi için de kullanılabilir.

Otonom araçların navigasyonu için gerekli bir diğer veri türü de coğrafi referanslı trafik işaretleridir. Farklı görüntüleme sistemleri ile üretilen statik ve akan görüntülerden çok fazla sayıdaki trafik işaretinin yüksek doğrulukla tanımlanması gerekmektedir. Trafik işaretleri insanoglunun işaretleri kolay tanımlayabilmesi için tasarlanmış olması nedeniyle bilgisayarlar tarafından kolayca tanımlanamamaktadır. Hem görüntü işleme hem de makine öğrenme algoritmaları, bu tanımlama sürecini geliştirmek için sürekli olarak iyileştirilmektedir. Bu amaca yönelik girişimlerin bu tür geliştirmeleri yapabilmeleri için üzerinde çalışabilecekleri veri kümelerine ve geliştirdikleri algoritmaların başkaları tarafından geliştirilen algoritmalarla olan başarımlarını karşılaştırmak için kalite testi (*benchmark*) veri kümesine gereksinimleri bulunmaktadır. Girişimler yapay öğrenme algoritmasının eğitimi için gerekli olan veri kümesini kendileri hazırlayabilirler. Ancak üzerinde uzlaşmış kalite testi veri kümesini başka bir kaynaktan elde etmeleri gerekmektedir. Almanya’da trafik işaretlerinin derin

öğrenmeyle eğitilmesinde kullanılmak üzere bir kalite testi veri kümesi hazırlanmıştır (URL-1).

Literatürde bu tür çalışmalar yeni yeni yaygınlık kazanmaya başlamış olması nedeniyle bütüncül ve ayrıntılı akademik çalışmalara ulaşmak kolay olmamaktadır. Aşağıda iki farklı konu için yapılmış çalışmalar örnek olarak verilmiştir.

Çevresel epidemiyolojinin mekansal zeka ile bütünleştirildiği bir çalışma VoPham, Hart, Laden ve Chiang (2018) tarafından yapılmıştır. Klasik yaklaşımlarla karşılaştırıldığında bu çalışmada mekansal zeka yaklaşımı ile çevresel riskler daha doğru ve yüksek düzeyde çözümlenmiş ve hastalığın yayılması daha iyi düzeyde modellenmiştir. Böylece epidemiyoloji çalışmalarındaki hastalık ve çevresel etkiler arasındaki potansiyel ilişkiler daha iyi anlaşılabilir. Ayrıca, klasik yöntemlerle ortaya çıkarılamayan bazı çevresel etkenler mekansal zeka yaklaşımıyla ortaya çıkarılabilmektedir (VoPham vd., 2018).

ABD'nin Los Angeles şehrindeki hava kirliliği tahmini için sensör tabanlı kirlilik veri kümesi OpenStreetMap ile birlikte kullanılarak arazi kullanımı ile kirlilik konsantrasyonu arasındaki ilişki zamansal olarak belirlenmiş, daha sonra trafik örüntüsü ve insan etkinliği örüntüsü ile bütünleştirilerek hava kirliliği değerinin tehlikeli düzeye ne zaman ulaşacağını tahmini yapılabilmektedir (Lin vd., 2017).

#### 4.1 Örnek Senaryo: İstanbul Trafik Sıkışıklığı Problemi

İstanbul şehri ile özdeşleşen trafik sıkışıklığı sorunsalının çözümüne yönelik olarak geliştirilecek bir bilgisayar programı için trafiğin ve trafik sıkışıklığının ne anlama geldiğini anlatan talimat listesi kodlamak bir diğer ifadeyle kural tabanlı (*rule-based*) bir çözüm geliştirmek yerine, veri güdümlü (*data-driven*) bir yapay öğrenme algoritması geliştirilerek yapay öğrenme modelinin trafik ile ilgili olayları ve örüntüleri öğrenmesi/anlayıp yorumlayabilmesi ve buna göre bilinçli (*informed*) karar süreçlerinin oluşturması tercih edilebilir.

Diğer mekansal problemlerde de olduğu gibi trafik sıkışıklığı sorununun çözümünde statik ve dinamik olmak üzere iki tür girdi veri kümesi gerekmektedir. Statik veri kümesi; yol geometrisi (yolun genişliği ve deveri), yol ağı topolojisi, kavşaklara yakınlık, yol türü, hız sınırları, nüfus yoğunlukları, trafik işaretleri gibi detaylardan (*features*) oluşmaktayken, dinamik veri kümesi; meteorolojik istasyonlardan anlık elde edilen hava koşulları, araç sürücülere, yol kameraları gibi farklı kaynaklardan elde edilen trafik yoğunluğu vb. saat, gün, ay gibi zamansal değişkenlere bağlı detaylardan oluşmaktadır. Dinamik veride tahminin (*prediction*) ne zaman yapıldığına bağlı olarak detaylar farklılık gösterecektir. Geçmişte trafik sıkışıklığının olduğu yol bölümleri gerçek pozitif, trafik sıkışıklığının olmadığı tüm yol bölümleri de gerçek negatif olarak etiketlenebilir. Geçmiş yıllara ait tüm bu ve benzeri veri kümelerindeki detaylar ve trafik sıkışıklığının olup olmadığını gösteren pozitif ve negatif örnekler kullanılarak denetimli makine öğrenmesi modeli oluşturulabilir ve modelin trafik sıkışıklığı kavramını öğrenmesi sağlanabilir. Makine öğrenmesi yaklaşımı olarak XGBoost kütüphanesi (URL-2) ile 'gradient boosting' yöntemi (Mason, Baxter, Bartlett & Frean, 1999) kullanılabilir. 'Gradient boosting' algoritması yalnız tahmin etmede değil, aynı zamanda bu tahminlerin neden gerçekleştiğini açıklamakta da kullanılabilir. Öğrenme süreci birkaç yıllık veri büyüklüğü üzerinden yüzlerce değişken dikkate alınarak tamamlanabilir. Model eğitimi tamamlandıktan sonra eğitim verisi içerisinde olmayan diğer bir veri kümesiyle modelin doğrulaması (*validation*) gerçekleştirilir. Tahminlerin olası yerleri görselleştirilir ve trafik sıkışıklığı verisi ile karşılaştırılır. Böylece modelin ne kadar doğru çalıştığı tespit edilebilir. Yapay öğrenmede genel yaklaşım olarak veri kümelerinin %80-90'ı eğitim için, %10-20'si de doğrulama için ayrılmaktadır. İstenilen doğruluğa ulaşılması durumunda gerçek zaman verisi ile test aşamasına geçilir. Eğitimi tamamlanan model gerçek zamanlı veri kümeleri ile koşturularak hangi zamanlarda hangi nedenlerden (*insight*) dolayı hangi yollarda trafik sıkışıklığının artış göstereceği çok değişkenli olarak tahmin (*multivariate prediction*) edilebilir. Sonuçlar web üzerinden bir harita arayüzü kullanılarak görselleştirilebilir, sıkışıklığa neden olan etmenlerin etki düzeyine göre sıralaması yapılabilir. Bu sonuçlara göre trafik

sıkışıklığı ile ilgili kamu kurum ve kuruluşları bu sıkışıklığın oluşmaması için operasyonel kararlar alabilir. Farklı kullanıcılar için farklı amaçlara yönelik dinamik güzergah planlama gibi mekansal karar verme süreçleri oluşturulabilir. Böylece gelecek zamana ilişkin trafik durumu tahmin edilebilir (*prediction*), yapay öğrenme ile dinamik güzergah planlama yapılabilir, lojistik ve kargo vb. sektörlerde ürün/paket teslim süreci optimize edilebilir.

Trafik sıkışıklığı gibi mekansal problemlerin çözümünde yakınlık, komşuluk, yoğunluk, dağılım gibi mekansal ilişkilerin analizleri önemli rol oynamaktadır. Örneğin hava durumu verisinin yol geometrisi ile ilişkilendirilmesi gerekmekte ve bu durumda Kriging gibi bir enterpolasyon yöntemi kullanılabilir. Diğer taraftan hava durumu verisini başka tür bir iklim modeli ile birlikte kullanıp daha doğru girdi üretmek istenirse coğrafi ağırlıklı bir regresyon modeli kullanılabilir. Bu nedenle makine öğrenme modelinin birçok farklı coğrafi veri kaynağını ve bu kaynakların birbirleriyle olan ilişkilerini dikkate alması gerekmektedir. Bu durum CBS yaklaşımını gerektirmektedir. Mekansal analizlerin otomatik bir biçimde web üzerinde gerçekleştirilebileceği standart, Açık Mekansal Bilişim Birliği (*Open Geospatial Consortium*, OGC) tarafından tanımlanan “*Web Processing Service (WPS)*”dir (URL-3). Bu mekansal analiz servisin diğer bir katkısı da herhangi bir CBS yazılımına gerek kalmadan mekansal analizlerin yapılabilmesidir. Birçok farklı veri türünü ve yapısını kullanan model sunucu tarafında oluşturulduğu için mekansal analizlerin de sunucu tarafında gerçekleştirilmesi uygun olacaktır. Mikroservis mimarisine dayalı OGC WPS servisinin, Python betimleme dilinin, Pandas ve GeoPandas gibi Python kütüphanelerinin, R istatistik dilinin ve PostgreSQL/PostGIS veritabanının yer aldığı bir sistem mimarisi bu iş için etkin olarak kullanılabilir. Geliştirme sürecinde Python betimlemeleri ve Python kütüphaneleri ‘Jupyter notebbok’ veya ‘Zeppelin notebook’ gibi tarayıcı tabanlı bir defterler üzerinden düzenlenip takip edilebilir. ‘Jupyter/Zeppelin notebook’lar; R, Python ve Julia için Docker platformu gibi konteyner (*container*) yani sanallaştırma teknolojisi desteği de sağlamaktadır. Tüm bu ifade edilen teknolojiler Anaconda gibi tümleşik bir Python dağıtımını üzerinden de kullanılabilir.

Benzer yaklaşım hassas tarım, halk sağlığı, salgın hastalıklar, suç vb. diğer uygulama alanları için farklı senaryolar üzerinden oluşturulabilir.

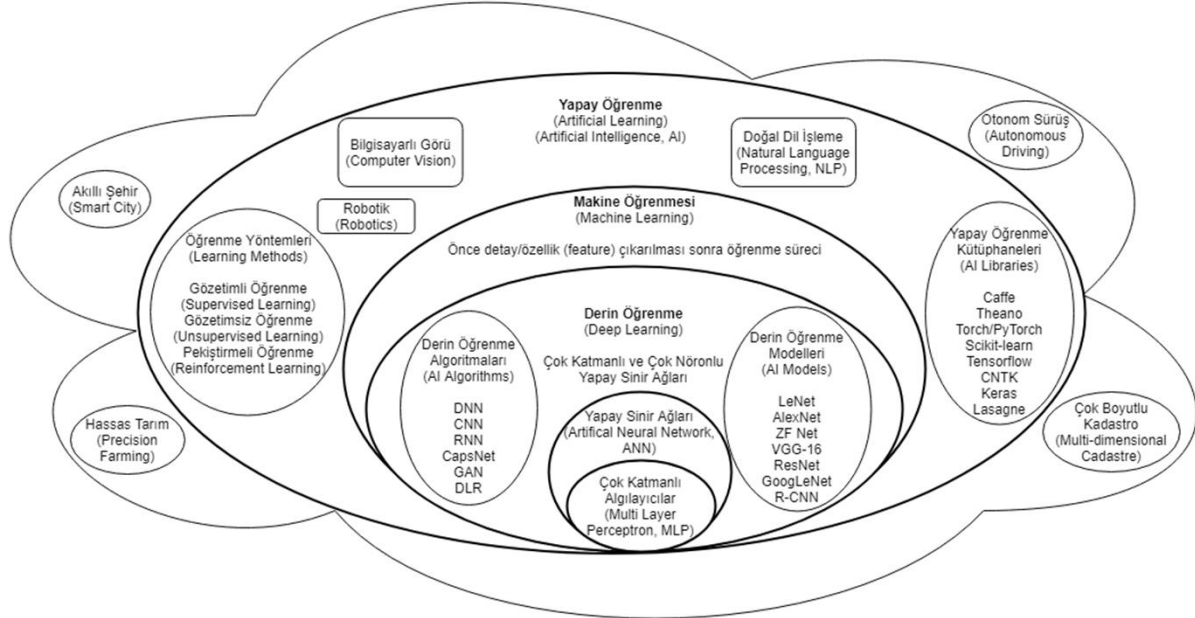
## 4.2 Mekansal Zekayı Daha Etkin Kullanabilmek İçin Öneriler

Uzayda, havada veya yerde bulunan bir platformdan elde edilen görüntüde doğal ve/veya yapay bir nesnenin tanımlanarak makine öğrenme algoritmasıyla görüntü üzerindeki benzer nesnelerin tespit edilmesinde, kullanılan makine öğrenmesi algoritmasında bazı kuralların daha önceden tanımlanmış olması gerekmektedir. Aranılan nesneyi tanımlayacak ne kadar farklı kural tanımlanabilirse ve eğitim aşamasında kullanılacak ne kadar çok görüntü olursa, makine öğrenme algoritmasının başarımı da o ölçüde artacaktır.

Kentsel ve kırsal alanlarda uydu ve hava görüntülerinden nesne tespit edilmesine ilişkin etiketli veri (bir diğer ifadeyle yapay öğrenmede gerekli olan sınıf bilgisi atanmış veri) kümeleri yok denecek kadar azdır. Oysaki derin öğrenme modelleri kullanarak nesne sınıflandırması yapabilmek için neredeyse milyonlarca sayıda eğitim örneği gerekmektedir. İster makine öğrenmesi ister derin öğrenme olsun denetimli öğrenmede eğitim veri seti geniş bir yelpazede farklı çeşitlilikte ve sayıca ne kadar çoksa, sınıflandırma doğruluğu da o kadar yüksek olacaktır.

Eğer uydu ve/veya hava görüntüleri için yeterli çeşitlilikte ve miktarda eğitim verisi bulunmuyorsa öncelikle eğitim veri kümesinin hazırlanması gerekmektedir. Bunun için masaüstü bir CBS yazılımı kullanılabilir. Örneğin ESRI firmasının ArcGIS yazılımında üretilen etiketli görüntüler raster formatında dışa aktarılarak Google TensorFlow, Microsoft CNTK, PyTorch gibi yapay öğrenme kütüphanelerinde derin öğrenme uygulamaları için kullanılabilir. Görüntülerden nesnelerin tespitine ilişkin eğitim için ‘*Single Shot MultiBox Detector (SSD)*’ algoritması (Liu vd., 2016) ve benzeri diğer algoritmalar kullanılabilir. SSD algoritması seçilen yapay öğrenme kütüphanesi kullanılarak LeNet (LeCunn, Bottou, Bengio & Haffner,

1998), AlexNet (Krizhevsky vd., 2012), GoogLeNet (Szegedy vd., 2015), ResNet (He, Zhang, Ren & Sun, 2016) gibi bir CNN modeli üzerinden kullanılabilir. Şekil 1 genel olarak yapay zeka yaklaşımında kullanılacak algoritmaları, modelleri ve araçları göstermektedir.



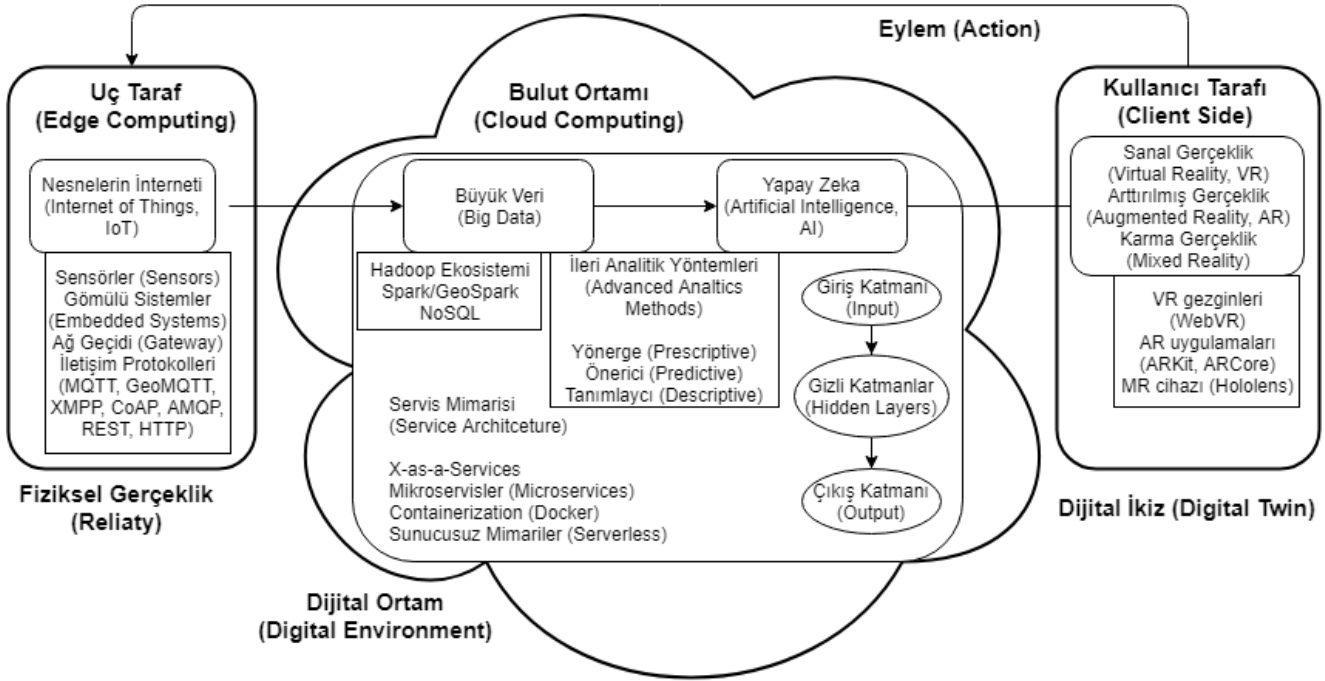
Şekil 1: Yapay zeka ekosisteminin genel görünümü

Model başarımını arttırmak için farklı görüntü kaynaklarından elde edilen görüntüler birlikte kullanılabilir. Her ne kadar bilgisayarlı görü alanındaki çalışmalar elektromanyetik spektrumun görünür bölgesindeki RGB bantlarına yoğunlaşsa da spektrumun diğer bantlarını da kullanmak gerekebilir. 7.5 m çözünürlüklü RASAT, siyah-beyaz görüntü çözünürlüğü 2.5 m, renkli görüntü çözünürlüğü 5 m olan Göktürk2, 0.5 m çözünürlüklü Göktürk1, uçaklarla elde edilen 10 cm ve altı yüksek çözünürlüklü görüntüler yanında farklı spektral özellikleri olan 9 spektral ve 2 termal bantlara sahip Landsat, 13 banta sahip Sentinel gibi uydulardan elde edilen görüntüler birlikte kullanılabilir.

Her ne kadar yerden üretilen görüntüler yukarıda ifade edilen uydu ve hava görüntülerinden farklı olsa da kenarlar, gölgeler, eğriler, dokular vb. gibi benzer detaylar tüm görüntülerde ortaklaşmakta ve evrişimli sinir ağları tanımayı düşük seviye detaylardan başlayarak öğrenmektedir. Bu nedenle daha önceden başka veri kümesi ile yapılmış eğitim işleminin aktarımı anlamına gelen “Transfer Learning” yaklaşımıyla daha önceden milyonlarca görüntü ile eğitilmiş bir yapay sinir ağı modeli mekansal uygulamalar için geliştirilen modelde kullanılabilir ve daha sonra az sayıda etiketli uydu/hava görüntüsü ile ince ayar (*fine-tuning*) yapılabilir. Bu tür bir yaklaşım uydu/hava görüntülerine dayalı yeni bir ağ eğitimini sıfırdan yapma gereksinimini ortadan kaldıracığı için veri ve hesaplama maliyetlerini düşürecek ve daha kısa zamanda model üretiminin gerçekleşmesini sağlayacaktır.

Hesaplama gücü ile yakından ilgili olan yapay zeka konusunda genel yönelim yapay öğrenme modellerinin, kaynakların otomatik ölçeklendirilebildiği bulut altyapısında eğitilmesi ve kullanılmasıdır. Büyük veri yaklaşımında veri depolama genellikle bulut tarafında çalışan veritabanlarında olduğu için bulut ortamında makine öğrenmesi ve derin öğrenme çalışmaları büyük ivme kazanmış ve birçok farklı uygulama geliştirilmiştir. Ancak, gerçek zamanlı verinin nesnelere interneti yaklaşımıyla kolay üretilebilir duruma gelmesi, insanoğlunun nesnelere interneti teknolojisinden olan beklentilerini

veri üretiminden veri analizine ve daha sonra da eyleme geçmeye doğru yönlendirmiştir. Bu durumda uç tarafta (*edge*) yapay öğrenme modellerinin koşturulması durumu ortaya çıkmıştır. Gömülü sistemlerin performanslarının artmasıyla yapay zeka yaklaşımındaki yeni yönelim yapay öğrenme modellerinin bulut tarafında eğitilmesi ve uç tarafta gerçek zamanlı veri kümeleriyle kullanılmasıdır. Şekil 2 sunucu ve uç taraf arasındaki geri besleme döngüsünü göstermektedir.



Şekil 2: Uçtan-uca çözüm mimarisinin genel görünümü

## 5. Mekansal Zeka Çalışmaları

### 5.1 Dünyada Mekansal Zeka Çalışmaları

ABD, Çin, Fransa gibi ülkeler, ekonomik büyümelerini ve ulusal güvenliklerini sağlayabilmek için uluslarını yapay zeka alanında lider yapmaya yönelik hedeflerini açıklamışlardır. Bu ülkeler yapay zeka teknolojilerinin ticarileşmesinde liderlik edebilmek için büyük yatırımlar yapmaktadır. Şubat 2019 tarihinde ABD Başkanı Trump ‘*American AI Initiative*’ başlıklı başkanlık emrini imzalayarak, federal hükümetin kaynaklarının bu alana yönlendirilmesini sağlamış ve ABD’nin yapay zeka alanında lider ülke olması hedefine daha güçlü ve sağlam biçimde ilerlemesine katkı vermiştir (URL-4).

Mekansal Zeka üzerine uluslararası ilk çalıştaylar SIGSPATIAL konferansı etkinliği kapsamında, 2017 ve 2018 yıllarında Mekansal Zeka etkinlikleri (*AI for Geographic Knowledge Discovery*) olarak düzenlenmiştir (URL-5). ABD’de mekansal zekaya ilişkin başka bir akademik etkinlik de Amerika Coğrafyacılar Birliği tarafından 3-7 Nisan 2019 tarihinde düzenlenen olan mekansal zeka sempozyumudur (*GeoAI and Deep Learning Symposium: Spatial-Temporal Modeling and Data Mining I*) (URL-6).

OGC 2018 yılı içerisinde Mekansal Zeka çalışma grubu (*GeoAI Domain Working Group*) oluşturmuştur. Çalışma grubunun amacı mekansal uygulamalarda yapay zekanın nasıl kullanılacağına tartışılması ve diğer OGC standartlarının bu uygulamalarla nasıl ilişkilendirilebileceğinin araştırılmasıdır (URL-7).

Mekansal zekaya uyarlanmış platformlara örnek olarak Microsoft Azure ve ESRI'nin birlikte sağladıkları Azure platform üzerinde koştan 'Data Science Virtual Machine/Deep Learning Virtual Machine' ailesinin bir üyesi olan 'GeoAI Data Science Virtual Machine (DSVM)' örnek olarak verilebilir. Bu platform, daha akıllı uygulamalar geliştirmek için bulut altyapısı, coğrafi analitik (*geospatial analytics*) ve görselleştirme yaklaşımlarının birlikte kullanımını sağlamaktadır (URL-8).

## 5.2 Türkiye'de Mekansal Zeka Çalışmaları

Türkiye'de mekansal zeka çalışmaları henüz başlangıç aşamasındadır. Bu konuda ulusal düzeyde en bilinen etkinlik Mekansal Bilişim İnişiyatifi tarafından 28 Şubat 2018 tarihinden itibaren düzenlenmekte olan mekansal zeka buluştaylarıdır. Bu buluştayların düzenlenmesindeki amaç mekansal zeka kavramının farkındalığını sağlamak, mekansal uygulamalar için ileri teknolojilerin nasıl birlikte etkin olarak kullanılabileceğini göstermek, yapay zeka alanında gerçekleşen en son gelişmelerin mekansal zekaya olan yansımalarını tartışabilmek, mekansal zeka için kullanım senaryoları oluşturmak, yenilik ekosisteminde mekansal zeka üzerine çalışan yerli girişimleri ortaya çıkarabilmek ve yakın gelecekte olabilecek potansiyel gelişmeleri tartışabilmek olarak ifade edilmektedir (URL-9).

## 6. Mekansal Zeka Yönetişimi

Türkiye'de halihazırda gerçekleştirilmeye çalışılan Mekansal Veri Altyapısı (*National Spatial Data Infrastructure - NSDI*, Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi - TUCBS) çalışmalarına ek olarak, mekansal zeka altyapıları çalışmalarına da mekansal zeka ekosistemi içerisinde bulunan tüm paydaşlarla birlikte başlanmalıdır. Mekansal zeka uygulamaları için mekansal veri çok önemli olduğundan mekansal veri altyapısı ve mekansal zeka altyapısı çalışmaları bütünleştirilerek birlikte yürütülebilir. Bunun için bütüncül bir **mekansal zeka politikası** oluşturulması gerekmektedir. Bu politika hükümet politikası düzeyine getirilmeli ve Türkiye'nin 2023 vizyonu hedefleri arasına sokulabilmelidir.

Mekansal Zeka politikası yalnız yapay zekanın mekansal veri/bilgi temelli uygulamalarda kullanılması olarak değil, diğer ileri teknolojilerin ekosistemleri ile birlikte yeni bir **mekansal zeka ekosistemi** oluşturmak olarak algılanmalıdır. Bulut bilişim, büyük veri, nesnelerin interneti, sanal/arttırılmış/karma gerçeklikler, blok zinciri, kripto-paralar, robotik vb. ileri teknolojilerin yapay zeka ve akıllı sistemlerle birlikte mekansal zeka ile bütünleştirildiği bir ekosistem, mekansal zeka politikasının merkezini oluşturmalıdır. Bu tür bir anlayış mekansal veri ve bilgiye daha çok ekonomik ve toplumsal değerler kazandırabilecektir. Mekansal zeka ekosistemi içerisinde yalnız belirli bir disiplin ya da kamu kurumları değil; uzman kişilerin, kurumsal firmaların, teknoloji şirketlerinin, girişimcilerin, kaynak sağlayıcıların, akademisyenlerin, öğrencilerin, hukukçuların, iktisatçıların ve diğer disiplinlerin de yer aldığı geniş bir katılımcı grubu düşünülmelidir.

Anlamalı bir mekansal zeka politikası oluşturulduktan sonra sürdürülebilir bir **mekansal zeka stratejisi** ivedilikle belirlenmelidir. Ulusal düzeyde oluşturulacak mekansal strateji planında üzerinde durulması gereken konulardan bazıları aşağıda ifade edilmiştir:

- Mekansal zeka konusunda ilerlemenin sağlanması için mekansal zeka üzerine yapılacak olan bilimsel araştırmaların ve bu konuda çalışan araştırma topluluklarının desteklenmesi, Araştırma ve Geliştirme (Ar-Ge) faaliyetlerinin yapılabilmesi için gerekli fonların oluşturulması,
- Mekansal zeka uygulamalarını geliştirmek için yenileşimin (*innovation*) önündeki engellerin kaldırılması, girişimcilerin desteklenmesi,
- Kamu ve özel sektörün mekansal zeka kavramına ilişkin farkındalığının arttırılması, bu sektörlerin mekansal zeka

kavramını benimsemesine yönelik çalışmaların yapılması ve mekansal zekanın ulusal düzeydeki ekonomik büyüklüğünün belirlenmesi,

- Mekansal zekanın diğer hangi sektörlerle ne ölçüde ara kesit oluşturduğunun, ne kadar zaman içerisinde diğer sektörlerde yaygınlık kazanacağını belirlenmesi ve sektörel senaryo (*use-case*) çalışmalarının yapılması,
- Ulusal düzeyde özellikle kamu kurum ve kuruluşların mekansal zeka konusundaki yeteneklerini geliştirecek çalışmaların yapılması ve bu kurumlarda çalışan ilgili personele mekansal zeka konusunda eğitimler verilerek mekansal zeka konusundaki becerilerinin artırılması, mekansal zeka üzerine kitlesel çevrimiçi açık derslerin (*Massive Online Open Courses*, MOOC) oluşturulması,
- Mekansal zeka konusunda lisansüstü programların açılması ve bu programlar üzerinden yetişmiş insan kaynağı kapasitesinin artırılması,
- Mekansal zeka kavramına ilişkin teknik standartların belirlenmesi, bir yasal çerçevenin oluşturulması ve bu yasal çerçeve kapsamında kamu kurum ve kuruluşların kendi teşkilat yasa ve yönetmeliklerinde gerekli yasal düzenlemeleri yapması,
- Mekansal zeka kavramına ilişkin etik normların belirlenmesi,
- Mekansal zeka kavramının teknolojik, ekonomik, etik, politik, sosyal ve yasal boyutlarının tartışabileceği etkinliklerin düzenlenmesi ve bu boyutlardaki çalışmaların geliştirilebilmesi için çalışma gruplarının oluşturulması,
- Sanayi, akademi, kamu kurum ve kuruluşlarının temsilcilerinin ve ilgi gösteren herkesin katılabileceği ve her yıl düzenlenecek bir mekansal zeka zirvesinin organize edilmesi, politika ve stratejilerin burada tartışılabilmesi,
- Uluslararası ölçekte mekansal zeka ve yapay zeka konusundan çalışan birliklere ve oluşumlara katılım sağlanması ve Türkiye'nin uluslararası alanda bu konularda da temsil edilmesi,
- Mekansal zeka kapsamında kullanılacak bir mekansal veri altyapısına doğru evrilmenin gerçekleştirilmesi, etiketlenmiş mekansal veri kümelerinin oluşturulması, açık veri politikasının kamu kurum ve kuruluşlarına yerleşmesi ve kamuya ait veri kümelerinin daha çok toplumla açık veri olarak paylaşımı için gerekli yasal mevzuatın oluşturulması, vb.

Tüm paydaşlarca üzerinde anlaşılan bir stratejik plan belirlendikten sonra bir yol haritası oluşturulmalı ve bu yol haritasının takvimine sadık kalınarak eylem planları uygulamaya geçirilmelidir. Bu hedeflere ulaşmada tüm disiplinler, demokratik meslek kitle örgütleri, üniversiteler, özel sektör, kamu kurum ve kuruluşları eş güdüm ve iş birliği içerisinde çalışmalıdır.

## 7. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada mekansal bilişim endüstrisinde mekansal zeka kavramına ilişkin bir farkındalığın yaratılması ve sonrasında mekansal zeka ekosisteminin oluşturulmasının ne kadar önemli olduğu vurgulanmaya çalışılmıştır. Yeni açılan üniversiteler ve bölümler nedeniyle artan meslektaş sayıları birçok sektörde istihdam problemine neden olmaktadır. Sözü edilen istihdam probleminin çözüm yöntemlerinden biri de sektörlerin klasik üretimleri dışında yenilikçi üretim alanlarını uygulamaya kazandırabilmeleridir. Mekansal zeka ekosisteminin en önemli bileşeni olan özgirişimlerin (*startup*) mekansal zeka konusuna



ilişkin hangi alanlarda ve konularda iş geliştirme yapabilecekleri bu çalışma kapsamında öne çıkarılmaya çalışılmıştır. Çalışma kapsamında öncelikle öne çıkarılan diğer iki konu da yapay öğrenme modellerinin eğitimi için etiketli veri kümelerinin hazırlanması ve mekansal bilişim endüstrisinde mekansal zeka yeteneğinin artırılmasıdır.

1990'lı yıllarda başlayan ve henüz tamamlanamayan Ulusal Mekansal Veri Altyapısı çalışmalarındaki en büyük eksikliklerden biri o zamandan bugüne mekansal bilgi sistemleri alanında yetişmiş insan gücünün hem nicelik hem de nitelik olarak istenilen düzeye getirilememiş olmasıdır. Mekansal zeka konusunda da aynı hatayı tekrarlamamak için mekansal zeka konusunda farkındalık ve eğitim konularına önem verilmelidir.

Diğer taraftan mekansal bilgi endüstrisi tarafından tamamlanması sabırsızlıkla beklenen Ulusal Mekansal Veri Altyapısı kapsamındaki mekansal veri kümelerinin yapay zeka mimarilerine ne kadar uygun olduğu tartışmaya açıktır. Yapay öğrenme yöntemlerinin uygulanması sırasında gerekli olan ilk bileşen veri olup, öğrenmenin başarımı veri kalitesiyle doğru orantılıdır. Yapay öğrenme modellerinde kullanılacak veri kümelerinin eksiksiz ve güncel olması gerekmektedir.

Yapay zeka konusuna olan yatırımların hızla artması ve yapılan çalışmaların olumlu sonuçlar vermesi sonucunda dünyada yapay zeka konusunda hızlı gelişmeler yaşanmaktadır. Mevcut gelişmeler dikkate alındığında yakın gelecekteki mekansal zeka uygulamalarının bugünün mekansal zeka uygulamalarından çok farklı olacağı açık olarak görülmektedir. Bu nedenle zaman kaybedilmeden çalışma kapsamında değinilen konuların; ulusal düzeyde mekansal bilgi endüstrisinin tüm paydaşlarınca tartışılıp, değerlendirilip analiz edilerek bir eylem planına geçirilmesi gerekmektedir. Eğer böylesi bir yaklaşım ortaya konulmazsa mekansal bilgi endüstrisinin yakın zamandaki ulusal ve uluslararası rekabet gücünün çok azalacağı ve uygulama alanlarında büyük kayıpların oluşacağı değerlendirilmektedir. Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi koordinasyonunda 2019 yılı sonunda tamamlanacak olan Türkiye'nin ilk yapay zeka stratejisi belgesinde mekansal zeka konusunun da yer alması için mekansal bilişim endüstrisinin tüm bileşenleri ile birlikte çaba göstermesi gerekmektedir.

## Kaynaklar

- Blum, A. L., & Langley, P. (1997). Selection of relevant features and examples in machine learning. *Artificial intelligence*, 97(1-2), 245-271.
- Christensen, C. M. (1997). *The innovator's dilemma: when new technologies cause great firms to fail*. Harvard Business Review Press.
- Collobert, R., & Weston, J. (2008). A unified architecture for natural language processing: Deep neural networks with multitask learning. *Proceedings of the 25th international conference on Machine learning*. 160-167.
- Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine learning*, 20(3), 273-297.
- Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., Courville, A., & Bengio, Y. (2014). Generative adversarial nets. *Advances in neural information processing systems*. 2672-2680.
- Güney, C. (2016). Yeni Nesil Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Yapay Zeka, *XVIII. Akademik Bilişim Konferansı (AB 2016)*. Aydın.
- Güney, C., & Çelik, R. N. (2017). Geomatik Mühendisliğinin Rekabet Gücü ve Endüstri 4.0, *16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara.
- Güney, C. (2019), Yerel Yönetimlerde Paradigma Değişimi, *Sosyal Demokrat Dergi*, 97-98.
- Hassan, N., Gillani, S., Ahmed, E., Yaqoob, I., & Imran, M. (2018). The role of edge computing in internet of things. *IEEE Communications Magazine*, 56(11), 110-115.
- He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 770-778.
- Jiao, J. (2018). Machine Learning Assisted High-Definition Map Creation. *2018 IEEE 42nd Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC)*, 1, 367-373.
- Kaelbling, L. P., Littman, M. L., & Moore, A. W. (1996). Reinforcement learning: A survey. *Journal of artificial intelligence research*, 4,

237-285.

- Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). Imagenet classification with deep convolutional neural networks. *Advances in neural information processing systems*, 1097-1105.
- LeCun, Y., Bottou, L., Bengio, Y., & Haffner, P. (1998). Gradient-based learning applied to document recognition. *Proceedings of the IEEE*, 86(11), 2278-2324.
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436.
- Lin, Y., Chiang, Y. Y., Pan, F., Stripelis, D., Ambite, J. L., Eckel, S. P., & Habre, R. (2017). Mining public datasets for modeling intra-city PM2.5 concentrations at a fine spatial resolution. *Proceedings of the 25th ACM SIGSPATIAL international conference on advances in geographic information systems*, 25.
- Liu, W., Anguelov, D., Erhan, D., Szegedy, C., Reed, S., Fu, C. Y., & Berg, A. C. (2016). Ssd: Single shot multibox detector. In *European conference on computer vision*. 21-37. Springer, Cham.
- Mason, L., Baxter, J., Bartlett, P. L., & Frean, M. R. (1999). Boosting algorithms as gradient descent. *Advances in neural information processing systems*. 512-518.
- Schmidhuber, J. (2015). Deep learning in neural networks: An overview. *Neural networks*, 61, 85-117.
- Szegedy, C., Liu, W., Jia, Y., Sermanet, P., Reed, S., Anguelov, D., Erhan, D., Vanhoucke, V., & Rabinovich, A. (2015). Going deeper with convolutions. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. 1-9.
- VoPham, T., Hart, J. E., Laden, F., & Chiang, Y. Y. (2018). Emerging trends in geospatial artificial intelligence (geoAI): potential applications for environmental epidemiology. *Environmental Health*, 17(1), 40.
- Yu, D., & Hang, C. C. (2010). A reflective review of disruptive innovation theory. *International journal of management reviews*, 12(4), 435-452.
- Yu, R., Shi, Z., Huang, C., Li, T., & Ma, Q. (2017). Deep reinforcement learning based optimal trajectory tracking control of autonomous underwater vehicle. In *2017 36th Chinese Control Conference (CCC)*. 4958-4965.
- URL-1: <http://benchmark.ini.rub.de/>, (Erişim Tarihi: 17 Kasım 2018).
- URL-2: <https://xgboost.ai/about>, (Erişim Tarihi: 8 Aralık 2018).
- URL-3: <https://www.opengeospatial.org/standards/wps>, (Erişim Tarihi: 7 Temmuz 2018).
- URL-4: [https://www.whitehouse.gov/articles/accelerating-americas-leadership-in-artificial-intelligence/?utm\\_source=twitter&utm\\_medium=social&utm\\_campaign=wh](https://www.whitehouse.gov/articles/accelerating-americas-leadership-in-artificial-intelligence/?utm_source=twitter&utm_medium=social&utm_campaign=wh), (Erişim Tarihi: 16 Mart 2019).
- URL-5: <https://udi.ornl.gov/geoai>, (Erişim Tarihi: 4 Eylül 2018).
- URL-6: <https://aag.secure-abstracts.com/AAG%20Annual%20Meeting%202019/sessions-gallery/23171>, (Erişim Tarihi: 23 Mart 2019).
- URL-7: <http://www.opengeospatial.org/pressroom/pressreleases?from=hogzpqvtaj&page=98>, (Erişim Tarihi: 5 Ocak 2019).
- URL-8: <https://www.esri.com/en-us/landing-page/lp/product/2018/geo-ai>, (Erişim Tarihi: 2 Şubat 2019).
- URL-9: <https://www.meetup.com/Mekansal-Zeka/>, (Erişim Tarihi: 30 Mart 2019).











# Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi

## Journal of Geodesy and Geoinformation

# İÇİNDEKİLER - CONTENTS

### ARAŞTIRMA MAKALELERİ / RESEARCH ARTICLES

- Hassas mutlak nokta konumlamada GIPSY-OASIS II v6.4 yazılımı ile elde edilen varyans kovaryans matrisinin güvenilirliğinin araştırılması  
Investigation of reliability of the variance covariance matrices obtained from GIPSY-OASIS II v6.4 software for precise point positioning .....75-86  
*Bahattin Erdoğan, Orhan Kayacık, Ali Hasan Doğan*
- GNSS alıcılarındaki saat sıçramalarının hassas nokta konumlama (PPP) performansına etkisinin araştırılması  
Investigation the impact of clock jumps in GNSS receivers on the performance of precise point positioning (PPP) .....87-95  
*Berkay Bahadır, Metin Nohutcu1*
- Almanya'da arazi düzenlemesi  
Land readjustment in Germany ..... 96-114  
*Volkan Çağdaş , Hans Joachim Linke*
- Hız-ve-durum sürtünme yasaları ve Burridge-Knopoff yay blok sistemi kullanılarak depremlerin dinamik modellenmesi  
Modelling of earthquakes by using Rate-and-State friction laws on the Burridge-Knopoff spring-block system ..... 115-127  
*Eyüp Sopacı*
- ### DERLEME / REVIEW
- Mekansal zekanın getirdiği paradigma değişimi  
Mekansal zekanın getirdiği paradigma değişimi/ Paradigm ..... 128-142  
*Caner Güney*

