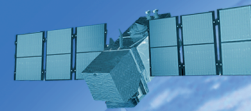


[Cilt/Volume:06] [Sayı/Issue:01] [Mayıs/May 2019] [Dergi No/Journal No.:109] [ISSN: 2147-1339] [e-ISSN: 2667-8519]

# 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: Mayıs 2019 / May 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:01] [Mayıs/May 2019] [Dergi No/Journal No.:109]

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

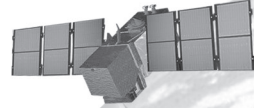


UCTEA

**Chamber of Survey and Cadastre Engineers**

# JEODEZİ VE JEODİNFORMASYON 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  
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak

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 KARAŞ  
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.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

Dr.Öğr.Üyesi Taylan ÖCALAN  
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

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

- GPS sinyal gürültü oranı verileri ile kar kalınlığının belirlenmesi  
Determination of snow depth by GPS signal to noise ratio ..... 1-9  
*Nursu Tunalıoğlu, Ali Hasan Doğan, Utkan Mustafa Durdağ*
- Robust kestirim yöntemlerinin deformasyon analizinde uygulanmasında farklı yaklaşımların güvenilirliğinin araştırılması  
Investigation of the reliability of the different approaches for using the robust estimation methods in deformation analysis... 10-25  
*Bahattin Erdoğan, Gülşah Mandalıncı*
- Yapay sinir ağları ile görüntü işleme dayalı uzaklıktan bağımsız ağırlık tahmin sistemi: yumurta ve portakal örnekleri  
Distance independent weight estimation system based on image processing with artificial neural networks  
egg and orange samples..... 26-46  
*Ünsal Burak Şalvarcı, Umut Engin Ayten*
- İnternet tabanlı harita üretiminde karar destek sistemleri ve coğrafi bilgi sistemi destekli alternatif yaklaşım: müsabaka yöntemi  
An alternative approach supported by decision support systems and geographical information system for  
producing internet based map: competition method ..... 47-60  
*Melis Uzar, Emrah Fatih Asılhan*
- Alternatif katı atık depolama alanlarının analitik hiyerarşi süreci ve coğrafi bilgi sistemleri ile otomatik olarak belirlenmesi:  
Sivas ili örneği  
Automatic determination of alternative landfill sites with analytical hierarchy process and  
geographical information systems: a case study in Sivas city..... 61-74  
*Dilara Ciritci, Tarık Türk*
-

## GPS sinyal gürültü oranı verileri ile kar kalınlığının belirlenmesi

Nursu Tunaloğlu<sup>1\*</sup> , Ali Hasan Doğan<sup>1</sup> , Utkan Mustafa Durdağ<sup>1</sup> 

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

**Öz:** GPS teknolojisi, tektonik aktivitelerin izlenmesi, deformasyon analizi, hassas nokta konumlama gibi pek çok jeodezik çalışma için hassas veri sağlamaktadır. Bu çalışmalarda kullanılacak doğruluğu yüksek verinin analizi için uydulardan gönderilen sinyallerin çok yolluluk etkisinden arındırılması gerekmektedir. Genel bir tanım olarak, bir uydudan yayılan sinyalin GPS/GNSS alıcısına birden fazla yoldan ulaşmasına çok yolluluk denir. Bu çok yolluluk genellikle alıcının yakın çevresinde bulunan yansımaya yüzeylerinden kaynaklanmaktadır. Böylece, uydu sinyalleri, doğrudan ve dolaylı yolları izleyerek alıcıya ulaşırlar. Hassas nokta konum belirleme vb. jeodezik çalışmalarda, çok yolluluk istenmeyen bir etkidir ve ölçülerden arındırılması gerekir. Ancak, son yıllarda yapılan çalışmalar, GPS enterferometrik yansımaya yöntemi ile GPS alıcısı etrafındaki farklı yüzeylerden yansıtılarak gelen bu istenmeyen GPS sinyallerinin yansımaya yüzeyine ait kar kalınlığı, toprak nem oranı, deniz seviyesi değişimi gibi bilgilerin elde edilmesinde kullanılabileceğini göstermiştir. Bu çalışmada, GPS çok yolluluk verilerinden yararlanarak, kar kalınlığının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, Alaska'da bulunan AB33 istasyonuna ait 1 Ocak 2015-31 Aralık 2015 tarihlerini kapsayan 1 yıllık GPS verisi kullanılmış ve mevsimsel değişimleri de içeren 1 yıllık kar kalınlık değişimleri incelenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Sinyal-gürültü oranı (SNR), GPS enterferometrik yansımaya, Kar kalınlığı, Sinyal çok yolluluğu

### Determination of snow depth by GPS signal to noise ratio

**Abstract:** GPS technology provides precise data for many geodetic studies such as monitoring the tectonic activities, deformation analysis, high-precision point positioning. For high-accuracy analysis of the data to be used in these studies, the multipath effect should be eliminated from the GPS signals. As a general definition, a satellite emitted signal arrives at the receiver by more than one path is so called multipath. This multipath is usually caused by reflection surfaces around the receiver. Thus, satellite signals reach the receiver by following direct and indirect paths. In geodetic studies, where precise positioning is required, multipath is an undesirable effect and should be removed from measurements. However, recent studies have shown that these unwanted GPS signals, which are reflected from different surfaces around GPS receiver, can be used to retrieval information of the reflecting surface such as snow depth, soil moisture content, sea level change with GPS interferometric reflectometry technique. In this study, it is aimed to determine snow depth from GPS multipath data. For this purpose, 1-year GPS data of the AB33 located in Alaska station for the period of 1 January 2015-31 December 2015 was used and 1-year snow depth variations including seasonal changes were investigated.

**Keywords:** Signal to noise ratio (SNR), GPS interferometric reflectometry, Snow depth, Multipath

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tel: +90 212 383 5298

Geliş Tarihi/Received: 07.03.2019

Kabul Tarihi/Accepted: 22.04.2019



0000-0001-9345-5220, ntunali@yildiz.edu.tr (Tunaloğlu N.)\*  
0000-0002-8490-890X, alihasan@yildiz.edu.tr (Doğan A.H.)  
0000-0003-2049-6587, umdurdag@yildiz.edu.tr (Durdag U.M.)

## 1. Giriş

Atmosfer, kara yüzeyleri, kar ve buz, okyanuslar ve diğer su kütleleri ile canlıları kapsayan karmaşık ve birbiri ile etkileşimli olan iklim sistemi, sistemin içindeki parametrelerin etkisi veya dış zorlamalara bağlı olarak değişim göstermekte ve bunun bir sonucu olarak da buzullarda ve kar kütlelerinde hacimsel azalma meydana getirmektedir. Özellikle küresel ısınmanın etkisi ile küresel anlamda ekolojik doğal fauna ve flora yapısı bozulmaktadır (URL-1). Bu nedenle, mevsimsel kar kalınlığının belirlenmesi ve izlenmesi, su döngüsü başta olmak üzere yer yüzeyindeki iklim ve hidroloji ile ilgili yürütülen araştırmalarda önemli bir konu olmuştur (Larson & Nievinski, 2012; Chen, Won & Akos, 2014; Qian & Jin, 2016). Kar kalınlığındaki değişimlerin izlenmesi ile karın erime hızı ve dünya üzerinde ne kadarlık bir su kütesinin donduğu tespit edilebilmektedir. Bununla birlikte, kar kalınlığının hassas ve sürekli olarak izlenmesi, iklim modellerinin oluşturulmasında ve su temini yönetiminde kuraklık ve su baskınlarının tahmini ve buna bağlı olarak azaltıcı/önlenebilir tedbirlerin alınmasında gereklidir (Larson & Nievinski, 2012).

Kar kalınlığının belirlenmesinde kullanılan yer-bazlı geleneksel yöntemler, noktasal veriye dayalı olması ve küçük ölçekli alanları kapsamaması gibi sınırlayıcı nedenlere sahip olmakla birlikte pahalı ölçme yöntemlerindedir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, GPS teknolojisi kullanılarak daha geniş alanlarda kar örtüsüne ait verilerin elde edilebileceği yönünde gelişmeler sunmuştur. Yapılan bu çalışmalar, GPS istasyonlarında toplanan verilerden GPS enterferometrik reflektometre (GPS-IR) yöntemi kullanılarak istasyon civarında depolanan kar kütle hacminin belirlenebildiğini göstermiştir. GPS-IR yöntemi, GPS antenine gelen sinyallerin güçlerindeki farklılıklar arasındaki ilişkiyi kullanmaktadır. Bu yöntemin en önemli avantajlarından birisi de kar kalınlığının belirlenmesi çalışmalarına yönelik olarak, ölçme ve jeodezik amaçlı tesis edilen sürekli gözlem yapan sabit GPS istasyonlarının etrafında olmak üzere geniş bir mekânsal alanda sürdürülebilir olarak güncel verinin toplanmasına olanak sağlamasıdır (Larson vd., 2009).

Bilindiği gibi, sinyal yansıma etkisi, hassas nokta konum belirleme bilgisi gerektiren GPS uygulamalarında konum belirleme hassasiyetine etki eden baskın hata kaynaklarından birisidir. Hassas nokta konum bilgisi elde edebilmek için, diğer GPS hata kaynakları gibi sinyal çok yolluluğunun da GPS sinyallerinden elimine edilmesi gerekmektedir. Ancak, gözlem süresince uydulardan GPS alıcısına doğrudan gelen ve yansıyan sinyaller arasındaki girişimin yoğun olduğu düşük yükseklik açılarında ( $0^{\circ}$ - $25^{\circ}$  arası) toplanan verilerdeki sinyal gücü değişimleri hesaplanarak, yansıma yüzeyi ile sinyalin kaydedildiği anten faz merkezi arasındaki yükseklik belirlenebilmektedir. GPS anteni, birbirine girişim yapan doğrudan gelen ve yansıyan GPS sinyallerini kaydetmektedir. Hassas nokta konum belirleme için istenmeyen ancak Martin-Neira (1993) tarafından ortaya atılan GPS elektromanyetik dalgalarındaki bu girişimlerin yansıma yüzeylerinin özelliklerinin kestirilmesinde kullanılabilirliği, son yıllarda yeni ve etkin bir araştırma alanının gelişmesini sağlamıştır.

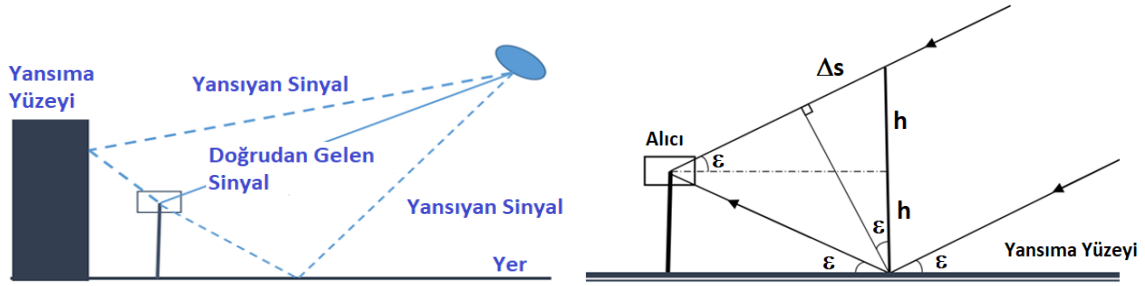
Bu çalışmada, ilk olarak SNR (Signal to Noise Rate – Sinyal Gürültü Oranı) yöntemi ve çok yolluluk arasındaki ilişki açıklanmış, sonrasında SNR yönteminin matematiksel modeli sunulmuştur. Uygulama aşamasında ise Alaska’da bulunan AB33 isimli sürekli gözlem yapan sabit GPS istasyona ait mevsimsel değişimleri içeren 1 yıllık GPS verisi kullanılarak kar kalınlığı belirleme çalışması yapılmıştır. GPS SNR verisi kullanılarak bulunan değerler bu istasyon için yayınlanan günlük periyodik manuel kar kalınlığı ölçüleriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, bu yöntemin geniş alanlarda kar kalınlığı belirleme çalışmalarında etkin şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

## 2. Çok Yolluluk Etkisi ve SNR Yöntemi

GPS sinyallerindeki taşıyıcı fazlarda oluşan çok yolluluk etkisinin antenin yakın çevresindeki yatay düzlem yüzeyden yansıması dikkate alınarak oluşturulmuş olan basitleştirilmiş geometrik modeli Şekil 1’de gösterilmektedir. Buna göre, GPS



antenine doğrudan ve dolaylı gelen sinyaller, anten faz merkezinde birleşmekte ve aynı alıcıya kaydedilmektedir.



Şekil 1: (sol) Engel/yansıtıcı yüzeyden kaynaklanan çok yolluluk etkisi, (sağ) Yansıtıcı yüzeyinden itibaren düşey yüksekliğe dönüştürülmüş çok yolluluk geometrisi (Hofmann-Wellenhop, Lichtenegger & Wasle, 2007).

GPS alıcılarında kaydedilen L1 ve L2 taşıyıcı frekanslarının yanında, alıcıya gelen sinyallerin şiddetini ifade eden S1 ve S2 gözlemleri de alıcıdan bağımsız veri değişim formatı olan RINEX formatında arşivlenmektedir. Standart RINEX S1/S2 değerleri, taşıyıcı-gürültü yoğunluk oranı (carrier-to-noise density ratio-C/N<sub>0</sub>) olarak adlandırılan bir büyüklük değerine karşılık gelir. Eşitlik (1)'de verildiği gibi, C/N<sub>0</sub>; sinyal gücünün gürültü gücü spektral yoğunluğuna oranıdır.

$$C/N_0 = \frac{\text{Sinyal Gücü}}{\text{Gürültü Gücü Spektral Yoğunluğu}} \quad (1)$$

GPS verilerinden kar kalınlığının belirlenmesi çalışmalarında, SNR gözlemlerinden yararlanılmaktadır. Sinyal gücünün ölçüdeki gürültüye oranından hesaplanan SNR, genellikle sinyal kalitesi ve klasik GPS ölçülerindeki gürültü özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır (Qian & Jin, 2016; Tabibi, Geremia-Nieviniski, & van Dam, 2017). Başka bir ifade ile SNR, Eşitlik (2)'de verildiği gibi, C/N<sub>0</sub> ile gürültü bant genişliği (B) üzerinden ilişkilidir.

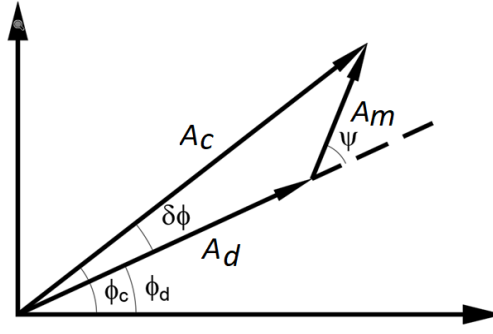
$$SNR = \frac{C/N_0}{B} \quad (2)$$

Burada, SNR logaritmik ölçekte desibel biriminde iken, lineer ölçekte watt veya volt (volts/volt =  $\sqrt{\text{watts/watt}}$ ) birimindedir. Genel olarak yapılan çalışmalarda sadeleştirme için B=1-Hz bant genişliği alınmış ve lineer ölçekte dönüştürülmüş (volt) S1/S2 gözlemleri SNR değeri olarak kabul edilmiştir (Larson & Nieviniski, 2012).

Çok yolluluk etkisinin olduğu durumlarda, SNR değerleri, yaklaşık 35 dB'den başlamak üzere 52 dB'e kadar düzgün bir şekilde yükselir. Bu artış trendi, ilk olarak doğrudan gelen sinyalden ikinci olarak da dolaylı gelen sinyalden kaynaklanmaktadır. Alıcıya gelen sinyallerin gürültü sinyal oranı ile olan ilişkisi ya da bir başka deyişle sinyal gücünde (SNR) yarattığı değişim aşağıda verilen eşitlikle ifade edilebilir (Larson vd., 2008; Larson & Nieviniski, 2012; Nieviniski & Larson, 2014);

$$SNR^2 \approx A_c^2 = A_d^2 + A_m^2 + 2A_d A_m \cos \psi \quad (3)$$

Burada; A<sub>c</sub> girişim yapan sinyalin genliğini, A<sub>d</sub> doğrudan gelen sinyalin genliğini, A<sub>m</sub> yansıyan sinyalin genliğini ve  $\psi$  bu iki sinyal arasındaki faz farkını göstermektedir (Şekil 2). Bu iki sinyal arasındaki girişim, uydu yükseklik açısı ile doğrudan ilişkilidir. Buna göre, uydu yükseklik açısı arttığında, SNR verilerinde meydana gelen çok yolluluk etkisi azalmaktadır. GPS uydusu geçerken yansıtıcı geometrisi ve  $\psi$  değişimi, SNR büyüklüklerinde titreşimler meydana getirir (Larson vd., 2008).



Şekil 2: Taşıyıcı fazda oluşan çok yolluluk etkisi.

Bununla birlikte, çok yolluluk etkisi doğrudan gelen ve yansıyarak gelen GPS sinyalleri arasında taşıyıcı dalga faz kayıklığına ( $\delta\phi$ ) neden olmaktadır (Şekil 2).  $A_m$  yansıyan sinyal genliği ile  $A_d$  doğrudan gelen sinyal genliği arasında,  $Rf$  yansıma katsayısı olmak üzere  $A_m = RfA_d$  ilişkisi yazılırsa, bu faz kayıklığı aşağıda verilen eşitlikle ifade edilebilir;

$$\tan(\delta\phi) = \frac{Rf \sin \psi}{1 + Rf \cos \psi} \quad (4)$$

GPS antenin ve yansıma yüzeyinin hareketsiz olduğu durağan bir ortamda, çok yolluluk fazı, GPS uydusunun hareketine bağlı olarak değişecektir. Bu hareket, faz farkının sinüs (Sin) veya kosinüs (Cos) değerine göre baskın olan SNR verilerinde, çok yolluluk faz hatasında ve çok yolluluk kod (pseudorange) hatasında titreşime neden olmaktadır. Bununla beraber iki sinyal arasındaki faz kayıklığı;

$$\psi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta s \quad (5)$$

eşitliği şeklinde yazılabilir. Burada,  $\lambda$  GPS taşıyıcı dalga boyu frekansını,  $\Delta s$  doğrudan gelen ve yansıyan yüzey arasında yansımadan kaynaklı oluşan ilave yolu ifade eder. Şekil 1 (sağ) dikkate alınır bu ilave yol;

$$\Delta s = 2h \sin \varepsilon \quad (6)$$

olarak yazılabilir.

Eşitlik (5), Eşitlik (6)'da dikkate alınarak yeniden yazılırsa;

$$\psi = \frac{4\pi h}{\lambda} \sin \varepsilon \quad (7)$$

elde edilir.

Zamana bağlı değişen faz farkının yükseklik açısına ( $\varepsilon$ ) göre  $h$  mesafesinden yansıyan bir yüzey için, çok yolluluk titreşim frekansı;

$$f = \frac{d\psi}{dt} = \frac{4\pi h}{\lambda} \cos \varepsilon \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (8)$$

olarak elde edilir (Hofmann-Wellenhof vd., 2008; Bilich, Larson & Axelrad, 2008; Larson vd., 2008).

Çok yolluluk frekans, faz ve genlik modülasyonları; yansıma yüzeyinin pürüzlülüğü, geometrisi ve bileşeni gibi pek çok

faktörden kaynaklanmaktadır. Burada, SNR içinde bulunan doğrudan trendlerin etkisi ( $A_d$  ve  $A_m$ ) elimine edilirse, çok yolluluk titreşim sinyalleri kalacaktır. SNR'deki doğrudan trendi bulmak için düşük dereceli polinom tüm veriye uygulanarak, SNR trend verileri veri setinden çıkarılır (Larson & Small, 2016). Çok yolluluk modülasyon frekansı yükseklik açısının sinüsü için sabittir. Yükseklik açısının sinüs değeri bağımsız değişken olarak kullanılırsa, çok yolluluk titreşim frekansı, yansıma yüzeyi ile anten faz merkezi arasındaki düşey mesafenin ( $h$ ) sabit bir fonksiyonu haline gelir. Böylece, SNR sinyalleri sinüzoidal olarak modellenenmektedir (Larson vd., 2008):

$$SNR = A \cos(4\pi h \lambda^{-1} \sin \varepsilon + \psi) \quad (9)$$

Burada,  $A$  genliği,  $h$  anten faz merkezi ile yansıma yüzeyi arasındaki düşey mesafeyi,  $\lambda$  GPS taşıyıcı dalga boyu frekansını,  $\varepsilon$  uydu yükseklik açısını göstermektedir. Daha önce de ifade edildiği gibi Eşitlik (9), trendlerin giderildiği (detrend) SNR sinyallerinin modellenmesi için kullanılmaktadır. Böylece, çok yolluluk modülasyon frekansı ile  $h$  arasındaki ilişki Eşitlik (10) ile doğrudan elde edilir:

$$h = \frac{1}{2} \lambda f \quad (10)$$

Burada,  $f$  dominant modülasyon frekansı, En Küçük Kareler (EKK) kestirimi ya da Lomb Scargle Periodogramı (LSP) kullanılarak elde edilebilir. Modülasyon frekansı bulunduktan sonra, alıcıda kaydedilen GPS sinyalinin taşıyıcı dalga boyu kullanılarak  $h$  değeri hesaplanır. Sonuç olarak, kar kalınlığı, yerden anten faz merkezine olan düşey mesafenin kar tabakasından anten faz merkezine olan düşey mesafeden farkı olarak hesaplanmaktadır.

### 3. Uygulama: Kar Kalınlığının Belirlenmesi

Bu çalışmada, test verisi olarak Amerika Birleşik Devletleri Alaska Eyaleti'nde EarthScope-PBO (The Plate Boundary Observatory) ağına ait sabit bir GPS istasyonu seçilmiştir. Seçilen AB33 isimli bu istasyonun enlem, boylam ve yükseklik değerleri (WGS84) sırasıyla  $67.25101^\circ$ ,  $-150.17254^\circ$  ve  $335$  m'dir. İstasyonda kullanılan GPS alıcısı modeli Trimble NETRS ve anten modeli TRM29659.00'dür. Şekil 3, istasyona ait konum görüntülerini göstermektedir.



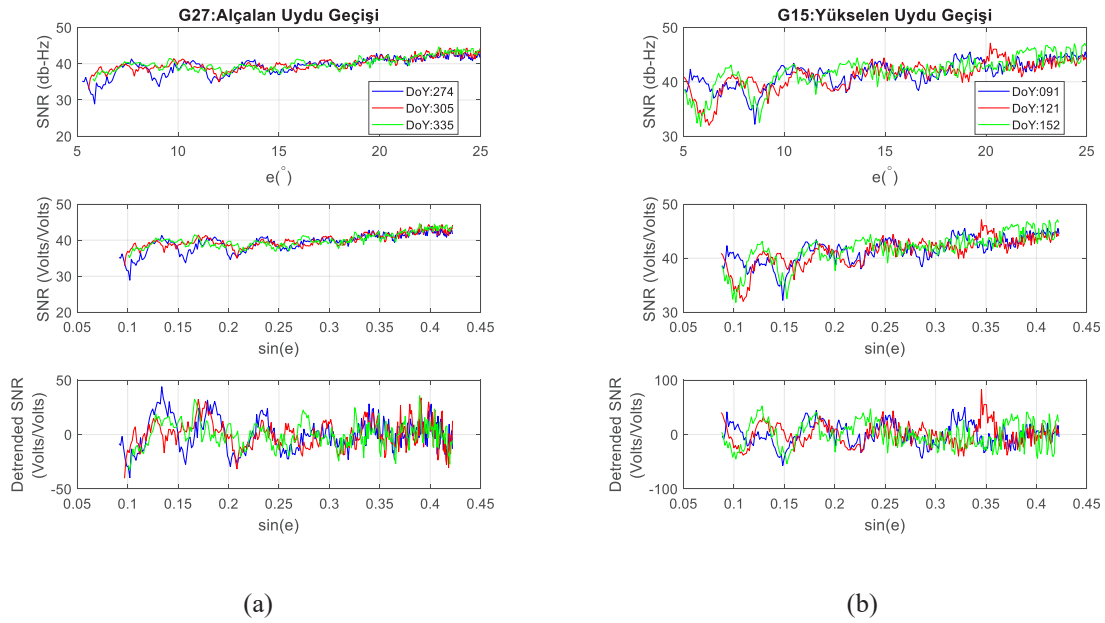
(a)



(b)

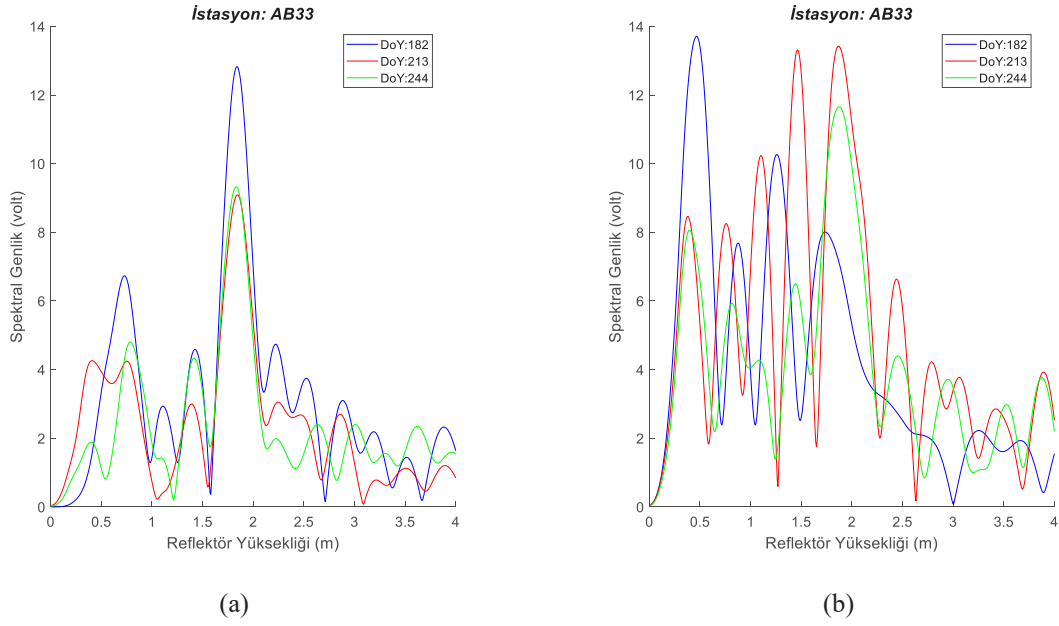
Şekil 3: (a) AB33 sabit GPS istasyonunun görüntüsü-güney doğrultusu (URL-2). (b) AB33 istasyonunun konumu

Sürekli gözlem yapan AB33 istasyonuna ait GPS verisinin 2015 yılına ait 1 yıllık bölümü Scripps Orbit and Permanent Array Center (SOPAC) arşivinden temin edilmiştir. İlgili bu GPS verisi için veri kayıt aralığı 15 sn'dir. İstasyondaki alıcı tarafından kaydedilen tüm GPS uyduları dikkate alınarak, her bir uydunun için çok yolluluk etkisinin görülebileceği düşük yükseklik açısı değeri aralığı ( $5^{\circ}$ - $25^{\circ}$ ) belirlenmiştir. Bununla birlikte, yeterli sayıda veriyi içeren izlere ait GPS uydularının analizlere katılabilmesi için, günlük veri setleri içinde minimum ve maksimum yükseklik açıları arasındaki farkın  $15^{\circ}$ 'den büyük olması koşulu uygulanmıştır. Şekil 4, belirlenen bu koşula uygun olan ve olmayan SNR değerleri için bir örnek sunmaktadır. Ayrıca, her bir uydunun izi değerlendirme aşamasına geçmeden önce yükselen ve alçalan izler olarak gruplandırılarak azimut açısına göre yönlerine ayrılmıştır.

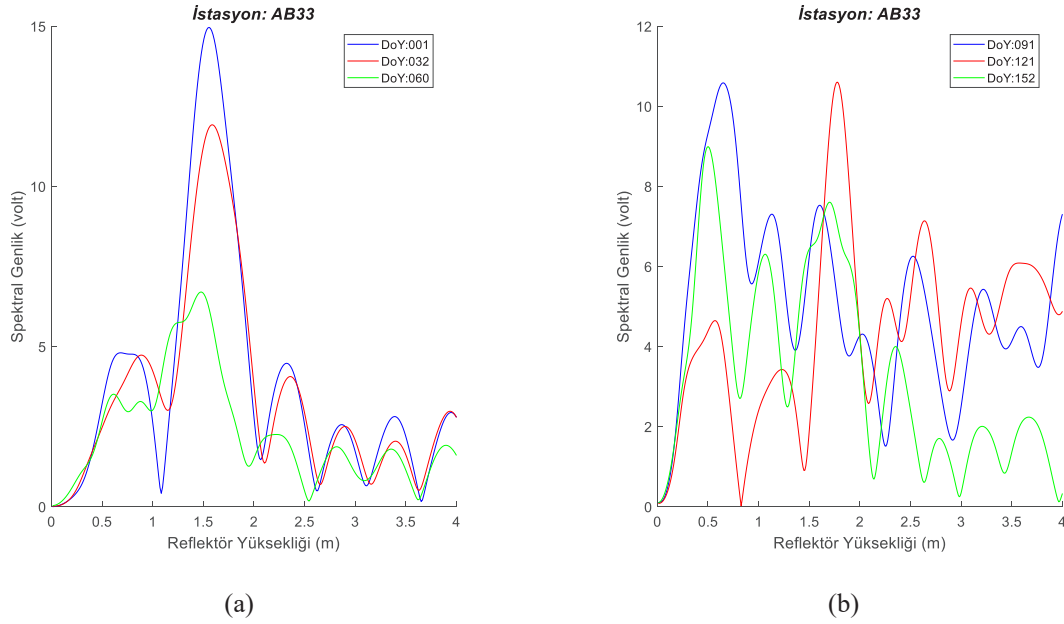


Şekil 4: AB33 istasyonuna ait gözlenen verilerde yükseklik açısına göre SNR değerleri (a) G27 alçalan uydunun geçişi (b) G15 yükselen uydunun geçişi

Kar kalınlığı belirleme çalışmalarında yansıyan sinyalin gücü dikkate alındığında, sadece güçlü yansıyan sinyaller hesaplanmıştır. Her bir uydunun izi için SNR verileri "Lomb Scarg Periodogram" yöntemi ile değerlendirilerek sadece güçlü yansımaya sahip günlük veriler bir sonraki analizlerde kullanılmak üzere ayrılmıştır. Bu yöntemdeki periodogramda elde edilen güçlü yansıma verisinin ayrılması için maksimum spektral genlik medyan yöntemi kullanılmıştır. Buna göre, maksimum spektral genlik ile arka planda oluşan spektral genlikler arasındaki farkın 4 kattan büyük olma koşulu aranmıştır. Şekil 5 ve Şekil 6, AB33 istasyonu için sırasıyla, G01 ve G02 alçalan uydunun izlerinde ve G09 ile G12 yükselen uydunun izlerinde gözlenen 3 günlük verilerde güçlü-zayıf yansıma genliklerini göstermektedir. Bununla birlikte, günlük uydunun verilerinin belirlenmesinde 100 epöğün altında olan uydular da değerlendirmede elimine edilerek yeterli sayıya sahip veri gruplarının oluşturulması sağlanmıştır.

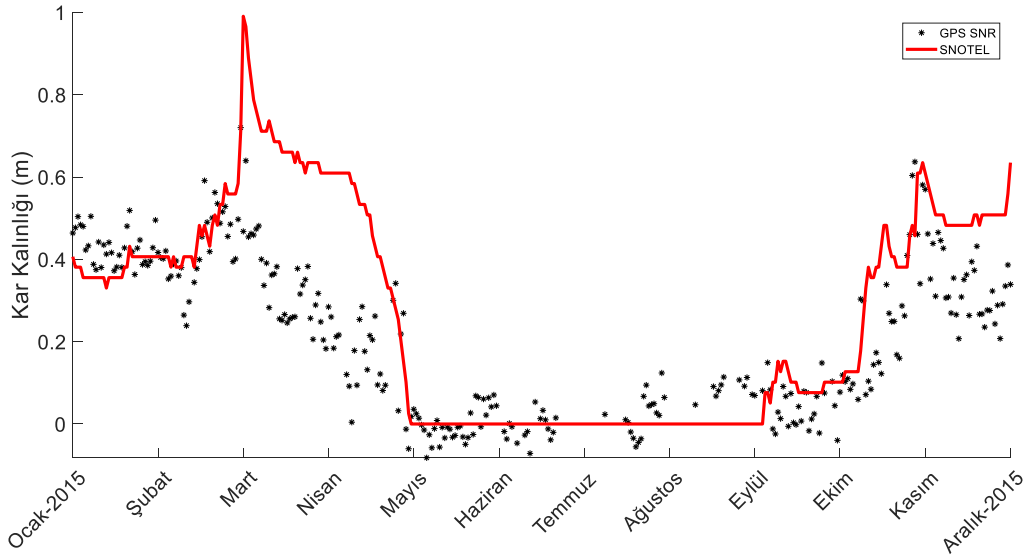


**Şekil 5:** AB33 istasyonuna ait üç günlük (mavi çizgi: DoY=182; kırmızı çizgi: DoY=213; yeşil çizgi: DoY=244) detrend SNR verilerinin genlik değişim (a) G01 (alçalan uydu geçişi) için güçlü yansıma (b) G02 (alçalan uydu geçişi) zayıf yansıma grafikleri



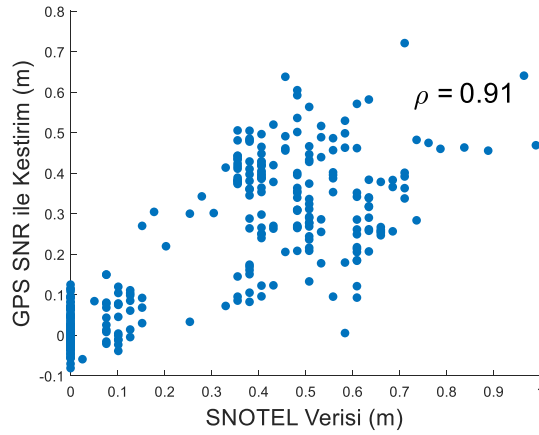
**Şekil 6:** AB33 istasyonuna ait üç günlük detrend SNR verilerinin genlik değişim (a) G09 (yükselen uydu geçişi) için güçlü yansıma (b) G12 (yükselen uydu geçişi) zayıf yansıma grafikleri

Çalışmada, yaz dönemi verisi (GPS DoY: 182-196) kar örtüsünün olmadığı durum olarak alınarak ortalama anten yüksekliğinin kestiriminde kullanılmıştır. Bölgeye ait arazide alınan kar kalınlığı doğrulama işlemi, Snowpack Telemetry (SNOTEL) ağına ait Coldfoot (enlem/boylam/yükseklik (WGS84) (d/d/m:67.25/-150.18/317)) gözlem istasyonundan yayınlanan veriler ile yapılmıştır. Şekil 7’de AB33 istasyonuna ait 2015 yılına ait 1 yıllık GPS SNR verileri ile elde edilen kar kalınlığı değişimi görölmektedir. Doğrulama verileri ile yapılan karşılaştırmada Mart-Nisan 2015 tarihlerini kapsayan aralıktaki GPS SNR verilerinin aynı trendi koruduğu ancak araziden alınan değerlerden bir miktar düşüşlerin elde edildiği görölmektedir. Aynı durumun, Kasım-Aralık 2015 tarihlerini kapsayan dönem için de geçerli olduğu görölmektedir.



**Şekil 7:** AB33 istasyonu için L1 frekansı kullanılarak detrend SNR verilerinden elde edilen 1 yıllık kar örtüsü değişim grafiği ve yer doğrulama ölçüleri

Şekil 7'de elde edilen grafik, tüm uyduların birlikte değerlendirilerek ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Buna göre, değerlendirmedeki koşulları sağlayan tüm uydu izleri ile düşey yükseklik hesaplanmış ve uydunun azimut açısı dikkate alınmayarak her gün için ortalama değer bulunmuştur.



**Şekil 8:** AB33 istasyonu için GPS SNR verileri ile kestirilen kar kalınlıklarının arazi ölçüleriyle karşılaştırılması

Şekil 8 AB33 istasyonu için GPS SNR verileri ile kestirilen kar kalınlıklarının arazi ölçüleri sonucunda elde edilen değerlerle karşılaştırmasını göstermektedir. İki veri seti arasındaki korelasyon katsayısı değeri ( $\rho$ ) 0.91 olarak hesaplanmıştır. Bu durum aralarında yüksek korelasyon olduğunu göstermektedir.

GPS SNR verileri ile kar kalınlığı belirleme çalışmalarına etki eden pek çok faktör bulunmaktadır. Bunlar içerisinde çalışma alanının eğimi ve alana ait bitki örtüsü, elde edilen sonuçların analizinde oldukça önemli faktörlerdir. Bu nedenle ileride yapılacak çalışmalarda, bölgeye ait bu verilerin de değerlendirmeye katılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

#### 4. Sonuçlar

GPS gözlemleri ile hassas nokta konum belirlemede bozucu etkiye sahip olan çok yolluluk etkisi ölçülerde istenmeyen ve elimine edilmesi gereken bir hata kaynağıdır. Son yıllarda yapılan çalışmalar bu hata kaynağının özelliğinin kullanılarak,

yansıma yüzeyi hakkında bilgi elde edilmesi için kullanılabilirliğini yeni bir araştırma alanı olarak ortaya koymuştur. GPS antenine doğrudan ve yansiyarak gelen GPS sinyalleri aynı alıcıda sinyal girişimi meydana getirmektedir. Girişim yapan bu sinyallerin sinyal enterferometrisi ile analiz edilmesi yansıyan sinyal özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, sürekli gözlem yapan GPS istasyonundan elde edilen gözlem verisinde SNR değerleri kullanılarak yansıma yüzeyinin anten faz merkezine olan düşey yüksekliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, 2015 yılına ait bir yıllık periyodu kapsayan Alaska'daki AB33 isimli sabit GPS istasyonundan elde edilen gözlemler değerlendirilerek, istasyon civarındaki kar kütlelerinin tespiti yapılmıştır. SNR verileri ile elde edilen kar kalınlıkları, arazide yerinde ölçümle alınan değerlerle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, her iki veri seti arasında ilişkinin yüksek korelasyon katsayısı değerine sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, bu kapsamda yapılacak çalışmalarda değerlendirme sürecine etki edebilecek arazi eğimi, bitki örtüsü, yüzey pürüzlülüğü gibi faktörlerin de dikkate alınması farklı sonuçların elde edilmesinde önemli bir kriter olabilir.

Günümüzde küresel ısınmaya bağlı çalışmalar sürdürülebilir doğa ve insan yaşamı açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle atmosfer, kara yüzeyleri, kar ve buz, okyanus-deniz suyu değişimi, buzul ve kar hacmi kütlelerinin belirlenmesi küresel anlamda ön plana çıkan bilimsel araştırma konularıdır. GPS çok yolluluk etkisi kaynaklı SNR değerlerinin kullanılarak kar hacminin hesaplanması bu bağlamda efektif çözüm sunan bir teknik olarak ön plana çıkmaktadır.

## Kaynaklar

- Bilich, A., Larson, K. M., & Axelrad, P. (2008). Modeling GPS phase multipath with SNR: Case study from the Salar de Uyuni, Bolivia. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 113(B4).
- Chen, Q., Won, D., & Akos, D. M. (2014). Snow depth sensing using the GPS L2C signal with a dipole antenna. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2014(1), 106.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. (2007). *GNSS—global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*. Springer Science & Business Media.
- Larson, K. M., Small, E. E., Gutmann, E., Bilich, A., Axelrad, P., & Braun, J. (2008). Using GPS multipath to measure soil moisture fluctuations: initial results. *GPS Solutions*, 12(3), 173-177.
- Larson, K. M., Gutmann, E. D., Zavorotny, V. U., Braun, J. J., Williams, M. W., & Nievinski, F. G. (2009). Can we measure snow depth with GPS receivers?. *Geophysical Research Letters*, 36(17).
- Larson, K. M., & Nievinski, F. G. (2013). GPS snow sensing: results from the EarthScope Plate Boundary Observatory. *GPS Solutions*, 17(1), 41-52.
- Larson, K. M., & Small, E. E. (2016). Estimation of snow depth using L1 GPS signal-to-noise ratio data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(10), 4802-4808.
- Martin-Neira, M. (1993). A passive reflectometry and interferometry system (PARIS): Application to ocean altimetry. *ESA Journal*, 17(4), 331-355.
- Nievinski, F. G., & Larson, K. M. (2014). Inverse modeling of GPS multipath for snow depth estimation—Part I: Formulation and simulations. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52(10), 6555-6563.
- Qian, X., & Jin, S. (2016). Estimation of snow depth from GLONASS SNR and phase-based multipath reflectometry. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(10), 4817-4823.
- Tabibi, S., Geremia-Nievinski, F., & van Dam, T. (2017). Statistical comparison and combination of GPS, GLONASS, and multi-GNSS multipath reflectometry applied to snow depth retrieval. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 55(7), 3773-3785.
- URL-1: T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim-degisikligi.aspx>.
- URL-2: <https://www.unavco.org/instrumentation/networks/status/pbo/photos/ab33>.

## Robust kestirim yöntemlerinin deformasyon analizinde uygulanmasında farklı yaklaşımların güvenilirliğinin araştırılması

Bahattin Erdoğan<sup>1\*</sup> , Gülşah Mandalıncı<sup>1</sup> 

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

**Öz:** Deformasyon analizi Harita Mühendisliği uygulamalarında önemli konulardan biridir. Klasik anlamda deformasyon analizi, farklı ölçüm periyotlarındaki koordinat farklarının karşılaştırılması esasına dayanır. Koordinat farklarının istatistiksel olarak anlamlı olduğu ispatlanırsa, nokta koordinat değişimleri yer değiştirme olarak yorumlanır. Klasik deformasyon analiz (KDA) modellerinin yanı sıra, benzerlik (Helmert) dönüşümü de deformasyon analizinde kullanılan yöntemlerden biridir. Benzerlik dönüşümünde, dönüşüm işlemi sonucunda ortaya çıkacak düzeltme değerleri deformasyon analizinde kullanılabilir. Hem klasik hem de robust yöntemlerle elde edilen düzeltme değerleri incelenerek noktaların yer değiştirip değiştirmediği belirlenebilir. Deformasyon analiz yöntemleri her durumda doğru ve aynı sonuçları vermez. Yöntemlerin başarıları kullanılan veri setine, ağdaki yer değiştirmiş nokta sayısına ve yer değiştirmenin büyüklüğüne göre değişir. Analiz yöntemlerinin güvenilirliğini ölçmek için kullanılan yöntemlerden bir tanesi de Ortalama Başarı Oranı (OBO) kavramıdır. Bu çalışmada, yatay bir kontrol ağı iki periyot olarak simüle edilmiştir. Birinci periyot ölçülerinde sadece rastgele hatalar, ikinci periyot ölçülerinde ise hem rastgele hatalar hem de yer değiştirme büyüklükleri dikkate alınmıştır. Her iki periyot ölçüleri bir örnek kümeyi oluşturmaktadır. Bu örnek kümelerde iki farklı yaklaşımla robust yöntemlerin deformasyon analizinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Birinci yaklaşımda, benzerlik dönüşümünde robust kestirim yöntemlerinden elde edilen düzeltme değerlerine anlamlılık testi uygulanarak deformasyona uğramış noktalar belirlenmiştir. İkinci yaklaşımda ise, aynı düzeltme değerleri kullanılarak uyumsuz ölçü belirleme stratejisi ile deformasyona uğrayan noktalar belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada 10 000 farklı örnek küme kullanılmıştır. Her iki yaklaşım da KDA sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yer değiştiren bir nokta için KDA yöntemi ve robust yöntemler benzer sonuçlar verse de; ağda birden fazla yer değiştiren nokta olması durumunda KDA yönteminin daha başarılı sonuçlara sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca, ağda yer değiştiren nokta sayısı arttıkça yöntemlerin sonuçlarının OBO değerleri düşmektedir. Buna karşın, yer değiştirme büyüklükleri arttıkça OBO değerleri de artmaktadır.

**Anahtar Sözcükler:** Benzerlik dönüşümü, Deformasyon analizi, Güvenilirlik, Robust yöntemler

### Investigation of the reliability of the different approaches for using the robust estimation methods in deformation analysis

**Abstract:** Deformation analysis is one of the most important subjects in Geomatic Engineering. It classically depends on the comparison of the coordinates' differences estimated in different periods. If the coordinate differences are statistically proved as significant, they are interpreted as displacement. In literature there are different deformation analysis models. As well as conventional deformation analysis (CDA) models, similarity (Helmert) transformation is one of these models used for deformation analysis. In similarity transformation, the residuals to be estimated from similarity transformation can be used in deformation analysis. By investigating the residuals estimated from both conventional and robust methods, it can be determined whether the point has displaced or not. Deformation analysis methods do not provide correct and the same results in all conditions. The successes of the methods change depending on the sample dataset used, the number of the displaced points in the network and the magnitude of the displacement. One of the methods used for measuring the reliability of the analysis methods is the Mean Success Rate (MSR). In this study, a horizontal control network has been simulated as two periods. Since only the random errors are considered in the first period measurements, for the second period measurements, both random errors and magnitudes of the displacements are taken into consideration. Each of these periods forms one working sample. The usability of the robust methods in deformation analysis for two different approaches has been investigated by using this working samples. In the first approach, the displaced points have been identified by applying the significance test to the residuals estimated by robust methods in similarity transformation. In the second approach, the displaced points have been detected by applying the outlier detection strategy to the same residuals. In this study, 10 000 working samples have been formed. The results of both approaches have been compared with the results of the CDA methods. According to the results obtained, although both CDA and robust methods have similar results for one displaced point, in the case of more than one displaced point CDA has more reliable results than robust methods. Also, when the number of the displaced points increase, the MSRs of the methods decrease. Contrary to this, if the magnitudes of the displacements increase, the MSRs of the methods increase.

**Keywords:** Similarity transformation, Deformation analysis, Reliability, Robust methods

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

Geliş Tarihi/Received: 07.01.2019  
Kabul Tarihi/Accepted: 24.04.2019



0000-0002-8060-9208, berdogan@yildiz.edu.tr (Erdoğan B.)\*  
0000-0003-4773-3386, gulsahmandalinci@gmail.com (Mandalıncı G.)



## 1. Giriş

Klasik anlamda jeodezik deformasyon ölçmeleri, çalışma alanı içerisinde ilgilenilen objeyi ve çevresini en uygun şekilde geometrik olarak modelleyerek, bölgede meydana gelen deformasyonu belirlemeyi amaçlar (Welsch & Heunecke, 2001). Başka bir deyişle, klasik jeodezik deformasyon ölçmelerinin amacı, araştırma bölgesinin davranışlarını modellemek, araştırma konusunu temsil eden geometrik bir model oluşturmak, modelin çevresine göre yatay konum ve yükseklik değişimlerini belirlemek ve oluşan şekil değişikliklerini zamanın bir fonksiyonu olarak elde etmektir (Öztürk, Konak & Atasoy, 2006).

Jeodezik deformasyon analizi, jeodezik ağların tasarımı, kurulması, ölçülmesi, farklı zamanlarda elde edilen ölçülerin En Küçük Kareler (EKK) yöntemine göre dengelenmesi ve sonuçların analiz edilmesi adımlarından oluşur. Yeni teknolojilerin ve ölçüm tekniklerinin geliştirilmesi ile birçok deformasyon modeli; statik, kinematik, dinamik, gerinim vb. çalışmalarda kullanılmaktadır.

Jeodezik ölçülerin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan EKK yöntemi, ölçüler normal dağılımlı olduğunda ve ölçü kümesinde uyumsuz ölçü bulunmadığında en iyi, en uygun kestiricidir. Ancak ölçülerde uyumsuz ölçüler varsa, bunlar EKK yönteminden elde edilecek parametreleri olumsuz etkilemektedir. Özellikle EKK kestiriminin yayıcı etkisi ve test istatistiğinin yetersizliği nedeniyle her durumda doğru sonuçlar elde edilememektedir. Bu nedenle EKK yöntemine dayalı uyumsuz ölçü testleri yanında robust yöntemler de geliştirilmiştir (Baarda, 1968; Pope, 1976; Huber, 1981; Hampel, Ronchetti, Rousseeuw & Stahel, 1986; Rousseeuw & Leroy, 1987; Hekimoğlu & Berber, 2003; Hekimoğlu, 2005; Hekimoğlu & Erenoğlu, 2007; Yu, Shen, Yang & Nie, 2017). Deformasyon analizinde de benzer sorunlarla karşılaşmaktadır. EKK yönteminin modeldeki bozucu etkiyi yayması sonucunda periyotlar arasındaki yer değiştirmeler dengeleme sonuçlarına tam olarak yansımamakta ve analiz sonuçlarının güvenilirliği beklenenden düşük çıkmaktadır (Hekimoğlu, Erdoğan & Butterworth, 2010). Bu nedenle kestirici olarak robust yöntemler kullanılarak daha güvenilir sonuçlar elde edilmek istenmektedir (Duchnowski & Wiśniewski, 2014; Nowel & Kamiński, 2014; Nowel, 2016; Wiśniewski & Zienkiewicz, 2016; Zienkiewicz, Hejbudzka & Dumalski, 2017).

Bu çalışmanın amacı, yüksek doğruluk gerektiren jeodezik deformasyon analizinde robust kestirim yöntemlerini kullanarak elde edilen sonuçların güvenilirliğini araştırmaktır. Bu bağlamda robust yöntemlerin deformasyon analizinde uygulanması için iki farklı yaklaşım kullanılmıştır. Yatay bir kontrol ağı iki periyot olarak simüle edilmiştir. Her iki periyot çiftinden 10 000 adet farklı örnek küme oluşturulmuştur. Simülasyonla elde edilen yatay kontrol ağında robust M-kestirici olarak Huber, Danimarka, Hampel, Andrews, Beaton ve Tukey yöntemleri kullanılmış ve elde edilen sonuçlar klasik deformasyon analiz (KDA) sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde KDA'dan, üçüncü bölümünde ise çalışmada kullanılan robust yöntemlerden bahsedilmektedir. Dördüncü bölüm ise gerçekleştirilen simülasyon çalışmasını içermektedir. Beşinci bölümde de elde edilen sonuçlar verilmektedir.

## 2. Klasik Deformasyon Analizi

KDA zamana bağlı olarak obje şeklinin ve yer değiştirmelerinin incelenmesidir. Tektonik hareketlerin modellenmesi veya mühendislik yapılarındaki deformasyonların izlenmesinde kullanılan modeller, analizlerde dikkate alınan parametrelere (geometrik değişim, hız, ivme, kuvvet vb.) göre değişiklik göstermektedir. Bu çalışmada sadece objedeki geometrik değişimlerin incelendiği KDA yöntemi uygulanmıştır.

## 2.1 Global Uyumluluk Testi

KDA'da öncelikle ölçüm periyotları arasında herhangi bir yer değiştirme olup olmadığı global uyumluluk testi ile araştırılır. Global uyumluluk testi, iki farklı ölçüm periyodu için bölgeyi temsil eden noktalar arasında anlamlı konum değişimi olup olmadığını belirler. Bu amaçla, her iki periyoda ilişkin eşlenik nokta koordinatlarının beklenen değerlerinin birbirine eşit olduğu sıfır hipotezi öngörülür:

$$H_0: [-\mathbf{I} \quad \mathbf{I}] \begin{bmatrix} E(\hat{\mathbf{x}}_1) \\ E(\hat{\mathbf{x}}_2) \end{bmatrix} = \mathbf{0} \quad (1a)$$

$$H_1: [-\mathbf{I} \quad \mathbf{I}] \begin{bmatrix} E(\hat{\mathbf{x}}_1) \\ E(\hat{\mathbf{x}}_2) \end{bmatrix} \neq \mathbf{0} \quad (1b)$$

Burada  $E()$  beklenen değeri,  $\hat{\mathbf{x}}_1$  ve  $\hat{\mathbf{x}}_2$  sırasıyla birinci ve ikinci periyotlar için kestirilen bilinmeyenler vektörünü ifade etmektedir. Her iki ölçüm periyodu için ağırlar ayrı ayrı serbest dengelenirse, dengeleme sonuçları

$$\hat{\mathbf{x}}_1 = \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_1\hat{\mathbf{x}}_1} \mathbf{A}_1^T \mathbf{P}_1 \mathbf{l}_1, \quad \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_1\hat{\mathbf{x}}_1} = \mathbf{N}_{11}^+ = (\mathbf{A}_1^T \mathbf{P}_1 \mathbf{A}_1)^+ \quad (2)$$

$$\hat{\mathbf{x}}_2 = \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_2\hat{\mathbf{x}}_2} \mathbf{A}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{l}_2, \quad \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_2\hat{\mathbf{x}}_2} = \mathbf{N}_{22}^+ = (\mathbf{A}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{A}_2)^+ \quad (3)$$

şeklinde hesaplanır. Her iki periyotta hesaplanan varyans değerlerinin uyumlu olup olmadığı test edildikten sonra, ortak varyans değeri (4) ve (5) eşitlikleri ile elde edilir.

$$\Omega = \mathbf{v}_1^T \mathbf{P}_1 \mathbf{v}_1 + \mathbf{v}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{v}_2 \quad (4)$$

$$s_0^2 = \frac{\Omega}{f}, \quad f = f_1 + f_2 \quad (5)$$

Burada,  $\mathbf{A}_1$  ve  $\mathbf{A}_2$  birinci ve ikinci periyot için düzeltme denklemleri katsayılar matrisini,  $\mathbf{l}_1$  ve  $\mathbf{l}_2$  birinci ve ikinci periyot için küçültülmüş düzeltme denklemleri ölçüler vektörünü,  $\mathbf{v}_1$  ve  $\mathbf{v}_2$  her iki periyot için ölçülere getirilecek düzeltmeler vektörünü,  $\mathbf{P}_1$  ve  $\mathbf{P}_2$  birinci ve ikinci periyot ölçülerinin ağırlık matrisini,  $\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_1\hat{\mathbf{x}}_1}$  ve  $\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_2\hat{\mathbf{x}}_2}$  matrisleri birinci ve ikinci periyot için bilinmeyenlerin ağırlık katsayıları matrisini ifade etmektedir. (1) eşitliğindeki sıfır hipotezi dikkate alındığında iki periyot arasındaki koordinat farkları ( $\mathbf{d}$ ) ve bunlara ilişkin ağırlık katsayıları matrisi ( $\mathbf{Q}_{dd}$ ),

$$\mathbf{d} = \hat{\mathbf{x}}_2 - \hat{\mathbf{x}}_1 \quad (6)$$

$$\mathbf{Q}_{dd} = \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_1\hat{\mathbf{x}}_1} + \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_2\hat{\mathbf{x}}_2} \quad (7)$$

şeklinde ifade edilir. Sıfır hipotezinin dengeleme modeli üzerindeki etkisi,

$$R = \mathbf{d}^T \mathbf{Q}_{dd}^+ \mathbf{d} \quad (8)$$

şeklinde hesaplanır. Ağ geometrisinin ve datum parametrelerinin her iki ölçme periyodunda da aynı kaldığı durumlarda,  $u$  ağdaki koordinat bilinmeyenlerinin sayısı,  $d$  datum defekt sayısı ve  $R$  büyüklüğünün serbestlik derecesi  $h$  olmak üzere,

$$h = \text{rank}(\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_1\hat{\mathbf{x}}_1}) = \text{rank}(\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_2\hat{\mathbf{x}}_2}) = u - d \quad (9)$$

olur (Pelzer, 1971; Koch, 1985; Niemeier, 1985; Öztürk, 1991). Test büyüklüğü ( $T$ ) (10) nolu eşitlik ile hesaplanır (Pelzer,

1971; Koch, 1999).

$$T = \frac{R}{s_0^2 h} = \frac{\mathbf{d}^T \mathbf{Q}_{dd}^+ \mathbf{d}}{s_0^2 h} \quad (10)$$

Uygulamada genellikle noktaların zarar görmesi veya ağıın yeni noktalarla genişletilmesi sonucunda ikinci periyotta ağ geometrisi değişebilir. Deformasyon analizi her iki periyotta bulunan eşlenik noktalar için gerçekleştirilir, fakat ağdaki tüm noktalar ağ geometrisini etkilediğinden dolayı ortak olmayan noktalar da dışlanamaz. Eşlenik olmayan noktalar bir blok içinde düşünülerek dengeleme modelinden indirgeme ile yok edilebilir. Bu işlem ortak noktalara ilişkin kısmi iz minimum çözümüyle eşdeğerdir (Niemeier, 1985).

Her iki periyotta da eşlenik olup, datum tanımına giren noktalara ilişkin bilinmeyenler vektörü ve bunlara karşılık ağırlık katsayıları matrisi, sırasıyla  $\hat{\mathbf{x}}_{D1}$ ,  $\hat{\mathbf{x}}_{D2}$  ve  $\mathbf{Q}_{DD1}$ ,  $\mathbf{Q}_{DD2}$  olsun. Ağıın eşlenik noktalar bölümünde global uyumluluk testini uygulamak için, her iki periyot aynı datumda kısmi iz minimum çözümüne göre serbest olarak dengelenir. Koordinat farkları ve ilgili ağırlık katsayıları matrisi,

$$\mathbf{d}_D = \hat{\mathbf{x}}_{D2} - \hat{\mathbf{x}}_{D1} \quad (11)$$

$$\mathbf{Q}_{dd_D} = \mathbf{Q}_{DD1} + \mathbf{Q}_{DD2} \quad (12)$$

olur. Sıfır hipotezinin etkisi ve serbestlik derecesi (13) ve (14) ile verilir:

$$R_D = \mathbf{d}_D^T \mathbf{Q}_{DD}^T \mathbf{d}_D \quad (13)$$

$$h_D = u_D - d \quad (14)$$

Burada  $u_D$  eşlenik noktalara ait bilinmeyen sayısını ifade etmektedir. Test büyüklüğü,

$$T = \frac{R_D}{s_0^2 h_D} \quad (15)$$

ile hesaplanır. Test büyüklüğü, tüm noktalar eşlenik olduğu durumda  $F_{h,f,1-\alpha}$  güven sınırından (sadece ağıın bir bölümündeki noktalar eşlenik olduğu durumda  $F_{h_D,f,1-\alpha}$ ) küçükse, iki periyot arasındaki nokta koordinat farklarının anlamsız olduğuna karar verilir. Aksi durumda ağda deformasyon olduğuna karar verilir ve hangi nokta veya noktalarda anlamlı konum değişimi olduğunun belirlenmesi adımına geçilir.

## 2.2 S – Dönüşümü Yöntemi ile Yerelleştirme

S – Dönüşümü yöntemi ile yerelleştirme KDA’da en çok tercih edilen yöntemlerden bir tanesidir (Niemeier, 1985; Demirel, 1987). Ağdaki tüm noktaların obje noktası olarak düşünüldüğü modeldir. Eşlenik noktalardan herhangi birinin yer değiştirmiş olabileceği göz önünde bulundurularak yerelleştirme işlemi gerçekleştirilmektedir. Her iki periyotta da serbest dengeleme ile elde edilen bilinmeyenler vektörü ve ağırlık katsayıları matrisi uygun biçimde alt vektör ve matrislere ayrılır:

$$\hat{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{x}}_F \\ \hat{\mathbf{x}}_B \\ \hat{\mathbf{x}}_N \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}\hat{\mathbf{x}}} = \begin{bmatrix} \mathbf{Q}_{FF} & \mathbf{Q}_{FB} & \mathbf{Q}_{FN} \\ \mathbf{Q}_{BF} & \mathbf{Q}_{BB} & \mathbf{Q}_{BN} \\ \mathbf{Q}_{NF} & \mathbf{Q}_{NB} & \mathbf{Q}_{NN} \end{bmatrix} \quad (17)$$

Burada,  $\hat{\mathbf{x}}_B$  incelenen eşlenik noktanın koordinatlarını,  $\hat{\mathbf{x}}_F$  diğer eşlenik noktaların koordinatlarını,  $\hat{\mathbf{x}}_N$  eşlenik olmayan nokta koordinatlarını,  $\mathbf{Q}_{BB}$  incelenen noktanın ağırlık katsayıları matrisini,  $\mathbf{Q}_{FF}$  diğer eşlenik noktaların ağırlık katsayıları matrisini ve  $\mathbf{Q}_{NN}$  eşlenik olmayan noktaların ağırlık katsayıları matrisini ifade etmektedir. Ağdaki eşlenik nokta sayısı kadar, her defasında bir nokta datum tanımından çıkarılarak geriye kalan eşlenik noktalara göre yeni bir datum tanımlanır. Her iki periyot için bilinmeyenler ve bilinmeyenlere ait kofaktör matrisi S - Dönüşümü kullanılarak yeni tanımlanan datuma dönüştürülür:

$$\mathbf{S}_j = \mathbf{I} - \mathbf{G}(\mathbf{B}_j^T \mathbf{G})^{-1} \mathbf{B}_j^T \quad (18a)$$

$$\mathbf{B}_j^T = \mathbf{G}^T \mathbf{E}_j \quad (18b)$$

Burada,  $\mathbf{E}_j$  bir köşegen matristir. İncelenen  $j$ . eşlenik noktaya ait  $(\mathbf{E})_{jj}$  köşegen elemanı yerine 0, diğer eşlenik noktalara karşılık gelen köşegen elemanı için 1 alınır (Niemeier, 1985).

Bir boyutlu ağlar için  $\mathbf{G}^T$  matrisi,

$$\mathbf{G}^T = \frac{1}{\sqrt{p}} [1 \quad 1 \quad 1 \quad \dots \quad 1] \quad (19)$$

iki boyutlu ağlar için  $\mathbf{G}^T$  matrisi,

$$\mathbf{G}^T = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{p} & 0 & 1/\sqrt{p} & 0 & \dots & 1/\sqrt{p} & 0 \\ 0 & 1/\sqrt{p} & 0 & 1/\sqrt{p} & \dots & 0 & 1/\sqrt{p} \\ -y'_{10} & x'_{10} & -y'_{20} & x'_{20} & \dots & -y'_{p0} & x'_{p0} \\ x'_{10} & y'_{10} & x'_{20} & y'_{20} & \dots & x'_{p0} & y'_{p0} \end{bmatrix} \quad (20)$$

denklemleriyle tanımlanır.

$$x'_{i0} = \frac{x_{i0} - x_s}{\sqrt{[(x_{i0} - x_s)^2 + (y_{i0} - y_s)^2]}}, y'_{i0} = \frac{y_{i0} - y_s}{\sqrt{[(x_{i0} - x_s)^2 + (y_{i0} - y_s)^2]}}, x_s = [x_0]/p, y_s = [y_0]/p, i = 1, 2, \dots, p \quad (21)$$

Burada,  $p$  ağdaki nokta sayısı,  $x_s$  ve  $y_s$  ağın ağırlık merkezinin koordinatlarıdır.

GPS ağlarında baz vektörleri ile gerçekleştirilen dengelemede  $\mathbf{G}^T$  matrisi,

$$\mathbf{G}^T = 1/\sqrt{p} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (22)$$

biçimindedir. S - Dönüşümü ile tüm eşlenik noktaların katıldığı datumdan, yer değiştirdiği düşünülen bir eşlenik noktanın datum tanımından çıkarıldığı  $j$ . datuma dönüşüm yapılmaktadır.

$$\begin{bmatrix} \hat{\mathbf{x}}_F^j \\ \hat{\mathbf{x}}_B^j \\ \hat{\mathbf{x}}_N^j \end{bmatrix} = \mathbf{S}_j \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{x}}_F \\ \hat{\mathbf{x}}_B \\ \hat{\mathbf{x}}_N \end{bmatrix} \quad (23)$$

$$\begin{bmatrix} Q_{FF}^j & Q_{FB}^j & Q_{FN}^j \\ Q_{BF}^j & Q_{BB}^j & Q_{BN}^j \\ Q_{NF}^j & Q_{BN}^j & Q_{NN}^j \end{bmatrix} = S_j \begin{bmatrix} Q_{FF} & Q_{FB} & Q_{FN} \\ Q_{BF} & Q_{BB} & Q_{BN} \\ Q_{NF} & Q_{BN} & Q_{NN} \end{bmatrix} S_j^T \quad (24)$$

Aynı dönüşümler ikinci periyot ölçüleri için de uygulanmaktadır. Dönüşümler gerçekleştirildikten sonra, hareketsiz kaldıkları varsayılan noktalara ilişkin sıfır hipotezi,

$$H_0: E(\hat{\mathbf{x}}_{F1}^j) = E(\hat{\mathbf{x}}_{F2}^j) \quad (25)$$

koordinat fark vektörü,

$$\mathbf{d}_F = \hat{\mathbf{x}}_{F2}^j - \hat{\mathbf{x}}_{F1}^j \quad (26)$$

fark vektörünün ağırlık katsayılar matrisi,

$$Q_{FF} = Q_{FF1}^j + Q_{FF2}^j \quad (27)$$

biçiminde hesaplanır. Burada, 1 alt indisi birinci periyodu, 2 alt indisi ikinci periyodu ifade eder. Sıfır hipotezinin dengeleme modeline etkisi olan  $R$  büyüklüğü (28) eşitliği ile hesaplanır:

$$R_F = \mathbf{d}_F^T Q_{FF}^+ \mathbf{d}_F \quad (28)$$

Ağıdaki eşlenik tüm noktalar sırasıyla birer birer datum tanımından çıkarılarak  $\hat{\mathbf{x}}_B$  ve  $Q_{BB}$  alt vektör ve matrislerini oluştururlar. Her tanımlanan yeni datum için  $R_F$  büyüklüğü tekrar hesaplanır. Buna göre,  $R_F$  değerinin minimum olduğu noktanın yer değiştirmiş olduğu sonucuna varılır. Minimum  $R_F$  değeri ile yeniden global test yapılır. Eğer test hala başka hareketli noktaların bulunduğu sonucuna götürüyorsa, hareket ettiği saptanan nokta, eşlenik olmayan noktalar ( $\hat{\mathbf{x}}_N$  vektörü) kümesi içerisine atılır ve yerelleştirme işlemine, global uyumluluk testinde konumu değişen başka nokta olmadığı bulunana kadar devam edilir (Niemeier, 1985).

### 3. Robust Yöntemlere Dayalı Deformasyon Analizi

Caspary ve Borutta (1987) robust yöntemlerin deformasyon analizinde uygulanabilmesi amacıyla her iki periyodu ayrı ayrı serbest dengeledikten sonra aşağıdaki deformasyon analiz modelini ortaya koymuştur:

$$\hat{\mathbf{x}}_2 - \hat{\mathbf{x}}_1 = \Delta = \mathbf{H}\mathbf{t} + \boldsymbol{\delta}, E(\Delta) = \mathbf{H}\mathbf{t} \quad (29)$$

Burada,  $\hat{\mathbf{x}}_1$  ve  $\hat{\mathbf{x}}_2$  sırasıyla birinci ve ikinci periyot için kestirilen koordinat değerlerini,  $\mathbf{H}$  tasarım matrisini,  $\mathbf{t}$  deformasyon model parametreleri vektörünü,  $\boldsymbol{\delta}$  düzeltmeler vektörünü,  $\Delta$  yer değiştirme vektörünü ve  $E()$  beklenen değeri ifade etmektedir. Bu yaklaşımda  $\hat{\mathbf{x}}_1$  ve  $\hat{\mathbf{x}}_2$  koordinat vektörlerinin varyans kovaryans matrisleri göz ardı edilmektedir.

İncelenen bölgede oluşacak deformasyon hakkında herhangi bir ön bilgi yoksa noktaların tek tek incelendiği yer değiştirme modeli uygulanır. Bu durumda her iki periyodu içerecek şekilde benzerlik dönüşümü uygulanarak global uyumluluk testi uygulanmaksızın yer değiştirmiş noktalar belirlenmeye çalışılır. Bu durumda (29) eşitliğinde  $\mathbf{t}$  deformasyon model parametreler vektörü;  $t_x$ , x eksenindeki öteleme;  $t_y$ , y eksenindeki öteleme,  $\theta$  eksenlerdeki dönüklük ve  $k_s$  ölçek çarpanından oluşmaktadır. Tasarım matrisi  $\mathbf{H}$  her iki periyotta da eşlenik tüm noktalar için yazılırsa:

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\Delta y_1 & \Delta x_1 \\ 0 & 1 & \Delta x_1 & \Delta y_1 \\ 1 & 0 & -\Delta y_2 & \Delta x_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 0 & -\Delta y_p & \Delta x_p \\ 0 & 1 & \Delta x_p & \Delta y_p \end{bmatrix} \quad (30a)$$

$$\Delta x_i = x_i - x_s \quad (30b)$$

$$\Delta y_i = y_i - y_s \quad (30c)$$

$$x_s = \sum x_i / p \quad (30d)$$

$$y_s = \sum y_i / p, i = 1, \dots, p. \quad (30e)$$

$$\mathbf{t} = [t_x \quad t_y \quad k_s \quad \theta]^T \quad (30f)$$

şeklinde ifade edilir. Burada,  $p$  her iki periyotta da eşlenik nokta sayısını ifade etmektedir. EKK kestirimi (29) eşitliğine uygulanarak matematik modelin doğru olduğu durumlarda minimum varyans koşulunu sağlayan çözüm gerçekleştirilebilir. Fakat, modelden sapmalar meydana geldiği durumda elde edilen çözüm optimum olmaktan uzaklaşacaktır. Bu durumda oluşacak hata, kestirilen parametrelere ve tüm düzeltmelere yayılacaktır. EKK kestiriminin bu olumsuzluğu robust kestirim yöntemleri uygulanarak giderilebilmektedir. Bu çalışmada yinelemeli yeniden ağırlıklandırılmalı M-kestiriciler kullanılmıştır.

Gauss-Markoff modelinde M-kestiriminin normal denklemleri;

$$\frac{1}{\sigma^2} \sum_{i=1}^n \mathbf{w}(v_i) \mathbf{v}_i \mathbf{a}_{ij} = 0, \quad j = 1, 2, \dots, u; i = 1, 2, \dots, m \quad (31)$$

veya matris gösterimiyle,

$$\mathbf{A}^T \mathbf{W}_k \mathbf{v} = \mathbf{A}^T \mathbf{W}_k (\mathbf{A} \mathbf{x} - \mathbf{l}) = \mathbf{0} \quad (32)$$

biçimindedir. Burada,  $\mathbf{W}_k$  düzeltmelere bağlı olarak seçilmiş bir ağırlık fonksiyonundan elde edilen köşegen bir matris ve  $k$  yineleme sayısıdır. Normal denklemlerde bilinmeyen parametrelerin yanı sıra düzeltmeler de bilinmemektedir. Bu nedenle denklem sistemi ancak yineleme ile çözülebilir. Genellikle yinelemeli, yeniden ağırlıklandırılmalı EKK çözümü tercih edilir (Koch, 1999). Çalışmada kullanılan yöntemlere ilişkin ağırlık fonksiyonları aşağıda verilmektedir:

**Huber ağırlık fonksiyonu (Huber, 1981):**

$$W(v_i) = \begin{cases} 1 & |v_i| \leq c \\ \frac{c}{|v_i|} & |v_i| > c \end{cases} \quad (33)$$

Burada,  $c$  sabiti için  $1.5s_0$  seçilmiştir.

**Danimarka ağırlık fonksiyonu (Krarup, 1980):**

$$W(v_i) = \begin{cases} 1 & |v_i| < c \\ \exp(-\frac{|v_i|}{c}) & |v_i| \geq c \end{cases} \quad (34)$$

Burada,  $c$  sabiti için  $1.5s_0$  seçilmiştir.

**Hampel ağırlık fonksiyonu** (Hampel vd., 1986):

$$W(v_i) = \begin{cases} 1 & 0 < |v_i| \leq a \\ \frac{a}{|v_i|} & a < |v_i| \leq b \\ \frac{a(c-|v_i|)}{|v_i|(c-b)} & b < |v_i| \leq c \\ 0 & |v_i| > c \end{cases} \quad (35)$$

Burada,  $a = 1.5s_0$ ,  $b = 3s_0$  ve  $c = 6s_0$  seçilmiştir.

**Andrews ağırlık fonksiyonu** (Andrews, 1974):

$$W(v_i) = \begin{cases} \left(\frac{|v_i|}{c}\right)^{-1} \sin\left(\frac{|v_i|}{c}\right) & |v_i| \leq c\pi \\ 0 & |v_i| > c\pi \end{cases} \quad (36)$$

Burada,  $c$  sabiti için  $2s_0$  seçilmiştir.

**Beaton ve Tukey ağırlık fonksiyonu** (Beaton & Tukey, 1974):

$$W(v_i) = \begin{cases} \left(1 - \left(\frac{|v_i|}{c}\right)^2\right)^2 & |v_i| \leq c\pi \\ 0 & |v_i| > c\pi \end{cases} \quad (37)$$

Burada,  $c$  sabiti için  $2s_0$  seçilmiştir. Ağırlık fonksiyonlarındaki  $s_0$  değeri benzerlik dönüşümü modelinde ilk dengelemeden elde edilen değerdir.

Bu çalışmada robust yöntemlerin uygulanması sonucunda hangi noktaların yer değiştirdiğini belirlemek amacıyla iki farklı yaklaşım uygulanmıştır. Robust kestirimde EKK kestiriminden farklı olarak ölçüler ile kestirilen parametreler arasındaki ilişki doğrusal değildir ve varyans yayılma kuralı doğrudan uygulanamaz. Fakat anlamlılık testi için bilinmeyen parametrelerin  $C_{tt}$  ve düzeltmelerin  $C_{\delta\delta}$  varyans-kovaryans matrislerinin bilinmesi gerekir. Birinci yaklaşımda nokta yer değiştirmelerinin belirlenebilmesi için düzeltmelere anlamlılık testi uygulanmıştır. Birinci yaklaşıma göre sıfır hipotezi tüm eşlenik noktalar için aşağıdaki şekilde tekrarlanır:

$$H_0: E(\delta_i) = \mathbf{0} \quad (38)$$

$$H_1: E(\delta_i) > \mathbf{0} \quad (39)$$

Burada  $i$  dizini eşlenik bir noktayı belirtir. Sıfır hipotezine ilişkin test istatistiği,

$$T_i = \delta_i^T C_{\delta_i \delta_i}^{-1} \delta_i \sim \chi_{2,1-\alpha}^2 \quad (40)$$

şeklinde (Koch, 1999). Her bir eşlenik nokta için test istatistik değeri  $\chi_{2,1-\alpha}^2$  sınır değeri ile karşılaştırılır. Sınır değeri aşan noktalar yer değiştirmiş olarak kabul edilir. Robust kestirim sonucunda test işlemlerinin yapılabilmesi amacıyla  $C_{\delta\delta}$  değerleri, EKK kestiriminden elde edilmiştir. Bu çalışmada  $\alpha = 0.05$  alınmıştır. Üç boyutlu durumda (40) eşitliğindeki  $\chi_{2,1-\alpha}^2$ ,  $\chi_{3,1-\alpha}^2$  olur.

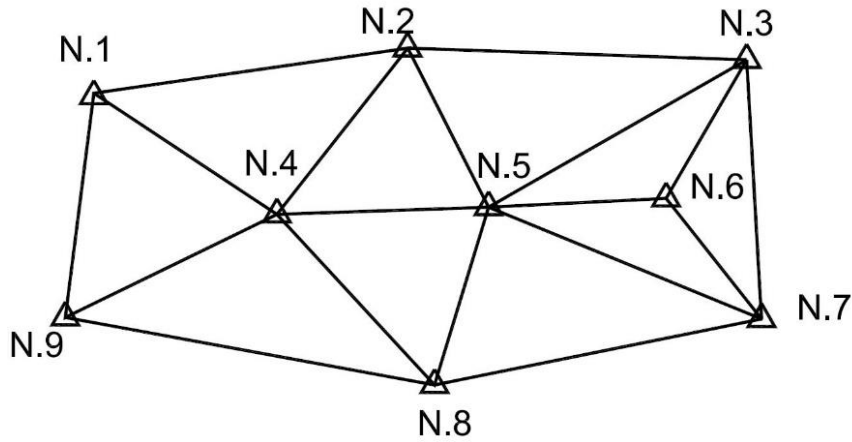
İkinci yaklaşımda, robust uyumsuz ölçü analizinde olduğu gibi dönüşümden elde edilen düzeltme değerleri  $3MAD$  (Median Absolute Deviation) sınır değeri ile karşılaştırılmıştır (Rousseeuw & Leroy, 1987). Düzeltme değeri, sınır değeri geçen nokta yer değiştirmiş olarak kabul edilmiştir.

## 4. Uygulama

Jeodezik ağlarda deformasyon analizine ait sonuçların güvenilirliğinin araştırılması kapsamında yer değiştirmiş noktaların gerçekte hangi noktalar olduğunun bilinmesi gerekir. Normalde hangi noktaların yer değiştirdiği analizden önce bilinmez. Bu nedenle güvenilirliğin araştırılması amacıyla simülasyon yapılması gerekmektedir. Çünkü gerçekte olan durum ile analiz sonucunda ortaya çıkan durumun karşılaştırılması gerekir. Bu bağlamda çalışmada gerçek veri seti kullanılmamıştır. Çalışmada analizler gerçekleştirilirken, noktaların hangisinde yer değiştirme olduğuna dair herhangi bir önsel bilgi sistemde bulunmamaktadır. Bu durum da aslında deformasyon analiz modeli açısından gerçeğe yakınlık göstermektedir. Ayrıca, simülasyondan gerçekçi sonuçların elde edilmesi için uygun yer değiştirme büyüklüklerinin belirlenmesi gerekir.

### 4.1 Yatay Kontrol Ağında Ölçülerin Elde Edilmesi

İki boyutlu ağlarda ve üç boyutlu ağlarda simülasyon çalışmalarında yer değiştirme büyüklüğünün belirlenmesi Hekimoğlu vd. (2010) ve Durdağ, Hekimoğlu ve Erdoğan (2018) yayınlarında ortaya konmuştur. Bu çalışmada, 9 nokta ve 54 ölçüden (36 adet doğrultu ve 18 adet kenar ölçüsü) oluşan Şekil 1'de verilen yatay kontrol ağı kullanılmıştır. Ağda tüm doğrultu ve kenar ölçümlerinin yapıldığı kabul edilmiştir. Kenar ölçümleri 415 m ile 970 m arasında değişmektedir.



Şekil 1: Uygulamada kullanılan yatay kontrol ağı

Bu ağa ilişkin iki periyot ölçümler aşağıdaki adımlar kullanılarak simüle edilmiştir:

1. Adım: Ağda öncelikle nokta koordinatları bilgisayar çizim programında belirlenmiştir. Bu nokta koordinatlarından rastgele hata ve kaba hata içermeyen doğrultu ve kenar ölçüleri (hatasız ölçüler)  $\bar{I}$  ikinci jeodezik temel ödev hesaplamaları ile elde edilmiştir.

2. Adım: Deformasyon analizinde kullanılacak ölçüleri oluşturmak için her periyot için farklı rastgele hatalar vektörü ( $e$ ) hatasız ölçüler vektörüne eklenmiştir. Birinci periyot ölçüleri oluşturulurken, hatasız ölçülere sadece rastgele hatalar ( $e_1$ ) eklenmiştir. İkinci periyot ölçülerinde ise hem rastgele hatalar ( $e_2$ ) hem de noktalara ilişkin yer değiştirmeler eklenmiştir. Birinci ve ikinci periyot ölçüleri,



$$\mathbf{l}_1 = \bar{\mathbf{I}} + \mathbf{e}_1 \quad (41)$$

$$\mathbf{l}_2 = \bar{\mathbf{I}} + \mathbf{e}_2 + \mathbf{Az} \quad (42)$$

şeklinde oluşturulmuştur. Burada,  $\mathbf{e}_1$  ve  $\mathbf{e}_2$  normal dağılımlı rastgele hata vektörleri,  $\mathbf{A}$  katsayılar matrisi ve  $\mathbf{z}$  yatay deformasyon vektörüdür:

$$\mathbf{z} = [z_{1x} \ z_{1y} \ z_{2x} \ z_{2y} \ \dots \ z_{ux} \ z_{uy}] \quad (43)$$

3. Adım: Birinci ve ikinci periyot ölçüleri birlikte (yani  $\mathbf{l}_1$ ,  $\mathbf{l}_2$ ) bir örnek küme oluşturur. Bu şekilde 10 000 farklı örnek küme oluşturulmuş ve analizler gerçekleştirilmiştir. Yatay kontrol ağlarında deformasyon iki bileşene sahiptir.  $\mathbf{z}$  deformasyon vektörünün  $z_x$  bileşeni deformasyonun x eksenini üzerindeki iz düşümünü,  $z_y$  bileşeni de y eksenini üzerindeki iz düşümünü ifade etmektedir. İkinci periyot ölçüleri oluşturulurken  $\mathbf{z}$  vektöründe sadece deformasyon eklenecek noktalara ilişkin bileşenler "0" dan farklıdır.

Rastgele hata vektörü MATLAB programının rastgele normal dağılım hata üreticisi kullanılarak birinci ve ikinci periyot için ayrı ayrı farklı normal dağılımlardan  $N(\mu = 0, \sigma)$  üretilmiştir. Doğrultu ölçüleri için  $\sigma_d = \pm 0.2$  mgon, kenar ölçüleri için  $\sigma_s = \pm(3 + 2ppm)$  mm öngörülmüştür. (41) ve (42) eşitlikleriyle  $\mathbf{l}_1$  ve  $\mathbf{l}_2$  ölçü vektörleri oluşturulmuştur. Her iki periyotta ağın geometrisi aynı olduğu için periyotlara ilişkin ağırlık matrisleri birbirine eşittir. Doğrultu kenar ağında ağırlık matrisi,

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_d & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{P}_s \end{bmatrix} \quad (44)$$

biçimindedir.

$$\mathbf{P}_d = \text{diag}(\sigma_0^2/\sigma_{d1}^2, \sigma_0^2/\sigma_{d2}^2, \dots, \sigma_0^2/\sigma_{dm1}^2) \text{ (doğrultu ölçüleri)}$$

$$\mathbf{P}_s = \text{diag}(\sigma_0^2/\sigma_{s1}^2, \sigma_0^2/\sigma_{s2}^2, \dots, \sigma_0^2/\sigma_{sm2}^2) \text{ (kenar ölçüleri)}$$

$\sigma_0^2$  birim ağırlıklı varyans ve 0.04 mgon<sup>2</sup> olarak seçilmiştir.  $m_1$  doğrultu ölçülerinin sayısını,  $m_2$  kenar ölçülerinin sayısını ifade etmektedir.

$\mathbf{z}$  vektörünün elemanları hesaplanırken, [Hekimoğlu vd. \(2010\)](#) tarafından nasıl elde edildiği anlatılan karşılaştırma çemberi kullanılmıştır. Bu çemberin elemanları ağıdaki 9 noktaya göre hesaplanmış ve yarıçapı  $r = 6.9$  mm olarak elde edilmiştir.

## 4.2 Analizler

Robust yöntemler kullanılarak gerçekleştirilen deformasyon analizinin güvenilirliğinin araştırılması amacıyla ölçülerin ve deformasyon büyüklüklerinin simüle edildiği Şekil 1'de verilen yatay kontrol ağında Ortalama Başarı Oranı (OBO) değerleri hesaplanmıştır. OBO ilk olarak uyuşumsuz ölçü araştırmasında, yöntemlerin etkinliklerinin karşılaştırılması için kullanılmıştır ([Hekimoğlu & Koch, 1999](#)). Bu kavram deformasyon analizi çalışmalarında nivelman ağlarında, doğrultu kenar ağlarında ve GPS ağlarında uygulanmıştır ([Hekimoğlu, Demirel & Aydın, 2002](#); [Hekimoğlu vd., 2010](#); [Durdag vd., 2018](#)). Bu çalışmada da OBO kavramı, yatay kontrol ağında robust yöntemler kullanılarak gerçekleştirilen deformasyon analizinin güvenilirliğinin araştırılmasında kullanılmıştır.

Birinci ve ikinci periyot ölçüleri simülasyonla oluşturulan ağda, bu iki ölçüm periyodu birlikte bir örnek kümeyi oluşturmaktadır. Analiz sonucunda, yöntemin deformasyona uğramış olarak bulunduğu noktalar, ikinci periyot ölçüleri

oluşturulurken yer değiştirmelerin eklendiği noktalar ise, yöntem başarılı olarak kabul edilmektedir. Aksi takdirde başarısız sayılmaktadır. Kısaca, hangi noktalarda yer değiştirme üretilmişse ve deformasyon analizi de aynı noktaları belirlemişse yöntem başarılı sayılmaktadır.

Birinci periyot ölçümlerinin oluşturulabilmesi için birinci periyoda ait  $e_1$  rastgele hata vektörü üretilmiş olsun. Öngörülen belirli sayıdaki yer değiştirmiş nokta sayısı için, yeni bir ikinci periyoda ait  $e_2$  rastgele hata vektörü üretilerek, yer değiştirmenin eklendiği nokta ve yer değiştirmenin büyüklüğü rastgele değiştirilerek çok sayıda örnek küme oluşturulabilir. Başarı oranı (BO) bu örnek kümelerden başarılı deney sayısının toplam deney sayısına bölümü ile elde edilir:

$$\gamma_i(L, l_{1i}, l_{2j}, int, n_d, e_{1i}, e_{2j}, m, u) = \frac{q_{ij}}{N} \quad (45)$$

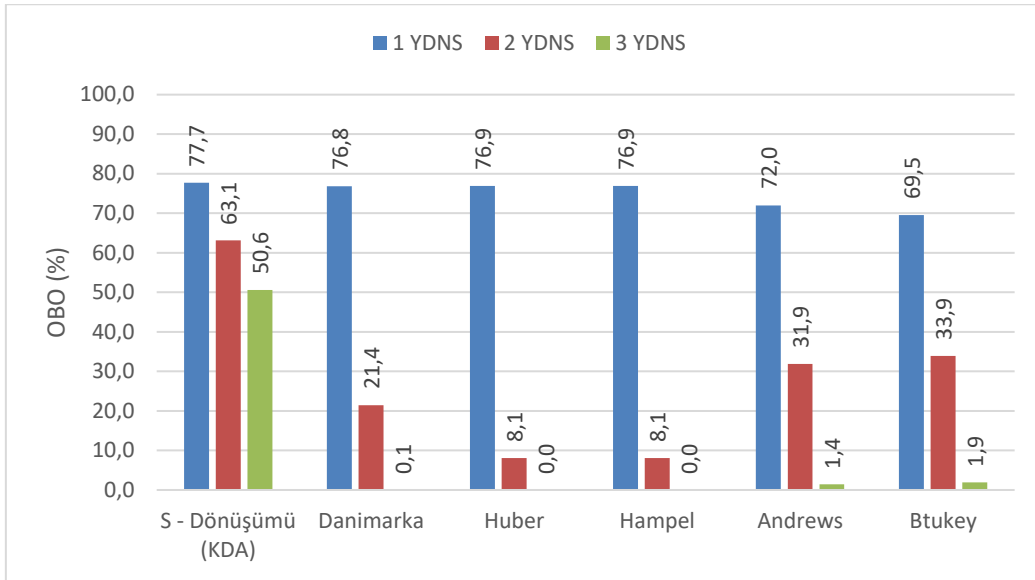
Burada,  $L$  kullanılan analiz yöntemini,  $int$  yer değiştirmenin aralığını,  $l_{1i}$  birinci periyot,  $l_{2j}$  ikinci periyot ölçülerini,  $n_d$  yer değiştiren nokta sayısını,  $m$  ölçü sayısını,  $q_{ij}$  yer değiştiren noktaların doğru belirlendiği örnek küme sayısını,  $u$  bilinmeyen sayısını ve  $N$  toplam örnek küme sayısını ifade etmektedir.

Uygulamada çok sayıda birinci periyot ( $e_1$ ) ölçüleri oluşturulabilir. Her bir  $e_1$  vektörü için, belirli yer değiştirmiş nokta sayısı, deformasyon analiz yöntemi ve yer değiştirme büyüklüğünde BO hesaplanabilir. Bu başarı oranlarının ortalaması, OBO olarak adlandırılır ve

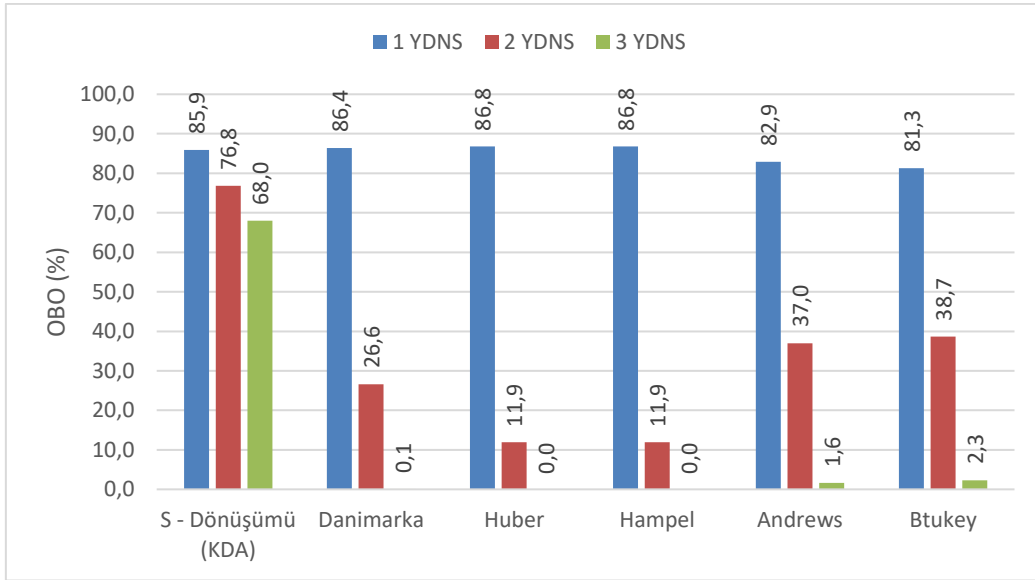
$$\gamma_{ort}(L, int, n_d, n, u) = \frac{\sum_{i=1}^k \gamma_i(L, l_{1i}, l_{2j}, int, n_d, e_{1i}, n, u)}{k} \quad (46)$$

biçiminde ifade edilir. Burada  $k$ ,  $e_1$  rastgele hata vektörü oluşturma sayısıdır. Böylece, değişik etkiler (deformasyon analiz yöntemi, nokta sayısı, yer değiştirme büyüklük aralığı) göz önüne alınarak OBO hesaplanabilir.

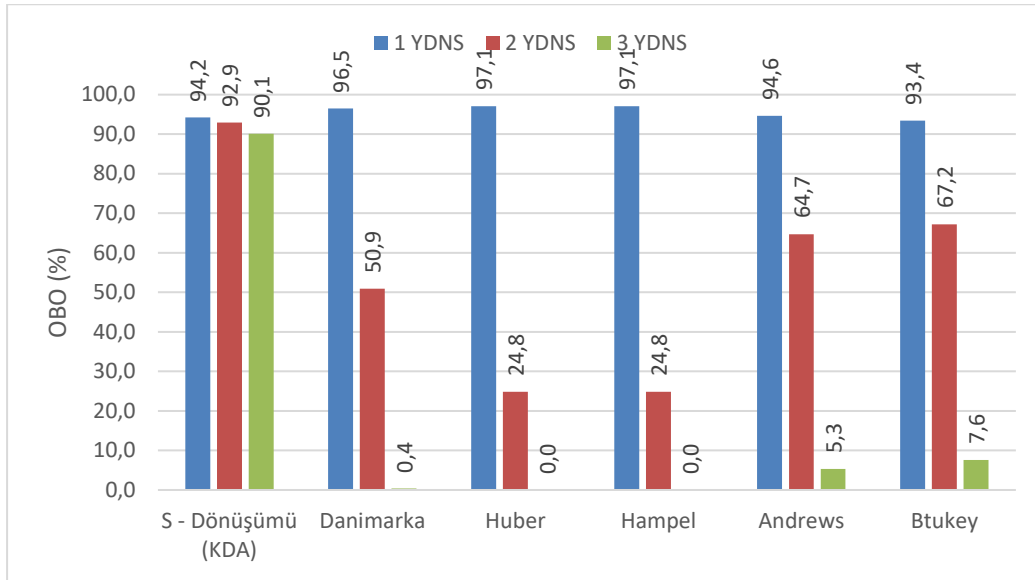
Bu çalışmada yöntemlerin OBO değerlerinin hesaplanması için yer değiştirmeler her bir senaryo için ağdaki herhangi bir noktaya rastgele eklenmiştir. OBO değerleri  $(r, 2r)$ ,  $(r, 3r)$  ve  $(2r, 3r)$  aralıklarında farklı sayıdaki yer değiştirmiş nokta için elde edilmiştir. Analizlerde iki farklı model kullanılmıştır. Birinci modelde benzerlik dönüşümünden elde edilen düzeltmeler (40) nolu eşitlikte verilen test büyüklüğü kullanılarak test edilmiştir. İkinci yaklaşımda ise robust uyumsuz ölçü analizinde olduğu gibi dönüşümden elde edilen düzeltme değerleri  $3MAD$  sınır değeri ile karşılaştırılmıştır. Düzeltme değeri sınır değerini geçen nokta yer değiştirmiş olarak kabul edilmiştir. Birinci yaklaşıma ait farklı yer değiştiren nokta sayılarına (YDNS) göre OBO değerleri Şekil 2, 3 ve 4'de verilmektedir. Aynı senaryolar için ikinci yaklaşıma ait sonuçlar Şekil 5, 6 ve 7'de gösterilmektedir.



Şekil 2: KDA ve birinci yaklaşımda robust yöntemlerin OBO değerleri (r, 2r)

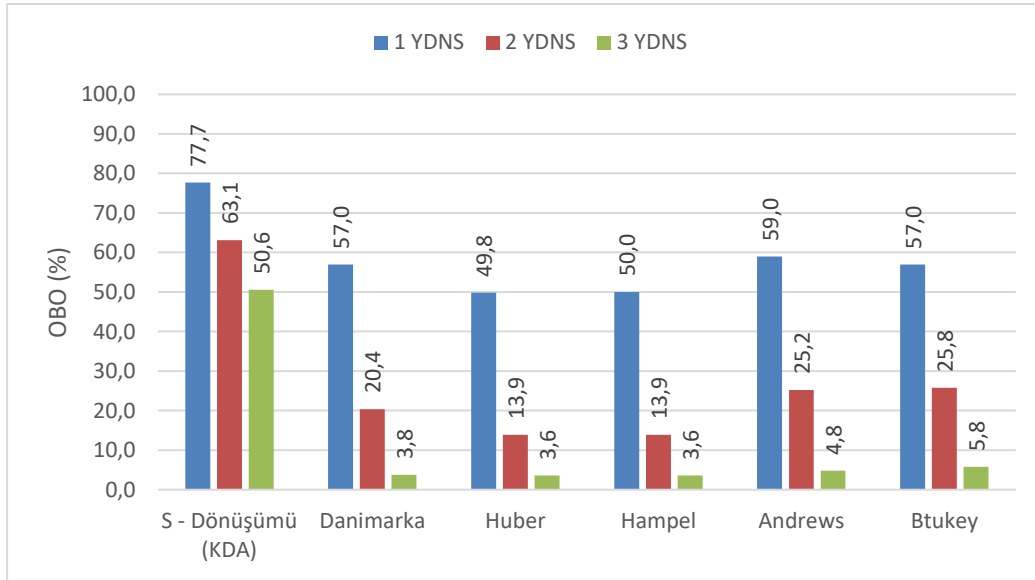


Şekil 3: KDA ve birinci yaklaşımda robust yöntemlerin OBO değerleri (r, 3r)

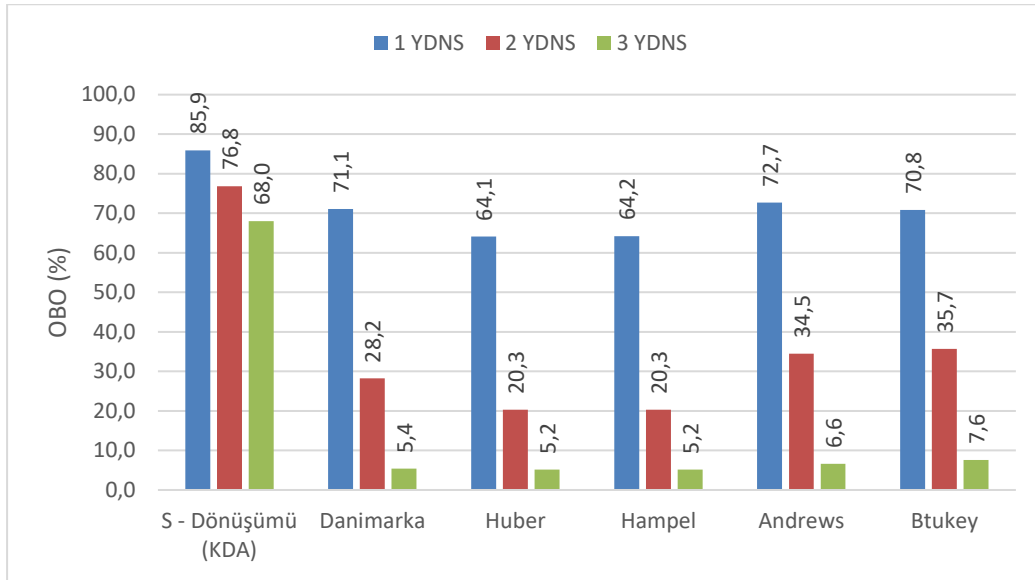


Şekil 4: KDA ve birinci yaklaşımda robust yöntemlerin OBO değerleri (2r, 3r)

Şekil 2, 3 ve 4 incelendiğinde en başarılı sonuçlar KDA uygulandığında elde edilmiştir. Yöntemlerin OBO değerleri ağda YDNS bire eşit olduğunda yüksek ve birbirine yakın çıkmasına rağmen; ağda YDNS arttıkça birinci yaklaşımda uygulanan robust yöntemlerin güvenilirlikleri hızlı bir şekilde düşmektedir. Yer değiştirmenin büyüklüğü arttığında yöntemlerin başarı oranları da artmaktadır. Özellikle büyük genlikli yer değiştirmeler olduğu durumda KDA'nın sonuçları %90'ın üzerindedir. İkinci yaklaşımda robust yöntemlerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde en güvenilir sonuçların birinci yaklaşımda olduğu gibi KDA'ya ait olduğu görülmektedir.

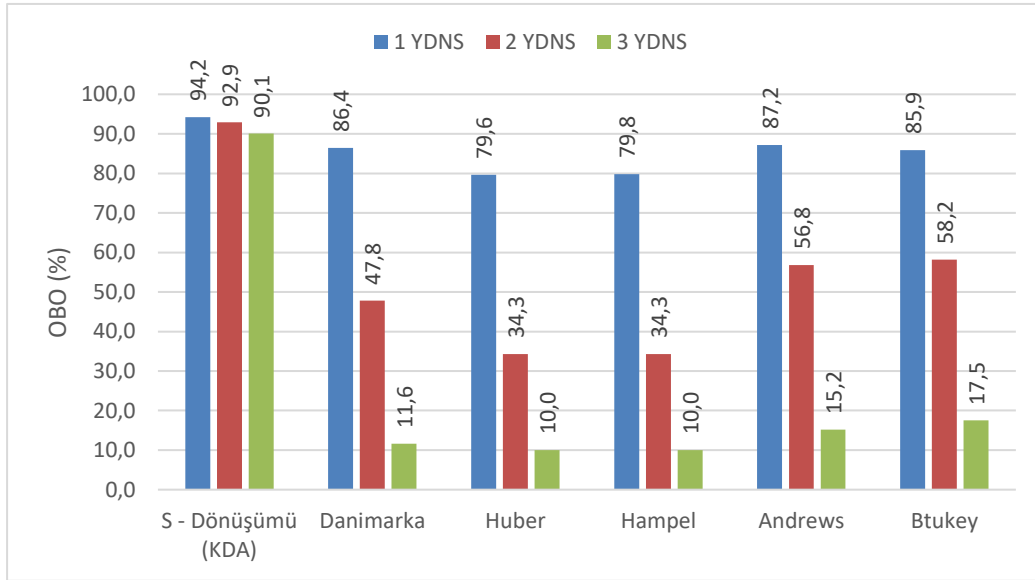


Şekil 5: KDA ve ikinci yaklaşımda robust yöntemlerin OBO değerleri (r, 2r)



Şekil 6: KDA ve ikinci yaklaşımda robust yöntemlerin OBO değerleri (1r, 3r)

Birinci ve ikinci yaklaşımda robust yöntemler karşılaştırıldığında birinci yaklaşımın daha güvenilir sonuçlar verdiği görülmektedir. Özellikle küçük genlikli yer değiştirmeler için ikinci yaklaşımın başarısız olduğu görülmektedir.



Şekil 7: KDA ve ikinci yaklaşımda robust yöntemlerin OBO değerleri (2r, 3r)

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada robust yöntemlerin deformasyon analizinde uygulanması durumunda elde edilen sonuçların güvenilirliği araştırılmıştır. Gerçekleştirilen simülasyon çalışmasında robust yöntemler iki farklı yaklaşımla deformasyon analizine uygulanmıştır. Birinci yaklaşımda benzerlik dönüşüm modelinden hesaplanan düzeltme değerlerine anlamlılık testi uygulanmıştır. İkinci yaklaşım olarak benzerlik dönüşümü modeline robust yöntemler uygulandığında, elde edilen düzeltmeler  $3MAD$  sınır değeri ile karşılaştırılarak yer değiştiren noktaların yakalanması amaçlanmıştır. Birinci yaklaşım sonuçlarına göre ağda yer değiştiren bir nokta olması durumunda KDA'ya benzer sonuçların elde edildiği görülmektedir. Buna karşın, ağdaki yer değiştiren nokta sayısı arttıkça birinci yaklaşım robust çözümleri ile KDA çözümleri farklılık göstermektedir. İkinci yaklaşımda da birinci yaklaşımda olduğu gibi ağdaki yer değiştiren nokta sayısı arttıkça robust

yöntemlerin OBO değerlerinde hızlı bir düşüş görülmektedir. Ayrıca, ikinci yaklaşımda ağda yer değiştiren bir nokta olması durumunda da sonuçların güvenilirliği hem birinci yaklaşımdan hem de KDA'dan daha düşüktür.

Analizlerde dikkate alınan tüm yöntemlerin sonuçları incelendiğinde ağdaki yer değiştiren nokta sayısı arttıkça sonuçların güvenilirlikleri düşmektedir. Buna karşın, yer değiştirme büyüklükleri arttığında sonuçların güvenilirlikleri de artmaktadır. Benzerlik dönüşüm modeli içerisinde deformasyon analizinde robust yöntemler kullanılmak istendiğinde; ağda yer değiştiren bir nokta bulunması durumunda birinci yaklaşıma göre Danimarka, Huber ve Hampel robust kestirim yöntemleri tercih edilebilir. Ağda birden çok yer değiştiren nokta bulunması durumunda ise robust yöntemlerin sonuçlarının güvenilirlikleri düşmektedir.

## Kaynaklar

- Andrews, D. F. (1974). A robust method for multiple linear regression. *Technometrics*, 16(4), 523-531.
- Baarda, W. (1968). A testing procedure for use in geodetic networks. *Netherlands geodetic commission*, 2(5).
- Beaton, A. E., & Tukey, J. W. (1974). The fitting of power series, meaning polynomials, illustrated on band-spectroscopic data. *Technometrics*, 16(2), 147-185.
- Caspary, W., & Borutta, H. (1987). Robust estimation in deformation models. *Survey review*, 29(223), 29-45.
- Demirel, H. (1987). S Transformasyonu ve Deformasyon Analizi, Türkiye 1. *Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 593, 608.
- Duchnowski, R., & Wiśniewski, Z. (2014). Comparison of two unconventional methods of estimation applied to determine network point displacement. *Survey review*, 46(339), 401-405.
- Durdağ, U. M., Hekimoğlu, S., & Erdoğan, B. (2018). Reliability of models in kinematic deformation analysis. *Journal of surveying engineering*, 144(3), 04018004.
- Hampel, F. R., Ronchetti, E. M., Rousseeuw, P. J., & Stahel, W. A. (1986). *Robust statistics*. New York: Wiley.
- Hekimoğlu, S., & Koch, K. R. (1999). How can reliability of the robust methods be measured. *Proceedings of the Third Turkish-German Joint Geodetic Days, Istanbul*, 179-196.
- Hekimoğlu, S., Demirel, H., & Aydın, C. (2002). Reliability of the conventional deformation analysis methods for vertical networks. *FIG XXII International Congress, Washington*.
- Hekimoğlu, S., & Berber, M. (2003). Effectiveness of robust methods in heterogeneous linear models. *Journal of geodesy*, 76(11-12), 706-713.
- Hekimoğlu, S. (2005). Do robust methods identify outliers more reliably than conventional test for outlier. *Zeitschrift für Vermessungswesen*, 3, 174-180.
- Hekimoğlu, S., & Erenoğlu, R. C. (2007). Effect of heteroscedasticity and heterogeneousness on outlier detection for geodetic networks. *Journal of Geodesy*, 81(2), 137-148.
- Hekimoğlu, S., Erdoğan, B., & Butterworth, S. (2010). Increasing the efficacy of the conventional deformation analysis methods: alternative strategy. *Journal of Surveying Engineering*, 136(2), 53-62.
- Huber P. J. (1981). *Robust statistics*, New York: Wiley.
- Koch, K. R. (1985). Ein statistisches auswerteverfahren für deformationsmessungen. *Allgemeine Vermessungs-Nachrichten*, 92(3), 97-108.
- Koch, K. R. (1999). *Parameter estimation and hypothesis testing in linear models*. Springer Science & Business Media.
- Krarp, T. (1980). Gotterdammerung over least squares adjustment. In *Proc. 14th Congress of the International Society of Photogrammetry* (Vol. 3, pp. 369-378).
- Niemeier W. (1985). Deformations analyse, in: H. Pelzer, (ed.), *Geodaetische Netze in Landes – und Ingenieurvermessung II, Konrad Wittwer: Stuttgart*, 559-623.
- Nowel, K., & Kamiński, W. (2014). Robust estimation of deformation from observation differences for free control networks. *Journal of geodesy*, 88(8), 749-764.
- Nowel, K. (2016). Investigating efficacy of robust M-estimation of deformation from observation differences. *Survey review*, 48(346), 21-30.

- Öztürk E. (1991). Doğrusal Hipotez Testleri, *Harita Dergisi*, 106, 1-21.
- Öztürk, E., Konak, H., & Atasoy, V. (2006). Deprem Bölgelerinde Yerkabuğu Hareketlerinin İzlenmesi. *Harita Dergisi*, 135, 52-63.
- Pelzer H. (1971). Zur analyse geodätischer deformationsmessungen, *Deutsche Geodätische Kommission, C-164, München, Germany*.
- Pope, A. J. (1976). *The statistics of residuals and the detection of outliers* (No. NOS-65-NGS-1).
- Rousseeuw, P. J., & Leroy, A. M. (1987). *Robust regression and outlier detection* (Vol. 1). New York: Wiley.
- Welsch, W., & Heunecke, O. (2001). Models and terminology for the analysis of geodetic monitoring observations. *Official report of the ad-hoc committee of FIG working group*, 6, 390-412.
- Wiśniewski, Z., & Zienkiewicz, M. H. (2016). Shift-M split\* estimation in deformation analyses. *Journal of surveying engineering*, 142(4), 04016015.
- Yu, H., Shen, Y., Yang, L., & Nie, Y. (2017). Robust M-estimation using the equivalent weights constructed by removing the influence of an outlier on the residuals. *Survey Review*, 51(364), 60-69.
- Zienkiewicz, M. H., Hejbudzka, K., & Dumalski, A. (2017). Multi split functional model of geodetic observations in deformation analyses of the Olsztyn Castle. *Acta Geodyn. Geomater*, 14(2), 195-204.

## Yapay sinir ağları ile görüntü işlemeyle dayalı uzaklıktan bağımsız ağırlık tahmin sistemi: yumurta ve portakal örnekleri

Ünsal Burak Şalvarcı<sup>1</sup> , Umut Engin Ayten<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Davutpaşa Kampüsü, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Esenler, İstanbul.

**Öz:** Endüstriyel ve akademik çalışmalarda objelerin ağırlıklarının ölçülmesi oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle gerçekleştirilmiş olan bu çalışmada yapay sinir ağları (YSA) kullanılarak görüntü işlemeyle dayalı uzaklıktan ve kamera açısından bağımsız ağırlık tahmini yapılması amaçlanmıştır. Yapay sinir ağı yapısı olarak ileri beslemeli çok katmanlı algılayıcı (multi-layer perceptron - MLP) ve radyal tabanlı fonksiyon (radial basis function - RBF) ağı kullanılmıştır. Ağırlığı tahmin edilecek obje olarak da portakal ve yumurta örnekleri belirlenmiştir. Bu örnekler ile sistemin eğitilmesi ve test edilmesi için; 4 farklı marka ve 4 farklı sınıf (çok büyük - büyük - orta - küçük) olacak şekilde 250 adet yumurta örneği ve farklı boyutlarda 150 adet portakal örneği seçilmiştir. Bu örnekler kullanılarak; yumurta için dik açı, pozitif açı ve negatif açı ile elde edilmiş 750 adet görüntü içeren, portakal için de dik açı, pozitif açı ve negatif açı ile elde edilmiş 450 adet görüntü içeren bir veri tabanı oluşturulmuştur. Oluşturulan bu ağırlık tahmin sistemi; bir adet kamera, yapay aydınlatma sistemi, yansıtıcılar ve referans görüntüden oluşmaktadır ve ayrıca ağırlık tahmin işlemi sırasında MATLAB programı ve araç kutuları kullanılmıştır. Bu çalışmada farklı öznitelik vektörleri, farklı açılardan çekilmiş görüntüler ve farklı YSA parametreleri test edilerek başarımları en yüksek olan sistemin kurulması hedeflenmiştir. Her bir değişiklik sonucu oluşturulan sistem beşer kez çalıştırılarak sonuçların aritmetik ortalaması alınmıştır. Ayrıca başarımları en yüksek olan denemenin, k-katlı çapraz doğrulama yöntemi ile de başarımları hesaplanmıştır. Hassas tartı ile yapılan ölçümlerde, Türk Gıda Kodeksi Yumurta Tebliği'ne göre belirlenmiş ve yumurta kutularının üzerinde yazan sınıflandırma değerlerine göre doğruluk oranı %47 iken, gerçekleştirilen bu çalışma sonucunda bu oran MLP'de % 90.50'e, RBF'de % 86.30'e çıkarılmıştır. Ayrıca ağırlık tahmininin başarımları; MLP için yumurta örneğinde % 99.42, portakal örneğinde % 98.20 ve RBF için yumurta örneğinde % 99.43, portakal örneğinde %98.25 olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Ağırlık tahmini, Sayısal görüntü işleme, Yapay sinir ağı, Çok katmanlı algılayıcı, Radyal tabanlı fonksiyon

### Distance independent weight estimation system based on image processing with artificial neural networks: egg and orange samples

**Abstract:** Measuring the weights of the objects in industrial and academic studies is highly important. Therefore, it is aimed to perform weight estimation as independent of distance and camera angle using artificial neural networks (ANN) based on image processing procedure in this study. Feed-forward multi-layer perceptron (MLP) and radial basis function (RBF) network were used as artificial neural network structure. Orange and egg were selected as sample objects to be estimated the weights. To train and test the system with these samples, 250 eggs samples from 4 different brands and classes (x-large, large, medium, and small) and 150 oranges samples with different sizes were selected. Using these samples, a database containing 750 images for eggs and 450 images for oranges taken under the right angle, positive angle and negative angle was created. The weight estimation system consists of a camera, artificial lighting system, reflector and reference image and also the MATLAB program and toolboxes were used during the weight estimation process. In this study, to establish a system with highest success value was aimed by testing the different feature vectors, images taken from different angles and different ANN parameters. The system created by each change was run five times and arithmetic mean of the results was taken. In addition, the experience, which has the highest success value, was also calculated by K-fold cross validation method to obtain the success value. While the accuracy rate obtained from the results weighted by accurate weighting instrument is 47% according to definition of Turkish food codex egg communicate and classification values written on the egg cartoon, this rate was increased to 90.5% for MLP, 86.3 5 for RBF in this study. Moreover, the success rates of the weight estimation for MLP and RBF were calculated as 99.42% for eggs, 98.20% for oranges and 99.43% for eggs, 98.25% for oranges, respectively.

**Keywords:** Weight estimation, Digital image processing, Artificial neural network, Multi-layer perceptron, Radial basis function

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tel: +90 212 383 5885

Geliş Tarihi/Received: 11.03.2019  
Kabul Tarihi/Accepted: 26.04.2019



0000-0001-8414-3073, buraksalvarci@hotmail.com (Şalvarcı Ü.B.)  
0000-0003-4174-1799, ayten@yildiz.edu.tr (Ayten Ü.E.)\*



## 1. Giriş

Ağırlık ölçümü binlerce yıl öncesinden günümüze gelen ve birçok alanda yaygın olarak kullanılan bir işlemdir. İlk zamanlarda bir dayanak noktasına göre eşit uzaklıklarda ağırlığı bilinen bir kütle ile bilinmeyen bir kütlenin konularak dengeye getirilmesi yöntemiyle ağırlıklar hesaplanmıştır. Zamanla hassasiyetin ve ihtiyaçların artmasıyla; günümüzde, bir platforma yerleştirilen ağırlık sonucunda oluşan baskıyı elektrik sinyaline dönüştüren hassas dijital teraziler gibi farklı çözümler üretilmiştir (URL-1). Günümüzde ise özellikle endüstriyel alanlarda gerçekleştirilen çalışmalarda objelerin ağırlıklarının hızlı ve doğru olarak ölçülmesi oldukça önem taşımaktadır. Bu nedenle farklı yöntemler ile hızlı ve başarılı yüksek ağırlık ölçümü üzerine akademik çalışmalar yaygın olarak gerçekleştirilmiştir.

Literatürde, [Asadi ve Raoufat \(2010\)](#) çalışmasında sayısal görüntü işleme ile yumurtaların ağırlıklarını tahmin etmiştir. Bu çalışmada yük bağlaşımlı aygıt (Charge Coupled Device- CCD) kamera kullanılmıştır. Ayrıca, aydınlatma sistemi ile olası görüntü problemlerinin önüne geçilmiş ve bir adet ayna yardımı ile de objenin farklı açıdan görüntüsü elde edilmiştir. Çok katmanlı algılayıcı (multi-layer erceptron - MLP) kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmada korelasyon katsayısı %96 olarak hesaplanmıştır. [Javadikia, Dehrouyeh, Naderloo, Rabbani ve Lorestani \(2011\)](#) tarafından, ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (adaptive-network based fuzzy inference systems - ANFIS) kullanılarak yapılan başka bir yumurta ağırlığı tahmin çalışmasında 200 görüntü kullanılmıştır. Benzer şekilde CCD kamera ve aydınlatma sistemi ile oluşturulan ölçüm düzeneği ile objelerin ağırlıkları tahmin edilmeye çalışılmış ve korelasyon katsayısı %99.42 olarak hesaplanmıştır. [Alikhanov vd. \(2015\)](#) tarafından yapılan bir çalışmada ise yine CCD kamera ve aydınlatma sistemi ile kurulan ölçüm düzeneğinde yumurta ağırlığının tahmin edilmesi üzerine gerçekleştirilen çalışmada regresyon analizi kullanılmıştır. MATLAB programı ile gerçekleştirilen bu çalışmada korelasyon katsayısı %94.39 bulunmuştur. Literatür taraması sonucunda, ağırlık tahmini ile ilgili yapılan çalışmalarda yumurta dışında somon balıkları, domuzlar, turunçgiller vb. farklı objeler ile uygulamalar gerçekleştirildiği görülmektedir. [Hockaday, Ross ve Tillett \(1997\)](#) ve [Lines vd. \(2001\)](#) tarafından gerçekleştirilen çalışmada 17 balıktan 1-2 metre uzaklıktaki 2 kamera yardımıyla 60 görüntü elde edilmiştir. Bu çalışma sonucunda ortalama kütle ölçüm hatası %18 olarak hesaplanmıştır. [Omid, Khojastehnazhand ve Tabatabaeefer \(2010\)](#) tarafından turunçgiller üzerinde gerçekleştirilen başka bir çalışmada ise portakal, limon, misket limonu ve mandalina kullanılmıştır. Her bir örnek obje için 50 adet görüntü elde edilmiştir. Bu çalışma sonucunda korelasyon katsayısının karesi olan belirleme katsayısı; limonda %96.2, misket limonunda %97, portakalda %98.5 ve mandalinada ise %96 olarak hesaplanmıştır. [Kashiha vd. \(2014\)](#) çalışmasında ise domuzların ağırlıklarını tahmin etmek için 2 farklı deney gerçekleştirmiştir. Her bir deney için elde edilen 156 saatlik görüntü anlık olarak incelenerek transfer fonksiyonu metodu ile domuzların ağırlıkları tahmin edilmiştir. Bu çalışmada %97.5'lik bir başarımlı elde edilmiştir.

Gerçekleştirilen bu çalışmada da yapay sinir ağları (YSA) kullanılarak sayısal görüntü işleme tekniğiyle uzaktan bağımsız olarak ağırlık tahmini yapılmıştır. Tahmin işlemi gıda sektöründe farklı kategorilerde olan yumurta ve portakal örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yumurta, içerdiği besin maddeleri ile insan vücudunun ihtiyaçlarını büyük oranda karşılayabilmektedir. Yapısında bulunan biyolojik değeri yüksek protein sayesinde insan hayatında oldukça önemli bir yere sahiptir. Ayrıca yumurta dünyada olduğu gibi ülkemizde de sevilerek tüketilen bir gıda maddesidir ([Çelebi & Karaca, 2006](#)). Bu nedenle dünyada yumurta üretimi yaygın olarak ve yüksek bir seviyede gerçekleştirilmektedir. Ayrıca yıl bazında yumurtanın üretim değerleri gittikçe artmaktadır ([Çiçekgil, 2014](#)).

Yumurtaya olan ilginin fazla olması ağırlığının hassas ve hızlı olarak ölçülerek, doğru ağırlık sınıfının belirlenmesi gerekliliğini doğurmuştur. Çünkü yumurtalar kutuların üzerinde yazan ağırlık sınıfına uygun olarak paketlenerek satılmaktadır. Yapılan araştırmalar ise geleneksel tüketicilerin yumurtanın ağırlığına dikkat ettiğini göstermektedir ([Çelik & Şengül, 2001](#)). Bundan dolayı üretici firmanın doğru sınıflandırma yaparak yumurtaları paketlemesi müşteri gözündeki kalite

algısını arttıracak ayrıca firma maliyetlerine de doğrudan bir etki oluşturacaktır. Bu nedenle yumurtanın ağırlığına göre olması gerekenin altında sınıflandırılması, üretici firmaya ekstra bir maliyete yol açarken daha üzerinde bir sınıflandırma gerçekleştirilmesi ise müşteri memnuniyetsizliğine neden olmaktadır.

Tavuk üretiminde de yumurta ağırlığının tespit edilmesi önemli bir yere sahiptir. Çünkü yapılan araştırmalar yumurta ağırlığı ile kuluçka performansı arasında yakın bir ilişki olduğunu göstermiştir (Gonzalez, Satterlee, Moharer & Cadd , 1999; Wilson, 1991).

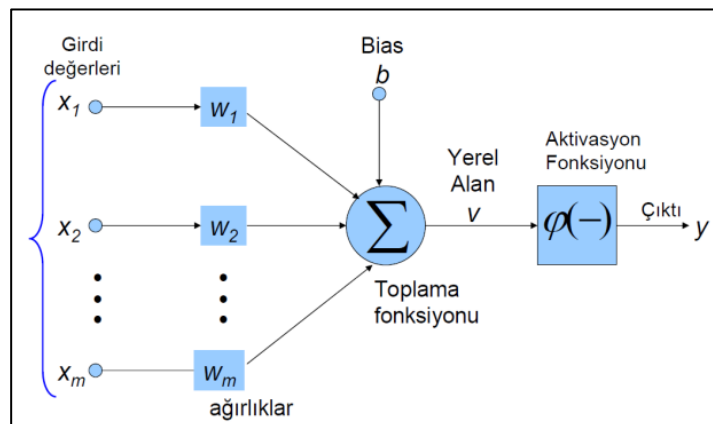
Bu çalışmada diğer bir uygulama örneği olarak portakal seçilmiştir. Çünkü portakalın ağırlığının hesaplanması sürecinde kullanılan yöntem ile diğer meyvelerin ve sebzelerin ağırlıklarının hesaplanmasında kullanılacak olan yöntem benzerlik göstermektedir. Bu nedenle portakal örneklerinin kullanılması, ileride diğer meyve ve sebzeler için de ağırlık tahmininin yapılabilmesinde kolaylık sağlayacaktır.

Ağırlık tahmin işlemi sırasında dama tahtası görüntüsü kullanılarak, uzaklıktan ve kamera açısından bağımsız çalışan ve böylelikle kullanıcı kaynaklı hataların minimize edilmesinin sağlandığı bir sistem elde edilmiştir. Yumurta üzerinde yapılan çalışmalarda sistemin eğitilmesi ve test edilmesi için 4 farklı markadan 4 farklı sınıfta (çok büyük - büyük - orta - küçük) 250 adet örnek yumurta kullanılmıştır. Portakal üzerinde yapılan çalışmalarda ise farklı büyüklüklerde 150 adet portakal örneği kullanılmıştır. Yumurta için negatif, pozitif ve dik açılı olmak üzere 750 adet görüntü, portakal için de negatif, pozitif ve dik açılı olmak üzere 450 adet görüntü içeren bir veri tabanı oluşturulmuştur. Ayrıca, bu ağırlık tahmin sistemi Şalvarcı ve Ayten (2017) tarafından ilk olarak yumurta objesi için MLP kullanılarak gerçekleştirilmiş ve sistemin başarımı hesaplanmıştır. Benzer şekilde Şalvarcı (2017) aydınlatıcı, yansıtıcı ve kameradan oluşan sistemde 250 yumurta örneği kullanılmıştır. Bu sistemin korelasyon katsayısı %99.42 olarak elde edilmiştir. Bu çalışmada, farklı olarak yumurta ve portakal objeleri kullanılmış ayrıca MLP ve radyal tabanlı fonksiyon (radial basis function - RBF) kullanılarak ağırlık tahmini gerçekleştirilmiştir Şalvarcı (2017).

## 2. Yapay Sinir Ağları

YSA'ların temel işleme birimlerine nöron adı verilmektedir. Şekil 1'de örnek bir nöron diyagramı gösterilmektedir. Burada girdi değerleri, ilgili ağırlık ile çarpıldıktan sonra toplama fonksiyonuna iletilmektedir. Toplama fonksiyonuna iletilen değerler (1) eşitliğindeki gibi lineer olarak toplanmaktadır.

$$v = w_{1,1} \cdot x_1 + w_{1,2} \cdot x_2 + \dots + w_{1,m} \cdot x_m + b = w \cdot x_{toplama} + b \quad (1)$$



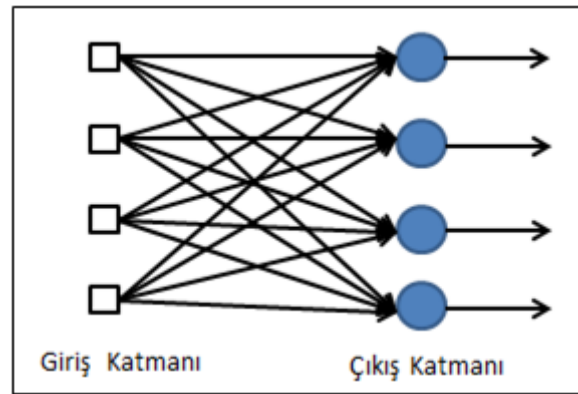
Şekil 1: Lineer olmayan nöron modeli (URL-2)

Bias değeri ile de aktivasyon fonksiyonuna uygulanacak olan girişin azaltılması ve artırılması sağlanabilmektedir. Son olarak, elde edilen çıktı aktivasyon fonksiyonuna uygulanmakta ve nöronun çıktısı elde edilmektedir. Bu çıktı (2) eşitliğinde gösterilmiştir (Haykin, 1994).

$$y = f(w \cdot x_{toplam} + b) \quad (2)$$

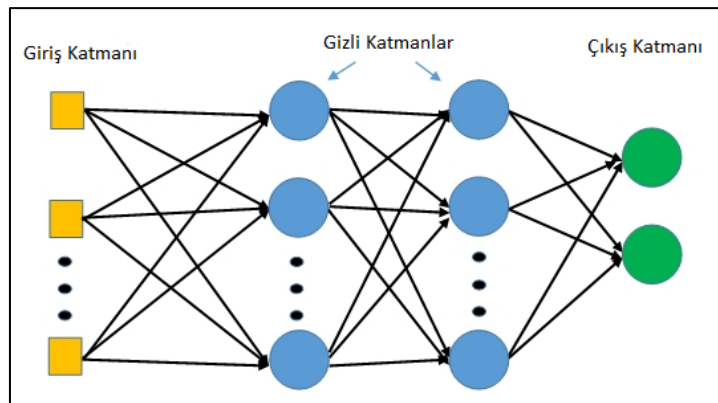
Daha sonra girdilerin ve beklenen çıktı ile elde edilen çıktının arasındaki farkın, öğrenme oranıyla ( $\alpha$ ) çarpılarak ağırlık değerlerine eklenmesiyle öğrenme işlemi gerçekleştirilmektedir.

Tek katmanlı algılayıcılar (single layer perceptron - SLP) 1958 yılında tanımlanmıştır. SLP'ler tek katmandan oluşan ve eğitilebilir ağırlığı bulunan ağlardır ve sadece doğrusal olan problemlere çözüm üretebilmektedir. Tek katmanlı algılayıcı blok diyagramı Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2: Tek katmanlı algılayıcı

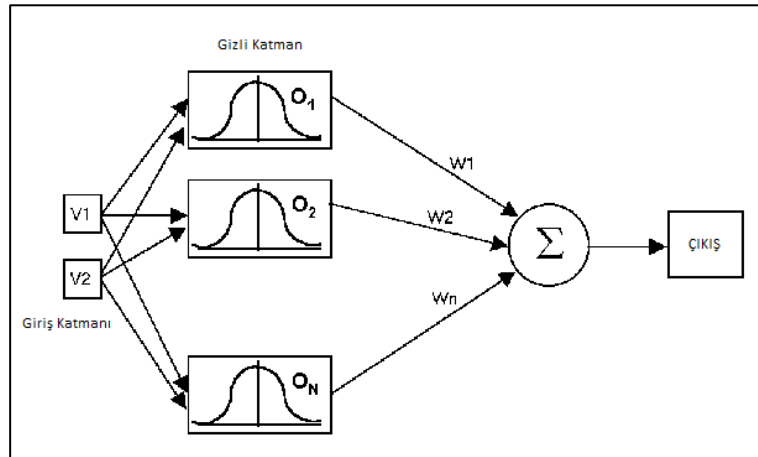
Daha sonra doğrusal olmayan problemlerin çözümüne ihtiyaç duyulmasından dolayı MLP'ler bulunmuştur. MLP'ler giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı olmak üzere 3 katmandan oluşan ağlardır. Giriş katmanında veriler alınarak gizli katmana iletilmektedir. MLP blok diyagramı Şekil 3'te gösterilmektedir. Gizli katmanda bulunan nöron sayısı ve gizli katman sayısı probleme göre değişiklik göstermektedir. Gizli katman sayısı ve gizli katmandaki nöron sayısı belirlenirken çoğu zaman sabit matematiksel metotlar kullanılamamakta, sezgisel bir şekilde bu değerler belirlenmektedir. Son olarak gizli katmandan gelen veriler çıkış katmanında işlenerek, YSA'nın çıktısı elde edilmektedir (Haykin, 1994; Kriesel, 2005).



Şekil 3: Çok katmanlı algılayıcı (URL-3)

RBF ağı da MLP'ler gibi 3 katmandan oluşmaktadır. Bu katmanlar aynı şekilde giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanıdır; fakat RBF'lerde 1 adet gizli katman bulunmaktadır. RBF'ler ileri beslemeli ağlardır ve bütün katmanlar birbirine

bağlıdır. Giriş katmanı gizli katmana ağırlıksız olarak bağlanmıştır. Bu nedenle ağa uygulanan başlangıç koşullarından çok fazla etkilenmemektedir (Kriesel, 2005). RBF ağı blok diyagramı Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4: Radyal temelli fonksiyon ağı (URL-4)

### 3. Materyal ve Metot

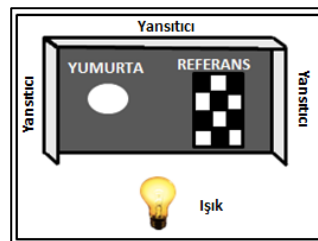
Bu bölümde sınırlı çerçevede uzaklıktan bağımsız olarak objelerin ağırlıklarının tahmin edilmesi işlemi sırasında kullanılan materyal ve metotlar ayrıntılı olarak verilmiştir.

#### 3.1 Ölçüm Düzeneği ve Kameranın Kalibrasyonu

Uzaklıktan ve kamera açısından sınırlı çerçevede bağımsız çalışabilen ve alınacak olan görüntülerin ışık değişimlerinden minimum düzeyde etkileneceği bir ölçüm düzeneği oluşturulmuştur. Görüntü verilerinin düzgün alınabilmesi için kamera kalibrasyonu ve görüntü dönüşümleri gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde bu işlemler sırasıyla verilecektir.

##### 3.1.1 Ölçüm Düzeneği

Ağırlığı ölçülecek objenin ve referans görüntünün tam olarak belirlenebilmesi amacıyla ölçüm düzeneği oluşturulmuştur. Oluşturulan ölçüm düzeneği bir adet doğrusal ışık, yansıtıcılar, referans görüntü ve kameradan oluşmaktadır. Yansıtıcılar doğrusal ışığı yansıtarak objenin ve referans görüntünün belirlenmesi ve öznitelik vektörlerinin çıkarılması aşamasında ışık yetersizliğinden dolayı oluşacak hataları minimize etmek amacıyla kullanılmıştır. Referans görüntü ile de sınırlı çerçevede kamera açısından ve uzaklığından bağımsız olarak ağırlık tahmin işlemi gerçekleştirilmektedir. Oluşturulan ölçüm düzeneği Şekil 5'te gösterilmiştir.

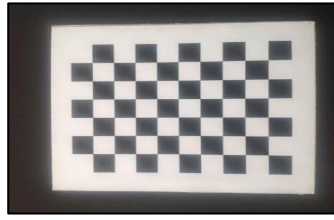


Şekil 5: Ölçüm düzeneği

##### 3.1.2 Kameranın Kalibre Edilmesi

Objelerin ağırlıklarının tahmin edilmesi sırasında objelerin görüntüleri tek bir kamera kullanılarak elde edilmiştir. Kamera

olarak 4. nesil Ipad kamerası kullanılmıştır. Bu kamera 2592x1936 piksel çözünürlüğüne sahiptir. Kamera kalibrasyonu MATLAB programı ile yapılmıştır. Tek bir kamera ile görüntülerin elde edilmesi nedeniyle kalibrasyon işlemi sırasında “MATLAB SINGLE CALIBRATION APP” kullanılmıştır. Kamera parametreleri genellikle iç yöneltme ve dış yöneltme parametreleri olarak ikiye ayrılmaktadır. İç yöneltme elemanları asal noktanın konumu ve kameranın odak uzaklığıdır. Dış yöneltme parametrelerinden olan izdüşüm merkezi, üç boyutlu koordinat sisteminde belirlenmektedir. Objelerin koordinatları ise 3 boyutlu olarak kamera merkezli koordinat düzlemine göre dönüştürülmektedir (Heikkilä & Silven, 1997). Gerçekleştirilen bu çalışmada da kullanılan kameranın iç yöneltme, dış yöneltme ve distorsiyon parametreleri incelenmiştir ve bu parametrelerin değerlerine göre uygun kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir (Kraus, 2007). Kalibrasyon işlemi sırasında 10x7'lik dama tahtası (checkerboard) görüntüsü kullanılmıştır. Kalibrasyon için kullanılan örnek bir dama tahtası görüntüsü Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6: Kullanılan dama tahtası görüntüsü

Farklı açılardan elde edilmiş 38 farklı dama tahtası görüntüsü MATLAB içerisine aktarılmıştır. Kalibrasyon sırasında bu görüntülerden bazıları reprojeksiyon hatası ve kamera dış yöneltme parametreleri baz alınarak sistemden çıkarılmıştır. Reprojeksiyon hatası, elde edilen değer ile beklenen değer arasındaki piksel farkından kaynaklanan ortalama hatadır (Hartley & Zisserman, 2003). Reprojeksiyon hatası 1.1 pikselden büyük olan görüntüler ile kamera dış yöneltme parametreleri incelendiğinde dama tahtası görüntüsünün kamera koordinatına göre yanlış konumlandığı tespit edilen görüntüler hatalı olarak değerlendirilerek kamera kalibrasyonuna dahil edilmemiştir. Bu kontroller sonucunda 6 görüntü çıkarılarak, kalan 32 görüntü ile kameranın kalibrasyon işlemi tamamlanmıştır.

### 3.1.3 Görüntü Dönüşümleri

Kameranın, ölçüm düzeneğinde sabit bir mesafede ve sabit bir açı ile yer almamasından dolayı görüntü dönüşümlerinin yapılması gerekmektedir. Öncelikli olarak merkez noktası referans alınarak saat yönünün tersine görüntünün belirli bir açıda döndürülmesiyle görüntü sisteme uygun hale getirilmektedir. Sonraki aşamada ise bütün görüntüler normalize edilmektedir. Objelerin ağırlıklarının tahmin edilmesi işleminde uzaklıktan ve kamera açısından bağımsız olması nedeniyle kameranın koordinatları  $(x, y, z)$  farklılık göstermektedir. Ayrıca tek bir kameranın kullanılmasına rağmen dik, negatif ve pozitif açılar ile objenin görüntüleri elde edilmiştir. Bu nedenle kamera koordinatlarından kaynaklanan, perspektif görüntüde oluşacak olan farklılıkların giderilmesi gerekmektedir. Kamera koordinatının, görüntünün elde edilmesi aşamasında tam dik bir iz düşüm oluşturacak şekilde normalize edilmesi amacıyla projektif dönüşüm uygulanmıştır. 8 parametrelilik projektif dönüşüm ile görüntü düzleme çevrilmiştir. Eşitlik 3 ve 4'de gösterildiği gibi her bir nokta için iki eşitlik yazılmalıdır. Objenin koordinatları  $x''$  ve  $y''$  ile görüntü koordinatları ise  $x'$  ve  $y'$  ile gösterilmektedir. Bilinmeyen parametreler ise  $a, b, c, d, e, f, g, h$  ile gösterilmektedir ve 8 farklı eşitlik ile bu parametreler hesaplanmaktadır (Aydar, 2007).

$$x'' = \frac{a.x' + by' + c}{g'.x' + h.y' + 1} \quad (3)$$

$$y'' = \frac{d.x' + ey' + f}{g'.x' + h.y' + 1} \quad (4)$$

Projektif dönüşüm referans görüntü yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Öncelikli olarak referans görüntü olarak kullanılan dama tahtası görüntüsünün referans noktaları ve boyutu belirlenmektedir. Belirlenen bu değerler ve beklenen değerler arasındaki farklar ile görüntüye uygulanacak olan geometrik dönüşüm hesaplanmıştır. Son olarak belirlenen geometrik dönüşüm, görüntüye uygulanarak görüntü dönüşümleri tamamlanmaktadır.

### 3.2 Belirlenen Öznitelik Vektörleri

Sistem performansı belirlenirken ve ağırlık tahmin işlemi sırasında, ağırlığı tahmin edilecek objelerin öznitelik vektörlerinden yararlanılmaktadır. Öznitelik vektörleri objelerin kendine özgü karakteristik özellikleridir ve bu nedenle objeden objeye bu karakteristik özellikler değişmektedir. Öznitelik vektörlerini doğru olarak belirlemek sistem performansını önemli ölçüde etkileyen en kritik parametrelerden biridir. Genel olarak öznitelik vektörlerinin belirlenmesi aşamasında belirli matematiksel metotlar kullanılmamaktadır. Bu aşamada sezgisel yaklaşım kullanılmakta ve dolayısıyla tasarımcının tecrübesi oldukça önem kazanmaktadır (Çölkesen, 2009).

Objelerin ağırlıkları tahmin edilirken, belirlenmiş olan öznitelik vektörleri sistemin girişine uygulanmakta ve sistemin çıkış değeri ilgili objenin tahmini ağırlığını vermektedir.

Farklı öznitelik vektörleri ile farklı başarımlar elde edileceği için farklı öznitelik vektörleri test edilmiş ve test edilen öznitelik vektörlerine göre başarımlar iletleyen bölümlerde açıklanmıştır.

Sistemde kullanılan öznitelik vektörleri;

A) *Objenin Yüzey Alanı*: Ağırlığı ölçülecek olan obje ve referans görüntü tespit edildikten sonra kapladıkları alanlar piksel değeri cinsinden hesaplanmaktadır. Referans görüntüdeki kareler 2 boyutlu görüntü koordinatları  $(x, y)$  şeklinde tanımlanmıştır. Birinci siyah karenin diğer siyah kare ile kesişim noktası  $(x_i, y_i)$ , sağ üst köşedeki siyah karenin diğer siyah kare ile kesişim noktası  $(x_l, y_l)$ , sol alt köşedeki beyaz karenin diğer beyaz kare ile kesişim noktası  $(x_k, y_k)$  ile gösterilmektedir. Referans görüntüdeki karelerin kenar uzunlukları  $k$  ile yatayda bulunan siyah ve beyaz kare sayısı  $d_x$  ile ve dikeyde bulunan siyah ve beyaz kare sayısı  $d_y$  ile tanımlanmıştır. Bu parametreler yardımıyla  $ra$  ve  $rb$  değerlerini veren ifadeler (5) ve (6)'da gösterilmiştir. Bu değerlerin çarpılması ile de (7)'de gösterilen dönüşüm katsayısı ( $\sigma$ ) elde edilmektedir. Dönüşüm katsayısı ile ağırlığı tahmin edilecek objenin piksel değeri çarpılarak  $cm^2$  cinsinden alan hesaplanmaktadır.

$$ra = ((dx - 1) \times k) \div [(x_i - x_l)^2 + (y_i - y_l)^2]^{-\frac{1}{2}} \quad (5)$$

$$rb = ((dy - 1) \times k) \div [(x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2]^{-\frac{1}{2}} \quad (6)$$

$$\sigma = ra \times rb \quad (7)$$

B) *Objenin Çevresi*: Ağırlığı tahmin edilecek objenin çevresi, piksel değerinde hesaplanmakta ve  $cm$ 'ye dönüştürülmektedir. Dönüştürme işlemi sırasında dönüşüm katsayısı ( $\rho$ ) ile objenin çevresinin piksel değeri çarpılmaktadır. Dönüşüm katsayısının hesaplanması (8)'de gösterilmiştir.

$$\rho = \frac{ra+rb}{2} \quad (8)$$

C) *Merkeze En Uzak Kenar Noktası (MEUKN)*: Ağırlığı tahmin edilecek objenin merkez noktası  $(x_m, y_m)$  ile objenin sınır noktaları ise  $(x_n, y_n)$  ile gösterilmektedir. Objenin sınırları belirli sayıda  $t$  adet tam sayıdan oluşacak şekilde belirlenerek, her

bir sınır noktası için merkeze olan Öklid uzaklığı hesaplanmaktadır. Bu Öklid uzaklıklarından en büyüğü merkeze en uzak kenar noktasını vermektedir. En uzak kenar noktasını belirlemek için kullanılan yöntem (9)'da gösterilmiştir.

$$\max(d) = \max([(x_m - x_n)^2 + (y_m - y_n)^2]^{-\frac{1}{2}}) \quad (9)$$

$$n = 1, 2, 3, 4, \dots, t$$

D) *Merkeze En Yakın Kenar Noktası (MEYKN)*: En uzak kenar noktasını hesaplama yöntemine benzer şekilde en yakın kenarı hesaplama yöntemi (10)'da verilmiştir. Öklid uzaklıklarından en küçüğü merkeze en yakın kenar noktasını vermektedir.

$$\min(d) = \min([(x_m - x_n)^2 + (y_m - y_n)^2]^{-\frac{1}{2}}) \quad (10)$$

$$n = 1, 2, 3, 4, \dots, t$$

E) *Yuvarlaklık*: Yuvarlaklık öznelik vektörünün hesaplanma yöntemi (11)'de gösterilmiştir.

$$R = \frac{\min(d)}{\max(d)} \quad (11)$$

### 3.3 Veri Tabanı

Oluşturulan sistemde bir adet veri tabanı bulunmaktadır. Bu veri tabanı portakal ve yumurta verileri için iki farklı tabloya sahiptir. Veri tabanı bünyesindeki ilgili tablolarda; sistemin eğitilmesi, test edilmesi ve doğrulanması için kullanılan yumurta ve portakal örneklerinin 3 farklı açıdan çekilmiş görüntüleri, her bir görüntü için öznelik vektörü değerleri ve bu örneklerin hassas tartı ile ölçümleri sonucunda elde edilen ağırlıkları yer almaktadır. Bu veri tabanına bilgi aktarım sürecini gösteren akış diyagramı Şekil 7'de verilmiştir.

Yumurta ve portakal örneklerinin görüntüleri tek bir kamera ile pozitif, negatif ve dik açı olacak şekilde 3 farklı açıdan elde edilmiştir. Bu açılar Şekil 8'de gösterilmiştir. Üç farklı açıdaki kamera konumları ise her bir obje için değişkendir. Bu açılar, sistemin farklı açılardan elde edilen görüntülere göre başarımını değerlendirmek ve optimum sistem parametrelerinin bulunması amacıyla kullanılmıştır. Her bir açı için de 5 temel öznelik vektörü hesaplanmakta, toplamda ise 15 öznelik vektörü sisteme farklı kombinasyonlarda uygulanmaktadır. Farklı açılardan elde edilmiş bu görüntüler aynı anda veya ayrı ayrı sisteme uygulanarak sistem başarımı ölçülmüştür. Bu yöntemle tek bir kamera kullanılmasından kaynaklı hataların minimize edilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca veri tabanı içerisindeki her bir görüntüde referans görüntü de bulunmaktadır. Buna ek olarak veri tabanına eklenecek yumurta ve portakal örnekleri seçilirken objelerin farklı boyutlarda ve farklı ağırlıklarda olmasına dikkat edilmiştir. Kurulan ağırlık tahmin sisteminin veri tabanında bu özelliklerde 1200 adet görüntü, her bir görüntü için 5 temel öznelik vektör değeri ve hassas tartı ile ölçülmüş ağırlık değeri bulunmaktadır.

#### 3.3.1 Kullanılan Portakal Örnekleri

Veri tabanına, 150 farklı portakal örneğinin 3 farklı açıdan elde edilmiş 450 adet görüntüsü eklenmiştir. Bu örnekler belirlenirken farklı ağırlıklarda, farklı büyüklük ve şekillerde olmasına dikkat edilmiştir. Hassas tartı ile ölçülerek veri tabanına eklenen portakal örneklerindeki en hafif portakal 89 gr ve en ağır portakal 178 gr'dır. Portakalların ortalama ağırlık değeri ise 119.9 gr olarak hesaplanmıştır.

#### 3.3.2 Kullanılan Yumurta Örnekleri

Veri tabanına eklenmek üzere 250 adet yumurta örneği kullanılmıştır. Bu yumurta örnekleri seçilirken farklı boyutlarda ve farklı ağırlıklarda olmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca sınıflandırma başarımının tek bir marka özelinde değerlendirilmemesi

için 4 farklı marka tarafından piyasada satılan yumurtalar tercih edilmiştir.

Paket üzerinde yazan sınıflandırma değerlerine göre 60 adet çok büyük, 90 adet büyük, 40 adet orta, 60 adet küçük boyutta yumurta satın alınmıştır. Yumurta ağırlıklarının sınıflandırılması Türk Gıda Kodeksi Yumurta Tebliği'ne göre yapılmaktadır. Satın alınan yumurta örneklerinin hassas tartı ile ölçülmesi sonucunda, Türk Gıda Kodeksine göre 9 adet çok büyük, 103 adet büyük, 89 adet orta, 49 adet küçük boyutta yumurta olduğu görülmüştür. A sınıfı yumurtaların Türk Gıda Kodeksine göre ağırlık sınıflandırılması Tablo 1'de verilmiştir.

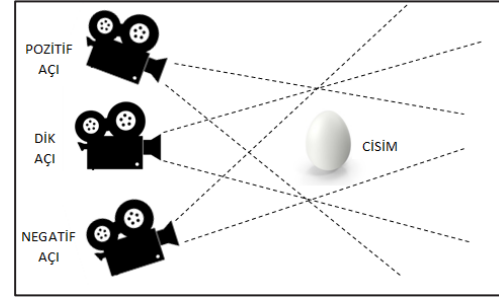


Şekil 7: Veri tabanına veri yazma süreci akış diyagramı

Veri tabanına, 3 farklı açıdan elde edilmiş 750 adet yumurta örneği görüntüsü eklenmiştir. Hassas tartı ile ölçülerek veri tabanına eklenen yumurta örneklerindeki en hafif yumurta 32 gr ve en ağır yumurta 75 gr'dır. Yumurtaların ortalama ağırlık değeri ise 60.5 gr olarak hesaplanmıştır.

### 3.4 Yapay Sinir Ağları ile Ağırlık Tahmini

Objelerin ağırlıklarının tahmin edilebilmesi için yapay sinir ağları kullanılmıştır ve bu tahmin işleminin yüksek doğruluk oranı ile gerçekleştirilebilmesi amacıyla MLP ve RBF ağları test edilmiştir. RBF ağının karesel ortalama hata hedefi, ekranlar arasına eklenecek nöron sayısı, yayılma değerleri ve giriş katmanındaki nöron sayıları değiştirilmiştir. MLP'de ise öğrenme katsayısı, iterasyon katsayısı, gizli katman sayısı, gizli katmandaki nöron sayısı, aktivasyon fonksiyonları, öğrenme fonksiyonu gibi parametreler değiştirilmiştir. Ayrıca farklı öznelik vektörleri ve ağırlığı tahmin edilecek örnek objelerin farklı açıdan elde edilmiş görüntüleri kullanılarak sistemin başarımı hesaplanmıştır.



Şekil 8: Kamera açıları

Tablo 1: A sınıfı yumurtalarda ağırlık sınıfları (URL-5)

Ağırlık Sınıfı	Ağırlık
XL-Çok Büyük	>73 gr
L-Büyük	>63 – <73 gr
M-Orta	> 53 – <63 gr
S-Küçük	<53 gr



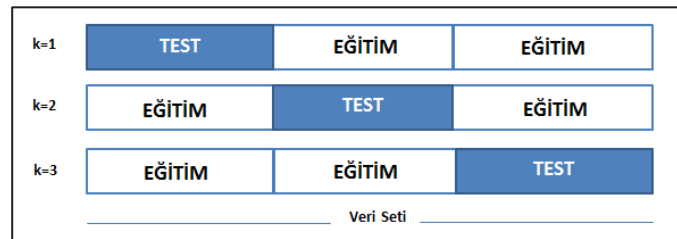
### 3.4.1 Sistem Başarımının Hesaplanması

Sistemin başarımı hesaplanırken veri tabanında bulunan portakal ve yumurta örneklerini içeren tablolar rastgele olarak %70'i eğitim, %15'i test ve %15'i doğrulama işlemi için bölünmüştür. Kurulmuş olan sistemin eğitilmesi, test edilmesi ve doğrulanması aşamasında rastlantısal olarak veri kümelerinin oluşturulması sistem başarımının belirlenmesinde de bir belirsizliğe yol açmaktadır. Bu belirsizliği gidermek için rastgele olarak belirlenen bu veri kümeleri 5'er kez sisteme uygulanarak, her bir uygulama için ortalama mutlak hata (mean absolute error - MAE) ve korelasyon katsayısı ( $R$ ) değerleri elde edilmektedir. Elde edilen bu değerlerin aritmetik ortalaması ilgili veri kümesinin başarımını oluşturmaktadır. Sistem başarımı ise sisteme uygulanan eğitim, test ve doğrulama verilerinin içinde bulunduğu genel veri kümesinin MAE ve  $R$  değer ortalamaları ile hesaplanmaktadır. Buna ek olarak; eğitim verisinin az olduğu durumlarda da başarımı en yüksek olan denemenin verdiği tepkinin ölçülebilmesi için, eğitim, test ve doğrulama oranları değiştirilerek sistem başarımı tekrar hesaplanmıştır. Son olarak da  $K$ -katlı çapraz doğrulama yöntemi (KKÇDY) uygulanmış böylece veri kümesindeki eğitim, test ve doğrulama verilerinin rastlantısal olarak oluşturulmasından kaynaklı hataların minimize edilmesi sağlanmıştır.

### 3.4.2 K-Katlı Çapraz Doğrulama Yöntemi

Yapılan çalışmalar, KKÇDY ile elde edilen sonuçların, veri kümesinin oluşturulması sırasında kullanılan rastlantısalılıktan etkilenme oranının azaldığını göstermiştir (Kohavi, 1995).

Elde edilen veri kümesi, KKÇDY'de  $k$  adet, yaklaşık olarak eşit büyüklüklerde alt kümelere bölünmektedir. Bu alt kümelere  $k-1$  tanesi sistemi eğitmek için kullanılmakta, geriye kalan diğer alt küme ise sistemi test etmek için kullanılmaktadır. Bu yapıyı gösteren ve  $k=3$  için oluşturulmuş örnek veri seti Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9:  $k=3$  için örnek veri seti

Sistemin başarımı ise, her bir  $k$  değeri için oluşturulan veri setinin sisteme uygulanmasıyla hesaplanmaktadır. Her bir  $k$  için elde edilen hata değerinin ortalaması, sistemin genel hata ortalamasını vermektedir. KKÇDY ile elde edilen başarıım oranı (12)'de gösterilmiştir (James, Witten, Hastie & Tibshirani, 2013).

$$\text{Başarıım Oranı} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \text{Ortalama Hata}_i \quad (12)$$

Gerçekleştirilmiş olan bu çalışmada  $k=5$  olarak seçilerek 5 katlı çapraz doğrulama yöntemi uygulanmıştır.

### 3.4.3 Yapay Sinir Ağının Eğitilmesi ve Test Edilmesi

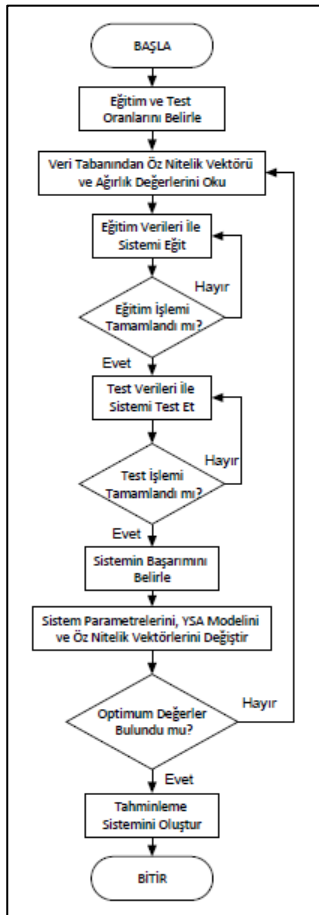
YSA'nın eğitilmesi ve test edilmesi için ilk olarak veri kümesindeki eğitim ve test verilerinin oranları belirlenmektedir. Her bir görüntünün öznetelik vektörleri ve hassas tartı ile ölçüm sonucunda elde edilen ağırlık değerleri veri tabanında kayıtlı olduğundan sistemi eğitmek için belirlenen veriler veri tabanından okunarak YSA'nın girişine uygulanmaktadır. Veri tabanından okunan, beklenen değer ile YSA'nın çıktısı olarak elde edilen değer karşılaştırılarak sistemi eğitme işlemi gerçekleştirilmektedir. Daha sonra sistemi test etmek için ayrılan veriler ile sistem test edilmektedir. Sistemin eğitilmesi ve test edilmesi sonucunda oluşan hata değeri ise sistemin başarımını oluşturmaktadır. Başarımı en yüksek sistemin kurulması

amacıyla YSA modeli, YSA parametreleri ve objenin öznitelik vektörleri değiştirilerek, sistemin eğitilmesi ve test edilmesi süreçleri tekrarlanmaktadır. Bu işlemler optimum parametrelere ulaşılan kadar devam etmektedir. Son olarak, elde edilen optimum parametreler ile ağırlık tahmin sistemi oluşturulmuştur. Sistemin eğitilmesi ve test edilmesi süreçlerini içeren akış diyagramı Şekil 10'da verilmiştir.

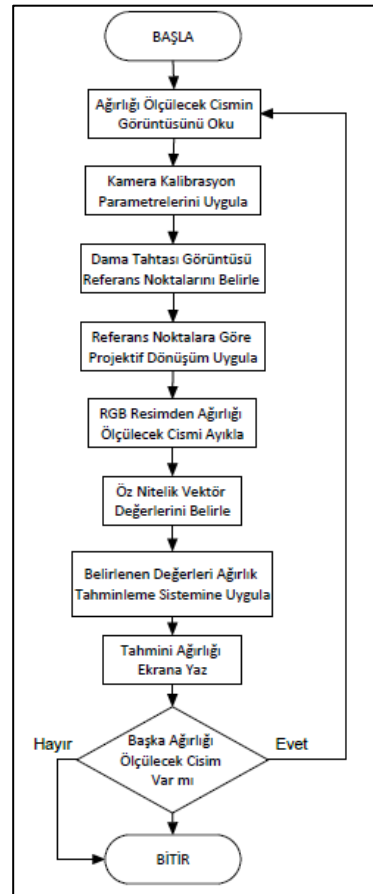
Ağırlık tahmin sistemi yumurta ve portakal örnekleri için optimum sonuç vermesi amacıyla oluşturulmuştur. Farklı objelerin ağırlıklarının tahmin edilmesi sırasında oluşturulan bu sistem aynı başarıyı vermeyebilir. Bu nedenle akış diyagramındaki süreçlerin, farklı objeler için tekrar uygulanarak optimum YSA modelinin, parametrelerinin ve öznitelik vektörlerinin belirlenmesi gerekebilir.

### 3.4.4 Ağırlık Tahmini

Başarımı en yüksek olan öz nitelik vektörlerine, YSA modeline ve parametrelerine göre oluşturulan sistemde, objelerin ağırlıkları tahmin edilerek ekranda gösterilmektedir. Ağırlık tahmin etme işlemi için öncelikli olarak ağırlığı tahmin edilecek objenin öznitelik vektör değerlerinin elde edilmesi gerekmektedir. Bu öznitelik vektörlerinin çıkarılması sırasında MATLAB programı kullanılmaktadır. Çıkarılan öznitelik vektörleri ise sistemin girişine uygulanmaktadır. Sistem öznitelik vektörü değerlerine karşılık objenin ağırlığını tahmin ederek ekrana yazdırmaktadır. Ağırlığı tahmin edilecek başka objelerin de olması durumunda bu işlemler tekrarlanmaktadır. Tahmin işlemi akış diyagramı Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 10: Sistemin eğitilmesi ve test edilmesi süreci akışı diyagramı

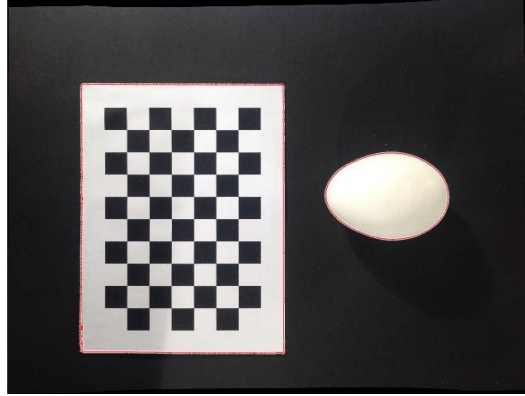


Şekil 11: Tahmin işlemi akışı diyagramı

Farklı objelerin ağırlıklarının tahmin edilmesi durumunda ise YSA'nın eğitilmesi ve test edilmesi işlemleri tekrar gerçekleştirilerek ağırlığı ölçülecek obje için başarıyı en yüksek sonucu veren sistem parametrelerinin belirlenmesi, sistemin hassasiyetini arttıracaktır.

### 3.5 Objenin Görüntüden Ayrılması

Objeler görüntüden ayıklanırken iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlar, görüntünün piksel piksel incelenerek kod dizilerinin yazılmasıyla oluşturulmuş hassas ölçüm ve MATLAB fonksiyonları kullanılarak oluşturulmuş hızlı ölçümdür. Işığın yetersiz olması gibi bazı durumlarda objenin hatalı olarak tespit edilmesinden kaynaklı olarak oluşacak hatalı tahminlerin önüne geçmek amacıyla hassas mod özelliği eklenmiştir. Buna rağmen birçok görüntüde hızlı ölçüm kullanmak yeterli olmaktadır. Objenin ayıklanması sonrasında sınırların belirlendiği örnek görüntü Şekil 12’de gösterilmiştir.



Şekil 12: Objenin sınırlarının belirlendiği örnek görüntü

#### 3.5.1 Hızlı Ölçüm ile Obje Ayıklama Yöntemi

RGB (Red-Green-Blue) renk formatında sisteme yüklenen görüntüler ton ve saturasyon bilgilerinden bağımsız, parlaklığı korunacak şekilde gri düzeyli görüntüye dönüştürülmektedir. Gri düzeyli renklerin görüntüdeki tekrarlarına bakarak eşik değerinin belirlendiği Otsu metodu kullanılarak eşik değeri belirlenmektedir. Belirlenen bu eşik değerine göre görüntü ikili renk formatına dönüştürülmektedir. Daha sonra 10 000 pikselden az olan bağlantılı objeler görüntüden silinmektedir. Ayrıca belirlenen ufak hatalar da temizlenmektedir. Son olarak ayıklanan objenin sınır noktaları belirlenerek, başlangıçta yüklenen görüntü üzerinde işaretleme yapılmaktadır.

#### 3.5.2 Hassas Ölçüm ile Obje Ayıklama Yöntemi

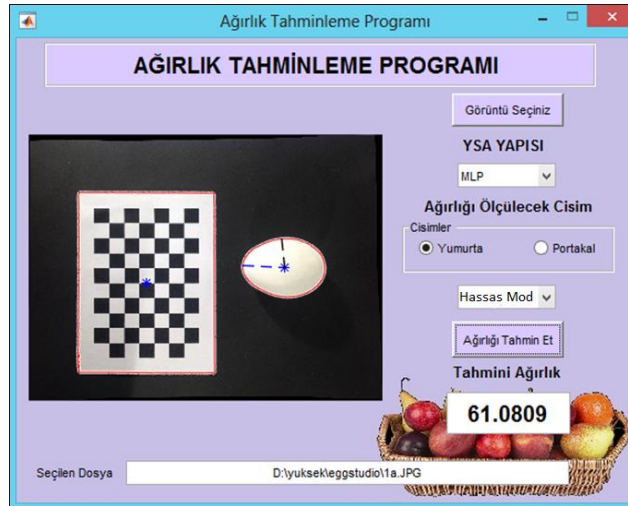
RGB renk formatında sisteme yüklenen görüntünün piksel değeri “double” veri türüne dönüştürülmektedir. Her bir piksel teker teker incelenmekte, bir alt piksel 0.56’den büyük veya pikseldeki 3 rengin (Kırmızı, Yeşil ve Mavi) ortalaması 0.56’den büyük ise obje var olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca, 0.30’dan büyük bir alt piksel diğer alt piksellerin iki katından büyük ise de “obje var” olarak işaretlenmektedir. Eğer 3 rengin piksel ortalaması 0.25’ten küçük ise obje yok olarak değerlendirilmektedir. Daha sonra görüntü gri düzeyli görüntüye dönüştürülmekte ve 5x5 matris boyutundaki gürültüleri temizlemek için medyan filtresi uygulanmaktadır. Sonraki aşamada alt piksel değeri 0.30’dan büyük olan ve önceki aşamalarda durumu “obje var” ya da “obje yok” olarak değerlendirilememiş pikseller komşu pikseller ile karşılaştırılmaktadır. Bu pikselin, önceki değerlendirme sürecinde “obje var” olarak değerlendirilen piksele komşu olması durumunda ve aralarındaki fark %10’dan küçük olan komşu alt pikseller var ise (alt pikseller karşılaştırılırken aynı renkteki komşu alt pikseller ile karşılaştırma yapılmaktadır), bu piksel de “obje var” olarak değerlendirilmektedir. Böylelikle objenin sınırları daha hassas belirlenebilmektedir. Daha sonra karar verilememiş piksellerin bulunması durumunda, her bir pikselin RGB bileşenleri için ortalama renk değeri hesaplanarak bir eşik değeri belirlenmektedir. Bu eşik değerinin altında kalan pikseller “obje yok” olarak değerlendirilmekte, diğer pikseller ise “obje var” olarak değerlendirilmektedir. Son olarak hızlı ölçüm yöntemindeki gibi 10 000 pikselden az olan bağlantılı objeler görüntüden silinmekte, ufak hatalar temizlenmekte ve

obje görüntü üzerinde işaretlenmektedir.

Buradaki sayısal değerler bulunurken sezgisel yöntem kullanılmıştır. Bu değerler bu çalışmada kullanılan yumurta ve portakal örnekleri için uygulanabilir olmakla birlikte başka problemler için yeni değerlerin bulunması gerekebilir.

### 3.6 Kullanıcı Arayüzü

Kullanıcı arayüzü, başarıyı en yüksek sistem parametreleri baz alınarak oluşturulmuştur. Bu sistemde eş zamanlı olarak sadece bir adet objenin ağırlığı tahmin edilebilmektedir. Öncelikle, oluşturulan arayüzde ağırlığı tahmin edilecek objenin ne olduğu seçilmelidir. Daha sonra ise ilgili objenin görüntüsü, arayüz aracılığıyla sisteme yüklenmelidir. Ağırlık tahmini sırasında kullanılacak olan YSA yapısı da arayüz üzerinden değiştirilebilmektedir. Ayrıca, hassas ölçüm yapılmak istenirse, hassas mod seçiminin yapılması gerekmektedir. İlgili seçimler yapıldıktan sonra “Ağırlığı Tahmin Et” butonuna basılarak ağırlık tahmin işlemi gerçekleştirilmekte ve tahmini ağırlık ekrana yazdırılmaktadır. Bu seçimlerden bir tanesinin yapılmaması durumunda, sistem uyarı mesajıyla kullanıcıyı bilgilendirmektedir. Sistem çıktısı olarak; objenin ağırlığının yanı sıra ağırlığı tahmin edilecek objenin ve referans görüntünün sınırları, merkez noktası, merkeze en uzak ve en yakın kenar noktaları, seçilen görüntünün dosya yolu da kullanıcıya sunulmaktadır. Kullanıcı arayüzü ve ağırlık tahmin işlem sonucu için bir örnek Şekil 13’de gösterilmiştir.



Şekil 13: Kullanıcı arayüzü

## 4. Bulgular

RBF için karesel ortalama hata hedefi, ekranlar arasına eklenecek nöron sayısı, giriş katmanındaki nöron sayıları gibi değerler, MLP için ise öğrenme katsayısı, iterasyon katsayısı, gizli katman sayısı, gizli katmandaki nöron sayısı gibi değerler değiştirilerek farklı denemeler gerçekleştirilmiştir. Her bir deneme için sistem performans değerleri incelenerek başarıyı en yüksek sistem oluşturulmuştur.

Performansı en yüksek olan sistem belirlenirken öncelikle eğitim, test ve doğrulama verilerini içeren genel veri kümesinin R değeri baz alınmıştır. Böylelikle bütün veri kümelerinin, sistemin performansı üzerindeki etkisi göz önünde bulundurulmuştur. R değerinin aynı olması durumunda genel veri kümesinin MAE değerine bakılmıştır. Bu değerlerin de aynı olması durumunda sırasıyla test, doğrulama ve eğitim kümelerinin R ve MAE değerlerine bakılarak sistem başarımları belirlenerek denemeler sıralanmaktadır.

Denemeler sezgisel yöntem kullanılarak oluşturulmaktadır. Öncelikli olarak 5 temel öznelik vektörü farklı kombinasyonlarda sabit YSA parametreleri ile test edilmekte ve en yüksek başarıyı veren öznelik vektörü veya vektörleri belirlenmektedir. Daha sonra ise belirlenen bu öznelik vektörleri sabit tutularak YSA parametreleri farklı kombinasyonlarda değiştirilmekte ve YSA parametrelerinin sistem performansı üzerindeki etkisi incelenmektedir. Son olarak performansı yüksek olan YSA parametreleri ve temel öznelik vektörleri sabit tutularak, farklı açılardan elde edilmiş görüntülerin de öznelik vektörleri sisteme uygulanmakta ve başarıyı en yüksek olan sistem elde edilmektedir.

#### 4.1 Yumurta Simülasyonu

Yumurta örneği için MLP ile 20 farklı deneme RBF ile 11 farklı deneme gerçekleştirilmiştir. Daha sonra başarıyı en yüksek olan sonuçlar için KKÇDY uygulanmıştır. RBF ve MLP için en iyi ağırlık tahmini yapan 5 denemenin birbirlerinden farklı parametreleri sırasıyla Tablo 2 ve Tablo 3 ile verilmiştir. Bu denemelerin sonuçları ise Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 2:** RBF için en başarılı denemelerin parametreleri

Denemeler	D-3	D-7	D-2	D-9	D-4
Giriş Sayısı	5	4	5	12	5
Temel Öznelik Vektörleri	5	4	5	4	5
Yayıma Değeri	100	100	1	100	1000

**Tablo 3:** MLP için en başarılı denemelerin parametreleri

Denemeler	D-19	D-9	D-5	D-8	D-14
Gizli Katman Nöron Sayısı	40	40	20	20	40
Gizli Katman Aktivasyon Fonk.	Tanj. Sig.	Tanj. Sig.	Tanj. Sig.	Linear	Tanj. Sig.
Çıkış Katmanı Aktivasyon Fonk.	Tanj. Sig.	Tanj. Sig.	Tanj. Sig.	Linear	Tanj. Sig.
Öğrenme Fonksiyonu	GDX	GDX	GDX	GDX	GDA
Öğrenme Oranı	0.5	0.1	0.5	0.1	0.5

Tanj. Sig.= Tanjant sigmoid, GDX= Momentum ile gradiyent azalan ve adaptif öğrenme oranlı geri yayılım (gradient descent with momentum and adaptive learning rate backpropagation), GDA= Adaptif öğrenme oranı ile gradiyent azalan geri yayılım.

**Tablo 4:** RBF ve MLP için denemelerin başarıları

Denemeler	RBF					MLP				
	D-3	D-7	D-2	D-9	D-4	D-19	D-9	D-5	D-8	D-14
Test (MAE)	0.78 gr	0.87 gr	0.84 gr	0.90 gr	0.80 gr	0.90 gr	0.83 gr	0.84 gr	0.79 gr	0.91 gr
Test (R)	0.9947	0.9933	0.9936	0.9921	0.9948	0.9916	0.9940	0.9933	0.9945	0.9930
Doğrulama (MAE)	0.88 gr	0.85 gr	0.85 gr	0.77 gr	0.90 gr	0.83 gr	0.83 gr	0.87 gr	0.86 gr	0.84 gr
Doğrulama (R)	0.9921	0.9940	0.9937	0.9953	0.9937	0.9938	0.9943	0.9946	0.9931	0.9935
Eğitim (MAE)	0.80 gr	0.79 gr	0.80 gr	0.79 gr	0.82 gr	0.77 gr	0.79 gr	0.79 gr	0.83 gr	0.80 gr
Eğitim (R)	0.9945	0.9945	0.9944	0.9944	0.9941	0.9944	0.9941	0.9943	0.9939	0.9940
Genel (MAE)	0.81 gr	0.81 gr	0.81 gr	0.80 gr	0.82 gr	0.80 gr	0.81 gr	0.81 gr	0.83 gr	0.83 gr
Genel (R)	0.9943	0.9943	0.9942	0.9942	0.9941	0.9942	0.9942	0.9941	0.9939	0.9938

RBF ağının başarıyı en yüksek denemeleri için; karesel ortalama hata hedefi 1, ekranlar arasına eklenecek nöron sayısı 25 ve maksimum nöron sayısı giriş vektör sayısına eşit olacak şekilde tanımlanmıştır. Dik açı ile elde edilmiş bütün öznelik vektörleri “Deneme 3” ve “Deneme 4”te kullanılmıştır. “Deneme 2”de ise “Deneme 3” ve “Deneme 4”ten farklı olarak yuvarlaklık öznelik vektörünün yerine elips merkezleri ile onların en uzun çap uzunlukları arasındaki oranı veren dışbükeylik (eccentricity) değeri kullanılmıştır. “Deneme 7”de ise dik açı ile elde edilmiş öznelik vektörleri; objenin yüzey alanı, objenin çevresi, MEUKN ve MEYKN kullanılmıştır. Bunların yanı sıra, “Deneme 9”da, 3 farklı açıdan elde edilmiş görüntüler için “Deneme 7”de kullanılan bütün öznelik vektörleri kullanılmıştır.

MLP ağının başarıyı en yüksek denemeleri için; tek gizli katman, öğrenme oranı artış miktarı 1.05, öğrenme oranı azalış miktarı 0.7, momentum katsayısı 0.9 (öğrenme fonksiyonu olarak, GDX kullanılan denemelerde uygulanmıştır) ve iterasyon

sayısı 30 000 sabit olarak kullanılmıştır. Ayrıca dik açıyla elde edilmiş görüntülerin; obje yüzey alanı, çevresi ve objenin yuvarlaklık öznelik vektörleri ortak olarak sisteme giriş gerçekleştirilmiştir.

Veri kümesi 1; %50'si eğitim, %25'i test ve %25'i doğrulama işlemi için bölünerek oluşturulmuştur. Veri kümesi 2 ise %34'ü eğitim, %33'ü test ve %33'ü doğrulama işlemi için bölünmüştür. Bu veri kümelerinin sırasıyla RBF modeli için başarımları en yüksek deneme olan "Deneme 3"e ve MLP için başarımları yüksek deneme olan "Deneme 19" a uygulanması sonucunda elde edilen başarımlar Tablo 5'de verilmiştir.

**Tablo 5:** RBF ve MLP için veri kümelerinin başarımları

Başarım	RBF		MLP	
	Veri Kümesi 1	Veri Kümesi 2	Veri Kümesi 1	Veri Kümesi 2
Test (MAE)	0.84 gr	0.86 gr	0.88 gr	1.01 gr
Test (R)	0.9937	0.9937	0.9930	0.9899
Doğrulama (MAE)	0.88 gr	0.87 gr	0.92 gr	0.77 gr
Doğrulama (R)	0.9938	0.9933	0.9929	0.9910
Eğitim (MAE)	0.80 gr	0.78 gr	0.79 gr	0.73 gr
Eğitim (R)	0.9943	0.9945	0.9943	0.9954
Genel (MAE)	0.83 gr	0.84 gr	0.84 gr	0.91 gr
Genel (R)	0.9940	0.9938	0.9936	0.9922

RBF ağının başarımları en yüksek denemesi "Deneme 3"e KKÇDY, k=5 ve MLP ağının başarımları en yüksek denemesi "Deneme 19" a KKÇDY, k=5 için elde edilmiştir. Sonuçlar Tablo 6'da verilmiştir.

**Tablo 6:** RBF ve MLP için KKÇDY başarımları

	RBF						MLP					
	Test (MAE)	Test (R)	Eğitim (MAE)	Eğitim (R)	Genel (MAE)	Genel (R)	Test (MAE)	Test (R)	Eğitim (MAE)	Eğitim (R)	Genel (MAE)	Genel (R)
k=1	0.88 gr	0.9947	0.79 gr	0.9947	0.81 gr	0.9942	0.87 gr	0.9926	0.81 gr	0.9943	0.83 gr	0.9939
k=2	0.81 gr	0.9939	0.80 gr	0.9939	0.80 gr	0.9944	0.88 gr	0.9929	0.73 gr	0.9951	0.76 gr	0.9947
k=3	0.80 gr	0.9943	0.82 gr	0.9943	0.80 gr	0.9943	0.80 gr	0.9942	0.83 gr	0.9942	0.82 gr	0.9942
k=4	0.78 gr	0.9946	0.91 gr	0.9946	0.80 gr	0.9942	0.93 gr	0.9937	0.81 gr	0.9942	0.83 gr	0.9940
k=5	0.80 gr	0.9946	0.76 gr	0.9946	0.79 gr	0.9945	0.86 gr	0.9932	0.79 gr	0.9946	0.80 gr	0.9943
<b>A.O.</b>	<b>0.81 gr</b>	<b>0.9944</b>	<b>0.82 gr</b>	<b>0.9944</b>	<b>0.80 gr</b>	<b>0.9943</b>	<b>0.87 gr</b>	<b>0.9933</b>	<b>0.79 gr</b>	<b>0.9945</b>	<b>0.81 gr</b>	<b>0.9942</b>

A.O.=Aritmetik Ortalama

## 4.2 Portakal Simülasyonu

Portakal örneği için MLP ile 21 farklı deneme RBF ile 11 farklı deneme gerçekleştirilmiştir. Daha sonra başarımları en yüksek olan sonuçlar için KKÇDY uygulanmıştır. RBF ve MLP için en iyi ağırlık tahmini yapan 5 denemenin farkı sırasıyla Tablo 7 ve Tablo 8'de verilmiştir.

**Tablo 7:** RBF için en başarılı denemelerin parametreleri

Denemeler	D-9	D-10	D-11	D-5	D-7
Giriş Sayısı	12	4	4	5	4
Temel Öznelik Vektörleri	4	4	4	5	4

RBF ağının başarımları en yüksek denemeleri için; yayılma değeri 10 000, karesel ortalama hata hedefi 1, ekranlar arasında eklenecek nöron sayısı 25 ve maksimum nöron sayısı giriş vektör sayısına eşit olacak şekilde tanımlanmıştır. Objenin yüzey alanı, çevresi, MEUKN ve MEYKN öznelik vektörleri "Deneme 9", "Deneme 10", "Deneme 11" ve "Deneme 7" için

kullanılmıştır. “Deneme 5” te ise bu öznelik vektörlerine ek olarak yuvarlaklık öznelik vektörü de kullanılmıştır. “Deneme 9”, “Deneme 10” ve “Deneme 11”de objenin görüntüleri 3 farklı açıdan elde edilmiş diğer denemelerde ise objelerin sadece dik açıyla elde edilmiş görüntüleri kullanılmıştır. “Deneme 9”da farklı açılardan elde edilen bütün görüntüler sisteme uygulanırken, “Deneme 10”da bu görüntülerin geometrik ortalaması alınmıştır. “Deneme 11”de ise bu görüntülerden elde edilen objenin yüzey alanının geometrik ortalaması alınmış, diğer öznelik vektörlerinin ise aritmetik ortalaması alınmıştır. RBF için denemelerin başarımları Tablo 9’da verilmiştir.

**Tablo 8:** MLP için en başarılı denemelerin parametreleri

Denemeler	D-15	D-21	D-16	D-17	D-19
Giriş Sayısı	12	4	4	4	12
Gizli Katman Nöron Sayısı	20	20	20	20	20
Gizli Katman Aktivasyon Fonk.	Tanj. Sig.	Tanj. Sig.	Tanj. Sig.	Tanj. Sig.	Tanj. Sig.
Çıkış Katmanı Aktivasyon Fonk.	Tanj. Sig.	Tanj. Sig.	Tanj. Sig.	Tanj. Sig.	Tanj. Sig.
Öğrenme Fonksiyonu	GDA	GDX	GDA	GDX	GDX

Tanj. Sig.= Tanjant sigmoid, GDX= Momentum ile gradiyent azalan ve adaptif öğrenme oranlı geri yayılım (gradient descent with momentum and adaptive learning rate backpropagation), GDA= Adaptif öğrenme oranı ile gradiyent azalan geri yayılım.

MLP ağının başarımı en yüksek denemeleri için; tek gizli katman, öğrenme oranı 0.5, öğrenme oranı artış miktarı 1.05, öğrenme oranı azalış miktarı 0.7, momentum katsayısı 0.9 (öğrenme fonksiyonu olarak, GDX kullanılan denemelerde uygulanmıştır) ve iterasyon sayısı 30 000 sabit olarak kullanılmıştır. Objelerin görüntüleri ise 3 farklı açıdan elde edilmiştir. Bu 3 farklı açıdan elde edilen görüntülerin öznelik vektörleri “Deneme 15” ve “Deneme 19” için sisteme direk olarak uygulanmıştır. “Deneme 21” ve “Deneme 17”de bu görüntülerden elde edilen objenin yüzey alanının geometrik ortalaması alınmış, diğer öznelik vektörlerinin ise aritmetik ortalaması alınmıştır. “Deneme 16”da ise bu görüntülerin geometrik ortalaması alınmıştır. MLP için denemelerin başarımları Tablo 9’da verilmiştir.

**Tablo 9:** RBF ve MLP için denemelerin başarımları

Denemeler	RBF					MLP				
	D-9	D-11	D-10	D-5	D-7	D-15	D-21	D-16	D-17	D-19
Test (MAE)	2.74 gr	2.63 gr	2.95 gr	3.65 gr	3.43 gr	3.30 gr	3.20 gr	3.05 gr	3.62 gr	3.97 gr
Test (R)	0.9760	0.9808	0.9786	0.9621	0.9612	0.9695	0.9581	0.9717	0.9732	0.9581
Doğrulama (MAE)	2.73 gr	2.95 gr	2.47 gr	3.05 gr	3.17 gr	2.69 gr	3.07 gr	3.66 gr	2.66 gr	3.07 gr
Doğrulama (R)	0.9767	0.9782	0.9835	0.9755	0.9710	0.9777	0.9770	0.9590	0.9803	0.9702
Eğitim (MAE)	2.28 gr	2.49 gr	2.58 gr	3.01 gr	3.01 gr	2.39 gr	2.42 gr	2.61 gr	2.78 gr	2.33 gr
Eğitim (R)	0.9852	0.9818	0.9794	0.9743	0.9747	0.9856	0.9846	0.9826	0.9791	0.9831
Genel (MAE)	2.42 gr	2.58 gr	2.62 gr	3.12 gr	3.10 gr	2.58 gr	2.64 gr	2.84 gr	2.89 gr	2.70 gr
Genel (R)	0.9825	0.9808	0.9808	0.9727	0.9726	0.9820	0.9800	0.9783	0.9775	0.9772

Veri kümesi 1; %50’si eğitim, %25’i test ve %25’i doğrulama işlemi için bölünerek oluşturulmuştur. Veri kümesi 2 ise %34’ü eğitim, %33’ü test ve %33’ü doğrulama işlemi için bölünmüştür. Bu veri kümelerinin sırasıyla başarımı en yüksek olan “Deneme 9”a ve “Deneme 15”e uygulanması sonucunda elde edilen başarımlar RBF ve MLP için Tablo 10’da verilmiştir.

RBF modeliyle gerçekleştirilen “Deneme 9”a ve MLP modeliyle gerçekleştirilen “Deneme 15”e KKÇDY, k=5 için uygulanmıştır ve sonuçlar Tablo 11’de verilmiştir.

Tablo 10: RBF ve MLP için veri kümelerinin başarımları

Başarım	RBF		MLP	
	Veri Kümesi 1	Veri Kümesi 2	Veri Kümesi 1	Veri Kümesi 2
Test (MAE)	2.91 gr	3.34 gr	3.63 gr	3.74 gr
Test (R)	0.9729	0.9686	0.9621	0.9638
Doğrulama (MAE)	2.91 gr	3.61 gr	3.33 gr	3.27 gr
Doğrulama (R)	0.9769	0.9652	0.9687	0.9710
Eğitim (MAE)	2.08 gr	1.85 gr	2.57 gr	2.81 gr
Eğitim (R)	0.9873	0.9907	0.9831	0.9804
Genel (MAE)	2.50 gr	2.93 gr	3.03 gr	3.27 gr
Genel (R)	0.9814	0.9748	0.9744	0.9717

Tablo 11: RBF ve MLP için KKÇDY başarımları

	RBF						MLP					
	Test (MAE)	Test (R)	Eğitim (MAE)	Eğitim (R)	Genel (MAE)	Genel (R)	Test (MAE)	Test (R)	Eğitim (MAE)	Eğitim (R)	Genel (MAE)	Genel (R)
k=1	2.81 gr	0.9835	2.30 gr	0.9835	2.40 gr	0.9836	3.72 gr	0.9828	1.67 gr	0.9919	2.08 gr	0.9869
k=2	2.82 gr	0.9659	2.35 gr	0.9855	2.44 gr	0.9823	2.92 gr	0.9680	1.36 gr	0.9950	1.67 gr	0.9905
k=3	2.66 gr	0.9770	2.45 gr	0.9833	2.49 gr	0.9828	3.85 gr	0.9069	1.63 gr	0.9928	2.08 gr	0.9809
k=4	3.42 gr	0.9685	2.12 gr	0.9876	2.38 gr	0.9830	3.92 gr	0.9592	1.45 gr	0.9938	1.94 gr	0.9857
k=5	2.18 gr	0.9901	2.38 gr	0.9828	2.34 gr	0.9839	2.96 gr	0.9846	2.72 gr	0.9836	2.77 gr	0.9825
<b>A.O.</b>	<b>2.78 gr</b>	<b>0.9770</b>	<b>2.32 gr</b>	<b>0.9845</b>	<b>2.41 gr</b>	<b>0.9831</b>	<b>3.47 gr</b>	<b>0.9603</b>	<b>1.77 gr</b>	<b>0.9914</b>	<b>2.11 gr</b>	<b>0.9853</b>

A.O.=Aritmetik Ortalama

## 5. Tartışma

Yumurta örneği için, sistem parametreleri değiştirilerek gerçekleştirilen denemelerden en iyi sonuç veren 5 tanesi karşılaştırıldığında başarımlarının oldukça birbirine yakın olduğu gözlenmiştir. Ayrıca MLP ve RBF modelleri ile yapılan denemelerin sonuçları da birbirine oldukça yakındır. Aradaki küçük farklara rağmen RBF modeli ile gerçekleştirilen “Deneme 3” başarımları en yüksek denemelerdir. Ayrıca MLP modeli için “Deneme 19” en başarılı sonucu vermiştir. “Deneme 3” için R 0.9943 ve MAE 0.81 gr olarak hesaplanmıştır. Sistemde tespit edilen en büyük mutlak hata ise 3.19 gr olarak hesaplanmıştır. “Deneme 19” için ise R 0.9942 ve ortalama mutlak MAE 0.80 gr olarak hesaplanmıştır. Sistemde tespit edilen en büyük mutlak hata da 2.93 gr olarak hesaplanmıştır.

Yumurtaların sınıflandırma ve denetleme değerleri Türk Gıda Kodeksinin yumurta tebliğine göre yapılmaktadır. Türk Gıda Kodeksine göre 180’den fazla örnek yumurtanın bulunduğu kontrollerde, alt ağırlık sınıfından karışma oranının %5’i geçmemesi gerekmektedir. 180’den az örnek yumurtanın bulunduğu denetlemelerde ise bu değer %10’u geçmemesi gerekmektedir. Ayrıca 2 veya daha alt sınıflardan yumurta bulunmamalıdır. Denetlemeler sırasında üst ağırlık sınıfından karışma durumu ise herhangi bir sorun teşkil etmemektedir (URL-5). Adana’da satışa sunulan yumurtalar üzerinde gerçekleştirilen bir çalışmada, markalara göre değişimle birlikte paket üzerinde yazan ağırlık sınıfına uyma oranının %95 ile %60 arasında değiştiği görülmüştür (Doğan, 2008).

4 farklı markadan elde edilmiş yumurta örneklerinin hassas tartı ile ölçümleri sonucunda alt ağırlık sınıfından karışma oranının %11 olduğu ve genel doğruluk oranının ise %47 olduğu tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışma ile RBF kullanarak alt ağırlık sınıfından karışma oranı %7.5’e düşürülmüş, genel doğruluk oranı ise %86.3’e çıkarılmıştır. MLP kullanarak ise alt ağırlık sınıfından karışma oranı %5’e düşürülmüş, genel doğruluk oranı ise %90.5’e çıkarılmıştır.

RBF modeli ile gerçekleştirilen “Deneme 3”te dik açıyla elde edilmiş; objenin yüzey alanı, objenin çevresi, MEUKN,



MEYKN ve yuvarlaklık olmak üzere toplam 5 öznitelik vektörü sistemin girişine uygulanmıştır. Yayılma değeri 100, karesel ortalama hata hedefi 1, ekranlar arasına eklenecek nöron sayısı 25 ve maksimum nöron sayısı giriş vektör sayısına eşit olacak şekilde tanımlanmıştır.

MLP modeli ile gerçekleştirilen “Deneme 19”da dik açıyla elde edilmiş; objenin yüzey alanı, objenin çevresi ve yuvarlaklık olmak üzere toplam 3 öznitelik vektörü sistemin girişine uygulanmıştır. Bu denemede tek gizli katman kullanılmış ve gizli katmanda 40 nöron bulunmaktadır. Gizli katman ve çıkış katmanı için aktivasyon fonksiyonu tanjant sigmoid seçilmiştir. Öğrenme fonksiyonu GDX, öğrenme oranı ise 0.5’tir. Öğrenme oranı artış miktarı 1.05, öğrenme oranı azalış miktarı 0.7 olarak ve momentum katsayısı 0.9 olarak belirlenmiştir. Ayrıca iterasyon sayısı 30 000 olarak tanımlanmıştır.

Yumurta örneğinde RBF ve MLP modelleri karşılaştırıldığında R değerleri arasında çok büyük farklar olmamasına rağmen Türk Gıda Kodeksine göre sınıflandırma başarımı MLP modeli ile gerçekleştirilen “Deneme 19”da daha yüksek çıkmıştır. Yumurta ağırlıklarının tahmin edilmesindeki esas amaç ticari bir ürün olan yumurtanın doğru sınıflandırılarak müşteriye ulaşması olduğu için burada başarımı en yüksek parametreler belirlenirken öncelikli olarak sınıflandırma başarımı dikkate alınmalıdır. Ayrıca RBF modelinde 5 öznitelik vektörü kullanılırken, MLP modelinde 3 öznitelik vektörü kullanılmıştır. Yani birbirine oldukça yakın olan sistem başarımları MLP modelinde daha az öznitelik vektörüyle elde edilmiştir. Buna ek olarak, KKÇDY yöntemi ile rastlantısallığın azaltıldığı durumda da, farklı veri kümeleriyle eğitim verilerinin azaltıldığı durumlarda da “Deneme 19”un sistem başarımı yüksek çıkmıştır. Bu nedenle yumurta örneği için ağırlık tahmin sisteminde “Deneme 19”un parametrelerinin kullanılması uygun olacaktır.

Portakal örneği için, sistem parametreleri değiştirilerek gerçekleştirilen denemelerden en iyi sonuç veren 5 tanesi karşılaştırıldığında başarımlarının oldukça birbirine yakın olduğu gözlenmiştir. Ayrıca MLP ve RBF modelleri ile yapılan denemelerin sonuçları da birbirine oldukça yakındır. Bu küçük farklara rağmen RBF modeli ile gerçekleştirilen “Deneme 9” başarımı en yüksek denemedir. Ayrıca MLP modeli için “Deneme 15” en başarılı sonucu vermiştir. “Deneme 9” için R 0.9825 ve MAE 2.42 gr olarak hesaplanmıştır. Sistemde tespit edilen en büyük mutlak hata ise 11 gr olarak hesaplanmıştır. “Deneme 15” için ise R 0.9820 ve MAE 2.58 gr olarak hesaplanmıştır. Sistemde tespit edilen en büyük mutlak hata da 10.6 gr olarak hesaplanmıştır.

RBF modeli ile gerçekleştirilen “Deneme 9”da dik, pozitif ve negatif açıyla elde edilmiş; objenin yüzey alanı, objenin çevresi, MEUKN ve MEYKN olmak üzere toplam 12 öznitelik vektörü sistemin girişine uygulanmıştır. Yayılma değeri 10 000, karesel ortalama hata hedefi 1, ekranlar arasına eklenecek nöron sayısı 25 ve maksimum nöron sayısı giriş vektör sayısına eşit olacak şekilde tanımlanmıştır.

MLP modeli ile gerçekleştirilen “Deneme 15”de dik açıyla elde edilmiş; objenin yüzey alanı, objenin çevresi ve yuvarlaklık olmak üzere toplam 3 öznitelik vektörü sistemin girişine uygulanmıştır. Bu denemede tek gizli katman kullanılmış ve gizli katmanda 20 nöron bulunmaktadır. Gizli katman ve çıkış katmanı için aktivasyon fonksiyonu tanjant sigmoid seçilmiştir. Öğrenme fonksiyonu GDA, öğrenme oranı ise 0.5’tir. Öğrenme oranı artış miktarı 1.05 ve öğrenme oranı azalış miktarı 0.7 belirlenmiştir. Ayrıca iterasyon sayısı 30 000 olarak tanımlanmıştır.

Portakal örneğinde RBF ve MLP model başarımları arasında çok büyük farklar olmamasına rağmen, RBF modeli ile gerçekleştirilen “Deneme 9”un R değeri daha yüksek çıkmıştır. Buna ek olarak, KKÇDY yöntemi ile rastlantısallığın azaltıldığı durumda da, farklı veri kümeleriyle eğitim verilerinin azaltıldığı durumlarda da RBF modeli için “Deneme 9”un sistem başarımı yüksek çıkmıştır. Bu nedenle portakal örneği için ağırlık tahmin sisteminde “Deneme 9”un parametrelerinin kullanılması uygun olacaktır.

Yumurta ve portakal örnekleri karşılaştırıldığında yumurtanın ağırlığını tahmin eden en başarılı sistemin girişine 3 öznitelik vektörü uygulanmasına rağmen, portakalın ağırlığını tahmin eden en başarılı sistemin girişine 12 öznitelik vektörü uygulanmıştır. Bu durumun asıl sebebi yumurtanın portakala göre daha simetrik bir yapıya sahip olmasıdır. Bu nedenle ağırlığı ölçülecek objelerin simetrisi bozuldukça farklı açılardan farklı görüntülerin elde edilerek sistemin girişine uygulanması başarıyı arttıracaktır.

## 6. Sonuçlar

Bu çalışmada 250 adet yumurta ve 150 adet portakal örneği ile uzaklıktan bağımsız YSA kullanılarak ağırlık tahmin işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda farklı denemeler için farklı başarımlar elde edilmiştir. Ayrıca, yumurta için dik, pozitif ve negatif açılı olmak üzere 750 adet görüntü, portakal için dik, pozitif ve negatif açılı olmak üzere 450 adet görüntü içeren bir veri tabanı oluşturulmuştur. Gerçekleştirilmiş olan bu çalışmada sabit mesafeden ve sabit bir açıyla ölçüm yapılmamıştır. Literatür taramasında, YSA (MLP veya RBF) kullanarak referans görüntü ile kısmi derecede uzaklıktan ve kamera açısından bağımsız, tek bir kamera ile 3 farklı açıdan elde edilen görüntüleri birleştirerek ağırlık tahmini yapan bir sisteme rastlanılmamıştır. Ayrıca bu özgün yöntemde, yumurta örneğinde sınıflandırma Türk Gıda Kodeksine göre yapılmıştır. Dolayısıyla çalışma daha özgün hale gelmiştir. Buna ek olarak bu çalışmada kullanılan veri kümesine benzer bir veri tabanına da rastlanılmamıştır. Oluşturulan veri kümesinin araştırmacılarla paylaşılacak olması, ileri de yapılacak çalışmaların temelini oluşturacak ve araştırmacılara hatırı sayılır bir zaman kazandıracaktır.

Bu çalışma sonucunda; Türk Gıda Kodeksi Yumurta Tebliği baz alınarak hassas tartı ile gerçekleştirilen ölçüm sonuçlarına göre ortaya çıkan doğruluk oranı %47'den MLP'de %90.5'e, RBF'de %86.3'e çıkarılmıştır. Ayrıca, yumurta örneği için RBF'de %99.43, MLP'de %99.42, portakal örneği için RBF'de %98.25, MLP'de %98.20 ağırlık tahmin başarımları elde edilmiştir.

Bu çalışmanın geliştirilmesi amacıyla da bazı öneriler getirilmiştir. Yapılan bu çalışmada tek bir kamera kullanılarak farklı açılardan görüntüler elde edilmiştir. İleride gerçekleştirilecek çalışmalarda iki veya daha fazla kamera ile görüntüler eş zamanlı olarak elde edilerek ağırlık tahmini yapılabilir. Bu çalışmada, bir objenin ağırlığının hızlı olarak tahmin edilmesinden ziyade doğru olarak tahmin edilmesi üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle bir obje başına düşen ağırlık tahmin süresi ve bu sürenin iyileştirilmesi konuları üzerinde çalışmalar yapılabilir. Örneğin bu çalışmada aynı anda sadece bir objenin ağırlığı tahmin edilmekte iken aynı anda birden fazla objenin ağırlığının tahmin edilebileceği bir sistem düzeneği kurularak obje başına düşen ağırlık tahmin süresi azaltılabilir. Ayrıca sonraki çalışmalarda yumurta ve portakaldan farklı objeler kullanarak sistemin başarımları tekrar ölçülebilir. Özellikle kullanılan objelerin sebze, meyve, yumurta vb. şekilde gıda ürünü olması durumunda son kullanma tarihlerinin ve tazelik durumlarının göz önünde bulundurularak sistemin eğitilmesi ve bu veriler doğrultusunda ağırlık tahmini yapılması da sağlanabilir.

## Bilgilendirme

Bu çalışmada kullanılan veri tabanı araştırmacılara açık haldedir. Yazarlara e-posta atılması durumunda bu veri tabanı ücretsiz olarak araştırmacılar ile paylaşılacaktır.

## Kaynaklar

Alikhanov, D., Penchev, S., Georgieva, T., Moldajanov, A., Shynybaj, Z., & Daskalov, P. (2015). Indirect Method for Egg Weight


- Measurement Using Image Processing. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 5, 30-34.
- Asadi, V., & Raoufat, M. H. (2010). Egg weight estimation by machine vision and neural network techniques (a case study fresh egg). *International Journal of Engineering, Technology and Natural Sciences*, (2), 1-4.
- Aydar U. (2007). *Cephe değerlendirmelerinde fotogrametrik ve görselleştirme yöntemlerinin kıyaslanması* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Çelebi, Ş., & Karaca, H. (2006). Yumurthanın besin değeri, kolesterol içeriği ve yumurtayı n-3 yağ asitleri bakımından zenginleştirmeye yönelik çalışmalar. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 37(2), 257-265.
- Çelik, Y., & Şengül, T. (2001). Şanlıurfa ili kentsel alanında tüketicilerin yumurta tüketim düzeyleri ve tüketim alışkanlıklarının belirlenmesi. *Hayvansal Üretim*, 42(2).
- Çiçekgil, Z. (2014). Kümes hayvancılığı ürün raporu, [https://arastirma.tarim.gov.tr/tepge/Lists/Haber/Attachments/18/KANATLI\\_URUN\\_RAPORU\\_2014.pdf](https://arastirma.tarim.gov.tr/tepge/Lists/Haber/Attachments/18/KANATLI_URUN_RAPORU_2014.pdf) (Erişim Tarihi: 10.02.2018).
- Çölkesen, İ. (2009). *Uzaktan algılamada ıleri sınıflandırma tekniklerinin karşılaştırılması ve analizi* (Yüksek Lisans Tezi). Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye.
- Doğan, H., (2008). *Adana'da satışa sunulan yumurtalarda sunuş çeşitliliği ve kalite değişimi üzerine bir çalışma* (Yüksek Lisans Tezi). Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye.
- Gonzalez, A., Satterlee, D. G., Moharer, F., & Cadd, G. G. (1999). Factors affecting ostrich egg hatchability. *Poultry science*, 78(9), 1257-1262.
- Hartley, R., & Zisserman, A. (2003). *Multiple view geometry in computer vision*. Cambridge university press.
- Haykin, S. (1994). *Neural networks: a comprehensive foundation*. Prentice Hall PTR.
- Heikkila, J., & Silven, O. (1997, June). A four-step camera calibration procedure with implicit image correction. In *cvpr* (Vol. 97, p. 1106).
- Hockaday, S., Ross, L. G., & Tillett, R. D. (1997). Using stereo image pairs to measure mass in strains of Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Sensors and Their Applications VIII, Section A Environmental and Biomedical Sensors*, 7, 21-26.
- James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2013). *An introduction to statistical learning* (Vol. 112, p. 18). New York: springer.
- Javadikia, P., Dehrouyeh, M. H., Naderloo, L., Rabbani, H., & Lorestani, A. N. (2011, December). Measuring the weight of egg with image processing and ANFIS model. In *International Conference on Swarm, Evolutionary, and Memetic Computing* (pp. 407-416). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Kashiha, M., Bahr, C., Ott, S., Moons, C. P., Niewold, T. A., Ödberg, F. O., & Berckmans, D. (2014, October). Weight Estimation of Pigs Using Top-View Image Processing. In *International Conference Image Analysis and Recognition* (pp. 496-503). Springer, Cham.
- Kraus, K. (2007). *Fotogrametri*. Cilt 1, Nobel Yayın Dağıtım.
- Kriesel, D., (2005). A brief introduction to neural networks, [http://www.dkriesel.com/en/science/neural\\_networks](http://www.dkriesel.com/en/science/neural_networks) (Erişim Tarihi:4 Kasım 2017).
- Kohavi, R. (1995, August). A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection. In *Ijcai*(Vol. 14, No. 2, pp. 1137-1145).
- Lines, J. A., Tillett, R. D., Ross, L. G., Chan, D., Hockaday, S., & McFarlane, N. J. B. (2001). An automatic image-based system for estimating the mass of free-swimming fish. *Computers and Electronics in Agriculture*, 31(2), 151-168.
- Omid, M., Khojastehnazhand, M., & Tabatabaeefar, A. (2010). Estimating volume and mass of citrus fruits by image processing technique. *Journal of food Engineering*, 100(2), 315-321.
- Şalvarcı, Ü.B., Ayten, U.E., (2017). Yapay sinir ağları kullanılarak imgelerden yumurta ağırlığının uzaklıktan bağımsız sezimi. *SIU*, 1-4, *Antalya*.
- Şalvarcı, Ü.B. (2017). *Yapay sinir ağları kullanarak görüntü işlemeyle dayalı ağırlık tahmini* (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Wilson, H. R. (1991). Interrelationships of egg size, chick size, posthatching growth and hatchability. *World's Poultry Science Journal*, 47(1), 5-20.
- URL-1: Withings, (2011). A short history of the weighing scale. <https://blog.withings.com/2011/09/30/a-short-history-of-the-weighing-scale-2/> (Erişim Tarihi: 30.03.2019).
- URL-2: Psikolojik, yapay sinir ağları, <http://www.psikolojik.gen.tr/yapay-sinir-aglari.html>, (Erişim Tarihi: 7 Kasım 2017).
- URL-3: Safari book online, Multi layer perceptron, <https://www.safaribooksonline.com/library/view/getting-started-with/>

9781786468574/ch04s04.html, (Erişim Tarihi: 10 Kasım 2017).

URL-4: DTREG, RBF neural networks, <https://www.dtreg.com/solution/view/25>, (Erişim Tarihi: 8 Kasım 2017).

URL-5: Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, (2014), Türk Gıda Kodeksi Yumurta Tebliği <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/12/20141220-5.htm> (Erişim Tarihi: 19 Mart 2018).

## İnternet tabanlı harita üretiminde karar destek sistemleri ve coğrafi bilgi sistemi destekli alternatif yaklaşım: müsabaka yöntemi

Melis Uzar<sup>1\*</sup> , Emrah Fatih Asılhan<sup>1</sup> 

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

**Öz:** Gelişen internet ve yapay zekâ teknolojileri ile oluşturulan yeni sistemlerin birbirleri arasında ilişki kurulması önemli bir ihtiyaç haline gelmiştir. Günümüzde bu sistemlerin kullanılması ile güncel ve doğru bilginin, internet kullanıcıları tarafından erişilebilir olması sağlanmaktadır. Bu aşamada, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) veri tabanı ilişkilerini kullanarak analiz ve değerlendirme ile kullanıcılara destek sağlarken, doğru karar verme sürecinde ise Karar Destek Sistemleri (KDS) karar vericilere en ideal sonuçları vermektedir. Bu iki sistem incelendiğinde birbirleri ile benzerlikler bulunmasına rağmen; bu sistemlerin bir arada değerlendirildiği tek bir sistem bulunmamaktadır. Bu durum, kullanıcıların doğru bilgi ve analiz sonuçlarına ulaşmasında problem olmaktadır. Bu çalışmada, yaygın kullanılan karar verme algoritmalarına alternatif olarak Müsabaka Yöntemi adı altında yeni bir algoritma geliştirilerek; CBS ile KDS'nin bütünleştirilmesi sağlanmıştır. Böylece, önerilen yaklaşım ile karar verme aşamasında ölçütler için anket yapılmasına ve hedef gruplarına gerek kalmadan, elde edilen öznitelik verileriyle güncel ve doğruluğun daha hassas olduğu sonuçlara ulaşılması hedeflenmiştir. Bu çalışmada, İstanbul ilinde yer alan 39 ilçede bulunan nüfus bilgisi, ilçe yüzölçümü, eğitim kurumları ve ilçelerin sahip olduğu ulaşım ağı vb. bilgiler kullanılarak Müsabaka Yöntemi geliştirilmiştir. Ayrıca, 28 ölçüt baz alınarak ikili karşılaştırmalar yapılmış, avantaj ve dezavantaj durumu analiz edilmiş ve renklendirilmiş puan haritası üretilmiştir. Sonuç olarak, çalışma sonuçlarının internet tabanlı harita ile kullanıcılara hızlı bir şekilde servis edilmesi sağlanmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Coğrafi bilgi sistemi (CBS), Karar destek sistemleri (KDS), Müsabaka yöntemi, İkili karşılaştırma, İnternet tabanlı harita, Tematik puan haritası

### An alternative approach supported by decision support systems and geographical information system for producing internet based map: competition method

**Abstract:** Establishing relation between new systems, which are created with developing internet and artificial intelligence technologies, has become an important requirement. In today with the use of these systems, the actual and accurate information are provided to be accessible by internet users. In this step, while Geographical Information System (GIS), which uses database relation, supports to the users with analysis and assessment; Decision Support Systems (DSS) give the most ideal results for decision makers in the correct decision making process. Although these two systems are similar when they are examined, there is no available unique system, which assesses them together. This situation has been a problem to get accurate information and analysis results for users. In this study, integration of GIS and DSS has been provided by developing a new algorithm called competition method as an alternative to the other algorithms, which are commonly in use. Therefore, it is aimed with this proposed method to obtain updated and more accurate results by means of attribute data, which are obtained without requiring making surveys and getting target groups for criteria used in the decision process. In this study, the competition method has been developed by using information such as population information, district area, educational institutions, transportation network etc. for 39 districts of Istanbul. In addition, pairwise comparisons were made based on 28 criteria, then advantage and disadvantage status were analyzed and colored score map was produced. As a result; the investigation results have been served to the users quickly with an internet-based map.

**Keywords:** Geographical information system (GIS), Decision support systems (DSS), Competition method, Pairwise comparison, Internet-based map, Thematic score map

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tel: +90 212 383 5276

Geliş Tarihi/Received: 11.03.2019  
Kabul Tarihi/Accepted: 29.04.2019



0000-0003-0873-3797, auzar@yildiz.edu.tr (Uzar M.)\*  
0000-0002-1960-4897, fasilhan@gmail.com (Asılhan E.F.)

## 1. Giriş

Günümüze kadar yapılmış mekansal bilgi içeren bilimsel çalışmalarda genellikle benzer kurallardan yararlanılarak karar destek sistemi oluşturulmaktadır. Oluşturulan bu sistemler için temelde benzer algoritmalarla yararlanılmakta ya da bu algoritmalarla geliştirilen yeni algoritmalar ile sistem desteklenmektedir. Ancak karar verme aşamasında kullanıcıların tercih edeceği yöntemler bir uygulama bölgesinde birbirine yakın sonuçlar vermekte iken farklı bir uygulama bölgesinde uyumlu olmayan sonuçlar verebilmektedir. Kullanılan yöntemlerde yapılan puanlamalar için anket çalışması ve ankete katılan odak grupları sonuçlara etki etmektedir. Bu durum, karar verme aşamasındaki son kullanıcıya yapacağı tercihini mümkün olduğunca daha objektif nasıl olabileceğinin yollarını aratmaktadır. Ayrıca, son kullanıcı yapacağı çalışmanın önemine göre odak gruplarına ihtiyaç duymadan ya da daha az maliyetli bir karar mekanizmasına zaman zaman ihtiyaç duymaktadır. Bu kapsamda, son kullanıcıların amaç ve isteklerine uygun doğru karar verebilmesi için alternatif daha farklı pratik yöntemlerin de sunulması gereklidir.

Yapılan birçok araştırma alanının çıkış noktası “mekan” olmaktadır (Anbaroğlu, 2017). Mekan bilgilerinin coğrafi bilgiler ile harmanlanmasıyla ortaya çıkan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS); içinde barındırdığı öznel tablolara ile bölge, alan ve yer seçimi belirleme süreçlerinde Karar Destek Sistemleri (KDS) için yardımcı bir araç görevini üstlenmektedir. CBS, kullanıcılara veri tabanı üzerinde sorgu yapılmasına, haritalar üzerinde verilerin düzenlenmesine, mekansal bilgilerin analiz edilmesine ve tüm yapılan işlemlerin sonuçlarının sunulmasına olanak sağlayan araçlardan oluşmaktadır (Taşbaşı, Karadağ & Kösemli, 2015). CBS'nin temel amaçlarından biri de bir bilgi sistemi olmasının yanı sıra mekansal karar verme süreçlerine destek sağlamasıdır (Erden & Coşkun, 2011). Karar vericiler karar aşamasında oluşturduğu kuralları CBS desteği ile bütünleştirdiği vakit daha anlamlı sonuçlar elde etmektedir. CBS ile KDS bütünleştirilmesi sonucunda Mekansal Karar Destek Sistemleri (MKDS) oluşmaktadır (Malczewski, 1999). Bu çalışmada geçmiş yöntemlerin yanı sıra üretilen algoritmayla yeni bir MKDS metodu geliştirilmiştir. Ayrıca, geliştirilen bu metodun sonuç çıktısı açık kaynak kodlu bir CBS yazılımına aktararak renklendirilmiş bir puan haritası üretilmiştir.

## 2. Metodoloji

KDS mühendislikten tıbbi; hukuktan bankacılığa kadar hemen hemen birçok alanda kullanılmaktadır. Çoğu zaman doğru sonuçlar elde etmeyi hedefleyen KDS, büyük ölçüde modellemelere dayanmaktadır (Laudon, K. C. & Laudon J. P., 2006). Bu konuda literatürde yapılan KDS çalışmalarında kullanılan yöntemler ve bu alanda yapılan çalışmalar çoğunlukla benzerlik göstermektedir. Santos, Coutinho-Rodrigues ve Antunes (2011)'deki çalışmada belirledikleri ölçütler ile ulaşım araçları için Google haritalarla bütünleştirmeli bir mekansal web tabanlı karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Coutinho-Rodrigues, Simão ve Antunes (2011)'de kentsel planlama alt yapısı için TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) ve ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la Realite) yöntemini kullanarak CBS tabanlı çok ölçütlü karar destek sistemi yapmışlardır. Uyan, Çay ve Akçakaya (2013) arazi toplulaştırması için bir ara yüz geliştirerek SQL (Structured Query Language) sorgularıyla tahsis için en uygun parselin belirlenmesi adına KDS geliştirme çalışması gerçekleştirmişlerdir. Yao, Zhu, Yun, Peng ve Li (2017)'de Çin'de ağ üzerinde geliştirdikleri veri tabanlarıyla çekirge sürülerinin zararlarını önlemeye yönelik bir KDS kullanmışlardır. İrfan, Koj, Sedighi ve Thomas (2017)'de KDS için kullanılan AHP (Analytic Hierarchy Process) yöntemi ve SOM (Self-organizing map) yer seçim metodu gibi yöntemleri birleştirerek bir KDS çalışması gerçekleştirmişlerdir. Yapılan birçok çalışma birbirlerini tamamlar nitelikte olup hassas sonuçlar vermektedir. Fakat her ne kadar hassas sonuçlar alınmış olsa da daha kesin sonuçlara ulaşabilmek için farklı yöntemlerin ve fikirlerin geliştirilmesi; üretilen yeni metodların test edilmesi gerekmektedir. Ayrıca yapılan çalışmalar; araştırma, planlama ve uygulama aşamalarında karar vericilere hizmet ederek katkı sağlamalıdır. Böylece ihtiyaç duyulan

bilgilere hızlı ve zamanında erişim sağlanarak alınan kararların kalitesi yükselecektir (Arslan & Yılmaz, 2010).

Karar analizi, karmaşık karar problemlerinin matematiksel modelini tasarlayarak, sistematik işlemler ve istatistiksel irdelemelerle çözümlenmesi olarak tanımlanmaktadır. Kullanıcılar, problem çözme ve karar verme aşamasında elinde mevcut olan bilgiler ile işlem yapmaktadır. Bilgiler yumuşak ve sert bilgi olmak üzere iki türden oluşmaktadır. Sert bilgi nicel ve nitel verilerle temsil edilirken; yumuşak bilgiler karar vericilerin tercihleri, öncelikleri ve kararlarından oluşmaktadır (Aydm & Erdoğan, 2011). Karar verme aşamasında ise kullanıcılar çeşitli yöntemler kullanmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan ELECTRE; karar seçeneklerinin ölçütleri arasında kurulan ağırlık matrisleri ilişkisine dayanmaktadır. Bu yöntemin uygulamasında karar vericiler tercihlerine uygun ağırlık değerlerini belirlemektedir. Belirli ölçütler ve her seçenek için bu ölçütlerin ağırlık değerleri mevcut ise yöntemin kullanılması uygundur (Karacasu, 2007). Diğer bir yöntem olan TOPSIS ise; alternatif ve ölçütler arasından oluşan evrensel kümede çözüm alternatiflerini pozitif ideal çözüm noktasına en kısa mesafe ve pozitif ideal çözüm noktasına en uzak mesafede olabileceği varsayımına dayanmaktadır (Demireli, 2010). Çok ölçütlü karar verme mekanizmalarında sıkça kullanılan AHP’de seçim işlemleri, karar verme aşamasında önceden belirlenen ölçüt puanlamasına göre yapılmakta ve sonuca odak grupları etki etmektedir. AHP’de karar süreçleri arasındaki ilişki tek yönlüdür (Ömürbek & Şimşek, 2014). AHP, ELECTRE ve TOPSIS yöntemleri incelendiğinde; bu üç yöntemde kullanıcıların karar noktası için belirlemiş oldukları değerlendirme faktörleri arasında ilişki kurabilmek için çeşitli matematiksel işlemler yapması gerekmektedir. Yapılan işlemlerde uyumsuz ilişkilerin ortaya çıkması yapılan işlem sayısının artmasına sebep olduğu kadar verilerin doğru değerlendirilememesine de neden olmaktadır. Artan işlem adımları kullanıcının sonuca ulaşmasını geciktirmektedir. Ayrıca çıkan sonuçlarda oransal olarak birbirine yakın küsuratlı sonuçlar çıkması kullanıcıyı tekrardan değerlendirme yapabileceği başka pratik çözüm yollarına yönlendirmektedir. Bu kapsamda, karar vericilere oransal olarak birbirine yakın sonuç vermeden ve belirlenen ölçütlere göre ikili karşılaştırmaların yapıldığı Müsabaka Yöntemi geliştirilmiştir. Önerilen bu yöntem ile; ölçütlere ve alternatiflere dışarıdan müdahale edilmeden, tüm alternatiflerin, kendi sahip olduğu öz sayısal değerler üzerinden ikili karşılaştırmalar yapılarak, değerlendirilme faktörlerine puan verilmektedir. Ayrıca bu faktörler, toplanan puan sonucunda sıralanmaktadır. Önerilen yaklaşımla uygulanan ikili karşılaştırma algoritması, alternatiflerin kendi içerisinde bağımsız iken, tüm alternatiflere ise birbirlerine karşı bağımlı olarak değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

### 3. Sayısal Uygulama

#### 3.1 Çalışma Alanı ve Kullanılan Veriler

Bu çalışmada, pilot bölge olarak İstanbul ili seçilmiştir (Şekil 1). İstanbul ili Türkiye’nin en kalabalık ili olup; 39 ilçesi bulunmaktadır. Ayrıca, nüfus yoğunluğundan dolayı kamu ve özel kurumların bu bölgede çok olması, bu bölgeye olan yatırım projesi gerçekleştirme talebinin her geçen gün artması gibi unsurlar çalışma alanında bu bölgenin seçilmesinin önemli sebeplerinden biridir.

Uygulamada, ilçelere ait demografi, ulaşım, sağlık, alışveriş, eğitim gibi bilgiler için resmi kaynaklardan temin edilen verilerden yararlanılmıştır. Demografi kategorisi: nüfus, yüzölçümü ve nüfus yoğunluğundan; sağlık kategorisi: devlet hastaneleri, özel hastaneler ve üniversite hastanelerinden; ulaşım kategorisi: raylı sistemler, şehir içi otobüs, Türkiye Cumhuriyet Devlet Demir Yolları (TCDD), şehirlerarası otobüs terminali (otogar), hava limanı, gar ve deniz otobüsünden oluşmaktadır. Bu verilere ek olarak alışveriş kategorisi için; alışveriş merkezlerinden (AVM) ve eğitim kategorisi için: kütüphane, Halk Eğitim Merkezi ve Akşam Sanat Okulu (HEM ve ASO), Milli Eğitim Bakanlığı’na (MEB) bağlı ortaöğretim kurumları, Yükseköğretim Kurumu’na (YÖK) bağlı üniversiteler ve MEB’e bağlı özel yurtlardan oluşan veriler elde edilmiştir. Önerilen yöntemin geliştirilmesi sırasında internet ortamında kamuya açık ve resmi kaynaklarca yayımlanmış olan

güncel bilgiler kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan veriler ve temin edildiği kanallar Tablo 1’de detaylı bir şekilde verilmiştir.



Şekil 1: Çalışma alanı (URL-1)

Tablo 1: Kullanılan veriler

Kategori	Veri Adı	Veri Kaynağı
Demografi	İlçe Nüfusları	<a href="http://www.tuik.gov.tr/">http://www.tuik.gov.tr/</a>
	İlçe Yüzölçümleri	
	İlçe Nüfus Yoğunluğu	
Sağlık	Devlet Hastanesi	<a href="http://www.istanbul saglik.gov.tr/index.asp">http://www.istanbul saglik.gov.tr/index.asp</a>
	Özel Hastane	
	Üniversite Hastanesi	
Ulaşım	Şehir Hatları (Vapur, Motor)	<a href="http://www.sehirhatlari.istanbul">http://www.sehirhatlari.istanbul</a>
	Raylı Sistemler (Metro, Tramvay)	<a href="https://www.metro.istanbul/">https://www.metro.istanbul/</a>
	Otobüs (İETT, Otobüs A.Ş. ÖHO)	<a href="https://www.iETT.istanbul/">https://www.iETT.istanbul/</a>
	TCDD (Marmaray)	<a href="http://www.marmaray.gov.tr/">http://www.marmaray.gov.tr/</a>
	Deniz Otobüsü	<a href="https://budo.burulas.com.tr/">https://budo.burulas.com.tr/</a> <a href="https://www.ido.com.tr/">https://www.ido.com.tr/</a>
	Terminal, Havalimanı, Gar	<a href="https://yandex.com.tr/harita/">https://yandex.com.tr/harita/</a>
Alışveriş Eğitim	AVM	<a href="https://www.google.com.tr/maps/">https://www.google.com.tr/maps/</a>
	Kütüphane	<a href="http://earsiv.gov.tr/Kutuphane-Listesi.aspx">http://earsiv.gov.tr/Kutuphane-Listesi.aspx</a>
	Halk Eğitim Merkezi & Akşam Sanat Okulu	<a href="http://www.meb.gov.tr/">http://www.meb.gov.tr/</a>
	Ortaöğretim Kurumları	<a href="http://www.meb.gov.tr/">http://www.meb.gov.tr/</a>
	Üniversiteler	<a href="https://www.yok.gov.tr/universiteler/universitelerimiz">https://www.yok.gov.tr/universiteler/universitelerimiz</a>
	Özel Yurtlar	<a href="http://ookgm.meb.gov.tr">http://ookgm.meb.gov.tr</a>

### 3.2 Çalışma Alanı ve Kullanılan Veriler

KDS önceden belirlenen ölçütlere göre; çevresel ve sosyo-ekonomik göstergelere karşı önerilen, planlama müdahalelerini değerlendiren ilkelere dayanmaktadır (González, Donnelly, Jones, Chrysoulakis & Lopes, 2013). KDS uygulamalarında çalışmanın sonucunu etkileyen kıstaslardan birisi de güncel veridir. Bu çalışmada, KDS için resmi kurumların internet



sayfalarında yer alan güncel verilerden yararlanılmıştır. İlk adımda, elde edilen veriler ortak bir havuzda toplanmış ve havuzda toplanan verilerden ölçütlerine göre uygun sınıflar oluşturulmuştur. Bir sonraki adımda, karşılaştırma yapılacak ilçe takımları belirlenmiş, takımlar oluşturulan müsabaka fikstürüne göre ikili karşılaştırılmıştır. Müsabaka sonuçları, sonuç tablosuna işlenerek puan cetveli oluşturulmuştur. Son adımda ise puan cetvelinde yer alan ilçeler, çok puandan az puana doğru, eşit puanlı ilçeler ise aralarında yapılan ikili karşılaştırma sonucu yüksek puandan düşük puana göre sıralanmıştır. Müsabaka Yöntemi'nin uygulama işlem adımları Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2: Müsabaka yöntemi işlem adımları

Müsabaka Yöntemi'nde, uygulamada kullanılan her bilgi "spreadsheet" adı verilen elektronik excel tablolarında işlenerek excel komutları yardımıyla, çalışma bölgesinde yer alan 39 ilçe arasında bağlantı sağlanmıştır. Elektronik tabloların kullanılmasındaki amaçlardan biri; son kullanıcıların hem kendi mantığına göre elektronik tablolara müdahale etmesine yardımcı olmak, hem de ücretli yazılımların yanı sıra mevcut imkânlar kullanılarak ücretsiz bir şekilde bu işlemlerin yapılabilmesine olanak sağlamaktır. Ayrıca, elektronik tablolar programcıların, programlama görevlerini basitleştirerek veya otomatikleştirerek uygulamalar geliştirmesine yardımcı olan bir yazılım aracı olarak düşünülebilir (Grossman, Mehrotra & Özlük, 2007). Çalışmada, elektronik tablolardan yararlanılarak veri tablosu, genel fikstür tablosu, müsabaka tablosu ve puan sıralı ilçe tablosu tasarlanmıştır. Bu veri tablosuna 39 ilçe 28 farklı ölçütte, ilçelerin sahip olduğu veri sayısı eklenmiştir. Daha sonra ilçeler ikili karşılaştırmaların yapıldığı genel fikstür tablosuna "EĞERSAY", "TOPLA" ve "EĞER" vb. temel excel fonksiyonlarıyla kodlama yapılarak tablolar arası bağlantı yapılmıştır. Bu bağlantı ile her ölçütün aralarında sadece bir kez karşılaştırılması koşulu ile tabloda diziliş sırası gözetmeksizin 741 adet ikili karşılaştırma yapılarak karşılaştırma sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaşma sayısı (KS), galibiyet (G), beraberlik (B), mağlubiyet (M), alınan sayı (AS), verilen sayı (VS), averaj (AV) ve puan (P) bilgisinin bulunduğu müsabaka tablosuna yazdırılmış ve bu doğrultuda sonuçlar elde edilmiştir. Ölçütler arasında kurulan ilişkilerden elde edilen sonuçlara uygun sıralı ilçe puan tablosu oluşturularak tablolar doldurulmuştur. Kurgulanan tablo örneği Şekil 3'te, gerçekleştirilen tüm işlemlerin her ölçütü için uygulanan algoritma yapısı Şekil 4'te yer almaktadır. Bu yapıya ilişkin sözde kod örneği ise Şekil 5'te verilmiştir.

İLÇELER	İlçe Nüfusu	Yüzölçüm	Yoğunluk	Devlet	Özel	ÜniHast
ADALAR						
ARNAVUTKÖY						
ATAŞEHİR						
AVCILAR						
BAĞCILAR						
BAHÇELİEVLER						
BAKIRKÖY						
BAŞAKŞEHİR						
BAYRAMPAŞA						
BEŞİKTAŞ						

(a)

ADALAR	
ADALAR	ARNAVUTKÖY
ADALAR	ATAŞEHİR
ADALAR	AVCILAR
ADALAR	BAĞCILAR
ADALAR	BAHÇELİEVLER
ADALAR	BAKIRKÖY
ADALAR	BAŞAKŞEHİR
ADALAR	BAYRAMPAŞA
ADALAR	BEŞİKTAŞ
ADALAR	BEYKOZ

(b)

FİKSTÜR		ADALAR	ARNAVUTKÖY	ATAŞEHİR	AVCILAR	BAĞCILAR
		1	2	3	4	5
ADALAR	1	*				
ARNAVUTKÖY	2		*			
ATAŞEHİR	3			*		
AVCILAR	4				*	
BAĞCILAR	5					*

(c)

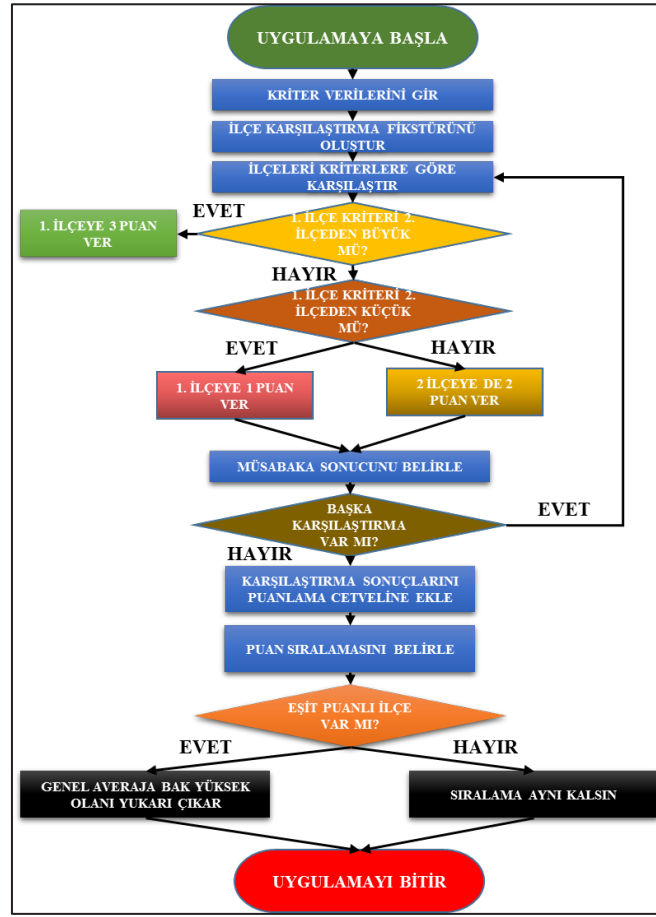
TAKIMLAR	KS	G	B	M	AS	YS	AV	P
ADALAR								
ARNAVUTKÖY								
ATAŞEHİR								
AVCILAR								
BAĞCILAR								
BAHÇELİEVLER								

(d)

Şekil 3: Tablo örnekleri (a) veri tablosu, (b) genel fikstür tablosu, (c) müsabaka tablosu, (d) puan sıralı ilçe tablosu

Önerilen Müsabaka Yöntemi puanlama algoritmasına göre; veriler derlenip ilçeler arasında bağlantı kurulduktan sonra ilk adımda ilçelerle birlikte seçenek ve ölçüt tabloları oluşturulmuştur. Daha sonra bu tabloda bulunan her ilçe için ikili karşılaşma ile bir müsabaka programı hazırlanmıştır. Hazırlanan müsabakalarla 39 ilçe için kendi aralarında tüm ölçütler için evet/hayır mantığına dayanarak bir seçim ölçütü uygulanmıştır. Bu adımda; olumlu durum ölçütü için 3 puan, eşit durumlu ölçütler için 2 puan, olumsuz durum ölçütü için de ilçelere 1 puan verilmiştir. Bu ölçütlere göre 3-1, 2-2 veya 1-3 gibi her bir ölçüt için devre veya setlere benzer sonuçlar bulunmuştur. Şekil 6'da takımların sahip olduğu ölçüt verileri ve bu ölçütler arasından yapılan karşılaştırma sonuçlarının örnek gösterimi yer almaktadır.

Belirlenen ölçütlere uygun olarak tüm takımlar tablolar arasından ikili olarak tek tek karşılaştırılmıştır (Şekil 6). Kurulan algoritmadan elde edilen sonuçlara göre; Fatih ilçesi 39 ilçe içerisinde yapılan 38 karşılaşma içerisinde toplamda 36 defa üstünlük sağlayarak 3 puan, 1 kere diğer ilçeye eşitliği bozmayarak 2 puan ve 1 kere de diğer ilçe kıyaslamasında az puan aldığı için 1 puan olarak toplamda 111 puan toplamıştır. Fatih ilçesine benzer şekilde Kadıköy ilçesi de ikili karşılaştırmalar sonucu 111 puan topladığı gözlenmiştir. Ancak, Fatih ilçesi genel averajda Kadıköy ilçesinden daha yüksek averaj puanına sahiptir. Bu durumda, Fatih ilçesi averaj puan avantajıyla Müsabaka Yöntemi ile en çok puan olarak 39 ilçe arasında verilen 28 ölçüte göre en optimum ilçe olarak seçilmiş ve karar vericiye önerilebilecek en uygun ilçe olmuştur. Elde edilen bu sonuçlarla, her bir ilçe için ayrı ayrı toplanarak müsabaka sonuçları belirlenmiş; belirlenen sonuçlar ilçe lig tablosuna aktarılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 39 ilçe ilk durumda en çok puan alandan en düşük puan alan ilçeye doğru sıralanmış; ikinci durumda ise eşit puanlı ilçeler kendi arasında genel averaj durumu baz alınarak iç sıralama yapılmıştır. Oluşan sıralamaya göre karşılaştırma puan tablosu güncellenerek son şeklini almıştır. Şekil 7'de elde edilen sıralama tablosunun ilk ve son durumu gösterilmektedir.



Şekil 4: Müsabaka yöntemi puanlama algoritma yapısı

```

(1) begin
(2)   input Elektronik tablolara veri girişi yap;
(3)   Müsabaka fikstürünü oluştur;
(4)   set a= 'birinci ilçe'; b='ikinci ilçe'; k1= 'birinci ilçe ölçüt'; k2= 'ikinci ilçe ölçüt';
(5)   if k1 >k2; "a'ya 3 puan ekle" and "b'ye 1 puan ekle";
(6)       elseif k1 = k2; "a'ya 2 puan ekle" and "b'ye 2 puan ekle" ;
(7)       else "a'ya 1 puan ekle" and "b'ye 3 puan ekle";
(8)   end;
(9)   Karşılaşma sonuçlarını topla, ilçeleri puanlara göre sırala;
(10)  set p1 = 'birinci ilçe genel puan'; p2 = 'ikinci ilçe genel puan';
(11)  a1='birinci ilçe toplam averaj'; a2='ikinci ilçe toplam averaj';
(12)  if p1 >p2; "sıralama aynı kalsın";
(13)  else p1 = p2;
(14)  if a1 > a2; "sıralama aynı kalsın" ;
(15)  else sıralamada a ile b'yi yer değiştir";
(16)  end;
(17)  end;
(18)  end;

```

Şekil 5: Yapıya ilişkin sözde kod örneği

İlçeler	İlçe Nüfusu	Yüzölçüm	Yoğunluk	Devlet	Özel	ÜniHast	Şehir Hatları	Raylı Sistemler	Otobüs	Marmaray	Terminal	Hava Limanı	Gar	Deniz Otobüsü	AVM	Kütüphane	Hem_AS0	AİHL	AL	ÇPAL	FL	MTAL	SBL	Devlet	Özel	Fakülte	MYO	Yurt
ADALAR	14.478	15.85	% 0,10	1	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	34	102	306	0	0	0	0	0	0	0	0
ARNAVUTKÖY	247.507	506.52	% 1,67	1	1	0	0	0	VAR	0	0	0	0	0	0	0	5	612	748	374	0	1598	0	0	0	0	0	2
ATAŞEHİR	422.513	25.84	% 2,85	2	6	2	0	0	VAR	0	1	0	0	0	4	0	8	680	1326	238	0	2144	0	0	2	2	1	14
AVCILAR	430.770	39.23	% 2,91	2	3	0	0	0	VAR	0	0	0	0	1	1	1	4	374	918	272	0	2246	0	0	4	3	1	32
BAĞCILAR	751.510	22.00	% 5,08	2	10	0	0	5	VAR	0	0	0	0	0	2	1	14	1394	1700	0	0	3774	0	0	3	2	1	4
BAHÇELİEVLER	598.097	16.17	% 4,04	3	13	1	0	5	VAR	0	0	0	0	0	2	1	11	1258	1734	306	0	4216	120	0	2	2	0	10

(a)

İlçeler	İlçe Nüfusu	Yüzölçüm	Yoğunluk	Devlet	Özel	ÜniHast	Şehir Hatları	Raylı Sistemler	Otobüs	Marmaray	Terminal	Hava Limanı	Gar	Deniz Otobüsü	AVM	Kütüphane	Hem_AS0	AİHL	AL	ÇPAL	FL	MTAL	SBL	Devlet	Özel	Fakülte	MYO	Yurt	Toplam
ADALAR	3	1	3	2	1	2	3	2	1	2	2	2	2	2	2	3	1	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	1	51
ARNAVUTKÖY	1	3	1	2	3	2	1	2	3	2	2	2	2	2	2	1	3	3	3	3	2	3	2	2	2	2	2	3	61
ADALAR	3	1	3	1	1	1	3	2	1	2	1	2	2	2	1	3	1	1	1	3	2	1	2	2	1	1	1	46	
ATAŞEHİR	1	3	1	3	3	3	1	2	3	2	3	2	2	2	3	1	3	3	3	1	2	3	2	2	3	3	3	66	
ADALAR	3	1	3	1	1	2	3	2	1	2	2	2	2	1	1	3	1	1	1	3	2	1	2	2	1	1	1	47	
AVCILAR	1	3	1	3	3	2	1	2	3	2	2	2	2	3	3	1	3	3	3	1	2	3	2	2	3	3	3	65	

(b)

Şekil 6: Ölçüt puanlama sistemi (a) genel veri durumu, (b) karşılaştırma sonuç durumu

### 3.2.1 Vektörel Harita Üretimi

Yapılan uygulama sonucunda, elde edilen ilçe sıralamaları açık kaynak kodlu CBS yazılımında temsil edilmek üzere sayısallaştırılmıştır. Öncelikle internet aracılığıyla “.jpg” formatlı İstanbul ilçe haritası temin edilmiştir. İlk adımda temin edilen bu harita CBS projesinde altlık olarak kullanılması için “.tif” formatlı raster veri tipine dönüştürülmüştür. İkinci adımda ise elde edilen veriler ile doğru sonuçların elde edilmesi, sonuçların saklanması ve tekrar edilen verilerin önüne geçilebilmesi için veri tabanları oluşturulmuştur. Veritabanları ile üretilen veri depoları karar verme sürecinde önem teşkil etmektedir (Durduran & Sarı, 2011). Bu sebeple, çalışmada pratik anlamda öznitelik bilgisi içeren bir veritabanı oluşturabilmek için açık kaynak kodlu Qgis yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım ile “ilceler” isimli “.shp” uzantılı poligon vektör tipli katman oluşturularak, katmanın içerisine referans sağlaması için katman veri tabanına “ilce\_ad”, “ilce\_sıra”, “ilce\_averaj” ve “ilce\_puan” isimli kolonlar eklenmiştir (Tablo 2). Bir sonraki adımda ise oluşturulan katman ile raster altlık harita üzerinde çizim yapılarak harita vektörel olarak sayısallaştırılmıştır.

Tablo 2: Özniteliklere ilişkin veri tabanı standartları

Öznitelik Adı	İlçe_sıra	İlçe_adi	İlçe_averaj	İlçe_puan
Veri Tipi	Integer	String	Integer64	Integer
Uzunluk	3	25	7	4

Öznitelik tablosunun oluşturulmasının ardından elektronik tabloda üretilen sonuçlar, yazılıma aktararak yazılımın içinde bulunan öznitelik verileriyle elektronik tablo verileri birleştirilmiştir. Bu işlemde iki tabloda da ortak kolon verilerine sahip ilçe\_sıra ve sıra kolonları ilişkilendirilmiştir. Bu şekilde başlangıçta 4 adet kolona sahip öznitelik tablosuna 6 kolon daha ilave edilerek kolon sayısı 10’a çıkarılmıştır. Tablo 3’te öznitelik tablosuna ilişkin son durum gösterilmektedir.

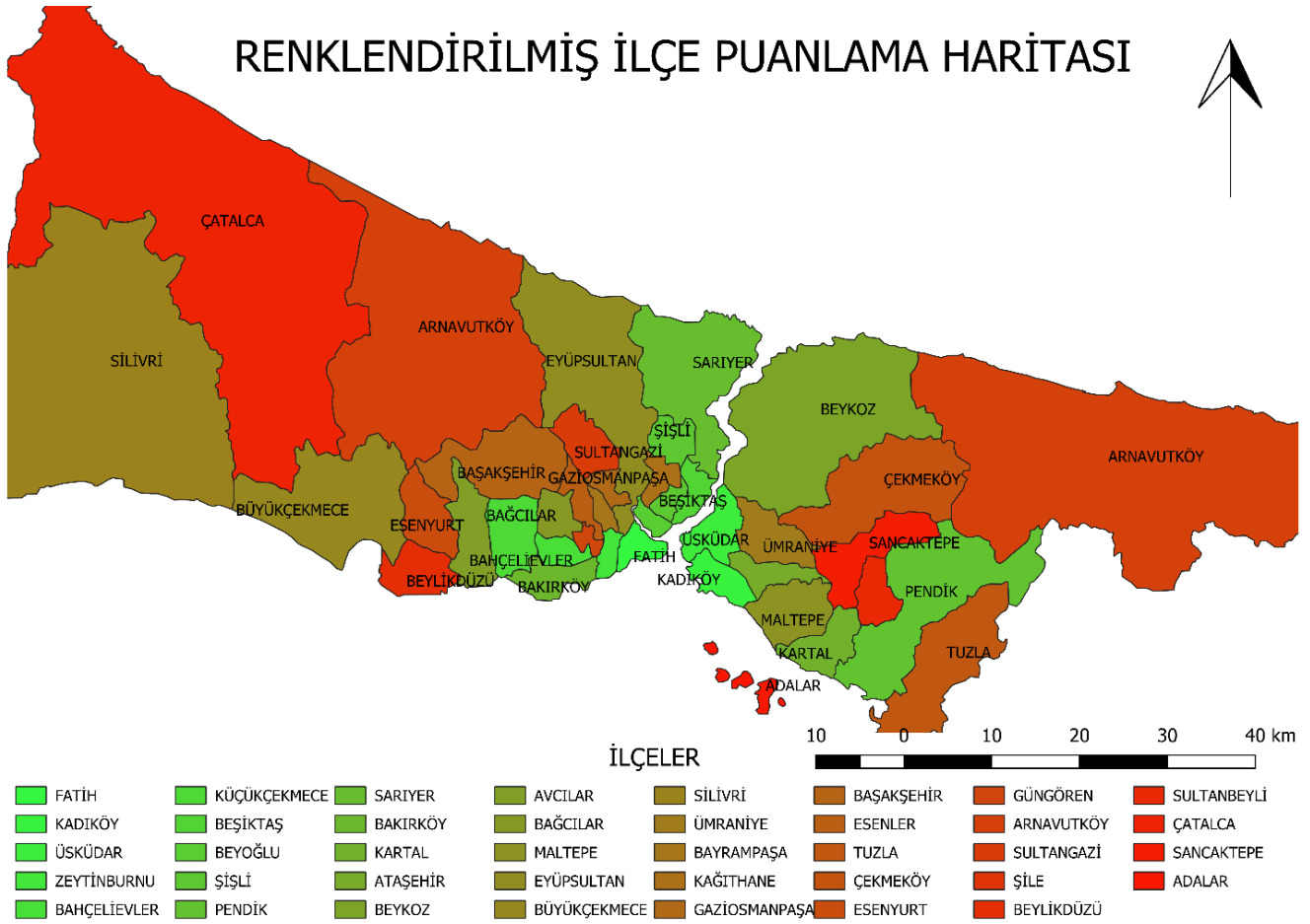
Sıra	Takımlar	KS	G	B	M	AS	YS	AV	P	Sıra	Takımlar	KS	G	B	M	AS	YS	AV	P
1	FATİH	38	36	1	1	2569	1687	882	111	1	FATİH	38	36	1	1	2569	1687	882	111
2	KADIKÖY	38	36	1	1	2456	1800	656	111	2	KADIKÖY	38	36	1	1	2456	1800	656	111
3	ÜSKÜDAR	38	35	2	1	2520	1736	784	110	3	ÜSKÜDAR	38	35	2	1	2520	1736	784	110
4	ZEYTİNBURNU	38	32	2	4	2306	1950	356	104	4	ZEYTİNBURNU	38	32	2	4	2306	1950	356	104
5	BAHÇELİEVLER	38	30	1	7	2290	1966	324	99	6	BAHÇELİEVLER	38	30	1	7	2290	1966	324	99
6	KÜÇÜKÇEKMECE	38	30	1	7	2281	1975	306	99	5	KÜÇÜKÇEKMECE	38	30	1	7	2281	1975	306	99
7	BEŞİKTAŞ	38	29	2	7	2251	2005	246	98	7	BEYOĞLU	38	29	2	7	2274	1988	286	98
8	BEYOĞLU	38	29	2	7	2274	1988	286	98	8	BEŞİKTAŞ	38	29	2	7	2251	2005	246	98
9	ŞİŞLİ	38	29	2	7	2243	2013	230	98	9	ŞİŞLİ	38	29	2	7	2243	2013	230	98
10	PENDİK	38	28	1	9	2251	1995	256	95	10	PENDİK	38	28	1	9	2251	1995	256	95
11	SARIYER	38	27	3	8	2223	2033	190	95	11	SARIYER	38	27	3	8	2223	2033	190	95
12	BAKIRKÖY	38	27	1	10	2221	2033	188	93	12	BAKIRKÖY	38	27	1	10	2221	2033	188	93
13	KARTAL	38	25	3	10	2251	2005	246	91	13	KARTAL	38	25	3	10	2251	2005	246	91
14	ATAŞEHİR	38	23	2	13	2210	2046	164	86	14	ATAŞEHİR	38	23	2	13	2210	2046	164	86
15	BEYOZ	38	22	4	12	2173	2083	90	86	15	BEYOZ	38	22	4	12	2173	2083	90	86
16	AVCILAR	38	19	4	15	2122	2129	-7	80	16	BAĞCILAR	38	20	2	16	2190	2066	124	80
17	BAĞCILAR	38	20	2	16	2190	2066	124	80	17	AVCILAR	38	19	4	15	2122	2129	-7	80
18	MALTEPE	38	19	3	16	2184	2015	169	79	18	MALTEPE	38	19	3	16	2184	2015	169	79
19	EYÜPSULTAN	38	17	6	15	2128	2128	0	78	19	EYÜPSULTAN	38	17	6	15	2128	2128	0	78
20	BÜYÜKÇEKMECE	38	18	1	19	2139	2117	22	75	20	BÜYÜKÇEKMECE	38	18	1	19	2139	2117	22	75
21	SİLİVRİ	38	15	3	20	2054	2182	-128	71	21	SİLİVRİ	38	15	3	20	2054	2182	-128	71
22	ÜMRANİYE	38	16	1	21	2056	2194	-138	71	22	ÜMRANİYE	38	16	1	21	2056	2194	-138	71
23	BAYRAMPAŞA	38	14	3	21	2103	2163	-60	69	23	BAYRAMPAŞA	38	14	3	21	2103	2163	-60	69
24	KAĞITHANE	38	14	2	22	2054	2202	-148	68	24	KAĞITHANE	38	14	2	22	2054	2202	-148	68
25	GAZİOSMANPAŞA	38	14	1	23	2021	2235	-214	67	25	GAZİOSMANPAŞA	38	14	1	23	2021	2235	-214	67
26	BAŞAKŞEHİR	38	12	4	22	2038	2218	-180	66	26	TUZLA	38	13	2	23	2068	2188	-120	66
27	ESENLER	38	13	2	23	1991	2133	-142	66	27	ESENLER	38	13	2	23	1991	2133	-142	66
28	TUZLA	38	13	2	23	2068	2188	-120	66	28	BAŞAKŞEHİR	38	12	4	22	2038	2218	-180	66
29	ÇEKMEKÖY	38	12	0	26	1975	2279	-304	62	29	ÇEKMEKÖY	38	12	0	26	1975	2279	-304	62
30	ESENYURT	38	9	2	27	1918	2338	-420	58	30	ESENYURT	38	9	2	27	1918	2338	-420	58
31	GÜNGÖREN	38	5	5	28	1951	2305	-354	53	31	GÜNGÖREN	38	5	5	28	1951	2305	-354	53
32	ARNAVUTKÖY	38	6	2	30	1915	2341	-426	52	32	SULTANGAZİ	38	5	4	29	1970	2294	-324	52
33	SULTANGAZİ	38	5	4	29	1970	2294	-324	52	33	ARNAVUTKÖY	38	6	2	30	1915	2341	-426	52
34	ŞİLE	38	5	3	30	1953	2303	-350	51	34	ŞİLE	38	5	3	30	1953	2303	-350	51
35	BEYLÜKDÜZÜ	38	6	0	32	1954	2239	-285	50	35	BEYLÜKDÜZÜ	38	6	0	32	1954	2239	-285	50
36	SULTANBEYLİ	38	4	3	31	1967	2289	-322	49	36	SULTANBEYLİ	38	4	3	31	1967	2289	-322	49
37	ÇATALCA	38	2	3	33	1896	2360	-464	45	37	ÇATALCA	38	2	3	33	1896	2360	-464	45
38	SANCAKTEPE	38	1	1	36	1865	2411	-546	41	38	SANCAKTEPE	38	1	1	36	1865	2411	-546	41
39	ADALAR	38	1	0	37	1805	2444	-639	40	39	ADALAR	38	1	0	37	1805	2444	-639	40

Şekil 7: İlçe karşılaştırmalarının puanlama çıktısı ilk durum (solda), son durum (sağda)

Tablo 3: Özniteliklerin birleştirme durumu

Kolon Bilgisi	Yazılım				Elektronik Tablo	
Öznitelik Adı	İlçe_sıra	İlçe_adi	İlçe_averaj	İlçe_puan	KS	G B M AS YS
Veri Tipi	Integer	String	Integer64	integer	integer64	
Uzunluk	3	25	7	4	10	

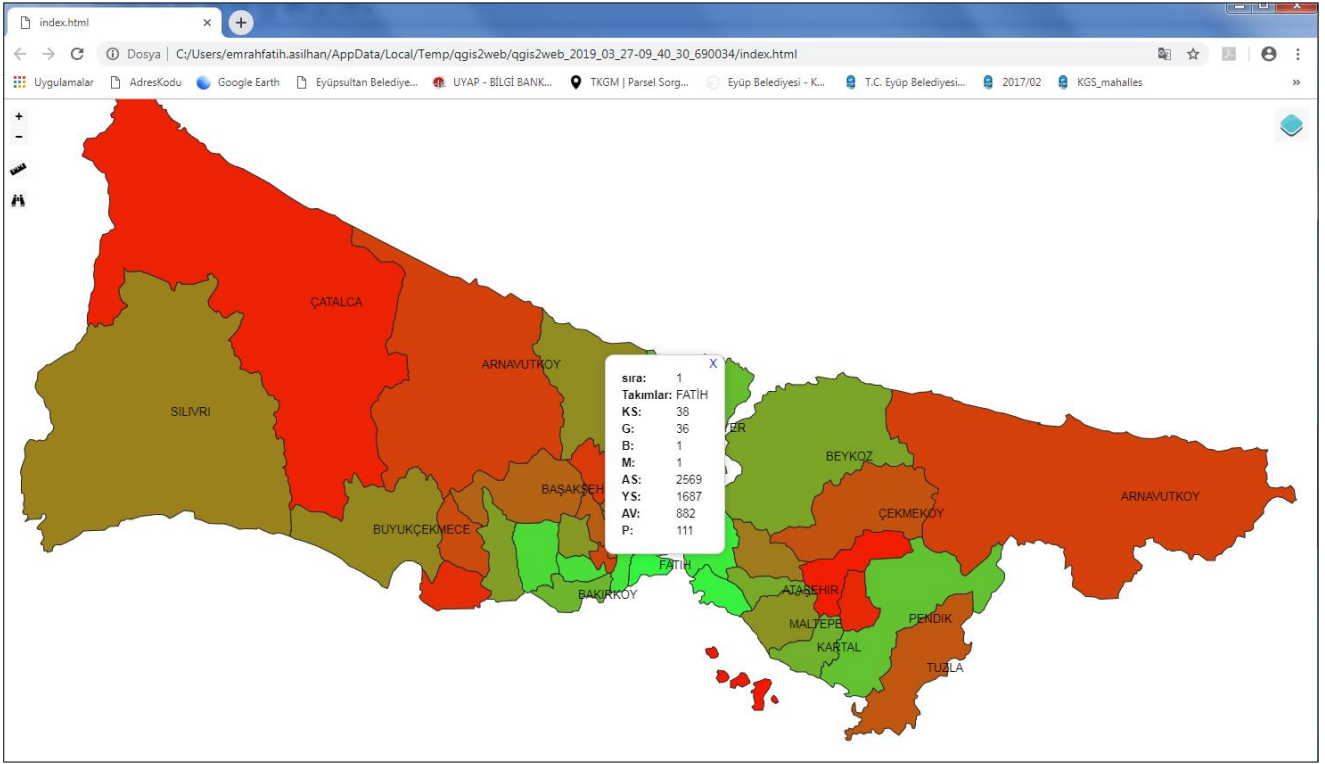
Altlık harita üzerinde sayısallaştırılan ilçeler; öznitelik tablo birleştirmesinin ardından çalışmanın son adımı olan puanlama haritası işlemlerine başlanılmıştır. Çalışmada, Şekil 7’den yararlanılarak uygulamada oluşturulan ilçeler katmanına sıralama sütunu eklenmiş, ilçeler bu sütuna göre yeniden sıralanmış ve sıralama durumuna göre yüksek puan alan ilçeden düşük puan alan ilçeye doğru yeşil ile kırmızı renk skalası ile ilçeler gösterilerek, renklendirilmiş ilçe puan haritası oluşturulmuştur. Sonuç ürün olan 1/500000 ölçekli “renklendirilmiş ilçe puanlama haritası” kuzey işareti, ölçek ve lejant gibi haritanın temel unsurları eklenerek internet ortamında servis edilmek üzere hazır hale getirilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8: Renklendirilmiş İlçe puanlama haritası

### 3.2.2 Çalışmanın Lokal Sunucuda Servis Edilmesi

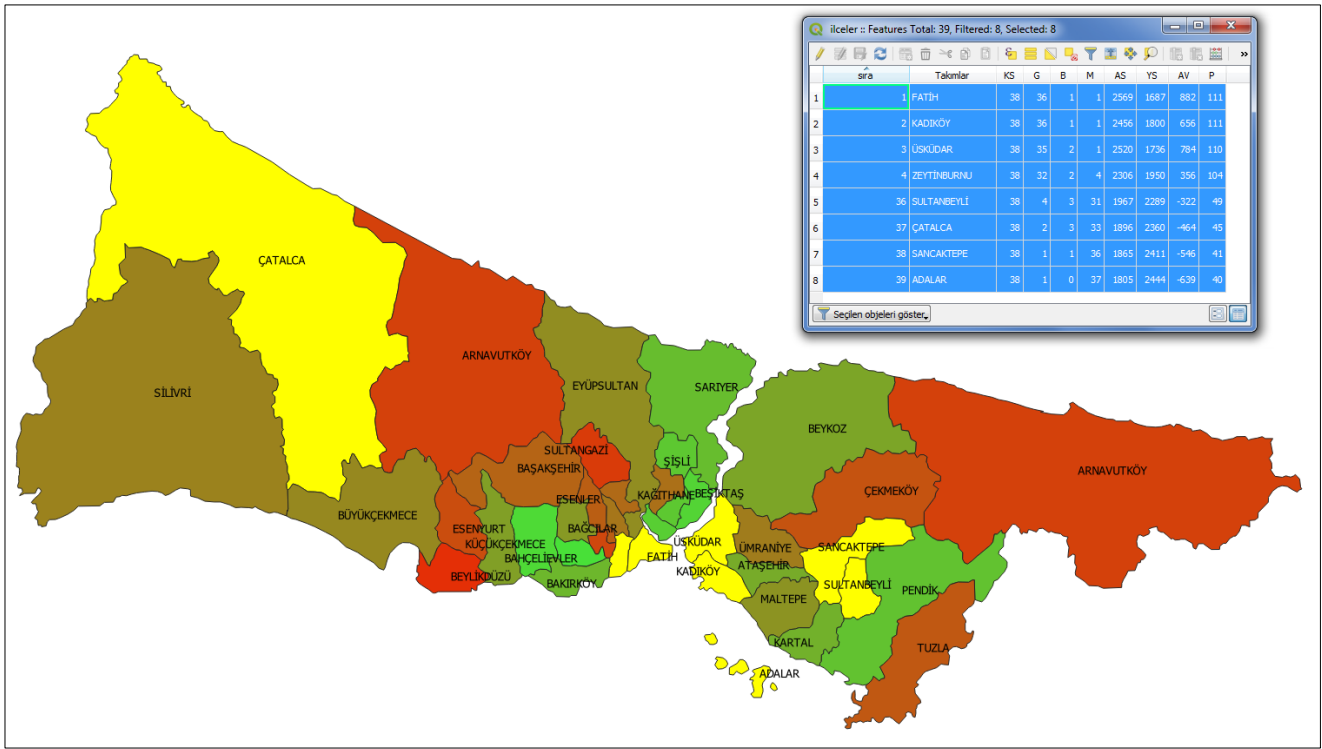
İnternet tabanlı haritalar masaüstü yazılımlardan bağımsız, yerel ağ bağlantısıyla kurum içinde ya da internet bağlantısının bulunduğu her yerden erişim sağlanabilen güvenli ve pratik sistemlerdir. Bu sistemler bilgisayar içinde yer alan veri deposunu işgal etmediği gibi ayrıca yazılım lisanslama ve güncelleme gibi işlemlere ihtiyaç duyulmadan, kullanıcılara hız ve ekonomik anlamda kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca, sisteme tek bir merkezden müdahale edilebilmesi de oluşabilecek siber saldırı veya güvenlik açıklarının da önüne hızlı bir şekilde geçilmesini kolaylaştırmaktadır. Bu çalışmada üretilen renklendirilmiş vektörel puan haritasının internet ortamında servis edilmesi için açık kaynak kodlu ücretsiz bir CBS yazılımı kullanılmıştır. Yazılım içerisinde yer alan eklenti arayüzü kullanılarak; sınırlı veriler ile sınırsız sayıda seçenek sunumu ve harita sembolleri aracılığıyla web tabanlı görsel harita üretilmiştir. Harita sembolleri, CBS'nin temel bir dil elemanı olarak coğrafi bilgiyi temsil eden ana görselleştirme aracıdır (Chen, He, Zhang & Nover, 2016). Web kodlama eklentisi ile servis edilecek katmanlara ait bilgi kartlarının tasarımı yapılarak öznetelik bilgilerinin özet olarak gösterimi sağlanmıştır. İlçe sınırlarının içerisinde mesafe ölçme birimi metrik sistemde düzenlenmiş ve koordinat referans sisteminin eşleşmesi aktif hale getirilmiştir. Ayrıca, haritanın sayfada yer alan görüntüsünün, sayfa ekranını merkezinde ve sayfayı kaplayarak açılmasına dikkat edilerek, haritanın yakınlaştırma ve uzaklaştırma seviyeleri belirlenmiş, üretilen harita lokal olarak servis edilmiştir (Şekil 9).



Şekil 9: Lokal olarak servis edilen internet sayfası görüntüsü

#### 4. Sonuç ve Öneriler

CBS ile KDS'nin birbirleriyle ilişkilendirilerek kullanımı ile karar vericiler, karar verme süreçlerinde doğru seçim ve analiz sonuçlarına ulaşabilmektedirler. Müsabaka Yöntemi ile karar vericiler elinde bulunan sayısal verilerle ölçütlere müdahale etmeden bağımsız olarak sonuç elde edebilmektedir. Bu çalışmada, önerilen yöntem ile 39 ilçe için 28 ölçüte göre toplamda 20748 kez değerlendirme yapılmış; 741 adet ikili karşılaştırma sonucu elde edilmiştir. Gerçekleştirilen analizler ile İstanbul'da yer alan 39 ilçe, 28 ölçüt değerlendirmesi sonucu kazandığı puanlara göre sıralanmış, yer seçimi belirleme ve karar verme aşamasında hızlı ve doğru sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca, açık kaynak kodlu CBS yazılımında üretilen altlık harita üzerinde, mekan işaretlemesi yapılarak coğrafi bilgi içermeyen sayısal bilgiler somutlaştırılmıştır. Vektör veri tipli katman üzerinden oluşturulan öznitelik tablosu desteğiyle, karar analizi işlemlerinin veri tabanları ile daha hızlı yapıldığı gözlemlenmiştir. Şekil 10'da veri tabanı üzerinde yapılan sorgulama sonucunda puan cetveline göre ilk dört ve son dört sırada yer alan ilçeler sarı renk ile gösterilmektedir. Bu sonuçların yanı sıra, elektronik tabloların açık kaynak kodlu yazılım aracıyla vektör veri katmanı dosyasına bağlama işleminin yapılması sonucunda; 1134 adet meta verinin, katman veri tabanına pratik bir şekilde eklenmesi gerçekleştirilmiştir. Veri tabanında yer alan bilgilerle sıralama sonucuna uygun renklendirilmiş puan haritası üretilmiştir. Üretilen haritanın lokal sunucu üzerinden sorunsuz bir şekilde servisi yapılmıştır. Üretilen renklendirme haritaları sayesinde kullanıcılar tematik anlamda bölgeleri rahat bir şekilde ayırt edebilmektedir. Yöntem bu sayede, mevcut ya da planlanan sosyo-ekonomik gelişmeler, yatırım, sürdürülebilir çevre vb. projeler için kullanıcılara karar verme süreçlerinde; mekansal doğru verinin seçimine, mekansal güncel verinin özniteliklerini analiz edebilmeye ve kullanım amaçlarına yönelik tüm bilgileri sağlayarak pratik anlamda destek olmaya olanak sağlamaktadır.



Şekil 10: Müsabaka yöntemi ile ilk 4 ve son 4 ilçenin sorgulama sonucu örnek gösterimi

Karar verme aşamasında kullanıcılar zaman zaman doğru sonuca, daha hızlı ulaşabilmek için destek sistemlerden yararlanmaktadır. Müsabaka Yöntemi kullanıcılara bu doğrultuda destek sağlayan pratik bir sistemdir. AHP, ELECTRE ve TOPSIS yöntemleri karar destek sistemi uygulamalarında karar vericiler tarafından yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir. Geliştirilen Müsabaka Yöntemi; sistemin getirdiği kullanım kolaylığı, pratik bir şekilde doğru veriye ulaşılabilme, görsel karar verme özelliği ve yeni ölçütlerin eklenerek farklı müsabakalarla genişletilebilir olması avantajları ile diğer yöntemlere alternatif olmaktadır. Ayrıca Müsabaka Yöntemi diğer yöntemlerden farklı olarak; anket sonuçlarına ve istatistiksel bilgilere gerek duymadan, odak gruplarından bağımsız, tüm ölçütlerin birbirleriyle olan bağlantılarını karşılaştırarak pratik olarak anlamlı sonuçlar elde etmek üzere tasarlanmıştır. Kullanıcılar, bu tasarım ile gerek excel üzerinde gerekse başka programlarda bu yöntemi kolaylıkla kullanılabilmeye imkanı bulmaktadırlar.

Bu çalışmada, önerilen Müsabaka Yöntemi'nin diğer yöntemlere alternatif olarak sunulmasını desteklemek amacıyla örnek veri uygulaması yapılmıştır. Bu aşamada, Avcılar, Arnavutköy ve Ataşehir ilçeleri rastgele olarak seçilmiş ve bu ilçelere ait yüzölçümü, hastane ve ulaşım verileri kullanılmıştır. Bu karşılaştırma işleminde; her yöntem kendi algoritma yapısı ve sonuç formatına uygun olarak ele alınmıştır. Ayrıca, kullanılan ölçüt ağırlıkları eşit olarak alınmış; grup odakları ölçüt değerleri 1 olacak şekilde ön kabul yapılarak sonuçların yöntemlere göre objektif olarak değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Bu dört yöntemle göre yapılan karşılaştırma sonucunda Ataşehir birinci, Arnavutköy ikinci ve Adalar ise karar vericiye tercih edilmesi için önerilen üçüncü ilçe olmuştur (Tablo 4). Sonuçta minimum ölçüt değerleri ile gerçekleştirilen örnek karşılaştırmada Müsabaka Yöntemi'nin diğer yöntemlere göre veri girişi ve ön işleme adımları dikkate alındığında sonuca hızlı ulaşma, kullanıcıya tercih konusunda öneri sunma açısından daha uygun olduğu gözlenmiştir.



**Tablo 4:** Müsabaka yöntemi ile diğer yöntemlerin karşılaştırılması

	ADALAR	ARNAVUTKÖY	ATAŞEHİR
AHP	3. (%25)	2. (%32)	1. (%43)
ELECTRE	3. (0,0=0 özellik)	2. (1,0=1 özellik)	1. (1,1=2 özellik)
TOPSIS	3. (0.6673)	2. (0.6698)	1. (0.7006)
MÜSABAKA YÖNTEMİ	3. (2 puan)	2. (4 puan)	1. (6 puan)
GENEL TERCİH ÖNERİSİ	3.	2.	1.

Sonuç olarak önerilen yaklaşım ile bilinen bu karar verme algoritmalarına alternatif bir kural geliştirilerek; CBS ile KDS'nin bütünleştirilmesi ile iki sistemle sonuca daha hızlı ulaşma hedefi gerçekleştirilmiştir. Böylece, son kullanıcılara çalışma sonuçlarının internet tabanlı harita aracılığıyla hızlı bir şekilde servis edilmesi sağlanmıştır. Müsabaka Yöntemi ile geliştirilen algoritma yardımıyla kullanıcılar elektronik tablolarda yer alan veri envanterlerini ikili karşılaştırmalar yaparak seçim konusunda fikir elde edebilmektedir. Ayrıca elektronik tablolar, öznetelik tablosu şeklinde CBS sistemleri ile desteklediği takdirde tekrarlı verilerin önüne geçilerek analiz, değerlendirme ve mekansal yer belirleme işlemleri daha kolay olacaktır. Yöntemin basit bir düzenek ile tasarlanmış olması pratik anlamda çözüm sağladığı gibi üst düzey programlarla yöntemin desteklenmesi halinde yöntem ile daha anlamlı sonuçlar elde edilebilecektir. Ayrıca yöntem coğrafi bilgi içermeyen elektronik tabloların CBS çalışmalarında da değerlendirilebilmesine olanak sağlamaktadır. Bu sayede birbirinden bağımsız sistemler olan KDS ile CBS'nin birbirleri ile bütünleştirilerek kullanılması halinde alınacak kararlar daha anlamlı olacaktır.

## Kaynaklar

- Anbaroğlu, B. (2017). Gönüllü Coğrafi Bilgi: Mekânsal Bilişim Çalışmalarına Web 2.0 Devrinde Yeni Bir Yaklaşım. *Harita Dergisi*, 158, 1-9.
- Arslan, V., & Yılmaz, G. (2010). Karar destek sistemlerinin kullanımı için uygun bir model geliştirilmesi. *Journal of Aeronautics and Space Technologies*, 4(4), 75-82.
- Aydın, G., & Erdoğan, A. (2011). Web tabanlı bir mekânsal karar destek sistemi tasarımı ve geliştirilmesi. *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Sempozyumu*.
- Chen, W., He, B., Zhang, L., & Nover, D. (2016). Developing an integrated 2D and 3D WebGIS-based platform for effective landslide hazard management. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 20, 26-38.
- Coutinho-Rodrigues, J., Simão, A., & Antunes, C. H. (2011). A GIS-based multicriteria spatial decision support system for planning urban infrastructures. *Decision Support Systems*, 51(3), 720-726.
- Demireli, E. (2010). TOPSIS çok kriterli karar verme sistemi: Türkiye'deki kamu bankaları üzerine bir uygulama. *Girişimcilik ve Kalkınma Dergisi* 5(1), 101-112.
- Durduran, S. S., & Sarı, F. (2011). Konya ilinde meydana gelen bisiklet kazalarının karar destek sistemleri yardımıyla web tabanlı mekânsal analizi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 26(1), 23-32.
- Erden, T., & Coşkun, M. Z. (2011). Coğrafi bilgi sistemleri ve analitik hiyerarşi yöntemi yardımıyla itfaiye istasyon yer seçimi. *TMMOB Karita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 301.
- González, A., Donnelly, A., Jones, M., Chrysoulakis, N., & Lopes, M. (2013). A decision-support system for sustainable urban metabolism in Europe. *Environmental Impact Assessment Review*, 38, 109-119.
- Grossman, T. A., Mehrotra, V., & Özlük, Ö. (2007). Lessons from mission-critical spreadsheets. *Communications of the Association for Information Systems*, 20(1), 60.
- İrfan, M., Koj, A., Sedighi, M., & Thomas, H. (2017). Design and development of a generic spatial decision support system, based on artificial intelligence and multicriteria decision analysis. *GeoResJ*, 14, 47-58.
- Karacasu, M. (2007). Kentiçi Toplu Taşıma Yatırımlarının Değerlendirilmesinde Karar Destek Modeli (ELECTRE Yöntemi) Kullanımı. *Ulaştırma Kongresi*, 155-164.
- Laudon, K. C., & Laudon, J. P. (2006). *Management information system*. Pearson Education.

- Malczewski, J. (1999). *GIS and multicriteria decision analysis*. John Wiley & Sons.
- Ömürbek, N., & Şimşek, A. (2014). Analitik hiyerarşi süreci ve analitik ağ süreci yöntemleri ile online alışveriş site seçimi. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 12(22), 306-327.
- Santos, L., Coutinho-Rodrigues, J., & Antunes, C. H. (2011). A web spatial decision support system for vehicle routing using Google Maps. *Decision Support Systems*, 51(1), 1-9.
- Taşbaş S., Karadağ., & Kösemli M., (2015). Spatial decision support system for urban renewal. *Yönetim Bilişim Sistemleri Dergisi*, 1(1). 50-63.
- Uyan, M., Çay, T., & Akçakaya, O. (2013). A spatial decision support system design for land reallocation: a case study in turkey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 98, 8-16.
- Yao, X., Zhu, D., Yun, W., Peng, F., & Li, L. (2017). A WebGIS-based decision support system for locust prevention and control in China. *Computers and Electronics in Agriculture*, 140, 148-158.
- URL-1: <https://istanbulharitasi360.com/istanbul-ilce-haritasi#.XJpLH1UzZhE>, (Erişim Tarihi: 16 Nisan 2019).

## Alternatif katı atık depolama alanlarının analitik hiyerarşi süreci ve coğrafi bilgi sistemleri ile otomatik olarak belirlenmesi: Sivas ili örneği

Dilara Ciritçi<sup>1</sup> , Tarık Türk<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup>Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Kampüs, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Sivas.

**Öz:** Türkiye’de birçok yerleşim biriminde devam eden altyapı projeleri sonucunda kentleşmenin ve kentleşmeye bağlı olarak da nüfusun artacağı düşünülmektedir. Bunun sonucunda katı atık miktarındaki artış da kaçınılmaz olacaktır. Bu çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) kullanılarak, Sivas Merkez ilçesinde alternatif katı atık depolama alanları, geliştirilen kullanıcı arayüz programı yardımıyla otomatik olarak belirlenmiştir. AHS ile belirlenen ölçütlerin ağırlıkları hesaplanmış ve Sivas ili Merkez ilçesine ait veriler CBS’nin olarak tanıdığı coğrafi analizler yardımıyla sonuçlar ortaya konmuştur. Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda alternatif katı atık depolama sahaları önerilerek, mevcut katı atık depolama sahasının yerinin uygun olup olmadığı değerlendirilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Analitik hiyerarşi süreci, Coğrafi bilgi sistemi, Düzenli depolama alanı

### Automatic determination of alternative landfill sites with analytical hierarchy process and geographical information systems: a case study in Sivas city

**Abstract:** Due to the ongoing infrastructure projects in Turkey, it is estimated that the urbanization and population increase based on urbanization will increase. Therefore, the increase in the amount of solid waste will be inevitable. In this study, alternative landfills in Sivas, Central District, are determined automatically by using Analytic Hierarchy Process (AHP), one of Geographic Information System (GIS) and multi-criteria decision making methods, with a user interface developed. The weights of the criteria were calculated by AHP and the results were represented by the help of geographical analysis enabled by GIS depending on data of Sivas, Central District. In accordance with the results obtained, alternative landfills were proposed and the current location of the landfill was evaluated whether it is suitable or not.

**Keywords:** Analytic hierarchy process, Geographical information system, Landfill site

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tel: +90 346 219 1010/2438

Geliş Tarihi/Received: 14.02.2019

Kabul Tarihi/Accepted: 04.05.2019



## 1. Giriş

Günümüzde toplumların yoğun olarak yaşadığı kentlerde birçok çevresel sorunla karşılaşmakta olup, ortaya çıkan sorunların çözüm sürecinde karar vericilerin vermiş olduğu yargılarda bilişim teknolojilerinden yoğun olarak yararlanılmaktadır (Güler, 2016). Çevresel bir konu içerisinde yer alan kentsel katı atık yönetimi dünya ülkelerinde üzerinde hassasiyetle durulan bir alandır (Güler, 2016). Literatür incelendiğinde katı atık yönetiminin birçok amacının olduğu görülmektedir. Her ne kadar farklı araştırmacılar tarafından birçok amaç ortaya kalsa da, günümüzde yeni amaçların eklenmesi de mümkündür (Balca, 2007). Bu bağlamda katı atık yönetiminin temel amaçları; halk sağlığının iyileştirilmesi ve korunması, çevre kalitesinin korunması, atık miktarının azaltılması ve kaynakların yeniden kazanımının artırılması, zaman içerisinde değişmekte olan kentsel ihtiyaçları karşılayacak şekilde katı atık sistemlerinin sürekli olarak planlanmasının sağlanması ve bunu yapabilecek kurumsal yapının inşa edilmesi, kentte yaşayan insanlara uluslararası standartta bir hizmet sunulması, mevcut sistemin işletme giderleri için finansman kaynağı ve gelişmiş sistemler için yeni yatırım kaynaklarının sağlanması olarak özetlenmektedir (Balca, 2007).

Atık yönetimi ve alternatif depolama alanlarının tespit edilmesi, karar vericiler ve uygulayıcılar açısından çok fazla zaman alan karmaşık bir süreçtir. Katı atık depolama alanları için uygun yer seçimi çalışmaları; çok yoğun bir coğrafi verinin analiz edilmesini gerektirmektedir. Yer seçimi ölçütleri belirlenirken; genel olarak arazi örtüsü, jeolojik formasyon, idari sınırlar, yüzey suları, karayolu gibi kısıtlayıcı parametreler kullanılmaktadır. Buna karşın ölçütler içerisinde bulunan parametrelerin tamamı çözüm sürecine katılmayabilmektedir. Bu parametrelerin kullanımı çalışma yöntemi ve tecrübelerine göre değişiklik gösterebilir. Çalışma bölgesinin seçimine ilişkin mevcut bilgilerin klasik yöntemlerle değerlendirilmesi güç ve uzun süren bir işlemdir (Sadek, El-Fadel & El-Hougeiri, 2001; Güler, 2016). Buna benzer uygulamalarda bilgi teknolojilerinin kullanımı ile daha hızlı sonuca ulaşılmasının yanı sıra, yöneticilere yardımcı olmak amacıyla veri, belge, bilgi ve iletişim teknolojilerini ve modellerini kullanarak problemleri tanımlamaya ve çözmeye yardımcı araçlar etkili olmaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) verilerin toplanması, depolanması, analiz edilmesi, kullanıcıya sunulması gibi işlevleri bütünlükten, veriler arası modellemeler oluşturularak ilişki kurulmasını sağlayan önemli bir araçtır. Bu kapsamda CBS, karar vericiler için farklı bir bakış açısı sunması nedeniyle karmaşık problemlerin çözümü için başvurulan önemli bir bilgi sistemidir (Sadek vd., 2001; Lunkapis, Ahmad, Shariff, Mansor & Mispan, 2004; Nas & Berkday, 2002; Türk, 2013; Türk, Gümüşay & Tatar, 2012).

Siddiqui, Everett ve Vieux (1996) Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'nin Oklahoma eyaletinde bulunan Cleveland County kentinde CBS ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS)'ni kullanarak katı atık depolama alanı belirlemek amacıyla bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Kurulacak yeni katı atık depolama alanları için mevcut kuralların ve yerel halkın sunduğu şikayetlerin birtakım zorluklara neden olduğunu vurgulamışlardır. Yapılan çalışmada AHS için mevcut kurallardaki sınırlamalar, bölgelerin nitelikleri, araziye ilişkin değerlendirmeler uzmanlar ve kullanıcılar yardımıyla ortaya konulmuştur. Kao ve Lin (1996) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise katı atık depolama alanında gerekli olan mevcut kurallar, etkenler ve kısıtlamalar hesaba katılarak CBS ile depolanan verilerin amaç doğrultusunda yönetilmesi ile katı atık depolama alanı için yer seçimi gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanında hücresele bilgiler kullanılmış olup, çeşitli etkenlerin ağırlıkları ile CBS tabanlı analiz işlemleri yapılmıştır. Lin ve Kao (1999) tarafından yapılan bir başka çalışmada katı atık depolama alanının belirlenmesi için yapılan grid tabanlı modelin düzenlenemeyen mekânsal bilgilerde uygulanamaması üzerine iki değişik model ortaya atılmıştır. Bu modeller arazi değeri ile analizler için gereken eğim ve yol vb. bilgilerin değişimine imkân tanımaktadır. Başağaoğlu, Çelenk, Mariulo ve Usul (1997) çalışmalarında Ankara Gölbaşı mahalli idare sınırları içerisinde bulunan kapalı olmayan atık alanının çevreye zarar vermesi nedeniyle, var olan katı atık depolama alanına ilave olarak yeni bir katı atık depolama alanı tespit etmişlerdir. Çalışmada yüzey suları, sulak alanlar, yer altı kaynakları, yollar, topoğrafik eş yükseklik eğrileri ve yerleşim alanları gibi coğrafi veriler dikkate alınarak birçok alternatif alan belirlenmiştir. Baban ve

Flanagan (1998)'in yaptığı çalışma ile CBS tabanlı katı atık depolama yerlerini tespit etmeyi amaçlamışlardır. Bu çalışmada, Birleşik Krallık'ta uygulanan kurallar, diğer devletlerin belirlediği sınırlamalar ve Avrupa Birliği talimatları araştırılarak basite indirgenmiş ve belirlenen ölçütlerin faydaları vurgulanarak CBS ile depolama alanları tespit edilmiştir.

Şener Ş., Şener E., Nas ve Karagüzel (2010)'in yaptığı çalışmada depolama alanının yerini belirlemek zor bir süreç olduğundan toplumsal, çevresel ve yönetsel değişkenlerin göz ardı edilmemesi gerektiği vurgulanmıştır. Çalışma alanı olarak Konya il sınırı içerisindeki Beyşehir Gölü havzası seçilmiştir. Jeoloji, arazi kullanımı, eğitim ve yol gibi farklı verilerden yararlanılarak AHS ve CBS ile çalışma gerçekleştirilmiştir. Yıldırım (2012) yaptığı çalışmada Mersin ilinde CBS ve AHS'den yararlanarak en uygun katı atık depolama sahası belirlenmiştir. Çalışma alanında eğitim, baki, yükseklik, yüzey suları ve yerleşim alanları vb. gibi 11 farklı veriden faydalanılmıştır. Yapılan analizlerle beş farklı alternatif katı atık depolama bölgesi tespit edilmiştir. Yal ve Akgün (2014) yaptıkları çalışma ile Ankara ilinin Gölbaşı belediyesi sınırlarını kapsayan alanda CBS ve Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) yöntemlerini kullanarak alternatif katı atık depolama alanlarını belirlemeye çalışmışlardır. Çalışma alanında jeoloji, eğitim, yerleşim, tarım ve erozyon gibi girdi verileri kullanılmıştır.

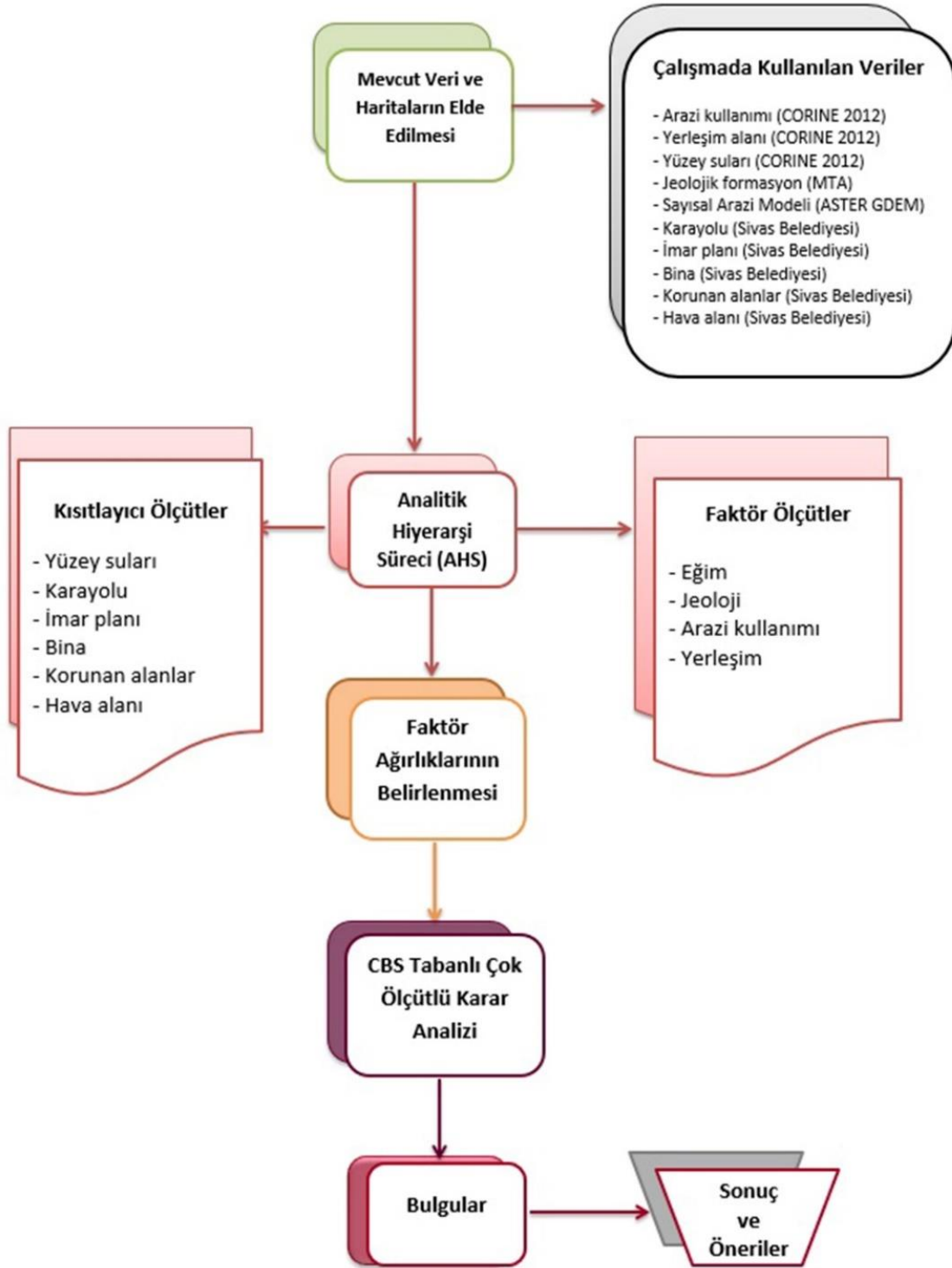
Aksoy ve San (2016)'in yaptığı çalışmada depolama alanı için yer seçiminin çok önemli olduğu ve şehrin geleceğini etkilediği düşüncesi savunulmuş ve mevcut depolama sahasının yakın gelecekte yeterli olmayacağına vurgu yapılmıştır. Antalya için; jeoloji, fay hatları, heyelanlar, nehir, göl, yükseklik, eğitim, nüfus, yol ve sıcaklık gibi veriler ile CBS tabanlı AHS yöntemi kullanılarak yeni depolama alanları belirlenmiştir. Yine Aksoy ve San (2019) tarafından yapılan benzer çalışmada 35 yıllık nüfus tahmini dikkate alınıp sayısal yükseklik modeli, eğitim, sıcaklık, yağış, deprem bölgeleri, yola uzaklık, jeoloji ve fay hattına olan uzaklık gibi veriler kullanılarak CBS tabanlı AHS yöntemiyle atık depolama için alternatif alanlar belirlenmiştir.

Gerçekleştirilen bu çalışmalarda birçok parametre dikkate alınsa da, son dönemde çevre ile ilgili sorunların çözülmesi önem kazanmış ve bu sorunlar karşısında doğru bir şekilde sonuç çıkarabilmek adına çok fazla uğraş ortaya konulmuştur. Maddi odaklı fikirler yerine ÇÖKV yöntemlerini içeren çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Hokkanen & Salminen, 1997). Gelişmekte olan ülkelerde nüfusun ve dolayısıyla insan kaynaklı etkinliklerin artması sonucu şehirleşme hızlanmıştır (Sumathi, Natesan & Sarkar, 2008). Nüfusun artması, tüketim şeklinin farklılaşması, üretilen mal ve hizmet kapasitesinde meydana gelen artış, kazancın değişmesi, şehirleşme ve sanayileşmenin sonucu olarak katı atık üretimi ve çeşitliliği artmıştır (Ngoc & Schnitzer, 2009).

2018'deki Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları (ADNKS)'na göre Türkiye'nin nüfusu 82 003 882'dir. Yoğun nüfusla birlikte çevre ile etkileşimin artması sonucunda katı atık yönetimi önemli bir konu haline gelmiştir. Katı atık yönetimi ve yok etme yöntemleri, yöneticiler ve konuyla ilgili tarafları kapsayan uzun bir süreci ifade etmektedir. Atık yönetiminde dikkat edilmesi gereken hususlar içerisinde, depolama alanı için en uygun yer seçiminin yanı sıra birçok faktörün de dikkate alınması gerekmektedir. Ancak temel sorun seçim için evrensel bir formülasyonun bulunmamasıdır (Vasiljević, Srdjević, Bajčetić & Miloradov, 2012).

Bu değerlendirmeler ışığında gerçekleştirilen bu çalışmada, CBS'nin imkân tanıdığı coğrafi analizler ve AHS ile elde edilen ölçüt ağırlıkları kullanılarak, Sivas İli Merkez İlçesinde alternatif katı atık depolama alanlarının geliştirilecek kullanıcı arayüz programı ile otomatik olarak elde edilmesi amaçlanmaktadır. Literatür incelendiğinde konuyla ilgili çok sayıda çalışma olduğu görülmektedir. Bu çalışmanın literatürdeki diğer benzer çalışmalardan en önemli farkı katı atık depolama alanlarının gerekli parametreler girildikten sonra otomatik olarak elde edilmesidir. Literatürdeki çalışmalardan biri de çalışmamızla bazı benzer özellikler taşıyan Güler (2016) tarafından yapılan çalışmadır. Bu çalışmada, Güler'in (2016) yapmış olduğu İstanbul ilinde AHS ve CBS ile alternatif katı atık düzenli depolama alanlarının kolaylıkla belirlenmesine yönelik çalışmadan farklı olarak; yeryüzü şekillerine göre karar verilmek suretiyle derecelendirme yapılmış ve daha önce karar verilen ölçüt aralıklarına





Şekil 2: Çalışma kapsamında kullanılan veriler ve izlenen adımlar

Çalışma kapsamındaki analizler ArcGIS 10.1 CBS yazılımında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen coğrafi veriler için World Geodetic System (WGS) 1984 Datumu ve Universal Transverse Mercator (UTM) projeksiyonu Zone 37N koordinat sistemi kullanılmıştır.

Çalışma için belirlenmiş olan kısıtlayıcı ölçütlere ait verilerde (karayolu, bina, imar planı vb.) uygun olmayan alanlar “0”, uygun alanlar “1” olarak temsil edilmektedir. Faktörlere ait veriler (eğim, yerleşim, jeoloji, arazi kullanımı) önce derecelendirilmiş, daha sonra hesaplanan ağırlıklarla çarpılarak son ağırlıkları hesaplanmıştır. Uygunluk haritası oluşturulurken ise elde edilen kısıtlayıcı haritalar ile ağırlıklandırılan faktör haritaları çarpılarak uygun alanlar içerisinde

mevcut depolama alanlarının bulunup bulunmadığı araştırılmış ve alternatif alanlar tespit edilmeye çalışılmıştır.

### 3.1 Katı Atık Depolama Tesisi Yer Seçiminde Etkili Olan Faktörler

Çalışmada alternatif sahalarn belirlenmesinde, ülkemizde kullanılan Atık Yönetimi Yönetmeliği'nde (Atık Yönetimi Yönetmeliği, 2015) ortaya konulmuş olan kısıtlamalar dikkate alınarak, literatürde sıklıkla tercih edilen faktörler göz önünde bulundurulmuştur. Yer seçimi ölçütleri belirlenirken; genel olarak arazi örtüsü, jeolojik formasyon, idari sınırlar, yüzey suları, karayolu gibi veriler kullanılmaktadır. Ancak, bu ölçütler içerisinde bulunan parametrelerin tamamı problemin çözüm sürecine katılmayabilir. Kullanılan parametreler çalışma yöntemi ve tecrübelerine göre değişiklik gösterebilir.

Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında; Başağaoğlu vd. (1997) Ankara Gölbaşı'nda yaptığı çalışmada yüzey suları, sulak alanlar, yer altı kaynakları, yollar, topoğrafik eş yükseklik eğrileri ve yerleşim alanları gibi coğrafi verileri dikkate almıştır. Şener vd. (2010) Konya il sınırı içerisinde depolama alanının yerini belirlemek için gerçekleştirdikleri çalışmada jeoloji, arazi kullanımı, eğim ve yol gibi farklı verilerden faydalanmışlardır. Yıldırım (2012) Mersin'de yaptığı çalışmada ise eğim, bakı, yükseklik, yüzey suları ve yerleşim alanları gibi verileri kullanmıştır.

Bu çalışma kapsamında ise çevresel ve ekonomik olmak üzere iki farklı kategoriye ait toplam 11 adet etki faktörü belirlenerek kullanılmıştır. Çevresel faktörler; arazi kullanımı, jeoloji, yerleşim alanları, yüzey suları (göl, baraj), havaalanı, bina, imar planı ve korunan alanlardır. Ekonomik faktörler ise eğim ve karayollarıdır. Faktörlere ait alt ölçütler derecelendirilmiş ve AHS ile hesaplanan ağırlıklarla çarpılarak bütün ölçütlerin çalışmada kullanılan son ağırlıkları hesaplanmıştır.

#### 3.1.1 Eğim

Ekonomik faktörlerden biri olan eğim için ASTER GDEM (Global Digital Elevation Model) SAM kullanılmıştır. Eğimin arttığı bölgelerde inşaat maliyeti artacağından ekonomik faktör kategorisinde yer almıştır. Eğimin %20'nin üstünde olduğu alanlar katı atık depolama sahası için uygun olmayan alan olarak belirlenmiştir. Eğim faktörü için belirlenen alt ölçütler yeniden sınıflandırma işlemine tabi tutularak eğim faktör haritası hazırlanmıştır (Tablo 1 ve Şekil 3).

#### 3.1.2 Jeoloji

Çevresel faktörlerden biri olan jeoloji için belirlenen alt ölçütler volkanik özellikte olan bölgelerin sınırlı su geçirme özelliğine sahip olmalarından dolayı depolama sahası yer seçiminde uygun olabilecek alanlar olarak belirlenmiştir. Metamorfik ve sedimanter kayalar özelliklerine göre daha az su geçirgenliğine sahip oldukları için konunun uzmanı kişilerle de görüşülerek değer olarak yüksek atama yapılmıştır. Jeoloji faktörü için belirlenen alt ölçütler yeniden sınıflandırılarak jeoloji faktör haritası hazırlanmıştır (Tablo 1 ve Şekil 3).

#### 3.1.3 Arazi Kullanımı

Çalışmada kullanılan çevresel faktörlerden biri de arazi kullanımıdır. CORINE verisinden belirlenen alt ölçütler yeni bir katman olarak çıkarılmıştır. Sulu ve sulu olmayan tarım için kullanılan bölgeler ve ormanlık alanlar atık depolanması için uygun değildir. Bu nedenle, çalılık bölgeler, mera bölgeleri ve kayalık alanlar yer seçimi için daha uygun alan olarak değerlendirilerek yüksek değerler atanmıştır. Belirlenen arazi kullanımı ölçüt değerlerine yeniden sınıflandırma işlemi yapılarak arazi kullanım faktör haritası üretilmiştir (Tablo 1 ve Şekil 3).



### 3.1.4 Yerleşim

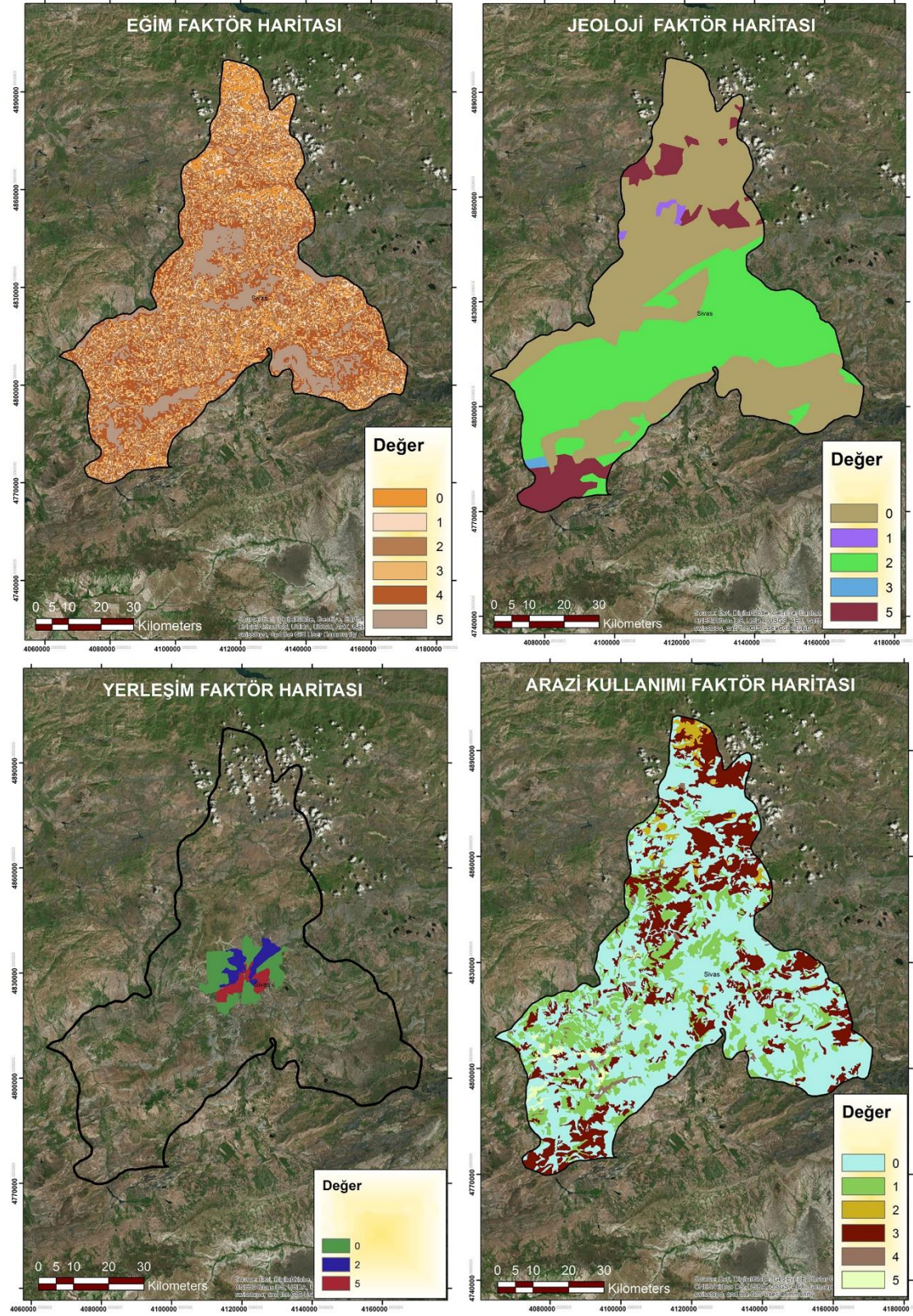
Katı atık depolama alanlarının belirlenmesinde Atık Yönetimi Yönetmeliği göz önünde bulundurulmuş ve şehir planlama konusunda uzman kişilerden görüş alınarak yerleşim alanlarına en az bir kilometre (km) uzaklıkta yer almasına karar verilmiştir. Ayrıca çevrede oluşturacağı zararlı etkiler dikkate alınarak yerleşim alanlarına uzaklık arttıkça maliyet de artacağından alt ölçütlere düşük değerler atanmıştır (Tablo 1 ve Şekil 3).

**Tablo 1: Parametrelere ait ölçüt değerleri**

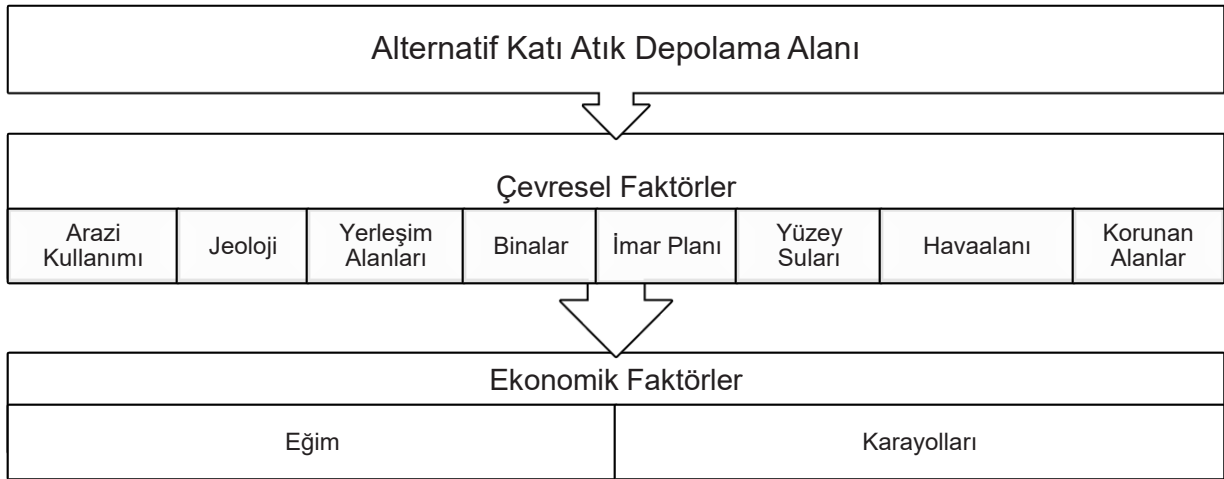
Parametre Adı	Değer	Yeni değer
Eğim (%)	0-3	5
	3-7	4
	7-10	3
	10-13	2
	13-17	2
	17-21	1
	21-26	0
	26-32	0
	32-50	0
	Jeoloji	Kireçtaşı
Karbonatlar ve Yer Kırıntılar		0
Mermer		0
Ayrılmamış Karasal Kırıntılar		0
Granit		0
Granitoidler		5
Ayrılmamış Bazik ve Ultra bazik Kayalar		0
Kırıntılar ve Karbonatlar		2
Karasal Karbonat		0
Ayrılmamış Karasal Kırıntılar		0
Andezit		0
Proklastik Kayalar		0
Ayrılmamış Volkanitler	3	
Arazi Kullanımı	Sulu tarım	0
	Kuru tarım	1
	Orman	2
	Mera	3
	Çıplak Kaya	5
Yerleşim (km)	0- 1	5
	1- 5	2
	5- 578	0
	578- 976	0

### 3.2 Faktör Ağırlıklarının AHS ile Belirlenmesi

Çalışma alanı için AHS ile çevresel ve ekonomik faktörler tanımlanmıştır (Şekil 4). Çevresel ve ekonomik faktörlere ait alt ölçütler tespit edilerek standart bir değerlendirme olması istendiğinden 0 ile 5 arasında değerler verilmiştir. AHS için karar matrisleri hesaplanmıştır. Kaynaklardan yararlanılarak karar matrisindeki faktörler önem sırasına göre elde edilmiştir.



Şekil 3: Yeniden sınıflandırılmış parametre haritası



Şekil 4: Uygun depolama alanı hiyerarşi modeli

Faktör bileşenlerine ait ölçüt değerlerinin standartlaştırılması ve üretilen haritalardaki değerlerinin yeniden atanmasının ardından, faktör ağırlıkları belirlenmiştir (Tablo 2).

Tablo 2: Faktör ağırlıkları

	F1	F2	F3	F4
<b>Arazi kullanımı</b> F1	1.00	2.00	3.00	5.00
<b>Jeoloji</b> F2	0.50	1.00	2.00	3.00
<b>Yerleşim</b> F3	0.33	0.50	1.00	5.00
<b>Eğim</b> F4	0.20	0.33	0.20	1.00
<b>Sütun toplamı</b>	2.03	3.83	6.20	14.00
$\lambda_{max}$	4.181593982	CI	0.0605	

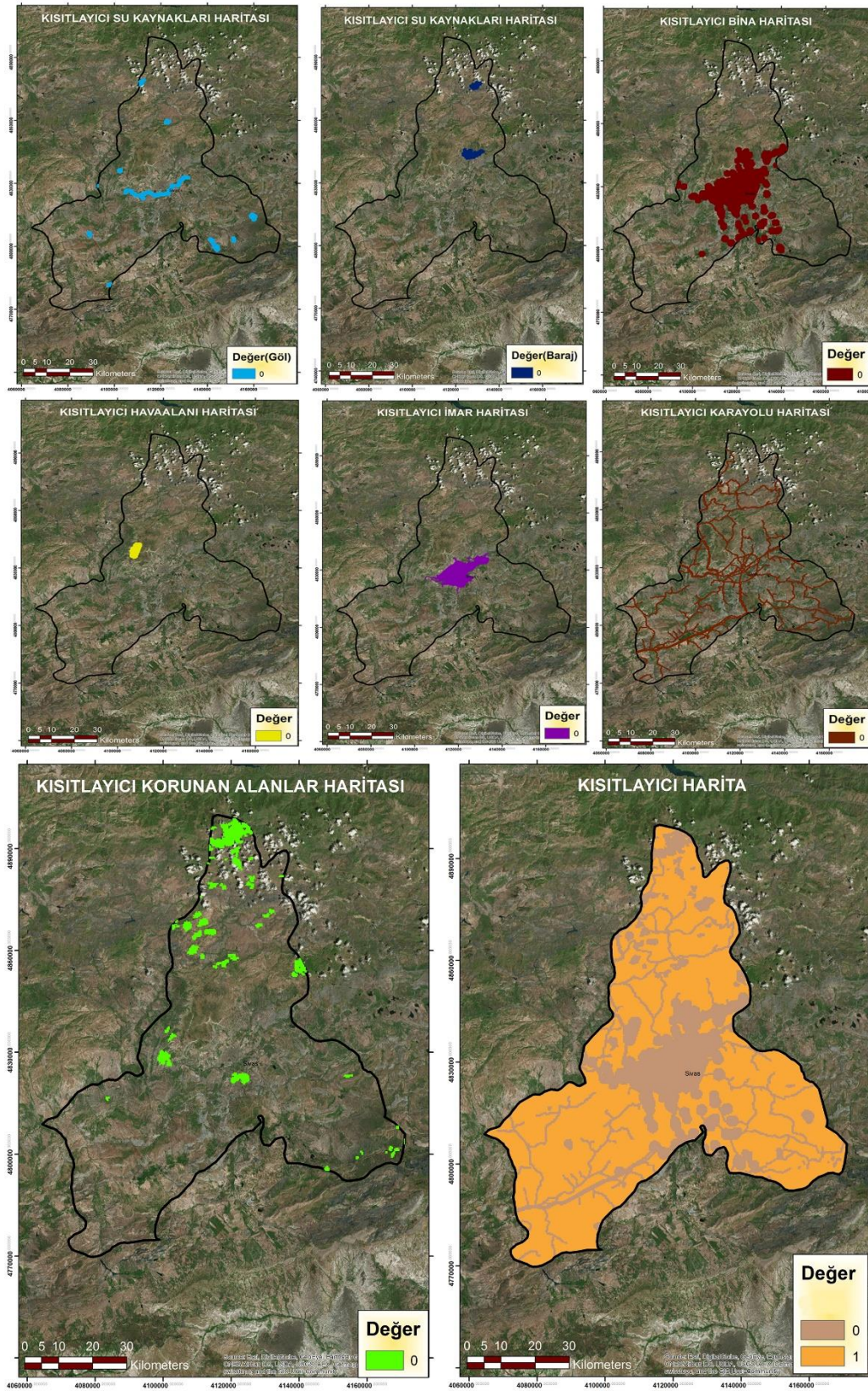
Karşılaştırma matrisleri sonucunda CI (Consistency Index) değerinin teoremlerde istenilen değer olan 0.10'un altında elde edilmesi ile hesaplanan ağırlıklar çalışmada kullanılmıştır (Akgün vd., 2014). Elde edilen bu veriler doğrultusunda kısıtlayıcı haritalar hazırlanmıştır (Şekil 5).

### 3.3 Depolama Sahası Yer Seçimi İçin Kullanıcı Arayüz Programı Geliştirilmesi

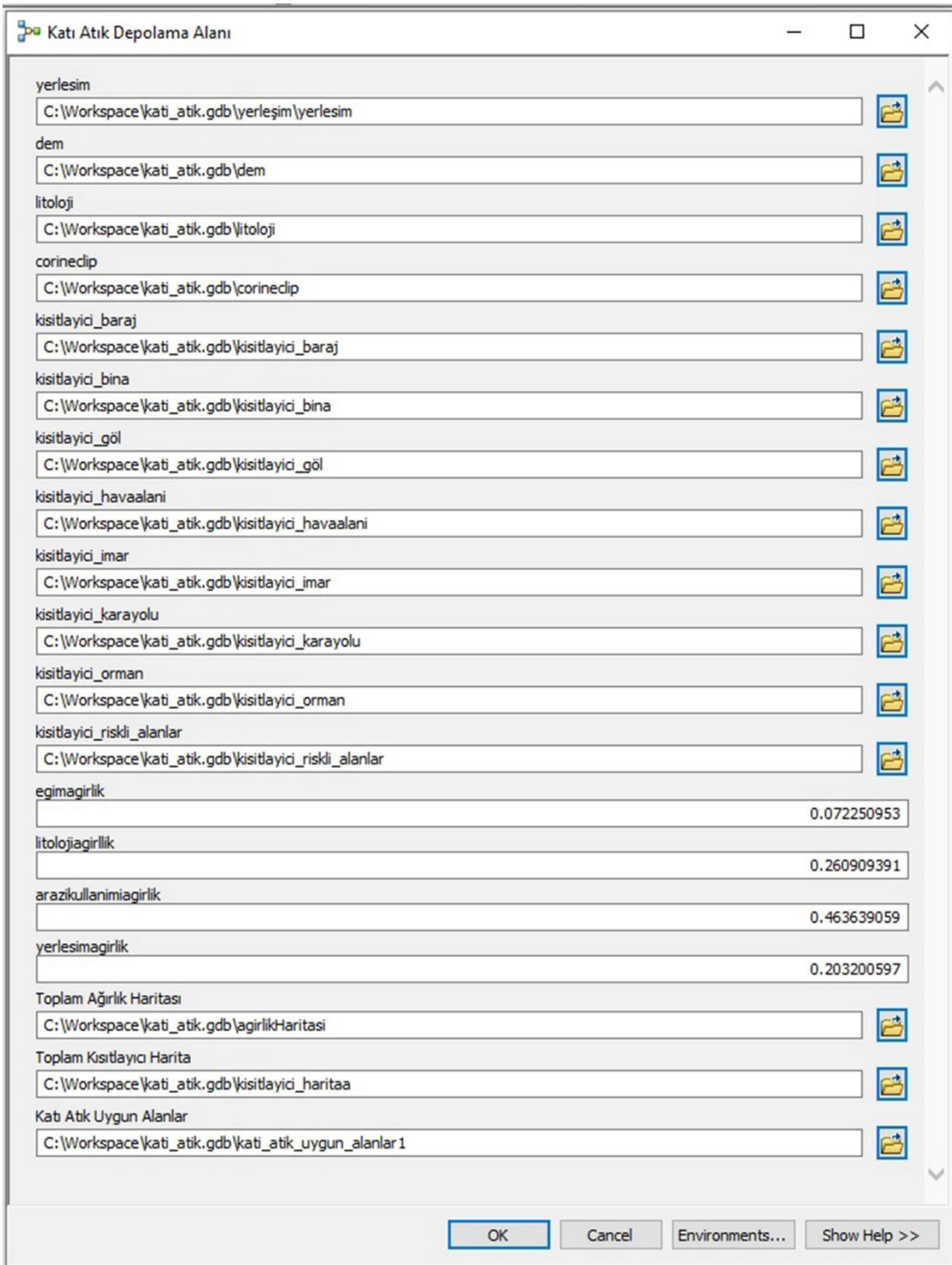
Katı atık depolama alanı yer seçiminde kullanılan faktörler ve ağırlıklar çalışılan bölgeye ve tercihlerdeki önem sırasına göre farklılık gösterebilmektedir. Ekonomik, çevresel veya toplumsal içerikli senaryolar ortaya konulabilmektedir. Değişebilen dinamik bir model tasarlanmasıyla birlikte işlemlerin uygulanması kolaylıkla gerçekleşecek ve verilerin işlenmesi sırasında oluşabilecek hatalar en aza indirilecektir (Güler, 2016).

Yapılan çalışmayla birlikte katı atık depolama alanı yer seçiminde ArcGIS 10.1 yazılımı ortamında "model builder" ile kullanıcı arayüz programı geliştirilmiştir. Konu ile ilgili herhangi bir yönetmelik değişikliğinde getirilen sınırlandırmaların farklılaşması halinde bu arayüz programı içerisinde gerekli parametreler düzenlenerek güncel sonuçlara çok kısa sürede ulaşılabilecektir. Ölçütlerin ağırlıklarına farklı bir değer atanması gerektiğinde geliştirilen kullanıcı arayüz programı yardımıyla kolaylıkla gerçekleştirilebilecektir. Geliştirilen bu arayüz programı çalışmada kullanılan verilere göre hazırlanmış olup farklı çalışma alanlarında aynı parametreler kullanılarak yer seçimi işlemi gerçekleştirilebilecektir. Önceden kararlaştırılan ölçüt aralıkları dikkate alınarak yeniden sınıflandırma işlemine girdi olacak şekilde bağlantı kurulmuştur. Yeniden sınıflandırma işleminin yapılması sonucu oluşan veriler ağırlıklı toplama yöntemiyle çakıştırılmıştır. Her bir faktöre

ait ağırlık değerleri daha önce AHS ile hesaplanan değerler dikkate alınarak en uygun yer seçimi analizi gerçekleştirilmektedir (Şekil 6). Sonuç olarak, geliştirilen kullanıcı arayüz programına sadece SAM, yerleşim, jeoloji, arazi kullanımı ve kısıtlayıcı faktör verileri girilmekte ve belirtilen tüm işlemler tam otomatik olarak gerçekleştirilmektedir.



Şekil 5: Kısıtlayıcı haritalar ve tüm kısıtlayıcı harita

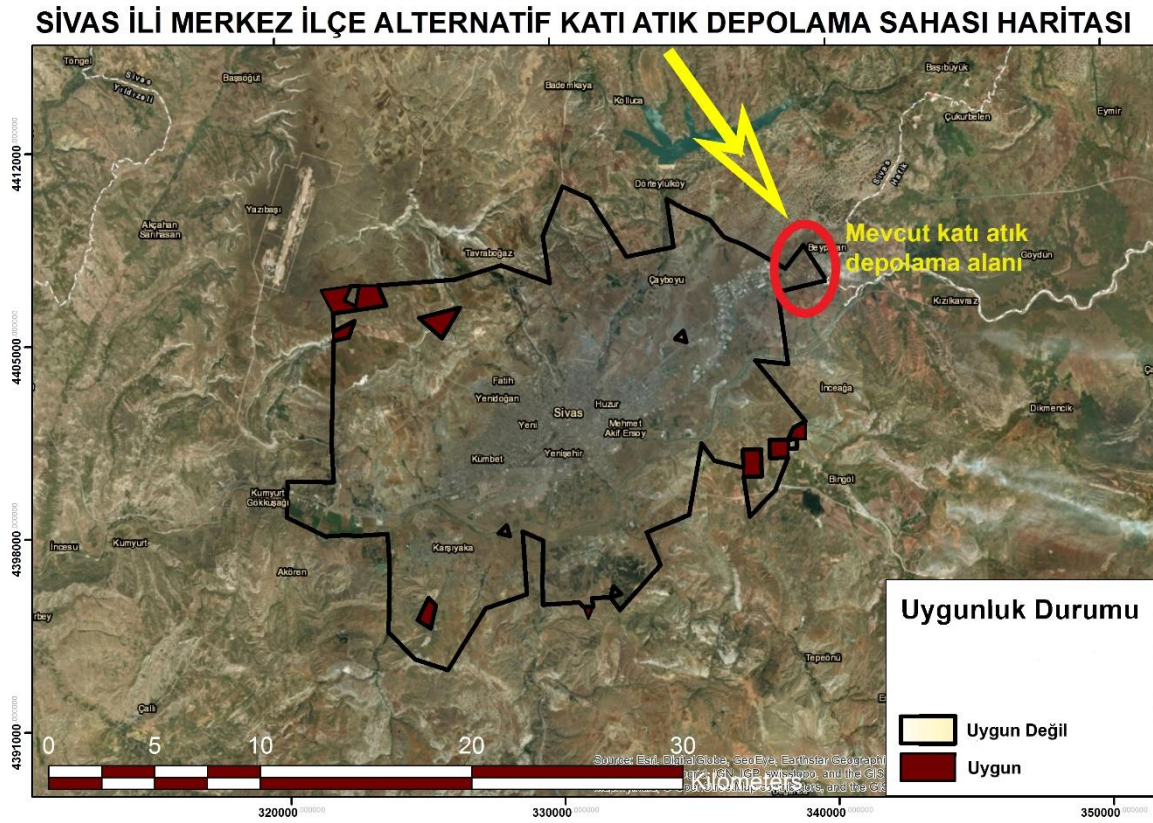


Şekil 6: Geliştirilen kullanıcı arayüz programı

#### 4. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada, literatür incelemesi ile sahanın özgün özellikleri dikkate alınarak belirli ölçütler yüksek olacak şekilde ağırlık puanları verilerek katmanlar yeniden sınıflandırılmıştır. Ağırlıklandırma; yerleşime uzaklık, akarsulara uzaklık, eğim durumu, arazi kullanımı, yollar, havaalanı ve imar planı gibi özellikler dikkate alınmıştır. CBS'nin olanak sağladığı mekânsal analizler ile sonuç ürün elde edilmiştir. Geliştirilen kullanıcı arayüz programının çalıştırılması ile katı atık düzenli depolama sahası için alternatif alanlar otomatik olarak belirlenmiştir. Analizler yapılarak tespit edilen bölgeler; uygun değil ve uygun

olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştır (Şekil 7).



Şekil 7: Sivas ili Merkez ilçe katı atık depolama sahası uygunluk haritası

Elde edilen uygun alanlar içerisinde mevcut depolama alanlarının bulunup bulunmadığı da araştırılmıştır. Seyfebeli Çöp Depolama Merkezi çalışmada imar sahasıyla örtüşmektedir. Bu nedenle çalışmada uygun olmayan alan olarak sınıflandırılan bölge içinde yer almaktadır (Şekil 7). Alternatif depolama alanları ise daha çok kent yerleşiminin kuzey batı ve güney doğu kısımlarında kümelenmektedir. Uygun olarak belirlenen kuzey batıdaki alternatif depolama alanları, Sivas Nuri Demirağ Havalimanı'na ve yeni kurulan Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Yerleşkesi'ne yakın bir mesafededir. Bu nedenle, Sivas merkez için kentin güney doğusunda tespit edilen alanlar en uygun depolama alanları olarak önerilebilir.

## 5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada Sivas ili Merkez ilçe sınırı içerisinde bulunan en uygun katı atık depolama alanlarının konumu otomatik olarak tespit edilmiştir. Bu süreçte toplam 11 farklı ölçüt dikkate alınarak CBS'nin olanak sağladığı coğrafi analizler ve ÇÖKV Yöntemlerinden AHS kullanılarak var olan birçok fiziksel, çevresel, sosyal ve ekonomik faktörler dikkate alınmış ve veride çeşitlilik sağlanarak etkili ve uygulanabilir sonuçlar üretebileceği sonucu ortaya çıkarılmıştır. Depolama sahası yer seçiminde etkili olan faktörler yasal düzenlemeler, çalışma bölgesinin özellikleri ve kaynak araştırmasıyla tespit edilmiştir. Bu kapsamda çalışmada kullanılan yöntemin karar vericiler için yardımcı bir araç olabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmanın literatürdeki diğer benzer çalışmalardan en önemli farkı, geliştirilen kullanıcı arayüz programı ile analizlerin daha hızlı ve etkin bir şekilde yapılarak sonuca ulaşılmasıdır. İhtiyaç duyulan girdi verileri kullanılarak gerekli tüm coğrafi analiz ve sorgulama işlemleri otomatik olarak gerçekleştirilmekte ve depolama sahası için uygun olma durumlarına göre sınıflandırılarak sonuç haritası üretilmektedir. Bu arayüz programı aynı parametreler dikkate alınarak farklı bir çalışma alanı

için de uygulanabilecek olup, esnek bir yapıya sahip olarak geliştirilmiştir. Gerekli parametrelerin ya da ağırlıkların ilgili mevzuat kapsamına göre değişiklik göstermesi durumunda, kullanıcı arayüz programına müdahale edilerek çok kolay bir şekilde yeniden uyarlanabilmektedir.

Diğer taraftan Sivas il merkezindeki mevcut Seyfebeli Çöp Depolama Merkezi, bu çalışma kapsamında imar sahası içerisinde yer aldığından uygun olmayan alan içerisinde yer almaktadır. Bu çalışma ile tespit edilen alternatif katı atık depolama alanlarının her geçen gün nüfusu ve katı atık miktarı artan Sivas ili için yardımcı olabileceği ve karar vericiler için etkin çözüm sağlayabileceği değerlendirilmektedir.

## Kaynaklar

- Akgün, A.A., Alkay, E., Kerimoğlu, E., Koramaz, T.K., Kundak, S., Okumuş, G. & Özçevik, Ö. (2014). *Şehir Planlamada Analiz ve Değerlendirme Teknikleri* (s. 132-147). Literatür Yayıncılık.
- Aksoy, E., & San, B. T. (2016). Using MCDA and GIS for landfill site selection: central districts of Antalya province. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 41.
- Aksoy, E., & San, B. T. (2019). Geographical information systems (GIS) and multi-criteria decision analysis (MCDA) integration for sustainable landfill site selection considering dynamic data source. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78(2), 779-791.
- Atık Yönetimi Yönetmeliği. (2015, 04 Şubat). *Resmi Gazete* (Sayı: 29314). Erişim adresi: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/04/20150402-2.htm>
- Başagaoglu, H., Çelenk, E., Mariulo, M. A., & Usul, N. (1997). Selection of waste disposal sites using GIS 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 33(2), 455-464.
- Baban, S. M., & Flannagan, J. (1998). Developing and implementing GIS-assisted constraints criteria for planning landfill sites in the UK. *Planning Practice & Research*, 13(2), 139-151.
- Balca, Y. (2007). *Düzenli depolama alanı belirlemede karar destek sistemi kullanımı* (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Güler, D. (2016). *Analitik Hiyerarşi Yöntemi Ve Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Alternatif Katı Atık Düzenli depolama Alanı Yer Seçimi: İstanbul İli Örneği* (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Hokkanen, J., & Salminen, P. (1997). Choosing a solid waste management system using multicriteria decision analysis. *European journal of operational research*, 98(1), 19-36.
- Kao, J. J., & Lin, H. Y. (1996). Multifactor spatial analysis for landfill siting. *Journal of environmental Engineering*, 122(10), 902-908.
- Lin, H. Y., & Kao, J. J. (1999). Enhanced spatial model for landfill siting analysis. *Journal of environmental engineering*, 125(9), 845-851.
- Lunkapis, G. J., Ahmad, N., Shariff, A. R. M., Mansor, S., & Mispan, R. M. (2004). GIS as decision support tool for landfills siting. In *Map Asia Conference*.
- Nas, B., & Berktaş, A. (2002). Çevre problemlerinin çözümünde coğrafi bilgi sistemlerinin kullanımı. *Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri. İstanbul, Türkiye*, 30-31.
- Ngoc, U. N., & Schnitzer, H. (2009). Sustainable solutions for solid waste management in Southeast Asian countries. *Waste management*, 29(6), 1982-1995.
- Sadek S., El-Fadel M. & El-Hougeiri N. (2001). *Optimizing Landfill Siting Through GIS Application*, Seventeenth International Conference on Solid Waste Technology and Management, Philadelphia.
- Siddiqui, M. Z., Everett, J. W., & Vieux, B. E. (1996). Landfill siting using geographic information systems: a demonstration. *Journal of environmental engineering*, 122(6), 515-523.
- Sumathi, V. R., Natesan, U., & Sarkar, C. (2008). GIS-based approach for optimized siting of municipal solid waste landfill. *Waste management*, 28(11), 2146-2160.
- Şener, Ş., Şener, E., Nas, B., & Karagüzel, R. (2010). Combining AHP with GIS for landfill site selection: a case study in the Lake Beyşehir catchment area (Konya, Turkey). *Waste management*, 30(11), 2037-2046.

- Türk, T., Gümüşay, Ü., & Tatar, O. (2012). Creating infrastructure for seismic microzonation by Geographical Information Systems (GIS): A case study in the North Anatolian Fault Zone (NAFZ). *Computers & geosciences*, 43, 167-176.
- Türk, T. (2013). Investigating environmental health studies using geographical information systems: cancer case study. *Polish Journal of Environmental Studies*, 22(5), 1505-17.
- Vasiljević, T. Z., Srdjević, Z., Bajčetić, R., & Miloradov, M. V. (2012). GIS and the analytic hierarchy process for regional landfill site selection in transitional countries: a case study from Serbia. *Environmental management*, 49(2), 445-458.
- Yal, G. P., & Akgün, H. (2014). Landfill site selection utilizing TOPSIS methodology and clay liner geotechnical characterization: a case study for Ankara, Turkey. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 73(2), 369-388.
- Yıldırım, Ü. (2012). *Mersin ili için alternatif katı atık depolama alanlarının analitik hiyerarşi prosesi ve coğrafi bilgi sistemi yöntemleriyle saptanması* (Yüksek Lisans Tezi). Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, Türkiye.









# Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi

## Journal of Geodesy and Geoinformation

# İÇİNDEKİLER - CONTENTS

### ARAŞTIRMA MAKALELERİ / RESEARCH ARTICLES

- GPS sinyal gürültü oranı verileri ile kar kalınlığının belirlenmesi  
Determination of snow depth by GPS signal to noise ratio ..... 1-9  
*Nursu Tunalioglu, Ali Hasan Dogan, Utkan Mustafa Durdağ*
- Robust kestirim yöntemlerinin deformasyon analizinde uygulanmasında farklı yaklaşımların güvenilirliğinin araştırılması  
Investigation of the reliability of the different approaches for using the robust estimation methods in deformation analysis.....10-25  
*Bahattin Erdoğan, Gülşah Mandalinci*
- Yapay sinir ağları ile görüntü işlemeye dayalı uzaklıktan bağımsız ağırlık tahmin sistemi: yumurta ve portakal örnekleri  
Distance independent weight estimation system based on image processing with artificial neural networks  
egg and orange samples .....26-46  
*Ünsal Burak Şalvarcı, Umut Engin Ayten*
- İnternet tabanlı harita üretiminde karar destek sistemleri ve coğrafi bilgi sistemi destekli alternatif yaklaşım: müsabaka yöntemi  
An alternative approach supported by decision support systems and geographical information system for  
producing internet based map: competition method .....47-60  
*Melis Uzar, Emrah Fatih Asılhan*
- Alternatif katı atık depolama alanlarının analitik hiyerarşi süreci ve coğrafi bilgi sistemleri ile otomatik olarak belirlenmesi:  
Sivas ili örneği  
Automatic determination of alternative landfill sites with analytical hierarchy process and  
geographical information systems: a case study in Sivas city.....61-74  
*Dilara Ciritci, Tarık Türk*

