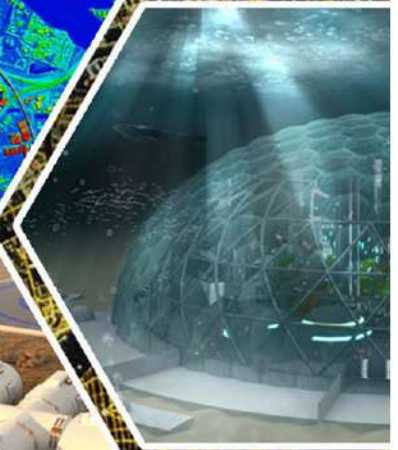
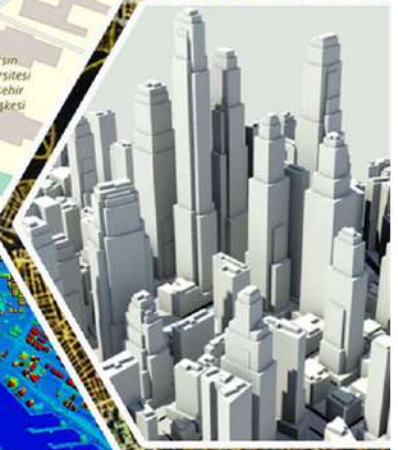
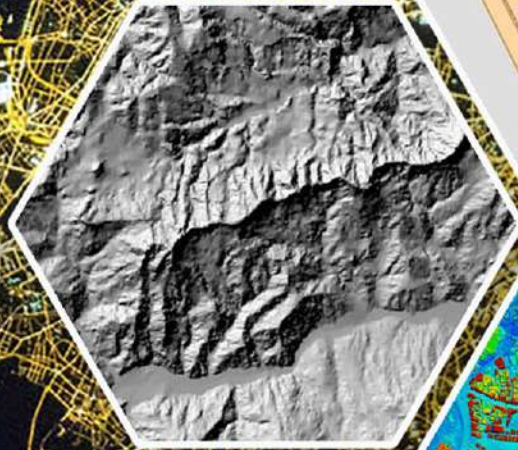
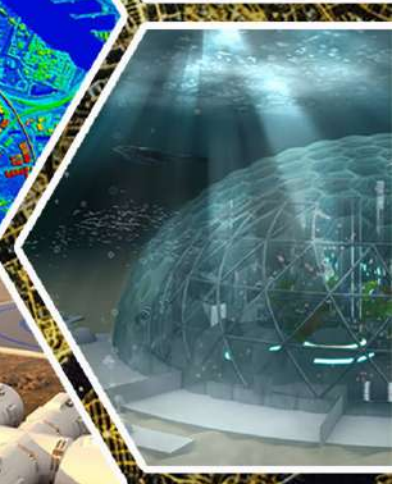
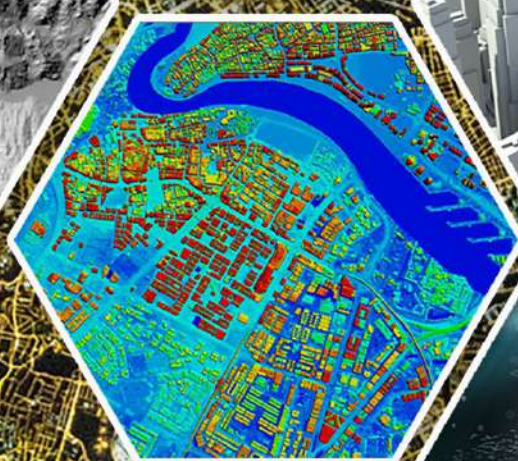
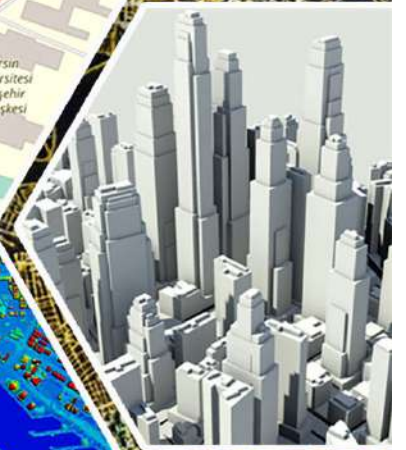
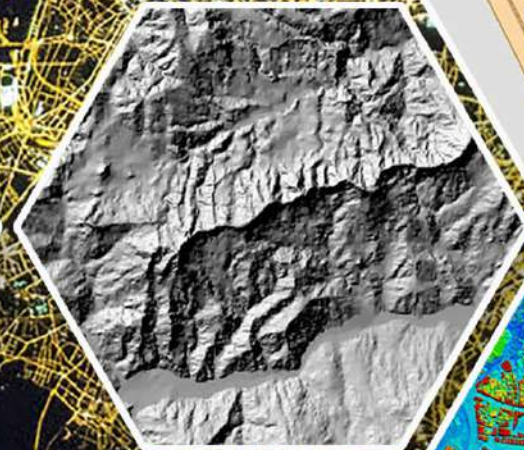


TÜRKİYE Coğrafi bilgi sistemleri dergisi



◆ HAZİRAN 2021
◆ CİLT: 3 ◆ SAYI: 1
◆ e-ISSN: 2687-5179

TURKISH journal of geographic information systems



e-ISSN: 2687-5179



Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi



TÜRKİYE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ DERGİSİ

(TURKISH JOURNAL OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS)

e-ISSN: 2687-5179

**CİLT 3, SAYI 1
(VOL 3, ISSUE 1)**

**HAZİRAN, 2021
(JUNE, 2021)**



Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi



DERGİ HAKKINDA

Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi bilim ve teknolojideki gelişmelere paralel olarak Coğrafi Bilgi Sistemleri alanında yeni gelişmelerle ilgili yapılan çalışmaları yayınlayan bir dergidir.

AMAÇ

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) mekânsal verinin ve mekânsal bilginin kayıt altına alınması, işlenmesi, analizi, yönetilmesi ve sunumu için geliştirilen bir sistemdir. Günümüzde CBS tarım, arkeoloji, kutup çalışmaları, havacılık, ulaşım, iklim değişikliği, suç, savunma, afet, ekoloji, eğitim, çevre, orman, jeoloji uygulamalarını da kapsayacak şekilde 1000'den fazla alanda etkin olarak kullanılmaktadır. Modern dünyada pek çok disiplinin parçası haline gelmiş olan CBS ülkemizde de gerek özel gerekse kamu kurumları tarafından yaygın kullanım alanına sahiptir. Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi yükselen bir trend olan CBS'nin teknolojideki gelişmeleri dikkate alarak gerek akademik gerekse özel sektör arasındaki bilgi paylaşımlarını desteklemeyi, ayrıca genç araştırmacılara da çalışmalarını sunabilecekleri bir platform oluşturmayı amaçlamaktadır.

KAPSAM

Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisinin kapsamı;

- Sorgulama İşlemleri, Optimizasyon
- Kartografya ve Jeodezi
- 3 Boyutlu Modelleme, Simülasyon
- Mekânsal Bilgi
- Veri Paylaşımı, Güvenlik
- Standartlar, İnteroperabilite
- Konumsal Veri Altyapısı
- Topoloji
- Mekânsal Verilerin Saklanması, İndekslenmesi
- Karar Destek Sistemleri
- Web Uygulamaları
- Mobil Servisler
- Mekânsal Veri Tabanı Yönetim Sistemleri
- Mekânsal Veri Kalitesi
- Büyük Veri (Big Data)
- Mekânsal Analiz
- Mekânsal Bilgi Yönetimi
- Ekolojik ve Çevresel Uygulamalar
- Şehir Ve Bölge Planlama Uygulamaları
- Tarım ve Toprak Uygulamaları
- Kent Bilgi Sistemleri
- Enerji Bilgi Sistemleri
- Kıyı Yönetimi
- Doğal Kaynakların Yönetimi
- Endüstriyel Uygulamalar
- Afet Yönetimi
- İklim Çalışmaları
- Lojistik Uygulamaları
- Mekânsal Veri Madenciliği
- Kadastro Uygulamaları.....



Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi



POLİTİKA

Coğrafi Bilgi Sistemlerine ait kuramsal ve uygulamalı araştırma, tarama-inceleme-derleme, bildiri, vaka çalışması, kısa rapor ve editöre mektup niteliklerinden birine uygun eserler hakem değerlendirmesinden yayınlanabilir olduğuna dair karar verildikten sonra yayımlanır. Yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan eser, dergi editörlüğünce değerlendirme için hakemlere gönderilir. Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi'nde **KÖR HAKEMLİK** uygulaması mevcuttur.

Yayımlanmasına, hakemlerin görüşü doğrultusunda Dergi Danışma ve Editör Kurulu karar verir. Gönderilen makaleler yayımlansın veya yayınlanmasın iade edilmez.

Dergimizde yayımlanan yazıların her türlü sorumluluğu (bilimsel, mesleki, hukuki, etik vb.) yazarlara aittir. Yayımlanan yazıların telif hakkı dergiye aittir ve referans gösterilmeden aktarılamaz. Araştırmacılar arasındaki bilimsel iletişimi oluşturmak amacıyla aşağıda nitelikleri açıklanan, başka bir yerde yayımlanmamış makaleler Türkçe ve İngilizce olarak kabul edilmektedir. Türkçe yazılan makalelerde özetinin İngilizce de basılması zorunluluğu vardır.

PERİYOT	Yılda 2 sayı(Haziran-Aralık)
E-ISSN	2687-5179
WEB	https://dergipark.org.tr/tr/pub/tucbis
İLETİŞİM	lutfiyekusak@mersin.edu.tr



Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi



ABOUT JOURNAL

Turkish Journal of Geographic Information Systems in the field of Geographic Information Systems in parallel to the developments in science and technology magazine is a magazine published studies on new developments.

AIM

Geographic Information Systems (GIS) is a system developed for the recording, processing, analysis, management and presentation of spatial data and spatial information. Today, GIS is used effectively in more than 1000 areas including agriculture, archeology, polar studies, aviation, transportation, climate change, crime, defense, disaster, ecology, education, environment, forest, geology applications. GIS, which has become a part of many disciplines in the modern world, has widespread use by both private and public institutions in our country. **Turkish Journal of Geographic Information Systems** academic requirements, taking into account developments in technology as well as support the sharing of information between the private sector, also aims to create a platform to present their work to the young researchers.

SCOPE

- Query Operations, Optimization
- Cartography and Geodesy
- 3D Modeling, Simulation
- Spatial Information
- Data Sharing, Security
- Standards, Interoperability
- Spatial Data Infrastructure
- Topology
- Storage and Indexing of Spatial Data
- Decision Support Systems
- Web Applications
- Mobile Services
- Spatial Database Management Systems
- Spatial Data Quality
- Big Data
- Spatial Analysis
- Spatial Information Management
- Ecological and Environmental Applications
- City and Regional Planning Applications
- Agriculture and Soil Applications
- City Information Systems
- Energy Information Systems
- Coastal Management
- Natural Resources Management
- Industrial Applications
- Disaster Management
- Climate Studies
- Logistics Applications
- Spatial Data Mining
- Cadastral Applications ...

PUBLICATION FREQUENCY	Biannual (June-December)
E-ISSN	2687-5179
WEB	https://dergipark.org.tr/en/pub/tucbis
İLETİŞİM	lutfiyekusak@mersin.edu.tr



Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi



EDİTÖR KURULU

BAŞ EDİTÖR

Prof. Dr. Murat YAKAR

Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 33 343, Yenişehir/Mersin

EDİTÖR

Dr. Öğr. Üyesi. Lutfiye KUŞAK

Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 33 343, Yenişehir/Mersin

EDİTÖR YARDIMCISI

Doç. Dr. Ümit IŞIKDAĞ

Mimar Sinan Üniversitesi, Enformatik Bölümü, 34 360, Şişli/İstanbul

Dr. Öğr. Üyesi Fatma BÜNYAN ÜNEL

Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 33 343, Yenişehir/Mersin

DANIŞMA KURULU

Murat YAKAR, Mersin Üniversitesi

Hacı Murat YILMAZ, Aksaray Üniversitesi

İbrahim YILMAZ, Afyon Kocatepe Üniversitesi

Tahsin YOMRALIOĞLU, Beykent Üniversitesi

Ömer MUTLUOĞLU, Konya Teknik Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Konya

EDİTÖR KURULU

Burak BEYHAN, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi

Cevdet Coşkun AYDIN, Hacettepe Üniversitesi

İsmail Ercüment AYAZLI, Cumhuriyet Üniversitesi

Mehmet ALKAN, Yıldız Teknik Üniversitesi

Ufuk Fatih KÜÇÜKALİ, İstanbul Aydın Üniversitesi

Muzaffer Can İBAN, Mersin Üniversitesi

Mohamad M. AWAD, Research Director at National Council for Scientific Research (CNRS-L)

Mizanpaj

Arş. Gör. Mehmet Özgür Çelik

mozgurcelik@mersin.edu.tr

Mersin Üniversitesi, Harita Müh. Bölümü /Mersin



İÇİNDEKİLER

ARAŞTIRMA MAKALELERİ

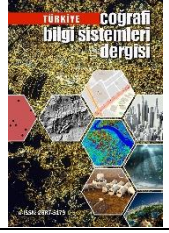
Haritacılık Tarihinde Bir Yolculuk (An Odyssey in the History of Mapping) <i>Mevlüt YETKİN, Ömer BİLGİNER</i>	01-09
Arkeolojik YüzeY Araştırması Tahmin Haritalarının Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Oluşturulması: Mersin İli, Silifke İlçesi Örneği (Creating Archaeological Survey Forecast Maps with Remote Sensing and Geographical Information Systems: The Example of Mersin Province, Silifke District) <i>Doğa FİDAN</i>	10-23
Landslide Susceptibility Mapping of Samsun (Turkey) Province Using Frequency Ratio and AHP Methods <i>Aslan Cihat BAŞARA, Mehmet Emin TABAR, Yasemin ŞİŞMAN</i>	24-30
Landfill Site Selection Using Spatial Information Technologies: A Case Study for Bodrum District <i>Cansu NEHTEPAROV, Emin Özgür AVŞAR</i>	31-39
SLEUTH İle Arazi Örtüsü Değişimi Benzetim Modelinin Oluşturulması, İstanbul İli Örneği (Creating a Land Cover Change Simulation Model with SLEUTH, the Case of İstanbul Province) <i>Ahmet Emir YAKUP, İsmail Ercüment AYAZLI</i>	40-47
Artırılmış gerçeklik teknolojisi ile iç mekân navigasyonu (Indoor navigation application using augmented reality technology) <i>Salih Hamdi ÇALIK, Fatih GÜLGEN</i>	48-52



Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi

<https://dergipark.org.tr/pub/tucbis>

e-ISSN 2687-5179



Haritacılık Tarihinde Bir Yolculuk

Mevlüt Yetkin*¹, Ömer Bilginer²

Anahtar Kelimeler:

Haritacılık
Yer Ölçmeleri
Astronomi
Antik Yunan
Bilim Tarihi

ÖZ

En eski bilim dallarından birisi olan Jeodezi çağlar boyunca Mısırlılar, Babilliler ve Yunanlılar gibi uygarlıkların ilgisini çekmiştir. Yerin şekli ve boyutlarının belirlenmesiyle haritalanması problemi bilim tarihinin en çok ilgi duyulan temel konularından birisi olmuştur. Antik çağda jeodezi bilimine en fazla katkı sağlayan uygarlıklardan birisi de Yunan uygarlığıdır. Pek çok bilim insanı ve filozof, jeodezi bilimine hem kuramsal hem de uygulamalı olarak katkı sağlamıştır. Bu makalede, başta Antik Yunan dönemi olmak üzere jeodezi alanında gerçekleştirilen gelişmeler ele alınmıştır. Antik Mısır'da yapılan arazi ölçüm çalışmalarından modern coğrafi bilgi sistemlerine giden uzun ve serüvenli yolculuk incelenmiştir. Ayrıca Jeodezinin kurucusu sayılan İskenderiyeli Eratosthenes'in yapmış olduğu yer ölçmelerinin bir benzeri yapılarak elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.

An Odyssey in the History of Mapping

Keywords:

Mapping
Earth Measurement
Astronomy
Ancient Greece
History of Science

ABSTRACT

Geodesy, one of the oldest disciplines, has attracted the attention of civilizations such as Egyptians, Babylonians and Greeks throughout the ages. The problem of mapping the earth and determining its size and shape has been one of the most fundamental topics of interest in the history of science. One of the civilizations that contributed most to Geodesy in ancient times was the Greek civilization. Many scientists and philosophers have contributed both theoretically and practically to the geodetic science. In this paper, developments in the field of Geodesy, especially in the ancient Greek period, have been discussed. The odyssey from boundary surveys in Ancient Egypt to modern geographic information systems has been studied. Furthermore, a similar application of the earth measurements made by Eratosthenes of Alexandria who is regarded as the founder of Geodesy was performed and the results obtained are indicated.

* Sorumlu Yazar

*(mevlut.yetkin@ikcu.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-3438-1801
(omer.bilginer@ikcu.edu.tr) ORCID ID 0000-0001-5789-7929

Kaynak Göster

Yetkin M & Bilginer O (2021). Haritacılık Tarihinde Bir Yolculuk. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 3(1), 01-09

1. GİRİŞ

Jeodezi biliminin problemi, yerin ve diğer gök cisimlerinin şeklini ve dış gravite alanını, bu cisimlerin yüzeyinde ya da dışında gözlemler yaparak zamanın bir fonksiyonu olarak belirlemektir. Bu problemin tanımlanması tam olarak 19. yüzyılda olgunlaşsa da daha antik çağlarda insanlar yerin şekli sorunu üzerinde durmuşlardır. Astronomi ve coğrafya ile birlikte jeodezi aslında gezegenimizle uğraşan en eski bilim dallarından biridir. Tarih boyunca Yunan, Mısır, Mezopotamya, Çin, Hindistan, İslam ve Avrupa medeniyetleri bu bilim dalına katkı sunmuşlardır. Eski toplumlarda yerin şekline ilişkin en yaygın düşünce yerin ufka uzanan düz bir disk olması ve gökyüzünün bu disk üzerinde bir kubbe gibi durmasıdır. Bu kubbenin iç yüzeyinde gök cisimleri karmaşık yörüngelerini izlerler. Bununla birlikte, Antik Yunanlılar yerin şeklinin küresel olduğunu biliyorlardı. Küresel yer modelinden sonra kutuplardan yassılaştırmış bir dönел elipsoit 18. yüzyılın ilk yarısından itibaren yaygın olarak kabul edilmiştir. 19. yüzyılda gravite alanının önemi anlaşıldıktan sonra yerin matematiksel şekli olarak jeoit sunulmuştur. Jeoit yerin gravite alanının ortalama deniz yüzeyiyle çakışan eş potansiyelli yüzeyidir ve ortalama deniz yüzeyinin karaların altından devamı olarak düşünülebilir. 20. yüzyılın ikinci yarısında uydu teknikleri sayesinde üç boyutlu jeodezi kavramı gerçekleştirildi. Jeodezik gözlemlerin doğruluklarını etkili bir şekilde iyileştirmek için zaman değişimlerinin dikkate alınmasıyla da dört boyutlu jeodezi kavramı ortaya çıktı (Torge, 2001).

İlk İslam filozofu Kindi'nin öğrencisi olan El-Belhi (850-934), Belh Harita Okulu'nu kurmuştur. 10. yüzyılda El-İstahri, İbn Havkal ve El-Makdisi gibi seçkin isimler yetişmiştir (Tibbetts, 1992). Günümüzde büyükşehirlerin metro haritaları Belh Harita Okulu'nun haritalarındaki betimlemelere benzetilir. Belh Harita Okulu'nun dışında bir diğer İslam haritacılık geleneği ise Sicilya'nın Norman kralı 2. Roger'in maiyetinde bulunan El-İdrisi (12. yüzyıl) tarafından temsil edilir (Riffenburgh, 2012).

Kartografik betimlemeler şeklinde coğrafi bilginin basılı halde dolaşımı Almanya'da Guthenberg'in icadıyla başlayan matbaa devriminin yol açtığı değişimi güçlendirmiştir. Erken modern dönemde mekanın denetim altına alınmasını olanaklı kılan harita bilinci Avrupa'nın seçkinlerine ulaşmış, bu olgu ilkin İtalya'da (Fra Mauro'nun 15. yüzyılda hazırladığı harita o zamana kadar ki en detaylı ve doğru Dünya haritası olarak bilinir. Fuat Sezgin'in eserlerinde belirttiği gibi bu harita Ptolemaios'un Hint Okyanusunu bir göl olarak gösterme hatasına yer vermediği için bariz bir şekilde İslam haritacılığının etkilerini taşımaktadır. Sonraki yüzyılda Ümit Burnu'nun Portekizliler tarafından keşfedilmesiyle bu durum deneysel olarak ortaya konmuştur) başladıktan sonra önce Almanya'ya oradan da 1. François ve 8. Henry (Fatih

Sultan Mehmet bu isimlerden daha önce harita bilincine sahip bir hükümdardı. Öyle ki Ptolemaios'un atlasını tercüme ettirmişti) gibi krallara ulaşmıştır. Bu gelişme geçte olsa güçlü bir şekilde İsveç'e oradan da Rusya'ya gelmiştir. Mekânsal düşünmenin formu olarak haritalar söz konusu dönemde Avrupa'nın gerçekleştirdiği askeri devrimde etkili olmuştur. Güvenilir bir kaynak olarak haritalar gerçek Dünya'nın yansımaları olarak değil fakat güçlü bileşenleri olarak Avrupa'nın farklı kültürel ve etnik kavramlarının yeniden tanımlanmasında da rol almıştır (Livingstone & Withers, 2018).

Yeryüzünde bir yay uzunluğunun jeodezik araçlarla ölçülmesi ve bu yayın iki ucundaki çekül doğruları arasındaki yön farkının astronomik araçlarla belirlenmesi sayesinde yerin şekli ortaya çıkarılabilir. Diğer bir deyişle yeryüzündeki bir yay boyunca çekül doğrularının yönlerinin konumdan konuma değişmesi yerin gerçek şeklinin bulunması için kullanılabilir. Bu işlemin Almanca karşılığı "gradmessung" terimi "derece ölçümü" olarak Türkçeye çevrilebilir. Eratosthenes'in bu doğrultuda yapmış olduğu çalışma önemlidir. Daha sonra İslam dünyasında El-Memun, Sind bin Ali ve Biruni gibi isimler ekvatorun uzunluğunu ve yerin çapını belirlemek için çalışmalar yapmışlardır (Sezgin, 2008). Daha yakın tarihlerde ise Willebrord Snellius (1580-1626), Pierre Louis Maupertuis (1698-1759), Pierre Bouguer (1698-1758) ve F. G. W. von Struve (1793-1864) derece ölçmeleri yapmışlardır. Norveç'in Kuzey Buz Denizi kıyısından başlayarak Karadeniz'e kadar 10 ülkeden geçen ve 2820 km'den daha büyük uzunluğa sahip Struve nirengi zinciri/jeodezik yayı, UNESCO tarafından Dünya Mirası listesine alınmıştır (Unesco, 2020).

Jeodezi'de önemi büyük olan triyângülasyon ilkesinin Hollandalı bilgin Gemma Frisius tarafından 1533 yılında bulunduğu düşünülmektedir. Buna göre üçgenlerden oluşan bir ağda açılara ek olarak sadece bir adet uzunluk ölçümü yaparak ağın geometrisi tek anlamlı biçimde belirlenebilir. Daha sonraki yıllarda Snellius ve Tycho Brahe (1546-1601) bu tekniğe katkı sağlamışlardır. Snellius, Hollanda'da Eratosthenes'in çalışmasını tekrarlamış ama bu kez yay uzunluğunu belirlemek için triyângülasyon tekniğinden yararlanmıştır. Yayın iki ucundaki çekül doğrularının yönleri arasındaki farkı ise astronomik konum belirleme ile hesaplamıştır. Meridyen boyunca kuzey-güney yönünde gidildiğinde yerel çekül doğrusunun mutlak yönü yani yıldızlara göre yönü değişir. Yerel gravite doğrultusuna yani çekül doğrusuna daima dik olan yerel ufuk düzlemi de aynı yönde aynı miktarda değişir. Kuzey yönünü veren kutup yıldızının ufkun üzerindeki yükseklik açısı astronomik olarak belirlenebilir. Bu sayede noktanın astronomik enlemi elde edilir. Yayın iki uç noktasında (Bergen op Zoom ve Alkmaar şehirlerinde) astronomik enlemleri belirleyen Snellius, jeodezik olarak bulunan yay uzunluğunu astronomik olarak

bulunan enlemler farkına eş deyişle çekül doğrularının yönleri arasındaki farka bölerek yerin eğrilik yarıçapını elde etmiştir. Bu şekilde Snellius jeodezik ve astronomik gözlemleri Eratosthenes gibi birleştirirse de ondan farklı olarak jeodezik triyagülasyon yöntemini ve astronomik gözlem yapmak için ise yaz gündönümünden yararlanmak yerine her zaman gözlem yapabileceği kutup yıldızını kullanmıştır (Vermeer, 2017).

Newton, 1687 yılında "Philosophiae Naturalis Principia Mathematica" isimli kitabını yayınladığı zaman yeryüzünün şeklinin anlaşılması ileriye doğru büyük bir sıçrama yapmıştır. Newton ve Huygens (1629-1695) yerin kendi eksenini etrafında dönmesinden dolayı kutuplardan basık, Ekvator'dan şişkin olduğu (sferoyit) sonucuna ulaşmışlardır. Fransız astronom Cassini ise Paris meridyeninin ölçmelerine dayanarak yerin kutuplarda şişkin (yumurta biçimli) olduğunu ileri sürmüştür. Bu bilimsel tartışmayı çözmek için Fransa Kralı XV. Louis ve Fransız Bilimler Akademisi, biri Ekvator'a diğeri ise kuzey kutup dairesine yakın iki bölgeye (Peru ve Laponya) farklı alanlarda uzman bilim adamlarından oluşan iki heyet göndermiştir. Bahsedilen jeodezik keşif seferlerinde meridyen yay ölçmeleri yapılmış ve Newton-Huygens kuramının doğru olduğu onaylanmıştır (Solarić & Solarić, 2014).

1862 yılında Prusyalı (Alman) jeodezici J.J. Baeyer'in liderliğinde Orta Avrupa derece ölçümü kurulmuş daha sonra bu global bir organizasyon (IAG - International Association of Geodesy) haline gelmiştir. Buradaki amaçlar yerin şekli ya da jeoidi belirlemek ve Avrupa'daki tüm jeodezik ağları tek bir ağ halinde birleştirmektir. Bu son amaç doğru bir şekilde 1950 yılına kadar gerçekleştirilemedi. İlk ortak Avrupa ağ dengelemesi (ED50) 1950 yılında tamamlandı. Bunun dışında Kuzey Amerika gibi başka coğrafyalarda yerin şeklini, basıklığını, yeryüzündeki noktaların konumlarını belirlemek ve harita yapımını desteklemek için kıtasal ölçekte triyagülasyon ağları ölçüldü. Klasik jeodezik tekniklerden kaynaklanan zorlukların yarattığı durum uydularla birlikte temelden değişti. Vanguard 1 uydusu yerin -çok azda olsa- armut şekilli olduğunu gösterdi (Vermeer, 2017).

Bu makalede bilim tarihinin önemli bir konusu olan yerin şekli ve boyutunun belirlenmesine dair Antik Yunan döneminde yapılan çalışmalar ele alınmıştır. İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü'nde Ölçme derslerinde yapılan uygulamalar sonuçlarıyla birlikte verilmiştir. Ayrıca, İslam ve Batı uygarlıklarının haritacılık çalışmaları incelenmiştir.

2. ANTİK YUNAN'DA YERİN ŞEKLİ VE BOYUTLARI

Coğrafya ve Jeodezi bilimlerini Antik Yunanlılar bulmuştur (Boccaletti, 2019). Homeros'un destanlarında yuvarlak bir disk olarak tanımlanan ve okyanus ile çevrili olan yer, belirsiz üç kıtadan

(Avrupa, Asya ve Libya/Afrika) oluşur. İyonyalı filozof ve bilim adamları doğal fenomenlerin rasyonel açıklamalarını araştırmak için bilimsel sorgulamayı ilk başlatanlar olmuşlardır. Yerin düz bir disk olmadığı hipotezini ilk kez kuranlar da Batı Anadolu'da yaşamış olan İyonlardır (Lawson, 2004). İzmir, Foça, Efes, İldırı, Milet ve Samos İyonya'nın önemli şehirlerindedir. İlk filozof olan Thales, M.Ö. 624-565 yıllarında Milet'te yaşamış ve İyonya felsefe okulunu kurmuştur. Milet, o dönemde hem doğudan hem de batıdan dış etkiler almaya oldukça elverişli bir konuma sahip bir liman şehriydi. Mezopotamya ve Mısır'ı ziyaret ettiği söylenen Thales, oralardan başta astronomi ile ilgili olmak üzere çok sayıda bilgiyle Milet'e dönmüştü. Bruno Snell (1896-1986)'in işaret ettiği gibi mitsel imge ve mantıksal düşünce arasındaki karşıtlık doğanın nedensel yorumunda keskinleşmiştir. Mitlerden mantıksal düşünceye geçiş diğeri bir deyişle şeylerin rasyonel bir anlamda yorumlanması olarak ifade edebileceğimiz düşünme biçimini başlatan Thales olmuştur. Thales'e göre su tüm şeylerin biricik ilkesidir - yani su temel unsurdur - ve yer bir tahta parçası gibi su üzerinde yüzer. Bununla birlikte Thales'in aslında Dünya'nın yuvarlak olduğuna inandığı da iddia edilmektedir (Grady, 2002).

Diongenes Laertius, küresel bir yer fikrini Anaksimandros'a atfetmiştir ki bu simetri nedeniyle evrende yerin dengede olması teorisiyle de uyuşur (Laertios, 2002). Anaksimandros, yeter-neden ilkesi ile Spinoza (1632-1677) ve Leibniz (1646-1716)'in öncülü olmuştur. 19. yüzyılda yerin gravite alanı nedeniyle matematiksel şeklinin jeoit olduğu bilimindeki güzel bir örneğidir. Diogenes Laertius, filozof Favorinus (M.S. 85-143)'u kaynak göstererek bir ölçme aleti olan gnomon (güneş saati)'u icat edenin ve ekinoksların hesaplanmasını geliştirenin Anaksimandros olduğunu belirtmiştir. Yaşlı Plinius (M.S. 23-79) ise Uralalı Anaksagoras'ın bir küre kullanan ilk kişi olduğuna inanmıştır (Lawson, 2004).

İyonya okulunun üçüncü seçkin filozofu Miletli Anaksimenes (M.Ö. 586-528) ise yerin düz olup havada süzülmesine inanmıştır. Anaksimenes ayrıca Kant-Laplace kuramına son derece benzer bir şekilde gök cisimlerinin yoğunlaşma ve artan soğumayla meydana geldiğini düşünmüştür (Friedell, 2017). Aristoteles, "De Caelo" isimli eserinde Anaksimenes'in Demokritos ve Anaksagoras ile birlikte yerin düzlüğünü hareketsiz kalmasının nedeni olarak gösterdiklerini belirtmiştir. Roma döneminde yaşamış Yunan coğrafyacı Agathemerus ise bir dünya haritası çizen ilk kişinin Anaksagoras olduğunu iddia etmiştir. İzmir Kolofonlu Ksenofanes ise yerin düz olduğunu, üst tarafı havaya değerken altının sınırsızca devam ettiğini düşünmüştür (Lawson, 2004).

İyonya felsefe okulunu Thales'in başlatması gibi Sisamlı Pisagor (M.Ö. 570-496) da İtalya felsefe okulunu başlatmıştır. Pisagor ekolü küresel şekilli bir yer önermiştir. Yerin küresel olduğunu

belirledikten sonra Pisagor yeryüzünde beş tane iklim kuşağı olduğunu varsaymıştır: iki kutup, iki ılıman kuşak ve ekvator. Platon, “Phaidon” isimli diyaloglarında kürenin en mükemmel biçim olduğu için yerin şekli olması gerektiğini savunan Pisagorcuları takip etmiştir. Geometri ve diyalektik (aşkın formları temsil eden şekiller olan geometri, zihnin diyalektikçe zemin hazırlayan soyut fikirleri kavramasına yardımcı olur) vasıtasıyla Pisagor’dan sonra Platon, yerin bir küre olduğunu keşfetmiştir. Platon, Phaidon’da kürenin en mükemmel şekil olduğunu yazmıştır. Yer, en mükemmel katı cisim olduğu için şekli de küredir. Duyularımızla sadece belirsiz bir biçimde algılayabileceğimiz evrenin gerçek doğası hakkında bizi matematik ve diyalektik bilgilendirdiği ölçüde astronomi önemlidir. Platon’un öğrencisi Aristoteles zamanında ise artık küresel kavram genel olarak kabul ediliyordu ve hatta bu olgu gözlemlerle doğrulanmıştı. Aristoteles, yerin küreselliğinin deneysel kanıtlarını sunmuştur (Lawson, 2004). Aristoteles’e göre yıldızları gözlemleyerek yerin sadece dairesel olduğunu değil, aynı zamanda çok büyük olmayan bir yuvarlak olduğunu da ortaya koyabiliriz. Güneye ya da kuzeye doğru oldukça küçük bir konum değişikliği, ufukta açık bir değişikliğe neden olmaktadır. Yine bulunduğumuz yere bağlı olarak gece göğünde farklı yıldız kümelerini görmemiz ve kuzey yarımküredeki gökyüzünün güney yarımküredekinden farklı olması yerin düz olmadığını kanıtlar. Eğer yer düz olsaydı herhangi bir zamanda aynı yıldızları görmemiz gerekirdi (BBC, 2020). Ayrıca ay tutulması sırasında ayın yüzeyine düşen yerin gölgesinin şeklinin her daim dairesel olması yerin bir küre olması gerektiğini gösteriyordu. Aristoteles’in verdiği bir diğer deneysel argüman maddenin yerin merkezine çekilmesidir. Aristoteles, “De Caeolo” isimli eserinde matematikçilerin yerin çevresinin büyüklüğünü 400000 stadion olarak bulduklarını ve böylelikle yerin küresel şekilli olduğunun ve aynı zamanda yıldızlara kıyasla boyutlarının büyük olmadığını gösterildiğini belirtmiştir. Bununla birlikte, Aristoteles tarafından bildirilen değer çok büyüktür. Daha doğru hesaplamalar Aristoteles’ten sonra Eratosthenes tarafından yapılmıştır.

Herodot, “Tarih” isimli eserinde Afrika kıtasının etrafını saat ibresi yönünde dolaşan Fenikelilerin Güneş’in hep sağlarında kaldığını gözlemlediklerini söylemiştir (ki bu Dünya’nın yuvarlak olduğunu gösterir). Herodot güneşin hep sağlarında kalmasını şüpheli bulmuştur (Herodotos, 2012). Ptolemaios (M.S. 90-168) tarafından yazılan “Almagest” isimli eserde, dağlara doğru yelken açan bir gemide dağların denizden yükseldiğinin gözlenmesinin, dağların denizin eğri yüzeyi tarafından gizlendiğini gösterdiği belirtilmiştir. Yine yerin eğriliği nedeniyle ufuktaki bir geminin önce aşağı kısmının gözden kaybolması yuvarlak Dünya modelinin desteklenmesinde kullanılan ilk argümanlardan birisi olmuştur. Aynı şekilde,

sahilden bakıldığında ufukta yaklaşan geminin bariz yükselişi yerin küreselliğini gösterir. Yine bir Yunanlı olan Arşimet ise yerin çevresini 48300 km civarında olduğunu tahmin etmiştir.

Evreni tanımlarken yerin ya da Güneş’in merkez alınması konusu yüzyıllarca insanları düşündüren bir konu olmuştur. Alcmaeon, Aristoteles, Hipparkos, Ptolemaios ve Pisagor yermerkezli evren görüşünü savunurken Filolaos, Sisamlı Aristarchus ve Plato Güneş merkezli evren modelini savunmuşlardır. Güneş merkezli evren teorisini ilk kez iddia eden Aristarchus “Güneş ve Ay’ın Uzaklıkları ve Boyutları Üzerine” isimli çalışmasında gök cisimlerinin ölçülmesi ve uzaklıklarının hesaplanması için kuramsal ve matematiksel temelleri sunmuştur. Aristarchus, Güneş ve Ay’ın yarıçaplarını ölçerek boyutlarını ve açıl gözlemlere dayalı geometrik ve trigonometrik tekniklerini kullanarak Dünya’ya olan uzaklıklarını hesaplamının mümkün olduğunu belirtmiştir. Bununla birlikte hesaplamaları hatalıdır. Aristarchus, Güneş’in yere göre daha büyük boyutlu olmasının yerin Güneş etrafında dönmesini gerektirmiş olabileceğini düşünmüş olabilir. Ya da Philolaos gibi tüm gök cisimlerinin merkezi bir ateş etrafında döndüğünü öne süren Pisagorcular filozoflardan etkilenmiş olabilir. Arşimet ve Plutarkhos, Aristarchus’un evrenin gerçek merkezi olan Güneş etrafında döndüğü şeklindeki hipotezini biliyorlardı. Arşimet, Aristarchus’un yerin yörüngesini dairesel olarak anladığını ve sabit yıldızların evrenin merkezi olan Güneş’ten uzaklıklarının da o zamana kadar düşünülenenden daha fazla olduğunu kabul ettiğini bildirmiştir. Yıldızların bu şaşkıncı uzaklıklarının bilinmesi, Aristarchus’un hassas bilimsel aletler olmadan yıldızların yere göre gerçek hareketlerinin (paralaks) gözlenemeyeceğini anlamasını sağlamıştır (Lawson, 2004).

Karadeniz Ereğlili Heraclides (M.Ö. 387-312) ise güneş sisteminin yer merkezli ve güneş merkezli kuramlarını Danimarkalı astronom Tycho Brahe’den 1800 yıl önce birleştirmiştir. Heraclides’e göre Merkür ve Venüs yerin değil Güneş’in etrafında dönmektedir. Heraclides ayrıca Aristarchus ile birlikte yerin kendi eksenini etrafında döndüğünü iddia etmiştir. Democritus ise sonsuz bir evrende yermerkezli Güneş sistemi görüşünün (tabii ki güneş merkezli kuramında) saçma olduğunu savunarak Giardano Bruno’nun öncüsü olmuştur (Lawson, 2004).

2.1. Eratosthenes (M.Ö. 276-195)

Çok yönlü bir bilgin olan Eratosthenes astronomi, matematik, coğrafya, kütüphanecilik, şiir ve felsefe gibi çok farklı disiplinlerde başarılı çalışmalar yürütmüştür. Şu an kayıp olan “Yerin Ölçümü Üzerine” isimli kitabında yerin çevresinin hesaplanmasını ele almıştır. Bu çalışması daha sonra Cleomedes, Strabon ve Plinius tarafından yorumlanmıştır. Jeodezinin kurucu olarak nitelenen

İskenderiyeli Eratosthenes küresel bir Dünya varsayımına dayanarak yapmış olduğu ölçmelerden yerin yarıçapını ortaya çıkarmıştır. Eratosthenes tarafından geliştirilen yay-ölçme yönteminin ilkesi modern zamanlarda da kullanılmıştır: jeodezik ölçmelerle meridyen yayının uzunluğu (l) belirlenirken astronomik gözlemler bu yay parçasını gören merkez açısı (γ) sağlamaktadır. Yerin yarıçapı (R) böylece

$$R = \frac{l}{\gamma} \quad (1)$$

eşitliğiyle hesaplanmaktadır. Eratosthenes'in yöntemi gölgelerin uzunluklarını kullanır.

Eratosthenes, hemen hemen aynı meridyen üzerinde yer alan ve aralarındaki uzaklık bilinen (bilinmiyorsa ölçülmelidir) İskenderiye ve Syene şehirleri arasında çalışmasını yapmıştır. Güneş'in eğim açısı bu iki şehirde eşzamanlı olarak ölçülür. İki farklı konumda Güneş'in açısındaki fark bu iki nokta arasındaki enlem farkına eşittir. Bunun nedeni Güneş Dünya'ya çok uzak olduğu için Dünya'ya çarpan Güneş ışınlarının birbirlerine paralel olmalarıdır.

Eratosthenes, İskenderiye ve Syene arasındaki yayın iki ucundaki çekül doğruları arasındaki yön farkını astronomik olarak belirlemiştir. Bunun için Güneş ışınlarının Yengeç Dönencesi'ne dik olarak geldiği yaz gündönümünden (21 Haziran) yararlanmıştır. İskenderiye'ye göre daha güneyde bulunan Syene şehri Yengeç Dönencesi'ne çok yakındır. 21 Haziran tarihinde Güneş ışınlarının buraya dik geleceğini (Güneş gün ortasında doğrudan başüstüdür) bilen Eratosthenes bir kuyu vasıtasıyla yerel düşeyi belirlemiştir. Güneş ışınları paralel olsalar da yerin eğriliğinden dolayı iki şehirdeki düşeyler birbirine paralel olamayacağı için Eratosthenes, İskenderiye şehrinde düşey bir obeliskten yararlanarak bir gnomon ile Güneş ışınlarının çekül doğrusu yönüyle oluşturduğu açıyı - gnomonun düşürdüğü gölgeden yararlanarak - ölçmüştür ki bu açı geometriden dolayı İskenderiye ve Syene şehirleri arasındaki yayı gören merkez açıdır. Diğer bir deyişle 21 Haziranda İskenderiye'de gün ortasında ölçülen Güneş'in açısı iki şehrin enlemleri arasındaki farktır. Eratosthenes'in bulduğu γ değeri $7^\circ 12''$ 'dir. İki şehir arasında ölçülen mesafe ise 5000 stadiondur ki bu 742.5 km'ye karşılık gelir. Böylece Eratosthenes yerin yarıçapını yaklaşık 5900 km olarak bulmuştur. Bu hesaplamadaki hata payı %7'dir (Torge, 2001). Torge, 1 stadionu 148.5 m olarak almıştır. Eratosthenes, İskenderiye ve Syene şehirleri arasındaki uzaklığı 5000 stadion olarak ölçmüştür. Hesapladığı merkez açı değeri olan $7^\circ 12'$ ise 360° 'nin $1/50$ 'sidir. Buna göre Ekvator'un uzunluğu yani yerin çevresi 250000 stadion olmalıdır. 1 stadion 157.5 m olarak alınırsa Ekvator'un uzunluğu 39375 km çıkar. Bu, gerçek değerden (39941 km) % 1.4 daha küçüktür. Burada

ulaşılan sonucun doğruluğundan çok, yerin küreselliğinin ve astronomi ile jeodezi arasındaki ilişkinin insanlar tarafından bilinmesi daha önemlidir.

(1) numaralı eşitlik yerine

$$\frac{\text{yerin çevresi}}{\text{noktalar arasındaki mesafe}} = \frac{360^\circ}{\text{enlemlerin açılal farkı}} \quad (2)$$

eşitliği de kullanılabilir.

Güneş'in açısını ölçmek için trigonometriden yararlanılır. Bir gnomon (düşey bir mira da kullanılabilir) ile gölgenin uzunluğunu (s) ölçülür ve miranın bilinen yüksekliği (h) yardımıyla

$$\gamma = \tan^{-1} \frac{s}{h} \quad (3)$$

eşitliğinden gölgenin açısı hesaplanır. Antik Yunanlılar bugün bizim bildiğimiz gibi trigonometriyi bilmedikleri için Eratosthenes'in "skaphe" denen taksimatlı bir Güneş saati kullandığı olası gözükmektedir. İskenderiye ve Syene arasındaki uzaklık ise "bematist" denilen ve adımlama ile uzaklık ölçmede uzmanlaşmış kişiler tarafından ölçülmüş olabilir ya da Nil nehri üzerinde iki şehir arasında seyahat eden tüccarların mevcut verilerine dayanarak kabul edilmiş bir rakam olabilir (D'Antonio, 2011).

Güneş'in gökyüzünde görünen yoluna tutulum denir. Yerin Güneş etrafında döndüğü yörünge (ilk astronomlar Güneş'in yer etrafında döndüğüne inanmışlardı) düzlemi tutulum düzlemi olarak adlandırılır. Yerin dönme eksenini tutulumla göre eğiktir. Ekvatorla tutulum düzlemi arasındaki bu açıya tutulum eğikliği denir. Tutulum eğikliği $23^\circ 26''$ 'dir. Yerin bu eğikliği nedeniyle kuzey yarımkürede güneşin yaz gündönümünde gün ortasında doğrudan başüstünde olduğu yer Ekvator değil Yengeç Dönencesi'dir. Aynı durum güney yarımküre için kış gündönümünde geçerlidir. Bu enleme de Oğlak Dönencesi denir. Dönencelerin enlemi tutulum eğikliğine eşittir. Eratosthenes Yengeç Dönencesi ile Ekvator arasındaki yayı bir meridyenin $11/83$ 'ü olarak belirlemiştir. Bu $23^\circ 51' 26''$ 'lik bir eğikliğe dönüşür ki çok doğru bir sonuçtur (D'Antonio, 2011).

2.1.1. Eratosthenes'in Yöntemini Kullanarak Yerin Çevresini Ölçme

Türkiye'de yaz ya da kış gündönümünde ölçüm yapma problemini iki şekilde çözebiliriz:

1. Güneş'in bir ölçümünü kullanmak: Yengeç Dönencesi'nde (kuzey yarımkürede olduğumuz için) yaz gündönümünde günortasında ölçüm yapmak yerine Türkiye'nin herhangi bir yerinde ilkbahar (21 Mart) ya da sonbahar gündönümünü (22 Eylül) kullanabiliriz. Bu iki tarihte Güneş

Ekvator'da tam baş üstüdür ve eğer konumumuzla Ekvator arasındaki uzaklığı biliyorsak (2) eşitliği ile yerin çevresini hesaplayabiliriz. Bunun için gündönümünde tam öğle vakti uzunluğu bilinen düşey bir miranın gölgesini ölçerek Güneş'in açısını (3) eşitliği ile hesaplamak gerekir.

2. Güneş'in iki ölçümünü kullanmak: İlk yöntemin aksine yılın herhangi bir zamanı kullanabileceğimiz esnek bir yöntemdir ve Eratosthenes'in ruhuna daha fazla uyar. Güneş'in eğim açısı iki farklı konumda ölçülmelidir. İki konum aynı boylamda olmalıdır ve aralarındaki uzaklık bilinmelidir. Eğim açısındaki farkın belirlenebilmesi için iki konum birbirlerinden yeterince uzak olmalıdır. Bu yöntemle aynı meridyen üzerindeki iki farklı konumda aynı gün aynı zamanda iki Güneş gözlemi yapılmalıdır. Pratiklik açısından kuzey-güney doğrultusunda giden bir yoldan yararlanılabilir.

Eratosthenes'in yöntemi gündüz uygulanır. Ölçmeler, Güneş'in başucuna en yakın olduğu/Güneş'in gökyüzünde en yüksekte olduğu yerel zamanda yapılmalıdır. Bu vakti hesaplamak için gündeğümü ve günbatımının yerel zamanlarının ortası alınabilir (D'Antonio, 2011).

2.2.Rodoslu Posidonius

Eratosthenes'ten 150 yıl sonra benzer bir yer ölçümü Rodoslu Posidonius tarafından yapılmıştır. Posidonius ve Eratosthenes yerin kutuplar çevresini (bir boylam boyunca) hesaplamıştır. Posidonius'un yöntemi yıldızların yüksekliğini kullanır. Posidonius, Rodos ve İskenderiye (aslında aynı boylamda olmayan iki şehir) arasındaki mesafeyi 5000 stadion olarak almıştır. Yayı gören merkez açıyı hesaplamak içinse Canopus yıldızından yararlanmıştır. Posidonius, bu yıldızın Rodos'ta ufka değerken İskenderiye'de 7° 30"lık bir yüksekliğe ulaştığını gözlemlemiştir. Böylece yerin çevresi 240000 stadion olmaktadır. Bununla birlikte şehirlerarasındaki mesafe 3750 stadion alındığında yerin çevresi 180000 stadion çıkar. Kristof Kolomb, Ptolemaios'un "Coğrafya" kitabında kullandığı bu değeri aldığı için Hindistan'a olan uzaklığı 70000 stadion olarak daha yakın hesaplayarak hata yapmıştır (Freely, 2013).

Posidonius'un dışında Amasyalı Strabon ve Tyreli Marinus gibi isimler Eratosthenes'ten esinlenerek benzer ölçmeler yapmışlardır. Küreyi haritalamak için enlem ve boylam kullanan ilk kişi yine Eratosthenes olmuştur. Hatta Nearchus'un gezilerinden esinlenerek batıya doğru gemiyle gidilirse Hindistan'a ulaşmanın mümkün olabileceğine inanmıştır. İznikli Hipparkos ise 360 derecelik bir ölçekte yeri hassas yaylarla ölçen bir grid deseni oluşturmuştur. Diğer taraftan Strabon'un "Coğrafya" isimli eserinde ise bilinen dünya, Atlas Okyanusu'ndan Arabistan ve Hindistan'a kadar uzanıyordu. Tyre'li Marinus'tan esinlenen Ptolemaios yanlış bir şekilde Hint Okyanusu'nun bir iç denizi olduğunu iddia edecekti

(Lawson, 2004). Bu hata daha sonra müslümanlar tarafından düzeltilmiştir.

3. ANTİK MİSİR'DAN COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ'NE

Ölçme tekniğinin bir bilim dalı olarak ortaya çıkışı Heredot'un belirttiği gibi Antik Mısır'da Sesostris döneminde vergilendirme amacıyla yapılan sınır belirleme çalışmalarıdır. Ayrıca Giza piramidinin uygulaması doğru bir şekilde yapılmıştır. Ölçmelerdeki kesinlik ve piramidin sahip olduğu kusursuz karelik hayranlık uyandırıcıdır. Babilliler ise "Kudurrus" denilen ve sınır taşı olarak kullanılan taş tabletler üzerine ölçme ve emlağa ilişkin detayları yazmışlardır. Antik Mısır'daki çalışmaların bir sonucu olarak Yunanlılar geometri bilimini geliştirmişlerdir. İskenderiye'li Heron, ölçme yöntemleri, çizim ve hesaplamalar üzerine yaptığı çalışmaların dışında geliştirdiği "diopter" adı verilen ölçme aletiyle bilinir. Daha sonraki yıllarda pratik bir zihne sahip olan Romalılar ölçme bilimine katkı sağlamışlardır. 1. yüzyılda yaşamış olan Romalı mühendis ve ölçmeci Frontius'un yazdığı eser çok uzun yıllar kullanılmıştır. Roma İmparatorluğu'nun geniş topraklarında yapılan mühendislik çalışmalarında ölçme biliminden yararlanılmıştır. Yine bu dönemde "groma" gibi çeşitli ölçme aletleri geliştirilmiştir. Var olan en eski Latince el yazmalarından birisi 6. yüzyılda yazılmış "Codex Acerianus" isimli eserdir. Romalılara ait uygulamalı ölçme ve Frontius'un eserinin bir kısmını içeren bu eser 10. yüzyılda Gerbert (Papa 2. Sylvester) tarafından bulunmuştur. Bunun üzerine Gerbert büyük ölçüde ölçmeye ayrılan bir geometri kitabı yazmıştır. Orta çağlar boyunca müslümanlar çeşitli bilimsel çalışmalar yapmışlardır. Bu dönemde pratik geometri ismiyle ölçme sanatı ilerletilmiştir. 13. yüzyılda Von Piso "Practica Geometria" gibi eserler yazmış ve ölçme aletleri üzerine çalışmıştır (Ghilani & Wolf, 2008).

Orta çağın başlangıcı genellikle Batı Roma İmparatorluğunun 476 yılında yıkılışı olarak kabul edilir. İslam'ın doğuşu ve kısa bir süre içinde geniş bir coğrafyaya yayılması Dünya tarihini önemli ölçüde etkilemiştir. Daha 7. yüzyıl gibi erken bir dönemde bile müslümanlar kendilerinden önce kurulan medeniyetlerin (Yunan medeniyeti gibi) mirasıyla karşılaşmışlar ve çeviri faaliyetlerine başlamışlardır. Müslümanlar özümseyerek geliştirdikleri bu birikimin Avrupa'ya aktarılmasını sağlamıştır (Sezgin, 2008).

Aristotelesçilerin dışında bazı müslüman bilim adamları Pisagor'un izinden giderek evrenin merkezindeki matematik düzeni bulmak amacıyla bilimsel bilgi üretmişlerdir. Bu bağlamda sayılara dayanan dört nicel konuyu veya sanat dalını incelemişlerdir. Bunlar aritmetik, geometri, astronomi ve müziktir. Ortaçağda bu dört alan (*quadrivium*), sözle diğer bir deyişle dille ilgili gramer, mantık ve retorik ile birlikte yedi liberal sanatı oluştururlar. Dille ilgili konular *trivium*

olarak adlandırılır. Avrupa üniversitelerinin müfredatı da o dönemlerde bu yaklaşımın üzerine kurulmuştur (Fara, 2018). Doğuda ve batıda *quadrivium* eğitimi alan bazı önemli isimler Platon, Aristoteles, Öklid, İbn-i Arabi, el-Harizmi, İbn-i Sina, Roger Bacon, Dante ve Kepler olarak sayılabilir (Lundy vd., 2010).

Astronomi, coğrafya ve hatta denizcilik alanındaki gelişmeler haritacılık biliminin gelişmesine önemli katkı sağlamıştır. 17. yüzyılda modern bilimin kurulması, 20. yüzyılda bilgisayar ve uydu teknolojilerindeki gelişmeler modern haritacılığın ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bilim ve teknikteki ilerlemeler haritacılıkla hem profesyonel hem de amatör olarak ilgilenen kişilerin problemlerini çözerek ihtiyaçlarını karşılamada büyük kolaylıklar sağlamıştır. Bu noktada gerçekleştirilen önemli gelişmelerden biri Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)'dir.

Astronomi alanında Halife el-Memun bilimsel araştırmalara önem vermiş ve bazı jeodezik çalışmaların yapılmasını desteklemiştir. Sind bin Ali, Biruni, Abdurrahman es-Sufi, İbn el-Heysem, Nasiruddin Tusi ve Kutbeddin eş-Şirazi gibi isimler önemli çalışmalar yapmışlardır. İbn Yunus, ölçüm aletlerindeki hatalara dair verdiği bilgiyle tanınır (Sezgin, 2008). Müslümanların büyük önem verdiği optik bilimi de daha sonraki yüzyıllarda ölçme aletlerinin icat edilmesini sağlamıştır. Kaşgarlı Mahmud'un Divan-ı Lugati't-Türk adlı ansiklopedik eserinde yer alan ve bilinen en eski Türkçe harita olan Dünya haritasında Japonya ilk defa bir ada olarak gösterilmiştir (Kaçar, 2013). İbn-i Hurdazbih ve el-Harezmi diğer önemli müslüman haritacılar. Hive hanı Ebu el-Gazi Bahadur Han tarafından hazırlanan Türk soyu ve boylarına ilişkin kitapta Kuzey Asya'nın en eski haritalarına yer verilmiştir (Sezgin, 2012).

Osmanlı döneminde ise bazı olumlu ve olumsuz olaylar yaşanmıştır. Osmanlı astronomu Takiyüddin'in İstanbul'da 16. yüzyılın ikinci yarısında kurduğu rasathane bilim karşıtları tarafından yıkılmıştır. Bu rasathane kullanılan gözlem aletleriyle dikkat çekicidir. Aynı yıllarda Danimarka'lı Tycho Brahe tarafından Hven adasında bir rasathane kurulması ve bu rasathanenin Avrupa'da yaşanan bilim devriminde oynadığı rol düşünüldüğünde Takiyüddin'in rasathanesinin başına gelenlerin büyük bir talihsizlik olduğu açıktır. Oysa İslam dünyasında daha önceki yıllarda Rey ve Meraga gibi önemli rasathaneler kurulmuştu. Diğer taraftan Ali Kuşçu, Kadızade Rumi, Piri Reis, Menemenli oğlu Mehmed Reis, Katip Çelebi ve İbrahim Müteferrika gibi bilim adamları önemli çalışmalar yapmışlardır. Hatta Kütahya'da astronomi alanında eğitim ve araştırmaların yapıldığı, eserlerin üretildiği, faal bir rasathanenin bile bulunduğu bilinmektedir (Shefer-Mossensohn, 2019).

Bu arada batıda da önemli gelişmeler yaşanmıştır. Wallingford'lu Richard ve Geoffrey Chaucer gözlem aletleri geliştirmişlerdir. Alman

Rönesans'ının büyük sanatçısı Albrecht Dürer'in bazı harita çalışmaları vardır. Ptolemaios'un yer merkezli evren modelinin yerine Copernicus güneş merkezli modeli sunmuştur. Brahe ise bu ikisini uzlaştıran bir sistem önermiştir. Fra Mauro'nun dünya haritası (15. yüzyıl) ile 1507 tarihli Waldseemüller haritası önemlidir. Brabant'lı Abraham Ortelius ilk modern atlasın yaratıcı olarak kabul edilir. 17. yüzyılda yaşanan bilim devriminde anahtar bir rol oynayan Kepler yaptığı çalışmalarla Newton'u etkilediği gibi günümüz haritacılığının önemli bir konusu olan uydu jeodezisinin gelişmesine de katkı sağlamıştır. Daha sonraki yıllarda yerin şekli ve boyutlarının belirlenmesi için Peru ve Laponya seferleri düzenlenmiştir. Denizcilikte yaşanan gelişmeler nedeniyle boylam ölçümü için güvenilir bir yöntem nihayet 18. yüzyılda İngiliz John Harrison tarafından bulunmuştur. (Longley vd., 2005).

Amerikan bağımsızlık savaşı sırasında birliklerin hareketlerini analiz etmek için Fransız kartograf Louis-Alexandre Berthier tarafından günümüzün CBS'sinde mekansal analiz için önemli bir araç olan harita çakıştırma tekniği kullanılmıştır (Ghilani & Wolf, 2008). Dr. John Snow ise Londra'da 19. yüzyılda meydana gelen bir kolera salgını sırasında ölümler ve su kuyuları arasındaki ilişkiyi mekansal analizi ile belirlemeye çalışmıştır. 1957'den itibaren el ile haritalamanın yerini otomasyon almaya başlamıştır. 1960'lı yılların ortasında geliştirilen Kanada CBS ya da CGIS (Canada Geographic Information System) ise ilk gerçek CBS'dir. Roger Tomlinson CBS'nin babası olarak kabul edilir. CGIS bilgisayar tabanlı bir harita-ölçme sistemidir. Ülkedeki arazi kaynaklarının ve bu kaynakların mevcut ve potansiyel kullanımlarının tanımlanması için federal ve yerel yönetimlerin çabalarıyla Kanada arazi envanterinin çıkartılması amaçlanmıştır. CGIS bir haritalama aracından ziyade bir ölçme aracı ve tablosal bilgi üreticisi olarak planlanmış ve geliştirilmiştir. Bir haritadan doğru bir şekilde ölçülmesi zor olan alanların ölçülmesi böylesi bir envanterin en kullanışlı sonuçları olmuştur. İkinci bir inovasyon hamlesi 1960'lı yılların sonunda Amerikan nüfus bürosunun 1970 nüfus sayımını gerçekleştirmek için gerekli olan araçları planlamasıdır. DIME (Dual Independent Map Encoding) programı ile ABD'deki bütün sokakların dijital kayıtları üretilmiştir. Daha sonra Harvard Üniversitesi'nde "Computer Graphics and Spatial Analysis" laboratuvarı her iki uygulamanın ihtiyaçlarını karşılayabilecek genel amaçlı bir CBS geliştirmek için kurulmuştur. Bunun sonucu olarak 1970'li yılların sonunda ODYSSEY CBS yazılımı geliştirilmiştir. Bu noktada topolojik veri yapılarının geliştirilmesi CBS açısından önemlidir. 1968 yılında Birleşik Krallık'ta ECU (Experimental Cartography Unit) yüksek kaliteli bilgisayar destekli haritacılığa öncülük etmiştir. 1973 yılında ECU, düzenli bir seride dünyanın ilk bilgisayarda yapılmış haritasını "British Geological Survey" ile yayınlamıştır.

Britanya'nın "Ordnance Survey", Fransa'nın "Institut Geographic National" ve ABD'nin "Geological Survey" ve "National Geospatial-Intelligence Agency" gibi çeşitli ulusal haritalama kurumları, el ile düzeltme ve yeniden çizim pahalı ve yavaş olduğu için bilgisayar destekli haritalığa yön vermiştir. ESRI ve Intergraph ilk ticari atılımlardır. Günümüzde dünya çapında kullanılan GIMMS (Global Inventory Modelling and Mapping Studies) vektör tabanlı haritalama ve analiz sisteminin başlangıcı 1976 yılıdır. Diğer taraftan gerçekleştirilen gelişmeler ile uzaktan algılama bir teknoloji kaynağı ve veri kaynağı olarak CBS'nin gelişiminde yer almıştır. İlk askeri uyduların tarihi 1950'lere kadar gider. İlk casus uydularda görüntüleri kaydetmek için konvensiyonel film kameraları kullanılsa da dijital uzaktan algılama 1960'larda onların yerini almıştır. 1970'lerin başında ise Landsat gibi sivil uzaktan algılama sistemleri çeşitli amaçlar için çalışmaya başlamıştır. IKONOS ve Quickbird önemli yüksek çözünürlüklü yer gözlem uydularıdır. Benzer şekilde GPS ilkin askeri amaçlarla ortaya çıkmıştır. CBS alanında çok sayıda teknik gelişme soğuk savaş döneminde ortaya çıkmıştır. 1980'lerde bilgisayar donanımlarının fiyatlarının oldukça düşmesi CBS pazarının büyümesine yol açmıştır. ArcInfo, MapInfo ve MapQuest önemli ticari gelişmelerdir. 2002 yılında ABD'de çevrimiçi ulusal atlas piyasaya sürülmüştür. 2006 yılından itibaren Google Earth hizmet vermektedir. Modern CBS dönemi bunlara benzer çeşitli akademik, teknolojik ve ticari gelişmelerle devam etmektedir (Longley vd., 2005).

4. UYGULAMA

Bu bölümde, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü'nde Ölçme Bilgisi derslerinde yaptırılan öğrenci uygulaması ele alınmıştır. İlkbahar ya da sonbahar ekinoksunda gözlem yaptığımız yerin ekvatora olan uzaklığını biliyorsak yerin yarıçapını ve ekvatorun uzunluğunu hesaplayabiliriz.

Güneş ışınlarının yılda iki kez ilkbahar ve sonbahar ekinokslarında Ekvator'a dik gelmesinden yararlanarak bulunduğumuz noktanın enlemini belirleyip yerin yarıçapı ve çevresinin uzunluğunu hesaplayabiliriz. Bunun için ilk olarak yüksekliği bilinen jalon ya da miranın gölge boyu ekinoks günü Güneş'in yerel gök meridyeni ile temas geldiği vakitte (22 Eylül 2020'de İzmir için saat 13:03) ölçülmüştür. Bu vakit gündoğumu ve günbatımı için yerel zamanların orta noktasıdır. (3) numaralı eşitlikte $s=111$ cm gölge boyu ve $h=140$ cm jalonun yüksekliği olmak üzere ölçüm yapılan noktanın enlemi $\alpha=38^\circ 24' 33.81''$ olarak bulunmuştur. Diğer bir deyişle ekinoks günü Güneş'in başucuna en yakın olduğu yerel zamanda belirlenen eğim açısı noktanın enlemine eşit olmaktadır. Aynı noktanın GPS ile ölçülen enlemi ise $38^\circ 30' 44.97''$ 'dir.

(2) numaralı eşitlik kullanılarak Ekvator'un uzunluğu hesaplanabilir. Ölçü yaptığımız nokta ile

Ekvator arasındaki mesafe 4254 km'dir. Ekinoks yöntemi bulunduğumuz nokta ile Ekvator arasındaki mesafenin bilinmesini gerektirir. Ekinoks yönteminin bir avantajı gözlem yapılan tarihte hesapladığımız α açısının doğrudan enlemler arasındaki açısal farka eşit olmasıdır. Böylece yerin çevresi 39871.50 km olarak hesaplanmıştır. Ekvator'un uzunluğu bilindiği gibi 40075 km'dir. Buna göre % 0.5'lik bir hata yapılmıştır.

(1) numaralı eşitlik kullanılarak yerin yarıçap hesaplanabilir. Ölçü yaptığımız nokta ile Ekvator arasındaki mesafe olan 4254 km yay boyudur (l). Bu yay parçasını gören merkez açı γ ise noktanın hesaplanan enlemi ($38^\circ 24' 33.81''$) olacağı için yerin yarıçap $R=6345.75$ km olarak elde edilir. Eşitlikte yer alan γ açısı radyan birimine dönüştürülmelidir. Yer in yarıçap 6371 km olarak alınırsa buradaki hata payı % 0.4'tür. Elde edilen sonuçlar Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1: Sonuçlar

Hesap	Antik	Modern	Fark
Enlem	38°24'33.81"	38°30'44.97"	06'11.16"
Ekvator Uzunluğu	39871.50 km	40075 km	203.5 km
Yerin Yarıçapı	6345.75 km	6371 km	25.25 km

5. SONUÇ

Çağlar boyunca jeodezi biliminde gerçekleştirilen ilerlemeler bilim tarihinin en önemli bölümlerinden birisi olmuştur. Jeodezinin çok eski bir bilim dalı olan astronomi ile ilişkisi ve ilk medeniyetlerin oluşumunda rol oynayan haritacılık ve denizcilik faaliyetlerine katkısı bu olguyu perçinlemiştir. Bilim tarihini kabaca antik çağ, ortaçağ ve modern çağ olarak üçe ayırırsak her üç dönemde de insanların yerin şekli ve boyutlarının belirlenmesi ve daha doğru haritaların üretilmesi problemlerine ilgi duyduklarını görürüz. Antik çağda Yunanlılar, Mısırlılar ve Babilliler jeodezi alanında bilinen ilk çalışmaları yapmışlardır. Orta çağda bilime parlak bir dönem yaşatan Müslüman bilim adamlarının en seçkinleri arasında jeodezi ve haritacılık ile ilgilenenler de vardır. Modern zamanda ise ilkin Copernicus, Galilei ve Kepler gibi isimlerle belirginleşen bilim devriminin yarattığı kültürel ortamda jeodezi ve haritacılık önemini korumaya devam etmiş ve daha büyük gelişmelere tanıklık ederek hayatın pek çok yönünde önemli rol oynamıştır. 20. yüzyılda gelişen uydu ve bilgisayar teknolojisi ile günümüzde büyük bir atılım içinde bulunan sivil havacılık modern haritacılığı ortaya çıkarmaktadır. Süreç içerisinde CBS, GPS, uzaktan algılama uyduları ve insansız hava araçları gibi gelişmeler yaşanmıştır.

Antik Yunan medeniyeti jeodezi ve haritacılık ile yakından ilgilenmiş ve çoğu bugün ülkemiz sınırları içerisinde kalan yerlerde yaşamış ve tarihe mal olmuş pek çok isim değerli çalışmalar yaparak mesleğimizin temellerini atmışlardır. Tarihsel

süreçte insanların bilimsel araştırmaya duydukları ilgi sayesinde bilgi ve teknolojinin ilerlemesi ve mesleğimizin gelişiminin bir bütün olarak düşünülmesi ileriye dönük daha güçlü bir perspektifin kurulmasını sağlayabilir.

Bu makale çalışmasında Antik Yunan döneminde jeodezide gerçekleştirilen çalışmalar sunulmaya çalışılmış ancak yer sıkıntısı nedeniyle daha sonraki dönemlere yeterince irdelenmemiştir. Biruni başta olmak üzere müslüman bilim adamlarının çalışmaları ayrı bir makalede ayrıntılı bir şekilde ele alınabilir. Ayrıca Çin gibi başka ülkelerin haritacılık tarihi araştırılabilir.

KAYNAKÇA

- BBC (2020). British Broadcasting Corporation, <http://www.bbc.com/earth/story/20160126-how-we-know-earth-is-round>, [Erişim Tarihi: 09.10.2020].
- Boccaletti, D. (2019). The Shape and Size of the Earth. A Historical Journey From Homer to Artificial Satellites. Springer.
- D'Antonio L (2011). How to Measure the Earth. Mathematical Time Capsules: Historical Modules for the Mathematics Classroom, 7-16.
- Fara P (2018). Bilim: Dört Bin Yıllık Tarih. *Metis Yayınları*.
- Freely J (2013). Before Galileo: The Birth of Modern Science in Medieval Europe. Abrams Press.
- Friedell E (2017). Antik Yunan'ın Kültür Tarihi. *Alfa Yayınları*.
- Ghilani C D & Wolf P R (2008). Elementary Surveying, An Introduction to Geomatics. *Pearson Prentice Hall*.
- Grady P F O (2002). Thales of Miletus. *Ashgate Publishing*.
- Herodotos (2012). Tarih. *Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları*.
- Kaçar M (2013). Piri Reis ve Kolomb Öncesi İslam Haritaları. *Boyut Yayın Grubu*.
- Laertios, D. (2002). Ünlü Filozofların Yaşamları ve Öğretileri. *Yapı Kredi Yayınları*.
- Lawson R M (2004). Science in the Ancient World: An Encyclopedia. *ABC-CLIO*.
- Livingstone D N & Withers C W J (2018). Coğrafya ve Devrim. *Yapı Kredi Yayınları*.
- Longley P A, Goodchild M F, Maguire D J & Rhind D W (2005). Geographic Information Systems and Science. *John Wiley & Sons*.
- Lundy M, Sutton D, Ashton A, Martineau J & Martineau J (2010). Quadrivium: The Four Classical Liberal Arts of Number, Geometry, Music and Cosmology. *Bloomsberry Publishing*.
- Riffenburgh B (2012). Antik Dönemden Günümüze Haritacılar. *Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları*.
- Sezgin F (2008). İslamda Bilim ve Teknik (2. Cilt). *İstanbul Büyükşehir Belediyesi Kültür A.Ş. Yayınları*.
- Sezgin F (2012). İslam Bilimler Tarihi Üzerine Konferanslar. *Timaş Yayınları*.
- Shefer-Mossensohn, M. (2019). Osmanlı'da Bilim: Kültürel Yaratı ve Bilgi Alışverişi. *Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları*.
- Solarić M & Solarić N (2014). French Geodetic and Scientific Expedition to Lapland. *Kartografija i geoinformacija*, 13(22), 32-47.
- Tibbetts G R (1992). The Beginnings of a Cartographic Tradition. *The History of Cartography*, 2, 90-107.
- Torge W (2001). Geodesy, 3rd Edition. De Gruyter.
- Unesco (2020). Unesco, <http://whc.unesco.org/en/list/1187/>, [Erişim Tarihi: 09.10.2020].
- Vermeer M (2017). Geodesy: The Science Underneath. Ders Notu.



© Author(s) 2021. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/tucbis>

e-ISSN 2687-5179



Arkeolojik YüzeY Araştırması Tahmin Haritalarının Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Oluşturulması: Mersin İli, Silifke İlçesi Örneği

Doğa Fidan*¹ 

¹Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, Türkiye

ÖZ

Anahtar Kelimeler:

Uzaktan Algılama
Coğrafi Bilgi Sistemleri
YüzeY Araştırması
Analitik Hiyerarşi Süreci
Tahmin Modeli

Tarihsel kalıntılara ulaşma sürecinin ilk basamağı olan yüzeY araştırmaları, yer yüzeyinin gözleme dayalı olarak araştırılmasıdır. Araştırma bölgesinin doğal ve çevresel faktörleri dikkate alındığında bu süreçte araziye taramanın zor olduğu ve kaynak sarfiyatının yapıldığı görülür. YüzeY araştırmaları tahmin haritaları, araştırmalarda rehber olabilir, çalışmalarda altlık olarak kullanılabilir ve bu sayede süreci kolaylaştırabilir. Mersin İli Silifke İlçesinde tarihsel süreç içerisinde yaşamış insanların bölgeyi tercih etmelerinde etkili olan mekânsal kriterler ortaya koyularak bu tercihte olası öncelikli kriterler belirlenmiştir. Yörenin uzaktan algılama tekniği ile elde edilen verilerine coğrafi bilgi sistemleri ortamında çeşitli düzeltme ve mekânsal analizler uygulanmış, kriter haritaları oluşturulmuştur. Kriterlerin karara etki düzeyleri ve birbirleriyle olan korelasyonunu anlamada analitik hiyerarşi sürecinden yararlanılmıştır. Karara etki düzeyleri belirlenen kriterler mevcut haritalar ile bütünleştirilmiş ve çalışma bölgesi olan Mersin İli Silifke İlçesi'nin arkeolojik yüzeY araştırması tahmin haritası üretilmiştir. Günümüzde konuları bilinen tarihi merkezler ile tahmin haritası üzerinde gözlemlenen olası arkeolojik bölgeler karşılaştırılmıştır. Üretilen bu gibi arkeolojik tahmin haritaları ile yüzeY araştırmacılarının işleri kolaylaşacak, çalışma alanı daralacak ve kaynak israfının önüne geçilebilecektir. Ayrıca tahmin modelinin belirttiği olası arkeolojik bölgeler sayesinde, yörede yapılması planlanan imar faaliyetlerinde öncelikli olarak kültürel mirasın korunması sağlanacaktır.

Creating Archaeological Survey Forecast Maps with Remote Sensing and Geographical Information Systems: The Example of Mersin Province, Silifke District

Keywords:

Remote sensing
Geographic Information Systems
Surface Survey
Analytical Hierarchy Process
Prediction Model

ABSTRACT

Surveys, which are the first step in the process of reaching historical ruins, are the investigation of the ground surface based observations. Considering the natural and environmental factors of the research area, it is seen that it is difficult to navigate the land and resource consumption is made in this process. Survey estimation maps can be a guide in researches, can be used as a base in studies and thus facilitate the process. Spatial criteria that were effective in the preference of the people who lived in Mersin Province Silifke District during the historical process were determined and possible priority criteria were determined in this preference. Various correction and spatial analyzes were applied to the data obtained by remote sensing technique of the region in the environment of geographical information systems, and criteria maps were created. Analytical hierarchy process was used to understand the effect levels of the criteria on the decision and their correlation with each other. The criteria for determining the effect levels of the decision were integrated with the existing maps and the archaeological survey estimation map of the Mersin Province Silifke District, which is the study area, was produced. The historical centers whose locations are known today and the possible archaeological sites observed on the forecast map were compared. With such archaeological estimation maps produced, the work of surface researchers will be easier, the work area will be narrowed and the waste of resources will be prevented. In addition, thanks to the possible archaeological zones specified by the prediction model, the protection of cultural heritage will be provided primarily in the development activities planned to be made in the region.

*Sorumlu Yazar

*(dogafidan.61@gmail.com) ORCID ID 0000 - 0003 - 0856 - 5594

Araştırma Makalesi

Kaynak Göster:

Fidan D (2021). Arkeolojik YüzeY Araştırması Tahmin Haritalarının Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Oluşturulması: Mersin İli, Silifke İlçesi Örneği. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 3(1), 10-23

Geliş Tarihi: 24/12/2020; Kabul Tarihi: 15/05/2021

1. GİRİŞ

Turizm dalları arasında kültür ve tarih turizmi, sürdürülebilir bir ekonominin gerçekleşmesi, yerel ve bölgesel ekonomilere katkıda bulunması, ülkeler arası ilişkilerin geliştirilmesi, insanlığın tarihine ışık tutması, tarihi mirasın gelecek kuşaklara aktarılması gibi konularda sağladığı etkilerle ülkemiz için gereklilik haline gelmiş, yükselen bir değerdir (Pekin, 2011).

Anadolu, yüzlerce yıldır pek çok kültür ve uygarlığa ev sahipliği yapmış, bu topraklarda yaşamış olan uygarlıklar, insanlık tarihine ışık tutacak kültürel ve tarihi değeri olan kalıntılar bırakmıştır. Günümüzde bu tarihi kalıntıların bir kısmının yerin yüzeyinde olduğu gibi büyük bir bölümünün de yıllar boyunca süregelen çeşitli çevresel etmenler ve doğal afetler sonucu halen toprak altında olduğu kesindir. Anadolu topraklarında yaşayan sayısız uygarlığın bizlere mirası olan bu tarihsel kalıntıları ve kültürü gün yüzüne çıkararak hem tüm insanlığın hizmetine sunmak hem de ülkemiz turizmine kazandırmak yararlı olacaktır (Arkeofili, 2020).

Arkeoloji, tarih ya da tarih öncesi halkların varoluşsal kalıntılarının kazısı ve çözümlenmesiyle ilgilenen bilimsel çalışmalardır (Lillesand vd., 2015). Bir arkeolojik kazı bölgesinin tespiti, çalışmanın planlaması ve çözümleme işlemleri için belirli kurallar ve yöntemler çerçevesinde ilerlenir, bu kapsamlı süreçte zamanla farklı konular için farklı çözümleme tekniklerinin oluşması sağlamıştır (Lock & Stancic, 1995). Arkeologlar toprak altındaki kalıntılara ulaşmak için sistematik olarak ilerlerler. Ancak bu süreçte kazısı yapılacak bölgelerin tespiti diğer bir değişle kazıya nereden başlayacakları her zaman bir soru işareti oluşturur.

Yüzey araştırması, henüz keşfedilmemiş tarihi kalıntılara ulaşmak için arkeolojik kazıdan önce gözleme dayalı olarak yapılan yörenin toprak üstündeki kalıntıların araştırılması etüdü, arazi keşfi ya da yüzey değerlendirmesi olarak tanımlanır (Vikipedi, 2020). Araştırmacılar bu araştırmalarında yerin altında eski kültürlerle ait bir yerleşim yeri olduğuna dair yer yüzeyinde sistemli olarak mimari kalıntılar ve dönemin insanlarına ait taşınır eşyalar ararlar. Yörede, yüzey araştırması, arazi üzerinde yürüyerek ya da şartlar el veriyorsa araç ile yapılır. Yüzey araştırmalarında araştırmacılar geniş alanlarda araziye tararlar, bu da araştırma bölgesinin büyüklüğü, topografik yapısı, doğal bitki örtüsü ve iklim şartları dikkate alındığında sürecin, emek ve iş gücü yönünden zorlu, zamansal anlamda uzun süreli, mali açıdan ise maliyetli olduğu görülür (Arkeofili, 2020).

Bu gibi benzer uygulamalarda bilgi teknolojilerinin kullanımı ile verilerin istenilen doğrultuda analiz edilmesi ve modellenmesi sağlanarak problemlerin çözümü oldukça hızlanmış, araştırmacıların bilgiye daha kolay ulaşması olanaklı hale gelmiştir (Ciritci & Türk, 2019). Hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri üzerinden çeşitli

mekânsal analizler yapılarak klasik yöntemlere göre daha kısa zamanda daha düşük bütçe ile geniş alanların amaç ve ihtiyaçlar doğrultusunda araştırılması ve sonucunda çözümler üretilebilmesi sağlanabilmektedir (Ozulu, 2005).

Yeryüzü çalışmalarında güvenilir ve doğru bilgilere hızlı ve ekonomik olarak ulaşmak gerekir (Kavzoğlu & Çölkesen, 2011). Teknoloji ile paralel bir şekilde gelişen uzaktan algılama, sağladığı zamansal kazancın yanı sıra yüksek maliyetli ve sahada yersel yöntemlerle veriye erişimin zor olduğu çalışmalarda araştırmacıların yaptığı ekonomik kaynak sarfının da önüne geçerek arkeoloji disiplininde de geniş bir kullanım alanı bulmuştur (Yakar ve Fidan, 2019).

Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ile, tarihi yerleşim yerlerinin belirlenmesi, geleneksel yöntemlere göre daha hızlı ve daha ekonomik olarak yapılabilir. (Ozulu vd., 2007).

CBS arkeoloji disiplininde, ihtiyaçlar doğrultusunda etkili bir biçimde kullanılmakta, araştırmacıların bilgiye erişimini hızlandırmaktadır. Arkeologlara araştırmalarında gerekli olan konumsal bilgi, özünde arkeoloji CBS birlikteliğinin gerekliliğini göstermekte, aynı zamanda CBS'nin sağladığı mekânsal çözümlemeler sonucunda yeni bakış açıları kazandırmaktadır (Kısaağa & Durduran, 2016).

Günümüzde potansiyel arkeolojik merkezlerin tespiti için arkeolojik tahmin modellerinin altlık olarak kullanımına yönelik çalışmalar oldukça hız kazanmıştır. Çevresel ve coğrafi özellikler arasında, istatistiksel bir ilişki kurarak döneminde insanlar tarafından yerleşilmiş olabilecek bölgelerin tespiti amaçlanmış, çeşitli tahmin modellemeleri oluşturulmuştur (Şimşek vd., 2018).

Bilindiği üzere insanlığın yerleşik hayata geçmesinden bu yana süregelen yaşam alanını seçimi rastgele olmamış, politik, sosyal, ekonomik, doğal çevre ve gelenekler gibi yıllar boyunca değişen alternatifler çerçevesinde seçimler yapılarak şekillenmiştir. Ancak yaşam alanlarının seçiminde yukarıda sıralanan sosyal ve ekonomik kriterlerin dışında su kütlelerine olan uzaklık, topografya, toprak örtüsü türü gibi fiziksel faktörlerinde yer seçiminde önemli bir rolünün olduğu unutulmamalıdır (Balla vd., 2014).

Karar verme sistematigi, karşılaşılan gereksinimler çerçevesinde, var olan seçeneklerden en iyisini belirlemektir. Çok kriterli karar verme (ÇKKV), karar sürecinin bir alt dalı olarak karşımıza çıkar. Burada amaç birden fazla olan kriter ve alternatiflerin temel yapıları üzerine model oluşturarak insanların karar vermede, sezgisel kararlarının yanı sıra nicel noktaları bir araya getirip, karar vericinin daha kısa sürelerde daha etkin kararlar vermesini sağlamaktır. Verilecek kararın doğrultusunda kriterlerin kendi içinde önem düzeylerine göre ilişkilendirmeleri yapılır ve ilişkiler bir matematiksel modelde değerlendirilir (Arslankaya & Göraltay, 2019).

ÇKKV' de kullanılan yöntemin, kararı verilecek problemin yapısına ve sürecin özelliklerine göre seçilmesi karar vericiye kararın verilmesinde kolaylık sağlamaktadır (Ersöz & Kabak, 2010).

Analitik hiyerarşi süreci (AHS) hemen hemen her karar verme sürecinde geniş bir uygulama alanına sahiptir. AHS pek çok seçenek arasından yapılması gereken karmaşık karar verme problemlerinin kolayca modellenmesine olanak verir (Başkurt & Aydın, 2020; Bilgilioğlu & Bilgilioğlu, 2017).

Bu çalışmada uzaktan algılama ve CBS'nin yöntemlerinden yararlanılmıştır. Çalışmada Alos uydusuna ait sayısal arazi modelleri, il ilçe sınırları verileri, tarihi yerleşim yerlerinin konum verileri ve toprak verileri kullanılmıştır (Alaska, 2020; Tarımorman, 2020; HGM, 2020). Uydu görüntüleri üzerine eğim, bakı vb. analizler yapılarak yüzey araştırmaları için tahmin haritalarının oluşturulması amaçlanmıştır (Fidan ve Şimşek, 2019). Çalışma alanı olarak yoğun arkeolojik kalıntıların bulunduğu, tarihsel olarak Doğu Kilikya bölgesinin en önemli yerleşimlerinden biri olan Mersin İlinin Silifke İlçesi seçilmiştir. Bu örnekten hareketle üretilen tahmin haritalarının yörelerde yapacağı alansal sınırlamalar ile yüzey araştırması yapılacak bölgenin daralacağı, bu sayede ekonomi, zaman ve iş gücü yönünden tasarruf sağlanacağı düşünülmektedir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür incelendiğinde, konuyla ilgili çalışmalar aşağıda sıralanmıştır;

Burns vd., (2008) Mısır'da antik mezarların konumlandırılmasında etkili olan mekânsal nedenleri anlamaya çalışmış ve tahmine dayalı bir model üretmeyi amaçlamıştır.

Pişkin, (2011) yaptığı çalışmada tarih öncesi ve tarihi çağlara ait yerleşim yerlerinin topografik özellikleri ve arkeolojik yerleşimler arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde CBS tekniklerinin kullanılabilirliğini araştırmıştır.

Fernandes vd., (2011) yaptıkları çalışmada arkeolojik yerleşim yerlerinde kullanılmak üzere CBS tabanlı istatistiksel ve yönetsel algoritmalar üzerinde durmuşlardır.

Graves, (2011) İskoçya ana karasındaki neolitik döneme ait yerleşim yerlerinin tespiti için CBS tabanlı tahmin modelinin oluşturulması üzerine çalışmıştır.

Verhagen vd., (2012) yaptıkları çalışmada sosyo-kültürel faktörlerin tahmine dayalı yöntemlere entegre etmeyi amaçlamışlardır.

Aubry vd., (2012) yapmış oldukları çalışmada Cõa ve Douro (Portekiz) nehirlerinin oluşturduğu vadideki geç buz devri ve demir çağına ait kaya sanatı oluşumlarının mekânsal dağılımlarından yola çıkıp bir tahmin modeli üretmeyi amaçlamışlardır.

Balla vd., (2013) CBS teknikleri kullanarak Kuzey Yunanistan'da Helenistik döneme ait

Makedon mezarlarının ortaya çıktığı bölgeler için bir tahmin modellemesi oluşturmayı amaçlamışlardır.

Danese vd., (2013) Güney İtalya'da yapmış oldukları çalışmada mevcut tahmini modellere ve neolitik dönemlere yönelik uygulanan tahmini modellere dair yeni bir metodolojik yaklaşımın üzerinde durmuşlardır.

Kısağa & Durduran, (2016) CBS tekniklerini kullanarak tarihi dönemin yerleşimcilerini kapsayan çalışma alanının topografik özelliklerinden yararlanarak arkeolojik çalışmalara yardımcı olabilecek altlık envanter üretmeyi amaçlamışlardır.

Nsanziyera vd., (2018) Fas'ın Awsard bölgesindeki tarihi kalıntıların konumlandırılmasından yola çıkarak bölgedeki potansiyel arkeolojik kalıntılar için tahmin modeli üretmeyi amaçlamışlardır.

Aghayev, (2018) yaptığı çalışmada uzaktan algılama ve CBS ile Azerbaycan'da Kura nehrinin yarattığı taşkınların hasarlarının değerlendirilmesi üzerine çalışmıştır.

Nicu vd., (2019) Romanya'da yüz arkeolojik merkez üzerinden CBS tabanlı yaklaşımlar yaparak arkeolojik tahmini modelini oluşturmada yeni bir istatistiksel yöntem üretmeyi amaçlamışlardır.

Kaynarca vd., (2020) yaptıkları çalışmada Antalya İli'nin içme ve kullanma suyunun bulunduğu bölgeleri çeşitli ölçütlere göre değerlendirilerek, tematik haritalar üretmeyi amaçlamışlardır.

Demirci, (2020) çalışmasında ÇKKV yöntemlerinden bulanık mantık yöntemi kullanarak demir çağı uygarlıklarının olası yerleşim yerlerini ortaya koyan arkeolojik tahmini modeli üretmeyi amaçlamıştır.

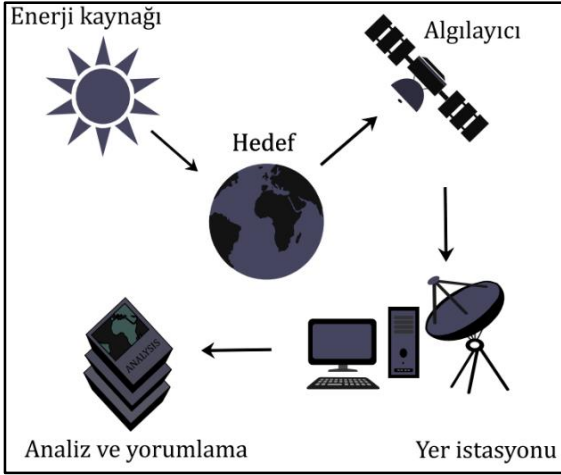
3. YÖNTEMLER

3.1. Uzaktan Algılama

Uzaktan algılama, inceleme altındaki herhangi bir cisim, alan veya olayla fiziksel temas olmadan, bir aygıt tarafından onlar hakkında veri toplamak, aynı zamanda toplanan verileri çözümleyip, analiz yaparak onlar hakkında bilgi elde etme yöntemi, bilimi ve sanattır (Lillesand vd., 2015).

Uzaktan algılama biliminde veri elde etme işlemi belirli olaylar dizisinde gerçekleşir. Hedef bir yeryüzü cismi ya da materyaldir. Öncelikle hedefi aydınlatan ya da ona elektromanyetik enerji sağlayan bir enerji kaynağı olmalıdır. Enerji kaynağı tarafından hedefe gönderilen elektromanyetik enerji, hedefin özellikleri ve gelen ışınımına bağlı olarak hedef ile etkileşimde bulunur, bu enerji hedef tarafından yansıtılır veya yayılır. Hedeften gelen ışınımı algılayan ve ölçen bir aygıt olan algılayıcı sistem, ilişkin verileri kayıt ettikten sonra bu veriler görüntü formatına dönüştürülmek ve işlenmek üzere bir yer istasyonuna gönderir. Yer istasyonunda görüntüye görsel dijital ve elektronik olarak çeşitli düzeltmeler yapılır ve görüntü zenginleştirilir. Bu sayede işlenmiş veriler üzerinde analiz ve yorumla yapılarak bilgiye erişilir (Sunar

vd., 2011). Uzaktan algılamanın yapısı Şekil 1’de gösterilmektedir.



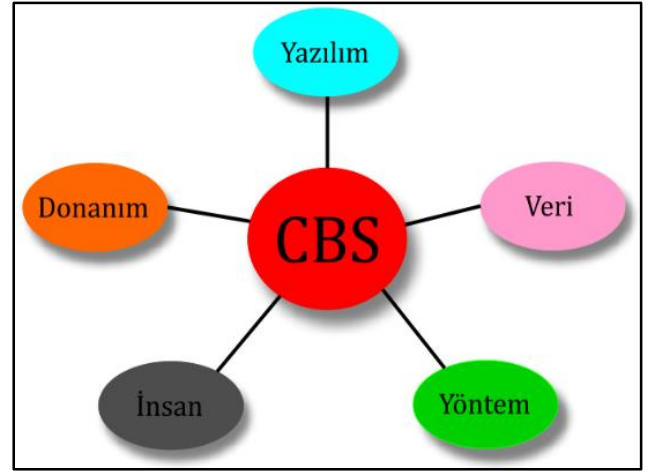
Şekil 1. Uzaktan algılamanın yapısı

Uzaktan algılama yönteminde geniş alanlarda görüntü eldesi hızlı ve ekonomiktir. Görüntüler sayısal olduğundan birçok ayrıntı görülebilir ve veriler birçok amaca yönelik kullanılabilir. Sağladığı bütün bu kolaylıklar uzaktan algılamanın haritacılıkta, ormancılık, jeoloji, maden, şehir bölge planlama, tarım, meteoroloji, arkeoloji, hidroloji vb. alanlarda kullanımını oldukça yaygınlaştırmıştır (Lillesand vd., 2015).

3.2. Coğrafi Bilgi Sistemleri

CBS dijital çağın getirdiği yeniliklerle birlikte çevremizi ve dünyayı anlamamız gerekliliğinden ortaya çıkmış bir sistemdir. Araştırma, planlama ve çeşitli problemlerin karar verme yeteneklerini artırıp ve karmaşık problemlerin çözümünü oldukça hızlandıran CBS istenilen amaç doğrultusunda coğrafi konumlarına erişilebilen mekânsal verileri bir bütün olarak ele alır (Ertunç & Çay, 2020).

Ayrıca CBS bilgi katmanlarını düzenleme, depolama, farklı verileri türlerini birbirine entegre etme, işleme, güncelleştirme, sorgulama, analiz ve görüntüleme gibi işlemlerde pek çok kolaylık sağlayan ve bilgiye ulaşabilmeyi hızlandıran, yol gösteren bir sistemdir (Uluğtekin & Bildirici, 1997).



Şekil 2. CBS'nin bileşenleri

Sağladığı bütün bu kolaylıklarla CBS dünyanın birçok ülkesinde geniş dallarda etkin bir şekilde kullanılan bir teknoloji haline gelmiştir. CBS'nin oluşabilmesi için gerekli beş adet bileşen vardır. Bunlar; donanım, yazılım, veri, yöntem ve insandır (Şekil 2). Sistemin oluşması için ise izlenmesi gereken adımlar Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. CBS'nin genel fonksiyonları

3.3. Analitik Hiyerarşi Süreci

AHS, T.L. Saaty adlı bilim insanı tarafından 1970'li yıllarda geliştirilmiş özellikle seçme ve sıralama problemleri için kullanılan, ÇKKV yöntemidir.

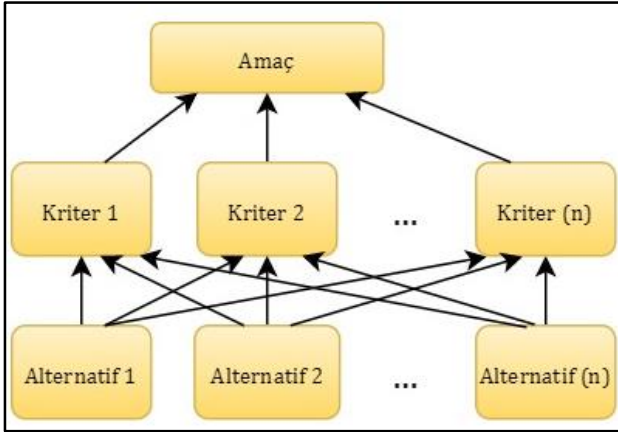
Kararın verilmesinde etken olan çok sayıda alternatif kriterin birbirlerine göre önem, üstünlük ya da ağırlık değerleri açısından ikili olarak karşılaştırılması ve bu karşılaştırmaları sayısal olarak ifade edilmesi esasına dayanır (Bozdağ & Ertunç, 2020). Çeşitli matematiksel işlemler sonucunda elde edilen faktörlerin, önceliklerinin ifade edildiği sayısal skala, faktörlerin kararı etkileme noktasındaki yüzdelik dağılımları ile karar hiyerarşisini tanımlar (Öztürk & Keleş, 2020). AHS ile karar verme sürecinde sırasıyla aşağıdaki adımlar uygulanmaktadır.

▪ Problemin tanımlanması ve alternatiflerin belirlenmesi

Kararı verilecek problem ortaya koyulur ve kararın verilmesinde etkili olan ana ve alt kriterlerin detaylı bir şekilde tanımlanması yapılır.

▪ Hiyerarşik modelin oluşturulması

Problemin kararında etkili kriterler hiyerarşik katmanlar halinde modellenir. AHS hiyerarşik modelinin en üstünde problemin temel amacı, onun altında söz konusu amaca ulaşmak için gerekli olan kriterler, hiyerarşik modelin en altında ise varsa alternatifler yer alır (Saaty, 2008). AHS yönteminin hiyerarşik yapısı Şekil 4 'de gösterilmektedir.



Şekil 4. AHS'nin yapısı (Saaty, 1990)

▪ Karşılaştırma matrisinin oluşturulması

Oluşturulan hiyerarşik modele bağlı kalarak aynı seviyedeki kriterlerin göreceli önem değerlerine göre ikili olarak karşılaştırması yapılır ve karşılaştırma matrisi elde edilir (Saaty, 1990). Kriterlere tanımlanacak olan önem derecelerinin karar üzerinde doğrudan etkisinin olduğu unutulmamalıdır. Önem dereceleri çeşitli anketler sonucunda elde edilebileceği gibi o alanda uzman kişiler tarafından da belirlenebilir.

Karar verici kriterlerin önem derecelerine göre ikili karşılaştırmaları yapılırken Saaty tarafından geliştirilen karşılaştırma ölçeği kullanılır (Tablo 1). **Tablo 1.** Önem ölçeği ve açıklamaları (Saaty, 1980).

Önem Derecesi	Tanım
1	İki kriterde eşit derecede öneme sahiptir.
3	Bir kriter diğerine göre biraz daha önemlidir.
5	Bir kriter diğerine göre fazla önemlidir.
7	Bir kriter diğerine göre oldukça fazla önemlidir.
9	Bir kriter diğerine göre aşırı derecede önemlidir.
2,4,6,8	Ara değerler, uzlaşma gerektiğinde kullanılmaktadır.

Satır ve sütunlara mevcut kriterler birer kez sıralandığı için ikili karşılaştırmalar sonucunda bir

kare matris elde edilir. Karşılaştırılan kriterlerin matriste yerlerinin tam tersi olduğu durumlarda matris değeri önem derecesinin çarpma işlemine göre tersi yani $\left(\frac{1}{n}\right)$ şeklinde olur. Örneğin karşılaştırma matrisinin $i = 1, j = 2$ elemanı önem ölçeğine göre 3 değerini alıyorsa, $i = 2, j = 1$ elemanı $\frac{1}{3}$ değerini alacaktır (Yaraloğlu, 2001).

Ayrıca herhangi bir kriterin kendisiyle karşılaştırılması durumunda eşit önem değeri ortaya çıktığı için bu matrisin köşegeni üzerindeki değerler 1'e eşittir. Denklem 1'de oluşturulan A karşılaştırma matrisi gösterilmektedir.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & 1 & c_{23} & \dots & x_{2n} \\ x_{31} & x_{32} & 1 & \dots & x_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & x_{n3} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

▪ Kriterlerin yüzdellik önem dağılımlarının belirlenmesi

Hiyerarşi içerisinde, kriterlerin ağırlıkları başka bir deyimle yüzdellik önem dağılımlarını belirlemek için Denklem 2'de gösterildiği gibi, A karşılaştırma matrisindeki kriter değerleri sütun bazında toplanıp ardından sütundaki kriter değerlerinin her birinin elde edilen toplama bölünmesiyle Denklem 3 'de gösterilen B vektörü elde edilir. Bu işlem diğer kriterler için de yapıldığında kriter sayısı kadar B sütun vektörü elde edilir. Elde edilen B sütun vektörleri, matris şeklinde bir araya getirildiğinde ise Denklem 4'te gösterilen C matrisi oluşturulur (Yaraloğlu, 2001).

$$y_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} \quad (2)$$

$$B_i = \begin{bmatrix} y_{11} \\ y_{21} \\ \vdots \\ y_{n1} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$C = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{n1} & y_{n2} & \dots & y_{nn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Daha sonra elde edilen C matrisi kullanılarak Denklem 5'te gösterildiği gibi satır değerlerinin aritmetik ortalaması hesaplanır. Hesaplama sonucunda kriterlerin kararın verilmesinde etkilerinin yüzdellik önemlerini ortaya koyan ve Denklem 6'da gösterilen W ağırlık vektörü elde edilir (Teknomo, 2006).

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n y_{ij}}{n} \quad (5)$$

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

▪ Tutarlılık testleri

Oluşturulan AHS modelinin güvenilirliği, karar vericinin ikili karşılaştırmalar sırasında tutarlı davranılmasına bağlıdır. Tutarlılık oranı (CR)<0.10 olması durumu yapılan uygulamanın tutarlılığını gösterir. Eğer karşılaştırma matrisi tutarlı değilse (CR>0.10) karar vericinin karşılaştırma matrisine yerleştirdiği önem derece değerlerini yeniden gözden geçirmesi gerekir (Saaty, 1990).

Tutarlılık oranı (CR) değeri hesaplanırken Denklem 7'de de gösterildiği gibi A karşılaştırma matrisi ile W ağırlık matrisi çarpılır. Oluşan kare matrisin satırlarının aritmetik ortalaması alındıktan sonra Denklem 8'de gösterilen D sütun matrisi elde edilir. Ardından karşılaştırma matrisinin maksimum öz değeri (λ_{max}) hesaplanır (Denklem 9) (Triantaphyllou & Mann, 1995).

$$D = \begin{bmatrix} 1 & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & 1 & c_{23} & \dots & x_{2n} \\ x_{31} & x_{32} & 1 & \dots & x_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & x_{n3} & \dots & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$D = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_n \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad (9)$$

Daha sonra tutarlılık indeksi değeri (CI) hesaplanır (Denklem 10). Burada n kriter sayısını ifade etmektedir.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (10)$$

Elde edilen tutarlılık indeksinin (CI) rastgelelik indeks değerine (RI) bölünmesiyle tutarlılık oranı (CR) hesaplanır (Denklem 11). Tablo 2'de sekiz kritere kadar olan karar verme problemlerinin rastgele tutarlılık indeks değerleri (RI) gösterilmektedir (Triantaphyllou & Mann, 1995).

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (11)$$

Tablo 2. Rastgelelik indeks değerleri (Saaty, 1980)

N	1	2	3	4	5	6	7	8
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41

▪ Karar matrisinin oluşturulması ve nihai öncelik vektörlerinin hesaplanması

Yapılan işlem adımlarının tamamı hiyerarşik yapının tümü için gerçekleştirilir. Ardından hiyerarşik yapıdaki n tane kriterin her birinin oluşturduğu m×1 boyutundaki üstünlük sütun vektörleri bir araya getirilerek m×n boyutundaki DW karar matrisi oluşturulur (Denklem 12). Son olarak elde edilen matris ile W ağırlık vektörü çarpılarak R sonuç vektörüne ulaşılır (Denklem 13) (Supçiller & Çapraz, 2011).

$$DW = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1n} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{m1} & w_{m2} & \dots & w_{mn} \end{bmatrix} \quad (12)$$

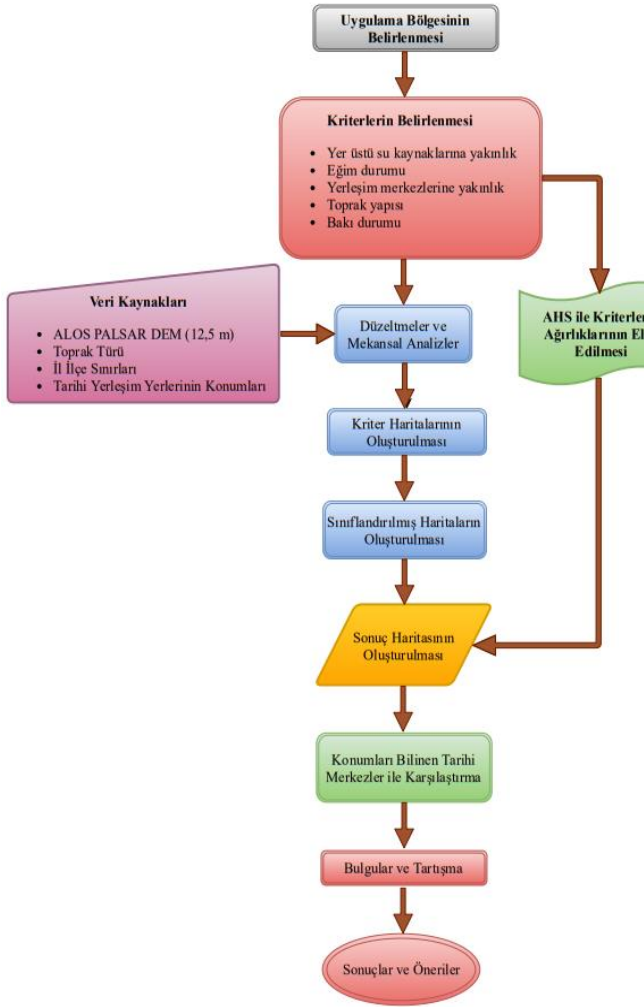
$$R = DW \times W \quad (13)$$

4. UYGULAMA

Arkeolojik yüzey araştırması tahmin haritalarının uzaktan algılama ve CBS ile oluşturulması amacıyla çalışma bölgesi olarak Mersin ili, Silifke ilçesi seçilmiştir. Çalışma kapsamında insanoğlunun yerleşim bölgesi seçiminde öncelikli kriterler olarak; yer üstü su kaynaklarına yakınlık, eğim durumu, yerleşim merkezlerine yakınlığı, toprak yapısı ve bakı durumu olmak üzere beş adet kriter belirlenmiştir.

Çalışmanın verilerini; Alos uydusuna ait altı adet yüksek çözünürlüklü (12,5 metre) sayısal arazi modeli, Tarım ve Orman Bakanlığı'ndan alınan yörenin toprak yapısının haritası, Harita Genel Müdürlüğü'nün ürettiği il ilçe sınırları verisi ve kültür envanteri atlasından elde edilen tarihi yerleşimlerin coğrafi konumları oluşturmaktadır. Ayrıca çalışmada CBS yazılımı olan ArcGIS 10.2 kullanılmış olup referans sistemi olarak WGS84 UTM Zone 36 tanımlanmıştır.

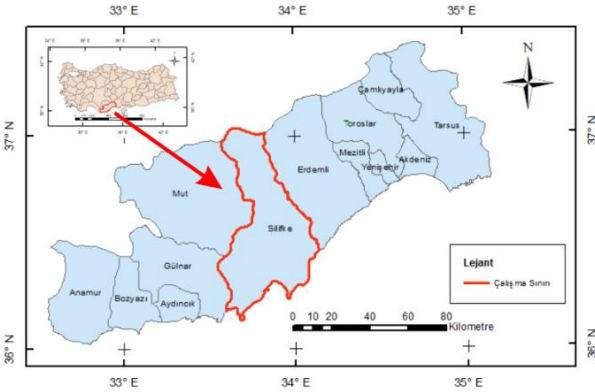
Belirtilen veri kaynaklarından elde edilen veriler üzerinde gerçekleştirilen birleştirme düzeltme işlemlerinin ve çeşitli mekânsal analizlerin ardından belirlenen kriterler kapsamında uygulama bölgesinin kriter haritaları oluşturulmuştur. Kriter haritaları sınıflandırılıp AHS ile elde edilen ağırlıklar oluşturulan bu haritalara entegre edilmiştir. Daha sonra sonuç haritası olan arkeolojik yüzey araştırması tahmin haritası oluşturulmuştur. Tahmin haritası üzerinde konumları bilinen 19 adet ören yeri görüntülenip gözlemler yapılmıştır. Çalışma kapsamında izlenen adımlar Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil5. Çalışma kapsamında izlenen adımlar

4.1. Uygulama Bölgesi

Mersin iline bağlı bir ilçe olan Silifke, doğusunda Erdemli, batısında Gülnar, kuzeybatısında Mut, kuzeyinde ise Karaman ile sınıra sahiptir (Şekil 6). Toros dağları ile Akdeniz arasında kalan bu ilçenin arazi yapısı Silifke Ovası dışında dağlık bir yüzey yapısına sahiptir. İlçenin toplam yüzölçümü 2693 kilometrekaredir (Silifke Belediyesi, 2020).



Şekil 6. Uygulama bölgesi

İlçenin kıyı kesimlerinde tipik Akdeniz iklimi görülürken iç kesimlere doğru gidildiğinde yükseltinin artmasına bağlı olarak hâkim iklim iç

Anadolu iklimine dönmektedir. Silifke, bölge için önemli bir akarsu olan Göksu nehrinin her iki yakasında ve bu akarsuyun doldurduğu verimli ovada (Göksu Deltası) kurulmuştur. İç Anadolu'yu Akdeniz'e bağlayan geçitlerden olan Sertavul geçidinin, tarihsel süreçte Anadolu'nun içlerine aktarılan mallar için bir transit geçiş sağlaması yörede kuzey-güney yönlü bir ticaret güzergahı oluşturmuştur. Silifke bu güzergâh üzerinde yer aldığı için farklı medeniyetlerin uğrak noktası haline gelmiştir (Silifke Belediyesi, 2020).

Eldeki kaynaklar doğrultusunda bölgede ilk yerleşimin İÖ. 6000 yıllarında başladığı bilinmektedir. İç Anadolu ile Akdeniz arasında bir köprü niteliğinde olması Silifke'nin tarihte köklü yerleşim merkezlerinden biri olmasını sağlamış ve buna bağlı olarak yoğun bir şekilde tarihi, kültürel izler taşıyan bir coğrafya haline gelmesini sağlamıştır (Kültürevanteri, 2020).

4.2 Kriterlerin Belirlenmesi ve Kriter Haritalarının Sınıflandırması

Dönemin yerleşim yerlerinin tahmini olarak modellenmesinde kısıtlayıcı faktörlerin mekânsal özelliklerden seçilmesindeki temel sebebi ilkel toplulukların günümüz teknolojilerine sahip olmamaları ve doğal, kültürel çevrelerine olabildiğince bağlı olmalarıdır (Pişkin, 2011).

Çalışmada uygulama kriterleri, uygulama bölgesinde yaşamış olan insanların o bölgeyi tercih etmelerinin fiziksel ve mekânsal nedenleri önemli etken olarak kabul edilmiştir. İnsanoğlunun yerleşim bölgesi tercihinde öncelikli kriterler olarak yer üstü su kaynaklarının yakınlığı, eğim durumu, yerleşim merkezleri ile yakınlığı, toprak yapısı ve bakı durumu olmak üzere beş adet kriter belirlenmiştir. Kriterler beş sınıfa ayrılmış sınıflandırma aşamasında bir standart oluşturmak için 0 ile 5 arasında değerlendirilmiştir. Kriterlerin değerlendirilmesi aşamasında uzman görüşü dikkate alınmıştır.

▪ Yer üstü su kaynaklarına yakınlık (akarsular)

Su kaynakları, insanların yerleşim alanlarının seçmesinde tarih boyunca ana faktör olmuştur. Su kaynaklarına yakınlık tarımsal uygulamalar içinde gereklilik arz etmektedir. Puanlama aşamasında bölgedeki akarsulara yakın bölgeler yüksek değer alırken uzak bölgeler düşük değer almıştır.

▪ Eğim durumu

Yörede gerçekleştirilen tarım faaliyetleri, ulaşım ve konut mimarisi eğim ile doğrudan bağımlı ve eğim ile bölgenin tercih edilmesi arasında ters orantılı bir ilişki söz konusudur (Pişkin, 2011). Bu sebeple düşük eğim değerine sahip sahalar daha yüksek puan alırken yüksek eğime sahip sahalar düşük puanlar almıştır. Yörenin eğim haritası sayısal

arazi modeli üzerinde yapılan eğim analizi (slope) sonucu elde edilmiştir.

▪ Yerleşim merkezlerine yakınlık

Büyük kent merkezleri sosyal ve ekonomik açıdan gelişmiş mekanlardır. Bu kapsamda yöredeki büyük kent merkezlerinin (Aphrodisias, Korasion, Olba ve Uzuncaburç) yakınlık yönünden bölgedeki yeni küçük yerleşkelere referans olacağı düşünülmektedir. Ancak puanlama aşamasında kent merkezlerine yakınlık yönünden en yakın sahalara en yüksek puan değeri almamıştır. Bunun nedeni ise bölgedeki kentlerin sahip oldukları şehirseller yapılarının yanında ulaştıkları kesin sınırlarının bilinmemesidir. Adı geçen kentlerin olası sınırları içerisinde olan ve bilinen yerleşimlerin konumlarını tahmin modelinde en az seviyeye indirmek için böyle bir yöntem izlenmiştir. Bu yüzden yerleşim merkezlerine yakınlık kriterinin sınıflandırma ve puanlama işlemi yapılırken kentlere 0-1 km yakınlıkta olan sahalara 0 değeri atanmıştır.

▪ Toprak yapısı

Yerleşik hayata geçen toplumlar için toprağın verimi yerleşke olarak yörenin seçilmesinde oldukça önemli bir faktör olarak karşımıza çıkar. Bu kapsamda yörede tespit edilen beş farklı tür toprak, verim durumlarına göre değerlendirilmiştir.

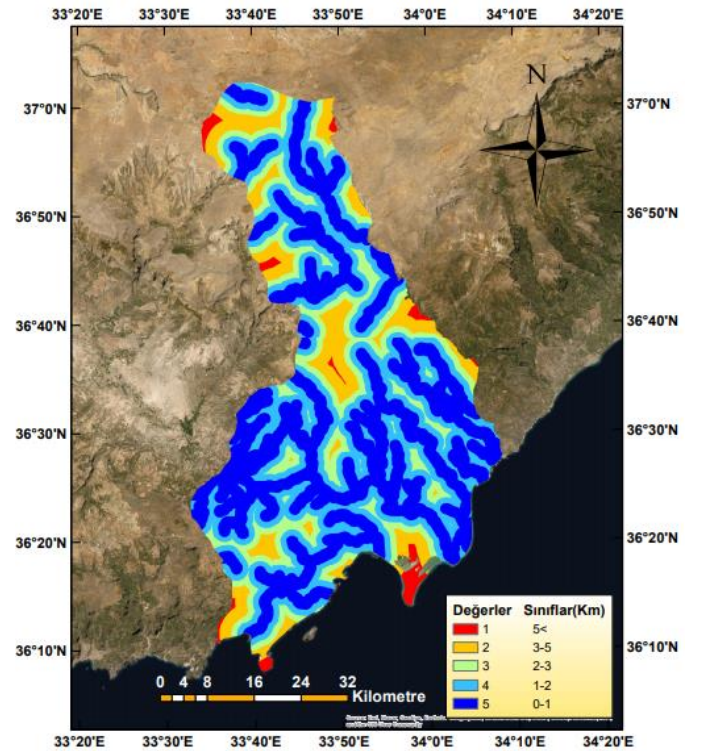
▪ Bakı durumu

Yerleşimlerin kurulduğu bölgelerin topografyası incelenirken göz ardı edilemeyecek diğer bir kriter ise bölgenin bakı durumudur. Ülkemizde güney yamaçlar güneş ışınlarını yıl boyunca daha büyük açı ile alır bu sebeple güney yamaçlarda güneşlenme süresi daha uzun olduğundan, yamaçlarda sıcaklık değeri yüksektir ve tarım ürünleri erken olgunlaşır (Pişkin, 2011). Bu bilgilerden hareketle kuzey yönlü sahalara daha düşük değer atanmıştır. Yörenin bakı haritası sayısal arazi modeli üzerine yapılan bakı analizi sonucu elde edilmiştir. Tespit edilen kriterlerin sınıflandırılması ve sınıflara atanan değerler Tablo3'te verilmiştir.

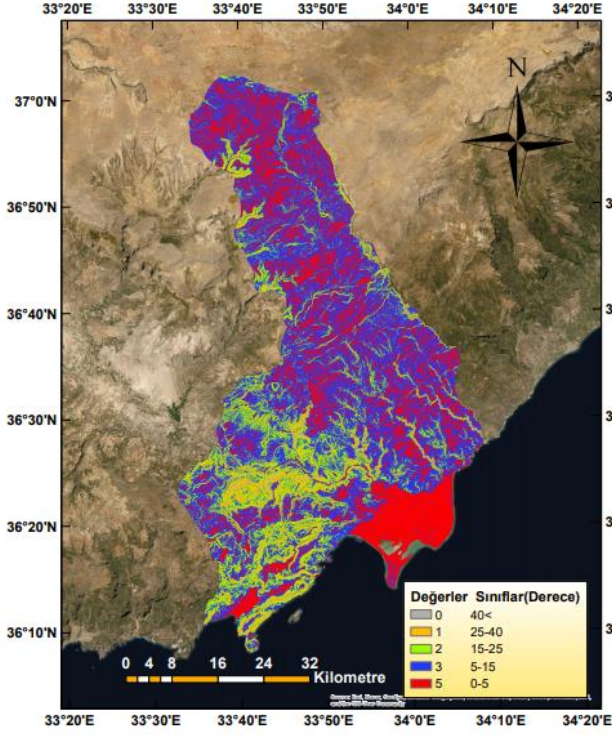
Tablo 3. Kriter sınıfları ve sınıflara atanan değerler

Kriter Adı	Kriter sınıfı	Değer
Akarsu(km)	0 -1	5
	1 - 2	4
	2 - 3	3
	3 - 5	2
	5 <	1
Eğim(derece)	0 - 5	5
	5 - 15	3
	15 - 25	2
	25 - 40	1
	40 <	0
Yerleşim(km)	0 - 1	0
	1 - 5	5
	5 - 10	4
	10 - 20	3
	20 - 30	2
Toprak	Kırmızı Akdeniz T.	2
	Kahverengi Orman T.	4
	Kireçsiz Kahverengi Orman T.	3
	Alüvyal T.	5
	Kestane Renkli Bozkır T.	1
Bakı	Güney	5
	Batı ve Güneybatı	4
	Doğu ve Güneydoğu	3
	Kuzey ve Kuzeybatı	2
	Kuzey	1

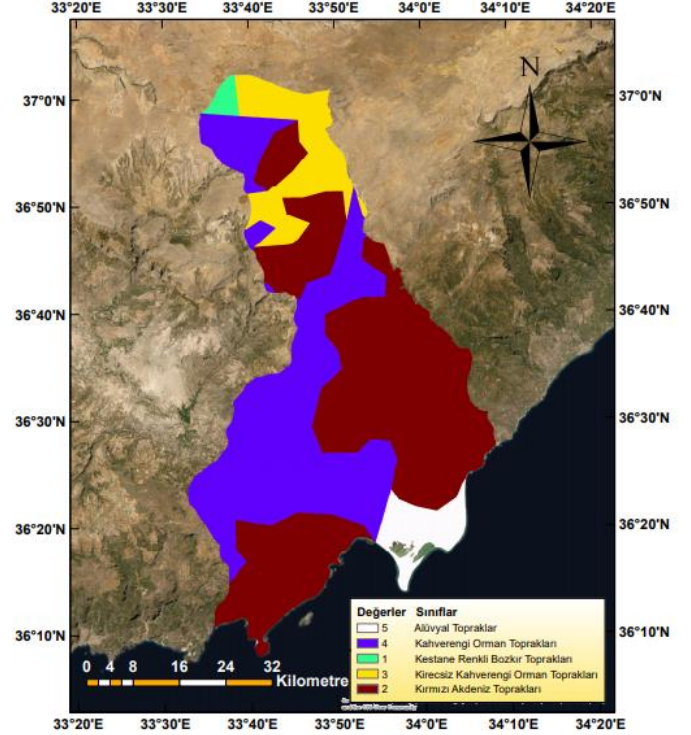
Mekansal analizler ve düzeltmeler sonucunda çalışma bölgesine ait kriter haritaları elde edilmiştir. Elde edilen kriter haritaları daha önce belirlenen ve tablo da verilen sınıf ve atanan değerlere göre sınıflandırılmıştır. Sınıflandırılan kriter haritaları Şekil 7, 8, 9,10 ve 11'de gösterilmektedir.



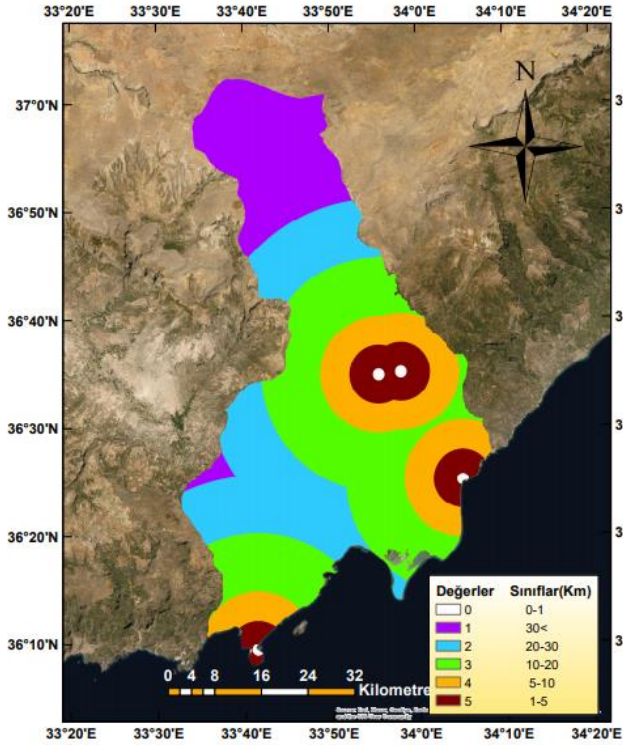
Şekil 7. Sınıflandırılmış akarsular haritası



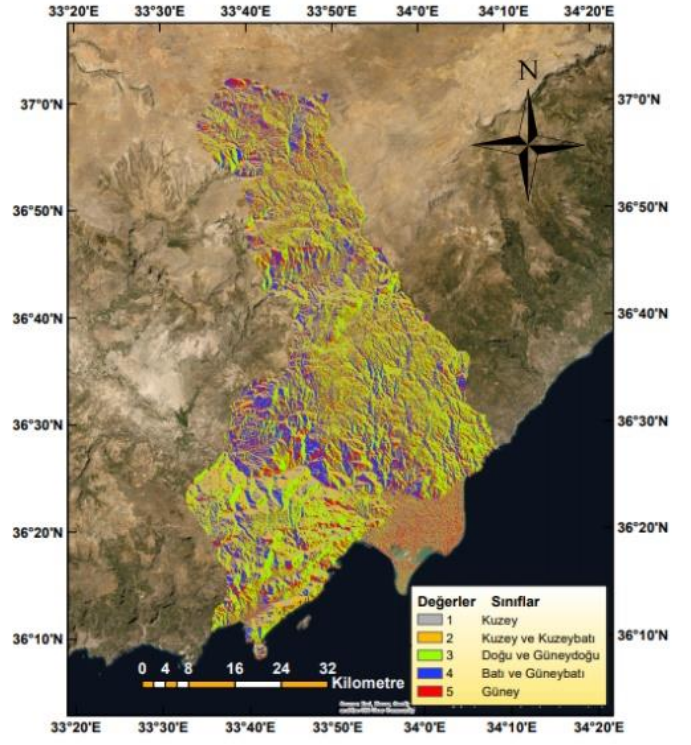
Şekil 8. Sınıflandırılmış eğim haritası



Şekil 10. Sınıflandırılmış toprak türleri haritası



Şekil 9. Sınıflandırılmış yerleşim merkezlerine yakınlık haritası



Şekil 11. Sınıflandırılmış baki haritası

4.3 Analitik Hiyerarşi Süreci ile Kriter Ağırlıklarının Elde Edilmesi

Kriterlerin birbirlerine olan üstünlüklerinin belirlenmesinde Saaty'nin önem ölçeği kullanılarak kriterler sayısal olarak puanlanmış ve K karşılaştırma matrisi elde edilmiştir (f1: Akarsu, f2: Eğim, f3: Yerleşim, f4: Toprak ve F5: Baki) (Deklem 14).

$$K = \begin{bmatrix} f1 & f2 & f3 & f4 & f5 \\ 1 & 1 & 5 & 3 & 3 \\ & 1 & 3 & 2 & 2 \\ & & 1 & 1/3 & 1/3 \\ & & & 1 & 1/2 \\ & & & & 1 \end{bmatrix}$$

(14)

AHS'nin gösterdiği matematiksel işlem adımları sırasıyla uygulanmış, kriterlerin karara etki ağırlıkları ve tutarlılık oranı (CR) Tablo 4'te gösterildiği gibi bulunmuş ve yüzdelik değerler olarak gösterilmiştir (Şekil 12).

Tablo 4. Kriterlerin karara etki ağırlıkları

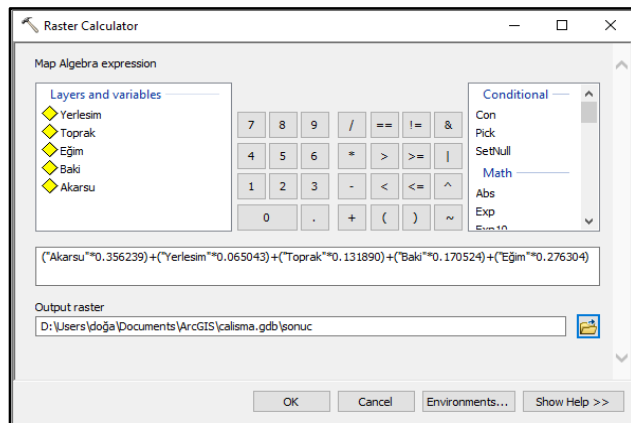
Kriter	Ağırlık
Akarsu	0,356
Eğim	0,276
Yerleşim	0,065
Toprak	0,132
Baki	0,171
CR = 0,033591	

Tutarlılık oranının (CR) 0.10 değerinden küçük elde edilmesi, ağırlıkların kullanılabilirliğini göstermektedir (Saaty, 1990).



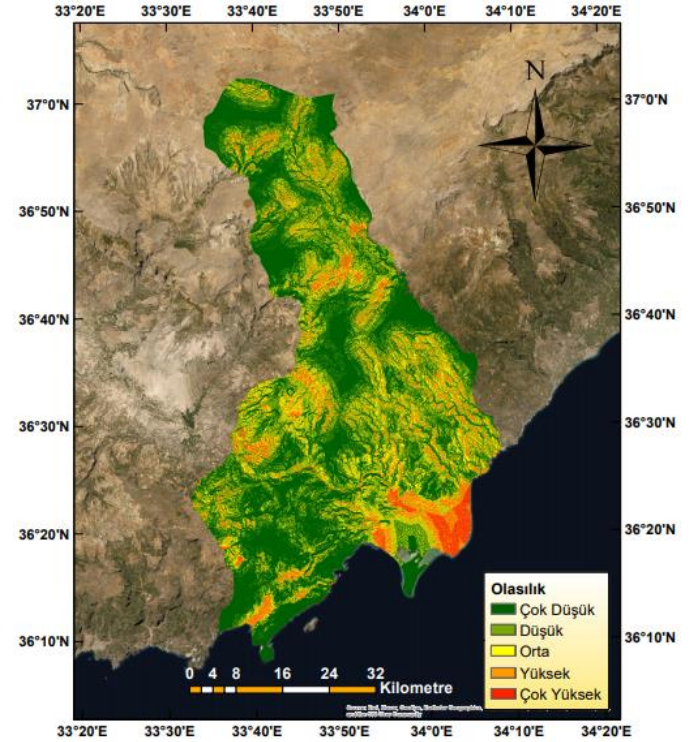
Şekil 12. Kriterlerin karara etki değerlerinin yüzdelik olarak grafik gösterimi

AHS ile elde edilen kriter ağırlıkları sınıflandırılmış kriter haritalarına entegre edilmiş ardından kriter haritaları üst üste bindirilmiştir. Şekil 13'de ArcGIS 10.2 yazılımında yapılan bindirme işleminin formülasyonu verilmiştir.



Şekil 13. Yapılan bindirme işleminin formülasyonu

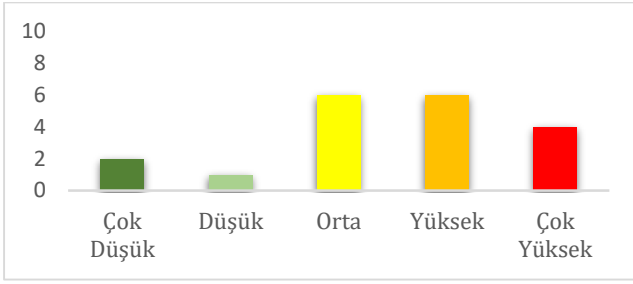
Ardından sonuç haritası olan yüzey araştırması tahmin haritası oluşturulmuştur (Şekil 14). Tahmin haritası çok yüksek, yüksek, orta, düşük ve çok düşük olmak üzere beş farklı duyarlılık sınıfında incelenmiştir.



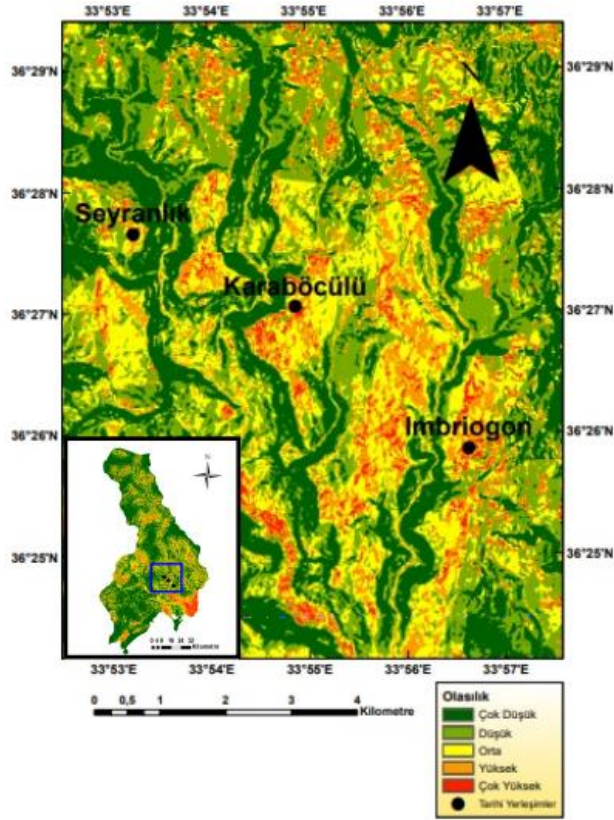
Şekil 14. Tahmin Haritası

4.4 Tahmin Modelinin Yörede Konumları Bilinen Tarihi Merkezler ile Karşılaştırılması

Karşılaştırma işlemi yörede konumları bilinen 19 adet ören yeri (Seyranlık, Palalai, Holmi, Mylai, Ayatekla, Imbriogon, Karaböcülü, Karakabaklı, Işıkkale, Aşağıdünya, Sinekkale, Paslı, Tekkadın, Narlıkuyu, Yapılın, Hüseyinler, İsmaili, Özköy ve Sömek) üzerinden yapılmıştır. Ören yerlerinin konumsal bilgileri nokta verisi halinde kültür envanteri atlasından temin edilmiştir. Nokta veriler tahmini model üzerinde görüntülenip gözlemler yapılmıştır. Karşılaştırma işlemi ören yerlerinin tahmin haritasında denk geldiği pikselin duyarlılık sınıfına göre gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma sonucunda, ören yerlerinden 2'si çok düşük (Holmi ve Mylai), 1'i düşük (Sömek), 6'sı orta (Karakabaklı, Paslı, Tekkadın, Narlıkuyu, Yapılın ve Özköy), 6'sı yüksek (Palalai, Karaböcülü, Işıkkale, Sinekkale, Aşağıdünya ve Hüseyinler), 4'ü ise çok yüksek sınıfta (Seyranlık, Ayatekla, Imbriogon ve İsmaili) incelenmiştir (Şekil 15). Örnek olarak rastgele seçilen üç ören yerinin tahmin haritası üzerindeki gösterimleri Şekil 16'da verilmiştir.



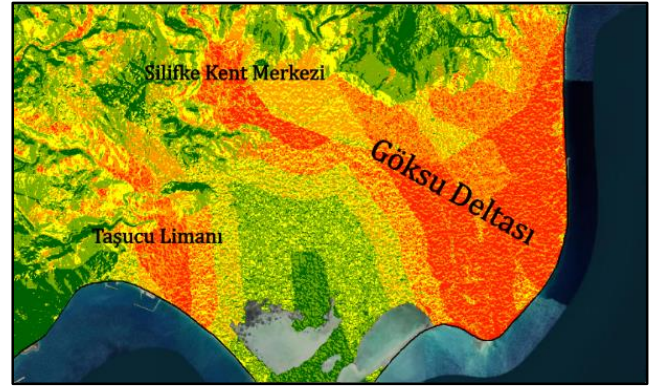
Şekil 15. Gözlemlenen ören yerlerinin denk geldikleri duyarlılık sınıfları



Şekil 16. Ören yerlerinin tahmin haritasında gösterimi

5. BULGULAR

Oluşturulan yüzey araştırması tahmin haritasında yörenin potansiyel arkeolojik kalıntı merkezleri beş ana duyarlılık sınıfında incelenmiştir. Arkeolojik kalıntı barındırma ihtimali yüksek ve çok yüksek sahaların belirli bölgelerde yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Bu yoğunlaşma bölgeleri incelendiğinde bazılarının günümüz yerleşim yerleri ve tarım bölgeleri olduğu tespit edilmiştir. İlçenin güney doğusunda beliren bazı yoğunlaşma bölgeleri incelendiğinde ise bu bölgelerin Göksu Deltası, Silifke kent merkezi ve Taşucu Limanı olduğu tespit edilmiştir (Şekil 17, Şekil 18).



Şekil 17. Tahmin haritasının gösterdiği potansiyel arkeolojik bölgeler



Şekil 18. Tahmin haritasının gösterdiği potansiyel arkeolojik bölgelerin uydu görüntüsü

Taşucu Limanının ve Silifke kent merkezinin tarihi kalıntılara sahip merkezler oldukları bilinmektedir. Göksu Deltasının topoğrafyası düz ya da düze yakın kısımlardan oluşmaktadır. Eğimin değerinin düşük olması Göksu'nun bu coğrafyada akış hızını yavaşlatmakta ve kıvrımlar çizerek akmasına yol açmaktadır. Ayrıca Göksu bölgeye verimli alüvyon topraklar yığmaktadır. Bütün bu sayılan etkiler belirlenen kriterlerin bu bölgedeki piksellere yüksek puan göndermesine yol açmış ve Göksu Deltası tahmin modelinde yüksek dereceli arkeolojik kalıntı merkezi olarak karşımıza çıkmıştır.

Ancak yerleşimlere çok nadir rastlanan Göksu Deltasında ise yıllar boyu sulu tarım, sera ve bahçecilik uygulamalarının yaygın olarak yapıldığı bilinmektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada uzaktan algılama ve CBS ile Mersin İli Silifke İlçesi'nin arkeolojik yüzey araştırması tahmin haritası oluşturulmuştur. Çalışmada yerleşim bölgesi seçimindeki etkili olan mekânsal kriterlerin belirlenmesi aşamasında genel bir bakış açısı oluşturularak bütüncül olarak yaklaşılmış, karar verme aşamasında ise AHS kullanılmıştır.

Çalışmada, yerleşim yerlerinin tahmini olarak modellenmesi için seçilen kriterlerin tamamı, coğrafi

ve çevresel, yani mekânsal özellikler ile ilintilidir. Ancak insanoğlunun yerleşim yeri seçiminde mekânsal etmenlerin dışında salgın hastalıklar, güvenlik, kültürel ve geleneksel etkiler, geçmişte yaşanan olaylar, sosyal ortam, siyasal durum, ekonomi vb. parametrelerinin de etkili olduğu unutulmamalıdır.

Daha yüksek doğruluğa sahip tahmin modellerinin oluşturulabilmesi için yerleşim bölgesi seçiminde etkili olan mekânsal kriterlerin dışındaki diğer tüm kriterlerinde modele entegre edilmesi gereklidir. Ancak döneminde yaşamış insan ya da insan topluluklarının yerleşim yerlerinin seçiminde etkili olan ve yukarıda sıralanan bazı sosyal kriterlerin bu tahmin modeline entegrasyonu olası değildir. Bu da yaklaşımın sınırlarının olduğunu göstermektedir.

Çalışmada girdi olarak kullanılan kriterler ve AHS ile belirlenen kriter ağırlıkları oluşturulan sonuç haritasını yani tahmini modeli doğrudan etkilemektedir. Dolayısıyla kullanılan kriterlerin çeşitlendirilmesi ve daha hassas veri setlerinin kullanımı, doğruya daha yakın tahmin haritalarının üretilmesini sağlayabilir.

Ayrıca insanoğlunun ihtiyaçlarının yaşadığı döneme (zaman dilimine ya da çağa) ve yaşadığı fiziksel coğrafyaya göre değiştiği unutulmamalıdır. Bir dönemde belli bir bölgede yaşayan toplumlar için yerleşim bölgesi seçiminde güvenlik önemli bir faktör iken aynı dönemde başka bir bölgede yaşayan ve tarımla uğraşan bir toplum için verimli toprak yapısı, su gibi etkenler belirleyici olabilir. Diğer taraftan, aynı coğrafyada bin yıl arayla yaşamış iki uygarlık için yerleşim yeri seçimindeki öncelikli kriterler farklı olabilir. Dolayısıyla bölgede yapılması planlanan arkeolojik yüzey araştırması tahmini model için dönemsel bazda yaşayanların ihtiyaçlarının ve önceliklerinin bilinmesi gereklidir.

Yapılan bu çalışmada uzaktan algılama ve CBS yöntemleri kullanılarak yüzey araştırmaları tahmin haritalarının üretilebileceği gösterilmiştir. Çalışmanın, arkeolojik tahmini modellerinin oluşturulması yönünde yapılacak yeni çalışmalara farklı bakış açıları kazandıracağı düşünülmektedir.

Çalışmada günümüz teknolojisinin ve bilgi çağının getirdiği yenilikler kullanılarak, arkeolojik yüzey araştırmalarında kullanılacak öncül, rehber bir tahmini modelin oluşturulması amaçlanmıştır. Arkeolojik tahmini modeller araştırmacılara yüzey araştırmalarına nereden başlayacakları yönünde bilgi verebilir, araştırmalarda rehber ya da altlık haritası olarak kullanılabilir ve işlerini kolaylaştırabilir. Oluşturulan bu tahmini modele, uzaktan algılama veri elde etme yönünde, CBS ise elde edilen verileri işleme depolama, analiz etme ve görselleştirme yönünden katkı sağlamaktadır.

Uzaktan algılama, CBS ve arkeoloji disiplini ortaklaşa çalışmalarıyla üretilen, potansiyel arkeolojik yerleşim merkezleri olan, doyasıyla da arkeolojik kalıntı barındıran bölgelerin tahmin modelinde gösterimi sayesinde yörelerde gerçekleştirilecek olan yüzey araştırmaları

uygulama alanlarını daraltacak, kaynak harcamalarını en az seviyeye çekecek ve arkeolojik çalışmaları arttıracaktır. Ayrıca tahmin modeli göz önüne alınarak arkeolojik kalıntı barındıran bölgelerin, imar planlamaları dışında bırakılması, bölgelerde olası inşaat, proje, vb. faaliyetlerden kaçınılmasını sağlayarak, kültürel mirasın korunması yönünde de fayda sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu makalenin oluşmasında, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Bilimsel Araştırma Yöntemleri ve Veri Analizi dersinde edinmiş olduğum bilgi ve kazanımlardan dolayı hocam Prof. Dr. Tayfun ÇAY' a şükran ve teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKÇA

- Aghayev A (2018). Determining of different inundated land use in salyan plain during 2010 the Kura River flood through gis and remote sensing tools. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3 (3), 80-86.
- Alaska (2020). University of Alaska. <https://search.asf.alaska.edu/#/> [Erişim tarihi: 11.11.2020].
- Arkeofili (2020). <https://arkeofili.com/arkeologlar-terafindan-kazi-yapilacak-alanlarin-tespiti/> [Erişim tarihi: 20.11.2020].
- Arslankaya D & Göraltay K (2019). Çok kriterli karar verme yöntemlerinde güncel yaklaşımlar. *İKSAD*, ISBN: 978-625-7029-84-1, 12-25.
- Aubry T, Luís L & Dimuccio L A (2012). Nature vs. Culture: present-day spatial distribution and preservation of open-air rock art in the Cõa and Douro River Valleys (Portugal). *Journal of Archaeological Science*, 39(4), 848-866.
- Balla A, Pavlogeorgatos G & Tsiafakis D (2014). Recent advances in archaeological predictive modeling for archaeological research and cultural heritage management. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 14(4), 143-153, Greece.
- Balla A, Pavlogeorgatos G, Tsiafakis D & Pavlidis G (2013). Locating Macedonian tombs using predictive modelling. *Journal of Cultural Heritage*, 14(5), 403-410.
- Başkurt Z M & Aydın C C (2020). Nükleer Santraller için Yer Belirleme Kriterlerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Değerlendirilmesi. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 2(1), 37-48.
- Bilgiliöglü S S & Bilgiliöglü B (2017). Selection of suitable site for municipal solid waste disposal sites for the Aksaray (Turkey) using AHP and GIS methods. *J Sci Eng Res*, 4(11), 36-45.
- Bozdağ A & Ertunç E (2020). Cbs ve ahp yöntemi yardımıyla Niğde Kenti örneğinde taşınmaz değerlendirme. *Geomatik*, 5(3), 228-240.

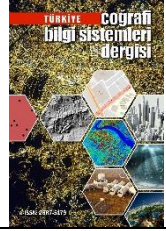
- Burns G, Fronabarger A K & Whitley T G (2008). Predictive modeling of cultural resources in the Theban Necropolis, Luxor, Egypt.
- Ciritci D & Türk T (2019). Alternatif katı atık depolama alanlarının analitik hiyerarşi süreci ve coğrafi bilgi sistemleri ile otomatik olarak belirlenmesi: Sivas ili örneği. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 6(1), 61-74.
- Danese M, Masini N, Biscion, M & Lasaponara, R (2014). Predictive modeling for preventive Archaeology: overview and case study. *Open Geosciences*, 6(1), 42-55.
- Demirci E (2020). Bulanık mantık yöntemiyle arkeolojik tahmin haritalarının oluşturulması: Sivas örneği. *Yüksek Lisans Tezi*, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Ersöz F & Kabak M (2010). Savunma sanayi uygulamalarında çok kriterli karar verme yöntemlerinin literatür araştırması. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 9(1), 97-125.
- Ertunç E & Çay T (2020). Havaalanı yer seçiminde coğrafi bilgi sistemleri (cbs) ve analitik hiyerarşi süreci (ahp) kullanımı. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(2), 200-210.
- Fernandes R, Geeven G, Soetens S & Klontza-Jaklova V (2011). Deletion/Substitution/Addition (DSA) model selection algorithm applied to the study of archaeological settlement patterning. *Journal of Archaeological Science*, 38(9), 2293-2300.
- Fidan D & Şimşek Ç K (2019). Analitik hiyerarşi prosesi (ahp) ile arkeolojik tahmin haritalarının oluşturulması. *Lisans Bitirme Tezi*, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Graves D (2011). The use of predictive modelling to target Neolithic settlement and occupation activity in mainland Scotland. *Journal of Archaeological Science*, 38(3), 633-656.
- HGM (2020). Harita Genel Müdürlüğü. <https://www.harita.gov.tr/> [Erişim tarihi: 11.11.2020].
- Kavzoğlu T & Çölkesen İ (2011). Uzaktan algılama teknolojileri ve uygulama Alanları.
- Kaynarca M, Demir N & San B T (2020). Yeraltı Suyu Kaynaklarının Uzaktan Algılama ve CBS Teknikleri Kullanarak Modellenmesine Yönelik bir Yaklaşım: Kırkgöz Havzası (Antalya). *Geomatik*, 5(3), 241-245.
- Kısağa G & Durduran S (2016). Arkeolojik uygulamalarda coğrafi bilgi sistemleri (cbs) yoluyla mekâna yönelik analizler: Knidos arkeolojik alan çalışması. *Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (Uzal-CBS 2016)*.
- Kültürenvanteri (2020) <https://kulturenvanteri.com/konum/turkiye/akdeniz-bolgesi/mersin/silifke/> [Erişim tarihi: 18.11.2020].
- Lillesand T, Kiefer R W & Chipman J (2015). *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons.
- Lock G R & Stancic G (Eds.) (1995). *Archaeology and geographic information systems: A European perspective*. CRC Press.
- Nicu I C, Mihai-Pintilie, A & Williamson J (2019). GIS-Based and Statistical Approaches in Archaeological Predictive Modelling (NE Romania). *Sustainability*, 11(21), 5969.
- Nsanziyera A F, Rhinane H, Oujaa A & Mubea K (2018). GIS and remote-sensing application in archaeological site mapping in the Awsard Area (Morocco). *Geosciences*, 8(6), 207.
- Ozulu İ (2005). Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri yöntemlerinin arkeolojiye uygulanması. *Yüksek Lisans Tezi*, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Ozulu İ M, Tomuş F & Özçalık F (2007). Coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama teknolojileri ile arkeolojik alanların özelliklerinin belirlenmesi ve Çorum İli uygulaması. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi 2007*, KTÜ, Trabzon.
- Öztürk D & Keleş M K (2020). Ahp ve topsis yöntemleri kullanılarak motorlu kurye seçimi: İlaç Sektöründe Bir Uygulama. *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 18(2), 275-291.
- Pekin F (2011). Çözüm: Kültür Turizmi. *İstanbul: İletişim Yayınları*, 32.
- Pişkin G (2011). Aliağa ve çevresindeki arkeolojik yerleşimlerin cbs ile mekânsal analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Saaty T L (1980). The analytic hierarchy process: Planning, priority setting. *Resources Allocation*. McGraw-Hill, New York.
- Saaty T L (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European journal of operational research*, 48(1), 9-26.
- Saaty T L (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, 1(1), 83-98.
- Silifke Belediyesi (2020). <https://silifke.bel.tr/silifke/ilcemiz/tarihce.html> [Erişim tarihi: 20.11.2020].
- Sunar F, Özkan C & Osmanoğlu B (2011). Uzaktan algılama. *Anadolu Üniversitesi Açık Öğretim Fakültesi Yayınları*, ISBN 978-975-06-0995-4, Eskişehir.
- Supçiller A A & Çapraz O (2011). Ahp-topsis yöntemine dayalı tedarikçi seçimi uygulaması. *Istanbul University Econometrics and Statistics e-Journal*, 13(1).
- Şimşek Ç K, Tarık Türk T, Ödül H & Çelik M N (2018). Yamaç paraşütü alanlarının CBS ile tespiti. *Uluslararası Mühendislik ve Yerbilimleri Dergisi*, 3 (3), 119-125.
- Tarımorman (2020). Tarım ve Orman bakanlığı. <https://www.tarimorman.gov.tr/> [Erişim tarihi: 11.11.2020].
- Teknomo K (2006). Analytic Hierarchy Process (Ahp) Tutorial, 1-20.

- Triantaphyllou E & Mann S H (1995). Using the analytic hierarchy process for decision making in engineering applications: some challenges. *International Journal of Industrial Engineering: Applications and Practice*, 2(1), 35-44.
- Uluğtekin N & Bildirici İ Ö (1997). Coğrafi bilgi sistemi ve harita. 6. *Harita Kurultayı*, Ankara.
- Verhagen P, Nuninger L, Tourneux F P, Bertonecello F, & Jeneson K (2012). Introducing the human factor in predictive modelling: a work in progress. In *Archaeology in the digital era. Papers from the 40th annual conference of computer applications and quantitative methods in archaeology (CAA)*, Southampton (pp. 26-29).

- Vikipedi (2020). https://tr.wikipedia.org/wiki/Y%C3%BCzey_a ra%C5%9Ft%C4%B1rmas%C4%B1 [Erişim tarihi: 20.11.2020].
- Yakar M & Fidan Ş (2019). Topografya, *Atlas Akademi*, ISBN 978-605-7839-21-3, Konya
- Yaralıoğlu K (2001). Performans değerlendirmede analitik hiyerarşi proses.



© Author(s) 2021. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Landslide Susceptibility Mapping of Samsun (Turkey) Province Using Frequency Ratio and AHP Methods

Aslan Cihat Basara*¹, Mehmet Emin Tabar¹, Yasemin Sisman²

¹Ondokuz Mayıs University, Institute of Graduate Studies, Department of Geomatics Engineering, Samsun, Turkey

²Ondokuz Mayıs University, Faculty of Engineering, Department of Geomatics Engineering, Samsun, Turkey

Keywords

Landslide
Susceptibility mapping
Frequency Ratio
Analytical Hierarchy Process
GIS

ABSTRACT

Landslide susceptibility mapping is of critical importance to identify landslide-prone areas to reduce future landslides, casualties, and infrastructural damages. In this study, the Landslide Susceptibility Map of Samsun (Turkey) was produced. The Slope, elevation, land use, soil, proximity to stream networks and lakes, proximity to fault lines were selected as parameters. All parameters were divided as the sub classes according to their properties. The Frequency Ratio method was applied to determine the relationship between the parameters and the landslide events. Paired comparison matrices were created to determine the weights of the parameters using the Analytical Hierarchy method. The weighted overlay operation was applied to the classified and weighted map data using ArcGIS program. As a result, the Landslide Susceptibility Map was produced as divided to 5 classes.

1. INTRODUCTION

Disasters are inevitable events. Disasters can destroy the society resources, cause humanitarian effects, trigger financial and economic problems, or have negative consequences and impacts on the environment (Reduction, 2009). The landslides events are being seemed to be important disasters because of loss of life and property in Turkey (Ildır, 1995). The landslides can be defined as the downward movement or sliding of parts such as soil and rocks, under the influence of gravity or external factors such as earthquakes and continuous rains (AFAD, 2014).

The production of landslide susceptibility maps is extremely crucial to prevent material and moral losses. The accuracy of produced map is important part of the process. Thus, the production process of these maps requires the evaluation and analysis of all influencing factors together (Kavas, 2009).

The Landslide Susceptibility Map of Samsun (Turkey), was produced in this study. The reason for choosing this application area is the presence and frequency of landslide events in this region (Elevli et al., 2012). Samsun (Turkey) location map is given in Fig. 1.

The Slope, elevation, land use, soil, proximity to stream networks and lakes, proximity to fault lines were taken as parameters causing the landslide.

As a result of this study, the landslide susceptibility map divided into 5 sub-sections was produced. The produced map was compared with the previous landslide events in the region. According to this comparison, an accuracy of 82,03% was found.



Figure 1. Location Map

* Corresponding Author

(aslancihatbasara@gmail.com) ORCID ID 0000 - 0001 - 6644 - 6097
(mehmetemintabar@gmail.com) ORCID ID 0000 - 0002 - 3234 - 5340
(yasisman@omu.edu.tr) ORCID ID 0000 - 0002 - 6600 - 0623

Cite this article

Başara A C, Tabar, M E & Şişman Y (2021). Landslide Susceptibility Mapping of Samsun (Turkey) Province Using Frequency Ratio and AHP Methods. *Turkish Journal of Geographic Information Systems*, 3(1), 24-30

2. MATERIAL AND METHOD

Although there are many landslide susceptibility map applications in the literature (Aleotti and Chowdhury, 1999; Lee & Talib, 2005; Sisman and Tetik Biçer, 2017; Kirici, 2019), there is no consensus on the methods and parameters used in these applications. Methods and parameters may vary according to application location and characteristics (Gökçeoglu & Ercanoğlu, 2001).

2.1. Material

The slope, elevation, land use status, soil condition, stream networks and lakes, fault lines were selected as parameters for the study. Data sources for the parameters are given in Table 1. The parameters to be used in the study were mapped using ArcGIS program. Slope, land-use, soil, elevation, proximity to stream networks and lakes, proximity to fault lines maps are given in Fig. 2-7.

Table 1. Data Sources

Parameters	Data Source
Slope	earthexplorer.usgs.gov
Land Use	land.copernicus.eu
Soil	OMU - Faculty of Agriculture
Elevation	earthexplorer.usgs.gov
Stream Networks	download.geofabrik.de
Fault Lines	atag.itu.edu.tr
Landslide Inventory	Samsun AFAD

2.1.1. Slope

Slope is the basic stability parameter that affects the sliding and normal stresses at the surface. Researchers have come to a consensus that the slope is an input parameter in the analysis made in the landslide susceptibility area. It is more common among researchers that the angle of inclination is directly proportional to the risk of landslides (Baeza & Corominas, 2001; Karsli et al., 2009).

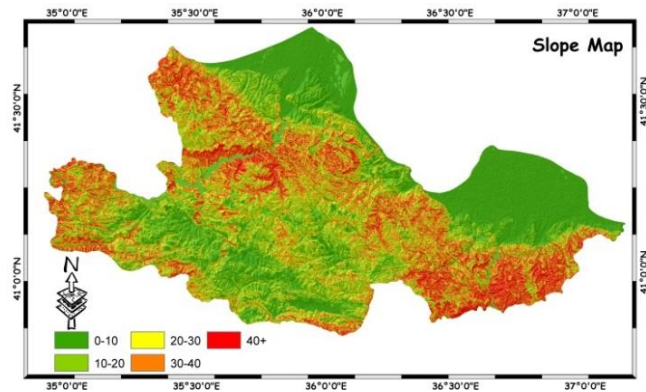


Figure 2. Slope Map

2.1.2. Land Use

The land use can be the reason of landslide events. Plants sometimes have positive and sometimes negative effects on landslides. It is widely believed that plants with large and strong roots have positive effects, where

they are concentrated. As it is known, plants absorb and evaporate water from their leaves and reduce the effect of rainfall. On the other hand, the roots and stems of the plant increase the permeability of the ground surface and open the way for the water on the surface to pass directly into the ground (Gökçeoglu & Ercanoğlu, 2001). Thus, the relationship between the areas like artificial, agricultural, forest, wetlands and water with sparse and dense vegetation and landslides should be evaluated.

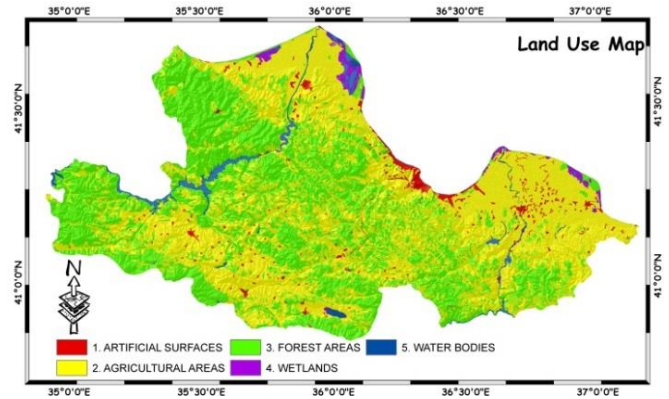


Figure 3. Land Use Map

2.1.3. Soil

Landslide events are directly related to soil properties such as strength, permeability and hardness (Baeza & Corominas, 2001). Since the lithological features will give important information about the landslide sensitivity of the study area, it should be evaluated correctly (Guzzetti et al., 1999). Therefore, soil plays an important role in order to determine Landslide susceptibility.

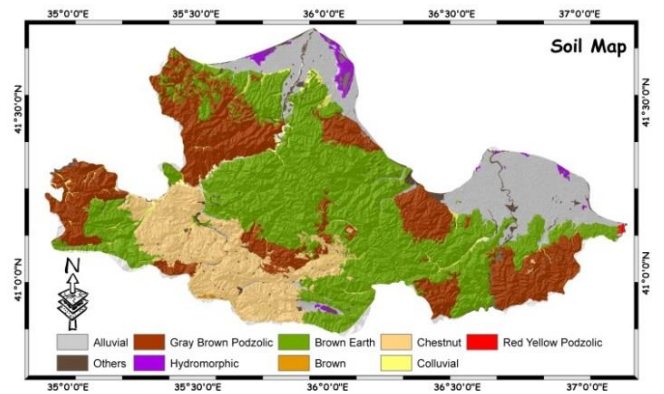


Figure 4. Soil Map

2.1.4. Elevation

Topographic features vary with altitude. The elevation causes topographic differences in the study area. The researchers stated that the lower elevation areas are less susceptible to landslides than high elevation. In another study, it was noted that the soil cover formed on medium-height hillsides due to material coming from higher areas is more sensible to landslide events compared to the soil cover at the other altitude levels. Elevation controls temperature and vegetation. Generally, the occurrences of landslides increase with the increase of elevation before reaching a threshold elevation, where the landslide probability

reduces due to rock and soil characteristics and other geotechnical parameters (Guzzetti et al., 2009).

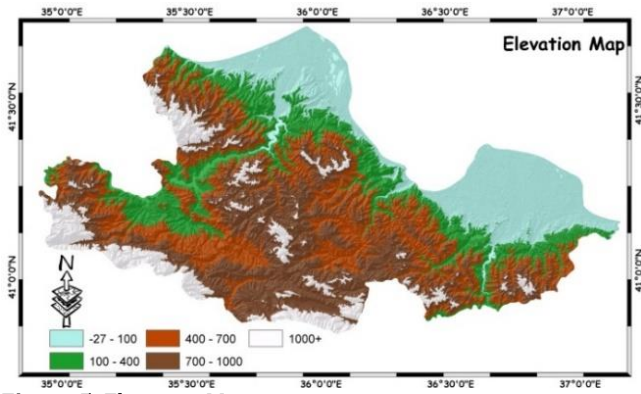


Figure 5. Elevation Map

2.1.5. Stream Networks and Lakes

In the literature, there is no consensus on the distance of stream networks or lakes regarding landslide susceptibility (Tetik Biçer, 2017). It is accepted by researchers that landslide susceptibility decreases when the distance to the river increases. The river negatively affects the stability of the ground soil by saturating some of the materials with water or by eroding the heel. As a result, the effect of rivers on hillside sensitivity should be determined and a buffer zone should be established with field observations.

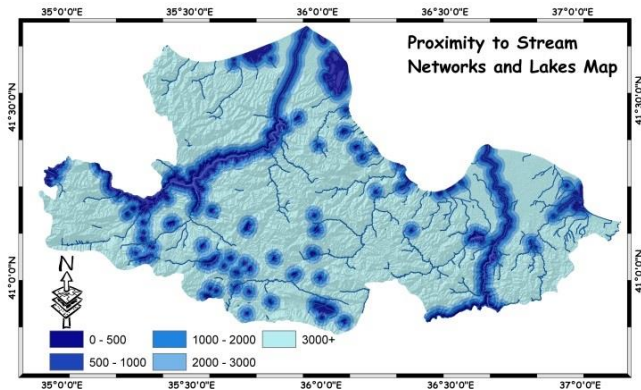


Figure 6. Proximity to Stream Networks and Lakes Map

2.1.6. Fault Lines

Some landslides can be associated with fault lines areas because of weakness of the material surrounding them. Being close to the fault lines may cause fragmentation of rocks and this may negatively affect the strength of the hillsides (Luzi and Pergalani, 1999). The more buffer zone should be created, taking into account the different proximity for proximity to fault lines. (Wachal and Hudak, 2000).

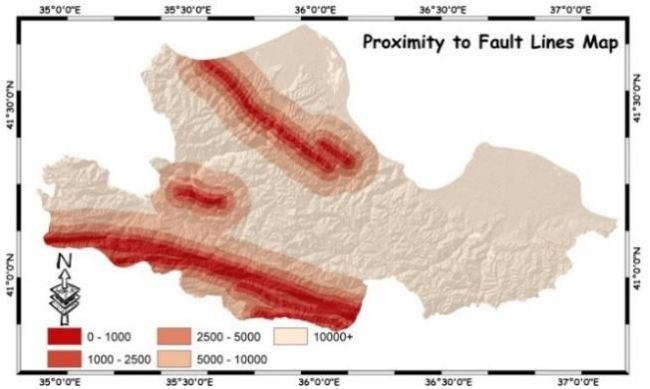


Figure 7. Proximity to Fault Lines Map

2.1.7. Landslide Inventory

Landslide inventory is defined as data containing information about the location, type, activity and physical characteristics of landslides in a region. The information about past landslides are obtained as the first step of landslide susceptibility. It is thought that the future landslides may occur under conditions similar to the past landslides. (Varnes, 1984).

For this reason, the Landslide Inventory Map of the study area was created by using the landslide events 1950 - 2020 (AFAD, 2020). The Landslide Inventory map is illustrated in Fig. 8.

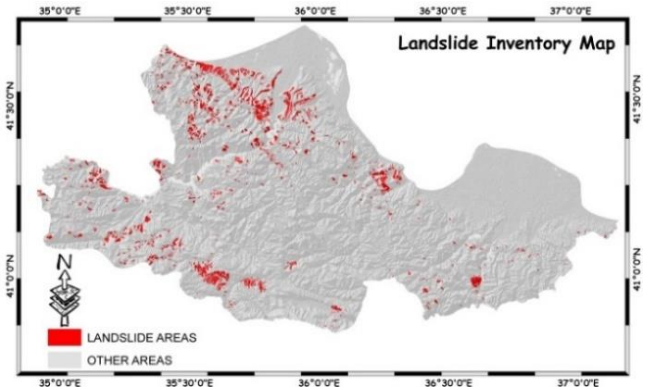


Figure 8. Landslide Inventory Map

2.2. Method

There are a lot of landslide susceptibility analysis methods like Frequency Ratio, Analytical Hierarchy Process, Weight of Evidence, Logistic Regression, Fuzzy Logic and Artificial Neural Networks. Human brain is successful in processes such as learning, remembering, and guessing. However, Computer technologies are successful in mathematical and statistical operations (Tabar & Sisman, 2020). For this reason, the use of computer technologies in studies provides speed, time and convenience.

The obtaining process of landslides susceptibility map divided into two parts in this study.

The first part was the implementation of the Frequency Ratio (FR) method. The FR method was used to determine the importance of the parameters and the intervals in which they affect the analysis map. The values of the selected parameter classes were calculated using from Fig. 2-7 according to FR method to

determine the importance of the parameters and the intervals in which they affect the analysis map.

In the second part, the weight of the parameters was determined. A binary comparison matrix was created using the Analytical Hierarchy Process (AHP). The comparison values used in the method were determined by considering the landslide susceptibility studies and the region characteristics.

2.2.1. Frequency Ratio Method

The Frequency Ratio (FR) method is based on density analysis. The basic principle is based on transferring all parameters to the Geographical Information Systems (GIS) and making density analysis with the landslide inventory map (Lee & Talib, 2005).

Frequency ratio is defined as (b) / (a), where (a) corresponds to the ratio of the number of pixels with landslides in the parameter subgroup to the total number of pixels with landslides, and (b) corresponds to the ratio of the number of pixels of the parameter subgroup in the area considered, to the total number of pixels in the area under consideration (Lee & Talib, 2005).

Slope, elevation, soil, land use, proximity to the stream networks and lakes, proximity to fault lines classes are given in Table 2-7.

Table 2. Slope Classes

Attribute (degree)	Landslide area (% b)	Total area (% a)	Frequency ratio (b/a)
0 – 10	22,66	33,73	0,67
10 – 20	36,08	21,21	1,68
20 – 30	20,49	17,86	1,15
30 – 40	12,10	13,13	0,92
40+	8,66	13,71	0,63

Table 3. Elevation Classes

Attribute (meter)	Landslide area (% b)	Total area (% a)	Frequency ratio (b/a)
-27 – 100	13,26	21,18	0,63
100 – 400	33,26	17,83	1,86
400 – 700	21,65	23,65	0,92
700 – 1000	24,41	27,40	0,89
1000+	7,51	10,11	0,74

Table 4. Soil Classes

Attribute	Landslide area (% b)	Total area (% a)	Frequency ratio (b/a)
Other soils	1,64	2,31	0,71
Gray Brown P.	22,57	23,88	0,94
Chestnut	18,30	13,75	1,33
Colluvial	1,25	1,40	0,89
Red Yellow P.	0,00	0,09	0,00
Hydromorphic	0,00	0,94	0,00
Alluvial	0,83	14,18	0,06
Brown	0,03	0,06	0,44
Brown Earth	55,19	41,39	1,33

Table 5. Land Use Classes

Attribute	Landslide area (% b)	Total area (% a)	Frequency ratio (b/a)
Artificial areas	1,63	2,00	0,82
Agricultural areas	67,96	52,36	1,30
Forest areas	30,03	42,64	0,70
Wetlands	0,00	1,02	0,00
Water areas	0,46	2,17	0,21

Table 6. Proximity to Stream Networks and Lakes Classes

Attribute (meter)	Landslide area (% b)	Total area (% a)	Frequency ratio (b/a)
0 – 500	3,29	6,86	0,48
500 – 1000	3,98	4,62	0,86
1000 – 2000	10,98	10,44	1,05
2000 – 3000	13,52	10,96	1,23
3000+	68,31	67,31	1,01

Table 7. Proximity to Fault Lines Classes

Attribute (meter)	Landslide area (% b)	Total area (% a)	Frequency ratio (b/a)
0 – 1000	16,38	7,02	2,40
1000 – 2500	13,97	6,87	2,03
2500 – 5000	14,27	8,62	1,66
5000 – 10000	19,14	17,57	1,09
10000+	35,67	60,12	0,59

2.2.2. Analytical Hierarchy Process

The Analytical Hierarchy Process (AHP) was developed by L. Saaty in 1977 as a model that will enable the solution of multi-parameter decision making problems (Kavzoğlu et al., 2012).

Priority and weight vectors are calculated by normalizing the pairwise comparison matrix. Therefore, the elements in the columns of the matrix are divided by the sum of each column to form a normalized pairwise comparison matrix. The row elements in the new matrix are summed and the value obtained as a result of the sum is divided by the number of elements in the row. In this way, a weight vector or priority vector is created (Kavas, 2009; Tombus & Ozulu 2005).

Weights take a value between 0 and 1 and their sum equals to 1 (Malczewski, 1999; Ozturk & Batuk, 2010). The weights of this study are given in Table 8.

Table 8. Map Weights

	a	b	c	d	e	f	Weights
a	1						%17,20
b	1,00	1					%16,60
c	0,50	0,33	1				%9,10
d	2,00	2,00	2,00	1			%22,40
e	0,50	0,50	1,00	0,50	1		%9,50
f	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1	%25,20

a. slope, b. elevation, c. land use status, d. soil, e. proximity to stream networks and lakes, f. proximity to fault lines

The weight of the parameters was calculated after the comparison matrix. The consistency ratio was found as CR = 0,039. Since the obtained ratio was below 0,10,

which is the highest value determined for the correct execution of the study, there was no need to repeat the pairwise comparison method (Wind & Saaty, 1980).

3. RESULTS

The parameters to be used in the field of study were determined. The data of the parameters were mapped with the help of GIS.

The maps were weighted by using the FR method by calculating the areal rates associated with the

landslide inventory map. The data pixels have been reclassified according to their weight.

The weights of the parameters relative to each other were determined using the AHP.

A susceptibility map was produced by applying the weighted registration process. The map produced was classified in 5 different categories according to risk groups: very low, low, medium, high and very high. Landslide susceptibility map is given in Fig. 9.

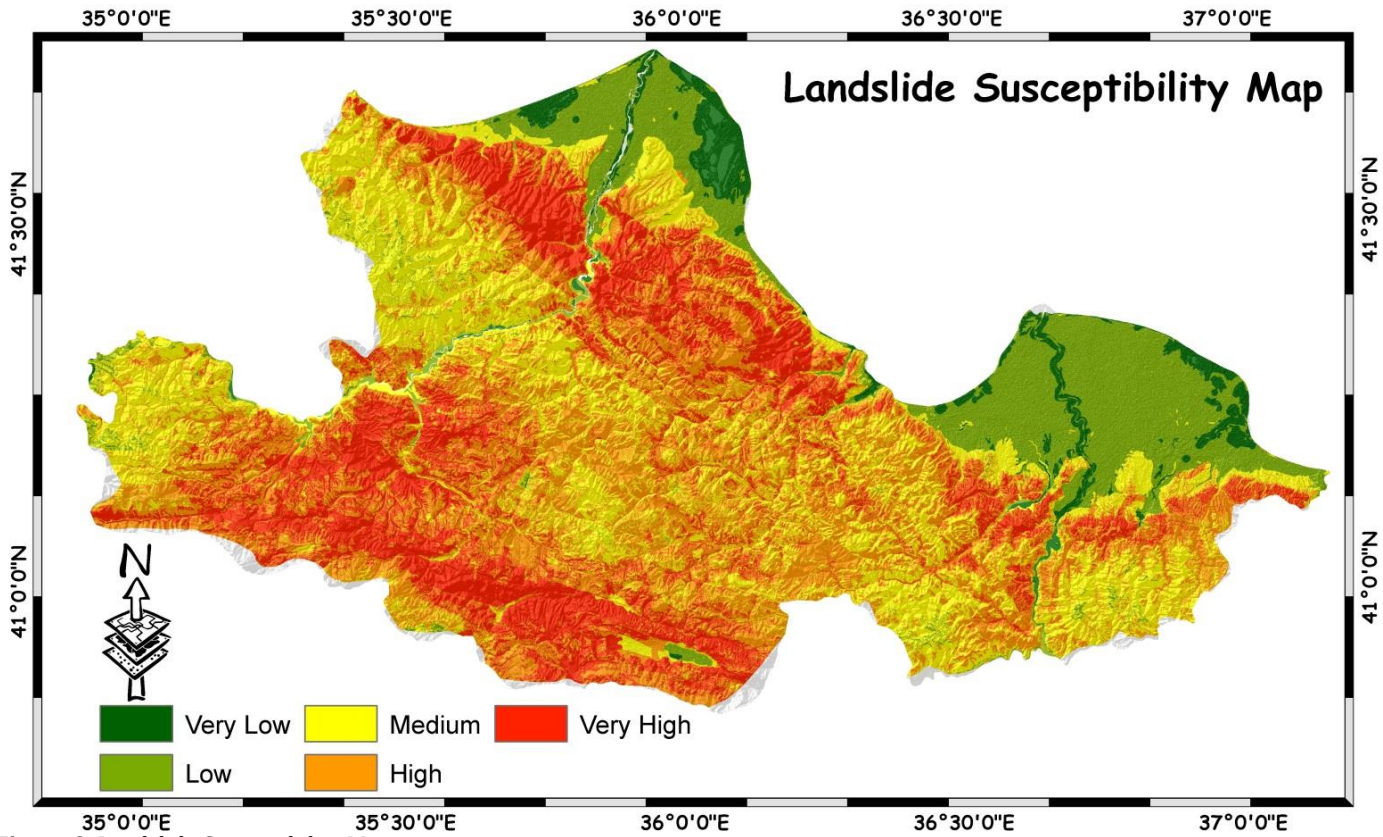


Figure 9. Landslide Susceptibility Map

Table 9. Risk Values of Parameter Classes

Parameters	Classes	Class Risk (%)	Class Area (%)
<u>Slope</u>	0 - 10	36,73	33,73
	10 - 20	90,52	21,21
	20 - 30	74,99	17,86
	30 - 40	59,22	13,13
	40+	37,17	13,71
<u>Elevation</u>	0 - 100	10,20	21,18
	100 - 400	88,52	17,83
	400 - 700	67,66	23,65
	700 - 1000	67,84	27,40
	1000+	56,62	10,11
<u>Land Use</u>	Artificial areas	28,74	2,00
	Agricultural areas	68,53	52,36
	Forest areas	50,40	42,64
	Wetlands	0,00	1,02
	Water areas	5,24	2,17

Table 9. (Continued)

<u>Proximity to Stream Networks and Lakes</u>	0 - 500	24,90	6,86
	500 - 1000	53,72	4,62
	1000 - 2000	59,58	10,44
	2000 - 3000	69,08	10,96
	3000+	59,73	67,31
<u>Proximity to Fault Lines</u>	0 - 1000	96,55	7,02
	1000 - 2500	93,43	6,87
	2500 - 5000	94,12	8,62
<u>Soil</u>	5000 - 10000	78,31	17,57
	10000+	38,89	60,12
	Other soils	18,94	2,31
	Gray Brown P.	45,90	23,88
	Chestnut	94,63	13,75
	Colluvial	41,26	1,40
	Red Yellow P.	10,69	0,09
	Hydromorphic	1,00	0,94
	Alluvial	1,76	14,18
	Brown	2,20	0,06
	Brown Earth	76,62	41,39

4. DISCUSSION

The produced landslide susceptibility map was compared with the parameter classes used in the study. Risk values of parameter classes are given in Table 9.

Although it was seen that landslides could occur in every class, the highest risk interval was determined as the range of 10-20 degrees with 90,52% in Slope Classes. When the elevation classes are examined, it was seen that landslide events are less in the range of 0-100 meters. The highest risk interval for the elevation was determined as the range of 100-400 meters with 88,52%. While it was observed that landslide events were less in artificial areas, swampy areas and water areas in the land use classes, the highest risk areas were determined as agricultural areas with a rate of 68,53%. In the soil classes, it was observed that landslide events were less in red-yellow podzolic soil, hydromorphic soil, alluvial soil and brown soil classes. The highest risk soils were determined to be chestnut soils with a rate of 94,63%. When the parameter of proximity to stream networks and lakes classes is examined, it is seen that the landslide risk is close in each class. When the proximity to stream networks and lakes classes are examined it was found that the rate of landslides in each class, although the parameter is not distinctive for the study area. For the proximity to fault lines classes, it was observed that landslide events are less in areas more than 10 kilometers away. The highest risk range has been determined as the 0-1 kilometer range with 96,55%.

5. CONCLUSION

GIS is important for collecting and processing geographic data of objects. Transforming data into geographic information with geographic analysis and viewing geographic data helps to plan activities.

Landslide susceptibility maps are of great importance in predicting future landslides and ensuring land use planning (Basara et al., 2020)

The landslide susceptibility map obtained was compared with the landslide inventory map (Fig. 8) for verification. The areas and rates of the landslide susceptibility classes are tabulated in Table 9.

Table 10. Landslide Susceptibility Classes

Attribute	Landslide area (km ²)	Total area (km ²)	Landslide incident (%)	Total area (%)
Very Low	0,04	332,59	0,01	3,50
Low	3,57	1280,23	0,95	13,47
Medium	64,25	2364,19	17,01	24,88
High	114,29	3381,41	30,27	35,58
Very High	195,46	2144,45	51,76	22,57

When susceptibility classes are examined it was seen that 82,03% of the old landslide events occurred in high and very high class, 17,01% occurred in middle class and 0,96% occurred in low and very low class.

In the spatially analysis of landslide events, it was seen that the sensitivity classes are examined spatially, high-risk areas constitute 58,15% of all areas, medium-risk areas constitute 24,88% of all areas and low-risk areas constitute 16,97% of all areas.

As a result, it is possible to say risk analysis methods should definitely be used in order to prevent future financial and moral losses caused by landslides that occur in different spatial structures.

REFERENCES

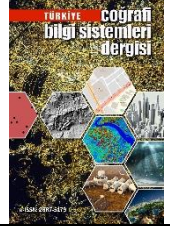
- AFAD (2020). T.C. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Samsun Bölge Müdürlüğü.
- AFAD (2014). Açıklamalı Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğü. TC Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Aleotti P & Chowdhury R (1999). Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58(1), 21-44.
- Baeza C & Corominas J (2001). Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques. *Earth Surface Processes and Landforms. The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 26:12, 1251-1263.
- Basara A C, Tabar M E & Sisman Y (2020). GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping Using Frequency Ratio and AHP Methods. *Intercontinental Geoinformation Days (IGD)*, 223-226, Mersin, Turkey.
- Elevli S, Sisman Y & Uzgoren N (2012). Statistical Evaluation of Landslides in Samsun Region, Turkey.
- Gökçeoğlu C & Ercanoğlu M (2001). ncertainties on the parameters employed in preparation of landslide susceptibility maps. *Bulletin for Earth Sciences*, 22(23), 189-206.
- Guzzetti F, Ardizzone F, Cardinali M, Rossi M & Valigi D (2009). Landslide volumes and landslide mobilization rates in Umbria, central Italy. *Earth and Planetary Science Letters*, 279(3-4), 222-229.
- Guzzetti F, Carrara A, Cardinali M & Reichenbach, P. (1999). Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31(1-4), 181-216.
- Ildır B (1995). Distribution of Landslides in Turkey and Practices Regarding Disasters Law. *National Landslide Symposium Proceedings Book*, Sakarya, 1-9.
- Karsli F, Atasoy, M, Yalcin, A, Reis S, Demir O & Gokceoglu, C. (2009). Effects of land-use changes on landslides in a landslide-prone area (Ardesen, Rize, NE Turkey). *Environmental monitoring and assessment*, 156(1), 241-255.
- Kavas E (2009). Analitik hiyerarşik süreç yöntemiyle İzmir ilinde heyelan duyarlılığının coğrafi bilgi sistemleri tabanlı incelenmesi. *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, İzmir.
- Kavzoglu T, Şahi E K & Çölkesen İ (2012). Assessment of Landslide Susceptibility Using Regression Trees:

- The Case of Trabzon Province. *Harita Dergisi*, 147(3), 21-33.
- Lee S & Talib J A (2005). Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis. *Environmental Geology*, 47:7, 982-990
- Luzi L & Pergalani F (1999). Slope Instability in Static and Dynamic Conditions for Urban Planning: The “Oltre Po Pavese” Case History (Region Lombardia-Italy). *National Hazard*, 20, 57-82.
- Malczewski J (1999). GIS and multicriteria decision analysis: John Wiley & Sons.
- Ozturk D & Batuk F (2010). Analytic Hierarchy Process for Spatial Decision Making. *SIGMA Journal of Engineering and Natural Science*, 28, 124-137.
- Reduction D R (2009). UNISDR terminology on disaster risk reduction: Bangkok.
- Sisman Y & Kirici U (2019). Landslide Monitoring with Fuzzy Logic, A Case Study. *ICOCEM*, Trabzon, Turkey.
- Tabar M E & Sisman Y (2020). Creating a Land Valuation Model by Fuzzy Logic. *Turkey Land Management Journal*, 2(1), 18-24.
- Tetik Biçer Ç (2017). A semi-quantitative evaluation of landslide risk mapping. *Doctoral Thesis*. Hacettepe University, Institute of Science, Geological Engineering, Ankara, 353 p (in Turkish).
- Tombus F E & Ozulu M (2005). A New Approach In Determining of Erosion Risk with Use of Remote Sensing and Geographic Information Systems: Case Of Çorum Province. *TMMOB Chamber of Survey Engineers National Geographic Information Systems* 30 October –02 November 2007, KTÜ, Trabzon.
- Varnes D J (1984), Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. *Commission of Landslides of the IAEG, UNESCO*, Natural Hazards No. 3, 61 pp.
- Wachal, D. J. and Hudak, P. F., (2000). Mapping landslide susceptibility in Travis County, Texas, USA, *GeoJournal*, 51 (3), 245-253.)
- Wind Y & Saaty T L (1980). Marketing applications of the analytic hierarchy process. *Management science*, 26(7), 641-658.



© Author(s) 2021.

This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Landfill Site Selection Using Spatial Information Technologies: A Case Study for Bodrum District

Cansu Nehteparov*¹, Emin Özgür Avşar²

¹Çanakkale Onsekiz Mart University, Engineering Faculty, Department of Geomatics Engineering, Çanakkale, Turkey

²Çanakkale Onsekiz Mart University, Engineering Faculty, Department of Geomatics Engineering, Çanakkale, Turkey

Keywords

Solid Waste
Landfill site selection
Criteria
Analytical Hierarchy Process

ABSTRACT

With the rapid increase of the world's population, waste production is also increasing exponentially. Although these wastes must be disposed of in landfill sites under control according to national and international decrees, some of the waste is still disposed of in wild irregular landfill sites. Environmental pollution and health risks occur as a result of these wild irregular landfill sites. Besides, criteria need to be considered for suitable areas that solid waste landfill sites to be built. One of the areas where solid waste is disposed of in wild irregular landfill sites is the Bodrum district of Muğla province. In this study, related literature for criteria selection was reviewed and analysis for the study area has performed. Since national and international regulations differ for restricted areas, common approaches in the reviewed studies have been used to identify restricted areas. Furthermore; the weight of the criteria was determined according to the usage frequency of each criterion in the literature. As the result, the reclassification maps according to each criterion and the site selection map obtained by weighting all the criteria were produced by the means of the spatial analysis methods of Geographical Information Systems.

1. INTRODUCTION

Today, some of the waste produced is still disposed of wild irregular landfill sites that cause environmental pollution and health risks. Therefore, an effective solid waste management system is needed (Özkan, 2018). The wastes must be collected, incinerated or recycled in an order determined by national and international decrees (Chabuk et al., 2016).

These landfill sites must be able to serve for long terms. The capacity and operating life of the landfill sites should be determined according to the population of the service region, waste produced per person today, and calculated waste produced per person for the following years. Then, it should be investigated whether there are sufficient alternative areas for the construction of the calculated storage area.

Solid waste landfill site selection is a complicated process because the suitability of alternative areas should be determined by paying attention to many

environmental, economic, and social criteria (Özkan, 2018). For efficacious landfill site selections, the criteria must be determined by paying attention to national and international decrees, expert opinions, characteristics of the relevant region, and frequency of use in literature.

On the other hand; Geographic Information System (GIS) and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) should be used in landfill siting because they are powerful, integrated tools used to solve the problem of landfill site selection (Chabuk et al., 2016; Abdel-Basset et al., 2021; Meng et al., 2021; Zolfaghary et al., 2021; Paul et al., 2021). Among the MCDA methods, Analytical Hierarchy Process (AHP) is the most common and popular, used to identify criteria weights using a pairwise comparison matrix (Mohammed et al., 2019).

In Muğla, Bodrum where this study uses as the application area, wild irregular landfill sites that are close to residential zones, affects the environment and human health negatively due to methane gas explosions

* Corresponding Author

*(nehteparovcansu@gmail.com) ORCID ID 0000 - 0001 - 5402 - 3038
(ozguravsar@comu.edu.tr) ORCID ID 0000 - 0002 - 3804 - 1209

Cite this article

Nehteparov C & Avşar E Ö (2021). Landfill Site Selection Using Spatial Information Technologies: A Case Study for Bodrum District. *Turkish Journal of Geographic Information Systems*, 3(1), 31-39

chained by the increase in heat during the summertime (Staines et al., 2004; Kılıç, 2017).

Also, Bodrum is one of the most touristic regions of Turkey and the summer population is much higher than the winter population. Therefore, the size of the landfill site should be taken into account according to the amount of waste in the summer population. Consequently, a solid waste landfill site appears to be needed in Bodrum.

In this study, the frequency of use of the criteria in the literature and the national and international decrees that were considered in the criterion constraints were examined. Then, a landfill site suitability map was created using the frequency of use of criteria as weights and GIS.

1.1. The Study Area

The study area is Bodrum (Fig. 1) district, which is located within the borders of Muğla province in the Southwestern Aegean Region. With a 656,1 km² area, Bodrum is one of the most touristic regions of Turkey. Therefore, the summer population is much higher than the winter population. According to Turkey Statistical Institute (TSI) data for 2019, the resident population of Bodrum is 175,435. However, this population exceeds 1 million in the summertime (Atacan, 2011; Öner et al., 2019). The majority of the resident population live on the coastlines. Also, there is an airport used for military purposes and a natural monument and nature parks taken under protection in the region.

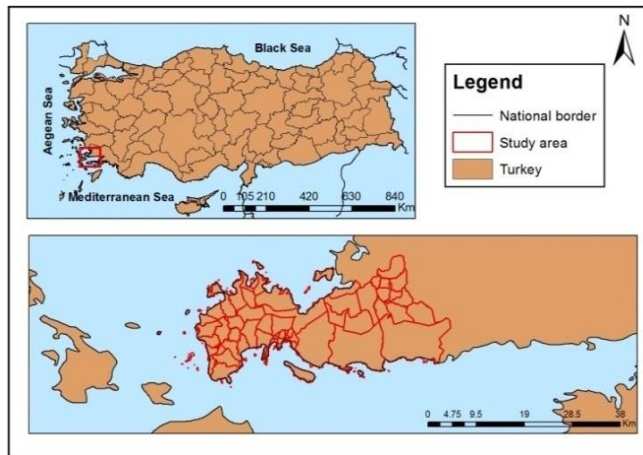


Figure 1. Location map of the study area

2. METHOD

GIS and AHP are often used for the alternative landfill site selections. AHP divides the decision problems into understandable parts; each of these parts is analyzed separately and integrated in a logical manner (Rahmat et al., 2016). AHP is a method used to determine the severity of effective measures in decision making with binary comparisons. The method helps to evaluate multi-criteria decision-making problems under uncertainty by including the GIS professionals' experience, knowledge, and intuition as the decision maker. Though there are many scales used in AHP (Franek & Kresta, 2014), 1 to 9 grades of importance offered by Saaty (2002) is the most common (Avşar,

2018; Zhang et al., 2021; Aguarón et al., 2021; Pham et al., 2021; Labella et al., 2021). Therefore; in order to find the weights of the criteria, 1-9 grades of importance are used in the study.

The reason for designating severity grades is to determine whether the decision-decider behaves consistently when comparing criteria. Weights can be used in comparison matrices as a result of the consistency rate being less than 10%.

In this study, accessible publications from the last ten years were evaluated and the frequency of use of criteria has been examined. These countries of the examined studies are; Bangladesh, Cameroon, Egypt, Ethiopia, Ghana, India, Iran, Iraq, Italy, Malaysia, Morocco, Pakistan, Serbia, and Turkey.

Frequency of use of the criteria is shown in the Fig. 2 below. The least mentioned criteria in the literature were collected under the name of the other group. This group consists of state border, forests, snow/glacier, plantation, military areas, thalwegs, landscape, borehole, flooding, nonferrous exploitation fields, and distance to industrial areas.

The 28 examined criteria were weighted according to their frequency of use. The weighting table was shown in Table 1. Then, taking into account the characteristics of the region, the selected 12 criteria were reweighted. The reweight table was shown in Table 2.

A suitability map has been created using these weights and GIS. Data pertaining to the criteria have been obtained from different sources and institutions. Settlement areas, airport and land use/land cover data were obtained from CORINE Land Cover (2018) Copernicus Land Monitoring Service and Google Maps. Road data was obtained from Geofabrik GmbH Company. Surface water data was obtained from CORINE Land Cover (2018) and Geofabrik GmbH Company. Geology and fault data was obtained from General Directorate of Mineral Research and Exploration of Turkey Geoscience Map Viewer and Drawing Editor. Protected areas data was obtained from Republic of Turkey Ministry of Agriculture and Forestry General Directorate of Nature Conservation and National Parks. Aspect data was obtained from USGS Earth Explorer and Bodrum Municipality Meteorology Directorate. Coastline data was obtained from Bodrum Municipality Directorate of Development and Urbanization. Finally, the population data of the quarters was obtained from Turkey Statistical Institute. Restriction map and reclassified maps of criteria were produced in the ArcGIS/ArcMap software (version 10.6.1) of ESRI company. This study used the World Geodetic System (WGS) 1984 Datum and the Universal Transverse Mercator (UTM) projection Zone 35N coordinate system.

3. RESULTS

In this study, the criteria to be considered in the selection of solid waste landfill site locations were examined. The criteria have been examined on a total of 23 sources of the last ten years from 14 different countries. As Fig. 2 suggests, the most commonly used

criteria are; distance to roads, distance to surface waters, slope, distance to settlements, and land use/land cover with the weights of 0.10, 0.09, 0.08, 0.08, 0.08, respectively.

These five criteria were seen to be the most important criteria for landfill site selections. Other criteria have been seen to change according to the characteristics of the region.

For Bodrum district, 12 criteria were selected from the presented 28 criteria. Criteria were determined by considering the data obtained from open source and the characteristics of the region. These criteria are distance

to roads, distance to surface waters, slope, distance to settlements, land use/land cover, geology, distance to protected areas, distance to airports, aspect, distance to the coastline, population density, and distance to faults.

Then, the 12 selected criteria were reweighted. In the reweighting for the selected 12 criteria, distance to roads, distance to surface waters, slope, distance to settlement areas, and land use/land cover criteria were found to take high weights. Respectively weights are 0.14, 0.13, 0.13, 0.13, 0.11. Determined criteria and their weight were shown in Table 2.

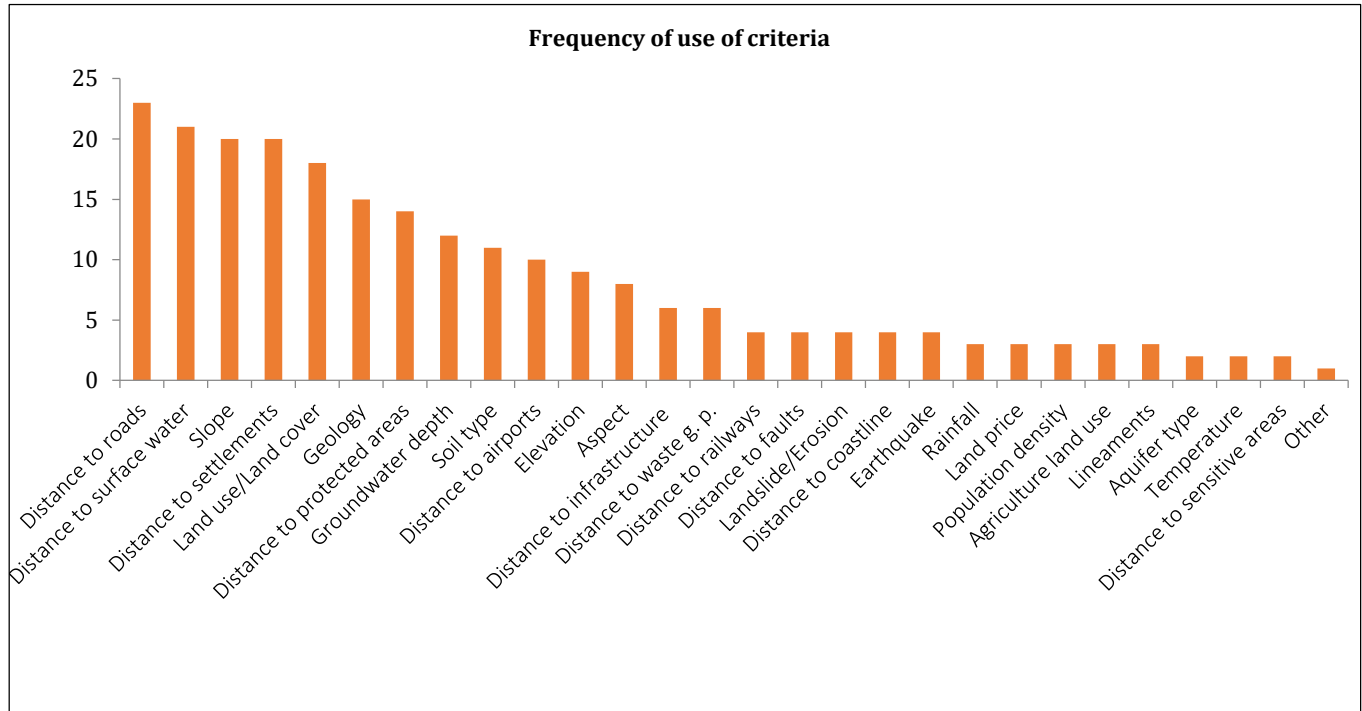


Figure 2. Frequency of use of criteria in literature

Table 1. Criteria in literature and their weight

Criteria	Weight	Criteria	Weight	Criteria	Weight	Criteria	Weight
D.t.roads	0.10	G.water depth	0.05	D.t.railw.	0.02	Popul. Den.	0.01
D.t.s.water	0.09	Soil type	0.05	D.t.faults	0.02	Agri. l. use	0.01
Slope	0.08	D.t.airports	0.04	L.S./Eros.	0.02	Lineaments	0.01
D.t.settl.	0.08	Elevation	0.04	D.t.coastl.	0.02	Aquifer ty.	0.01
L.U./L.C.	0.08	Aspect	0.03	Earthquake	0.02	Temperat.	0.01
Geology	0.06	D.t.infrast.	0.03	Rainfall	0.01	D.t.sens. a.	0.01
D.t. prot.ar.	0.06	D.t.waste g.	0.03	Land price	0.01	Other	0.00
						Summation	1.00

Table 2. Determined criteria and their weight

Criteria	Weight	Criteria	Weight
D.t.roads	0.14	D.t.p.a.	0.09
D.t.s.w.	0.13	D.t.air.	0.06
Slope	0.13	Aspect	0.05
D.t.settl.	0.13	D.t.c.l.	0.02
L.U./L.C.	0.11	Pop.de.	0.02
Geology	0.09	D.t.faul.	0.03
		Sum.	1.00

3.1. Evaluation of Determined Criteria

Distance to roads

Landfill sites should be built close to the roads, considering the cost of transporting waste. At the same time, landfill sites should not be built too close to the roads, considering the problem of visual pollution (Gebre & Getahun, 2020).

Distance to surface water

Landfill sites should be built away from the surface waters taking into account human health and environmental pollution (Ghoutum et al., 2020).

Slope

Excavation-filling operations in high slope areas increase the cost. Therefore, landfill sites should be built in areas where the slope is low (Dar et al., 2018).

Distance to settlements

Landfill sites should be built away from settlements so that human health and the environment are not adversely affected. According to the Turkey Solid Waste Control Regulation (1991), landfill sites should be built at least 1000 m away from the settlements. At the same time, taking into account the cost of waste transportation, solid waste landfill sites should not be too far from settlements.

Land use/Land cover

Forests and agricultural lands are not suitable for landfill sites. Sclerophile vegetation and pasture areas are better suitable for the construction of landfill sites.

Geology

Landfill sites should be built in areas with low water permeability. Landfill sites need to be built on a sealed floor (Aksoy, 2016; Chaudhry et al., 2020).

Distance to protected areas

Landfill sites should be built away from natural, ecologically, and culturally protected areas.

Distance to airports

Landfill sites attract wild animals because they contain organic waste. One of them is birds. In order for planes to land and take off safely, it is important to pay attention to the surrounding bird population. At the same time, gas emissions and methane gas explosions in storage areas can also compromise flight safety (Deniz & Topuz, 2018). Therefore, landfill sites should be built away from airports.

Aspect

The aspect criterion is an important criterion for evaluating the prevailing wind direction. Areas exposed to strong winds are areas that are not suitable for landfill sites (Şener et al., 2011; Özkan, 2018).

Distance to coastline

Coastal areas are regions where groundwater levels are on or near land. In addition, the population density

of coastal areas is high (Barzehkar et al., 2019). Therefore, landfill sites should be built away from the coastline.

Distance to population density

Landfill sites should be built in areas with low population density, taking into account human health.

Distance to faults

Landfill sites should be built away from fault lines. Because the stabilization of the storage areas to be established on the fault lines may be disrupted as a result of seismic movements and may cause the waste piles to collapse or even slide (Deniz & Topuz, 2018).

First, areas, where the landfill sites cannot be built, have been identified (Fig. 3). Criteria restrictions were shown in Table 3. Criterion restrictions were determined taking into account the recommended values in the literature. Only the distance specified in the Turkey Solid Waste Control Regulation (1991) has been taken into account in limiting the distance to the settlements.

When the literature was examined, it was seen that most countries were inadequate when determining the criteria restrictions. Later in the article, this topic was also discussed.

Forests are areas that are not suitable for the construction of landfill sites. Moreover, it was observed that there are many forests in the study area. When forests were determined as a restricted criterion, it was seen that there was not enough area for landfill sites. Therefore, a value of 1 was assigned to the forest criterion in the study.

Table 3. Determined criteria and their weight

Criteria	Restrictions
D.t. airports	1500 m
D.t. surface water	500 m
D.t. settlements	1000 m
D.t. coastline	1000 m
D.t. protected areas	1000 m
Land use/Land cover	Industrial areas, burnt areas
Slope	>35°

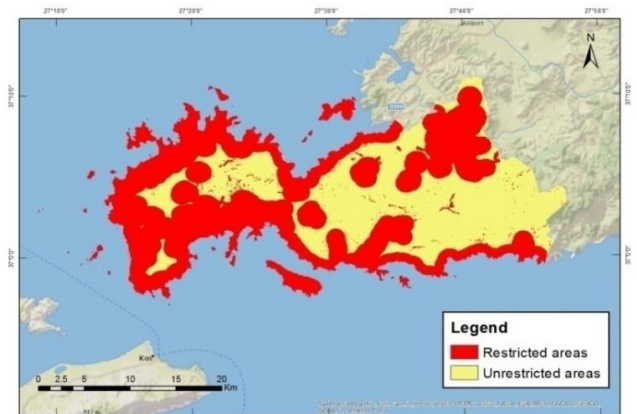


Figure 3. Restriction map of the study area

Afterwards, the reclassification map of each criterion was produced (Fig. 4). Criteria ratings were determined by considering the ratings in the literature and the characteristics of the region. Ratings were graded between 0 and 10 points. A value of 10 was specified as the most suitable areas, and a value of 0 was specified as unsuitable areas.

The ranking of each criterion were shown in Table 4. The criteria ratings specified in the table were generated by taking into account the studies of Yildirim (2012), Güler (2016), Deniz & Topuz (2018), Randazzo et al. (2018) and Barzehkar et al. (2019).

Table 4. Ratings of criteria

Criteria	Buffer Zone	Rating	Criteria	Buffer Zone	Rating
Distance to roads	0-250 m	1	Geology	Volcanic	10
	250-500 m	4		Metamorphic	5
	500-750 m	7	Distance to protected areas	>1000 m	10
	750-1000 m	8		0-1000 m	0
	1000-1250 m	10		Distance to airports	>7000 m
	1250-1500 m	8	5000-7000 m		7
	1500-1750 m	6	3000-5000 m		5
	1750-2000 m	3	1500-3000 m		3
Distance to surface water	>2000 m	1		0-1500 m	0
	1500-2000 m	7	Aspect	SSW ,WSW, W	10
	1000-1500 m	5		WNW, ESE, E	10
	500-1000 m	3		ENE,SSW, NW	9
0-500 m	0	S, NNW		6	
Slope	0°-5°	10		SSE	5
	5°-10°	9	SE, NE	2	
	10°-25°	7	N, NNE	1	
	25°-35°	3	Distance to coastline	>1000 m	10
	>35°	0		0-1000 m	0
Distance to settlements	0-1000 m	0	Population	0-200	10
	1000-2000 m	2		Density	200-700
	2000-3000 m	4	(persons per/km ²)	700-1800	6
	3000-4000 m	6		1800-3000	4
	4000-5000 m	8		3000-4500	2
	5000-6000 m	10		>4500	1
>6000 m	5	Distance to faults	>2500 m	10	
Land Use/ Land Cover	Wild irregular sites		10	2000-2500 m	9
	Mine areas		10	1500-2000 m	8
	Grasslands		8	1000-1500 m	6
	Sclerophile		6	500-1000 m	5
	Agriculture		4	250-500 m	3
	Natural vegetation		3	100-250 m	2
	Forest, swamp		1	0-100 m	1
	Burnt areas	0			
Industry areas	0				

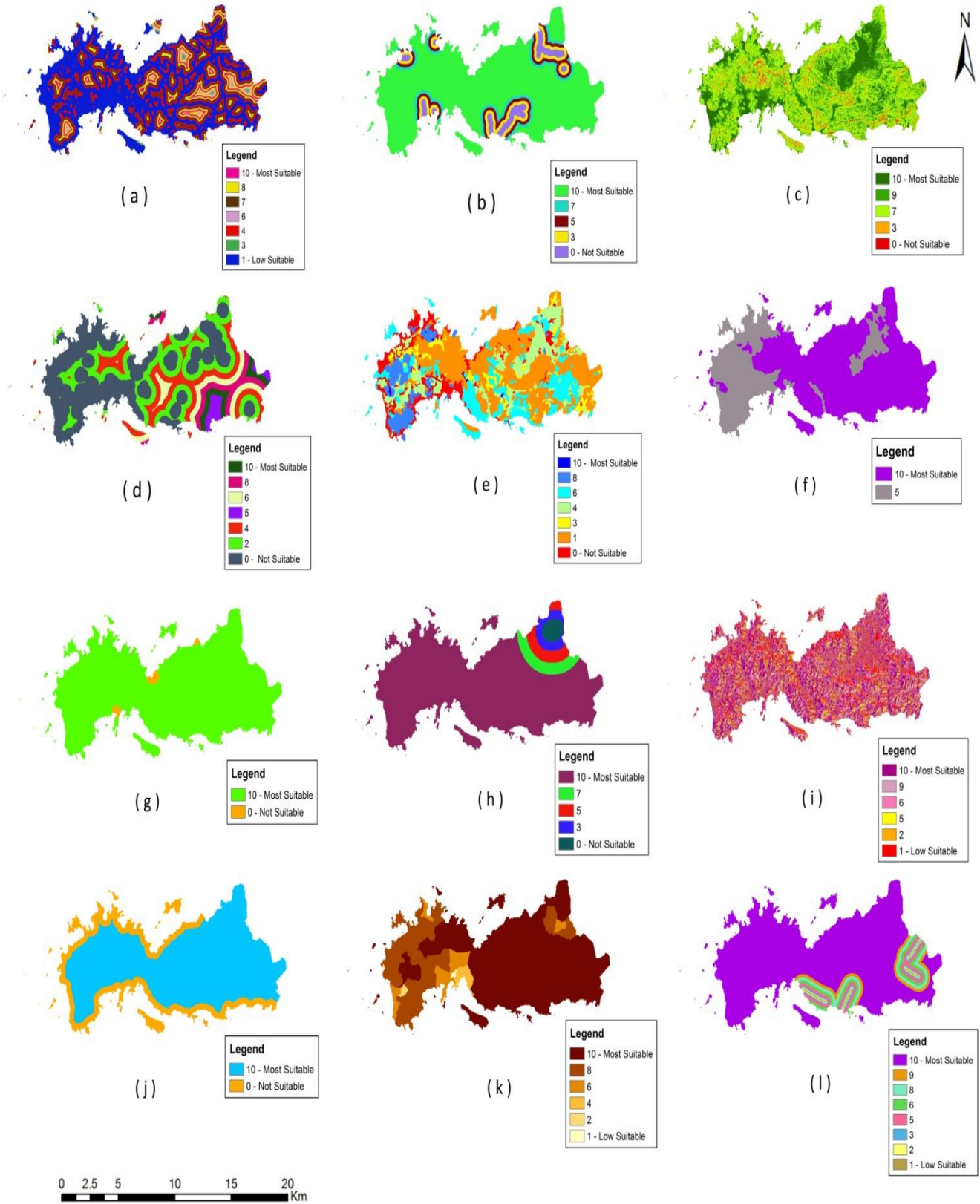


Figure 4. Reclassification maps (a) Distance to roads, (b) Distance to surface waters, (c) Slope, (d) Distance to settlements, (e) Land use/Land cover, (f) Geology, (g) Distance to protected areas, (h) Distance to airports, (i) Aspect, (j) Distance to coastline, (k) Population density, (l) Distance to faults

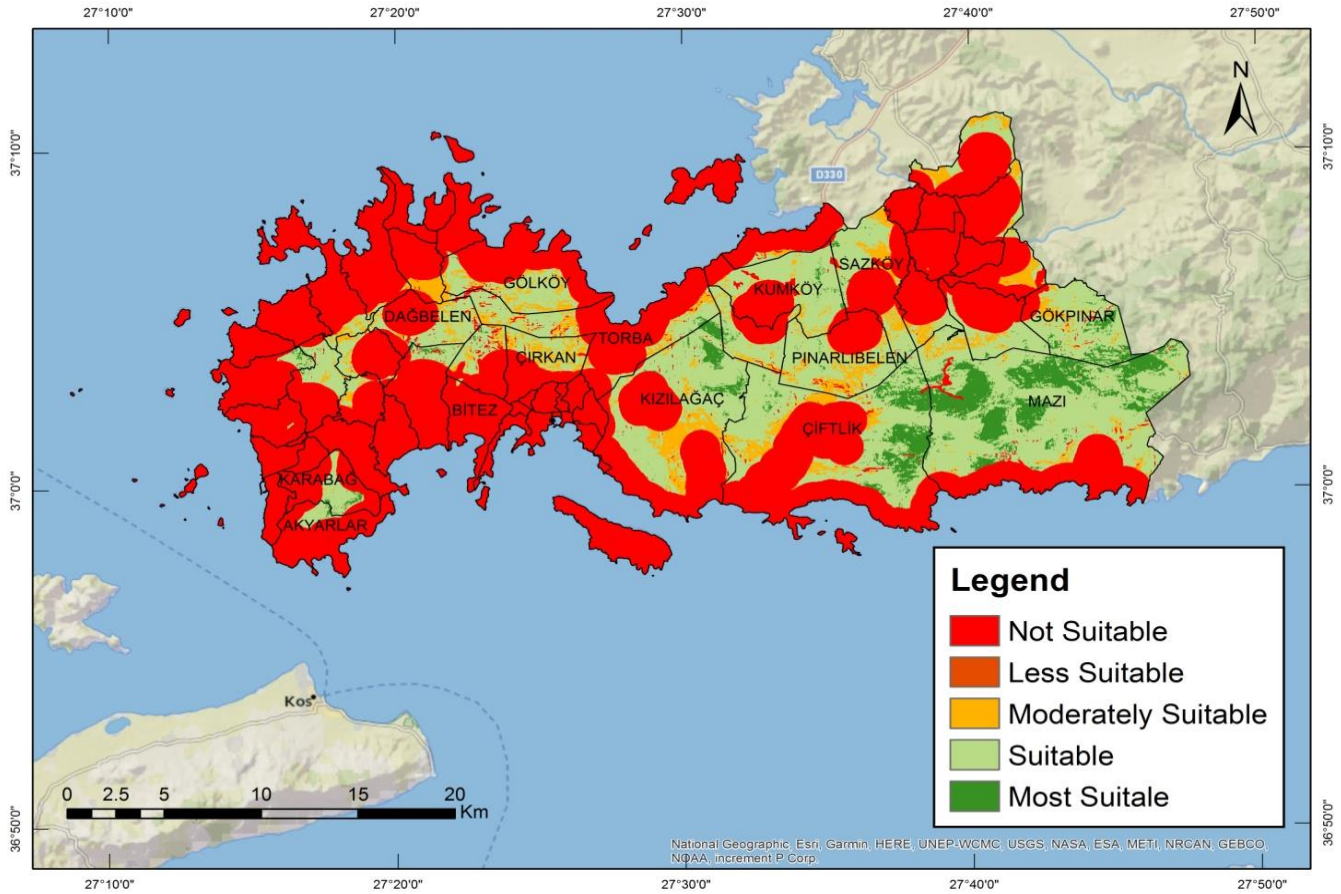


Figure 5. Solid waste landfill site suitability map for Bodrum district

When the suitability map (Fig. 5) is examined, the most suitable areas for landfill site can be observed in the quarters of Mazi, Gökpinar, Çiftlik and Gökpinar.

The study, also examined whether there are national-international decrees set by countries. When the studies carried out in Iran were examined; in 2019 it was observed that Barzehkar and others took into account the decrees in his study. In 2016, Rahmat and others' study mentioned that decrees were taken into account, but it was observed that Barzehkar and others did not match each other compared to the restrictions on his study.

It has also been observed that Ghana and India take into account national decrees when determining criteria restrictions. Studies conducted in other countries have observed that expert opinions, questionnaires, and national-international decrees together were taken into account in determining criteria restrictions.

4. DISCUSSION

These findings suggest that the first five criteria were significant according to the weightings process. The first most commonly used criterion is the distance to roads criterion. Landfill sites need to be close to roads because moving waste over long distances will increase the cost. At the same time, landfill sites should not be too close to roads and should not create visual pollution. Therefore, it has been seen that the distance to roads criterion is one of the criteria to be considered the most.

The second crucial criterion is the distance to surface water. In this criterion, landfill sites must be built away from surface waters to avoid environmental pollution. The third most commonly used criterion was the slope criterion. Building landfill sites in areas with high slopes will cost a lot of money due to excavation-filling operations. Therefore, landfill sites should be built where the slope is low.

Landfill sites should be built in areas far from settlement areas. The environment and human health should not be compromised. The fifth most widely used criterion in the literature is the land use criterion. Land use/Land cover is the fifth most widely used criterion in the literature. Landfill sites should not be built in forest areas. It can be said that these criteria are the main criteria to be considered in future studies. These areas are not determined as restricted areas because forests are too many in the study area.

The ratings of the criteria determined in the study were determined by taking into account the ratings in the literature and the characteristics of the region. Using these ratings and calculated weights, a suitability map has been created in the ArcGIS/ArcMap program. It has been observed that the most suitable areas were in the Mazi, Çiftlik, Kızılağaç, and Gökpinar quarters.

When criterion restrictions were examined, it was observed that 3 out of 14 countries were bound by decrees. In the studies examined, it was observed that the researchers applied different references when determining the criteria. As a result of the reviews, it is clear that the national decrees of the countries were inadequate.

5. CONCLUSION

In Bodrum, wild irregular landfill sites imperil the environment and human health. Therefore, a solid waste landfill site appears to be needed in Bodrum. In this study, the frequency of use of the criteria used in the selection of solid waste landfill sites in the literature for Bodrum district was examined. The 28 criteria determined as a result of the literature review were weighted according to their frequency of use. The most commonly used criteria were observed as a result of weighting. 12 criteria were determined for the Bodrum district. The criteria were determined by taking into account the characteristics of the region and the data obtained. It was observed that the criteria vary according to regional characteristics in the sources examined.

Using these weights, suitable areas for landfill sites were analyzed. The ratings of the criteria were determined by taking into account the ratings in the literature and characteristics of region. Later in the study, criterion ratings and their weights will be determined within the expert opinions. Then, the results obtained in this study and the results to be obtained within the opinions of experts will be compared.

At the same time, it was examined whether national-international decrees were taken into account in the criterion restrictions. It has been observed in most sources that national-international decrees were not taken into account. It is clear that national-international decrees must be taken into account for an efficient outcome. This study will guide future studies.

REFERENCES

- Abdel-Basset M, Gamal A, Chakraborty R K & Ryan M (2021). A new hybrid multi-criteria decision-making approach for location selection of sustainable offshore wind energy stations: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 280, 124462.
- Aguarón J, Escobar M T & Moreno-Jiménez J M (2021). Reducing inconsistency measured by the geometric consistency index in the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 288(2), 576-583.
- Aksoy E (2016). Landfill site selection of Antalya city using remote sensing and geographical information systems. *Master Thesis*, Akdeniz University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Antalya, 120p (in Turkish).
- Atacan Ögüt A (2011). Sustainable Water and Wastewater Management at Seasonal Population Variations in Touristic Areas: A Case Study From The Bodrum. *Doctoral Thesis*, Istanbul Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Istanbul, 323p (in Turkish).
- Avşar M (2018). A multi goal model proposal for project acceleration. *Doctoral Thesis*, Yıldız Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Istanbul, 144p (in Turkish).
- Barzehkar M, Dinan N, Mazaheri S, Tayebi R & Brodie G (2019). Landfill site selection using GIS-based multi-criteria evaluation (case study: SaharKhiz Region located in Gilan Province in Iran). *SN Applied Sciences*, 1-11.
- Chabuk A, Al-Ansari N, Hussain H, Knutsson S & Pusch R (2016). Landfill siting using GIS and AHP (Analytical Hierarchy Process): a case study Al-Qasim Qadhaa, Babylon, Iraq. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 10(1), 530-543.
- Chaudhry M, Ashraf U, Ali I & Ali S (2020). GIS - Based Multi-Criteria Evaluation of Landfill Site Selection in Lahore, Pakistan. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(2), 1-11.
- Dar S, Shah S, Wani M & Skinder S (2018). Identification of suitable landfill site based on GIS in Leh, Ladakh Region. *GeoJournal*, 1-15.
- Deniz M & Topuz M (2018). Alternative landfill site selection in Uşak district by using multi-criteria decision making analysis supported by geographical information systems (GIS) with analytic hierarchy process. *Journal of History Culture and Art Research*, 7(5), 544-578.
- Franek J & Kresta A (2014). Judgment scales and consistency measure in AHP. *Procedia Economics and Finance*, 12, 164-173.
- Gebre S & Getahun K (2020). GIS-based potential landfill site selection using MCDM-AHP modeling of Gondar Town, Ethiopia. *African Geographical Review*, 1-20.
- Ghoutum A, Lebga A & Edith K (2020). Landfill site suitability selection using geospatial technology for the Yaounde Metropolitan City and its Environs: case of SoaSubdivision, Cameroon. *European Scientific Journal*, 16(6), 95-111.
- Güler D (2016). Alternative landfill site selection using analytic hierarchy process and geographic information systems: a case study Istanbul *Master Thesis*, Istanbul Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Istanbul, 95p (in Turkish).
- Kılıç A (2017). Dumper Fires and Their Effects. *Fire and Security Journal*, Istanbul Technical University, Istanbul, 8-10.
- Labella Á, Ishizaka A & Martínez L (2021). Consensual Group-AHP Sort: Applying consensus to GAHP Sort in sustainable development and industrial engineering. *Computers & Industrial Engineering*, 152, 107013.
- Meng F, Liang X, Xiao C & Wang G (2021). Geothermal resource potential assessment utilizing GIS-based multi criteria decision analysis method. *Geothermics*, 89, 101969.
- Mohammed H, Majid Z, Yamusa Y, Ariff M, Idris K & Darwin N (2019). Sanitary landfill siting using GIS and AHP. *Engineering. Technology & Applied Science Research*, 9(3), 4100-4104.
- Öner B, Çalışkan Eleren S & Salihoğlu N (2019). An Example of Waste Management in Touristic Coastal Areas: Bodrum. *Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering*, 24(1), 207-218.
- Özkan B (2018). A GIS-based multi criteria decision analysis for the municipal solid waste landfill site selection and collection system. *Doctoral Thesis*, Eskişehir Osmangazi University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Eskişehir, 153p (in Turkish).

- Paul M, Negahban-Azar M, Shirmohammadi A & Montas H (2021). Developing a Multicriteria Decision Analysis Framework to Evaluate Reclaimed Wastewater Use for Agricultural Irrigation: The Case Study of Maryland. *Hydrology*, 8(1), 4.
- Pham B T, Luu C, Van Phong T, Nguyen H D, Van Le H, Tran T Q, Ta H T & Prakash I (2021). Flood risk assessment using hybrid artificial intelligence models integrated with multi-criteria decision analysis in Quang Nam Province, Vietnam. *Journal of Hydrology*, 592, 125815.
- Rahmat Z, Niri M, Alavi N, Goudarzi G, Babaei A, Baboli Z & Hosseinzadeh M (2016). Landfill site selection using GIS and AHP: a case study: Behbahan, Iran. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 1-8.
- Randazzo L, Cusumano A, Oliveri G, DiStefano P, Renda P, Perricone M & Zarcone G (2018). Landfill site selection for municipal solid waste by using AHP method in GIS environment: waste management decision-support in Sicily (Italy). *Multidisciplinary Journal for Waste Resources & Residues*, 2(1), 78-88.
- Republic of Turkey Ministry of Environment and Urbanisation Solid Waste Control Regulation, Official Gazette of Publication: 14/3/1991: Number: 20814
- Saaty T L (2002). Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary. *European journal of operational research*, 145(1), 85-91.
- Staines A, Crowley D, Bruen M & O'Connor P (2004). Public Health and Landfill Sites. Department of Public Health Eastern Regional Health Authority, Department of Public Health and Epidemiology University College, Dublin.
- Şener S, Şener E & Karagüzel R (2011). Solid waste disposal site selection with GIS and AHP methodology: a case study in Senirkent-Uluborlu (Isparta) Basin, Turkey. *Environ Monit Assess*, 533-554.
- Yıldırım Ü (2012). Determination of alternative municipal solid waste disposal sites for the city of Mersin using analytic hierarchy process and geographic information system methods, *Master Thesis*, Mersin University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Mersin, 91p (in Turkish).
- Zhang J, Kou G, Peng Y & Zhang Y (2021). Estimating priorities from relative deviations in pairwise comparison matrices. *Information Sciences*, 552, 310-327.
- Zolfaghary P, Zakerinia M & Kazemi, H (2021). A model for the use of urban treated wastewater in agriculture using multiple criteria decision making (MCDM) and geographic information system (GIS). *Agricultural Water Management*, 243, 106490.



© Author(s) 2021.

This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/tucbis>

e-ISSN 2687-5179



SLEUTH İle Arazi Örtüsü Değişimi Benzetim Modelinin Oluşturulması, İstanbul İli Örneği

Ahmet Emir Yakup^{*1}, İsmail Ercüment Ayazlı²

¹Hitit Üniversitesi, Osmanlık Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Çorum, Türkiye

²Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

Anahtar Kelimeler:

CBS
Arazi Örtüsü Değişimi
Kentsel Büyüme
Hücreyel Otomat
Benzetim

ÖZ

Nüfus artışı kentlerin büyümesine ve doğal yapıdaki alanların tahrip olmasına yol açmaktadır. Kentsel büyüme arazi örtüsündeki değişimleri tetiklemektedir. Arazi örtüsündeki değişim etkilerinin belirlenmesi sürdürülebilir politikalar için gereklidir. Bu nedenle benzetim uygulamaları planlama çalışmalarında yoğun olarak kullanılmaktadır. Kentsel büyümenin neden olduğu arazi örtüsü/kullanımı değişimlerini araştırmak için sıklıkla hücreyel otomat (HO) yöntemi tercih edilmektedir. Bu çalışmada, HO tabanlı SLEUTH modeli kullanılarak İstanbul'un süregelen kentsel büyüme eğilimleri doğrultusunda 2040 yılı için benzetim modeli oluşturulması amaçlanmıştır. Modelin ihtiyaç duyduğu zamansal veriler 2000, 2006, 2012 ve 2018 yıllarına ait CORINE verilerinden üretilmiştir. Oluşturulan benzetim modeli ile İstanbul'daki olası kentsel büyüme ve arazi örtüsü değişimine etkileri araştırılmıştır. Üretilen benzetim modeline göre; tarım arazilerinin %25'inin, sulak alanların %2'sinin ve ormanların %14'ünün yerleşim alanlarına dönüşebileceği belirlenmiştir. İstanbul'da 2018 ile 2040 yılları arasında %24 oranında kentsel büyümenin olabileceği kestirilmiştir. Elde edilen sonuçlar İstanbul ilinin yoğun bir kentleşme baskısı altında olduğunu göstermiştir.

Creating a Land Cover Change Simulation Model with SLEUTH, the Case of Istanbul Province

Keywords:

GIS
Land Cover Change
Urban Growth
Cellular Automata
Simulation

ABSTRACT

Population growth leads to the growth of cities and the destruction of natural areas. Urban growth triggers changes in land cover. Determining the effects of change in land cover is necessary for sustainable urban management. For this reason, simulation applications are used extensively in planning studies. The cellular automata (CA) based simulation methods are often preferred to investigate land cover/use changes caused by urban growth. In this study, it is aimed to create a simulation model for the year 2040 in line with the ongoing urban growth trends of Istanbul by using CA-based SLEUTH model. The temporal data required by the model are generated from CORINE Land Cover data for the years 2000, 2006, 2012 and 2018. With the simulation model created, the effects of possible urban growth and land cover change in Istanbul were investigated. According to the simulation model produced, it was determined that 25% of Agricultural Land, 2% of wetlands and 14% of forests could be turned into residential areas. It is estimated that there may be 24% urban growth in Istanbul between 2018 and 2040. The results showed that the province of Istanbul is under intense urbanization pressure.

* Sorumlu Yazar

(emiryakup@hitit.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0002 – 1789 – 4448
(eayazli@cumhuriyet.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0003 – 0782 – 5366

Kaynak Göster

Yakup A E & Ayazlı İ E (2021). SLEUTH İle Arazi Örtüsü Değişimi Benzetim Modelinin Oluşturulması, İstanbul İli Örneği. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 3(1), 40-47

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 26/01/2021; Kabul Tarihi: 15/05/2021

1. GİRİŞ

İstanbul, Türkiye'nin nüfus dinamikleri, sosyo-kültürel, tarihi ve ekonomik açıdan en önde gelen kentidir. Karadeniz ile Marmara Denizini ve Asya ile Avrupa kıtalarını bağlaması nedeniyle jeopolitik önemi yüksektir. İstanbul, özellikle 1950 yılından itibaren yoğunlaşan göç ve ulaşım bağlantılarının da etkisiyle doğu-batı ekseninde yayılmıştır (Yiğit & Kanat, 2017). Doğal sınırlarına dayanan kent 1990'lardan sonra yatay mimariden dikey mimariye evrilerek toprağa olan baskıyı arttırmıştır. Özellikle son dönemde yapılan ve planlanan altyapı projeleri bölgeye olan ilgiyi daha da arttırmış, kentsel alanın kuzeye doğru yayılmasına neden olmuştur (Ayazlı vd., 2015).

Kentleşme hızının yüksek olması sağlıklı veya aşırı kentleşmeye neden olmaktadır (Saadani ve ark., 2020). Bu çevrenin tahribi, fiziki plansızlık, yerleşme düzensizliği, planlama ve yönetim sorunlarını beraberinde getirmektedir. Kentlerdeki boş arazilerin, ormanların ve tarım arazilerinin yerleşim alanlarına dönüşmesi ile birlikte doğal kaynaklar üzerindeki baskı her geçen gün artmaktadır (AÇA, 2016). Özellikle turizm, kentleşme ve sanayileşme doğal kaynakların yok edilmesini hızlandırmaktadır.

Artan nüfus ile birlikte yapılı çevreyi ve kırsal bölgeri kentsel yerleşimlere dönüştüren aynı zamanda nüfusun uzamsal dağılımını kırsal alanlardan kentsel alanlara kaydıran karmaşık bir sosyo-ekonomik süreç kentsel büyüme denir (BM, 2019). Kentsel büyümenin üç bileşeni vardır. Bunlar doğal nüfus artışı, göç ve yeniden sınıflandırmadır (Stecklov, 2018). Yeniden sınıflandırma, kentsel alanların boyutunu genişleterek kentsel büyümeye katkıda bulunur (Siri vd., 2010). Bunların yanı sıra bir ülkede meydana gelen demografik değişiklikler (Dyson, 2011), yerleşim biriminin büyüklüğü (Batty, 2008), uzamsal planlama politikaları (Angel ve ark., 2011) ve kentsel alana özgü fiziksel veya yerel koşullara da bağlıdır. Arazi örtüsü ise arazinin yüzeyini kaplayan doğal bitki örtüsünü de içeren toprak tabakası ile tarım ürünlerini ve insan yapılarını ifade etmektedir (Verburg vd., 2009). Kentsel büyümenin meydana gelmesi arazi kullanım örtüsü değişimlerini tetiklemektedir.

Kentsel büyümeyi ve arazi örtüsündeki değişiklikleri belirlemek için araştırmacılar tarafından birçok model ve benzetim aracı geliştirilmiştir. İlk üretilen kentsel büyüme modeli teorileri genellikle merkezi halkalar şeklinde doğrusal formdadır (Foot, 2017). 20. yüzyıldan sonra kentlerin dinamik birçok alt sistemden oluştuğu yaklaşımı kabul görmüştür (Ayazlı, 2011). Bu alt sistemler karmaşıklığı yüksek olarak birbirine ilişkisel olarak bağlıdır (Batty, 2008; Benenson & Torrens, 2004). Bilgisayar teknolojilerinde yaşanan gelişmeler paralelinde günümüzde kentlerin karmaşık ve dinamik yapısını modellemek mümkün olmaktadır. Bu doğrultuda karmaşık ve dinamik bir sistemin davranışlarını tespit edebilmek için benzetim teknikleri kullanılmaktadır (Batty, 2009). Karmaşık ve dinamik sistemlerin modellenmesi için kullanılan en temel yöntemlerden birisi Hücresel Otomat (HO, Cellular Automata -CA)'tır (Chaudhuri & Clarke, 2013; Dennunzio vd., 2012; Di Lena & Margara, 2008; Clarke & Gaydos, 1998; Clewlow, 1989).

Otomat çalışmalarının ilk uygulamaları John Von Neuman ve John Conway tarafından oluşturulmuştur. HO kavramı beş temel bileşenden oluşmaktadır. Bunlar; ızgara (grid) ağı, durum, komşuluk, dönüşüm kuralları ve zamandır (White & Engelen, 2000). Hücre durumları, arazi kullanımı/örtüsünü temsil eder ve kentleşmenin olmayacağı hücreler sabit, boş alanlar gibi hücreler ise işlevsel olarak kabul edilerek ikiye ayrılır (Torrens, 2000; White & Engelen, 2000). Hücreler yan yana gelerek ızgara ağını oluşturmaktadır. Oluşturulan ızgara düzlemi hücresel (raster) veri yapısına biçimsel olarak uygundur (Vliet vd., 2009). Zamana bağlı olarak komşu hücrelerin durumuna göre dönüşüm fonksiyonu, hücre durumlarını değiştirmektedir (Benenson & Torrens, 2004).

HO dışında günümüzde kentsel karmaşıklığı modellemek için kullanılan yöntemlere Yapay Sinir Ağları (YSA, Artificial Neural Network -ANN) ve Çok Ajanlı Sistemler (ÇAS, Multi Agent Systems -MAS) örnek gösterebilir. Kent ile ilgili çalışmalarda otomat tabanlı yaklaşımlardan HO ve ÇAS yaygın kullanılmaktadır. HO'nun kentsel büyüme ve arazi örtüsü değişimlerinin tespitinde pek çok kez kullanıldığı, ÇAS ise daha çok kentsel büyümeye etki eden mobil eylemlerin benzetiminde etkin olduğu görülmüştür (Ayazlı, 2011). YSA daha çok kentsel doku analizlerinde kullanılmaktadır (Cheng, 2003).

Bu çalışmada kentsel büyüme benzetim modeli (KBBM) üretmek için HO yöntemiyle çalışan SLEUTH kentsel büyüme modeli tercih edilmiştir. Kentsel büyümenin modellenmesi için kullanılan SLEUTH Modeli araştırmalarda çok sık kullanılan ve kendini kanıtlamış bir modeldir (Bihamta vd., 2015; Han vd., 2015; Dezhkam vd., 2013; Jantz vd., 2004).

Dünya genelinde pek çok çalışmada kullanılan HO tabanlı SLEUTH (Gigalopolis, 2020), ilk olarak San Francisco ve Washington-Baltimore bölgelerinde uygulanmıştır (Clarke ve Gaydos, 1998; Clarke ve ark., 1997). Takip eden süreçte kentleşme sürecinin teknik gelişimini saptamak için Santa Barbara'da bir dizi çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Goldstein ve ark., 2004; Herold vd., 2003; Candau & Clarke, 2000). Avrupada ilk olarak (Silva & Clarke, 2005; Silva & Clarke, 2002) tarafından Portekiz'in Lizbon ve Porto metropolitan alanları için uygulanmıştır. Diğer yandan SLEUTH, Çin'de en yüksek uygulama sayısına sahiptir. Beijing (Yi & He, 2009), Lanzhou (Xie vd., 2010) ve Nanjing (Zhang vd., 2010) gibi hızla büyüyen şehirlerde kentleşmenin etkisini ve kapsamını değerlendirmek için kentin süregelen koşullarında veya alternatif senaryolar altında benzetimler üretilmiştir. İstanbul özelinde yapılan çalışmalarda; (Nigussie & Altunkaynak, 2017b) ve (Nigussie & Altunkaynak, 2017a) bölgede gerçekleştirilmesi planlanan Kanal İstanbul projesinin güzergâhı ve çevresindeki olası değişimleri, (Ayazlı vd., 2014; Ayazlı vd., 2010) İstanbul ulaşım ağlarının kentsel büyümeye olan etkilerini, (Mestav vd., 2020) İstanbul'un da dahil olduğu 3 farklı asya mega kentinde KBBM oluşturarak kentsel potansiyel alanları sismik risk altında değerlendirmiştir. Bu çalışmada ise İstanbul ilinin kentleşme davranışı detaylı olarak analiz edilerek mevcut kentleşme eğilimleri doğrultusunda bir senaryo ile KBBM oluşturma amaçlanmıştır. Oluşturulan

senaryoda bölgenin kentleşme eğilimlerinin bölgenin topoğrafyasından bağımsız olduğu öngörülmüştür.

Daha doğru bir KBBM kurabilmek için yerel alanın tarihsel kentleşme karakteristiklerinin detaylı bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir. Bu anlamda yapılan analiz sonucunda dönemler belirlenmiştir. CORINE görüntüleri, 2000 ve 2018 yılları için arazi örtüsü ve 2000, 2006, 2012 ve 2018 yılları için ise kent verisi olarak kullanılmıştır. Ulaşım verileri Open Street Map servisinden elde edilerek, İstanbul ilinin 1. Derece öneme sahip ulaşım hatları 2000, 2015 ve 2018 yılları için oluşturulmuştur. Bölgeleme verisi, eğim ve gölgeli rölyef verileri tek dönem olarak oluşturularak modele dahil edilmiştir. Eğim ve gölgeli rölyef verileri Harita Genel Müdürlüğü (HGM) tarafından elde edilen sayısal yükseklik modeli (SYM) ile üretilmiştir. Özellikle İstanbul'da mevcut kent alanları incelendiğinde %21'den büyük eğimlerde dahi kentleşme gözlemlendiği belirlenmiştir. Bu doğrultuda oluşturulan benzetim modelinde eğim eşik değeri İstanbul'un kentleşen en yüksek eğim değeri modelde %67 olarak ayarlanmıştır. Bölgeleme verisi kentsel büyümeye uygun olan ve uygun olmayan alanları tanımlamaktadır (Gigalopolis, 2020). Bölgeleme verisinde çalışma alanı içindeki su kütleleri kentleşmeye uygun olmayan alan olarak tanımlanarak diğer bölgelerde kentleşmeye uygun öngörü oluşturulmuştur.

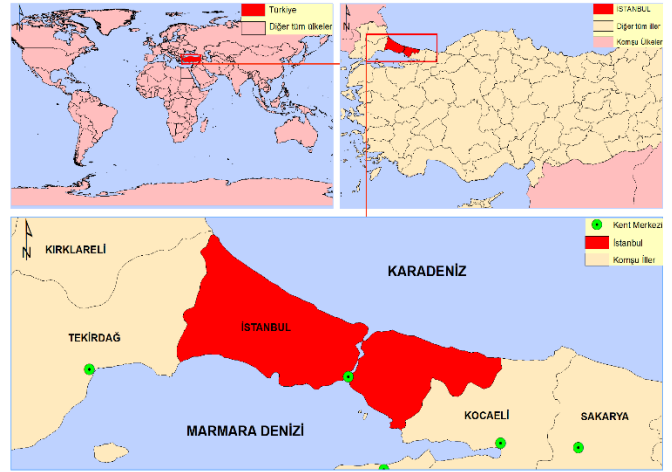
Hazırlanan bu çalışmada aşağıdaki soruların cevapları araştırılmıştır:

1. İstanbul'daki olası kentsel büyüme eğilimleri arazi örtüsü değişimlerini nasıl etkilemektedir?
2. Üretilen senaryoya göre 2018 ile 2040 yılları arasında kentsel büyüme oranı nasıl değişmektedir?
3. İstanbul'da 2040 yılında bölgenin arazi örtüsü nasıl değişecektir?

2. ÇALIŞMA ALANI

İstanbul, Türkiye'nin kuzeybatısında, Marmara kıyısı ve Boğaziçi boyunca, Haliç'i de çevreleyecek şekilde kurulmuştur. İstanbul kıtalararası bir kent olup, Avrupa'daki bölümüne Avrupa Yakası veya Rumeli Yakası, Asya'daki bölümüne ise Anadolu Yakası veya Asya Yakası denir. Batıdan Kırklareli ve Tekirdağ, doğudan Kocaeli ile komşu olan il, ortasından İstanbul Boğazı, güneyinden Marmara Denizi, kuzeyinden Karadeniz ile çevrelenmiştir (Şekil 1). Boğazdaki Fatih Sultan Mehmet, 15 Temmuz Şehitler ve Yavuz Sultan Selim Köprüleri kentin iki yakasını birbirine bağlamaktadır.

2000 ile 2018 yılları arasında nüfusu 10.018.735'den 15.067.724'e yükselerek %50'den fazla oranda artmıştır (TÜİK, 2020). Nüfus artışı kontrolsüz kentleşme, iklim, çevre gibi çeşitli problemlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Tamamlanan ve planlanan altyapı projeleri bölgeye olan ilgiyi daha da artırmıştır. Bu doğrultuda kentsel büyümenin tetiklediği arazi örtüsü değişimleri de artmıştır. Kentleşme hareketinin yoğunlaşması İstanbul'daki tarım ve orman arazilerini tehdit altına almıştır.



Şekil 1. İstanbul İli lokasyon haritası

3. YÖNTEM ve MATERYAL

3.1. Hücresel Otomat

Hücresel Otomat kavramı beş temel bileşenden oluşmaktadır. Bunlar; ızgara ağı, durum, komşuluk, dönüşüm kuralları ve zamandır (Benenson & Torrens, 2004). Hücreler birbirine bitişiklik gösteren en küçük ünitelerdir. Hücreler yan yana gelerek ızgara ağını oluşturmaktadır. Her bir hücrenin bir durumu vardır. Durum kümesine sonsuz sayıda durum tipi belirtilebilir. Zamana bağlı olarak komşu hücrelerin durumuna göre dönüşüm fonksiyonu hücre durumlarını değiştirmektedir. Kentsel modelleme tekniklerinde HO, kentsel alanlar gibi karmaşık ve dinamik doğal fenomeni modellemek için uygundur (Tobler, 1970).

3.2. SLEUTH Model

Kentsel Büyümenin modellenmesi için kullanılan SLEUTH Modeli araştırmalarda çok sık kullanılan ve kendini kanıtlamış bir modeldir. Model, hücresel otomat tabanlı çalışan C dili ile geliştirilmiş UNIX tabanlı bir yazılımdır. Açık kaynak bir yazılım olmasından dolayı araştırmacılar yerel araştırma alanlarına göre modeli zamanla geliştirmişlerdir. Modelin adı Slope (Eğim), Landcover (Arazi Örtüsü), Excluded (Bölgeleme), Urban (Kent), Transportation (Ulaşım) ve Hillshade (Gölgeli Rölyef) girdi verilerinin baş harflerinden oluşmaktadır.

SLEUTH modeli kendi içinde UGM(Urban Growth Model) ve LCD(Land Cover Deltatron) olarak iki alt modele ayrılmaktadır. UGM çekirdek parça olup, kentsel büyüme benzetimlerini oluşturmaktadır. LCD ise dilenirse UGM ile eşleşerek kentsel büyümenin tetiklediği arazi örtüsü değişikliklerini simüle etmektedir. Bu bağlamda LCD UGM ile bütünsel çalışmaktadır ve bağımsız değildir.

Modelin işlem süreci üç ana safhada gerçekleşmektedir. Bunlar; test, kalibrasyon ve kestirim aşamalarıdır. Test aşamasında modelin ihtiyaç duyduğu geçmiş yıllara ait verilerin model standartlarına ve veri kümesinin kendi içindeki bağıl uygunluğu sorgulanmaktadır. Başarılı olması durumunda kalibrasyon aşamasına geçilmektedir. Kalibrasyon aşaması da kendi içinde ilk (coarse), hassas (fine) ve son (final) olarak üç aşamalı yapılmaktadır. Kalibrasyon

aşamasında modelin büyüme kurallarının parametreleri tarihsel veriler aracılığı ile hesaplanmaktadır. 0 ila 100 arasındaki beş katsayı değeri her aşamada daraltılarak tekil değere indirgenmektedir (Gigalopolis, 2020). Olası tekil değerler 13 ölçüte göre BFC (Brute Force Calibration) yöntemi kullanılarak araştırılmaktadır. BFC ile model, çekirdek yıldan itibaren kontrol yıllarındaki mevcut durumu en küçük kareler yöntemi ile kıyaslamakta hesaplanmaktadır. Bu sayede model ile hesaplanan değerler arasındaki regresyon değerleri hesaplanarak, modelin doğruluğu da kontrol edilmiştir.

Bu çalışmada kalibrasyon yöntemi olarak OSM (Optimum SLEUTH Metric) kullanılmıştır. Dietzel ve Clarke tarafından geliştirilen yöntem, günümüzde kullanılan yöntemlerde en güçlüsü olarak kabul edilmektedir. Compare, Pop, Edges, Clusters, Slope, X-Mean ve Y-Mean ölçütlerinin denklem 1'deki gibi çarpımından elde edilen sonuç değerlerinin sıralanmasıyla katsayı aralıkları seçilmektedir (Dietzel & Clarke, 2007). OSM sonuç değeri 1'e yakın değer alması seçilen katsayı dizisinin alanı yüksek doğrulukla temsil ettiğini, 0'a yakın olması ise belirlenen katsayı dizisinin alanı temsilinin zayıf olduğunu göstermektedir (Dietzel & Clarke, 2007).

$$OSM = Compare * Pop * Edges * Clusters * Slope * X-mean * Y-mean \quad (1)$$

Büyüme döngüsü modelin temel birimidir (Gigalopolis, 2020). Döngüde modelde tanımlanmış büyüme kuralları mevcut hücrelerin her birine uygulanır (Clarke vd., 1997). Büyüme döngüsü benzetim başlangıç ile bitiş tarihi arasında fark kadar tekrar etmektedir (Silva & Clarke, 2002). Büyüme döngüsü adımı büyüme kurallarını kontrol eden parametreler için 0 ila 100 arasında tekil bir değer atandıktan sonra büyüme kuralları uygulanmaktadır. Model kurallarını uygulamasından sonra büyüme oranını kontrol eder. Büyüme oranı CRITICAL_HIGH ile CRITICAL_LOW değerleri arasında bir oran bulunmazsa model kendini düzeltme kuralını uygular (Silva & Clarke, 2002; Clarke vd, 1997).

Kentsel büyümenin benzetimi için büyüme katsayılarına bağlı olarak dört farklı büyüme kuralı uygulanmaktadır. Bu kurallar doğal, yeni yayılma merkezleri, çeper ve yol etkisi ile büyüme kurallarıdır (Gigalopolis, 2020). Bu büyüme kurallarını kontrol eden 5 farklı katsayı değeri vardır. Bunlar; saçılım (diffusion), ortaya çıkma (breed), eğim (slope), yol çekimi etkisi (road gravity), yayılım (spread) olarak isimlendirilir.

3.3. Girdi Verileri

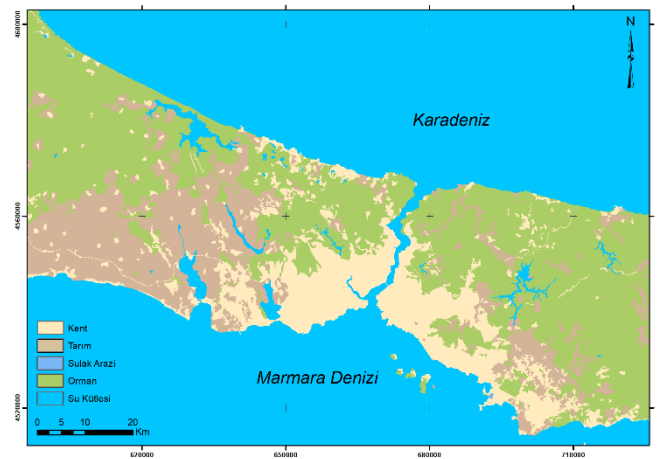
SLEUTH Modelin ihtiyaç duyduğu girdi verileri belli standartlara sahip olmalıdır. Bunlar; aynı çözünürlükte (sıra ve sütun sayıları eşit), aynı datum ve projeksiyonda, 8 bit radyometrik çözünürlükte ve uygun isimlendirme formatı koşullarıdır. Tüm verilerde sıfır, var olmayan veya boş bir değeri ifade ederken $0 < n < 256$ değerleri canlı veya mevcut olarak tanımlayabileceğimiz değerlerdir. $0 < n < 256$ değerine kadar bazı veri katmanlarına ağırlıklandırma sistemi uygulanabilir (Gigalopolis, 2020).

Veri kaynakları Tablo 1'de gösterildiği üzere, arazi örtüsü 2000 ve 2018 yıllarına ait CORINE arazi örtüsü verisinden, ulaşım verisi 2000, 2015 ve 2018 yıllarına ait Open Street Map servisinden ve gölge kabartma (hillshade) ve eğim verisi Harita Genel Müdürlüğünden (HGM) temin edilen sayısal yükseklik modeli (SYM) ile üretilmiştir. Modelin kalibrasyon aşaması için farklı çözünürlüklerde üç veri seti oluşturulmalıdır (Gigalopolis, 2020). Çalışmada 100 m, 200 m ve 400 m uzamsal çözünürlükte olmak üzere üç farklı veri seti oluşturulmuştur.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan veriler ve kaynakları

Veri Türü	Kaynak	Yıl
Arazi Kullanımı	CORINE	2000
		2018
Kent	CORINE	2000
		2006
		2012
		2018
Ulaşım	Open Street Map	2000
		2015
		2018
Eğim	HGM	-
Gölgeli Rölyef	HGM	-
Bölgeleme	İBB İdari Sınır	-

CORINE, Avrupa Çevre Ajansı(AÇA) tarafından belirlenen standartlar doğrultusunda arazi örtüsü/kullanımı sınıflandırmasına göre uydu görüntüleri üzerinden bilgisayar destekli görsel yorumlama metodu ile üretilen arazi kullanımı/örtüsü verisidir (AÇA, 2020). Proje, yaklaşık 5,8 milyon km²-lik alanda, Türkiye'nin de içinde bulunduğu 39 ülkede standart bir veritabanının oluşturulması amaçlanmaktadır (TOB, 2020). AÇA kriterleri ve sınıflama birimlerine göre uydu görüntüleri üzerinden arazinin izlenmesine yönelik arazi örtüsü/ arazi kullanımındaki değişiklikler uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla tespit edilmektedir. CORINE verileri üç farklı sınıflama seviyesinden servis edilmektedir (AÇA, 2020). Bu çalışmada kullanılan arazi örtüsü verileri 1. seviye (Kent, Tarım, Sulak Alanlar, Orman ve Su Kütlesi) düzeyinde kullanılmıştır. "Şekil 2" ve "Şekil 3" te arazi örtüsü verileri gösterilmiştir.



Şekil 2. 2000 yılına ait CORINE arazi örtüsü verisi



Şekil 3. 2018 yılına ait CORINE arazi örtüsü verisi

Arazi örtüsü sınıflarının 2000 ve 2018 yılları arasındaki dönüşüm oranları "Tablo 2" de sunulmuştur. Çalışma alanında sulak arazi miktarının alan geneline oranla çok az olduğu göze çarpmaktadır. Diğer yandan su kütlesi sınıfı deniz, göl ve yapay baraj gölleri kapsadığından mevsimsel etkiler haricinde pek fazla değişim gözlemlenmemesi nedeniyle özellikle orman, tarım ve kent sınıflarına odaklanılmıştır.

Tablo 2. 2000 ve 2018 yılları arasında arazi örtüsü değişim miktarları ve oranları.

Sınıf	2000(ha)	2018(ha)	%
Kent	110.470	137.029	24
Tarım	126.736	117.391	7
Sulak Arazi	91	153	68
Orman	285.630	269.112	6
Su Kütleleri	619.135	618.377	0,01

Kent verisi dört dönem olarak CORINE arazi örtüsü verisinden yerleşim alanlarının çıkarılması ile elde edilmiştir. 2000 ile 2018 yılları arasında kentsel kütle değişimi "Tablo 3" de sunulmuştur.

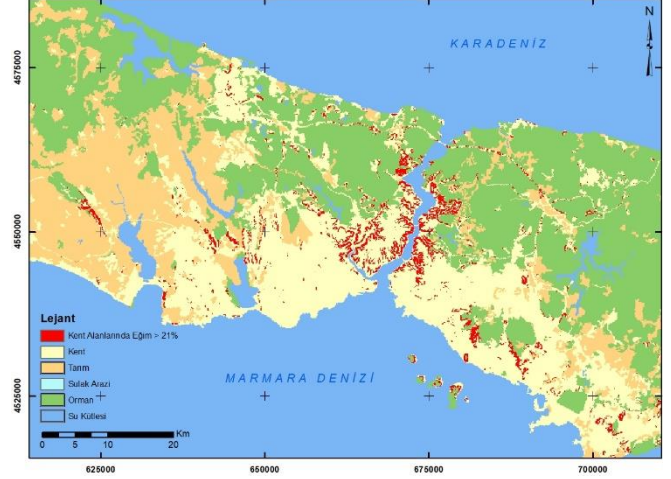
Tablo 3. Kentsel kütle değişimi

Yıl	Kent(ha)	%
2000	110.470	-
2006	120.741	9
2012	124.125	12
2018	137.029	24

Ulaşım verisi açık kaynak servis olan Open Street Map'ten elde edilmiştir. Ulaşım verisinde bölgedeki 1. Derece öneme sahip güzergahlar göz önünde bulundurularak, diğer güzergahlar veriye dahil edilmemiştir. Birinci derece güzergah; il yolları, devlet yolları ve uluslararası yollardan oluşturulmuştur. Ulaşım verisi 2000, 2015 ve 2018 tarihleri için hazırlanmıştır.

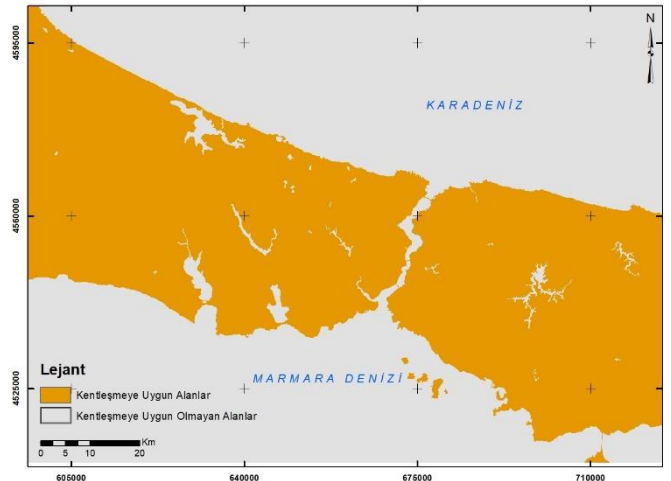
Kentsel büyüme için uygun alanın belirlenmesinde en temel değişkenlerden biri alanın topoğrafyasıdır. Düz bir alanda kentin büyümesi en kolay büyüme şeklidir. Eğim arttıkça alanlar daha az uygun olmaya başlamaktadır. Modelde eğim değeri derece olarak değil yüzde olarak ifade edilir. Bu nedenle eğim verisi 0 ile 100 arası değerleri kapsamaktadır. Büyümenin eğimden dolayı daha fazla ilerleyemeyeceği son noktayı senaryo dosyasındaki bir değişken olan CRITICAL_SLOPE belirler (Gigalopolis, 2020). İstanbul'da "Şekil 4" te görüleceği

üzere eğimi %21'den büyük yerlerde dahi kentleşme meydana geldiği için CRITICAL_SLOPE değeri %67'e ayarlanmıştır. Bu doğrultuda büyüme kuralları uygulanırken eğim faktörünün etkisinin ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Aşağıdaki "Şekil 4" te gösterildiği gibi kırmızı renkli pikseller %21'den yüksek eğim değerlerini göstermektedir.



Şekil 4. Eğimi %21'den büyük kentsel alanlar

Bölgeleme verisi kentsel büyümeye uygun olan ve uygun olmayan alanları tanımlamaktadır. Her bir piksel değeri, oluşturulan senaryoya bağlı olarak koruma düzeylerine göre, arazi kullanımı türlerine göre 0 ile 100 değerleri arasında belirli ağırlık değerleri verilmektedir. Değer, 100'e yaklaştıkça kentleşme dışı bırakılacak alanları ifade etmektedir. O'a yaklaştığında ise kentleşme olasılığı yüksek olan alanları temsil etmektedir (Gigalopolis, 2020). Bu doğrultuda çalışmada veri bölge genelinde kentleşmeye uygun öngörü ile hazırlanmıştır. Aşağıdaki "Şekil 5" te uygun yerler turuncu, uygun olmayan yerler gri renkte gösterilmiştir.



Şekil 5. Bölgeleme verisi

4. BULGULAR

İstanbul İlinin kentsel benzetim modeli için yapılan kalibrasyon işlemi sonuçlarına göre parametre değerleri belirlenmiştir. Bu parametreler kestirim aşamasında kullanılmıştır. Değerler incelendiğinde oluşturulan benzetim modelinde yol etkisi ile kentsel büyümenin

yoğun olduğu sonucu çıkmaktadır. Kalibrasyon aşamalarındaki aralıklar ve hesaplanan OSM değerlerine göre en yüksek üç katsayı değerleri “Tablo 4, 5 ve 6” da sunulmuştur.

Tablo 4. İlk (Coarse) kalibrasyon sonuçları.

Kat Sayılar	Başlangıç Aralıkları			OSM TOP 3		
	BAŞLANGIÇ	ADIM	BİTİŞ	1	2	3
Saçılım	0	25	100	25	25	25
Ortaya Çıkma	0	25	100	1	100	100
Yayılm	0	25	100	25	25	25
Eğim	0	25	100	75	75	75
Yol Çekimi	0	25	100	1	100	50

Tablo 5. Hassas (Fine) kalibrasyon sonuçları.

Kat Sayılar	Başlangıç Aralıkları			OSM TOP 3		
	BAŞLANGIÇ	ADIM	BİTİŞ	1	2	3
Saçılım	25	1	25	25	25	25
Ortaya Çıkma	1	25	100	1	1	26
Yayılm	25	1	25	25	25	25
Eğim	75	1	75	75	75	75
Yol Çekimi	0	25	100	76	51	1

Tablo 6. Son (Final) kalibrasyon sonuçları.

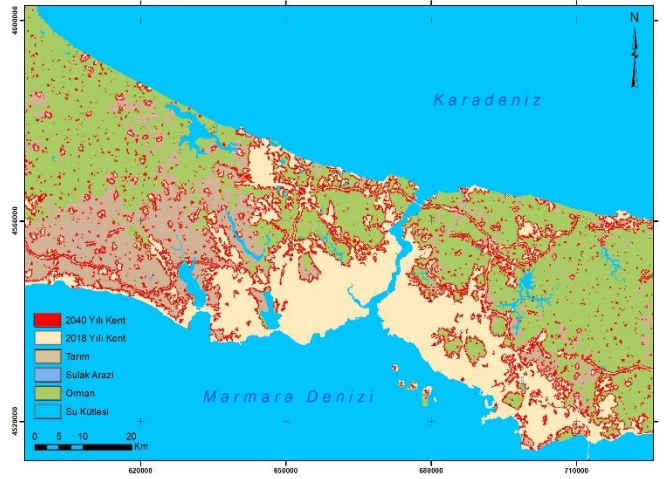
Kat Sayılar	Başlangıç Aralıkları			OSM TOP 3		
	BAŞLANGIÇ	ADIM	BİTİŞ	1	2	3
Saçılım	25	1	25	25	25	25
Ortaya Çıkma	1	5	26	21	26	16
Yayılm	25	1	25	25	25	25
Eğim	75	1	75	75	75	75
Yol Çekimi	1	15	76	61	1	31

Kalibrasyon işleminden sonra elde edilen katsayı değerleri “Tablo 7” ile sunulmuştur. Bu değerler İstanbul İli'nin kentsel büyüme benzetim modelinin oluşturulmasında kullanılmıştır.

Tablo 7. Hesaplanan katsayı değerleri.

Kat Sayı	EN UYGUN DEĞER
Saçılım	25
Ortaya Çıkma	21
Yayılm	25
Eğim	75
Yol Çekimi	61

Oluşturulan KBBM ile 2040 yılına ait olası arazi örtüsü değişimleri kestirilmiştir. Elde edilen arazi örtüsü haritası “Şekil 6” ile sunulmuştur. Haritada kırmızı alanlar 2018 ile 2040 yılına kadar olası kentleşme bölgelerini, krem rengine ait alanlar 2018 yılına ait mevcut kentleşmiş bölgeleri göstermektedir. Kentsel büyüme davranışı incelendiğinde büyümenin ağırlıklı olarak yol aksları boyunca olduğu gözlenmektedir. Bunun haricinde çeper(kenar) ve sıçramalı büyüme şekillerinin de olduğu belirlenmiştir. Bu bulgular İstanbul İlinde ağırlıklı olarak yol etkin olmak üzere 3 büyüme şeklinin kentsel büyümede etkin olduğu sonucu çıkmaktadır.



Şekil 6. 2040 yılına ait KBBM

2018'den 2040 yılları arasında değişim analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda birbirine dönüşen arazi örtüsü sınıflarının oranları hesaplanmıştır. Sonuçlar “Tablo 8” de sunulmuştur.

Tablo 8. Kentsel alanlara dönüşüm oranları.

Sınıf	2018-2040(ha)	%
Tarım	29.561	25,18
Sulak Alanlar	3	1,96
Orman	37.826	14,06
Su Kütlesi	0	0

Değişim analizi sonucunda 2040 yılına kadar İstanbul'da %24 oranında kentsel büyüme olasılığı tespit edilmiştir.

5. SONUÇLAR

İstanbul'daki hızlı nüfus artışı ve bunun getirdiği düzensiz kentleşme plansız arazi kullanımına neden olmuştur. Bu nedenle İstanbul metropolünün, büyüme politikalarının potansiyel etkilerini değerlendirmek için arazi kullanımlarını ve yerel yönetim kararlarını betimleyebilen bir kentsel büyüme modeline ihtiyaç duymaktadır. Çalışmada bağımsız, dinamik ve kentsel büyüme benzetiminin temel şartlarına uyma özellikleri nedeniyle HO tabanlı SLEUTH modeli İstanbul kent gelişiminin modellenmesinde tercih edilmiştir.

Doğru KBBM kurabilmek için yerel alanın tarihsel kentleşme karakteristiklerinin doğru bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir. Yapılan analiz sonucunda bölgenin süregelen kentsel büyüme karakteristiğine yönelik bir senaryo oluşturulmuştur. Bölgede %21'den büyük eğimlerde dahi kentleşme gözlenmesi üzere eğim faktörü oluşturulan senaryoda göz önünde bulundurulmamıştır. Böylece bölge genelinde kentleşmeye uygun bir öngörü ile benzetim modeli oluşturulmuştur.

2000 ile 2018 yılları arasında kentsel büyüme %24 oranında artmıştır. KBBM sonucuna göre 2018 - 2040 yılları arasında olası kentsel büyüme oranı da %24 olarak hesaplanmıştır. Geçmiş ve gelecek kentsel büyüme oranları eşit hesaplanmıştır. Bu sonuç oluşturulan senaryonun bölgede gerçekçi sonuçlar ürettiğini göstermektedir.

Oluşturulan benzetim modelinin sonuçlarına göre 2018 ile 2040 yılları arasında kentsel alanlar 67.390 hektar boyutunda artmıştır. Bu miktarın 29.561 hektarı tarım arazilerinden, 3 hektarı sulak alanlardan ve 37.826 hektarı ise orman niteliğindeki arazilerden dönüşmüştür. Bu nedenle orman ve tarım arazilerinin korunup korunmayacağı alınacak planlama ve yerel yönetim kararları doğrudan etkileyecektir.

Büyümeyi kontrol altına alabilecek politikalar geliştirilirken yasa yapıcılar, kentsel büyüme benzetim modellerini bir öngörü olarak kullanabilirler. İstanbul metropolünün dinamik ve karmaşık arazi örtüsü değişimlerini tetikleyen altyapı projelerinin olası etkilerini değerlendirebilmek için alternatif senaryolar altında benzetim modelleri üretilmelidir.

KAYNAKÇA

- AÇA (2016). Urban Sprawl in Europe: Joint EEA-FOEN.
- AÇA (2020). CORINE Land Cover. Avrupa Çevre Ajansı. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>
- Angel S, Parent J, Civco D & Blei A (2011). Making Room for a Planet of Cities Making Room for a Planet of Cities. *Lincoln Institute of Land Policy*, ISBN 978-1-55844.
- Ayazlı I E (2011). Simulation Model of Urban Driven By Transportation Networks: 3rd Bosphorus Bridge Example. *Yildiz Technical University*.
- Ayazlı I E, Batuk F & Kleinschmit B (2010). Simulating landuse changes driven by a 3rd bosphorus bridge. *ASPRS/CaGIS 2010 Fall Specialty Conference*, November 15–19, 2010, Orlando, Florida.
- Ayazli, I. E., Kilic, F., & Demir, H. (2014). A simulation model of urban growth driven by the bosphorus bridges. In *Information Fusion and Geographic Information Systems (IF AND GIS 2013)*, Springer, 237-248.
- Ayazlı I E, Kilic F, Lauf S, Demir H & Kleinschmit B (2015). Simulating urban growth driven by transportation networks: A case study of the Istanbul third bridge. *Land Use Policy*, 49, 332–340.
- Batty M (2008). The Size, Scale, and Shape of Cities. *Science (New York, N.Y.)*, 319, 769–771.
- Batty M (2009). Urban Modeling. İçinde *International Encyclopedia of Human Geography*, 51–58.
- Benenson I & Torrens P (2004). *Geosimulation: Automata-based modeling of urban phenomena*. John Wiley & Sons.
- Bihamta N, Soffianian A, Fakheran S & Gholamalifard, M. (2015). Using the SLEUTH Urban Growth Model to Simulate Future Urban Expansion of the Isfahan Metropolitan Area, Iran. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 43(2), 407–414.
- BM. (2019). World Urbanization Prospects: *The 2018 Revision*. <https://doi.org/10.18356/b9e995fe-en>
- Candau J & Clarke K C (2000). Probabilistic Land Cover Transition Modeling Using Deltatrans. *2000 URISA Annual Conference, Orlando*.
- Chaudhuri G & Clarke K C (2013). The SLEUTH Land Use Change Model : A Review. *The International Journal of Environmental Resources Research*, 1(1), 88–104.
- Cheng J (2003). Modelling Spatial and Temporal Urban Growth.
- Clarke K & Gaydos L (1998). Loose-coupling a cellular automaton model and GIS: long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore. *International Journal of Geographical Information Science*, 12(7), 699–714.
- Clarke K Hoppen S & Gaydos L (1997). A Self-Modifying Cellular Automaton Model of Historical Urbanization in the San Francisco Bay Area. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24(2), 247–261.
- Clewlou L (1989). Cellular automata and dynamical systems.
- Dennunzio A, Formenti E & Kurka P (2012). Cellular Automata Dynamical Systems.
- Dezhkam S, Jabbarian Amiri B, Darvishsefat A & Sakieh Y (2013). Simulating the urban growth dimensions and scenario prediction through sleuth model: a case study of Rasht County, Guilan, Iran. *GeoJournal*, 79.
- Di Lena P & Margara L (2008). Computational complexity of dynamical systems: The case of cellular automata. *Inf. Comput.*, 206, 1104–1116.
- Dietzel C & Clarke K (2007). Toward Optimal Calibration of the SLEUTH Land Use Change Model. *T. GIS*, 11, 29–45.
- Dyson T (2011). The Role of the Demographic Transition in the Process of Urbanization. *Population and Development Review*, 37(1), 34–54.
- Foot D (2017). Linear urban models. *Routledge*, ISBN: 9781315105307 137–173.
- Gigalopolis (2020). Project Gigalopolis Web Page. USGS. <http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/>
- Goldstein N C, Candau J T & Clarke K C (2004). Approaches to simulating the “March of Bricks and Mortar”. *Computers, Environment and Urban Systems*, 28(1), 125–147.
- Han H, Hwang Y, Ha S & byung sik, K. (2015). Modeling Future Land Use Scenarios in South Korea: Applying the IPCC Special Report on Emissions Scenarios and the SLEUTH Model on a Local Scale. *Environmental management*, 55.
- Herold M Goldstein N C & Clarke K C (2003). The spatiotemporal form of urban growth: measurement, analysis and modeling. *Remote Sensing of Environment*, 86(3), 286–302.
- Jantz C A, Goetz S J & Shelley M K (2004). Using the Sleuth Urban Growth Model to Simulate the Impacts of Future Policy Scenarios on Urban Land Use in the Baltimore-Washington Metropolitan Area. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 31(2), 251–271.
- Mestav Sarica G, Zhu T & Pan T C (2020). Spatio-temporal dynamics in seismic exposure of Asian megacities: Past, present and future. *Environmental Research Letters*.
- Nigussie T A & Altunkaynak A (2017a). Modeling the effects of project canal istanbul on the urban extent and hydrological response of Ayamama Watershed, Istanbul. *World Environmental and Water Resources Congress 2017: Watershed Management, Irrigation and Drainage, and Water Resources Planning and Management - Selected Papers from*

- the World Environmental and Water Resources Congress* 2017.
<https://doi.org/10.1061/9780784480601.001>
- Nigussie T A & Altunkaynak A (2017b). Modeling Urbanization of Istanbul under Different Scenarios Using SLEUTH Urban Growth Model. *Journal of Urban Planning and Development*. 143(2), 04016037 1-13
- Saadani, S., Laajaj, R., Maanan, M., Rhinane, H., & Aaroud, A. (2020). Simulating spatial-temporal urban growth of a Moroccan metropolitan using CA-Markov model. *Spatial Information Research*, 28, 609-621.
- Silva E A & Clarke K C (2005). Complexity, emergence and cellular urban models: lessons learned from applying SLEUTH to two Portuguese metropolitan areas. *European Planning Studies*, 13(1), 93-115.
- Silva E & Clarke K (2002). Calibration of the SLEUTH urban growth model for Lisbon and Porto, Portugal. *Computers, Environment and Urban Systems*, 26, 525-552.
- Siri J G, Brown Z & Spielauer M (2010). Simulation modeling of the long-term evolution of local malaria transmission and acquired immunity in the context of urban growth and urban-rural travel. *Malaria Journal*, 9(2), 47.
- Stecklov, G. (2018). *The Components of Urban Growth in Developing Countries*.
<https://doi.org/10.31235/osf.io/4zk5b>
- TOB (2020). CORINE Projesi. Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı.
<https://corine.tarimorman.gov.tr/corineportal/nedir.html>
- Tobler, W. R. (1970). A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region. *Economic Geography*, 46, 234-240.
- Torrens P M (2000). How cellular models of urban systems Work (1. Theory). *Torrens, P.M. (2000) How cellular models of urban systems work (1. theory). Working paper. CASA Working Papers (28). Centre for Advanced Spatial Analysis (UCL), London, UK.*
- TÜİK (2020). Türkiye İstatistik Kurumu Web Sayfası.
<https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr>
- Verburg P H, van de Steeg J, Veldkamp A & Willemen, L. (2009). From land cover change to land function dynamics: A major challenge to improve land characterization. *Journal of Environmental Management*. 90(3), 1327-1335.
- Vliet J van, White R & Dragicevic S (2009). Modeling urban growth using a variable grid cellular automaton. *Computers, Environment and Urban Systems*, 33(1), 35-43.
- White R & Engelen G (2000). High-resolution integrated modelling of the spatial dynamics of urban and regional systems. *Computers, Environment and Urban Systems*, 24(5), 383-400.
- Xie Y, Ma A & Wang H (2010). Lanzhou urban growth prediction based on Cellular Automata. *Çinde 2010 18th International Conference on Geoinformatics*, 1-5.
- Yi W & He B (2009). Applying SLEUTH for simulating urban expansion of Beijing. *Çinde Proceedings - 2009 International Forum on Information Technology and Applications, IFITA 2009*.
- Yiğit A & Hayır-kanat M (2017). İstanbul Şehrinde Ağırlıklı Nüfus Merkezinin Değişimi ve Nedenleri: 1990-2010 Dönemi (C. 6, ss. 114-123). Şahin ORUÇ.
- Zhang Z, Jiang, L, Peng, R & Yin Y (2010). The spatiotemporal change of urban form in Nanjing, China: Based on SLEUTH and spatial metrics analysis. *2010 18th International Conference on Geoinformatics*, 1-5.



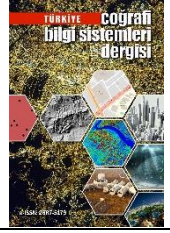
© Author(s) 2021. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/tucbis>

e-ISSN 2687-5179



Artırılmış gerçeklik teknolojisi ile iç mekân navigasyonu

Salih Hamdi Çalık¹, Fatih Gülgen²

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

²Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler:

Navigasyon
AG
GNSS
İzleme
Kapalı mekân

ÖZ

İç ve dış mekânın modellenmesi ve oluşturulan modellere göre navigasyon uygulamalarının tasarlanması harita mühendislerinin ilgilendiği özel çalışma alanlarından biridir. Akıllı cep telefonu kullanımındaki artışla birlikte nasıl gidilir sorusuna cevap veren navigasyon kavramı insan hayatının vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Uydu teknolojilerine bağlı küresel navigasyon sistemleri dış mekân uygulamalarında kullanıcı konumunun takibi için geçerli çözümler sunarken, iç mekânda sinyal kesintilerinden dolayı uygun bir çözüm üretmez. İç mekânda kullanıcıların konum bilgilerini elde etmek ve izleme yapabilmek için geliştirilen yöntemler ek donanım gerektirir ve yüksek maliyetlidir. Bu çalışma, akıllı cep telefonlarında kullanılabilen artırılmış gerçeklik teknolojisi ile kullanıcı konum takibi için ek donanım gerektirmeyen bir iç mekân navigasyon uygulaması geliştirmeyi hedeflemiştir. Unity 3D platformunda, Google ARCore yazılım geliştirme aracı ve C# programlama dili ile geliştirilen uygulamanın kullanılabilirliği 100 m koridor uzunluğu olan kapalı bir mekânda test edilmiştir. Yapılan doğruluk analizi uygulamanın 1 m'nin altında konum doğruluğuna ulaşabildiğini göstermiştir.

Indoor navigation application using augmented reality technology

Keywords:

Navigasyon
AR
GNSS
Tracking
Indoor

ABSTRACT

Modelling indoor and outdoor areas and designing navigation applications based on the created models is one of the special working areas of interest for geomatics engineers. The concept of navigation, which answers the question of how to get there, has now become an indispensable part of human life with the increase in the use of smartphones. While the Global Navigation Satellite System (GNSS) provides sufficient solutions for tracking the location of users in outdoor navigation applications, it cannot provide a suitable solution due to signal interruptions in indoor areas. The methods developed to obtain and track the location information of the users indoors require additional hardware or equipment and are high cost. This study aims to develop an indoor navigation application that does not require additional equipment to track user with the augmented reality technology used in smart mobile phones. On the Unity 3D platform, the usability of the application developed with the Google ARCore software development kit and C # programming language was tested in an indoor area with a corridor length of 100 m. The accuracy analysis has shown that the application can reach position accuracy below 1 m.

*Sorumlu Yazar

(salihcalik95@gmail.com) ORCID ID 0000 – 0002 – 6451 – 1147
(fgulgen@yildiz.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0002 – 8754 – 9017

Kaynak Göster:

Çalık S H &Gülgen F (2021). Artırılmış gerçeklik teknolojisi ile iç mekân navigasyonu. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 3(1), 48-52

1. GİRİŞ

İnsanlar zamanlarının çoğunu üniversite binaları, alışveriş merkezleri ya da hastaneler gibi kapalı mekânlarda geçirir. İç mekânların karmaşıklığı, hedeflerine ulaşmak zorunda olan kişilerin navigasyon araçlarını kullanmayı tercih etmesine neden olur (Wang vd., 2009). Dil ve kültürden bağımsız olarak çoğu insan tarafından anlaşılabilen haritalar ve harita tabanlı navigasyon uygulamaları, kullanıcıların önceden bilmedikleri bir mekânda yönlendirilmelerini sağlar (Mistry vd., 2008).

Çoğu navigasyon uygulaması hem kullanıcı hem de hedef konumları belirlemek için küresel navigasyon uydu sistemini (GNSS) kullanır. GNSS, dış mekânlarda geçerli çözümler sunarken, iç mekânda sinyallerinin zayıflaması ya da bulunamaması nedeniyle iç mekân konumlandırma ve navigasyon uygulamaları için kullanışlı değildir (Kim vd., 2004; Farid vd., 2013; Dardari vd., 2015; Rehman & Cao, 2016). İç mekân navigasyon uygulamaları cihaz konumlarını elde etmek için kablosuz bağlantı (wi-fi), kablosuz yerel alan ağı (WLAN), bluetooth (BLE), radyo frekansı (RFID), ultra geniş band (UWB), atalet sensörleri (inertial sensors), bilgisayarla görme (computer vision) gibi farklı teknikler ve teknolojiler kullanır (Werner vd., 2001; Liu vd., 2007; DiVerdi & Höllerer, 2008; Dardari vd., 2015; Chen vd., 2017). Konum belirlemek için bu teknolojilerin sadece birinden yararlanan uygulamaların dışında günümüzde birden çok teknolojinin bir arada kullanıldığı hibrit sistemler de sıklıkla tercih edilmektedir.

Hibrit tabanlı teknolojiler, bireysel yöntemlerin kısıtlılıklarını elimine ederek, yöntemlerin avantajlı olduğu alanlarda kullanılmasını amaçlamaktadır (Schilling, 2008). Google firması tarafından artırılmış gerçeklik (AG) uygulama geliştiricileri için üretilen ARCore yazılım geliştirme aracı, hibrit tabanlı konum takibi yapan teknolojilerin bir örneğidir (Glover, 2018). ARCore; Unity, Unreal, Android gibi birçok yazılım geliştirme platformunda uygulama oluşturulmasına imkân tanır. Sahip olduğu hareket izleme, çevresel anlama ve ışık tahmini gibi özellikleri ile AG uygulamaları için destek sağlamaktadır. ARCore hareket izleme özelliği ile mobil cihazların gerçek ortama göre göreceli konumunu hesaplayabilir, çevresel anlama özelliği duvarlar ve zeminler gibi düzlemlerin tespitini yapar. Işık tahmini özelliği ise gerçek ortama ait aydınlatma bilgisini kamera görüntüsünden algılayarak sanal nesnelerin gerçek ortamla uyumlu görünmesini sağlar.

İç mekân navigasyonu üzerine yapılan çalışmalar, temel olarak konum takip doğruluğunu artırmaya yöneliktir (Ioan vd., 2011; Emilsson vd., 2012; ; Kriz vd., 2016; Li vd., 2017; Neges vd., 2017). Konum doğruluğu mobil cihazlara eklenen farklı donanımları kullanan hibrit yöntemler kullanılarak geliştirilmektedir (Koyun & Cankaya, 2018; Li vd., 2015). Konumun kesintisiz olarak izlenebilmesinin yanında uygulamaların kullanıcı dostu bir arayüz tasarısına sahip olması da önemlidir (May vd., 2003; Rehman & Cao, 2016).

Tüm navigasyon uygulamaları, kullanıcıları yönlendirmek için bir harita altlığına ihtiyaç duyar. Bu altlık harita, kullanıcıların gerçek dünyadaki nesnelere harita sembolleriyle eşleştirmesini sağlar. Eşleştirme

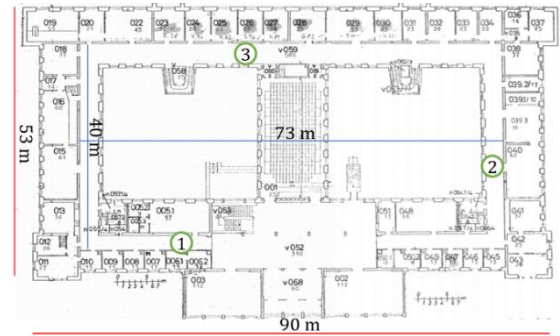
süreci bazen özellikle de daha önce harita veya harita tabanlı bir navigasyon uygulaması kullanmamış harita kullanıcıları için zorlu bir görevdir. Günümüzde AG teknolojisi, bu zorluğun üstesinden gelerek kullanıcı ve harita arayüzü arasındaki etkileşimi artırır (Tatzgern vd., 2011). AG sistemleri, bilgisayar ortamında üretilen bilgilerle gerçek ortamı zenginleştirir, kullanıcıların çevrelerine ilişkin görsel ve işitsel algılarını genişletir (Patron, 2005; Huey vd., 2011) ve haritalar ile gerçek ortam arasında bir bağlantı kurmasına gerek duymadan etkileşimli olarak hareket etmesine olanak sağlar (Vogl, 2009; Guzmán Guzmán, 2014).

Bu çalışmada, iç mekân navigasyonu için günümüz teknolojilerine uygun temel donanımlara sahip akıllı telefonlar için geliştirilen bir uygulama üzerinden AG teknolojisi kullanımının önemi vurgulanmış ve konum takip duyarlılığı analiz edilmiştir. Aynı zamanda çalışma AG'nin kapalı mekânda bir başlangıç noktasından hedefe doğru yola çıkan kullanıcıya sağladığı olanakları ve hedefe ulaşma doğruluğunu ortaya koymaktadır.

2. YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanı

Bu çalışma Karlsruhe Teknoloji Enstitüsü'nün Güney Kampüsünde bulunan Mimarlık Fakültesi giriş katı için geliştirilmiştir (Şekil 1). Bu iç mekân akademisyen ve seminer odaları, derslikler, fakülte kütüphanesi ve bilgisayar laboratuvarları gibi toplam 47 ayrı bölümden oluşmaktadır. Mekânın uzunluğu 90 m ve genişliği 53 m'dir. Yürünebilir uzun koridorlar 73 m ve 40 m olup toplam yürünebilir uzunluk 220 m'dir. Şekil 1'de gösterilen 1, 2 ve 3 numaralı koridorların genişlikleri sırasıyla 2,50, 3,00 ve 3,50 m'dir.



Şekil 1. Çalışma alanının planı

2.2. Donanım

Kapalı mekân navigasyonunda kullanılacak bir akıllı cep telefonunun en önemli donanımı, diğer donanımlar arasındaki bağlantıyı sağlayan işlemcisidir. Cihazın bulunan konumu algılayabilmesi için genellikle telefonun kamerası kullanılır. Gerçek ortamdan alınan görsel bilgiler ve sensör verileri birleştirilerek kullanıcının konumu ve yönelimleri izlenebilir. Ekran, kullanıcı ve uygulama arasındaki iletişimi sağlar. Google ARCore'u kullanmak için cihazın Android işletim sisteminin 7.0 ve daha yeni sürümleri çalıştırıyor olması gerekir.

Bu çalışmada test cihazı olarak kullanılan akıllı cep telefonu Samsung Galaxy Note 9'dur. Bu cihazın teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Samsung Galaxy Note 9'un işlemci, RAM, kamera, sensör ve işletim sistemi sürümü gibi teknik özellikleri, hem kullanıcıların konumlarını ve yönlerini izlemede hem de yardımcı kılavuz oklarını işleme ve görüntülemeye kullanışlı ve etkilidir.

Tablo 1. Samsung Galaxy Note 9 teknik özellikleri

İşlemci	Samsung Exynos 9810
Bellek	6 GB RAM
Kamera	12 MP, f/1.5-2.4, 26mm
Sensörler	İvmeölçer, Jiroskop, Pusula, Barometre
Ekran Boyutu ve Çözünürlüğü	6.4" - 1440x2960
İşletim Sistemi	Android 8.1

2.3. Yazılım

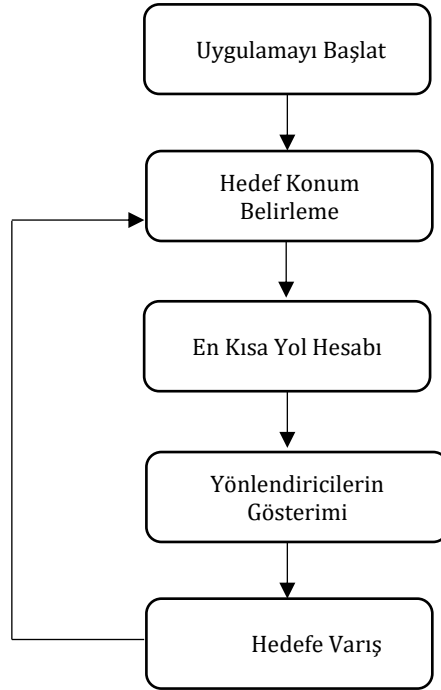
Bu çalışmada, altlık harita ve temel veri olarak çalışma alanına ait kat planı kullanılmıştır. İlk olarak kat planı Unity 3D uygulama geliştirme motoruna aktarılmıştır. Daha sonra kullanıcıların harita üzerindeki konumlarının (konum ve yönelim) takibinin yapılabilmesi için bir işaretleyici belirlenmiştir. Google AG yazılım geliştirme aracı ARCore içinde yer alan eş zamanlı konum belirleme ve haritalama (SLAM) adı verilen bir algoritma kullanılarak kullanıcıların iç mekânda takibi yapılmıştır. Bu algoritma mobil cihazın kamerası ile görsel özellikleri ilgi noktaları olarak algılar. Ardından bu ilgi noktalarını mobil cihazda meydana gelen konum değişikliklerinin belirlenmesinde kullanır. ARCore, görsel bilginin yanı sıra mobil cihazlarda yer alan atalet ölçüm sistemi (IMU) sensörlerini de kullanır. Bilgisayarla görme ve sensör tabanlı izleme yöntemlerinin bir arada kullanılması hibrit tabanlı bir izleme yöntemi olmasını sağlar. ARCore'dan edinilen konum ve yönelim bilgileri kullanılarak altlık harita üzerinde kullanıcı konumunu gösteren işaretleyici yeri güncellenir. Bu bağlantı C# yazılım dili kullanılarak geliştirilen kodlar ile yapılmıştır. Başlangıç noktası ile hedef noktası arasındaki en kısa yol ise A Star Search algoritmasına dayanan Unity eklentisi ve C# yazılım dili kullanılarak hesaplanmıştır.

2.4. Uygulama Arayüzü

Uygulamanın arayüz tasarımı Unity 3D geliştirme motoru ve bu platform tarafından desteklenen C# programlama dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Unity 3D, oyunlar ve diğer etkileşimli 3B içerikler oluşturmak için zengin kullanıma ve birçok kütüphane desteğine sahip Unity Technologies firması tarafından üretilmiş bir geliştirme motorudur. Unity'de temel AG işlevleri etkinleştirilerek AG uygulamaları oluşturulabilmektedir. Hibrit bir platforma sahip olan Unity; Android, IOS ve Windows gibi farklı platformlarda geliştirilen uygulamalar için AG yönlendiricileri üretilebilmektedir.

Geliştirilen AG tabanlı iç mekân navigasyon uygulamasının çalışma prensibi Şekil 2'de gösterilmektedir. Arayüz tasarımı yapılırken

kullanıcıların en rahat ve en kolay şekilde kullanabilmeleri ön planda tutulmuştur. Bu nedenle, uygulamada kullanıcıların gitmek istedikleri konumu seçip bu seçimi silebilecekleri sadece iki buton mevcuttur. Ayrıca, kullanıcıların kat planı üzerindeki konumlarını takip edebilecekleri mini bir harita vardır (Şekil 3a). Kullanıcı hedef noktayı belirledikten sonra en kısa yol hesaplanır ve kullanıcının kat planı üzerinde gideceği yol gösterilir. Bu ekranın yanı sıra, kullanıcıları yönlendirmede ana unsur olarak oluşturulan yönlendirici ok, AG teknolojisi kullanılarak kullanıcıların kamera görüntüleri üzerinde görüntülenmektedir (Şekil 3b). Yönlendirici ok kullanıcıların gerçek ortam ile uygulama arasında bağlantı kurmasını kolaylaştırır.



Şekil 2. Uygulama iş akışı diyagramı



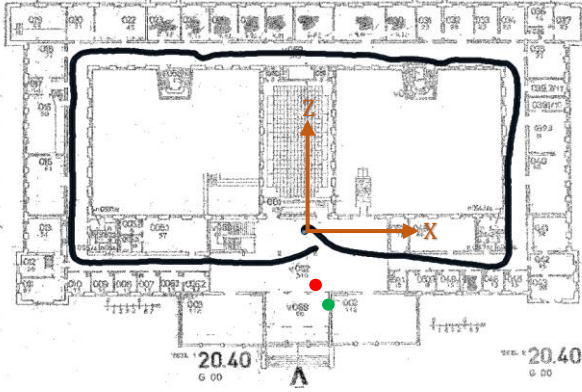
Şekil 3. a) Kullanıcı başlangıç arayüzü ve b) yönlendirme arayüzü

3. BULGULAR

Geliştirilen sistemi değerlendirmek için, belirli bir sabit noktadan başlayan ve tekrar aynı noktaya dönen luplar oluşturulmuştur. Koridorların tamamını kapsayan

en uzun lup Şekil 4'te görülmektedir. Burada yeşil nokta başlangıç konumunu, kırmızı nokta ise navigasyon sonucu uygulamanın hesapladığı başlangıç noktasının konumunu göstermektedir.

Bu rotanın dışında farklı navigasyon mesafelerine sahip dört farklı rota daha oluşturulmuştur. Toplam beş rota üzerinde beş ayrı yürüyüş gerçekleştirilmiştir. İzleme süreçlerinin sonunda uygulama tarafından hesaplanan başlangıç noktasının konumu (X_i, Z_i) ile gerçek konum değeri (X_g, Z_g) karşılaştırılarak konum doğrulukları (σ_{gi}) formül 1'e göre hesaplanmıştır (Tablo 2).



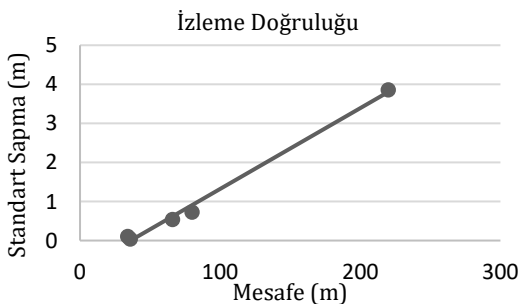
Şekil 4. Çalışma alanını kapsayan yürümenin kat planı üzerinde gösterimi

$$\sigma_{gi} = \sqrt{(X_i - X_g)^2 + (Z_i - Z_g)^2} \quad (1)$$

Tablo 2. Navigasyon mesafesi ve konum doğruluğu arasındaki ilişki

Navigasyon Mesafesi (m)	Konum Doğruluğu (m)
220	3.86
80	0.73
66	0.55
36	0.04
34	0.11

Tablo 2'ye göre 220 m'lik mesafe için 3,86 m'lik bir hata meydana geldiği görülmektedir. Ek ekipmana ihtiyaç duymayan kısa navigasyon mesafelerinde ise elde edilen konum doğrulukları 1 m'nin altındadır. Navigasyon mesafesi ve konum doğrulukları kullanılarak oluşturulan regresyon eğrisi, Şekil 5'te gösterilmektedir. Bu eğri, uygulamanın konum doğruluğunun, navigasyon mesafesi yaklaşık 100 m olana kadar bir metrenin altında kaldığını göstermektedir.



Şekil 5. İzleme doğruluğu

4. SONUÇLAR

AG teknolojisi, sanal nesnelerin gerçek ortamda eş zamanlı olarak görüntülenmesini sağlar. Navigasyon uygulamalarında AG kullanıcıların yönlendirilmesini sağlar. Günümüzde AG ile iç mekân navigasyon uygulamalarının bir arada yer aldığı çalışmalar popüler konular arasında yer almaktadır. Diğer taraftan ülkemizde bu konu üzerine yapılan akademik çalışmalar yeterli olgunluğa ulaşmamıştır. Bu çalışmada AG teknolojisini kullanan, günümüz teknolojisine uygun donanımına sahip bir mobil cihaz için iç mekân navigasyon uygulaması geliştirilmiştir. Uygulamanın geliştirildiği çalışma alanı Karlsruhe Teknoloji Enstitüsü Mimarlık Fakültesi giriş katı olarak seçilmiştir. Buna karşın gerçekleştirilen uygulama tek bir kat için hazırlanmıştır. Uygulamanın farklı katlar için geliştirilebilmesi için barometre sensör verilerinin sisteme entegre edilmesi düşünülebilir.

Geliştirilen mevcut uygulamada kullanıcı konum takibi için telefon sensörleri ve bilgisayarla görme teknolojisinin birlikte çalıştığı hibrit tabanlı bir izleme yöntemi kullanılmıştır. İzleme yönteminin doğruluğunu belirlemek için farklı navigasyon mesafelerinden kaynaklanan konum doğrulukları hesabını içeren bir doğruluk analizi yapılmıştır. Bu analiz sistemin, 100 m'ye kadarki mesafelerde konum doğruluğunun 1 m'nin altında olduğunu göstermiştir. Çalışma bölgesinin tamamını kapsayan 220 m için doğruluğunun düştüğü anlaşılmıştır. Bu sonucun temel nedenlerinden biri, bina içindeki koridorların bazı bölümlerinde zemindeki desenlerin aynı şekilde devam etmesi ve uzun beyaz duvarların bulunmasıdır. Bu alanlarda konum hesaplanması için yeterli ilgi noktası tespit edilemediğinden konum takibinin zaman zaman durduğu gözlemlenmiştir. Doğruluğu düşüren diğer neden, telefon sensörlerinin uzun mesafeli takip sırasındaki sürüklenme etkisidir. Sürüklenme etkilerini giderebilmek ve doğruluğu artırabilmek için sistem tarafından izlenen konum bilgisi, konum doğruluğunun düştüğü 100 m'de bir işaretçiler kullanılarak güncellenebilir.

Doğruluk analizi sonucuna göre kullanıcıların ek ekipmana ihtiyaç duymadan takip edilebileceği sonucuna varılmıştır. Ancak, test alanının değişmesi ve ortamda algılanabilir ilgi noktasının değişmesi ile doğruluk analizi sonuçlarının değişmesi mümkündür. Bu kapsamda gelecek çalışmalarımızda daha geniş bir veri seti kullanılması ve farklı bir mekânda sistemin performansının değerlendirilmesi planlanmaktadır. Ayrıca gezinme süresi, kullanım kolaylığı ve kullanıcı memnuniyeti dahil olmak üzere kullanıcı-uygulama performans ölçümlerinin değerlendirilmesi dikkate alınarak, AG teknolojisinin navigasyon uygulamalarına katkısı ayrıntılı bir şekilde araştırılacaktır. Mobil cihazlarda yer alan sensörlerin veya mobil cihazlara ek sensörlerin entegrasyonu da gelecek çalışmalarımız kapsamında ele alınacaktır.

BİLGİLENDİRME/TEŞEKKÜR

Bu makale, yazarlar tarafından 1st Intercontinental Geoinformation Days (IGD) adlı kongrede, 25-26 Kasım 2020 tarihinde Mersin (Türkiye) 'de sunulmuştur. Bizimle deneyimlerini ve çalışma alanına ait verileri paylaştığı için Dr.-Ing. Sven Wursthorn'a teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- Chen A T Y, Fan J, Biglari-Abhari M, Kevin, I & Wang, K (2017). A computationally efficient pipeline for camera-based indoor person tracking. *International Conference on Image and Vision Computing New Zealand (IVCNZ)*, 1-6, Christchurch, New Zealand.
- Dardari D, Closas P & Djurić P M (2015). Indoor tracking: Theory, methods, and technologies. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 64(4), 1263-1278.
- DiVerdi S & Höllerer T (2008). Heads up and camera down: A vision-based tracking modality for mobile mixed reality. *IEEE Transactions on visualization and computer graphics*, 14(3), 500-512.
- Emilsson E & Rydell J (2012). Sensor fusion for improved indoor navigation. In *Electro-Optical Remote Sensing, Photonic Technologies, and Applications VI* (Vol. 8542, p. 85420M). International Society for Optics and Photonics.
- Farid Z, Nordin R & Ismail M (2013). Recent advances in wireless indoor localization techniques and system. *Journal of Computer Networks and Communications*, 1-12, <https://doi.org/10.1155/2013/185138>.
- Glover J (2018). Unity 2018 augmented reality projects: build four immersive and fun AR applications using ARKit, ARCore, and Vuforia. *Packt Publishing Ltd*.
- Guzmán Guzmán, J D (2014). Augmented Reality user interface analysis in mobile devices. *MS Thesis*, Polytechnic University of Catalonia, Barcelona.
- Huey L C, Sebastian P & Drieberg M (2011). Augmented Reality based indoor positioning navigation tool. In *IEEE Conference on Open Systems*, 256-260, Langkawi, Malaysia.
- Iozan L I, Collin J, Takala J & Rusu C (2011). Improved indoor navigation system based on MEMS technology. In *ISSCS 2011-International Symposium on Signals, Circuits and Systems* (pp. 1-4). IEEE.
- Kim J W, Jang H J, Hwang D H & Park C (2004). A step, stride and heading determination for the pedestrian navigation system. *Journal of Global Positioning Systems*, 3(1-2), 273-279.
- Koyun A & Cankaya I A (2018). Implementation of a Beacon-Enabled Mobile Indoor Navigation System Using Augmented Reality. *Tehnički vjesnik*, 2018, 25.4: 979-985.
- Kriz P, Maly F & Kozel T (2016). Improving indoor localization using bluetooth low energy beacons. *Mobile Information Systems*, 2016.
- Li Y, Zhuang Y, Lan H, Zhou Q, Niu X & El-Sheimy, N (2015). A hybrid WiFi/magnetic matching/PDR approach for indoor navigation with smartphone sensors. *IEEE Communications Letters*, 20(1), 169-172.
- Li Y, Zhuang Y, Zhang P, Lan H, Niu, X & El-Sheimy N (2017). An improved inertial/wifi/magnetic fusion structure for indoor navigation. *Information Fusion*, 34, 101-119.
- Liu H, Darabi H, Banerjee P & Liu J (2007). Survey of wireless indoor positioning techniques and systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 37(6), 1067-1080.
- May A J, Ross T, Bayer S H & Tarkiainen, M J (2003). Pedestrian navigation aids: information requirements and design implications. *Personal and Ubiquitous Computing*, 7(6), 331-338.
- Mistry P, Kuroki T & Chang C (2008). TaPuMa: tangible public map for information acquirement through the things we carry. In *Proceedings of the 1st international conference on Ambient media and systems*, 1-5, Brussels, Belgium.
- Neges M, Koch C, König M & Abramovici M (2017). Combining visual natural markers and IMU for improved AR based indoor navigation. *Advanced Engineering Informatics*, 31, 18-31.
- Patron C (2005). Konzept für den Einsatz von Augmented Reality in der Montaeplanung. *PhD Thesis*, Technical University of Munich, Munich.
- Rehman U & Cao S (2016). Augmented-reality-based indoor navigation: A comparative analysis of handheld devices versus google glass. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 47(1), 140-151.
- Schilling T (2008). Augmented reality in der produktentstehung. *PhD Thesis*, Technical University of Ilmenau, Ilmenau.
- Tatzgern M, Kalkofen D, Grasset R & Schmalstieg D (2011). Embedded virtual views for augmented reality navigation. In *Proc. Int. Symp. Mixed Augmented Reality-Workshop Vis. Mixed Reality Environ.*, 115-123, Basel, Switzerland.
- Vogl W (2009). Eine interaktive räumliche Benutzerschnittstelle für die Programmierung Von Industrierobotern. *Herbert Utz Verlag*. ISBN:3-83160-869-5.
- Wang P P, Wang T, Ding D, Zhang Y, Bi W & Bao Y (2009). Mirror world navigation for mobile users based on augmented reality. In *Proceedings of the 17th ACM international conference on Multimedia*, 1025-1026, Beijing, China.
- Werner M, Kessel M & Marouane C (2011). Indoor positioning using smartphone camera. *International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation*, 1-6, Guimarães, Portugal



© Author(s) 2021. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>