

GEOmatik

Geomatik Dergisi
Cilt 8 / Sayı 3 - Aralık 2023

ISSN:2564-6761



Dergi Hakkında	Geomatik Dergisi bilim ve teknolojiadaki gelişmelere paralel olarak harita mühendisliği alanında yeni gelişmelerle ilgili yapılan çalışmaları yayınlayan bir dergidir. Geomatik dergisi Tubitak Ulakbim TR Dizin’de Dizinlenmektedir.
Amaç & Kapsam	<p>Geomatik Dergisi 2016 yılından beri yayın hayatını sürdüren uluslararası hakemli TÜRKÇE yayın yapan bir dergi olup hakem değerlendirme sistemi mevcuttur. Harita Mühendisliğine ait kuramsal ve uygulamalı araştırma, tarama-inceleme, 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. Geomatik Dergisinde KÖR HAKEMLİK uygulaması mevcuttur. Yayımlanmasına, hakemlerin görüşü doğrultusunda Dergi Editör ve Yayın Kurulu karar verir. Gönderilen makaleler yayımlansın veya yayınlanmasın iade edilmez. Dergimizde yayınlanan yazıların her türlü sorumluluğu (bilimsel, mesleki, hukuki, etik v.b.) 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 olarak kabul edilmekte ancak özetinin İngilizce de basılması zorunluluğu vardır.</p> <p>GEOMATİK dergisinin kapsamı;</p> <ul style="list-style-type: none">✓ Fotogrametri ve Uzaktan Algılama,✓ Lidar, Yersel lazer tarama, Mobil lazer tarama,✓ GPS ve uygulamaları, Coğrafi Bilgi Sistemleri Uygulamaları✓ Ölçme teknikleri - endüstriyel ölçmeler, deformasyon ölçmeleri,✓ Jeodezi✓ Hidrografik ölçmeler, navigasyon, madencilik ölçmeleri✓ Mühendislik ölçmeleri, Jeodezi, dengeleme,✓ Kartografik uygulamalar,✓ Arazi Toplulaştırma ve uygulamaları, Kadastro ve uygulamaları✓ İmar Bilgisi ve uygulamaları ve✓ Geomatik mühendisliği ve yerbilimleri ile bağlantılı multi disiplinler çalışmaları.
Yayımlanma Sıklığı	Yılda 3 sayı (Nisan, Ağustos, Aralık aylarında sayı çıkarılır.)
e-ISSN	2564-6761
WEB	https://dergipark.org.tr/geomatik
İletişim	geomatikdersisi@gmail.com



EDİTÖR

Prof. Dr. Murat YAKAR
Mersin Üniversitesi,
Mersin

EDİTÖR YARDIMCILARI

Prof. Dr. Ekrem TUŞAT
Konya Teknik Üniversitesi,
Konya

EDİTÖR KURULU

- Prof. Dr. Reha Metin ALKAN, Hitit Üniversitesi
- Prof. Dr. Fatmagül KILIÇ GÜL, Yıldız Teknik Üniversitesi
- Prof. Dr. Taşkın KAVZOĞLU, Gebze Teknik Üniversitesi
- Prof. Dr. Haluk ÖZENER, Boğaziçi Üniversitesi
- Prof. Dr. Erkan BEŞDOK, Erciyes Üniversitesi
- Prof. Dr. Gönül TOZ, İstanbul Teknik Üniversitesi
- Prof. Dr. Cem GAZİOĞLU, İstanbul Üniversitesi
- Prof. Dr. Fevzi KARSLI, Karadeniz Teknik Üniversitesi
- Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ, Selçuk Üniversitesi
- Prof. Dr. Sebahattin BEKTAŞ, Ondokuz Mayıs Üniversitesi
- Doç. Dr. Çiğdem GÖKSEL, İstanbul Teknik Üniversitesi
- Doç. Dr. Semra ALYILMAZ, Atatürk Üniversitesi
- Doç. Dr. Tekin SUSAM, Gaziosmanpaşa Üniversitesi
- Doç. Dr. İ. Rakıp KARAS, Karabük Üniversitesi
- Doç. Dr. Mevlüt YETKİN, Katip Çelebi Üniversitesi
- Doç. Dr. Şinasi KAYA, İstanbul Teknik Üniversitesi
- Doç. Dr. İbrahim YILMAZ, Afyon Kocatepe Üniversitesi
- Doç. Dr. Ömer MUTLUOĞLU, Selçuk Üniversitesi
- Doç. Dr. Arzu ERENER, Kocaeli Üniversitesi
- Doç. Dr. Ramazan Cüneyt ERENOĞLU, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
- Doç. Dr. Kemal Özgür HASTAOĞLU, Cumhuriyet Üniversitesi
- Doç. Dr. Yasemin ŞİŞMAN, Ondokuz Mayıs Üniversitesi
- Doç. Dr. Güler YALÇIN, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi
- Yrd. Doç. Dr. Ayşe Yavuz ÖZALP, Artvin Çoruh Üniversitesi
- Yrd. Doç. Dr. Fatih TAKTAK, Uşak Üniversitesi
- Dr. Öğr. Üyesi Ali ULVİ, Mersin Üniversitesi

DANIŞMA KURULU

- Prof. Dr. Dursun Zafer Şeker, İstanbul Teknik Üniversitesi
- Prof. Dr. Hacı Murat YILMAZ, Aksaray Üniversitesi
- Prof. Dr. Cengiz ALYILMAZ, Atatürk Üniversitesi
- Prof. Dr. Abdurrahman Geymen, Erciyes Üniversitesi
- Prof. Dr. Ferruh YILDIZ, Selçuk Üniversitesi

İÇİNDEKİLER

CİLT 8 / SAYI 3

ARAŞTIRMA MAKALELERİ

** Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı analitik hiyerarşi yöntemi kullanılarak Konya il merkezinde teknoloji geliştirme bölgesi için yer seçimi Vehbi Meşin, Vahdettin Demir	208-221
** Coğrafi bilgi sistemleri ve çok kriterli karar verme yöntemleri: Hibrit çözüm yaklaşımı ile Siirt örneği Ertuğrul Yıldız, Fikret Er	222-234
** Yeşil alan uygunluk analizinin CBS tabanlı AHP ve TOPSİS yöntemleriyle değerlendirilmesi Gamze Zeynep Topçu, Kader Bayır, Zeynep Ebrar Cavıldak, Murat Başeğmez, Cevdet Coşkun Aydın	235-249
** Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tabanlı orman yangını risk analizi: Bartın İli örneği Mücahit Coşkun, Ferhat Toprak	250-263
** Gemlik İlçesi rüzgâr enerji santrali potansiyel yer analizi Damla Yılmaz, Şerife Tülin Akkaya Aslan, Babak Vaheddoost	264-276
** Yersel referans verilerinin doğruluğunun çok zamanlı Sentinel-2 uydu görüntüleri ile araştırılması: Arpa ve Buğday örneği Oğuzhan Yaşar, Ali Levent Yağcı	277-292
** Geniş çalışma alanlarında jeofizik ve jeoteknik ölçümlerin yerine geçebilecek vekil özelliklerin CBS ile belirlenmesi Ayhan Doğan, Murat Başeğmez, Cevdet Coşkun Aydın	293-305
** Alan koruyan projeksiyonlar her zaman alan korur mu? İbrahim Öztuğ Bildirici	306-311
** Dış doğrultu ölçmeleriyle geriden kestirmede Collins ve Akarsu yöntemleri Veli Akarsu	312-318



Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı analitik hiyerarşi yöntemi kullanılarak Konya il merkezinde teknoloji geliştirme bölgesi için yer seçimi

Vehbi Meşin^{1,2}, Vahdettin Demir^{*3}

¹ Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli, Türkiye

² Boğaziçi Üniversitesi, Proje Geliştirme Uzmanı, İstanbul, Türkiye

³ KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Teknoloji Geliştirme Bölgesi
CBS
Analitik Hiyerarşi Yöntemi
Yer Seçimi

Araştırma Makalesi

Geliş: 12.08.2022
Reviz: 16.09.2022
Kabul: 18.09.2022
Yayınlanma: 19.04.2023



Öz

Teknoloji gelişme bölgelerinin yer seçimi, son yıllarda dünyada ve ülkemizde önemli konular arasında yer almaktadır. Teknoloji gelişme bölgelerinin tüm paydaşlara yakın olması bilgi ve teknolojinin transferini kolaylaştırmakta ve etkin iş birliklerinin ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Bu nedenle bu bölgelerden en verimli şekilde yararlanabilmek için yer seçiminde en uygun alanların belirlenmesi oldukça önemli bir araştırma konusudur. Bu çalışmada Konya il merkezinde teknoloji geliştirme bölgesi için uygun alanlar Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Çok Ölçütlü Karar Analizi (ÇÖKA) yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) kullanılarak belirlenmiştir. Analizde kullanılan kriterler ve kısıtlar; teknolojik, ekonomik ve çevresel açıdan değerlendirme yapılarak belirlenmiştir. Veriler CBS ortamına aktarılmış, kriter ağırlıkları belirlenmiş ve ikili karşılaştırma yöntemi kullanılarak teknoloji gelişme bölgelerine ait harita oluşturulmuştur. Çalışmanın sonucunda, Konya il merkezinde toplam 8 adet ekilebilir arazi (422.763 m²), 8 adet mera (157.845 m²), 23 adet mevcut kullanımı olmayan arazi (178.978 m²) ve 21 adet süreksiz yoğunluklu kentsel doku alanı (245.766 m²) Teknoloji Geliştirme Bölgesi'nin kurulabileceği uygun alanlar olarak belirlenmiştir. Böylece CBS tabanlı AHY'nin Teknoloji Geliştirme Bölgesi'nin kurulabileceği yer seçimi problemlerinde etkin bir şekilde kullanılabileceğini ortaya konmuştur.

Site selection for the technology development zone in Konya city center using geographic information systems-based analytical hierarchy method

Keywords

Technology Development Zone
GIS
Analytical Hierarchy Method
Location Selection

Research Article

Received: 12.08.2022
Revised: 16.09.2022
Accepted: 18.09.2022
Published: 19.04.2023

Abstract

The location selection of technology development zones is among the important issues in the world and in our country in recent years. The proximity of technology development zones to all stakeholders facilitates the transfer of information and technology and ensures the emergence of effective collaborations. For this reason, it is a very important research topic to determine the most suitable areas in site selection to benefit from these regions in the most efficient way. In this study, suitable areas for the technology development zone in Konya city center were determined using the Analytical Hierarchy Process (AHP), one of the Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) methods and Geographical Information Systems (GIS). Criteria and constraints used in the analysis; are determined by evaluating technological, economic, and environmental aspects. The data were transferred to the GIS environment, criteria weights were determined, and a map of the technology development regions was created using the pairwise comparison method. As a result of the study, a total of 8 arable lands (422.763 m²), 8 pastures (157.845 m²), 23 unoccupied lands (178.978 m²) and 21 urban fabric areas with discontinuous density (245.766 m²) in Konya city center have been determined as suitable areas where a Technology Development Zone can be established. Thus, it has been demonstrated that GIS-based AHP can be used effectively in site selection problems where the Technology Development Zone can be established.

*Sorumlu Yazar

(vehbi.mesin@boun.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-7171-3177
(vahdettin.demir@karatay.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-6590-5658

Kaynak Göster (APA)

Mesin, V., & Demir, V. (2023). Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı analitik hiyerarşi yöntemi kullanılarak Konya il merkezinde teknoloji geliştirme bölgesi için yer seçimi. Geomatik, 8(3), 208-221

1. Giriş

Üniversiteler araştırma kurum ve kuruluşları ile üretim sektörleri arasında iş birliği sağlayan Teknoloji Geliştirme Bölgeleri ülke sanayisinin uluslararası rekabet edilebilir ve ihracata yönelik bir yapıya kavuşturması amacıyla teknoloji üretmeyi ve geliştirmeyi hedefleyen yapılardır. Bu yapıların birçok kurum ve kuruluşa hitap etmesi sebebiyle buldukları konum stratejik olarak önem arz etmektedir.

Teknoloji Geliştirme Bölgeleri 2001 yılında yasal kimliğine kavuşmuştur (Gazete, 2001). Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı “Teknoloji Geliştirme Bölgeleri”

kılavuzuna göre Türkiye genelinde 92 bölge planlanmış ve bu bölgelerin 73’ü aktif olarak faaliyette iken 19 bölgenin ise altyapı çalışmalarının devam etmektedir. Teknoloji Geliştirme Bölgelerinde toplam 6.364 firma bulunurken firmaların 322’si yabancı ortaklı firma, 1.361’i akademisyen ortaklı firmadır. Bu alanda faaliyet gösteren kişi sayısı 66.615 iken verilen hizmet alanı açısından bakarsak 54.562 AR-GE, 938 tasarım, 4.261 destek, 6.854 kapsam dışı personel aktif olarak çalışmaktadır. Aktif bölgenin şimdiye kadarki ihracat katkısı toplam 117,5 milyar TL’dir. Teknoloji Geliştirme Bölgeleri’ndeki firmaların sektör dağılımı ise Şekil 1’de yer almaktadır (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2021).

TEKNOLOJİ GELİŞTİRME BÖLGELERİ SÖKTÖR DAĞILIMLARI



Şekil 1. Teknoloji geliştirme bölgeleri sektör dağılımı grafiği

Şekil 1 incelendiğinde, Teknoloji Geliştirme Bölgeleri birçok sektöre aynı anda hitap eden ve birçok paydaşı barındıran kurumlardır. Bu nedenle buldukları konum tüm paydaşlar için uygun ve erişilebilir olmadılar. Uygun ve erişilebilir bir bölgenin belirlenmesinde seçeneklerin ölçütlere göre karşılaştırılmasıyla karar verilebilmektedir (Öztürk ve Batuk, 2010). Karar verme aşamasının en önemli kriteri ise ölçütlerin önemlerine dayalı olarak ağırlıkların belirlenmesidir (Marinoni, 2004).

Yenilikte, en önemli faktör bilgi olsa da bu bilginin paylaşılması ve teknoloji transferi açısından yakınlık büyük bir öneme sahiptir. Yakınlık faktöründen dolayı ekonomik ve ticari yapıların bölgesel olarak incelenmesi ve analiz edilmesi daha anlamlı olmaktadır. Teknoloji Geliştirme Bölgeleri gibi birçok kurum ve kuruluşu bünyesinde barındıran bir yapının “Yakınlığı” sağlaması bu bölgede hizmet veren paydaşların bağlantı ve sinerjisi açısından stratejik bir avantaj sağlamaktadır. Ayrıca bu sayede güçlü bir bölgesel ekonomik çevre oluşturulmaktadır (Gül ve Çakır, 2014). Güçlü bir yapının oluşması Teknoloji Geliştirme Bölgeleri’nde yenilikçi girişimciler ile en uygun politikaların geliştirilmesini

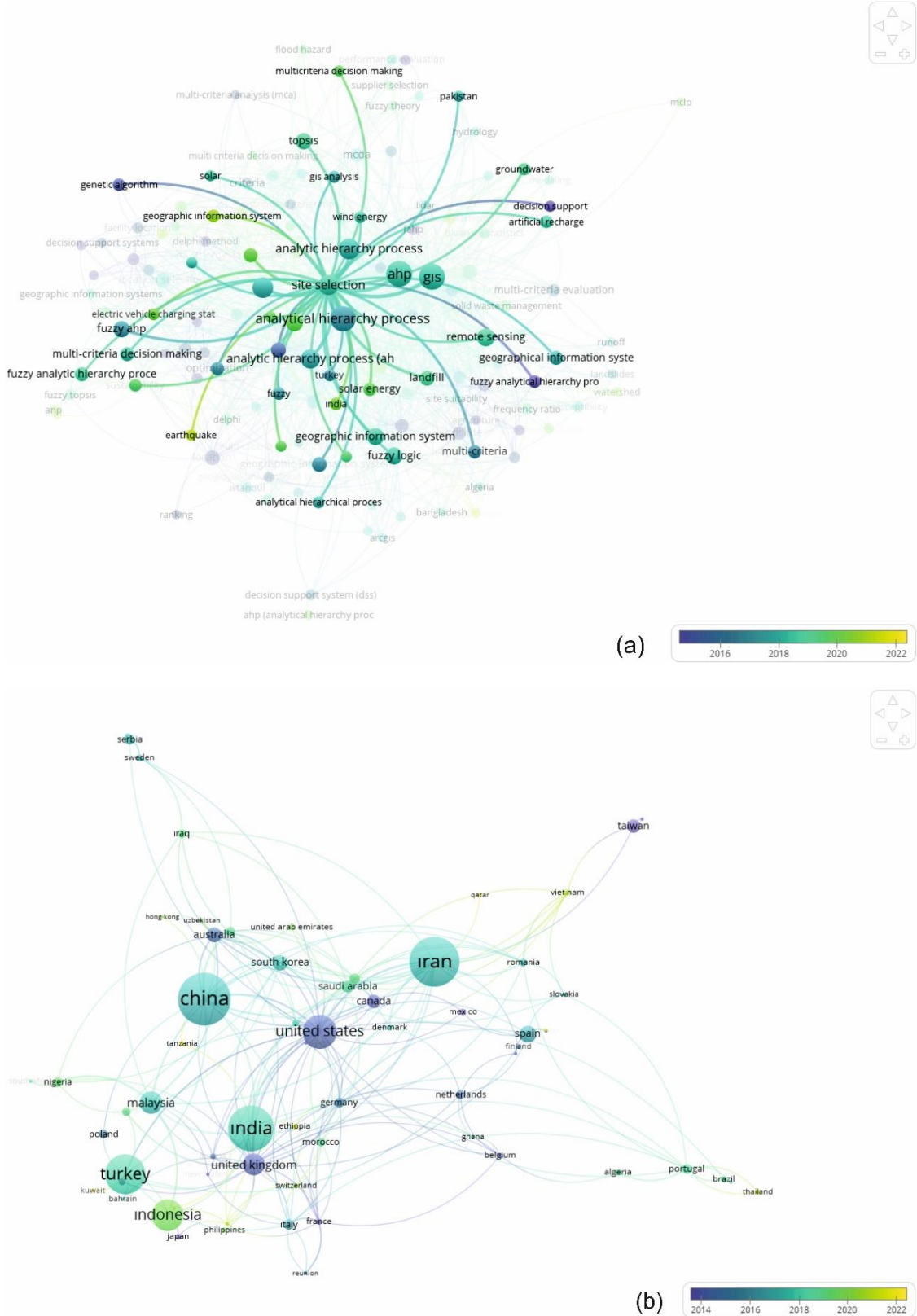
sağlanmaktadır (Cooke ve Memedoviç, 2003). Teknoparklar ifade edilen yapılar arasında en yaygın olanıdır. Teknoparklar, üniversite ve sanayiye ortak amaçlar çerçevesinde, ortak bir platformda bir araya getiren önemli köprülerden biridir (Gül ve Çakır, 2014).

Günümüzde modern teknolojiler ve uygulamalarla karmaşık karar problemlerinin çözümü gerçekleştirilebilmektedir. Bilimsel disiplinlerin gelişimi ve bu disiplinlerden elde edilen bilgilerin bilgisayar ortamına aktarılması en uygun kararların alınmasında yardımcı olmaktadır (Triantaphyllou, 2000).

Teknoloji Geliştirme Bölgeleri gibi bir amaca hizmet eden bölgelerin seçimi, deprem, taşkın gibi afetlerin tehlike durumlarının belirlenmesi ve yönetimi, taşınmaz mal değerlemeleri, imar uygulamaları, planlama çalışmaları gibi birçok çalışmada kararlar konumsal verilerle ilişkilidir (Arca ve Keskin Çitroğlu, 2020; Bozdağ ve Ertunç, 2020; Dilekçi ve ark., 2021; Güngör ve İnam, 2019; Oğuz ve ark., 2021; Özalp ve ark., 2020; Öztürk ve Batuk, 2010; Yalçın ve Yüce, 2020). Bu konumsal verilerle ilgili karar problemleri literatürde konumsal karar problemleri olarak bilinmektedir. Konumsal karar problemleri birçok seçeneğin bir ölçüte

göre değerlendirilmesiyle çözümlenmektedir (Massam, 1980). Bu nedenle bu tür problemlerin çözümünde Çok Ölçütlü Karar Analiz (ÇÖKA) yöntemleri kullanılmaktadır (Nyimbili, 2017). ÇÖKA yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) konumsal verilerin kullanıldığı karar problemlerinde en çok tercih edilen yöntemlerden biridir (Sarı ve Sarı, 2021; Şentürk ve Erener, 2017; Ömürbek ve Şimşek, 2014; Timor, 2011). AHY ile ilgili son yıllarda yapılan çalışmaları incelemek

için Scopus veri tabanı üzerinden “Analytical Hierarchy Method ve Location Selection” anahtar kelimeleriyle arama yapıldığında, bu anahtar kelimelerin kullanıldığı 746 çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışmaların genel özelliklerini gözlemek için Voswiever yazılımı kullanılarak benzer çalışmalara ait ilişki grafikleri çizdirilmiştir. Şekil 2a’da çalışmalarda yer alan anahtar kelimeler, Şekil 2b’de ise çalışmaların gerçekleştirildiği ülkeler yer almaktadır.



Şekil 2. Literatürdeki çalışmalarda kullanılan anahtar kelimeler (a), çalışmaların gerçekleştirildiği ülkeler (b)

Şekil 2 incelendiğinde 2014 yılından 2022 yılına kadar AHY ile ilgili çalışmaların yoğun bir şekilde gerçekleştirildiği görülmektedir. Çalışmaların bir kısmının farklı alanlarda olmasına rağmen 2022 yılında yayınlanmış çalışmaların olması araştırılan konunun ve yöntemin güncel bir konu olduğunu göstermektedir. Şekil 2’de yer seçimi ve AHY ile daha çok ilişkili olan diğer anahtar kelimeler; Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), uzaktan algılama, bulanık mantık, TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), uzaktan algılama, ÇÖKA, çöplük ve depolama, yenilenebilir enerji ve heyelan duyarlılığıdır. Şekil 2a özellikle araştırmacıların hangi AHY ile çalıştıkları güncel çalışmalarını ve bu çalışmaların eğilimini göstermektedir.

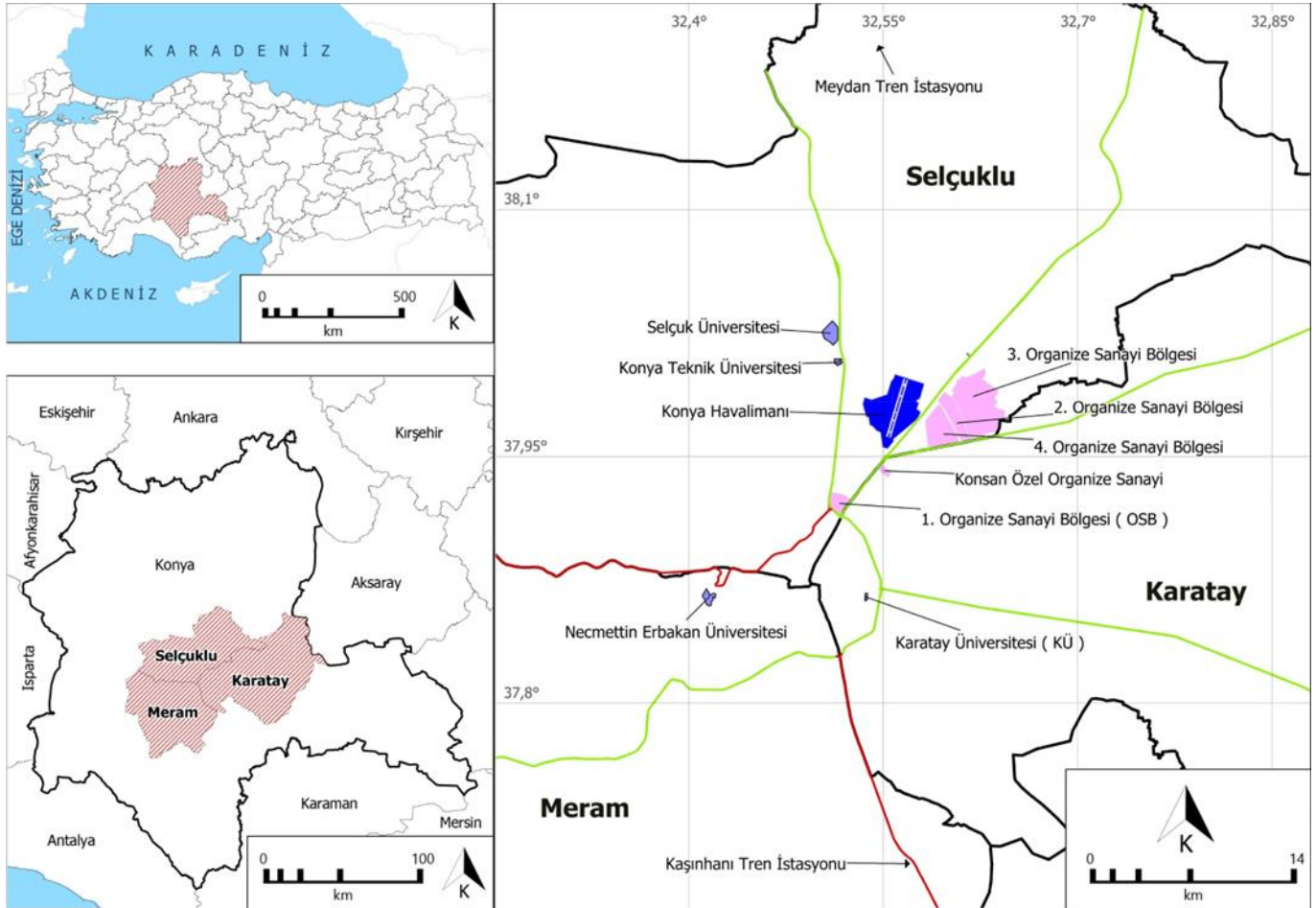
Şekil 2b’de ise incelenen çalışmalarda yazarların çalışmaları belirlediği adresler (ülkeler) filtrelenilerek oluşturulmuştur. Şekil 2 incelendiğinde AHY ile ilgili çalışmalar en çok Çin’de (1) ardından, İran’da (2), Hindistanda (3) ve Türkiye’de (4) gerçekleştirildiği gözlemlenmektedir. Ülkemizde içinde yer aldığı bu şekilde ilk sıralarda yer almamız, yöntemin ülkemizde oldukça sıklıkla kullanıldığını göstermektedir. Bu çalışmaların ortalamasının 2020 yıllarına karşılık gelmesi de son yıllarda ülkemizde

yazarlar tarafından ilgi gösterilen bir konu olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmanın amacı Türkiye’nin en büyük yüz ölçümüne sahip Konya Şehri’nin Teknoloji Geliştirme Bölgesi için tüm önemli ulaşım parametreleri incelenerek en uygun alanı belirlemektir. Çalışma kapsamında Konya il merkezinde Teknoloji Geliştirme Bölgesi inşası için uygun alan, CBS tabanlı yöntemlerinden AHY kullanılarak belirlenmiştir.

2. Çalışma Alanı: Konya il merkezi

Çalışmada; Türkiye’nin en büyük yüz ölçümüne sahip ve merkez ilçeler bakımından da Türkiye’nin en büyük şehirlerinden biri olan Konya incelenmiştir (Çiftçi, ve ark., 2013). Konya ili nüfus olarak Türkiye’nin altıncı büyük şehri, ithalat/ihracat dengesi açısından da Türkiye’nin yedinci şehridir (TÜİK, 2021). Yüz ölçümü, şehir merkezi yüz ölçümü ve ithalat/ihracat dengesi açısından incelendiğinde Konya’da bulunan Teknoloji Geliştirme Bölgesi buldukları konum açısından yetersiz olduğu görülmüş ve bu nedenle çalışmada Konya il merkezi incelenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Çalışma alanı

Konya, İç Anadolu Bölgesi’nin merkezinde 38.257 km²’lik yüz ölçüme sahip Türkiye’nin yüz ölçümü en büyük ilidir. Konya, konumu, nüfusu ve yüz ölçümü etkilerinin bir araya gelmesi ile Türkiye’nin en önemli ticaret merkezlerinden birisi olarak tanımlanabilir. Selçuklu,

Meram ve Karatay olmak üzere üç merkez ilçesi bulunur (Adıgüzel, 2008). Ayrıca Konya’da ilçeleri ile dokuz adet organize sanayi bölgesi (OSB), on dokuz adet küçük sanayi sitesi, il merkezinde yer alan on beş küçük sanayi sitesi, ilçelerde yer alan on bir küçük sanayi sitesi ve on

dört özel sanayi sitesi bulunmaktadır. Toplam 767 firma Organize sanayi bölgelerinde, 681 firma BÜSAN Özel Sanayi alanında faaliyetleri sürdürmektedir. Konya il merkezindeki küçük sanayi sitesi yaklaşık 10.000 kişiye istihdam oluşturmaktadır (Doğramacı, 2019).

Üniversiteler ile sanayi arasında iş birliği kamunun desteği ile daha güçlü bir yapı haline getirmeyi planlayan Kamu-Üniversite-Sanayi İş birliği (KÜSİ) yapılanması ülke ekonomisi ve gelişmişliği açısından üniversiteler ile sanayi iş birliğinin önemini ortaya koymaktadır. Kamu-Üniversite-Sanayi İş birliğinde Teknoloji Transfer Ofisi (TTO)'lar ve Teknoloji Geliştirme Bölgeleri (TGB)'ler önemli yere sahiptir (Bahçeci, 2019).

Konya'da Necmettin Erbakan Üniversitesi, KTO Karatay Üniversitesi ve Selçuk Üniversitesi olmak üzere üç köklü üniversite, Konya Teknik Üniversitesi ve Konya Gıda ve Tarım Üniversitesi olmak üzere iki adet yeni yapılanan üniversite bulunmaktadır.

Çalışmada, yukarıda detayları açılan ve Konya'nın üç merkez ilçesinde bulunan Hava Limanı, Karayolu, Üniversite, Tren Garı ve OSB bölgeleri dikkate alınarak çalışma planı hazırlanmış ve uygulama gerçekleştirilmiştir.

3. Materyal ve Yöntem

Çalışmada teknoloji geliştirme bölgesi için uygun alanlar CBS ve ÇÖKA yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) kullanılarak belirlenmiştir.

ÇÖKA en çok kullanılan çok değişkenli istatistik yöntemlerden biridir (Bathrellos ve Skilodimo, 2007; Güney ve Turoğlu, 2018). ÇÖKA, karar sürecini kriterlere göre modelleme ve karar vericinin süreç sonunda elde edeceği faydayı en fazla yapacak şekilde analiz etme sürecine dayanmaktadır. Karar probleminin modellenmesinde en önemli öge doğru amaç ya da amaçların belirlenmesidir. Amaç ya da amaçlar belirlendikten sonraki adımda kriterlerin belirlenmesi ve kriter setinin oluşturulması gerekmektedir. Kriterler amaçlara ulaşmada alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan karar bileşenleri olduğu için titiz ve dikkatli araştırılması gerekmektedir (Yıldırım, 2022).

CBS tabanlı AHY, Konya İl merkezinde Teknoloji Geliştirme Bölgesi için en uygun alanın tespit edilmesinde kullanılmıştır. Saaty (1986) tarafından geliştirilen AHY yöntemi üç temel prensipten oluşur. Bunlar; üstünlüklerin belirlenmesi, hiyerarşinin oluşturulması ve mantıksal tutarlılığın sağlanmasıdır. AHY karmaşık ve yapılandırılmamış problemlerin hiyerarşik bir sıra ile çözümlenerek yapılandırılması ile oluşturulmaktadır (Pérez-Collazo ve ark., 2013). Çalışmanın yapısı ana amaç ve bu amaca bağlı kriterler ve seçeneklerden oluşmaktadır (Saaty, 2012). Seçenekler çizgi nokta ve poligon gibi vektör veri formatında gösterilirken raster veri formatında piksellerle gösterilir. Kriterler ikili değerlendirilerek kriter ağırlıkları tespit edilir. Tespit edilen kriterlerden seçenek değerlerini elde etmek için de ikili karşılaştırma uygulanabilir. Ancak alan belirlemek için kullanılan raster formatındaki verilerle mekânsal karar analizlerinde birden fazla seçenek karşımıza çıkabilmektedir. Bu yönüyle de bu yöntem çok kullanışlı değildir. Bu durumda her kriter için gruplandırılmış

seçenekler oluşturulur. Bunun sonucunda oluşturulan seçenekler üzerinden ikili karşılaştırma yapılır (Saaty, 2012). Belirlenen kriterin ağırlıkları ve kriterlerin seçenek değerleri göz önüne alınarak, her seçenek için AHY sonuç analiz değeri Eşitlik (1) yardımıyla hesaplanır (Malczewski, 1999).

$$A_{AHY} = \sum_j^n a_{ij}w_j \quad (1)$$

Burada; w_j , j. belirlenen ağırlığını, a_{ij} , j. kriter için i. seçeneğin değeridir. Yöntem detayları için atıf verilen kaynak incelenebilir (Öztürk ve Batuk, 2010).

Çalışmanın ilk adımında, CBS ortamında çalışma alanı sınırları oluşturulmuş, analiz dışı bırakılacak alanlar belirlenerek çalışma alanından çıkarılmıştır. Teknoloji Geliştirme Bölgesi için yer seçiminde etkili olacak kriterler ve kriterlerin alt kategorileri/gruplandırılmış seçenekler de belirlenerek karar hiyerarşisi oluşturulmuştur. Daha sonra kriterlerin ağırlıkları ve kriterlerin alt kategori/gruplandırılmış seçenek değerleri ikili karşılaştırmalar kullanılarak hesaplanmıştır. Ardından, kriterlerin bir arada işleme girip değerlendirilebilmesi için tüm kriter katmanları için alt kategorilerin/gruplandırılmış seçeneklerin normalleştirilmiş değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler kullanılarak CBS ortamında normalleştirilmiş kriter katmanları hazırlanmıştır. Son olarak kriter ağırlıkları ve normalleştirilmiş kriter katmanları kullanılarak AHY ile sonuç analiz katmanı oluşturulmuştur. AHY ile karar analizi sonucunda elde edilen uygunluk haritası beş seviyeye ayrılmıştır. Çalışmanın ana işlem adımlarını gösteren iş akış şeması Şekil 4'te gösterilmektedir. Verilerin düzenlenmesi ve tüm analizler MapInfo Pro v2019.3 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

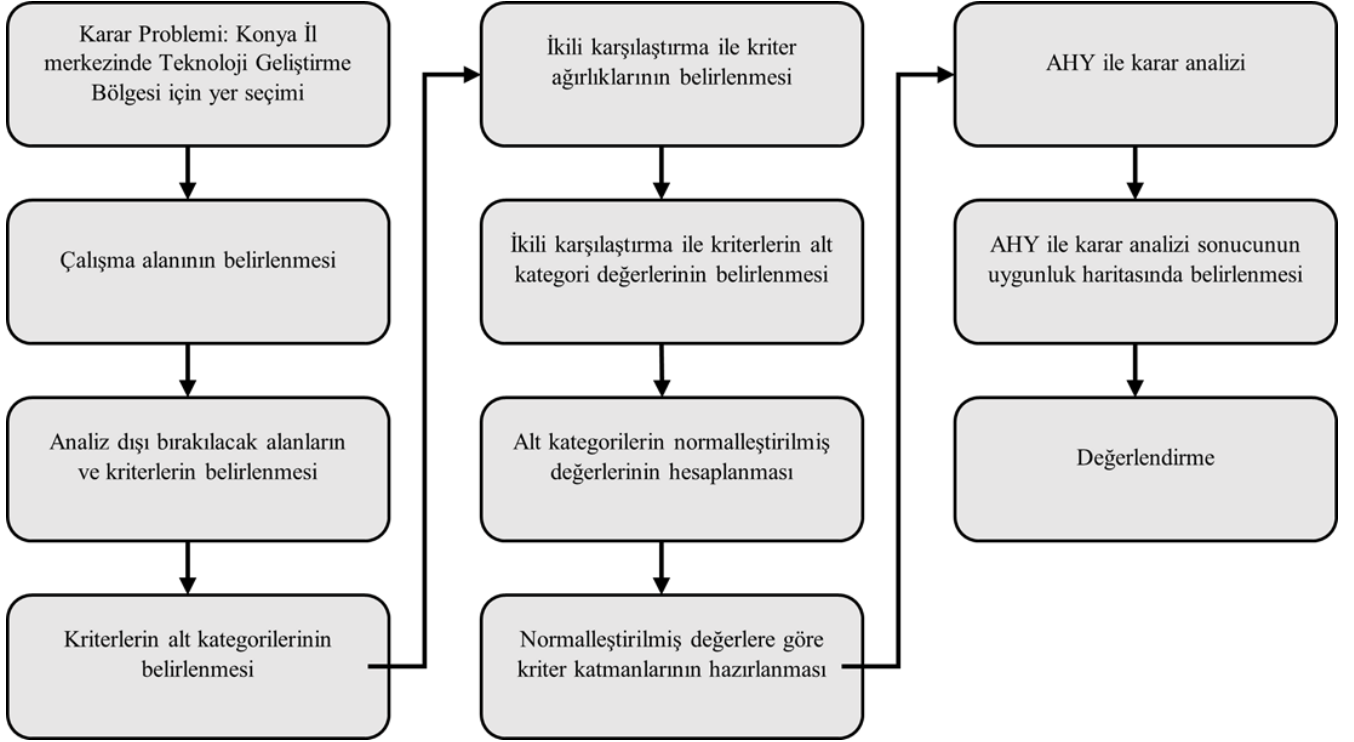
3.1. Kriterlerin belirlenmesi

Konya il merkezinde Teknoloji Geliştirme Bölgesi için yer seçiminde kullanılacak kriterler ve analiz dışında bırakılacak alanlar, literatür araştırmaları ve verilerin mevcudiyeti doğrultusunda belirlenmiştir. Kriterler; (1) hava limanı, (2) karayolu, (3) üniversite, (4) tren garı ve (5) OSB alanlarının bölgeye olan uzaklıkları olarak belirlenmiştir. Bu alanlar belirlenirken Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından yayınlanan Teknoloji Geliştirme Bölgeleri Kılavuzu isimli çalışması incelenmiş ve bu çalışmada Konya ili coğrafi şartlarına uygun iller belirlenerek belirlenen illerde gelişmekte yüksek talep gören Teknoloji Geliştirme Bölgesi verileri referans alınarak değerlendirilmeler yapılmıştır (<https://www.tgbd.org.tr/content/upload/document-files/tgb-kilavuzu-20200309164538.pdf>). Bu değerlendirme sırasında Konya'nın deniz ulaşımına aşırı uzak bir bölgede olduğu için liman bölgelerine olan uzaklıkları analiz dışı bırakılmıştır. Bunun dışında Teknoloji Geliştirme Bölgeleri Kılavuzu yer alan hava limanı, karayolu, üniversite, tren garı ve OSB kriterleri çalışmada kullanılmıştır.

Bunun dışında literatür araştırmaları (Ayanoglu, 2008; Canbolat, 2014; Ergen, 2009; Gazete, 1985) sonucunda Endüstriyel, ticari, kamu, askeri ve özel

birimlerin aktif kullandığı alanlar, İzole yapılar, Otsu bitki toplulukları (doğal, otlak, bozkır, ...), Ormanlar, Diğer yollar ve ilişkili arazi, Demiryolları ve ilgili arazi, Maden çıkarma ve boşaltma sahaları, yeşil kentsel alanlar, spor ve eğlence tesisleri, kalıcı bitkiler (bağlar,

meyve ağaçları, zeytinlikler), karmaşık ve karışık yetiştirme desenleri, su birikintileri ve göller, yapı siteleri ve sulak alanlar gibi imara uygun olmayan yerler çalışmadan dışlanmıştır. Analiz dışı bırakılacak alanlar veriler **Tablo 1**'de yer almaktadır.



Şekil 4. Çalışmanın ana işlem adımları (Aydiner ve Öztürk, 2021'den uyarlanmıştır)

Tablo 1. Çalışmada kullanılan veriler

Veri	Durum
Endüstriyel, ticari, kamu, askeri ve özel birimler	Dışlandı
İzole yapılar	Dışlandı
Otsu bitki toplulukları (doğal, otlak, bozkır, ...)	Dışlandı
Ormanlar	Dışlandı
Diğer yollar ve ilişkili arazi	Dışlandı
Demiryolları ve ilgili arazi	Dışlandı
Maden çıkarma ve boşaltma sahaları	Dışlandı
Yeşil kentsel alanlar	Dışlandı
Spor ve eğlence tesisleri	Dışlandı
Kalıcı bitkiler (bağlar, meyve ağaçları, zeytinlikler)	Dışlandı
Karmaşık ve karışık yetiştirme desenleri	Dışlandı
Su	Dışlandı
Yapı siteleri	Dışlandı
Sulak alanlar	Dışlandı
Sürekli yoğunluklu kentsel doku	Dahil edildi
Ekilebilir arazi	Dahil edildi
Meralar	Dahil edildi
Bitki örtüsünün az olduğu veya olmadığı alanlar	Dahil edildi
Mevcut kullanımı olmayan arazi	Dahil edildi
Hava limanı	Kriter olarak belirlendi
Karayolu	Kriter olarak belirlendi
Üniversite	Kriter olarak belirlendi
Tren garı	Kriter olarak belirlendi
OSB	Kriter olarak belirlendi

3.2. Kriter ağırlıklarının belirlenmesi

Çalışmada kriterlerin ağırlıkları literatür taramaları sonucunda belirlenmiştir ve ikili karşılaştırma yöntemi ağırlıkların hesaplanmasında kullanılmıştır (Ayanoğlu, 2008; Aydiner ve Öztürk, 2021; Canbolat, 2014; Ergen,

2009; Gazete, 1985; Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2021). **Tablo 2**'de önem dereceleri ve tanımları yer almaktadır.

İkili karşılaştırmaların gerçekleştirilmesinde **Tablo 2**'de yer alan önem ölçeği ve Saaty 1-9 ölçeği kullanılmaktadır (Aydiner ve Öztürk, 2021). 1-9 ölçeği **Tablo 2**'de yer almaktadır.

İkili karşılaştırma matrisi, kriterlerin birbirlerine göre önemleri ve amaca etkilerine göre 1 ile 9 arasındaki

sayı değerleriyle oluşturulmuştur. Kriterlerin ikili karşılaştırmaları **Tablo 3**'te yer almaktadır.

Tablo 2. Bağlı önem ölçeği (Aydiner ve Öztürk, 2021; Saaty ve Kearns, 2014)

Önem Derecesi	Tanım (1. öge 2. ögeye göre)
1	Eşit önemli
2	Eşit önem ile biraz daha önemli arasında
3	Biraz daha önemli
4	Biraz daha önemli ile fazla önemli arasında
5	Fazla önemli
6	Fazla önemli ile çok fazla önemli arasında
7	Çok fazla önemli
8	Çok fazla önemli ile son derece önemli arasında
9	Son derece önemli

Tablo 3. Kriterlerin ikili karşılaştırmaları

	OSB	Üniversite	Karayolu	Hava Limanı	Tren Garı
OSB	1	3	5	7	9
Üniversite	1/3	1	3	5	7
Karayolu	1/5	1/3	1	3	5
Hava Limanı	1/7	1/5	1/3	1	3
Tren Garı	1/9	1/7	1/5	1/3	1

Tablo 4. Kriterlerin ağırlık hesabı

	OSB	Üniversite	Karayolu	Hava Limanı	Tren Garı	Ağırlık
OSB	0,56	0,64	0,52	0,43	0,36	0,50
Üniversite	0,19	0,21	0,31	0,31	0,28	0,26
Karayolu	0,11	0,07	0,10	0,18	0,20	0,13
Hava Limanı	0,08	0,04	0,03	0,06	0,12	0,07
Tren Garı	0,06	0,03	0,02	0,02	0,04	0,03
Toplam	1	1	1	1	1	1

Tablo 5. Tesadüfilik göstergesi (Malczewski, 1999)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
TG	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32		1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57

Tablo 4'ün hesaplanmasında, her sütunun toplamı elde edilmiş ve her eleman kendi kolon toplamına bölünmüştür. Ardından satırların ortalaması alınarak normalizasyon tüm değerler için yapılmış ve bağlı ağırlıklar hesaplanmıştır.

Kriter ağırlıklarının hesaplanmasının ardından ikili karşılaştırmaların tutarlılığının belirlenmesi için tutarlılık oranı hesabı yapılmıştır. Tutarlılık oranı hesabında, tutarlılık vektörünün λ ortalama değeri, tutarlılık indeksi ($Tİ$) ile (Eşitlik 2 ve 3 yardımıyla) tutarlılık oranı (TO) elde edilmiştir. Tesadüfilik göstergesi ise **Tablo 5**'te yer almaktadır.

Tablo 5 incelendiğinde, mevcut uygulamanın kriter sayısı 5 olması nedeniyle tesadüfilik göstergesi 1,12 olarak belirlenmiştir. Tutarlılık oranı için Thomas Saaty

tarafından önerilen limit (üst limit 0,10) referans alınmıştır (Matejcek, 2017). Çalışmaya ait tutarlılık oranları **Tablo 6**'da yer almaktadır.

$$Tİ = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (2)$$

$$TO = \frac{Tİ}{TG} \quad (3)$$

Tablo 6 incelendiğinde ikili karşılaştırmaların tutarlılık oranı 0,05'dir. Bu değer, 0,10'un altında olduğu için değerlendirilmeler tutarlı olarak kabul edilmektedir (Alonso ve Lamata, 2006; Timor, 2010; Tüter, 2013; Yanık ve Eren 2017).

Tablo 6. Tutarlılık oranı hesabı

Kriter ağırlıkları ile ikili karşılaştırma matrisinin çarpılıp toplanması	Toplamların ağırlıklara bölünmesi
2,743	5,455
1,414	5,432
0,699	5,204
0,341	5,030
0,177	5,093
$\lambda=5,243$	$TI=0,06$
	$TO=0,05$

3.3. Kriter katmanlarının hazırlanması

Tüm katmanlar, 250 m piksel boyutlu raster veriler şeklinde düzenlenmiştir. Kriter katmanları Konya ili üç merkez ilçesi için (Teknoloji Geliştirme Bölgesi için) kullanılması uygun olmayan alanlar analize dahil edilmemiştir. Değerlendirmeler literatür araştırmaları (Mercan ve Arpağ, 2020; Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2021) dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Gruplandırılmış seçenek değerlendirmelerinde normalleştirme işlemleri Eşitlik (4) yardımı ile yapılmıştır.

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{j,max}} \quad (4)$$

Tablo 7. Kriter katmanları için hesaplanan aralık değerleri ve tutarlılık oranları

	Minimum (km)	Maksimum (km)
Hava Limanı (TO=0,09)	0	45,95
Karayolu (TO=0,09)	0	27,95
Üniversite (TO=0,05)	0	10,63
Tren Garı (TO=0,01)	0	116,16
OSB (TO=0,02)	0	34,60

3.4. AHY ile uygunluk haritasının oluşturulması

Konya İl merkezinde Teknoloji Geliştirme Bölgesi için yer seçiminde, son işlem olarak normalleştirilmiş katmanlar ve kriter ağırlıkları Eşitlik (1)'de işleme konularak CBS ve AHY'ye dayalı uygunluk haritası elde edilmiştir.

4. Bulgular ve Tartışma

CBS tabanlı AHY analiz sonucu Şekil 10'da yer almaktadır. Analiz sonucunda önem değerleri 1 ile 5,75 aralığında yer almaktadır. Yüksek değerler Teknoloji Geliştirme Bölgesi için daha uygun alanları ifade etmektedir.

Sonuçlarının daha anlaşılabilmesi için CBS ortamında "eşit aralıklı sınıflandırma" kullanılarak analiz sonuçları "Kırmızı: En uygun alan", "Turuncu: Yüksek Uygunlukta Alanlar", "Sarı: Orta Uygunlukta Alanlar", "Yeşil: Düşük Uygunlukta Alanlar", "Açık mavi: Çok Düşük Uygunlukta Alanlar" ve "Koyu mavi=uygun olmayan alanlar olmak üzere altı sınıfa ayrılmıştır (Şekil 11).

Yapılan sınıflandırma sonucu "Kırmızı: En uygun alan" Teknoloji Geliştirme Bölgesinin yapılabileceği uygun alanlar olarak değerlendirilmiştir. Analiz sonucunda Konya İl merkezinde Teknoloji Geliştirme Bölgesi için uygun alanların Ankara-Konya çevreyolu ile Adana çevre yolu arasında yer aldığı tespit edilmiş olup özellikle Fetih caddesinin üst kısımlarında (kuzey-doğusunda) daha fazla yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 11).

Bu çalışmada; üniversite ve OSB bölgelerine uzaklık, Teknoloji Geliştirme Bölgesi için en önemli kriterlerdir. Bu çalışmanın sonuçlarında görüldüğü gibi 8 adet Ekilebilir arazi, 8 adet Mera, 23 adet Mevcut kullanımı olmayan arazi ve 21 adet Süreksiz yoğunluklu kentsel doku alanı yapıya uygun alanlar olarak belirlendi (Şekil 11).

Burada; x_{ij} ' i seçeneğin j. ölçüt için normalleştirilmiş değeridir. Kriterlerin alt kategori değerlendirmeleri için, ikili karşılaştırma sonucunda belirlenen değerler, tutarlılık oranları Tablo 7'de yer almaktadır. Tutarlılık oranı tüm kriterler için 0,10'un altında ve tutarlıdır.

CBS ortamında normalleştirilmiş kriter katmanları Şekil 5-9'da yer almaktadır.

Şekil 5-9 incelediğinde Tablo 7'de elde edilen uzaklıklar homojen olarak sınıflandırılmış ve bu sınıflandırmalara göre uygun bölgeler farklı renkler ile ifade edilmiştir. Kırmızılar uygun bölgeleri temsil ederken maviler daha düşük uygunlukta bölgeleri temsil etmektedir. Bölgeler öncelikle tüm kriterler için değerlendirilerek uygunlukları incelenmiş ve bu incelenin ardından çakıştırma analizi ile uygun alan tespit edilmiştir.

Tablo 8'de Konya İl merkezinde Teknoloji Geliştirme Bölgesi yapılabileceği uygun alanların yüzölçümü değerleri verilmektedir.

Tablo 8. Konya il merkezinde teknoloji geliştirme bölgesi inşa edilebileceği uygun alanların yüzölçümü

Arazi Türü	m ²
Ekilebilir arazi	422.763,12
Meralar	157.845,41
Mevcut kullanımı olmayan arazi	178.978,37
Süreksiz yoğunluklu kentsel doku	245.766,32

Tablo 8'e göre ekilebilir arazi 422.763,126 m², Meralar 157.845,420 m², Mevcut kullanımı olmayan arazi 178.978,380 m² ve Süreksiz yoğunluklu kentsel doku alanı 245.766,322 m² alanın Teknoloji Geliştirme Bölgesinin kurulabileceği uygun alanlar olduğu tespit edilmiştir. Bu alanlardan, öncelik olarak tarıma elverişsiz boş alanların tercih edilmesi önerilmektedir. Tercih edilecek ekilebilir tarım alanlarının seçiminde "Tarım Arazilerinin Korunması, Kullanılması ve Planlanmasına Dair Yönetmelik" gereklilikleri dikkate alınmalıdır (Yönetmelik, 2022). Ekilebilir alanların en son seçenek olarak ele alınması gerektiği düşünülmektedir.

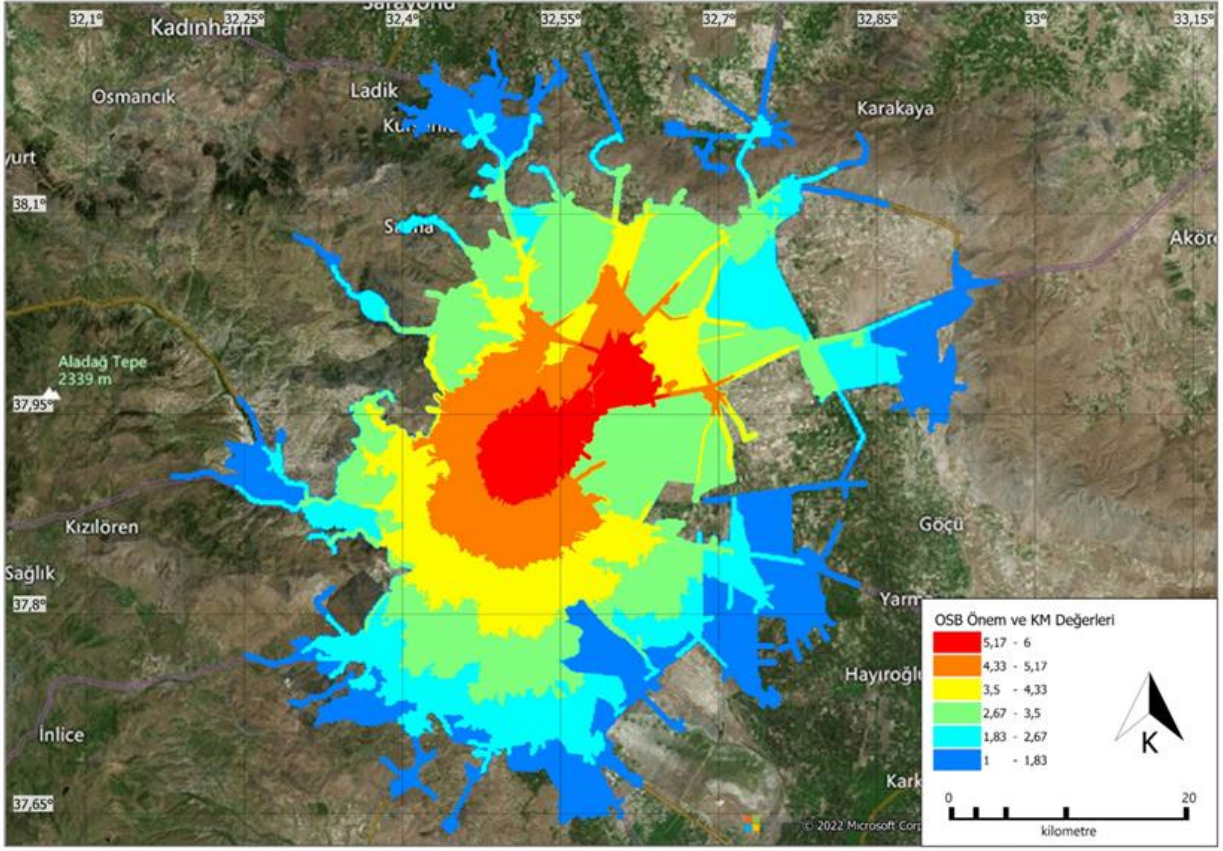
5. Sonuçlar

Bu çalışmada Konya ili için Teknoloji Geliştirme Bölgeleri araştırılmıştır. Çalışmada tüm önemli ulaşım parametreler incelenerek en uygun alan CBS tabanlı yöntemlerinden AHY kullanılarak belirlenmiştir. Analizde kullanılan kriterler teknolojik, ekonomik ve çevresel parametrelere göre belirlenmiştir.

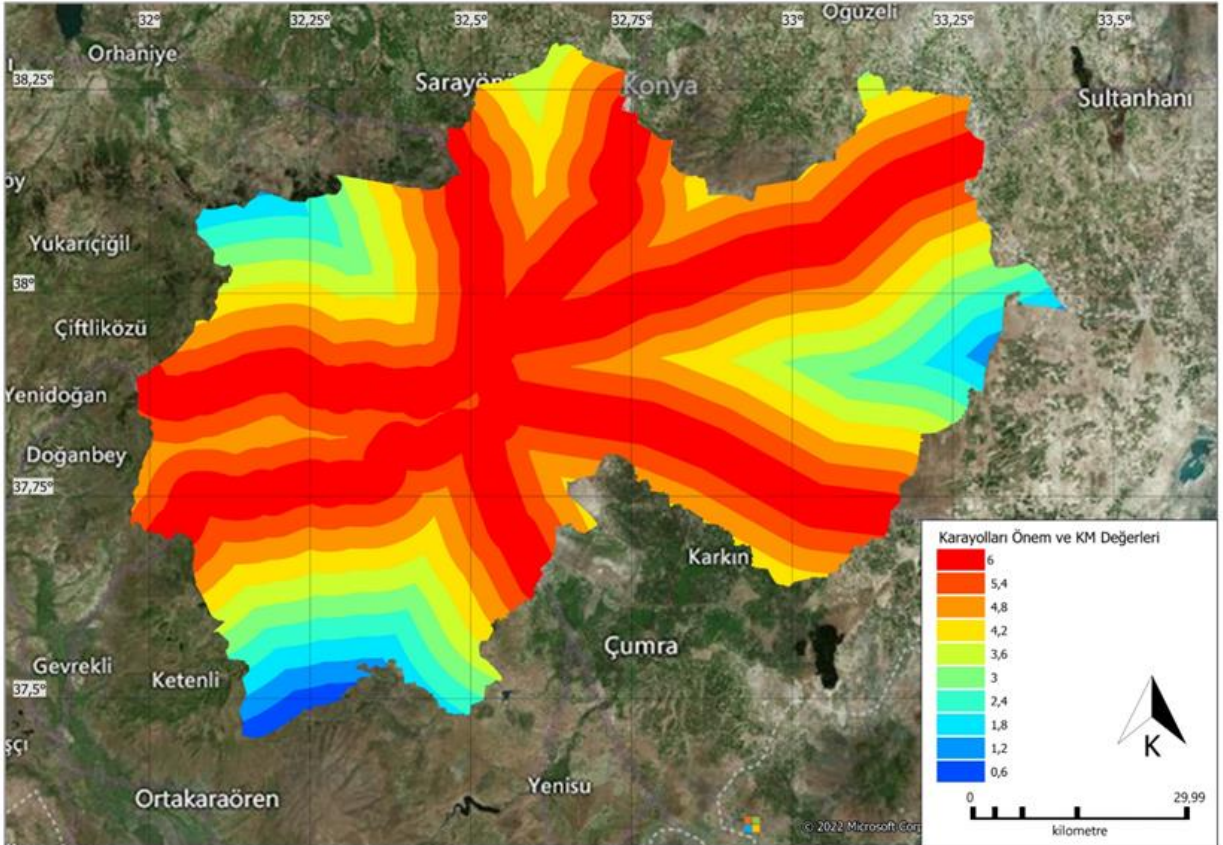
Analizler sonucunda Konya il merkezinde Teknoloji Geliştirme Bölgesi inşası açısından uygun alanlar Ankara-Konya çevreyolu ile Adana çevre yolu arasında yer aldığı üçgenel bölgede yer alan alanlardır. Çalışmada özellikle Fetih caddesinin üst kısımlarında (kuzey-doğusunda) uygun alanların daha fazla yoğunlaştığı görülmektedir. Bu alanlardaki mevcut

durumla yapılaşmaya uygunluk incelendiğinde toplam 8 adet ekilebilir arazi (422.763,126 m²), 8 adet Mera (157.845,420 m²), 23 adet mevcut kullanımı olmayan

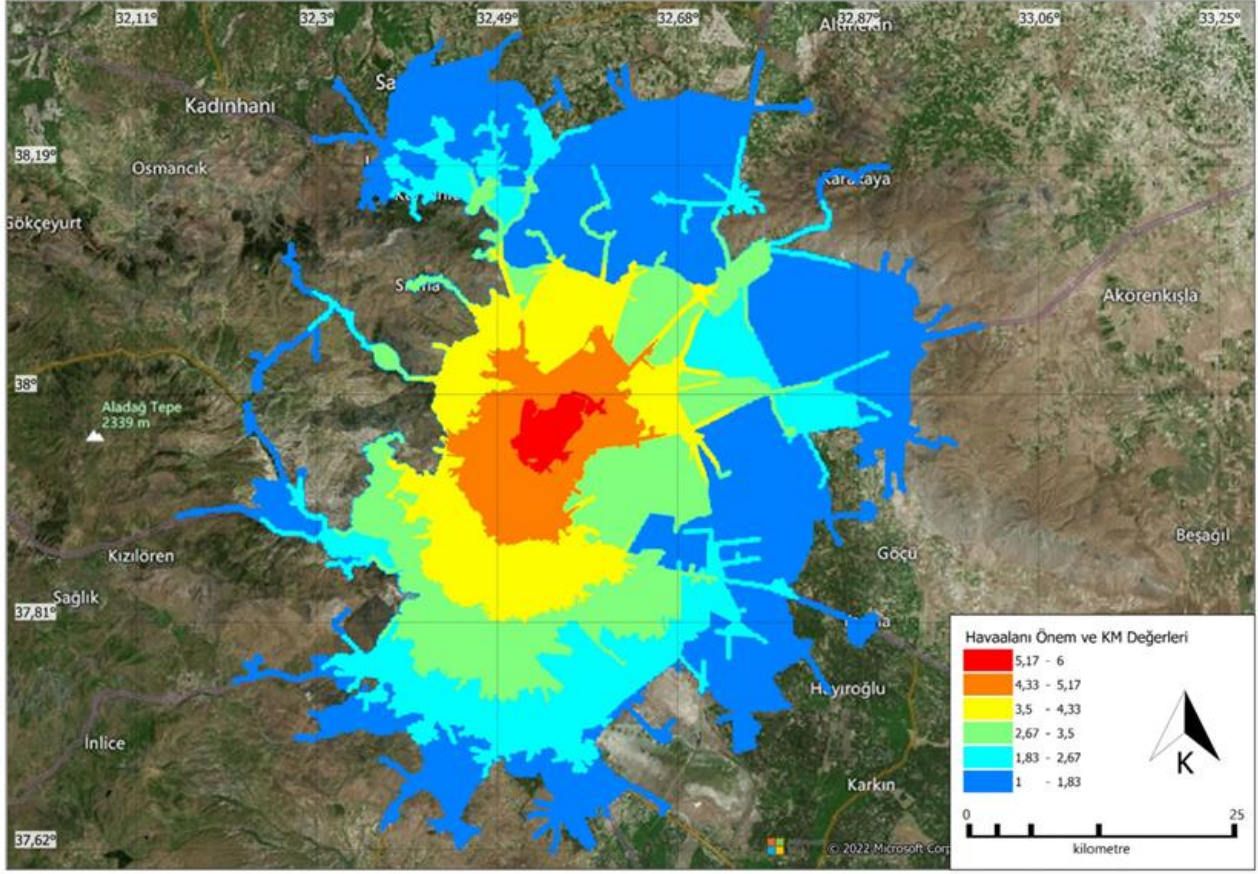
arazi (178.978,380 m²) ve 21 adet süreksiz yoğunluklu kentsel doku alanı (245.766,322 m²) Teknoloji Geliştirme Bölgesinin kurulabileceği arak belirlenmiştir.



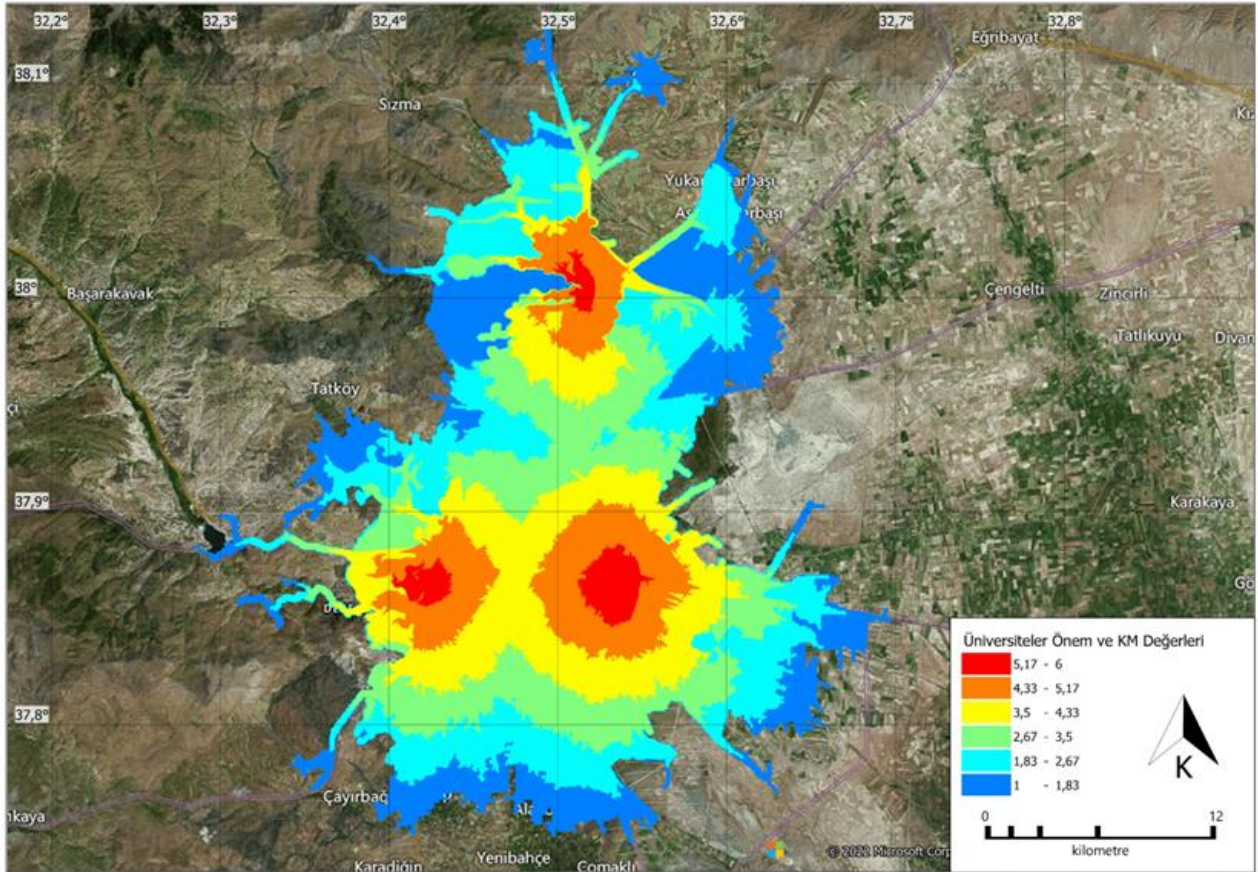
Şekil 5. OSB kriter katmanı



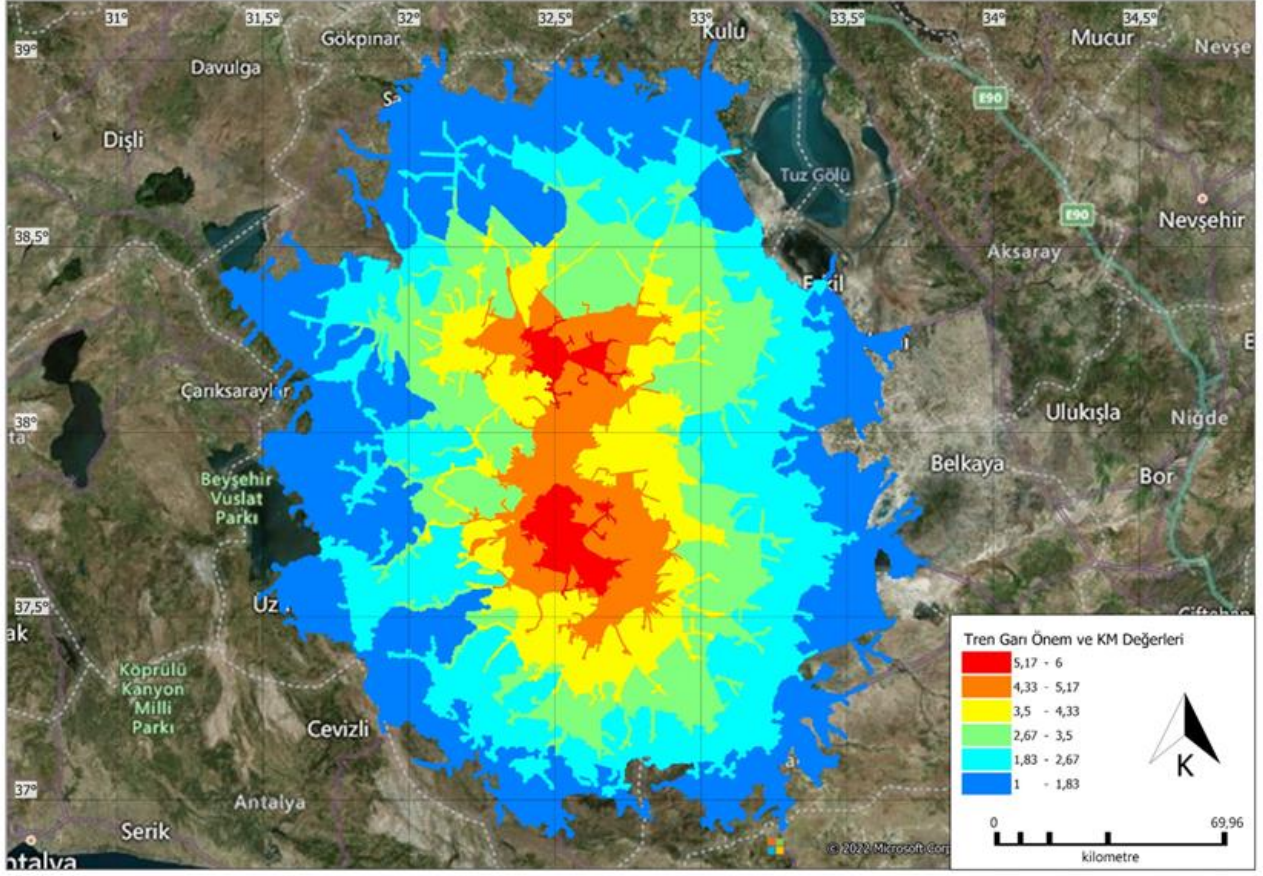
Şekil 6. Karayolu kriter katmanı



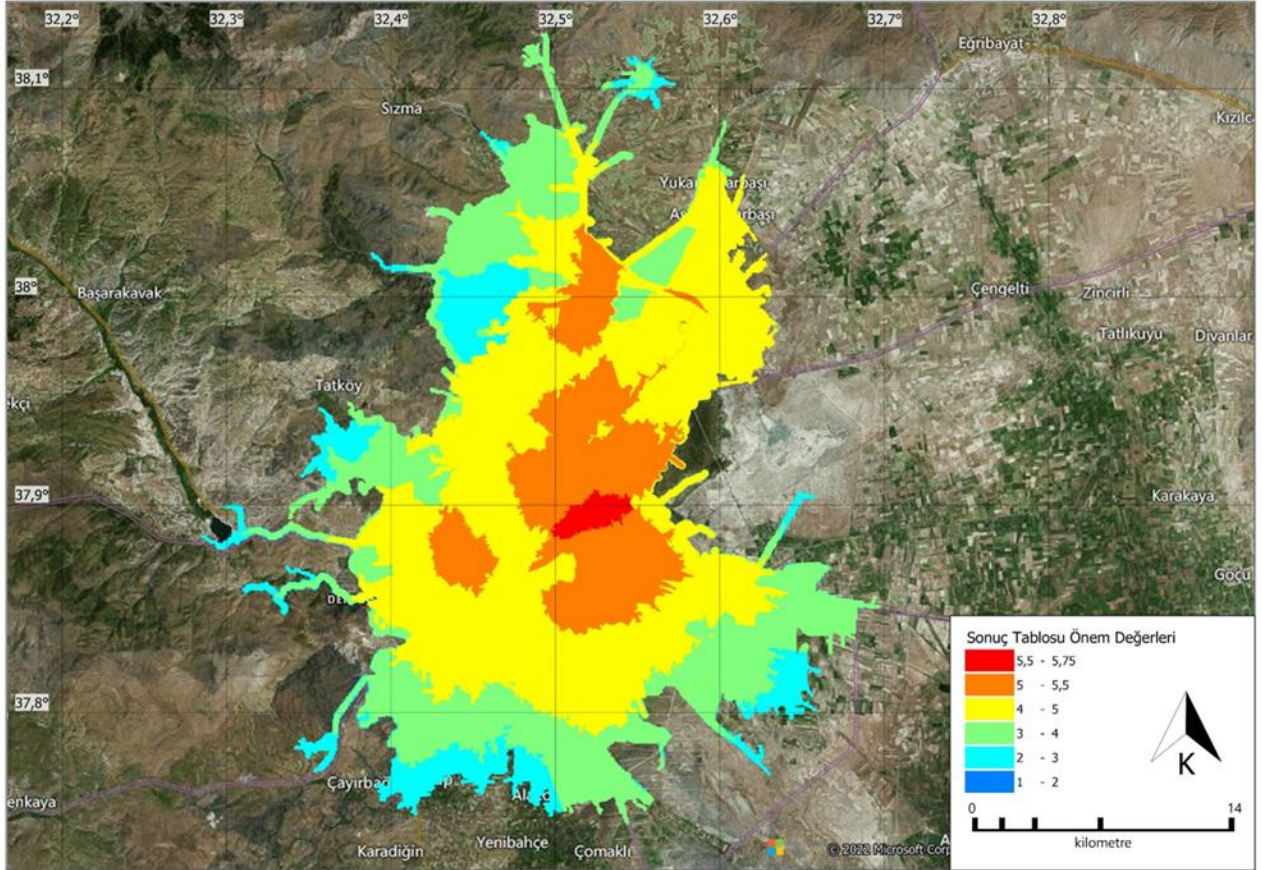
Şekil 7. Hava Limanı kriter katmanı



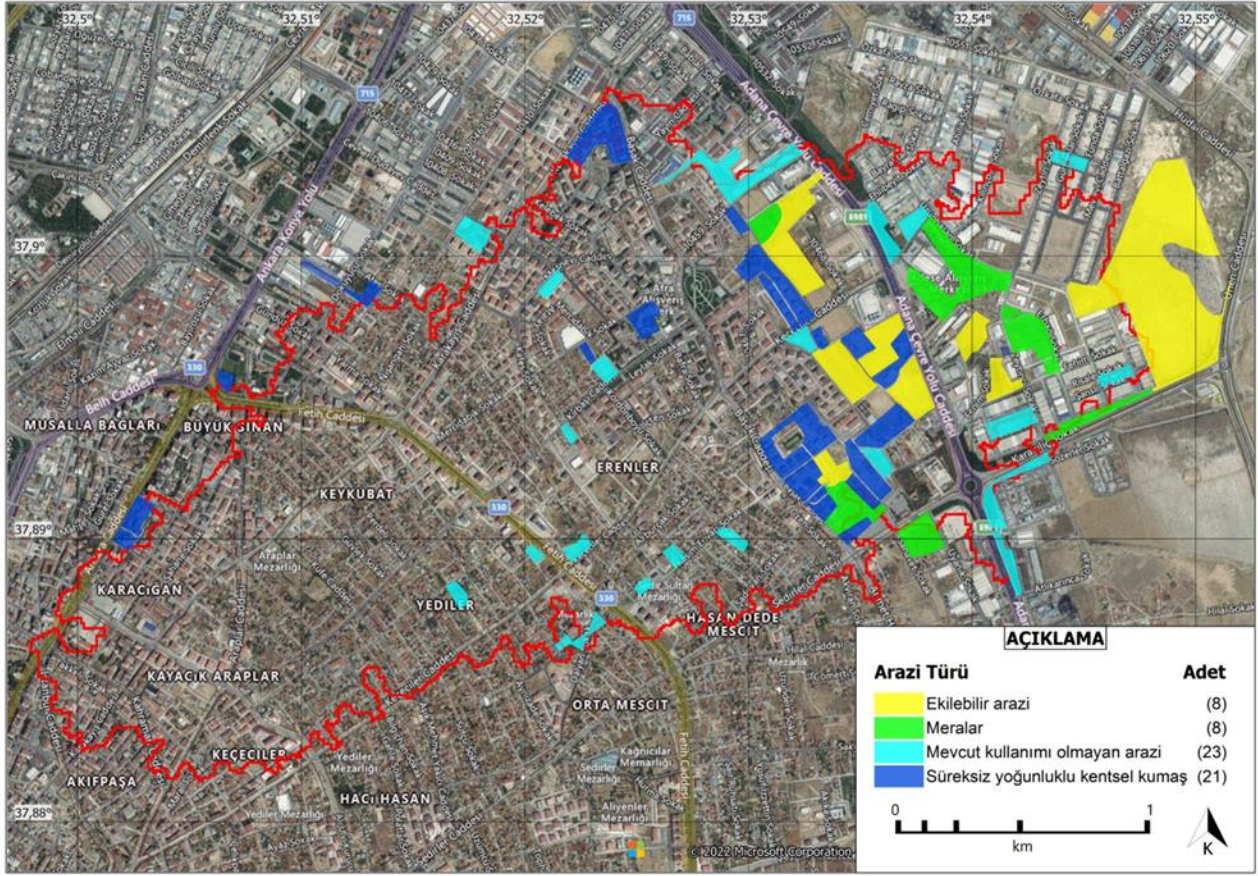
Şekil 8. Üniversite kriter katmanı



Şekil 9. Tren Garı kriter katmanı



Şekil 10. Analiz sonucu



Şekil 11. Konya İl merkezinde Teknoloji Geliştirme Bölgesi için kategorik uygunluk haritası

Bilgilendirme/Teşekkür

Yazarlar Başarsoft'a bu çalışmanın CBS uygulamalarına verdikleri destekten dolayı teşekkür etmektedir. Ayrıca KTO Karatay Üniversitesine ve Teknoloji Transfer Ofisine teşekkür etmektedir.

Araştırmacıların katkı oranı

Vehbi Meşin: Kurgu, Analiz, Sonuçların hazırlanması, Metin yazımı **Vahdettin Demir:** Sonuçların yorumlanması, Literatür taraması, Çalışmanın Makale formatına uyarlanması

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Adıgüzel, M. (2008). Konya'da Hayvancılığa Dayalı Sanayinin Coğrafi Temelleri. Sosyal Bilimler Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi.
- Alonso, A. J., & Lamata, T. (2006). Consistency in The Analytic Hierarchy Process: A New Approach. International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, 14(4), 445-459.
- Arca, D., & Keskin Çıtıroğlu, H. (2020). Güneş Enerjisi Santral (GES) Yapım Yerlerinin CBS Dayalı Çok Kriterli Karar Analizi ile Belirlenmesi: Karabük

- Örneği. Geomatik, 7(1), 17-25. <https://doi.org/10.29128/geomatik.803200>
- Ayanoğlu, T. (2008). İmar Hukukunda Yapı Ruhsatı ve Yapı Kullanma İzinine Aykırılıkların Yaptırımı. In Uğur Alacakaptan'a Armağan, (pp. 103-113).
- Aydın, İ., & Öztürk, D. (2021). Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Analitik Hiyerarşi Yöntemi Kullanılarak Ege Denizi'nde Rüzgâr ve Dalga Enerji Sistemleri İçin Yer Seçimi. Deu Muhendislik Fakültesi Fen ve Muhendislik, 23(67), 217-232. <https://doi.org/10.21205/deufmd.2021236719>
- Bahçeci, A. (2019). Kamu-Üniversite-Sanayi İş birliği (KÜSİ) Kapsamında İllerin Durumunun ve Potansiyelinin Değerlendirilmesi. Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Bathrellos, G., & Skilodimou, H. (2007). Using the analytic hierarchy process to create an erosion risk map. A case study in Malakasiotiko stream, Trikala prefecture. Bulletin of the Geological Society of Greece, 40(4), 1904-1915. <https://doi.org/10.12681/bgsg.17205>
- Bozdağ, A., & Ertunç, E. (2020). CBS ve AHP Yöntemi Yardımıyla Niğde Kenti Örneğinde Taşınmaz Değerleme. Geomatik, 5(3), 228-240. <https://doi.org/10.29128/geomatik.648900>
- Canbolat, E. (2014). Fikir ve Sanat Eserleri Hukuku Açısından İmar Planları ve Plan Müellifinin Hakları. Kırıkkale Üniversitesi.
- Çiftçi, Ç., Dursun, Ş., Levend, S., & Kunt, F. (2013). Topoğrafik yapı, iklim şartları ve kentleşmenin

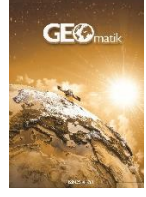
- Konya'da hava kirliliğine etkisi. *European Journal of Science and Technology*, 1(1), 19–24.
- Cooke, P., & Memedović, O. (2003). *Strategies for Regional Innovation Systems: Learning Transfer and Applications*.
- Dilekçi, S., Marangoz, A. M., & Ateşoğlu, A. (2021). Zonguldak ve Ereğli Orman İşletme Müdürlükleri Orman Yangını Risk Alanlarının Belirlenmesi. *Geomatik*, 6(1). <https://doi.org/10.29128/geomatik.660623>
- Doğramacı, M. (2019). Dönüşümcü ve etkileşimci liderlik tarzlarının örgütsel bağlılığa etkisi: Konya sanayi örneği. *Sosyal Bilimler Enstitüsü, Necmettin Erbakan Üniversitesi*.
- Ergen, C. (2009). *İmar Planları*. Seçkin Yayıncılık.
- Gazete, R. (1985). T.C. Resmî Gazete-İmar Kanunu: Kanun No: 3194 ve Sayı: 18749. <http://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/18749.pdf>
- Gazete, R. (2001). 06 Temmuz 2001 tarih ve 24454 Sayılı Resmî Gazete'nin 4691 Sayılı Kanun Metni. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2001/07/20010706.htm>
- Gül, T. G., & Çakır, S. (2014). Teknoparklar ve teknoloji üretimi: izmir teknoloji geliştirme bölgesi örneği. *Bilgi Ekonomisi ve Yönetimi Dergisi* /, 9(1), 79–90.
- Güney, Y. & Turoğlu, H. (2018). Çok Ölçütlü Karar Analizi ile Erozyon Duyarlılık Çalışmalarında Erozyon Yüzeyleri Envanter Verisinin Kullanımı: Selendi Çayı Havzası Örneği. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 16 (1), 105–119. https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000193
- Güngör, R., & İnam, Ş. (2019). İmar Uygulamalarında Farklı Dağıtım Metotlarının Karşılaştırılması. *Geomatik*, 4(3), 254–263. <https://doi.org/10.29128/geomatik.548592>
- Malczewski, J. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. John Wiley & Sons, New York.
- Marinoni, O. (2004). Implementation of the analytical hierarchy process with VBA in ArcGIS. *Computers & Geosciences*, 30(6), 637–646. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2004.03.010>
- Massam, B. H. (1980). *Spatial search: application to planning problems in the public sector / by Bryan H. Massam*. Pergamon Press.
- Matejcek, L. (2017). *Assessment of Energy Sources Using GIS*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-52694-2>
- Mercan, Ç., & Arpağ, S. (2020). Coğrafi Bilgi Sistem Analizleri Kullanılarak Toprak ve Arazi Özelliklerinin Değerlendirilmesi: Türkiye, Mardin İli Arazisi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 7(1), 23–33. <https://doi.org/10.19159/tutad.644210>
- Nyimbili, P. H. (2017). Integrating GIS And Multi-Criteria Decision Making Techniques (AHP and TOPSIS) For Earthquake Hazard Map Generation And Analysis – Case Of Küçükçekmece Region [Istanbul Technical University]. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Oğuz, E., Oğuz, K., & Öztürk, K. (2021). Düzce Bölgesi Taşkın Duyarlılık Alanlarının Belirlenmesi. *Geomatik*, 7(3), 220–234. <https://doi.org/10.29128/geomatik.972343>
- Ömürbek, N., & Şimşek, A. (2014). Analitik Hiyerarşi Süreci ve Analitik Ağ Süreci Yöntemleri ile Online Alışveriş Site Seçimi. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 22, 306–327. <https://doi.org/10.11611/JMER214>
- Özalp, A. Y., Akıncı, H., & Kılıçer, S. T. (2020). Artvin Örneğinde Arsa Vasıflı Taşınmaz Malların Değerini Etkileyen Faktörlerin Analizi. *Geomatik*, 5(2), 100–111. <https://doi.org/10.29128/geomatik.579401>
- Öztürk, D., & Batuk, F. (2010). Konumsal Karar Problemlerinde Analitik Hiyerarşi Yönteminin Kullanılması. *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 28, 124–137.
- Pérez-Collazo, C., Jakobsen, M. M., Buckland, H. Fernandez-Chozas, J. & (2013). Synergies for a Wave-wind Energy Concept. *European Offshore Wind Energy Conference-EWEA OFFSHORE*.
- Saaty, T. L., & Kearns, K. P. (2014). *Analytical Planning: The Organization of System*. Elsevier, Amsterdam.
- Saaty, T. L. (1986). Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process. *Management Science*, 32(7), 841–855. <https://doi.org/10.1287/mnsc.32.7.841>
- Saaty, T. L. (2012). *Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World*. In RWS Publications. RWS Publications, Pittsburgh.
- Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2021). *Teknoloji Geliştirme Bölgeleri Kılavuzu*.
- Sarı, F., & Sarı, F. K. (2021). Multi criteria decision analysis to determine the suitability of agricultural crops for land consolidation areas. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 6(2), 64–73.
- Şentürk, E., & Erener, A. (2017). Determination of temporary shelter areas in natural disasters by gis: A case study, Gölcük/Turkey. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 2(3), 84–90.
- Timor, M. (2010). *Yöneylem Araştırması*. İstanbul: Türkmen Kitabevi, İstanbul.
- Timor, M. (2011). *Analitik Hiyerarşi Prosesi*. İstanbul: Türkmen Kitabevi, İstanbul.
- Triantaphyllou, E. (2000). *Multi-criteria Decision Making Methods: A Comparative Study (Vol. 44)*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3157-6>
- TÜİK (2021). Konya. <https://www.tuik.gov.tr/>
- Tüter, K. (2013). Analitik hiyerarşi yöntemi ile müşteri memnuniyeti açısından uygun granitin seçimi üzerine bir uygulama. *Yüksek Lisans Tezi*. Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü.
- Yalçın, C., & Yüce, M. (2020). Burdur'da Güneş Enerjisi Santrali (GES) Yatırımına Uygun Alanların CBS Yöntemiyle Tespiti. *Geomatik*, 5(1), 36–46. <https://doi.org/10.29128/geomatik.561962>
- Yanık, L. & Eren, T. (2017). Borsa İstanbul'da İşlem Gören Otomotiv İmalat Sektörü Firmalarının Finansal Performanslarının AHP, TOPSIS, ELECTRE ve VIKOR Yöntemleri ile Analizi. *Yalova Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(13), 165–188. <https://doi.org/10.17828/yalovasosbil.333899>
- Yıldırım, F. B. (2022). Çok Kriterli Karar Verme. [https://www.bahadirfyildirim.com/blog/serie/cok-kriterli-karar-verme/#:~:text=%C3%87ok%20Kriterli%20Karar%20Verme%20\(%C3%87KKV,%C5%9Fekilde%20analiz%20etme%20s%C3%BCrecine%20dayan%C4%B1r](https://www.bahadirfyildirim.com/blog/serie/cok-kriterli-karar-verme/#:~:text=%C3%87ok%20Kriterli%20Karar%20Verme%20(%C3%87KKV,%C5%9Fekilde%20analiz%20etme%20s%C3%BCrecine%20dayan%C4%B1r)

Yönetmelik (2022). Tarım Arazilerinin Korunması,
Kullanılması ve Planlanmasına Dair Yönetmelik.

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=24153&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>



© Author(s) 2023. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Coğrafi bilgi sistemleri ve çok kriterli karar verme yöntemleri: Hibrit çözüm yaklaşımı ile Siirt örneği

Ertuğrul Yıldız ^{*1} , Fikret Er ² 

¹Siirt Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Siirt, Türkiye

²Anadolu Üniversitesi, Açıköğretim Fakültesi, Yaygın Öğretim Bölümü, Eskişehir, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Hibrit çözüm yaklaşımı
CBS
ÇKKV
PROMETHEE
RStudio

Araştırma Makalesi

Geliş: 03.01.2023
Revize: 10.04.2023
Kabul: 14.04.2023
Yayınlanma: 19.04.2023



Öz

Hibrit çözüm yaklaşımı olarak sunulan yöntemde coğrafi bilgi sistemlerinin sunduğu çözüm kümesinin ek araştırmalar ile en uygun yer seçimine mecbur bırakılmasına kolaylık sağlamak amaçındadır. Bu kolaylığı çok kriterli karar verme yöntemleri ile sağlamaya çalışmaktadır. Yaklaşımın bir uygulamasını içeren bu çalışmada, güneş enerjisi santrali kurulum yeri seçimi problemi ele alınmıştır. Bu problemin çözümü için gerçek hayat verileri ilgili kurumlardan elde edilerek coğrafi bilgi sistemleri analizleri ArcGIS yazılımında "Overlay Analysis" analiz aracı ile gerçekleştirilmiştir. Çok kriterli karar verme yöntemi olarak seçilen PROMETHEE yöntemi RStudio yazılımının "promethee123" paketi ile gerçekleştirilmiştir. Uygulama sonucunda elde edilen sonuçlar bir kurulum yeri seçimi için, işletme olarak kurulumu ve sürdürülebilirliği için öncelik sıralaması sunmaktadır. Sunulan hibrit çözüm yaklaşımı literatürdeki iki adımlı çözüm arayışının veri kaybını en aza indirerek daha bütüncül bir yaklaşım sunmaktadır.

Geographic information systems and multi-criteria decision analysis: Siirt case with hybrid solution approach

Keywords

Hybrid solution approach
GIS
MCDA
PROMETHEE
RStudio

Research Article

Received: 03.01.2023
Revised: 10.04.2023
Accepted: 14.04.2023
Published: 19.04.2023

Abstract

In the method presented as a hybrid solution approach, it aims to facilitate the solution set offered by geographic information systems to force the selection of the most appropriate location with additional research. It tries to provide this convenience with multi-criteria decision making methods. In this study, which includes an application of the approach, the problem of solar power plant location selection is addressed. For the solution of this problem, real life data were obtained from the relevant institutions and geographic information systems analysis was performed with the "Overlay Analysis" analysis tool in ArcGIS software. The PROMETHEE method, which is selected as a multi-criteria decision making method, has been implemented with the "promethee123" package of RStudio software. The results obtained as a result of the application provide a priority ranking for the selection of an installation site, its establishment as a business and its sustainability. The presented hybrid solution approach offers a more holistic approach by minimizing the data loss of the two-step solution search in the literature.

1. Giriş

İnsanoğlunun var olmasından bugüne kadar düşünme becerisi sayesinde hayatlarının her aşamasında, karşılaştığı karmaşık sorunlarıyla başa çıkma hamlesini karar verme süreci sayesinde ortaya koymuştur. Karşılaşılan durumlar basit veya karmaşık hangi yapıda olursa olsun, kısa veya uzun hangi süre boyunca sürerse sürsün bir karar verme süreci gerektirmektedir.

İnsandaki mantık süreçleri ve düşünme becerisi sayesinde yaşamları boyunca tüm seçimlerinde karar verme süreçleri ile karşı karşıyadır. Her karar kısa ya da uzun süreçlerde sonuca bağlanabilir, ama tüm tercihler bir karar süreci sonucunda gerçekleşmektedir. Günlük yaşamda değerlendirilen bir süreç detaylı düşünmeye gerek görülmebilir. Ancak tüm karar verme süreci insanın affettiği önem ile birlikte, karar problemi ve karar süreci hakkında detaylı biçimde düşünmek ve belirlenecek olan kriterlerin değerlendirilmesi zorunludur (Yıldız, 2017).

Karar verme süreci, her duruma uygulanmayabilir. Karar verme sürecinin gerektiği koşullar bulunmaktadır. Bu koşulların ortaya çıkması durumunda bir karar analizi gereksinimi ortaya çıkar. Bu koşullar; karar vericinin bir problem olduğunun farkında olması, karar verici üzerinde problemi çözmek için bir zorunluluk olması, problem çözümü için birden fazla uygun seçenek olması ve tercih edilebilir seçeneklerde belirsizliklerin var olmasıdır (Aladağ, 2014).

Karar sürecinin takip edilmesi ve ilerleyebilmesi için temel kavramların ve bileşenlerin bilinmesi gereklidir. Bu bileşenlerin birbirleriyle olan ilişkisi; karar verme sürecinde elde edilmesi beklenen amaçlar, amaçları gerçekleştirmek için en az iki seçenek, seçeneklerin uygulanması ile elde edilen birbirinden farklı sonuçlar ve bu sonuçlar neticesinde hangi seçeneğin uygulanması konusunda nihai yargıya ulaşılması olarak özetlenebilir. Nihai yargıya ulaşmayı gerekli kılan tüm durumlar bir karar problemi olarak tanımlanır. Karar problemi, karar teorisinin ve karar verme sürecinin ilk tanımlanması gereken kavramdır (Özdemir, 2016).

Karar problemlerinde karar vericinin, ulaşmak istediği durum ile mevcut durum arasında bir fark oluşabilir. Bu farkı gidermeye yönelik hareket edeceği seçenekleri belirlemesi ve bu seçenekler arasından en uygun olanını seçmesi söz konusudur. Bir karar probleminin elemanları; karar verici, amaç, hedefler ve kriterler, seçenekler, seçeneklerin sonucunu ifade eden doğal durumlar, seçeneklerin gerçekleşme olasılıkları ve sonuçlardır (Aktaş ve ark., 2015).

Karar verici, karar probleminin çözümü için belirlenen seçenekler arasından tercih yapan, verdiği karar neticesinde doğabilecek tüm durumların sorumluluğunu üstlenen ve karar verme sorumluluğunu yerine getiren kişi veya kişilerdir.

Kararın amacı, karar neticesinde neye ulaşılacak istendiğini ve optimum sonuca ulaşmayı ifade eder. Optimum sonuç, kâr yapılı karar problemlerinde de en büyükleme, maliyet yapılı karar problemlerinde de en küçükleme olarak genellenmektedir (Özdemir, 2016).

Kararın hedefi, amaca ulaşmak için yerine getirilmesi gerekenleri, karar kriterleri ise karar seçeneklerinin

hangi bakış açısıyla değerlendirileceğini ifade eder (Lezki, 2016).

Karar seçenekleri/alternatifleri, bir karar probleminde karar vericinin tercih edebileceği farklı hareket biçimleridir. Bu seçeneklerin belirlenmesi ve sayısı karar verici tarafından belirlenir. Bu konudaki en temel şart en az iki seçeneğin olması gerekliliğidir. Her seçeneğin birbirinden farklı değerler alması veya farklı sonuçlara ulaştıracak hareket biçimini kapsamaması ve tüm belirlenen seçeneklerin de karar probleminde uygun olması gerekmektedir (Lezki, 2016; Özdemir, 2016).

Karar sonuçları ise bir seçeneğin karar süreci sonucunda tercih edilmesi ve seçeneğin oluşturacağı doğal durumun etkisiyle ortaya çıkacak olan değerlerdir. Bu değerler, karar vericinin belirlediği birimden olabilir. Bu birim beklenen, tatmin edecek fayda noktası veya eşliği ya da sayısal değerler ile gösterilebilir (Yıldız, 2017).

Tüm bu bilgiler ışığında günlük hayatta bir anlam karmaşası ve belirsizliği söz konusudur. Bu belirsizlik, karar verme bir seçim yapma eylemi, kararsızlık ise bir seçim yapmamaktır. Kararsızlık bir başarısızlık veya yanlış tercih anlamı taşımamaktadır. Kararsızlık da karar süreçlerinin bir parçası olabilmektedir. Kararsızlık yaşanması veya seçim yapılamaması karar sürecinde belirlenen seçeneklerin yeteri kadar bilgi olmamasından kaynaklanabilmektedir. Teorik olarak karar verme durumunda her seçenek için gerekli ve yeterli bilgiyi etmek mümkün görünse de bu durum karar verme sürecinde geri alınamayan ve en büyük maliyet etkenlerinden biri olan zaman probleminde yol açar. Tüm bu sebeplerden dolayı karar verme sürecinde, karar vermeyi kolaylaştıracak yaklaşımlar ve yaklaşımlara göre birçok yöntem bulunmaktadır (Yaraloğlu, 2010).

Çok kriterli karar verme (ÇKKV), karar teorisinin en yaygın olarak kullanılan yöntemlerini içeren bir sınıftır. Birden fazla nitel veya nicel olabilecek karar kriterinin değerlendirilmesini, alternatifler arasından seçim yapılmasını, alternatiflerin gruplandırılmasını veya sıralanmasını sağlayan yöntemler içermektedir. Bu yöntemler optimum alternatifi belirlemeye dayalı karar problemlerinin çözümünde karar vericiye karar vermede farklı bakış açılarıyla yol göstermektedir (Yıldız, 2017).

Çok kriterli karar verme, matematik, yönetim, bilişim, psikoloji, sosyal bilimler ve ekonomiyi kapsayan alan bir disiplindir. Karar verme süreçlerinin gün geçtikçe çeşitlenmesi ve farklı disiplinlerde kullanılan karar verme süreçlerinin bir başka disiplin için de geçerli olabilmektedir. Bu durumun farkındalığı sayesinde yöntemler ve uygulamalar daha da genişlemektedir. Kısıtlı bir alan veya örnek olabilecek tek problem için de birer yöntem geliştirilebileceği gibi, geçerliği geniş kapsamda olan yöntemler de bulunmaktadır. Bu yöntemler, karar vericiye optimum çözümü ya da uzlaşmacı bir çözümü bulmak için basamak ve teknikler sağlamaktadır. Karar vericiyi sürecin merkezinde tutması açısından ayrıcalıklar sunmaktadır.

Çok kriterli karar verme problemlerinde, hedefler ve hedeflere ulaşmayı sağlayacak olan kriterler önem taşır. Bu sebeple hedeflerin belirlenmesinde; karar verici açısından önemli olan konulara, ilgi ve endişelerine, hedeflerin tam açıkladığı unsurlara ve hedeflerin nicel ya

da nitel olabilme özelliklerine dikkat edilmesi gerekmektedir (Hammond ve ark., 1999).

Çok kriterli karar verme analizleri farklı yaklaşımlar ile farklı karar problemlerine yönelik çeşitli yöntemler geliştirilmesine olanak tanımıştır. Bu yaklaşımlar; tam toplama yaklaşımı, hedef, istek veya referans düzeyi yaklaşımı ve üstünlük tabanlı (outranking) yaklaşım olarak üç bölüme ayrılır (Ishizaka ve Nemery, 2013). Tam toplama yaklaşımında, her kriter için bir puan değerlendirilir ve değerlendirilen puanlara son aşamada genel bir puan sentezlemesi yapılarak sonuca ulaşılır. Hedef, istek veya referans düzeyi yaklaşımı, her kriter için bir hedef belirler ve ideal hedef veya referans seviyesine en yakın seçenekleri belirler. Üstünlük tabanlı yaklaşımında, karar sürecinde bir seçeneğe atanan kötü puan, daha iyi bir puan atamasıyla telafi edilememeli bakaç açısıyla çözüm arayışındadır.

Üstünlük tabanlı yaklaşım matematikteki aksiyomatik kuram temelleri olmadığı için sıklıkla eleştirilmiştir. Ancak karar problemi çözümünün nihai kararı, yöntemin matematiksel özellikleriyle değil de ilk problemin özellikleriyle çözüm arandığından emin olma beklentisini üstünlük tabanlı yaklaşımlar açıklayabilir.

Üstünlük tabanlı yöntemlerin kullanılmasına ilişkin bir diğer yaklaşımda, karşılaştırmaları kabul etmeyen yöntemlerin bilginin elde olan yönlerine işaret eden tercih modelleri üzerinde kısıtlı çalıştığını vurgulamaktadır. Karşılaştırılmazlıkları içeren tercih modellerinde kısıtlı kalmak da bazen bilim insanlarına engel olmaktadır.

Üstünlük tabanlı yöntemlerin kullanılmasının beklenildiği durumlar genellikle; en az bir kriter nicel olmadığı durumlarda, farklı kriterlerin birimleri çok heterojen olduğu ve bunları ortak bir ölçekte kodlamanın çok zor veya yapay olduğu durumlarda, bazı kriterlerdeki kazançlar ile diğer kriterlerdeki kayıplar arasındaki farkın telafi edilmesinin zor olduğu durumlarda ve bazı tercih veya veto eşiklerinin dikkate alınması gerektiği durumlardır.

Her yaklaşımın avantajları, dezavantajları ve ilgili uygulama alanları olduğu için yöntemleri karşılaştırmanın pek bir anlamı yoktur. Belirli bir problemle karşı karşıya kalındığında, bilim insanının veya karar vericinin rolü, problemin çözümünde ilerlemek için uygun yaklaşımların ve araçların kombinasyonlarını kullanmaktır. Dolayısıyla üstünlük tabanlı yöntemler diğer yaklaşımları tamamlayıcı rol üstlenen bir yaklaşımdır.

Üstünlük tabanlı yöntemler, bir analiz sonucu her alternatife bir değer belirlemek değil, alternatifler arasındaki üstünlük ilişkisini belirleyen yöntemlerdir. Herhangi bir a alternatifinin bir b alternatifinden daha üstün olduğunu ifade edebilmek için bir kanıt sunulması gerekmektedir. Bu kanıt, araştırılan problemin ve karar vericinin tercihlerine ilişkin mevcut tüm bilgiler göz önüne alınarak sunulmalıdır. Ancak kanıt sunulmadığı tüm durumlarda a 'nın en az b kadar iyi ve güçlü olduğu söylenir (Belton ve Stewart, 2002).

Üstünlük tabanlı yöntemler arasında kullanımının yaygın olduğu bir yöntem ailesi olan PROMETHEE yöntemi, çalışmanın uygulamasında kullanıldığı için yöntemin açıklaması ve adımlarına bu başlık altında yer verilmiştir.

2. Yöntem

2.1. PROMETHEE

PROMETHEE (Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations-Zenginleştirme Değerlendirmeleri için Tercih Sıralama Organizasyonu Yöntemi), alternatiflerin seçim veya sıralama imkânı sağlayan üstünlük tabanlı birçok kriterli karar verme yöntemler ailesidir. 1982 yılında Jean-Pierre Brans tarafından geliştirilerek PROMETHEE I ve PROMETHEE II ayırımı ile iki farklı model olarak tanıtılmıştır. Sonraki yıllarda Brans ve Mareschall tarafından PROMETHEE III, PROMETHEE IV, PROMETHEE V ve PROMETHEE VI sürümleri sunulmuştur.

Tüm PROMETHEE yöntemi ailesinin çeşitlenmesinin sebebi her birinin farklı amaca hizmet etmesidir. Farklı amaç olarak nitelendirilen durumlar ve PROMETHEE yöntemleri;

- PROMETHEE I yöntemi, karar problemindeki alternatiflerin kısmi sıralama sunmasına,
- PROMETHEE II yöntemi, karar problemi alternatiflerinin tam sıralamasının sunulmasına,
- PROMETHEE III yöntemi, aralıkları temel alarak sıralama sunmasına,
- PROMETHEE IV yöntemi, süreklilik içeren durumlar açısından ise kullanılmasına,
- PROMETHEE V yöntemi, kısıtlarında bölümlendirme içermesine,
- PROMETHEE VI yöntemi ise insan beyninin temsilinin yapıldığı çalışma ile farklılaşmaktadır.

Tüm bu çeşitliliği, etkin ve kolay kullanıma sahip olması nedeniyle PROMETHEE yöntemleri tıp, mühendislik, kimya, bankacılık, finans, üretim, tedarik zinciri, turizm, ulaşım ve lojistik, sağlık, işgücü planlaması gibi birçok alanda başarılı çalışmalar sunmuştur.

PROMETHEE yönteminde genel olarak, karşılaştırılan iki alternatiften birinin diğerine mutlak üstün, farksız ya da karşılaştırılmaz olması durumları söz konusudur. Alternatiflerin ikili olarak karşılaştırılmasında unutulmaması gereken temel nokta, tüm kriterler açısından, her iki alternatif arasındaki önceliğin belirtilmiş olması, kriterlere verilen önem derecelerini oranlı ölçek ile belirtilmesi ve kriterlere verilen değerler arasında anlamlı fark bulunması gerekmektedir (De Keyser ve Peeters, 1996).

PROMETHEE I ve II yöntemlerinin adımları çalışmanın uygulama aşamasında kullanıldığı için sadece bu yöntem adımları açıklanacaktır. Yöntemin uygulama adımları aşağıdaki gibidir (Yıldırım ve ark., 2015).

Adım 1: Alternatif, kriter ve kriter ağırlıklarının belirlenmesi adımı, karar matrisinin oluşturulur.

Adım 2: Her kriterin tercih yapısı ve tercih fonksiyonunun belirlenmesi adımı, her kriterin Tablo 1'deki özelliklere ve parametrelere göre tercih fonksiyonu belirlenir.

Adım 3: Tercih indekslerinin ve ortak tercih fonksiyonlarının belirlenmesi adımı, her kriter için saptanan tercih fonksiyonlarından yararlanarak alternatiflerin ortak tercih fonksiyonlarının

oluşturulduğu ve tercih indeksleri belirlenerek kriter ağırlıklarının elde edildiği adımdır.


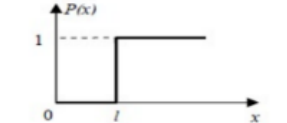
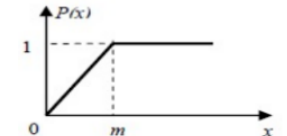
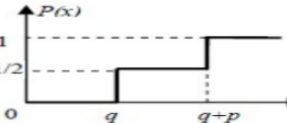


Adım 4: Pozitif ve negatif üstünlük değerlerinin hesaplanması adımında, her alternatifin pozitif ve negatif üstünlük değerleri elde edilir. Bu adım sonunda elde edilen alternatif sıralaması bir kısmi sıralama niteliği taşır ve PROMETHEE I yöntemi tamamlanmış olur.

Adım 5: Net öncelik değerlerinin elde edilmesi adımında, PROMETHEE I yönteminin sınırlılığını gidermek için bir önceki adımda elde edilen pozitif ve negatif üstünlük değerleri ile net üstünlük değerleri elde

edilir. Net üstünlük değerleri her alternatifin pozitif üstünlük değerinden negatif üstünlük değerinin çıkarılmasıyla elde edilir. Elde edilen net üstünlük değerleri büyüklük sıralaması da PROMETHEE II yöntemi çözümünü belirler.

Tablo 1’de sunulan tercih fonksiyonlarından birinin seçimi, karar verici tarafından yapılır. Karar vericinin yapacağı tercih fonksiyonu seçiminde, analiz edilecek veriler ve yöntemin uygulamasındaki bakış açısı önem arz eder. Bu nedenle aynı veriler ile farklı tercih fonksiyonu seçiminde sonuçlar değişebilmektedir.

Tablo 1. PROMETHEE tercih fonksiyonları tablosu

Tercih Fonksiyonu	Fonksiyon Grafiği	Fonksiyon	Parametreler
Olağan Tip (1)		$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq 0 \\ 1, & d > 0 \end{cases}$	–
U Tip (2)		$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq l \\ 1, & d > l \end{cases}$	l
V Tip (3)		$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq 0 \\ \frac{d}{\mu}, & 0 < d < \mu \\ 1, & d > \mu \end{cases}$	μ
Kademeli Tip (4)		$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq q \\ \frac{1}{2}, & q < d < q+p \\ 1, & d > q+p \end{cases}$	q, p
Doğrusal Tip (5)		$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq s \\ \frac{(d-s)}{r}, & s < d < s+r \\ 1, & d > s+r \end{cases}$	s, r
Gaussian Tip (6)		$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{d^2}{2\sigma^2}}, & d > 0 \end{cases}$	σ

2.2. Coğrafi Bilgi Sistemleri

Bilgisayar teknolojilerinin gelişiminin yanı sıra veri sayısının da artışı sayesinde verilerin elde edilmesi, düzenlenmesi, saklanması, analiz edilmesi ve kullanımını kolay ulaşabilmesi için çok sayıda sistemler oluşturulmuştur. Bunlar arasında özellikle planlama, uygulama amacıyla kullanılan sistemlerden birisi de Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)’dir.

Coğrafi bilgi sistemlerinin kavramsal boyutu ve tarihi düşünüldüğünde, ilk olarak bir sonuç, ürün olan

haritalardan başlamaktadır. 1950’lerden sonra, bilgisayarların kullanımlarının artmasıyla görsel grafikler haline almaya başlamıştır. Bu sayede artık dijital ortamlarda sunulması, taşınması sağlanmıştır. 1960’larda da bilgisayar destek tasarımlar (CAD: Computer Aided Design) sayesinde amaca özel haritaların oluşturulmasına başlanmış olup CAD’ler sayesinde de bilgisayar destekli haritacılık sistemleri tanımlanarak kullanılmaya başlanmıştır. 1970’lerin başından itibaren de bilgisayar destekli haritacılık sistemlerinin kullanımlarının artması ve dolayısıyla veri

boyutlarının artması nedeniyle, veritabanı yönetim sistemleri ile entegre olacak biçimde coğrafi bilgi sistemleri adını alacak tanıma ve içeriğe ulaşmıştır.

Coğrafi Bilgi Sistemlerinin etkinliği göz önünde bulundurulduğunda kullanım alanlarının geniş olması fark edilmektedir. Kısaca kullanım alanları; haritacılık, yer bilimi, şehir planlama, ulaşım planlama, telekomünikasyon, elektrik, doğalgaz ve su şebeke yönetimi, trafik yönetimi, tarım ve orman uygulamaları, afet yönetimi, doğal kaynaklar yönetimi, bankacılık ve sigortacılık, arazi ölçme değerlendirme, varlık yönetimi, belediye, sağlık, eğitim, maden ve sanayi sektörleri ve ekonomidir (Küpçü, 2015). Akademik olarak neredeyse tüm fen, sağlık ve sosyal bilimler kapsamındaki alanlarda kullanımı ve çalışmaları bulunmaktadır.

2.2.1. Coğrafi bilgi sistemlerinde temel kavramlar

Dünya yüzeyinin bir bölümünün mekansal ve öznelik bilgilerini, jeobilim, ekonomi ve ekoloji bulgularıyla tanımlayarak verilerin elde edilmesini, depolanmasını, analiz edilmesini ve görselleştirilmesini sağlayan (Bartelme, 2012; Pick, 2005) coğrafi bilgi sistemleri, mekansal analizlerde her coğrafi özelliğin, ne olduğunu tanımlayan, niteliğinin ne olduğunu belirten ve varsa bir büyüklüğü temsil edilen bir veya daha fazla niteliği vardır. Yapılan analiz türüne göre her coğrafi özelliğin sınıf, sıra, sayı, miktar ve oran türlerindeki öznelikleri farklılaşabilmektedir (Mitchell, 2020).

Mekansal analizlerdeki ayırt edici olan özellik, analiz sonuçlarının nesnelere konumlarına ve niteliklerine bağlı olmasıdır. CBS ve mekansal veri analizi, mekansal veri matrisi ile ilişkilidir. Kavramsal olarak mekansal veri matrisi, satırların vakalara ve sütunların her durumda ölçülen niteliklere atıfta bulunduğu, son sütunların da mekansal referansları sağladığı satır ve sütunlardan oluşan; aynı zamanda analizi gerçekleştiren için başlangıç noktasıdır (Goodchild ve Haining, 2004).

Coğrafi bilgi sistemleri, temel olarak veri toplama, yönetim, analiz ve sunum olarak fonksiyonel dört ana içerik barındırır. Veri toplama fonksiyonunda aktif, pasif algılayıcılar, navigasyon algılayıcı veya uzaktan algılama çeşitleriyle veriler elde edilir. Yönetim fonksiyonunda sistemin güncellenmesi, yapı oluşturulması, koordine edilmesi, verilerin depolanması, kontrol edilmesi, arşivlenmesi ve transfer edilmesi fonksiyonları bulunur. Analiz fonksiyonunda gün geçtikçe yeni ve farklı analizler eklense de geometrik analizler ve topolojik analizler temelinde analiz çeşitleri artmaktadır (Bartelme, 2012).

Bir bilgi sistemi olarak coğrafi bilgi sistemleri, coğrafi olarak nitelendirilen verilerin bir ortamda eşlenerek bir amaç doğrultusunda sorgulanarak analiz edilmesini bir personel aracılığıyla sağlayan bir bilgi sistemidir. Bu nedenle coğrafi bilgi sistemlerinin temelinde beş bileşeni bulunmaktadır. Bu bileşenler mekansal veri, personel, donanım, yazılım ve yöntemdir (Küpçü, 2015).

Bileşenlerden mekansal veri kapsamında istatistiksel veriler, hava fotoğrafları, uydu verileri vb. tüm veriler sayılabilirken bu verilerin genelleştirilmesi vektörel veri ve raster veridir.

Vektörel veri, bilgisayar ortamlarında oluşturulan nokta, çizgi ve poligonlar (eğriler) aracılığıyla koordinat

sistemi üzerinde ifade edilen, başlangıç, bitiş ve aralarındaki tüm noktalarının koordinatlarının gerçek dünya koordinatlarıyla belirli olan veri türüdür. Raster veri ise uydu görüntüleri, hava fotoğrafları veya harita paftaları gibi çıktılarda yer alan verilerin bilgisayar ortamına aktarılması ile oluşturulan resim verileridir. Raster verilerin boyutları ve kalitesi dpi (dot per inch-her inç için nokta sayısı) ile belirtilir. Nokta sayısı arttıkça veri büyüklüğü ve resim kalitesi artar. Vektörel veriler ayrıntıları yakalamak ve depolamak için avantaj sağlarken, raster veriler daha az depolama yeri açısından avantaj sağlamaktadır.

Personel, donanım ve yazılım bileşenleri coğrafi bilgi sistemlerinin belirlenen amaçlar doğrultusunda elde edilen verilerin analizini gerçekleştirmek için yeterli bilgisayar donanımı ile CBS yazılımını çalıştırmasını ve tüm bu işlemlerin de gerçekleşmesini sağlayacak personeli kullanıcısını ifade etmektedir.

Yöntem bileşeni mekansal verilerin hangi amaçla analiz edileceğinin belirlendiği ve analizin gerçekleştirildiği süreci tanımlamaktadır.

Coğrafi bilgi sistemlerindeki temel analizler en geniş haliyle yüzey, yakınlık ve ağ analizleri olmak üzere üç başlık biçiminde sınıflandırılabilir. Bu analizlerin her biri sorgulamalar için kullanılabilen analizlerdir. Yüzey analizleri, sayısal arazi ve sayısal yükseklik modelleri sayesinde, katman haritasındaki iki nokta arasındaki mesafenin hesaplanması, alan ve hacimlerin hesaplanması, eğim açısından kıyaslamaların yapılması, belirlenen bir alanın farklı açılardan görselleştirilmesi ve hatta belirlenen alan üzerinde sanal uçuş yapılabilmesi gibi tüm yüzey bilgilerine göre haritanın incelenmesine olanak sağlar.

Yakınlık analizleri ile bir haritadaki veri türleri olan nokta, çizgi veya poligona mesafe, zaman, miktar vb. yakınlıkları belirlenir. Tampon analizi ile gerçekleştirilen bu analizlerde, belirlenen birime belirlenecek birimdeki yakınlıklar dış sınırları gösterilerek sorgulamalar gerçekleştirilebilir.

Ağ analizleri aracılığıyla en kısa yol, rota belirleme, altyapı çalışmaları, dağıtım yön ve hatları, toplanma noktaları, belirli noktaya yönlendirme, ulaşılabilirlik analizleri gibi analizler gerçekleştirilebilmektedir.

Son yıllarda CBS ile ÇKKV analizleri çoğunlukla enerji kaynakları için kurulum yeri seçim problemleri ile sürdürülebilirlik konularında da bulunmaktadır (Arca ve Keskin Çıtroğlu, 2022; Khorrani ve Kamran, 2022; Sari ve Koyuncu, 2021; Urfalı ve Eymen, 2021). Bu nedenle bu çalışmada da benzer konuda bir uygulama alanı örneklendirilmiştir.

2.3. Hibrit Çözüm Yaklaşımı

Çok kriterli karar analizi ve coğrafi bilgi sistemleri ortak tarihsel açıdan incelendiğinde temelinde yöneylem araştırması ve yönetim biliminin olduğu gözlenmiştir. Yirminci yüzyıldaki coğrafya, kentsel ve bölgesel planlama alanlarındaki araştırmalar coğrafi bilgi sistemleri ile çok kriterli karar analizinin ortak çalışmalarının başladığı ifade edilebilir. Bu temeldeki ilk çalışmalar her iki alana da yeni bakış açıları ve gelişmeler sağlamıştır. Daha sonrasında peyzaj ve mekansal planlamalar alanları ortak çalışmaları artırmıştır. Bu

alandaki ortak çalışmalar, coğrafi bilgi sistemlerinin çakıştırma analizinin temeli olan elde hazırlanan haritaların bindirme tekniklerinde çok kriterli karar analizinin kullanılmasına dayanmaktadır. Özellikle niteliksel ve niceliksel özneliklere göre hazırlanan haritaların bindirme tekniklerinde nihai harita oluşturmada belirsizliği çok kriterli karar analizi ile çözüme ulaştırılmıştır.

Coğrafi bilgi sistemlerinin fayda sağladığı alanlar düşünüldüğünde, tüm farklı çalışma alanlarının birer işletme organizasyonu ve yapısında olduğu fark edilebilir bir sonuçtur. Dolayısıyla coğrafi bilgi sistemlerinin kullanılabilirdiği tüm alanlarda gerek yönetim anlayışı gerek karşılaşılan problemlerin türleri açısından, karar teorisinin ve karar verme süreçlerinin kullanıldığı söylenebilir. Bu sebeplerle ortak çalışma alanlarında kullanımları gün geçtikçe artmaktadır.

Bu çalışmada, söz konusu iki farklı disiplinin ortak çalışmaları gözlemlendiğinde, mevcut çalışma biçimlerine ek olarak yeni bir yaklaşımla da CBS-ÇKKV çalışmalarına farklı bakış açısı kazandırmak için hibrit çözüm önerisi ve uygulaması sunulmaktadır.

Hibrit çözüm yaklaşımı ile iki disiplinin çözüm adımlarını sıralı bir hale dönüştürerek optimum sonuç veya tercih önceliği sıralamasını vermesi amaçlanmaktadır. Coğrafi bilgi sistemlerinin sunduğu sonuçları, optimum veya optimuma en yakın sonuç olarak nitelendirmediği, probleme göre değişmekle birlikte, çoğunlukla bir çözüm adayları kümesi sunmaktadır. Söz konusu bu çözüm adayları kümesindeki her bir seçeneğin ek maliyetlere (zaman, para, personel, araç, ekipman vb.) katlanarak tekrar analiz edilmesi ve hatta yerinde tespit çalışmalarının yapılması dahi söz konusu olabilir. Karar verme yöntemleri de optimum sonuç veya sıralaması ya da sınıflandırmaları biçiminde bir sonuç verdiği bilinmektedir. Bu nedenle coğrafi bilgi sistemlerinin ek araştırma maliyetlerini gidermek veya minimize etmek için karar verme yöntemlerinin kullanımı önem arz etmektedir. Dolayısıyla hibrit çözüm yöntemi iki aşamalı bir çözüm sunmakla birlikte, ilk aşamasını coğrafi bilgi sistemleri yaklaşımları ve ikinci aşamasını da karar verme yöntemleri oluşturmaktadır.

Hibrit çözüm yaklaşımı, ele alınan bir problemin öncelikle coğrafi bilgi sistemleri yaklaşımlarıyla analiz edilerek elde edilen sonuç kümesini, karar verme yöntemlerinin alternatif kümesi olarak kabul ederek ek bir karar verme yöntemi süreci ile çözüme ulaşmayı amaçlamaktadır. Yaklaşımın ikinci kısmında belirlenecek olan karar verme kriterlerine ek olarak bir CBS kriteri eklenmesi gerekmektedir. Çünkü coğrafi bilgi sistemleri sonuçlarının çözüme aday alanlar olmasının yanı sıra birer değeri, puanı veya sınıflandırması da bulunmaktadır. Bu değerler karar verme çözümlerinde yok sayılmaz. Dolayısıyla coğrafi bilgi sistemlerindeki aday çözüm alanları karar verme yöntemlerinde alternatif olarak kabul edilmesine ek olarak alternatif değerlerini coğrafi bilgi sistemlerinde elde edilen aday alanların aldığı değerler, puanlar veya sınıflandırmaları da taşımaktadır. Sonuç olarak hibrit çözüm yaklaşımının ikinci kısmındaki bir karar matrisi **Tablo 2**'deki biçimde tanımlanır.

Tablo 2. Hibrit çözüm yaklaşımı ikinci kısım karar matrisi

Alternatif	Kriter 1	Kriter 2	...	Kriter n	CBS
1	D ₁₁	D ₁₂	...	D _{1n}	D _{1CBS}
2	D ₂₁	D ₂₂	...	D _{2n}	D _{2CBS}
...
m	D _{m1}	D _{m2}	...	D _{mn}	D _{mCBS}

Hibrit çözüm yaklaşımının uygulanabilirliğini göstermek için izleyen başlıkta örnek bir uygulama sunulmuştur. Uygulama alanı günümüzde sıklıkla çalışmaları yapılan güneş enerjisi santrali kurulması için alan belirleme çalışmasıdır.

3. Bulgular

Hibrit çözüm yaklaşımının uygulanabilirliğini göstermek adına, Siirt ilinde güneş enerjisi üretim santrali için yer belirleme problemi ele alınacaktır. Ele alınacak problemde, çoğunlukla yapılan uygulamalardaki gibi belirli bir veya daha fazla bölgenin sunulmasının yanı sıra elde edilecek aday bölgelerin bir sıralaması sonucu da sunulacaktır. Buna göre ele alınacak problem, Siirt il siyasi haritası kapsamında, bir güneş enerjisi santrali kurulumu için yerleşim yerleri, göl, baraj vb. su kaynakları, askeri alanlar ve havaalanları dışındaki alanların eğim, baki, yol ve yakınlık durumu, güneşlenme radyasyon haritaları CBS kriterleri olarak değerlendirilecektir. Bu değerlendirme sonucunda uygun alanlar belirlenecektir. Belirlenen uygun alanların ÇKKV yöntemleri için alternatifler olacak, alanların büyüklükleri, alana sığdırılabilecek santral güç büyüklükleri, kurulum maliyetleri, elde edilecek gelirler ve CBS analizi sonucundaki puanlar da kriter olarak değerlendirilecektir. Belirlenen bu kriterlere göre ikili üstünlük yöntemleri ile uygunluk sıralaması elde edilecektir. Problemin tanımı ve belirlenen kriterleri **Tablo 3**'de CBS ve ÇKKV analizleri için ayrı ayrı sunulmuştur.

Uygulamanın CBS analizi için Siirt ili siyasi haritası kapsamındaki veriler, Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü, Harita Genel Müdürlüğü, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Siirt Belediyesi, Siirt İl Özel İdaresi, Siirt Orman İşletme Müdürlüğü, Siirt Meteoroloji İstasyon Şefliği kamu kurum ve kuruluşlarının hem internet sayfalarından hem de akademik çalışmalara izin karşılığı bilgi paylaşımı esasıyla elde edilmiştir. Verilerin düzenlenmesinde ve analizinde CBS analizi için Netcad ve ArcGIS yazılımları, karar verme yöntemlerinin uygulanmasında da MS Excel ve R programlama kullanılmıştır. Uygulamada GES kurulumları için kullanılması gereken verilerin tümü elde edilememiştir. Veri paylaşımına olumlu bakmayan kurum ve işletmelerden dolayı, analiz sadece elde edilen veriler ışığında gerçekleştirilmiştir.

Uygulamanın gerçekleştirileceği Siirt ili siyasi haritası **Şekil 1**'de gösterilmektedir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığının coğrafi bilgi sistemleri uygulaması olan AtlasPro uygulamasından elde edilen bu harita aracılığıyla Siirt haritasının sayısal verisi elde edilmiş olup sonraki haritalarda sınırları belirlemek için kullanılmıştır.

Tablo 3. CBS ve ÇKKV kriterleri

	CBS	ÇKKV
Sınırlılıklar	Kriterler	Kriterler
Yerleşim Yerleri	Eğim	Alan
Göl, baraj, sulama kanalı, su kaynakları	Baki	Potansiyel kurulum gücü
Askeri alanlar	Yol ve yola uzaklık	Yatırım maliyeti
Havaalanları	Güneşlenme radyasyon potansiyeli	Gelir

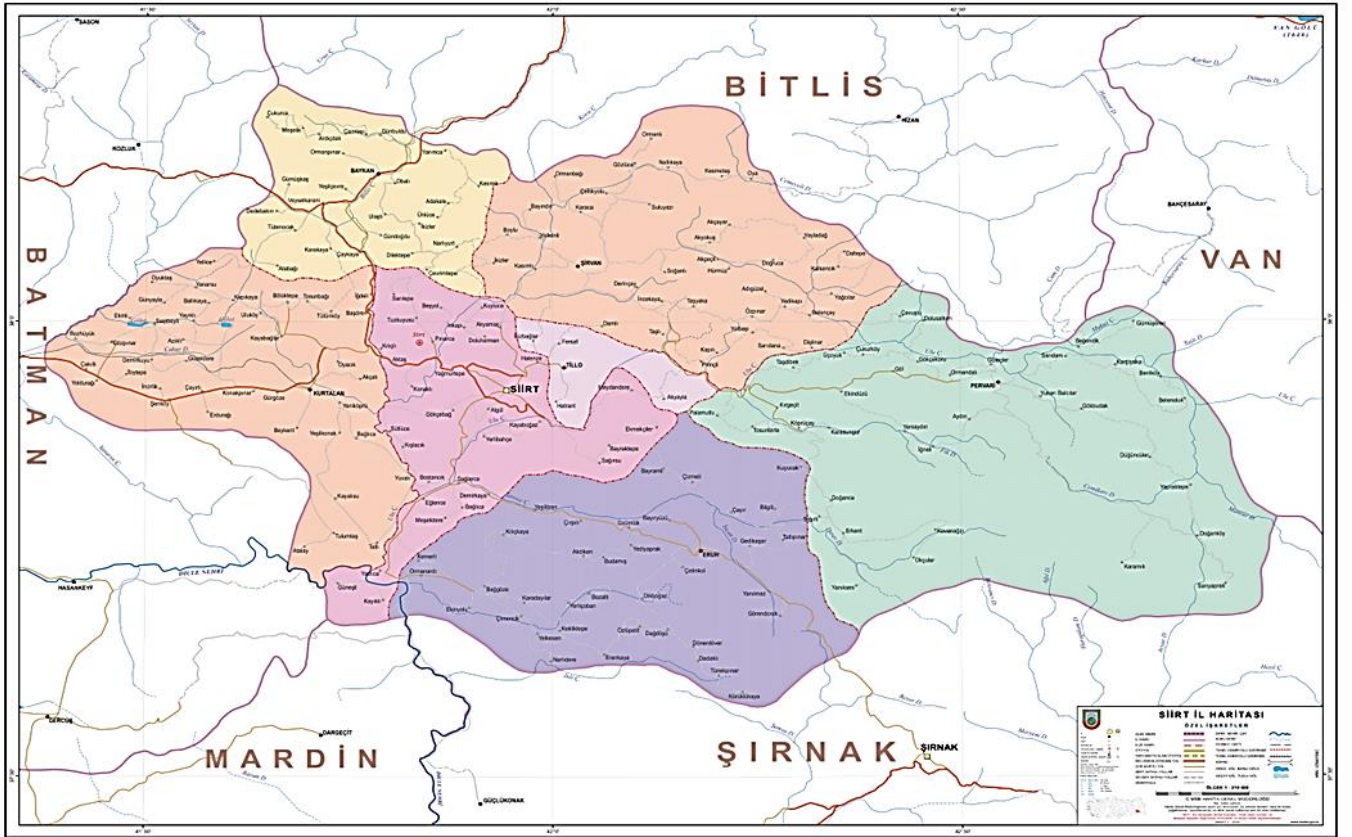
Uygulamada bir güneş enerjisi santrali kurulamayacak alanlar olan, yerleşim yerleri, akarsular, barajlar, göller vb. gibi su kaynakları alanları çıkarılacaktır. Bu nedenle Siirt İl Özel İdaresi ve Siirt Belediyesi tarafından alınan verilerin ArcGIS yazılımında birleştirilmesiyle edilen haritada; il merkezi, ilçe merkezleri ve köy yerleşim yerleri, Siirt İl Özel İdaresi ve Siirt Milli Parklar Koruma Şube Şefliğinden alınan veriler ile akarsu ve baraj gölleri haritası elde edilerek analizde kullanılacak alanlardan çıkarılacaktır.

Bu kısıtlamalar altında güneş enerjisi santrali için uygun yerlerin belirlenmesinde kullanılacak olan eğim, baki, yola uzaklık ve güneş radyasyon haritaları da oluşturulmuştur. Bu haritalar Siirt Orman İşletme Müdürlüğünden alınan verilerin altlık olarak kullanılmasıyla elde edilmiştir. İlgili haritalar; eğim

haritası, baki haritası, yollar ve yola yakınlık haritası ve güneşlenme radyasyon haritalarının elde edilmesiyle çakıştırma analizi uygulanmıştır.

Analizde yıllık ortalama güneş radyasyon değerleri de kullanılacak olup Siirt ilinin haritası Meteoroloji Genel Müdürlüğü internet sitesinden alınmış olup, alınan harita görüntüsü ArcGIS yazılımında sayısallaştırılarak analizde kullanılmıştır.

Elde edilen tüm haritalar Tablo 4'deki sınıflandırma aralıkları dikkate alınarak, katmanlara herhangi bir ağırlıklandırma atanmadan çakıştırma analizi yapılmıştır. Çakıştırma analizi ArcGIS'de "Analysis Tools" içerisindeki "Overlay" analiz aracıyla yapılmıştır. Çakıştırma analizi sonucunda elde edilen her bir poligonun sınıflandırmadaki aralığının belirlenebilmesi için, sınıf aralıklarına farklı asal sayılar verilmiştir.

**Şekil 1.** Siirt ili siyasi haritası

Asal sayı atamaları oluşturulan tabloların (Tablo 4-7) alt satırlarında 'Atama' satırı olarak sunulmuştur.

Tablo 4. Eğim haritası sınıflandırma tablosu

Katman	Sınıflandırma	0-3	3-5	5-10	<10
Eğim Haritası (%)	Aralık	23	19	17	13
	Atama	23	19	17	13

Asal sayı atamalarına göre çakıştırma analizi yapılırken, tüm sınıflandırmalara ek olarak eğim ve baki haritalarından ek bir katman oluşturulmuştur. Bu ek katman, literatürde eğimin %10'dan büyük ve K-KD-KB yönlerine bakan alanların güneş enerjisi sistemlerindeki verimliliğin düşük olacağı genel kanısına göre oluşturulmuştur. Dolayısıyla baki K-KD-KB

yönlerinde %10'ten fazla eğimli alanlar çalışmaya dahil edilmemiştir.

Tüm bu kriterlere göre oluşturulan katmanlar herhangi bir ağırlık ataması olmadan çakıştırma analizi ile Şekil 4.2.'deki nihai harita sonucu elde edilmiştir. Nihai haritadan 41847, ... ,368621 kodlarıyla temsil

edilen 128 farklı renklendirme ve her bir rengin temsil ettiği farklı büyüklükteki alanlar gözlenebilir. Söz konusu bu 128 renkteki farklı alanlar modelin ikinci aşamasında çok kriterli karar verme analizinin alternatiflerini oluşturacaktır.

Tablo 5. Bakı haritası sınıflandırma tablosu

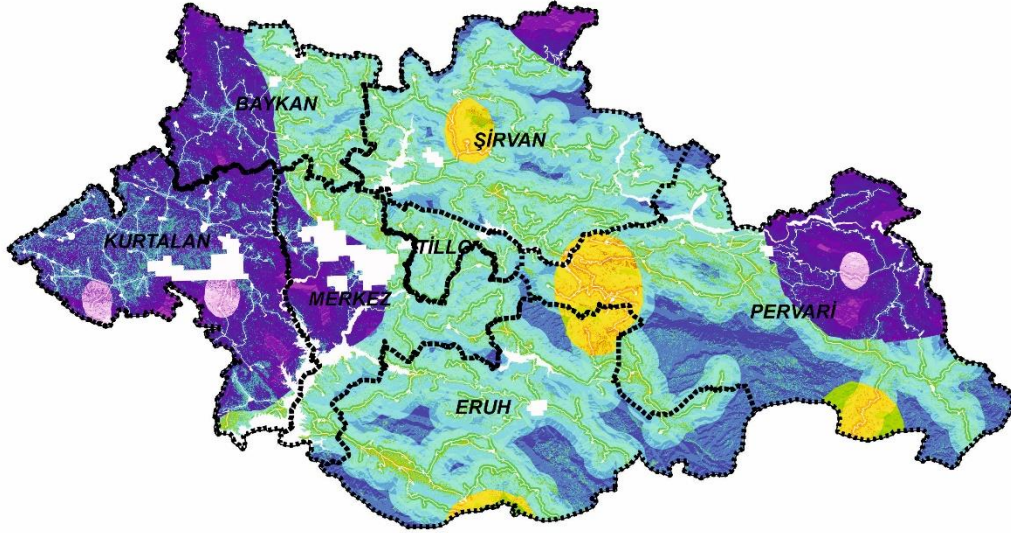
Katman	Sınıflandırma										
	Yön	Düz	K	KD	D	GD	G	GB	B	KB	K
Bakı Haritası (Yön-Açı)	Aralık	(-)	(0-22,5)	(22,5-67,5)	(67,5-112,5)	(112,5-157,5)	(157,5-202,5)	(202,5-247,5)	(247,5-292,5)	(292,5-337,5)	(337,5-360)
Atama	31	29	29	31	31	31	31	31	31	29	29

Tablo 6. Yol haritası sınıflandırma tablosu

Katman	Sınıflandırma			
Yola Uzaklık Haritası (m)	Aralık	500-1000	1000-3000	3000-5000
Atama	47	43	41	37

Tablo 7. Güneşlenme haritası sınıflandırma tablosu

Katman	Sınıflandırma					
Güneş Radyasyon Haritası (kW/h)	Aralık	4.81-4.90	4.91-5.00	5.01-5.10	5.11-5.20	5.21-5.30
Atama	2	3	4	7	11	



Legend

Sonuc_V2	Value
51,987	64,821
53,157	65,379
54,723	67,773
41,847	56,823
44,733	58,497
46,371	60,639
48,633	61,161
49,589	63,597
74,037	82,041
74,307	82,615
74,555	83,049
75,981	86,043
77,285	86,645
77,691	87,699
79,143	88,595
81,055	91,205
91,977	104,377
94,047	105,995
94,705	108,035
97,495	108,199
97,643	108,965
100,533	110,533
101,065	110,305
101,935	113,477
115,661	115,855
118,465	120,745
121,303	121,303
123,955	112,955
124,033	124,033
126,635	126,635
127,687	127,687
129,485	129,485
131,905	131,905
132,587	132,587
136,493	136,493
138,415	138,415
141,491	141,491
142,709	142,709
143,405	143,405
146,165	146,165
148,393	148,393
151,249	151,249
152,551	152,551
153,295	153,295
153,439	153,439
156,745	156,745
158,137	158,137
158,627	158,627
164,021	164,021
165,651	165,651
167,555	167,555
169,043	169,043
170,027	170,027
172,753	172,753
173,383	173,383
177,289	177,289
181,279	181,279
181,753	181,753
184,667	184,667
186,619	186,619
189,027	189,027
190,619	190,619
191,429	191,429
192,753	192,753
193,781	193,781
194,909	194,909
197,289	197,289
200,651	200,651
200,767	200,767
204,631	204,631
208,351	208,351
214,489	214,489
219,443	219,443
222,343	222,343
224,257	224,257
233,169	233,169
234,577	234,577
237,677	237,677
248,501	248,501
249,271	249,271
254,881	254,881
258,623	258,623
260,639	260,639
272,459	272,459
278,597	278,597
284,867	284,867
290,191	290,191
300,817	300,817
304,513	304,513
315,491	315,491
321,563	321,563
337,249	337,249
344,839	344,839
368,621	368,621

Şekil 2. Çakıştırma analizi sonucu

Şekil 2'deki nihai harita incelendiğinde 5 adet gruplandırma olduğu gözlenmektedir. Bu gruplandırmalar atanan asal sayıların çarpımlardan elde edilen 128 sonucun büyüklük sıralamasına göre

gruplandırmak yerine elde edilen sayıların en büyük ortak bölen sayılarına göre belirlenerek Şekil 3'teki harita elde edilmiştir. Bu tür gruplandırmanın tercih edilmesinin nedeni eğim ve bakı katmanlarına ek katman

oluşturma nedeni ile ilişkilidir. Atanan asal sayı çarpımlarının büyüklüklerine göre sıralama yapıldığında, örneğin %5 eğim ve K-KD-KB yönlerindeki alanların, %10 eğim ve Düz-D-GD-G-GB-B baki yönlerinden daha yüksek değerde enerji üretimine uygun olacağı sonucu algılanabilir. Bu sonuç gerçekte uygun olup olmayacağı ek farklı analizler ile yapılması gerektiği için asal sayı çarpım büyüklüklerine göre gruplandırma yapmak yerine, çarpımların en büyük ortak bölen sayılarına göre gruplandırma tercih edilmiştir. En büyük ortak bölenlerine göre gruplandırma işleminin tercih edilmesinin nedeni, sınıflandırmada benzeştiği katman açısından değerlendirilerek, alanın en iyi sonuç verdiği katman ile analize fayda sağlaması beklentisidir. Bu beklentiyi de matematiksel olarak en büyük ortak bölen ile gruplandırma sağlamaktadır.

En büyük ortak bölen değerlerine göre yapılan bu gruplandırmada, Şekil 4'teki gösterildiği gibi grup isimlendirmeleri I-II-III-IV-V aralığında yeniden düzenlenerek, çok kriterli karar verme yöntemi analizinde kullanılması için sırasıyla 3-5-7-9-11 puanları verilerek CBS kriterinin puan sınıflandırması katmanı oluşturulmuştur.

Hibrit çözüm yaklaşımının ikinci aşaması problem durumunun çözümüne en uygun çok kriterli karar verme yönteminin seçimi ile gerçekleştirilecektir. Karar modeli oluşturulurken belirlenen kriterler alan, üretim potansiyeli, kurulum maliyeti, satış geliri ve CBS puanıdır.

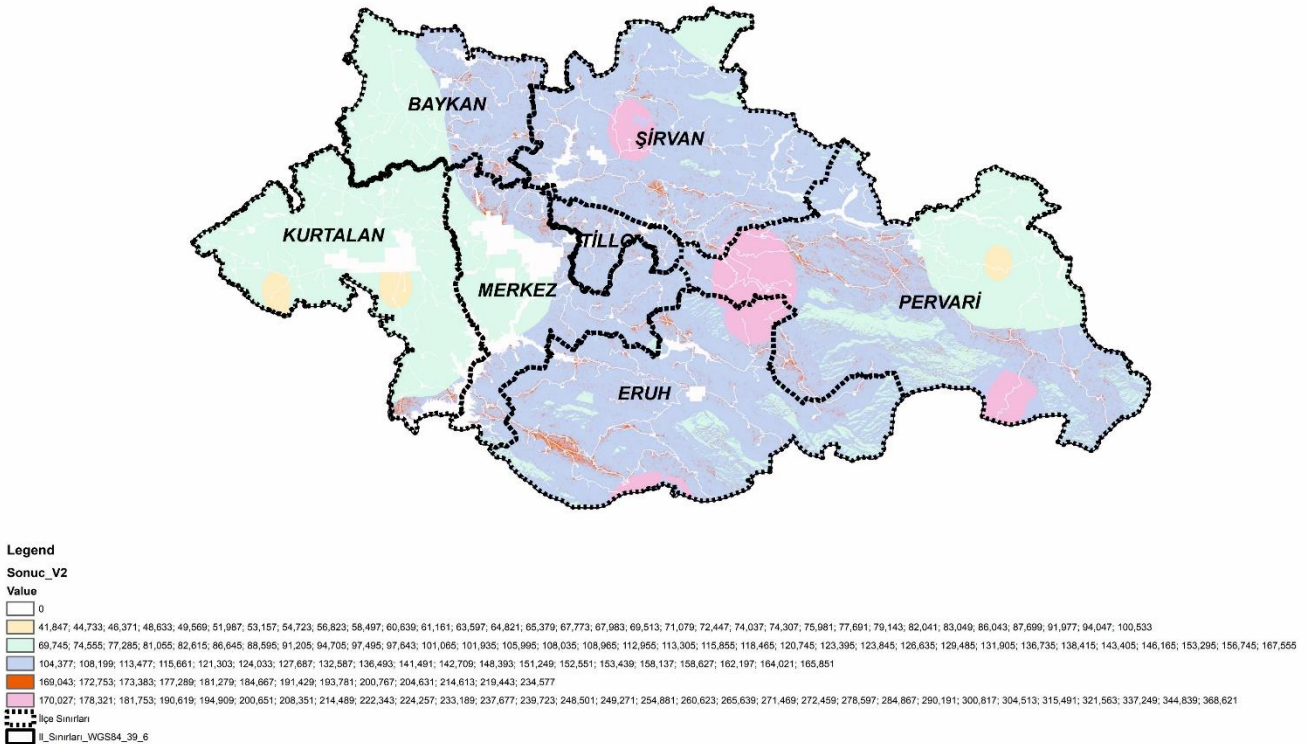
Alan kriteri CBS analizinde renklendirmeler farklılaşan alanların toplamını ifade eder. Üretim potansiyeli de belirlenen toplam alanlara kurulması muhtemel yaklaşık potansiyel gücü temsil etmektedir. Kurulum maliyeti kriteri de potansiyel güç ve alan kriterleri değerleri ile ilişkili olarak yaklaşık maliyeti

göstermektedir. Satış geliri kriteri de potansiyel güç üretiminden elde edilebilecek miktarı belirtmektedir. CBS puanı kriteri ise CBS analizi ile elde edilen alanların karar verici tarafından potansiyelini sayısallaştıracak puan atamasını ifade eder. Tüm bu belirlenen kriterler ile CBS analizinde elde edilen 128 farklı bölge karar alternatifi olarak kabul edilerek karar verme yöntemleri ile analiz edilecektir.

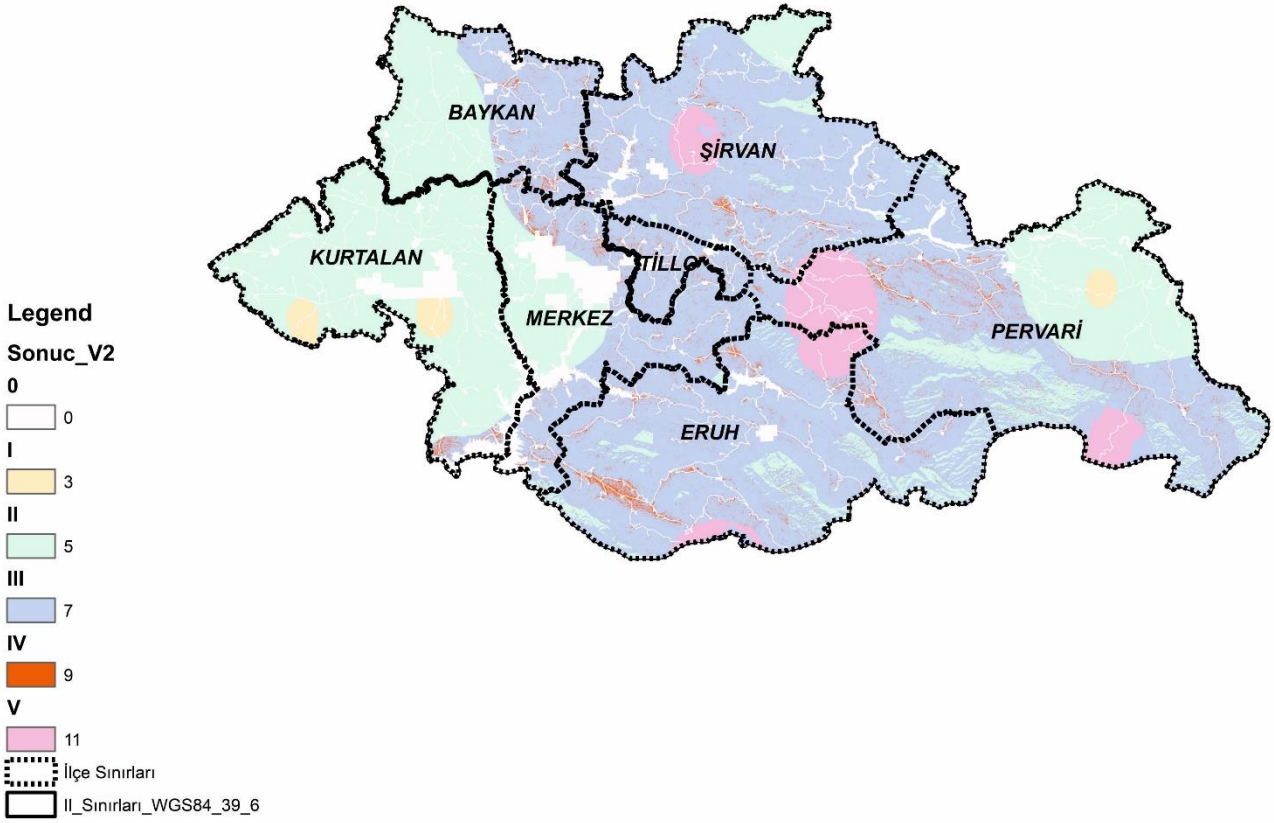
Analizde kullanılacak karar verme yönteminin belirlenmesinde karar verici olarak PROMETHEE ve ELECTRE yöntemleri belirlenmiştir. Ancak karar verme yöntemlerinin seçiminde kolaylık sağlayan bir seçim aracı da kullanılmıştır. Bu seçim aracı [Wałtróbski ve ark., \(2019\)](#) tarafından yapılan karar verme yöntemi seçme aracıdır. Bu araçtaki ilgili yerlere karar modelinin, ağırlıkları miktar ağırlıklı ve tercih belirsizliği olan kriterler ile sıralama ve seçim problemi olarak tanımlanarak PROMETHEE yöntemi sonucuna ulaşılmıştır. Bu nedenle çalışmada PROMETHEE yöntemi uygulanmıştır.

PROMETHEE yöntemlerini kullanmak için MS Excel ve R programlama dili (RStudio yazılımı) tercih edilmiştir. Buna göre ilk önce karar matrisi, Tablo 8' deki gibi oluşturulmuştur.

Karar matrisi elde edilirken alternatifler, CBS analizi sonucunda elde edilen 128 bölge seçilmiştir. Kriterler ve alacağı değerler için ise şimdiye kadar kurulmuş olup faaliyette olan güneş enerjisi santrallerinin fizibilite raporları ve santral kurulumu yapan işletmelerin raporları incelenmiştir. Elde edilen raporlardan mevcut santrallerin kapsadığı alanlar, kurulu güç büyüklükleri, yatırım maliyetleri, mevcut satış gelirleri verileri sayesinde istatistiksel veriler elde edilmiştir. Bu sayede alternatiflerin alacağı değerler elde edilerek karar matrisi oluşturulmuştur.



Şekil 3. CBS sonuç gruplandırması



Şekil 4. CBS kriteri puan sınıflandırması

Alan kriteri için bölgelerin toplam kapsadığı m² belirlenmiştir. Potansiyel üretim gücü değerleri, güneş enerjisi santrallerinin kurulu kW ve kurulu m² oranlaması yapılarak belirlenmiştir. Bu oranlama 48 mevcut kurulu normal ve çatı tipi güneş enerjisi santralleri fizibilite raporları incelenerek elde edilmiştir. İncelemede farklı üretim kapasitesinde ve farklı markaların güneş panelleri olduğu için çoğunlukta olan 21 adet 395 kWp'lık panellerin raporları ile oran belirlenmiştir. Benzer biçimde 1 MW enerji üretimi için gerekli alan hesaplamasında da aynı raporlar incelenerek 4444 m² ile 5057 m²'lik büyüklükteki alanlar olduğu tespit edilmiş olup tüm raporların kartilleri belirlenerek alan ve potansiyel güç ilişkili hesaplamalar elde edilmiştir. Benzer biçimde yatırım maliyeti hesaplaması için raporlar incelendiğinde ortalama birim maliyetin 430-630 USD aralığında olduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla alternatiflerin alacağı değerler 1MW potansiyel güç için kurulması gereken malzemelerin hesaplanmasında da sınıflandırma yapılarak farklı birim maliyet çarpanları ile maliyet kriteri değerleri belirlenmiştir. Enerji satışından elde edileceği tahmin edilen gelir miktarı 30.01.2021 tarihli Resmi Gazete ilamı ile 01.07.2021-31.12.2025 tarihleri arasında YEK (Yenilenebilir Enerji Kurulu) belgeli enerji üretim tesisleri fiyatlarının belirlenmesi ilişkin bilgiler paylaşılmıştır. Analizin yapıldığı dönem itibarıyla birim kWp satış geliri 0,81 TL kullanılarak hesaplanmıştır.

PROMETHEE yönteminin uygulaması için "promethee123" paketinin istediği verilere göre **Tablo 7** oluşturulmuştur.

RStudio içerisinde PROMETHEE yönteminin uygulamalarının kullanılmasını sağlayan hazır kütüphane 'promethee123' paketleridir. İlgili paket

kütüphaneden yüklendikten sonra istenilen veri girişleri, yazılım diline uygun olarak yapılmıştır. PROMETHEE yönteminin uygulanmasında kullanılacak olan 'promethee123' paketinin istediği veriler ise alternatifler, kriterler, karar matrisi, kriter ağırlıkları, kriterlerin veri tipleri (normalizasyon fonksiyonu), kriter ölçütleri (min/max), her bir kriter için tercih eşik değeri, farksızlık eşik değeri, veto eşik değerleridir.

Tüm girdiler eklendikten sonra RStudio aracılığıyla PROMETHEE yönteminin çıktılarını **Tablo 9**'deki gibi elde edilmiştir. **Tablo 9**'deki 'No' sütunu **Tablo 8**'deki karar matrisinde yer alan alternatif kodlarının sıra numaralarını, 'Alternatif' sütunu alternatiflerin kodlarını ve 'Rank' sütunu da PROMETHEE yöntemi sonucuna göre alternatiflerin rank sıralarını ifade etmektedir.

Tablo 9'da sunulan, PROMETHEE yönteminin sonuçları incelendiğinde 128 farklı alternatifin sıralaması gözlenmektedir. Bu yeni sıralamalara göre ilk iki ve son dokuz rank sıralaması alternatiflerin büyüklük sıralamalarıyla benzerlik gösterdiği fark edilebilir. Dolayısıyla problemin yapısı olan tercih sıralaması belirlenmesi amacına göre ilk tercih edilebilecek alternatifler, alan büyüklüklerine göre alternatif sıralamasındaki potansiyel elektrik gücünün de fazla olmasından dolayı ilişkili olarak yorumlanabilir ve bu nedenle birlikte öncelikli tercih edilebilir. Ancak alternatiflerin büyüklük sıralamasının tüm alternatifler için değerlendirilmesinde, 117 alternatifin en az 1 ve en fazla 120 birimlik sıralama değiştirdiği de bilinmektedir. Bu nedenle, öncelikli tercihin alan büyüklüğüne göre tercih edilmesi değil, tüm kriterlerin birlikte değerlendirilerek PROMETHEE sonucuna göre rank sıralamasının anlamlı bir bakış açısıyla çözüm sunduğu fark edilmektedir.

Tablo 7. RStudio PROMETHEE uygulaması verileri

Girdiler	Açıklamalar
Alternatifler	Alternatif Kodu sütununun değerleri birer alternatif ismi olarak belirlendi.
Kriterler	Kriterler satırı başlıkları sırasıyla, "Alan, BirimPotansiyel, KurulumMaliyet, SatışGeliri, CBSPuanı" olarak tanımlandı.
Karar Matrisi	Alternatiflerin kriterlere göre aldığı değerler, sütun öncelikli olarak eklendi.
Kriter Ağırlıkları	Kriterlerin ağırlıkları sırasıyla, "0.15, 0.20, 0.25, 0.25, 0.15" olarak belirlendi.
Kriterlerin Veri Tipleri	PROMETHEE yönteminin 2. adımındaki Tablo 3.1.'deki türlere göre seçim yapıp, her bir kriter için sırasıyla "5,5,5,5,3" olarak belirlendi.
Kriter Ölçütleri	Kriterlerin yönü sırasıyla, "max, max, min, max, max" olarak belirlendi.
Tercih Eşik Değerleri	Her bir kriter için sırasıyla, "40000000, 8000, 3600000, 6500, 7" olarak belirlendi.
Farksızlık Eşik Değerleri	Her bir kriter için sırasıyla, "900000000, 180000, 77000000, 145000, 13" olarak belirlendi.

Tablo 8. Karar matrisi

No	Kod	Alan (m ²)	Potansiyel (MW/m ²)	Maliyet (1000 USD)	Gelir (1000 TL)	CBS Puanı
1	41847	592,960.87	118.59	60,482.01	96.06	3
2	44733	1,276,687.02	255.34	130,222.08	206.82	3
3	46371	5,459,677.72	1,091.94	545,967.77	884.47	3
4	48633	14,397,299.41	2,879.46	1,439,729.94	2,332.36	3
5	49569	4,790,667.95	958.13	488,648.13	776.09	3
6	51987	12,645,532.16	2,529.11	1,264,553.22	2,048.58	3
7	53157	4,219,096.18	843.82	430,347.81	683.49	3
8	54723	54,578.89	10.92	6,440.31	8.84	3
9	56823	4,398,122.46	879.62	448,608.49	712.50	3
10	58497	66,179.23	13.24	7,809.15	10.72	3
...
...
...
124	315491	484,928.96	96.99	52,372.33	78.56	11
125	321563	768,256.32	153.65	78,362.14	124.46	11
126	337249	1,652,123.46	330.42	168,516.59	267.64	11
127	344839	280,676.33	56.14	30,313.04	45.47	11
128	368621	934,958.66	186.99	95,365.78	151.46	11

Tablo 9. RStudio ile PROMETHEE analiz sonucu rank sıralamaları

No	Alternatif	Rank	No	Alternatif	Rank	No	Alternatif	Rank	No	Alternatif	Rank
58	121303	1	121	290191	33	70	141491	65	4	48633	97
53	113477	2	116	265639	34	76	152551	66	6	51987	98
66	132587	3	112	248501	35	71	142709	67	3	46371	99
54	115661	4	127	344839	36	80	158137	68	5	49569	100
46	104377	5	111	239723	37	36	88595	69	9	56823	101
34	86645	6	107	224257	38	26	77285	70	7	53157	102
49	108199	7	122	300817	39	24	74555	71	13	63597	103
42	97643	8	117	271469	40	52	113305	72	2	44733	104
95	190619	9	31	82615	41	47	105995	73	17	67983	105
29	81055	10	89	173383	42	77	153295	74	38	91977	106
61	124033	11	104	214613	43	19	69745	75	18	69513	107
91	178321	12	90	177289	44	60	123845	76	20	71079	108
102	208351	13	109	234577	45	55	115855	77	1	41847	109
93	181753	14	94	184667	46	62	126635	78	23	74307	110
87	170027	15	97	193781	47	85	167555	79	11	60639	111
98	194909	16	100	200767	48	56	118465	80	43	100533	112
113	249271	17	101	204631	49	48	108035	81	14	64821	113
108	233189	18	92	181279	50	44	101065	82	25	75981	114
118	272459	19	86	169043	51	72	143405	83	33	86043	115
126	337249	20	105	219443	52	73	146165	84	35	87699	116
110	237677	21	88	172753	53	69	138415	85	27	77691	117
114	254881	22	96	191429	54	64	129485	86	16	67773	118
106	222343	23	40	94705	55	79	156745	87	32	83049	119
119	278597	24	81	158627	56	57	120745	88	21	72447	120
128	368621	25	74	148393	57	41	97495	89	39	94047	121
115	260623	26	83	164021	58	51	112955	90	30	82041	122
125	321563	27	67	136493	59	65	131905	91	10	58497	123
103	214489	28	82	162197	60	37	91205	92	8	54723	124
99	200651	29	63	127687	61	68	136735	93	28	79143	125
123	304513	30	75	151249	62	50	108965	94	15	65379	126
124	315491	31	84	165851	63	45	101935	95	12	61161	127
120	284867	32	78	153439	64	59	123395	96	22	74037	128

4. Tartışma ve sonuçlar

Sayısal olarak geniş bir literatüre sahip olan karar verme yöntemleri ile coğrafi bilgi sistemleri alanlarında bazı yöntemler üzerinde genelleşmeye gidildiği gözlenmektedir. Belli bazı yöntemlere bağlı kalmamak adına, karar verme yöntemlerinin çokluğu ve etkinliği sayesinde, ortak literatüre katkı sağlayacak bir yol izlenmesi için hibrit çözüm yaklaşımı sunulmuştur. Bu yaklaşım sayesinde farklı birer disiplin olan karar verme yöntemleri ile coğrafi bilgi sistemlerinin analiz adımları değişmeden, bir sıra izleyecek biçimde uygulanması hem veri kaybını önlemekte hem de uygulama alanlarını genişletmektedir.

Uygulaması ve adımları sunulan hibrit çözüm yaklaşımı, mevcut literatürdeki çalışmalardan farklı olarak çözüm arayışında veri kaybını en aza indirmektedir. Mevcut çalışmalarda karar verme yöntemlerinin sadece ölçeklendirme kullanımlarıyla kısıtlı kalma durumu söz konusudur. Ancak hibrit çözüm yaklaşımı adımları en uygun yöntemin uygulamasına imkân sağlayarak optimum sonuca yaklaştırır. Bu sayede ele alınan probleme bütüncül bir bakış kazandırır. Yaklaşımın literatür katkısı, en açıkça Hariz ve ark., (2017); Inamdar ve ark., (2018); Çetinkaya ve ark., (2018); Farooq ve ark., (2019); Marques-Perez ve ark., (2020); Wu ve ark., (2020) ve Hamadouche ve ark., (2020) çalışmalarındaki çözüm arayışı eksikliklerine sağladığı fayda ile gözlemlenebilir. Bu çalışmalarda ele alınan probleme çözüm arayışı hibrit çözüm yaklaşımındaki gibi iki adımlı olarak gerçekleştirilmiştir. Literatürde başarılı olarak yer edinen bu çalışmalar sayesinde iki adımlı çözüm arayışının etkinliği vurgulanmıştır. Ancak bu çalışmalarda veri kaybı nedeniyle kısıtlı çözümler sunulmuştur. Sağladığı iki adımlı çözüm arayışının etkinliğinin yanı sıra hem veri kaybını önlemek hem de kısıtlı alanlar ile analizlerin tekrarlanması maliyetini hibrit çözüm yaklaşımı sunmaktadır.

Yaklaşımın uygulamasında seçilen örnek problem sadece coğrafi bilgi sistemleri analizleri ile incelenecek olsaydı, belirlenecek olan bir alanın bir güneş enerjisi santrali için uygunluğu elde edilebilecekti. Ancak hibrit çözüm yaklaşımı sayesinde hem Siirt ilindeki tüm alanlar hem de karar verme yöntemlerinin etkinliği kullanılarak en uygun alanlar sıralaması elde edildi. Bu sayede, bir GES yatırımının sadece üretim potansiyeli açısından değil, işletme mantığı ile ekonomi, zaman, emek maliyetlerinin ve beklenen karın analizde yer alması sağlandı. Dolayısıyla hibrit çözüm yaklaşımı, çok kriterli karar verme yöntemleri ve coğrafi bilgi sistemleri ortak literatürün gelişmesinde yenilik sunmaktadır.

Bilgilendirme/Teşekkür

Makale, Ertuğrul Yıldız'ın Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, Sayısal Yöntemler Bilim Dalındaki doktora tezinden üretilmiştir.

Araştırmacıların katkı oranı

Ertuğrul Yıldız: Literatür taraması, Veri toplama, Modelleme, Makale yazımı; **Fikret Er:** Düzenleme, Makale yazımı

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Aktaş, R., Doğanay, M. M., Gökmen, Y., Gazibey, Y., & Türen, U. (2015). *Sayısal Karar Verme Yöntemleri* (1st ed.). Beta Basım A Ş.
- Aladağ, Z. (2014). *Karar Teorisi* (2nd ed.). Umuttepe.
- Arca, D., & Çıtıroğlu, H. K. (2022). Güneş enerjisi santral (GES) yapım yerlerinin CBS dayalı çok kriterli karar analizi ile belirlenmesi: Karabük örneği. *Geomatik*, 7(1), 17-25. <https://doi.org/10.29128/geomatik.803200>
- Bartelme, N. (2012). Geographic Information. In W. Kresse ve D. M. Danko (Eds.), *Springer Handbook of Geographic Information* (pp. 145–174). Springer Science & Business Media.
- Belton, V., & Stewart, T. (2002). *Multiple criteria decision analysis: an integrated approach*. Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1495-4>
- Çetinkaya, C., Kabak, M., Erbaş, M., & Özceylan, E. (2018). Evaluation of ecotourism sites: a GIS-based multi-criteria decision analysis. *Kybernetes*, 47(8), 1664-1686. <https://doi.org/10.1108/K-10-2017-0392>
- De Keyser, W., & Peeters, P. (1996). A note on the use of PROMETHEE multicriteria methods. *European journal of operational research*, 89(3), 457-461. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(94\)00307-6](https://doi.org/10.1016/0377-2217(94)00307-6)
- Farooq, A., Xie, M., Stoilova, S., & Ahmad, F. (2019). Multicriteria evaluation of transport plan for high-speed rail: An application to Beijing-Xiongan. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/8319432>
- Goodchild, M. F., & Haining, R. P. (2004). GIS and spatial data analysis: Converging perspectives. *Papers in Regional Science*, 83(1), 363-385. <https://doi.org/10.1007/s10110-003-0190-y>
- Hamadouche, M. A., Daikh, F. Z., Chrair, M., Anteur, D., Fekir, Y., & Driss, M. (2020). Erosion sensitivity mapping using GIS-based multicriteria analysis—case study of the semiarid Macta watershed, North-West of Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05616-z>
- Hammond, J. S., Keeney, R. L., & Raiffa, H. (1999). *Smart Choices : A Practical Guide to Making Better Decisions*. Harvard Business School Press.
- Hariz, H. A., Dönmez, C. Ç., & Sennaroglu, B. (2017). Siting of a central healthcare waste incinerator using GIS-based Multi-Criteria Decision Analysis. *Journal of Cleaner Production*, 166, 1031-1042. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.091>

- Inamdar, P. M., Sharma, A. K., Cook, S., & Perera, B. J. C. (2018). Evaluation of stormwater harvesting sites using multi criteria decision methodology. *Journal of Hydrology*, 562, 181-192. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.04.066>
- Ishizaka, A., & Nemery, P. (2013). *Multi-criteria decision analysis: methods and software*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118644898>
- Khorrami, B., & Kamran, K. V. (2022). A fuzzy multi-criteria decision-making approach for the assessment of forest health applying hyper spectral imageries: A case study from Ramsar forest, North of Iran. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(3), 214-220. <https://doi.org/10.26833/ijeg.940166>
- Küpçü, S. (2015). Temel Kavramlar. In A. Çabuk ve H. Uyguçgil (Eds.), *Coğrafi Bilgi Sistemleri* (pp. 2-49). Anadolu Üniversitesi Basımevi.
- Lezki, Ş. (2016). Kararın Temelleri. In H. Durucasu (Ed.), *İşletmelerde Karar Verme Teknikleri* (pp. 2-25). Anadolu Üniversitesi Basımevi.
- Marques-Perez, I., Guaita-Pradas, I., Gallego, A., & Segura, B. (2020). Territorial planning for photovoltaic power plants using an outranking approach and GIS. *Journal of Cleaner Production*, 257, 120602. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120602>
- Mitchell, A. (2020). *The Esri Guide to GIS Analysis Volume 1: Geographic Patterns and Relationships* (Second Edi). Esri Press.
- Özdemir, A. (2016). Karar Süreci. In Ş. Lezki (Ed.), *Karar Modelleri* (pp. 2-17). Anadolu Üniversitesi Basımevi.
- Pick, J. B. (2005). *Geographic Information Systems in Business*. Idea Group Publishing.
- Sarı, F., & Koyuncu, F. (2021). Multi criteria decision analysis to determine the suitability of agricultural crops for land consolidation areas. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 6(2), 64-73. <https://doi.org/10.26833/ijeg.683754>
- Urfalı, T., & Eymen, A. (2021). CBS ve AHP yöntemi yardımıyla Kayseri İli Örneğinde rüzgâr enerji santrallerinin yer seçimi. *Geomatik*, 6(3), 227-237. <https://doi.org/10.29128/geomatik.772453>
- Wańróbski, J., Jankowski, J., Ziembra, P., Karczmarczyk, A., & Zioło, M. (2019). Generalised framework for multi-criteria method selection. *Omega*, 86, 107-124. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.07.004>
- Wu, Y., Liu, F., Huang, Y., Xu, C., Zhang, B., Ke, Y., & Jia, W. (2020). A two-stage decision framework for inland nuclear power plant site selection based on GIS and type-2 fuzzy PROMETHEE II: Case study in China. *Energy Science & Engineering*, 8(6), 1941-1961. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ese3.640>
- Yaraloğlu, K. (2010). *Karar Verme Yöntemleri*. Detay Yayıncılık.
- Yıldırım, B. F., Önder, E., Can, M., Turan, G., Önder, G., Kuzu, S., Özdemir, M., Şahin, S., Dađ, S., Savaş, F., Önay, O., Burgazođlu, H., Sarul, L. S., Erdem Demirtaş, Y., Akal, Ş., & Çelikbilek, Y. (2015). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri* (B. F. Yıldırım ve E. Önder (eds.); 2nd ed.). DORA.
- Yıldız, E. (2017). *Çok Kriterli Karar Verme Problemlerinde İkili Üstünlük Algoritmaları: Grişimci ve Yenilikçi Üniversite Endeksinde ORESTE Uygulaması*. Anadolu Üniversitesi.



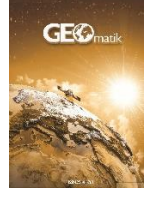
© Author(s) 2023. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Geomatik

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

e-ISSN 2564-6761



Yeşil alan uygunluk analizinin CBS tabanlı AHP ve TOPSİS yöntemleriyle değerlendirilmesi

Gamze Zeynep Topçu¹, Kader Bayır¹, Zeynep Ebrar Cavıldak¹, Murat Başeğmez², Cevdet Coşkun Aydın^{*1}

¹Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

²Milli Eğitim Bakanlığı, CBS ve Emlak Daire Başkanlığı, Ankara, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Yeşil Alan
AHP
TOPSİS
CBS

Araştırma Makalesi

Geliş: 05.09.2022
Revize: 07.02.2023
Kabul: 10.02.2023
Yayınlanma: 19.04.2023



Öz

Şehirler, artan nüfus yoğunluklarıyla sürekli gelişim halindedir. Bu durum kentlerin planlamasını ve sürdürülebilirliklerini sağlamak için planlı alanlara çeşitli sorunlar oluşturmaktadır. Günümüz insanının şehirlerde en çok eksikliğini hissettiği alanlar yeşil alanlardır. İnsanların yaşam kalitesinin artırılmasında ve ortaya çıkan sorunların giderilmesinde en önemli faktörlerden biri olan yeşil alanların planlanması oldukça önemlidir. Bu çalışmada, Ankara ili Çankaya ilçesine bağlı Emek, Bahçelievler ve Yukarı Bahçelievler mahalleleri çalışma alanı seçilmiş ve yeşil alan analizinin yapılabilmesi için on iki kriter belirlenmiştir. Bu kriterlerin birbirlerine göre ağırlıklarını tespit edilmesi için analitik hiyerarşi süreci (AHP) metodu kullanılmış ve kriterlerin konum analizleri için coğrafi bilgi sistemlerinden (CBS) yararlanılmıştır. En uygun yeşil alanların önem sıralarını belirlemek için ise TOPSİS metodu uygulanmıştır. TOPSİS yönteminde hem eşit ağırlıklı hem de AHP ağırlıklı hesaplar yapılmış ve analizler sonucunda, belirlenen dokuz bölgenin %44,4'ünün sıralamasının benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda, çalışma alanının yeşil alanlar bakımından yetersiz olduğu belirlenerek, uygulanan yöntemin sürdürülebilir kent modelleri için kullanımı değerlendirilmiştir.

Evaluation of green spaces suitability analysis with GIS-based AHP and TOPSIS methods

Keywords

Green Spaces
AHP
TOPSİS
GIS

Research Article

Received: 05.09.2022
Revised: 07.02.2023
Accepted: 10.02.2023
Published: 19.04.2023

Abstract

Cities are in constant development with increasing population densities. This situation creates various problems for planners to ensure the planning and sustainability of cities. The areas where today's people feel the most lack in cities are green. It is essential to plan green spaces, which is one of the most critical factors in increasing the quality of life of people and eliminating the problems that arise. In this study, Emek, Bahçelievler, and Yukarı Bahçelievler neighbourhoods of Ankara province Çankaya district were selected as the study area, and twelve criteria were determined for the green spaces analysis. The analytical hierarchy process (AHP) method was used to determine the weights of these criteria relative to each other. Geographical information systems (GIS) were used for the location analysis of the criteria. The technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS) method was used to determine the order of importance of the most suitable green spaces. In the TOPSIS method, both equally weighted and AHP weighted calculations were made. As a result of the analysis, it was determined that the ranking of 44.4% of the nine regions was similar. As a result of the study, it was determined that the area was insufficient in terms of green spaces, and the use of the applied method for sustainable urban models was evaluated.

Sorumlu Yazar

(gamzetpcu99@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-7265-6864
(bayirkader1@gmail.com) ORCID ID 0000-0003-4941-7336
(zeynepcavildak@gmail.com) ORCID ID 0000-0003-3838-7442
(murat.basegmez@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-7704-9510
(ceaydin@hacettepe.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-2064-6936

Kaynak Göster (APA)

Topçu, G. Z., Bayır, K., Cavıldak, Z. E., Başeğmez, M., Aydın, C. C. (2023). Yeşil alan uygunluk analizinin CBS tabanlı AHP ve TOPSİS yöntemleriyle değerlendirilmesi. Geomatik, 8(3), 235-249

1. Giriş

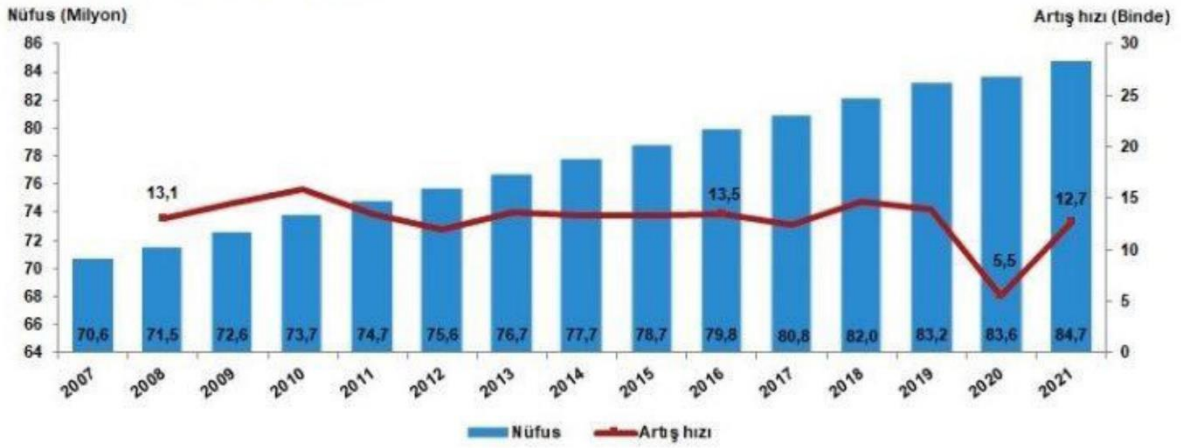
Küresel nüfus ortalamalarından daha yüksek nüfus yoğunlukları, yatay ve dikey yönde yapılaşmış yapılar, yoğun araç trafiği, çevre ve hava kirliliği ile kentsel ısı adası gibi olumsuz faktörler özellikle büyük kentlerin çekiciliğini ve kalitesini giderek azaltmaktadır (Gezer ve Gül, 2009). Yüksek kentleşme eğilimi ve insanların sağlık, eğitim, ekonomi gibi ihtiyaçlarını karşılama isteği de kırsal alanlardan kentlere göçü arttırmakta olup, bu durum sınırlı olan kaynaklar üzerinde baskı oluşturmaktadır (Mensah, 2014).

Günümüzde şehirleşme eğilimi sürecinde var olan sınırlı kaynakların yönetilmesi ve sürdürülebilir bir kent modelinin ortaya koyulması oldukça önemlidir. Ayrıca, kentlerde artan çevre ve hava kirliliği ile azalan yeşil alan

miktarı kentlerde yaşam kalitesini büyük ölçüde azaltmaktadır. Bu olumsuzlukların önlenmesi ve kentlerin yaşanılabilirliğinin artırılması için en önemli değerlerden biri yeşil alanlardır. Buna ek olarak, yeşil alanlar, kentlerin sağlıklı ve düzenli mekanlara dönüşmesinde de önemli bir rol oynamaktadır. Bu özellikleri sebebiyle hem merkezi hem de yerel yönetimler şehirlerin planlanması ve kent politikalarının üretilmesi sürecinde yeşil alanlara ciddi önem vermektedir (Chaudhry ve ark., 2011; Pulighe ve ark., 2016; Stessens ve ark., 2017).

Türkiye’de 2020 yılında %93 olan il ve ilçe merkezlerinde yaşayanların oranı, 2021 yılında %93,2’ye ulaşmıştır (Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2022) (Şekil 1).

Nüfus ve yıllık nüfus artış hızı, 2007-2021



Şekil 1. TÜİK (2022) nüfus verisi

Kentlerde sürekli artan nüfus için yeşil alan ihtiyacı ve bu alanların etkin yönetimi hayati derecede önemli bir meseledir. Bu kapsam da yaşanan çevrenin yaşam kalitesini arttırmak ve kentlerin sürdürülebilirliğini sağlamak için yeşil alanların planlanmasına yönelik ülkemizde ve dünyada birçok çalışma yapılmaktadır.

Dünyada kent planlamasında yeşil alanlar için birçok kurum belirli standartlar üzerinde uzun yıllardan beri çalışmalar yapmaktadırlar. Yeşil alanlara yönelik çok değişik kriterlerde çalışmalar yapılmıştır. Bu kapsamda kent alanları için kişi başına düşen yeşil alan miktarı üzerine yapılan çalışmalarda kişi başına düşen yeşil alan standartı Birleşmiş Milletler’in 30 m²/kişi, Avrupa Birliği’nin 26 m²/kişi, ABD Halk Sağlığı Bürosu ve İskân Bakanlığı’nın 18 m²/kişi ve Dünya Sağlık Örgütü’nün ise 9 m²/kişi olarak belirlenmiştir (Beatley, 2000; Stessens ve ark., 2017).

Yeşil alan tasarımı için önemli bir faktör de bu alanlara erişimdir. Bu konuda 1952 yılında "erişilebilirlik" ve "konum" temelli Stockholm Genel Planı oluşturulmuş ve yeşil alanlar için maksimum mesafe olarak 300 m’lik bir standart belirlenmiştir (General plan for Stockholm, 1952). Buna ek olarak, Van Herzele ve Wiedemann (2003)’in yaptıkları bir çalışmada, yeşil alanlara erişilebilirlik özelliğinin konut alanlarına olan maksimum mesafesini ele alarak analiz

etmişlerdir. Bu çalışmada erişilebilirlik mesafelerini yerleşim alanları için maksimum 150 m ve orman alanları için ise maksimum 5000 m olarak tanımlamışlardır. Mesafe ve boyut standartlarının insanlar için uygun olup olmadığını ele alan çalışmalara bakıldığında ise estetik ve erişilebilirlik kavramlarının daha kapsamlı bir şekilde ele alındığı görülmüştür (Van Herzele ve Wiedemann, 2003; De Clercq ve ark., 2007; Stähle, 2010). Bu çalışmalarda, yeşil alanların kentlerde yaşayan birçok yaş grubuna hitap ettiği ve her grubun farklı yürüme mesafelerini kullandığı değerlendirilmiştir (Gupta ve ark., 2016). Örneğin, konut alanı kullanıcılarının 0-5 dakika yürümeyi, mahalle parkı kullanıcılarının 10 dakikaya kadar yürümeyi ve topluluk parkı kullanıcılarının 15 dakika veya daha fazla yürümeyi tercih ettiği görülmüştür (Luthra ve Gupta, 2012). Avrupa Çevre Ajansı ve English Nature’in yaptığı çalışmalarda, yeşil alanlara yürüme mesafesinin en az 300 m, en fazla da 1000 m (15 dakikalık yürüme mesafesi) olması gerektiği değerlendirilmiştir (Khalil, 2014; Şenik ve Uzun, 2021). Amerika’da yeşil alanların bir hiyerarşisi oluşturularak bu alanların planlanmasında kullanılacak yürüme mesafeleri ortaya koyulmuştur. Bu planda yürüme mesafeleri, küçük çocuk parkları için 300-400 m, mahalle parkları için 400-800 m, bölge parkları için 800-5000 m olarak

önerilmiştir (Jia, 2001). Kore’de ise, çocuk parkları için 250 m, mahalle parkları için 500 m, alanı 30.000 m²’den büyük yürünebilir park alanları için 1000 m olması tavsiye edilmiştir (Oh ve Jeong, 2007).

Yeşil alanların erişebilirlik kriteri yanında çevre ile olan ilişkisi de oldukça önemlidir. Milenyum Ekosistem Değerlendirmesi raporuna göre, yeşil alanlar, yaşam kalitesine katkıda bulunan düzenleyici faktörler olarak kabul edilmektedir (Reid, 2005; Bennett ve ark., 2016; Sandifer ve ark., 2015). Yeşil alanların varlığı yaşam alanlarının kalitesini yükseltmede, günlük yaşamın insanlar üzerindeki olumsuzluklarını azaltmada oldukça önemli bir etkiye sahiptir (Fuller ve ark., 2007; Lappé, 2009; Burkhard ve ark., 2010; Grahn ve Stigsdotter, 2010; Lee ve Maheswaran, 2010). Ayrıca yeşil alanlar çocukların fiziksel, sosyal ve zihinsel gelişimleri için ihtiyaç duydukları oyun alanlarını da kapsamaktadır (Bird, 2009; Amoly ve ark., 2014). Yapılan araştırmalarda, erken yaşlarda yeşil alanlarla tanışma ile zihinsel gelişim arasında güçlü bir ilişki bulunduğu görülmektedir (Dadvand ve ark., 2015). Bu nedenle yeşil alanların tasarımında buldukları bölgelerdeki insanlara ait yaş, ekonomik durum ve kültürel kriterlere dikkat edilmesi oldukça önemlidir. Buna ek olarak, yeşil alanların işlevlerini yerine getirmesi için bu alanların büyüklüklerine, yoğunluklarına, sayılarına ve birbirleriyle olan bağlantılarına göre bütünlük bir planlamanın yapılması gerekmektedir (Heidt ve Neef, 2008).

Bu olumlu etkilerinin yanı sıra iklim değişikliğinin etkileri, artan sıcaklık dalgaları, kuraklık, sel ve su temini sorunları yeşil alanları olumsuz yönde etkileyen çevre faktörleridir (IPCC, 2007; Demuzere ve ark., 2014). Kentlerin karşılaştığı çevresel sorunların azaltılması ve sürdürülebilir kent modellerinin oluşturulması için yeşil alanların bir araç olarak kullanılması birçok çalışmada ifade edilmektedir (Haq, 2011; Galeeva ve ark., 2014).

Türkiye’de ise yeşil alanların planlanmasına yönelik politikalar T.C. Cumhurbaşkanlığına yayımlanan On Birinci Kalkınma Planında açıklanmıştır. Bu planda özellikle küresel ısınmanın en çok etkilediği alanlardan olan şehirlerin yeşil şehir vizyonu kapsamında yeniden planlanmasına yönelik bazı politikalar üretilmiştir. Üretilen bu politikalarda şehirlerde Millet Bahçelerinin yapılması ve yeşil alan miktarının artırılmasına yönelik çalışmalara yer verilmiştir. Bunlara ek olarak, “Ulusal Yeşil Bina Sertifika Sistemi”nin kurulması ve kentlerin sürdürülebilirliğin sağlanması için “Yeşil Liman” uygulamalarının desteklenmesi de istenilmiştir (T.C. Cumhurbaşkanlığı, 2019). On birinci kalkınma planında belirlenen bu politikaların uygulanmasının sağlanması için 3194 sayılı İmar Kanunu’nda ve Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliğinde yeşil alanların planlanmasına ilişkin hususlara dikkat edilmiştir (URL 1; URL-2). İlgili yönetmeliğin 12. maddesinde yeşil alanların planlanmasında yürüyüş mesafesi, topoğrafya, yapılaşma, yoğunluk, mevcut doku, doğal ve yapay eşiklerin dikkate alınacağı belirtilmiştir. Belirlenen bu kriterler arasında en önemli kriterlerden biri olan yürüme mesafesinin, çocuk bahçesi ve oyun alanları için 500 metre olarak planlanabileceği ifade edilmektedir. Yine aynı yönetmeliğin 21. maddesine göre yeşil alan merkezlerinin, toplayıcı veya tali yolların kesiştiği noktalarda hizmet ettiği alanın büyüklüğüne, nüfusuna,

otopark ihtiyacına göre belirlenmesi gerektiği de belirtilmektedir. Ayrıca, taşıt ve bisiklet yolları ile yeşil alanlara erişilebilirliğin sağlanması da önemli bir planlama kriteri olarak dikkate alınmıştır.

Türkiye ve dünyadaki çalışmalar incelendiğinde kentlerdeki yeşil alanların analizi ve planlanması oldukça hayati bir öneme sahip olmuştur. Bu analiz ve planlanmanın yapılabilmesi için konuma dayalı bir planlamanın gelişen teknoloji ile birlikte yapılması gerekmektedir. Son yıllarda mekân ve öznelik verilerini birlikte kullanarak gerekli planlamaların yapılmasını kolaylaştıran CBS, kent planlanmasına önemli katkılarda bulunmaktadır (İşcan ve İlgez, 2017; Sarı ve Türk, 2021). Ayrıca, CBS büyük veri setlerinin analizlerini kolaylaştırarak plan yapıcılara yönetsel anlamda avantajlar sağlamaktadır. Bu özellikleri ile CBS kentlerin gelişimi, planlanması, sürdürülebilirlik ve yaşanabilirliği üzerine analizlerde sıklıkla kullanılmaktadır (Sotoudehnia ve Comber, 2011; Koohsari, 2011; La Rosa, 2014; Baskurt ve Aydın, 2018; Keleş ve Aydın, 2020; Salihoğlu, 2020; Aydınöğlu ve ark., 2022; Fadhil ve Kurban, 2022).

Bu çalışmada, Ankara ili Çankaya ilçesinde yer alan Bahçelievler, Yukarı Bahçelievler ve Emek mahalleleri çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Mevcut yeşil alanların analizini yapmak ve bu alanların uygunluk haritalarını oluşturmak için CBS ve ÇKKV yöntemleri kullanılmıştır. Çalışma kapsamında belirlenen kriterlerin ve alt kriterlerin birbirlerine göre karşılaştırmalarını oluşturmak için uzman kişilerden oluşan 50 kişiyle anket çalışması yapılmıştır. Elde edilen verilerden yararlanılarak ÇKKV yöntemlerinden biri olan AHP ile her bir kriter ağırlıklandırılmış ve bu kriterin uygunluk haritaları oluşturulmuştur. Bu haritalar ArcMap yazılımının Map Algebra tool’u ile analiz edilerek karar haritası oluşturulmuştur. Karar haritasında belirlenen yaşanabilir alanlar, TOPSIS ile piksel değerlerine göre kendi aralarında karşılaştırılarak en uygun alanların sıralaması yapılmıştır. Ayrıca çalışmada, yeşil alanların geliştirilmesine yönelik politika önerileri de sunulmuştur.

2. Materyal ve Yöntem

Yapılan çalışmada, literatür taraması sonucu belirlenen kriterlerin temin edilmesi ve sayısallaştırılması, bu kriterlerin CBS ortamına aktarılması, veri tabanı oluşturulması, çalışma alanının belirlenmesi ve verilerin sorgulanması ile analiz edilmesini içeren bir süreç oluşturulmuştur. Literatür taraması sonucu belirlenen kriterler çalışma alanındaki mevcudiyetlerine göre irdelenerek yer seçimi sürecinde kullanılacak kriterler tespit edilmiştir. Yer seçim sürecinde kullanılacak kriterlerin uygunluğu ve önem derecesi öğrencilere, akademisyenlere ve kent tasarım alanındaki uzmanlara anket yoluyla sorulmuştur. Bu süreç sonunda elde edilen bilgilerin geometrik ortalamaları alınarak kriterlerin sıralaması oluşturulmuştur (Tablo 4). Benzer şekilde çalışma alanındaki halihazır durum ve literatür taramasında yapılan incelemelere göre kriterlerin alt kriterleri de belirlenmiştir (Tablo 5). Yürütülen süreç sonunda AHP

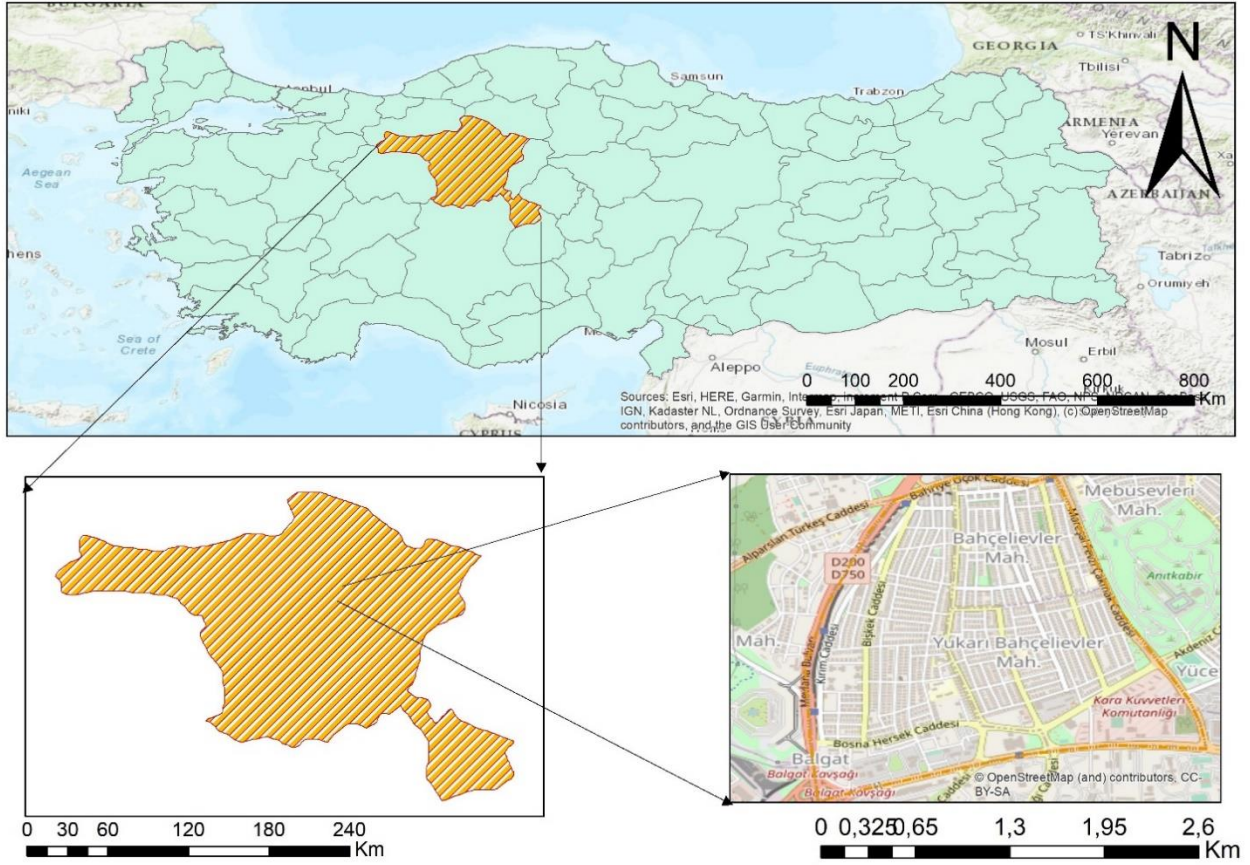
yöntemi kullanılarak kriterlerin ağırlıkları hesaplanarak ön hazırlık aşaması tamamlanmıştır.

ArcGIS yazılımıyla yeşil alanlar için belirlenen yer seçim kriterlerinin alt kriterleri kullanılarak buffer analizleri yapılmıştır. Ardından vektör formatındaki buffer analiz çıktılarında 10x10 metre çözünürlüklü raster veriler elde edilmiştir. Elde edilen raster veriler sınıflandırılarak uygunluk haritaları oluşturulmuş ve mevcut durum analizi yapılmıştır. Analizlerin sonucunda, AHP yöntemiyle elde edilen ağırlıklar ve uygunluk haritaları raster calculator modülünde işleme konularak karar haritaları oluşturulmuştur. Çalışmanın

sonunda ise yeşil alanlara yönelik değerlendirmeler yapılarak çeşitli politika önerilerinde bulunulmuştur.

2.1. Çalışma alanı

Çalışma alanı olarak Ankara ilinin Çankaya ilçesinin Emek, Bahçelievler ve Yukarı Bahçelievler mahalleleri belirlenmiştir (39°.931137, 32°.819939) (Şekil 2). Bu bölgenin seçilmesinin nedeni, şehrin merkezi bir konumunda yer alması ve yerleşim alanı olarak gelişimini tamamlamasıdır. Çalışma alanının toplam nüfusu 50.318 (TÜİK, 2022) olup bu alanda 12 yeşil alan bulunmaktadır.



Şekil 2. Çalışma alanı

2.2. Yöntem

ÇKKVY, birden fazla farklı özelliklerdeki kriterler değerlendirilerek en uygun kararı vermeye imkân sağlayan bir yöntemdir. ÇKKVY yaklaşımları karar verme sürecini iyileştiren, farklı veri türlerini seçim değerlendirmelerine dahil eden, kararların kalitesini iyileştirme ve karar verme sürecindeki potansiyel belirsizlikleri gideren özelliklere sahiptir. ÇKKVY, inşaat, endüstriyel sistemler, altyapı, ulaşım, lojistik, tedarik zincirleri ve CBS gibi çeşitli mühendislik ve yönetim araştırmalarında çok kriterli problemlerin çözümü için kullanılmaktadır (Sánchez-Lozano ve ark., 2013; Braun ve Murdoch, 2016; Villacreses ve ark., 2017; Baskurt ve Aydın, 2018; Midatana ark., 2018; Stević ve ark., 2020; Caner ve Aydın, 2021; Shorabeh ve ark., 2021).

Birçok alanda ortaya çıkan karar verme problemlerinin aşılmasında kullanılan en yaygın ÇKKV

yöntemleri; WLC (Drobne ve Lisec, 2009; Triantaphyllou, 2000), Weighted Multiplication (Yoon ve Hwang, 1995), Cost/benefit function based approaches (Malczewski, 1999), TOPSIS method (Yoon ve Hwang, 1995), ELECTRE method (Massam, 2013) ve AHP (Saaty, 2008)'dir.

2.2.1. AHP

AHP, 1970'li yıllarda Saaty tarafından geliştirilen ÇKKV yöntemlerinden birisidir (Saaty, 1972). AHP, ÇKKVY için en uygun matematiksel yöntem olarak kabul edilmektedir. Bir kararın hem nitelik hem de nicelik yönlerini ele alarak seçim kriterlerinin ağırlıklandırılmasını sağlamaktadır. Bu da karar verme sürecindeki zorlukların aşılmasını kolaylaştırmaktadır (Ahmad ve Matori, 2016). AHP yöntemi ÇKKV yönteminin uygulandığı çalışmaların neredeyse tamamında kullanılmaktadır. Uygulanışının karar

vericiler tarafından kolay anlaşılır olması bunun önemli bir sebebidir (Ho, 2008). AHP uygulama adımları şu şekildedir:

Adım 1: AHP'nin uygulanmasındaki ilk adım, sorunu tanımlamaktır. Daha sonra hiyerarşik yapı oluşturulur. En üstte ulaşılması gereken ana hedef belirlenir. Bunun altında temel ve alt kriterler tespit edilir. Alternatifler yapının en altında yer alır.

Adım 2: Bir sonraki adım ikili karşılaştırma matrisi oluşturmaktır. 1'den 9'a kadar değerler alan bir önem ölçeği kullanılarak ve tüm kriterler dikkate alınarak karar verme seçeneklerinin karşılaştırıldığı matrisler oluşturulur. Karşılaştırma matrisi, aşağıdaki gibi köşegen elemanları 1 olan bir kare matristir (Eşitlik 1):

$$A = \begin{matrix} & 1 & a_{12} & a_{1n} \\ a_{21} = 1/a_{12} & & 1 & a_{2n} \\ a_{n1} = 1/a_{1n} & a_{n2} = 1/a_{2n} & & 1 \end{matrix} \quad (1)$$

Karar seçenekleri her bir kritere göre ayrı ayrı karşılaştırılır. Karar matrisleri aşağıdaki tabloda Saaty tarafından önerilen 1-9 karşılaştırma ölçeği kullanılarak oluşturulur (Tablo 1).

Tablo 1. Saaty tarafından geliştirilen derecelendirme ölçüm tablosu (Saaty, 1972)

Önem Düzeyi	Tanım
1	Eşit önemde
3	Biraz daha önemli
5	Oldukça önemli
7	Çok önemli
9	Son derece önemli
2,4,6,8	Ara değerler

Tablo 2. N=1-14 için rastgelelik indeksi değerleri (Saaty, 1972)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.49	1.53	1.56	1.57

CI ve RI değerleri belirlendikten sonra "Consistency Ratio-CR" hesaplanır (Eşitlik 7):

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (7)$$

CR değeri 0.10'dan küçük çıkarsa karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğuna karar verilir.

2.2.2. TOPSIS

TOPSIS, 1980 yılında Yoon ve Hwang tarafından geliştirilen bir ÇKKVY metodudur (Hwang ve Yoon, 1981). TOPSIS, alternatiflerin ideal çözüme göre sıralanmasını sağlayarak bu alternatiflerin içerisinde en uygun çözümü seçmeye imkân sağlayan bir metodur (Hwang ve ark., 1993; Behzadian ve ark., 2012; Bakioglu ve Atahan, 2021; Jafari-Sırızı ve ark., 2022). TOPSIS, günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır. Personel seçimi, tedarikçi değerlendirmesi ve seçimi, performans değerlendirmesi, risk alanlarının yer seçimi, elektrikli araçların yer seçimi, kuruluş yeri seçimi gibi çalışmalarda tercih edilen bir yöntemdir (Kelemenis ve

Adım 3: Daha sonra matristeki her eleman, sütunların toplamına bölünerek normalleştirme işlemi gerçekleştirilir. Normalleştirilmiş matrisin her sütununun toplamı 1 olacak şekilde düzenlenir. Normalleştirilmiş matrisin her satırının toplamı, matrisin boyutuna bölünerek ortalaması alınır. Elde edilen değerler her bir kriter için hesaplanan önem ağırlıklarıdır. Bu ağırlıklar öncelik vektörünü (W) oluşturur.

Adım 4: İkili karşılaştırmalar yapıldıktan ve öncelikleri belirlendikten sonra karşılaştırma matrislerinin tutarlılığı hesaplanır. Matrisin tutarlı olup olmadığını belirlemek için "Tutarlılık İndeksi (CI)" adı verilen bir katsayının hesaplanması gerekir. CI katsayısı Eşitlik 2'de hesaplanmaktadır:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j}{w_i} \quad (3)$$

$$A \times W = \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{matrix} \quad (4)$$

$$d_i = \frac{x_i}{w_i}, i=1,2,\dots,n \quad (5)$$

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad (6)$$

Tutarlılığı değerlendirmek için "Random İndeks (RI)" adı verilen katsayının bilinmesi gerekmektedir. N boyutlu karşılaştırma matrisleri için tanımlanan RI değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Askounis, 2010; Marzouk ve Sabbah, 2021; Sönmez, 2021; Zeng ve ark., 2021).

TOPSIS uygulama adımları aşağıdaki gibidir:

Adım 1: TOPSIS'in uygulanmasında ilk adım karar matrisinin normalleştirilmesidir. Her bir kritere ait değerler bu kriterlerin "kareler toplamının kareköküne" bölünerek normalizasyon işlemi gerçekleştirilir.

Adım 2: Normalleştirilmiş karar matrisi, AHP yönteminden elde edilen ağırlık değerleri ile çarpılır ve "Ağırlıklandırılmış Normalize Matris" oluşturulur.

Adım 3: Her bir sütun için en kötü ve en iyi değerler ağırlıklandırılmış normalize matristeki değerlerle belirlenir. Daha sonra her bir satır için "en iyi ideal çözüme uzaklık değerleri" ve "en kötü ideal çözüme uzaklık değerleri" (S^+ ve S^-) belirlenir. Bu değerler Eşitlik 8 ve Eşitlik 9 ile hesaplanır:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (8)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=i}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (9)$$

$i=1,2,3,\dots,n$

Adım 4: Bir sonraki adım performans puanının hesaplanması olup aşağıdaki formülle bulunur:

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{(S_i^+) + (S_i^-)}, \quad 0 < C_i^* < 1, i = 1,2,3, \dots, n \quad (10)$$

Adım 5: Son adımda hesaplanan performans değerlerinden sıralama oluşturulur ve gerekli çıkarımlarda bulunulur (Hwang ve ark., 1993).

2.3. Veri toplama ve veri tabanı tasarımı

Çalışmanın bu aşamasında, yeşil alanların yer seçimi üzerine yapılan mevcut çalışmalar, yönetmelikler ve raporlar incelenerek kriterler ve alt kriterler belirlenmiştir (Meisel ve Thiele, 2014; Başeğmez ve ark., 2019; Şahin ve ark., 2019; Navarro ve ark., 2019; Zhang ve ark., 2019; Baig ve ark., 2022; Campisi ve ark., 2022) (Tablo 4-5). Çalışma alanının eğim verisi DEM verisi olarak NASA'dan, nüfus verisi de TÜİK'den elde edilmiştir (NASA, 2022; TÜİK, 2022). Diğer veriler ArcMAP 10.8 yazılımı kullanılarak nokta, çizgi ve poligon formatlarında sayısallaştırılmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. Uygulama çalışmasında kullanılan veri katmanları

Veri Katman Adı	Veri Tipi	Edinim Tarihi	Veri Kaynağı
Yeşil alanlar	Poligon	2021	Google Maps
Ana ve ara yollar	Çizgi	2021	Google Maps
Sağlık kurumları	Nokta	2021	Google maps
Güvenlik kurumları	Nokta	2021	Google Maps
Eğitim kurumları	Nokta	2021	Google Maps
Metro ve otobüs durakları	Nokta	2021	Google Maps
Otoparklar	Nokta	2021	Google Maps
Marketler	Nokta	2021	Google Maps
Nüfus	-	2021	TÜİK
Eğim	DEM	2021	NASA

Tablo 4. Çalışmada kullanılan kriterler

Sıra	Kriterler
1	Alan Büyüklüğü
2	Ulaşım
3	Eğim
4	Nüfus
5	Erişilebilirlik
6	Güvenlik merkezlerine yakınlık
7	Anayola yakınlık
8	Sağlık merkezlerine yakınlık
9	Eğitim alanlarına yakınlık
10	Marketlere yakınlık
11	Otoparklara yakınlık
12	Diğer yeşil alanlara yakınlık

3. Uygulama

3.1. Kriterlerin tanımlanması

3.1.1. Eğim

Topografya, yeşil alan analizi çalışmalarında çok önemli bir rol oynamaktadır (Kumar ve Pandey, 2016). Özellikle DEM verisinden üretilen eğim verisi, mevcut durum analizinin yapılması ve yeşil alanların planlanmasında kullanılan önemli bir kriterdir. Çalışmada sayısal yükseklik modeli kullanılarak ESRI ArcMAP yazılımı ile elde edilen eğim verisi Şekil 3'te gösterilmiştir. Eğim faktörü için belirlenen alt kriterler ve bu değerlere verilen puanlar Tablo 6'da yer almaktadır.

Bu alt kriterlerden 46° üzeri yerler yeşil alanları için uygun olmayan, 19°-36° ve 37°-45° aralıkları yer seçimi için daha uygun olarak belirlenmiş alanlardır. 0°-9° ve 10°-18° niteliğine sahip yerler ise yeşil alanlar için en uygun alanlardır.

Tablo 6. Eğim kriterleri

Kriter (°)	Puan
0-9	5
10-18	4
19-36	3
37-45	2
≥46	1

Tablo 5. Kriterler ve alt kriterleri

Kriterler	Alt Kriterler
Alan Büyüklüğü	0-250 m
	250-500 m
	500-750 m
	750-1000 m
	1000 m <
Eğim	%0-9
	%9-18
	%18-36
	%36-45
	%45 <
Ulaşım	0-250 m
	250-500 m
	500-750 m
	750-1000 m
	1000 m <
Güvenlik merkezlerine yakınlık	0-250 m
	250-500 m
	500-750 m
	750-1000 m
	1000 m <
Erişilebilirlik	0-250 m
	250-500 m
	500-750 m
	750-1000 m
	1000 m <
Markete Yakınlık	0-100 m
	100-200 m
	200-300 m
	300-400 m
	400 m <
Anayola Yakınlık	0-250 m
	250-500 m
	500-750 m
	750-1000 m
	1000 m <
Sağlık Merkezlerine Yakınlık	0-500 m
	500-1000 m
	1000-1500 m
	1500-2000 m
	2000 m <
Eğitim Alanlarına Yakınlık	0-300 m
	300-600 m
	600-900 m
	900-1200 m
	1200 m <
Otoparklara Yakınlık	0-250 m
	250-500 m
	500-750 m
	750-1000 m
	1000 m <
Diğer Yeşil Alanlara Yakınlık	0-250 m
	250-500 m
	500-750 m
	750-1000 m
	1000m <

3.1.2. Nüfus ve alan büyüklüğü

Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliğinin EK-2 tablosunda ilçe sınırları dahilinde yapılan planlamalarda; çocuk bahçesi, park, botanik parkı, hayvanat bahçesi, mesire yeri ve rekreasyon alanını kapsayan yeşil alanlar için kişi başına 10 m² alanın planlanması gerektiği ifade edilmektedir. İl sınırları bütününde yapılan planlamalarda ise, hayvanat bahçesi, kent ormanı,

açaçlandırılacak alan, fuar, panayır ve festival alanı, hipodrom alanlarında kişi başına 5 m² olarak planlanması gerektiği belirtilmektedir (URL 2). Çalışma alanında bulunan yeşil alanların toplam yüzölçümü 67.790,00 m² ve bölgenin toplam nüfus ise 50318 kişidir. Bu hususlar göz önüne alındığında kişi başına düşen yeşil alan miktarı 1.34 m² olduğu tespit edilmiş olup, mevcut yeşil alan miktarının yetersiz olduğu belirlenmiştir.

3.1.3. Konuma göre kriterlerin incelenmesi

Çalışmada mesafe faktörüne bağlı olan kriterler konumlarına göre analiz edilmiştir (Şekil 4-10). Belirlenen kriterlerin alt kriterleri tablolarda gösterilmiştir (Tablo 7-13). En uygun alt kriter 5 puan, uygun olmayan kriter ise 1 puan olarak ifade edilmektedir.

Tablo 7. Eğitim kurumlarına yakınlık kriterleri

Kriter (°)	Puan
0-300	5
301-600	4
601-900	3
901-1200	2
≥1201	1

Tablo 8. Anayola yakınlık kriterleri

Kriter (°)	Puan
0-250	1
251-500	3
501-750	5
751-1000	4
≥1001	2

Tablo 9. Sağlık merkezlerine yakınlık kriterleri

Kriter (°)	Puan
0-500	5
501-1000	4
1001-1500	3
1501-2000	2
≥2001	1

Tablo 10. Güvenlik merkezlerine yakınlık kriterleri

Kriter (°)	Puan
0-500	5
501-1000	4
1001-1500	3
1501-2000	2
≥2001	1

Tablo 11. Otoparklara yakınlık kriterleri

Kriter (°)	Puan
0-250	5
251-500	4
501-1000	3
1001-1500	2
≥1501	1

Tablo 12. Marketlere yakınlık kriterleri

Kriter (°)	Puan
0-100	5
101-200	4
201-300	3
301-400	2
≥401	1

Tablo 13. Duraklara yakınlık kriterleri

Kriter (°)	Puan
0-250	5
251-500	4
501-750	3
751-1000	2
≥1001	1

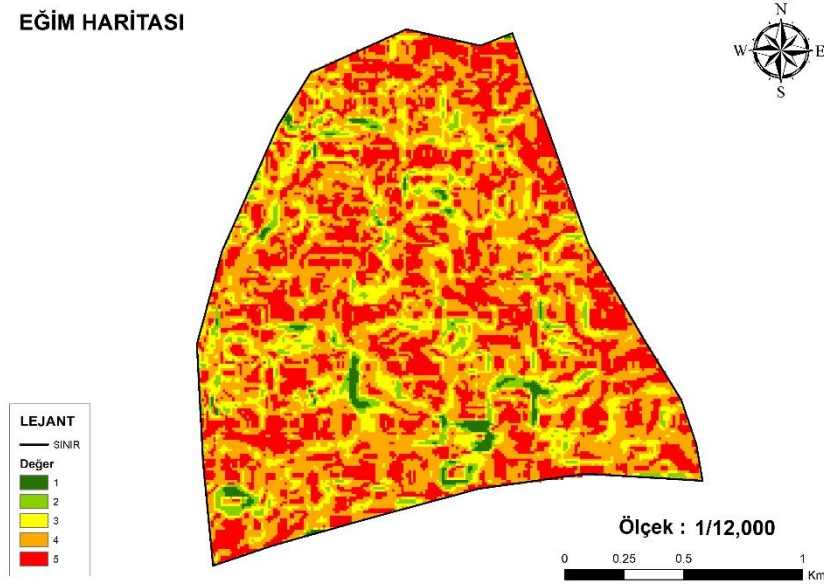
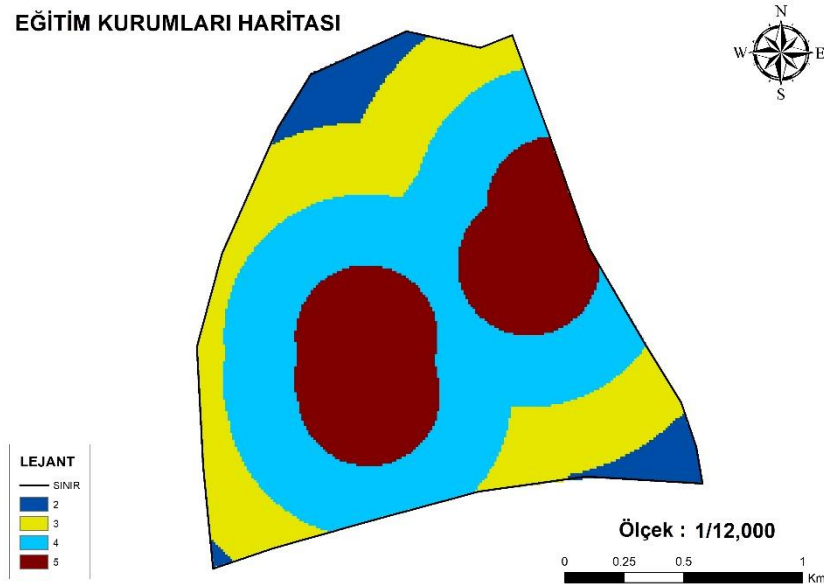
3.2. AHP ile kriterlerin ağırlıklandırılması

Çalışmada AHP yöntemi ile kriter ağırlıklarının belirlenebilmesi için bir iş süreci oluşturulmuştur. Öncelikle kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için anket çalışması yapılmış ve elde edilen verilerin geometrik ortalaması alınarak kriterler sıralanmıştır. Ardından kriterlerin önem dereceleri 1 ile 9 arasında puanlanarak ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Elde edilen ikili karşılaştırma matrisi normalize edilerek normalizasyon matrisi oluşturulmuş ve bu işlem sonrası kriter ağırlıkları belirlenmiştir (Tablo 14).

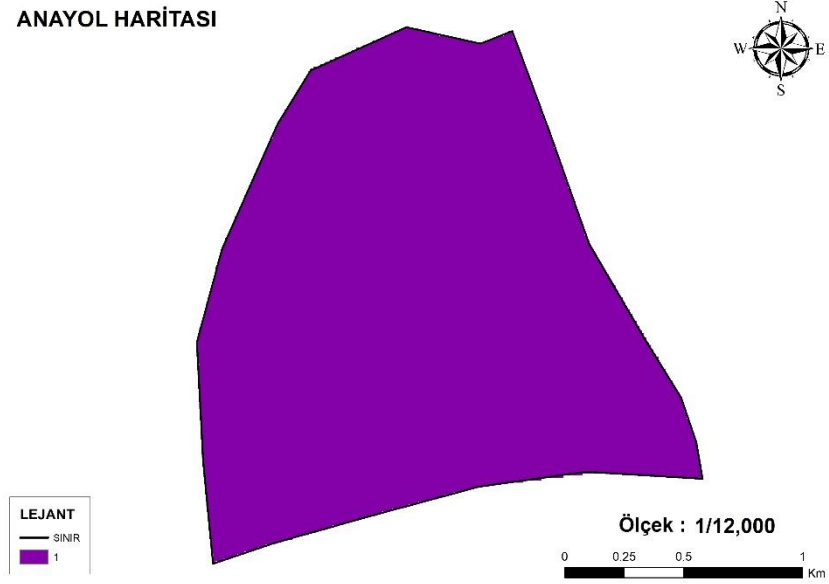
Uygulanan yöntemde, ikili karşılaştırma matrisinin uygulanabilirliğinin kontrolü tutarlılık oranı belirlenerek yapılmıştır. Yapılan hesaplamaların sonucunda, tutarlılık indeksi (CI) 0.13, tutarlılık oranı endeksi (CR) ise 0.08 olarak belirlenmiştir. CR değeri 0,1'den düşük olduğu için yapılan analiz tutarlı olduğu görülmüştür.

Tablo 14. Kriterler ve AHP ağırlıkları

Kriterler	Ağırlıklar
Alan Büyüklüğü	0.06
Eğim	0.06
Ulaşım	0.12
Nüfus	0.18
Güvenlik	0.07
Erişilebilirlik	0.09
Markete Yakınlık	0.05
Anayola Yakınlık	0.08
Sağlık Merkezlerine Yakınlık	0.07
Eğitim Alanlarına Yakınlık	0.05
Otoparklara Yakınlık	0.10
Diğer Yeşil Alanlara Yakınlık	0.05

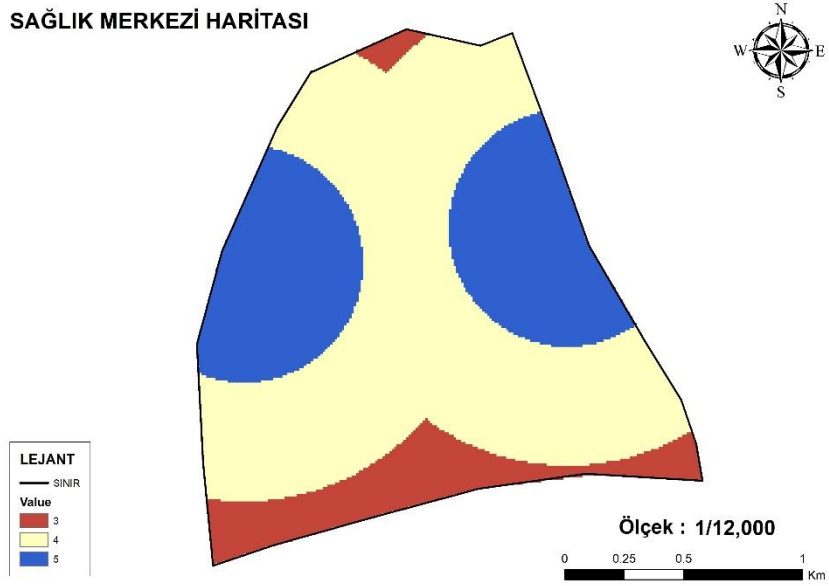
EĞİM HARİTASI**Şekil 3.** Eğim haritası**EĞİTİM KURUMLARI HARİTASI****Şekil 4.** Eğitim kurumlarına yakınlık haritası

ANAYOL HARİTASI



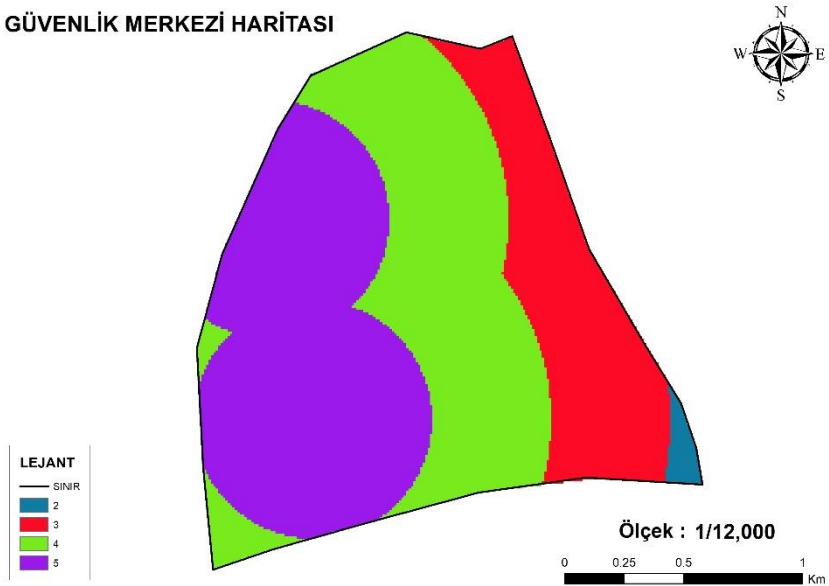
Şekil 5. Anayola yakınlık haritası

SAĞLIK MERKEZİ HARİTASI



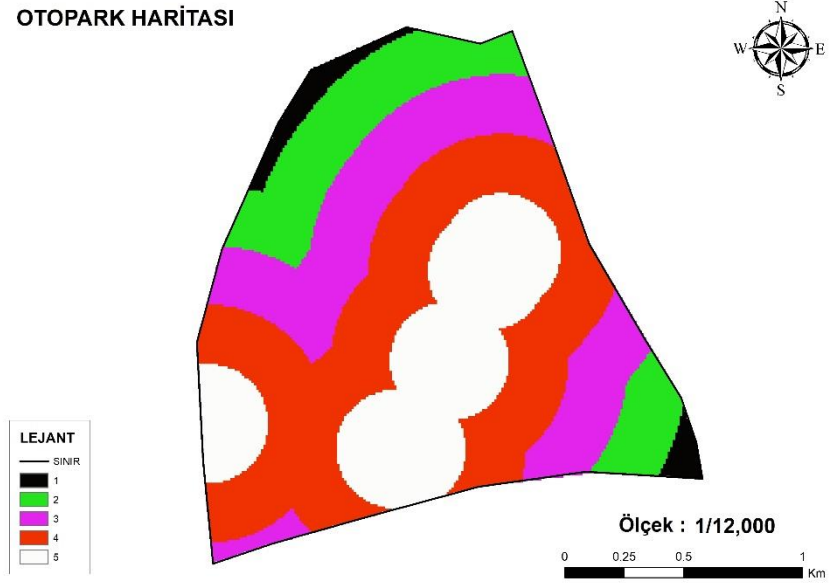
Şekil 6. Sağlık merkezlerine yakınlık haritası

GÜVENLİK MERKEZİ HARİTASI



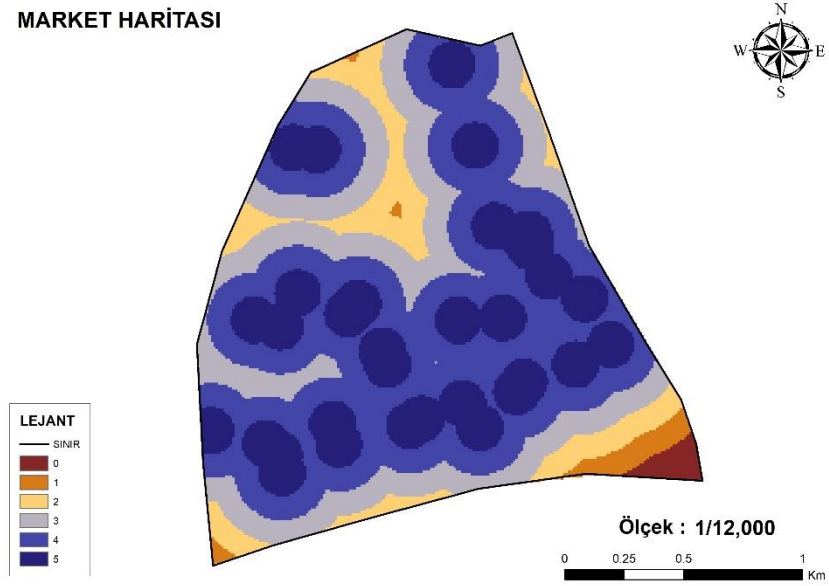
Şekil 7. Güvenlik merkezlerine yakınlık haritası

OTOPARK HARİTASI



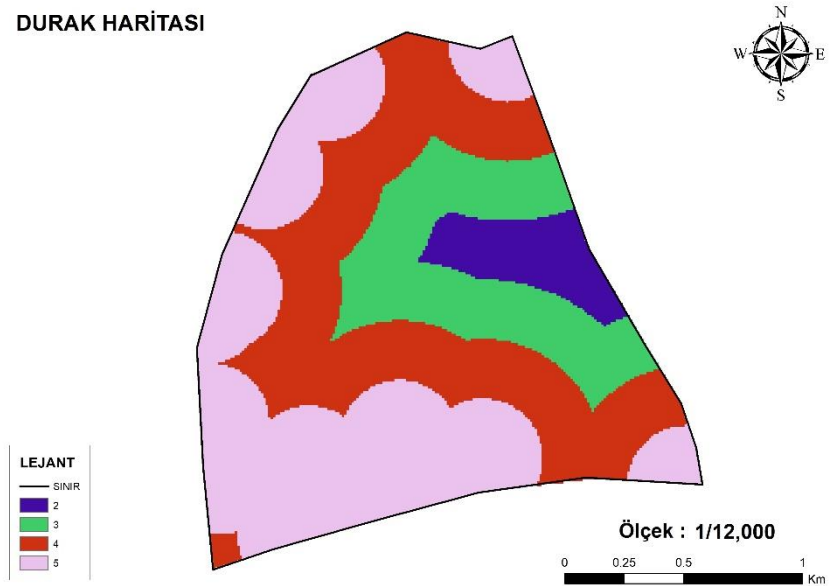
Şekil 8. Otoparklara yakınlık haritası

MARKET HARİTASI



Şekil 9. Marketlere yakınlık haritası

DURAK HARİTASI



Şekil 10. Duraklara yakınlık haritası

4. Bulgular

4.1. Karar haritasının oluşturulması

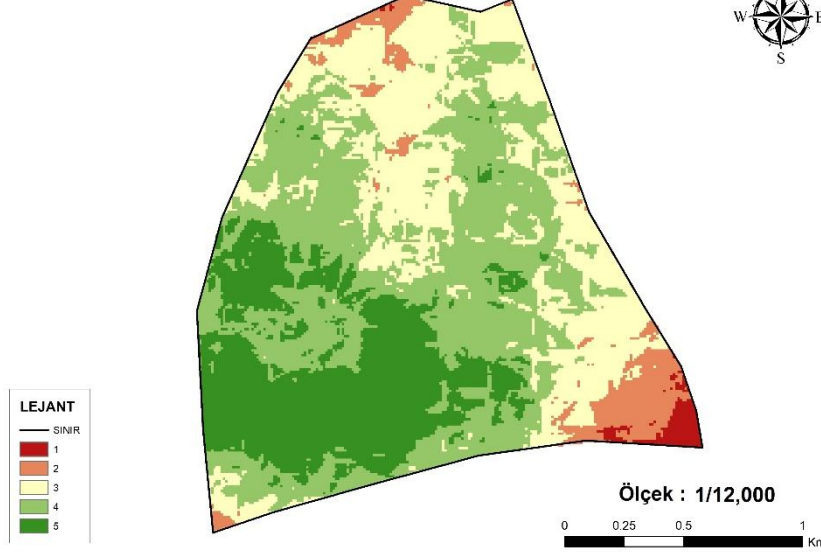
Çalışma alanındaki en uygun yeşil alanların belirlenmesi için ArcGIS yazılımının Raster Calculator metodu kullanılmıştır. Her bir kriter için hazırlanan uygunluk haritaları ile AHP analizi sonucu belirlenen kriterlerin ağırlıkları çarpılarak toplanmış ve karar haritası elde edilmiştir (Şekil 11).

Karar haritasında, 5 puan alan yerlerin en uygun olduğu yerler, 1 puan alan yerlerin ise en az uygun

olduğu gösterilmiştir. Çalışma alanının güney ve güneybatı bölgesi yeşil alanlar bakımından en uygun, kuzeydoğuya uzanan bölgelerin uygun, kuzey ve güneydoğuda bulunan bölgelerin daha az uygun ve uygun olmayan bölgeleri içerdiği tespit edilmiştir.

AHP analizi sonucunda yeşil alanlar için en fazla ağırlığa sahip 3 kriter (nüfus, ulaşım ve otoparklara yakınlık) Tablo 7’de gösterilmiştir. Yer seçim sürecinde özellikle çalışma alanının güney kısmında en uygun alanların fazla olmasında bu kriterlerin etkisi bulunmaktadır.

UYGUN YEŞİL ALAN HARİTASI



Şekil 11. Karar haritası

4.2. En uygun yerlerin TOPSIS ile sıralanması

Çalışmanın bu aşamasında, TOPSIS yöntemi kullanılarak sonuç haritasındaki en uygun yerler 9 bölgeye ayrılarak sıralanmıştır (Şekil 12). Bu sıralamalar yapılırken hem ağırlıkların eşit olarak alınması hem de AHP’den elde edilen ağırlıkların kullanılmasıyla iki farklı sıralama sonucu elde edilmiştir (Tablo 15-16). Bu sonuçlar elde edilirken, belirlenen bölgeler her bir kriterin piksel değerine göre birbirleriyle kıyaslanmıştır.

İki sıralama arasında farklar bulunsa da ikisinde de D1 bölgesinin en yüksek, D8 bölgesinin en düşük puana sahip olduğu görülmektedir. Sıralama sonuçlarının grafik gösterimi Şekil 13’te gösterilmiştir.

Tablo 15. Eşit ağırlıklı sıralama sonuçları

	S+	S-	PS (Cİ)	Sıralama
D1	0,0316882	0,0234873	0,57431568	1
D2	0,0221262	0,0280576	0,440902796	3
D3	0,0184886	0,0369395	0,333560174	6
D4	0,0122701	0,0354214	0,257281377	8
D5	0,0225498	0,0277183	0,448591204	2
D6	0,0149249	0,0343873	0,30266234	7
D7	0,0169638	0,0291192	0,368114193	4
D8	0,0086763	0,0384775	0,184000476	9
D9	0,0184395	0,0327824	0,359992478	5

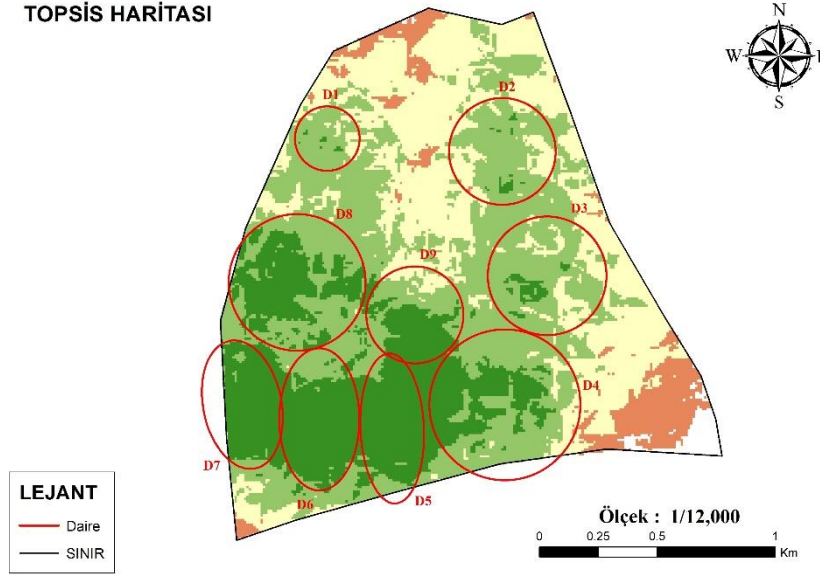
Tablo 16. AHP ağırlıklı sıralama sonuçları

	S+	S-	PS (Cİ)	Sıralama
D1	0,0244811	0,0260939	0,484056405	1
D2	0,0209865	0,0242738	0,463684221	2
D3	0,0211876	0,0298507	0,415131126	4
D4	0,0084879	0,0335237	0,202037618	8
D5	0,0142786	0,0296584	0,324979791	6
D6	0,0153165	0,0318612	0,324655809	7
D7	0,0185338	0,0239880	0,435864908	3
D8	0,0054660	0,0353602	0,13388649	9
D9	0,0187953	0,0266184	0,413869145	5

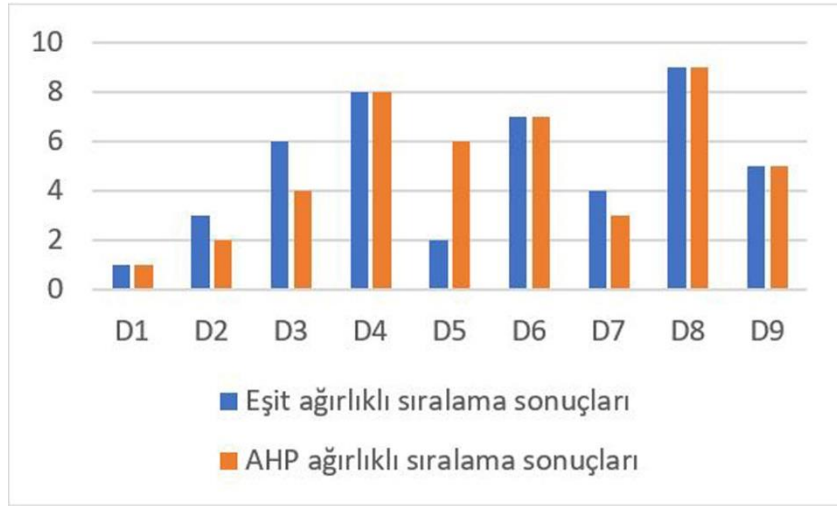
5. Sonuçlar

Bu çalışmada, kentlerde insan yaşamı ve gereksinimleri açısından büyük önem taşımakta olan yeşil alanlar incelenmiştir. Kentlerin sürdürülebilirliği için oluşturulan politikalarda ve uygulamalarda yeşil alanların nesnel kriterlere göre planlanması kentlerin yaşanabilirlik düzeylerinin artmasına katkı sağlayacaktır. Ayrıca kentlerde yeşil alanların varlığı iklim değişikliği, çevre kirliliği ve sağlık üzerinde önemli katkı verecektir. Bu çalışmada yeşil alanlar için en uygun yer seçimi yapılmaya çalışılmıştır. Çalışma için gereken kriterler ülkemizde ve dünyadaki örnek çalışmalarından elde edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, çalışma alanının güney ve güneybatı bölgesi yeşil alanlar bakımından en uygun yerler olarak tespit edilmiştir. Bu durumun oluşmasında seçilen kriterlerin ağırlıkları ve alt kriterler etkili olmuştur.

TOPSİS HARİTASI



Şekil 12. TOPSİS ile sıralanacak bölgeler



Şekil 13. TOPSİS ile en uygun yer sıralama sonuçları

Tablo 17. TOPSİS sıralama sonuçları

Sıra	Eşit Ağırlıklandırma	AHP ile Ağırlıklandırma
1	D1	D1
2	D5	D2
3	D2	D7
4	D7	D3
5	D9	D9
6	D3	D5
7	D6	D6
8	D4	D4
9	D8	D8

Yaptığımız bu çalışmada, literatürde sıklıkla kullanılan ve yer tespit analizi kolayca anlaşılabilen AHP yöntemi ile en yakın uzaklığa dayanan TOPSIS yöntemi birlikte kullanılmıştır. TOPSIS yönteminde hem eşit ağırlıklı hesaplama hem de AHP ağırlıkları ile hesaplama yapılmıştır. İki yöntemdeki sonuçlar kıyaslandığında D1, D4, D6 ve D8 bölgeleri aynı önem derecesine sahip bölgeler olduğu belirlenmiştir (Tablo 17).

Çalışma bölgesinde bulunan yeşil alanlar, mevcut durum analizi ve yasal düzenlemeler dikkate alınarak

incelendiğinde bölgedeki yeşil alanların bölge nüfusuna göre yetersiz olduğu görülmüştür.

Sürdürülebilir kentler için önemli faktörlerinden olan yeşil alanlara ait uygun yerlerin belirlendiği bu çalışma, her alanda uygulanabilir nitelikte olup belirlenen kriterlerin yanında birçok kriterin de analiz sürecine dâhil edilmesiyle kentlerin yaşanılabilirlik seviyelerinin artmasına ve sürdürülebilir kent modellerinin oluşturulmasına katkı sağlayacaktır.

Ayrıca, yapılan çalışma ile kentlerin oluşturulması ve sürdürülebilirliğin sağlanmasında görev yapan birçok meslek disiplini (şehir planlayıcıları, mühendislik grupları, politika yapımcılar gibi) nesnel kriterlere dayalı bir değerlendirme sürecinin parçası olabilecektir. Böylece yaşadığımız kentlerin yapısal sorunlarının giderilmesi ve yeni kent alanı olarak planlanan bölgelerin sağlıklı, güvenilir ve yaşanabilir bir boyutta planlanmasına katkı sunabileceklerdir.

Bilgilendirme/Teşekkür

Bu makale Hacettepe Üniversitesi Geomatik Mühendisliği bölümü öğrencilerinin bitirme projesinden üretilmiştir.

Araştırmacıların katkı oranı

Kader Bayır, Gamze Zeynep Topçu, Zeynep Ebrar Cavıldak: Literatür taraması, Arazi çalışması, Modelleme, Makale yazımı; **Murat Başeğmez, Cevdet Coşkun Aydın:** Düzenleme

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Ahmad, R., & Matori, A. N. (2016). Prioritizing the criteria for urban green space using AHP-multiple criteria decision model. In *Engineering Challenges for Sustainable Future: Proceedings of the 3rd International Conference on Civil, Offshore and Environmental Engineering (ICCOEE 2016, Malaysia, 15-17 Aug 2016)* CRC Press, 355-359
- Amoly, E., Dadvand, P., Forn, J., López-Vicente, M., Basagana, X., Julvez, J., Alvarez-Pedrerol, M., Nieuwenhuijsen, M. J., & Sunyer, J. (2014). Green and blue spaces and behavioral development in Barcelona schoolchildren: the BREATHE Project. *Environ. Health Perspect.* 122, 1351-1358, <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1408215>.
- Aydinoğlu, A. Ç., Bovkır, R., & Bulut, M. (2022). Akıllı şehirlerde büyük coğrafi veri yönetimi ve analizi: hava kalitesi örneği. *Geomatik*, 7(3), 174-186. <https://doi.org/10.29128/geomatik.938855>
- Baig, F., Zhang, D., Lee, J., & Xu, H. (2022). Shaping inclusiveness of a transportation system: Factors affecting seat-yielding behavior of university students in public transportation. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 155, 79-94. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2021.11.004>
- Bakioglu, G., & Atahan, A. O. (2021). AHP integrated TOPSIS and VIKOR methods with Pythagorean fuzzy sets to prioritize risks in self-driving vehicles. *Applied Soft Computing*, 99, 106948. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106948>
- Baskurt, Z. M., & Aydın, C. C. (2018). Nuclear power plant site selection by Weighted Linear Combination in GIS environment, Edirne, Turkey. *Progress in Nuclear Energy*, 104, 85-101. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2017.09.004>.
- Başeğmez, M., Yıldırım, V., & Bediroğlu, Ş. (2019). CBS ve AHP yöntemiyle en uygun okul yer seçimi analizi: Uşak-Merkez örneği. *TMMOB 6. Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, October*.
- Beatley, T. (2000). Preserving biodiversity: challenges for planners. *Journal of the American Planning Association*, 66(1), 5-20.
- Behzadian, M., Otaghsara, S. K., Yazdani, M., & Ignatius, J. (2012). A state-of-the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with applications*, 39(17), 13051-13069.
- Bennett, G., Cassin, J., & Carroll, N. (2016). Natural infrastructure investment and implications for the nexus: A global overview. *Ecosystem Services*, 17, 293-297.
- Bird, A. (2009). Federal legislation aims to get kids off the couch and exploring the outdoors. https://www.mlive.com/outdoors/2009/09/legislation_aims_to_get_kids_o.html.
- Braun, W. J., & Murdoch, D. J. (2021). *A first course in statistical programming with R*. Cambridge University Press.
- Burkhard, B., Petrosillo, I., & Costanza, R. (2010). Ecosystem services—bridging ecology, economy and social sciences. *Ecological complexity*, 7(3), 257-259
- Campisi, T., Caselli, B., Rossetti, S., & Torrisi, V. (2022). The evolution of sustainable mobility and urban space planning: exploring the factors contributing to the regeneration of car parking in living spaces. *Transportation Research Procedia*, 60, 76-83.
- Caner, H. I., & Aydın, C. C. (2021). Shipyard site selection by raster calculation method and AHP in GIS environment, Iskenderun, Turkey. *Marine Policy*, 127, 104439.
- Chaudhry, P., Bagra, K., & Singh, B. (2011). Urban greenery status of some Indian cities: A short communication. *International Journal of Environmental Science and Development*, 2(2), 98-101.
- Dadvand, P., Nieuwenhuijsen, M. J., Esnaola, M., Forn, J., Basagaña, X., Alvarez-Pedrerol, M., ... & Sunyer, J. (2015). Green spaces and cognitive development in primary schoolchildren. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(26), 7937-7942. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1503402112>.
- De Clercq, E. M., De Wulf, R., & Van Herzele, A. (2007). Relating spatial pattern of forest cover to accessibility. *Landscape and Urban Planning*, 80(1-2), 14-22.
- Demuzere, M., Orru, K., Heidrich, O., Olazabal, E., Geneletti, D., Orru, H., ... & Faehnle, M. (2014). Mitigating and adapting to climate change: Multi-functional and multi-scale assessment of green urban infrastructure. *Journal of environmental management*, 146, 107-115.
- Drobne, S., & Lisec, A. (2009). Multi-attribute decision analysis in GIS: weighted linear combination and ordered weighted averaging. *Informatica*, 33(4), 459-474
- Fadhıl, A., & Kurban, T. (2022). Hücresel otomata markov zincir yöntemi ile kentsel yayılmanın modellenmesi: Kerkük ili örneği. *Geomatik*, 7(1), 58-70. <https://doi.org/10.29128/geomatik.852900>
- Fuller, R. A., Irvine, K. N., Devine-Wright, P., Warren, P. H., & Gaston, K. J. (2007). Psychological benefits of greenspace increase with biodiversity. *Biology letters*, 3(4), 390-394. <http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2007.0149>.
- Galeeva, A., Mingazova, N., & Gilmanshin, I. (2014). Sustainable urban development: urban green spaces and water bodies in the city of Kazan, Russia. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 5(24), 356-360
- General plan for Stockholm (1952). Stockholm (Sweden). Stadsplanekontoret. Town Planning Office of the city of Stockholm, pp. 74.
- Gezer, A., & Gül, A. (2009). Kent ormanlığı-kavramsal-teknik ve kültürel boyutu. SDU Orman Fakültesi, Kitap

- Yayın No: 86, s 245. (ISBN: 978-9944-452-30-4) SDU Basım evi- Isparta.
- Grahn, P., & Stigsdotter, U. K. (2010). The relation between perceived sensory dimensions of urban green space and stress restoration. *Landscape and urban planning, 94*(3-4), 264-275. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.10.012>
- Gupta, K., Roy, A., Luthra, K., & Maithani, S. (2016). GIS based analysis for assessing the accessibility at hierarchical levels of urban green spaces. *Urban forestry & urban greening, 18*, 198-211. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.>
- Haq, S. M. A. (2011). Urban green spaces and an integrative approach to sustainable environment. *Journal of environmental protection, 2*(5), 601-608.
- Heidt, V., & Neef, M. (2008). Benefits of urban green space for improving urban climate. *Ecology, planning, and management of urban forests: International perspectives*, 84-96. https://doi.org/10.1007/978-0-387-71425-7_6
- Ho, W. (2008). Integrated analytic hierarchy process and its applications–A literature review. *European Journal of operational research, 186*(1), 211-228. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.01.004>.
- Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). Multi attribute decision making methods and applications. Springer-Verlag.
- Hwang, C. L., Lai, Y. J., & Liu, T. Y. (1993). A new approach for multiple objective decision making. *Computers & operations research, 20*(8), 889-899. [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(93\)90109-V](https://doi.org/10.1016/0305-0548(93)90109-V)
- IPCC (2007). Climate Change 2007-impacts, adaptation and vulnerability: Working Group II contribution to the fourth assessment report of the IPCC. Cambridge University Press.
- İşcan, F., & İlgaz, A. (2017). Analysis of geographic/urban information system web presentations of local governments in Turkey. *International Journal of Engineering and Geosciences, 2*(3), 75-83. <https://doi.org/10.26833/ijeg.317088>
- Jafari-Sirizi, R., Oshnooei-Nooshabadi, A., Khabbazi-Kenari, Z., & Sadeghi, A. (2022). Determination of the Quality of Life using Hybrid BWM-TOPSIS Analysis: Case study of Tabriz (District 1, 2, 3 and 8), Iran. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi, 4*(1), 7-17. <https://doi.org/10.51489/tuzal.1066578>
- Jia, J. (2001). Planning and design of green space system. Chinese Forestry Press, Beijing.
- Kelemenis, A., & Askounis, D. (2010). A new TOPSIS-based multi-criteria approach to personnel selection. *Expert systems with applications, 37*(7), 4999-5008. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.12.013>
- Keleş, M. D., & Aydın, C. C. (2020). Mobil lidar verisi ile kent ölçeğinde cadde bazlı envanter çalışması ve coğrafi sistemleri entegrasyonu-Ankara Örneği. *Geomatik, 5*(3), 193-200. <https://doi.org/10.29128/geomatik.643569>
- Khalil, R. (2014). Quantitative evaluation of distribution and accessibility of urban green spaces (Case study: City of Jeddah). *International journal of geomatics and geosciences, 4*(3), 526-535.
- Koohsari, M. J. (2011). Access to public open space: is distribution equitable across different socio-economic areas. *Journal of Urban and Environmental Engineering, 5*(2), 67-72.
- Kumar, A., & Pandey, A. C. (2016). Geoinformatics based groundwater potential assessment in hard rock terrain of Ranchi urban environment, Jharkhand state (India) using MCDM-AHP techniques. *Groundwater for Sustainable Development, 2*, 27-41. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2016.05.001>
- Lappé, F. M. (2009). Questions to ask strategies to save our planet. *Solutions, 1*(1), 34-35.
- La Rosa, D. (2014). Accessibility to greenspaces: GIS based indicators for sustainable planning in a dense urban context. *Ecological Indicators, 42*, 122-134.
- Lee, A. C., & Maheswaran, R. (2011). The health benefits of urban green spaces: a review of the evidence. *Journal of public health, 33*(2), 212-222. <https://doi.org/10.1093/pubmed/fdq068>
- Luthra, K., & Gupta, K. (2012). Evaluation of urban green spaces based on social criteria. Indian institute of remote sensing, dehradun, Unpublished report.
- Malczewski, J. (1999). GIS and multicriteria decision analysis. John Wiley & Sons, New York.
- Marzouk, M., & Sabbah, M. (2021). AHP-TOPSIS social sustainability approach for selecting supplier in construction supply chain. *Cleaner environmental systems, 2*, 100034. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2021.100034>
- Massam, B. H. (2013). Spatial search: Applications to planning problems in the public sector, 23, Pergamon Press, Exeter.
- Meisel, F., & Thiele, N. (2014). Where to dispose of urban green waste? Transportation planning for the maintenance of public green spaces. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, 64*, 147-162.
- Mensah, C. A. (2014). Nature and challenges of urban green spaces in Africa, [http://www.jhbcityparks.com/pdfs/urban greenspaces.pdf](http://www.jhbcityparks.com/pdfs/urban%20greenspaces.pdf).
- Midatana, S., Saran, S., & Ramana, K. V. (2018). Site suitability analysis for industries using GIS and multi criteria decision making. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 4*(5).
- NASA (2022). Advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (aster) global digital elevation model. <https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>. Erişim Tarihi: 28 Haziran 2022.
- Navarro, J. G. M., Jaramillo, L. A., & Magan, E. L. (2019). Assessing connectivity in single and multimodal networks using Geographic Information Systems (GIS). *Transportation Research Procedia, 40*, 1473-1480.
- Oh, K., & Jeong, S. (2007). Assessing the spatial distribution of urban parks using GIS. *Landscape and urban planning, 82*(1-2), 25-32. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.01.014>
- Pulighe, G., Fava, F., & Lupia, F. (2016). Insights and opportunities from mapping ecosystem services of urban green spaces and potentials in planning. *Ecosystem services, 22*, 1-10.

- Reid, W. V. (2005). Ecosystems and human well-being: general synthesis: A report of the millennium ecosystem assessment. Island Press, Washington, DC.
- Saaty, T. L. (1972). An eigenvalue allocation model for prioritization and planning. *Energy Management and Policy Center, University of Pennsylvania*, 28-31.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, 1(1), 83-98.
- Salihoğlu, T. (2020). CBS Yardımıyla İstanbul'daki Merkez Alanların Sınırlarının Belirlenmesi. *Geomatik*, 5(3), 201-208. <https://doi.org/10.29128/geomatik.644562>
- Sánchez-Lozano, J. M., Teruel-Solano, J., Soto-Elvira, P. L., & García-Cascales, M. S. (2013). Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain. *Renewable and sustainable energy reviews*, 24, 544-556.
- Sandifer, P. A., Sutton-Grier, A. E., & Ward, B. P. (2015). Exploring connections among nature, biodiversity, ecosystem services, and human health and well-being: Opportunities to enhance health and biodiversity conservation. *Ecosystem services*, 12, 1-15.
- Sarı, S., & Türk, T. (2021). An investigation of urban development with geographical information systems: 100-year change of Sivas City, Turkey. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 6(1), 51-63. <https://doi.org/10.26833/ijeg.690216>
- Shorabeh, S. N., Argany, M., Rabiei, J., Firozjaei, H. K., & Nematollahi, O. (2021). Potential assessment of multi-renewable energy farms establishment using spatial multi-criteria decision analysis: A case study and mapping in Iran. *Journal of Cleaner Production*, 295, 126318. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126318>
- Sotoudehnia, F., & Comber, L. (2011, April). Measuring perceived accessibility to urban green space: an integration of GIS and participatory map. In *14th AGILE Conference on Geographic Information: Advancing Geoinformation Science for a Changing World*.
- Sönmez, Z. (2021). Sürdürülebilir kent planlamasında cbs tabanlı çok kriterli çevresel risk analizi: Ankara Gölbaşı örneği. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi.
- Stähle, A. (2010). More green space in a denser city: Critical relations between user experience and urban form. *Urban Design International*, 15, 47-67.
- Stessens, P., Khan, A. Z., Huysmans, M., & Canters, F. (2017). Analysing urban green space accessibility and quality: A GIS-based model as spatial decision support for urban ecosystem services in Brussels. *Ecosystem services*, 28, 328-340. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.10.016>
- Stević, Ž., Pamučar, D., Puška, A., & Chatterjee, P. (2020). Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of alternatives and ranking according to COmpromise solution (MARCOS). *Computers & Industrial Engineering*, 140, 106231.
- Şahin, T., Ocak, S., & Top, M. (2019). Analytic hierarchy process for hospital site selection. *Health Policy and Technology*, 8(1), 42-50.
- Şenik, B., & Uzun, O. (2021). Düzce Kentinde Açık Yeşil Alan Sisteminin Oluşturulmasına Yönelik Bazı Öneriler. *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi*, 17(2), 367-396.
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı (2019). On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023), s. 172. <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2019/07/OnbirinciKalkinmaPlanı.pdf>. Erişim Tarihi: 28 Haziran 2022.
- Triantaphyllou, E., & Triantaphyllou, E. (2000). *Multi-criteria decision making methods* (pp. 5-21). Springer US.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) (2022). <https://www.tuik.gov.tr/>. Erişim Tarihi: 28 Haziran 2022.
- URL 1. İmar kanunu. <https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.3194.pdf>. Erişim Tarihi: 28 Haziran 2022.
- URL 2. Mekansal Planlar Yapım Yönetmeliği. <https://www.mevzuat.gov.tr/File/GeneratePdf?mevzuatNo=19788&mevzuatTur=KurumVeKurulusYonetmeliği&mevzuatTertip=5>. Erişim Tarihi: 28 Haziran 2022.
- Van Herzele, A., & Wiedemann, T. (2003). A monitoring tool for the provision of accessible and attractive urban green spaces. *Landscape and urban planning*, 63(2), 109-126. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(02\)00192-5](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00192-5)
- Villacreses, G., Gaona, G., Martínez-Gómez, J., & Jijón, D. J. (2017). Wind farms suitability location using geographical information system (GIS), based on multi-criteria decision making (MCDM) methods: The case of continental Ecuador. *Renewable energy*, 109, 275-286. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.03.041>
- Yoon, K. P., & Hwang, C. L. (1995). *Multiple attribute decision making: an introduction*. Sage publications.
- Zeng, J., Lin, G., & Huang, G. (2021). Evaluation of the cost-effectiveness of Green Infrastructure in climate change scenarios using TOPSIS. *Urban Forestry & Urban Greening*, 64, 127287. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127287>
- Zhang, Z., Meerow, S., Newell, J. P., & Lindquist, M. (2019). Enhancing landscape connectivity through multifunctional green infrastructure corridor modeling and design. *Urban forestry & urban greening*, 38, 305-317.





Geomatik

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

e-ISSN 2564-6761



Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tabanlı orman yangını risk analizi: Bartın İli örneği

Mücahit Coşkun¹, Ferhat Toprak^{*1}

¹Karabük Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Karabük, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Orman Yangını Risk Analizi
Gri İlişkisel Analiz
CBS
Bartın

Araştırma Makalesi

Geliş: 20.10.2022
Revize: 21.02.2023
Kabul: 27.02.2023
Yayınlanma: 19.04.2023



Öz

Karadeniz Bölgesi nemli bir saha olmasına rağmen son zamanlarda çok sayıda orman yangını yaşanmıştır. Bu bölgede yer alan Bartın ili biyoçeşitlilik açısından zengin ormanlar barındırmaktadır. Ayrıca il, ülkemizin 9 sıcak noktasından biri olan Küre Dağları Milli Parkı'nın uzantısı Batı Küre Dağları'nı da kapsamaktadır. Bu şartlar göz önünde bulundurulduğunda Bartın il sınırları içerisindeki ormanlık sahaların yangın risklerine karşı korunması gerekmektedir. Bu çerçevede çalışmanın amacı, Bartın ilinde orman yangını açısından riskli alanların bulunmasıdır. Bunun için çalışmada, kullanışlı bir araç olan Coğrafi Bilgi Sistemlerinden (CBS) yararlanılmıştır. Verilerin işlenmesi ve görüntülenmesi bakımından gelişmiş bir yaklaşım olan CBS, risk analizlerine olanak sağlamasıyla öne çıkmaktadır. Araştırmada, yangın riskini belirlemek için Gri İlişkisel Analiz (GİA) yöntemi kullanılmıştır. GİA, faktörlerin etki derecesini değerlendirmek için etkili bir formüldür. Hesaplama yangını etkileyen faktörler ile acil müdahale faktörleri birbirinden ayrı analiz edilerek haritalanmıştır. Daha sonra bu haritalar birleştirilerek yangın risk haritası oluşturulmuştur. Yapılan yangın risk haritası sonucuna göre Bartın ilinin %18'i çok yüksek riskli alan çıkmıştır. Bu alanlarda sıcaklığın fazla, yükseltinin az, iğne yapraklıların bulunması dikkat çeken unsurlar olmuştur.

Geographical information systems (GIS) based forest fire risk analysis: Case of Bartın

Keywords

Forest Fire Risk Analysis
Grey Relational Analysis
GIS
Bartın

Research Article

Received: 20.10.2022
Revised: 21.02.2023
Accepted: 27.02.2023
Published: 19.04.2023

Abstract

Although the Black Sea Region is humid, there have been many forest fires recently. The province of Bartın, located in this region, has forests rich in biodiversity. In addition, the province also includes the Western Küre Mountains, an extension of the Küre Mountains National Park, which is one of the 9 hot spots of our country. Considering these conditions, forest areas within the provincial borders of Bartın should be protected against fire risks. In this context, the aim of the study is to determine the forest fire risk in Bartın province. For this purpose, Geographic Information Systems (GIS), which is a useful tool, was used in the study. GIS, an advanced approach to processing and displaying data, stands out by enabling risk analysis. In the research, Grey Relational Analysis (GRA) method was used to determine the fire risk. GRA is an effective formula for assessing the degree of influence of factors. In the calculation, the factors affecting the fire and the emergency response factors were analyzed and mapped separately. Then, these maps were combined to create a fire risk map. According to the result of the fire risk map, 18% of Bartın province is a very high risk area. In these areas, the temperature is high, the altitude is low, and the presence of conifers has been remarkable.

*Sorumlu Yazar

(mcoskun@karabuk.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-7881-6742
(tqrak27@gmail.com) ORCID ID 0000-0001-5452-5855

Kaynak Göster (APA)

Coşkun, M. & Toprak, F. (2023). Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tabanlı orman yangını risk analizi: Bartın İli örneği. Geomatik, 8(3), 250-263

1. Giriş

Ormanlık alanlar, nefes alınan havadan, yakacak ve yapacak ihtiyacını gidermek için kullanılan ürünlere kadar çok farklı amaçlarla faydalanılan önemli doğal kaynaklardır. Bünyesinde sayısız ekosisteme ev sahipliği yapmaktadır. Bitki örtüsü ve toprak içerisinde karbon depoladıklarından iklim üzerindeki rolleri büyüktür. Ayrıca rekreasyon faaliyetlerinin yapıldığı yerlerin başında gelmektedir. Fakat bu ormanlık alanlar kaçak kesim, açma, aşırı otlatma, amaç dışı yararlanma ve yangınlar nedeniyle baskı altındadır (Doğanay ve Doğanay, 2004; Kırış ve Toprak, 2007; Atalay ve Efe, 2015; Atmiş, 2020; Başaran ve ark., 2022).

Yerkürede karasal bitkilerin ortaya çıkmasından kısa bir süre sonra başlayan orman yangınları (Scott ve Glasspool, 2006; Bowman ve ark., 2009), orman verimliliğini etkileyen önemli bir faktördür (Pausas ve Ribeiro, 2013). Ormanlık alanlar antropojenik etkilerden dolayı azalırken, orman yangınları bu süreci hızlandırmaktadır. Çünkü bu alanlarda oluşan orman yangınlarının kontrol dışında gerçekleşmesi daha fazla kayba ve zarara yol açmaktadır (Gai ve ark., 2011).

Orman yangınları, her yıl dünyanın ve ülkemizin önemli bir bölümünde çıkmaktadır. Türkiye’de gerek iklim koşullarının uygun olması gerek kolay tutuşan bitki topluluklarının fazla olması çıkan yangın sayılarını etkilemektedir (Avcı ve Korkmaz, 2021). Ülkemizde kısa ve uzun olmak üzere iki yangın sezonu vardır. Batı Karadeniz Bölümü kısa yangın sezonunun görüldüğü yerler arasındadır (Arslantürk, 2007). Bu bölüm, yağışın bol olduğu nemli bir bölge olarak gözükse de son zamanlarda orman yangınlarında artış söz konusudur (Küçük ve ark., 2012; Arıcak ve ark., 2014; Yavuz ve ark., 2018). Tepe yangını ile büyük kayıpların yaşandığı bu sahalar yangının karaçam ve kızılçam meşcerelerinde başlaması dikkat çekici unsurdur. Bu meşcerelerin yayılış gösterdiği sahalar yangın riski açısından potansiyel taşımaktadır (Küçük ve ark., 2008). Batı Karadeniz Bölümü’nde yangın riskine karşın ormanların korunması ve kaybın azaltılması için orman yangını yönetim planlaması ve stratejileri büyük önem taşımaktadır. Orman yangınlarında, yangınları etkileyen faktörleri belirleyerek analiz etmek (Chuvieco ve Salas, 1996; Barnwell ve Rodman, 2005; Gai ve ark., 2011) ve yangın risk haritaları hazırlamak, yangının vereceği tahribatın önüne geçilmesine yardımcı olacaktır (Jaiswal ve ark., 2002).

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) problemleri çözmek ve yönetmek için güçlü bir araçtır. Mekânsal verilerin toplanması, depolanması, işlenmesi, analiz edilmesi ve görüntülenmesinde kullanılabilen gelişmiş bir sistemdir (Ali, 2020). Bu yüzden risk analizlerinde sıklıkla tercih edilmektedir (Tarhan ve Saygın, 2006; Gai ve ark., 2011; Selim ve Demir, 2019; Kalbani ve Rahman, 2022). Mekânsal bilgiye hem daha hızlı hem daha kolay ulaşmanın önemli bir yolu olan CBS, yangına riskli alanların tespit edilmesi için de kullanılmaktadır (Gai ve ark., 2011). CBS tabanlı risk analizi sadece yangın anında değil öncesinde ve sonrasında yapılacak araştırmalarda kullanışlı veriler oluşturmayı mümkün kılmaktadır (Küçük ve Bilgili, 2006; Akbulak ve ark., 2018; Akay ve Şahin, 2019; Dilekçi ve ark., 2021). Literatürde orman

yangınları için CBS tabanlı analizler başvurulan yöntemler arasında ilk sıralarda yer almaktadır. Yin ve ark. (2004), Çin’in Da Hinggan dağında yapmış olduğu CBS tabanlı Analytic Hierarchy Process (AHP) analizinde çalışma sahasının yaklaşık %60’ını orman yangınına karşı üst orta riskli bölge olarak tahmin etmiştir. Akay ve Erdoğan (2017), Balıkesir Dursunbey sınırları içerisinde CBS tabanlı AHP analizi ile orman yangını risk haritası oluşturmuştur. Sonuçlara göre sahanın %23’ü aşırı riskli bulunmuştur. Burdur ilinin orman yangın risk alanlarını haritalamak için Bingöl, (2017), CBS tabanlı ağırlıklandırma yöntemini kullanmıştır. Sonuçlara göre sahanın %12’si çok riskli çıkmıştır. Said ve ark., (2017), Brunei Muara bölgesinde CBS tabanlı Hotspot analizi ile orman yangını risk değerlendirmesi yapmıştır. Gigović ve ark. (2018), Bosna Hersek’in Nevesinje bölgesinde, CBS tabanlı AHP analizi ile orman yangını risk haritalaması gerçekleştirmiş ve sahanın %13’ünün çok riskli olduğu sonucuna ulaşmıştır. Tien Bui ve ark., (2018), Vietnam Lam Dong eyaletinde gerçekleştirmiş olduğu orman yangını tehlike haritalamasında, Yapay Sinir Ağı (ANN) kullanmıştır. Yapılan bu çalışmada ANN ağırlıkları CBS veri tabanına uyacak şekilde optimize edilmiş ve sonuca ulaşmıştır. Gheshlaghi ve ark., (2020), İran Noshahr ormanlarında yangın risk haritası geliştirmek için Analytical Network Process (ANP) ve Fuzzy Logic analizleri kullanmış ve CBS’den faydalanmıştır. Sonuçlar sahanın yaklaşık %28’inin çok yüksek ve yüksek risk grubunda yer aldığını göstermiştir. Manisa ilinde orman yangınına karşı riskli alanları belirlemek için Gülçin ve Deniz, (2020), CBS tabanlı ağırlıklandırma yöntemini kullanmış ve sahanın %25’inin çok yüksek ve yüksek risk grubunda yer aldığını saptamıştır. Kavlak ve ark., (2020), Kütahya Ören Orman İşletme Şefliği’nde gerçekleştirmiş olduğu orman yangını risk haritalamasında CBS tabanlı ağırlıklandırma yöntemini kullanmış ve sahanın %36’sı çok riskli grupta yer aldığı sonucuna ulaşmıştır. Nikhil ve ark., (2021), Hindistan’ın güneyindeki The Parambikulam Tiger koruma alanında yapmış olduğu CBS tabanlı AHP analizinde sahanın yaklaşık %71’inin çok yüksek ve yüksek risk grubunda yer aldığını saptamıştır.

CBS tabanlı çeşitli analizler, orman yangını risk haritalamasına olanak sağlamaktadır. Gri İlişkisel Analiz (GİA) de bu yöntemlerden birisidir (Gai ve ark., 2011). AHP yöntemi orman yangını risk haritalamasında sıklıkla tercih edilen bir analiz olmasına rağmen bu çalışma GİA ile yapılmıştır. GİA, çoklu karar verme problemlerinde her alternatif için dikkate alınan tüm performans öznitelik değerleri aralığını tek bir değerde birleştirmesiyle öne çıkmaktadır (Kuo ve ark., 2008). Ayrıca birden çok faktör ve değişken arasındaki karmaşık ilişkilere sahip sorunları çözmek için uygun olan gri sistem teorisinin bir parçasıdır (Morán ve ark., 2006). Bu yönleriyle GİA hem uygulanabilirliği hem de güvenilirliği (Kuo ve ark., 2008) açısından bu çalışmada tercih edilmiştir.

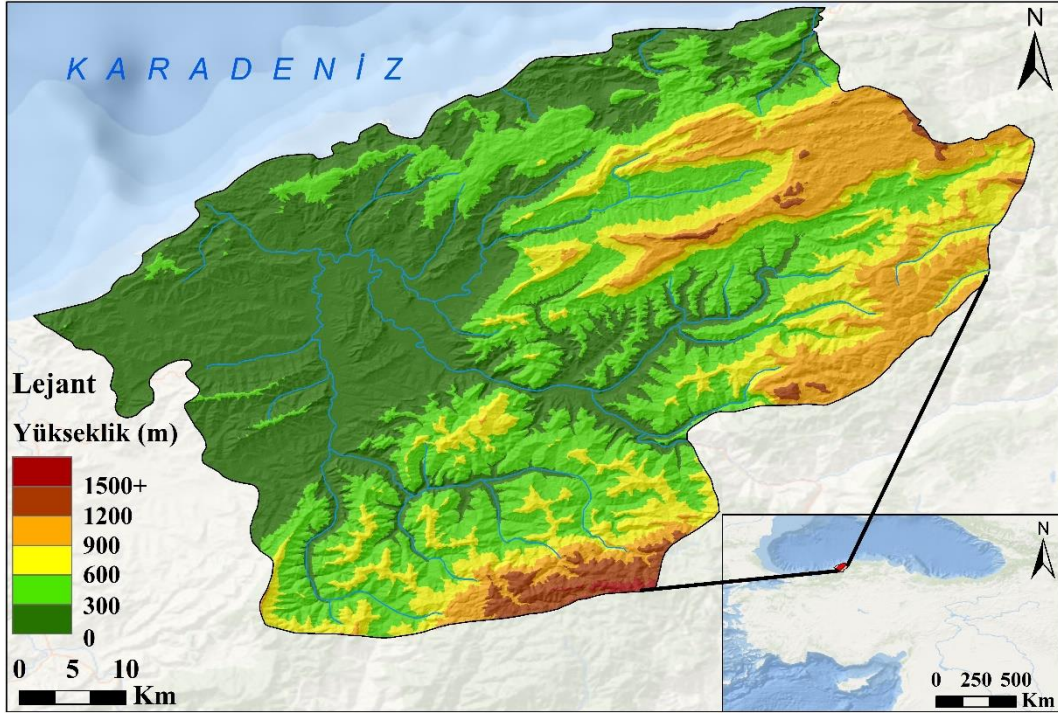
Hazırlanan bu çalışmanın amacı, Bartın il sınırları içerisinde olası yangın tehditlerine karşı riskli yerlerin belirlenmesi ile orman yangını yönetimi planlaması ve stratejileri için kullanılacak yangın risk haritası oluşturulmasıdır. Bu tür haritalar orman yangınlarını en aza indirmeye ve meydana gelecek hasarların

önlenmesine katkıda bulunacaktır. Bundan dolayı orman yangınlarına sebep olan faktörlerin belirlenip analiz edilmesi, orman varlığının korunması açısından önemlidir. Araştırma alanının zengin bitki örtüsüne sahip olması ve bu saha ile ilgili yapılan yangın risk analizi çalışmalarının az olması (Ateşoğlu, 2014) araştırmayı bu çalışma sahasında yapma ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Çalışma, belirlenen faktörlerin CBS tabanlı GİA analiziyle gerçekleştirilmiştir. Ayrıca literatür dikkate alındığında araştırma, GİA yönteminin Türkiye’de yangın risk analizi çalışmalarında ilk defa uygulanması bakımından da ön plana çıkmaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma alanı

Araştırma alanı Şekil 1’de görüldüğü gibi Karadeniz Bölgesi’nin Batı Karadeniz Bölümü’nde yer alan Bartın il sınırları içerisinde kalan bir sahadır. Bartın ili, $41^{\circ} 53'$ kuzey enlemi ile $32^{\circ} 45'$ doğu boylamı arasında yer almaktadır. İl, doğuda Kastamonu, güneydoğuda Karabük, batıda ise Zonguldak illeriyle komşuyken, kuzeyini Karadeniz sahil şeridi çevrelemektedir. İlin toplam yüzölçümü 2.321 km^2 ’dir.



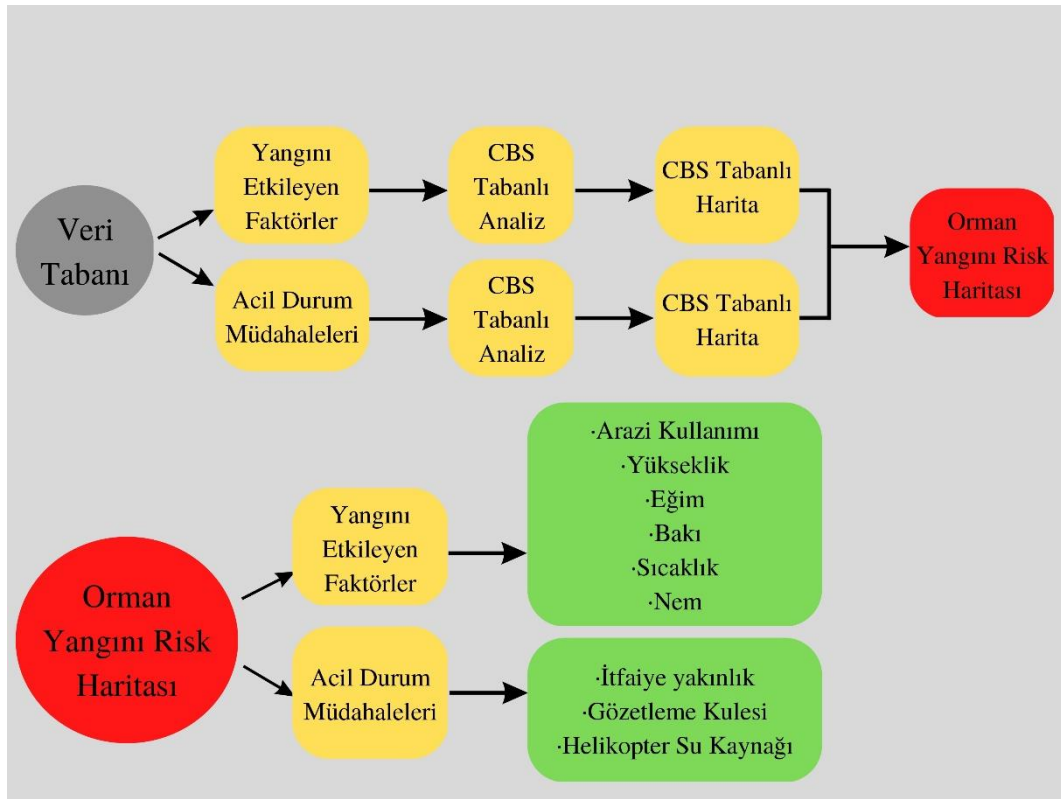
Şekil 1. Çalışma alanı haritası

Bartın ili doğu, batı ve kuzey yönlerden dağlarla çevrilidir. Dağlar, 2000 metreyi geçmemekle birlikte oldukça dik, sahile doğru sarp ve kayalık bir yapıya sahiptir. Saha, bitki örtüsü ve orman ekosistemi, nadir rastlanan bitki toplulukları ve endemik türler açısından zengindir. Ayrıca ülkemizin 9 sıcak noktasından biri olan Küre Dağları Milli Parkı’nın uzantısı Batı Küre Dağları çalışma sahasının içinde bulunmaktadır (Aktaş, 2006; DKMP, 2012; Toprak, 2020). Kaya ve Başaran (2006) 1996-1999 yılları arasında Bartın ilinde yapmış oldukları çalışmada 1245 bitki toplamış ve 672 takson belirlemişlerdir. 672 taksonun 7’si endemik olup endemizm oranını %1.04 bulmuşlardır (Kaya ve Başaran, 2006). Tunçkol ve Aksoy (2018) Küre Dağları Milli Parkı’nın Florası (Bartın Bölümü) adlı çalışmada 1450 bitki örneği içinden 357 cins ve 95 familyaya ait 655 takson tespit etmiştir. Bu taksonlardan 22’si endemik ve 6’sı ise nadir rastlanan türlerdir (Tunçkol ve Aksoy, 2018). Araştırma alanında yapılan bu çalışmaların sonuçları Bartın ilinin biyoçeşitlilik açısından zengin olduğunu göstermektedir. Çalışma sahasının 30 metre yükseltili Bartın Meteoroloji İstasyonu 1961-2021 ölçüm periyoduna göre yıllık ortalama sıcaklık 13.1°C ’dir. Ortalama en yüksek sıcaklık 19.4°C iken ortalama en

düşük sıcaklık 7.9°C ’dir. Yıllık toplam yağış ise 1049.1 mm ’dir. Yağışın mevsimlere göre dağılımında en fazla yağış 338.4 mm ile kış mevsimine düşmektedir. En az ise 191.7 mm ile ilkbahar mevsimindedir.

2.2. Materyal

Biyoçeşitlilik açısından zengin olan araştırma alanı yangın risklerine karşı korunması gerekmektedir. Bu nedenle ilk adım olarak yangın risk haritası için faktörler belirlenmiş ve faktörler ile ilgili veri toplanmıştır. İkinci adımda, toplanan veriler Şekil 2’deki gibi 2 gruba ayrılmıştır: Yangını Etkileyen Faktörler ve Acil Durum Müdahaleleri. Böylece çalışmanın temel amacı olan sahanın yangın riski belirlenecektir. Yangını etkileyen faktörler ve acil durum müdahaleleri risk analizinin indekslerini oluşturmaktadır. Yangını etkileyen faktörler arazi kullanımı, yükseklik, eğim, baki, sıcaklık ve nem (Chuvieco ve Salas, 1996; Barnwell ve Rodman, 2005; Sivrikaya ve Küçük, 2022); acil durum müdahale faktörleri itfaiyeye yakınlık, gözetleme kulesi (Kucuk ve ark., 2017) ve helikopter su kaynağı Şekil 2’de verilmiştir (Gai ve ark., 2011).

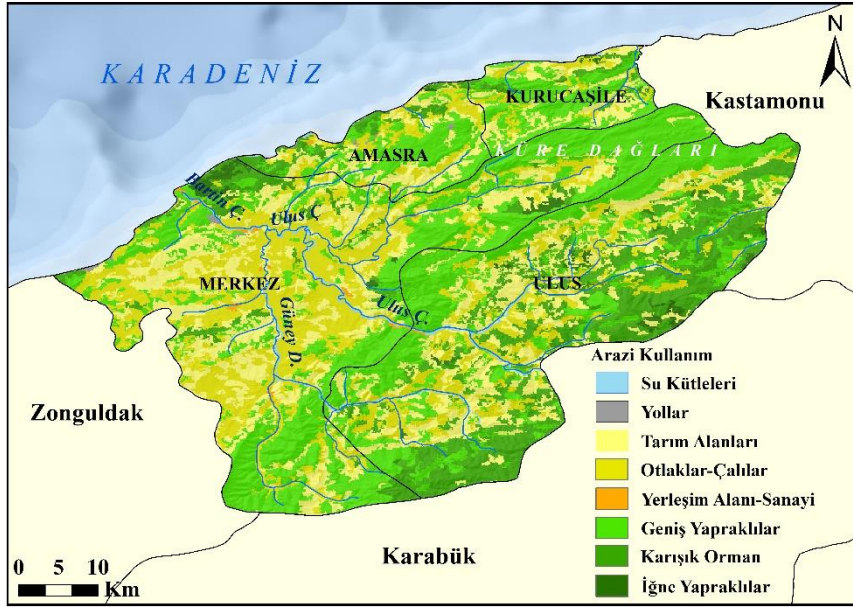


Şekil 2. Orman yangını risk analizi indeksleri

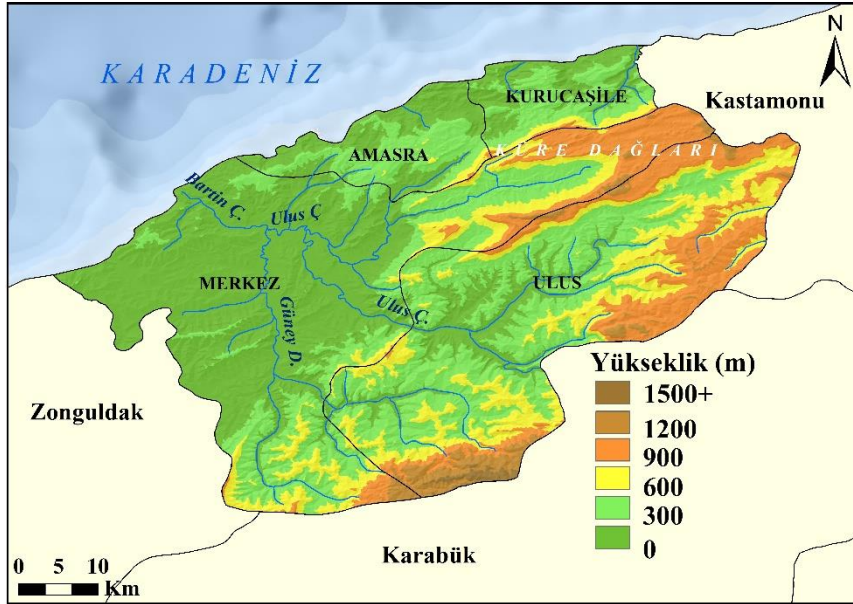
Yangın tehlike indekslerinden biri olan arazi kullanımı için CORINE Land Cover (CLC) verisinden yararlanılmıştır. CLC verisi, Avrupa Birliği'nin 1985 yılında başlattığı, belirli periyodlarda güncellediği, Dünya ve çevresine bakan gözlem programından üretilmektedir. Bunun yanı sıra ESA Sentinel-2 görüntülerinden türetilen küresel arazi kullanımı verisi de mevcuttur. CLC verisi sınıflandırması itibariyle daha uygun olduğundan bu çalışmada tercih edilmiştir. CLC verisi, son güncelleme olan 2018 yılına aittir. Elde edilen bu arazi kullanım verisi Şekil 3'te olduğu gibi kendi içerisinde iğne yapraklılar, karışık orman, geniş yapraklılar ormanı, çalılık alan-otlaklar, yerleşim alanları, su kütleleri gibi sınıflara ayrılmıştır. Bunlar içerisinde iğne yapraklılar orman yangınlarına karşı diğer yapraklılara nazaran daha hassastır. İğne yapraklıların tutuşma özelliği yüksektir. Bu yüzden tepe yangınına hızlı bir şekilde ilerlemektedir (O'Brien ve ark., 2008; Yılmaz ve ark., 2021). Diğer bir indeks olan ve Şekil 4-6'da verilen topografya unsurları (yükselti, eğim, bakı) için 34*34 metre çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verisi kullanılmıştır. Yanıcı maddeler ve hava olayları üzerinde rol oynayan topografya faktörleri, yangının davranışını etkilemektedir. Örneğin, eğim yangının yayılma oranı ve yönü; bakı sahadaki güneş radyasyonu; yükselti hava sıcaklığı, yağış türü ve yağış miktarı gibi durumlar üzerinde etkili olmaktadır (Linn ve ark., 2007). Şekil 7 ve 8'deki sıcaklık ve nemlilik oranı ise yangını etkileyen diğer unsurlardır. Bu unsurlar için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan bültenlerden yararlanılmıştır. Belirlenen bu faktörler ArcGIS yazılımı ile hazırlanmış ve yetkili uzman kişilerin görüşleri doğrultusunda ağırlıklandırılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Yangını etkileyen faktörlerin sınıflandırılması

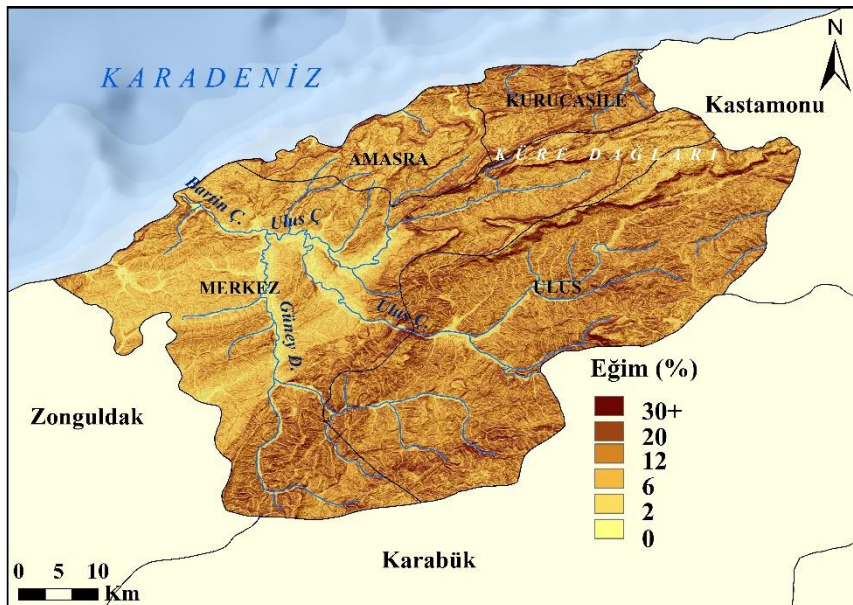
Veri	Sınıfı	Değer
Arazi Kullanımı	Su Kütleleri	0
	Yollar	1
	Yerleşim Alanı-Sanayi	3
	Tarım Alanları	5
	Otlaklar-Çalılar	7
	Geniş Yapraklılar	8
	Karışık Ormanlar	9
Yükselti	İğne Yapraklılar	10
	>900 m	1
	800-900 m	3
	700-800 m	5
	600-700 m	7
	500-600 m	9
Eğim	0-500 m	10
	0-5°	1
	5-15°	3
	15-25°	5
	25-35°	7
Bakı	35°>	10
	Kuzey	2
	Doğu	5
	Batı	7
Sıcaklık	Güney	10
	<5 (°C)	3
	5-15 (°C)	5
Nem	15> (°C)	7
	<75 %	3
	75>%	5



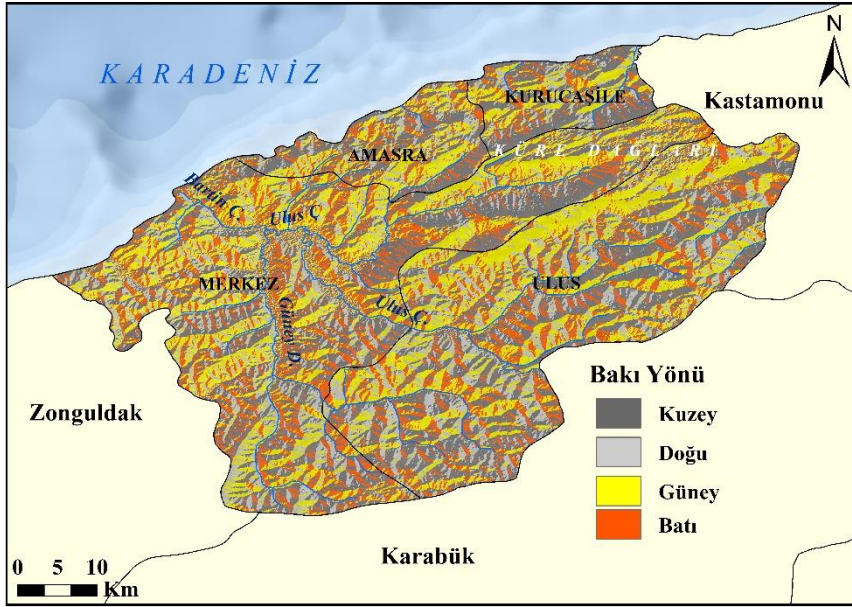
Şekil 3. Bartın İli arazi kullanımı haritası



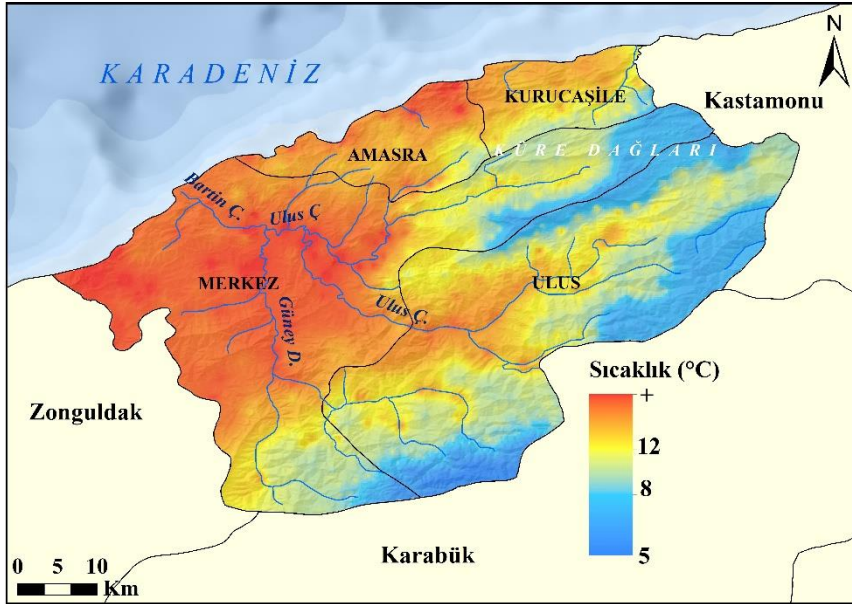
Şekil 4. Bartın İli yükseklik haritası



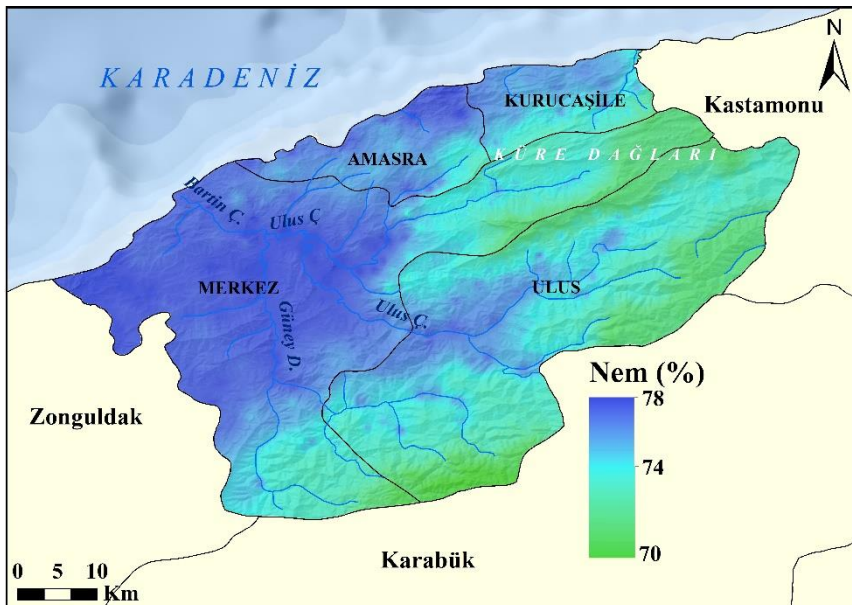
Şekil 5. Bartın İli eğim haritası



Şekil 6. Bartın İli baki haritası



Şekil 7. Bartın İli sıcaklık haritası

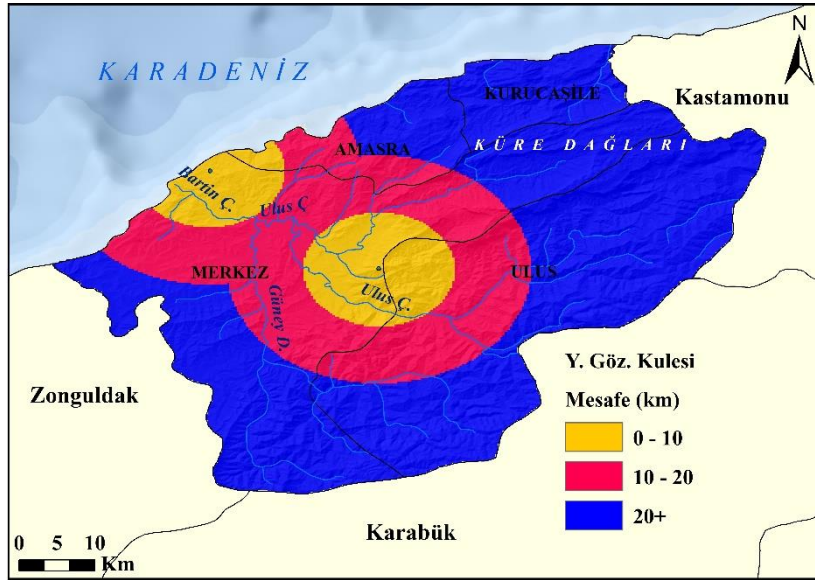


Şekil 8. Bartın İli nem haritası

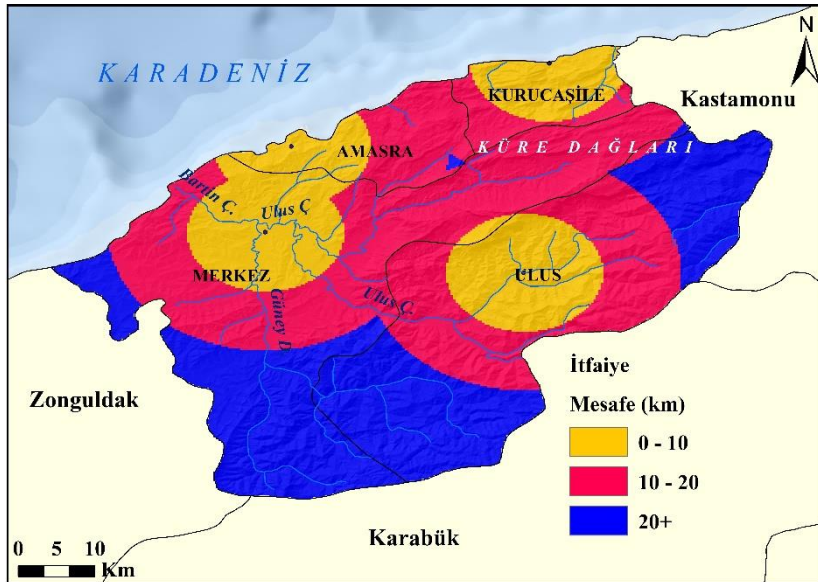
Acil müdahale indeksleri yangın oluştuğunda büyümesini engelleyen önlemlerdir. Orman yangınları, profesyonel yangın söndürme araçları veya erken uyarı sistemi ile kontrol altına alınabilmektedir. Bu kapsamda yangın gözetleme kulesi, helikopter su kaynağı ve itfaiye yangını kontrol altına alabilecek acil müdahale önlemine girmektedir. Yangın gözetleme kulesi, kameralar kullanılarak ya da görevli kişilerin gözlemleri ile yangın çıktığı anda fark edilebilir ve erken müdahale edilmesine yardımcı olur. Fakat yangın kulelerinin görüş mesafesi arttıkça yangını görme potansiyeli azalır. Bu yüzden Şekil 9'da da olduğu gibi kuleden uzaklaştıkça risk de artmaktadır (Başaran ve ark., 2003). Orman yangınları ile mücadele kapsamında itfaiye araçları ve onlardan sorumlu ekipler yangının büyümesini ve yayılmasını engelleyen önemli bir etkidir. Orman Genel Müdürlüğü (OGM)'de genel olarak kullanılan araçlar şunlardır: Arazöz (3000-6000 lt), İlk Müdahale Aracı (350 lt), Su İkmal Aracı (12000 lt) ve İş Makinesi (Dozer). İlk üç araç yangını söndürmede, son araç ise ateş ile yanıcı arasındaki bağı koparmak için kullanılmaktadır (TOD, 2020). Şekil 10'da görüldüğü gibi uzaklaştıkça risk

artmaktadır. Helikopter ise erişilemeyen yerlerde yangını söndürmek için kullanılan önemli hava desteğidir. Yolun olmadığı yüksek kesimler, bakir ormanlar gibi erişilemeyen yerlere müdahalede kullanılan helikopter için su kaynağı büyük önem arz etmektedir. Şekil 11'deki gibi su kaynağı yangından ne kadar uzakta ise risk de o kadar artmaktadır.

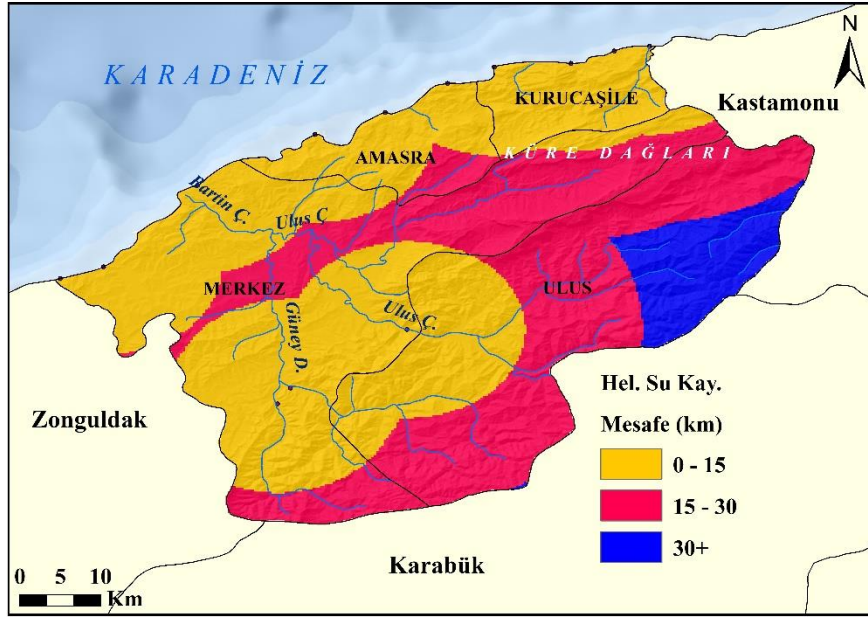
Acil müdahale indekslerinin orman yangını riskine olan etkisini belirleyebilmek için belirli mesafelerde sınıf oluşturulması gerekmektedir. Faktörler yangına müdahale durumuna göre 3 sınıfa ayrılmış ve ağırlıklandırılmıştır. Sınıflandırma ve ağırlıklandırma yapılırken alanındaki uzman kişilerin görüşleri alınmıştır (Tablo 2). Belirlenen acil müdahale indeksleri ArcGIS programı üzerinden Euclidean Distance Tool'u ile hazırlanmıştır. Çoğunlukla çok kriterli karar verme analizlerinde yaygın bir araç olarak kullanılan Öklid Uzaklığı, raster verideki her hücrenin en yakın kaynağa yakınlığını hesaplamak için kullanılmaktadır. Tool, her hücrenin kaynağa yakınlığını hesaplayarak çıktı sağlamaktadır.



Şekil 9. Yangın kulesine olan uzaklık



Şekil 10. İtfaiye merkezlerine olan uzaklık



Şekil 11. Helikopter su kaynaklarına olan uzaklık

Tablo 2. Acil müdahale faktörlerinin sınıflandırılması

Acil Durum Müdahaleleri	Sınıfı	Değer
Yangın Kulesi	0-10 km	3
	10-20 km	5
	20+ km	7
İtfaiye Merkezleri	0-10 km	3
	10-20 km	5
	20+ km	7
Helikopter Su Kaynağı	0-15 km	3
	15-30 km	5
	30+ km	7

2.3. Yöntem

Orman yangını riski için ilk önce yangını etkileyen faktörler ve acil durum müdahaleleri olmak üzere iki veri seti ArcGIS yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır. Ardından bu faktörler ağırlıklandırılarak hesaplama işlemine geçilmiştir. CBS tabanlı hesaplamada GİA kullanılmıştır. GİA, her faktörün etki derecesini değerlendirmek ve problemleri çözmek için kullanılacak basit ve doğrudan çok kriterli bir karar verme tekniğidir. Özellikle yeterli verinin olmadığı ve örnek dağılım modelinin bilinmediği durumlarda hem eksik hem de kesin olmayan bilgileri işleyebilmektedir (Zhang ve ark., 2005). Ayrıca orijinal verileri de doğrudan değerlendirme özelliğine sahiptir. Bu özellikleri ile GİA, performans değerlendirmeleri ve çok kriterli karar verme ile ilgili birçok uygulamada yaygın olarak kullanılmakta ve diğer analizlerden öne çıkmaktadır (Zhai ve ark., 2009).

Hesaplama için belirlenen faktörler ilk önce 0 ila 1 arasında normalize edilir. Normalize edildikten sonra gerçek ve istenen veriler arasındaki ilişkiyi ifade etmek için gri ilişkisel katsayı hesaplanır. Son olarak gri ilişkisel katsayısının ortalaması alınarak GİA hesaplaması tamamlanır. Analiz, 4 formülden oluşur ve belirlenen her faktör için ayrı ayrı hesaplanır. Yangını etkileyen faktörler ve acil durum müdahaleleri için belirlenen her

faktör hesaplandıktan sonra iki farklı harita oluşturulur. Daha sonra oluşturulan her iki harita ArcGIS programı üzerinden Raster Calculator aracı ile birleştirilir. Bu analize göre basamaklar ve formüller (Zhai ve ark., 2009; Gai ve ark., 2011) şöyledir:

- Veri setini hazırlanması
- Veri setinin ağırlıklandırılması
- Normalleştirme süreci ve normalleştirme matrisinin oluşturulması

Eğer yüksek değer daha az riskli durum oluşturuyorsa (örneğin, yükseklik arttıkça riskin azalması) Eşitlik 1 kullanılır:

$$Xi(k) = \frac{Yi(k) - \min Yi(k)}{\max Yi(k) - \min Yi(k)} \quad (1)$$

$Yi(k)$ = Veri $\max Yi(k)$ = Yüksek değer $\min Yi(k)$ = Alçak değer

Eğer yüksek değer daha fazla riskli durum oluşturuyorsa (örneğin, sıcaklık yükseldikçe risk artması) Eşitlik 2 kullanılır:

$$Xi(k) = \frac{\max Yi(k) - Yi(k)}{\max Yi(k) - \min Yi(k)} \quad (2)$$

$Yi(k)$ = Veri $\max Yi(k)$ = Yüksek değer $\min Yi(k)$ = Alçak değer

- Mutlak değerlerin oluşturulması (Sapma Dizisi) (Eşitlik 3)

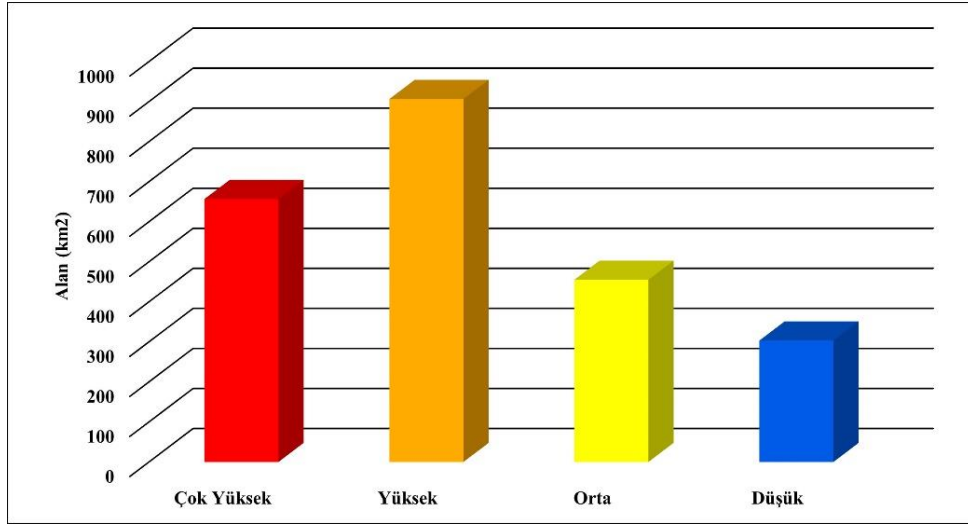
$$\Delta_{0i} = |x_0(k) - x_i(k)| \quad (3)$$

$x_0(k) = 1, 2, \dots, m$ $x_0(k)$ = Veri

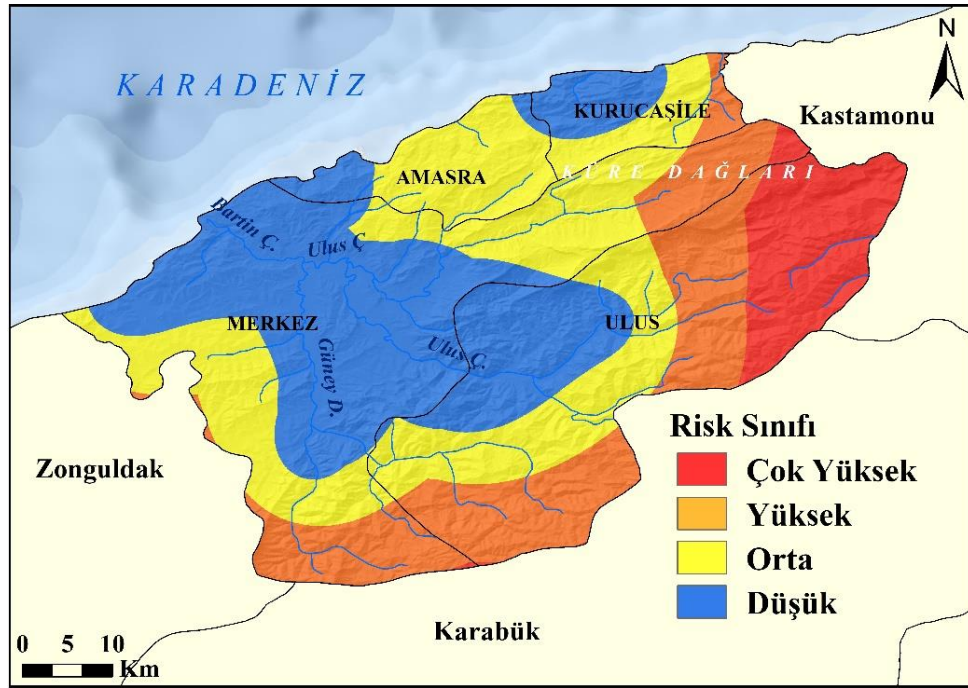
- Her alternatif için gri ilişkisel katsayının hesaplanması (Eşitlik 4)

$$Y_{0i}(k) = \frac{\Delta_{\min} + \zeta \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(k) + \zeta \Delta_{\max}} \quad (4)$$

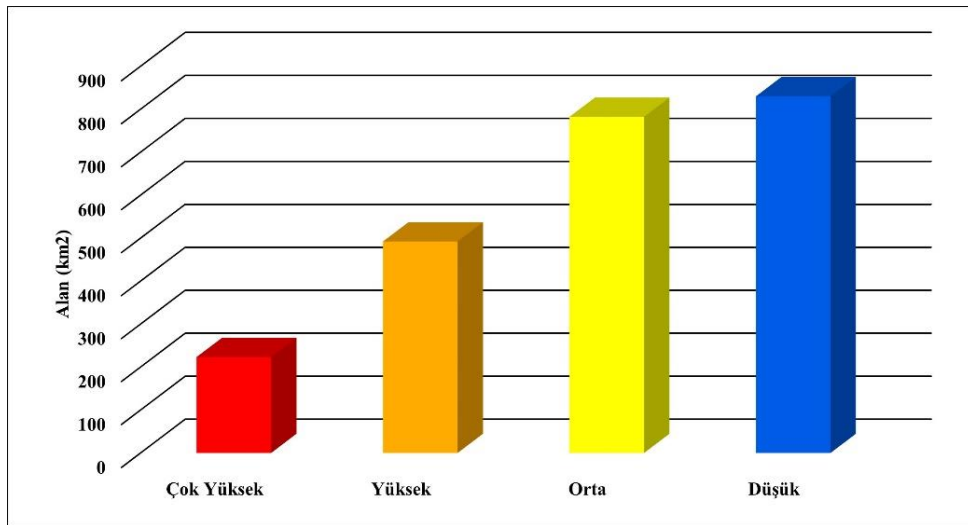
Δ_{\max} = Yüksek değer Δ_{\min} = Alçak değer $\zeta = 0,5$ (Sabit değer)



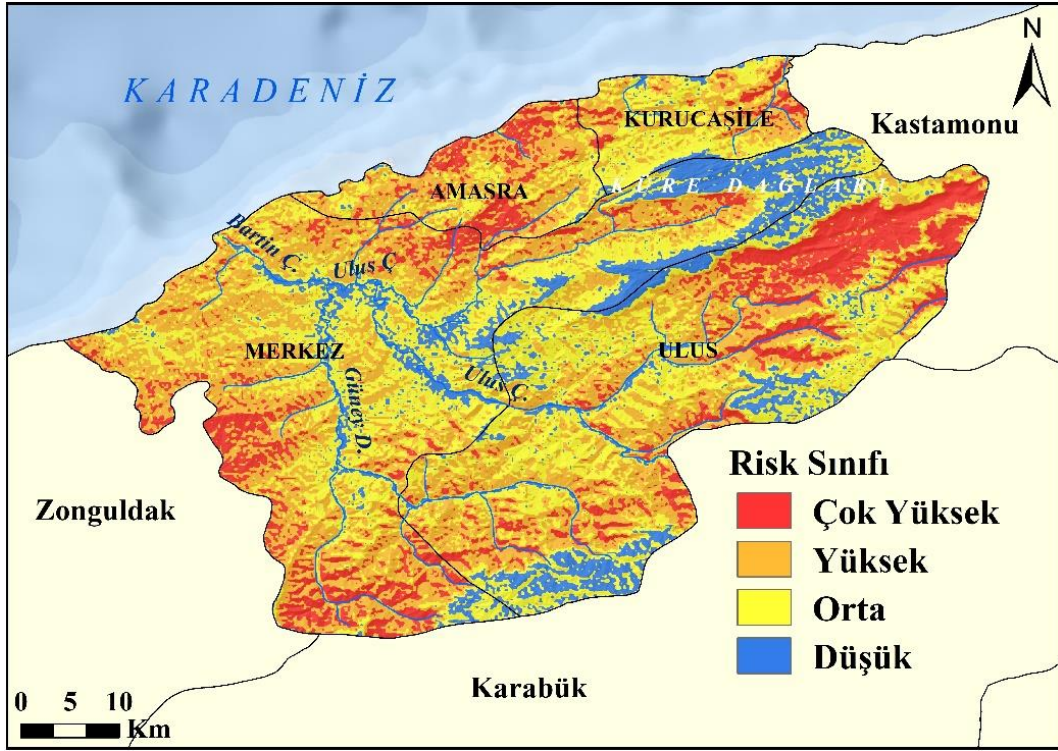
Şekil 13. Orman yangınına etkileyen faktörlerin alan dağılımı



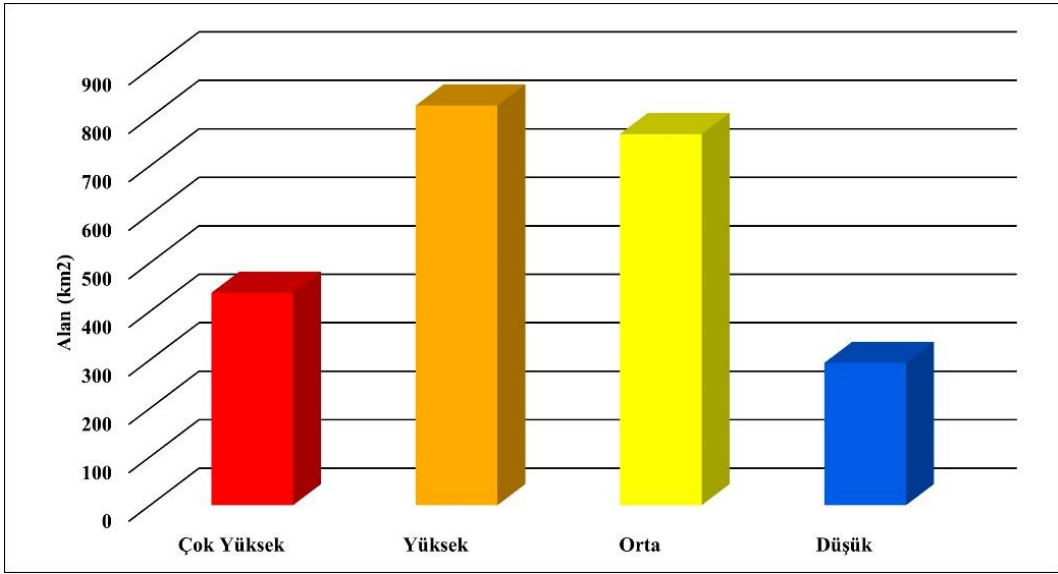
Şekil 14. Acil durum müdahalesi haritası



Şekil 15. Acil durum müdahalesi alan dağılımı



Şekil 16. Orman yangını risk haritası



Şekil 17. Orman yangını risk haritası alan dağılımı

Son olarak haritaların birleştirilmesi ile Bartın ilinin yangın risk haritası oluşturulmuştur. Harita, Şekil 16'da gösterilmiştir. Diğer haritalarda olduğu gibi risk haritası da renklendirilmiştir. Kırmızı rengin hâkim olduğu sahalarda sıcaklığın fazla, yükseltinin az, iğne yapraklıların bulunması, güney-batı yönlü bakıda bulunması, acil durum müdahalelerinden uzak olması dikkat çeken unsurlardır. Riskin en az olduğu mavi renkli alanlardan biri Batı Küre Dağları ve güney kesimde bulunan yüksek yerlerdir. Bu alanlarda iğne yapraklıların bulunmasına ve acil durum müdahalelerinden uzak olmasına rağmen yükseltinin fazla, sıcaklığın da düşük olması sebebiyle risk az çıkmıştır. Diğer mavi renkli alan ise orta batı kesimdir. Bu alanda da acil durum müdahale faktörlerinin fazla olması, riski azaltmaktadır. Turuncu ve sarı renkli

alanlarda ise risk orta derecedir. Şekil 17'de gösterildiği gibi yangın risk haritasında en fazla alan kaplayan sınıf 824 km² ile yüksek risk sınıfıdır. Ardından 765.6 km² ile orta risk sınıfı gelmektedir. Riskin en fazla olduğu kırmızı bölgeler 438.1 km², en az olduğu mavi alanlar 293.5 km² yer kaplamaktadır.

4. Sonuçlar

Risk analizi için CBS tabanlı GİA metodu kullanılarak çalışma yapılmıştır. Hesaplama sürecinde orman yangınına etkileyen faktörler (arazi kullanım, yükselti, eğim, bakı, sıcaklık, nem) ve acil durum müdahaleleri (itfaiye, yangın gözetleme kulesi ve helikopter su kaynağı) olmak üzere birbirinden bağımsız iki harita oluşturulmuştur. Orman yangınına etkileyen faktörler

haritasında en riskli olan kırmızı sahalarda 656.7 km²'lik alan kaplanmaktadır. Bu alanların büyük bir çoğunluğu 500'in metre altında alanlardan oluşmaktadır. Acil durum müdahaleleri haritasında riskin en az olduğu mavi sahalarda 830 km² alana sahiptir. Mavi alanlarda helikopter su kaynağının, itfaiye ve yangın gözetleme kulelerinin birbirlerine yakın olması göze çarpan unsurlardır. Bu haritaların birleştirilmesi ile Bartın ilinin yangın risk haritası yapılmıştır. Riskin en fazla olduğu kırmızı sahalarda 438.1 km²'lik alan kaplanmaktadır. Bu alanlarda sıcaklığın fazla, yükseltinin az, iğne yapraklıların bulunması, güney-batı yönlü bakıda bulunması, acil durum müdahalelerinden uzak olması riski arttırmıştır.

Ateşoğlu (2014), Bartın ilinde orman yangın tehlikesinin tanımlanmasıyla ilgili çalışmada CBS tabanlı Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden olan AHP analizinden yararlanmıştır. Çalışmada orman yangınlarına sebep olan faktörler için arazi kullanım/vejetasyon koşulları, eğim, baki, yükseklik, yerleşmeye yakınlık ve yollara uzaklık parametrelerini kullanmıştır. AHP tekniği sonucunda Bartın ilinin 260.8 km²'lik alanında yangın tehlikesi yüksek çıkmıştır. Yüksek tehlike çıkan sahalarda eğim fazla, yükselti azdır. Ayrıca bozulmuş meşcere alanları ve doğal ormanlar ile tarım alanlarının iç içe geçtiği sahalarda yüksek tehlike çıkan yerler arasındadır. Bu çalışmada kullanılan GİA yöntemi ile Bartın ilinin 438.1 km²'lik alanı çok yüksek riskli çıkmıştır. Çok yüksek riskli alanlarda sıcaklığın fazla yükseltinin az olması, iğne yapraklı alanların ve güney-batı yönlü bakıların bulunması, acil durum müdahalelerinden uzak olması dikkat çekicidir. Çalışma sahasında yükseltinin az olduğu ve bazı ormanlık alanlar iki çalışmada risk açısından benzerlik göstermektedir. Bununla beraber çalışma sahasında risk açısından farklılıklar da bulunmaktadır. Bu farkın oluşmasında elbette oluşturulan sınıf sayısının etkisi vardır. Sınıf sayısından ayrı olarak bu çalışmada kullanılan faktörlerin fazla olması farklılıkların oluşmasına etki ettiği düşünülmektedir. Ayrıca orman yangını etkileyen faktörler ile acil müdahale faktörlerinin birbirinden bağımsız olarak analiz edilmesi ve sonrasında birleştirilerek risk haritası oluşturulması bahsi geçen çalışma ile farklılıklar oluşmasına da sebep olmuş olabilir.

Gün geçtikçe iklimin orman yangınları için uygun şartlara gelmesi riskli alanların artmasına hatta yeni riskli sahalarda oluşmasına neden olmaktadır. Antropojenik etkiler de bu sürecin hızlanmasını, yanan alanların ve orman yangını sayılarının artmasını etkilemektedir. Burada dikkat çekici durum sahanın nemli olmasına rağmen riskli alanlarda ciddi orman yangınlarının çıkabileceğidir.

5. Öneriler

Orman yangınlarıyla mücadele kapsamında yapılacak olan planlamalar ve stratejiler için CBS tabanlı GİA metodu kullanılabilir ve elde edilen bulgular ile orman işletme şefliklerine yardımcı olunabilir. Ayrıca metod sadece Bartın ilinde değil, Türkiye'deki diğer tüm ormanlık sahalarda için uygulanabilir.

Biyocoşunluk açısından zengin olan Bartın ilinin ormanlık sahalarda risk alanlarının belirlenerek tedbirlerin alınması ve kontrol altında tutulması için bu çalışmaya gereklilik duyulmuştur. Bundan dolayı yapılan bu yangın risk analizi ile ormanlık sahalarda çıkabilecek yangınlar öngörülebilir. Riskin fazla olduğu sahalarda tespit edilerek, yangın sezonunda daha dikkatli olunabilir. Özellikle sıcaklığın fazla, yükseltinin az olduğu başta iğne yapraklı sahalarda olmak üzere tüm ormanlarda kontrol arttırılmalıdır. Diğer bir önlem ise riskin fazla olduğu sahalarda yangın gözetleme kulelerinin arttırılmasıdır. Yangın gözetleme kulelerinde kamera veya görevli kişilerce orman gözetimi, yangın çıktığı anda büyümeden önüne geçmeyi sağlamaktadır. Ayrıca orman gözetimleri ile yangının büyüme yönüne dair bilgi veren kulelerde haberleşme araçları da ekip araçlarını yönlendirmek için son derece önem arz etmektedir. Bununla birlikte son zamanlarda gelişen teknoloji ile yüksek donanımlara ve yazılımlarla sahip İnsansız Hava Araçları (İHA) yangın belirlemede kullanılabilir. Yangın gözetleme kulelerine nazaran daha fazla alanı tarayabilen İHA'lar kuytu sahalarda bile çıkabilecek yangınları belirleyebilir. Bu yönleri sayesinde İHA'lar vasıtasıyla hem zamandan hem de daha fazla alanın taranmasından fayda sağlanabilir.

Yangın riskinin yüksek olduğu sahalarda, özellikle yerleşmelere yakın olan yerlerde yangının hızını yavaşlatacak ateş dikenini, kuşburnu, akasya gibi ateşe daha dayanıklı bitkiler ile doğal set denemeleri yapılabilir. Bu sayede çıkabilecek yangının büyümesi ve hızının yavaşlaması sağlanabilir.

Araştırmacıların katkı oranı

Mücahit Coşkun: Makale yazımı, Düzenleme, Literatür taraması; **Ferhat Toprak:** Analiz, Şekiller, Makale yazımı, Düzenleme, Literatür taraması

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

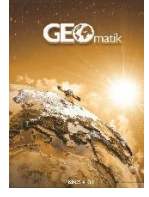
Kaynakça

- Akay, A. E., & Erdoğan, A. (2017). GIS-Based Multi-criteria Decision Analysis for Forest Fire Risk Mapping. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4(IV-4/W4), 25-30. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-4-W4-25-2017>
- Akay, A. E., & Şahin, H. (2019). Forest fire risk mapping by using GIS techniques and AHP method: A case study in Bodrum (Turkey). *European Journal of Forest Engineering*, 5(1), 25-35. <https://doi.org/10.33904/ejfe.579075>
- Akbulak, C., Tatlı, H., Aygün, G., & Sağlam, B. (2018). Forest fire risk analysis via integration of GIS, RS and AHP: The Case of Çanakkale, Turkey. *Journal of Human Sciences*, 15(4), 2127. <https://doi.org/10.14687/jhs.v15i4.5491>
- Aktaş, U. (2006). Kastamonu-Bartın Küre Dağları Milli Parkının, Bartın İli Sınırları İçerisinde Kalan Bölümünün Odunsu Florası. *Zonguldak Karaelmas*

- Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak.
- Ali, E. (2020). Geographic information system (GIS): definition, development, applications & components. Department of Geography, Ananda Chandra College. India.
- Aricak, B., Küçük, O., & Enez, K. (2014). Determining a fire potential map based on stand age, stand closure and tree species, using satellite imagery (Kastamonu Central Forest directorate sample). *Croatian Journal of Forest Engineering*, 35(1), 101–108.
- Arslantürk, N. (2007). Yangının vejetasyon üzerine etkisi. *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi*, 29, 141–153.
- Atalay, İ., & Efe, R. (2015). *Türkiye Biyocoğrafyası* (1. baskı). İzmir: META Basım Matbaacılık Hizmetleri.
- Ateşoğlu, A. (2014). Forest Fire Hazard Identifying. Mapping Using Satellite Imagery-Geographic Information System and Analytic Hierarchy Process: Bartın, Turkey. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 725(2), 715–725.
- Atmış, E. (2020). Türkiye Ormancılar Derneği'nin 95. Kuruluş Yıldönümünde: Orman Varlığımız ve Ormancılık Üretim Faaliyetleri Editör: K. Ok), ISBN: 978-975-93478-8-8, 82 sayfa, Ankara.
- Avcı, M., & Korkmaz, M. (2021). Türkiye'de orman yangını sorunu: Güncel bazı konular üzerine değerlendirmeler. *Türkiye Ormancılık Dergisi*, 22(3), 229–240. <https://doi.org/10.18182/tjf.942706>
- Barnwell, C., & Rodman, S. (2005). Urban Wildfire Exposure Modeling in the Municipality of Anchorage, Alaska. *ESRI User Conference*.
- Başaran, M., Sarıbaşak, H., & Cengiz, Y. (2003). Yangın Söndürme Planı Temel Esaslarının Belirlenmesi (Manavgat Örneği). *Batı Akdeniz Ormancılık Araştırma Müdürlüğü Teknik Bülten*, (225), 1–96.
- Başaran, N., Matcı, D. K., & Avdan, U. (2022). Using Multiple Linear Regression To Analyze Changes in Forest Area: The case study of Akdeniz Region. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(3), 247–263. <https://doi.org/10.26833/ijeg.976418>
- Bingöl, B. (2017). Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanarak Burdur İli Orman Yangını Risk Alanlarının Belirlenmesi. *Turkish Journal of Forest Science*, 1(2), 169–182. <https://doi.org/10.32328/turkjforsci.319155>
- Bowman, D. M. J. S., Balch, J. K., Artaxo, P., Bond, W. J., Carlson, J. M., Cochrane, M. A., ... Pyne, S. J. (2009). Fire in the earth system. *Science*, 324(5926), 481–484. <https://doi.org/10.1126/science.1163886>
- Chuvienco, E., & Salas, J. (1996). Mapping the spatial distribution of forest fire danger using GIS. *Geographical Information Systems*, 10(3), 333–345. <https://doi.org/10.1080/026937996138070>
- Dilekçi, S., Marangoz, A. M., & Ateşoğlu, A. (2021). Zonguldak ve Ereğli Orman İşletme Müdürlükleri Orman Yangını Risk Alanlarının Belirlenmesi. *Geomatik*, 6(1), 44–53. <https://doi.org/10.29128/geomatik.660623>
- DKMP. (2012). Küre Dağları Milli Parkı Uzun Devreli Gelişme Planı. Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü.
- Doğanay, H., & Doğanay, S. (2004). Türkiye'de Orman Yangınları ve Alınması Gereken Önlemler. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 9(11), 31–48.
- Gai, C., Weng, W., & Yuan, H. (2011). GIS-based forest fire risk assessment and mapping. *Proceedings- 4th International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization, CSO 2011, (May)*, 1240–1244. <https://doi.org/10.1109/CSO.2011.140>
- Gheshlaghi, A. H., Feizizadeh, B., & Blaschke, T. (2020). GIS-based forest fire risk mapping using the analytical network process and fuzzy logic. *Journal of Environmental Planning and Management*, 63(3), 481–499. <https://doi.org/10.1080/09640568.2019.1594726>
- Gigović, L., Jakovljević, G., Sekulović, D., & Regodić, M. (2018). GIS multi-criteria analysis for identifying and mapping forest fire hazard: Nevesinje, Bosnia and Herzegovina. *Tehnicki Vjesnik*, 25(3), 891–897. <https://doi.org/10.17559/TV-20151230211722>
- Gülçin, D., & Deniz, B. (2020). Remote sensing and GIS-based forest fire risk zone mapping: The case of Manisa, Turkey. *Türkiye Ormancılık Dergisi*, 21(1), 15–24. <https://doi.org/10.18182/tjf.649747>
- Jaiswal, R. K., Mukherjee, S., Raju, K. D., & Saxena, R. (2002). Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4(1), 1–10. [https://doi.org/10.1016/S0303-2434\(02\)00006-5](https://doi.org/10.1016/S0303-2434(02)00006-5)
- Kalbani, K. Al, & Rahman, A. A. (2022). 3D city model for monitoring flash flood risks in Salalah, Oman. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(1), 17–23. <https://doi.org/10.26833/ijeg.857971>
- Kavlak, M. Ö., Kurtipek, A., & Çabuk, S. N. (2020). Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Orman Yangını Risk Haritası Oluşturulması: Ören Örneği. *Resilience*, 4(1), 33–54. <https://doi.org/10.32569/resilience.597887>
- Kaya, Z., & Başaran, S. (2006). Bartın Florasına Katkıları. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 6(1303–2399), 40–62.
- Kırış, R., & Toprak, S. (2007). İklim Değişikliğinde Ormanların Rolü. *Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi*, 379–384.
- Kucuk, O., Topaloglu, O., Altunel, A. O., & Cetin, M. (2017). Visibility analysis of fire lookout towers in the Boyabat State Forest Enterprise in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189, 1–18. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6008-1>
- Kuo, Y., Yang, T., & Huang, G. W. (2008). The use of grey relational analysis in solving multiple attribute decision-making problems. *Computers and Industrial Engineering*, 55(1), 80–93. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2007.12.002>
- Küçük, Ö., & Bilgili, E. (2006). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Yardımıyla Yangın Davranışının Uygulamaya Aktarılması: Kastamonu Örneği. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 6(2), 262–273.
- Küçük, O., Bilgili, E., Bulut, S., & Fernandes, P. M. (2012). Rates of surface fire spread in a young calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) plantation. *Environmental Engineering and Management Journal*, 11(8), 1475–1480. <https://doi.org/10.30638/eemj.2012.184>

- Küçük, Ö., Kalaycık, H., & Kapukran, İ. (2008). Batı Karadeniz Ormanlarında Orman Yangını Gerçeği. VI. Ulusal Orman Fakülteleri Öğrenci Kongresi, 69–75.
- Lamat, R., Kumar, M., Kundu, A., & Lal, D. (2021). Forest fire risk mapping using analytical hierarchy process (AHP) and earth observation datasets: a case study in the mountainous terrain of Northeast India. *SN Applied Sciences*, 3(4), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04391-0>
- Linn, R., Winterkamp, J., Edminster, C., Colman, J. J., & Smith, W. S. (2007). Coupled influences of topography and wind on wildland fire behaviour. *International Journal of Wildland Fire*, 16(2), 183–195. <https://doi.org/10.1071/WF06078>
- Morán, J., Granada, E., Míguez, J. L., & Porteiro, J. (2006). Use of grey relational analysis to assess and optimize small biomass boilers. *Fuel Processing Technology*, 87(2), 123–127. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2005.08.008>
- Nikhil, S., Danumah, J. H., Saha, S., Prasad, M. K., Rajaneesh, A., Mammen, P. C., ... Kuriakose, S. L. (2021). Application of GIS and AHP Method in Forest Fire Risk Zone Mapping: a Study of the Parambikulam Tiger Reserve, Kerala, India. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, 5(1). <https://doi.org/10.1007/s41651-021-00082-x>
- O'Brien, J. J., Hiers, J. K., Callahan, M. A., Mitchell, R. J., & Jack, S. B. (2008). Interactions among overstory structure, seedling life-history traits, and fire in frequently burned neotropical pine forests. *Ambio*, 37(7–8), 542–547. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-37.7.542>
- Pausas, J. G., & Ribeiro, E. (2013). The global fire-productivity relationship. *Global Ecology and Biogeography*, 22(6), 728–736. <https://doi.org/10.1111/geb.12043>
- Said, S. N. B. M., Zahran, E.-S. M. M., & Shams, S. (2017). Forest Fire Risk Assessment Using Hotspot Analysis in GIS. *The Open Civil Engineering Journal*, 11(1), 786–801. <https://doi.org/10.2174/1874149501711010786>
- Scott, A. C., & Glasspool, I. J. (2006). The diversification of Paleozoic fire systems and fluctuations in atmospheric oxygen concentration. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(29), 10861–10865. <https://doi.org/10.1073/pnas.0604090103>
- Selim, S., & Demir, N. (2019). Detection of Ecological Networks and Connectivity With Analyzing Their Effects on Sustainable Urban Development. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 4(2), 63–70. <https://doi.org/10.26833/ijeg.443114>
- Sivrikaya, F., & Küçük, Ö. (2022). Modeling forest fire risk based on GIS-based analytical hierarchy process and statistical analysis in Mediterranean region. *Ecological Informatics*, 68, 101537. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101537>
- Tarhan, Ç., & Saygın, Ö. (2006). Gis Based Risk Assessment : a Case Study of İzmir Metropolitan Area. 1st International CIB Endorsed METU Postgraduate Conference Built Environment & Information Technologies, 601–607.
- Tien Bui, D., Le, H. Van, & Hoang, N. D. (2018). GIS-based spatial prediction of tropical forest fire danger using a new hybrid machine learning method. *Ecological Informatics*, 48, 104–116. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2018.08.008>
- TOD. (2020). İtfaiyeciler İçin Orman Yangınları. Kuban Matbaacılık Yayıncılık, Ankara, 53.
- Toprak, F. (2020). Batı Karadeniz Bölümü'nde Kurucuşile-Arit Çayı Arası Vegetasyon Ekolojisi. Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Karabük.
- Tunçkol, B., & Aksoy, N. (2018). Flora of Küre Mountains National Park (Bartın Section). *Journal of Forestry*, 14(2), 84–117.
- Yavuz, M., Sağlam, B., Küçük, Ö., & Tüfekçioğlu, A. (2018). Assessing forest fire behavior simulation using FlamMap software and remote sensing techniques in Western Black Sea Region, Turkey. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 18(2), 171–188. <https://doi.org/10.17475/kastorman.459698>
- Yin, H. W., Kong, F. H., & Li, X. Z. (2004). RS and GIS-based forest fire risk zone mapping in Da Hinggan Mountains. *Chinese Geographical Science*, 14(3), 251–257. <https://doi.org/10.1007/s11769-003-0055-y>
- Yılmaz, O. S., Oruç, M. S., Ateş, A. M., & Gülgen, F. (2021). Orman Yangın Şiddetinin Google Earth Engine ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanarak Analizi: Hatay-Belen Örneği. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(2), 1519–1532. <https://doi.org/10.21597/jist.817900>
- Zhai, L. Y., Khoo, L. P., & Zhong, Z. W. (2009). Design concept evaluation in product development using rough sets and grey relation analysis. *Expert Systems with Applications*, 36, 7072–7079. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.08.068>
- Zhang, J., Wu, D., & Olson, D. L. (2005). The method of grey related analysis to multiple attribute decision making problems with interval numbers. *Mathematical and Computer Modelling*, 42(9–10), 991–998. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2005.03.003>





Gemlik İlçesi rüzgâr enerji santrali potansiyel yer analizi

Damla Yılmaz^{*1}, Şerife Tülin Akkaya Aslan², Babak Vaheddoost¹

¹Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

²Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği, Bursa, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Uzaktan Algılama
CBS
Rüzgâr Tarlası
AHP

Araştırma Makalesi

Geliş: 25.11.2022
Revize: 11.02.2023
Kabul: 15.02.2023
Yayınlanma: 19.04.2023



Öz

Artan enerji talebinin büyük çoğunluğunun fosil enerji kaynaklarından karşılanıyor olması gelecekte enerji kıtlığı yaşanması olasılığını büyük ölçüde arttırmaktadır. Yenilenemez enerji kaynaklarının gün geçtikçe tükeniyor olması ve bu yakıtların açığa çıkardığı karbondioksit etkisiyle çevreye ve insana verdiği zararların çarpıcı olması nedeniyle alternatif enerji kaynaklarına yönelinmiştir. Rüzgâr enerjisi, sürdürülebilir olması, düşük bütçeli bakım ve üretim maliyetine sahip olması bakımından oldukça elverişli bir enerji kaynağıdır. Bu çalışmada Türkiye Rüzgâr Enerji Potansiyel Haritasına (REPA) göre rüzgâr enerjisi santrali (RES) kurulumuna elverişli olan Bursa ilinde RES yapım yeri seçimi Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) dayalı Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) Analizi yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Bursa ilinde bulunan Gemlik ilçesine ait rüzgâr hızının oldukça yüksek olduğu ve santral kurulum alanı için uygun koşulları sağladığı gözlenmiştir. Santral kurulumunda birden fazla kriterin etkin olmasından dolayı analizde rüzgâr hızı, arazi kullanımı, yükselti, baki, eğim, yollara ve akarsulara olan uzaklık olmak üzere 7 ana kriter belirlenmiştir. Belirlenen bu ana kriterler, AHP yöntemi kullanılarak ağırlık oranlarına göre analize tabii tutulmuş ve uygunluk sınıflarına göre sonuç haritası elde edilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular, yapılan konumsal analiz sonucu Gemlik ilçesi toplam alanının %20'ini rüzgâr türbini kurulumu için orta ve yüksek derecede uygunluğa sahip olduğu tespit edilmiştir.

Gemlik District wind power plant potential site analysis

Keywords

Remote sensing
GIS
Wind Farm
AHP

Research Article

Received: 25.11.2022
Revised: 11.02.2023
Accepted: 15.02.2023
Published: 19.04.2023

Abstract

The majority of energy demand is supplied by fossil energy sources, which greatly increases the possibility of future energy shortages. Non-renewable energy sources are being depleted rapidly and the damage to the environment is striking, alternative energy sources that are commercially convenient and least harmful to the environment have been preferred. Wind energy is a convenient energy source as it is sustainable, low maintenance, production costs. In this study, it is aimed to determine the wind power plant (WPP) construction site selection in Bursa, which is very suitable for WPP installation accordingly Turkey's wind energy potential map, by using the Analytical Hierarchy Process (AHP), which is one of the Multi-Criteria Decision Making Analysis (MCDA) methods based on Geographic Information Systems (GIS). It has been determined that wind speed of the Gemlik District is quite high and provides suitable conditions for the plant installation area. Because more than one criterion is effective the installation of the WPP, 7 main criteria analyzed. These criteria were analyzed according to their weight ratios using the AHP method, and a result map was obtained accordingly their suitability classes. Findings showed to 20% of the district area has medium and high suitability for WPP.

*Sorumlu Yazar

(damla.yilmaz@btu.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-4207-7105
(akkaya@uludag.edu.tr) ORCID ID 0000-0001-5129-8642
(babak.vaheddoost@btu.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-4767-6660

Kaynak Göster (APA)

Yılmaz, D., Aslan, Ş. T. A., & Vaheddoost, B. (2023). Gemlik İlçesi rüzgâr enerji santrali potansiyel yer analizi. *Geomatik*, 8(3), 264-276

1. Giriş

Dünya çapında kentleşme süreciyle birlikte enerji kullanımı ve enerjiye olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Yenilenemez enerji kaynaklarının kullanılması, ekolojik dengenin bozulmasına ve insanlığın gelecekteki enerji taleplerine karşılıksız kalmasına sebebiyet vermektedir. Fosil yakıtların olumsuz etkisi sebebiyle sürdürülebilir alternatif enerji kaynaklarına yönelmek oldukça önemli bir adımdır. Ülkemizde de enerji talebini karşılamak amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmak ülke ekonomisinde dışa bağımlılığı azaltmak adına büyük önem arz etmektedir. Gerek çevre dostu olması gerekse geleceğe yönelik taleplerin karşılanması yönünden yenilenebilir enerji kaynakları, temiz enerji üretimine katkı sunmaktadır (Karabağ ve ark., 2019).

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında oldukça revaçta olan rüzgâr enerjisi, kapasitesini gün geçtikçe arttırmaktadır. Rüzgâr enerji santrali kurulumu sera gazı salınımını azaltarak çevreye verilen büyük zararın önüne geçmektedir. Çevre dostu olmasıyla birlikte ticari olarak elverişli olması, sürdürülebilir olması ve kurulumunun basit olması tercih edilme sebeplerinin başında yer almaktadır. Rüzgâr enerji santrali kurulumu öncesi en yüksek verimi alabilmek adına hata payını düşürmeye yönelik potansiyel yer analizi uygulaması gerekmektedir. Analiz doğrultusunda ilk olarak rüzgâr potansiyelinin yüksek olduğu bölgelerin seçilmesi ve sonrasında verimi etkileyecek gerekli diğer kriterlerin incelenmesi gerekmektedir (Can ve Yücel, 2019). Son dönemde kullanım alanı hızla yayılan ve yenilenebilir enerji kaynaklarının bölge analizinde sıklıkla tercih edilen Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), farklı kaynaklardan elde edilen verileri işleyerek kriterlerin birbirlerine olan bağılıklarına göre yorum yapmayı ve veriler arası bağlantı kurarak sonuç analizleri çıkarmayı sağlamaktadır. Bu bağlamda rüzgârın oluşturduğu enerji veriminden faydalanma ihtimali yüksek olan bölgelerin belirlenmesi ve karar verme yönteminde etkin kriterlerin değerlendirilmesinde coğrafi bilgi sistemlerinden yararlanmak önemli bir adımdır. Analizden önce kurulması planlanan türbinlerde konumsal olarak meydana gelebilecek hataları en aza indirmek amacıyla fizibilite çalışması gerekmektedir (Urfalı ve Eymen, 2021). Fizibilite çalışmasında birden fazla kriterin ortak paydada değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Bu değerlendirme aşamasında literatürde CBS dayalı birçok yöntem kullanılmaktadır (Xu ve ark., 2020; Atıcı ve ark., 2015; Aydın ve ark., 2010; Aghayev, 2018; Yağcı ve İşcan, 2021; Aksoy ve ark., 2016).

Urfalı ve Eymen (2021) çalışmasında, Kayseri ilinde rüzgâr enerji santrallerinin uygun saha araştırması için 12 ana kriter esas alınarak analiz gerçekleştirilmiştir.

Kriterlerin ağırlıkça önem sıralamasını belirlemek adına mevcut çalışmada kullanılan CBS dayalı Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) analizinden biri olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (Analytical Hierarchy Process, AHP) yöntemi kullanılmıştır. Analitik Hiyerarşi Yönteminde rüzgâr hızı, rüzgâr kapasitesi ve yükselti kriterleri ağırlıkça en önemli üç parametre olarak değerlendirilmiş ve diğer parametreler önem sırasına göre derecelendirilmiştir. Kriterler meteorolojik,

topografik ve çevresel kriterler olmak üzere 3 ana kısma ayrılmıştır. Belirlenen kriterlerin bağıl önemlilikleri 1 ile 9 arasından bir puan olarak derecelendirilmiştir. Seçilen değerlendirme kriterleri uygunluk sınıflarına göre çok uygun, uygun, orta derece uygun, az uygun, çok az uygun ve uygun değil olarak sınıflandırılmıştır. Bağımsız değişkenler Kayseri ili haritasında bölgenin 0,652 km²'sinin yüksek derecede uygun olduğu, 0,892 km²'lik alanın rüzgâr santrali için orta derecede uygun olduğu ve son olarak bölgenin 162 km²'lik kısmının az uygun sınıfta yer aldığı belirlenmiştir. Mevcut durumda kullanımda olan rüzgâr enerji santralleri konum bilgisi ile karşılaştırıldığında yapılan analizlerde santralin uygun sınıf kapsamında bulunduğu belirlenmiştir. Bu durumda kullanılan yöntem AHP yönteminin CBS ile yer seçimi analizlerinde oldukça uygulanabilir bir metot olduğunu ortaya çıkarmaktadır.

Xu ve ark., (2020) çalışmasında, CBS dayalı farklı bir yöntem tercih edilmiştir. Çalışmada, Wafangdian bölgesinde rüzgâr enerji santrali uygunluk analizi CBS'e bağlı AHP yöntemi ve stokastik VIKOR kullanılmıştır. Rüzgâr enerjisi santrallerinin operasyonel performansını etkileyen uygun alan faktörlerini dikkate almadan önce hesaplama yükünü azaltmak ve karar verme uzayını daraltmak amacıyla uygun olmayan alan kriterleri hariç tutulmuştur. Kuş göç yolu, elektrik santralleri ve kimya tesislerine olan uzaklık kısıtlayıcı faktörler olarak seçilmiş ve bu faktörler toplam alandan çıkarılmıştır. Böylece, uygunluk analizine bu 3 adet parametrenin dahil olmadığı alanlar ile devam edilmiştir. İncelenen bölge grid boyutunda 1844 gride bölünmüş ve 3 adet kısıtlayıcı faktörün 345 gridi (%18.71) kapladığı hesaplanmıştır. Geri kalan 1499 grid rüzgâr enerji santrali için potansiyel alanlar olarak belirlenmiş ve uygunluk analizi bu bölgeye göre hesaplanmıştır. Uygun alan analizinde 6 ayrı faktör incelenmiş ve bunlar sırasıyla rüzgâr hızı, eğim, elektrik ağına uzaklık, ana yola uzaklık, korunma altında olan kuş alanları ve kentsel alanlara uzaklıktır. Uygunluk değerlendirme sonuçları, toplam alanın %30.2'si orta ve güney kesimde yer alan bölgede olduğu belirlenmiştir. Bu alanın içerisinde %3.36'lık bir dilim oldukça uygun olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmalarda dikkate alınan parametreler bölge koşullarına ve çalışma içeriğine göre oldukça farklılıklar göstermektedir. Rüzgâr enerji santrali kurulumunda dikkate alınan parametrelerden biri olan kuş göç yolu, Özbahar ve Gül (2011) çalışmasında, 30 günlük izleme sonucunda kuşların gürültüden etkilenmedikleri ayrıca bu süre boyunca herhangi bir çarpışma vakasına da rastlanmadığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde Hull ve ark., (2013) çalışmasında, Avustralya'da bulunan iki farklı rüzgâr santralinde 10 yıl boyunca devam eden gözlem neticesinde kuş türlerinin yalnızca %18'inin türbinlere çarptığı belirlenmiş ve bu sayının risk teşkil etmeyecek kadar küçük bir oran olduğu belirtilmiştir.

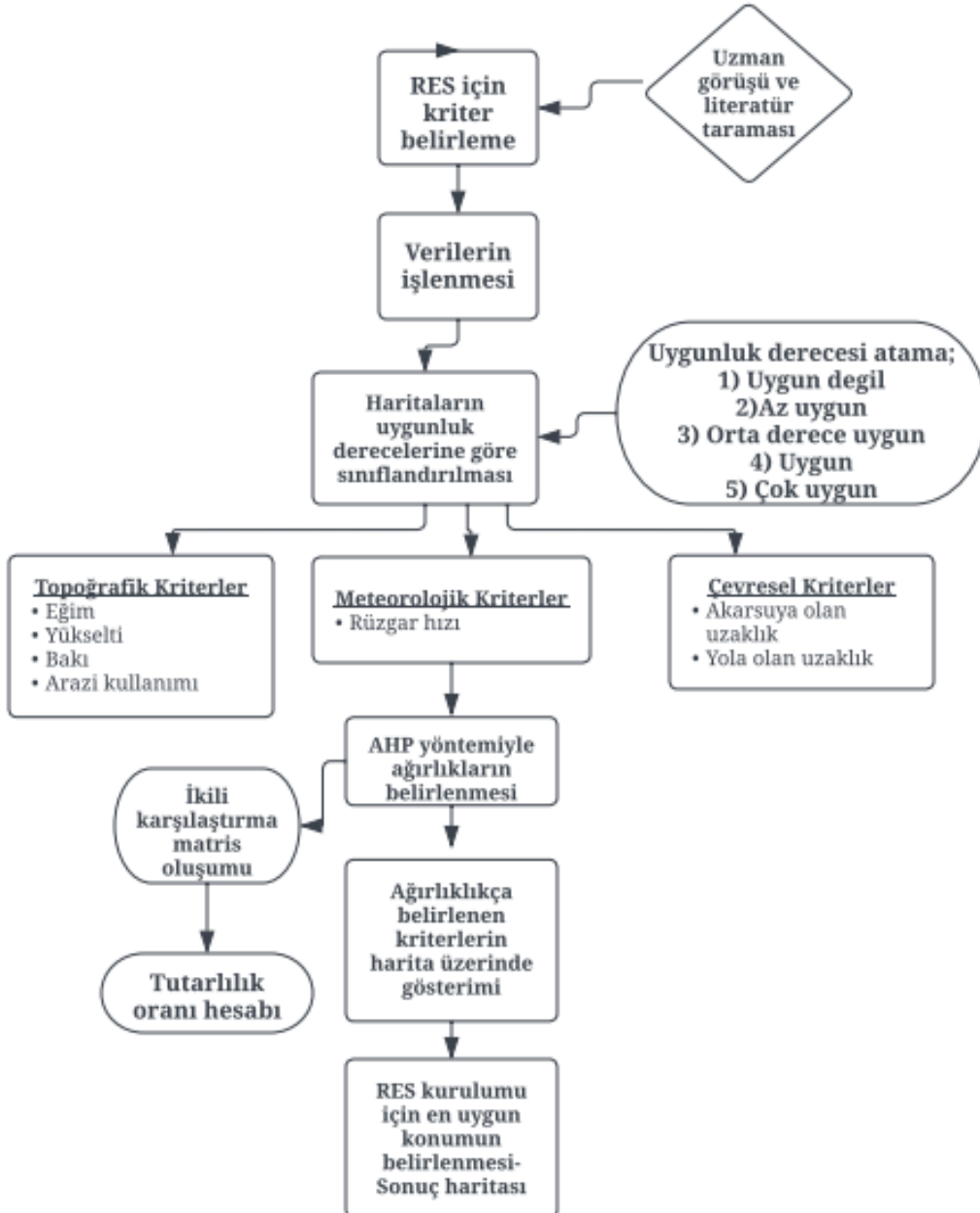
Karipoğlu ve ark., (2021) çalışmasında, Bandırma körfezinde deniz üstü rüzgâr santral kurulumu için en uygun alan belirlenmiş ve potansiyel denizüstü güç kapasitesi tahmini için CBS dayalı ÇKKV kullanılmıştır. Çalışmada rüzgâr hızı, deniz derinliği, deniz balıkları ve memelileri, askeri bölgelere yakınlık, haberleşme kabloları, turistik alanlar, limanlar ve gemi güzergahları

olmak üzere sekiz standart kriter uygulanmıştır. Bu kriterler dikkate alınarak açık denizde kurulacak RES için potansiyel bölgeler belirlenmiştir. Sonuç olarak santral kurulumu için ÇKKV desteğiyle biri kuzeybatıda diğeri ise Bandırma körfezinin kuzey doğusunda sırasıyla 72mw ve 48mw kapasiteli uygun iki konum belirlenmiştir.

Araştırmalar neticesinde bölgenin rüzgâr potansiyelinin yüksek olması, diğer parametrelerin değerlendirilmesine öncülük ettiği belirlenmiştir. Analitik hiyerarşi sürecinde kriterlerin ağırlık derecesine göre puan atanması, bölgede önem derecesini öne çıkararak bir harita elde etmeyi sağlamaktadır. Birçok çalışmada kriterlerin önem derecesi dikkate alınmayarak çakıştırma komutu ile eşit ağırlıklarla analiz yapılmış olsa da RES kurulumu için önem derecelerinin oldukça gerekli olduğu tespit edilmiştir (Ekiz ve ark., 2022). Bu önem dereceleri, farklı çalışmalar ve uzman görüşleri

neticesinde belirlenmekte ve sonuç olarak tutarlılık oranı yeterli seviyeye gelene kadar tekrarlanmaktadır.

Bu çalışmanın diğer çalışmalardan farkı, birbirinden farklı özelliklere sahip kriterlerin ortak paydada değerlendirilmesine olanak tanıyan CBS dayalı ÇKKV yöntemlerinden biri olan AHP yönteminden faydalanılmasıdır. Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) verileri, Bursa ilinin teorik potansiyel RES kapsamında Türkiye’de 9.sırada yer aldığını göstermekte ve bu bağlamda ilin en çok rüzgâr alan ilçelerinden biri olan Gemlik ilçesi RES kurulumu açısından oldukça uygun bölgelere yer vermektedir. Çalışma kapsamında rüzgâr kapasitesi oldukça yüksek olan bu bölgede, ilçeye ait farklı kaynaklardan alınan yedi adet kritere önem derecesine göre ağırlıklı puanlar atanmıştır. Çalışmada, mevcut çalışmalara ilave olarak oldukça büyük öneme sahip bakı kriteri eklenmiş ve böylece sonuç haritası uygun, uygun olmayan, orta uygunlukta olacak şekilde 3 sınıfa ayrılarak haritalandırılmıştır.



Şekil 1. İş-akış diyagramı

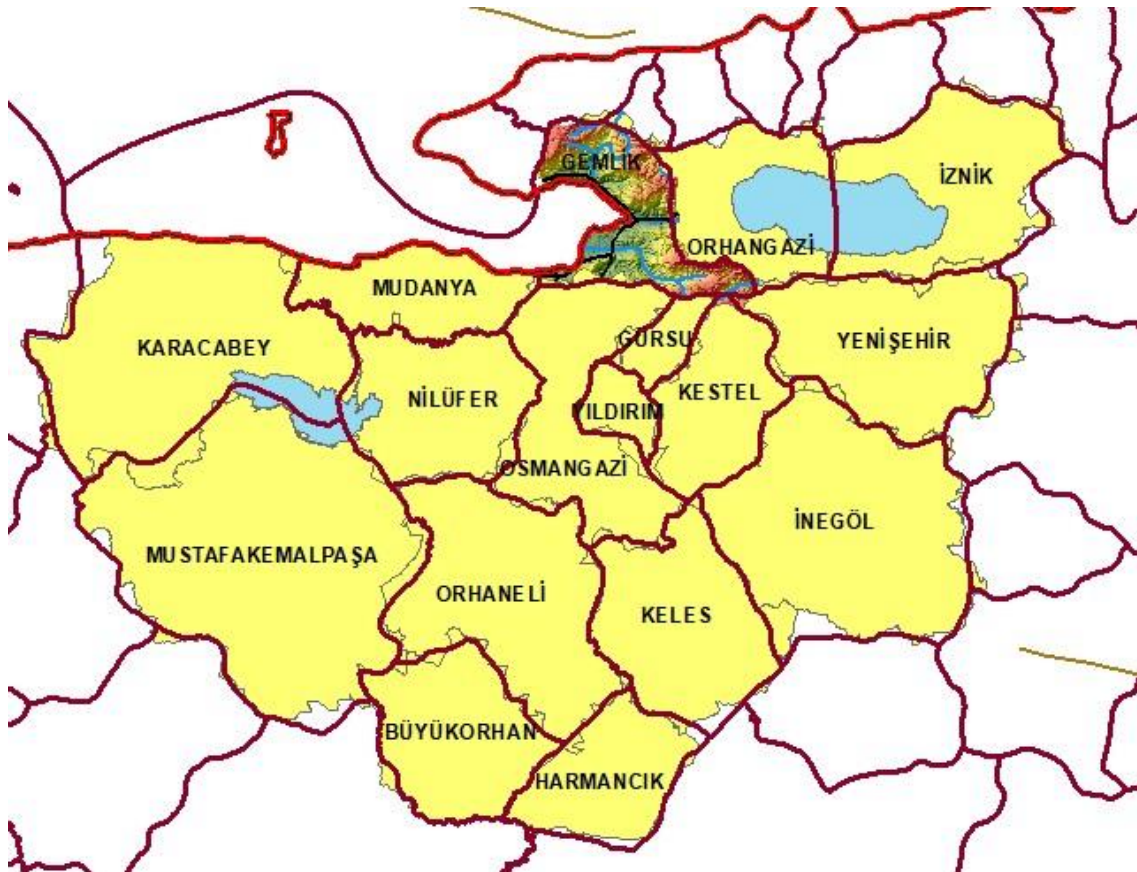
2. Yöntem

Bu çalışmada kullanılan iş akış şeması Şekil 1'de sunulmuştur. Mevcut çalışmada kullanılacak olan kriterlerin belirlenmesi için önceki çalışmalar incelenmiş ve 7 adet ana kriter belirlenmiştir. Çalışma bölgesine ait verilerin toplanması ve bu verilerin işlenmesi aşamasında birçok kaynaktan faydalanılmıştır. AHP yönteminde kriterlerin birbirlerine göre olan bağıl önem dereceleri sınıflandırılmış ve karşılaştırma matrisi sonucu ağırlıklı değerler hesaplanmıştır. Bu aşamada verilen sayısal değerlerin tutarlılığını kontrol etmek amacıyla tutarlılık hesabı yapılmış ve ağırlık hesabı yapılan kriterlerin tutarlı olduğu belirlenmiştir. Her kriterin ArcGIS 10.8 programında uygunluk derecesine bağlı olmak kaydıyla haritaları çıkarılmış ve hesaplanmış olan ağırlıklar programa girilerek RES kurulumu için sonuç haritası elde edilmiştir.

2.1. Çalışma alanı

Çalışma alanı olan Bursa ili, Güney Marmara bölgesinde 40° batı boylam ve 29° kuzey enlem daireleri

arasında yer almaktadır. Gemlik ilçesi Bursa şehir merkezinin 32 km kuzeyinde, Marmara Denizi'ne adını verdiği körfez kıyısında kurulmuştur. 29.13 derece Doğu meridyeni ile 40.12 derece Kuzey enlemi üzerinde bulunmaktadır (URL-1). İlçenin yüzölçümü 413 km² olup, kuzeyde Yalova'nın Armutlu ve Çınarcık, doğuda Orhangazi, güneydoğuda Yenişehir, güneyde Kestel, Gürsu ve Osmangazi, batıda ise Mudanya ile çevrilidir (Şekil 2). Bursa ili kıyı şeridinde bulunan Gemlik, Mudanya ve Karacabey ilçeleri rüzgâr türbini kurmak için oldukça elverişli bölgelerdir. Bu bölgeler arasında RES kurulumu için en uygun bölgeye ait verilerin toplanması aşamasında rüzgâr hızı ve frekansından yararlanmak oldukça önemlidir. Rüzgâr hızı ve frekans grafiklerine göre, Gemlik ilçesinde 10 m yükseltide frekans aralığının en yüksek olduğu rüzgâr hızı yaklaşık 3 m/s'dir. Uygun yer analizi gerçekleştirilirken rüzgâr rejimlerinin çok değişken olduğu bölgeler santral kurulumu için uygun olmayacağından Bursa ilinde rüzgâr rejimlerinin en az değişkenlik gösterdiği bölge olan Gemlik ilçesi, en uygun ilçe olarak belirlenmiştir (Yakşi, 2018).



Şekil 2. Çalışma alanı konumu

2.2. Analitik Hiyerarşi Süreci

Rüzgâr enerji santrali için uygun bölge analizi yapılırken birçok parametrenin karar verme aşamasına dâhil edilmesi gerekmektedir. Bu süreçte parametrelerin ortak alanda toplanmasını sağlayıp sonuç veriyi matematiksel yöntemle sunan ÇKKV, karar vermede yaşanan zorlukların çözülmesini desteklemektedir.

ÇKKV uygulamalarında oldukça fazla tercih edilen AHP, Thomas Saaty tarafından ilk olarak 1977 yılında bir model olarak geliştirilmiştir (Artun, 2020). Analitik hiyerarşi prosesi, birden çok kritere bağlı olan bir analiz çözümünde, kullanıcıların kriterlere verdiği ağırlıkların önem derecesine göre belirlenmesine olanak sağlamaktadır (Akıncı ve ark., 2015). Bir kriterin diğer kriterden ne kadar önemli olduğunu sorgulayan yöntem,

görelî önemlerin belirlenmesi için kullanıcının yargısına dayanarak ikili olarak karşılaştırılmaktadır (Şahin ve Toroğlu, 2020). Bu sayede oluşan karar matrisi, kriterlerin önceliklerinin hesaplanmasında

kullanılmaktadır. Bu değerlendirmede ise Saaty (1986) 1'den 9'a kadar sayısal değer verdiği ölçüt tablosu kullanılmaktadır (Tablo 1).

Tablo 1. Saaty'nin ikili karşılaştırma değerlendirme ölçeği (Saaty, 1986).

Önem Derecesi	Açıklama
1	Ölçütler eşit öneme sahip
3	1.ölçüt 2. ölçüte göre biraz daha önemli
5	1.ölçüt 2. ölçüte göre fazla önemli
7	1.ölçüt 2. ölçüte göre çok fazla önemli
9	1.ölçüt 2. ölçüte göre aşırı derece fazla önemli
2,4,6,8	Ara değerler

Bu bağlamda AHP'nin algoritma adımları şu şekilde sıralanmaktadır (Yeşilkaya, 2018):

Adım 1: Tanımlanan problemde karar için kriterler belirlenmektedir.

Adım 2: Yaygın olarak kullanılan Tablo 1 esas alınarak ölçütlerin kendi aralarında ikili olarak karşılaştırılması sonucunda ağırlık puanları atanmaktadır.

Adım 3: (A matrisi) Tüm ölçütler dikkate alınarak ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur ve böylece köşegen elemanları 1 olan kare matrisler elde edilmektedir. a_{ij} , i . ölçüt ile j . ölçütün ikili karşılaştırma değeri olup, a_{ij} değeri $1/a_{ij}$ den elde edilmektedir (Tablo 3).

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{21} & a_{31} & \dots & a_{n1} \\ 1/a_{21} & 1 & a_{32} & \dots & a_{n2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & 1/a_{n3} & \dots & 1 \end{bmatrix}_{n \times n} \quad (1)$$

Adım 4: Matristeki elemanlar kendi sütun toplamına bölünerek normalize edilmektedir.

Adım 5: Normalize edilen matrisin satır değerleri ortalaması alınıp özvektörler elde edilir. Özvektör, her ölçüt için alınan önem ağırlıklarını ifade etmektedir.

Adım 6: Karşılaştırmalar literatür taraması sonucu elde edilen sübjektif kararlar ile yapıldığından, verilen ağırlık değerlerinin herhangi bir tutarsızlığa yol açmaması adına A matrisinin kontrol edilmesi gerekmektedir (Uyan ve Yalçır, 2016). Tutarlılık İndeksi (CI) Eşitlik 2 kullanılarak hesaplanır:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

Burada; CR: Tutarlılık Oranı (Consistency Ratio), CI: Tutarlılık İndeksi (Consistency Index), RI: Rassallık indeksi (Random Index) değerlerini; n, kriter sayısını ve λ_{max} , en büyük özdeğeri ifade etmektedir. Rassallık indeksi değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. RI değerleri

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RG	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Buna göre tutarlılık oranının (CR) 0.10 dan büyük çıkması durumunda değerlerin tutarsız olduğu anlaşılmakta ve ikili karşılaştırma matrislerinin tekrardan kontrol edilmesi gerekmektedir (Özşahin, 2014).

AHP analizinde karar vericilerin öznel ve nesnel düşünceleri ikili karşılaştırma matrisine dâhil edilmektedir. Bu nedenle, karar aşamasında grup veya bireyin fikirleri dikkate alınarak analizde en uygun seçeneğin belirlenmesi hedeflenmektedir (Gülenç ve Bilgin, 2010). Bu aşamada karar vericinin/vericilerin en iyi çözüme ulaşabilmesi, belirlenen kriterler doğrultusunda birden çok alternatif üreterek en tutarlı modeli seçmekten geçmektedir. Karar aşamasına dâhil olan karar vericinin bir veya birden fazla kişinin oluşturduğu ve amaçları aynı veya farklı olan gruptan meydana gelebilmektedir (Steward, 1992).

Bu çalışmada karar vericinin belirlemiş olduğu öncelikler, gruptaki diğer bireylerin görüşleri alınarak oluşturulmuştur. İkili karşılaştırma matrisi gerek literatür çalışması gerekse grupta bulunan uzman fikirleri neticesinde farklı alternatifler belirlenerek tutarlılık oranının en yüksek olduğu seçenekte karar kılınmıştır. Farklı çalışmalarda grubun tatmin olduğu bir kararın alınabilmesi için grup üyeleri tarafından bu yargıların kabul edilmesi gerekliliği sunulmuştur (Ünal, 2012; Saaty, 2008). Sonuç olarak bu çalışmada da tek karar vericinin oluşturduğu model, grup üyeleri tarafından görüşler bildirilerek destek olunmuş ve oluşturulan model yazarlar tarafından kabul edilmiştir.

2.3. Veri Toplama

Çalışmada ArcGIS 10.8 yazılımı kullanılarak arazi kullanım haritası 1/25.000 ölçekli topografik haritadan sayısallaştırılmıştır. Akarsu verileri sayısallaştırılmış haritadan çekilmiştir. Karayolları Openstreetmap sitesinden çekilmiş ve çalışmada otoyol, otoban, ana ve tali yol dikkate alınmıştır. Google Earth Pro uygulaması aracılığıyla Bursa ili Gemlik ilçesi sınırları çizilmiş ve kml uzantılı dosya, Earthexplorer sitesinde 25*25m çözünürlükte dem dosyasına dönüştürülmüştür. Elde edilen dem dosyası ile birlikte yükselti, eğim, baki bilgileri elde edilmiştir. Ortalama rüzgâr hızları, global wind atlas sitesinden yüzeyden 50 metre yükseltideki veriler kullanılmıştır.

3. Bulgular

Çalışma kapsamında Bursa ili rüzgâr enerji kapasitesi incelenmiş ve rüzgâr hızı verileri Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün Rüzgâr Enerji Potansiyel Atlası (REPA) atlasından temin edilmiştir. RES kurulumunda ana ve alt kriterleri belirlemek için gerek bölge gerek konu bakımından literatür taraması yapılmış ve 7 ayrı kriterin analize dahil edilmesine karar verilmiştir. Rüzgâr hızı, arazi kullanımı, yükselti, bakı, eğim, yollara olan uzaklık ve akarsulara olan uzaklık ana kriterler olarak belirlenmiştir. Bu aşamadan sonra ArcGIS 10.8 programı yardımıyla CBS destekli ÇKKV yöntemlerinden biri olan AHP yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem çerçevesinde mevcut veri aralığı dikkate alınarak önceki çalışmaların ışığında kriterlere etki ve ağırlık değerleri atanmıştır. İkili karşılaştırma matrisine dayanan analitik hiyerarşi yöntemi ile kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir (Tablo 4). Ağırlıklar sırasıyla rüzgâr hızı %36,95, arazi kullanımı %27,35, yükselti %13,3, bakı %11,1, eğim %5,18, yollara olan uzaklık %3,78 ve akarsulara olan uzaklık %2,34 olarak hesaplanmıştır (Tablo 4).

Kriterlerin bağıl önem derecesi kullanıcı tarafından belirlendiğinden tutarlılık oranı hesaplanmış ve %8,5 olarak bulunmuştur. Analitik hiyerarşi yöntemine göre %10'un altında kalan oranlar tutarlı olarak kabul edildiğinden analize geçmeye uygun görülmüştür. Belirlenen ağırlıklar neticesinde ArcGIS 10.8 paket programında bulunan Uzaysal Analiz (Spatial analysis) modülünde yer alan Ağırlıklı Çakıştırma (Weighted Overlay) komutu kullanılmıştır. Analiz sonucunda RES kurulumu için duyarlılık sınıfları haritası elde edilmiştir.

3.1. Kriterlerin Değerlendirilmesi

Bir bölgede RES kurulumu için incelenmesi gereken öncelikli etken bölgenin rüzgâr hızı dağılım haritasıdır (Özşahin ve Kaymaz, 2013). Bundan dolayı Bursa ili için Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından tespit edilen 50 m yükseltideki ortalama rüzgâr hız dağılımı haritası temin edilmiş ve bu haritadan Gemlik ilçesi rüzgâr hızı haritası çekilmiştir (Şekil 3). Yıldız (2021) çalışmasında Balıkesir iline ait rüzgâr hızı alt limit sınırı olarak ifade edilen 6 m/s hızdan itibaren 50 m ve 80 m yükseltideki RES kurulumu için toplam elverişli alanları incelemiştir. 50 m yükselti için toplam 1114,80 km² ve 80 m yükselti için ise 3289,92 km² elverişli alan olduğu belirlenmiştir. Bu bağlamda, bu çalışmada

değerlendirilen alanlar, 50 m yükselti için belirlenen potansiyel alanlardır. Harita rüzgâr hızlarına göre, 6 ayrı uygunluk sınıfına ayrılarak çok uygundan uygun olmayan bölgelere göre kategorileştirilmiştir (Tablo 4). Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA-V1) verilerine göre yer seviyesinden 50 metre yükseltide ve 7,5 m/s üzeri yıllık ortalama rüzgâr hızlarına sahip uygun alanlarda her kilometreye 5 MW gücünde rüzgâr santrali kurulabileceği belirlenmiştir (URL-2). Bu bilgiler ışığında Gemlik ilçesine ait verilerde REPA-V1 verilerine göre 7m/s üzeri rüzgâr hızına ait bölgeler ilçede toplam alanının %11'i olarak hesaplanmıştır. Ekiz ve ark., (2022) çalışmasında rüzgâr hızının 6.40-6.70m/s aralığında olması son derece uygun olarak sınıflandırılırken mevcut çalışma bölgesinde bu değerler az uygun sınıfta yer almaktadır. Gemlik ilçesi için son derece uygun rüzgâr hızı 9-10m/s aralığında belirlenmiş olup bu aralık RES kurulumu için potansiyel rüzgâr veriminin oldukça üstünde olduğunu göstermektedir.

Santral kurulumunda dikkate alınan bir diğer önemli parametre ise arazi kullanım özellikleridir. Bu özellik çerçevesinde işlek alanların, sulu tarım bölgelerinin ve ormanlar gibi yeşil alanların tahribat durumu santral kurulumu için uygun olmayan bölgeler olduğu saptanmıştır (Sliz-Szkliniarz ve Voght, 2011). Böylece bölge 6 farklı uygunluk sınıfa ayrılmış ve fundalık, kuru tarım ve mera gibi uygun alanların toplam alanının %57'sini oluşturduğu hesaplanmıştır (Şekil 4). Özşahin ve Kaymaz (2013) çalışmasında, bahçeler orta uygunluk sınıfında yer alırken mevcut çalışmada bu durum geçerli olmamaktadır. Bahçe, orman ve sulak alanlar toplam alandan çıkarılmış ve analize dâhil edilmemiştir. Bu durum, çalışmanın santral kurulumu için olabilecek en yüksek potansiyel alanı belirlemeyi amaçladığını göstermektedir.

Topografyanın bakı özellikleri santral kurulumu için oldukça etkili bir kriterdir. Çalışma alanının hâkim rüzgâr yönüne bakan kısımları analize dâhil etmek RES inşasında verimi arttırmaya yönelik önemli bir adımdır. Memduhoğlu ve ark., (2014) çalışmasında, rüzgâr yönünün, rüzgâr hızından sonra verimi etkileyen en önemli karar vericilerden biri olduğundan bahsetmiştir. Bu ölçüte göre, Gemlik ilçesi hâkim rüzgâr yönü Kuzeydoğu, yer yer ise Doğu ve Kuzey yönleri olarak saptanmıştır. Bu doğrultuda hâkim rüzgâr yönü dışında kalan bölgeler uygun olmayan sınıfta yer almaktadır. Çalışmada bakı kriteri esas alındığında çok uygun ve uygun sınıfta yer alan bölgeler toplam alanın %23'nü oluşturmaktadır (Şekil 5).

Tablo 3. Karşılaştırma matrisi

	Rüzgâr hızı	Eğim	Yükselti	Bakı	Akarsuya olan uzaklık	Yola olan uzaklık	Arazi kullanımı
Rüzgâr hızı	1	7	5	5	9	7	2
Eğim		1	0.20	0.2	3	3	0.14
Yükselti			1	2	5	5	0.33
Bakı				1	5	5	0.20
Akarsuya olan uzaklık					1	0.33	0.11
Yola olan uzaklık						1	0.14
Arazi kullanımı							1

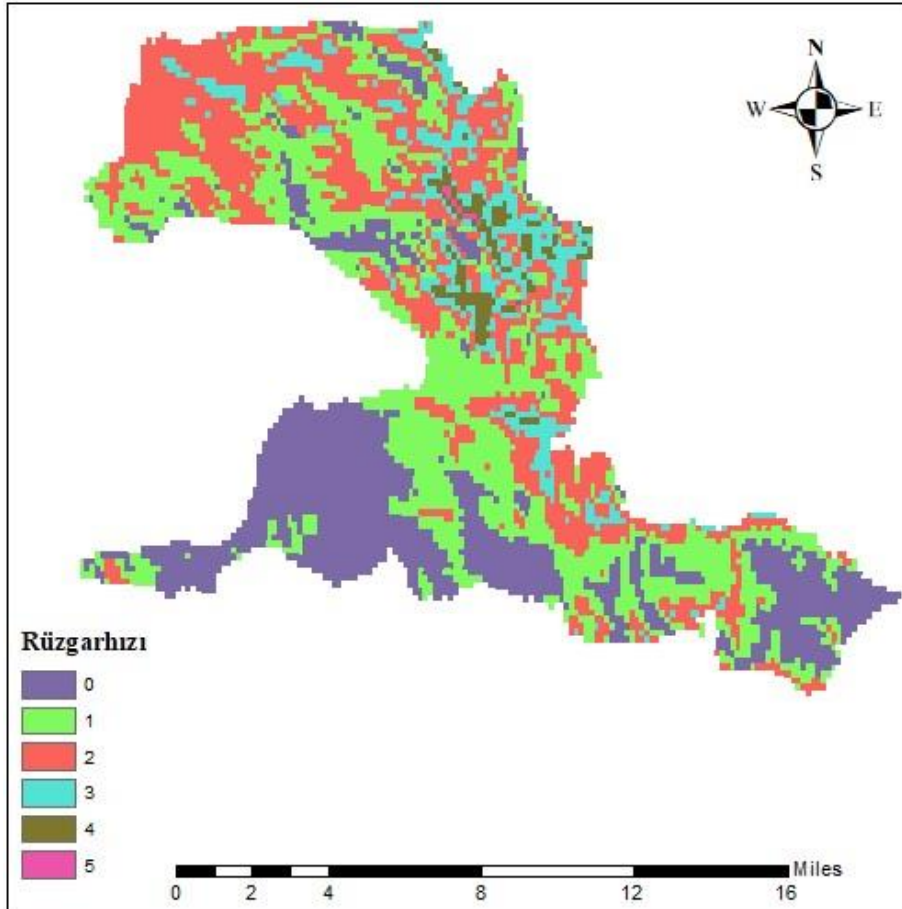
Tablo 4. Kriterlerin uygunluk sınıfı ve ağırlık değerleri

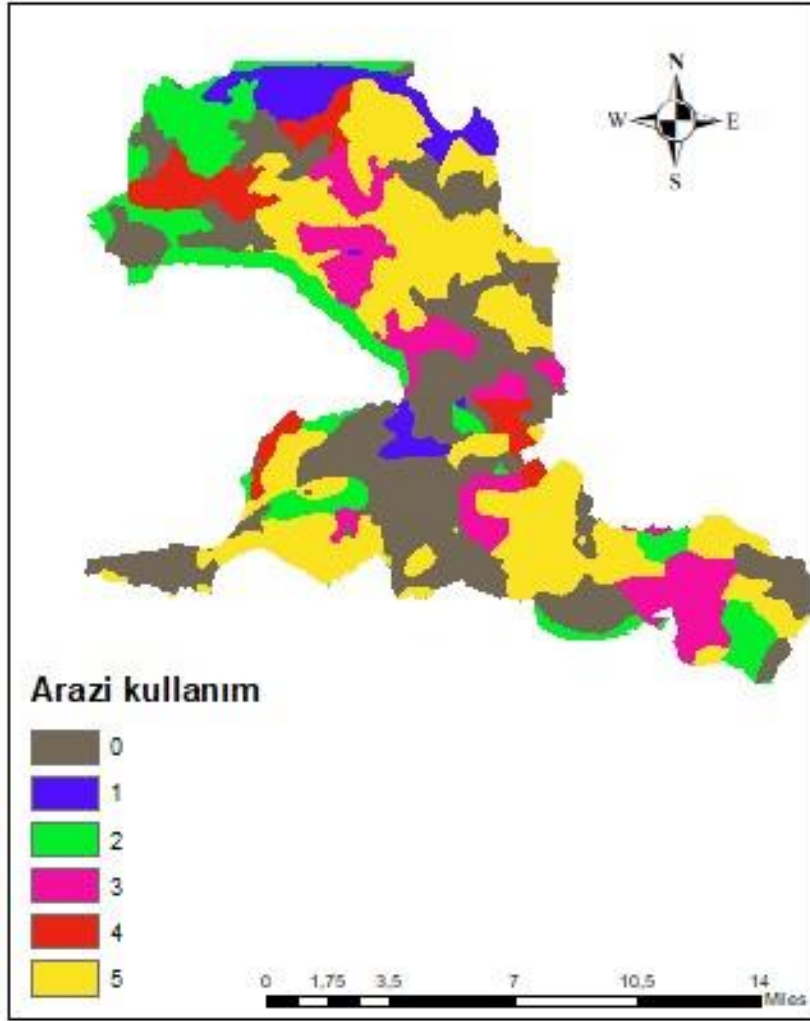
Kriterler	Birim	Ağırlıklar	Uygunluk sınıfları ve değer aralıkları					
			Çok uygun (5)	Uygun (4)	Orta derece uygun (3)	Az uygun (2)	Çok az uygun (1)	Uygun değil (0)
Rüzgâr Hızı	m/ s	36,95	9-10	8-9	7-8	6-7	5-6	<5
Arazi Kullanımı	-	27,35	Kuru tarım	Tarımsal alan, mera	Fundalık	Nadaslı kuru tarım	Yeşil alan	Orman Yerleşim, Sulak alan, Zeytin bahçesi
Yükselti	m	13,3	1100-2000	900-1100	700-900	500-700	300-500	0-300, >2000
Bakı	-	11,1	Kuzeydoğu	Doğu	Kuzey	-	-	Düz, Güney, Batı
Eğim	%	5,18	0-6	6-10	10-14	14-17	17-20	>20
Yollara Uzaklık	m	3,78	100-250	250-500	500-750	750-1000	1000-1500	<100
Akarsuya Olan Uzaklık	m	2,34	>3500	2500-3500	1500-2500	1000-1500	500-1000	0-500

Rüzgâr hızının yüksekliğe göre artmasından dolayı yükselti kriteri de RES kurulumunda önemli bir yer tutmaktadır. Bu kapsamda yüksek bölgelere türbin kurulması rüzgârda alınacak verim oranını arttırması açısından oldukça önemlidir. Yükselti kriteri uygunluk derecesine göre 6 sınıfa ayrılmıştır ve en uygun olan bölgeler 1100-2000 metre aralığında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6).

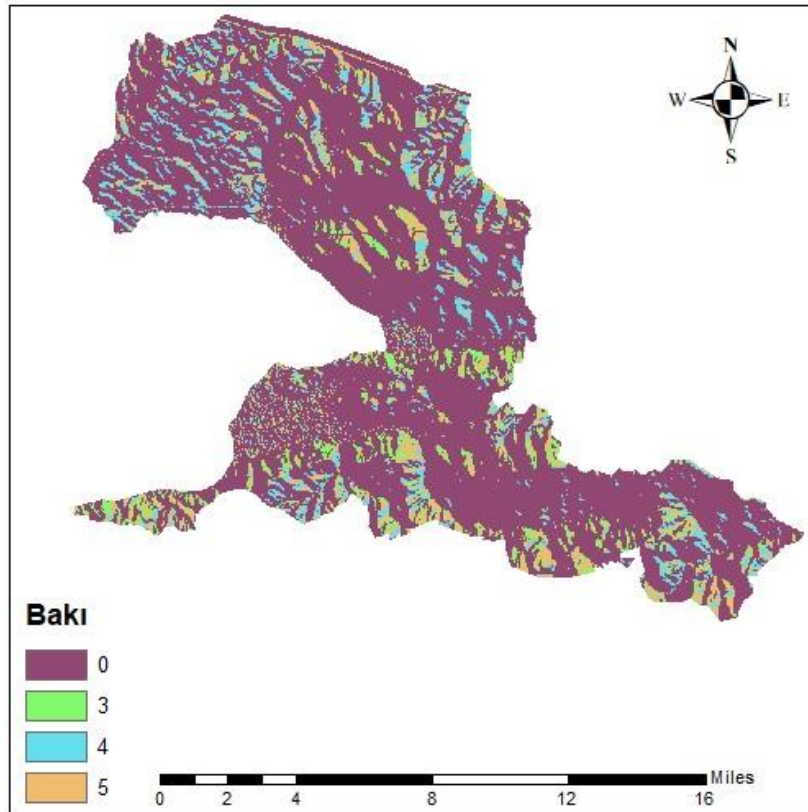
Topografyanın fazla eğimli olması türbin kurulumunda gerek zorluk çıkarması gerek de maliyeti arttırmasından dolayı yüksek eğimli alanlar,

sınıflandırmada uygun olmayan alanlar olarak belirtilmiştir. Özşahin ve Kaymaz (2013) çalışmasında orta derece uygunluğa kadar olan eğim derecesini 1-16 aralığında Ekiz ve ark., (2022) çalışmasında ise 0-20 derece aralığında tercih edilmiştir. Mevcut çalışmada bu aralık 0-14 derece olarak belirlenmiştir. Bu durum, RES için en uygun bölgenin olabilecek en iyi aralıklarda olmasının amaçlandığını belirtmektedir. Mevcut çalışmada orta dereceye kadar uygun olan bölgeler toplam alanın %42'sini oluşturmaktadır (Şekil 7).

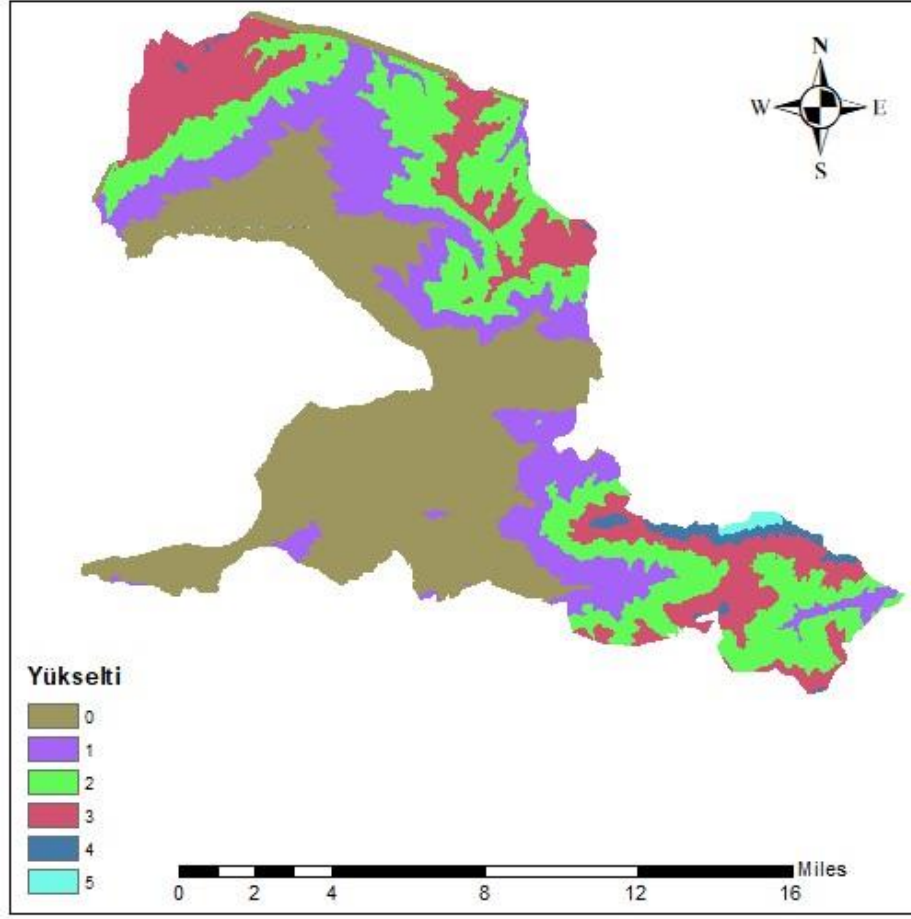
**Şekil 3.** Gemlik ilçesi rüzgâr hızı haritası



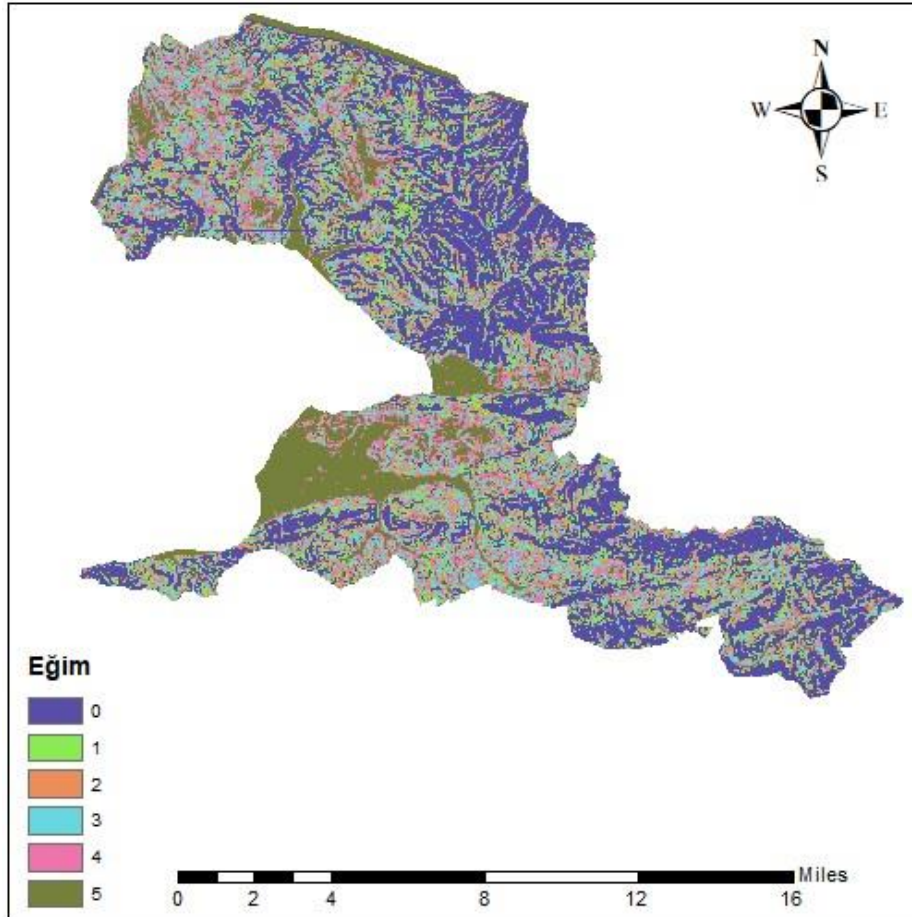
Şekil 4. Gemlik ilçesi arazi kullanım haritası



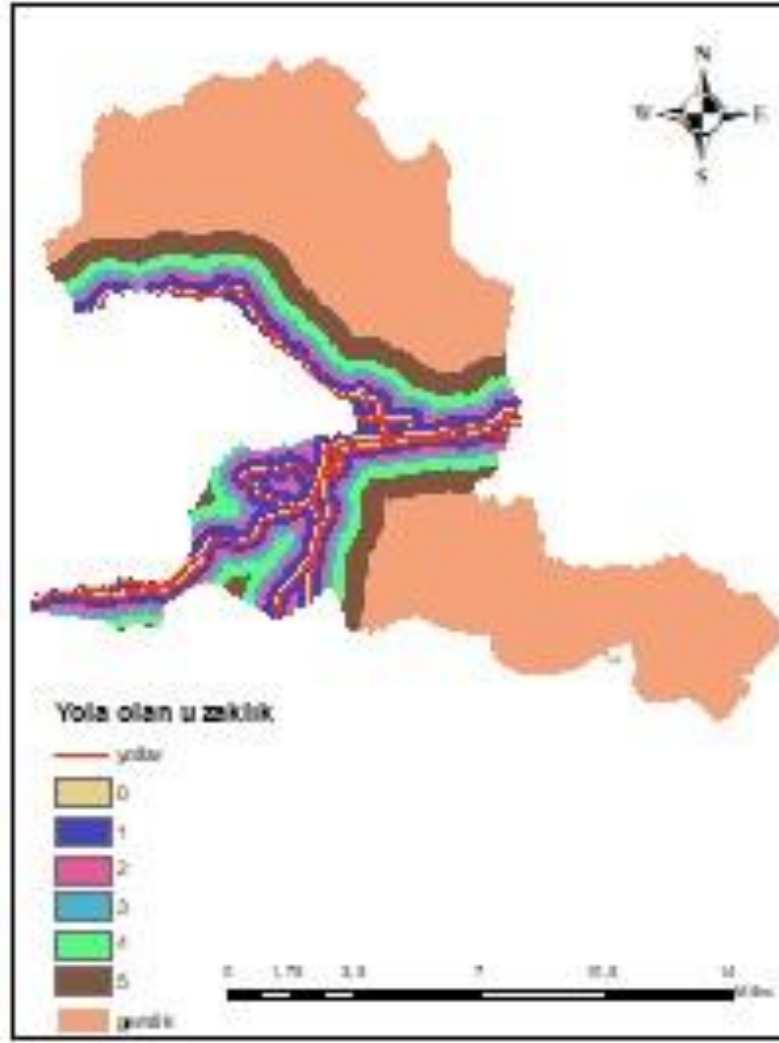
Şekil 5. Gemlik ilçesi bakı haritası



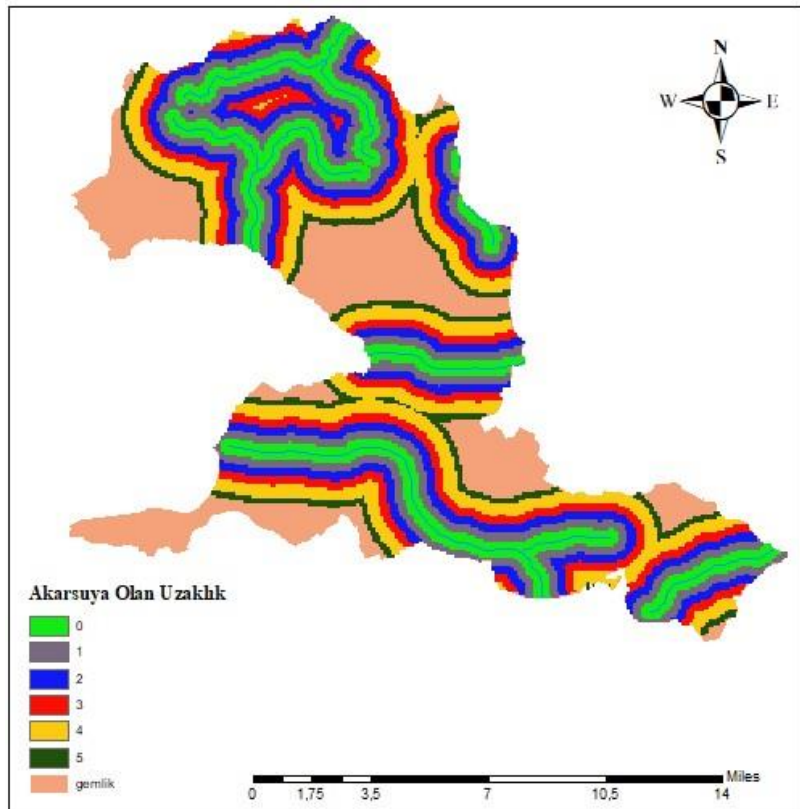
Şekil 6. Gemlik ilçesi yükselti haritası



Şekil 7. Gemlik ilçesi eğim haritası



Şekil 8. Gemlik ilçesi yola olan uzaklık haritası



Şekil 9. Gemlik ilçesi akarsuya olan uzaklık haritası

Çalışmada yola ve akarsuya olan uzaklığı belirlemek için öklid uzaklığı (euclidian distance) komutu kullanılmıştır. Türbinlerin taşınması, bakımlarının yapılması ve olası arıza durumunda müdahalesinin kolaylıkla yapılabilmesi adına yola olan mesafenin kısa olması gerekmektedir. Bu kapsamda kriter uygunluk derecesine göre 6 sınıfa ayrılmıştır ve Şekil 8’de görüldüğü gibi yola yakın olan bölgelerin derecelendirmesi yakından uzağa doğru sıralanmıştır. Demir (2022) çalışmasında, Kars ilinde rüzgâr enerji santrali kurulumu analizinde yola olan uzaklık sınıflandırılması belirlenirken ilin büyük kısmının düz ve düze yakın plato sahasında yer alması nedeniyle oldukça geniş bir karayolu ağı bulunduğu belirtilmiştir. Böylece sınıflandırma yaparken bölgenin karayolu ağı ve yüzölçümü dikkate alınarak uygunluk sınıfında çok uygun sınıfı 21-1000 metre aralığı tercih edilmiştir. Mevcut çalışmada ilçenin sahip olduğu karayolu ağının oldukça zayıf olması ve yüzölçümünün küçük olması nedeniyle çok uygun sınıfı 100-250 metre aralığında seçilmesi uygun görülmüştür.

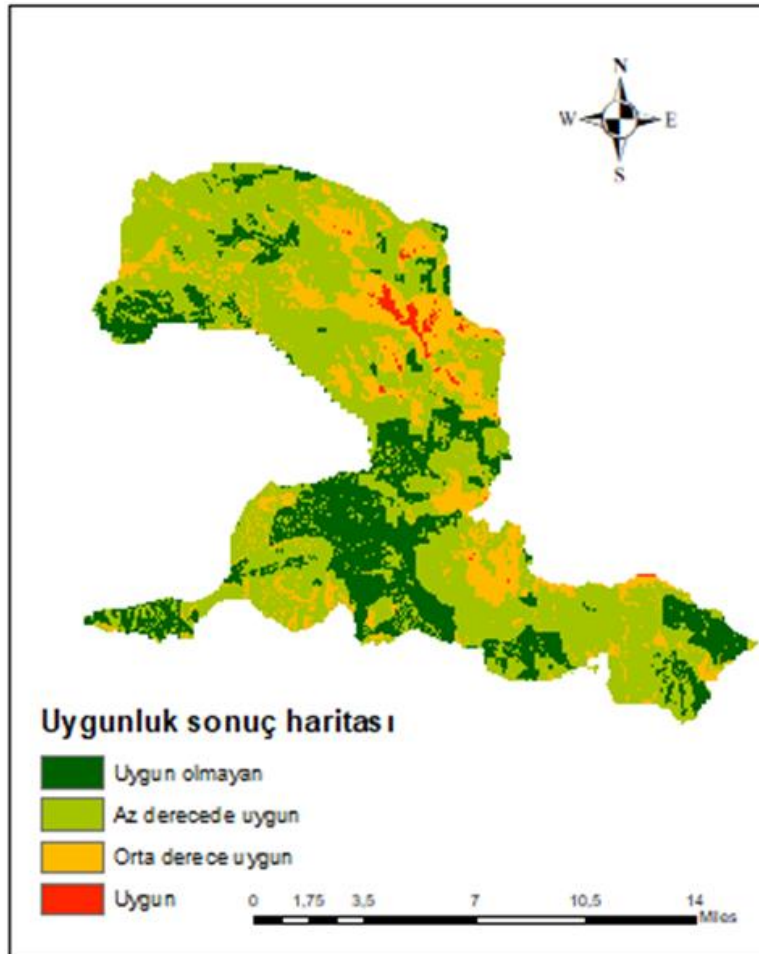
Çalışmada, birçok çalışmadan farklı olarak akarsuya olan uzaklık da dikkate alınarak altı uygunluk sınıfına ayrılmıştır (Şekil 9). Türbinlerin akarsuya yakın olmasının pürüzlülük seviyelerini arttırmasından dolayı olumsuz bir etki yaratmaktadır (Özşahin ve Kaymaz, 2013). Bu bağlamda akarsulara 500 metreden yakın olan bölgeler, uygun olmayan bölgeler olarak değerlendirilmiştir.

3.2. Sonuç Haritası

Belirlenen kriterler doğrultusunda uygunluk sınıfları ve ağırlık puanları dikkate alınarak yapılan çakıştırma işleminde Gemlik ilçesi RES için uygunluk haritası elde edilmiştir (Şekil 10). Harita uygun olmayan, az derecede uygun, orta derecede uygun ve yüksek derecede uygun olmak üzere 4 sınıftan oluşmaktadır (Tablo 5). Ekiz ve ark., (2022) çalışmasında, RES için uygunluk sınıfları belirlenirken öncelikle AHP yöntemi ile önem sırasına göre çakıştırma gerçekleştirilmiş ve daha sonra kriterler eşit önem derecesinde kabul edilerek analiz tekrarlanmıştır. Çalışma sonucunda, AHP ile belirlenen çok uygun (4) alan 54.02 km², faktörlere eşit önem derecesi atandığında ise çok uygun alan (4) 22.96 km² olarak hesaplanmıştır. Bu bağlamda analizde önem dereceleri ve uygunluk sınıflarını belirlemek potansiyel alan tespitinde daha doğru sonuçlar elde etmeyi sağladığı gözlenmiştir.

Tablo 5. Sonuç haritası uygunluk sınıfı oranları

Potansiyel alan	Yüzdellik
Yüksek derecede uygun	%1
Orta derecede uygun	% 19
Az derecede uygun	%57
Uygun olmayan	%23



Şekil 10. Gemlik ilçesi uygunluk sonuç haritası

4. Sonuçlar

Rüzgâr enerji santrali için uygun alan analizi gerçekleştirilen bu çalışmada, yedi adet kriterin çakıştırılması neticesinde orta ve yüksek derecede olan bölgeler, Gemlik ilçesinin %20'sini oluşturduğu gözlenmiştir. Bu oran uygunluk derecelerine göre sınıflandırılan kriterlerin ağırlık puanları dikkate alınarak belirlenmiştir. Farklı bölgelerde RES kurulumu analizi yapılan çalışmalarda belirlenen uygunluk sınıf aralıkları, mevcut çalışmaya göre daha esnek tutulduğu gözlenmiştir. Bu durum mevcut çalışmanın olabilecek en yüksek potansiyel alanı belirlemeye yönelik olduğunu göstermektedir. Çalışma alanında halihazırda bulunan RES sahaları incelendiğinde, belirlenen sonuç haritasında orta derece uygunluk bölgesinde dağılım gösterdiği gözlenmiştir. Gemlik ilçesinde Kürekdağı RES ve Gündoğdu RES olmak üzere iki adet saha bulunmaktadır. Kürekdağı RES, Bursa'nın Gemlik ilçesi ile Yalova'nın Çınarcık ilçesi sınırlarında bulunan ilçenin Kuzeyinde kurulmuş olan bir sahadır. 32,50 MW kurulu gücü ile ortalama 32 bin kişinin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamaktadır. Saha'nın konumu sonuç haritası baz alınarak orta derece uygun bölgeye düşmektedir. Diğer RES sahası ise Mudanya yolu yakınında bulunan Gündoğdu santralidir. 4 adet türbini ile 9 MW kurulu güce sahip olan santral, sonuç haritasında orta derece uygun sınıfta yer almaktadır. Bu durum, kullanılan AHP analizinin tutarlı olduğunu ve benzer sahalara için aynı yöntemin kullanılmasının gelecekte kurulması planlanan RES projeleri için yol gösterici olacağını ifade etmektedir.

Araştırmacıların katkı oranı

Damla Yılmaz: Literatür taraması, Makale yazımı, Analiz etme. **Şerife Tülin Akkaya Aslan:** Analiz sonuçlarını değerlendirme. **Babak Vaheddoost:** Analiz sonuçlarını değerlendirme

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

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. <https://doi.org/10.26833/ijeg.412348>

Akıncı, H., Özalp Yavuz, A., & Kılıçer, S. T. (2015). Coğrafi bilgi sistemleri ve ahp yöntemi kullanılarak planlı alanlarda heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi: Artvin örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 1(1-2), 40-53.

Aksoy, H., Kirca, V. S. O., Burgan, H. I., & Kellecioglu, D. (2016). Hydrological and hydraulic models for determination of flood-prone and flood inundation

areas. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 373, 137-141.

Artun, O. (2020). Determination of the suitable areas for the investment of the wind energy plants (WEP) in Osmaniye using analytical hierarchy process (AHP) and geographic information systems (GIS). *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 196-205.

Atıcı, K. B., Simsek, A. B., Ulucan, A., & Tosun, M. U. (2015). A GıS-Based Multiple Criteria Decision Analysis Approach For Wind Power Plant Site Selection. *Utilities Policy*, 37, 86-96.

Aydın, N. Y., Kentel, E., & Duzgun, S. (2010). GıS-Based Environmental Assessment Of Wind Energy Systems For Spatial Planning: A Case Study From Western Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 364-373.

Can, G., & Yücel, M. A. (2019). Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Analitik Hiyerarşi Prosesi Kullanarak Rüzgâr Enerji Santralleri İçin Yer Tespiti, 17. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 25, 27.

Demir, M. (2022). Kars ilinde rüzgâr enerjisi santrali kurulum potansiyeli taşıyan alanların CBS analizleri ve AHP yöntemi kullanılarak belirlenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (81), 157-172.

Ekiz, S., Şirin, A. & Erener, A. (2022). En uygun rüzgâr enerji santrali yerlerinin coğrafi bilgi sistemleri ile belirlenmesi: Kocaeli ili örneği. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 9 (1), 59-79. <https://doi.org/10.9733/JGG.2022R0005.T>

Gülenç, İ. F., & Bilgin, G. A. (2010). Yatırım Kararları İçin Bir Model Önerisi: Ahp Yöntemi-A Model Proposal For Investment Decisions: Ahp Method. *Öneri Dergisi*, 9(34), 97-107.

Hull, C. L., Stark, E. M., Peruzzo, S., & Sims, C. C. (2013). Avian collisions at two wind farms in Tasmania, Australia: taxonomic and ecological characteristics of colliders versus non colliders. *New Zealand Journal of Zoology*, 40(1), 47-62.

Karabağ, N., Kayıkcı, C. B. Ç., & Öngen, A. (2019). % 100 Yenilenebilir Enerjiye Geçiş Yolunda Dünya Ve Türkiye. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 230-240.

Karipoğlu, F., Öztürk, S., & Genç, M. S. (2021). Determining Suitable Regions For Potential Offshore Wind Farms İn Bandırma Bay Using Multi-Criteria-Decision-Making Method. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 123-132.

Memduhoğlu, A., Özmen, G., Göyçek, G., & Kılıç, F. (2014). Rüzgar Türbini Kurulacak Alanların Cbs-Çok Ölçütlü Karar Analizi Kullanılarak Belirlenmesi: Davutpaşa Kampüsü. V. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2014), 14-17 Ekim 2014, İstanbul.

Özbahar, İ. & Gül, R. (2011). Hatay-Ziyaret Tepesi Rüzgâr Santralleri Bölgesinin Ornitolojik Değerlendirilmesi. 45

Özşahin, E. (2014). Coğrafi Bilgi Sistemleri (Cbs) ve Analitik Hiyerarşi Süreci (Ahs) Kullanılarak Antakya (Hatay) Şehri'nde Kütle Hareketleri Duyarlılığının Değerlendirmesi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 23(2), 19-35.

Özşahin, E., & Kaymaz, Ç. K. (2013). Rüzgar Enerji Santrallerinin (Res) Yapım Yeri Seçimi Üzerine Bir

- Cbs Analizi: Hatay Örneği, *Tübav Bilim Dergisi*, 6(2),1-18.
- Saaty, T. L. (1986). Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process. *Management Science*, 32(7), 841-855.
- Saaty, T. L. (2008). Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors the analytic hierarchy/network process. *RACSAM-Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Fisicasy Naturales. Serie A. Matematicas*, 102, 251-318.
- Sliz-Szkliniarz, B., & Vogt, J. (2011). GIS-based approach for the evaluation of wind energy potential: A case study for the Kujawsko-Pomorskie Voivodeship. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1696-1707.
- Steward, T. J. (1992). A Critical Survey on the Status of Multiple Criteria Decision Making Theory and Practice. *Omega*, 20(5-6), 569-586.
- Şahin, M., & Toroğlu, E. (2020). Analitik Hiyerarşi Prosesi (Ahp) Kullanılarak Pınarbaşı İlçesi (Kayseri) Arazilerinin Tarımsal Uygunluk Derecelerinin Belirlenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (75), 119-130.
- Urfalı, T., & Eymen, A. (2021). CBS ve AHP Yöntemi Yardımıyla Kayseri İli Örneğinde Rüzgâr Enerji Santrallerinin Yer Seçimi. *Geomatik*, 6(3), 227-237. <https://doi.org/10.29128/geomatik.772453>
- URL-1: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Gemlik>
URL-2: <https://repa.enerji.gov.tr/REPA/>
- Uyan, M., & Yalpur, Ş. (2016). Çok Kriterli Karar Verme Modeli ve Cbs Entegrasyonu ile Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesislerinin Yer Seçimi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(3), 642-654.
- Ünal, Ö. F. (2012). Performans değerlemede analitik hiyerarşi prosesi (AHP) uygulamaları. *Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 7(1), 37-55.
- Xu, Y., Li, Y., Zheng, L., Cui, L., Li, S., Li, W., & Cai, Y. (2020). Site Selection Of Wind Farms Using Gıs And Multi-Criteria Decision Making Method İn Wafangdian, China. *Energy*, 207, 118222.
- Yağcı, C. & İşcan, F. (2021). GIS-based site suitability analysis of afforestation in Konya province, Turkey. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 3 (2), 89-95.
- Yakşı, B. (2018). *Bursa ili kıyı şeridi rüzgâr enerjisi potansiyel analizi* (Master's thesis, Bursa Teknik Üniversitesi).
- Yeşilkaya, M. (2018). Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile Kâğıt Fabrikası Kuruluş Yeri Seçimi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(4), 31-44.
- Yıldız, S. S. (2021). Balıkesir ili rüzgâr hızı haritalarının hazırlanması ve rüzgâr enerjisi potansiyeli açısından incelenmesi. *Geomatik*, 6(3), 198-206. <https://doi.org/10.29128/geomatik.737567>



© Author(s) 2023. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Geomatik

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

e-ISSN 2564-6761



Yersel referans verilerinin doğruluğunun çok zamanlı Sentinel-2 uydu görüntüleri ile araştırılması: Arpa ve Buğday örneği

Oğuzhan Yaşar¹, Ali Levent Yağcı^{*1}

¹Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Uzaktan Algılama
Sentinel-2
Python
Bulut maskeleyme
NDVI

Araştırma Makalesi

Geliş: 28.11.2022
Revize: 20.01.2023
Kabul: 23.01.2023
Yayınlanma: 19.04.2023



Öz

Ülkemizde uzaktan algılama görüntüleri ve yöntemleri ile tarım ürün deseni belirlemek amaçlı birçok çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda sınıflandırma algoritmasının eğitilmesi ve sonuçlarının doğrulanması için çeşitli kaynaklardan oluşturulan yersel referans veriler kullanılmaktadır. Ancak, bazı çalışmalarda bu referans veri setlerinde hatalar bulunduğu ortaya konmuştur. Bu çalışmada, Yozgat ili Merkez ilçesi için bir firmadan alınan yersel referans verilerinin güvenilirliği Sentinel-2A ve Sentinel-2B uydu görüntüleri kullanılarak araştırılmıştır. Geliştirilen yöntemde, uydu görüntülerinden oluşturulan parsel zaman serileri her ürünün ortalama karakteristik Normalize Edilmiş Bitki İndeksi (NDVI) eğrisi ile iteratif olarak karşılaştırılmaktadır. Daha sonra, korelasyon ve ortalama en kısa mesafe değerleri kullanılarak hatalı etiketlenen tarım ürünleri bulunmaktadır. Yöntem, arpa ve buğday tarım ürünleri ile test edilmiştir ve tüm hatalı etiketlenen parseller başarılı bir şekilde bulunmuştur. Yöntem, kullanıcıya herhangi bir eğitim verisi seçimi yaptırmadan otomatik olarak karar vermektedir. Bundan dolayı, veri indirme ve parsel sınırlarını düzeltilmesi dışındaki tüm işlemlerin otomasyonu Python programlama dili ve çeşitli açık kaynaklı kütüphaneler ile sağlanmıştır.

Investigation of the accuracy of ground reference datasets using multi-temporal Sentinel-2 satellite images: A case study with barley and wheat crops

Keywords

Remote Sensing
Sentinel-2
Python
Cloud masking
NDVI

Research Article

Received: 28.11.2022
Revised: 20.01.2023
Accepted: 23.01.2023
Published: 19.04.2023

Abstract

There have been many studies regarding agricultural crop classification using remotely sensed imagery in Türkiye. In such studies, crop reference datasets are needed to train classification models and validate the model results. However, some studies reported that there are some inaccuracies in these crop reference datasets. In this study, the accuracy of the crop reference dataset collected by a commercial company in the central district of Yozgat Province was investigated using the imagery acquired by Sentinel-2A and Sentinel-2B satellites. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) time series of each agricultural parcel were constructed and iteratively compared to the average NDVI time series for a given crop. Later, statistic metrics such as correlation and average minimum distance were used to identify incorrectly labeled agricultural parcels. The method is fully automated and doesn't need any user intervention except for the steps such as the data download and the modification of parcel boundaries. Therefore, The automation of the method steps was carried out in Python programming language using various open-source Python libraries.

*Sorumlu Yazar

(oguzhan.yasar2017@gtu.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-0120-9186
(alyagci@gtu.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-1094-9204

Kaynak Göster (APA)

Yaşar, O. & Yağcı, A. L. (2023). Yersel referans verilerinin doğruluğunun çok zamanlı Sentinel-2 uydu görüntüleri ile araştırılması: Arpa ve Buğday örneği. *Geomatik*, 8(3), 277-292

<https://doi.org/10.29128/geomatik.1210252>

1. Giriş

Tarımda minimum maliyet ile maksimum fayda alınmasının en büyük faktörlerinden biri teknolojik gelişmelerin kullanılmasıdır. Tarım için bu teknolojik gelişmelere en iyi örnek uzaktan algılama gösterilebilir. Landsat uydu misyonuna nazaran Sentinel-2 uydu programıyla, yeryüzü üzerinde toplanan gözlemlerde mekânsal ve zamansal çözünürlükte artışlar olmuştur. Bundan dolayı, Sentinel-2 programı tarım alanında en yaygın kullanılan uydu misyonu olmuştur. Ayrıca, kutupsal yörüngeli yeryüzü gözlemi toplayan uydular ile elde edilen görüntüler, tarımın yanı sıra hidroloji, meteoroloji, jeoloji ve şehircilik gibi birçok farklı alanda etkin bir biçimde kullanılmaktadır (Yağcı, 2023; Yağmur ve ark., 2020; Sawadogo ve ark., 2020).

Ülkemizde, daha önce uydu görüntüleri ve görüntü işleme metotları kullanılarak tarım alanında çok çeşitli çalışmalar yapılmasına rağmen, uydu görüntülerinden tarım ürün deseninin belirlenmesi uzaktan algılamanın en yaygın tarımsal uygulamalarından biridir. Örneğin, RADARSAT-2 uydu görüntüleriyle Konya ilinin Sarayönü ilçesi sınırlarında yer alan yem bitkisi, mısır, patates, ayçiçeği ve buğday gibi tarım ürünlerinin deseni çıkarılmıştır (Üstüner ve ark., 2020). Benzer şekilde Konya ili Karapınar ilçesinde mısır, ayçiçeği, buğday-arpa, pancar ve yonca-fiğ tarım ürünlerinin deseni Sentinel-2 uydu görüntüleriyle belirlenmiştir (Torunlar ve ark., 2021). Pamuk ve mısır ekili parsellerin analizi, Landsat 5 uydusu üzerinden bulunan Thematic Mapper (TM) sensörünün ürünleri ile Şanlıurfa ilinin, Harran ilçesinde yapılmıştır (Aydoğdu ve ark., 2011). Mardin İli, Artuklu, Kızıltepe ve Derik ilçelerinde mısır, buğday, pamuk, nohut ve mercimek ürünlerin tarım ürün deseni Sentinel-2 uydu görüntüleri sınıflandırılarak çıkarılmıştır (Altun ve Türker, 2021). Ek olarak, Denizli ilinin Baklan, Çal ve Çivril ilçelerinde hububat, mısır, şeker pancarı, ayçiçeği, haşhaş, üzüm, meyve ağacı ve yem bitkileri gibi tarım ürünlerinin desenleri çok zamanlı Sentinel-2 ürünleri kullanılarak çıkarılmıştır (Şimşek ve Durduran, 2023). Bir diğer çalışmada ise, GÖKTÜRK-2 uydusunun görüntüleri kullanılarak buğday, mısır ve pamuk ürünlerinin deseni Harran Ovası'nda çıkarılmıştır (Teke ve Yardımcı, 2016). Bitlis ilinin Adilcevaz ilçesinde, yonca, buğday ve korunga tarım ürünlerinin deseni Hyperion ve Landsat-8 görüntüleri kullanılarak çıkarılmıştır (Teke ve Yardımcı, 2015). Komsat-2 ve Envisat ASAR verileri kullanılarak Bursa ilinin Karacabey ovasındaki mısır, pirinç, şeker pancarı, domates ve buğday ürünlerinin deseni çıkarılmıştır (Ok Özdarıcı ve Akyürek, 2013). Amasya ilinde, Sentinel-2 görüntüleri kullanılarak kenevir, fiğ, buğday, yonca, şekerpancarı ve soğan gibi farklı tarım ürünlerinin deseni çeşitli sınıflandırma yöntemleri ile çıkarılmıştır (Tunca ve Köksal, 2021).

Uzaktan algılama görüntüleri ve sınıflandırma algoritmaları kullanılarak tarım ürün desenlerinin çıkarılması yaygın bir uygulamadır. Sınıflandırma algoritmalarının performansını etkileyen önemli faktörlerden biri de bu algoritmaların yersel referans verileri ile eğitim aşamasıdır. Sınırlandırma algoritmaları

hatalı referans verileri ile eğitilmesi durumunda üretilen tarım ürün deseni haritalarının doğruluğu da düşmektedir.

Ülkemizde yapılan tarım ürün deseni belirlemeye yönelik çalışmalarda yersel referans verisi olarak Çiftçi Kayıt Sistemi'ne (ÇKS) kayıtlı parseller (Şimşek ve Durduran, 2023; Simsek ve ark., 2016; Altun ve Türker, 2021; Aydoğdu ve ark., 2011; Teke ve Yardımcı, 2015), Tarım Sigortaları Havuzu'na (TARSİM) kayıtlı sigortalı parseller (Şimşek ve Durduran, 2023), Tarım İşletmesi Müdürlüğü'ne (TİGEM) veya Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü'ne (TAGEM) bağlı araştırma enstitülerine ait parseller (Kaya ve Polat, 2021; Narin ve ark., 2021; Tunca ve Köksal, 2021) ve araştırmacıların kendi yaptığı arazi çalışmalarıyla topladıkları parsel bilgileri (Ok Özdarıcı ve Akyürek, 2013; Torunlar ve ark., 2021; Üstüner ve ark., 2020) kullanılmıştır.

Yukarıda anlatılan çalışmalarda, ÇKS beyanlı parsellerden oluşturulan Normalize Edilmiş Bitki İndeksi (NDVI) zaman serileri incelendiğinde beyan edilen tarım ürünlerinin kendi türüne ait olan karakteristik NDVI eğrisi ile uyuşmadığı görülmüştür ve uyuşmayan parseller sınıflandırma için kullanılacak yersel referans veri setinden çıkarılmıştır (Altun ve Türker, 2021; Şimşek, 2016; Şimşek ve Durduran, 2023). Benzer şekilde bu çalışma kapsamında özel bir firmadan alınan ve arpa ve buğday parseli olarak ifade edilen parsellerin NDVI zaman serileri incelendiğinde beyan edilen ile gerçekte görülen arasında farklar olduğu görülmüştür.

Arpa ve buğday, tahıllar arasında dünya üzerinde en çok üretimi yapılan tarım ürünlerinden olup, Türkiye'de 2021 yılında en çok yetiştirilen tahıl ürünlerindedir. 2021 yılında buğday ve arpanın tüm üretilen tahıl ürünleri arasında payının toplamı %73'ü bulmuştur. (TÜİK, 2021a). Türkiye'de en çok arpa üretimi yapılan iller sırasıyla Konya, Ankara, Afyonkarahisar, Aksaray ve Aydın illeri olurken en çok buğday üretimi yapılan ilk 5 il ise sırasıyla Şanlıurfa, Konya, Mardin, Kahramanmaraş ve Diyarbakır illeridir (TÜİK, 2021b).

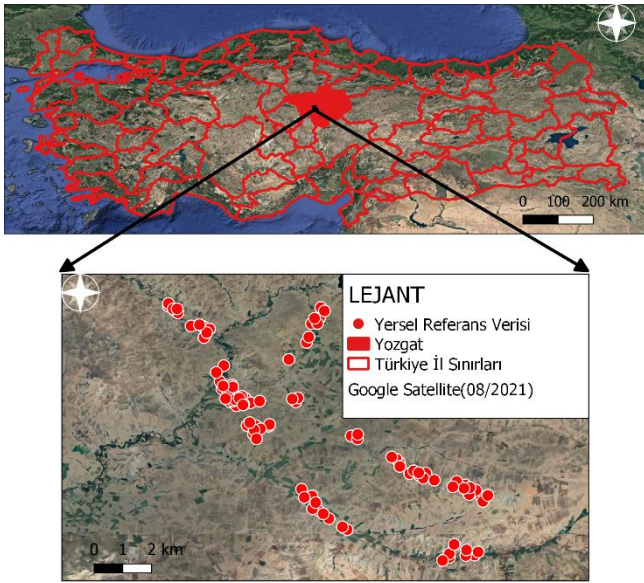
T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, çiftçilere arpa ve buğday ürünleri için çeşitli maddi desteklerde bulunmaktadır. Bu desteklerin verilmesinde çiftçilerin beyanı temel alınmaktadır. Tarımsal desteklerinin usulüne uygun kullanıldığının kontrolü, destek alan çiftçi sayısının fazlalığı, personel eksikliği, zaman ve maliyet gibi nedenlerden dolayı mümkün olmamaktadır. Ancak, parsel bazlı olarak tarımsal desteklerin denetlenmesi uydu görüntüleri ve görüntü işleme metotları ile mümkündür.

Bu çalışmada Yozgat ili Merkez ilçesinde bulunan arpa ve buğday ekili parsellerin, Sentinel-2A ve Sentinel-2B uydu görüntüleriyle zamansal olarak incelenmesi yapılmıştır. Bu kapsamda, saha çalışmaları ile toplanan yersel referans verilerinin doğruluğunun bulunması ve hatalı olarak etiketlenen parsellerin belirlenmesinin yapılabilirliği uydu görüntüleri kullanılarak belirli kurallar dahilinde araştırılmıştır. Ayrıca, işlem adımlarının kullanıcıdan minimum girdi olarak bir programlama dilinde otomasyonunun nasıl gerçekleştirilebileceği ortaya konmuştur.

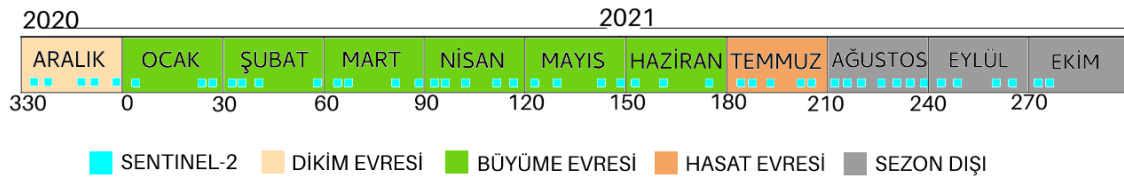
2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma alanı

Çalışma alanı Yozgat iline ait Merkez ilçesidir ([Şekil 1](#)). Çalışma alanı sınırları 34°58' ve 35°06' doğu meridyenleri ile 39°29' ve 39°36' kuzey paralelleri arasındadır. Bu alanda Merkez ilçesine bağlı olarak Battal, Bayatören, Osmanpaşa, Özlüce, Sarınınören ve Yudan köyleri bulunmaktadır. Çalışma alanının rakımı yaklaşık olarak 1030 metredir. Köppen – Geiger iklim sınıflandırmasına göre Yozgat ili, Dsb tipi iklimine sahiptir ([Peel ve ark., 2007](#)). Bu iklim tipine sahip olan bölgelerde yazları sıcak ve kurak, kışları ise soğuk ve yağışlı geçmektedir.



Şekil 1. Çalışma Alanı (Merkez, Yozgat, Türkiye)



Şekil 2. Çalışma için temin edilen Level-2 Sentinel-2 uydu görüntülerinin arpa ve buğday bitkilerinin fenolojik evrelerine göre dağılımı. Sayılar yılın gününü ifade etmektedir.

2.2.2. Yersel referans verileri

Yersel referans verileri, çalışma alanında daha önce saha çalışmaları ile veri toplayan ticari bir firmadan TÜBİTAK 2209A projesi kapsamında satın alınmıştır. Referans verileri firma tarafından nokta formatında vektör verisi olarak ([Şekil 1](#)) sağlanmaktadır. Yersel referans verileri, her bir noktanın konumu dışında öznitelik verisi olarak gözlem tarihi, tarım ürününün ismi, toplanan bölgenin il, ilçe ve mahalle bilgilerini içermektedir. Çalışma kapsamında, firmadan nokta formatında 42 adet arpa ve 56 adet buğday ürün verisi olmak üzere toplamda 98 adet veri alınmıştır.

Daha sonra Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü'nün (TKGM) parsel sorgu uygulaması kullanılarak yersel referans verilerinin konumu ile çakışan parsellerin

2.2. Materyal

2.2.1. Sentinel-2 uydu görüntüleri

Sentinel-2 programı yeryüzü üzerinde sık gözlem toplaması için geliştirilmiştir ve iki uydudan oluşmaktadır. Sentinel-2A uydusu, 23 Haziran 2015'te ESA tarafından fırlatılmış ve 10 günlük bir tekrar döngüsü ile güneşle senkronize bir yörüngede çalışmaktadır. İkinci bir özdeş uydu olan Sentinel-2B 7 Mart 2017'de fırlatılmıştır. Birlikte her 5 günde bir Dünya'nın tüm kara yüzeylerini, büyük adalarını, iç ve kıyı sularını kapsayacak şekilde görüntüler edinmektedirler ([URL-1](#)). Ülkemizde Sentinel-2 uydu görüntüleri farklı illerde birçok tarım ürününün desenini çıkartmak için yoğun bir şekilde kullanılmıştır ([Altun ve Türker, 2021](#); [Tunca ve Köksal, 2021](#); [Narin ve ark., 2018](#); [Bostancı ve ark., 2021](#); [Apaydın ve Abdikan, 2021](#)).

Yozgat ilinde arpa ve buğday ekimine ekim ayı ortalarında başlanıp en geç kasım ayı ortalarında bitirilmektedir. Hasat işlemi ise temmuz ayının ilk haftası ve ortasında yapılmaktadır ([URL-2](#)). Kasım ayı arpa ve buğday dikim ayı olması nedeniyle çalışma zamanının başlangıcı aralık ayı olarak seçilmiştir. Arpa ve buğday kış dönemi ürünü olduğu için diğer yaz dönemi ürünlerinden kolay ayırt edilmesi amacıyla çalışmanın bitiş zamanı ise ekim ayının ortası olarak seçilmiştir. Bu nedenle 4 Aralık 2020 – 10 Ekim 2021 tarihleri arasında çalışma alanını içeren T36SXJ çerçevesindeki Level-2 Sentinel-2 uydu görüntüleri Copernicus Open Access Hub'tan indirilmiştir. Toplamda bulutluluk oranı %90'dan az olan 46 tane Sentinel-2 uydu görüntüsü indirilmiştir. Temin edilen uydu görüntülerinin tarihsel yayılımı [Şekil 2](#)'de gösterilmiştir.

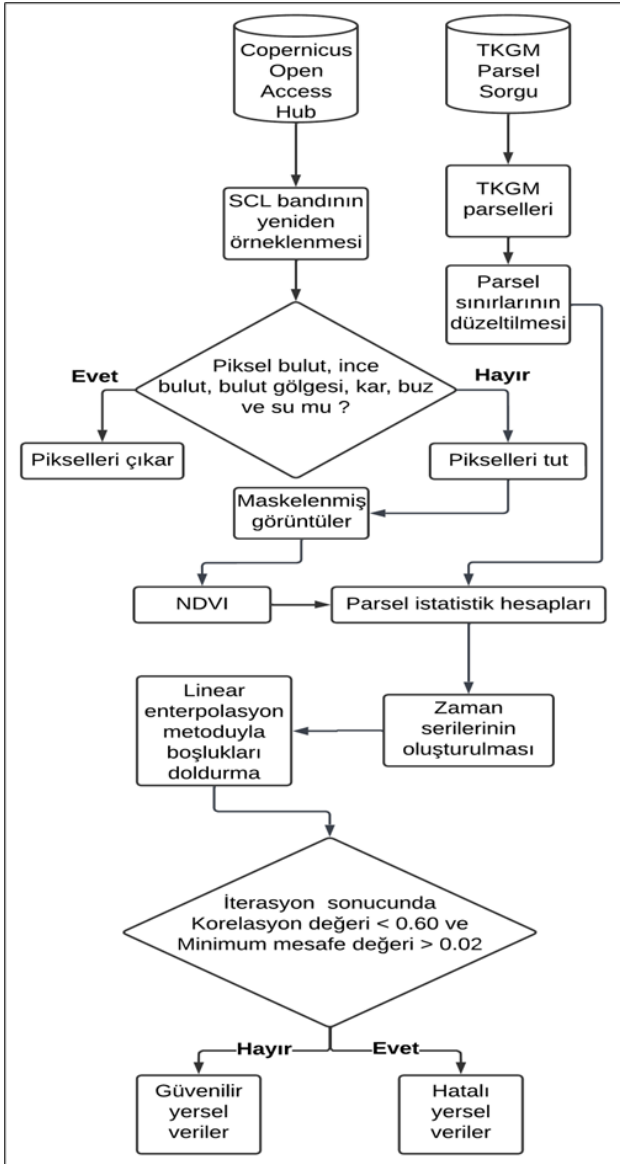
sınırları indirilmiştir. Toplamda 98 tane poligon formatında parsel sınırı indirilmiştir.

2.3. Yöntem

İlk aşamada %90'dan az bulutlu görüntüler Copernicus Open Access Hub'tan indirildikten sonra bir dizin altında toplanmaktadır. Bu dizin içerisindeki tüm görüntülerin 3., 4. ve sahne sınıflandırma katmanı (SCL) bantları her bir tarih için bulunduktan sonra, 3. ve 4. bantlar SCL bandından oluşturulan bulut maskesi ile maskelenmektedir. Daha sonra maskelenmiş bantlar ile NDVI hesabı yapılmaktadır ve sonuç bilgisayara yazdırılmaktadır. Dizindeki tüm NDVI hesapları bittikten sonra parsel sınır dosyası kullanılarak her bir parsel için NDVI zaman serileri oluşturulmaktadır. Daha sonra

maskeleye nedeniyle oluşan parsel zaman serilerindeki boşluklar lineer enterpolasyon yardımı ile doldurulmaktadır. En son aşamada, iterasyon yöntemi ile arpa ve buğday için ayrı ayrı güvenilir parseller belirlenmektedir. İterasyon, belirlenen kurallar dahilinde atılacak parseller kalmayınca kadar devam etmektedir. İterasyon sonlandığında güvenilir olmayan parsellerin numaralarını diğer istatistik bilgileri ile ekranda göstermektedir.

Çalışmanın iş akışı Şekil 3'te verilmiştir. Bu iş akışında verilerin indirilmesi ve parsel sınırlarının düzeltilmesi dışındaki tüm adımların Python programlama dilinde yazılan programlar ile otomasyonu sağlanmıştır. SCL bandının yeniden örneklenip, bulutlu alanların maskelenmesi ve NDVI hesabı gün başına 1 dakikadan toplamda 46 dakika (46 gün x 1 dakika) sürmektedir. Toplam 98 parsel için 46 günlük görüntüden zaman serilerinin oluşturulması, bu serilerdeki boşlukların doldurulması, arpa ve buğday için iterasyon ile hatalı etiketlenen parsellerin bulunması toplam 30 dakika sürmektedir. Verilerin indirilmesi ve parsel sınırlarının düzeltilmesi dışındaki tüm iş akışı yaklaşık olarak 1 saatin az üzerinde sürmektedir.



Şekil 3. Çalışmanın iş akışı

2.3.1. Uydü görüntülerinin ön işlenmesi

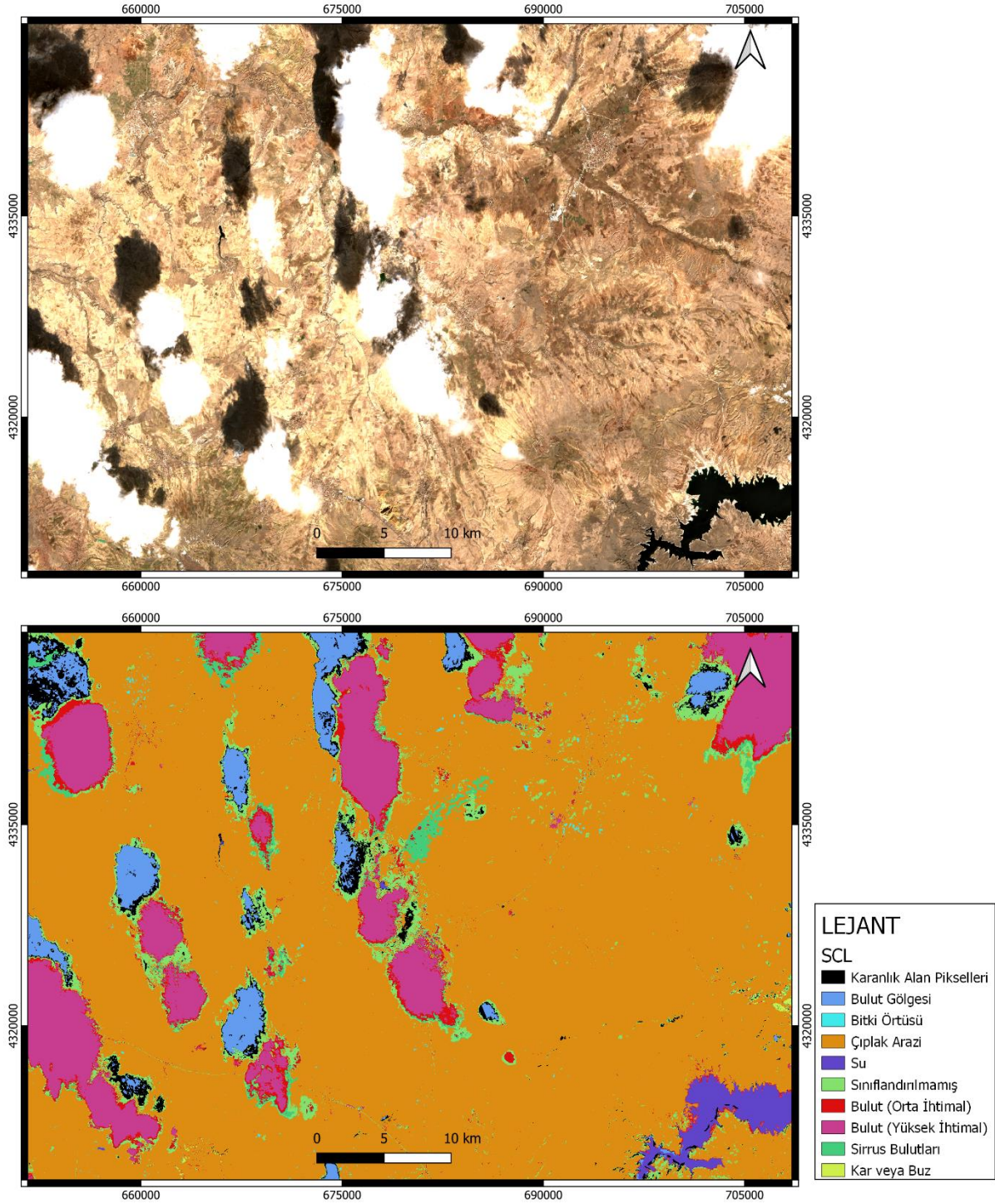
Bu aşamada Sentinel-2 bantlarının ön işlenmesi yapılmıştır. Bu ön işleme iki adımda gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, çalışmanın mekânsal çözünürlüğü 10m olduğu için 20m çözünürlüğündeki SCL bandı en yakın komşuluk algoritması (nearest neighbor) kullanılarak 10m çözünürlüğe örneklenmiştir. Bu işlem için Python dilinde Geospatial Data Abstraction Library (GDAL) kütüphanesi kullanılmıştır (Even ve ark., 2022). Ayrıca, jp2 uzantılı SCL bandının okunması ve elde edilen sonucun tif uzantılı bir dosyaya yazdırılması için Rasterio (Gillies, 2013) kütüphanesi kullanılmıştır.

İkinci aşamada, 10m'lik SCL bandı kullanılarak 3. ve 4. bantların maskeleyesi yapılmıştır. SCL bandında her piksel, bulut, sirus bulutu, bulut gölgesi, kar, buz, su, karanlık alanlar, bitki örtüsü, çıplak arazi ve sınıflandırılmamış alanlar gibi sınıflar ile etiketlenmiştir (Şekil 4). Çalışma kapsamında sadece SCL bandındaki bitki örtüsü ve çıplak arazi olarak etiketlenen pikseller kullanılmıştır. Bitki örtüsü ve çıplak arazi olmayan tüm pikseller, 3. ve 4. bantlarda -9999 değeri verilmiştir. Daha sonra bu -9999 değeri, 3. ve 4. Bant için veri olmayan piksel (nodata value) olarak tanımlanmıştır ve sonuçlar tif uzantılı dosyalara yazdırılmıştır. Bu işlem adımında bantların okunması ve sonuçların bilgisayara yazılması için Rasterio kütüphanesi kullanılmıştır. Bitki örtüsü ve çıplak arazi olmayan piksellerin çıkarılması ise Numpy (Harris ve ark., 2020) kütüphanesi ile yapılmıştır. Ön işleme aşamasının sonunda, bulutlarından arındırılmış 3. ve 4. bantların tif uzantılı dosyaları oluşturulmuştur.

2.3.2. TKGM parsel sınırlarının düzeltilmesi

Yersel referans verileri özel firma tarafından nokta formatında verildiğinden dolayı, ilgili olduğu tarım parselinin sınırlarına ihtiyaç duyulmuştur. Yersel referans verilerinin konumu kullanılarak parsel sınırları TKGM Parsel Sorgu uygulaması elde edilmiştir. Ancak, bu parsel sınırlarını düzeltme yapmadan kullanmak iki nedenden dolayı uygun değildir. İlki, çiftçilerin her zaman tüm parselde yayılacak şekilde ekim yapmamaları (Şekil 5) veya tek bir parselde birden fazla çeşit tarım ürünü dikmeleridir (Şimşek ve Durduran, 2023). İkinci durum ise, verilerin mekânsal çözünürlüğü 10m olduğu için parsel sınırı ile çakışan pikseller, parseldeki ürün sinyalinin yanı sıra komşu parseldeki ürünün sinyali ve iki parsel sınırında dikili olan ağaç veya çalıkların da sinyalini içermektedir. Ayrıca, bitişik nizam olmayan parsellerde sınır pikselleri yaklaşık 2.5-3m genişliğinde olan yolların sinyalini de içermektedir. Bu nedenlerden dolayı parsel sınırlarının yeniden düzenlenmesi gerekmektedir.

Şekil 5'te sınırları düzenlenmiş bir parsel örneği görülmektedir. TKGM parsel sınırları üst haritada 2021 yılına ait doğal renkli kompozit görüntü ile alt haritada ise 13 Mayıs 2021 tarihli NDVI haritası ile çakıştırılmıştır. Buna göre tüm parsel alanının sürülmediği ve sürülmeyen alanlarda herhangi bir ürün gelişim olmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4. 12 Şubat 2021 tarihli doğal renkli kompozit görüntü (üst harita) ve Sentinel-2 SCL bandı görüntüsü (alt harita)

2.3.3. Normalize edilmiş bitki indeksi

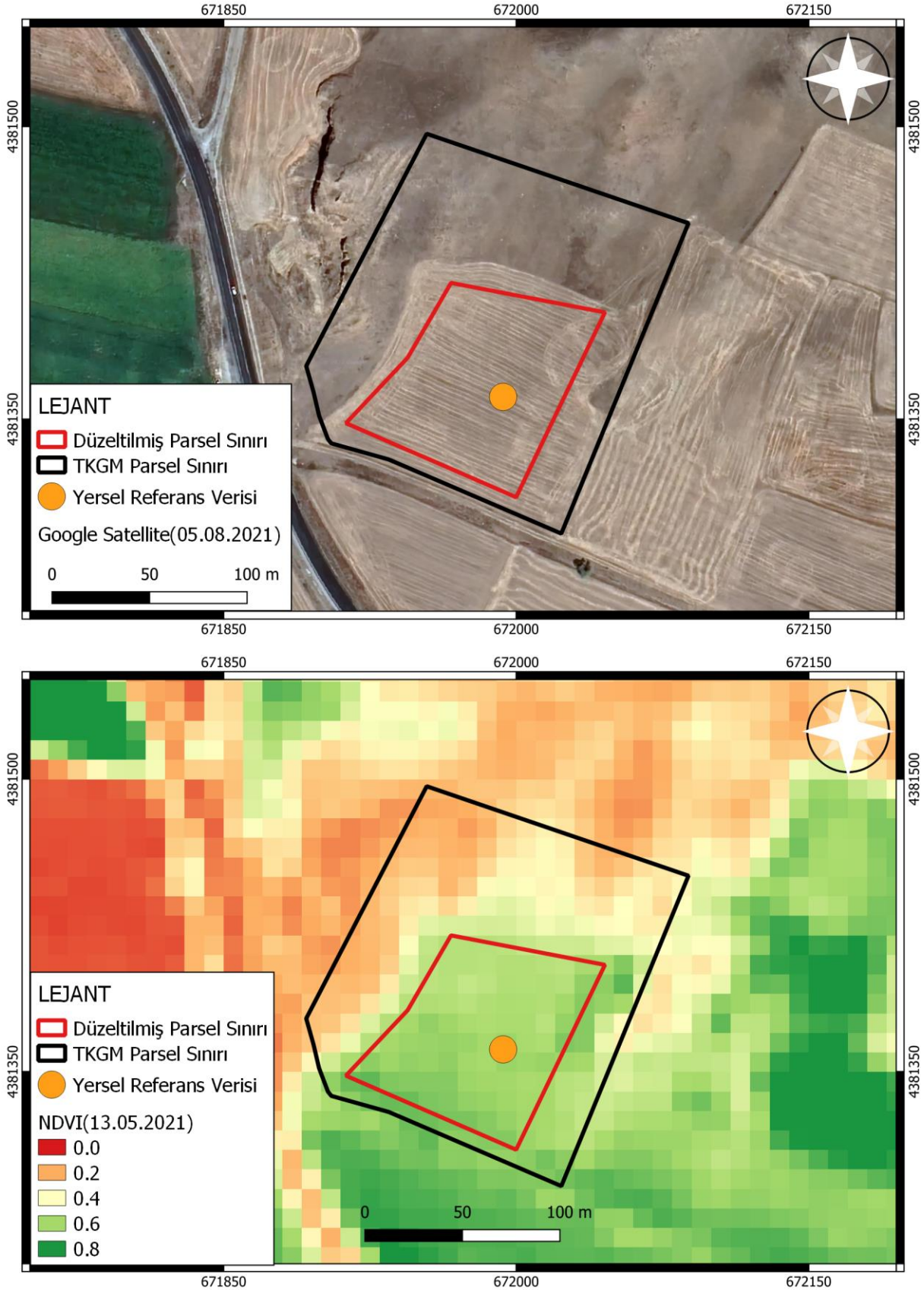
Ülkemizde daha önce arpa ve buğday üzerine yapılan çalışmalarda da yaygın olarak NDVI bitki indeksi kullanılmıştır (Gündoğdu, 2018; Gündoğdu ve Bantchina, 2018; Kaya ve Polat, 2021; Tuğaç, 2019). NDVI Eşitlik 1 ile hesaplanmaktadır.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

Bu formülde NIR ve RED sırasıyla kızılötesi ve kırmızı görünür bandı ifade etmektedir. NDVI değerleri -1 ile +1

arasında değişmektedir. Bitki örtüsü arttıkça indeks değerleri 1'e doğru yaklaşırken, bitki örtüsünün azaldıkça indeks değerleri düşmektedir.

Bu çalışmada 46 gün için Sentinel 2 uydusunun 10 m mekânsal çözünürlüğe sahip kırmızı ve kızılötesi bantları ile NDVI hesabı yapılmıştır. Üretilen NDVI haritalarından, SCL bandında çıplak arazi ve bitki örtüsü olmayan tüm bölgeler çıkarılmıştır. Örnek olarak, 12 Şubat 2021 tarihli bulut, bulut gölgeli ve saydam bulutlu (cirrus) kısımların çıkarıldıktan sonraki durum Şekil 6'da gösterilmektedir. Görüntülerin okunması, NDVI hesabı ve sonuçların bilgisayara yazılmasında Numpy ve Rasterio kütüphaneleri kullanılmıştır.



Şekil 5. TKGM parcel sorgudan indirilen parcel sınırlarının ve düzeltilen parcel sınırlarının 2021 tarihli doğal renkli kompozit görüntü (üst harita) ve tarihli NDVI görüntüsü ile gösterimi (alt harita)

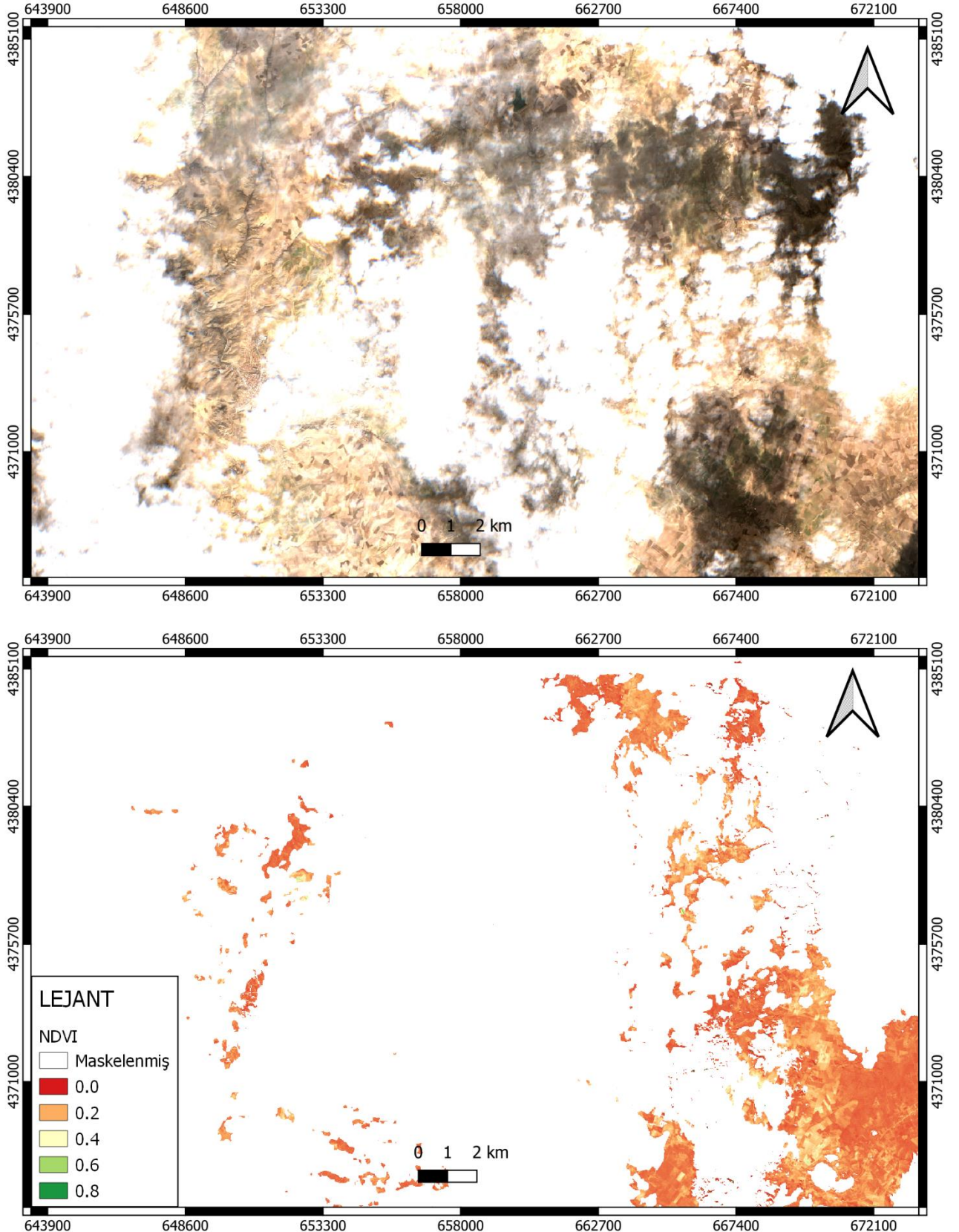
2.3.4. Zaman serilerinin oluşturulması ve değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında %90'dan az bulutlu toplam 46 tane görüntü bulunduğu için toplamda 46 tane NDVI

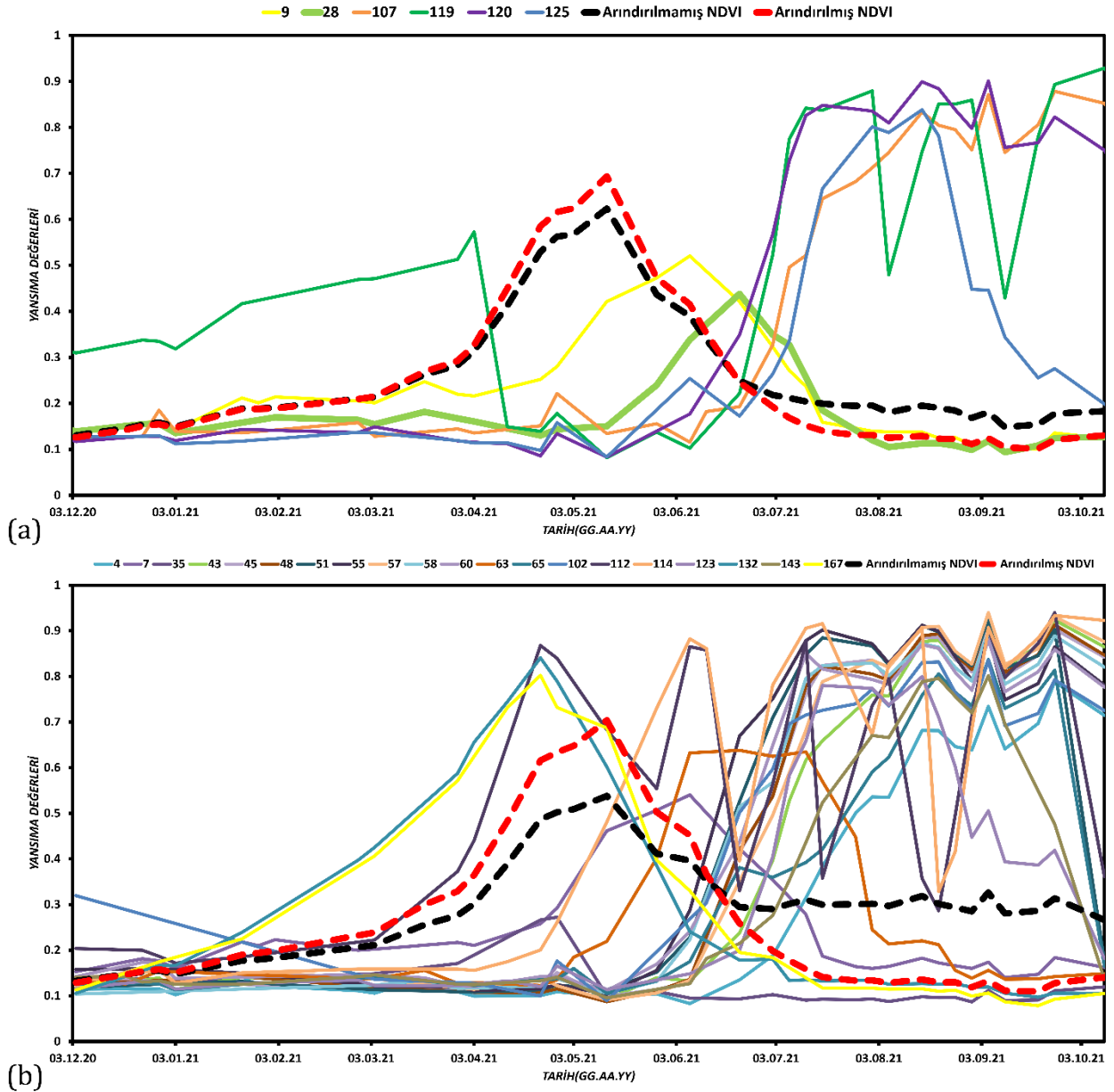
haritası üretilmişti. Parsel sınırları kullanılarak bu 46 NDVI haritasından her parselin parsel-ortalama NDVI değerleri çıkarılmıştır. 310 gün uzunluğundaki çalışma zamanı (4 Aralık 2020 ile 10 Ekim 2021) düşünüldüğünde toplamda 62 tane NDVI haritası olması

gereklidir. Ayrıca, verisi bulunan günlerdeki NDVI haritalarında maskeleme işleminden dolayı da boşluklar bulunmaktadır. Bundan dolayı zaman serilerinde oluşan boşluklar, her parselin 5 günde bir NDVI değeri olacak şekilde lineer enterpolasyon yöntemi ile doldurulmuştur. Doldurma işleminden sonra her parsel

için 62 tane NDVI değeri bulunan toplam 92 tane zaman serisi elde edilmiştir. Son olarak, buğday olarak etiketlenen 42 parselin zaman serilerinden ortalama arpa NDVI (Şekil 7a) ve 56 parselin zaman serilerinden de ortalama buğday NDVI (Şekil 7b) zaman serileri oluşturulmuştur.



Şekil 6. 12 Şubat 2021 tarihli doğal renkli kompozit görüntü (üst harita) ve SCL bandına göre maskelenmiş NDVI görüntüsü (alt harita)



Şekil 7. Referans veride arpa(a) ve buğday(b) dikili olarak belirtilen seçili parsellerinin NDVI zaman serileri

Parsellerin NDVI zaman serilerini ortalama ürün NDVI zaman serileri ile karşılaştırmak için Pearson korelasyon katsayısı (r) ve ortalama en yakın mesafe hesabı (d) olmak üzere iki farklı istatistik değeri kullanılmıştır. Çalışma alanında iklim koşullarına göre arpa ve buğday için ekim ve hasat zamanları birbirine yakın tarihler olduğu için ürünler fenolojik evrelere benzer zamanlarda ulaşacaktır. Bundan dolayı aynı ürün dikilen parseller arasında yüksek r değeri ortaya çıkacaktır. Ancak, çalışma alanında dikilen diğer kış ürünleri de ısınan hava ile arpa ve buğday NDVI zaman serileri benzer hareket göstereceği için r değeri tek başına yeterli gelmeyebilir. Farklı ürünler benzer fenolojik evrelere ulaştığında kanopi farklılığından dolayı farklı NDVI değerlere sahip olmaktadır. Bundan dolayı NDVI zaman serileri arasındaki mesafe, bu iki zaman serisini ayırt etmek için kullanılması gereklidir. Bu nedenden dolayı, d değeri de değerlendirmeye dahil edilmiştir. Özet olarak, benzer tarım ürünlerinin zaman serileri arasında aynı anda r değeri yüksek ve d değeri düşük olacağı beklenmektedir.

Buğday olarak etiketlenen parsellerin (56 tane) NDVI eğrilerinin ortalaması alınarak ortalama buğday NDVI eğrisi çıkarılmıştır. Daha sonra, her buğday parselinin NDVI zaman serisi teker teker bu ortalama buğday NDVI eğrisi ile r ve d değerleri kullanılarak karşılaştırılacaktır. Ancak, buğday olarak etiketlenen parsellerde hatalı parseller bulunduğu için ortalama buğday NDVI eğrisi tam anlamda buğday parsellerinden oluşmayacaktır ve zaman serileri arasındaki karşılaştırmadan hesaplanan r ve d değerleri üzerinde etkisi olacaktır. Bunun etkisini azaltmak için iterasyon ile sistematik olarak buğday ortalama NDVI eğrisi hesaplama yöntemi kullanılmıştır. Burada, başlangıç koşullarında 56 tane parselden hesaplanan ortalama buğday NDVI eğrisi ile en kötü r değerine sahip parsel bulunmaktadır ve bu parsel değerlendirmeden çıkarılmaktadır. İkinci iterasyon öncesi, ortalama buğday NDVI eğrisi, geriye kalan 55 tane buğday parselden hesaplanmaktadır. İkinci iterasyon sonunda, yine en düşük r değerine sahip parsel değerlendirilmeden çıkarılmaktadır. Bir sonraki iterasyonda, ortalama buğday NDVI eğrisi 54 tane

buğday parselinde hesaplanarak üçüncü iterasyona geçmektedir. Buğday için bu iterasyon, r değeri belli bir eşik değerine ulaşınca kadar devam etmektedir. En son iterasyonda herhangi bir parsel atılmayınca iterasyon sonlanmaktadır. Buğday için, aynı şekilde d değeri içinde iterasyon yapılmaktadır ve her iterasyon sonunda en yüksek d değerine sahip parsel iterasyondan atılmaktadır. Sonuçta d ve r değerleri için yapılan iterasyonlarda atılmayan parseller güvenilir buğday parseli olarak değerlendirilmektedir. Aynı işlemler arpa için yapılarak güvenilir arpa parselleri bulunmaktadır.

Parsellerin NDVI haritalarından parsel-ortalamaların çıkarılmasında Rasterstats kütüphanesi kullanılmıştır (Perry, 2015). Daha sonra NDVI zaman serilerinin oluşturulması ve doldurulması Pandas kütüphanesi (The Pandas Development Team, 2023) ile yapılmıştır. İstatistiksel hesaplar ise Numpy kütüphanesi ile yapılmıştır.

3. Bulgular

Çalışma kapsamında elde edilen bulgular iki başlık altında anlatılmıştır. İlk aşamada, elde edilen parsel zaman serilerinin görsel analizi yapılmıştır ve arpa ve buğday olmayacak parseller belirlenmiştir. İkinci aşamada ise, çalışma kapsamında geliştirilen yöntemde elde edilen sonuçlar ortaya koyulmuştur ve yöntemin doğruluğu hakkında bilgi verilmiştir.

3.1. Zaman serilerinin görsel olarak analizi

Daha önce ÇKS'ye kayıtlı parseller, görüntü sınıflandırma yöntemleri ile tarım ürünü deseni çıkarma çalışmalarında yersel referans verisi olarak kullanılmıştır (Altun ve Türker, 2021; Şimşek, 2016; Şimşek ve Durduran, 2023). Bu çalışmalarda ÇKS parsellerindeki ürün beyanlarının doğruluğu, parsellerin NDVI zaman serilerinin çalışma alanında ilgili tarım ürününün karakteristik NDVI eğrisi ile uyuşup uyuşmadığı kontrol edilerek belirlenmiştir. Karakteristik NDVI eğrisiyle uyuşmayan parseller kullanılacak yersel referans veri setinden çıkarılmıştır.

Bu çalışmalara paralel olarak, çalışma alanında arpa ve buğdayın karakteristik NDVI eğrileri oluşturulmuştur. Arpa ve buğday ürünlerinin karakteristik eğrileri sırasıyla tüm arpa ve buğday parsellerinin ortalaması bulunarak oluşturulmuştur (Şekil 7). Ayrıca, çalışma alanında arpa ve buğday tarım ürünlerinin yaklaşık ekim (Kasım ayı içinde) ve hasat zamanları (Temmuz başı ile ortası) da bilinmektedir (URL-2). Bir parseldeki ürünün büyüme başlangıcı kabaca parselin NDVI değeri 0,2'yi aştığındaki ilk tarih ve hasat edildiği zaman ise parselin NDVI değeri 0,2'nin altına düştüğündeki ilk tarih olarak kabul edilmiştir.

Bu bilgiler ışığında, karakteristik NDVI eğrilere yakın olmayan arpa parsellerinin NDVI zaman serileri Şekil 7a'da ve buğday için Şekil 7b'de gösterilmiştir. Her parseli anlatımı kolay olması açısından ID'ler verilmiştir. Karakteristik NDVI eğrilerine yakın olan parsellerin NDVI zaman serileri Şekil 7'de gösterilmemiştir. Şekil 7a'ya göre, 107, 119, 120 ve 125 no'lu parsellere arpa yerine yaz tarım ürünleri ekildiği görülmüştür. Bu parsellerde, mayıs ve haziran aylarında herhangi bir bitki gelişimi

olmamıştır. Parseller en yüksek NDVI değerlerine temmuz ve agustos aylarında erişmiştir.

28 nolu parselin ise arpa olmayan bir kış ürünü olduğu görülmüştür. Bu parselde NDVI en yüksek değere, çalışma alanı için arpa hasat zamanına çok yakın tarihte ulaşmıştır. Ayrıca, büyüme evresi arpa ürününe göre çok daha kısadır.

9 no'lu parselin NDVI zaman serisi ile ortalama arpa NDVI eğrisi arasında yaklaşık 2 hafta gecikmeli ilişki görülmektedir. Bu parselin yaklaşık hasat zamanı, zaman serilerinden temmuz ortası olarak belirlenmiştir ve çalışma alanında görülen arpa hasat zamanı (Temmuz başı ve ortası) ile uygundur (URL-2). Ayrıca, büyüme evresinin uzunluğu, çalışma alanı için arpa ürününün karakteristik büyüme evresinin uzunluğu ile de benzerdir. Bundan dolayı, 9 no'lu parsel geç ekim arpa olarak değerlendirilmiştir.

En son olarak, başlangıçta üretilen ve arpa olmayan parselleri de içeren ortalama arpa NDVI eğrisi (arındırılmamış NDVI) ile karşılaştırmak için 28, 107, 119, 120 ve 125 no'lu parselleri içermeyen ortalama arpa NDVI eğrisi (arındırılmış NDVI) hesaplanmıştır ve her iki eğri Şekil 7a'da gösterilmiştir. Arpa olmayan parsellerin çıkarılmasından sonra çalışma alanındaki ortalama arpa NDVI eğrisinin değiştiği görülmüştür. Bu eğriye göre, 2021 yılında çalışma alanında arpa'nın gelişimi mart ayı başında başlamıştır ve mayıs ortasında en yükseğe çıkmıştır. Ortalama hasat zamanı ise temmuz başı olarak görülmüştür.

Arpa ürününe benzer şekilde, buğday olmayan parseller görsel olarak belirlenmiştir. 4, 43, 45, 48, 51, 55, 57, 58, 60, 63, 65, 102, 123, ve 143 no'lu parsellerin zaman serileri incelendiğinde NDVI değerlerinin nisan ve mayıs ayları yerine temmuz ve ağustos aylarında en yüksek değere ulaştığı görüldüğü için bu parsellere buğday yerine yaz tarım ürünü ekildiği anlaşılmıştır (Şekil 7b).

35 no'lu parselde herhangi bir bitki büyümesi görülmediği için bu parselin nadasa bırakıldığı görülmektedir. Bu parselde en yüksek NDVI değeri 0.27 olarak kaydedilmiştir.

112 ve 114 no'lu parsellerin zaman serileri incelendiğinde NDVI değerlerinin belli bir yüksek değerden düşüp bir ay sonra tekrar aynı yüksek değere yükseldiği görülmektedir. Bu durum parsel zaman serilerinde dört kez yaşandığı için bu parsellerde büyüme sezonu içinde birçok kez hasat yapıldığı anlaşılmaktadır. Zaman serilerinin hareketlerinden bu parsellerde yonca, fiğ ve korunga gibi yem bitkisi ekili olduğu değerlendirilmiştir.

7 no'lu parsel zaman serileri incelendiğinde, çalışma alanındaki ortalama buğday hasat zamanından 2 hafta sonra temmuz ortası gibi hasat edildiği görülmektedir. Aynı zamanda, büyüme sezonunun uzunluğu ortalama buğday büyüme sezonu uzunluğu ile çok benzer olduğu için 7 no'lu buğday parseli olarak değerlendirilmiştir.

132 ve 167 no'lu parselleri en yüksek NDVI değerine nisan ayının 3. haftası gibi ulaşmıştır ve parsellerde hasat yaklaşık olarak haziranın 3. haftasında yapıldığı görülmektedir. Ortalama buğday parsellerine kıyasla, bu parsellerdeki buğday 2 hafta öncesinde en yüksek NDVI değerine ulaştığı ve 1 hafta erken hasat edildiği görülmektedir. Benzer büyüme evresi uzunluğu da

dikkate alındığında bu iki parselde ekilen tarım ürünü, erken ekim buğday olarak değerlendirilmiştir.

En son olarak, buğday olmayan parsellerin NDVI değerleri ortalamadan çıkartılarak çalışma alanı için ortalama buğday NDVI eğrisi (arındırılmış NDVI) hesaplanmıştır ve buğday olarak etiketlenen tüm parsellerin NDVI ortalama eğrisi (arındırılmamış NDVI) ile **Şekil 7b**'de birlikte gösterilmiştir. Buğday verisinde hatalı parsellerin çokluğu nedeniyle arındırılmamış NDVI ile arındırılmış NDVI arasında arpa parsellerine göre daha büyük fark görülmektedir. Çalışma alanında, arpa'ya benzer şekilde buğday gelişimi mart ayı başında başlamıştır ve mayıs ortasında en yükseğe çıkmıştır. Ortalama hasat zamanı ise temmuz başı olarak görülmüştür.

Özetle, zaman serileri görsel olarak incelendiğinde arpa olarak etiketlenen 42 parselin 5'inde arpa ve buğday olarak etiketlenen 56 parselin 17'sinde buğday ekilmediği görülmüştür. 28, 107, 119, 120 ve 125 no'lu parsellerde ve 4, 35, 43, 45, 48, 51, 55, 57, 58, 60, 63, 65, 102, 112, 114, 123, ve 143 no'lu parsellerde buğday ekilmediği belirlenmiştir. Arpa için yersel verilerin doğruluk oranı %88 olmasına karşın buğday için bu oran %70 olarak hesaplanmıştır.

3.2. Yöntemin değerlendirilmesi ve doğrulanması

Çalışma alanında her ürün için ortalama NDVI eğrileri oluşturulmuştu ve **Şekil 7**'de arındırılmamış NDVI eğrisi olarak isimlendirilmişti. Ancak bu ortalama eğri hatalı parselleri de içerdiği için hatalı parseller çıkarıldıktan sonra hesaplanan ortalama NDVI eğrileri arasında büyük farklar görülmüştü (**Şekil 7**). Bundan dolayı, çalışma kapsamında, yersel referans verilerin doğruluğunun değerlendirilmesi için iki farklı yöntem kullanılmıştır. İterasyonsuz olarak adlandırılan yöntemde her parselin NDVI eğrileri teker teker arındırılmamış NDVI olarak adlandırılan ortalama ürün eğrisi ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada ortaya çıkan r ve d değerleri sırasıyla arpa ve buğday için **Tablo 1** ve **Tablo 2**'de verilmiştir. Çalışma kapsamında geliştirilen iterasyon eleme yönteminin sonuçları da sırasıyla arpa ve buğday için **Tablo 1** ve **Tablo 2**'de verilmiştir. Her iki yöntemden elde edilen r ve d değerlerinin sayısal gösterimi ise arpa için **Şekil 8**'de ve buğday için **Şekil 9**'da verilmiştir.

Parsellerin gerçekte arpa ve buğday dikili olduğunu belirlemek için çalışma alanındaki ortalama NDVI eğrileri ile r ve d değerleri hesaplanmıştır. Kullanılacak olan r ve d için eşik değerleri sırasıyla 0.6 ve 0.02 olarak belirlenmiş ve **Şekil 8** ve **Şekil 9**'daki gibi parsellerin r ve d değerleri ile birlikte gösterilmiştir. Bu eşik değerlerin belirlenmesinde görsel analiz ile hatalı olarak etiketlenen

arpa ve buğday parselleri kullanılmıştır. Her istatistik için bir eşik değeri belirlenmiş ve her iki ürün için bu değerler test edilmiştir.

Arpa parselleri için iterasyonsuz ile iterasyonlu yöntem sonuçları arasında herhangi bir fark görülmemiştir (**Tablo 1**). Görsel analizde hatalı olarak belirlenen 28, 107, 119, 120 ve 125 no'lu parsellerin r değerleri eşik değerinin (0.6) çok altında ve d değerleri ise eşik değerinin (0.02) çok üstünde değerler aldığı için kolayca ayırt edilmektedirler. Diğer parsellerin r ve d değerleri sırasıyla 0.9'un üstünde ve 0.015'in altındadır. Diğer arpa parsellerine göre geç hasat edilen 9 no'lu arpa parselinin r ve d değerleri sırasıyla 0.7 ve 0.012 olarak hesaplanmıştır.

Buğday parselleri için iki yöntem ile farklı sonuçlar elde edilmiştir (**Tablo 1**). Görsel analizde buğday ekili olarak belirlenen 105, 106, 108, 140, 141, 132, 163, 167 no'lu parseller, iterasyonsuz yöntem ile değerlendirme sonucu buğday ekili değil diye sınıflandırılmıştır (**Tablo 2**). Bunlardan, 105, 106, 108, 140 ve 163 no'lu parsellerin d değerleri eşik değeri aşması nedeniyle buğday ekili değil diye değerlendirilmiştir. 132, 141 ve 167 no'lu parseller ise hem d değerlerinin eşik değerden büyük hem de r değerlerinin eşik değerden küçük olması nedeniyle iterasyonsuz yöntemde buğday ekili değil diye değerlendirilmiştir. Ancak bu parseller görsel analizde erken ekim buğday olarak bulunmuştu. Ayrıca, görsel analizde yem bitkisi diye etiketlenen 112 no'lu parsel, iterasyonsuz yöntemde r değeri eşik değerinin üstünde ve d değeri 0.02'den yüksek çıkmıştır. Sadece r değeri kullanılarak yöntemde karar verilseydi bu parsel buğday ekili olarak değerlendirilecekti. Ancak, son aşamada her iki istatistik değeri karar vermede kullanıldığı için bu parsel buğday ekili değil diye bulunmuştur.

Buğday parsellerinde iterasyonsuz yöntemde karşılaşılan tüm hatalar iterasyonlu karşılaştırma yönteminde giderilmiştir (**Şekil 9**). Görsel analizde buğday olmayan parsellerin başarılı bir şekilde buğday olmadığı belirlenmiştir. Erken ekilen ve gelişim gösteren buğday parselleri iterasyonsuz yöntemde olduğu gibi buğday değil diye yanlışlıkla atılmamıştır. Ayrıca, iterasyonlu yöntemde buğday parsellerinin r değerleri iterasyonsuz yöntemdeki r değerlere göre daha yüksektir ve eşik değerinin çok üstündedir. Aynı şekilde, d değerleri iterasyonsuz yöntemde göre daha düşük ve eşik değerinin çok altındadır. Buğday olmayan parsellerde ise bu durumun tersi görülmüştür. İterasyonlu yöntemde buğday olmayan parsellerin r değerleri düşmüş ve d değerleri yükselmiştir (**Şekil 9**). Özetle, iterasyonlu yöntemde her parselin r ve d değerleri eşik değerlerden uzaklaştığı için karar vermek daha kolaylaşmıştır.

Tablo 1. Arpa dikili parsellerin iki farklı metot kullanılarak doğruluğunun belirlenmesi

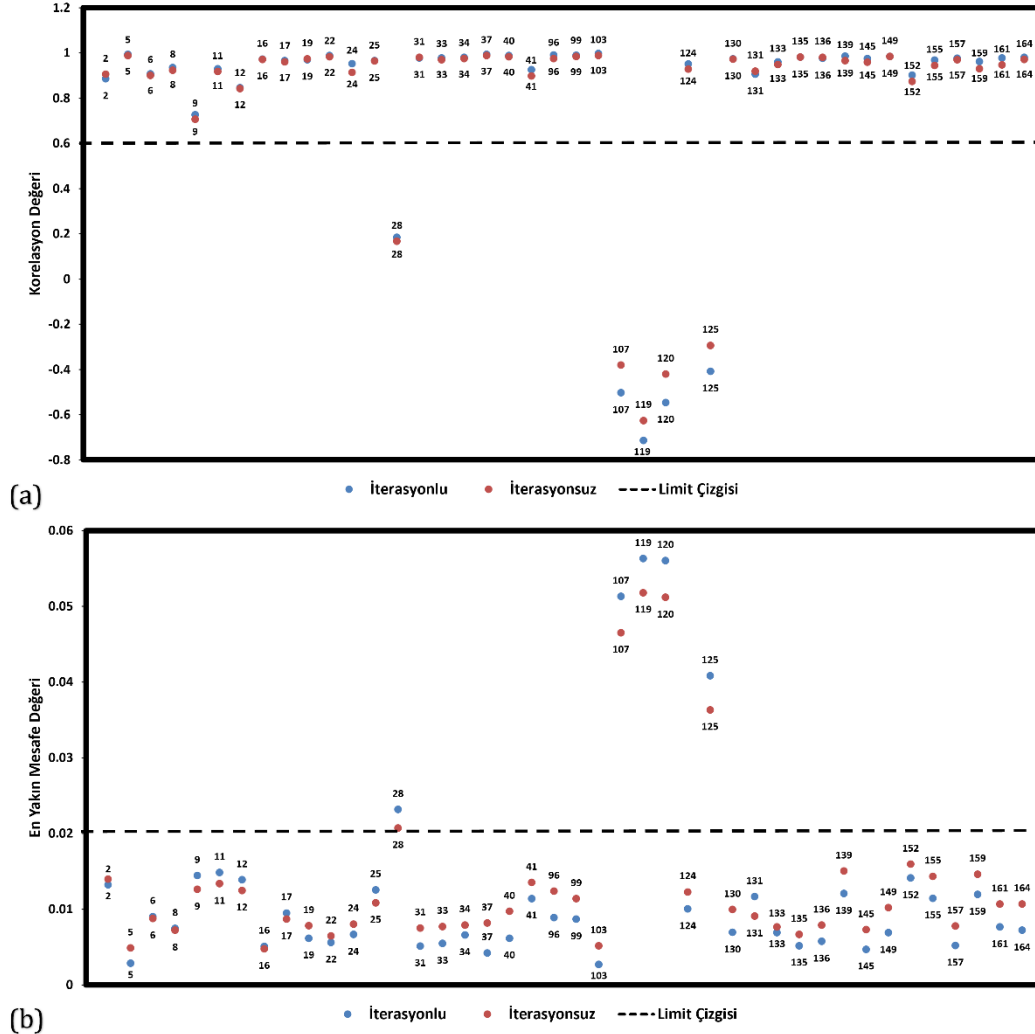
Parsel ID	Korelasyon		En Yakın Mesafe	
	İterasyonsuz	İterasyonlu	İterasyonsuz	İterasyonlu
9				
28	x	x	x	x
107	x	x	x	x
119	x	x	x	x
120	x	x	x	x
125	x	x	x	x

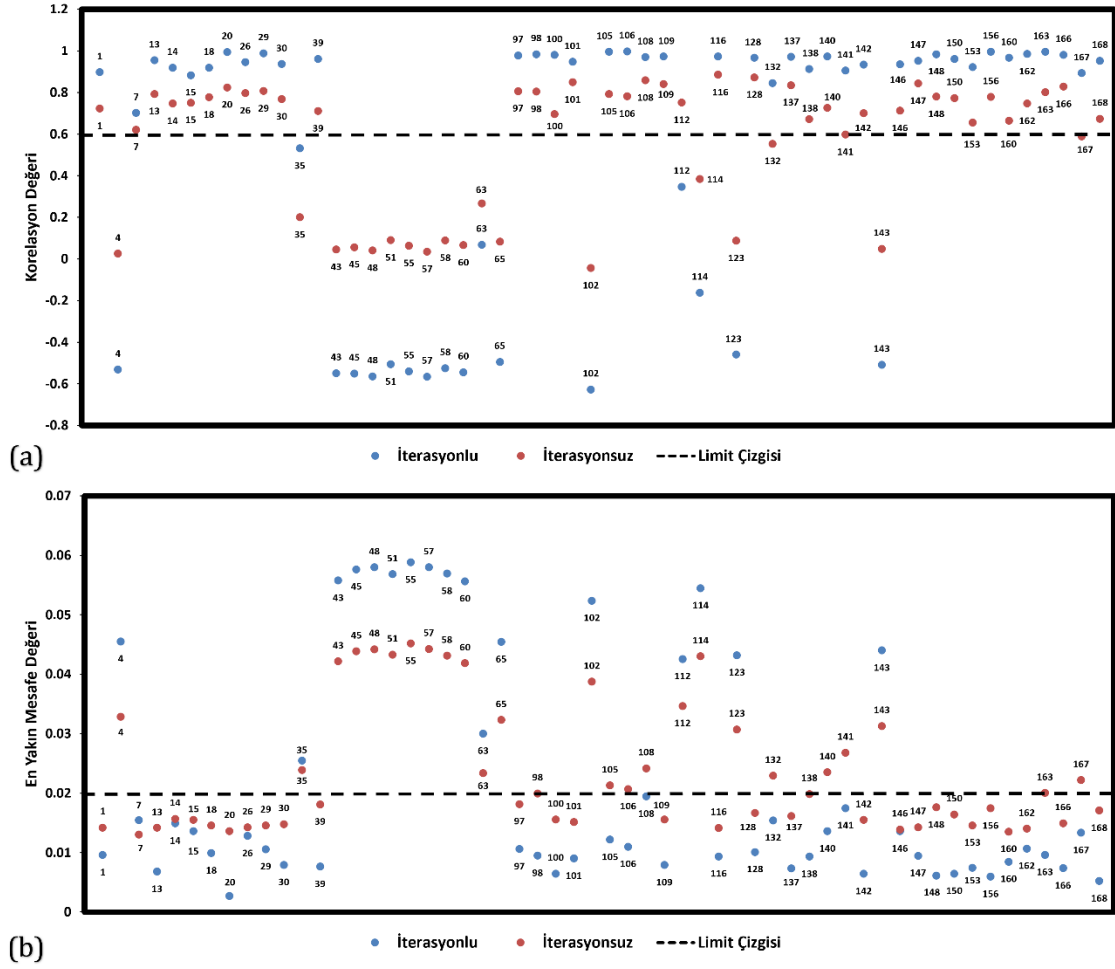
Referans veriden çıkarılan parseller x ile gösterilmiştir.

Tablo 2. Buğday dikili parsellerin iki farklı metot kullanılarak doğruluğunun belirlenmesi

Parsel ID	Korelasyon		En Yakın Mesafe	
	İterasyonsuz	İterasyonlu	İterasyonsuz	İterasyonlu
4	X	X	X	X
7				
35	X	X	X	X
43	X	X	X	X
45	X	X	X	X
48	X	X	X	X
51	X	X	X	X
55	X	X	X	X
57	X	X	X	X
58	X	X	X	X
60	X	X	X	X
63	X	X	X	X
65	X	X	X	X
102	X	X	X	X
105			X	
106			X	
108			X	
112		X	X	X
114	X	X	X	X
123	X	X	X	X
132	X		X	
140			X	
141	X		X	
143	X	X	X	X
163			X	
167	X		X	

Referans veriden çıkarılan parseller x ile gösterilmiştir

**Şekil 8.** Arpa olarak etiketlenen parsellerin metot türüne göre korelasyon (a) ve en yakın mesafe (b) değişimleri



Şekil 9. Buğday olarak etiketlenen parsellerin metot türüne göre korelasyon (a) ve en yakın mesafe (b) değişimleri

4. Tartışma

Ülkemizde uydu verileri ile yapılan daha önceki çalışmalarında arpa ve buğday parselleri birbirinden ayrılmayarak ya arpa-buğday (Torunlar ve ark., 2021) ya da hububat olarak sınıflandırılmıştır (Şimşek ve Durduran, 2023). Şekil 10a 'ya göre arpa ve buğday parsellerinden hatalı etiketlenen parseller ayrılmadan önce arpa ve buğdayın büyüme evrelerinin ortası (Nisan-Mayıs) kullanılarak ayrılabilmesi gibi bir izlenim yaratmaktadır. Ancak, hatalı etiketlenen parsellerin ayrılması ile (Şekil 10b) arpa ve buğdayın NDVI eğrileri arasında çok küçük bir ayrışım görünmektedir ve bu iki ürünün birbirinden ayırt edilmesinin çok zor olduğu görülmektedir. Bu duruma paralel olarak, bitki indeksi zaman serileri kullanılarak buğday, kolza tohumu ve sarımsak ekili parselleri birbirinden ayrılmayarak kış ürünleri olarak haritalandırılmıştır (Tian ve ark., 2019). Aynı şekilde, arpa, çavdar, buğday ve tritikale ürünleri kış bitkileri altında toplanarak sadece kolza tohumundan ayrılması üzerine çalışmalar yapılmıştır (Huang ve ark., 2022). Benzer olarak, buğday ve arpa ekili parseller tek bir sınıf altında tahıl olarak haritalandırılmıştır (Belgiu ve Csillik, 2018). Buna karşın, başka bir çalışmada arpanın buğdaya göre yaklaşık 2 hafta erken büyüme evresine geçtiği ve hasat edildiği gözlemlendiği için arpa ve buğday olarak ayrı sınıflandırılmıştır (Foerster ve ark., 2012). Ancak, bu çalışmada kullanılan arpa ve buğday zaman serileri çalışılan bölgenin ortalama eğrileri olduğu

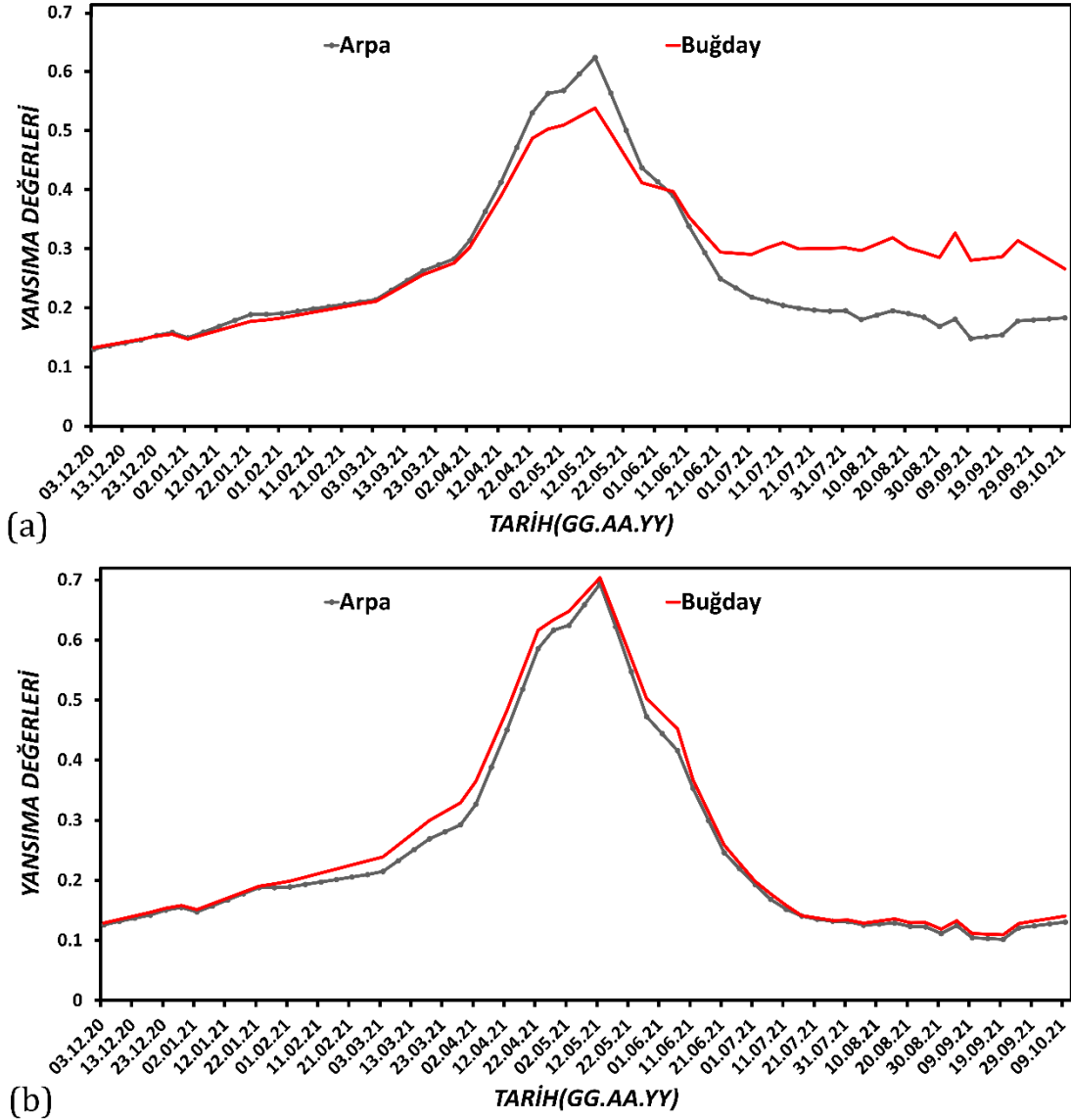
düşünmemekteyiz. Bunun nedeni ise kendi çalışma alanımızda bazı arpa (9 no'lu parsel) ve buğday parsellerin (132 ve 167 no'lu parseller) NDVI eğrileri arasında iki haftalık bir büyüme farkı gözlemlenmiştir ancak bu durum sadece tek tük parseller için geçerlidir. Tüm arpa ve buğday parsellerin (Şekil 10b) ortalama NDVI eğrisi hesaplandığında bu fark ortadan kalkmıştır. Ondan dolayı, ilgili arpa ve buğday sınıflandırma çalışmasında %65 gibi çok düşük bir doğruluk elde edilmiştir (Foerster ve ark., 2012).

Yem bitkisi olarak değerlendirilen 112 no'lu parselin ilk hasat öncesindeki büyüme evresi ile buğday büyüme evresi yaklaşık olarak çakıştığı için (Şekil 11) bu parselin NDVI eğrisi ile çalışma alanındaki ortalama buğday NDVI eğrisi (arındırılmamış NDVI) arasında eşik değerinde 0.75 r değeri vermiştir. Ancak, iki zaman serisi, yüksek korelasyon değerine karşın eşik değerinde d değeri vermiştir. Burada önemli olan, karar verme aşamasında kriter olarak iki istatistiğin birlikte kullanılması gerekliliğidir.

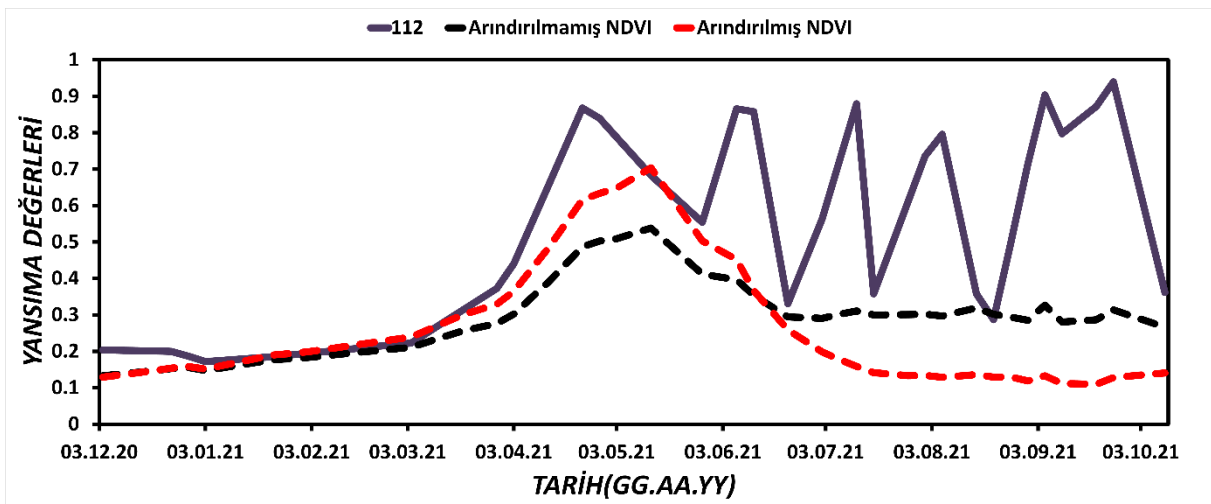
Çalışmanın zaman aralığı hem yaz ürünlerinin hem de kış ürünlerinin büyüme evresini kapsayacak şekilde 4 Aralık 2020 ile 10 Ekim 2021 tarihleri arası olarak seçilmiştir. Bunun için çalışma zaman aralığını arpa ve buğday ekim ve hasat zamanı arasındaki tarihlerle (4 Aralık 2020 ile 17 Temmuz 2021) sınırlandırdığında elde edilen sonuçlarda bir farklılık olup olmadığını araştırılmıştır. Diğer bir deyişle kullanılan uydu görüntülerinin sayısı azaltılmasının sonuçlara etkisi

incelenmiştir. Bu durumda arpa ve buğday parsellerinin ayırt edilmesi her iki yöntemde de zorlaşmıştır. Örneğin, 112 no'lu parselin arındırılmamış NDVI ve arındırılmış NDVI ile olan r değeri sırasıyla 0.88 ve 0.75'e çıkmıştır ve

her iki yöntemde buğday olarak değerlendirilmiştir. Ondan dolayı, çalışma zamanı kış ve yaz tarım ürünlerinin büyüme sezonlarını kapsayacak uzunlukta olması gerektiği değerlendirilmiştir.



Şekil 10. Çalışma alanındaki tüm arpa ve buğday parselleri kullanılarak elde edilen ortalama arpa ve buğday NDVI eğrileri (a) ve hatalı parseller çıkartıldıktan sonra oluşturulan ortalama NDVI eğrileri (b)



5. Sonuçlar

Bu çalışmada saha çalışmaları ile toplanmış olan arpa ve buğday parsellerine ait yersel referans verilerin ön işleme ve kontrolü Sentinel-2 görüntüleri ile sağlanmıştır. Uydu görüntüsü indirme ve parsel sınırlarının düzeltilmesi aşamaları hariç tüm adımların otomasyonu Python dilinde yazılan kodlar ile sağlanmış olup başlangıç olarak kullanıcının veri seti içerisinde herhangi bir parseli elle seçim veya kodun çalışma esnasında akışa herhangi bir müdahalesi gerekmemektedir.

Bu çalışma kapsamında zaman serisi yöntemleri kullanılmıştır. Zaman serilerindeki zamansal çözünürlüğü arttırmak adına, bulutlu ve bulutsuz olan tüm Sentinel-2 görüntüleri kullanılmıştır. Daha sonra, görüntüdeki bulutlu ve bulut gölgeli kısımların analizden çıkarılması ile oluşan boşluklar lineer interpolasyon yardımı ile doldurulmuştur. Böylelikle parsel başına her 5 günde bir NDVI değeri elde edilmiştir. En son olarak, zaman serileri arasında iteratif olarak korelasyon ve en kısa mesafe kullanılarak yersel referans verilerindeki hatalı olarak etiketlenen parseller bulunup veri setinden çıkarılmıştır. Ayrıca, geliştirilen metodoloji ile arpa ve buğday olarak beyan edilip ama herhangi bir ürün dikilmeyen parseller de yerel referans veri setinden çıkarılmıştır.

Çalışma kapsamında, parsel sınırları ile dikkat edilmesi gereken bazı durumlar gözlemlenmiştir. Bunlardan en önemlisi TKGM parsel sorgudan indirilen parsel sınırlarının herhangi bir düzeltme yapılmadan uydu görüntülerinden bitki indeksi zaman serileri çıkarılması için kullanımının uygun olmadığı görülmüştür. Bunun nedenlerinden ilki, çiftçilerin her zaman tüm parseli yayılacak şekilde ekim yapmamaları veya tek bir parseli birden fazla çeşit tarım ürünü ekmeleridir (Şimşek ve Durduran, 2023). İkincisi ise parsel sınırları ile çakışan Sentinel-2 uydu görüntüsünde piksellerin tarım ürünü sinyalinin dışında farklı arazi örtüsü (yol gibi) sinyalini içermesidir.

Bu çalışmanın ana amacı, saha çalışmaları ile toplanan yersel referans verilerinin ön kontrolünün belli kurallar dahilinde otomatik olarak gerçekleştirilmesidir. Ancak, arpa ve buğday desteklerinden yararlanan çiftçilerin herhangi bir sınıflandırma algoritması kullanmadan ÇKS'ye beyanlarının kontrolü için de kullanılabilir olduğunu düşünmekteyiz. Bu doğrultuda, ileriki çalışmalarda tarım ürünleri için yeni yersel referans verileri elde ettiğimizde, geliştirilen metodolojinin farklı veri setleri ile test edilmesi planlanmaktadır.

Bu çalışma kapsamında saha çalışmaları ile toplanan parselin noktasal konumu kullanılarak TKGM parsel sorgudan parsellerin sınırları bulunmuştur. Daha sonra, Sentinel-2 NDVI görüntüsü kullanılarak ekim alanına göre parsellerin sınırlarının elle düzeltilmesi yapılmıştır. Sadece bundan sonraki aşamaların otomasyonu sağlanmıştır. İleri çalışma olarak, parsel sınırlarının mevcut verileri kullanılarak otomatik olarak düzeltilmesi üzerine çalışmalar yapılması planlanmaktadır. Ayrıca, metodoloji kısmına ek kriter olarak fenolojik parametrelerin eklenmesi ileri çalışma olarak planlanmıştır. Copernicus Open Access Hub sitesindeki depolama kısıtlaması nedeniyle yoğun bulutlu Level-2

görüntüler sipariş edildikten sonra indirildiği için bu aşamanın otomasyonu ileri çalışma olarak düşünülmektedir.

Bilgilendirme/Teşekkür

Projede kullanılan yersel referans verileri, Gebze Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümü öğrencisi Yüsrnur Tanrıverdi'nin "Arpa ve Buğday Parsellerinin Uzaktan Algılama Veri ve Metodlarıyla Haritalanması" adlı TÜBİTAK 2209A projesi kapsamında (Proje danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ali Levent Yağcı) temin edilmiştir.

Araştırmacıların katkı oranı

Oğuzhan Yaşar: Literatür taraması, bilgisayar kod yazımı, analiz, makale yazımı, **Ali Levent Yağcı:** Kurgu, literatür taraması, bilgisayar kod kontrolü, sonuçların yorumlanması, makale yazımı

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Altun, M., & Türker, M. (2021). Çoklu zamanlı Sentinel-2 görüntülerinden tarımsal ürün tespiti: Mardin-Kızıltepe örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(4), 881-899. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.890436>
- Apaydın, C., & Abdikan, S. (2021). Fındık bahçelerinin Sentinel-2 verileri kullanılarak piksel tabanlı sınıflandırma yöntemleriyle belirlenmesi. *Geomatik*, 6(2), 107-114. <https://doi.org/10.29128/geomatik.705988>
- Aydoğdu, M., Akçar, H. T. ve Çullu, M. A. (2011). Coğrafi Bilgi Sistemleri CBS ve Uzaktan Algılama UA Kullanılarak Çiftçi Kayıt Sistemi ÇKS Verilerinin Analizi ile Pamuk ve Mısır Primlerinin Ödenmesi Şanlıurfa-Harran İlçesi Örneği. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, (104.1), 47-52.
- Belgiu, M. & Csillik, O. (2018). Sentinel-2 cropland mapping using pixel-based and object-based time-weighted dynamic time warping analysis. *Remote Sensing of Environment*, 204, 509-523. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.10.005>
- Bostancı, E., Kabaş, Ö. & Aksoy, E. (2021). Uzaktan Algılama ve CBS Teknikleri Kullanılarak Mısır Bitkisinin Bitki İndeks Değerleri ile Hasat Arasındaki İlişkinin Antalya/Aksu Örneğinde Ele Alınması. *MAS Journal of Applied Sciences*, 6(3), 576-592. <https://doi.org/10.52520/masjaps.112>
- Even, R., Frank, W., Kurt, S., Andrey, K., Howard, B., Mateusz, Ł., ... Nyall, D. (2022). GDAL. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.5884351>
- Foerster, S., Kaden, K., Foerster, M., & Itzerott, S. (2012). Crop type mapping using spectral-temporal profiles and phenological information. *Computers and Electronics in Agriculture*, 89, 30-40. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.07.015>

- Gillies, S. (2013). Rasterio: Geospatial raster I/O for Python programmers. Python, Mapbox. <https://github.com/rasterio/rasterio>
- Gündoğdu, K. S. (2018). Buğday Ekili Parsellerde NDVI Değerlerinin Konumsal ve Zamana Bağlı Değişiminin Belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 21(4), 492-499. <https://doi.org/10.18016/ksudobil.364749>
- Gündoğdu, K. S., & Bantchina, B. B. (2018). Landsat uydu görüntülerinden NDVI değer dağılımının parsel bazlı değerlendirilmesi, Uludağ üniversitesi ziraat fakültesi çiftlik arazisi örneği. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 32(2), 45-53.
- Harris, C. R., Millman, K. J., van der Walt, S. J., Gommers, R., Virtanen, P., Cournapeau, D., ... Oliphant, T. E. (2020). Array programming with NumPy. *Nature*, 585(7825), 357-362. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2>
- Huang, X., Fu, Y., Wang, J., Dong, J., Zheng, Y., Pan, B., ... Yuan, W. (2022). High-Resolution Mapping of Winter Cereals in Europe by Time Series Landsat and Sentinel Images for 2016–2020. *Remote Sensing*, 14(9), 2120. <https://doi.org/10.3390/rs14092120>
- Kaya, Y. & Polat, N. (2021). Bitki İndeksleri Kullanarak Buğday Bitkisinin Rekolte Tahmini. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 12(1), 99-110. <https://doi.org/10.24012/dumf.860325>
- Narin, Ö. G., Delen, A. & Abdikan, S. (2018). Sentinel-2A Verisi Kullanarak Tarımsal Ürün Deseninin Belirlenmesi. VII. Uzaktan Algılama ve CBS Sempozyumu Uzal-CBS. Eskişehir Teknik Üniversitesi. <http://dx.doi.org/10.15659/uzalcbs2018.7286>
- Narin, Ö. G., Noyan, Ö. F. & Abdikan, S. A. (2021). Monitoring Vegetative Stages of Sunflower and Wheat Crops with Sentinel-2 Images According to BBCH-Scale. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG)*, 38(1), 46-52. <https://doi.org/10.13002/jafag4681>
- Ok, A. Ö. & Akyürek, Z. (2013). Çok tarihli optik ve mikrodalga görüntüleri kullanılarak tarım alanlarında yetiştirilen ürünlerin bölüt tabanlı sınıflandırılması üzerine bir yaklaşım. *Havacılık ve Uzak Uzay Teknolojileri Dergisi*, 6(1), 31-43.
- Peel, M. C., Finlayson, B. L. ve McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(5), 1633-1644. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- Perry, M. T. (2015). Rasterstats. Python. <https://pythonhosted.org/rasterstats/>
- Sawadogo, A., Tim, H., Gündoğdu, K. S., Demir, A. O., Ünlü, M. & Zwart, S. J. (2020). Comparative Analysis of The PySEBAL Model and Lysimeter For Estimating Actual Evapotranspiration Of Soybean Crop In Adana, Turkey. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 5(2), 60-65. <https://doi.org/10.26833/ijeg.573503>
- Şimşek, F. F., Teke, M., & Altuntaş, C. (2016). Uzaktan algılama tekniği ile tarım arazilerinde çiftçi ürün beyanlarının kontrolü, Harran Ovası örneği. *Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (Uzal-Cbs 2016)*.
- Şimşek, F. F. (2016). Uzaktan algılama tekniği ile tarım arazilerinde çiftçi ürün beyanlarının kontrolü: Harran Ovası örneği. YL Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Şimşek, F. F. & Durduran, S. S. (2023). Açık kaynak kodlu Eo-learn kütüphanesi ve çok zamanlı Sentinel-2 görüntüleri ile tarımsal ürün sınıflandırması. *Journal of Geodesy and Geoinformation*, 10(1), 45-62. <https://doi.org/10.9733/JGG.2023R0004.T>
- Teke, M., & Yardımcı, Y. (2015, July). Classification of crops using multitemporal hyperion images. In *2015 Fourth International Conference on Agro-Geoinformatics (Agro-geoinformatics)* (pp. 282-287). IEEE. <https://doi.org/10.1109/Agro-Geoinformatics.2015.7248091>
- Teke, M., & Yardımcı, Y. (2016). Göktürk-2 Zaman Serisi Görüntüleri ile Ürün Sınıflandırma. In *24th Signal Processing and Communication Application Conference (Vol. 16, p. 19)*. <https://doi.org/10.1109/SIU.2016.7496049>
- The Pandas Development Team. (2023). pandas-dev/pandas: Pandas. Python, Zenodo. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.3509134>
- Tian, H., Huang, N., Niu, Z., Qin, Y., Pei, J. & Wang, J. (2019). Mapping Winter Crops in China with Multi-Source Satellite Imagery and Phenology-Based Algorithm. *Remote Sensing*, 11(7), 820. <https://doi.org/10.3390/rs11070820>
- Torunlar, H., Tuğaç, M. G. & Duyan, K. (2021). Nesne Tabanlı Sınıflandırma Yönteminde Sentinel-2A Uydu Görüntüleri Kullanılarak Tarımsal Ürün Desenlerinin Belirlenmesi; Konya—Karapınar Örneği. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 3(2), 36-46. <https://doi.org/10.51489/tuzal.932912>
- Tuğaç, M. G. (2019). Buğday Verimi ve Biyokütlesi ile Uzaktan Algılama Vejetasyon İndisleri Arasındaki İlişkilerin Tarımsal İklim Bölgeleri Bazında Değerlendirilmesi. *Toprak Su Dergisi*, 177-186. <https://doi.org/10.21657/topraksu.655617>
- Tunca, E. & Köksal, E. (2021). Sentinel 2 Uydu Görüntülerinden Bitki Türlerinin Makine Öğrenmesi ile Belirlenmesi. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9(1), 189-200. <https://doi.org/10.33202/comuagri.842202>
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), (2021a). <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2021-37249>
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), (2021b). Merkezi Dağıtım Sistemi. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr>
- URL-1. (2022, 6 Ekim). https://www.esa.int/About_Us/Corporate_news/ES_A_and_the_EU
- URL-2. (2021, 19 Ekim). <https://yozgat.tarimorman.gov.tr/Menu/18/Tarim-Takvimi>
- Üstüner, M., Abdikan, S., Bilgin, G. & Şanlı, F. B. (2020). Hafif Gradyan Artırma Makineleri ile Tarımsal Ürünlerin Sınıflandırılması. *Turkish Journal of Remote Sensing and GIS*, 1(2), 97-105.
- Yağcı, A. L. (2023). Bolu Yeniçağa'da evapotranspirasyonun Landsat uydu görüntüleri ve trapezoid model ile izlenmesi. *Geomatik*, 8(1), 18-26. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1076442>

Yağmur, N., Tanik, A., Tuzcu, A., Musaoğlu, N., Erten, E. & Bilgilioglu, B. (2020). Opportunities provided by remote sensing data for watershed management:

Example of Konya Closed Basin. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 5(3), 120-129. <https://doi.org/10.26833/ijeg.638669>



© Author(s) 2023. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Geniş çalışma alanlarında jeofizik ve jeoteknik ölçümlerin yerine geçebilecek vekil özelliklerin CBS ile belirlenmesi

Ayhan Doğan¹, Murat Başeğmez², Cevdet Coşkun Aydın^{*3}

¹Hacettepe Üniversitesi, Başkent OSB Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Ankara, Türkiye

²Milli Eğitim Bakanlığı, CBS ve Emlak Daire Başkanlığı, Ankara, Türkiye

³Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği, Ankara, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Jeofizik
Jeoteknik
Vekil yöntem
CBS
IDW

Araştırma Makalesi

Geliş: 12.08.2022
Revize: 28.09.2022
Kabul: 12.10.2022
Yayınlanma: 19.04.2023



Öz

Deprem ve diğer afetlere dayanıklı yapılar inşa edebilmek için yerel zemin koşullarının bilinmesi gereklidir. Jeofizik çalışmalar ve gerektiğinde jeoteknik sondajlar, yerel zemin koşullarının belirlenmesinde en çok kullanılan yöntemlerdendir. Ancak geniş çalışma alanlarında jeofizik ve jeoteknik çalışmalar yapılması uzun zaman gerektiren maliyetli bir işlemdir. Bu çalışmada çok geniş alanlardaki sismik P- ve S-dalgası hızları, zemin hâkim titreşim periyodu ve yoğunluk gibi jeofizik ve jeoteknik yöntemlerle belirlenen özellikler yerine litoloji, coğrafi eğim ve yükseklik gibi özelliklerin vekil özellikler olarak kullanılabilirliği CBS analizleri yapılarak araştırılmıştır. Vekil özellikler yöntemi kullanılarak arazi çalışmalarından elde edilen jeofizik ve jeoteknik parametreler vekil parametrelerle karşılaştırılarak analiz edilmektedir. Bu çalışmada, ters mesafe ağırlıklandırma (IDW) yöntemi ile ara değer hesaplaması (enterpolasyon) yapılmış ve her bir kriter coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ile yeniden sınıflandırılarak karar haritaları üretilmiştir. Analizler sonucunda, sadece vekil kriterler kullanılarak inceleme alanının zemin koşulları hakkında sınıflararası %50 oranında tutarlılık olduğu tespit edilmiştir. Böylece, önerilen vekil kriterlerin yalnızca genel amaçlı bölgelendirme ve sınıflama çalışmalarında kullanılabilceği anlaşılmıştır.

Determination of proxy properties using GIS analysis that can replace geophysical and geotechnical measurements in large study areas

Keywords

Geophysics
Geotechnical
Proxy method
GIS
IDW

Research Article

Received:12.08.2022
Revised:28.09.2022
Accepted:12.10.2022
Published:19.04.2023

Abstract

In order to build structures durable to earthquakes and other disasters, it is necessary to know the local soil conditions. Geophysical studies and, if necessary, geotechnical drillings are the most widely used methods for determining local soil conditions. However, conducting geophysical and geotechnical studies in large areas is a time-consuming and high-cost process. In this study, different from other studies, it was tried to determine a method using the seismic P- and S-wave velocities, soil dominant period, density, geology, slope and elevation data, using proxy criteria that can replace this method (proxy properties method) in wide areas where geophysical and geotechnical studies cannot easily be performed. Using this method, geophysical and geotechnical parameters obtained from field studies are analysed by comparison with proxy parameters. In this study, interpolation was done with the Inverse Distance Weighted (IDW) method and decision maps were created by reclassifying each criterion with geographic information systems (GIS). As a result of the analysis, it was concluded that there is a 50% consistency interclasses regarding the ground conditions of the studying area using only proxy criteria. Thus, necessary information for general purpose zoning and classification studies can be provided.

*Sorumlu Yazar

(aydogan@hacettepe.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-9872-8889
(murat.basegmez@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-7704-9510
(ceaydin@hacettepe.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-2064-6936

Kaynak Göster (APA)

Doğan, A., Başeğmez, M., & Aydın, C. C. (2023). Geniş çalışma alanlarında jeofizik ve jeoteknik ölçümlerin yerine geçebilecek vekil özelliklerin CBS ile belirlenmesi. *Geomatik*, 8(3), 293-305

1. Giriş

Doğal afetlerden biri olan deprem, özellikle yapılar için önemli tehlikelerdendir. Deprem tehlikesine karşı çeşitli önlemlerin alınması gereklidir. Bunların başında mühendislik yapıları için uygun yer tespiti, doğru tasarım ve inşa gelmektedir. Deprem yer hareketleri, yerel zemin koşulları nedeniyle büyüyebilirler (Alptekin ve Yakar, 2021). Deprem hareketlerinin ürettiği deprem dalgaları, ana kayadan yüzeye doğru yer içerisinde ilerlerken frekans ve genliklerinde büyük değişiklikler olabilir (İnyurt ve ark., 2020; Konakoglu & Akar, 2020). Bu değişiklikler özellikle alüvyon gibi pekişmemiş zeminlerde genellikle genliğin büyümesiyle sonuçlanır. Buna ek olarak, yapının bir tam salınımın yapma süresi olarak bilinen “yapının doğal titreşim periyodu” ile zemin hâkim titreşim periyodu birbirine yakın veya aynı olduğunda rezonans olayından dolayı yapılarda ciddi hasarlar oluşabilir. Tüm bu nedenlerle yerel zemin koşullarının bilinmesi depreme dayanıklı yapı tasarımı için çok önemlidir. Yerel zemin koşulları; zemine ait jeolojik yapı, yeraltı geometrisi, topoğrafya, zemin birimlerinin cinsi ve özellikleri, yeraltı suyunun durumu, çevre koşulları, arazinin eğimi gibi zemine ait tüm statik özellikler ile kayma modülü, sönüm oranı, sismik hızlar gibi yerel zemine ait tüm dinamik özelliklerdir. Yerel zemin koşulları dikkate alınmadan mühendislik yapılarının inşa edilmesi yıkıcı sonuçlara neden olabilmektedir. Bu durum; 1985 Mexico City, 1989 Loma Prieta, 1994 Northridge, 1995 Kobe, 1999 İzmit, 1999 Chi-Chi, 2005 Kashmir, 2010 Haiti depremlerinde gözlenmiştir (Bai ve ark., 2010; Bi ve ark., 2010; Green ve ark., 2011; Jayaram & Baker, 2009; Özel ve ark., 2002; Rai & Murty, 2006; Devi ve ark., 2022; Sun, 2012; Sun ve ark., 2005). Depremlerin yıkıcı etkilerinin önüne geçebilmek amacıyla dünyada birçok çalışma yapılmış ve yönetmelikler hazırlanmıştır (Kalita & Chetia, 2020). Amerika Birleşik Devletleri’nde (ABD) NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) tarafından önerilen hükümler ve Avrupa Birliği’nde uygulanan Eurocode 8 standartları gerek kendi bölgelerinde gerekse başka ülkelerde aynen veya değiştirilerek kullanılmaktadır (BSSC, 2003, 2020; Kircher ve ark., 2019; Lin & Yoda, 2017; MOCT, 1997; Pitilakis ve ark., 2012; Ramírez Eudave ve ark., 2022; Rezaeian & Luco, 2019). Ayrıca Türkiye, Kanada, Japonya, Şili, Yeni Zelanda gibi birçok ülke kendi standartlarını üretmiştir (Adar ve ark., 2021; AFAD, 2018; Cansız, 2022; Erdik ve ark., 2018; Genç ve ark., 2019; Işık ve ark., 2020; Kor & Özcelik, 2022; Shi ve ark., 2016; Tremblay ve ark., 2016; Uang, 1991). Çeşitli çalışmalarla deprem yer hareketleri ve yerel saha çalışmaları yapılmış, yer tepki analizleri ve çeşitli tasarım tepki spektrumları üretilmiştir (AFAD, 2018; BSSC, 2001, 2003, 2020; Dobry ve ark., 2000; Dobry ve ark., 1998; Erdik ve ark., 2018; MOCT, 1997; Seed ve ark., 1976).

Jeofizik ve jeoteknik çalışmalar inşaat mühendisliği için önemli veriler sağlamaktadır. Bölgeye ait tektonik yapının ortaya konulması, bölge jeolojisinin iyi bilinmesi gerekmektedir (Clayton ve ark., 1995; Mayne ve ark., 2002; Oğuz ve ark., 2022; Rahman ve ark., 2022; Wang ve ark., 2016; Yılmaz ve ark., 2021). Yerel zemin koşullarının deprem anındaki davranışını tahmin etmek ve

değerlendirmek için kesme dalgası hızına (V_s) dayalı sismik kodlar ve sınıflandırmalar yaygın olarak kullanılmaktadır. ABD’de 1994 yılından sonra zemin sınıflandırması için toprak tabakasının üst 30 metrelik kısmına ait kesme dalgası hızı (V_{S30}) anahtar parametre olarak kullanılmaya başlanmıştır (Dobry ve ark., 2000). Benzer şekilde Eurocode 8’de standart penetrasyon testi (SPT-N) ile birlikte V_{S30} ana sınıflandırma parametresi olarak kullanılmaktadır (BSI, 2004). Ancak V_{S30} bilgisi kullanılarak yapılan sınıflandırmalar sığ zeminlerdeki düşük empedans kontrastı nedeniyle sismik büyütme doğru tahmin edemeyebilir (Pitilakis ve ark., 2013). Hız profili derinlikle düzenli değişmeyen ya da yüzeye yakın zemin profillerinde güçlü empedans farkı göstermeyen sahalarda bazı havza yapılarında V_{S30} değeri yeteri kadar değerlendirme imkanı sunmayabilir (Mucciarelli & Gallipoli, 2006; Özcep ve ark., 2011). Bu nedenlerle, araştırmacılar V_{S30} değeri veya onun yerine çeşitli alternatif yöntemler önermişlerdir. Zeminin ilk 30 m’lik kısmı yerine farklı derinliklerdeki ortalama kayma dalgası hızı, zeminin hâkim periyodu ya da frekansının kullanılması konusunda çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Boore & Joyner, 1997; Cadet ve ark., 2008; Héloïse ve ark., 2012; Gallipoli & Mucciarelli, 2009; Luzi ve ark., 2011). Ayrıca, bazı araştırmacılar yatay/düşey spektral oran (YDSO) yöntemi sonuçlarını sınıflandırma için önermişlerdir (Di Alessandro ve ark., 2012; Zhao ve ark., 2006).

Yerel zemin koşullarını etkileyen faktörler birçok çalışmayla ortaya konulmuştur. Bu faktörlerden bazıları topoğrafya etkisi, yeraltı su seviyesi, ana kayanın derinliği ve geometrisi, zemin dinamik özellikleri, zemin tabakalanma düzlemlerinin eğimi olarak sayılabilir. Yerel zemin koşullarının etkilerini belirlemek için yapılan çalışmalar üç grupta toplanabilir. Bunlar ampirik yöntemler, deneysel yöntemler ve sayısal çalışmalardır (Hashash ve ark., 2011; Idriss & Sun, 1992; ISSMGE, 1999; Kanai, 1961; Kanai ve ark., 1966; Sitharam ve ark., 2018; Von Thun ve ark., 1988). Çeşitli yöntemlerle yerel zemin koşulları belirlenerek zemin sınıflandırması yapılır. LeBrun ve ark., (2004) jeoteknik ve sismolojik yaklaşımları karşılaştırmışlar ve uyumlu sonuçlar elde etmişlerdir. Sun ve ark., (2005) Kore’nin Gyeongju ve Hongsung bölgelerinde alana özel yer tepki analizleri ve saha karakterizasyonu çalışmaları yapmışlardır. Çalışmalarında yükseklik, ana kaya derinliği, zemin hakim titreşim periyodu (T), pik yer ivmesi, depremlerden elde edilen saha katsayıları (F_a , F_v), yüzey jeolojisi, jeomorfoloji ve V_{S30} değerlerini, NEHRP, UBC ve Kore sismik tasarım standartları (MOCT, 1997) ile değerlendirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, NEHRP standartlarına dayalı olan mevcut Kore sismik tasarım kılavuzunda değişiklik yapılması gerekliliğini savunmuşlardır. Koçkar ve Akgün (2008) yaptıkları çalışmada, V_{S30} ve N_{30} değerlerini birlikte kullanmışlar ve IBC 2006 zemin sınıflama standartlarını kullanmışlardır. Sun ve ark., (2014) Kore’nin Seul şehrinde coğrafi bilgi sistemi (CBS) kullanarak jeoteknik bilgi sistemi (GTIS) adını verdikleri bir sistem geliştirmişler, sismik performans değerlendirmesi ve saha sınıflandırması yapmışlardır. Yaptıkları çalışmalarda ana kaya derinliği, zemin hâkim titreşim periyodu (T) ve V_{S30} değerlerini kullanmışlardır. Kim ve ark., (2017) ana kaya derinliği,

V_{S30} ve T değerleri ile CBS kullanarak sismik alan etkilerini araştırmışlar ve saha sınıflaması yapmışlardır. [Sun ve ark., \(2018\)](#) Güney Kore’de yer sınıflandırması yapabilmek için yeterli sondaj verisi bulunmadığından sayısal yükseklik modeli (SYM) tabanlı bir vekil kullanılabilirliğini önermişlerdir. Çalışmada zemin hâkim titreşim periyodu ve frekansı, V_{S30} , ana kaya derinliği, coğrafi eğim ve yükseklik bilgilerini kullanarak jeoteknik bir veri tabanı oluşturmuşlar ve sismik bölgeleme çalışması yapmışlardır. [Gaytan ve ark., \(2020\)](#) ana kaya derinliği, zemin hâkim titreşim periyodu, V_{S30} değerlerini ve NEHRP standartlarını kullanarak zemin sınıflandırması yapmışlardır. [Kim ve ark., \(2021\)](#), zemin hâkim titreşim periyodu, ana kaya derinliği, V_{S30} özellikleri ile coğrafi eğim, yükseklik ve jeoloji bilgileri birlikte kullanılarak çok değişkenli jeoteknik bölgeleme çalışması yapmışlardır. Çalışmada, CBS tabanlı mekansal kümeleme ve makine öğrenimi kullanarak saha sınıflaması yapılmıştır. [Escudero ve ark. \(2022\)](#) tarafından, zemin hâkim titreşim periyodu ve V_{S30} özelliklerini kullanarak jeoteknik bölgeleme çalışması yapılmıştır. Araştırmacılar çalışmalarında, NEHRP standartlarını ([BSSC, 2003](#)) ve [Bray ve Rodriguez-Marek \(1997\)](#) çalışmasında verilen toprak tipi ile zemin hakim titreşim periyodu ve frekansı arasındaki ilişkileri kullanmışlardır.

Önceki çalışmalar incelendiğinde bölgeleme, sınıflandırma, şehir planlamaları gibi çeşitli amaçlarla geniş çalışma alanlarının zemin özelliklerinin tanımlanabilmesi için gerçekleştirilen çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda çoğunlukla zemin hâkim titreşim periyodunun, ana kaya derinliğinin ve V_{S30} değerlerinin birlikte veya ayrı olarak kullanıldığı görülmektedir. Bazı çalışmalarda N_{30} ve deprem kayıtlarından elde edilen pik yer ivmesi, saha katsayıları gibi değerler de diğer değerlerle birlikte veya ayrı olarak kullanılmıştır. Bazı çalışmalarda ise bu kriterlerin bir kısmı veya tamamı ile jeoloji, coğrafi eğim ve yükseklik gibi kriterler kullanılmıştır.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde yerel zemin koşullarında etkili olabilecek olan boyuna deprem dalgası hızı (V_p) ve yoğunluk (ρ) gibi verilerin doğrudan kriter olarak kullanılmadığı görülmüştür. [Ozer \(2021\)](#) depremlerden sonra yeraltı gözenekliliğinin ve geçirgenliğin değiştiğini, bu değişikliklerin V_p ve sismik hız oranında (V_p/V_s) önemli değişikliklere neden olduğunu, bu değerlerin izlenerek deprem tahmini araştırmalarında kullanılabilirliğini belirtmiştir. Yaygın olarak bilindiği gibi maksimum kayma modülü [Eşitlik 1](#) kullanılarak hesaplanmaktadır ([Richart ve ark., 1970](#)).

$$G_{max} = \rho \cdot V_s^2 \quad (1)$$

Burada:

G_{max} : Maksimum kayma modülü (Pascal)

ρ : Yoğunluk (g/cm^3)

V_s : kesme dalgası hızı (m/s)

ρ değerindeki artış maksimum kayma modülünün artmasına sebep olur. Bu durum malzemenin deformasyona karşı direncinin artması anlamına gelmektedir.

Bu çalışmada, diğer çalışmalardan farklı olarak V_p , V_{S30} , T , ρ , litoloji, coğrafi eğim ve yükseklik verileri kullanılarak, yerinde jeofizik ve jeoteknik çalışmaların yapılamadığı geniş alanlarda bu yöntemlerin yerine geçebilecek vekil kriterler belirlenmeye çalışılmıştır. Böylece, bundan sonra yapılacak çalışmalarda arazi çalışması yapılmasına gerek olmadan belirlenen vekil kriterler ile alan hakkında yeterli veri sağlanarak ekonomi ve zaman bakımından tasarruf elde edilmesi amaçlanmaktadır.

2. Yöntem

Dünyada ve Türkiye’de depreme dayanıklı yapı tasarımı önemini hızla arttırmaktadır. Jeoteknik bölgeleme ve sınıflama yaparken kullanılacak parametrelerin doğru seçilmesi çalışmaların başarısını doğrudan etkileyen bir faktördür. Öncelikle yerel zemin koşullarını etkileyen parametrelerin neler olabileceği iyi belirlenmelidir. Belirlenen parametrelere ait gerekli analiz, arazi ve modelleme çalışmaları yapılmalıdır.

Bu yöntemde seçilen araziyi temsil eden görece küçük bir alanda yapılan arazi çalışmalarından elde edilen jeofizik ve jeoteknik parametreler kullanılarak, jeolojik formasyon bilgisi ile uydu görüntülerinden elde edilebilen yükseklik ve coğrafi eğim verileri karşılaştırmalı olarak analiz edilmektedir. Analizler sonucunda sadece uydu görüntüleri ve jeoloji verisi kullanılarak yerel zemin koşulları hakkında genel bilgi verebilecek ve ayrıca sınıflandırma ve bölgelendirme çalışmalarında kullanılabilir kriterler üretilebilmektedir. Buna karşın, arazi kullanım amacı dikkate alınarak gerekli durumlarda parsel bazında detaylı jeofizik ve jeoteknik çalışma yapılması gerekebilir.

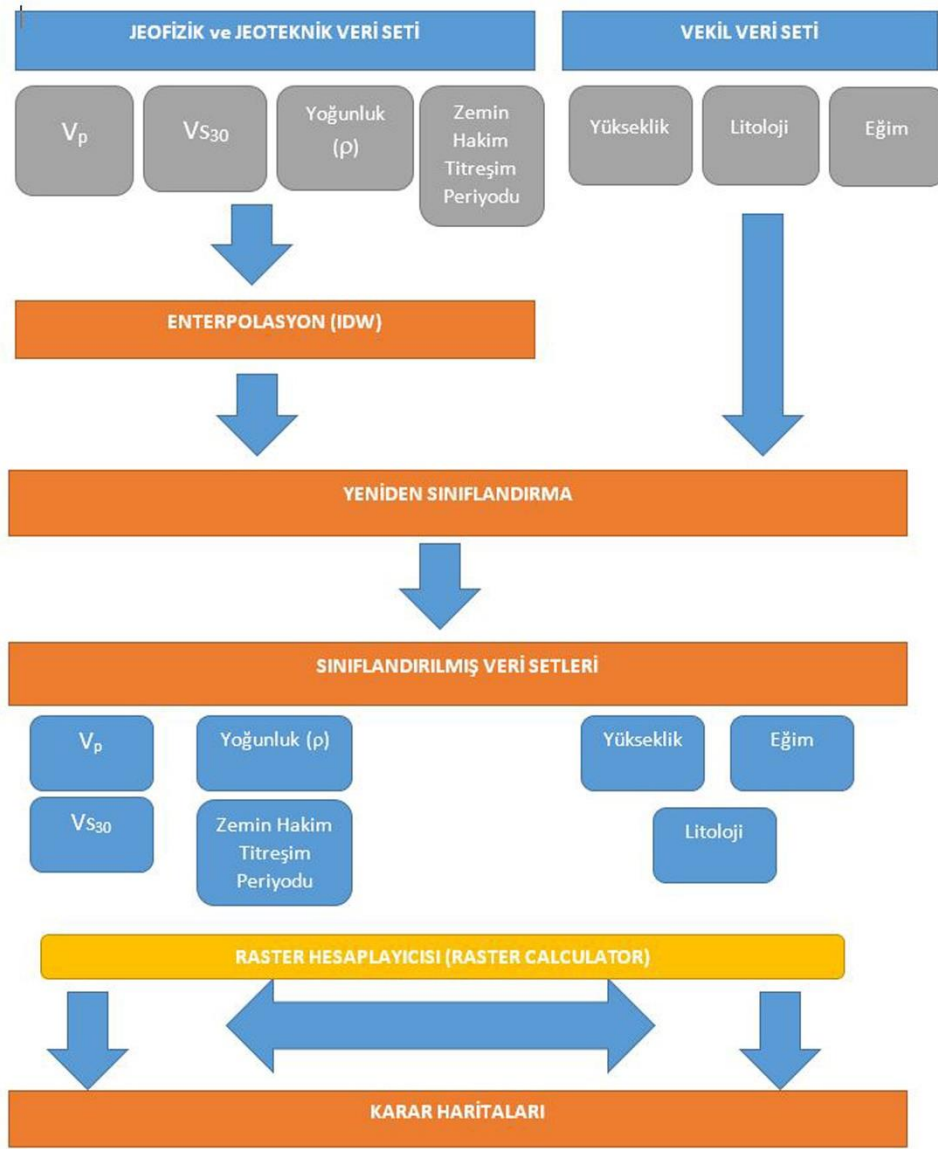
Arazi çalışmalardan elde edilen V_p , V_{S30} , T , ρ verilerinden her biri için ayrı sınıflandırma haritaları üretilmiştir. Benzer şekilde litoloji, coğrafi eğim ve yükseklik verilerinden oluşan vekil özelliklerinin her biri için de ayrı sınıflandırma haritaları üretilmiştir. Bu sınıflandırma haritaları kullanılarak, arazi çalışmalarından elde edilmiş 4 farklı özelliğin birleşik karar haritası ve 3 vekil özelliğin birleşik karar haritası üretilmiştir. Arazi verilerinden elde edilen karar haritalarına ait değerler referans değer olarak kabul edilmiş ve yöntemin doğrulanması ve başarısının ölçülebilmesi amacıyla, üretilen iki karar haritası verilerine ait sınıf değerleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

2.1. İş akışı

İş akışı [Şekil 1](#)’de verilmektedir. İlk aşamada arazi çalışmalarından elde edilen V_p , V_{S30} , T , ρ ham verileri kullanılabilir şekilde düzenlenir ve gruplandırılır. Uydu görüntülerinden elde edilen sayısal yükseklik modeli (SYM) kullanılarak yükseklik ve eğim bilgileri elde edilir. Jeoloji haritası kullanılarak çalışma alanına ait jeolojik formasyonlar belirlenir ve sınıflandırma yapabilmek amacıyla gruplandırılır. Tüm veriler ArcGIS programı içerisinde oluşturulan bir veri tabanına girilir. Bu veri tabanındaki veriler kullanılarak parametre bazında katmanlar oluşturulur. Jeofizik ve jeoteknik veriler IDW

(Inverse Distance Weighted) enterpolasyon tekniği kullanılarak analiz amaçlı yeni katmanlar oluşturulur. Bu yeni katmanlar kullanılarak parametreler birlikte analiz

edilir. Bu analizlerde jeofizik ve jeoteknik parametreler ile vekil parametreler arası korelasyon ortaya çıkarılmaya çalışılır.



Şekil 1. İş akış diyagramı

2.2. Çalışma Alanı

Araştırmada belirlenen kriterlerin değerlendirilebilmesi için Şekil 2'deki alan belirlenmiştir. Çalışma alanı içerisinde yerinde jeofizik ve jeoteknik çalışmalar yapabilmek için dört örnek saha tespit edilmiştir (Şekil 3). Bu dört alanda yapılan jeofizik ve jeoteknik çalışmalardan elde edilen veriler (V_p , V_{S30} , T , ρ) kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Bu verilerden yararlanılarak tüm çalışma alanı için enterpolasyon işlemleri yapılmıştır.

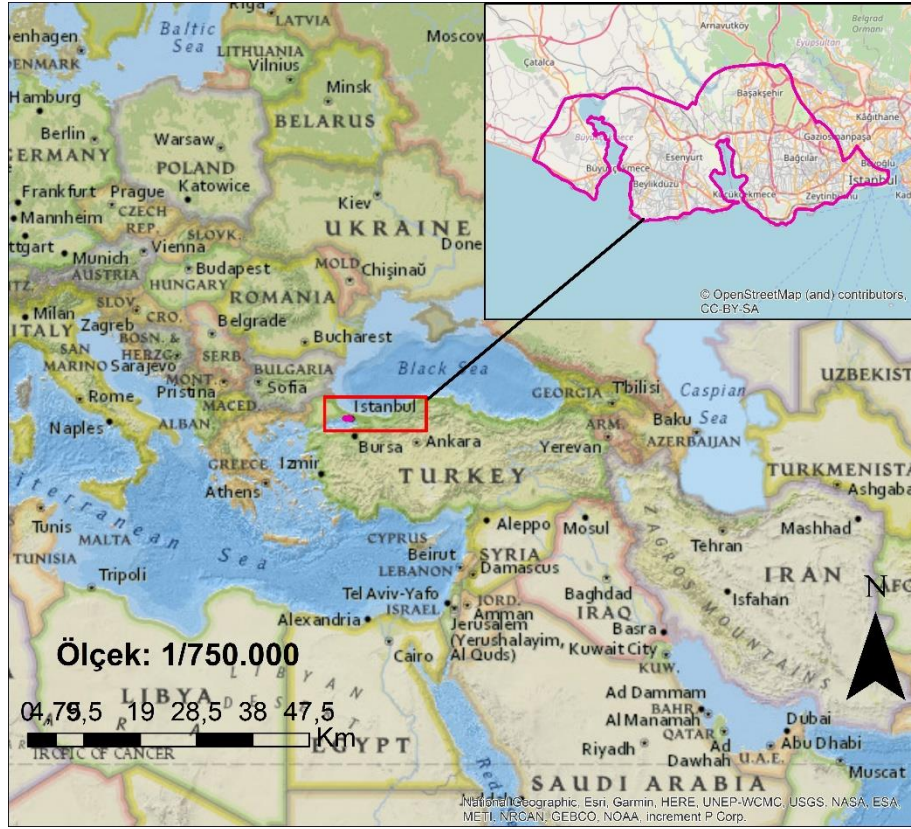
2.3. Kullanılan Veriler

Bu çalışmada, jeofizik ve jeoteknik parametreler ile vekil parametreler arası korelasyonu ortaya çıkarabilmek için yedi kriter kullanılmıştır (Tablo 1). Bu kriterleri belirlemek için mevcut araştırmalar, kurumların yayımladıkları yönetmelikler ve raporlar dikkate alınmıştır. Belirlenen kriterlerin değer

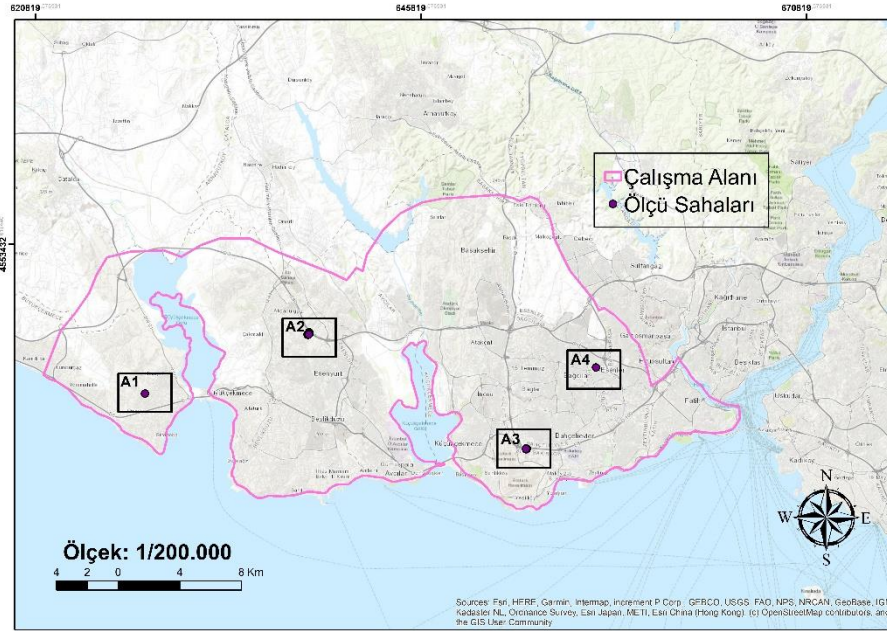
aralıklarına göre sınıflandırılması Tablo 2'de gösterilmiştir.

Çalışma alanı içerisinde seçilen dört sahada MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), mikrotremör ve rezistivite jeofizik çalışmaları ile jeoteknik sondajlar yapılmıştır. Belirlenen bu alanlarda 69 sondaj kuyusu açılmış, 18 adet MASW, 10 mikrotremör, 6 rezistivite çalışması gerçekleştirilmiştir. Böylece yerel zemine ait V_p , V_s , V_{S30} , ρ , T değerleri elde edilmiştir. Uydu görüntülerinden SYM kullanılarak yükseklik ve eğim bilgileri elde edilmiştir. Türkiye jeoloji haritası kullanılarak çalışma alanına ait jeolojik formasyonlar belirlenmiştir (Akbaş ve ark., 2011).

Belirlenen kriterlere ait değer aralıkları çalışma alanından elde edilen veriler kullanılarak belirlenmiştir. Değerlendirmeleri yapabilmek için her bir kriter sekiz ayrı sınıfa ayrılmıştır (Tablo 2). Kriterlerin sekiz sınıfa ayrılmasının nedeni önceki çalışmalarda yapılan sınıflandırmalarla (Allen ve Wald, 2007) uyumlu olması ve sonraki çalışmalarda kullanılabilmesi içindir.



Şekil 2. Çalışma alanı



Şekil 3. Jeofizik ve jeoteknik ölçüm yapılan yerler

Tablo 1. Jeofizik, jeoteknik ve vekil kriterler

Sıra	Kriterler	Veri Kaynağı/ Temin Yılı
1	Toprak yoğunluğu (ρ)	(ÇŞİDB)/2022
2	Vp	(ÇŞİDB)/2022
3	VS30	(ÇŞİDB)/2022
4	Zemin hâkim titreşim periyodu (T)	(ÇŞİDB)/2022
5	Yükseklik	NASA/2022
6	Eğim	-
7	Litoloji	MTA/2022

Tablo 2. Uygulamada kullanılan kriterlerin değer aralıkları

Kriterler	Değer aralıkları	Sınıf
Toprak yoğunluğu (ρ) (g/cm ³)	<1.56	1
	1.56–1.57	2
	1.57–1.58	3
	1.58–1.59	4
	1.59–1.60	5
	1.60–1.61	6
	1.61–1.62	7
	1.62<	8
V _p (m/s)	<627	1
	627–639	2
	639–649	3
	649–661	4
	661–674	5
	674–684	6
	684–690	7
	690<	8
V _{s30} (m/s)	<269	1
	269–276	2
	276–282	3
	282–290	4
	290–299	5
	299–306	6
	306–321	7
	321<	8
Zemin hâkim titreşim periyodu (T) (s)	<0.54	1
	0.54–0.55	2
	0.55–0.56	3
	0.56–0.58	4
	0.58–0.60	5
	0.60–0.62	6
	0.62–0.65	7
	0.65<	8
Yükseklik (m)	<26	1
	26–51	2
	51–76	3
	76–99	4
	99–122	5
	122–145	6
	145–172	7
	172<	8
Eğim (%)	<5	1
	5–10	2
	10–15	3
	15–20	4
	20–25	5
	25–30	6
	30–35	7
	35<	8
Litoloji	Kuvaterner	1
	Miyosen	2
	Oligosen- Alt Miyosen	3
	Üst Eosen- Alt Oligosen	4
	Eosen	5
	Triyas- Alt Jura	6
	Üst Paleozoyik	7
	Permo-Karbonifer	8

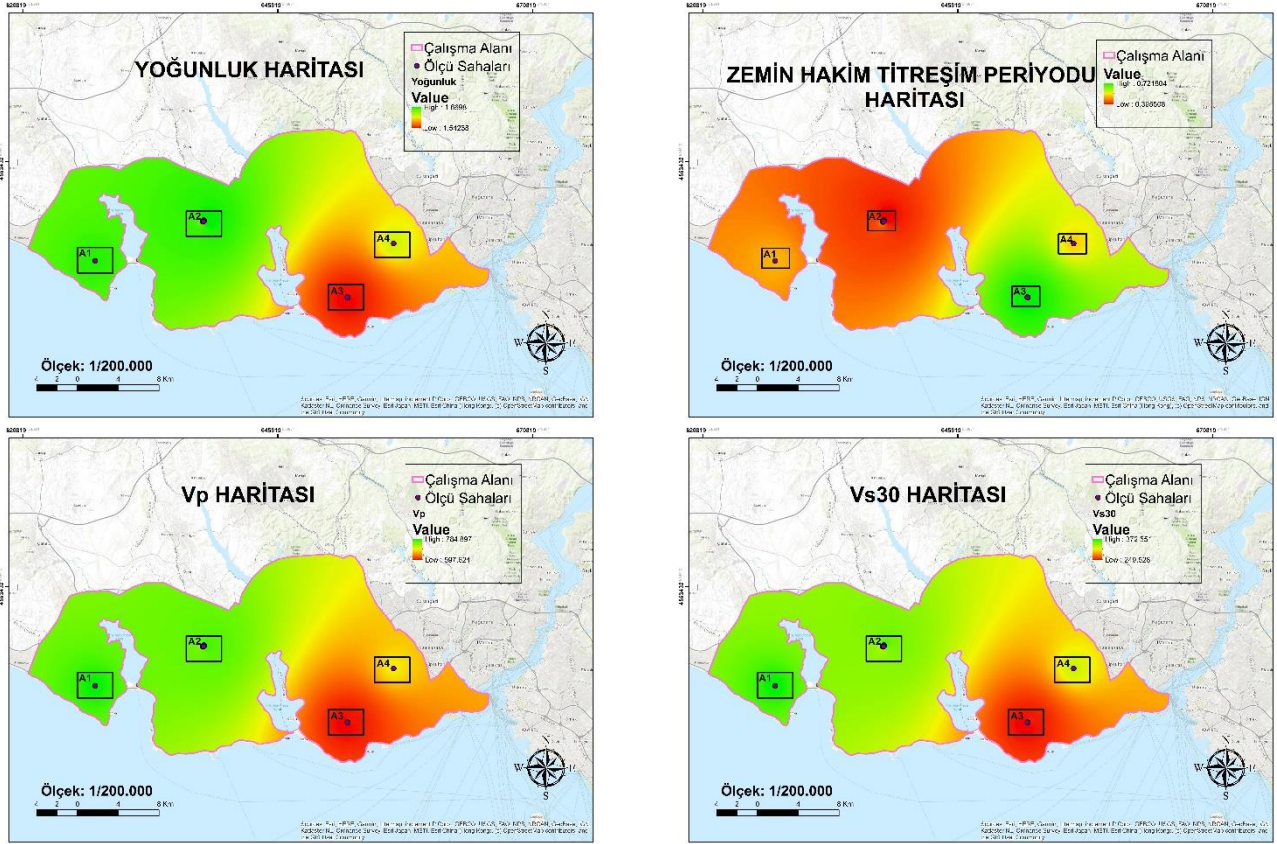
3. Analiz

Çalışma alanı için vekil kriterleri belirlerken CBS tabanlı bir yaklaşım oluşturulmuştur. CBS, coğrafi bilginin elde edilmesi, kullanımı, analizi, görüntülenmesi ve depolanmasına olanak sağlayan karar destek sistemleridir (Civelekler ve Pekkan, 2022; Sarı ve Türk, 2021; Urfalı ve Eymen, 2021; Yalçın ve Yüce, 2019).

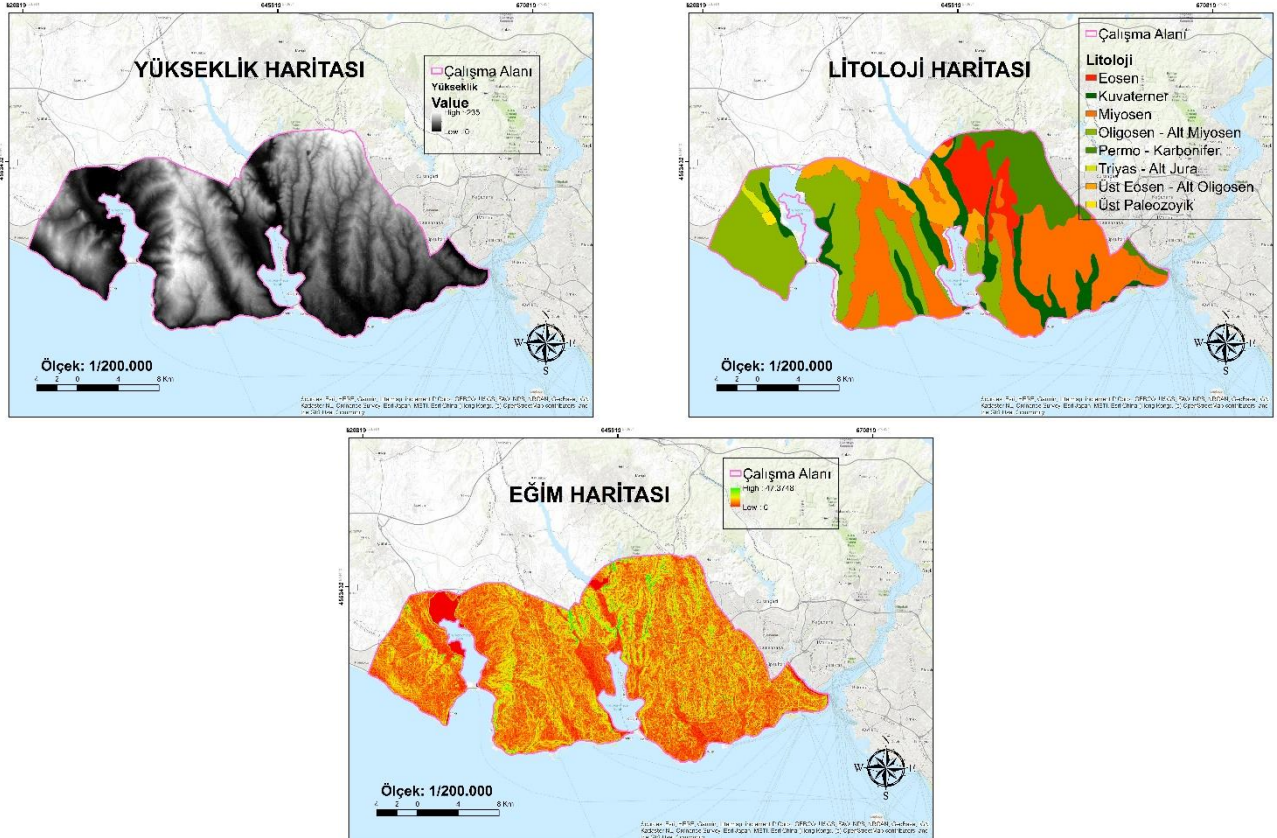
CBS kullanılarak belirlenen kriterler ve değer aralıkları çeşitli konum analizlerine tabi tutularak raster veriler elde edilmiştir (Şekil 4, 5, 6, 7). Raster veriler elde edilirken konum uygunluğunu gösteren değer aralıkları bir ile sekiz arasında puanlanmıştır. Ayrıca tüm raster tabanlı analizler 30m x 30m hücre çözünürlüğü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu işlem sonucunda elde edilen her bir veri katmanı ArcGIS'in raster hesaplama aracı olan map algebra (raster calculator)

aracılığıyla toplanmıştır. Raster calculator, bir raster çıktısı almak için haritalar cebir ifadeleri oluşturmaya ve bu işlemleri yürütmeye olanak tanımaktadır. Böylece kullanıcıların raster verilerden yeni veriler oluşturarak haritalar üzerinde analizler yapmasını

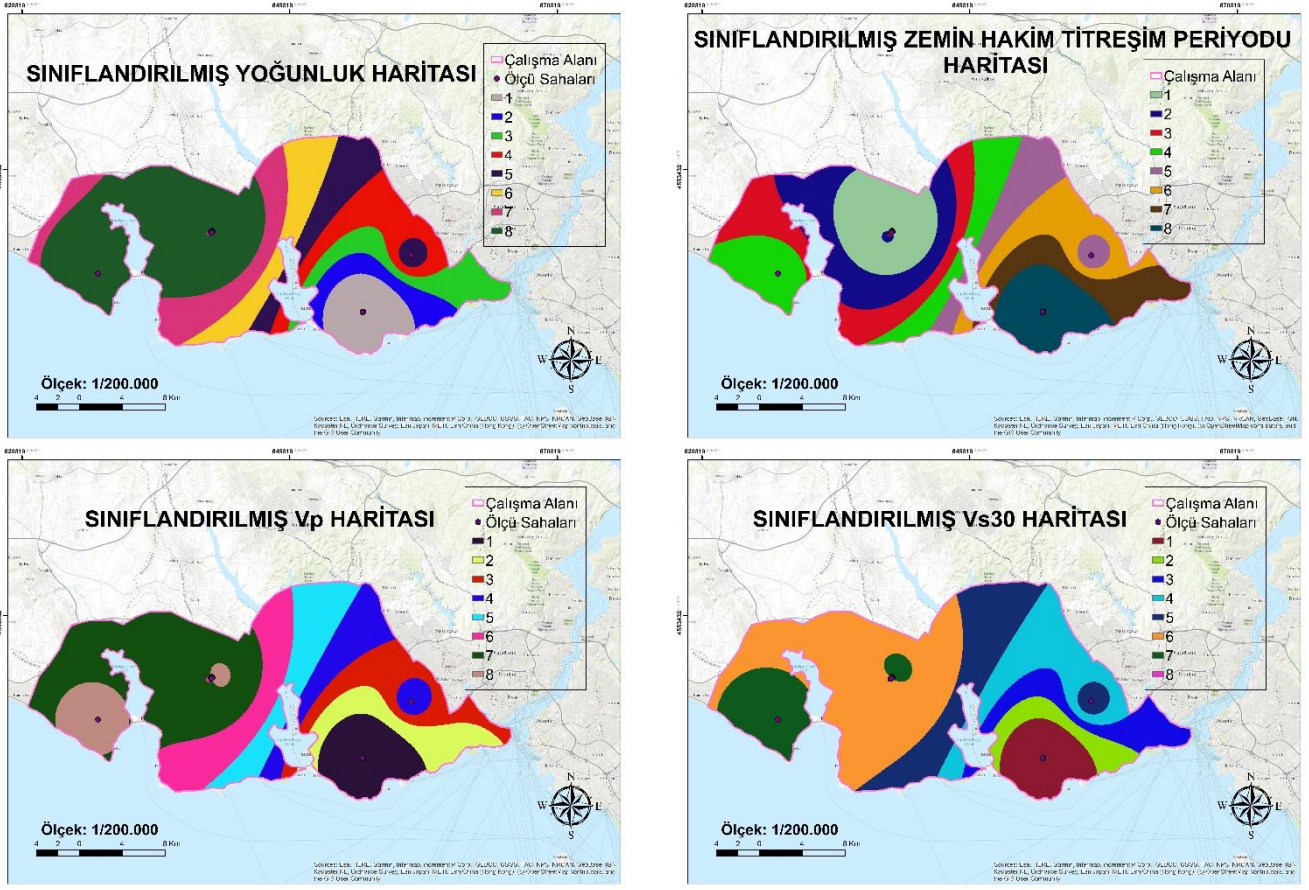
kolaylaştırmaktadır. Yapılan işlem sonucunda jeofizik ve jeoteknik kriterler ile vekil kriterler için karar haritaları oluşturulmuş ve değer aralıkları sekiz sınıf ile gösterilmiştir (Şekil 8, 9).



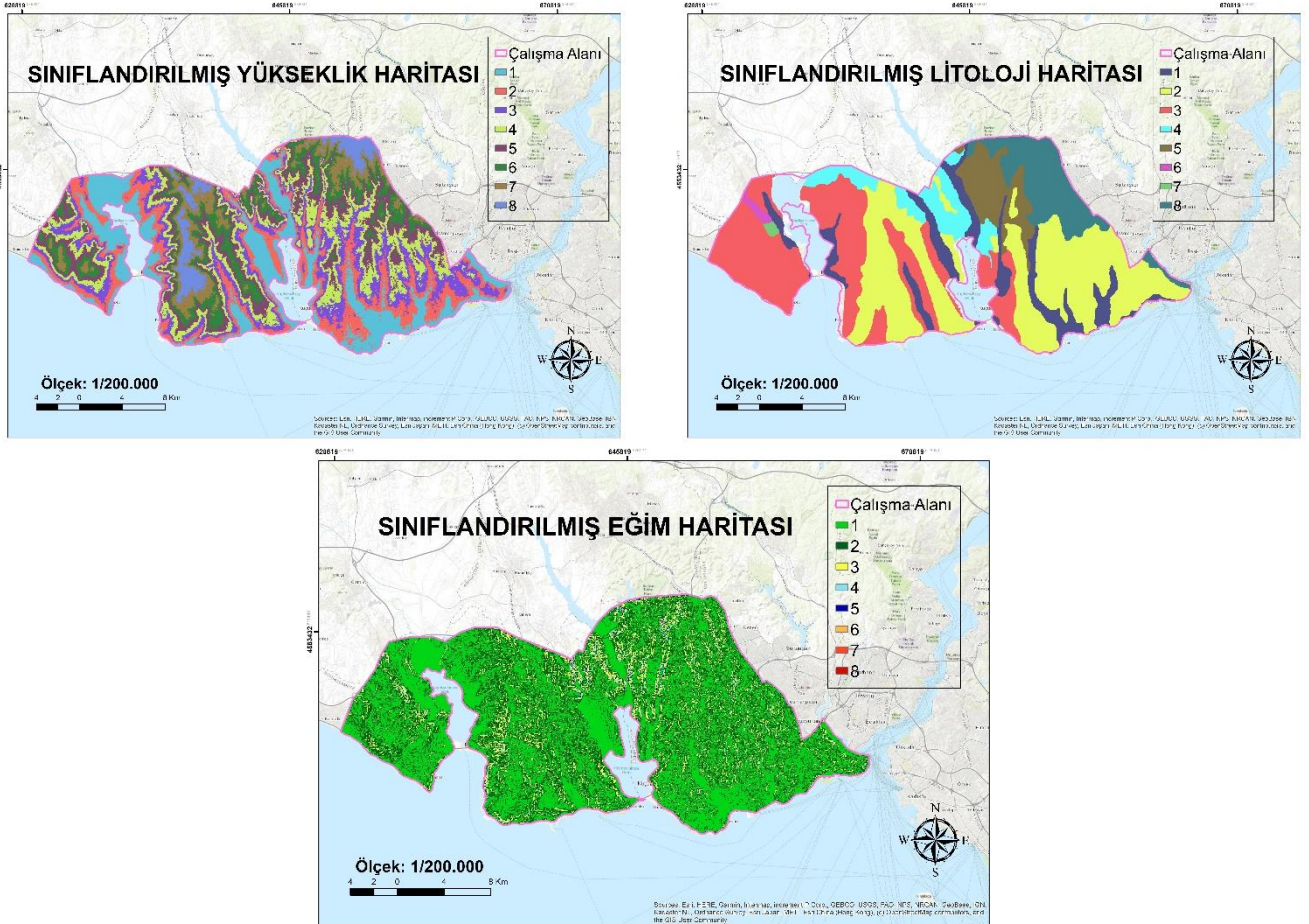
Şekil 4. Jeofizik ve jeoteknik kriterler (yoğunluk, zemin hâkim titreşim periyodu, Vp, Vs)



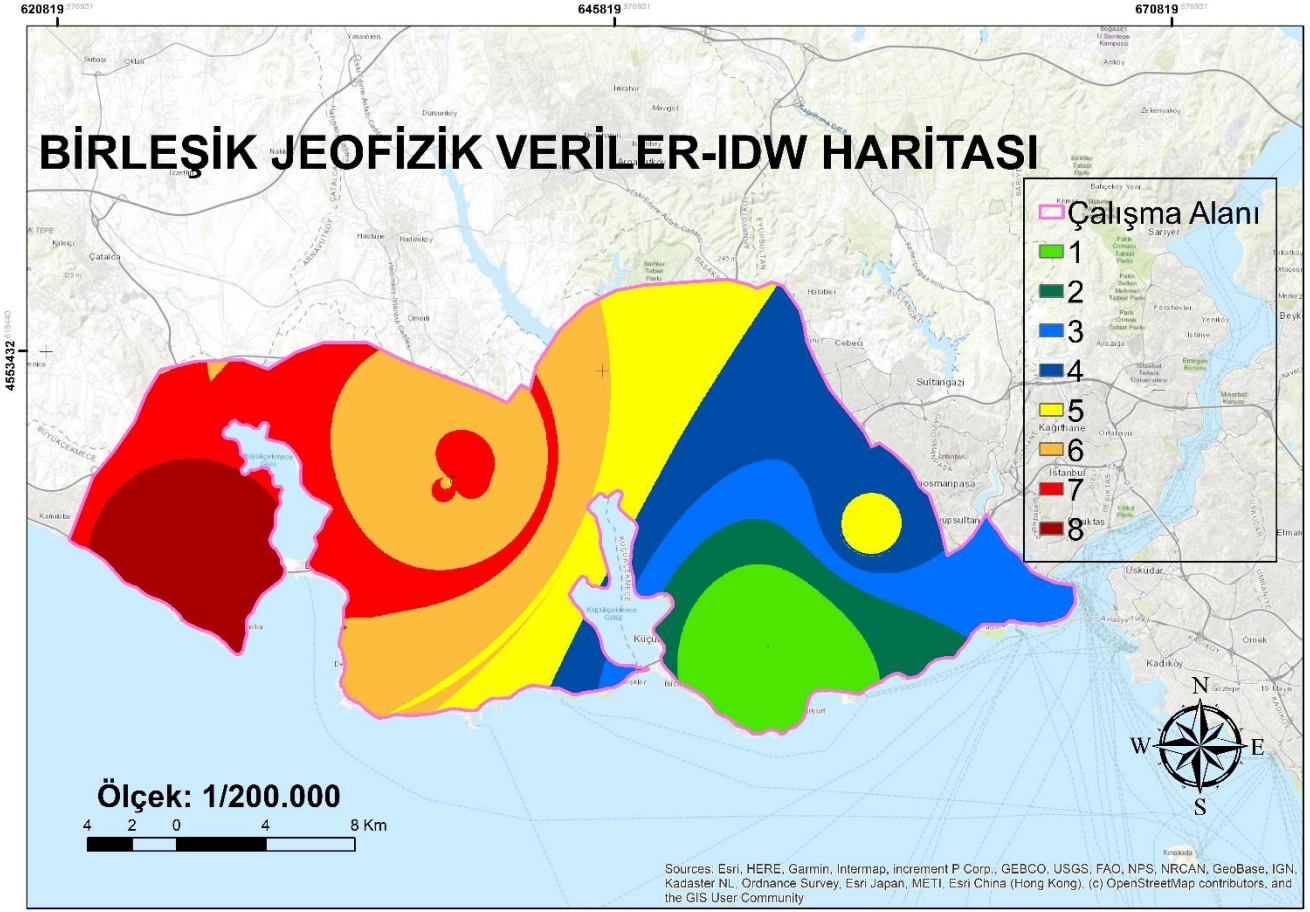
Şekil 5. Vekil özellikler a)yükseklik b) litoloji c) eğim



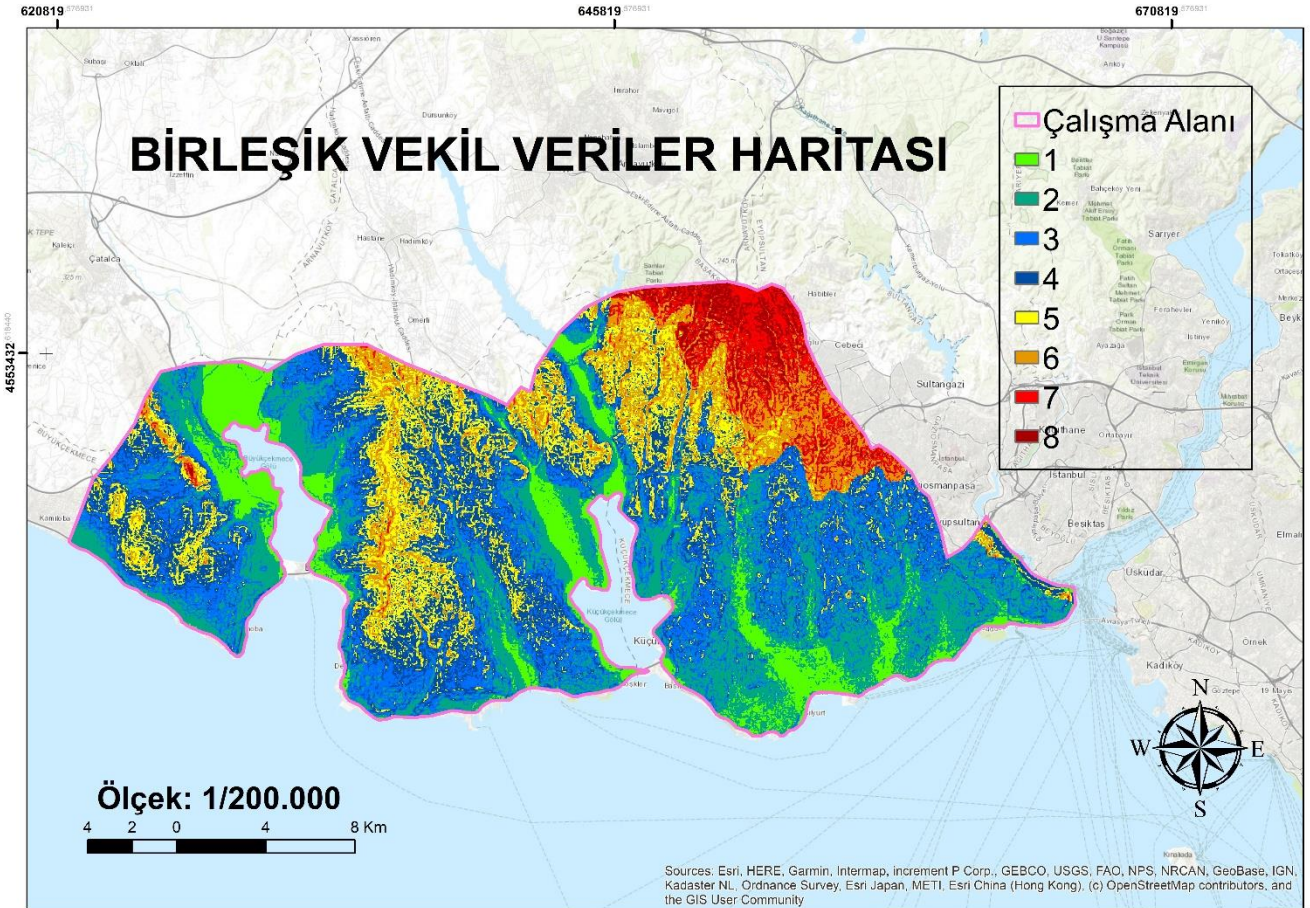
Şekil 6. Jeofizik ve jeoteknik kriterlerin sınıflandırma haritaları



Şekil 7. Vekil kriterlerin sınıflandırma haritaları



Şekil 8. Jeofizik veriler için karar haritası



Şekil 9. Vekil veriler için karar haritası

4. Bulgular

Çalışmanın sonucunda, oluşturulan karar haritaları değerlerine göre sekiz sınıfa ayrılmıştır. Çalışmada kullanılan her bir kriter sınıfının karar haritalarının sınıflarıyla benzerlikleri analiz edilmiştir (Tablo 3).

Birinci sınıfın değerlendirilmesinde, jeoteknik kriter sınıfları düşük değerlerdeyken vekil sınıfında göreceli olarak yüksek değerlerdedir. Vekil kriterler düşük değerlerdeyken jeoteknik sınıfta düşük değerlerdedir.

İkinci sınıfın değerlendirilmesinde, jeoteknik kriter sınıfları düşük değerlerdeyken vekil sınıfında göreceli olarak yüksek değerlerdedir. Vekil kriterler düşük değerlerdeyken jeoteknik sınıfta düşük değerlerdedir.

Üçüncü sınıfın değerlendirilmesinde, jeoteknik kriter sınıfları düşük değerlerdeyken vekil sınıfında göreceli olarak yüksek değerlerdedir. Vekil kriterler düşük değerlerdeyken jeoteknik sınıfta düşük değerlerdedir.

Dördüncü sınıfın değerlendirilmesinde, jeoteknik kriter sınıfları orta değerlerdeyken vekil sınıfında göreceli olarak yüksek değerlerdedir. Vekil kriterler orta değerlerdeyken jeoteknik sınıfta göreceli olarak düşük değerlerdedir.

Beşinci sınıfın değerlendirilmesinde, jeoteknik kriter sınıfları orta değerlerdeyken vekil sınıfında göreceli olarak yüksek değerlerdedir. Vekil kriterler orta değerlerdeyken jeoteknik sınıfta orta değerlerdedir.

Altıncı sınıfın değerlendirilmesinde, jeoteknik kriter sınıfları yüksek değerlerdeyken vekil sınıfında yüksek değerlerdedir. Vekil kriterler yüksek değerlerdeyken jeoteknik sınıfta orta değerlerdedir.

Yedinci sınıfın değerlendirilmesinde, jeoteknik kriter sınıfları yüksek değerlerdeyken vekil sınıfında orta değerlerdedir. Vekil kriterler yüksek değerlerdeyken jeoteknik sınıfta orta değerlerdedir.

Sekizinci sınıfın değerlendirilmesinde, jeofizik kriter sınıfları yüksek değerlerdeyken vekil sınıfında orta değerlerdedir. Vekil kriterler yüksek değerlerdeyken jeofizik sınıfta orta değerlerdedir.

Karar haritalarının sınıflandırılmasında, en alt ve en üst iki sınıfı (1, 2, 7, 8) tam uyumlu değilken orta sınıflar uyumlu (3, 4, 5, 6) değerlere sahiptir. Ancak yükseklik kriterinde sınıflara göre farklılıklar oluşmaktadır.

Eğim kriterinin yüksek sınıflarda uygun değerler vermediği ancak düşük sınıflarda tutarlı değerler verdiği belirlenmiştir. Ek olarak çalışma alanı içerisinde birbirinden çok farklı eğime sahip alanlar bulunması ve tüm alanlardan jeofizik ölçü alınmamış olması da bu durumu ortaya çıkarmış olabileceği de ihtimaller içerisinde.

Jeofizik kriterlerden V_{s30} , V_p ve ρ değerleri jeofizik birleştirilmiş sonuç haritasında her sınıf için tutarlı değerler oluştururken, T kriteri ters orantılı bir özelliğe sahiptir. Ayrıca, T kriterinin değer aralığının küçük olması ve sekiz sınıfa ayrılmış olması nedeniyle sonuçlara yeterli etkiyi göstermemiş olabileceği değerlendirilmektedir.

Vekil kriterlerden yükseklik değerleri vekil karar haritasına göre genel olarak tutarlıdır. Litoloji değerleri ise yüksek sınıflarda tutarlıyken orta ve düşük sınıflar da göreceli olarak tutarlıdır.

Tablo 3. Karar haritalarının sınıflara denk gelen kriter sınıfları

Sınıf No	1		2		3		4		5		6		7		8	
Kriter	JVS	VVS	JVS	VVS	JVS	VVS	JVS	VVS	JVS	VVS	JVS	VVS	JVS	VVS	JVS	VVS
T	8	4	7	4	7	5	6	4	4	3	2	4	2	5	4	5
V_{s30}	1	3	2	5	3	3	4	6	5	6	6	6	6	4	7	4
V_p	1	5	2	5	3	5	4	5	5	6	7	6	7	5	8	4
ρ	1	6	2	6	3	5	5	7	6	7	8	7	8	5	8	5
Eğim	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	4
Yükseklik	3	2	3	1	3	3	3	6	4	6	3	7	3	6	4	7
Litoloji	2	3	2	2	7	5	2	2	3	3	3	5	4	6	3	8

JVS: Jeofizik Veriler Sınıfı; VVS: Vekil Veriler Sınıfı

5. Sonuçlar

Bu çalışmanın sonucu olarak önerilen vekil özellikler yöntemiyle V_p , V_{s30} , T, ρ , bilgilerine ihtiyaç duyulmadan litoloji, coğrafi eğim ve yükseklik bilgileri kullanılarak zemin koşulları %50 başarı ile tahmin edilebilmektedir.

Elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde; orta sınıflar için her iki birleşik kriter grubunun ortalama sınıf değerlerinin daha tutarlı sonuçlar ürettiği belirlenmiş olup, jeofizik kriterler yerine vekil kriterlerin kullanılabilirliği görülmüştür. Bununla birlikte eğimin sadece düşük sınıflar için kullanılabilir olması sebebiyle eğim kriterinin çalışma alanının yüksek olduğu yerlerde kullanılamayacağı, eğimin düşük olduğu alanlarda ise kullanılabilirliği düşünülmektedir. Yüksek ve düşük sınıflarda bazı farklılıkların oluşmasının nedeni enterpolasyona bağlanabilir. Bu sorununun aşılabilmesi için yeni çalışma

alanlarında daha çok jeofizik etüt yapılması ve enterpolasyon etkisinin azaltılması önerilmektedir. Bu çalışmada kullandığımız yöntemleri geliştirebilmek ve sonuçlara etkisini test edebilmek amacıyla farklı çalışma alanlarında daha fazla veri ile çalışmalar yapılması planlanmaktadır.

Çalışma kapsamında yapılan analizler sonucunda, jeofizik etütlerin çeşitli nedenlerle yapılamadığı geniş alanlarda vekil kriterlerin genel değerlendirme amaçlı kullanılabilirliği görülmüştür. Bu sayede, zaman, ekonomi ve iş gücünden tasarruf sağlanacaktır.

İleride farklı zemin koşullarına sahip bölgeleri kapsayacak şekilde daha çok arazi çalışması yapılarak, arazi çalışmalarından elde edilen daha zengin veri seti ile incelenen bölgenin temsil kabiliyetinin artırılabilirliği düşünülmektedir. Ayrıca arazi ve laboratuvar çalışmalarından farklı daha çok parametre elde edilebilmesi durumunda, yeni değerlendirme

kriterlerinin üretilerek başarı oranının artırılabilirliği değerlendirilmektedir.

Bilgilendirme/Teşekkür

Veri teminindeki katkılarından dolayı T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na teşekkür ederiz.

Araştırmacıların katkı oranı

Ayhan Doğan: Literatür taraması, Jeofizik ve Jeoteknik değerlendirme, Yöntem belirleme, Analiz ve uygulama, Makale yazımı; **Murat Başeğmez:** Veri işleme, CBS modelleme, Analiz, Makale yazımı; **Cevdet Coşkun Aydın:** Düzenleme, Analiz

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

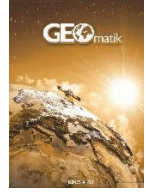
Kaynakça

- Adar, K., Büyüksaraç, A., Ercan, I., & Ulu, A. E. (2021). 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerinin Yapısal Analizler Işığında Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* (25), 306-317.
- AFAD. (2018). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*. Ankara.
- Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ., Balcı, V., Bilginer, E., . . . Gedik, İ. (2011). 1: 1.250. 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara-Türkiye*. <http://yerbilimleri.mta.gov.tr>.
- Allen, T.I., & Wald, D.J. (2007). Topographic slope as a proxy for global seismic site conditions (VS 30) and amplification around the globe: U.S. Geological Survey Open-File Report 2007-1357, 69 p
- Alptekin, A., & Yakar, M. (2021). Mapping of local soil conditions in GIS environment: A case study in Çukurkeşlik village. *Intercontinental Geoinformation Days*, 2, 64-67.
- Bai, F.-L., Hao, H., & Li, H.-N. (2010). Seismic response of a steel trussed arch structure to spatially varying earthquake ground motions including site effect. *Advances in Structural Engineering*, 13(6), 1089-1103.
- Bi, K., Hao, H., & Chouw, N. (2010). Required separation distance between decks and at abutments of a bridge crossing a canyon site to avoid seismic pounding. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 39(3), 303-323.
- Boore, D. M., & Joyner, W. B. (1997). Site amplifications for generic rock sites. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 87(2), 327-341.
- Bray, J., & Rodriguez-Marek, A. (1997). *Geotechnical site categories*. Paper presented at the Proceedings of the First PEERPG&E Workshop on Seismic Reliability of Utility Lifelines, San Francisco/California.
- BSI. (2004). *BS EN 1998-1: 2004: Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings*. BSI London, UK.
- BSSC. (2001). *NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures 2000 edition, part 1: Provisions*.
- BSSC. (2003). *NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures*.
- BSSC. (2020). *NEHRP recommended provisions for new buildings and other structures*.
- Cadet, H., Bard, P. Y., & Duval, A. M. (2008). A new proposal for site classification based on ambient vibration measurements and the Kiknet strong motion data set. In *Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering* (pp. 12-17).
- Cansız, S. (2022). Türkiye'de Kullanılan Deprem Yönetmeliklerinin Özellikleri ve Deprem Hesabının Değişimi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 14(1), 58-71.
- Civelekler, E., & Pekkan, E. (2022). The application of GIS in visualization of geotechnical data (SPT-Soil Properties): a case study in Eskisehir-Tepebaşı, Turkey. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(3), 302-313.
- Clayton, C., Steinhagen, M., Steinhagen, H., Powrie, W., Terzaghi, K., & Skempton, A. (1995). Terzaghi's theory of consolidation, and the discovery of effective stress. (Compiled from the work of K. Terzaghi and AW Skempton). *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Geotechnical Engineering*, 113(4), 191-205.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİDB). (2022). <https://www.atlas.gov.tr/>.
- Devi, S., Kumar, P., & Kumar, R. (2022). Strong motion modelling of the 1999 Izmit Earthquake using site effect in a semi-empirical technique: a more realistic approach. *Pure and Applied Geophysics*, 179(2), 483-497.
- Di Alessandro, C., Bonilla, L. F., Boore, D. M., Rovelli, A., & Scotti, O. (2012). Predominant-period site classification for response spectra prediction equations in Italy. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 102(2), 680-695.
- Dobry, R., Borcherdt, R., Crouse, C., Idriss, I., Joyner, W., Martin, G. R., . . . Seed, R. (2000). New site coefficients and site classification system used in recent building seismic code provisions. *Earthquake Spectra*, 16(1), 41-67.
- Dobry, R., Ramos, R., & Power, M. S. (1998). Site factors and site categories in seismic codes. In *Site factors and site categories in seismic codes*.
- Erdik, M., Ülker, Ö., Şadan, B., & Tüzün, C. (2018). Seismic isolation code developments and significant applications in Turkey. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 115, 413-437.
- Escudero, C. R., Ramirez Gaytan, A., Zamora Camacho, A., Preciado, A., Flores, K. L., & Gomez Hernandez, A. (2022). Geotechnical zonation and soil-structure interaction at Puerto Vallarta, México. *Natural Hazards*, 110(1), 247-267.
- Gallipoli, M. R., & Mucciarelli, M. (2009). Comparison of site classification from VS 30, VS 10, and HVSR in Italy. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 99(1), 340-351.
- Gaytan, A. R., Estrella, H. F., Preciado, A., Bandy, W. L., Lazcano, S., Nolasco, L. A., . . . Korn, M. (2020). Subsoil classification and geotechnical zonation for

- Guadalajara City, México: Vs30, soil fundamental periods, 3D structure and profiles. *Near Surface Geophysics*, 18(2), 175-188.
- Genç, A. F., Ergün, M., Günaydin, M., Altunışık, A. C., Ateş, Ş., Okur, F. Y., & Mosallam, A. S. (2019). Dynamic analyses of experimentally-updated FE model of historical masonry clock towers using site-specific seismic characteristics and scaling parameters according to the 2018 Turkey building earthquake code. *Engineering Failure Analysis*, 105, 402-426.
- Green, R. A., Olson, S. M., Cox, B. R., Rix, G. J., Rathje, E., Bachhuber, J., . . . Martin, N. (2011). Geotechnical aspects of failures at port-au-prince seaport during the 12 january 2010 Haiti earthquake. *Earthquake Spectra*, 27(SUPPL. 1), 43-65.
- Hashash, Y., Groholski, D., Phillips, C., Park, D., & Musgrove, M. (2011). DEEPSOIL 5.0, user Manual and Tutorial. *University of Illinois, Urbana, IL, USA*.
- Héloïse, C., Bard, P. Y., Duval, A. M., & Bertrand, E. (2012). Site effect assessment using KiK-net data: part 2—site amplification prediction equation based on f_0 and V_{sz} . *Bulletin of Earthquake Engineering*, 10, 451-489.
- Idriss, I., & Sun, J. (1992). User's manual for SHAKE91: Center for Geotechnical Modeling. *Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis, Davis, CA*.
- İnyurt, S., Mekik, Ç., & Yıldırım, Ö. (2020). Deprem kaynaklı olabilecek iyonosferik değişimlerin belirlenmesi üzerine yeni bir yaklaşım geliştirilmesi. *Geomatik*, 5(2), 127-133.
- İşık, E., Büyüksaraç, A., Ekinci, Y. L., Aydın, M. C., & Harirchian, E. (2020). The effect of site-specific design spectrum on earthquake-building parameters: a case study from the Marmara Region (NW Turkey). *Applied Sciences*, 10(20), 7247.
- ISSMGE, T. (1999). Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazard. *International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The Japanese Geotechnical Society, Tokyo*.
- Jayaram, N., & Baker, J. W. (2009). Correlation model for spatially distributed ground-motion intensities. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 38(15), 1687-1708.
- Kalita, S., & Chetia, B. (2020). A novel approach for ionospheric total electron content earthquake precursor and epicenter detection for low-latitude. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 5(2), 94-99.
- Kanai, K. (1961). On microtremors. VIII. *Bulletin of the Earthquake Research Institute.*, 39, 97-114.
- Kanai, K., Tanaka, T., Morishita, T., & Osada, K. (1966). Observation of microtremors, XI: Matsushiro earthquake swarm areas. *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, 44(Part 3).
- Kim, H.-S., Sun, C.-G., & Cho, H.-I. (2017). Geospatial Big Data-Based Geostatistical Zonation of Seismic Site Effects in Seoul Metropolitan Area. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(6).
- Kim, H.-S., Sun, C.-G., Lee, M.-G., & Cho, H.-I. (2021). Multivariate geotechnical zonation of seismic site effects with clustering-blended model for a city area, South Korea. *Engineering Geology*, 294, 106365.
- Kircher, C. A., Rezaeian, S., & Luco, N. (2019). Proposed multi-period response spectra and ground motion requirements of the 2020 recommended provisions and ASCE 7-22. In *Structural Engineers Association of California (SEAOC) 2019 Convention* (p. 10).
- Koçkar, M. K., & Akgün, H. (2008). Development of a geotechnical and geophysical database for seismic zonation of the Ankara Basin, Turkey. *Environmental Geology*, 55(1), 165-176.
- Konakoglu, B., & Akar, A. (2020). Elazığ ve Çevresindeki İllerde Meydana Gelen Tektonik Hareketlerin TUSAGA-Aktif İstasyonlarının Konumlarına Etkisinin Statik Deformasyon Modelleri Kullanılarak İncelenmesi. *Geomatik*, 6(2), 165-178.
- Kor, E., & Ozcelik, Y. (2022). Seismic performance assessment of concentrically braced steel frames designed to the Turkish Building Earthquake Code 2018. *Structures*, 40, 759-770.
- LeBrun, B., Duval, A.-M., Bard, P.-Y., Monge, O., Bour, M., Vidal, S., & Fabiol, H. (2004). Seismic Microzonation: A Comparison between Geotechnical and Seismological Approaches in Pointe-à-Pitre (French West Indies). *Bulletin of Earthquake Engineering*, 2(1), 27-50.
- Lin, W., & Yoda, T. (2017). Chapter Two - Bridge Planning and Design. In W. Lin & T. Yoda (Eds.), *Bridge Engineering* (pp. 31-58): Butterworth-Heinemann.
- Luzi, L., Puglia, R., Pacor, F., Gallipoli, M. R., Bindi, D., & Mucciarelli, M. (2011). Proposal for a soil classification based on parameters alternative or complementary to Vs30. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 9(6), 1877-1898.
- Mayne, P. W., Christopher, B. R., & DeJong, J. (2002). *Subsurface Investigations--Geotechnical Site Characterization: Reference Manual* (No. FHWA-NHI-01-031). United States. Federal Highway Administration.
- MOCT. (1997). *Korean Seismic Design Standards*. Seoul, Korea: Ministry of Construction and Transportation.
- MTA. (2022). <http://yerbilimleri.mta.gov.tr>.
- Mucciarelli, M., & Gallipoli, M. R. (2006). *Comparison between Vs30 and other estimates of site amplification in Italy*. Paper presented at the First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, 1-7.
- NASA. (2022). <https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>
- Oğuz, E., Oğuz, K., & Öztürk, K. (2022). Düzce bölgesi taşkın duyarlılık alanlarının belirlenmesi. *Geomatik*, 7(3), 220-234.
- Ozcep, T., Ozcep, F., & Ozel, O. (2011). Comparison between Vs30 and earthquake amplifications, and their reliability for seismic design codes: Adapazari (Turkey) Case. *Geophysical Research Abstracts*, 13.
- Ozel, O., Cranswick, E., Meremonte, M., Erdik, M., & Safak, E. (2002). Site effects in Avcılar, west of Istanbul, Turkey, from strong-and weak-motion data. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92(1), 499-508.
- Ozer, C. (2021). 4-D tomographic change of Vp and Vp/Vs structure before destructive earthquakes: a case study of the Sivrice-Elazığ earthquake (mw = 6.8), Eastern Turkey. *Natural Hazards*, 108(2), 1901-1917.

- Pitilakis, K., Riga, E., & Anastasiadis, A. (2012). Design spectra and amplification factors for Eurocode 8. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 10(5), 1377-1400.
- Pitilakis, K., Riga, E., & Anastasiadis, A. (2013). New code site classification, amplification factors and normalized response spectra based on a worldwide ground-motion database. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 11(4), 925-966.
- Rahman, S. A., Islam, M. M., Salman, M. A., & Rafiq, M. R. (2022). Evaluating bank erosion and identifying possible anthropogenic causative factors of Kirtankhola River in Barishal, Bangladesh: an integrated GIS and Remote Sensing approaches. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(2), 179-190.
- Rai, D. C., & Murty, C. (2006). Effects of the 2005 Muzaffarabad (Kashmir) earthquake on built environment. *Current Science*, 90(8), 1066-1070.
- Ramírez Eudave, R., Rodrigues, H., & Ferreira, T. M. (2022). 1 - Building survey and characterization techniques at different scales. In T. Ferreira & H. Rodrigues (Eds.), *Seismic Vulnerability Assessment of Civil Engineering Structures At Multiple Scales* (pp. 1-31): Woodhead Publishing.
- Rezaeian, S., & Luco, N. (2019, August). Updates to USGS National Seismic Hazard Model (NSHM) and design ground motion maps for 2020 NEHRP recommended provisions. In *SEAOC 2019 convention proceedings. Structural Engineers Association of California 2019 Convention* (p. 1). Squaw Creek, CA: SEAOC.
- Richart, F. E., Hall, J. R., & Woods, R. D. (1970). Vibrations of soils and foundations.
- Sarı, S., & Türk, T. (2021). An investigation of urban development with geographical information systems: 100-year change of Sivas City, Turkey. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 6(1), 51-63.
- Seed, H. B., Ugas, C., & Lysmer, J. (1976). Site-dependent spectra for earthquake-resistant design. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 66(1), 221-243.
- Shi, G., Hu, F., & Shi, Y. (2016). Comparison of seismic design for steel moment frames in Europe, the United States, Japan and China. *Journal of Constructional Steel Research*, 127, 41-53.
- Sitharam, T. G., James, N., Kolathayar, S., Sitharam, T. G., James, N., & Kolathayar, S. (2018). Local Site Effects for Seismic Zonation. *Comprehensive Seismic Zonation Schemes for Regions at Different Scales*, 75-108.
- Sun, C. G. (2012). Applications of a GIS-based geotechnical tool to assess spatial earthquake hazards in an urban area. *Environmental Earth Sciences*, 65, 1987-2001.
- Sun, C. G., Kim, D. S., & Chung, C. K. (2005). Geologic site conditions and site coefficients for estimating earthquake ground motions in the inland areas of Korea. *Engineering Geology*, 81(4), 446-469.
- Sun, C. G., Kim, H. S., & Cho, H. I. (2018). Geo-proxy-based site classification for regional zonation of seismic site effects in South Korea. *Applied Sciences*, 8(2), 314.
- Sun, C. G., Kim, H. S., Chung, C. K., & Chi, H. C. (2014). Spatial zonations for regional assessment of seismic site effects in the Seoul metropolitan area. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 56, 44-56.
- Tremblay, R., Dehghani, M., Fahnestock, L., Herrera, R., Canales, M., Clifton, C., & Hamid, Z. (2016). Comparison of seismic design provisions for buckling restrained braced frames in Canada, United States, Chile, and New Zealand. *Structures*, 8, 183-196.
- Uang, C. M. (1991). Comparison of seismic force reduction factors used in USA and Japan. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 20(4), 389-397.
- Urfalı, T., & Eymen, A. (2021). CBS ve AHP yöntemi yardımıyla Kayseri İli Örneğinde rüzgâr enerji santrallerinin yer seçimi. *Geomatik*, 6(3), 227-237.
- Von Thun, J. L., Division, A. S. O. C. E. G. E., & Geologists, A. o. E. (1988). *Earthquake Engineering and Soil Dynamics II: Recent Advances in Ground-motion Evaluation: Proceedings of the Specialty Conference*. University of Michigan: The Society.
- Wang, Y., Cao, Z., & Li, D. (2016). Bayesian perspective on geotechnical variability and site characterization. *Engineering Geology*, 203, 117-125.
- Yalçın, C., & Yüce, M. (2019). Burdur'da güneş enerjisi santrali (ges) yatırımına uygun alanların cbs yöntemiyle tespiti. *Geomatik*, 5(1), 36-46.
- Yılmaz, O. S., Özkan, G., & Gülgen, F. (2021). Determining highway slope ratio using a method based on slope angle calculation. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 6(2), 98-103.
- Zhao, J. X., Irikura, K., Zhang, J., Fukushima, Y., Somerville, P. G., Asano, A., ... Ogawa, H. (2006). An empirical site-classification method for strong-motion stations in Japan using H/V response spectral ratio. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96(3), 914-925.





Alan koruyan projeksiyonlar her zaman alan korur mu?

İbrahim Öztuğ Bildirici*¹ 

¹Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Konya, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Harita projeksiyonları
Alan koruyan projeksiyon
Küresel üçgen

Araştırma Makalesi

Geliş: 13.01.2023
Revize: 09.04.2023
Kabul: 13.04.2023
Yayınlanma: 19.04.2023



Öz

Harita projeksiyonları alan, açı ve uzunluk koruma özelliği sağlayacak şekilde geliştirilebilir. Uzunluk koruma belli bir yönde, açı koruma ise diferansiyel anlamda olmasına karşın alan koruma hem diferansiyel hem de sonlu büyüklükler için geçerlidir. Ancak meridyen ve paraleller ile sınırlanmış bölgeler dışında sonlu büyüklüklerdeki şekillerin alanları tam olarak korunmaz. Bunun nedeni kürede şekli sınırlayan büyük daire yayları ile düzlemdeki doğru parçalarının birbirinin izdüşümü olmamasıdır. Bu etki şekli oluşturan büyük daire yayları belli bir büyüklüğü aşınca ortaya çıkar. Bu makalede bir nokta etrafında tanımlanan değişken boyutlu eşkenar küresel üçgenler yardımıyla alan hataları seçilen 4 projeksiyon için düzenli aralıklarla tanımlanmış bir nokta kümesi için analiz edilmiştir. Alan hatası küresel üçgen boyutuna ve konumuna bağlı değişmektedir. Seçilen projeksiyonlar için alan hatalarının hangi aralıklarla nokta sıklaştırması yapılarak küçültülebileceği ortaya konmuştur. Alan hatası bakımından en duyarlı projeksiyonun alan koruyan silindirik projeksiyon olduğu görülmüştür.

Do equal-area projections really preserve areas?

Keywords

Map projections
Equal-area projections
Spherical triangle

Research Article

Received:13.01.2023
Revised: 09.04.2023
Accepted: 13.04.2023
Published:19.04.2023

Abstract

Map projections can be developed to preserve areas, angles, and lengths. Although the lengths are preserved in a certain direction, and the angle preserving is valid for differential quantities, the equal-area property is valid for both the differential and the finite quantities. However, areas of finite shapes are not exact in the projection plane except for regions bounded by meridians and parallels. The reason for this is that the great circle arcs that constitute the shape of the sphere and the line segments in the plane are not coincident. This effect is significant when a certain length of great circles that belong to a shape is exceeded. In this article, using variable-sized equilateral spherical triangles defined around a point, area errors are analyzed for a set of points defined at regular intervals for four selected projections. The area error varies depending on the size and position of the spherical triangle. For the selected projections, it has been shown at which intervals of point densification the area errors can be reduced. It was seen that the most sensitive projection in terms of area error was the equal-area cylindrical projection.

1. Giriş

Harita projeksiyonları ile ilgili tüm hesaplamaların yazılımlar tarafından çözüldüğü gibi yaygın bir düşünce olmasına rağmen bu durum tam olarak doğru değildir. Bilişim teknolojilerindeki tüm gelişmelere rağmen yazılım kullananların dikkat etmesi gereken hususlar vardır.

Harita projeksiyonlarında deformasyon ya da diferansiyel ölçek, projeksiyon düzlemindeki sonsuz küçük bir uzunluğun buna karşılık gelen orijinal yüzeydeki (küre ya da elipsoit) sonsuz küçük uzunluğa oranıdır. Diferansiyel anlamda deformasyonun sonlu büyüklükler anlamında deformasyon ile aynı olmadığı gerçeği genel olarak dikkat edilmeyen bir husustur.

Alan koruma hem sonlu hem de sonsuz küçük büyüklükler için geçerlidir. Ancak parametre eğrileri ile sınırlanan, küre kapağı, küre kuşağı ve pafta alanı gibi şekiller dışında alan koruma tam olarak sağlanmaz. Alan koruyan projeksiyonlarda büyük daire yaylarının izdüşümleri doğru parçası değildir. Bu nedenle büyük daire yayları ile sınırlanan alanlar korunamaz. Bu etki, alanı oluşturan büyük daire yaylarının uzunluğu arttıkça belirginleşir. Dolayısı ile herhangi bir şeklin küredeki alanını bulmak için alan koruyan projeksiyona geçip düzlemdeki alandan yararlanmak teorik olarak doğru değildir. Pratikte kenarları 100 km üzeri olan şekillerde belirgin alan hataları ile karşılaşılır. Burada söz konusu olan hatalar istatistik bakımından sistematik hatadır. Problem, büyük daire yayları üzerinde ilave noktalar ekleyip, bu şekilde düzlemde alan hesabı yapılarak çözülebilir. Burada hangi büyüklükteki şekillerde ve hangi sıklıkta ilave noktalar oluşturulmalı sorusu ortaya çıkar. Bu makalede bu soruların cevabı aranmaktadır.

Bu çalışmada konu vektör veriler bakımından ele alınmıştır. Alan koruyan projeksiyonlarda alan hatası konusu raster veriler için de önemlidir. Bu konuyu ele alan önemli kaynaklardan biri [Usery ve Seong, \(2011\)](#) olarak sayılabilir. Makale, bilimsel bir dille, farklı disiplinlerdeki ispata dayalı bilgiler ve mantıksal tartışmaların birleştirilmesi ile oluşan fikirleri içeren ve makalenin temel amaç ve yaklaşımlarını ifade eden bir giriş bölümü ile başlamalıdır. Bu bölüm tüm okuyucular dikkate alınarak yazılmalıdır. Teknik terimler, semboller ve kısaltmalar makalede ilk kullanıldıklarında tanımlanmalıdır.

1.1. Notasyon

α	Azimet
δ	Büyük daire yay uzunluğu
ε	Küresel eksen
φ, λ	Enlem, boylam
φ_1, φ_2	Standart paraleller
θ	Yardımcı parametre (Gerçek anlamda olmayan silindirik projeksiyonlarda)
a, b	Maksimum ve minimum uzunluk deformasyonları (diferansiyel)
M	Projeksiyon düzleminde kutupsal koordinat, bir noktadan geçen paralel dairenin projeksiyonda yarıçapı
N	Konik projeksiyonlarda küçültme faktörü
R	Küre yarıçapı
x, y	Projeksiyon düzleminde Kartezyen koordinatlar, x sağa, y , yukarı

2. Materyal ve Method

Harita projeksiyonları, x, y düzlem, φ, λ coğrafi (enlem, boylam) koordinatları göstermek üzere, [Eşitlik 1](#)'deki fonksiyon çifti ile tanımlanır. Bu tanımlamanın bir harita projeksiyonu olması için, [Eşitlik 2](#)'deki eşitsizliği sağlanmalıdır ([Canters, 2002](#); [Bildirici, 2023](#)).

$$x = x(\varphi, \lambda) \quad y = y(\varphi, \lambda) \quad (1)$$

$$\frac{\partial x}{\partial \varphi} \frac{\partial y}{\partial \lambda} - \frac{\partial y}{\partial \varphi} \frac{\partial x}{\partial \lambda} \neq 0 \quad (2)$$

Projeksiyonların deformasyon özellikleri Tissot endikatrişi ile incelenir. Tissot bir yüzeyden bir yüzeye dönüşümün diferansiyel anlamda bir afin dönüşüm olduğunu göstermiştir ([Canters, 2002](#)). Bu bakış açısıyla orijinal yüzeyde (küre ya da elipsoit) bir nokta etrafında çizilen sonsuz küçük bir dairenin izdüşümü incelenir. Kürede daireyi çizdiren vektörün izdüşümü düzlemde bir elips çizdirir. Bu elipse Tissot Endikatrişi denir. Daire ve elips alanı diferansiyel anlamda eşit alınarak alan koruyan projeksiyonlar geliştirilir. Her yönde uzunluk deformasyonunun aynı olması varsayımı ile de açı koruyan ya da konform projeksiyonlar elde edilir. Uzunluk koruma ise genel olarak meridyen uzunluğunun korunması anlamındadır ([Bildirici, 2023](#)).

Tissot endikatrişinin büyük yarıçapı (a) bir nokta etrafında oluşan en büyük deformasyonu, küçük yarıçapı ise en küçük deformasyonu (b) ifade eder. Alan koruma şartı, orijinal yüzeyde yarıçapı 1 birim kabul edilen sonsuz küçük dairenin alanının düzlemde bunun izdüşümü olan elipsin alanına eşit olmasıdır. Bu, alan koruyan projeksiyonların çıkış noktasıdır ([Eşitlik 3](#)).

$$ab = 1 \quad (3)$$

Bu çalışmada kartografya ve harita projeksiyonları üzerine daha ayrıntılı bir tartışma verilmeyecek olup, bu konuda ilgili kaynaklardan yararlanılabilir ([Bildirici, 2023](#); [Bildirici, 2019](#), [Bildirici, 2017](#); [Bildirici, 2016](#); [Bugayevskiy ve Snyder, 1995](#); [Hüsrevoğlu ve Tuşat, 2018](#); [Koçak, 1999](#); [Snyder, 1993](#); [Snyder, 1987](#); [Uçar ve ark., 2011](#); [Varol ve Şanlıoğlu, 2017](#)).

Alan koruyan projeksiyonlara özgü önemli ve güncel araştırmalardan biri de [Strebe \(2017\)](#)'dir. Bu çalışmada parametrelere bağlı olarak sürekli değişen ancak alan koruma özelliğini kaybetmeyen bir projeksiyon yöntemi önerilmiştir. [Canters \(2002\)](#) ise sonlu ve sonsuz küçük büyüklüklerin deformasyonlarının farklı olduğunu kapsamlı bir şekilde ele alan önemli kaynaklardan biridir.

2.1. Ele Alınan Projeksiyonlar

Bu çalışmada farklı özelliklere sahip 4 değişik alan koruyan projeksiyon ele alınacaktır.

1- Alan koruyan azimutal projeksiyon (AKA) ([Eşitlik 4](#))

$$\begin{aligned} m &= 2R \sin \frac{\delta}{2} \\ x &= m \sin \lambda \\ y &= -m \cos \lambda \end{aligned} \quad (4)$$

2- Alan koruyan silindirik (AKS) (Eşitlik 5)

$$\begin{aligned} x &= R \cos \varphi_1 \\ y &= R \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi_1} \end{aligned} \quad (5)$$

3- Alan koruyan konik (AKK) (Eşitlik 6)

$$\begin{aligned} n &= \frac{\sin \varphi_1 + \sin \varphi_2}{2} \\ m &= \frac{R}{n} \sqrt{\cos^2 \varphi_1 + 2n(\sin \varphi_1 - \sin \varphi)} \\ x &= m \sin \lambda \\ y &= m_0 - m \cos \lambda \end{aligned} \quad (6)$$

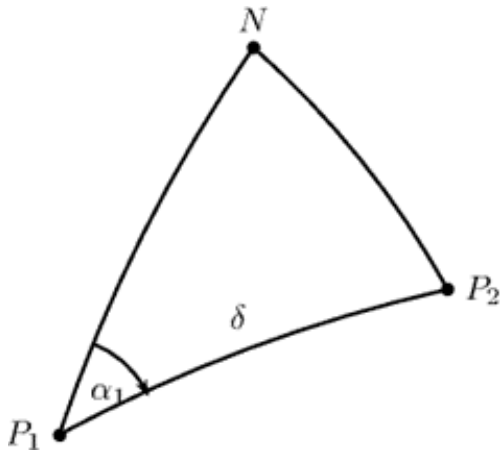
4- Mollweide projeksiyonu (MP) (Eşitlik 7)

$$\begin{aligned} x &= R \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \lambda \cos \theta \\ y &= R\sqrt{2} \sin \theta \\ 2\theta + \sin 2\theta &= \pi \sin \varphi \end{aligned} \quad (7)$$

2.2. Küre Geometrisi

Küre yüzeyinde parametre eğrileri ile sınırlanmayan en temel şekil küresel üçgendir. Bu çalışmada da değişik enlemlerde tanımlanan küresel üçgenlerin alanlarındaki değişim ele alınacağından burada kısa bir küre geometrisi ve küresel trigonometri bilgisi verilecektir.

Büyük daire yayı, küre üzerinde en kısa yol olup, düzlem üçgenlerin doğru parçalarından oluşmasına benzer olarak, küresel üçgenler de büyük daire yaylarından oluşur. Bu bağlamda küresel üçgen, küre yüzeyinde 3 noktanın büyük daire yayları ile bağlanması ile oluşan şekildir. Küresel üçgen elemanlarının hesaplaması ile uğraşan matematik dalına küresel trigonometri denir. Küresel trigonometri konusunda ayrıntılı bilgi için Ayres (1954) ve Ulsoy (1969) gibi kaynaklardan yararlanılabilir.



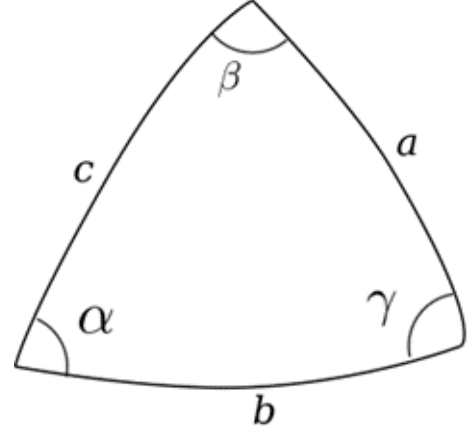
Şekil 1. Kürede temel ödevler

İki nokta arasındaki büyük daire yayının uzunluğu ve birinci noktadaki azimutu, Eşitlik 8 ve 9'daki bağıntılarından (ikinci temel ödev) hesaplanır (Şekil 1).

$$\cos \delta = \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos(\lambda_2 - \lambda_1) \quad (8)$$

$$\tan \alpha_1 = \frac{\sin(\lambda_2 - \lambda_1)}{\cos \varphi_1 \tan \varphi_2 - \sin \varphi_1 \cos(\lambda_2 - \lambda_1)} \quad (9)$$

Burada δ , büyük daire yayını küre merkezinde gören açı olup, küre yarıçapı ile çarpılarak (radyan biriminde!) küredeki uzaklığa geçilebilir ($\hat{\delta} = R\delta$).



Şekil 2. Küresel üçgen

Bir noktadan belli bir azimut doğrultusunda $\hat{\delta}$ kadar uzaklıktaki noktanın coğrafi koordinatları ise, Eşitlik 10 ve 11'deki bağıntılarından hesaplanır (birinci temel ödev).

$$\sin \varphi_2 = \sin \varphi_1 \cos \frac{\hat{\delta}}{R} + \cos \varphi_1 \sin \frac{\hat{\delta}}{R} \cos \alpha_1 \quad (10)$$

$$\tan(\lambda_2 - \lambda_1) = \frac{\sin \alpha_1}{\frac{\cos \varphi_1}{\tan \frac{\hat{\delta}}{R}} - \sin \varphi_1 \cos \alpha_1} \quad (11)$$

Büyük daire yayı üzerinde ara noktalar birinci temel ödev bağıntıları ile hesaplanır.

Küresel üçgenin iç açıları toplamı $\pi + \varepsilon$ kadar olup, ε küresel eksen olarak adlandırılır. İç açılardan ya da kenarlardan hesaplanır (Eşitlik 12) (Şekil 2).

$$\begin{aligned} s &= \frac{1}{2}(a + b + c) \\ \tan \frac{\varepsilon}{4} &= \sqrt{\tan \frac{s}{2R} \tan \frac{s-a}{2R} \tan \frac{s-b}{2R} \tan \frac{s-c}{2R}} \\ \varepsilon &= \alpha + \beta + \gamma - \pi \end{aligned} \quad (12)$$

Küresel üçgen elemanlarının hesaplamaları (Şekil 2) küresel sinüs ve kosinüs bağıntıları ile yapılır. Bağıntılar için Bildirici (2023, s.31)'den yararlanılabilir.

Küresel eksen ve üçgen alanı ilişkilidir (Eşitlik 13).

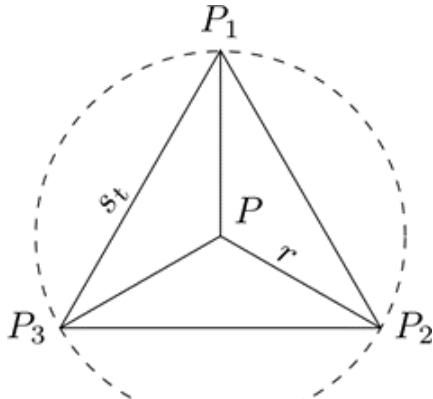
$$F = \frac{\varepsilon}{R^2} \quad (13)$$

Küresel çokgenlerin alanları ise toplam iç açıya karşılık gelen toplam eksen yardımıyla hesaplanabilir. θ iç açılar toplamını, n çokgen köşe sayısını göstermek üzere çokgen alanı, Eşitlik 14 bağıntısı ile bulunur. İç açılar ikinci temel ödev bağıntılarından Eşitlik (9) hesaplanacak azimut farklarından bulunabilir.

$$F = (\theta - (n - 2)\pi)R^2 \quad (14)$$

3. Tartışma

Alan hatalarını incelemek için bir nokta etrafında r yarıçaplı daire içine çizilen eşkenar küresel üçgenden yararlanılmıştır. Test üçgeni olarak adlandırılan bu üçgen, araştırma noktasından r uzaklığında, 0° , 120° ve 240° azimutlarında üç nokta ile oluşturulmaktadır (Şekil 3). Alan hataları küresel test üçgeni ve bunun projeksiyondaki karşılığı düzlem üçgen arasındaki farklar ile incelenecektir.



Şekil 3. Test üçgeni

Alan hatasını görmek için AKS projeksiyonunda bir nokta seçerek test üçgeni ve izdüşümünü oluşturulmuş. P noktasının enlemi 45° , boylamı 10° ve $r=100$ km olsun. Eşitlik (10) ve (11)'den Şekil 3'te de görülen P_1, P_2, P_3 noktalarının coğrafi koordinatları ve Eşitlik (5) ile hesaplanan projeksiyon koordinatları Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1. Örnek hesaplama ($\varphi_p = 45^\circ, \lambda_p = 10^\circ, R = 6371$ km)

Nokta	φ°	λ°	x (km)	y (km)
P_1	45.899322	10.000000	770.103	4710.649
P_2	44.545101	11.092819	876.494	4573.928
P_3	44.545101	8.907181	704.765	4550.203

Buradaki küresel üçgen eksen değeri 0.000321 radyan, alanı 12991.315 km^2 'dir. Düzlem üçgen alanı 12988.191 km^2 olup, 3.124 km^2 eksiktir. Küresel üçgen kenarlarına 10 km aralıklarla noktalar eklenirse, düzlem alan 12990.977 km^2 olur. Aradaki fark 0.338 km^2 'ye düşer.

Bu örnek hesaplama bir projeksiyon ve bir nokta için yapılmıştır. Noktanın konumuna ve seçilen projeksiyona göre farklar değişecektir.

Alan hatası bakımından iki araştırma sorusu düşünülebilir.

1. Hangi alan büyüklüğünden itibaren alan hatası belirgin duruma gelmektedir?

2. Alan hatasını azaltmak için hangi aralıklarla sıklaştırma yapılmalıdır?

Küçük ölçekli harita çalışmaları için alan hatasının 1 km^2 altında olması göz ardı edilebilir bir değer olarak varsayılabilir. Bu ölçüte göre analiz yapılabilir.

Seçilen 4 projeksiyonda küre üzerine düzenli dağılmış bir nokta kümesinde test üçgenleri oluşturulup ortalama alan hatası değerlerinin hesaplanması ile araştırma sorularının cevapları bulunabilir.

Seçilen 3 projeksiyonda deformasyon enleme bağlı olduğundan test noktaları sabit bir boylamda $10^\circ \leq \varphi \leq 80^\circ$ aralığında $\Delta\varphi = 10^\circ$ artış ile 8 nokta, Mollweide projeksiyonu için ise $10^\circ \leq \varphi \leq 80^\circ, 10^\circ \leq \lambda \leq 170^\circ$ aralığında $\Delta\varphi = \Delta\lambda = 10^\circ$ artışla seçilen 136 noktadan oluşmaktadır.

Bu çalışma kapsamında tüm hesaplamalarda küre yarıçapı 6371 km alınmıştır.

Test nokta kümesi üzerinde test üçgenleri ile yapılan hesaplamalar bu çalışma kapsamında Python dili ile yazar tarafından geliştirilen kodlarla gerçekleştirilmiştir.

3.1. Alan Büyüklüğü Alan Hatası İlişkisi Analizi

Test nokta kümesinde her bir nokta için test üçgenleri oluşturularak bu üçgenler bakımından oluşan alan deformasyonu ve alan farklarının mutlak değerlerinin ortalaması farklı test üçgeni yarıçap değerleri için hesaplanmıştır (Şekil 3, r parametresi). Hesaplamalar km^2/km^2 birimlerinde yapılmıştır. Hesaplanan parametreler ve gösterimleri aşağıdaki gibidir.

r	Test üçgeni yarıçap parametresi
F_t	Test üçgeni alanı (küresel)
s_t	Test üçgeni kenarı (eşkenar üçgenin bir kenarı, Şekil 3)
p	Alan deformasyonu, düzlem alanın küresel alana oranı
\overline{dF}	Alan farkları ortalaması (işaretsiz)
dF_{max}	Alan farkları maksimum değeri (işaretsiz)

Tablo 2. AKA projeksiyonu alan analizi

r	s_t	F_t	p	\overline{dF}	dF_{max}
10	17.321	129.904	0.999967	0.004	0.015
15	25.981	292.284	0.99995	0.015	0.052
20	34.641	519.617	0.999932	0.035	0.123
25	43.301	811.902	0.999914	0.07	0.242
30	51.961	1169.142	0.999895	0.123	0.421
35	60.622	1591.336	0.999875	0.199	0.672
40	69.282	2078.485	0.999855	0.301	1.009
45	77.942	2630.59	0.999835	0.435	1.445
50	86.602	3247.654	0.999814	0.605	1.993
55	95.262	3929.676	0.999792	0.817	2.667
60	103.923	4676.658	0.99977	1.075	3.482

Tablo 3. AKS projeksiyonu alan analizi

r	s_t	F_t	p	\overline{dF}	dF_{max}
5	8.66	32.476	0.999347	0.021	0.072
10	17.321	129.904	0.998694	0.17	0.578
15	25.981	292.284	0.998041	0.573	1.952
20	34.641	519.617	0.997387	1.358	4.627
25	43.301	811.902	0.996733	2.653	9.037
30	51.961	1169.142	0.996078	4.585	15.615

Tablo 4. AKK projeksiyonu alan analizi 1 ($\varphi_1 = 45^\circ, \varphi_2 = 60^\circ, n = 0.786566$)

r	s_t	F_t	p	\overline{dF}	dF_{max}
5	8.66	32.476	0.999622	0.014	0.091
10	17.321	129.904	0.999245	0.115	0.728
15	25.981	292.284	0.998869	0.387	2.452
20	34.641	519.617	0.998493	0.916	5.799
25	43.301	811.902	0.998119	1.785	11.303
30	51.961	1169.142	0.997746	3.079	19.492

Tablo 5. AKK projeksiyonu alan analizi 2 ($\varphi_1 = 35^\circ, \varphi_2 = 55^\circ, n = 0.696364$)

r	s_t	F_t	p	\overline{dF}	dF_{max}
5	8.66	32.476	0.999407	0.022	0.132
10	17.321	129.904	0.998816	0.172	1.05
15	25.981	292.284	0.998228	0.578	3.534
20	34.641	519.617	0.997642	1.367	8.351
25	43.301	811.902	0.997059	2.664	16.263
30	51.961	1169.142	0.996479	4.592	28.018

Sonuçlar **Tablo 1-6'**da verilmiştir. Tablo değerlerine göre alan hatasının 1 km² altında olduğu küresel üçgen kenar ve alanları (test üçgenleri) yuvarlak değerler alınarak **Tablo 7'**de özetlenmiştir. Buradan gerçek anlamlı silindirik ve konik projeksiyonların alan hatasına daha duyarlı oldukları sonucu çıkmaktadır. Özellikle silindirik projeksiyonda (AKS) yüksek enlemlerde alan hatası daha belirgin durumdadır. Azimutal projeksiyonda ise alan hatası 70 km üzeri kenarlarda belirgindir. **Tablo 7'**ye göre gerçek anlamlı konik ve silindirik projeksiyonlarda kenarları 25 km'yi, alanları 300 km²'yi aşan şekillerde 10 km aralıklarla nokta sıklaştırması yapılması gerektiği düşünülebilir. Azimutal projeksiyonda ise 100 km üzeri kenarlar için 50 km aralıklı sıklaştırma gerektiği görülmektedir. Burada alan hatasının belirgin olduğu kenar uzunluklarının yaklaşık yarısı kadar bir sıklaştırma aralığının alan hatasını küçülteceği değerlendirilmiştir. 10 km ve 50 km sıklaştırma aralıkları bu nedenle önerilmiştir.

Tablo 6. MP projeksiyonu alan analizi

r	s_t	F_t	p	\overline{dF}	dF_{max}
20	34.641	519.617	0.99991	0.049	0.086
25	43.301	811.902	0.99988	0.098	0.175
30	51.961	1169.142	0.99985	0.173	0.316
35	60.622	1591.336	0.99982	0.28	0.523
40	69.282	2078.485	0.99980	0.427	0.812
45	77.942	2630.59	0.99976	0.62	1.201
50	86.602	3247.654	0.99973	0.868	1.71
55	95.262	3929.676	0.99970	1.178	2.358
60	103.923	4676.658	0.99967	1.56	3.168

Tablo 7. Alan hatasının 1 km²'yi aşmadığı küresel üçgen kenar ve alanları (yuvarlatılmış değerler)

Proj.	s_t	F_t
AKA	100	4500
AKS	25	300
AKK1	25	300
AKK2	25	300
MP	85	3000

Gerçek anlamlı olmayan projeksiyonlar için daha fazla deneme yapılmasına ihtiyaç olmakla birlikte kenarları 100 km, alanları 3000 km² altındaki şekillerde alan hatasının ihmal edilebilir olduğu değerlendirilebilir. Bu tür projeksiyonlarda çeşitlilik fazla olduğundan bu çalışma kapsamına daha fazla projeksiyon alınmamış olup, bu konuda ikinci bir çalışma yapılabileceği değerlendirilmiştir.

3.2. Nokta Sıklaştırması Etkisinin Analizi

Önceki bölümdeki analiz sonucu AKK ve AKS projeksiyonlarında nokta sıklaştırması için 10 km değeri bir ölçüt olarak ortaya çıkmıştır. Bu durumu irdelemek için test üçgenlerinde sıklaştırma yapılarak test noktası kümelerinde maksimum alan hataları hesaplanmıştır.

Tablo 8-10'dan görüldüğü üzere nokta sıklaştırması alan hatasını düşürmektedir.

AKA projeksiyonu için ise kenarları 100 km üzeri olan test üçgenlerinde 50 km aralıklarla sıklaştırma uygulanmıştır. Ancak yeterli olmadığı görülerek 25 km sıklıkla bir kez daha hesaplama gerçekleştirilmiştir. **Tablo 11'**de görülen sonuçlar, 25 km sıklaştırmanın etkili olduğu göstermektedir. Bu projeksiyon için 10 km sıklaştırma da düşünülebilir.

Tablo 8. AKS projeksiyonu 10 km sıklaştırma ile alan analizi

r	s_t	F_t	p	\overline{dF}	dF_{max}
20	34.641	519.617	0.99981	0.101	0.345
25	43.301	811.902	0.99984	0.132	0.449
30	51.961	1169.142	0.99986	0.164	0.557
35	60.622	1591.336	0.99988	0.196	0.668
40	69.282	2078.485	0.99989	0.222	0.756
45	77.942	2630.59	0.99991	0.245	0.834
50	86.602	3247.654	0.99992	0.271	0.921
55	95.262	3929.676	0.99992	0.299	1.016
60	103.923	4676.658	0.99993	0.329	1.118

Tablo 9. AKK projeksiyonu 10 km sıklaştırma ile alan analizi 1 ($\varphi_1 = 45^\circ, \varphi_2 = 60^\circ, n = 0.786566$)

r	s_t	F_t	p	\overline{dF}	dF_{max}
20	34.641	519.617	0.99989	0.068	0.432
25	43.301	811.902	0.99991	0.089	0.562
30	51.961	1169.142	0.99992	0.11	0.696
35	60.622	1591.336	0.99993	0.131	0.832
40	69.282	2078.485	0.99994	0.149	0.94
45	77.942	2630.59	0.99995	0.164	1.035
50	86.602	3247.654	0.99995	0.18	1.141
55	95.262	3929.676	0.99996	0.199	1.257
60	103.923	4676.658	0.99996	0.218	1.379

Küre üzerindeki eğrilerde nokta sıklaştırması yapılması yalnızca alan hesaplamaları açısından gerekli değildir. Büyük daire yayları ve parametre eğrilerinin (meridyen ve paraleller) eğri görünümü olduğu projeksiyonlarda sıklaştırma gereklidir. Bu nedenle CBS yazılımlarında buna yönelik araçlar ya da eklentiler yer almaktadır. Açık kaynak yazılımlardan QGIS, Shape Tools eklentisi buna örnek verilebilir ([URL-1](#)). Eklenti kodları da açık olarak paylaşılmıştır.

Tablo 10. AKK projeksiyonu 10 km sıklaştırma ile alan analizi 2 ($\varphi_1 = 35^\circ, \varphi_2 = 55^\circ, n = 0.696364$)

r	s_t	F_t	p	\overline{dF}	dF_{max}
20	34.641	519.617	0.99982	0.102	0.623
25	43.301	811.902	0.99985	0.132	0.808
30	51.961	1169.142	0.99987	0.164	1
35	60.622	1591.336	0.99989	0.196	1.194
40	69.282	2078.485	0.99990	0.221	1.349
45	77.942	2630.59	0.99992	0.244	1.484
50	86.602	3247.654	0.99993	0.269	1.634
55	95.262	3929.676	0.99993	0.296	1.798
60	103.923	4676.658	0.99994	0.324	1.971

Tablo 11. AKA projeksiyonu 25 km sıklaştırma ile alan analizi

r	s_t	F_t	p	\overline{dF}	dF_{max}
60	103.923	4676.658	0.99999	0.06	0.194
80	138.563	8314.226	0.99999	0.082	0.256
100	173.203	12991.315	0.99999	0.113	0.344
120	207.843	18708.084	0.99999	0.14	0.415
140	242.482	25464.733	0.99999	0.171	0.493

4. Sonuçlar

Alan koruyan projeksiyonlarda büyük daire yaylarının izdüşümlerinin doğru biçiminde olmamasının neden olduğu alan hatası çoğu CBS kullanıcısının farkında olmadığı hata kaynaklarından biridir. Genel olarak alan korumanın her koşulda geçerli olduğu gibi bir yanlışlıktır. Bu makalede hangi büyüklükteki alanlarda alan hatasının belirgin olduğu deneysel olarak ortaya konulmuş, çözüm için hangi durumlarda ve hangi aralıklarla sıklaştırma yapılacağı irdelenmiştir. Burada önerilen bir nokta etrafında tanımlanan küresel eşkenar üçgen yardımıyla alan farklarının analizi özgün bir yöntemdir.

Alan hatası belli bir alan büyüklüğünden sonra göz ardı edilemeyecek düzeylere ulaşır. Bu büyüklük, projeksiyonlara göre değişim göstermektedir. Konik ve silindirik projeksiyonların bu bakımdan daha duyarlı oldukları gösterilmiştir. Bu projeksiyonlarda 20~km'den uzun kenarlarda 10~km aralıklarla nokta sıklaştırması yapılması alan hatasını küçültmektedir. Alan koruyan gerçek anlamlı olmayan projeksiyonların alan hatası bakımından daha iyi oldukları görülmüştür. Bu tür projeksiyonlarda çeşitlilik fazla olduğundan bu makale kapsamında geniş bir irdeme yapılmamıştır. Bu konuda ileride ayrı bir araştırma yapılabileceği değerlendirilmiştir.

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Ayres, F. (1954). *Theory and problems of plane and spherical trigonometry, Schaum's outline series*. McGraw-Hill Book Company.
- Bildirici, İ. Ö. (2016). Ortogonal olmayan coğrafi ağı harita projeksiyonlarında Tissot endikatis elemanlarının belirlenmesi. *Harita Dergisi*, 156, 13-22.
- Bildirici, İ. Ö. (2017). Elipsoit Yüzeyinde Temel Ödev Çözümleri Üzerine Bir İnceleme. *Geomatik*, 2(1), 53-59.
- Bildirici, İ. Ö. (2019). Harita projeksiyonları ve nümerik analiz. *Geomatik*, 4(2), 160 – 169.
- Bildirici, İ. Ö. (2023). *Kartografya: Harita tasarımı ve kullanımı için gerekli bilim, sanat ve teknik*. Atlas Akademi Yayınevi, Konya, 3. baskı.
- Bugayevskiy, L. M. & Snyder, J. (1995). *Map projections: A reference manual*. CRC Press, Philadelphia.
- Canter, F. (2002). *Small-Scale Map Projection Design*. Taylor and Francis, London.
- Hüsrevoğlu, M. & Tuşat, E. (2018). İki boyutlu bazı datum dönüşüm yöntemlerinin İncelenmesi. *Geomatik*, 3(1), 22 – 34.
- Koçak, E. (1999). *Harita projeksiyonları*. Karaelmas üniversitesi, Zonguldak.
- Snyder, J. P. (1987). *Map projections-A working manual, volume 1395*. US Government Printing Office, Washington, D.C.
- Snyder, J. P. (1993). *Flattening the Earth*. University of Chicago Press, Chicago.
- Strebe, D. (2017). An efficient technique for creating a continuum of equal-area map projections. *Cartography and Geographic Information Science*, 45, 1-10.
- Uçar, D., İpbüker, C., & Bildirici, İ. Ö. (2011). *Matematiksel Kartografya*. Atlas Yayın Dağıtım, Ankara.
- Ulsoy, E. (1969). *Düzlem ve küresel trigonometri*. Birsan Kitabevi Yayınları, İstanbul.
- URL-1: <https://github.com/NationalSecurityAgency/qgis-shapetools-plugin>
- Usery, E. & Seong, J. (2001). All equal-area map projections are created equal, but some are more equal than others. *Cartography and Geographic Information Science*, 28, 183-194.
- Varol, M. B., & Şanlıoğlu, İ. (2017). Open geospatial consortium web map and feature services and free/open source server/client softwares. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 2(1), 17-26.





Dış doğrultu ölçmeleriyle geriden kestirmede Collins ve Akarsu yöntemleri

Veli Akarsu *1 

¹Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak MYO, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Zonguldak, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Doğrultu Ölçmesi
Geriden Kestirme
Collins Yöntemi
Akarsu Yöntemi

Araştırma Makalesi

Geliş: 16.01.2023
Revize: 28.02.2023
Kabul: 03.03.2023
Yayınlanma: 19.04.2023



Öz

Yeryuvarında tanımlanmış olan bir iki boyutlu (2B) dik koordinat sisteminde, koordinatı bilinmeyen noktadan (doğrultu ölçmeleri yapılan nokta) koordinatları bilinen (en az dört nokta) noktalara, en az iki tam dizi doğrultu ölçmelerinde hesaplanan düzlem açılar ile koordinatların hesaplanmasına geriden kestirme problemi denir. Bir, iki, üç veya çok noktanın koordinatları geriden kestirme yöntemiyle hesaplanabilmektedir. Günümüzde kullanılan geriden kestirme yöntemleri: Collins, Kaestner, Delambre, Cassini, Ansermet ve Akarsu yöntemleridir. Bir alıcı ile küresel konum belirleme sistemleri ile nokta konum koordinatlarının belirlenmesi, geriden kestirme yöntemine dayanması nedeniyle daha da önemli hale gelmiştir. Bu çalışmada, geriden kestirme noktasındaki dış açılar ile geriden kestirme probleminin çözümü, Collins ve Akarsu yöntemleri ile çözümünün teorik açıklamaları yapılmıştır. Ayrıca, sayısal bir uygulama ile de Collins yöntemiyle hesaplanan kestirme noktasının kesin koordinatlarına ait standart sapmaları; $\sigma_x^C = \mp 2,7 \text{ mm}$, $\sigma_y^C = \mp 11,4 \text{ mm}$ ve Akarsu çözüm yönteminde ise $\sigma_x^A = \mp 1,4 \text{ mm}$, $\sigma_y^A = \mp 1,2 \text{ mm}$ değerleri elde edilmiştir. Her iki çözüm yöntemiyle elde edilen değerler, bulgular ve tartışma bölümünde yorumlanmıştır.

Resection with outer direction measurements Collins and Akarsu methods

Keywords

Direction Measurement
Resection
Collins Method
Akarsu Method

Research Article

Received: 16.01.2023
Revised: 28.02.2023
Accepted: 03.03.2023
Published: 19.04.2023

Abstract

Calculation of plane angles and coordinates calculated in at least two full series direction measurements from points whose coordinates are known (at least four points) from a point whose coordinates are unknown (the point where direction measurements are made) in a two-dimensional (2D) vertical coordinate system defined on the earth is called a resection problem. The coordinates of one, two, three or multiple points can be calculated by the resection method. Resection methods used today are: Collins, Kaestner, Delambre, Cassini, Ansermet and Akarsu methods. Determination of point location coordinates with global positioning systems with a receiver has become even more important because it is based on the resection method. In this study, the solution of the resection problem with exterior angles and the theoretical explanations of its solution with Collins and Akarsu methods are given. In addition, with a numerical application, the standard deviations of the exact coordinates of the cut-off point calculated by the Collins method $\sigma_x^C = \mp 2,7 \text{ mm}$, $\sigma_y^C = \mp 11,4 \text{ mm}$; $\sigma_x^A = \mp 1,4 \text{ mm}$, $\sigma_y^A = \mp 1,2 \text{ mm}$ in the Akarsu solution method; Values of were obtained. The values obtained by both solution methods are interpreted in the findings and discussion section.

1. Giriş

Teorik ve uygulamalı jeodezi’de tanımlanmış bir dik koordinat sistemindeki nokta konum koordinatlarının belirlenmesi için mutlaka ölçülere ihtiyaç duyulur. Ölçme bir deneydir. Ölçme işi jeodezinin en temel işlevlerinden biridir. Bütün geometriler-Öklid, Riemann, Lobaçevski, ve Taksi gibi geometriler-metrik kavramına dayandırılarak kurulmuşlardır. Makale Öklid geometrisi metriğine dayanmaktadır. Kestirme kavramı (prediction, resection) tahmin ya da prediksyon olarak da adlandırılan, konum koordinatları bilinen noktalara dayanarak yeteri kadar doğrultu ölçülerinden hesaplanmış açılar yardımıyla yeni nokta konum koordinatlarının belirlenmesi yöntemidir (Akarsu, 2005a). Yeryuvarında tanımlanmış olan bir iki boyutlu (2B) dik koordinat sisteminde, koordinatı bilinmeyen noktadan (doğrultu ölçmeleri yapılan nokta) koordinatları bilinen (en az dört nokta) noktalara, en az iki tam dizi doğrultu ölçmelerinde hesaplanan düzlem açılar (Akarsu, 2005b; Sertöz, 2019) ile koordinatların hesaplanmasına geriden kestirme problemi denir.

Bir, iki, üç veya çok noktanın koordinatları geriden kestirme yöntemiyle hesaplanabilmektedir. Çalışma, $\mathbb{R} \times \mathbb{R} = \mathbb{R}^2$ koordinat düzleminde gerçekleştirilmiştir. Günümüzde kullanılan geriden kestirme yöntemleri: Collins, Kaestner, Delambre, Cassini, Ansermet ve Akarsu yöntemleridir (Halliday, 1962; Alman, 1963; Bradley, 1972; Danial, 1978; El Hassan, 1986; Hu ve Kuang, 1998; Greulich, 1999; Tan, 2004; Burtch, 2005; Akarsu, 2008a; Font-Lagunes ve Batlle, 2009; Porta ve Thomas, 2009; Dekov, 2012; Ligas, 2013). Geçmişte geliştirilen bazı geriden kestirme yöntemleri ise (Willebrord, 1617; McCaw, 1918) olarak anılabilir. İngiliz bilim insanı, John Collins (1625-1683), 1671 yılında geriden kestirme hesabında kendi adı ile anılan çözümü; Alman matematikçi, Abraham Gotthelf Kaestner (1719-1800), 1790 yılında yayınladığı bir kitapta geriden kestirme hesabında kendi ismi ile anılan bir çözüm şeklini; Fransız astronom, Jean-Baptiste-Joseph Delambre (1749-1822); İtalyan bilim insanı, Gino Cassini (1885-1964), İsviçreli haritacı, M. Augusta Ansermet (1886-1976), 1912 yılında kendi ismi ile anılan geriden kestirmede çözüm yöntemini ve Veli Akarsu (1962-) 2008 yılında (Akarsu, 2008a) çözüm yöntemini bilim dünyasına sunmuşlardır (Akarsu, 2005a; Akarsu, 2008b; Akarsu2008c).

Bu yöntemlerden Collins çözüm yöntemi koordinatı hesaplanacak yeni nokta ve diğer iki sabit noktadan geçen bir çember tasarlanarak, koordinatı hesaplanacak nokta ile çember üzerinde olmayan üçüncü sabit noktadan geçen doğrultunun çemberi kestiği yardımcı noktadan faydalanarak çözüm üretir.

Kaestner çözüm yöntemi ise konum koordinatları bilinen üç sabit nokta ile koordinatları bilinmeyen yeni noktanın oluşturduğu dörtgenin bilinmeyen iki iç açısının hesabı için kurulan iki lineer denklem sistemi modeline dayanarak alternatif bir çözüm sunmuştur.

Delambre yöntemi cep hesaplayıcılarına uygun analitik çözüm üreten bir yöntemdir (Şerbetçi, 1991).

Cassini çözüm yöntemi bilinen iki nokta ile bilinmeyen yeni noktadan geçirilen farklı iki çember

üzerinde tasarlanan ve aynı doğrultu üzerinde bulunan farklı iki yardımcı noktaya dayanarak çözüm üretir. Ansermet yöntemi ise ağırlık merkezi ve moment kavramlarına dayanarak çözüm üretmekte ve Akarsu çözüm yöntemi ise çember kuvvet eksenini ve deltoid gibi geometrik kavramlara dayandırılarak çözüm üreten bir yöntemdir (Akarsu, 2003; Akarsu, 2005a; Akarsu, 2005b; Akarsu, 2007; Akarsu ve Karakaya, 2010).

Bu yöntemler uygulanırken sabit noktalar ile aranan nokta ve yardımcı noktaların aynı çember üzerinde olması durumunda, tek anlamlı çözüm elde edilemez.

Bu durumda çember üzerindeki her nokta konum koordinatı hesaplanacak yeni nokta olarak alınabileceğinden, sonsuz sayıda çözüm söz konusu olur. Sonsuz çözüm üreten çember literatürde tehlikeli çember olarak adlandırılır. Bir alıcı ile küresel konum belirleme sistemleri ile nokta konum koordinatlarının belirlenmesi, geriden kestirme yöntemine dayanmasını nedeniyle daha da önemli hale gelmiştir (Akarsu ve ark., 2015; Pırtı ve Yazıcı, 2021; Pırtı ve ark., 2022; Pırtı ve ark., 2023). Pratik jeodezi literatüründe, geriden kestirme noktası koordinatları, bilinen dört noktaya dayalı olarak hesaplanır (Koç, 2008). Collins geriden kestirme yönteminde ise geriden kestirme noktası, bilinen iki nokta ve bir yardımcı nokta ile oluşturulan kirisler dörtgeni ile çözüm gerçekleştirilir. Kestirme hesabı ölçülen yatay açılarla yapılmaktadır. Ancak günümüzde total station ile mesafe ölçülerek de yapılabilmektedir (Yakar ve Karabacak, 2021). Geriden kestirme noktası dörtgenin bir köşe noktasını oluşturur. Genellikle geriden kestirme noktasında doğrultu ölçmeleri yapılırken dörtgenin iç açısını hesaplamaya yönelik doğrultu ölçmeleri yapılır.

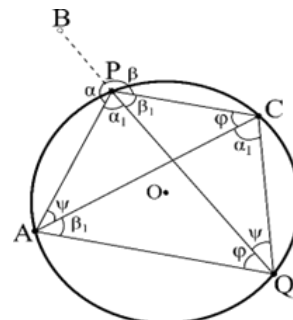
Geriden kestirme noktasında dörtgenin dış açılarını hesaplamaya yönelik doğrultu ölçmeleri yapılması durumunda, geriden kestirme noktasının koordinatlarının klasik Collins yöntemiyle hesaplanamayacağı (İnce ve ark., 2020; İnce ve ark., 2021) adlı çalışmada ifade edilmiştir.

Makalede, geriden kestirme noktasında ölçülen dış açılar ile kestirme noktasının koordinatları, Collins ve Akarsu çözüm yöntemleriyle hesaplanması teorik ve sayısal uygulamalı olarak gösterilmiştir.

2. Yöntem

2.1. Dış açılarla geriden kestirmede Collins çözüm yöntemi

Collins çözüm yönteminin açıklamaları Şekil 1 üzerinde yapılmıştır.



Şekil 1. α ve β dış açıları ile Collins çözümü (İnce ve ark., 2021)

Çözümde kullanılan semboller:

Yatay açılar (g):

$$\begin{aligned} \angle APB &= \alpha, \angle BPC = \beta \\ \angle APQ &= \angle ACQ = \alpha_1, \angle QPC = \angle QAC = \beta_1 \\ \angle AQP &= \angle ACP = \varphi, \angle PQC = \angle CAP = \psi \end{aligned}$$

Yatay kenarlar (m):

$$\begin{aligned} \overline{AC} &= a, \overline{CQ} = b, \overline{QA} = c \\ \overline{AP} &= d, \overline{PC} = e, \overline{QP} = f, \overline{BP} = h \end{aligned}$$

Collins yardımcı noktası: $Q(Y_Q, X_Q)$

Çember (Ç): A, Q, C ve P noktalarında geçen, O merkezli ve $\overline{OA} = \overline{OC} = R$ yarıçaplı çember,

$$\alpha_1 = 200g - \alpha, \beta_1 = 200g - \beta \quad (1)$$

Eşitlik (1) ile P geriden kestirme noktasında ölçülen α ve β dış açıları α_1 ve β_1 iç açılara dönüştürülür. Çemberde aynı yayı gören çevre açıların eşitliği dikkate alınarak, **Şekil 1**'de ki \checkmark çemberinin çevre açıları için, **Eşitlik 2** kullanılabilir.

$$\begin{aligned} \angle APQ &= \angle ACQ = \alpha_1, \angle QPC = \angle QAC = \beta_1 \\ \angle AQP &= \angle ACP = \varphi, \angle PQC = \angle CAP = \psi \end{aligned} \quad (2)$$

Açıklık açılarının hesabı:

$\angle XAC$ açıklık açısı **Eşitlik (3)** ile kontrollü olarak hesaplanır.

$$\angle XAC = \arctan \frac{y_C - y_A}{x_C - x_A}, a = \frac{y_C - y_A}{\sin \angle XAC} = \frac{x_C - x_A}{\cos \angle XAC} \quad (3)$$

Açıklık açıları ise **Eşitlik (4)** ile hesaplanır.

$$\angle XAQ = \angle XAC + \beta_1, \angle XCQ = \angle XCA - \alpha_1 \quad (4)$$

Kirişler dörtgeni: $AQCP$

Kenar uzunlukları ise **Eşitlik (5)** ile hesaplanır.

$$b = a \frac{\sin \beta_1}{\sin (\alpha_1 + \beta_1)}, c = a \frac{\sin \alpha_1}{\sin (\alpha_1 + \beta_1)} \quad (5)$$

Q noktasının koordinatları önden kestirme ile **Eşitlik (6) ve (7)** ile kontrollü olarak hesaplanır.

$$Y_Q^A = Y_A + c \cdot \sin \angle XAQ, Y_Q^C = Y_C + b \cdot \sin \angle XCQ \quad (6)$$

$$X_Q^A = X_A + c \cdot \cos \angle XAQ, X_Q^C = X_C + b \cdot \cos \angle XCQ \quad (7)$$

φ ve ψ açıları **Eşitlik (8)** ile hesaplanır.

$$\begin{aligned} \angle XQP &= \angle XQB \\ \varphi &= \angle XQP - \angle XQA, \psi = \angle XQC - \angle XQP \end{aligned} \quad (8)$$

Collins Geriden Kestirme Problemi ileriden kestirme problemine dönüşmüş olur.

Açıklık açıları **Eşitlik (9)** ile hesaplanır.

$$\begin{aligned} \angle XAP &= \angle XAC - \psi, \angle XCP = \angle XCA + \varphi \\ \angle XQP &= \angle XQA + \varphi = \angle XQA - \psi \end{aligned} \quad (9)$$

Eşitlik (10)'daki koşul sağlanmalıdır.

$$\varphi + \psi + \alpha_1 + \beta_1 = 200g \quad (10)$$

Eşitlik (10) koşulu sağlanmaması durumunda $AQCP$ noktalarında geçen Collins çemberi oluşmaz. Collins çemberi aynı zamanda bir kirişler dörtgenidir. **Eşitlik (10)** koşulu sağlanmaz ise tek anlamlı çözümün aksine, sonsuz çözüm söz konusu olur.

Aksi durumda doğru açı olma şartını bozan etmen ortaya çıkartılarak, bozucu etki giderilmesi gerekmektedir. **Eşitlik (10)** koşulu sağlandıktan sonra çözüme devam edilebilir.

$\triangle ACP$, $\triangle CPQ$ ve $\triangle APQ$ düzlem üçgenlerine sinüs teoremi uygulanarak, d , e ve f kenarları **Eşitlik (11)** ile kontrollü olarak hesaplanır.

$$\begin{aligned} d &= a \cdot \frac{\sin \varphi}{\sin (\alpha_1 + \beta_1)} = c \cdot \frac{\sin \varphi}{\sin \alpha_1} \\ e &= a \cdot \frac{\sin \psi}{\sin (\alpha_1 + \beta_1)} = b \cdot \frac{\sin \psi}{\sin \beta_1} \\ f &= b \cdot \frac{\sin (\alpha_1 + \varphi)}{\sin \beta_1} = c \cdot \frac{\sin (\beta_1 + \psi)}{\sin \alpha_1} \end{aligned} \quad (11)$$

İkinci bir önden kestirme ile P noktasının koordinatları **Eşitlik (12)** ile hesaplanır.

$$\begin{aligned} Y_P^A &= Y_A + d \cdot \sin \angle XAP, Y_P^C = Y_C + e \cdot \sin \angle XCP \\ Y_P^Q &= Y_Q + f \cdot \sin \angle XQP \end{aligned} \quad (12)$$

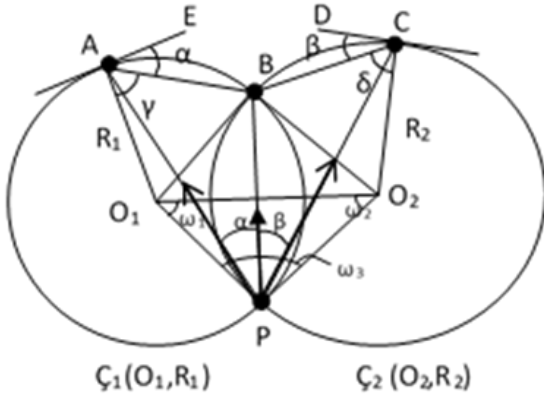
$$\begin{aligned} X_P^A &= X_A + d \cdot \cos \angle XAP, X_P^C = X_C + e \cdot \cos \angle XCP \\ X_P^Q &= X_Q + f \cdot \cos \angle XQP \end{aligned} \quad (13)$$

P noktasının kesin koordinatları **Eşitlik (14)** ile hesaplanır.

$$\overline{Y}_C = \frac{Y_P^A + Y_P^C + Y_P^Q}{3}, \overline{X}_C = \frac{X_P^A + X_P^C + X_P^Q}{3} \quad (14)$$

2.2. Dış açılarla geriden kestirmede Akarsu çözüm yönteminin aşamaları

Geriden kestirmede Akarsu çözüm yöntemi (Akarsu, 2008a) yayınında detaylı olarak tanıtılmıştır. Akarsu yöntemi kısaca çember belirleme, kuvvet eksenini ve deltoid'e ait geometrik özellikler kullanılarak çözüm gerçekleştirilir. Ayrıca, tehlikeli çember durumunun olup olmadığına ilişkin bir $\eta < 1$ test ölçütü vardır. Eğer test ölçütü için $\eta > 1$ durumunda başarısız olursa, çözümü olumsuz etkileyen unsurlar araştırılır. Test koşulu sağlandıktan sonra çözüme devam edilir. Burada çözüm yönteminin algoritması kısaca özetlenecektir.



Şekil 2. Geriden kestirmede Akarsu çözüm yöntemi (Akarsu, 2008a)

Geriden kestirmede Akarsu çözüm yönteminin aşamaları Şekil 2'ye göre aşağıda sıralanmıştır:

Çözümde kullanılan sembollerin anlamları aşağıda sıralanmıştır:

- Koordinatı hesaplanacak yeni nokta: $P(Y_P, X_P)$
- Koordinatları bilinen noktalar: $A(Y_A, X_A), B(Y_B, X_B), C(Y_C, X_C)$
- Ölçülen yatay doğrultular: r_A, r_B, r_C
- Hesaplanan iç açılar: $\angle APB = \alpha, \angle BPC = \beta$
- Hesaplanan açıklık açıları: $\angle XAB, \angle XBC$
- Hesaplanan kenar uzunlukları: $\overline{BA} = a, \overline{BC} = b$
- Çember yarıçapları: $\overline{O_1P} = \overline{O_1A} = R_1, \overline{O_2P} = \overline{O_2A} = R_2$

2.2.1. Düzlem ve açıklık açıları ve yarıçapların hesabı

$$\begin{aligned} \alpha &= r_B - r_A, \beta = r_C - r_B \\ \angle XBA &= \arctan \frac{Y_A - Y_B}{X_A - X_B}, a = \frac{Y_A - Y_B}{\sin \angle XBA} = \frac{X_A - X_B}{\cos \angle XBA} \\ \angle XBC &= \arctan \frac{Y_C - Y_B}{X_C - X_B}, b = \frac{Y_C - Y_B}{\sin \angle XBC} = \frac{X_C - X_B}{\cos \angle XBC} \\ R_1 &= \frac{a}{2 \cdot \sin \alpha}, R_2 = \frac{b}{2 \cdot \sin \beta} \end{aligned} \quad (15)$$

2.2.2. İkizkenar üçgenlerin taban açılarının hesabı

$$\angle APB = \angle BEA = \alpha, \angle BPC = \angle BCD = \beta \quad (16)$$

$$\angle BAO_1 = \angle ABO_1 = \gamma, \angle BCO_2 = \angle CBO_2 = \delta$$

$$\begin{aligned} \alpha < 100g \text{ ve } \beta < 100g \text{ ise } \gamma &= 100g - \alpha, \delta = 100g - \beta \\ \alpha > 100g \text{ ve } \beta > 100g \text{ ise } \gamma &= \alpha - 100g, \delta = \beta - 100g \\ \alpha > 100g \text{ ve } \beta < 100g \text{ ise } \gamma &= \alpha - 100g, \delta = 100g - \beta \\ \alpha < 100g \text{ ve } \beta > 100g \text{ ise } \gamma &= 100g - \alpha, \delta = \beta - 100g \end{aligned} \quad (17)$$

2.2.3. Bilinen noktalardan çember merkezlerine olan açıklık açılarının hesabı

$$\begin{aligned} \angle XAO_1 &= \angle XAB + \gamma, \angle XBO_1 = \angle XBA - \gamma \\ \angle XBO_2 &= \angle XBC + \delta, \angle XCO_2 = \angle XCB - \delta \end{aligned} \quad (18)$$

2.2.4. Çemberlerin merkezlerinin koordinatlarının hesabı

$$\begin{aligned} Y_{O_1}^A &= Y_A + R_1 \sin \angle XAO_1, Y_{O_1}^B = Y_B + R_1 \sin \angle XBO_1 \\ X_{O_1}^A &= X_A + R_1 \cos \angle XAO_1, X_{O_1}^B = X_B + R_1 \cos \angle XBO_1 \\ Y_{O_2}^B &= Y_B + R_2 \sin \angle XBO_2, Y_{O_2}^C = Y_C + R_2 \sin \angle XCO_2 \\ X_{O_2}^B &= X_B + R_2 \cos \angle XBO_2, X_{O_2}^C = X_C + R_2 \cos \angle XCO_2 \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \overline{Y_{O_1}} &= \frac{Y_{O_1}^A + Y_{O_1}^B}{2}, \quad \overline{X_{O_1}} = \frac{X_{O_1}^A + X_{O_1}^B}{2} \\ \overline{Y_{O_2}} &= \frac{Y_{O_2}^B + Y_{O_2}^C}{2}, \quad \overline{X_{O_2}} = \frac{X_{O_2}^B + X_{O_2}^C}{2} \end{aligned} \quad (20)$$

2.2.5. Tehlikeli çember testi

$$\begin{aligned} \angle XO_1O_2 &= \arctan \frac{\overline{Y_{O_2}} - \overline{Y_{O_1}}}{\overline{X_{O_2}} - \overline{X_{O_1}}} \\ c &= \frac{\overline{Y_{O_2}} - \overline{Y_{O_1}}}{\sin \angle XO_1O_2} = \frac{\overline{X_{O_2}} - \overline{X_{O_1}}}{\cos \angle XO_1O_2} \\ \angle O_1PO_2 &= \angle O_1BO_2 = \omega_3 \\ c^2 &= R_1^2 + R_2^2 - 2R_1R_2 \cos \omega_3 \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{R_1^2 + R_2^2 - c^2}{2R_1R_2} \\ \eta < 1 &\text{ ise çözüm vardır} \end{aligned} \quad (22)$$

2.2.6. Deltoid iç açıların hesabı

$$\begin{aligned} \omega_1 &= \angle PO_1O_2 = \angle BO_1O_2 = \angle XO_1O_2 - \angle XO_1B \\ \omega_2 &= \angle O_2PO_1 = \angle BO_2O_1 = \angle XO_2B - \angle XO_2O_1 \\ \omega_3 &= \angle O_1PO_2 = \angle O_1BO_2 = \angle XBO_1 - \angle XBO_2 \end{aligned} \quad (23)$$

$$\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 200g \quad (24)$$

Şitlik (24) ile açıların hesabının kontrolü yapılır.

$$\begin{aligned} \angle XBP &= \arctan \frac{-1}{\tan \angle XO_1O_2} \\ \overline{BP} &= 2R_1 \sin \omega_1 = 2R_2 \sin \omega_2 \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} \angle XO_1P &= \angle XO_1O_2 + \omega_1, \angle XO_2P = \angle XO_2O_1 - \omega_2 \\ \angle XBP &= \angle XBO_2 - \omega_2 + 100g \\ &= \angle XBO_1 + \omega_1 - 100g \end{aligned} \quad (26)$$

2.2.7. Kestirme noktası koordinatlarının hesabı

$$\begin{aligned} Y_P^B &= Y_B + \overline{BP} \sin \angle XBP, Y_P^{O_1} = Y_{O_1} + R_1 \sin \angle XO_1P \\ Y_P^{O_2} &= Y_{O_2} + R_2 \sin \angle XO_2P \\ X_P^B &= X_B + \overline{BP} \cos \angle XBP, X_P^{O_1} = X_{O_1} + R_1 \cos \angle XO_1P \\ X_P^{O_2} &= X_{O_2} + R_2 \cos \angle XO_2P \end{aligned} \quad (27)$$

$$\overline{Y_A} = \frac{Y_P^B + Y_P^{O_1} + Y_P^{O_2}}{3}, \overline{X_A} = \frac{X_P^B + X_P^{O_1} + X_P^{O_2}}{3} \quad (28)$$

3. Sayısal Uygulama

Şekil 1 ve Şekil 3'e göre P geriden kestirme noktasının iki boyutlu (Y, X) koordinatlarının hesabı için, Tablo 1'de verilen, A, B ve C noktalarının koordinatları ve Tablo 2'de P geriden kestirme noktasında A, B ve C noktalarına yapılan doğrultü ölçmelerinden hesaplanan α ve β düzlem dış açılarına dayalı olarak; Collins ve Akarsu yöntemleri ile P noktasının koordinatları hesaplanmıştır.

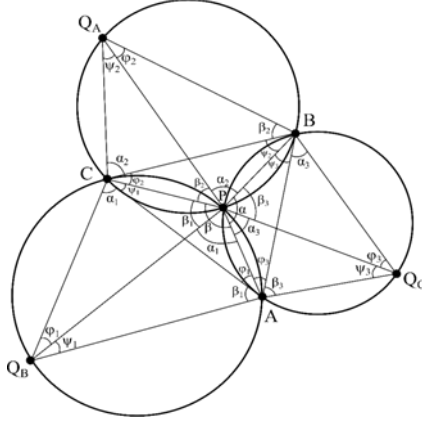
Tablo 1. A, B ve C noktalarının koordinatları (İnce ve ark., 2021)

Nokta No	Y(m)	X(m)
A	400054,49	4503729,22
B	406030,12	4509529,88
C	396233,14	4510980,99

Tablo 2. Doğrultu ölçmeleri (İnce ve ark., 2020)

Nokta No	Gözlem noktası	Doğrultular ($r_{ij}(g)$)
	B	0,0000
P	A	119,4197
	C	227,5372

3.1. Collins yöntemiyle çözüm



Şekil 3. Sayısal uygulama için Tablo 1 ve Tablo 2’de verilen değerlerine göre Collins çemberlerinin durumu (İnce ve ark., 2021)

$\alpha = 119,4197 g, \beta = 108,1175 g$
 $\alpha_2 = 200g - \alpha = 80,5804 g$
 $\beta_2 = 200 - \beta = 91,8825 g$
 değerleri için çözüm yapılmıştır.

$\angle XBC = 309,3614 g, \overline{BC} = 9903,865 m$
 $\angle XBQ = 1,2439 g, \angle XCQ = 28,7811 g$
 $\overline{CQ} = 23434,379 m, \overline{BQ} = 22535,446 m$
 $Y_Q = 406470,416 m, X_Q = 4532061,029 m$
 $\angle XQB = \angle XQP = 214,1776 g$
 $\varphi = 12,9336 m, \psi = 14,6035 g$
 $\varphi + \psi + \alpha_1 + \beta_1 = 200 g$

Koşulu sağlandığı için çözüme devam edilir.

$\angle XBP = 294,7579 g, \angle XCP = 122,2950 g$
 $\angle XQP = 214,1776 g, \overline{BP} = h = 4766,956 m$
 $\overline{CP} = e = 5372,233 m, \overline{QP} = f = 23503,665 m$

$Y_P^B = 401279,316 m$
 $Y_P^C = 401279,284 m$
 $Y_P^Q = 401279,280 m$
 $\overline{Y_P} = 401279,293 m$

$X_P^B = 4509137,799 m$
 $X_P^C = 4509137,808 m$
 $X_P^Q = 4509137,801 m$
 $\overline{X_P} = 4509137,803 m$

3.2. Akarsu yöntemiyle çözüm

$\alpha = 119,4197 g, \beta = 108,1175 g$
 $\angle XAB = 50,9458 g, \overline{AB} = 8328,014 m$
 $R_1 = 4365,548 m$
 $\angle XAC = 369,1254 g, \overline{AC} = 8197,005 m$
 $R_2 = 4132,047 m$

$\gamma = \alpha - 100g = 19,4197 g$

$\delta = \beta - 100g = 8,1175g$

$\angle XBO_1 = 231,5261g, \angle XAO_1 = 70,3655 g$

$\angle XBO_2 = 361,0079g, \angle XCO_2 = 177,2429 g$

Tablo 3. Çember merkezlerinin koordinatlarının hesabı

Nokta No	Y(m)	X(m)
O_1	403955,537	4505688,772
O_2	397678,959	4507110,147

$\angle XO_1O_2 = 314,1776 gg, \overline{O_1O_2} = c = 8435,506 m$

$\eta = 0,146461,$

$\eta < 1$ olduğu için çözüm var.

$\omega_1 = 43,8121 g, \omega_2 = 46,8303 g, \omega_3 = 109,3576 g$

$\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 200 g$

Düzlem açıların değerleri kontrol edilir.

$\overline{PA} = 5545,527 m, \angle XAP = 14,1776g$

$\angle XO_1P = 357,9897g, \angle XO_2P = 67,3473g$

Tablo 4. Akarsu yöntemiyle P noktasının koordinatlarının O_1, O_2 ve A noktalarının koordinatlarına dayanılarak hesaplanması

Nokta No	Y(m)	X(m)
O_1 'den	401279,304	4509137,799
O_2 'den	401279,300	4509137,794
A'dan	401279,302	4509137,797
P'nin Ort. Koor.	401279,302	4509137,796

4. Bulgular ve tartışma

Geriden kestirme noktasında dış doğrultu ölçmelerinden hesaplanan iki dış açının kullanılması durumunda, klasik Collins ve Akarsu yöntemleri ile çözüm gerçekleştirilmiştir. Açının dar veya geniş açı olması çözüm yöntemlerini etkilemediği gösterilmiştir.

Ayrıca klasik Collins yönteminde kirişler dörtgeninin köşelerinden birini oluşturan geriden kestirme noktası ile Collins yardımcı noktalarındaki açıların toplamının doğru açığa (200g) eşit olması gibi bir kontrol fonksiyonu eklenmiştir.

Akarsu yönteminde ise geriden kestirme probleminin çözümünün olup olmadığı $\eta < 1$ eşitsizliği ile sağlanmıştır.

Sayısal uygulamadaki veriler kullanılarak, Collins yöntemiyle hesaplanan geriden kestirme noktasının kesin koordinatlarının, standart sapmaları için;

$\sigma_x^C = \mp 2,7 mm, \sigma_y^C = \mp 11,4 mm$

değerleri elde edilmiştir.

Akarsu yöntemiyle hesaplanan geriden kestirme noktasının kesin koordinatların, standart sapmaları için ise;

$\sigma_x^A = \mp 1,4 mm, \sigma_y^A = \mp 1,2 mm$

değerleri bulunmuştur.

5. Sonuç ve öneriler

Akarsu yöntemiyle elde edilen koordinatların standart sapma değerleri kendi içinde daha homojen olmasına karşın, Collins yönteminde Y koordinatının standart sapması değeri, X koordinatının standart sapma değerinden 4 kat daha büyük çıkmıştır. Akarsu yöntemiyle hesaplanan kesin koordinat standart sapma değerleri, Collins yöntemiyle elde edilen kesin koordinat standart sapma değerlerinden daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Dolayısıyla Akarsu çözümü yönteminin kullanılması önerilmektedir.

Bilgilendirme/Teşekkür

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi'ne, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi'ne ve Konya Teknik Üniversitesi'ne teşekkür ederim.

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Akarsu, V. (2003). Geometrik geriden kestirme probleminin (GGKP) çözümünde yeni bir yöntem, Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu (TUJK) 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı, 203-208, 24-26, 24-26 Eylül, Konya.
- Akarsu, V. (2005a). Akarsu yöntemiyle geriden kestirme probleminin çözümü, TMMOB, HKMO, 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Bildiriler Kitabı, 819-835, 28 Mart-1 Nisan, Ankara, Türkiye.
- Akarsu, V. (2005b). Geometride uzay, düşey ve yatay açılar arasındaki fonksiyonel ilişki, Selçuk-Teknik Online, 134-142.
- Akarsu, V. (2007). Uzunluk ölçüleri ile geriden kestirmede akarsu yöntemi, TMMOB, HKMO, 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Bildiriler Kitabı, 131-137, ODTÜ, Kültür ve Kongre Merkezi, 2-6 Nisan, Ankara, Türkiye
- Akarsu, V. (2008a). A new method for solving the resection problem. *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 26(4), 301-313.
- Akarsu, V., & Akarsu, S. H. (2008b). Thales, euclidean geometry and geomatics engineering, International Vocational Science Symposium, IVSS 2018, 2018, 280-284, Antalya, Turkey.
- Akarsu, V., Haner, B., Mungan, H., & Akarsu, S. H. (2008c). Four equal segment division of the spherical shape of the earth as area and volume, EJONS International Congress on Mathematic Engineering, Natural And Health Sciences-IV, s-20-29, The Book of Full Texts, 2018, August 11-13, Kiev, Ukraine.,
- Akarsu, V., & Karakaya, T. (2010). Geriden kestirmede akarsu yöntemi, MYO-ÖS 2010 Ulusal Meslek Yüksekokulları Öğrenci Sempozyumu, 1-10, 23-24 Ekim 2010, Düzce.

- Akarsu, V., Sanli, D. U., Arslan, E. (2015). Accuracy of velocities from repeated GPS measurements, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 15, 875-884, <https://doi.org/10.5194/nhess-15-875-2015>.
- Alman, J. S. (1963). Notes on resection computation, 19(3), 278-293.
- Bradley, A. D. (1972). The three-point problem. *The Mathematical Teacher* LXV (8), 703-706.
- Burtch, R. (2005). Three point resection problem. *Surveying computations course notes*, 2005, (<http://www.ferris.edu/faculty/burtchr/sure215/notes/resection/res-ection.pdf>).
- Danial, N. F. (1978). Another solution of the three-point problem. *Journal of Surveying and Mapping*, 38(4), 329-333.
- Dekov, D. (2012). A numerical method for solving the horizontal resection problem in surveying. *J. Geodetic Sci*, 2(1), 65-67.
- ElHassan, I. M. (1986). An Analytical Solution of the Resection Problem. *Journal of Surveying Engineering*, 112(1), 30-35.
- Font-Llagunes, J. M., & Batlle, J. A. (2009). New method that solves the three-point resection problem using straight lines intersection. *Journal of Surveying Engineering*, 135(2), 39-45.
- Greulich, F. E. (1999). The barycentric coordinates solution to the optimal road junction problem. *Journal of Forest Engineering*, 10(1), 111-114.
- Halliday, G. H. (1962). Resection by the graphical board. *Australian Surveyor*, 19(1), 31-50.
- Hu, W. C., & Kuang, J. S. (1998). Proof of Tienstra's formula for an external observation point. *Journal of surveying engineering*, 124(1), 49-55.
- İnce, H., Erdem, N., Türen, Y., Tomuş, F., & Ozulu, İ. (2020). An Investigation of the Large Angles from 100g Measured at the Resection Point in the Cassini Method. *International Journal of Environmental Trends (IJENT)*, 4(2), 58-65.
- İnce, H., Erdem, N., Türen, Y., Tomuş, F. E., & Ozulu, İ. M. (2021). Geriden kestirme noktasında ölçülen 100g'dan büyük açıların Collins yönteminde incelenmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(1), 1-7.
- Koç, İ. (2008). Çözümlü ölçme tekniği problemleri, YTÜ, Ekol Tanıtım, Güzel Sanatlar Matbaası, s.72.
- Ligas, M. (2013). Simple solution to the three point resection problem. *Journal of Surveying Engineering*, 139(3), 120-125.
- McCaw, G. T. (1918). Resection in survey. *The Geographical Journal*, 52(2), 105-123.
- Pırtı, A., Yazıcı, D. (2021). İnternet tabanlı GNSS yazılımlarının doğruluk açısından değerlendirilmesi. *Geomatik*, 7(2), 88-105.
- Pırtı, A., Gündoğan, Z. Ö., & Şimşek, M. (2022). QZSS uyduları ve sinyal yapıları. *Geomatik*, 7(3), 243-252.
- Pırtı, A., Özateş, B., & Çakar, Ş. (2023). IRNSS (NavIC) uyduları ve sinyal yapıları. *Geomatik*, 8(1), 1-8.
- Porta, J. M., & Thomas, F. (2009). Concise proof of Tienstra's formula. *Journal of Surveying Engineering*, 135(4), 170-172.
- Sertöz, A. S. (2019). Öklid'in Elemanları Türkçesi ve Notlar, TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları, s.691, Ankara, Türkiye.

Şerbetçi, M. (1991). Geriden kestirmede Delambre yöntemi, HKMO dergisi, 70, Ankara.

Tan, W. (2004). The 3-point resection problem in photogrammetry. *Surveying and Land Information Science*, 64(3), 177-179

Willebrord, S. (1617). Eratosthenes Batavvs, De Terae ambitus vera quantitate. Leyden: Apud Iodocvm a Closter.

Yakar, M., & Karabacak, A. (2021). Harita mühendisliğinde kestirme hesabı, Atlas Akademi Yayınevi, 1. Baskı, Konya



© Author(s) 2023. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Geomatik

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

e-ISSN 2564-6761



En az maliyetli yol analizine dayalı arkeolojik tahmin haritalarının kullanılabilirliğinin incelenmesi: Sivas merkez ilçesi örneği

Olca Zengin Koşan¹, Çağdaş Kuşçu Şimşek²

¹ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Arkeoloji Bölümü, Sivas, Türkiye

² Akdeniz Üniversitesi, Fen Fakültesi, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Bölümü, Antalya, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Arkeolojik Tahmin Modeli
CBS
En Az Maliyetli Yol (LCP)
Dijital Arkeoloji
Demir Devri

Araştırma Makalesi

Geliş: 04.12.2022
Revize: 30.03.2023
Kabul: 06.04.2023
Yayınlanma: 19.04.2023



Öz

CBS temelli arkeolojik tahmin haritası, kültürel miras yönetimi alanında ve arkeolojik lokasyon analizlerinde kullanılan bir tekniktir. Özellikle belli bir bölgede yapılacak arkeolojik çalışmaların planlı olarak yürütülmesinin yanı sıra zaman ve maliyetin azaltılması gibi avantajları bulunmaktadır. Ayrıca, yapılacak yüzey araştırmalarında tahmin haritalarının kullanılması, son yıllarda kaçak kazılarla hızla tahrip edilen arkeolojik alanların tespitinin daha hızlı yapılmasını sağlayacaktır. Sivas ilinin zengin arkeolojik potansiyeli yapılan yüzey araştırmaları ile ortaya konulmuştur. Ancak yüzölçümü bakımından Türkiye'nin ikinci büyük ili olan Sivas'ın henüz tamamıyla araştırılmamış bölgeleri bulunmaktadır. Bu çalışmada, Sivas ili Merkez ilçesi için en az maliyetli yol analizi (LCPA) kullanılarak bir arkeolojik tahmin modeli oluşturulmuştur. Çalışma alanı sınırları içerisinde MÖ 2. Binyıl'a tarihlenen 23 ve Demir Çağı'na tarihlenen 30 arkeolojik alan girdi noktası olarak kullanılmıştır. MÖ 2. binyıl için daha sonraki dönemlerden 18 yerleşim yeri ve Demir Çağı için demir çağı sonrası dönemlerden 12 yerleşim ise kontrol noktası olarak seçilmiştir. Çalışma alanının topoğrafyası ve giriş noktası olarak seçilen farklı arkeolojik alanlar (höyük, yamaç yerleşimi, tepe yerleşimi, tümülüs) kullanılarak bu alanlar arasında En Az Maliyetli Yol (LCP) ağı oluşturulmuştur. Kontrol noktaları ile yol ağı arasındaki ilişki her iki dönem için ayrı ayrı incelenmiş ve kontrol noktalarının %90'ından fazlasının 1 km içinde olduğu tespit edilmiştir. Bu kontrol noktalarının %80'den fazlası ilk 500 m'deki, %20'den fazlası ise 50 m'deki alanda yer almaktadır. Elde edilen sonuçlar, LCPA kullanılarak etkili bir tahmine dayalı modelin oluşturulabileceğini göstermektedir.

Examining the usability of the archaeological predictive maps based on least cost path analysis: A case study of Sivas, Central District

Keywords

Archaeological Prediction Model
GIS
Least Cost Path (LCP)
Digital Archaeology
Iron Age

Research Article

Received: 04.12.2022
Revised: 30.03.2023
Accepted: 06.04.2023
Published: 19.04.2023

Abstract

GIS based archaeological predictive map is a technique used in the field of cultural heritage management and archaeological location analysis. In addition to time and cost management, it provides significant advantages in the planning and implementation of archaeological studies in a specific area. Also, the application of predictive maps in surveys will enable faster detection of archaeological sites that have been rapidly destroyed by illicit excavations in recent years. The rich archaeological potential of Sivas province has been revealed by surveys. The city, Turkey's second largest province in terms of surface area, has regions that have not yet been completely investigated. In this study, an archaeological predictive model was created using the least-cost path analysis (LCPA) for the central district of Sivas (Central Turkey). Within the boundaries of the study area, 23 archaeological sites dated to the 2nd Millenium BC and 30 dated to the Iron Age were used as input points. For the 2nd Millenium BC, 18 sites from the subsequent periods and for the Iron Age, 12 sites from the post-iron age periods were chosen as control points. A Least cost path (LCP) network between these sites was created by using the topography of the study area, and the archaeological sites (mound, slope settlement, hilltop settlement, tumulus) that were selected as the input points. The relationship between the control points and the path network is examined separately for both periods and it has been determined that more than 90% of the control points are within the 1 km. Periphery of this network, more than 80% are at the first 500 m. periphery and more than 20% are at 50 m. periphery. The results show that an effective predictive model can be created using LCPA.

*Sorumlu Yazar

(okosan@cumhuriyet.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-0656-3093
(*cksimsek@akdeniz.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-3161-6508

Kaynak Göster (APA)

Koşan, O. Z. & Şimşek, Ç. K. (2023). En az maliyetli yol analizine dayalı arkeolojik tahmin haritalarının kullanılabilirliğinin incelenmesi: Sivas merkez ilçesi örneği. *Geomatik*, 8(3), 319-331

1. Giriş

Ingold'e (1993) göre peyzaj (Landscape), o peyzajın içerisinde ikamet edenlerin, yaşayanların ve onları birbirine bağlayan yollarda seyahat edenlerin bildiği bir dünyadır. Seyahat aracılığıyla, bu peyzaj içerisinde "yer"lerin oluşturulması, bu peyzajı orada yaşayanlar için gerçek kılar (Mlekuz, 2014). Dolayısıyla "bir peyzajda yaşayan insanlar, sıra dışı çatışmalar, kültürel tabular vb. sınırlandırıcı etmenler olmadıkça, birbirleri ile tamamlayıcı bir ilişki içerisindedirler. Bu ilişkiyi kurmak için de her bir yerleşimi ya da diğer insan yapısı oluşumları (tümülüs, nekropol, gözetleme kulesi vb.) diğerlerine bağlayan yollar oluşturulmuştur. Bu yollar daha sonra, insanların başka yerleşimlerine altyapı oluşturmuşlardır (Branting, 2004). Bu bilginin, arkeolojik bir tahmin verisi olarak kullanılabilmesine dair araştırmalar son yıllarda daha sık gündeme gelmeye başlamıştır (Nuninger ve ark., 2016; Verhagen ve ark., 2016). Özellikle coğrafi bilgi sistemlerindeki (CBS) gelişmeler ve sağladığı mekânsal analiz imkânları, daha kolay ve daha fazla araştırma yapılabilmesine de olanak tanımıştır.

Kökenleri 1960'lı yılların sonunda ortaya çıkan Yeni Arkeoloji akımına kadar uzanan arkeolojik tahmin modelleri, 1980'li yılların ortalarından itibaren CBS temelli uygulamalarda karşımıza çıkmaya başlamış (Judge ve Sebastian, 1988) ve son 20 yılda oldukça popüler hale gelmiştir (Verhagen ve Whitley, 2012; Magnini ve Bettineschi, 2019; Orengo ve Garcia-Molsosa, 2019). Van Leusen, (2002), Verhagen (2007) ve diğer araştırmacılar, arkeolojik alanların rastgele seçilmediğini, aksine geçmiş dönemlerde çevrenin spesifik özellikleri, insan aktivitesi ve insan davranış normları ile ilişkili olduğunu, bu nedenle arkeolojik tahmin haritaları oluşturulmasının avantajlar sağlayacağını vurgulamaktadırlar. Tahmin haritaları özellikle, zaman ve maliyet açısından sağladığı avantajlar nedeniyle kültürel miras yönetimi alanında (Judge ve Sebastian, 1988; Kamermans et al. 2009; Vaughn and Crawford, 2009; Danese et al., 2014) ve mekânsal analizleri yapmayı amaçlayan akademik alan araştırmalarında (Wescott & Brandon 2000; Verhagen-Whitley 2012; Verhagen, 2013; Caracausi et al 2018) kullanılmaktadır.

Günümüzde oldukça popüler hale gelmesine karşın tahmin haritalarının eleştirildiği önemli noktalar da bulunmaktadır (Van leusen 1996; Wheatley 2004; van Lausen and Kamermans 2005; Verhagen, 2013). Kamermans (2004) karşılaşılan problemleri arkeolojik girdi verisinin kalitesi ve sayısı, çevresel girdi verisinin birbiri ile ilişkisi, zamansal ve/veya mekânsal çözünürlüğü, mekânsal istatistiklerin kullanımı, tahmin modellerinin test edilmesi, sosyal ve kültürel girdi verilerinin analize dahil edilme ihtiyacı olarak sıralamıştır. Bunlar arasından, doğası gereği, sosyo-kültürel değişkenlerin saptanması, tahmin modellerine dahil edilmesi en zor olan alandır. Ancak bu sorunun aşılması için de çalışmalar yapılmaktadır (Verhagen, 2013; Nuninger ve ark., 2016). Bu eleştirilere karşın tahmin haritalarının arkeologların belli bir alanda yapacakları çalışmaları planlamak için

önemli bir araç olduğu, zaman ve maliyet açısından önemli avantajlar sağladığı unutulmamalıdır (Kamermans, 2004).

Arkeolojik alan tahmin haritalarının, son yıllarda dikkat çeken yöntemlerinden birisi, mekânsal analiz yöntemi olarak LCPA analizleridir (Egeland ve ark., 2010; Herzog & Posluschny, 2011; Kondo & Seino, 2011; Verhagen & Jeneson, 2012; Herzog, 2014a; Cet ve ark., 2015; Byrd ve ark., 2015; Rogers ve ark., 2015; Lewis, 2018; Hamer ve ark., 2019; Milheira ve ark., 2019). Temelleri Zipf (1949) tarafından atılan en az maliyet analizi, insanların pek çok davranışının en az maliyetle gerçekleştirilmek üzere şekillendiğini varsayar. Bu fikir üzerine temellenen LCPA (least cost path analizi) ise, bir noktadan diğerine ulaşmak için insanların en az maliyeti kullanacağı düşüncesine ve çalışmanın amacına göre ortaya çıkacak maliyetlerin göz önüne alınarak değerlendirildiği çoklu veri entegrasyonuna dayanmaktadır. Yani insanlar, bir noktadan diğerine en kısa zamanda ve en az enerji harcayacakları bir hat üzerinden ulaşmak istemektedirler (Surface-Evans ve White, 2012). Örneğin, bir insanın bulunduğu noktadan ulaşmak istediği hedefe doğru rota oluştururken göz önünde bulundurduğu enerji, zaman, mesafe, doğal ya da insan yapımı engeller, bitki örtüsü, zemin yapısı vb. gibi parametreler maliyet olarak ele alınmaktadır (Rivera, 2014). Bu faktörler; deneyimler, yetenekler, korkular, ihtiyaçlar, öngörüler ve kişisel öncelikler açısından ağırlıklandırılarak değerlendirilmektedir. Arkeolojide LCPA ise, insanların bir peyzaj boyunca nasıl hareket etmiş olabileceğini daha iyi anlamalarına yardımcı olmak için, coğrafyaya odaklanmış nicel bir yaklaşım olarak tanımlanmaktadır (White, 2015). Arkeolojik çalışmalarda insanın sosyokültürel seçimleri önemli bir parametre olduğundan, LCPA'da fiziki ve sosyal faktörlerin bir arada değerlendirilmesi gerekir. İnsanın içinde bulunduğu peyzajda 'en iyi' rota en düz ve kısa yol olmayabilir; navigasyon verimliliği, kaynak dağıtımı, algılanan güvenlik ve kümülatif hidro / aerodinamik verimlilik gibi faktörler yol seçiminde etkilidir (Berdahl ve ark., 2018). Tarih boyunca yerleşimler arası yol ağlarının meydana gelmesinde sosyal ve ekonomik ilişkilerin yanı sıra insanların ve coğrafyanın fiziksel özelliklerinin de bu yol ağlarının şekillenmesinde önemli rol oynadığı bilinmektedir (Herzog, 2013). Arkeolojik LCPA'nin temelinde, bölge hakkında tam bilgiye sahip kişilerin, bir yerden bir yere giderken rasyonel kararlar verdiği, böylece maliyetin en aza indirildiği varsayımı bulunmaktadır. Elde edilen sonuçlar mutlak kabul edilecek yol ağı olmasa da, arkeologların mevcut arkeolojik verilerle karşılaştırmalar yaparak, yorumlamalar yapmasına, yön gösterici tahmin verileri olarak kullanmasına olanak tanımaktadır (Branting, 2012; Kantner, 2012).

LCPA'de, en az maliyetli yol hatlarının oluşturulmasının ardından, bu yolların arkeolojik kanıtlarla karşılaştırılması yapılarak sonuçların güvenilirliği test edilmelidir. Geçmiş döneme ilişkin yol bölümleri biliniyorsa, belirlenen bu hatlar, bilinen (gerçek) yol konumlarıyla karşılaştırılmalıdır. Bu tür bir bilginin yokluğunda, belirlenen hatlar, bilinen arkeolojik alanların, ele alınan dönemin özelliklerinin veya

bulgularının dağılımı açısından analiz edilebilir (Herzog, 2013).

Bu çalışmada, yerleşimlere erişim ve bu yerleşimler arasındaki hareket kolaylığı sosyo-çevresel bir faktör olarak belirlenmiş (Verhagen ve ark., 2014a) ve arkeolojik alan tahmininde, arkeolojik noktalar arası LCP'lerin, bir tahmin modeli olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Örnek çalışma alanı olarak seçilen Sivas merkez ilçe sınırları içinde yer alan, MÖ 2. Bin ve Demir dönemine ait tescillenmiş arkeolojik sit alanları kullanılarak, her dönem kendi içinde olmak üzere, sit alanlarının birbirleri arasındaki LCP'leri oluşturulmuş; her dönemin kendinden sonraki dönemleri içeren tescilli kontrol noktalarının bu yol ağı ile yakınlık ilişkileri incelenmiştir. Seçilen her bir dönem için daha sonraki dönem arkeolojik sit alanlarının kontrol noktası olarak seçilmesi "peyzajın hafızası" kavramına dayanmaktadır. Bu kavram, önceki arkeolojik alanların daha sonraki insan grupları için bir çeşit yatırım olarak ele alınmasını öngörmektedir. Yani bir peyzaj içerisinde gerçekleştirilen parselleri sınırlandırmak, ağaçlık alanları temizlemek, bataklık vb. sulak alanları kurutmak gibi faaliyetler yeni insan grupları için bir avantaj oluşturduğundan, önceki arkeolojik alanların civarında yerleşmeyi ya da tümülüs gibi mezar anıtlarını inşa etmeyi tercih edebileceklerdir (Verhagen ve ark., 2016; Nuninger ve ark., 2016). Tüm bu ilişkilerden faydalanarak, LCP analizlerinin arkeolojik yüzey araştırmalarında bir tahmin modeli olarak kullanılıp kullanılamayacağı yorumlanmıştır.

2. Yöntem

2.1. Çalışma alanı

Çalışma alanı olarak seçilen Sivas ili Merkez ilçesi 2.768 km²'lik geniş bir coğrafi alanı kapsamaktadır (Şekil 1). Yapılan yüzey araştırmaları bölgenin büyük bir arkeolojik potansiyele sahip olduğunu göstermektedir (Osten, 1933; Meriggi, 1965; Yakar & Gürsan Salzman, 1979; Ökse, 1994, 1995, 1996, 1997, 1999, 2000, 2001, 2002; Engin, 2009, 2010, 2011; Engin ve ark., 2012; Engin et al. 2013; Engin ve ark., 2014; Engin ve ark., 2015). Bu zengin potansiyele rağmen kentteki arkeolojik kazı sayısı son derece azdır. İlk kez 1940'lı yıllarda Topraktepe, Maltepe ve Pılır höyüklerinde küçük çaplı kazılar yapılmıştır (Özgüç, 1947a; 1947b; Kökten, 1947). Kentin arkeolojik açıdan adını duyuran kazılar ise MÖ 2. Bine tarihlenen Kuşaklı ve Kayalıpınar yerleşimleri olmuştur.

Sivas ili, MÖ 2. binyılın ilk çeyreğinde (MÖ 1920-1740) İç Anadolu ile Assur arasındaki ticaret ağının kurulduğu bölgelerden biridir (Sagona & Zimansky, 2009). Eski Assur Koloni dönemi olarak bilinen bu tarihlerde günümüzde Irak'ta bulunan Assur kentinden İç Anadolu'ya gelen Assurlu tüccarlar bölgede karum veya wabartum adı verilen kendi yaşam alanlarını kurarak geniş çaplı bir ticaret ağı oluşturmuşlardır (Veenhof, 2010). Eski Assur Koloni Dönemi'ne tarihlenen çivi yazılı metinler (Barjamovic, 2011) ve yüzey araştırmaları, Sivas'ta söz konusu döneme tarihlenen çok sayıda yerleşim olduğunu göstermiştir (Ökse, 2014). Sivas, Hitit döneminde (MÖ 1650-1200) önemli bir

merkez olmaya devam etmiştir (Sagona & Zimansky, 2009). Sivas ilinde yapılan arkeolojik kazılarda MÖ 2. binyıla tarihlenen iki önemli yerleşim ortaya çıkarılmıştır: Altınyayla ilçesindeki Kuşaklı (Hitit döneminde Sarissa) (Müller-Karpe ve Müller-Karpe, 2013) ve Yıldızeli ilçesindeki Kayalıpınar (Eski Asur Koloni ve Hitit döneminde Samuha) (Müller-Karpe ve ark., 2014).

Yaklaşık 1000 yıllık bir dönemi kapsayan İç Anadolu Demir Çağı, erken (MÖ 1100-900), orta (MÖ 900-550) ve geç (MÖ 550-330) olmak üzere üç döneme ayrılır (Kealhofer ve Grave, 2011). Erken Demir Çağı'nda, İç Anadolu'nun büyük bir bölümünde olduğu gibi ağırlıklı olarak tarımla uğraşan köyler yaygındır (Genz, 2011). Orta Demir Çağı boyunca bölgede Frigler, Urartular, Kimmerler/İskitler ve Geç Hitit devletlerinin Tabal ve Melitene gibi kültürleri etkili olmuştur (Powroznik, 2010). Bölge Geç Demir Çağı'nda muhtemelen Med ve Akamenid imparatorluklarından etkilenmiştir (Genz, 2011).

Çalışmada örnek alan olarak Sivas merkez ilçe sınırları içerisinde yer alan tescilli arkeolojik sit alanlarından, MÖ 2. bine tarihlenen 23 adet ve Demir Çağ'a tarihlenen 30 adet sit alanı girdi noktası olarak kullanılmıştır. MÖ 2. bin için, sonraki dönemlere tarihlenen 18 sit alanı; Demir Çağı için ise demir çağı sonrası dönemlere tarihlenen 12 sit alanı kontrol noktası olarak kullanılmıştır. Bu veriler (Tablo 1 ve Tablo 2), bölgedeki tescilli tüm verileri temsil etmektedir. Çalışma alanı, bu noktaların çevrelediği alan ile sınırlandırılmıştır (Şekil 1).

2.2. Veri

Çalışmada arkeolojik siteler iki veri tipinde ele alınmıştır. Birinci grup LCP oluşturulmasında kullanılan "girdi veriler", ikinci grup ise LCP tahmini yol ağı ile ilişkisi incelenen kontrol verileridir. Kontrol verileri, daha sonraki dönem insan gruplarının ele alınan dönem sitelerinin civarında yeni yerleşimler, mezar anıtları vb. kurmayı seçebileceği varsayımından hareketle belirlenmiştir.

Kullanılan arkeolojik siteler "Sivas Kültür Envanteri" ve Koruma Kurulu web sayfalarından alınmıştır. Bu çerçevede, Sivas Merkez ilçe sınırları içerisinde kalan 37 adet kültür envanteri verisi, 11 adet Koruma Kurulu verisi kullanılmıştır. Tablo 1, Sivas Kültür Envanteri'nde 2011 yılına kadar Merkez ilçede tescillenmiş olan arkeolojik siteleri kapsamaktadır. Tablo 2, Koruma Kurulu web sayfasında Sivas Merkez ilçe sınırları içindeki tescillenmiş arkeolojik sitelerden coğrafi koordinatları belirlenebilen 11 adet siteyi kapsamaktadır.

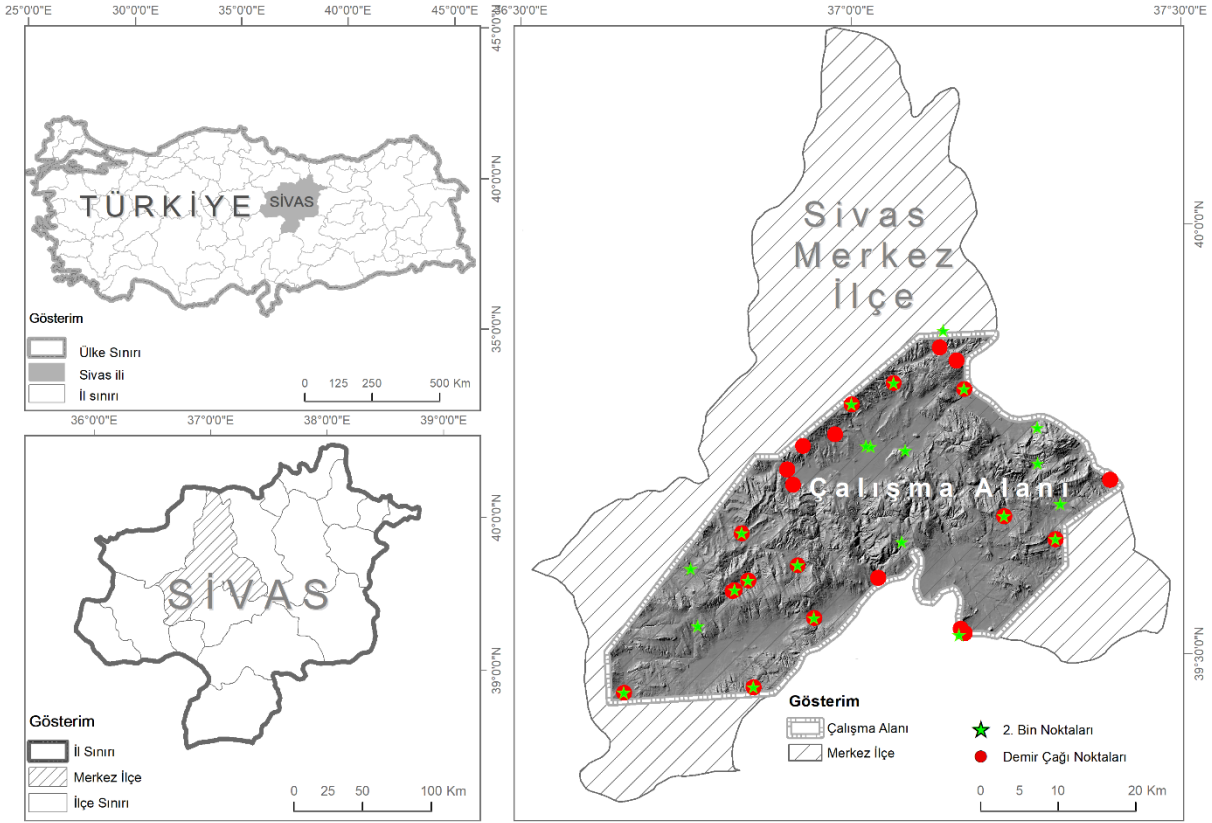
Çalışmada arazi örtüsü verisi olarak Corine 2012 verileri kullanılmıştır. 5m hassasiyetinde arazi yükseklik modeli kullanılarak da eğim verileri oluşturulmuştur.

2.3. Yöntem

Bu çalışmada, belirli bir döneme ait arkeolojik noktaların aralarında oluşturabileceği tahmini yol ağı, LCP analizi ile elde edilerek, kontrol noktası olarak

seçilen arkeolojik noktalar ile ilişkisi incelenmiştir. Bu şekilde, yerleşimlerin birbirleri ile coğrafi ilişkilerini temsil edebilecek LCP'e dayalı yol ağlarının, yeni

arkeolojik noktaların aranmasında yönlendirici olabilecek bir tahmin haritası niteliği taşıyıp taşımadığı test edilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı

2.3.1. LCP Analizi

CBS temelli LCPA'de başlıca 3 veri setinden faydalanılmaktadır. İlki, çalışma alanının topografyasının temsilini sağlayan raster verilerdir, bunun için çoğunlukla DEM verilerinden faydalanılmaktadır. İkincisi, noktalar arası ilişki ağının başlangıç ve hedefini tanımlayan vektör (nokta, poligon) verileridir. Üçüncüsü, hareketin maliyetini temsil eden sürtünme yüzeyi verisidir ve "cost surface" ya da "friction surface" olarak tanımlanmaktadır. Bunun için genellikle topografik yüzeyi maliyetin bir ölçüsüne dönüştüren bir algoritma oluşturulmaktadır (Kantner, 2012). Maliyet verileri eğim, arazi kullanımı, arazi örtüsü verilerinden faydalanılarak üretilmektedir. Maliyet bileşenleri için sosyo-kültürel unsurlar da dikkate alınabilmektedir, ancak arkeolojik olarak sosyo-kültürel maliyet bileşenlerini belirlemek oldukça zordur (Herzog, 2014b; Murrieta-Flores, 2010). Sosyo-kültürel bileşenler arasında arkeolojik sit alanının lokasyonu, boyutu, işlevi ve iskân süresi, görünürlüğü vb. unsurlar kullanılmaktadır (Verhagen ve ark., 2010; Verhagen ve ark., 2014b). Piksel tabanlı olarak yürütülen LCPA'de, iki nokta arası en kısa hat, her bir piksel'in sürtünme verileri ile değerlendirilmesi sonucunda elde edilmektedir. Eğer çok noktalı bir çalışma yapılıyorsa, bu veri setleri hazırlandıktan sonra, seçilen bir yayılma algoritması üzerinden, her hücrenin başlangıç noktasından varış noktasına kümülatif maliyetlerini temsil eden yeni bir

yüzey oluşturulmaktadır. LCPA, insanın yokuş yukarı çıkarken ya da yokuş aşağı inerken harcadığı enerji farklılıklarının dikkate alındığı, kendi içerisinde (iniş/çıkış) dengelenmiş bir gidış geliş yürüme hattının tahmini için kullanılabilir. LCPA'de, izotropik ve anizotropik olmak üzere iki model öne çıkmaktadır. Bu modeller, her bir pikselin ve komşularının ayrı ayrı değerlendirilmesi üzerine kuruludur. Pikseli çevreleyen sekiz komşu piksel değerlendirilir ve yolu en düşük değere sahip hücre seçilir. Çıkış noktası ve hedef birbirine bağlanana kadar bu işlem tekrar etmektedir. Ortaya çıkan yol, iki nokta arasındaki hücre değerlerinin en küçük toplamını temsil etmektedir. İzotropik modeller, topografik ya da diğer açılardan (arazi kullanım / örtüsü vb.) herhangi bir engeli olmayan düz alanlar için kullanılmaktadır. Anizotropik model ise, eğim ve diğer maliyetleri göz önünde bulundurmaktadır. Arkeolojik LCPA'lerde büyük ölçüde anizotropik model tercih edilmektedir (Herzog, 2013). Anizotropik modeller için öncelikle, maliyet verileri yeniden sınıflandırılarak ağırlıklandırılmakta ve bu verilerin birleştirilmesiyle toplam maliyet yüzeyleri elde edilmektedir. Seçilen bir yayılma algoritmasıyla elde edilen kümülatif maliyet yüzeylerinin hesaplanmasında, bir başlangıç noktasından bir diğerine (one to one), bir noktadan birçok noktaya (one to many), birçok noktadan bir noktaya (many to one) ya da birçok noktadan birçok noktaya (many to many) yöntemleri kullanılmaktadır (White, 2007; White ve Barber, 2012). Bu şekilde elde

edilmiş toplam maliyet yüzeyleri kullanılarak mesafe ve yön yüzeyleri oluşturulmaktadır. Son aşamada da bu verilerden faydalanılarak LCP belirlenmektedir.

Anizotropik modelin kullanıldığı bu çalışmada, araştırma bölgesindeki tescilli tüm arkeolojik sit alanları

ele alındığı için birçok noktadan birçok noktaya olan yaklaşım tercih edilmiştir. Maliyet yüzeyi (sürtünme yüzeyi) için; sulak alanlar, bataklıklar ve eğim temel alınmıştır.

Tablo 1. Sivas Kültür Envanteri Merkez ilçeden seçilen arkeolojik sit alanları

Arkeolojik Siteler	Dönemler						
	Kalkolitik Dönem	Erken Tunç Çağ (ETÇ)	MÖ 2. bin	Demir Çağ	Helenistik Dönem	Roma Dönemi	Orta Çağ
Ağılkaya Höyüğü	+	+	+	+	-	-	-
Ahmet Ağa Çiftliği Höyüğü	+	+	-	+	-	-	-
Akpınar Höyüğü	-	-	-	+	-	+	+
Beypınarı Höyüğü	-	+	-	+	-	+	-
Büyük Eğrek Tepe Yerleşimi	-	+	+	+	+	+	+
Büyük Höyük	-	+	-	-	-	-	+
Doğanca Tümülüs	-	-	-	-	+	+	-
Esügün Höyüğü	-	-	-	-	-	+	+
Hanlı Höyüğü	+	+	+	+	+	+	-
Höllüktepe Höyüğü	-	+	-	+	+	+	+
Huykesen Höyüğü	-	+	-	+	+	+	+
İviktepe Höyüğü	-	+	+	+	+	+	+
Kara Gömlek Höyüğü	+	+	+	+	+	+	-
Karayün Höyüğü	-	+	+	+	+	+	-
Kavlak Höyüğü	-	+	-	-	+	+	+
Kayabaşı Höyüğü	-	+	-	+	+	+	+
Kayaönü Höyüğü	-	+	+	+	+	+	+
Kepez Yerleşimi	+	+	-	+	-	-	-
Kolluca Höyüğü	-	+	+	+	+	+	+
Kovalı Köyü Höyüğü	-	+	-	+	+	+	-
Koroğlu Mağaraları	-	+	+	+	+	+	+
Küçük Eğrek Tepesi Höyüğü	-	+	-	+	-	-	+
Küçük Kuşoturağı Tepesi Tümülüsü	-	-	-	+	-	-	-
Küllük Höyüğü	-	+	+	+	+	+	+
Kültepesi Höyüğü	-	+	-	-	+	+	+
Maltepe Höyüğü	-	+	-	-	-	-	-
Paşapınarı Mevki Höyüğü	-	-	-	-	+	+	+
Pulur Höyüğü	-	+	+	-	-	-	+
Seyfe Suyu Höyüğü	-	+	+	+	+	+	-
Seyfebeli Höyüğü	-	+	-	-	-	-	-
Sivas Kalesi	-	-	+	-	-	+	+
Tatlıcak Höyüğü	-	+	+	+	-	-	+
Tatlısu Yamaç Yerleşimi	+	+	-	-	+	+	-
Tuzlahan Höyüğü	+	+	-	-	-	-	-
Yamacın Büyüktepe Höyüğü	-	+	+	+	+	+	-
Yassitepe Yerleşimi	-	-	-	+	+	+	+
Ziyarettepe Yerleşimi	-	+	+	+	-	-	-

Tablo 2. Sivas Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu Müdürlüğü web sayfasından seçilen Merkez ilçe arkeolojik sit alanları

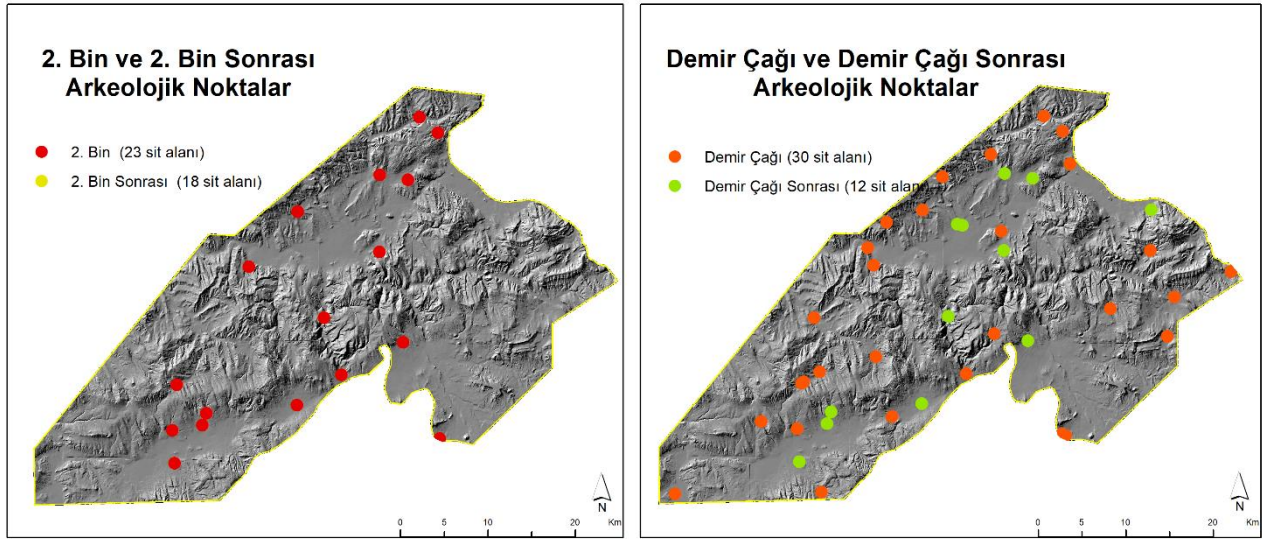
Arkeolojik Siteler	Dönemler						
	Kalkolitik Dönem	Erken Tunç Çağ (ETÇ)	MÖ 2. bin	Demir Çağ	Helenistik Dönem	Roma Dönemi	Orta Çağ
Alma Deresi Yerleşimi ve Tümülüsü	-	+	+	-	-	-	-
Çaygören Ören Mevkii Yerleşimi	-	+	+	-	-	-	+
Eğribucak Kale yazısı Yerleşimi	-	+	+	+	-	+	+
Eskiapardı Yerleşimi	+	+	+	+	-	-	+
Güllük Tümülüsü	-	+	-	-	-	-	-
İşhan Höyüğü	-	-	+	+	+	+	-
Ova Höyüğü	-	-	-	-	-	-	+
Sarıdemir Köyü İnardı Yerleşimi	-	-	-	+	-	+	+
Sırt Mevkii Yerleşimi ve Nekropolü	-	-	+	-	+	+	+
Taşlıdere Tümülüsü	-	-	-	-	-	+	-
Yassıcaabel Höyüğü	+	+	+	+	-	-	-

2.3.2. Uygulama

İnsanların tekrarlayan, plansız hareketleri sonucunda yollar oluştuğu varsayılmaktadır. Burada, insanlar tarafından oluşturulan ya da özel olarak inşa edilen yolları sınıflandıran Earle'ün, günlük yaşamda yerel ölçekte oluşturulan yollar (path) için yaptığı tanım temel alınmıştır: yollar, sarp kayalık alanlar veya sulak alanlar gibi zor araziler dışındaki alanlarda, özel olarak düzeltilmemiş ve belli bir işaret taşımayan, yerel ölçekte yayaların devamlı olarak evler, tarlalar ve diğer istikametler arasında yürümesiyle oluşan rotalardır (Earle, 2009). Bu tanım, çalışmada ele alınan höyük, yamaç yerleşimi, tepe üstü yerleşimi gibi kısa ya da uzun süreli yerleşimler ve tümülüs gibi anıtsal mezar yapıları

arasında, günlük olarak yapılabilecek zorunlu ya da ritüel ziyaretler olduğu düşünülerek tercih edilmiştir. Bu ziyaretler sonucunda zamanla tüm bu alanlar arasında “yollar” oluştuğu varsayımı üzerinden bir ilişki ağı kurulmaya çalışılmıştır.

Çalışmaya başlamadan önce seçilen sit alanlarının dönemsel bilgileri tablo üzerinde işlenerek (Tablo 1, ve Tablo 2), dönemlere ait veri sayıları elde edilmiştir. Girilen veriler ile kontrol noktaları arasında yeterli örneğin elde edildiği dönemler, her bir döneme ait arkeolojik sit alanı sayıları ile sonraki dönemler karşılaştırılarak belirlenmiştir. MÖ 2. Bin ve Demir Çağı sit alanları yeterli veri sayısına ulaşan iki dönem olduğundan, girdi verisi olarak kullanılmasına karar verilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. MÖ 2. Bin ve Demir Çağına ait girdi ve kontrol noktaları

Çalışma aşağıda verilmiş olan 2 senaryo üzerinden yürütülmüştür.

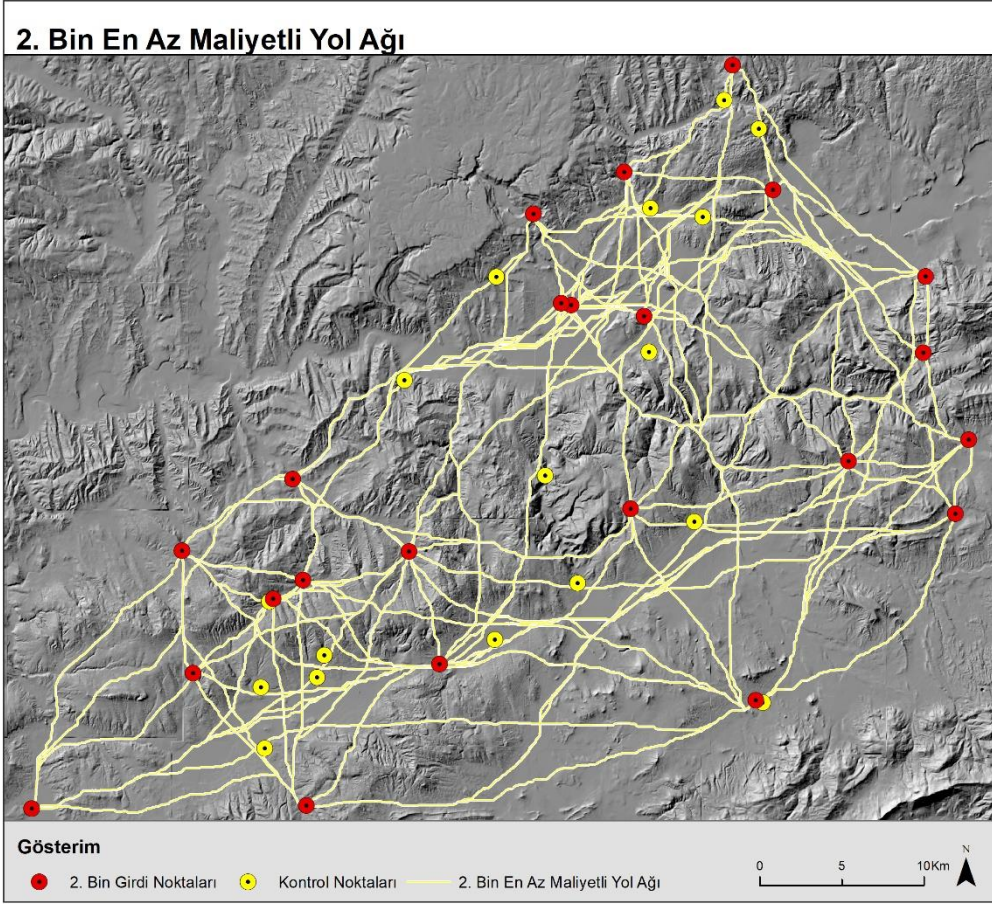
Senaryo 1: Sivas Kültür Envanteri ve Sivas Koruma Kurulu'ndan seçilen tüm noktalar birleştirilmiş, MÖ 2. Bin'e ait noktalar girdi verisi olarak ele alınmış, MÖ 2. Bin sonrası tüm noktalar ise kontrol noktası olarak ele alınmıştır.

Senaryo 2: Sivas Kültür Envanteri ve Sivas Koruma Kurulu'ndan seçilen tüm noktalar birleştirilmiş, Demir Çağına ait noktalar girdi verisi olarak ele alınmış, Demir Çağı sonrası tüm noktalar ise kontrol noktası olarak ele alınmıştır.

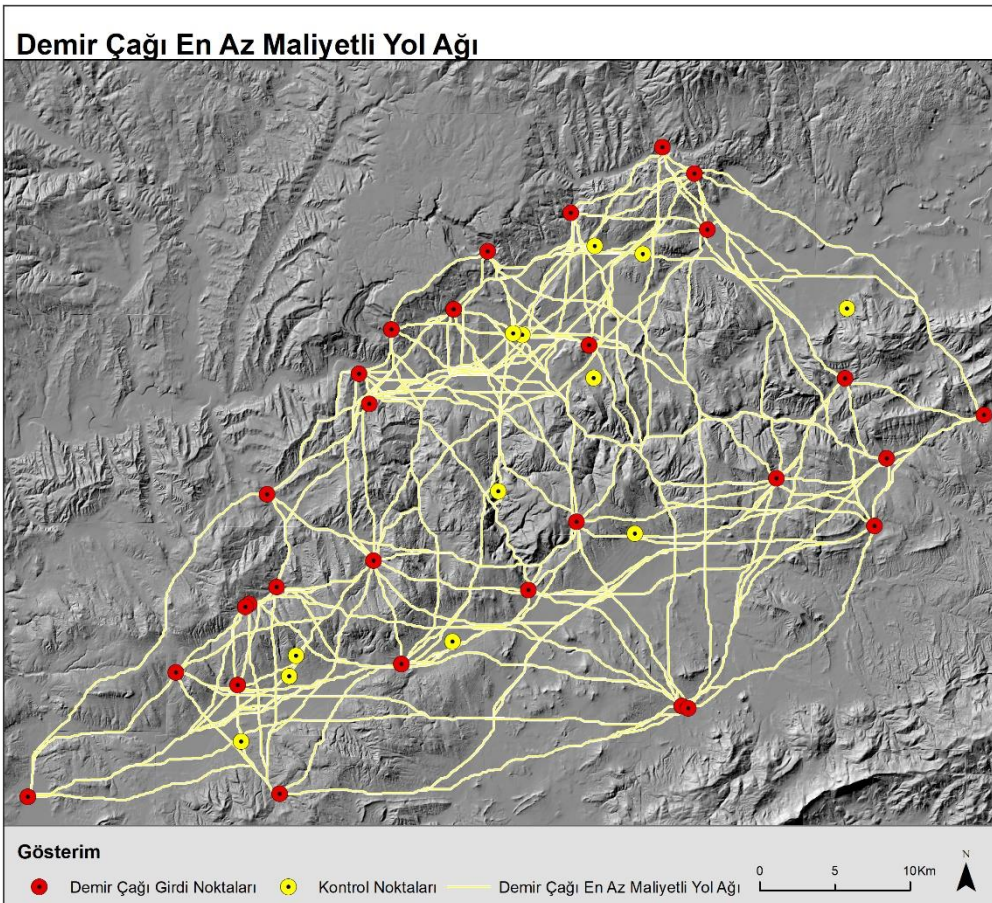
Bu konuda yapılmış olan çalışmalar incelendiğinde, bugünün arazi kullanım verilerine referansla ağırlıklandırılmalar yapılarak LCPA uygulandığı da görülmektedir (Milheira ve ark.,2019; White ve Barber, 2012). Ancak, geniş bir bozkır sahası olan Sivas merkez ilçesinde mevcut olan orman alanları genç orman alanlarıdır ve tarihi bir arazi kullanımını işaret etmemektedir. Bu nedenle çalışmada rota oluşturulurken, sulak alanlar ve bataklıklar Corine verilerinden temin edilerek kısıtlayıcı girdi olarak kullanılmış, diğer kısıtlayıcı arazi kullanım türleri kullanılmayarak göz ardı edilmiştir.

Eğim verileri, insanın yürüme tercihleri doğrultusunda 5m Dem verileri kullanılarak üretilmiştir (Kinsella-Shaw ve ark., 1992; Pingel, 2010; Scarf, 2007). Sınıflandırmada bir kişinin yürüyebileceği maksimum eğim derecesi 45 (NPS, 1996) olarak alınmış ve uygunluk 5 derecelik aralıklarla 9 sınıfta tanımlanmıştır. Aslında yokuş yukarı ve yokuş aşağı hareket maliyetleri eşit değildir (White, 2015; Kantner, 2012). 45 derecelik bir eğimde yokuş yukarı hareketin maliyeti, -45 derecelik bir eğimde yokuş aşağı hareketten daha maliyetlidir (Minetti ve ark., 2002). Ancak çalışmada ortaya çıkan güzergâhlar gidış-dönüş tek veri olarak kabul edildiği için performans maliyetleri dikkate alınmamıştır.

Daha sonra arazi kullanım ve eğim sınıfı verileri ağırlıklı olarak çakıştırılmış ve LCPA'de altlık olarak kullanılmıştır. Elde edilmiş LCP'ler çizgi verilere dönüştürülerek, her bir arkeolojik nokta arası kullanılabilir LCP MÖ 2. Bin (Şekil 3) ve Demir Çağı (Şekil 4) için ayrı ayrı oluşturulmuştur. Son aşamada elde edilmiş LCP'ler ile kontrol noktaları arasındaki yakınlık ilişkileri incelenerek, LCP verileri ile yerleşimlerin oluşması arasında bir ilişki olup olmadığı; ayrıca, LCPA'lerin arkeolojik tahmin modeli olarak kullanılıp kullanılmayacağı tartışılmıştır.



Şekil 3. MÖ 2. Bin sit alanlarına ilişkin LCPA



Şekil 4. Demir Çağ sit alanlarına ilişkin LCPA

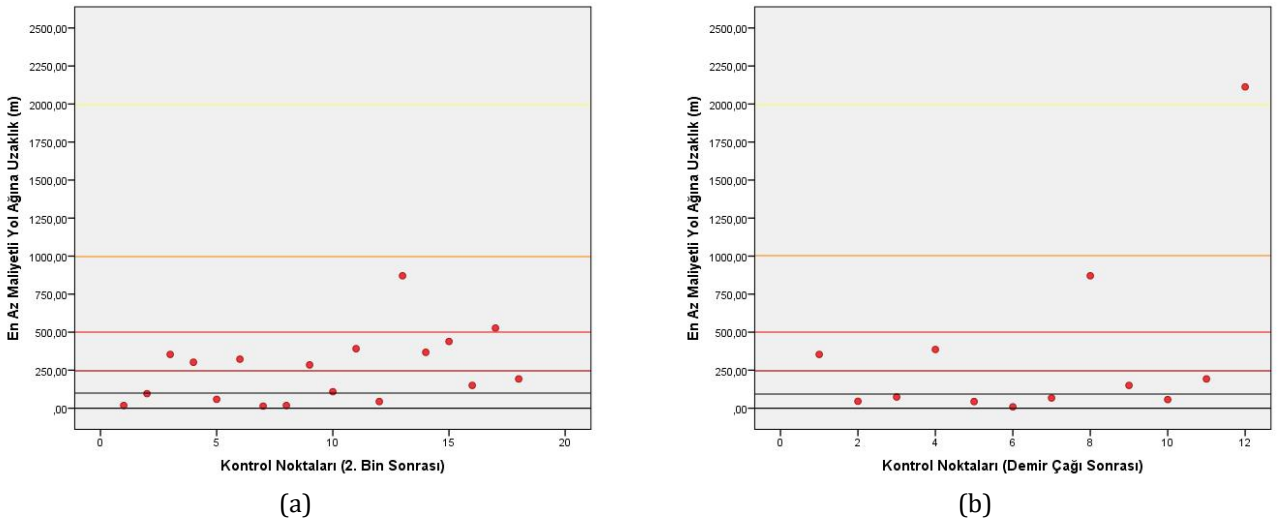
3. Bulgular

Çalışma sonucunda elde edilmiş olan LCP verileri, her bir dönem için ayrı olarak, kontrol noktaları üzerinden analiz edildiğinde; her iki dönemde de, ilk 1 km'lik çeperde yüksek ilişki olduğu sonucu ortaya çıkmıştır (Şekil 5). Kontrol noktaları arasındaki mesafe ilişkileri incelendiğinde, MÖ 2. Bine ait tüm sit alanlarının 1 km'lik çevre içerisinde, Demir Çağı'na ait sit alanlarının ise %92'sinin aynı çevre içinde olduğu tespit edilmiştir. Yine aynı analize göre kontrol noktalarının yaklaşık %80'inin ilk 500 m çevresinde, %50'den fazlasının ise ilk 250m çevresinde yer aldığı görülmüştür (Şekil 5, Tablo 3).

Tüm bulgular bir arada değerlendirildiğinde ise (Şekil 6), sadece tek bir noktanın 2 km dışında kaldığı, ancak onun dışındaki tüm noktaların ilk 1 km çeperinde kaldığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, LCPA'lerin 1 km'lik

hassasiyetle tahmin modeli olarak kullanılabilceği sonucu elde edilmiştir. Diğer yandan bu sonuç, 2 km dışında kalmış olan tek noktanın yakınından bir yol geçebileceğini de işaret etmektedir. Ancak, bu bulgunun kontrolü için daha sonra tespit edilecek yeni arkeolojik noktalar ve bunlara bağlı olarak oluşturulacak yol haritalarına bakmak gerekecektir.

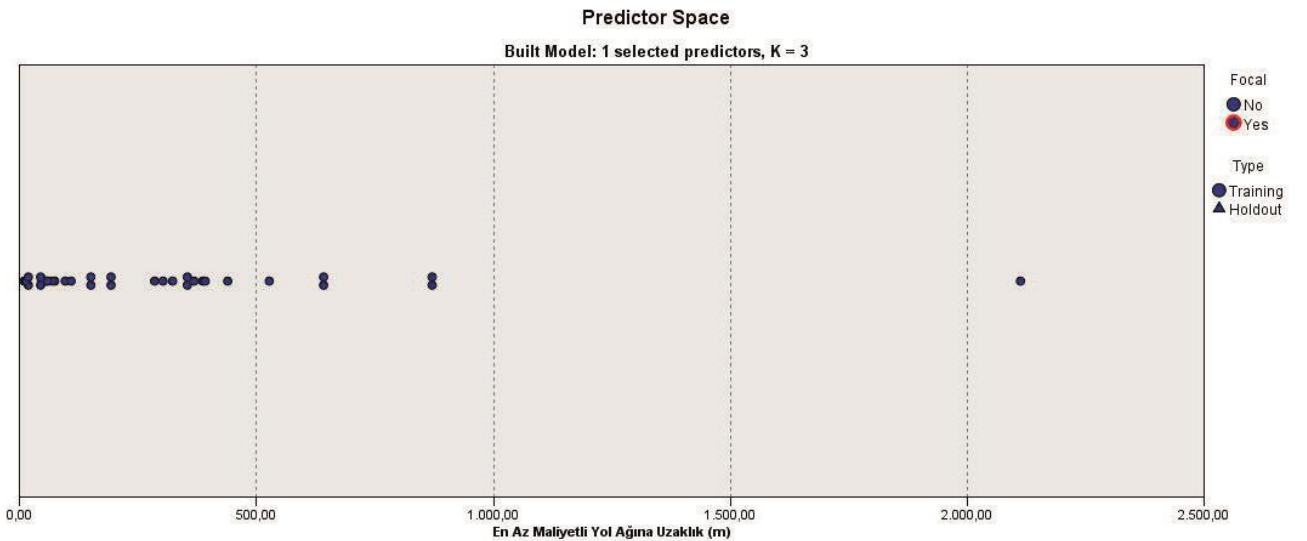
Ayrıca, Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiş olan haritalar görsel olarak yorumlandığında, her iki dönemde de kontrol noktalarının ağ üzerindeki iki veya daha fazla yolun kesişim noktalarına yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bunun üzerine, kavşak noktası niteliği taşıyan bu kesişim noktaları ile kontrol noktalarının yakınlık ilişkileri incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre; MÖ 2. Bin verilerinin %68'inin, Demir Çağ verilerinin %84'ünün kavşak noktalarının 1500 m çeperinde yer aldığı tespit edilmiştir (Şekil 7).



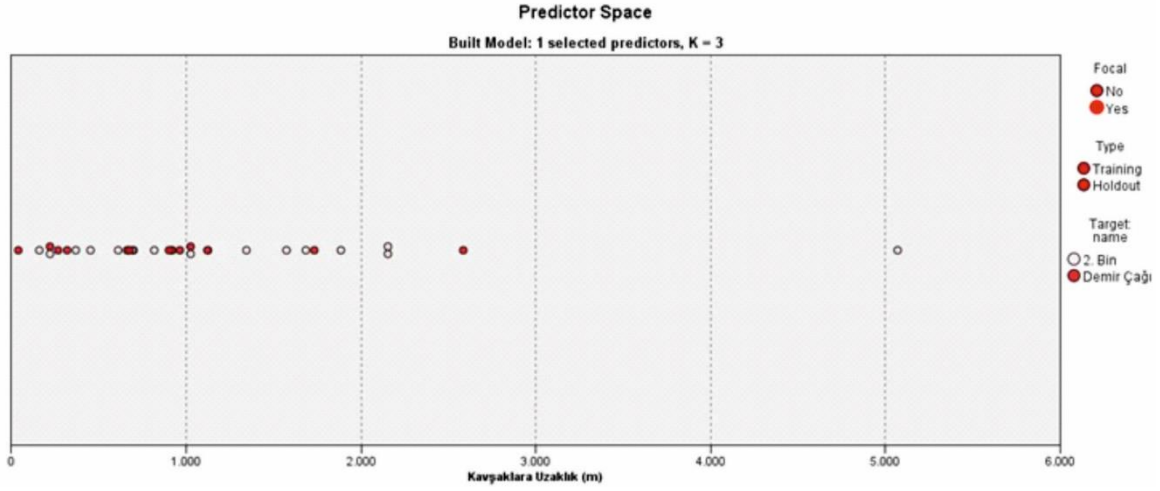
Şekil 5. a) Senaryo A, b) Senaryo B kontrol noktalarının LCP'e olan mesafelerinin dağılımı

Tablo 3. Belirli mesafe içerisinde bulunan noktaların yüzdeler dağılımı

Dönem	Girdi nokta sayısı	Kontrol noktası sayısı	0- 50 (m)	100 (m)	250 (m)	500 (m)	750 (m)	1000 (m)	2250 (m)
MÖ 2. Bin sonrası	23	18	22%	33%	50%	89%	94%	100%	100%
Demir Çağ sonrası	30	12	25%	50%	67%	83%	83%	92%	100%



Şekil 6. Tüm kontrol noktalarının LCP'lere olan mesafelerinin en yakın komşuluk kümeleme yöntemi ile gösterimi



Şekil 7. Tüm kontrol noktalarının kavşak noktalarına olan mesafelerinin en yakın komşuluk kümeleme yöntemi ile gösterimi

4. Sonuçlar

Bu çalışmada yapılan analizler, hem MÖ 2. Bine hem de Demir Çağı'na tarihlenen sit alanlarından birbirlerine giden LCP'ler üzerinde kendilerinden sonraya tarihlenen sit alanlarının yer aldığını göstermektedir. Bu durum, belli bir bölgedeki belli döneme ait yolların daha sonraki sit alanları ile bağlantılı olduğuna işaret etmektedir. Nitekim yayalar yeni yollar oluşturmaktansa var olan yolları tercih etmektedir. Yayaların zemin üzerinde bıraktıkları ayak izleri, yolların gelişmesine ve zaman içerisinde zeminin yalnızca bu kısımlarının kullanılmasına neden olmaktadır. Çok kullanılan yolların ise diğerlerinden daha fazla tercih edildiği bilinmektedir (Helbing ve ark., 1997). Böylece, daha çok hareket potansiyeli taşıyan bu yollara yakınlık önemli bir yerleşim faktörü olacağı için, bu alanlarda yeni arkeolojik sit alanlarının bulunma olasılığı da artacaktır (Nuninger, ve ark., 2016; Verhagen ve ark., 2016). Nitekim bu araştırmanın sonuçları da, arkeolojik siteleri birbirine bağladığı varsayılan LCP'lerin çevresinde daha sonraki dönemlere tarihlenen sit alanlarının bulunduğunu göstermiştir. Dolayısıyla, bu çalışmada kullanılan LCP analizlerinin, yeni arkeolojik alanların saptanmasında tahmin yöntemi olarak kullanılmasının, olumlu sonuçlar verebileceği düşünülmektedir.

Yöntemin, bir diğer avantajı, elde edilen haritaların dinamik yapılı olmasıdır. Yani, her yeni noktanın yeni ağlar oluşturması, tahmin haritalarının gelişmesini ve güçlenmesini sağlamaktadır. Dolayısıyla, harita bilgi birikimleri ile birlikte sürekli güncellenmiş olmaktadır. Ancak, bu haritalar gücünü bilinen nokta sayısından almaktadır. Bu tarz çalışmalarda geniş alanlar içerisinde çalışılması, hatta "çalışma alanı"larına komşu bölgelere ait sit alanlarının kullanılması veri kaybını engelleyecektir. Aslında coğrafya süreklidir ve sınırlar ilişkileri net bir şekilde kesememektedir, bu nedenle bütüncül yaklaşım önemlidir.

Çalışmada yapılan LCP analizleri sonucunda ortaya çıkan birden fazla yol hattının kesişmesi ile oluşan kavşak noktalarının 1500 m çeperinde kontrol için seçilen arkeolojik alanların yer alması, bu kavşak noktalarının tahmin haritalarında bir veri olarak kullanılabilmesine işaret etmektedir.

Son yıllarda Sivas kenti arkeolojik sit alanlarının definecilik, tarımsal, maden işletmeleri gibi faaliyetler nedeniyle hızla tahrip edildiği gözlenmektedir (Engin, 2019). Bu nedenle LCP ile CBS temelli tahmin haritaları üzerinden yüzey araştırması planları yapılmasının, araştırmacıların ekonomi ve zamandan tasarruf ederek yeni alanlar tespit etmesini kolaylaştıracağı düşünülmektedir. Bu şekilde daha fazla sayıda arkeolojik alan tespit edilip tescillenmesi, dolaylı da olsa arkeolojik alanların tahribatıyla mücadeleye destek verecektir.

Türkiye arkeolojisinde uzaktan algılama ve CBS ile ilgili çalışmalar nispeten yenidir ve çalışmalar büyük ölçüde fotogrametrik modelleme üzerine yoğunlaşmıştır (Ulvi & Toprak 2016; Uslu & Uysal 2017; Yakar & Doğan 2017; Yakar & Doğan 2018; Şasi & Yakar 2018; Demir ve ark., 2018; Aşınmaz, A. 2021; Özendi, 2022). CBS tabanlı arkeolojik tahmin haritaları ile ilgili çalışmalar ise ülkemizde henüz yeterince araştırmayla doğrulanmamıştır. Ancak, bu konuda farklı bölgelerde uygulanacak CBS temelli çalışmaların artmasının, Türkiye'de yeni gelişmeye başlayan dijital arkeoloji alanına farklı dinamikler katacağı düşünülmektedir.

Araştırmacıların katkı oranı

Olcay Zengin Koşan: Literatür taraması, Verilerin temini, Verilerin yorumlanması, Makale yazımı
Çağdaş Kuşçu Şimşek: Literatür taraması, Modelleme, Verilerin yorumlanması, Makale yazımı;

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

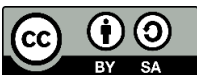
Aşınmaz, A. (2021). *Pamphylia'daki kırsal yerleşim dokusu ve bölgesel yerleşim trendlerinin CBS destekli analizi*. (Doktora tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Arkeoloji Ana Bilim dalı).

- Barjamovic, G. (2011). *A Historical Geography of Anatolia in the Old Assyrian Colony Period*. Copenhagen: Carsten Niebuhr Institute Publications.
- Berdahl, A. M., Kao, A. B., Flack, A., Westley, P. A. H., Codling, E. A., Couzin, I. D., Dell, A. I., & Biro, D. (2018). Collective animal navigation and migratory culture: from theoretical models to empirical evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 373(1746), 20170009. <https://doi.org/10.1098/rstb.2017.0009>
- Branting, S. A. (2004). *Iron Age Pedestrians at Kerkenes Dag: An Archaeological GIS-T Approach to Movement and Transportation*. (Doktora tezi, State University of New York at Buffalo).
- Branting, S. A. (2012). Seven solutions for seven problems with least cost pathways. White, D. A. & Surface-Evans, S. L. (Eds.), *Least Cost Analysis of Social Landscapes: Archaeological Case Studies* (pp. 209-224). Salt Lake City: University of Utah Press.
- Byrd, B. F., Byrd, Garrard, A. N. & Brandy, P. (2015). Modeling foraging ranges and spatial organization of Late Pleistocene hunter-gatherers in the southern Levant - a least-cost GIS approach. *Quaternary International*, 396, 62-78. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.07.048>
- Caracausi, S., Berrutib, G. L. F., Daffaraa, S., Bertèc, D. & Borele, F. R. (2018). Use of a GIS predictive model for the identification of high altitude prehistoric human frequentations. Results of the Sessera valley Project (Piedmont, Italy). *Quaternary International*, 490, 10-20. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.05.038>
- Cet, M. de, Duttman, R., Lull, V. Micó, Müller, Rihuede Herrada, C., Risch, R. & Verhagen, P. (2015). Agricultural territories and GIS modelling: the long-term case study of Menorca. Traviglia, A. (Ed.), *Across Space and Time. Selected Papers from the 41st Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology Conference (Perth, WA, 25-28 March 2013)* (pp. 224-238). Amsterdam: Amsterdam University Press.
- Danese, M., Masini, N., Biscione, M. & Lasaponara, R. (2014). Predictive modeling for preventive Archaeology: overview and case study. *Central European Journal of Geosciences*, 6 (1), 42-55. <https://doi.org/10.2478/s13533-012-0160-5>
- Demir, N., İşkan Işık, H., Koçak, M., Sönmez, N. K., Bayram, B., Kuleli, E. et al (2018). Kültürel miras belgelemesinde çok disiplinli eğitim tasarımı ve sivil bilim yaklaşımı. Maktav, D. Ş Avdan, U. (Eds.), VII. Uzaktan Algılama CBS Sempozyumu, 18-21 Eylül 2018, Eskişehir, Türkiye, (pp. 45-50).
- Earle, T. (2009). Routes through the landscape: A comparative approach. Snead, J. L., Erickson, C. L. & Darling, J. A. (Eds.), *Landscape of Movement. Trails, Paths, and Roads in Anthropological Perspective* (pp. 253-270). Philadelphia: University of Pennsylvania Press. <https://doi.org/10.9783/978193456537>
- Egeland, C. P., Nicholson, C. M. & Gasparian, B. (2010). Using GIS and ecological variables to identify high potential areas for paleoanthropological survey: An example from Northern Armenia. *Journal of Ecological Anthropology*, 14(1), 89-98. <https://doi.org/10.5038/2162-4593.14.1.8>
- Engin, A. (2009). Sivas ili 2007 yılı yüzey araştırması. Bayram, F. & Özme, A. (Eds.), *26. Araştırma Sonuçları Toplantısı – 2* (pp. 73-94). Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları.
- Engin, A. (2010). Sivas ili 2008 yılı yüzey araştırması. Dönmez, H. & Keskin, C. (Eds.), *27. Araştırma Sonuçları Toplantısı-3*, (pp. 129-149). Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları.
- Engin, A. (2011). Sivas ili 2009 yılı yüzey araştırması. Toy, A. N. & Keskin, C. (Eds.), *28. Araştırma Sonuçları Toplantısı-2*, (pp. 81-101). Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları.
- Engin, A. (2019). Sivas ili arkeolojisi: yapılanlar ve yapılması gerekenler. Yekbaş, H. & Yüksel, A. (Eds.), *Her Yönüyle Sivas Uluslararası Sempozyumu*, vol. 3, (pp. 29-46). Sivas: Sivas Cumhuriyet University.
- Engin, A., Uysal, B., Ay-Şafak, F. & Bozkurt, A. (2012). Sivas ili 2010 yılı yüzey araştırması. Özme, A. (Ed.), *29. Araştırma Sonuçları Toplantısı-1*, (pp. 173-208). Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları.
- Engin, A., Uysal, B., Ay-Şafak, F. & Bozkurt, A. (2013). Sivas ili 2011 yılı yüzey araştırması. Özme, A. (Ed.), *30. Araştırma Sonuçları Toplantısı-2*, (pp. 13-38). Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları.
- Engin, A., Uysal, B., Zengin-Koşan, O., Ay-Şafak, F. & Bozkurt, A. (2014). Sivas ili 2012 yılı yüzey araştırması. Özme, A. (Ed.), *31. Araştırma Sonuçları Toplantısı-2*, (pp. 43-64). Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları.
- Engin, A., Zengin-Koşan, O., Ay-Şafak, F. & Bozkurt, A. (2015). Sivas ili 2013 yılı yüzey araştırması. Özme, A. (Ed.), *32. Araştırma Sonuçları Toplantısı-1*, (pp. 399-430). Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları.
- Genz, H. (2011). The Iron Age in Anatolia. Tsetsckhladze, G. R. (Ed.), *The Black Sea, Greece, Anatolia and Europe in the First Millennium BC* (pp. 331-368). Leuven: Peeters Publishers.
- Hamer, W.B., Knitter, D., Grimm, S.B., Serbe, B., Eriksen, B.V., Nakoinz, O. & Duttman, R. (2019). Location modeling of final Paleolithic Sites in Northern Germany. *Geosciences*, 9 (10), 430. <https://doi.org/10.3390/geosciences9100430>
- Helbing, D., Keltsch, J. & Molnar, P. (1997). Modelling the evolution of human trail systems. *Nature* 388, (6637), 47-50. <https://doi.org/10.1038/40353>
- Herzog, I. (2013). The potential and limits of optimal path analysis. Bevan, A. & Lake, M. (Eds.), *Computational Approaches to Archaeological Spaces* (pp. 179-211). Walnut Creek: Left Coast Press.
- Herzog, I. (2014a). Least cost networks. Earl, G., Sly, T., Chrysanthi, A., Murrieta-Flores, P.A., Papadopoulos, C., Romanowska, I. & Wheatley, D. (Eds.), *Archaeology in The Digital Era. Papers from the 40th Annual Conference of Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA), Southampton, 26-29 March 2012* (pp. 237-248). Amsterdam: Amsterdam University Press. <https://doi.org/10.1515/9789048519590-026>
- Herzog, I. (2014b). Least cost paths – some methodological issues. *Internet Archaeology* 36. <https://doi.org/10.11141/ia.36.5>
- Herzog, I. & Posluschny, A. (2011). Tilt – slope-dependent least cost path calculations revisited. Jerem, E., Redo,

- F. & Szeverényi, V. (Eds.), *On the Road to Reconstructing the Past* (pp. 212-218). Budapest.
- Ingold, T. (1993). The temporality of the landscape. *World Archaeology*, 25 (2), 152–174. <https://doi.org/10.1080/00438243.1993.9980235>
- Judge, W. J. & Sebastian, L. (1988). *Quantifying the Present and Predicting the Past: Theory, Method, and Application of Archaeological Predictive Modeling*. Denver: U.S. Department of the Interior, Bureau of Land Management Service Center.
- Kamermans, H. (2004). The application of predictive modelling in archaeology: Problems and possibilities. Niccolucci, F. & Hermon, S. (Eds.), *Beyond the Artifact: Digital Interpretation of the Past, Proceedings of CAA 2004, Prato 13-17 April 2004* (pp. 273-277). Budapest: Archaeolingua.
- Kamermans, H., M. van Leusen, & Verhagen, P. (2009). *Archaeological Prediction and Risk Assessment. Alternatives to Current Practice*. Leiden: Leiden University Press.
- Kantner, J. (2012). Realism, reality, and routes: Evaluating cost-surface and cost-path algorithms. White, D.A. & Surface-Evans, S.L. (Eds.), *Least Cost Analysis of Social Landscapes* (pp. 225–238). Utah: University of Utah Press, Salt Lake City.
- Kealhofer, L. & Grave, P. (2011). The iron age on the central anatolian plateau. Steadman, S. R. & McMahon, G. (Eds.), *The Oxford Handbook of Ancient Anatolia* (pp. 415-442). New York: Oxford University Press.
- Kinsella-Shaw, J. M., Shaw, B. & Turvey, M. T. (1992). Perceiving 'walk-on-able' slopes. *Ecological Psychology*, 4 (4), 2223-239. https://doi.org/10.1207/s15326969eco0404_2
- Kondo, Y. & Seino, Y. (2011). GPS-aided walking experiments and data-driven travel cost modeling on the historical road of Nakasendō-Kisoji (Central Highland Japan). Frischer, B., Crawford, J. W. & Koller, D. (Eds.), *Making History Interactive, Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. Proceedings of the 37th International Conference, Williamsburg, Virginia, United States of America, March 2009* (pp. 158–165). Oxford: Archaeopress.
- Kökten, İ. K. (1947). 1945 yılında Türk Tarih Kurumu adına yapılan tarihöncesi araştırmaları. *Belleten*, XI (43), 431-472.
- Lewis, J. (2018). The suitability of using least cost path analysis in the prediction of Roman Roads in the Highland and Lowland Zones of Roman Britain. Paper presented at the 26th GIScience Research UK Conference, University of Leicester, 17-26 April 2018.
- Magnini, L. & Bettineschi, C. (2019). Theory and practice for an object-based approach in archaeological remote sensing. *Journal of Archaeological Science*, 107, 10–22. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2019.04.005>
- Meriggi, P. (1965). Qualio viaggio Anatolico. *Oriens Antiquus*, 4, 263-315.
- Milheira, R. G., De Souza, J. G. & Iriarte, J. (2019). Water, movement and landscape ordering: A GIS-based analysis for understanding the mobility system of late Holocene mound-builders in southern Brazil. *Journal of Archaeological Science*, 111, 105014. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2019.105014>
- Minetti, A. E., Moia, C., Roi, G. S., Susta, D. & Ferretti, G. (2002). Energy cost of walking and running at extreme uphill and downhill slopes. *Journal of Applied Physiology*, 93 (3), 1039–46. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01177.2001>
- Mlekuž, D. (2014). Exploring the topography of movement. Polla, S. & Verhagen, P. (Eds.), *Computational Approaches to the Study of Movement in Archaeology. Theory, Practice and Interpretation of Factors and Effects of Long Term Landscape Formation and Transformation* (pp. 5–22). Boston: De Gruyter.
- Murrieta-Flores, P. A. (2010). Traveling in a prehistoric landscape: Exploring the influences that shaped human movement. Frischer, B., Crawford, J. W. & Koller, D. (Eds.), *Making History Interactive. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA). Proceedings of the 37th International Conference, Williamsburg, Virginia, United States of America, March 22-26* (pp. 249-267). BAR International Series S2079. Oxford: Archaeopress.
- Müller-Karpe, A. & Müller-Karpe, V. (2013). Kuşaklı – Şarişsa. Doğan-Alparslan, M. & Alparslan, M. (Eds.), *Hittites. An Anatolian Empire* (pp. 220-227). Istanbul: Yapı Kredi Yayınları.
- Müller-Karpe, A., V. Müller-Karpe, & Kryszat, G. (2014). Untersuchungen in Kayalıpınar 2013 und 2014. *Mitteilungen der Deutschen Orient-Gesellschaft zu Berlin*, 146, 11-41.
- NPS (National Park Service of U.S.) (1996). *A Handbook for Trail Design, Construction, and Maintenance*, <https://www.nps.gov/noco/learn/management/upload/Handbook-complete-2.pdf>
- Nuninger, L., Verhagen, P., Bertonecello, F. and Castorao Barba, A. (2016). Estimating “land use heritage” to model changes in archaeological settlement patterns. Burgers, G. L. M., Kluiving, S. J. & Hermans, R. A. E. (Eds.), *Multi-, Inter- and Transdisciplinary Research in Landscape Archaeology: Proceedings of the 3rd International Landscape Archaeology Conference in Rome, Italy* (pp. 12-21). Amsterdam: Vrije Universiteit Amsterdam. <https://doi.org/10.5463/lac.2014.60>
- Orengo, H. A. & Garcia-Molsosa, A. (2019). A brave new world for archaeological survey: Automated machine learning-based potsherd detection using high-resolution drone imagery. *Journal of Archaeological Science*, 112. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2019.105013>
- Osten, von der, H. H. (1933). *Discoveries in Anatolia 1930-31*. Chicago, Illinois: The University of Chicago Press.
- Ökse, T. A. (1994). Sivas ili 1992 yüzey araştırması. Bayram, F., Eren, H., Ülgen, N., Kaymaz, F. & Ergürer, A.H. (Eds.), *XI. Araştırma Sonuçları Toplantısı* (pp. 243-258). Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları.
- Ökse, T. A. (1995). Sivas ili 1993 yüzey araştırması. Eroğlu, İ., Bayram, F., Eren, H., Ülgen, N., Kaymaz, F. & Ergürer, A. H. (Eds.), *XII. Araştırma Sonuçları Toplantısı* (pp. 317-329). Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları.
- Ökse, T. A. (1996). Sivas ili 1994 yüzey araştırması. Eroğlu, İ., Ülgen, N., Eren, H., Bayram, F., Tarlan, N., Tatlıcan, N., Ergürer, A. H. & Morkaya, Y. (Eds.), *XIII. Araştırma Sonuçları Toplantısı-1* (pp. 205-228). Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları.

- Ökse, T. A. (1997). Sivas ili 1995 yüzey araştırması. Eroğlu, İ., Eren, H., Bayram, F., Kaymaz, F., Tarlan, N., & Ergürer, A.H. (Eds.), *XIV. Araştırma Sonuçları Toplantısı-2* (pp. 375-400). Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları.
- Ökse, T. A. (1999). Sivas ili 1997 yüzey araştırması. Olşen, K., Çakmak, H., Bayram, F., Kaymaz, F., Tarlan, N., Özme, A., Ataş, K. & Dönmez, H. (Eds.), *XVI. Araştırma Sonuçları Toplantısı-1* (pp. 467-490). Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları.
- Ökse, T. A. (2000). Sivas ili 1998 yüzey araştırması. Olşen, K., Bayram, F., Özme, A., Ataş, K., Kepenek, Y., Dönmez, H. & Süvari, C. (Eds.), *17. Araştırma Sonuçları Toplantısı-2* (pp. 11-24). Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları.
- Ökse, T. A. (2001). Sivas ili 1999 yüzey araştırması. Olşen, K., Bayram, F., Dönmez, H., Ataş, K., Güder, N. & Toy, N. (Eds.), *18. Araştırma Sonuçları Toplantısı-2* (pp. 89-100). Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları.
- Ökse, T. A. (2002). Sivas ili 2000 yüzey araştırması. Olşen, K., Bayram, F., Özme, A., Dönmez, H., Güder, N. & Toy, N. (Eds.), *19. Araştırma Sonuçları Toplantısı-2* (pp. 229-238). Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları.
- Ökse, T. A. (2014). Second millenium BC settlement patterns in the upper Kızılırmak region. Engin, A., Helwing, B. & Uysal, B. (Eds.), *Studies in Honor of Engin Özgen. Armizzi* (pp. 205-217). Ankara
- Özendi, M. (2022). Kültür varlıklarının yersel lazer tarama yöntemi ile dijital dokümantasyonu: Zonguldak Uzun Mehmet Anıtı örneği, *Geomatik*, 7(2), 139-148.
- Özgüç, T. (1947a). Türk Tarih Kurumu ve Sivas ili adına Topraktepe'de yapılan kazı. *In Memoriam Halil Edhem*, vol. I, 219-225. Ankara: Türk Tarih Kurumu.
- Özgüç, T. (1947b). Türk Tarih Kurumu adına yapılan Maltepe (Sivas yanında) kazısı. *Belleten*, XI (44), 641-655.
- Pingel, T. J. (2010). Modeling slope as a contributor to route selection in mountainous areas. *Cartography and Geographic Information Science*, 37 (2), 137-148. <https://doi.org/10.1559/152304010791232163>
- Powrozniak, K. J. (2010). *Die Eisenzeit in Kuşaklı*, Kuşaklı-Sarissa Band 5. Rahden/Westfalia: Vorgeschichtliches Seminar in Verbindung mit der Deutschen Orient-Gesellschaft, Verlag Marie Leidorf GmbH.
- Rivera, J. A. (2014). *A Threat-Based Least-Cost Path Decision Support Model for National Security Resource Allocation Along The Us-Mexico Border*. (Yüksek lisans tezi. Faculty of the Usc Graduate School University of Southern California, Geographic Information Science and Technology program).
- Rogers, S. R., Collet, C. & Lugon, R., (2015). Least cost path analysis for predicting glacial archaeological site potential in central Europe. Traviglia, A. (Ed.), *Across Time and Space: Selected Papers from the 41st Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology Conference, Perth 23–25 March 2013* (pp. 261–275). Amsterdam: Amsterdam University Press.
- Sagona, A. & Zimansky, P. (2009). *Ancient Turkey*. New York: Routledge.
- Scarf, P. (2007). Route choice in mountain navigation, Naismith's rule and the equivalence of distance and climb. *Journal of Sports Sciences*, 25 (6), 719-726. <https://doi.org/10.1080/02640410600874906>
- Surface-Evans, S. & White, D. (2012). An introduction to the least cost analysis of social landscapes. White, D. A. & Surface-Evans, S. L. (Eds.), *Least Cost Analysis of Social Landscapes: Archaeological Case Studies* (pp. 1-7). Salt Lake City: University of Utah Press.
- Şasi, A. & Yakar, M. (2018). Photogrammetric modelling of Hasbey Dar'ülhuffaz (Masjid) using an unmanned aerial vehicle. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3(1), 6-11.
- Van Leusen, P. M. & Kamermans, H. (2005). *Predictive Modelling for Archaeological Heritage Management: a Research Agenda*. (Nederlandse Archeologische Rapporten; Vol. 29). Amersfoort: Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek. <https://doi.org/10.17026/dans-zqq-b335>
- Ulvi, A. & Toprak, A. S. (2016). Investigation of three-dimensional modelling availability taken photograph of the unmanned aerial vehicle; sample of Kanlıdivane Church. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 1(1), 1-7.
- Uslu, A. & Uysal, M. (2017). Arkeolojik eserlerin fotogrametri yöntemi ile 3 boyutlu modellenmesi: Demeter Heykeli örneği, *Geomatik*, 2(2), 60-65.
- van Leusen, P. M (1996). Unbiasing the archaeological record. *Archaeologia e Calcolatori*, 7, 129-136.
- Van Leusen, P. M. (2002). Pattern to process: methodological investigations into the formation and interpretation of spatial patterns in archaeological landscapes (Doktora tezi, Rijkuniversiteit Groningen).
- Vaughn, S. & Crawford, T. (2009). A predictive model of archaeological potential: An example from Northwestern Belize. *Applied Geography*, 29 (4), 542-555. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2009.01.001>
- Veenhof, K. R. (2010). Ancient Assur: The city, its traders, and its commercial network. *Journal of the Economic and Social History of the Orient*, 53: 39-82. <https://doi.org/10.1163/002249910X12573963244205>
- Verhagen, P. (2007). Testing archaeological predictive models: a rough guide. Posluschny, A., Lambers, K. & Herzog, I. (Eds.), *Layers of Perception. Proceedings of the 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA), Berlin, Germany, April 2–6, 2007* (pp. 285-291). Bonn: Dr Rudolf Habelt GmbH.
- Verhagen, P. (2013). On the road to nowhere? Least cost paths, accessibility and the predictive modelling perspective. Contreras, F., Farjas, M. & Melero, F. J. (Eds.), *Fusion of Culture. Proceedings of the 38th Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, 6-9 April 2010, Granada* (pp. 383–389). Oxford: Archaeopress.
- Verhagen, P., Kamermans, H., Van Leusen, M., Deeben, J., Hallewas, D. & Zoetbrood, P. (2010). First thoughts on the incorporation of cultural variables into predictive modelling. Niccolucci, F. & Hermon, S. (Eds.), *Beyond the Artefact: Digital Interpretation of the Past. Proceedings of CAA2004, Prato, 13-17 April 2004* (pp. 307-311). Budapest: Archaeolingua.

- Verhagen, P. & Jeneson, K. (2012). A Roman puzzle. Trying to find the Via Belgica with GIS. Chrysanthi, A., Murrieta-Flores, P. & Papadopoulus, C. (Eds.), *Thinking Beyond the Tool. Archaeological Computing and the Interpretive Process* (pp. 123-130). Oxford: Archaeopress.
- Verhagen, P. & Whitley, T. (2012). Integrating archaeological theory and predictive modeling: a live report from the scene. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 19, 49–100. <https://doi.org/10.1007/s10816-011-9102-7>
- Verhagen, P., Brughmans, T., Nuninger, L. & Bertonecello, F. (2014a). The long and winding road: Combining least cost paths and network analysis techniques for settlement location analysis and predictive modelling. Earl, G., Sly, T., Chrysanthi, A., Murrieta-Flores, P. A, Papadopoulos, C., Romanowska, I. & Wheatley, D. (Eds.), *Archaeology in the Digital Era. Papers from the 40th Annual Conference of Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA), Southampton, 26–29 March 2012* (pp. 357–366). Amsterdam: Amsterdam University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctt6wp7kg.41>
- Verhagen, P., Nuninger, L., Tourneux, F. P., Bertonecello, F. & Jeneson, K. (2014b). Introducing the human factor in predictive modelling: A work in progress. Earl, G., Sly, T., Chrysanthi, A., Murrieta-Flores, P.A, Papadopoulos, C., Romanowska, I. & Wheatley, D. (Eds.), *Archaeology in the Digital Era. Papers from the 40th Annual Conference of Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA), Southampton, 26–29 March 2012* (pp. 379-388). Amsterdam: Amsterdam University Press. <https://doi:10.2307/j.ctt6wp7kg.43>
- Verhagen, P., Nuninger, L., Bertonecello, F. & Castrorao Barba, A. (2016). Estimating the “memory of landscape” to predict changes in archaeological settlement patterns. Campana, S., Scopigno, R., Carpentiero, G. & Cirillo, M. (Eds.), *CAA 2015. Keep the Revolution Going. Proceedings of the 43rd Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology* (pp. 623–636). Oxford: Archaeopress.
- Wescott, K. L. & Brandon, R. J. (2000). *Practical Applications of GIS for Archaeologists: A Predictive Modeling Toolkit*. Taylor & Francis, London.
- Wheatley, D. (2004). Making space for an archaeology of place. *Internet Archaeology* 15. <https://doi.org/10.11141/ia.15.10>
- White, D. A. (2007). *Transportation, Integration, Facilitation: Prehistoric Trail Networks of the Western Papagueria*. (Doktora tezi. Department of Anthropology, University of Colorado at Boulder, Boulder).
- White, D. A. (2015). The basics of least cost analysis for archaeological applications. *Advances in Archaeological Practice*, 3 (04), 407–414. <https://doi.org/10.7183/2326-3768.3.4.407>
- White, D. A. & Barber, S. B. (2012). Geospatial modeling of pedestrian transportation networks: a case study from precolumbian Oaxaca, Mexico. *Journal of Archaeological Science*, 39 (8), 2684–2696. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2012.04.017>
- Yakar, J. & Gürsan-Salzman, A. (1979). Archaeological survey in the Malatya and Sivas provinces-1977. *Tel Aviv*, 6 (1-2), 34-53. <https://doi.org/10.1179/033443579791130416>
- Yakar, M. & Doğan, Y. (2017). Mersin Silifke Mezgit Kale Anıt Mezarı fotogrametrik rölevo alımı ve üç boyutlu modelleme çalışması, *Geomatik*, 2(1), 11-17.
- Yakar, M. & Doğan, Y. (2018). GIS and three dimensional modeling for cultural heritages. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3(2), 50-55.
- Zipf, G. K. (1949). *Human Behavior and The Principle of Least Effort: An Introduction to Human Ecology*. Cambridge: Addison-Wesley.



© Author(s) 2023. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>