



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 kullanarak 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 araziye 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.

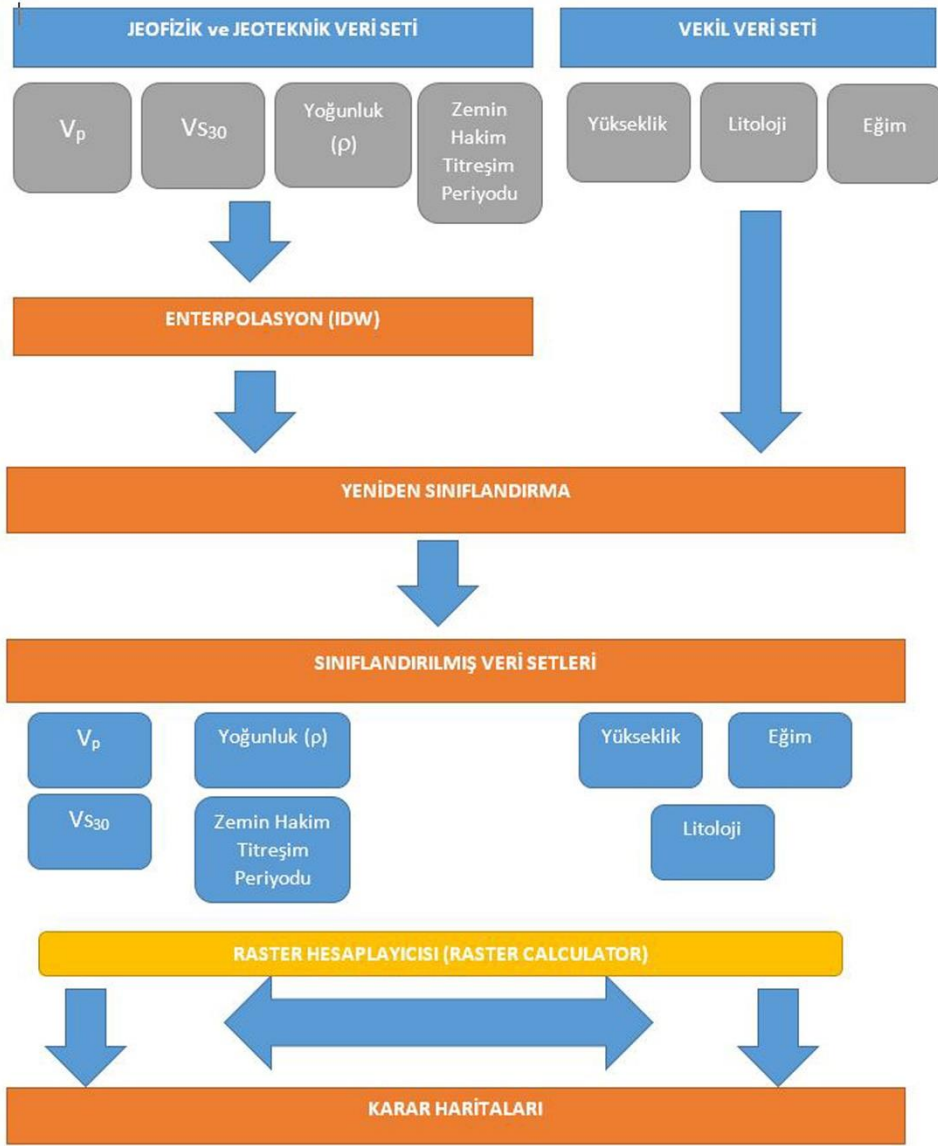
Arazi çalışmalardan elde edilen V_p , V_{S30} , T , ρ verilerinden her biri için ayrı sınıflandırma haritaları üretilmiştir. Benzer şekilde litoloji, coğrafi eğim ve yükseklik verilerinden oluşan vekil özelliklerinin her biri için de ayrı sınıflandırma haritaları üretilmiştir. Bu sınıflandırma haritaları 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.

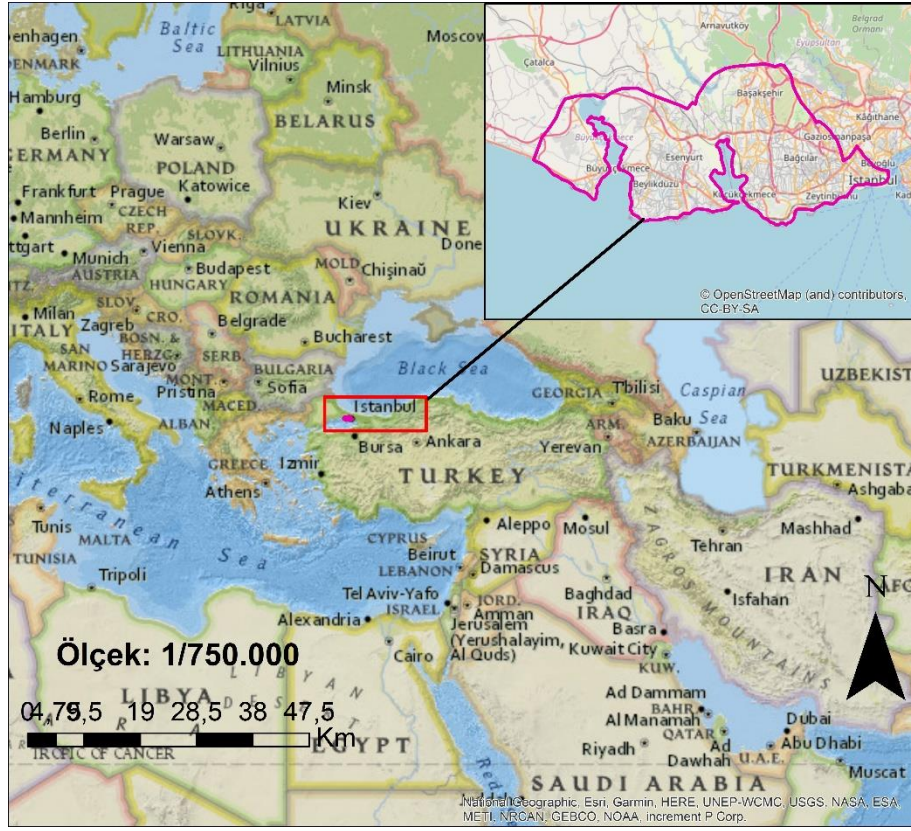
2.3. Kullanılan Veriler

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

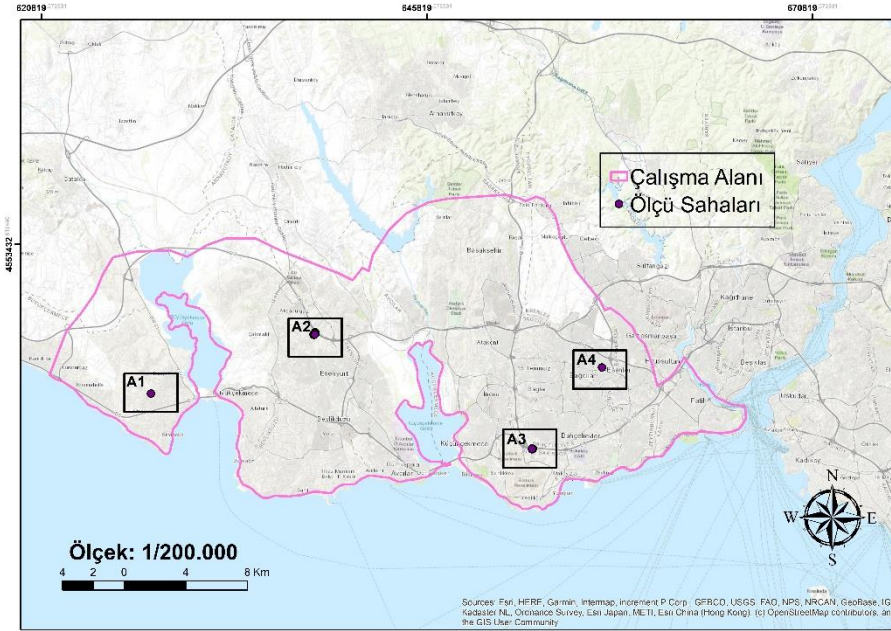
aralıklarına göre sınıflandırılması Tablo 2'de gösterilmiştir.

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	V_p	(ÇŞİDB)/2022
3	V_{S30}	(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

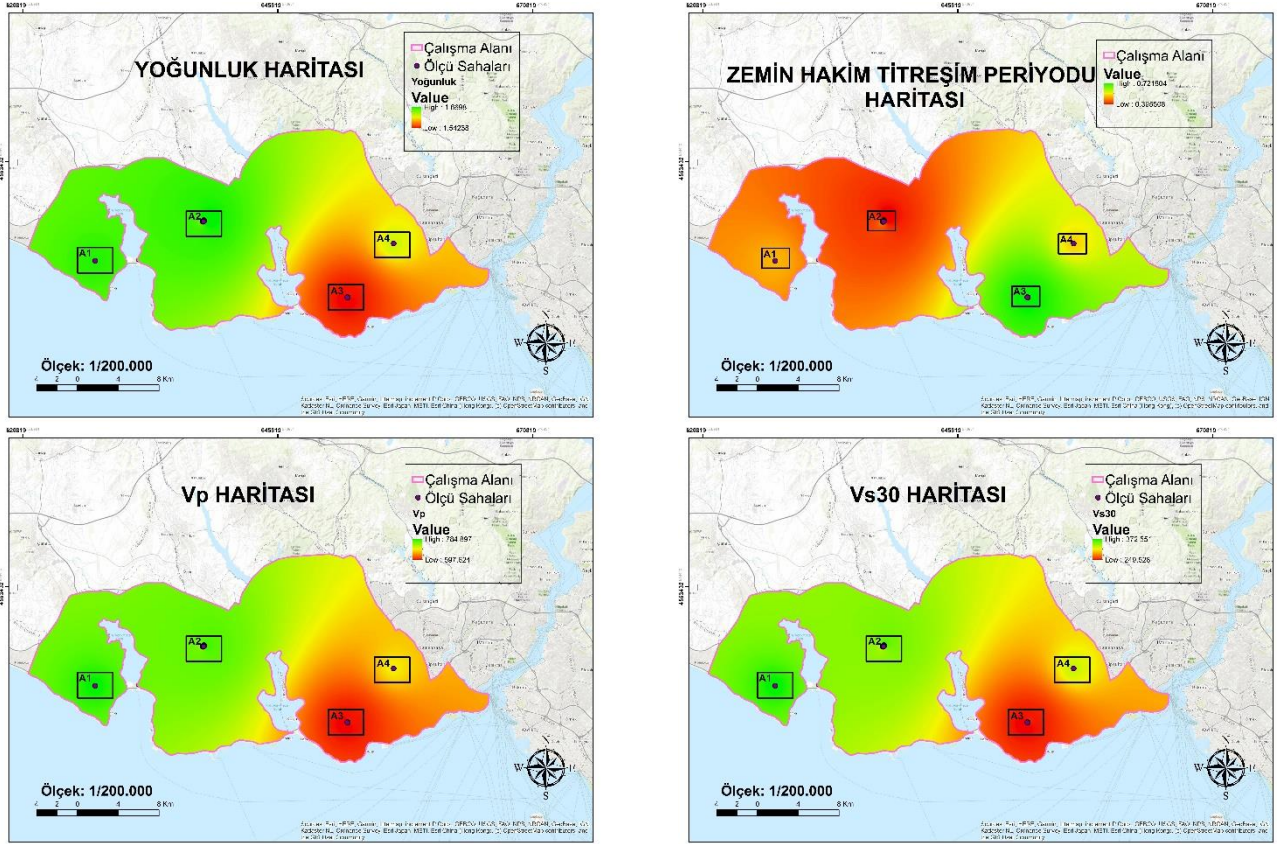
3. Analiz

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).

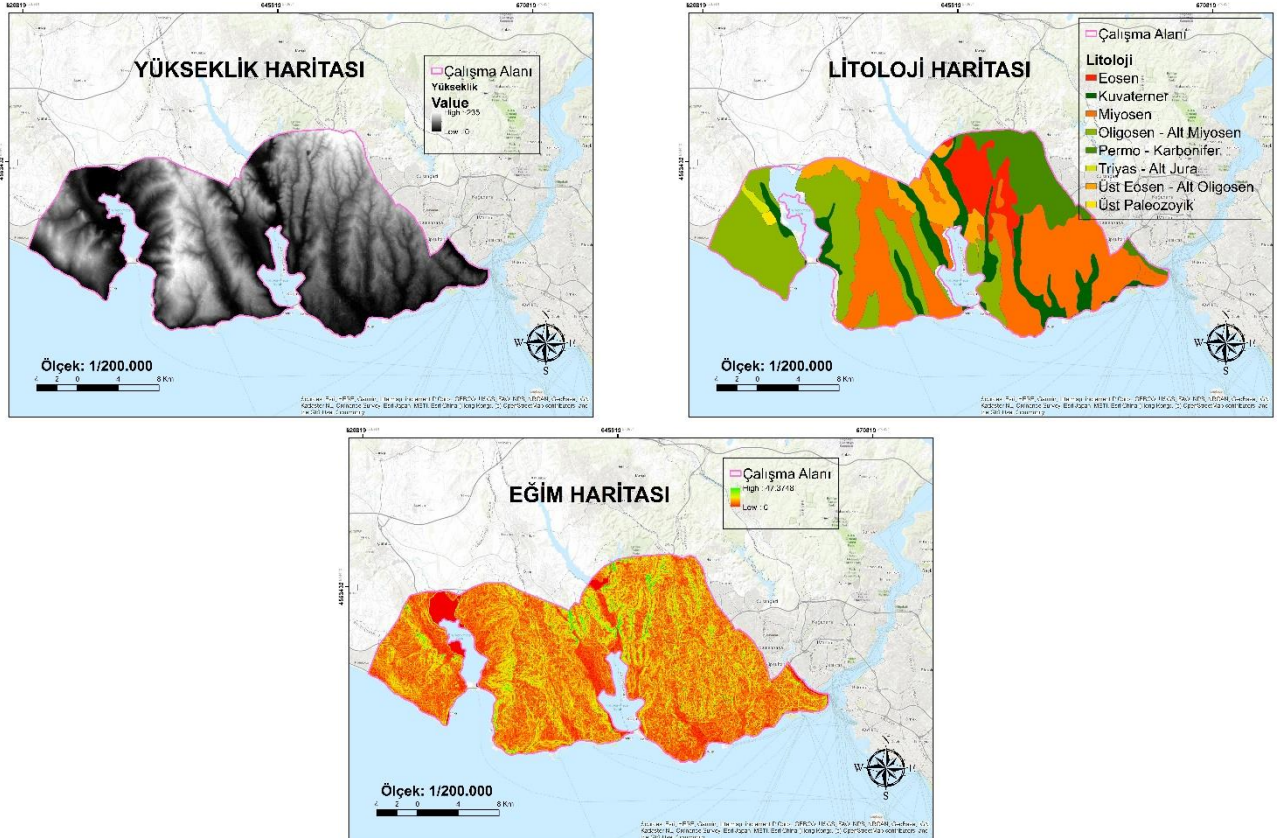
CBS kullanılarak belirlenen kriterler ve değer aralıkları çeşitli konum analizlerine tabi tutularak raster veriler elde edilmiştir (Şekil 4, 5, 6, 7). Raster veriler elde edilirken konum uygunluğunu gösteren değer aralıkları bir ile sekiz arasında puanlanmıştır. Ayrıca tüm raster tabanlı analizler 30m 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

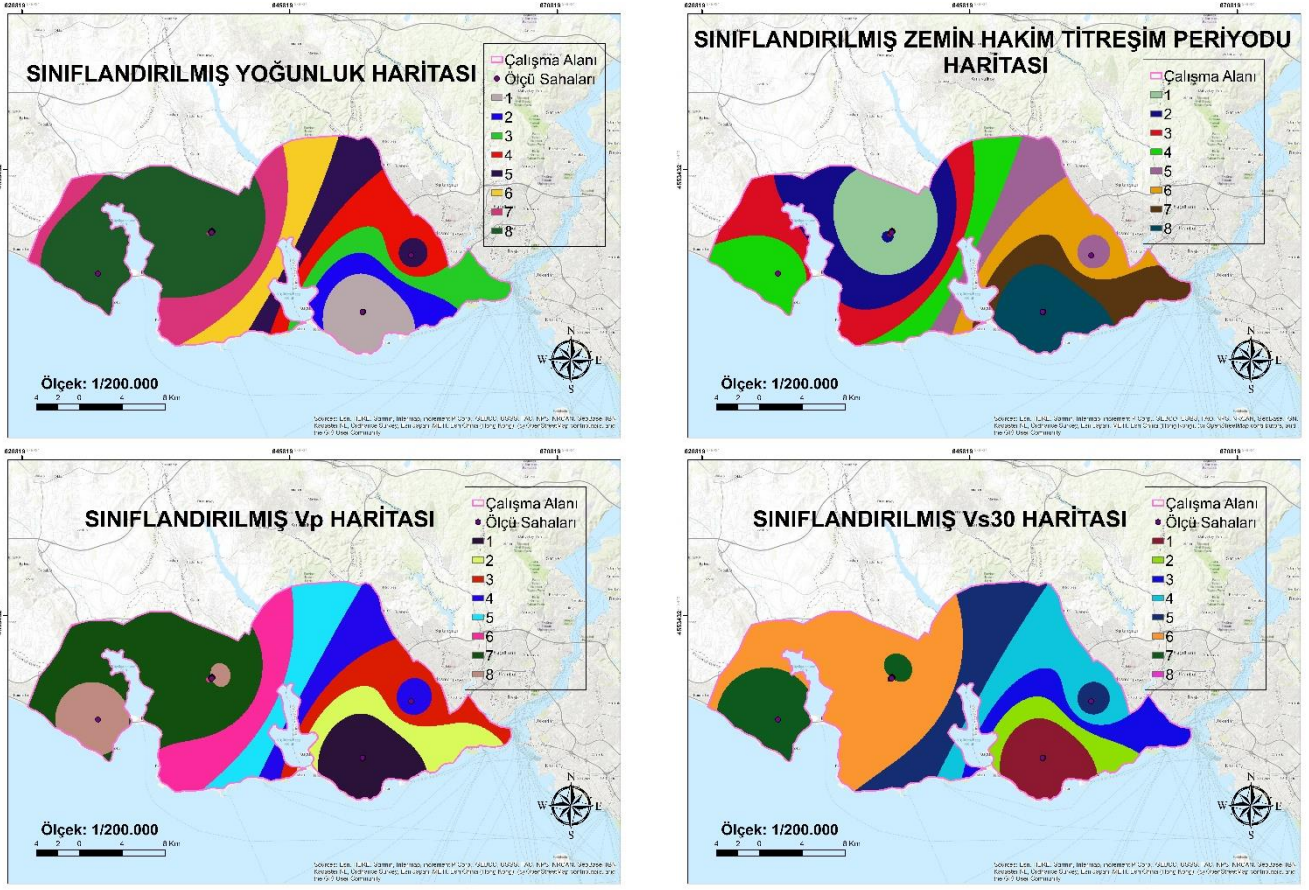
kolaylaştırmaktadır. Yapılan işlem sonucunda jeofizik ve jeoteknik kriterler ile vekil kriterler için karar haritaları oluşturulmuş ve değer aralıkları sekiz sınıf ile gösterilmiştir (Şekil 8, 9).



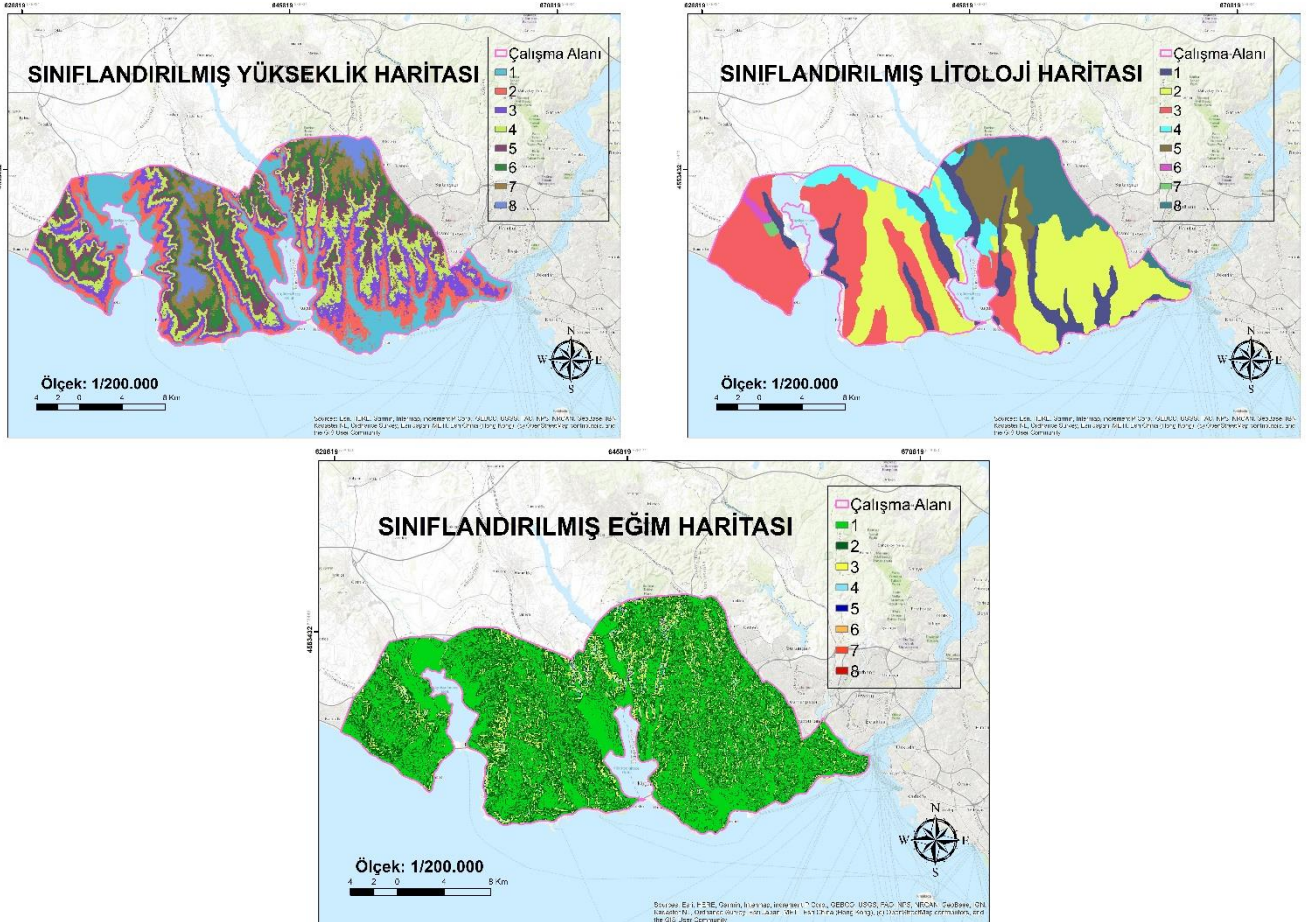
Şekil 4. Jeofizik ve jeoteknik kriterler (yoğunluk, zemin hâkim titreşim periyodu, Vp, Vs)



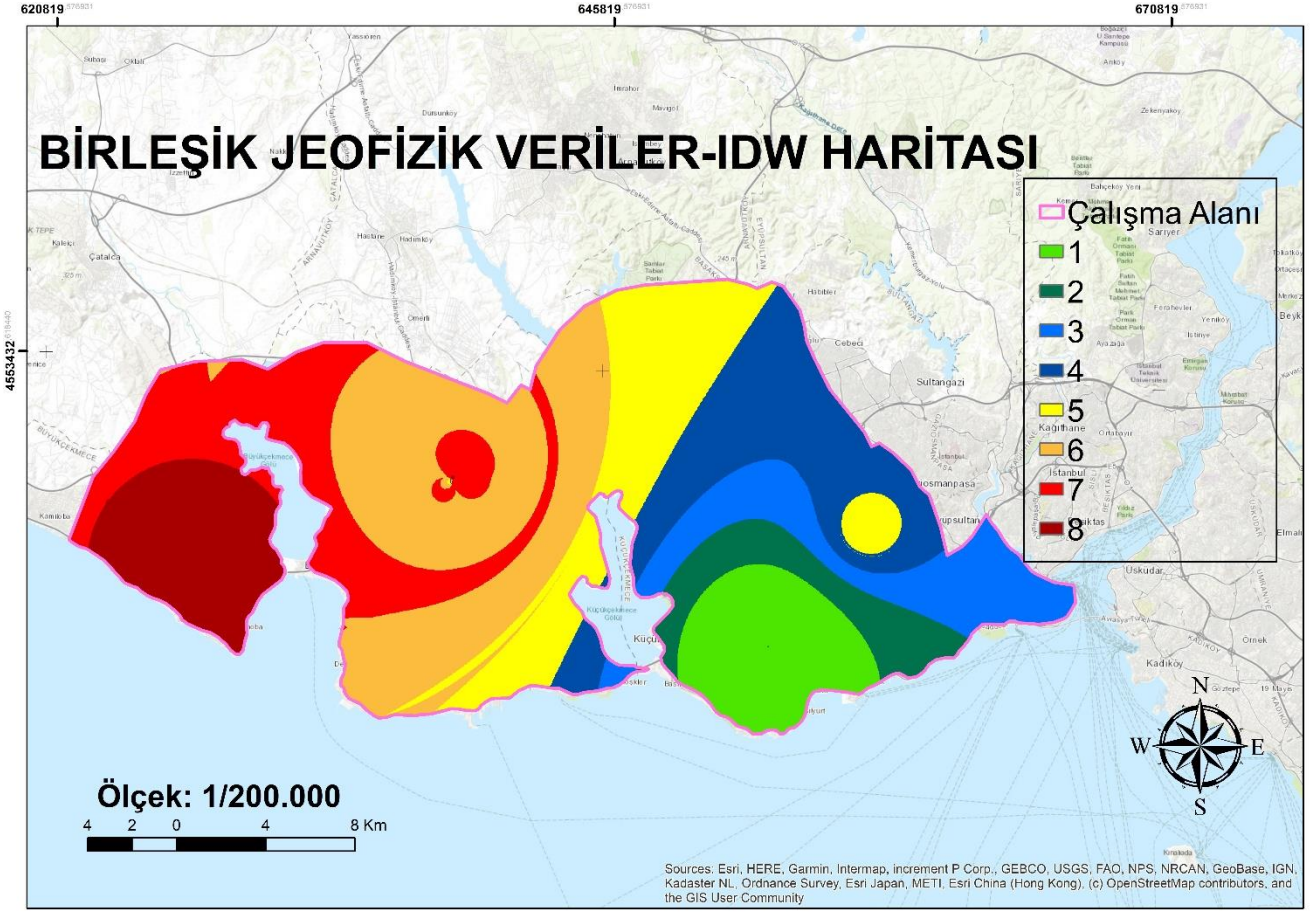
Şekil 5. Vekil özellikler a)yükseklik b) litoloji c) eğim



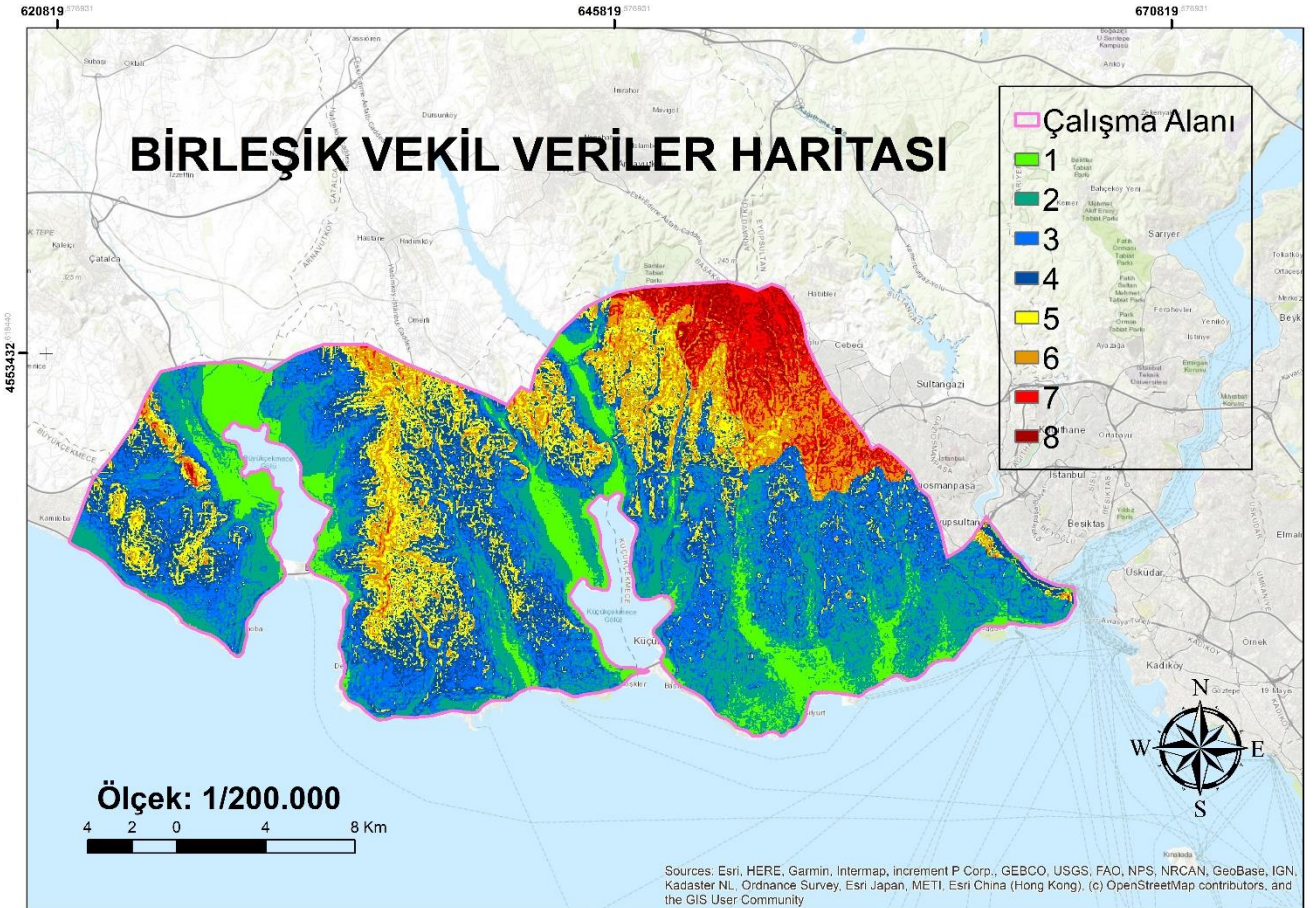
Şekil 6. Jeofizik ve jeoteknik kriterlerin sınıflandırma haritaları



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., & Fabriol, 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 Avcilar, 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.

