

JEOLOJİK VE TOPOĞRAFİK PARAMETRELER KULLANILARAK TÜRKİYE'NİN CBS TABANLI V_{S30} TAHMİN HARİTASININ GELİŞTİRİLMESİ

DEVELOPMENT OF A GIS-BASED V_{S30} PREDICTION MAP OF TURKEY USING GEOLOGICAL AND TOPOGRAPHICAL PARAMETERS

Gökhan ŞAHİN¹, Kıvanç OKALP², Mustafa K. KOÇKAR³,
Mustafa T. YILMAZ⁴, Amir JALEHFOROUZAN⁵, Faik A. TEMİZ⁶,
Aysegül ASKAN⁷, Haluk AKGÜN⁸, Murat A. ERBERİK⁹

ÖZET

V_{S30} parametresi, yerel zemin koşullarının karakterizasyonu, saha etkilerinin değerlendirilmesi, yer hareket düzeylerinin tahmin edilmesi ve sismik tehlike değerlendirme çalışmaları için kritik bir öneme sahiptir. Özellikle sayısal, hücre ölçeğinde ve lokasyon tabanlı sorgulanabilir bir format içerisinde V_{S30} değerlerinin elde edilmesine olan ihtiyaç göz önüne alındığında, Türkiye genelinde V_{S30} tahminlerinin yapıldığı kapsamlı bir çalışma gerekli hale gelmiştir. Bu araştırma, V_{S30} ile jeolojik ve topoğrafik veriler arasındaki ilişkileri inceleyerek, V_{S30} değerlerinin tahmin edilebilmesi için ampirik denklemler geliştirmektedir. Veriler, dijital jeolojik haritalar, dijital topoğrafik yükseklik haritaları (MERIT-DEM) ve AFAD'ın Türkiye genelindeki kuvvetli yer hareketi istasyonları çevresinde yüzey dalgasının çok kanallı analizi yöntemi (MASW) ile elde ettiği 432 adet V_{S30} kaydından derlenmiştir. İlk olarak, jeolojik birimler, jeolojik yaş dönemi kriterlerine göre sınıflandırılmıştır. Bu sınıflar ile V_{S30} ölçümleri arasındaki ilişkiler incelenerek, her sınıf için alt ve üst V_{S30} sınırları belirlenmiştir. Sonrasında, topoğrafik parametreler (örn., eğim, yerel dışbükeylik, yüzey dokusu) 2D trend yüzey analizi yöntemleri kullanılarak 90 metre çözünürlüğünde hesaplanmıştır. Topoğrafik parametreler ve V_{S30} değerleri, oluşturulan her jeolojik sınıf altında en küçük kareler yöntemi kullanılarak ilişkilendirilmiş ve her bir jeolojik kategori altında V_{S30} değerini tahmin etmek için farklı denklemler oluşturulmuştur. Ayrıca,

¹ Arş. Gör., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hacettepe Üniversitesi, gokhan.sahin@hacettepe.edu.tr (Sorumlu yazar)

² Araştırmacı, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hacettepe Üniversitesi, kivanc@okalp.net

³ Doç.Dr., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hacettepe Üniversitesi, mustafakockar@hacettepe.edu.tr

⁴ Doç.Dr., Mühendislik Bilimleri Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ), mtyilmaz@metu.edu.tr

⁵ Araştırmacı, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ), amir.jalehforouzan@metu.edu.tr

⁶ Araştırmacı, Türkiye Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, ahmet.temiz@afad.gov.tr

⁷ Prof.Dr., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ), aaskan@metu.edu.tr

⁸ Prof.Dr., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ), hakgun@metu.edu.tr

⁹ Prof.Dr., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ), altug@metu.edu.tr



en kötü senaryo için belirli bir aşılma olasılığına (p) karşılık gelen zarflama eğrisinin katsayıları, kantil regresyon yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Sonuç olarak bu denklemler kullanılarak, Türkiye için raster formatında sorgulanabilir dijital V_{S30} tahmin haritaları üretilmiştir. Literatürde sayısal yükseklik verilerinden türetilen V_{S30} haritalarının mevcut olmadığı göz önüne alındığında, bu çalışmanın Türkiye'deki bölgesel sismik tehlikeye dayalı risk değerlendirmeleri için, özellikle de bölgesel bir saha sınıflandırma parametresi olarak V_{S30} parametresini kullanan saha etkisi çalışmaları için önemli bir arka plan verisi sağlayacağı öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: CBS, Jeoloji, Regresyon analizi, Sismik tehlike, Topoğrafya, V_{S30}

ABSTRACT

The V_{S30} parameter is critical for characterizing local soil conditions, assessing site effects, estimating ground motion levels, and conducting seismic hazard assessment studies. Given the importance of V_{S30} values being accessible in a digital, cell-sized, and location-based queryable format, a comprehensive study for V_{S30} estimations across Turkey has become necessary. This research examines the relationships between V_{S30} , geological and topographic data to develop empirical equations for estimating V_{S30} values. The data are obtained from digital geological maps, digital topographic elevation maps (MERIT-DEM), and 432 V_{S30} records obtained through the Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) method around strong ground motion stations across Turkey by AFAD. First, geological map units were classified according to geological period criteria. By examining the relationships between geological classes and V_{S30} measurements, lower and upper V_{S30} limits were determined for each class. Subsequently, topographic parameters (e.g., slope, local convexity, surface texture) were calculated using 2D trend surface analysis methods on 90 meters resolution. Topographic parameters and V_{S30} values were correlated under each geological class using the least squares method, and different equations were generated to estimate V_{S30} values for each geological category. Furthermore, the coefficients of the enveloping curve corresponding to a specific exceedance probability (p) for the worst-case scenario were determined using the quantile regression method. As a result, queryable digital V_{S30} prediction maps for Türkiye in raster format were produced via proposed equations. This study is expected to provide significant background data for regional seismic hazard-based risk assessments in Turkey, especially for site effect studies that use the V_{S30} parameter as a regional site classification parameter, since V_{S30} maps derived from numerical elevation data are not available in the literature.

Keywords: Geology, GIS, Regression analysis, Seismic hazard, Topography, V_{S30}

1. GİRİŞ

Türkiye sismik faaliyetler açısından aktif olup Richter ölçeğinde 7 veya daha yüksek büyüklükteki depremler yaklaşık her on yılda bir meydana gelmektedir. 2023 yılındaki Mw 7.6 ve Mw 7.7 Kahramanmaraş depremlerinden sonra, saha koşullarını yansıtan ayrıntılı bir ulusal haritanın gerekliliği daha net olarak anlaşılmıştır. Türkiye Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından desteklenen AFAD-RED programı, mekansal hasarı değerlendiren sarsıntı haritaları oluşturmak için sismik saha koşulları haritalarını



kullanılmaktadır. Bazı kentsel alanlar ayrıntılı sismik çalışmalarla desteklenirken, birçok bölge, özellikle kırsal kesimler, kapsamlı sismik mikro-zonlama çalışmalarından yoksundur. Bu bölgelerde, sismik saha koşullarının mekansal dağılımını belirlemek için basit tekniklerin kullanılması kritik öneme sahiptir. İlk 30 metredeki ortalama S-dalgası hızını temsil eden V_{S30} parametresi, zemin hareketleri üzerindeki saha etkilerini hesaplamak için başlıca sismik saha sınıflandırma metriğidir. İlk olarak saha amplifikasyon faktörlerini tahmin etmek için Borchardt (1994) tarafından önerilen V_{S30} , farklı zemin hareketi modellerinde saha amplifikasyon etkilerini yoğunluk haritalarında tahmin etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Literatürde V_{S30} parametresinin genellikle bölgesel ölçekteki jeolojik ve topoğrafik veya diğer jeomorfolojik özelliklerle ilişkilendirilerek tahmin edildiği ve haritalandırıldığı bilinmektedir (Fumal vd., 1985; Wills ve Silva, 1998; Wills ve Clahan, 2006; Wald ve Allen, 2007; Yong vd., 2008; Iwahashi vd., 2010; Yılmaz vd., 2014; Wills vd., 2015; Karimzadeh vd., 2019; Crespo vd., 2022).

Ön değerlendirmeler, Türkiye için oluşturulmuş V_{S30} tahmin başarımlarının sınırlı olduğunu ve tahminlerin sadece topoğrafik eğim parametresi ile ilişkilendirildiğini göstermiştir. Bu durum göz önünde bulundurularak hem jeolojik birimleri hem de topoğrafik parametreleri dikkate alan yeni denklemlerin ve tutarlı analitik yöntemlerin kullanılmasıyla V_{S30} parametresinin tahmini için ülke çapında güncel verilere dayalı yeni bir araştırma yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bahsedilen hedefle yürütülen mevcut araştırma, jeolojik oluşumlar, topoğrafik parametreler ve V_{S30} ölçümleri arasındaki yeni korelasyonları ortaya koymakta ve V_{S30} tahmin başarımlarını iyileştirmek için çoklu-doğrusal ve doğrusal olmayan istatistiksel modeller kullanılmaktadır. Ayrıca, en kötü senaryo koşulunda belirli bir aşılma olasılığına (p) karşılık gelen zarf eğrisi katsayılarını belirlemek için kantil regresyon gibi alternatif istatistiksel yöntemlerden de yararlanılmıştır. Sonuç olarak Türkiye geneli için V_{S30} haritaları, CBS ortamında optimize edilmiş tahmin denklemlerinin kullanılması ile oluşturulmuştur. Bu çalışmanın, literatüre önemli bilimsel veriler sunacağı ve Türkiye'deki sismik tehlikelere dayalı bölgesel risk değerlendirmeleri için önemli bilgiler sağlayacağı öngörülmektedir.

2. VERİ

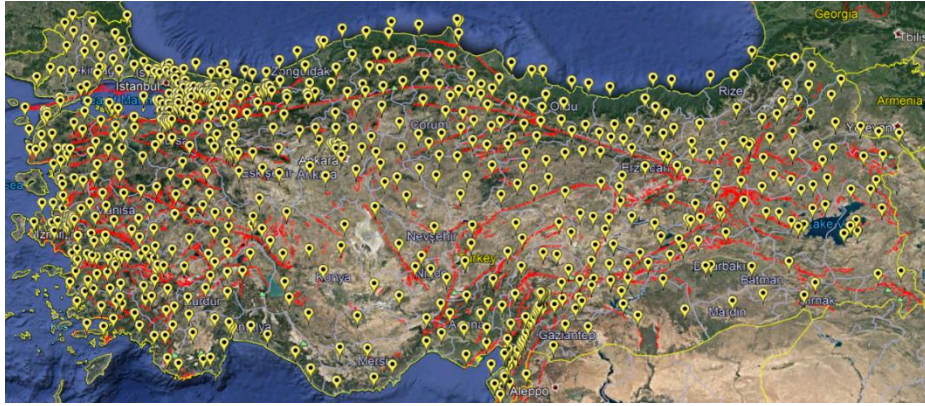
Araştırma kapsamında, dijital yükselti haritası, dijital jeolojik harita ve V_{S30} ölçümleri olmak üzere üç ana veri seti kullanılmıştır. Dijital yükselti haritasından yükseklik, eğim, yüzey dokusu ve yerel dışbükeylik gibi yüzey morfolojisini tanımlayan ve CBS ortamında türetilmiş topoğrafik değişkenler elde edilmiştir. Topoğrafik parametreleri elde etmek için 90 metre çözünürlüğe sahip açık kaynaklı harita modeli MERIT-DEM (Multiple Error Removed Improved Terrain Digital Elevation Model) kullanılmıştır. MERIT-DEM düz arazilerdeki yüksek hassasiyeti ve mutlak sapma, şerit gürültüsü, benek gürültüsü ve ağaç yüksekliği sapması gibi hata azaltımlarına sahip olduğu (Yamazaki vd., 2017) için tercih edilmiştir. Çalışmanın bir kısmında, MERIT-DEM kullanılarak türetilen topoğrafik parametreler ile kuvvetli yer hareketi istasyonlarından elde edilen V_{S30} kayıtları arasındaki ilişkiyi belirlemek hedeflenmiştir. Analizlerde, bu ilişkiyi araştırmak için 2-D trend yüzey analiz yöntemleri kullanılmıştır. Bu teknikler, yıllar içinde farklı araştırmacılar tarafından geliştirilmiş olup (örneğin, Davis ve Sampson, 1986; Riley vd., 1999; Iwahashi ve Pike, 2007; Devore, 2012;



Conrad *vd.*, 2015), V_{s30} ve topoğrafik veriler arasındaki ilişkiyi tahmin etmek için ikinci dereceden polinomlar kullanılmaktadır.

ikinci veri seti, Türkiye Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından üretilen 1:500,000 ölçekli dijitalleştirilmiş jeolojik haritadır. Bu harita, V_{s30} ölçümlerinin bulunduğu lokasyonlar da dahil olmak üzere, Türkiye geneli için sınıflandırılmış jeolojik bilgileri (örneğin, jeolojik birimler, dönemler) içermektedir. Harita üzerindeki kapsamlı değerlendirmelerle, çeşitli kodlar ve semboller kullanılarak farklı sınıflara ayrılan bir dizi jeolojik birim ve dönem üzerinde detaylı incelemelerde bulunulmuştur.

Son veri seti, kuvvetli yer hareketi istasyonlarının çevresinde ölçümlenmiş V_{s30} kayıtlarını içermektedir (Şekil 1). Bu veriler, AFAD tarafından çeşitli araştırmalardan sistematik olarak derlenmiştir (örn., Akkar *vd.*, 2010; Kurtuluş *vd.*, 2020) ve Türkiye genelindeki jeolojik ve litolojik birimler üzerinde tutarlı bir dağılım sergilemektedir.



Şekil 1. AFAD tarafından derlenmiş Türkiye'deki V_{s30} kaydı barındıran kuvvetli yer hareketi istasyonlarının dağılımı

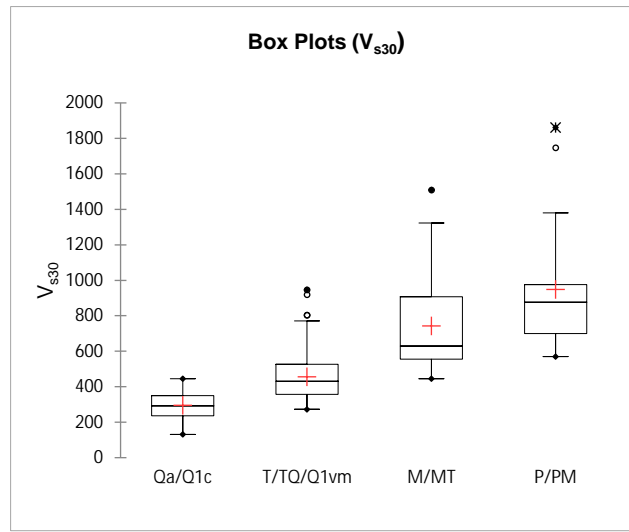
3. METODOLOJİ

Koordinatları ve ilişkili öznitelikleri içeren ve toplamda 511 kayıttan oluşan V_{s30} verileri ilk olarak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamına aktarılmış ve dijital jeoloji haritası içerisinde incelenerek yüzey jeolojisi sınıflamaları ile (birim, zaman, dönem vb.) ilişkilendirilmiştir. Veriler, birim koduna göre 38, birim sembolüne göre 79 (Okalp, 2013; Okalp ve Akgün, 2016), jeolojik zaman sınıfına göre 8 ve jeolojik dönem/devre sınıfına göre 36 farklı sentetik jeolojik sınıflandırma içerisinde tanımlanmıştır. Çalışma kapsamında öncelikli olarak V_{s30} verilerinin jeolojik "birim/sembol" sınıfları içerisindeki dağılımı incelenmiş ve kategoriler arasında anlamlı bir farklılığa rastlanamamıştır ($p > 0.05$, $\alpha = 0.05$; Kruskal and Wallis, 1952). Bu nedenle, çalışmanın devamında V_{s30} ve jeolojik "zaman" sınıfları arasındaki potansiyel ilişkiler incelenmiştir.

511 lokasyondan elde edilen V_{s30} kayıtları jeolojik zaman/dönem dilimleri açısından değerlendirilmiş ve ardından dört ana sınıfa ayrılmıştır: "Kuvaterner (Q_a/Q_{1c})", "Tersiyer ve Tersiyer-Kuvaterner ($T/TQ/Q_{1vm}$)", "Mezozoik ve Mezozoik-Tersiyer (M/MT)", "Paleozoik ve



Paleozoik-Mezozoik (P/PM)". Ardından, Grubbs Aykırı Değer Testi (Grubbs, 1950), aykırı değerlerin istatistiksel olarak %10 anlamlılık düzeyinde gözlenmediği duruma kadar iteratif olarak uygulanmıştır. Buna ek olarak, sayısallaştırılmış jeoloji haritası üzerinde her bir V_{s30} kaydının mekansal değerlendirilmesi yapılmış ve ölçüm noktalarının jeolojik dönem poligon sınırlarına yakınlıkları incelenmiştir. Jeolojik dönem sınırlarına çok yakın olduğu tespit edilen kayıtların, yapılacak analizlerin doğruluğunu etkileyebileceği göz önünde bulundurularak toplamda 79 ölçüm analizlere dahil edilmemiştir. Kruskal Wallis H testi sonucunda tüm sınıfların birbirlerinden anlamlı düzeyde farklı olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.05$, $\alpha = 0.05$). Analizler sonucunda dört farklı jeolojik dönem sınıfı için elde edilen istatistiksel özellikler kutu diyagramı olarak Şekil 2'de sunulmuştur. Sonuç olarak, V_{s30} -Jeolojik dönem ilişkisi için Çoklu Doğrusal Regresyon testinde 0.446'lık bir Determinasyon Katsayısı (R^2) ile anlamlı bir sonuç göstermiştir.

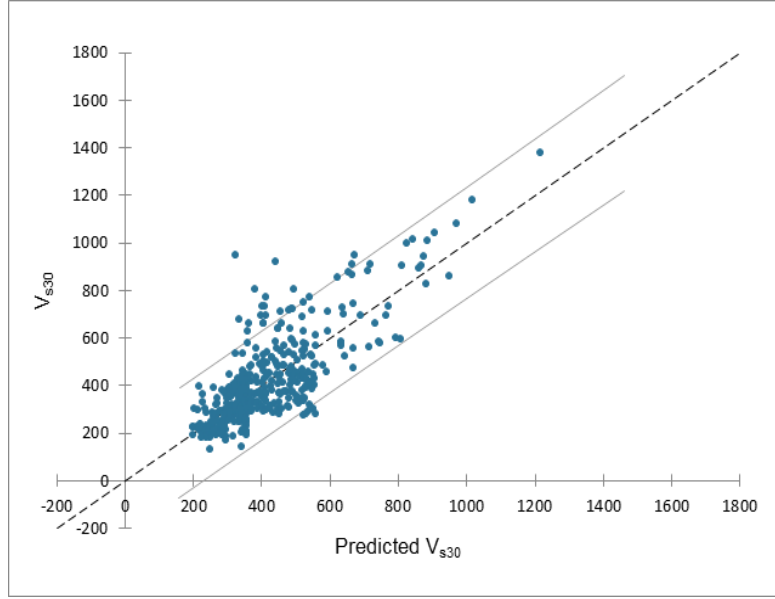


Şekil 2. Dört jeolojik dönem sınıfı altındaki V_{s30} verilerinin kutu diyagram gösterimi (üst ve alt siyah noktalar sınıf içerisindeki maksimum-minimum değerleri temsil ederken, kırmızı artı işareti ortalama değerleri göstermektedir)

ikinci olarak, her bir jeolojik dönem sınıfı içerisinde sayısal yükseklik haritasından türetilen topoğrafik parametreler incelenmiş ve V_{s30} tahmin başarımlarına olan etkisi regresyon analiz sonuçları ile birlikte değerlendirilmiştir. Topoğrafik parametreler (topoğrafik eğim, yerel dışbükeylik ve yüzey dokusu) MERIT-DEM sayısal haritasından SAGA-GIS yazılım araçları kullanılarak oluşturulmuştur. Öncelikle, farklı hücre boyutlarındaki topoğrafik haritalarındaki verilerin V_{s30} kayıtlarıyla olan korelasyonları incelenerek, oluşturulan haritaların hücre boyutları optimize edilmiştir. V_{s30} ile optimum korelasyon 540 metrelik (6 x 90 m) hücre boyutunda elde edilerek, yüzey dokusu ve yerel dışbükeylik için sırasıyla 0,240 ve 0,241 determinasyon katsayısı (R^2) değerleri elde edilmiştir. Topoğrafik eğim parametresi için, hücre boyutu değişimlerinin korelasyonları anlamlı düzeyde etkilemediği gözlemlenmiştir. Sonrasında, tüm jeolojik dönem sınıfları altında topoğrafik parametreler ile V_{s30} değerleri arasındaki ilişki, doğrusal ve çoklu regresyon analizleri kullanılarak incelenmiş ve çeşitli tahmin denklemleri geliştirilmiştir. Bu denklemlerden elde edilen tahminler, sahadan alınan V_{s30} kayıtlarıyla Şekil 3'te de gösterildiği gibi karşılaştırılmıştır.



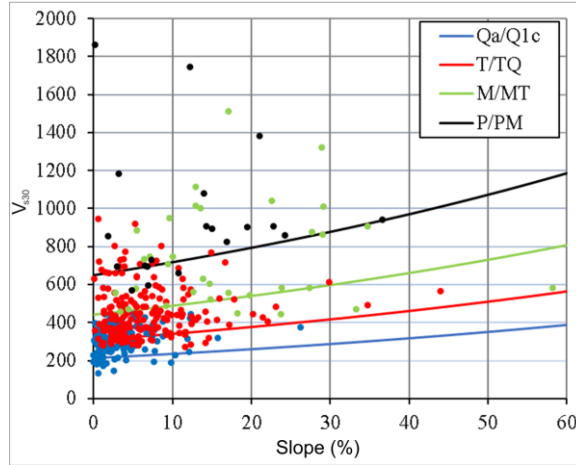
Regresyon testleri sonucunda tahminlerin doğruluğu 117 Kök Ortalama Kare Hatası (RMSE) ve 0,609 R^2 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3. Sahada ölçülen V_{s30} değerleri ile tahmin edilen V_{s30} değerlerinin kıyaslanması (%95 güven aralıkları denklem ortalaması etrafında düz çizgiler ile gösterilmiştir)

Örneklemin toplam varyansını minimize ederek koşullu ortalamayı tahmin eden geleneksel doğrusal regresyon, normal (Gauss) dağılım varsayımı altında yansızdır. Ancak, normallik testleri Tip-II hatalarına yol açabileceğinden, normalliğin geçerliliği kritik önem taşır; normalliğin reddedilememesi normalliği doğrulamaz. Kantil regresyon bir değişkenin koşullu kantilini normallik varsayımı yapmadan modellediği ve aykırı değerlere karşı daha az duyarlı olduğu için bir alternatif sunmaktadır (Koenker ve Bassett, 1978). Çalışma kapsamında her ne kadar jeolojik dönem sınıfları içerisindeki normallik koşulu sağlanmış olsa da, aykırı değerlerin varlığı göz önüne alındığında, tahminlerin farklı bir perspektiften değerlendirilmesinin faydalı olabileceği düşünülmüştür. Bu amaçla, veri üzerinde kantil regresyon analizleri uygulanmış ve sınıf içindeki ortalama değerler yerine minimum V_{s30} değerlerini dikkate alan bir model geliştirilmiştir. Analizlerde, genel güç (power) modelindeki her bir kantilin katsayıları kullanılmıştır. Logaritmik dönüşümle doğrusallaştırılan bu model, topoğrafik eğim ile V_{s30} eşiğini etkili bir şekilde ilişkilendirmektedir. Verilerin %16'sının tahmin edilen V_{s30} değerinin altında olduğu bir senaryoyu temsil eden $p=0,84$ değerinde analizler gerçekleştirilmiştir; bu değer, normal bir dağılımda ortalamanın bir standart sapma altına karşılık gelmektedir (Şekil 4). Modelin etkinliği, R^2 ile doğrudan karşılaştırılamayan, ağırlıklı mutlak hataların toplamını kullanan uyum derecesi (goodness of fit) parametresi \check{r} (p) ile değerlendirilmiştir. $P=0,84$ 'te hesaplanan 0,34'lük \check{r} değeri, tahmin parametreleri ile V_{s30} eşiği arasında makul bir korelasyon olduğunu ve jeolojik dönem sınıfının düşük V_{s30} aralıkları için önemli bir tahmin edici olduğunu göstermiştir. Analizler sonucunda topoğrafik eğim parametresinin V_{s30} 'u tahmin etmedeki gücünün, eğim değerleri arttıkça daha önemli hale geldiği görülmüştür.



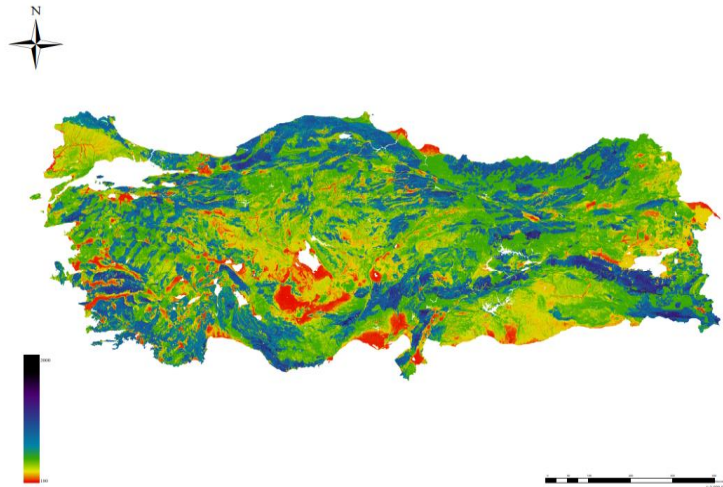


Şekil 4. Jeolojik dönem sınıflarının %84'lük kantilleri

4. ANALİZ SONUÇLARINA GÖRE V_{s30} HARİTALARININ OLUŞTURULMASI

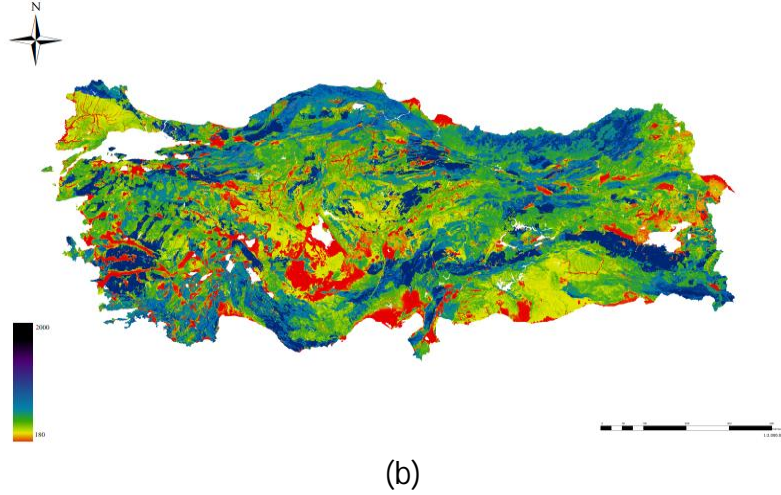
Sayılaştırılmış harita oluşturma işlemi, GDAL ve GRASS CBS programları kullanılarak bir Linux çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, sayılaştırılmış topoğrafik (topoğrafik eğim, yüzey dokusu ve yerel dışbükeylik parametreleri ile üretilmiş dijital haritalar) ve jeolojik raster haritalar seçilen yazılıma entegre edilmiştir. Sonraki aşamada, her bir jeolojik sınıfa karşılık gelen bitişik poligon sınırları boyunca hataları belirlemek ve düzeltmek için titiz bir inceleme yapılmıştır.

Ardından, en küçük kare ve kantil yöntemleriyle elde edilen denklemler, üst üste bindirilmiş raster haritaların her hücreğine uygulanmıştır. Hesaplama verimliliği ve çözünürlük kalitesi arasındaki dengeyi korumak için hesaplamalarda 90 metrelik bir hücre boyutu tercih edilmiştir. V_{s30} değerleri GRASS GIS'deki "r.mapcalc" modülü kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca, haritalar (Şekil 5) üretilirken yapılan hesaplama sonuçlarının, jeolojik dönem sınıfı sınırlarında yer aldığı ve herhangi bir hesaplama hatası olmadığını kontrol etmek amacıyla sonuçlar üzerinde kapsamlı bir istatistiksel inceleme de uygulanmıştır.



(a)





(b)
Şekil 5. a) En küçük kareler denklemleri ve b) kantil denklemleri ile elde edilen V_{s30} haritaları

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Türkiye'deki V_{s30} değerlerinin tahmini için jeolojik ve topoğrafik parametreler ile korelasyonların ele alındığı ve geliştirildiği bir model tanıtılmaktadır. Tahminlerde jeolojik dönem sınıfları birincil etkili değişken iken, sınıf içi varyasyonların tahmin edilmesinde kullanılan topoğrafik parametreler ikincildir. Çalışmada ayrıntılı istatistiksel analizler yardımıyla her biri benzersiz V_{s30} sınırlarına sahip dört farklı jeolojik dönem sınıflandırılmıştır. AFAD tarafından derlenmiş mevcut V_{s30} verileriyle oluşturulan bu sınıflandırmalar, daha fazla veri elde edildikçe daha da geliştirilmeye ve iyileştirilmeye açıktır. Analizler sonucunda, V_{s30} 'u tahmin etmek için, her biri CBS çerçevesinde 1:500.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritasında temsil edilen ve belirli bir jeolojik döneme karşılık gelen farklı denklemler belirlenmiştir. Bu tahminlere topoğrafik eğim, yüzey dokusu ve yerel dışbükeylik parametreleri sürekli ve ikincil değişkenler olarak dahil edilmiştir. Öncelikle, en doğru tahmin kabiliyetine sahip denklemler en küçük kareler yöntemiyle üretilmiş ve bu denklemler V_{s30} parametresinin koşullu ortalamasını vurgulayacak şekilde tasarlanmıştır. Tahminlerde, literatürdeki ülke ölçeğinde yürütülen birçok çalışmaya göre daha isabetli sonuçlar elde edilmiş ve $R^2=0.6$ düzeyinde bir determinasyon katsayısına ulaşılmıştır. Bununla birlikte, bu yaklaşıma alternatif bir bakış açısı sunmak adına V_{s30} 'un koşullu olasılık dağılımı hakkında hiçbir varsayımda bulunmayan kantil tahminleri, sınıf içerisinde V_{s30} 'un alt sınırlarının göz önüne alındığı bir kantil regresyon modeli aracılığıyla analizlere dahil edilmiştir. Analizlerin ardından, bu iki farklı yöntem Türkiye için ulusal ölçekte dijital V_{s30} haritaları üretmek için kullanılmıştır. Bu sayede, Türkiye genelinde V_{s30} parametresi tahminleri istatistiksel olarak makul bir başarımlı seviyesinde belirlenmiş olup, elde edilen sonuçlar, araştırmacıların ve mühendislerin gelecekteki çalışmalarında faydalanabilecekleri bir veri seti sunmaktadır. Bu çalışma Türkiye'de bölgesel sismik tehlike tabanlı risklerin belirlenmesi çalışmalarına ve V_{s30} 'u bölgesel saha sınıflandırma parametresi olarak kullanan deprem çalışmalarında önemli bir altlık verisi sağlayacaktır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, yer hareketi tahmin denklemlerinde, şiddet-yer hareketi parametresi bağıntılarında, yer hareketi simülasyonlarında, özetle mekânsal ve genel ölçekte saha tanım



parametresi gereken tüm çalışmalarda girdi olarak kullanılabilir. Ayrıca, çalışmada önerilen metodoloji ve denklemlerin, kurulması planlanan kuvvetli yer hareketi istasyonlarından yeni V_{s30} verileri toplandıkça, Türkiye'nin CBS tabanlı V_{s30} tahmin haritasını otomatik olarak optimize eden, tahminleri güncelleyen ve makine öğrenimine dayalı olacak gelecek çalışmalar için bir temel sağladığı da söylenebilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Türkiye Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından "Jeolojik ve Topoğrafik Sayısal Haritalar Kullanılarak Türkiye Ölçeğinde CBS Tabanlı Öngörülen- V_{s30} Haritalarının Üretilmesi (PI: Doç. Dr. M. Tolga Yılmaz)" başlıklı UDAP-Ç-20-01 projesi ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Akcar, S., Cagnan, Z., Yenier, E., Erdogan, O., Sandikkaya, M. A., and Gulkan, P. (2010), "The recently compiled Turkish strong motion database: preliminary investigation for seismological parameters", *J. Seismol.* 14, 457-479, <https://doi.org/10.1007/s10950-009-9176-9>.
- Borcherdt, R.D. (1994), "Estimates of Site-Dependent Response Spectra for Design (Methodology and Justification)", *Earthq. Spectra* 10, no. 4, 617-653, <https://doi.org/10.1193/1.1585791>.
- Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., and Boehner, J. (2015), "System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4, *Geosci. Model Dev.* 8", 1991-2007, <https://doi.org/10.5194/gmd-8-1991-2015>.
- Crespo, M. J., B. Benjumea, J. M. Moratalla, L. Lacoma, A. Macau, A. González, F. Gutiérrez, and P. J. Stafford (2022). "A proxy-based model for estimating V_{s30} in the Iberian peninsula", *Soil Dynam. Earthq. Eng.* doi: 10.1016/j.soildyn.2022.107165.
- Davis, J. C., and Sampson, R. J. (1986), "Statistics and data analysis in geology", (Vol. 646), Wiley, New York.
- Devore, J. L. (2012), "Probability and Statistics for Engineering and the Sciences", Brooks/Cole, the U.S.
- Fumal, T. E., Tinsley, J. C., and Ziony, J. I. (1985), "Mapping shear-wave velocities of near-surface geological materials. Evaluating earthquake hazards in the Los Angeles Region-an earth-science perspective", *U.S. Geol. Surv. Profess. Pap.* 1360, 127–150.
- Grubbs, F. E. (1950), "Sample Criteria for Testing Outlying Observations", *Ann. Math. Stat.* 21, no. 1, 27 - 58, <https://doi.org/10.1214/aoms/1177729885>.
- Iwahashi, J., and Pike, R. J. (2007), "Automated classifications of topography from DEMs by an unsupervised nested-means algorithm and a three-part geometric signature", *Geomorphology* 86, no. 3-4, 409-440, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.09.012>.
- Iwahashi, J., Kamiya, I., and Matsuoka, M. (2010), "Regression analysis of V_{s30} using topographic attributes from a 50-m DEM", *Geomorphology* 117, nos. 1/2, 202–205, doi: 10.1016/j.geomorph.2009.11.004.



- Karimzadeh, S., Feizizadeh, B., and Matsuoka, M. (2019), "DEM-based Vs30 map and terrain surface classification in nationwide scale—A case study in Iran", *ISPRS Int. J. Geoinf.* 8, no. 12, 537.
- Koenker, R., and Bassett Jr, G. (1978), "Regression quantiles", *Econometrica* 46, no. 1, 33-50, <https://doi.org/10.2307/1913643>.
- Kruskal, W. H., and Wallis, W. A. (1952), "Use of ranks in one-criterion variance analysis", *J. Am. Stat. Assoc.* 47, no. 260, 583-621.
- Kurtuluş, C., Sertçelik, F., Sertçelik, I., Kuru, T., Tekin, K., Ateş, E., Apak, A., Kokbudak, D., Sezer, S., and Yalçın, D. (2020), "Determination of site characterization in Türkiye strong-motion recording stations" [in Turkish], *J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ.* 35, no. 4, 1829-1846, <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.606844>.
- Okalp, K. (2013), "Landslide susceptibility assessment of Türkiye by using qualitative and semi-quantitative methods" [Doctoral dissertation, Middle East Technical University], <http://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12616612/index.pdf>.
- Okalp, K. and Akgün, H. (2016), "National level landslide susceptibility assessment of Turkey utilizing public domain dataset", *Environ. Earth Sci.*, 75, 847, 1-21, <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-016-5640-3>.
- Riley, S. J., DeGloria, S. D., and Elliot, R. (1999), "Index that quantifies topographic heterogeneity", *Intermt. J. Sci.* 5, no. 1-4, 23-27.
- Wald, D. J., and Allen, T. I. (2007), "Topographic slope as a proxy for seismic site conditions and amplification", *Bull. Seismol. Soc. Am.* 97, no. 5, 1379–1395, doi: 10.1785/0120060267.
- Wills, C. J., and Clahan, K. B. (2006), "Developing a map of geologically defined site-condition categories for California", *Bull. Seismol. Soc. Am.* 96, no. 4A, 1483–1501, doi: 10.1785/0120050179.
- Wills, C. J., and Silva, W. (1998), "Shear wave velocity characteristics of geologic units in California", *Earthq. Spectra* 14, no. 3, 533–556, doi: 10.1193/1.1586014.
- Wills, C. J., Gutierrez, C. I., Perez, F. G., and Branum, D. M. (2015), "A next generation Vs30 map for California based on geology and topography", *Bull. Seismol. Soc. Am.* 105, no. 6, 3083–3091, doi: 10.1785/0120150105
- Yamazaki D., Ikeshima, D., Tawatari, R., Yamaguchi, T., O'Loughlin, F., Neal, J. C., Sampson, C. C., Kanae, S., and Bates, P. D. (2017), "A high-accuracy map of global terrain elevations", *Geophys. Res. Lett.* 44, no. 11, 5844-5853, <https://doi.org/10.1002/2017GL072874>
- Yılmaz, M. T., Ansari, A., and Harmandar, E. (2014), "Simple geological categories as proxies to Vs30 in Turkey and Iran", *Proc. of the Second European Conf. on Earthquake Engineering and Seismology*, 25–29 August 2014, Istanbul, Türkiye
- Yong, A., Hough, S. E., Abrams, M. J., Cox, H. M., Wills, C. J., and Simila, G. W. (2008), "Site characterization using integrated imaging analysis methods on satellite data of the Islamabad", *Pakistan region, Bull. Seismol. Soc. Am.* 98, no. 6, 2679–2693, doi: 10.1785/0120080930.

