





Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

SPT-N' den Hesaplanan Zeminin Kayma Dalgası (V_s)'nın Eskişehir Zemini için İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi

 Ebru CİVELEKLER^{a,*},  Yücel GÜNEY^b

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, TÜRKİYE

^b Yaygın Öğretim Bölümü, Açıköğretim Fakültesi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ecivelekler@gmail.com.tr

DOI: 10.29130/dubited.1044102

Öz

Kayma dalgası hızı (V_s) geoteknik mühendisliği problemlerinin belirlenmesi çalışmalarında önemli parametrelerden biridir. Dinamik saha sınıflandırmasında yüzeyden ilk 30 metre derinlik için kayma dalgası hızı önemlidir. Bu nedenle kayma dalgası hızı (V_s)₃₀ ve SPT-N değeri zemin davranışı, zemin-yapı etkileşimi gibi deprem mühendisliği çalışmaları için gereklidir. Zeminin kayma dalgası hızı arazide sismik kırılma ve kuyu içi sismiği gibi sismik yöntemler kullanılarak belirlenebilmektedir. Ancak bu yöntemler büyük iş gücü gerektiren, zaman alıcı ve ekonomik olmayan yöntemlerdir. Bu nedenle birçok çalışmada SPT-N sayısına bağlı olarak V_s hesabı yapılan ampirik yaklaşımlar kullanılmaktadır. Ancak, bu yaklaşımlar farklı çalışma alanlarında yapılmıştır. Zemin koşullarının farklılık göstermesi nedeniyle bu yaklaşımların Eskişehir zemini için doğruluğunun belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada Eskişehir'de arazi çalışmaları kapsamında sismik yöntemler kullanılarak belirlenen gerçek V_s değerleri ile Eskişehir zemini temsil eden sondajlardan elde edilen SPT-N değerlerinden hesaplanan V_s değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuç olarak en uygun olan yöntem istatistiksel olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kayma dalgası hızı, SPT, İstatistiksel Analiz, Eskişehir

Statistical Evaluation of the Shear Wave (V_s) of Soil Calculated from SPT-N for the Eskisehir Ground

ABSTRACT

The shear wave velocity (V_s) is one of the important parameters in the study of determining geotechnical engineering problems. In the dynamic field classification, the shear wave velocity is important for the first 30 meters' depth from the surface. Therefore, the shear wave velocity (V_{s30}) and the SPT-N value are necessary for earthquake engineering studies such as ground behavior, ground-structure interaction. The shear wave velocity of soil can be determined using seismic methods such as seismic refraction and in-downhole seismicity in the field. But, these methods are time-consuming and uneconomical methods, requiring a large workforce. For this reason, many studies use empirical approaches that calculate V_s depending on the number of SPT-N. However, these approaches have been made in different fields of study. Because the soil conditions differ, it is necessary to determine the accuracy of these approaches for the Eskisehir ground. In this study, the real V_s values determined using seismic methods within the scope of land studies in Eskişehir, and the V_s values calculated from the SPT-N

values obtained from drilling operations representing the Eskişehir ground were compared. As a result, most suitable method was determined statistically.

Keywords: Shear wave velocity, SPT, Statistical Analysis, Eskişehir

I. GİRİŞ

Sismik yükler altında yapılara gelen deprem kuvvetlerinin belirlenebilmesi için öncelikle yapıların bulunduğu sahanın dinamik özelliklerinin belirlenmesi gereklidir. Yerel zemin özelliklerinin farklılaşması, kuvvetli yer hareketinin etkisinde bazı sahalarda yapıya gelen sismik yüklerin büyümesine, bazı sahalarda ise küçülmesine neden olabilir. Zemin büyütmesi olarak tanımlanan bu olay, üst 30 metre için zeminin ortalama kayma dalgası hızına bağlı olarak hesaplanabilen bir fonksiyondur [1]. Bu nedenle yüzeyden 30 m derinlik içinde kalan zemin tabakalarının dinamik özellikleri önemlidir. Günümüzde kullanılan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)'nde önerildiği üzere; zemin yüzeyinden itibaren 30 m içindeki zemin tabakalarının kayma dalgası hızları kullanılarak saha tepki analizleri yapılmakta ve bu analizler sonucunda zeminin tepki spektrumu ve büyütmesi ortaya konmaktadır.

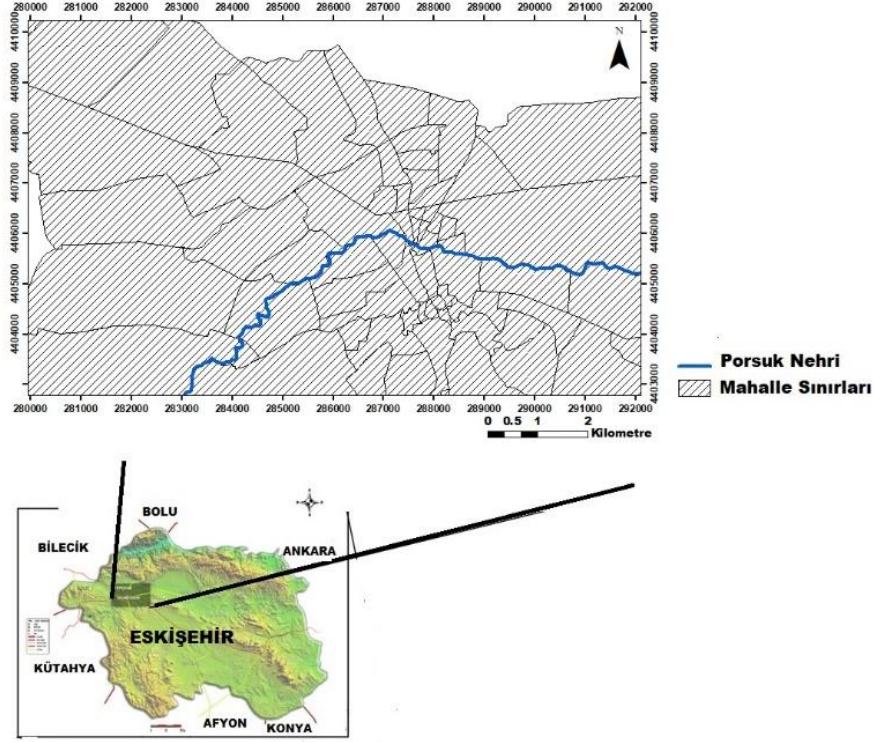
Ayrıca zeminin kayma dalgası hızı değerlerine günümüzdeki deprem yönetmeliklerinde (NEHRP, Eurocode-8, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018), UBC 2000 vb.) zemin sınıflarının belirlenmesi, sıvılaşma, taşıma gücü kaybı, amplifikasyon faktörü ve özellikle zemin davranış analizlerinde ihtiyaç duyulduğundan geoteknik-deprem mühendisliği açısından önemli bir parametre olarak kabul edilmektedir. Ancak, zemin- saha koşullarının belirlenmesinde V_{s30} değerinin tek başına temel alınması yanıltıcı olmaktadır. Örneğin ortalama kayma dalga hızı 300 m/s olan bir zeminin kumlu ya da killi olması yüzeydeki davranışı değiştirecektir. Dolayısıyla yalnızca bu parametrenin sahayı temsil yeteneği sorgulanmalıdır.

Arazide zeminin kayma dalgası hızını belirlemek amacıyla sismik kırılma, sismik yansıma, karşıt kuyu (cross hole), aşağı kuyu (down hole) ve SCPT gibi birçok yöntem kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemler genellikle zaman isteyen, maliyetli ve yapımı sırasında gürültü oluşturduğundan her yerde yapılması uygun olmayan yöntemlerdir. Yaklaşık 50 yıldan fazladır araştırmacılar V_s -SPT arasında ilişki ortaya koyan ampirik yaklaşımlar geliştirdiler. Bu yaklaşımlarda V_s ; SPT-N değişkeninin bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Standart Penetrasyon Deneyi (SPT); sahada zeminin sıklığı ve kıvamı hakkında bilgi veren, yerinde ölçümlerle hızlı ve daha düşük maliyetli olan bir arazi deneyidir. Bu nedenle birçok araştırmacının V_s hesabı için dikkatini çeken bir parametre olmuştur. Zeminin SPT-N sayısı ve kayma dalgası hızı değerlerinin artması rijitlik özelliklerinin de arttığının kanıtıdır.

Günümüze kadar Eskişehir ve çevresinde yapılan tektonik çalışmalarda Eskişehir Fay Zonu'nun varlığından söz edilmekte ve bu fayın karakteristiğinin sağ yanal doğrultu atımlı fay olduğu belirlenmiştir [2-7]. Eskişehir ve çevresinin aletsel kayıtlara göre son 100 yılda büyük depremler yaşadığı, bu kayıtlarda en büyük depremin 20 Şubat 1956 (M=6.4)'da olduğu belirlenmiştir. Bu depremin Eskişehir şehir merkezi ve çevresinde büyük hasarlara neden olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada Eskişehir'de arazide 23 farklı lokasyonda sismik kırılma-yansıma çalışmalarından elde edilen zeminin gerçek V_s değerleri ile sondaj çalışmalarından elde edilen SPT-N değerleri kullanılarak önceki çalışmalarda tüm zeminler için önerilen 17 farklı ampirik yaklaşıma göre hesaplanan V_s değerleri karşılaştırılmış ve Eskişehir zemini için istatistiksel olarak bu yaklaşımlardan en doğru yaklaşımın belirlenmesi amaçlanmıştır.

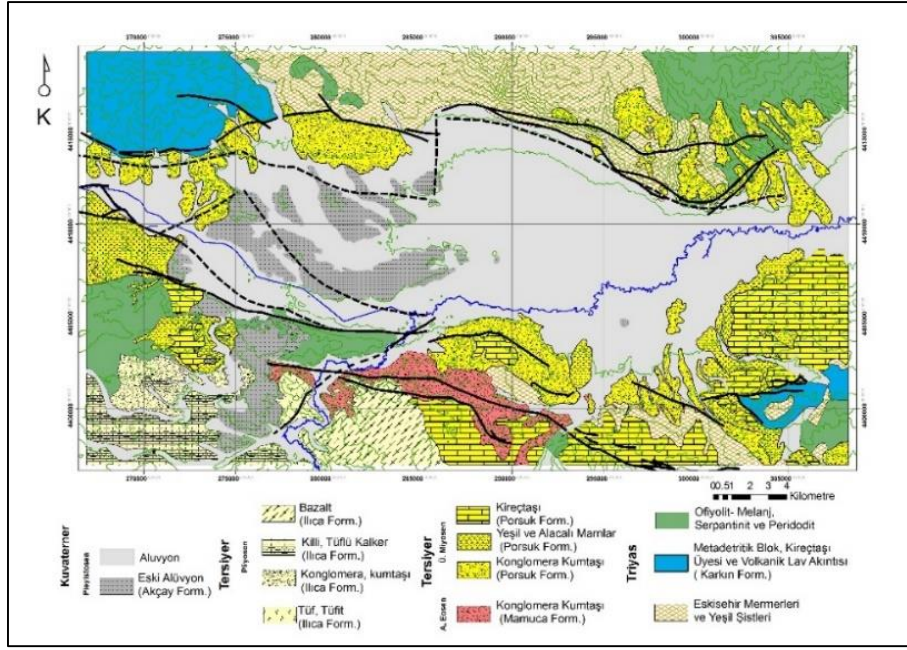
II. ÇALIŞMA ALANININ ÖZELLİKLERİ

Çalışma alanı, Türkiye'nin kuzey batı kısmında yaklaşık 4385000-4410000 kuzey enlemleri ile 280000-292000 doğu boylamları arasında yer almaktadır. Ayrıca inceleme alanı içerisinde akan Porsuk Nehri bulunmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanı lokasyon haritası

Çalışma alanının jeolojisi çalışmaları bugüne kadar birçok araştırmacı tarafından yapılmıştır. İnceleme alanında daha önce yapılmış çalışmalara göre tabanda, yeşil, mavi-sarı renkte glokofan şist, muskovit şist gibi şistli birimlerin devamında ince kumtaşı, silttaşı arakatlı fillitler olarak üste doğru masif olarak tanımlanan mermerli birimler ile sona eren Triyas yaşlı metamorfik kayalar oluşmaktadır [8, 9] (Şekil 2). Alüvyon zemin şehir merkezinin genelinde yayılım göstermekte ve gevşek silt-kil, çakıl ve kum tanelerinin ardanmasından oluşmaktadır [10-13].



Şekil 2. Eskişehir Jeoloji Haritası (MTA tarafından yapılan haritalardan ve DSİ Eskişehir ve İnönü Ovaları Hidrojeoloji Haritasından geliştirilmiştir (1976)) (Anadolu Üniversitesi'nin 080240 nolu Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında güncellenmiştir)

III. MATERYAL VE METOT

A. MATERYAL

A. 1. Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)

Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) zeminin sıklığı-kıvamı hakkında bilgi veren arazi deneylerindedir. SPT, arazide belirli standart koşullarda bu konuda uzman kişiler tarafından yapılarak, numune alıcının zemin tabakasında 45 cm ilerleyebilmesi şeklinde uygulanmaktadır. Deney esnasında numune alıcının zeminde son 30 cm'lik ilerlemesinde uygulanan toplam darbe sayısı, zeminin penetrasyon direnci (SPT-N) olarak tanımlanmaktadır. Bu deney, ince daneli killi siltli birimlerden iri daneli kumlu çakıllı seviyelere kadar uygulanabilmektedir [14]. Sondaj çalışmalarında uygulanan SPT deneyinden elde edilen N darbe sayılarından yararlanılarak zeminin yaklaşık sıklığı-kıvamı, taşıma gücü kaybı ve emniyet gerilmesi hesaplanabilmektedir [15].

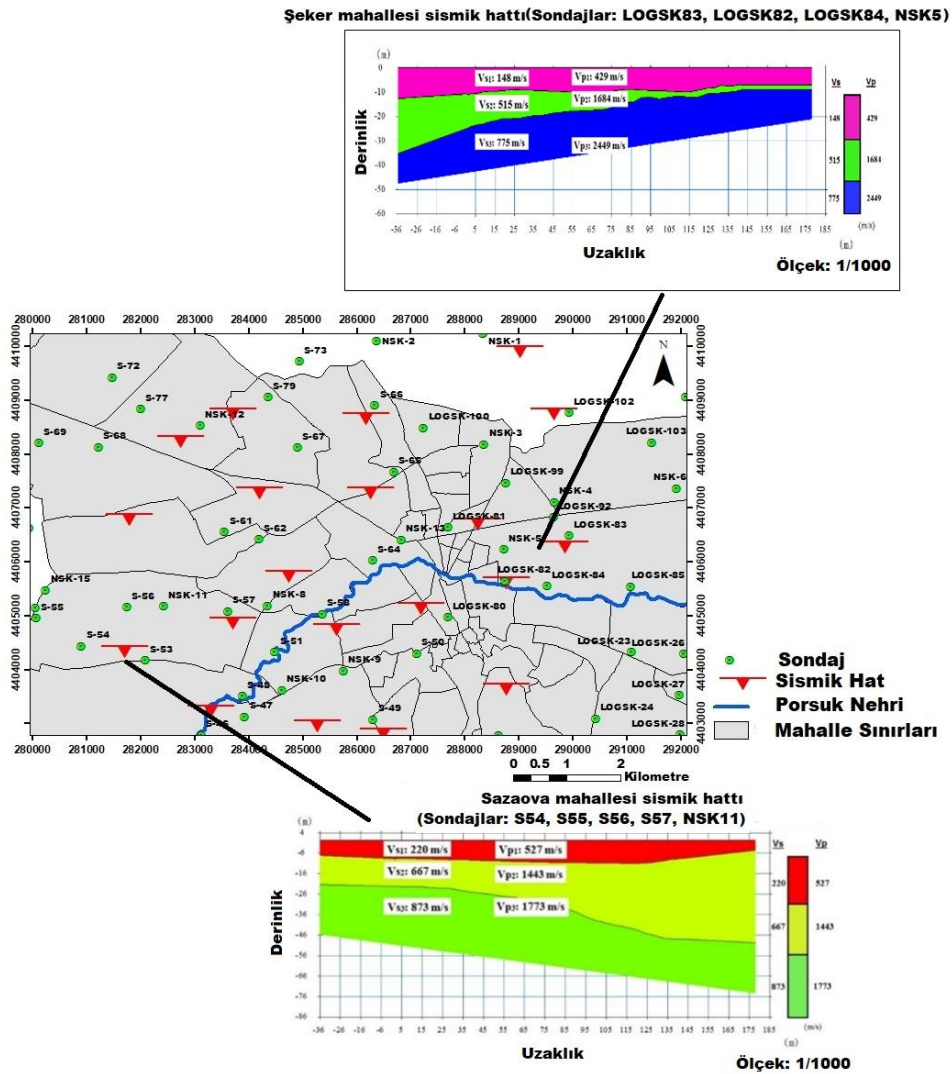
SPT-N değeri ile V_s arasındaki ilişkiyi belirlemek için bu zamana kadar birçok çalışma yapılmıştır. Son zamanlarda, birçok araştırmacı V_s -SPT ve zeminin başka geoteknik özellikleri arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla ampirik korelasyonlar geliştirmiştir. Bu çalışmalarda, farklı parametreler göz önüne alınarak kayma dalgası hızı tahminleri yapılmıştır. Günümüze en yakın yapılan bazı çalışmalarda jeolojik koşullar, ince dane oranı, yoğunluk, standart penetrasyon testi ve koni penetrasyon testi değerleri kullanılarak tüm zemin sınıfları için ampirik ilişkiler belirlenmiştir [16, 17]. Ayrıca, zemin özelliklerine göre ayrılan (killi topraklar ve kumlu topraklar) V_s ve enerji düzeltilmeli SPT-N (N_{60}) arasında bir ilişki sunan korelasyonlar da vardır [18, 19].

Bu çalışmada 30 m derinliğe sahip 50 adet ayrı lokasyonlarda yapılan sondaj çalışmalarından elde edilen SPT-N sayılarından, geçmiş çalışmalarda tüm zeminler için SPT-N'den V_s hesabını öneren 17 farklı ampirik yaklaşım dikkate alınarak, tüm sondajlar için V_s hesapları yapılmıştır (Şekil 3). Elde edilen sonuçlar arazide sismik yöntemlerden elde edilen gerçek V_s değerleri ile karşılaştırılarak Eskişehir zemininin V_s değerlerine en yakın yaklaşım belirlenmiştir.

A.2. Kayma Dalgası Hızı Değerleri (V_s)

Zeminin kayma dalgası hızı (V_s) sismik yükler altında saha tepkisinin belirlenmesi ve yapı- zemin etkileşiminin ortaya konması için gerekli olan zeminin dinamik özelliklerinden biridir. Bu çalışmada, arazi çalışmaları kapsamında sondajlarla yakın konumlara sahip alanlarda sismik hatlar atılarak elde edilmiş gerçek V_s değerleri kullanılmıştır (Şekil 3).

Mutlu (2012) ve Güney vd, (2013) çalışmalarında Eskişehir zeminini için özellikle yeni alüvyon formasyonunda P Gun yöntemiyle sismik yansıma çalışmaları yapmışlardır [20, 21]. Çalışma sahası için yapılan sismik kırılma-yansıma yöntemi sonucunda toparlanan verilerinin işlenmesiyle, hız kesitlerinde P hızı verilerinin 3 tabakalı modele göre çözümünü elde etmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında her bir tabakanın S hızını hız ölçüm aracı (Linear Velocity Line) ile ölçerek belirlemişlerdir. Sismik kırılma-yansıma çalışmalarının yapıldığı 23 farklı lokasyonun hız kesitlerini ortaya koymuşlardır. Bu çalışmada Mutlu (2012) ve Güney vd, (2013)'in yaptığı çalışmalardan elde edilen zeminin gerçek V_s değerleri kullanılarak analizler yapılmıştır [20, 21]. Çalışma kapsamında örnek olarak 2 mahalleyi (Sazova ve Şeker mahalleleri) temsil eden zeminin kayma dalgası hızı değerleri ve tabakalanma özellikleri Şekil 3'de sunulmaktadır.



Şekil 3. Çalışmada kullanılan sondajlar, sismik verilerin lokasyon haritası ve Şeker- Sazova mahalleleri sismik kırılma hattı hız kesiti örnekleri

B. METOT

B. 1. Önceki Çalışmalarda Tüm Zeminler için SPT-N'e Bağlı V_s Hesabı Önerilen Ampirik Yaklaşımların İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında çeşitli bilim adamları tarafından SPT-N değerinden zeminin kayma dalgası hızının belirlenebilmesi için önerilen 17 ampirik yaklaşıma göre hesaplanan V_s değerleri ile analizler yapılmıştır (Tablo 1) [22-38]. Bu ampirik yaklaşımlardan 30 m derinlikte 50 farklı sondaja ait SPT-N değerinden V_s hesabı yapılarak ve Eskişehir'de arazide sismik yöntemler kullanarak çalışma alanı zeminini temsil eden 23 ayrı noktada elde edilen gerçek V_s değerleri kullanılarak analizler tamamlanmıştır. Analizler Eskişehir zeminine en yakın yaklaşımı belirlemek amacıyla istatistiksel analiz programı olan SPSS'de yapılmıştır. Bu kapsamda korelasyon ve regresyon analizleri yapılarak regresyon katsayıları belirlenmiştir.

Tablo 1 Geçmiş çalışmalardan elde edilen SPT-N ile V_s arasındaki ampirik korelasyonlar

Tüm Zeminler için V_s (m/sn)	
Kanai (1966)	$V_s=19N^{0.6}$
Imai ve Yoshimura (1970)	$V_s=76N^{0.33}$
Ohba ve Toriumi (1970)	$V_s=84N^{0.31}$
Fujiwara (1972)	$V_s=92.1N^{0.337}$
Ohsaki ve Iwasaki (1973)	$V_s=81.4N^{0.39}$
Imai vd. (1975)	$V_s=89.9N^{0.341}$
Imai (1977)	$V_s=91N^{0.337}$
Ohto ve Goto (1978)	$V_s=85.35N^{0.348}$
Seed ve Idriss (1981)	$V_s=61.4N^{0.5}$
Jinan (1987)	$V_s=116.1(N+0.3185)^{0.202}$
Athanasopoulos (1995)	$V_s=107.6N^{0.36}$
Şişman (1995)	$V_s=32.8N^{0.51}$
İyisan (1996)	$V_s=51.5N^{0.516}$
Jafari vd. (1997)	$V_s=22N^{0.85}$
Kiku vd. (2001)	$V_s=68.3N^{0.292}$
Hasancebeci ve Ulusay (2007)	$V_s=90N^{0.309}$
Dikmen (2009)	$V_s=58N^{0.39}$

IV. BULGULAR VE TARTIŞMA

A. BULGULAR

A. 1. SPSS Analizi

İstatistiksel analiz çalışmalarında iki veri kümesi arasındaki ilişkiyi ortaya koymanın asıl amacı; doğrudan bu iki veri kümesi hakkında bilgi edinmek değildir. Aynı zamanda veri kümelerinden elde edilen ilişkilerin belirli doğrulukla genellemesi yapılarak değerlendirilmesi, yani bu ilişkiden bir çıkarım yapılabilmesidir. Bu nedenle veri kümeleri arasında yapılan detaylı istatistiklerin (çalışmalarda nitel değişkenlerden nedeniyle oran/yüzde kullanılmakta) hesaplanmasıyla bir araştırmanın tamamlanması çok doğru değildir [39]. Çünkü veri kümeleri arasındaki ilişkinin ortaya konması aynı zamanda bu iki veri kümesini çalışan araştırmacılara betimleyici bilgi sağlamaktır. Bu çalışmalara bilgi sağlamanın yolu ise veri kümeleri arasında nokta, aralık kestirimini veya istatistiksel anlamlılık sınamalarını yapmaktan geçer [40].

A.1.1. Korelasyon

İstatistiksel analizlerde aralıklı ve orantılı düzeyde ölçülmüş iki ya da daha çok veri kümesi arasında ilişki olup olmadığını ve varsa nasıl bir ilişki olduğunu ortaya koyan analiz türü bağıntı olarak tanımlanmaktadır. Bağıntı küçük r harfi ile ifade edilir. Bu değer +1 ile -1 arasında olabilir. Eğer aralarında ilişki aranan iki veri kümesi, aynı oranda artıyor ya da azalıyor ise r değeri artı yönde (pozitif bağıntı), eğer değerlerden biri artarken diğeri azalıyor ise r değeri eksi yönde olmaktadır [41].

Bağıntı katsayısının istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını anlamak için p değeri (Sig.) hesaplanır. Günümüzde kullanılan bilgisayar programları bu değeri kolaylıkla hesaplayabilmektedir. Significant (p) değerinin 0.05'ten küçük olması verilerin arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Pearson en çok kullanılan bağıntı katsayısı olup, aralarında ilişki aranan iki değişkenin de ham puan olması koşulunu aramaktadır [41].

Bu çalışmada SPT-N'e bağlı V_s hesabı öneren 17 yaklaşım ile arazide sismik yöntemler kullanılarak belirlenen gerçek V_s değerleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için SPSS programı aracılığı ile korelasyon ve regresyon analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda en yüksek ilişkiyi Jafari vd., (1997) yaklaşımı göstermiştir. Arazide sismik yöntemlerle elde edilen gerçek V_s değerleri ile Jafari'nin SPT-N ile ilişkili V_s yaklaşımı korele edildiğinde verilerin normal dağılım gösterdiği ve Significant değerinin 0.05'ten küçük olması gerçek V_s değerleri ile Jafari yaklaşımının Eskişehir zemini için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir (Tablo 2).

Tablo 2. SPSS'te V_s30 ve Jafari yönteminden elde edilen değerlerin korelasyon analizi sonuçları

		$V_s 30$	Jafari
$V_s 30$	Pearson Correlation	1	.728(**)
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	23	23
Jafari	Pearson Correlation	.728(**)	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	23	23

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Eskişehir zemininde sismik yöntemlerle belirlenen V_s değerleri ile SPT-N sayısına bağlı olarak hesaplanan Jafari vd. (1997) yaklaşımının arasında pozitif yönde ve anlamlı bir korelasyon (ilişki) bulunmuştur ($r=.728$; $p<0.001$).

A.1.2. Regresyon

Regresyon analizinde ise genellikle bir ya da daha çok sürekli değişkenin belirli bir sürekli değişkeni nasıl yordadığına ilişkin model oluşturulur. Değişkenler arasındaki ilişkiyi ortaya koyan regresyon katsayısı elde edilir [41].

Bu çalışmada lineer regresyon analizi yapılarak arazide sismik yöntemlerle belirlenen zeminin gerçek V_s değerleri ile SPT-N'e bağlı hesabı önerilmiş olan 17 ampirik yaklaşım değerlendirilmiştir. Regresyon analizi sonucunda en iyi ilişkiyi Jafari vd. (1997) yaklaşımı göstermiştir. Jafari vd. (1997) regresyon analizi sonucunda $R=.728$ ve $R^2=.53$ olarak elde edilmiştir. Jafari yönteminden elde edilen V_s değerleri ile Eskişehir zeminine ait gerçek V_s değerleri %53 ilişkilidir (Tablo 3).

Tablo 3. SPSS'te V_{s30} ve Jafari yönteminden elde edilen değerlerin regresyon analizi sonuçları

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.728(a)	.530	.507	106.16823

a Predictors: (Constant), Jafari

B. TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında tüm zeminler için önerilen yaklaşımlar Eskişehir zemini için değerlendirilmiş ve SPSS analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda Eskişehir zemini için SPT-N'den V_s hesabı önerilen en iyi yaklaşım belirlenmiştir. Önceki çalışmalarda SPT-N değerine bağlı V_s hesabı önerilen tüm yaklaşımlar Eskişehir zemini için değerlendirilmiş ve istatistiksel analiz çalışmaları kapsamında elde edilen korelasyon ve regresyon analiz sonuçları Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Önceki bazı çalışmalarda SPT-N'e Bağlı V_s hesapları ve İstatistiksel Analiz Sonuçları

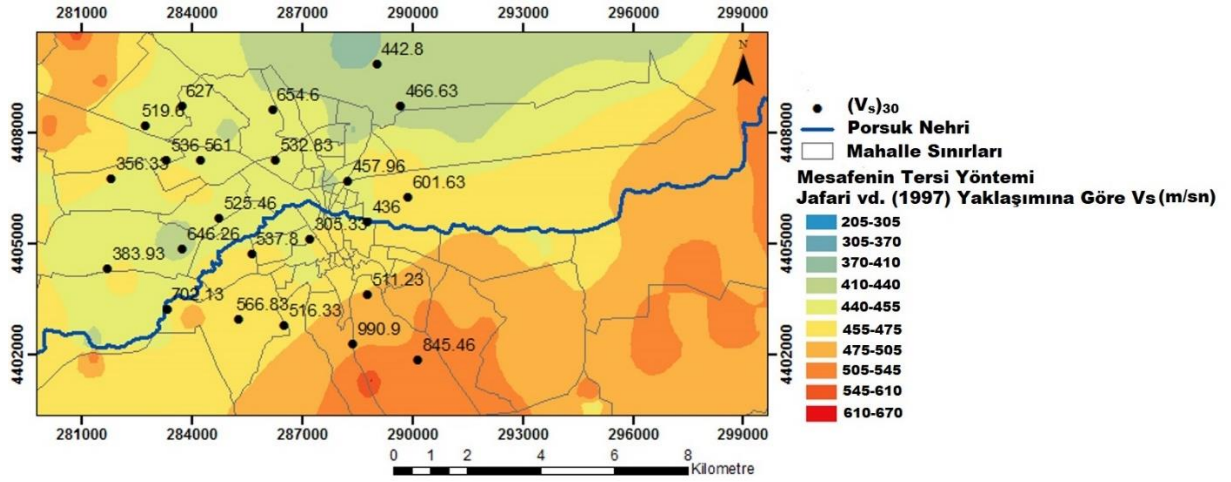
SPT-N'e Bağlı Literatürde Önerilen Tüm Zeminler için V_s Hesabı (m/sn)		İstatistiksel Analiz Sonuçları	
Yöntem	V_s Değerleri Hesabı	Significant (p)	R Square(R^2)
Kanai (1966)	$V_s=19N^{0.6}$	0.264	0.059
Imai ve Yoshimura (1970)	$V_s=76N^{0.33}$	0.274	0.057
Ohba ve Toriumi (1970)	$V_s=84N^{0.31}$	0.248	0,063
Fujiwara (1972)	$V_s=92.1N^{0.337}$	0.224	0.070
Ohsaki ve Iwasaki (1973)	$V_s=81.4N^{0.39}$	0.260	0.060
Imai vd. (1975)	$V_s=89.9N^{0.341}$	0.023	0.224
Imai (1977)	$V_s=91N^{0.337}$	0.273	0.057
Ohto ve Goto (1978)	$V_s=85.35N^{0.348}$	0.263	0.059
Seed ve Idriss (1981)	$V_s=61.4N^{0.5}$	0.274	0.057
Jinan (1987)	$V_s=116.1(N+0.3185)^{0.202}$	0.279	0.055
Athanasopoulos (1995)	$V_s=107.6N^{0.36}$	0.006	0.312
Şişman (1995)	$V_s=32.8N^{0.51}$	0.266	0.058
İyisan (1996)	$V_s=51.5N^{0.516}$	0.071	0.147
Jafari vd. (1997)	$V_s=22N^{0.85}$	0.000	0.530
Kiku vd. (2001)	$V_s=68.3N^{0.292}$	0.261	0.060
Hasancebeci ve Ulusay (2007)	$V_s=90N^{0.309}$	0.022	0.225
Dikmen (2009)	$V_s=58N^{0.39}$	0.305	0.050

Çalışmada yapılan istatistiksel çalışmalar kapsamında gerçek V_s değerleri ve tüm ampirik yaklaşımlardan hesaplanan V_s değerleri SPSS analizi ile değerlendirilmiştir. Analiz sonucunda, SPT-N'e bağlı olarak zeminin kayma dalgası hızı hesabını öneren ampirik yaklaşımlardan Imai vd. (1975), Athanasopoulos (1995), Jafari vd. (1997) ve Hasancebeci ve Ulusay (2007)'nin pozitif yönde ve anlamlı bir korelasyon gösterdiği belirlenmiştir. Ancak %53 ile Eskişehir zemini için en yüksek ilişkiyi Jafari vd. (1997) yaklaşımı göstermiştir (Tablo 4). Sazova mahallesinde yer alan örnek S53 sondajı için Imai vd. (1975), Athanasopoulos (1995), Jafari vd. (1997) ve Hasancebeci ve Ulusay (2007)'in formüllerinden hesaplanan V_s değerleri ile araziye özgü sismik ölçümlerle belirlenen V_s değeri fikir vermesi açısından Tablo 5'de sunulmuştur.

Tablo 5. S53 Sondajının Anlamlı Korelasyon Gösteren 4 Ampirik Yaklaşımına Göre SPT-N'e Bağlı V_s Sonuçları

Yöntem	Hesaplanan $(V_s)_{30}$ Değerleri (m/sn)	Arazide Ölçümlerle Belirlenen $(V_s)_{30}$ Ortalama Değerleri (m/sn)
Imai vd. (1975)	319.87	624.26
Athanasopoulos (1995)	410.95	
Jafari vd. (1997)	524.58	
Hasancebeci ve Ulusay (2007)	284.22	

Çalışmada, ayrıca belirlenen en iyi yöntem olan Jafari yaklaşımına göre $(V_s)_{30}$ haritası oluşturulmuştur (Şekil 4). Bu harita Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı ArcGIS 10 yazılımında Mesafenin Terseri enterpolasyon yaklaşımı kullanılarak yapılmıştır. Mesafenin tersi yöntemi, yakındaki bilinen bir noktanın değerini ve uzaklığını kullanarak bilinmeyen noktadaki değerleri tahmin etmektedir [42]. Geoteknik çalışmalar için CBS'de jeostatistiksel analiz yöntemlerinden en sık kullanılanlardan biri Mesafenin Terseri (IDW) yöntemidir [43]. Bu yöntem kullanılarak oluşturulan harita göz önüne alındığında alüvyon zemin içerisinde Jafari yaklaşımının iyi ilişki gösterdiği görülmektedir. Bazı yerlerde 50- 100 m/sn hassasiyetle V_s değerlerinin elde edildiği görülmektedir.



Şekil 4. Çalışma alanı 0-30 m derinlik için Jafari vd. (1997) yaklaşımı ile Mesafenin Terseri yöntemi kullanılarak oluşturulan $(V_s)_{30}$ haritası

V. SONUÇLAR

Zeminin kayma dalgası hızı geoteknik çalışmalarda en önemli dinamik zemin özelliklerinden biridir. Zemin davranış analizlerinde, zemin hakim periyodu, frekansı, zemin büyütme katsayısının hesaplanması için en önemli parametre zeminin kayma dalgası hızı değeridir. Arazide yerinde ölçümler ile zaman alıcı ve insan gücü gerektiren birçok zeminin kayma dalgasını belirleyen yöntem vardır. Ancak bu yöntemlerin çoğu, belirli iş gücü gerektiren, zaman alan ve ekonomik olmayan yöntemlerdir.

Son yıllarda özellikle geoteknik mühendisliği çalışmalarında kullanımı sıklıkla artan istatistiksel analiz yöntemleri ile zeminin mühendislik özellikleri arasındaki ilişki belirlenebilmektedir. Bu zamana kadar araştırmacıların SPT-N sayısına bağlı olarak V_s hesabı öneren birçok yaklaşım bulunmaktadır. Ancak bu yaklaşımların çalışma alanları farklıdır ve bazıları 10 m derinlikteki zemin için elde ettiği gerçek V_s değerleri ile SPT-N değerini korele etmiştir. Bu yaklaşımlar V_s 10-30 ve V_{s30} değerlerinin belirlenmesinde doğruluk göstermemektedir.

Bu çalışmada 17 yaklaşıma göre yapılan istatistik analiz sonuçlarına göre Imai vd. (1975), Athanasopoulos (1995), Jafari vd. (1997) ve Hasancebeci ve Ulusay (2007) 'nın öne sürdüğü yaklaşımların Significant değerlerinin 0.05'ten küçük olması Eskişehir zemini için istatistiksel olarak anlamlı olduklarını göstermektedir. Ancak regresyon analiz sonuçlarına göre V_{s30} değeri için en yüksek ilişkiyi $R=728$ ve $R^2=53$ değerlerinden Jafari vd. (1997) 'nin öne sürdüğü $V_s=22N^{0.85}$ yaklaşımı göstermiştir. Eskişehir zemini için SPT-N'e bağlı kayma dalgası hızının belirlenmesi Jafari yönteminden %53 doğrulukla elde edilmektedir. Ancak R-squared 1'e yakın olmadığından tek başına SPT-N'den zeminin kayma dalgası hızının belirlenmesinde tam doğrulukta iyi bir yöntem olduğunu söyleyemeyiz. Bu nedenle mevcut formüller sahayı temsil etme konusunda yeterli değildir. Çalışma sonucunda inceleme alanı için Jafari vd. (1997) yaklaşımına göre oluşturulan V_{s30} haritası bu konuda çalışma yapan araştırmacılara kullanılabilir bir veri sağlamaktadır.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma ilk yazar tarafından Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde 2012 yılında tamamlanan yüksek lisan tezi tarafından üretilmiştir. Ayrıca Bu çalışma Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no:080240).

V. KAYNAKLAR

- [1] N. Abrahamson, G. Atkinson, D. Boore, Y. Bozorgnia, K. Campbell, B. Chiou, I. M. Idriss, W. Silva, ve R. Youngs, "Comparisons of the NGA ground-motion relations," *Earthquake Spectra*, vol. 24:1, pp.45-66, 2008.
- [2] D. P. McKenzie, "Active Tectonics of the Alpine-Himalayan Belt: The Aegean Sea and Surrounding Regions," *Geophys. J. Astr. Soc.*, vol. 55, pp. 217-254, 1978.
- [3] A. M. C. Şengör, N. Görür ve F. Şaroğlu, "Strike-slip deformation basin formation and sedimentation: strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study," *In: Biddle KT, Christie-Blick N, editors. StrikeSlip Faulting and Basin Formation. Tulsa, OK, USA: SEPM, pp. 227-264, 1985.*
- [4] F. Şaroğlu, Ö. Emre ve A. Boray, "Active faults and seismicity in Turkey. " MTA Report No: 8174, Ankara, Turkey: MTA, 1987.
- [5] A. Barka, R. Reilinger, F. Şaroğlu ve A. M. C. Şengör, "The Isparta angle: its importance in the neotectonics of the eastern Mediterranean region," Pişkin. Ö, Ergün. M, Savaşçın. M.Y ve Tarcan. G (ed.). *IESCA-1995 Proceedings*, 3-17, 1995.
- [6] E. Altunel ve A. Barka, "Eskişehir Fay Zonu' nun İnönü-Sultandere arasındaki neotektonik aktivitesi," *TJB*, c: 41, no: 2, ss. 41-52, 1998.
- [7] F. Tokay ve E. Altunel, "Neotectonic Activity of Eskişehir Fault Zone around İnönü-Dodurga," *Journal of MTA* c:130, ss.1-15, 2005.
- [8] M.Z. Gözler, F. Cevher ve A. Küçükayman, "Eskişehir civarının jeolojisi ve su kaynakları, *MTA Dergisi*," 103/104, ss. 40-54, Ankara, 1984-1985.
- [9] E. Ölmez, Z. Demirel ve Ö. F. Uzel, "Eskişehir Es-1 Ve Es-2 Sıcaksu Sondajları Kuyu Bitirme Raporu," Enerji Hammadde Etüd ve Arama Dairesi: Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğü, 1986.
- [10] B. Yücel, "Eskişehir Sıcaksu Sondajı (ES-3) Kuyu Bitirme Raporu," Enerji Hammadde Etüd ve Arama Dairesi Başkanlığı: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 1986.

- [11] S. Azdıken ve E. Çatalyürekli, “Eskişehir Odunpazarı Belediyesi Jeofizik Rezistivite Etüt Raporu,” DSİ III. Bölge Müdürlüğü, 2001.
- [12] T. Sevinçli ve E. Çatalyürekli, “Eskişehir Tepebaşı Belediyesi Jeofizik Rezistivite Etüt Raporu,” DSİ III. Bölge Müdürlüğü, 2001.
- [13] E. Civelekler ve E. Pekkan, “The Application of GIS in Visualization of Geotechnical Data (SPT-Soil Properties): A Case Study in Eskişehir-Tepebaşı, Turkey,” *International Journal of Engineering and Geosciences*, vol: 7, ss. 302-313, 2022.
- [14] O. Sivrikaya ve E. Toğrol, “İnce daneli zeminlerde SPT sonuçlarının düzeltilmesi üzerine bir çalışma,” *İTÜ Dergisi/d*, c.2, s.6, 2010.
- [15] K. Terzaghi ve R.B. Peck, “Soil Mechanics in Engineering Practice,” *John Wiley and Sons Inc.*, N.Y, 1948.
- [16] M. Akın, S. L. Kramer ve T. Topal, “Empirical correlations of shear wave velocity (V_s) and penetration resistance (SPT-N) for different soils in an earthquake-prone area (Erbaa-Turkey),” *Eng Geo* vol.119, ss. 1-17, 2011
- [17] P. Anbazhagan, A. Parihar ve HN. Rashmi, “Review of correlations between SPT-N and shear modulus: a new correlation applicable to any region”, *Soil Dyn Earthq Eng* vol.36, ss. 52–69, 2012.
- [18] K. Pitilakis, D. Raptakis, K.T. Lontzetidis, T. Vassilikou ve D. Jongmans, “Geotechnical and geophysical description of Euro-Seistests, using field and laboratory tests, and moderate strong ground motions”, *Journal of Earthquake Engineering* vol.3, ss. 381–409, 1999.
- [19] M. K. Jafari, A. Shafiee ve A. Razmkhah, “Dynamic properties of fine grained soils in south of Tehran”, *J. Seismol. Earthq. Eng.* Vol.4, ss. 25–35, 2002.
- [20] S. Mutlu, “Sismik Kırılma Yöntemi ve Mikrotremör Ölçümlerinden Elde Edilen Dinamik Zemin Parametrelerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Kullanılarak Haritalanması,” Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye, 2012.
- [21] Y. Güney, B. Ecevitoglu, E. Pekkan, U. Avdan, M. Tün, O. Kaplan, S. Mutlu, E. Akdeniz ve .. “Eskişehir Yerleşim Yerinde, CBS Teknikleri Kullanılarak Geoteknik, Yapı ve Jeofizik Bilgi Sisteminin Oluşturulması,” Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Proje No:080240, 2013.
- [22] K. Kanai, “Conf. on Cone Penetrometer The Ministry of Public Works and Settelement,” Ankara, Turkey, presented by Y Sakai, 1968.
- [23] T. İmai ve Y. Yoshimura, “Elastic Wave Velocity and Soil Properties in Soft Soil,” *Tsuchito-Kito*, vol. 18, no.1, pp. 17-22, (in Japanese), 1970.
- [24] S. Ohba ve I. Toriumi, “Dynamic response characteristics of Osaka Plain,” *In: Proceedings of the annual meeting AIJ (in Japanese)*, 1970.
- [25] T. Fujiwara, “Estimation of ground movements in actual destructive earthquake,” *Proceeding of Fourth European Symposium on Earthquake Engineering*, London, pp. 125-132, 1972.
- [26] Y. Ohsaki ve R. Iwasaki, “On dynamic shear moduli and Poisson's ratio of soil deposits,” *Soil Found* 13, pp. 61-73, 1973.

- [27] T. İmai, H. Fumoto ve K. Yokota, "The relation of mechanical properties of soil to P and S-wave velocities in Japan," *Proceedings of 4th Japan Earthquake Engineering Sym*, 89-96 (in Japanese), 1975.
- [28] T. İmai, "P and S wave velocities of the ground in Japan," *Proceeding of IX International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, pp. 127-132, 1977.
- [29] Y. Ohta ve N. Goto, "Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristics soil indexes," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 6, pp. 167-187, 1978.
- [30] H. B. Seed ve I. M. Idriss, "Evaluation of liquefaction potential sand deposits based on observation of performance in previous earthquakes," *ASCE National Convention (MO)*, pp. 481-544, 1981.
- [31] Z. Jinan, "Correlation between seismic wave velocity and number of blow of SPT and depth," *Selected Papers from the Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, pp. 92-100, 1987.
- [32] G. A. Athanasopoulos, "Empirical correlations V_s -N SPT for soils of Greece: a comparative study of reliability," Akmak. A. S. Ç, (Ed), *Proceedings of 7th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering (Chania, Crete)*, Computational Mechanics, Southampton, pp. 19-36, 1995.
- [33] H. Şişman, "Sismik Dalga Hızları ile SPT ve Pressiometre Deney Sonuçları Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 1995.
- [34] R. İyisan, "Zeminlerde Kayma Dalgası Hızı İle Penetrasyon Deney Sonuçları Arasındaki Bağlılıklar," *İMO Teknik Dergi*, 1996. Yazı 89, pp.1187-1199, 1996.
- [35] M. K. Jafari, A. Asghari ve I. Rahmani, "Empirical correlation between shear wave velocity (V_s) and SPT-N value for south of Tehran soils," *In: Proceedings of the 4th International Conference on Civil Engineering*, Tehran, Iran, 1997.
- [36] H. Kiku, N. Yoshida, S. Yasuda, T. Irisawa, H. Nakazawa, Y. Shimizu, A. Ansal ve A. Erkan, "In-situ penetration tests an soil profiling in Adapazari, Turkey," *Proceeding of the ICSMGE/TC4 Stallite Conference on Lessons Learned From Recent Strong Earthquakes*, pp. 259-265, 2001.
- [37] N. Hasancebi ve R. Ulusay, "Empirical correlations between shear wave velocity and penetration resistance for ground shaking assessments," *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, vol.66, no.2, pp. 203-213, 2007.
- [38] Ü. Dikmen, "Statistical correlations of shear wave velocity and penetration resistance for soils," *Journal of Geophysics and Engineering*, vol.6, pp. 61, 2009.
- [39] N. Çömlekçi, "*Bilimsel araştırma yöntemi ve istatistiksel anlamlılık sınamaları*," Ankara: Bilim Teknik Yayınevi, 2001.
- [40] Y. Karagöz ve S. Ekici, "Sosyal Bilimlerde Yapılan Uygulamalı Araştırmalarda Kullanılan İstatistiksel Teknikler ve Ölçekler," *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, c.5, s.1, Sivas, 2004.
- [41] Y. Akbulut, "*Sosyal Bilimlerde SPSS Uygulamaları*," 1. Baskı, İdeal Kültür Yayıncılık, İstanbul, 2010.

[42] E. Akdeniz, “Eskişehir Zeminini İçin Kayma Dalgası Hızı (V_s) ile Standart Penetrasyon (SPT) Sayısı Arasındaki İlişkinin Modellenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye, 2012.

[43] E. Civelekler, D. V. Okur ve K. B. Afacan, “Eşdeğer Analiz Yöntemi ile Belirlenen Zemin Büyütme Değerlerinin Coğrafi Bilgi Sistemi Kullanılarak Haritalanması: Eskişehir Örneği”, 7. Uzaktan Algılama- CBS Sempozyumu (UZAL CBS 2016), Eskişehir, Türkiye, 18-21 Eylül 2018.