



Metamorfik Kayaçlarda V_p ve V_s Dalga Hızları Arasındaki İlişkiler

Mahmut Sarı^{1*}, Selçuk Alemdağ², Aysel Şeren³

^{1*} Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane M.Y.O. İnşaat Bölümü, Gümüşhane, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1006-6332), msari@gumushane.edu.tr

²Gümüşhane Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2893-3681), selcukalemdag@gmail.com

³Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1134-061X), aysel.seren@gmail.com

(Uluslararası Araştırma-Geliştirme ve Tasarım Konferansı – 15-18 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1040028)

ATIF/REFERENCE: Sari, M., Alemdağ, S. & Şeren A., (2021). Metamorfik Kayaçlarda V_p ve V_s Dalga Hızları Arasındaki İlişkiler. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (32), 748-753.

Öz

Mühendislik çalışmalarında V_p ve V_s dalga hızlarının belirlenmesi; zeminlerin elastik parametrelerinin saptanmasında, örtü tabakasının kalınlığının, ana kaya derinliğinin araştırılmasında ve zeminlerin sınıflandırılmasında önemli bir yere sahiptir. Dolayısıyla bu araştırmaları oluşturan parametrelerin doğru tahmin edilmesi hem güvenilirlik hem zaman hem de ekonomik açıdan oldukça önemlidir. Bu çalışmada, metamorfik kaya kütlelerinde uygulanan jeofizik ölçümlerden sismik kırılma tomografisi (SKT) ile elde edilen V_p ve çok kanallı yüzey dalgası analizi (ÇKYD) ile elde edilen V_s parametreleri kullanılarak basit regresyon analizleri ile tahmin kapasitesi yüksek ampirik eşitlikler elde edilmeye çalışılmıştır. Buna göre V_p parametresini belirlemede farklı araştırmacılar tarafından üretilmiş olan eşitliklerin performans indeksleri ile bu çalışmada üretilen eşitlikler değerlendirilmiştir. Üretilen eşitliklerde V_p ve V_s dalga hızına bağlı en yüksek belirleme katsayısı değeri $R^2=0.89$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen eşitlik performans indekslerine göre değerlendirildiğinde önceki çalışmalarla elde edilen ampirik eşitliklere göre en uygun RMSE ve VAF değerlerine sahip olup, çok yüksek tahmin kapasitelerine sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: V_p ve V_s dalga hızı, Regresyon Analizi, VAF, RMSE.

Relationships between V_p and V_s velocities in Metamorphic rocks

Abstract

Determination of V_p and V_s wave velocities in engineering studies; it has an important place in determining the elastic parameters of soils, investigating the thickness of the cover layer, bedrock depth, and classifying the soils. Therefore, the correct estimation of the parameters constituting these studies is essential for reliability, time, and economy. In this study, empirical equations with high estimation capacity were obtained by simple regression analyses using V_p obtained by seismic refractive tomography (SRT) and V_s and obtained by multi-channel surface wave analysis (MASW) from geophysical measurements applied in the metamorphic rock mass. Accordingly, it evaluated the performance indexes of the equations produced by different researchers and the equations produced in this study in determining the V_p parameter. In the equations produced, the highest coefficient of determination value depending on the V_p and V_s wave velocity was calculated as $R^2=0.89$. When it evaluated the produced equations according to the performance indices, they had the optimal RMSE and VAF values than the empirical equations obtained by previous studies and had very high estimation capacities.

Keywords: V_p ve V_s wave velocity, Regression analysis, VAF, RMSE.

1. Giriş

Kayaçların ve zeminlerin özelliklerini belirten fiziksel parametreler mühendislik jeolojisi açısından çok önemlidir. Bu kapsamda sismik yöntemler, yeraltındaki jeolojik tabakalarının geometrisini, fiziksel özelliklerini ve jeomekanik parametrelerini belirlemede kullanılan, bir enerji kaynağından yayılan elastik dalgaların, belirli bir düzen içerisinde yayılması ve alıcılara gelen dalgaların zamana karşı genliklerin kaydedilmesi şeklinde uygulanan jeofizik yöntemlerdir (Sarı ve diğ., 2020).

Bu yöntemlerden elde edilen V_p ve V_s dalga hızları yeraltının fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde tercih edilen önemli iki ana parametredir. Yeraltının jeolojik yapısının belirlenmesinde, faylanma mekanizmalarında ve güçlü yer hareketlerinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmakta olup, kaya kütlelerinin özelliklerine göre ampirik eşitliklerde değişiklik gösterebilmektedir (Carrol, 1969; Ludwig ve diğ., 1970; Wadhwa ve diğ., 2010; Souza, 2013; Akhundi ve diğ., 2014).

Bu çalışmada, Bayburt merkez ilçesine bağlı Göldere köyünün yaklaşık 850m güneydoğusunda yer alan Kırklartepe Barajı çalışma alanı olarak belirlenmiştir (Şekil 1). Bu çalışma kapsamında, Pulur metamorfik kaya kütleleri üzerinde birbirini denetleyen ve aynı zemin özelliklerini belirlemede kullanılan V_p ve V_s parametreleri arasında basit regresyon analizleri uygulanarak ampirik eşitlik elde edilmiştir. Basit regresyon analizi gerçekleştirilirken bağımlı ve bağımsız değişkenler doğrusal, logaritmik, geometrik ve üssel fonksiyonlar şeklinde ayrı ayrı analizlere tabi tutularak, en yüksek belirleme katsayısını veren eşitlik tercih edilmiştir. Ayrıca, Oluşturulan modellerin performansını değerlendirmek için ölçülen değerin hesaplanan değerden farkları ile ölçülen değerin varyans değerlerini esas alan ölçüt (VAF) ve hataların standart sapmasını ifade eden ölçüt (RMSE) dikkate alınarak parametreler arasında performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Son olarak, ölçülen ve tahmin edilen veri çiftlerine ait belirleme katsayıları ve 1:1 çizgisi üzerine dağılımları gösterilerek görgül eşitliklerin yeterli tahmin kapasitesine sahip olup, olmadıkları belirlenmiştir. Bu çalışma ile topografik olarak elverişsiz, ölçüm alınamayan arazilerde yüksek performans yüzdelere sahip bu ampirik eşitlik yardımıyla elde edilecek mühendislik parametreleri belirlenebilecektir.



Şekil 1: Çalışma alanı yer belirleme haritası

2. Materyal ve Metot

2.1. V_p ve V_s Dalga Hızlarının Belirlenmesi

Sismik kırılma tomografisi (SKT), yerdeki P-dalgası hız dağılımı görüntüsünü elde etmek için ilk varış zamanlarının tomografik ters çözümüdür. SKT yöntemi, sismik kayıtlardan elde edilen ilk varış zamanlarından sıkı yer altı hız yapısının tomografik olarak analiz edilmesini amaçlar (Sheehan vd., 2005). SKT yönteminde kullanılan kaynak ve jeofonların yerleşim düzenleri, kaynak ölçüm noktaları ve çevresel gürültü kaynakları Şekil 2'de verilmiştir. SKT'nin temel amacı, araştırma alanını hücrelere bölmektir. Her bir hücrenin kaynak ve alıcılara arasında yer aldığı, kübik şekilde ve sabit hızlı olduğu varsayılır. SKT algoritmaları, iki nokta ışın izleme seyahat zamanı ve ışın yollarını hesaplar. Her bir hücredeki dalganın hızını belirlemek için yavaşlık (hızın tersi) kullanılır. SKT, başlangıç modeli boyunca ışın izleme yöntemiyle elde edilen seyahat zamanları ile arazi çalışmalarında gözlenen seyahat zamanları arasındaki farkın enküçülenmesidir ve 5 adımda gerçekleştirilir. İlk olarak ilk varışlar seçilir (Şekil 3a). İkinci olarak bir başlangıç yavaşlık modeli tespit edilir. Sonrasında ışın izleme kullanılarak teorik seyahat zamanları hesaplanır.

birçok çalışma mevcuttur (Hubbard, 2009; Ivanov et al., 2009; Park et al., 1999; Xia et al., 1999). Bu yöntemle aktif bir sismik enerji kaynağı kullanılarak yerin bir boyutlu V_s hız yapısı belirlenir.

2.2. Eşitliklerin Performans İndekslerinin Belirlenmesi

Basit regresyon analizleri oluşturulurken istatistiksel modellerde, doğrusal ($y=ax+b$), geometrik ($y=ax^b$), logaritmik, ($y=a \ln x+b$), ve üssel ($y=ae^{bx}$) fonksiyonlarda değerlendirilirler. Oluşturulan eşitliklerin performansını değerlendirmek için, ölçülen değer hesaplanan değerden farkları ile ölçülen değer varyans değerlerini esas alan ölçüt (VAF) ve hataların standart sapmasını ifade eden ölçüt (RMSE) dikkate alınır. VAF ve RMSE değerleri aşağıda verilen eşitliklerden hesaplanır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y - y')^2}$$

$$VAF = \left[1 - \frac{\text{var}(y - y')}{\text{var}(y)} \right] \times 100$$

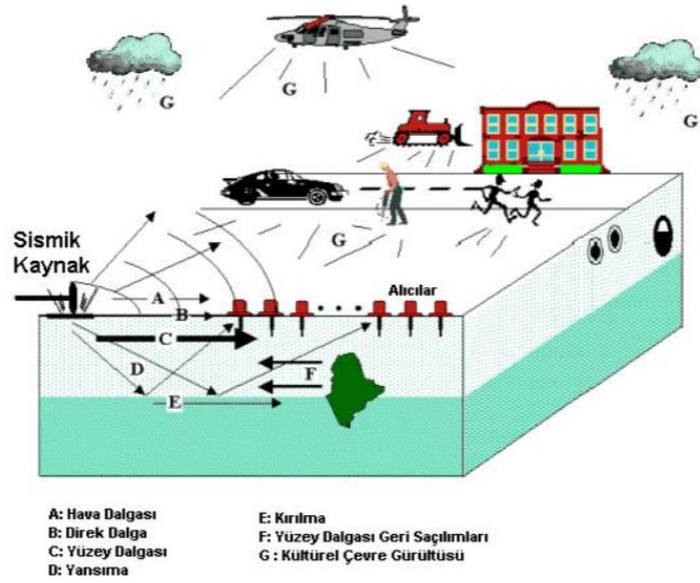
Bu eşitliklerde y (ölçülen) ve y' (hesaplanan) terimleri bağımlı değişken değerlerini göstermektedir. Bu indekslerden VAF'nin 100 ve RMSE'nin 0 yakın olması tahmin modelinin mükemmel olduğunu gösterir. Ancak görgül bir eşitliğin performansı kötü olduğu zaman VAF genelde sonuç vermemektedir. Yani ölçülen ve tahmin edilen verilerin farkının varyansı, ölçülen verinin varyansından büyük olması durumunda VAF negatif değer alacak ve elde edilen eşitliğin performansının VAF ile değerlendirilmesi söz konusu olmayacaktır (Tüysüz ve Yaylalı, 2005).

3. İstatistiksel Değerlendirme

3.1. Basit Regresyon Analizleri

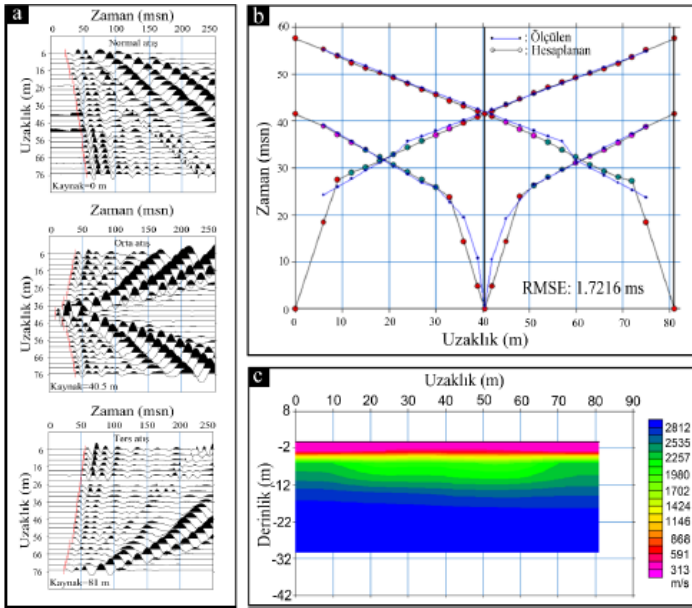
Baraj eksen yerinde alınan V_p ve V_s değerleri basit regresyon analizlerine tabi tutularak $\lambda < 30$ arasındaki eklem sıklığı değerleri ile sınırlandırılarak en yüksek belirleme katsayısı ($R^2=0.89$) doğrusal eşitlikte elde edilmiş olup, değişkenler arasındaki ilişki çok iyi ve pozitif bir korelasyon göstermektedir. V_s hızı ile V_p hızı arasındaki basit regresyon analizlerine ilişkin geçmişten günümüze olan eşitlikler Tablo 1 verilmiş olup, bu eşitliklere ait regresyon analiz grafikleri Şekil 4' te verilmiştir. Buna göre inceleme alanında baraj eksen yerinde yayılım gösteren Pulur metamorfik kaya kütlelerinde belirlenen S-dalga hızının artması ile P-dalga hızı değerlerinin arttığı belirlenmiştir.

Tablo 1. Geçmişten günümüze elde edilen V_s hızı ile V_p hızı arasındaki ampirik ilişkiler



Şekil 2: Sismik yöntemler yüzey dalgası kaynakları ve olası çevresel gürültüler (Pamuk, 2014)

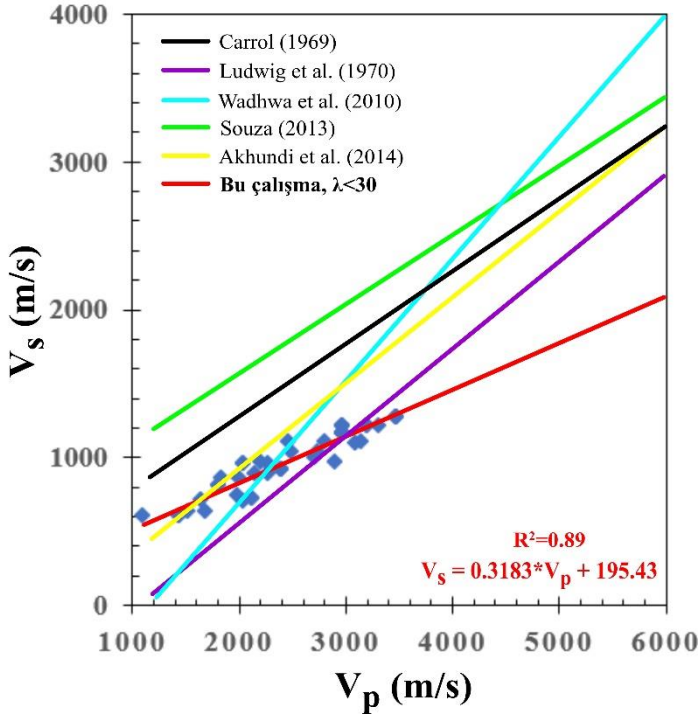
Daha sonra teorik ve gözlenen seyahat zamanları arasındaki farklar her ışın için kıyaslanır. İki seyahat zamanı arasındaki fark verilen hata sınırından büyükse, yavaşlık modeli yinelenir (Şekil 3b). Son olarak uygun hata sınırına ulaşıncaya kadar işlem tekrarlanır ve sığ yeraltı yapısının iki boyutlu hız-derinlik kesiti elde edilir (Şekil 3c).



Şekil 3: a) Sismik kayıtlarda ilk varışların piklenmesi, b) Hesaplanan ile gözlenen eğrinin karşılaştırılması, c) İki boyutlu sismik hız-derinlik kesiti (Sarı, 2019)

MASW yöntemi, katmanlı bir zemin modelinde Rayleigh dalgasının oluşmasında baskın bir etkiye sahip S dalgasının, dönüşmüş faz hızının ters çözümünden bir boyutlu S dalga hızı elde etmede kullanılmaktadır. Günümüzde bu konu ile yapılmış

Yazarlar	Eşitlik ve Sınırlama	Eşitlikler
Carrol (1969)	$V_s = 0.937562 * V_p^{0.81846}$	E (1)
Ludwig et. al. (1970)	$V_s = (2.88 + 0.52((V_p/1000) - 5.25))) * 1000$	E(2)
Wadhwa et al. (2010)	$V_s = 1.09913326 * V_p^{0.9238115336}$	E (3)
Souza (2013)	$V_s = 804.93 + 0.41 * V_p$	E (4)
Akhundi et al. (2014)	$V_s = 0.018 + 0.534 * V_p$	E (5)
Bu çalışma	$V_s = 195.43 + 0.3183 * V_p$	E (6)



Şekil 4: V_s hızı ile V_p hızı arasındaki ilişkiler

3.2. Eşitliklerin VAF ve RMSE İndeksleri

V_p ve V_s arasındaki basit regresyon analizlerinden elde edilen eşitliklerin performans indeksleriyle değerlendirilmeleri sonucunda VAF ve RMSE indeksleri Tablo 2’de verilerek çapraz kontrol grafikleri ile değerlendirilmiştir (Şekil 5).

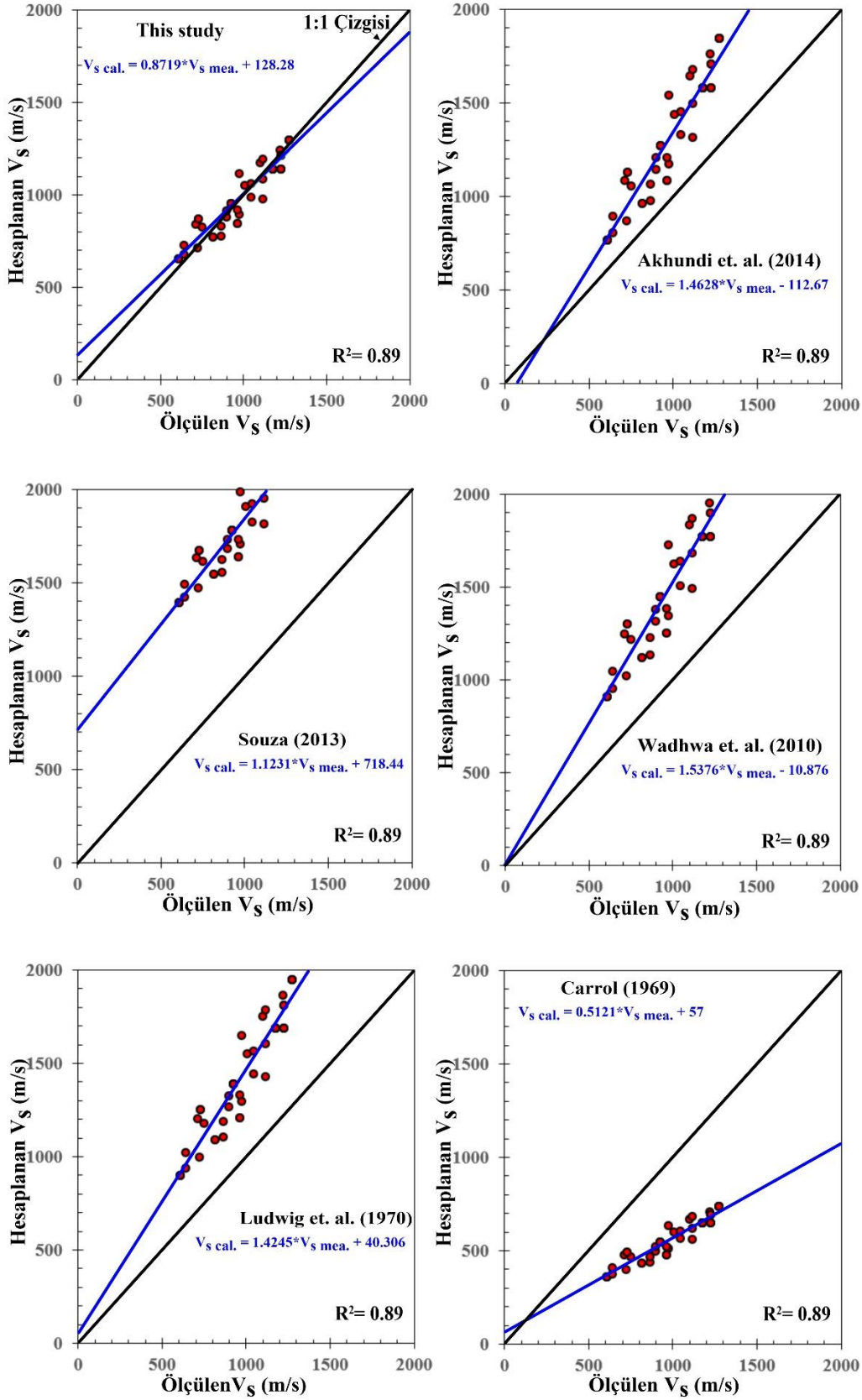
Bu çalışma kapsamında V_s ile V_p karşılaştırılmasından elde edilen VAF=89 ve RMSE=0.68 değerlerine bakıldığında VAF değerinin 100 e en yakın ve RMSE değerinin 0 a en yakın olması sebebiyle şimdiye kadar üretilmiş eşitliklere göre en iyi performansı gösteren eşitliğin E(6) olduğu tespit edilmiştir.

Figure 5’de verilen ilişkilerde tahmin edilen V_s değerleri sırasıyla E(1), E(2), E(3), E(4), E(5)ve E(6) nolu eşitlikler dikkate alınarak hesaplanmıştır. Ölçülen ve tahmin edilen V_s değerlerine ait veri çiftlerinin 0.89 R^2 değerlerine sahip olduğu ve 1:1 çizgisi üzerine dağıldıkları gözlenmektedir.

Tablo 2. V_s parametresinin dolaylı olarak belirlenmesi için önerilen eşitliklere ait performans indeksleri

Eşitlikler	RMSE	VAF (%)	Veri Sayısı (n)	Eşitlik No
$V_s = 0.937562 * V_p^{0.81846}$	4.41	73	50	E (1)
$V_s = (2.88 + 0.52((V_p/1000) - 5.25))) * 1000$	4.82	58	50	E (2)
$V_s = 1.09913326 * V_p^{0.9238115336}$	5.47	43	50	E (3)
$V_s = 804.93 + 0.41 * V_p$	8.52	83	50	E (4)
$V_s = 0.018 + 0.534 * V_p$	3.75	53	50	E (5)
$V_s = 195.43 + 0.3183 * V_p$	0.68	89	50	E (6)

Bu dağılım grafikleri içerisinde en yüksek R^2 değerini veren eşitliğin bu çalışmada elde edilen eşitlik olduğu ve yeterli tahmin kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5: Ölçülen ve Hesaplanan V_s değerlerinin dağılımı

4. Sonuçlar

Bu çalışmada mühendislik çözümlerinde yaygın olarak kullanılan V_s parametresinin dolaylı olarak belirlenmesi değerlendirilmiştir. Bu kapsamda mühendislik tasarımlarında gerek yüzey gerekse yeraltı çalışmaları için pratik olarak belirlenebilen P dalga hızı (V_p) parametreleri belirlenmiş ve V_s değerinin tahmin edilmesinde basit regresyon analizleri kullanılmıştır. Şimdiye kadar farklı araştırmacılar tarafından önerilen ampirik eşitliklerin performans analizleri değerlendirilmiş olup, V_p parametresini bağımsız değişken olarak dikkate alan bu çalışmada en yüksek belirleme katsayısı üretilmiştir. V_s değerini belirlemede elde edilen ampirik eşitlik aşağıda verilmiş olup, litolojik olarak metamorfik kaya kütlelerinde tahmin kapasitesi oldukça yüksektir.

V_s ile V_p arasında çok iyi ve pozitif korelasyon sunan eşitlik doğrusal olup,

$$V_s = 195.43 + 0.3183 * V_p, \quad R^2=0.89, \quad \lambda < 30$$

şeklinde hesaplanmıştır. Performans indeks hesaplamalarından belirlenen VAF= %89 ve RMSE= 0.68 değerleri, hesaplamanın çok iyi performans gösterdiğinin kanıtıdır. Ayrıca yapılan 1:1 ve çapraz korelasyon hesaplamaları sonucunda $R^2=0.89$ hesaplanmıştır. V_s ile V_p arasındaki tüm eşitlikler değerlendirildiğinde elde edilen eşitliğin en iyi tahmin kapasitesine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışma ile topografik olarak elverişsiz ölçüm alınamayan arazilerde yüksek performans yüzdesine sahip bu ampirik eşitlik yardımıyla elde edilecek mühendislik parametreleri kullanılabilir.

5. Teşekkür

Bu çalışma, 18.F5114.02.01 kodlu proje kapsamında G.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir. Destekleri için G.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon birimine teşekkür ederim.

Kaynakça

- Akhundi H., Ghafoori M., Lashkaripour G.R., 2014. Prediction of Shear Wave Velocity Using Artificial Neural Network Technique, Multiple Regression and Petrophysical Data: A Case Study in Asmari Reservoir (SW Iran), Open Journal of Geology, 4, 303-313.
- Carroll R.D., 1969. The Determination Of The Acoustic Parameters Of Volcanic Rocks From Compressional Velocity Measurements, Int. J. Rock Mech. ~In. Sci. Vol. 6, pp. 557-579.
- Hubbard, J.L., 2009. Use of Electrical Resistivity and Multichannel Analysis of Surface Wave Geophysical Tomography in Geotechnical Site Characterization of Dam, Master of Science in Civil Engineering, The University of Texas at Arlington.
- Ivanov, J., Miller R. D. and Tsoflias G., 2009. Practical Aspects of MASW Inversion using Varying Density: Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems, 22, 171-177.

- Ludwig, W. J., J. E. Nafe, and C. L. Drake (1970). Seismic refraction, in The Sea, A. E. Maxwell, (Editor) Vol. 4, Wiley-Interscience, New York, 53-84.
- Park, C.B., Miller, R.D. and Xia, J. 1999. Multi-Channel Analysis of Surface Waves (MASW). Geophysics, 64, 800-808.
- Pamuk E., 2014. İzmir (Buca) Bölgesinde Yüzey Dalgası Yöntemleriyle Elde Edilen Kayma Dalgası Hızlarının (V_s) Analizi ve Mikrotremor Uygulamaları, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Yüksek Lisans Tezi.
- Sari M., 2019. Bayburt Kırklartepe Barajı Eksen Yeri ve Göl Alanının Kaya Kütle Geçirimliliğinin Jeofizik ve Jeoteknik Yöntemlerle Belirlenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
- Sari M., Seren A., Alemdag S., 2020. Determination of geological structures by geophysical and geotechnical techniques in Kırklartepe Dam Site (Turkey). Journal of Applied Geophysics 182 (2020) 104174
- Sheehan, J.R., Doll, W.E., and Mandell, W.A., 2005, An evaluation of methods and available software for seismic refraction tomography, Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 10, 21-34.
- Souza L.M.O., 2013. Petrophysical properties and durability of granites employed as building stone: a comprehensive evaluation, Bull Eng Geol Environ DOI 10.1007/s10064-013-0553-9.
- Tüysüz, N. ve Yaylalı, G., 2005. Jeostatistik Kavramlar ve Bilgisayarlı Uygulamalar, Karadeniz Teknik Üniversitesi, yayın no:220, fakülte no:61, 382s
- Xia, J., Miller, R.D. and Park, C.B., 1999. Estimation of Near-Surface Shearwave Velocity by Inversion of Rayleigh Wave, Geophysics, 64, 691-700.
- Wadhwa R.S., Ghosh N., Rao C. S., 2010. Empirical relation for estimating shear wave velocity from compressional wave velocity of rocks, J. Ind. Geophys. Union, Vol.14, No.1, pp.21-30.