

V_p Hızıyla Elde Edilen Birim Hacim Ağırlık Değerinin Katsayı Atanarak BelirlenmesiBeste KOÇAK DİNÇ¹, Sepanta NAİMİ^{1*}

ÖZET: Bu çalışmanın amacı, zeminlerde birçok bağıntıda değişken olarak kullanılan birim hacim ağırlık değerinin karşılaştırılması ve sonucunda deneysel değerlere karşılık gelen ampirik değere en yakın katsayının bulunmasıdır. Bu amaçla birim hacim ağırlık değerleri tespit edilirken yaklaşık aynı zemin koşulları olacak şekilde farklı bağıntılarla hesaplanan ya da deneysel yöntem uygulanarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Deneysel yöntemler ve ampirik yaklaşımlarla türetilen tüm eşitlikler incelendiğinde (zeminler sınıflandırıldığında), literatürde kullanılan tahmini birim hacim ağırlık değerleri ile boyuna dalga (V_p) hızından elde edilen birim hacim ağırlık değerleri arasında ilişkinin düşük olduğu, buna karşılık deneysel yöntemlerle bulunan birim hacim ağırlık değerinin yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. İki sonuç arasındaki ilişkiye dayanarak deneysel yöntemlerle elde edilen değerler güvenilir olduğu kabul edilerek V_p hızından elde edilen bağıntıya bir katsayı atanmıştır. Bu sebeple daha hızlı ve maliyeti düşük olan sismik yöntemlerden birim hacim ağırlık değerinin tahmin edilmesi önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Birim hacim ağırlık, jeoloji, jeofizik, zemin parametreleri.

Determination of Unit Volume Weight Value Obtained by V_p Speed by Assigning Coefficient

ABSTRACT: The main aim of this study is to compare the unit weights that are the main input of a lot of formula for the soils and to figure out the closest parameter that is calculated in accordance with the measurement results. In order to specify the unit weights, the results are used out of the calculations from different formula or experimental method. After the assessment of the evaluations (classified by soils), it has been concluded that the relation between the unit weights that are used in the literature and calculated according to the longitudinal wave velocity (V_p) is low. On the other hand the unit weights that are specified with experimental method is high. Depends on the relation between two results, experimental method is accepted more reliable and a coefficient is assigned to the formula that is calculated by the V_p velocity. Therefore, the seismic method that is fast and cost-efficient is recommended in order to assume the unit weight values.

Keywords: Volume weight value, geology, geophysics, geotechnical parameter.

¹ Beste KOÇAK DİNÇ (Orcid ID: 0000-0003-4178-1213), Sepanta NAİMİ (Orcid ID: 0000-0001-8641-7090), İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Beşyol Mah., Küçükçekmece, İstanbul, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Sepanta NAİMİ, e-mail: sepantanaimi@aydin.edu.tr

GİRİŞ

Zeminlere ait birçok parametre laboratuvar ve sahada yapılan deneysel çalışmalarla veya farklı arazi jeofizik uygulamalarla hesaplanabilmektedir. Bunlardan biri de birim hacim ağırlık değeridir. Birim hacim ağırlık değeri, geoteknik problemlerin çözümünde etkin olarak kullanılır. Zeminlerin taşıma gücünün belirlenmesi, oturma analizleri, sıvılaşma hesaplamaları ve hakim periyodun bulunması hesaplamalarına direkt etki etmektedir.

Birim hacim ağırlık değeri direkt ölçülerek veya ampirik bir şekilde elde edilebilir. Direkt olarak belirlenmesinde (TS EN 22475-1, 2012) araziden numune alınarak laboratuvarında (TS EN ISO 17892-2, 2004) birim hacim kütlelerinin belirlenmesi standartına göre yapılan deneysel çalışmayla gerçekleştirilebilir. Bu yöntem oldukça doğru sonuçlar vermesine rağmen sahada yapılacak olan sondaj veya araştırma çukuru açılması maliyeti arttıran ve zaman gerektiren çalışmalar olduğu bilinmektedir. Ayrıca bazı zemin türlerinde numune alınması oldukça zordur. Bu nedenle daha çok ampirik yöntemlerle sismik hızlardan, kayma dalga hızına bağlı birim hacim ağırlık değeri hesaplanmaktadır.

İlk olarak boyuna dalga hızı ile birim hacim ağırlık arasındaki Nafe-Drake eğrisindeki ilişkileri ile (Ludwig ve ark.,1970) ortaya konulmuştur. Ardından devam eden çalışmalarda (Gardner ve ark.,1974) sismik hızlar ile tortul kayaçların birim hacim ağırlık değerleri arasındaki sistematik ilişkiyi gösterir yansıma katsayıları ortaya çıkartılmıştır.

Çeşitli araştırmacılar tarafından farklı derinliklerde yer alan magmatik kökenli kayaçlar için yoğunluk değerleri modellenmiştir (Telford ve ark., 1976). Zeminlerdeki kumlu birimlerdeki kil içeriğine bağlı olarak değişen sismik hız dağılımı incelenmiştir (Martinez, 1985). Bağlantı kurmak için yapılan çalışmalarda ise kayaç türlerinde sıkışma dalgası ile birim hacim ağırlık değerleri arasında bir korelasyon olduğu gösterilmiştir (Christensen ve Money, 1995).

Kayaçların aşınma değerlerini belirlemek için sismik hız, birim hacim ağırlık ve görünür gözeneklilik değerleri çoklu regresyon analizleri ile inceliyor tahmini denklemler önerilmiştir (Çelik 2018).

Son yıllarda özellikle Petrofizik araştırmalar çerçevesinde sismik dalga hızları ve birim hacim ağırlık değerleri arasındaki ilişki kuyu loglarından alınan verilerle incelenerek rezervuar yüzde tahmini yapılmıştır (Bailey 2012: Olorunubi ve ark., 2020: Akhter ve ark., 2018: Durrani ve ark., 2020).

Kaliforniya' da kanyon üzerinde yapılan sismik yansıma verilerinden sismik hıza bağlı olarak hesaplanan birim hacim ağırlık ve manyetik modellemeler gerçekleştirilmiştir (Godfrey ve ark., 1997). Gardner kuralına göre sismik hız ve birim hacim ağırlık modelinden yerçekimi algoritması oluşturulmuştur (Gardner ve ark., 1974; Parsons ve ark., 2001). Sıklıkla kullanılan bir bağlantı olan sismik hız değerlerinden yoğunluk değerinin hesaplanmasını ortaya çıkaran bir bağlantı türetilmiştir (Destici, 2001).

En çok kullanılan temel tipi olan sığ temel tipleri için kayma dalga hızına bağlı olarak taşıma gücü yaklaşımları gerçekleştirmiştir (Tezcan ve ark., 2006; Keçeli, 2009; Naimi ve Hrizi, 2019). Sismik dalga hızlarından enine dalga hızı ile yoğunluk arasındaki ilişkiler belirlenmiştir (Uyanık, 1991; Uyanık, 2002; Uyanık ve Çatlıoğlu 2010). Bunların dışında farklı zemin türleri için birim hacim ağırlığı tahmini olarak belirlemeye yönelik müsaade edilebilir sınırların tanımlandığı bir sınıflandırma yapılmıştır (Robertson ve ark.,1986).

Çalışma kapsamında değerlendirilen bilgiler ve literatür genel olarak irdelendiğinde, birim hacim ağırlık ve sismik dalga hızları arasındaki ilişkinin belirlenmesine yönelik pek çok araştırma çalışması gerçekleştirilmiştir. Ancak deneysel yöntemlerle elde edilen birim hacim ağırlık değerine en yakın

sonucu veren bağıntıya bir kat sayı atayarak yaklaşım gözlenmemiştir. Bu çalışmada bu eksikle yönelik bir çalışma yapılarak farklı bir bakış altında değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Teorik Bilgiler

Bu bölümde, çalışmanın çıkış noktasını oluşturan farklı birim hacim ağırlık değerlerini hesapladığımız çıkarım sistemlerine değinilmiştir.

Zemin mekaniğinde birim hacim ağırlık oldukça kullanışlı bir kavramdır. Öyle ki birim hacim değeri bilindiğinde taşıma gücü, oturma, şişme ya da sıvılaşma gibi birden fazla önemli geoteknik probleminin çözülmesinde katkısı olan temel parametredir.

Birim hacim ağırlık ifadesi için fizik uygulamalarından bakıldığında hacim tarafını kütle tarafına bağlayan matematiksel bir oran olduğu bilinmektedir.

Geoteknik mühendisliğinde ise önemli derecede yer tutan ve yaygın olarak kullanılan birçok birim hacim ağırlık çeşidi vardır.

Başlıcaları; doğal birim hacim ağırlık ve kuru birim hacim ağırlıktır. Çalışma kapsamında değerlendirilen deneysel sonuçlarda zemin problemlerinde fazla tercih edilen doğal birim hacim ağırlık metodundan elde edilen değerler kullanılmıştır.

Doğal zeminlerde birim hacim ağırlık değeri boşluklarda bulunan suyun miktarına ve mineral tanelerinin kendi yoğunluklarına bağlı olarak değişmektedir. Birim hacim ağırlık değerleri 1,0 gr/cm³ ve 2,8 gr/cm³ arasında değişim gösterdiği ifade edilmiştir (Holtz ve ark., 2010). Bunların dışında spesifik olarak farklı zemin türlerine karşılık gelen genel bir doğal birim hacim ağırlık değer aralıkları da kabul edilmiştir.

$$\gamma_{doğ} = \frac{W_{doğ}}{V_T} \quad (1)$$

Burada; birim hacim ağırlık $\gamma_{doğ}$ birimi gr/cm³, $W_{doğ}$ numunenin toplam kütesini birimi gr, V_T numunenin hacmini birimi ise cm³ tür.

Jeofizik mühendisliği alanında sismik yöntemler yer bilimlerinde sıklıkla farklı ölçüm teknikleriyle kullanılmaktadır. Sismik saha uygulamalarında yapay olarak oluşturulan ses dalgaları sayesinde yer altı katmanlı yapısı araştırılmaktadır. Sismik yöntemlerde kaydedilen parametre, bir kaynaktan çıkıp alıcıya gelmesi için geçen zamandır. Sismik yöntemler zemin mühendislik parametrelerinin belirlenmesinde tahribatsız ve düşük maliyetli olması nedeniyle tercih edilmektedir. Ayrıca saha çalışmalarında pratik ve ön etüd raporlarında güvenilir sonuç vermesi sebebiyle sismik kırılma ya da Multichannel Analysis Surface Waves (MASW) yöntemi gerçekleştirilir.

Saha üzerinde direkt olarak uygulanan sismik kırılma veya MASW metoduyla zemin tabakalarında cisim dalgalarından birincisi olan boyuna dalga hızı (V_p) elde edilmektedir. V_p, düşük genlikli, kısa seyahat süresine sahip ve her türlü yer hareketinde ortaya çıkabilen bir birincil dalga hızıdır. Araştırmacılar tarafından çokça bağıntıya kaynak teşkil edebilecek V_p dalga hızı değerinden amprik eşitlikler türetilmiştir. Özellikle birçok geoteknik denklemde değişken olan birim hacim ağırlık değerinin tespiti için çalışmalar yapılmıştır. Sonucunda ise V_p hızı ile zeminin doğal birim ağırlığı (γ) arasında birtakım değerlendirmeler belirlenmiştir. Çalışmanın veri değerlendirme aşamasında literatürde çoğunlukla kullanılan (3) nolu amprik bağıntıdan yararlanılmıştır (Tezcan ve ark., 2006).

$$\gamma_p = \gamma_0 + 0,002V_p \quad (2)$$

$$\gamma_p = 3,2V_p^{0,25} \quad (3)$$

Burada,

γ_p boyuna dalga hızına bağlı olarak bulunan birim ağırlık gr/cm³,

γ_0 birim ağırlığın referans değeri gr/cm³,

V_p boyuna dalga hızı m/sn' dir.

Yöntem

Veri Setinin Hazırlanması

Araştırmaya konu olan birim hacim değeri elde edilirken öncelikle jeolojik formasyon özellikleri ortak olan bir proje sahası seçilmiştir. Çalışma sahası bölgesel jeolojisi ortaya çıkarılmıştır. Jeoloji incelendiğinde stratigrafik kesitte; Üst Miyosen yaşlı, dolgu biriminin hemen altında Bakırköy Formasyonu özelliği taşıyan, sarımsı bej renkli, orta ince tabakalı karbonatlı killi, kireçtaşı birimlerin olduğu belirlenmiştir. Ardından hemen altında ise Güngören Formasyonu karakteristiğini yansıtan üst seviyelerinde kirli beyaz renkli maktrali kireçtaşı ara seviyeli, alt seviyeleri ise yeşilimsi mavi renkli, kum cepli kil ve marnlardan oluşan birimlerin olduğu gözlenmiştir.

Çalışma sahası sınırlarında farklı derinliklerde düşey hidrolik zemin sondajları yapılmıştır. Çalışmayı desteklemek amacıyla ve değerlerin korelasyonu için aynı saha üzerinde sismik araştırma yöntemlerinden Multichannel Analysis Surface Waves (MASW) ölçüm tekniği uygulanmıştır.

Deneysel Çalışmalar

Zemin sondaj çalışmasından alınan örselenmemiş numuneler üzerinde İstanbul Aydın Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı' nda (UD) birim hacim ağırlık deneyi standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Farklı derinliklere ait 43 adet zemin örneği üzerinde ayrı ayrı birim hacim ağırlık deneyleri gerçekleştirilmiştir. Numuneler ağırlığı ve hacmi bilinen bir kaba konularak tartılarak ve gerekli sayısal hesaplamalar yapılmış doğal birim hacim ağırlık değerlerine ulaşılmıştır.



Şekil 1. İnceleme sahası üzerinde gerçekleştirilen sondaj ve sismik çalışmalar

Saha Çalışmaları

Jeofizik yöntemlerde, MASW ölçüm tekniği saha koşulları ve çalışma prensibine uygun olduğu neticesiyle seçilmiştir. MASW ölçülerinde 12 kanallı SARA marka sismik aleti ve 12 adet sinyal

çalıştırıcı olan 4,5 Hz' lik düşük frekanslı jeofon alıcı ekipmanları kullanılmıştır. Jeofonların serim aralıkları genellikle 2 m. veya 2,5 m., offset mesafesi de 2 m. veya 3 m. olarak seçilmiştir.

Kaynak olarak balyoz (8 kg) kullanılmıştır. MASW yöntemi uygulamasında düz ve ters atışlar ile veri toplanmıştır. MASW Kayıtları; 0,25 sn kayıt uzunluğu, 0,125 sn örnekleme aralığı ile alınmıştır. Veri işlem aşamasına geçildiğinde V_p-V_s sismik hız değerleri ve yerin dinamik, esneklik özelliklerini ortaya koymak amacıyla hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılmak üzere sismik hızlardan deneysel birim hacim ağırlık değerlerine karşılık gelen her bir tabaka için yoğunluk değerleri elde edilmiştir.

Sentetik Veri Türetme

Literatür çalışmasında Tezcan ve ark.,' nın yaptığı kabuller çerçevesinde yer alan birim hacim ağırlık değerleri kullanılarak bir sentetik zemin örnekleme veri tabanı oluşturulmuştur. Söz konusu değerlerin oluşturulmasında kullanılan ve asıl değişken tabakaları yansıtan jeolojik birimler olduğundan genel değer aralıklarını ifade eden değerler seçilmesine özen gösterilmiştir.

Çalışma kapsamında tümü aynı zemin tabakası seviyesinde olacak şekilde ölçülen ve türetilen verilerin tamamına ait birim hacim ağırlık değerleri elde edilmiştir. Literatür birim hacim ağırlık değerleri ve deneysel birim hacim ağırlık değerleri bağıntı (2) de referans birim hacim ağırlık olarak kabul edilmiş ve karşılığında boyuna dalga hızına bağlı olarak bulunan birim ağırlık (γ_p) değerleri hesaplanmıştır. Ardından boyuna dalga hızından türetilen V_p, birim hacim ağırlık değerleri bağıntı (3) ile hesaplanmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Jeolojik formasyon bilgilerinin zemin türleri ile paralel olduğu birim hacim ağırlık deneyleri ile ortaya konulmuştur. Bu bakımdan deney sonuçlarının genelinde zemin mühendislik özelliklerine bakıldığında bir tutarlılık sağlamaktadır. Diğer yandan ampirik yaklaşımlarla çıkan korelasyonların faydalı olduğu bilinmesine rağmen zemin mühendislik özelliklerini tahmin edilmesinde yetersiz kaldığı ifade edilebilir. Özellikle stratigrafinin karmaşık olarak tanımlandığı sahalar için ampirik hesaplarda beklenen değer altında ya da üstünde bir değer elde edinilebilir. Bu durumda yoruma katkı belirtmek için deneysel ve aritmetik olarak elde edilen sonuçlara bakıldığında deneysel olarak ölçülen değerlerin doğru olduğu kabulü yapılmıştır. Katsayı belirlenmesinde kullanılan verilerin doğru ve gerçeği yansıtır olduğu sonucun güvenilirliğinin sağlanmasında önem taşımaktadır. Formüllerle hesaplanan değerler ile laboratuvar çalışmalarıyla ölçülen değerlerin karşılaştırılması hata analizin temelini oluşturmaktadır. Bu nedenle birden fazla doğruluk ölçütü kullanılmasında fayda sağlamaktadır. Bu nedenle veri seti oluşturulurken farklı çalışma yöntemleri ile bir dizin oluşturulmuştur. Laboratuvar deneyleri, ampirik yaklaşımlar ve sismik çalışma yöntemleri gibi çeşitli metotlar ile elde edilen birim hacim ağırlık değerleri Çizelge 1' de gösterilmiştir. Buna göre Çizelge 1 üzerinde 43 adet (n) veri sayısına göre değerlendirme yapılmış olup sonuçları doğrultusunda regrasyon analizi ve standart sapma (s) hesaplanmıştır. Çizelge 1 de ilk sütunda laboratuvar deneyleri belirlenen γ_n , deneysel doğal hacim birim ağırlık değerleri bulunmuştur. İkinci sütunda bölgesel formasyon ile korelasyonu yapılan zemin türleri genelinde γ_{pl} , referans birim ağırlık değerleri oluşturulmuştur. Üçüncü sütunda ise arazide yapılan jeofizik uygulamalardan yararlanılmış olup, yatay olarak tabakalanmış, katmanlı jeolojik ortamların sismik hızlarından V_p, boyuna dalga hızları hesaplanmıştır. Çizelgenin temelini oluşturan ilk üç sütun sayesinde her bir değere ait γ_p , boyuna dalga hızına bağlı olarak bulunan birim ağırlık değerleri oluşturulmuştur.

Çizelge 1. Farklı çalışma yöntemleri için birim hacim ağırlık değerleri

γ_n t/m ³	γ_{nl} t/m ³	V _p m/s	γ_p t/m ³	γ_p t/m ³	γ_p t/m ³
2,304	1,70	562	3,428	1,707	1,509
2,059	1,70	1248	4,555	1,709	1,843
1,914	1,70	562	3,038	1,706	1,509
2,153	1,70	1248	4,649	1,709	1,843
1,972	1,70	581	3,134	1,706	1,522
2,083	1,80	650	3,383	1,807	1,565
2,110	1,80	858	3,826	1,808	1,678
2,049	1,60	450	2,949	1,606	1,428
1,805	1,80	959	3,723	1,807	1,725
1,988	1,60	753	3,494	1,607	1,624
2,070	1,80	942	3,954	1,808	1,717
1,811	1,70	607	3,025	1,706	1,539
2,141	1,70	729	3,599	1,707	1,611
2,044	1,70	878	3,800	1,708	1,687
2,051	1,70	488	3,027	1,706	1,457
1,991	1,70	558	3,107	1,706	1,507
2,014	1,70	807	3,628	1,707	1,652
1,995	1,60	412	2,819	1,606	1,397
2,018	1,70	443	2,904	1,706	1,422
2,004	1,80	650	3,304	1,807	1,565
2,113	1,70	950	4,013	1,708	1,721
2,310	1,70	573	3,456	1,707	1,517
2,122	1,70	769	3,660	1,707	1,632
1,965	1,70	537	3,039	1,706	1,492
2,045	1,70	705	3,455	1,707	1,597
2,201	1,70	821	3,843	1,708	1,659
1,930	1,70	2057	6,044	1,712	2,088
1,918	1,70	1855	5,628	1,711	2,034
1,951	1,70	1932	5,815	1,712	2,055
1,850	1,70	1406	4,662	1,709	1,898
1,970	1,80	1437	4,844	1,810	1,909
1,850	1,80	1500	4,850	1,810	1,929
1,980	1,80	1100	4,180	1,808	1,785
1,850	1,80	1400	4,650	1,809	1,896
1,945	1,80	1400	4,745	1,809	1,896
1,845	1,80	1580	5,005	1,810	1,954
1,900	1,80	1700	5,300	1,811	1,991
1,840	1,80	1535	4,910	1,810	1,940
1,850	1,80	1610	5,070	1,810	1,964

γ_n , deneysel doğal hacim birim ağırlık,

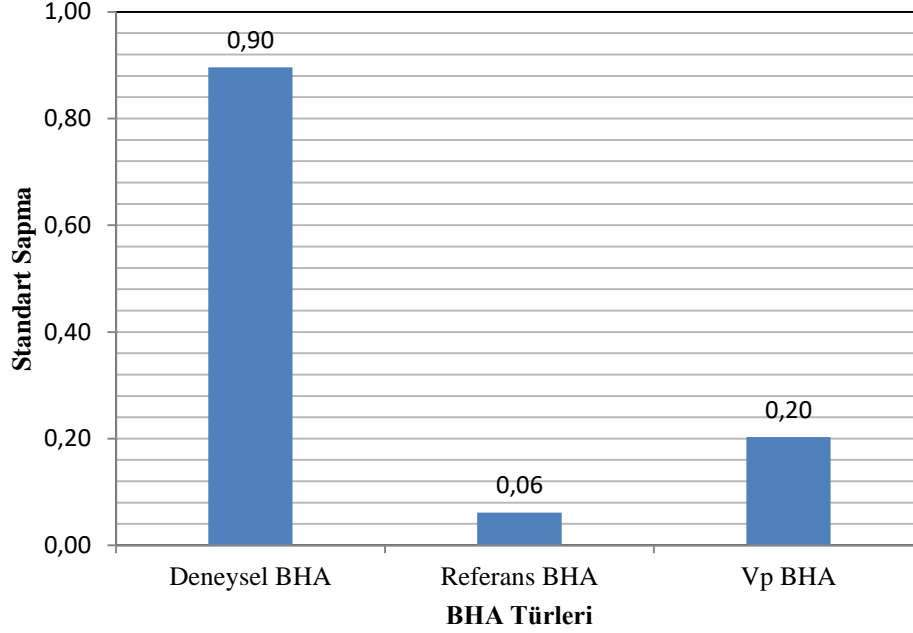
γ_{pl} , referans birim ağırlık,

V_p, boyuna dalga hızı,

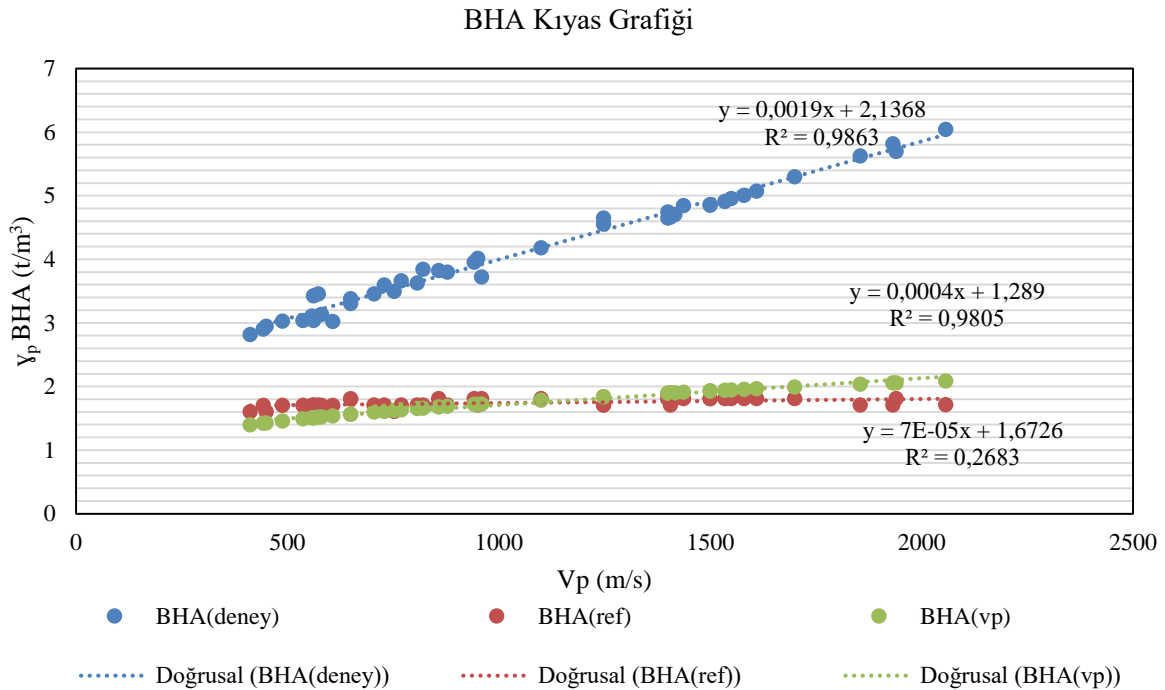
γ_p , boyuna dalga hızına bağlı olarak bulunan birim ağırlık.

Şekil 2 üzerindeki standart hatalarına bakıldığında referans değerleri çok dar bir bantta yani veri değerlerinin birbirine çok yakın olduğunu desteklediğini ve değerler arasındaki farkın az olduğundan standart sapmanın düşük olduğu sonucu çıkarılabilir. Buna karşılık deney sonuçlarından elde edilen birim hacim ağırlık değerlerinin arasındaki fark büyük olduğundan ve ayırt edici özelliğinin yüksek

olduğu düşünülmüştür. Standart sapma değeri en yüksek deneysel birim hacim ağırlık sonuçlarından gelen değer olarak hesaplanmış ve Şekil 2’ de gösterilmiştir. Bu kriter de dahi değerlendirildiğinde referans değerler ile yapılan analizde stratigrafiyi göz önünde bulundurmadığından sığ değerlerde çalışılmasının sonuçlar için belirsizlik oluşturacağı düşünülebilir.



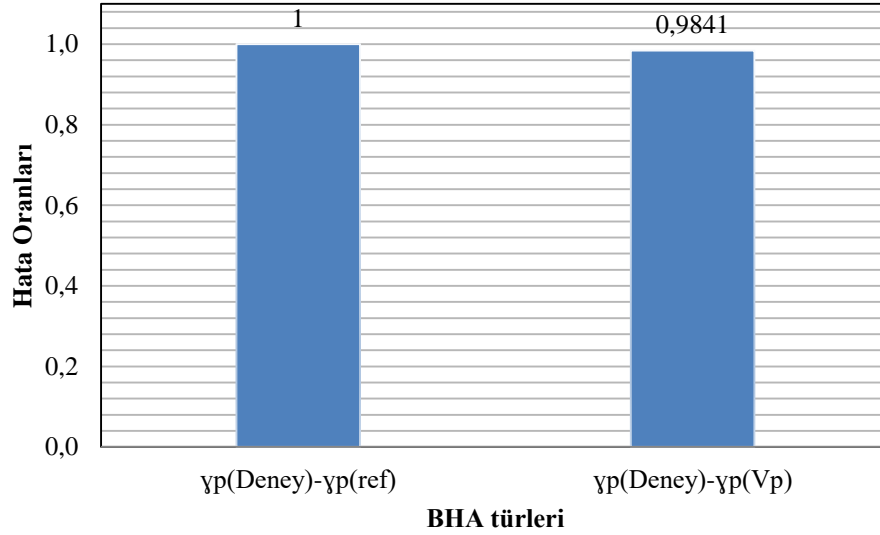
Şekil 2. Hesaplanan Birim hacim ağırlık türleri için (s) değeri grafik gösterimi



Şekil 3. Regresyon analiz denklemleri karşılaştırması (Bağıntı 3 için)

Bazı değişkenlerinin birim hacim ağırlığı üzerinde etkisinin belirlenmesi amacıyla regresyon analizleri yapılmıştır. Regresyon analiz denklemleri ile tahmin yaklaşımının en önemli ögesi, uygun bağıntıyı geliştirildikten sonra kullanımının son derece kolay ve pratik olmasıdır. Regresyon analizi

belirlenirken tüm metotlarla oluşturulan γ_0 türleri için, ortak parametre olarak kullanılan V_p değerinden ve bağıntı (3) (Tezcan ve ark., 2006) ile hesaplanan γ_p değerleri karşılaştırılması doğrusal olarak elde edilmiş ve Şekil 3' de gösterilmiştir. Değerler incelendiğinde, beklenildiği gibi deneysel birim hacim ağırlık değerleri için en kuvvetli ilişkiyi ifade eden bağıntıya sahip olduğu söylenebilir. En düşük ilişki ise referans değerlerinden türetilen birim hacim ağırlık değerleri için hesaplanmıştır. Bunun sebebi olarak ise zemin türüne göre tercih edilecek referans birim hacim ağırlık değerleri için bir aralık belirtildiğinden ve bu sonucun analitik yöntemlerde bir dezavantaj olduğu tespiti ortaya çıkartılabilir. Sonucu destekler nitelikteki sayısal değerler standart sapma grafiğinde Şekil 2 üzerinde görülmektedir. Bu çalışmada geliştirilen analizde deneysel birim hacim ağırlık değerlerinin güvenilirliğinin yüksek olduğu görülmüştür. Geliştirilen regresyon denklemleri arazi şartları değiştikçe yeni ölçülen verilerle revize edilebilir.



Şekil 4. Birim hacim ağırlık hata oranları karşılaştırması

Yukarıda yer alan çalışmaların sonucunda laboratuvarında gerçekleştirilen deney sonuçları ve literatürde sıklıkla kullanılan değerlere bakıldığında, kolaylığı bakımından ve hızlı olarak sonuç vermesi açısından denklem 3 için (a) kat sayısı tanımlanmıştır. Kat sayı tahmin probleminde sonuçları değerlendirirken farklı hata ölçüm yaklaşımlarının değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu makalede 3 farklı değerlendirme kriteri kullanılarak ve ortaya çıkan sonuçlar irdelenerek denklem (4) oluşturulmuştur. Ancak bir türetilen denklemin belirginlik katsayısının bağıntı (3) den yüksek olması, o denklemin kesin olarak diğerlerinden daha başarılı tahmin yaptığı anlamına gelmemektedir arazi stratigrafisinin ayrıca değişkenlik kattığı bir hata payı olarak dikkate alınmaktadır.

$$\gamma_p = 3,2V_p^{0,25} (a) \quad (4)$$

Bağıntı (4) üzerinde tanımlanan a katsayısı oluşturulurken deneysel birim hacim ağırlık sonuçları ve sismik dalga hızından elden edilen birim hacim ağırlık sonuçları arasında regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda a katsayısının karşılığı 1,02 olarak elde edilmiştir. Katsayının beklenen değeri karşılması için farklı deneysel sonuçlarla da performans kıyaslaması yapılmış ve uyumluluk açısından deneysel değerlere yakın değerleri hesapladığı sonucu çıkmıştır. Bağıntı

performans değerlendirmesi yapılırken güzergah bölgede yapılmış çalışmalar kaynak olarak kullanılmıştır. Çalışılan sahada çok değişken zonlar bulunmadığından bağıntı genel performansa fazla bir etkisi olmamaktadır.

$$\gamma_p = 3,2V_p^{0,25} (1,02) \quad (5)$$

Yeni kat sayı ile oluşturulan bağıntı uyum olarak bakıldığında deneysel yöntemlerle elde edilen sonuçlara yakın bir değer oluşturduğundan analitik hesaplara katkısı olabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışmada kullanılan değişkenli regresyon tekniği, öne çıkan ve bağıntı modele dahil edilmesi gereken tasarım katsayı parametrelerinin tespiti konusunda arazi uygulamalarının hızlı yapılmasına yardımcı olacaktır. Ancak belirtilmelidir ki, bu araştırma kapsamında geliştirilen bağıntı veri setinden elde edilen değerler için geçerlidir. Değerler farklı jeolojik formasyona sahip bölgelerde yapılacak arazi sismik etütlerle ve sondaj çalışmalarıyla elde edilen numuneler üzerinde yapılacak birim hacim ağırlık deneyleri ile genişletilebilir. Bu sayede katsayı atanarak ortaya çıkartılan yeni bağıntının (bağıntı 5) güvenilirliği tekrar edilebilir ve veri seti de genişletilebilir.

SONUÇ

Birim hacim ağırlık değeri zemin mekaniği alanında en yaygın kullanılan değişkendir. Birçok metot ve yaklaşım ile sonuca ulaşmak mümkündür. Güvenilirliği açısından başlıca tercih edilen hesap yöntemi laboratuvar ortamında deneysel olarak gerçekleştirilen çalışmalardır. Ancak bu değer laboratuvar çalışmalarıyla belirlenmesi zaman ve maliyet açısından diğer tespit yöntemlerine kıyasla oldukça fazladır. Ampirik hesap yöntemlerinden en çok kullanılan V_p hızından türetilen yaklaşımdır. Makale çalışmasında farklı istatistiksel analiz yöntemlerinden çıkan ifadelerin karşılaştırılması yapılmıştır. Devamında ise söz konusu bağıntıya sismik dalga hızından elden edilen birim hacim ağırlık sonuçlarına en yakın değere ulaştıracak bir kat sayı ataması yapılmıştır. Elde edilen yeni bağıntının uyumuna bakılmış olup, deneysel sonuçlara yakın olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar ışığında türetilen yeni bağıntının referans değerlerinden hesaplanan bağıntı için hızlı çözüm sunacağından elde edilen birim hacim ağırlık değerinin %80 mertebesinde desteklediği belirlenmiş ve artan deneysel verilerle birlikte doğruluğunu arttıracığına işaret etmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada deneysel çalışmalara katkılarından dolayı İstanbul Aydın Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Laboratuvar çalışanlarına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Akhter G, Khan Y, Bangash A. A, Shahzad F, Hussain Y, 2018. Petrophysical Relationship For Density Prediction Using V_p - V_s İn Meyal Oilfield, Potwar Sub-Basin, Pakistan Geodesy and Geodynamics, 9(2): 151-155.
- Bailey T, 2012. An empirical V_p/V_s shale trend for the Kimmeridge Clay of the Central North Sea 74th EAGE Conference - Exhibition Incorporating SPE EUROPEC. Copenhagen, Denmark., 4-7.
- Christensen NI, Mooney WD, 1995. Seismic Velocity Structure and Composition of The Continental Crust: A Global View, J. Geophys. Res. 100: 9761-9788.
- Çelik S. B., 2018. Karbonat Kayalarının Aşınma Dirençlerinin Geniş Disk Aşınma Deneyi ile Araştırılması, FU. Müh. Bil. Dergisi 30(1): 303-310.
- Destici C, 2001. Sismik Dalga Hızları ile Dinamik ve Statik Parametrelerin İlişkilendirilmesi, SDÜ MMF Jeofizik Müh. Böl. Lisans Tezi, Isparta (Basılmamıştır).

- Durrani M.Z.A, Talib M., Ali A, 2020. Characterization and probabilistic estimation of tight carbonate reservoir properties using quantitative geophysical approach: a case study from a mature gas field in the Middle Indus Basin of Pakistan. *J Petrol Explor Prod Technol*.
- Dinç BK, 2017. Zeminin Taşıma Gücünün Belirlenmesi İçin Bir Yaklaşım. İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Gardner GHF, Gardner LW, Gregory A R, 1974. Formation Velocity and Density-The Diagnostic Basics for Stratigraphic Traps, *Geophysics* 39: 770-780.
- Keçeli DA, 2009. Uygulamalı Jeofizik. TMMOB JFMO Eğitim Yayınları.
- Ludwig WJ, Nafe JE, Drake CL, 1970. Sismik Kırılma, Deniz, Wiley-Interscience, 4(1): 53-84.
- Martinez RD, 1985. Deterministic Estimation of Porosity and Formation Pressure From Seismic Data: 58th Ann. Internat. Mtg., Soc. Explor. Geophys., Expanded abstracts, Washington D.C.
- Naimi S, Hrizi H, 2019. Risk Analysis of Slaving Floor in Construction Sites, *International Journal of Electronics, Mechanical and Mechatronics Engineering*, 9(1): 1637-1645.
- Olorunubi O, Butt S, 2020. The Shear-Wave Velocity Prediction For Sedimentary Rocks, *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 76: 103084.
- Parsons T, Blakely RJ, Brocher TM, 2001. A Simple Algorithm for Sequentially Incorporating Gravity Observations in Seismic Travel Time Tomography, *International Geology Review* 43: 1073-1086.
- Robertson PK, Hughes JMO, 1986. Determination of Properties of Sand From Self-Boring Pressuremeter Tests. Proc. 2nd. Symp. on Pressuremeter and Its Marine Applications, ASTM SPT 950: 443-457.
- Telford WM, Geldart LP, Sheriff RE, Keys DA, 1976. *Applied Geophysics*, Cambridge University Press, Cambridge, U.K.: 860.
- Tezcan SS, Keceli A, Ozdemir Z, 2006. Allowable Bearing Capacity of Shallow Foundations Based on Shear Wave Velocity, *J. of Geotech. and Geological Eng.* 24: 203-218.
- TS17892-1-2-3-4-5, 2007. Geoteknik Etüt ve Deneyler, Zemin Laboratuvar Deneyleri. Bölüm 7: İnce Taneli Zeminlerde Tek Eksenli Basınç Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Uyanık O, 2002. Kayma Dalga Hızına Bağlı Potansiyel Sıvılaşma Analiz Yöntemi, DEU Fen Bilimleri Enstitüsü, s.176, İzmir-Türkiye.
- Uyanık O, 2011. The Porosity of Saturated Shallow Sediments from Seismic Compressional and Shear Wave Velocities, *Journal of Applied Geophysics*, 73(1): 16-24.
- Uyanık O, Çathıoğlu B, 2010. Determination of Density from Seismic Velocities, The 19th International Geophysical Congress and Exhibition of Turkey 23-26 November. Ankara.
- Uyanık O, 2010. Compressional and Shear-Wave Velocity Measurements in Unconsolidated The Top-Soil and Comparison of The Results. *International Journal of The Physical Sciences*, 5(7): 1034-1039.
- Yurtsever Ç. 1976. The Structural Organisation of Elements Master Thesis, Selçuk University, Konya.