



Orijinal Araştırma / Original Research

ATIK ELEK ALTI POMZA MALZEMESİNİN KİLLİ ZEMİN ORTAMLARINDA MÜHENDİSLİK KARAKTERİSTİKLERİ BAKIMINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

AN EVALUATION OF WASTE UNDERSIZE PUMICE MATERIALS IN TERMS OF ENGINEERING CHARACTERISTICS IN CLAYEY SOILS

Murat Kalkan^{a,*}, Can Erenson^{b,**}

^a Aksaray Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Aksaray, TÜRKİYE

^b Aksaray Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Aksaray, TÜRKİYE

Geliş Tarihi / Received : 07 Şubat / February 2020

Kabul Tarihi / Accepted : 21 Temmuz / July 2020

ÖZ

Keywords:

Atık pomza,
Kil,
Koni batma deneyi,
Modifiye proktor deneyi.

Gelişen ülkeler veya şehirlerde artan nüfus ve yapılaşma ile birlikte inşaat sektörünün temel yapı taşı durumunda olan agregaya ihtiyaç artmaktadır. Yapıların ihtiyacını karşılamak amacı ile yerleşim yerlerine yakın taş ocakları açılmakta ve ocaklardan elde edilen malzemeler her ne kadar inşaat sektöründe büyük oranda kullanılabilse de; arta kalan ince taneli malzeme atık olarak beklemektedir. Bu çalışmada, Aksaray ili çevresinde yer alan pomza taş ocağından atık olarak elde edilen ürünlerin, Avanos (Nevşehir) yöresi killeri ile çeşitli oranlarda karıştırılarak zemin özelliklerine olan etkisi araştırılmıştır. Kil numunesinin, ince taneli atık pomza malzemesi ile belirli oranlarda karışımından yapılan koni batma likit limit deneyi ve modifiye proktor deneyi sonucunda kil numunesi içerisindeki atık pomza miktarı arttıkça likit limit değeri ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı azalmakta, optimum su içeriği artmaktadır.

ABSTRACT

Anahtar Sözcükler:

Waste pumice,
Clay,
Fall cone method,
Modified proctor test.

Population growth in developing countries and cities increases structuring and it increases the need for aggregate which is the basic building block of the construction industry. For this reason, quarries close to the settlements are opened and materials obtained from the quarries are mostly used in the construction sector but the remaining fine grained materials are considered as waste. In this study, the products obtained from pumice quarry located in Aksaray province and clayey soil in Avanos (Nevşehir) region were mixed in various quantities and soil properties of this mixture were investigated. As a result of fall cone method tests and modified proctor tests on these mixtures, waste fine graded pumice content in the clay samples increase, the liquid limit values and the maximum weight per unit of volume values decrease and the optimum water content values increase.

* Sorumlu yazar / Corresponding author: mkalkan@aksaray.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0002-4350-1599>

** canerenson@aksaray.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0002-6616-6180>

GİRİŞ

Gün geçtikçe artan nüfus ile birlikte insanların barınma, ulaşım, enerji ve pek çok alanda daha gereksinimleri artmaktadır. Bu doğrultuda büyük ölçekli yapılar, ulaştırma elemanları, barajlar, fabrikalar ile bu ve benzeri yapıların duraylılığını korumaya yönelik inşaat sektörü giderek genişlemektedir. Tüm bu yapıların ihtiyacını karşılamak için ise yerleşim yerlerine yakın taş ocakları açılmaktadır. Ocaklardan elde edilen malzemeler her ne kadar inşaat sektöründe büyük oranda kullanılabilse de; üretilen malzemenin tamamı değerlendirilmemektedir. Arta kalan malzemeler depolarda stok fazlası olarak beklemektedir. Konkasör artığı ince taneli malzemeler rüzgâr etkisiyle çevreye dağılmaktadır. Bunun sonucunda çevre sakinleri toz içerisinde kalmakta, bitkilerin ve balıkların yaşamı engellenmekte ve su kaynakları kirlenmektedir.

Bu nedenle, Maden ve Taşocakları İşletmelerinde Tünel ve Tünel Yapımında Tozla Mücadeleye ilişkin Yönetmelikte belirtilen genel hükümler büyük önem taşımaktadır (TMMOB, 1990). 20635 sayılı Resmi Gazete’de, ocakta çalışan işçilerde ve çevre sakinlerinde pnömokonyoz (akciğerde toz birikmesi ve bunun sonucunda oluşan doku tepkimesi) hastalığının önüne geçilmesi hedeflenerek bu yönetmelikte toz kontrolü uygulamalarının önemine dikkat çekilmiştir. Atık halde bulunan ve kullanılmayan toz yığınlarının bertaraf edilmesi de bu önlemler arasında yer almaktadır. Pnömokonyozun çalışma alanlarından kaynaklı toza bağlı olarak ortaya çıkma nedenleri, teşhisi, insan sağlığına etkisi ve zararları, endikasyonları, önlenmesi vb. gibi pek çok konunun ele alındığı çok sayıda makale literatürde yerini almaktadır (Köksal ve Kayhan, 2019; Sarı ve Piyal, 2019, Lee vd., 2018; Moitra vd., 2018; Rushton, 2017; Na vd., 2017, Bozkurt vd., 2016; Ergün vd., 2016).

Endüstriyel hammadde olarak birçok sektörde pomza kullanım amacına göre ya ana hammadde ya da katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Pomza taşının kullanılacağı sektöre göre kırma, eleme ve boyutlandırılması ile elde edilen agregalar kullanım amacına göre uygun boyutlarda değerlendirilmektedir. Ancak boyutlandırma işlemi sırasında elek altında kalan

ince taneli malzeme depolarda stok fazlası olarak beklemektedir.

Aksaray ili çevresinde yer alan pomza taş ocağı yetkilileri, üretim faaliyetleri haricinde atık olarak elde ettikleri ürünleri değerlendirmek üzere yeni kullanım alanları arayışındadırlar. Bu bakımdan, pomza ocaklarında ortaya çıkan bu ürün artıkları depolarında uzun süre beklemektedir ve söz konusu çevre kirliliklerine yol açmaktadır.

Ayrıca, Aksaray’ın belirli bölgeleri ile Avanos (Nevşehir) çevresinde oldukça sık rastlanılan killi zemin ortamlarına rastlanılmaktadır. Çalışmada, bu iki farklı malzeme türünün bölgede çokça miktarda bulunmasından dolayı ve her iki malzemenin de kendine özgü karakteristiklerinin değerlendirilmeye müsait olması üzerine değişken oranlarda karıştırılıp davranışının incelenmesi amaçlanmıştır.

Pomza ve kil malzemelerinin bir arada kullanıldığı pek çok araştırma literatürde yer almaktadır. Bu kapsamda Çimen (2006), pomzanın yüksek plastisiteli kilin stabilizasyonu için uygun bir katkı maddesi olduğunu belirtmiştir. Diğer bir yandan Çimen vd. (2010), kile belirli oranlarda ilave edilen pomza tozu ve mermer tozunun kilin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesinde bu atık malzemelerin kullanılabilirliğini vurgulamıştır. Yine ince taneli zemin numunesinin iyileştirilmesinde pomza tozu ve mermer tozu kullanılarak hazırlanan killi karışımlarda, mermer tozunun serbest basınç mukavemetini %25 düşürdüğü pomza tozunun ise %123 yükselttiği belirlenmiştir (Keskin vd., 2017). Isparta, Manisa Kula ve Bitlis gibi farklı bölgelerde çıkarılan pomza malzemesinin yüksek plastisiteli killer içerisindeki etkinliklerinin incelendiği başka bir çalışmada ise pomza – kil ikili ve pomza – kil – kireç üçlü karışımları araştırılarak ideal oranlar belirlenmiştir (Çimen vd., 2020).

Bu çalışma amacı ile atık pomza malzemesi ve killi malzemenin ana oksit ve iz element jeokimyasal özellikleri Aksaray Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Uygulama ve Araştırma Merkezi’nde (ASÜBTAM) dalga boyu dağılımlı X ışını floresans spektrometresi (WD-XRF) cihazında belirlenmiştir. Deneyde kullanılacak malzemelerin fiziksel özelliklerini belirlemeye yönelik çalışmalar Aksaray Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Uygulamalı Jeoloji Laboratuvarında yapılmıştır.

1. DENEYLERDE KULLANILAN ATIK POMZA VE KİL MALZEMELERİNİN ÖZELLİKLERİ

1.1. Atık Pomza Malzemesi

Aksaray yöresindeki pomza ocağında atık halde bulunan ince taneli pomza malzemesinin jeolojik petrografik, jeokimyasal ve fiziksel özellikleri bu bölümde ele alınacaktır.

Pomza (ponza) terimi İtalyanca bir sözcüktür. Dilimizde ise süngertaşı, köpüktaşı, nasırtası, hışırtaşı, küvek, kisir gibi pek çok adla anılmaktadır. Asidik ve bazik volkanik faaliyetler neticesinde iki tür pomza oluşumu mevcuttur: Bunlar asidik pomza ve bazik pomzadır. Yeryüzünde en yaygın olarak bulunan ve kullanılan asidik pomza, beyaz kirli görünümde ve grimsi beyaz renktedir. Asidik karakterli pomzalarda silis oranı daha yüksek olup, inşaat sektöründe yaygın kullanım alanı bulabilmektedir (MTA, 2019).

Pomza, volkanik olaylar neticesinde oluşmuş, boşluklu, süngerimsi, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, gözenekli, camsı volkanik bir kayadır. Oluşumu sırasında bünyedeki gazların ani olarak bünyeyi terk etmesi ve ani soğuması nedeniyle, makro ölçekten mikro ölçüğe kadar sayısız gözenek içerir. Gözenekler arası genelde bağlantısız boşluklu olduğundan, geçirgenliği düşük, ısı ve ses yalıtımı oldukça yüksektir. Sertliği mohs skalasına göre 5-6'dır.

Orta Anadolu'da Orta Miyosen'den itibaren çok geniş alanlarda şiddetli volkanik olaylar olmuştur. Özellikle Aksaray ve Niğde arasında bulunan Hasandağı - Melendizdağı volkanizması sonucu çok sayıda volkan konilerinin, kraterin, tuf örtülerinin ve lav akıntılarının yer aldığı yaklaşık 100 km²lik alanı kapsayan volkanik aktivite; Orta Miyosenden başlayıp Kuvaterner sonuna kadar etkin olmuştur (Ercan, 1985). Aksaray bölgesinde bulunan pomza oluşumları, Hasandağı volkanizmasının patlaması sonucunda gelişen ürünlerdir. Volkanizmanın ürünleri Kuvaterner yaşlı Hasandağ volkanitleri olarak adlandırılmış ve birim farklı evrelerde oluşmuş kül-blok akmaları, döküntü ve akma tüfleri ile andezitik, bazaltik ve riyolitik lavlardan oluşmaktadır (Dönmez vd., 2005). Pomzalar makroskobik olarak açık

gri, yer yer krem renkli özellik göstermektedir. Atmosfer koşullarında ani basınç azalması sonucu genişleyen gazlardan geriye kalan boşlukların meydana getirdiği veziküler dokuya sahiptir. Ayrıca kayaç içerisinde ana mineralojik bileşim olarak saçılmış şekilde polisentetik ikizlenme gösteren iri plajiyoklas mineralleri, biyotit mineralleri, aksesuar olarak pirit minerali gözlenmektedir (Başpınar ve Gündüz, 2006).

Pomza ocağında arta kalan ince taneli malzemenin ana element oksit ve iz element jeokimyasal analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmektedir.

Atık pomza malzemesinin ana element oksit ve iz element jeokimyasal analiz sonuçlarına dayanılarak hazırlanan jeokimyasal adlama diyagramında (Cox vd., 1979) pomzanın riyolitik magma sonucu oluştuğunu göstermektedir (Şekil 1). AFM (Na₂O+K₂O, Fe₂O₃, MgO) diyagramında pomzanın (Irvine ve Baragar, 1971) magma köken sınıflamasına göre kalkalkalin karaktere sahip olduğu görülmektedir (Şekil 2).

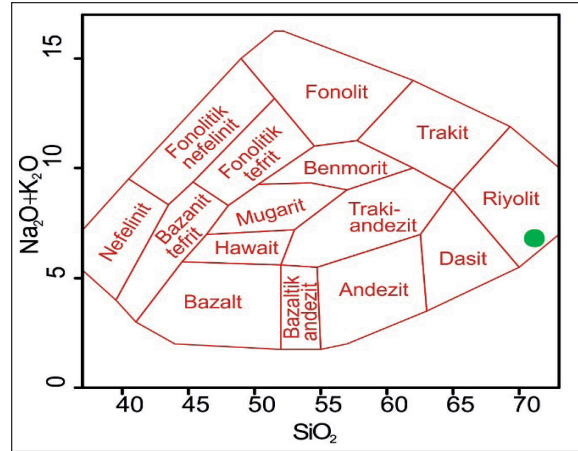
Çizelge 1. Atık pomza malzemesinin jeokimyası

Ana Oksit Element	(%)
SiO ₂	71,359
Al ₂ O ₃	12,668
K ₂ O	4,955
Fe ₂ O ₃	2,420
Na ₂ O	1,730
CaO	1,242
MgO	1,064
TiO ₂	0,273
MnO	0,074
P ₂ O ₅	0,042
Cr ₂ O ₃	0,001
Ateşte Kayıp	3,7
Toplam	99,53

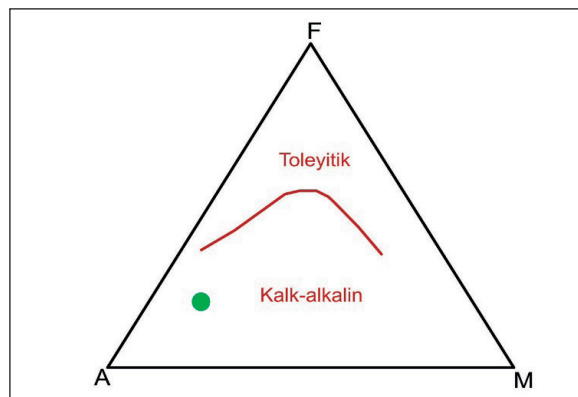
İz Element	(ppm)
Cl	1251,68
Sc	14,98
Co	4,77
Ni	13,83
Cu	12,94
Zn	38,86
Ga	16,8
Ge	0,81
As	8,38
Rb	174,67
Sr	172,67
Y	12,54
Zr	141,43
Nb	13,17
Ba	735,36
Nd	27,31
Sm	3,82
Gd	5,93
Hf	5,11
Pb	54,57
Th	31,33
U	6,25

Atık pomza malzemesinin fiziksel özelliklerini belirlemek amacı ile özgül yoğunluk ve elek analizi deneyleri yapılmıştır. Elek analizi sonuçlarına göre granülometri eğrisi çizilmiştir (Şekil 3).

Yapılan deneyler sonucu atık pomza malzemesinden elde edilen fiziksel özellikler Çizelge 2’de verilmiştir.



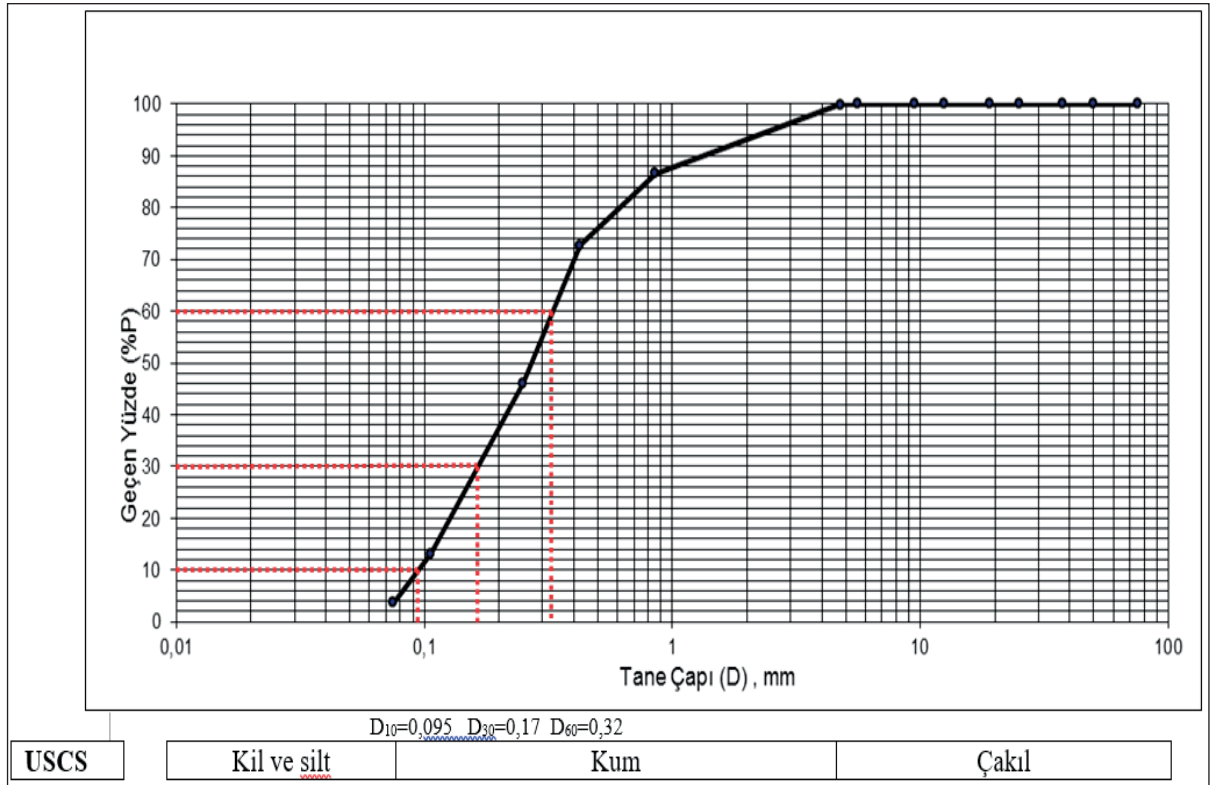
Şekil 1. SiO₂ ve Na₂O+K₂O içeriğine göre pomza oluşumlarının sınıflaması (Cox vd., 1979)



Şekil 2. AFM içeriğine göre magma köken sınıflaması (Irvine ve Baragar, 1971)

Çizelge 2. Atık pomza malzemesinin fiziksel özellikleri

Parametre	Değer
Renk	Açık gri
Özgül Ağırlık	2,33
Çakıl içeriği (%)	0
Kum içeriği (%)	96,4
Kil ve silt içeriği (%)	3,6
Efektif Çap (mm)	0,095
Uniformluk Katsayısı (Cu)	3,37
Eğrilik Katsayısı (Cr)	0,95
Zemin Sınıfı (USCS)	SP
Plastik Limit	NP



Şekil 3. Atık pomza malzemesinin granülometrisi

1.2. Kil Malzemesi

Nevşehir ili, İç Anadolu Bölgesi Orta Kızılırmak Bölümü'ndedir ve kuzeyinde Gülşehir ile Avanos yer almakta olup doğusunda Ürgüp, güneyinde Derinkuyu ve batısında Acıgöl ilçeleri bulunmaktadır.

Kızılırmak'ın çevresindeki bölgelerden elde edilen Avanos kilini diğer killerden ayıran en önemli hususlar içeriğinde bulunan illit, mika, kuvars, feldspat, kalsit, dolomit ve hematit minerallerinin bulunması ve bünyesindeki hematit mineralinden dolayı kırmızı renkli olmasıdır. Killi zemin içerisinde bulunan hematit oranına göre açık sarı, açık ya da koyu kırmızı renklerinde de bulunabilmektedir. Bu bakımdan deneylerde kullanılan killi malzemenin davranışına etki eden ana oksit elementlerin yüzdece oranı Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Avanos kilinin jeokimyası (Terzi vd., 2018)

Ana Oksit Element	(%)
SiO ₂	38,481
Al ₂ O ₃	17,098
K ₂ O	4,565
Na ₂ O	0,371
CaO	5,691
MgO	2,103
TiO ₂	0,425
SO ₄	0,178
Fe ₂ O ₃	7,988
P ₂ O ₅	0,105
MnO	0,133
Cl	0,055
Ateş Zayıyatı	21,800
Toplam	98,993

Killi malzemenin fiziksel özelliklerini belirlemek amacı ile özgül yoğunluk, elek analizi, likit limit ve plastik limit deneyleri yapılmıştır. Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine göre zemin cinsi belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucu kil malzemesinden elde edilen fiziksel özellikler Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Kil malzemesinin fiziksel özellikleri (Erenson vd., 2015)

Parametre	Değer
Renk	Koyu kahverengi
Özgül Ağırlık	2,69
Kum İçeriği(%)	17,33
Silt İçeriği(%)	6,22
Kil İçeriği(%)	76,44
Likit Limit(%)	43,9
Plastik Limit(%)	21,8
Zemin Sınıfı (USCS)	CL

%10, %30, %50 oranında kil numunesine karıştırılan atık pomza malzemesinin likit limit değerleri hesaplanmıştır. %10 oranında atık pomza içeren kil numunesinin 20 mm'lik batmaya karşılık gelen likit limit değeri %48 olarak belirlenmiştir (Şekil 5).

Avanos kilinin mühendislik özellikleri ve jeokimyasal analizi sonucunda zeminin su emme miktarının yüksek ve mineralin hacim değişikliği yapmasına müsait olduğu gözlemlenmektedir. Kilin bu yapısı gereği malzemede plastisite ve mukavemet değişmekte ve kilin şişme ve büzülme faaliyetleri de farklı davranışlara sebebiyet vererek yapısal sorunlara yol açabilmektedir. Bu sebepten dolayı, killi zemin ortamlarının hacimsel büzülme testlerin yapılması büyük önem taşımaktadır.

2. LABORATUVAR DENEYLERİ

İnce taneli atık pomza malzemesi %10, %30 ve %50 oranlarında killi zemin ortamlarından alınmış numuneler ile karıştırılarak pomza oranının kilin su içeriğine, likit limitine ve sıkışma karakteristiklerine olan etkisi araştırılmıştır. Bu amaç kapsamında koni batma likit limit ve otomatik modifiye proktor deneyleri yapılmıştır.

2.1. Koni Batma Likit Limit Deneyi

İngiltere Devlet Karayolları Kurumu'nun laboratuvarlarında (Transport and Road Research Laboratory, TRRL) 1993 yılında Crowthorne, Berkshire'da geliştirilen bu deney, BS 1377: Part:2 (1990) standardındaki ölçülere belirlenmiş metalik bir koninin kendi ağırlığı altında 5 saniye sürede zemin örneğinin içine batmasından hareketle likit limitin belirlenmesine dayanmaktadır (Head, 1992). Daha sonra bu standarda uygun bir şekilde koni batma cihazının içindeki düzenek vasıtasıyla kilitleme mekanizması açılmaktadır ve otomatik olarak koni serbest bir şekilde kendi ağırlığı ile numunenin içerisine batmaya başlamaktadır. 5 saniye sonra kilitleme mekanizması yine otomatik olarak çalışmakta ve koniyi kilitleyerek bulunduğu noktada sabit kalmasını sağlamaktadır (Foto 1). Bu sürecin akabinde cihaz üzerindeki elektronik ölçme çubuğundan koninin batma miktarı belirlenmiştir. Koninin battığı kısımdan alınan bir miktar örnek etüvde kurutularak belirlenen batmaya karşılık gelen su içeriği bulunmuştur. %0, %10, %30 ve %50 pomza içeriğine sahip numuneler farklı su içeriklerinde her su içeriği için üç farklı noktadan belirlenen koni batma miktarlarının ortalaması alınmış ve dört kez tekrarlanan deneyde 20 mm'lik batmaya karşılık gelen su içeriği örneğin likit limit değeri olarak alınmıştır. Kullanılan deney örneği 0,425 mm elek altı malzeme olmalıdır. Bu deneyin avantajı, likit limitin belirlenmesinde Casagrande yöntemine göre deneyi yapan kişi hatalarını en aza indirmesidir (Orhan vd., 2013).



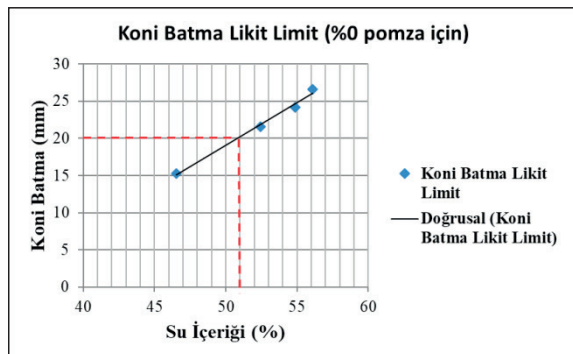
Foto 1. Koni batma likit limit deneyi

Kil numunesinin, ince taneli atık pomza malzemesi ile belirli oranlarda karışımından yapılan karışımın ortalama koni batma değerleri ile bu batmaya karşılık gelen su içerikleri belirlenmiştir (Çizelge 5).

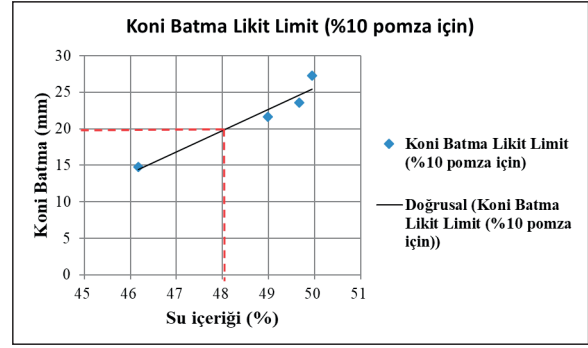
Çizelge 5. Değişik oranlardaki pomza içeriğine sahip kil numunesinin ortalama koni batma miktarı-su içeriği değerleri

Pomza oranı %	Ortalama Koni Batma Miktarı (mm)	Su İçeriği (w) (%)
0	15,24	46,51
	21,54	52,44
	26,62	56,11
	24,21	54,89
10	14,80	46,18
	21,61	48,98
	23,57	49,66
	27,26	49,94
30	16,80	38,40
	17,89	38,87
	23,66	41,49
	26,53	45,54
50	24,27	36,53
	20,80	35,43
	19,50	34,93
	13,17	31,91

Kil numunesinin hiç atık pomza malzemesi karıştırılmamış halinin koni batma likit limit deneyi sonucunda 20 mm'lik batmaya karşılık gelen likit limit değeri %51 bulunmuştur (Şekil 4).

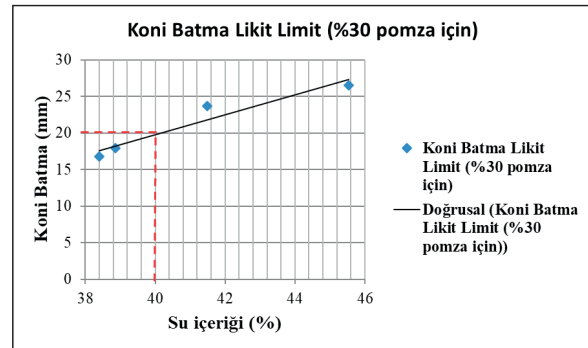


Şekil 4. Kil numunesinin koni batma-su içeriği grafiği



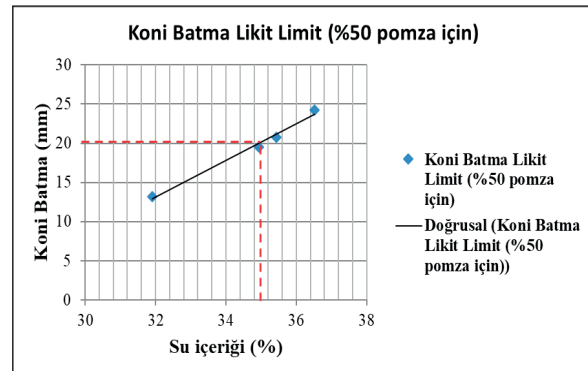
Şekil 5. %10 oranında pomza içeren kil numunesinin koni batma-su içeriği grafiği

%30 oranında atık pomza içeren kil numunesinin 20 mm'lik batmaya karşılık gelen likit limit değeri %40 olarak belirlenmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. %30 oranında pomza içeren kil numunesinin koni batma-su içeriği grafiği

%50 oranında atık pomza içeren kil numunesinin 20 mm'lik batmaya karşılık gelen likit limit değeri %35 olarak belirlenmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. %50 oranında pomza içeren kil numunesinin koni batma-su içeriği grafiği

2.2. Proktor Deneyi

Kil numunesinin, ince taneli atık pomza malzemesi ile belirli oranlarda karışımından yapılan karışımın otomatik modifiye proktor deneyleri sonucunda optimum su içerikleri ve kuru birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir (Foto 2).



Foto 2. Deneyde belirli oranda karıştırılarak kullanılan kil ve atık pomza malzemesi

ASTM D558 (2011), AASHTO T99 (2015), BS 1377-1 (2016) standartlarına uygun ve otomatik modifiye proktor deneyinin başlıca kullanım amacı laboratuvar numunelerinin kompaksiyon işlemlerinde sürekliliğin ve tekrarlana bilirliliğin sağlanmasıdır. Tam otomatik ve kolay kullanımlı olup düzenli kompaksiyon otomatik numaratorlü proktor ve CBR kalıpları ile kullanılmaktadır. Kullanıcı tanımlı girilen vuruş sayısı sonunda numarator otomatik olarak sıfırlanmaktadır. Otomatik kompaktörün döner tablası proktor ve CBR kalıplarının uniform olarak sıkışmasını sağlamakta ve 4,5 kg düşey ağırlık kalıbın iç yüzeyinden ortasına kadar dairesel hareket etmektedir (Foto 3).



Foto 3. Otomatik modifiye proktor deney cihazı

Cihaz üzerinde kullanıcı tanımlı vuruş sayısının ayarlandığı direkt okumalı numarator ve proktor anahtarı bulunmaktadır. Cihaz otomatik olarak kullanıcı tarafından tanımlanan 25 vuruş sayısını tamamladıktan sonra durmaktadır. Çalışmada, numuneler 5'er tabaka halinde sıkıştırılarak hazırlanmıştır.

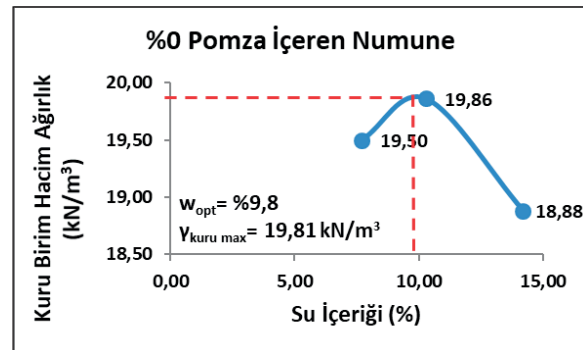
Standart ve modifiye proktor deneyleri arasındaki temel ayrım sıkıştırmanın farklı enerjilerde gerçekleştirilmesidir. Artan enerji ile maksimum kuru birim hacim ağırlık artar ve optimum su içeriği azalır. Böylece kompaksiyon eğrisi, sıfır hava boşluğu eğrisine daha yakın çıkarak daha iyi sonuç vermektedir.

Kil numunesinin hiç atık pomza malzemesi karıştırılmamış halinin otomatik modifiye proktor deneyi yapılmıştır. Elde edilen su içeriği ve kuru birim hacim ağırlığı değerleri Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. %0 pomza oranı için sonuçlar

Su İçeriği (%w)	Kuru Birim Hacim Ağırlık (γ_{dry}) (kN/m ³)
7,700	19,50
10,300	19,86
14,200	18,88

Kil numunesinden elde edilen su içeriği ve kuru birim hacim ağırlık değerlerine göre hazırlanan diyagramdan %9,8 optimum su içeriği maksimum 19,81 kN/m³ kuru birim hacim ağırlık elde edilmiştir (Şekil 8).



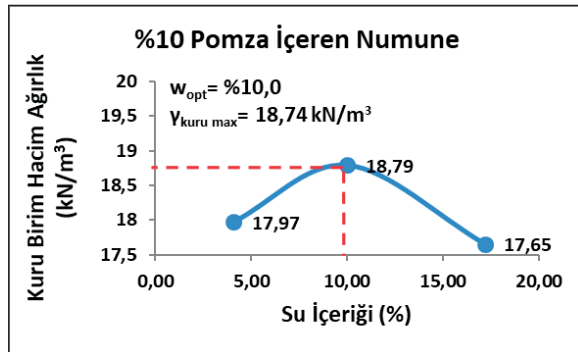
Şekil 8. Kil numunesinin optimum su muhtevası-maksimum kuru birim hacim ağırlık grafiği

Daha sonra kil numunesi, %10, %30 ve %50 oranında atık pomza malzemesi ile karıştırılarak otomatik modifiye proktor deneyi yapılmıştır. Su içeriği ve kuru birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir (Çizelge 7).

Çizelge 7. Değişik oranlardaki pomza içeriğine sahip kil numunesinin su içeriği- kuru birim hacim ağırlık değerleri

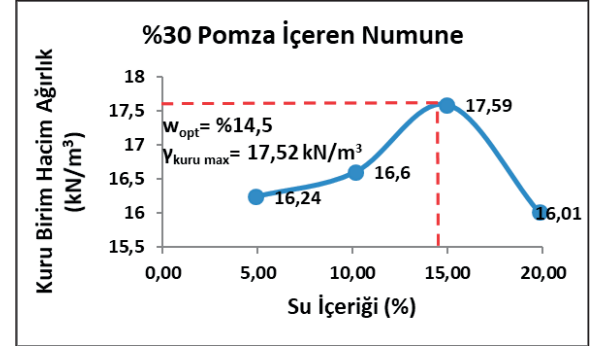
Pomza oranı	Su İçeriği (%w)	Kuru Birim Hacim Ağırlık (γ_{dry}) (kN/m^3)
	4,075	17,97
%10	10,000	18,79
	17,170	17,65
%30	4,887	16,24
	10,134	16,60
	14,947	17,59
	19,813	16,01
%50	4,757	14,81
	10,218	15,23
	15,038	15,99
	18,692	15,63

Değişik oranda kil numunesine karıştırılan atık pomza malzemesinin optimum su muhtevası-maksimum kuru birim hacim ağırlığı hesaplanmıştır. %10 oranında atık pomza içeren kil numunesinin optimum su muhtevası %10 ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı $18,74 \text{ kN/m}^3$ olarak belirlenmiştir (Şekil 9).



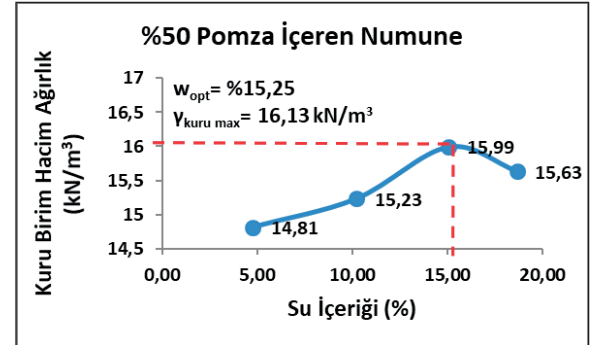
Şekil 9. %10 oranında pomza içeren kil numunesinin optimum su muhtevası-maksimum kuru birim hacim ağırlık grafiği

%30 oranında atık pomza içeren kil numunesinin optimum su muhtevası %14,5 ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı $17,52 \text{ kN/m}^3$ olarak belirlenmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. %30 oranında pomza içeren kil numunesinin optimum su muhtevası-maksimum kuru birim hacim ağırlık grafiği

%50 oranında atık pomza içeren kil numunesinin optimum su muhtevası %15,25 ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı $16,13 \text{ kN/m}^3$ olarak belirlenmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. %50 oranında pomza içeren kil numunesinin optimum su muhtevası-maksimum kuru birim hacim ağırlık grafiği

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bütün malzemeler yük uygulandığı zaman deformasyona uğramaktadır. Zeminlerde de gerilme altında hacim azalması ile birlikte kayma deformasyonu oluşmadan kompakte oldukları öngörülmektedir. Bununla beraber, zemin kütlesi hacmindeki söz konusu bu düşüş, zemin tanelerinin sıkışması, boşlukların türü, yapısı

ve sürekliliği, boşluklardaki suyun ve havanın uzaklaşma şekli ve süresine bağlı olarak farklı türde davranışlar gözler önüne sermektedir. Bu kapsamda çalışmada, farklı türde malzemelerin bir arada kullanılarak sıkışma ve su muhtevası gibi mühendislik özelliklerinin olumlu yönde iyileştirilmesinin önemi vurgulanmaktadır.

Sıkışma, kum, çakıl vb. granüler ortamlar gibi kohezyonsuz zeminlerde kısa sürede, kil ya da siltlerde ise jeolojik karakteristiğine bağlı şekilde zaman endeksli olmaktadır. Bu nedenle sıkışma, kohezyonsuz zeminlerin hakim olduğu sahalarda inşaat aşamasında gerçekleşmekte iken kohezyonlu zeminlerde düşük geçirimsizlik özelliğinden dolayı uzun yıllarda gerçekleşmektedir ve söz konusu bu davranış konsolidasyon olarak adlandırılmaktadır. Kompaksiyon ise zeminin mekanik ve fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi için mekanik araçlar kullanarak zemin bünyesindeki su ve tane hacmi sabit iken, havanın dışarı atılması olarak tanımlanmaktadır.

Tüm bu çıkarımlar değerlendirildiğinde suya doygun killi zeminlerde yük altında zamana bağlı olarak aşırı şekil değiştirmeler gözlemlenebilmektedir. Bu olumsuz etkilerden dolayı plastisitenin düşürülmesi, oturmaların azaltılması ve zemin bünyesindeki suyun olumsuz sonuçlar doğurmasının önlenmesi amacıyla zemin ortamına çeşitli iyileştirme malzemeleri gerekmektedir.

Pomza, takviye edildiği zeminlerde hava ve su geçirgenliğini düzenlemekte, infiltrasyonu artırmakta ve buharlaşmayı düşürmektedir. Pomza karıştırılan toprakta, bitki gelişimi iyileşmekte ve verim artmaktadır. Uygulandığı topraklarda çözünabilir iyon kapasitesi çok düşük olduğundan dolayı tuzluluk ve sodikliği, artırmamaktadır. Pomza nötr pH değerine sahip ve ısı iletkenliği düşüktür. Doğal haliyle kullanılması, diğer düzenleyicilere göre ekonomik, hafif ve taşınmasının kolay olması nedeniyle tercih edilen iyi bir materyaldir (Gür vd., 1997).

Kil numunesinin, ince taneli atık pomza malzemesi ile belirli oranlarda karışımından yapılan koni batma likit limit deneyleri sonucunda Çizelge 8'de verilmiştir. Pomza içeriğinin artışı, kil numunesi üzerinde likit limit değerinin azalmasına sebep olmuştur.

Çizelge 8. Değişik oranlarda pomza içeren kil numunesinin koni batma - likit limit grafiği

İnce Taneli Atık Pomza İçeriği (%)	Likit Limit Değeri (%)
0	51
10	48
30	40
50	35

Bilindiği üzere likit limit, zeminin sıvı gibi davranmaya başladığı andaki su muhtevasıdır. Bu yönden pomza karışımı ele alındığında yapı - temel ilişkisi göz önünde bulundurulursa killi zeminlerde pomza karışımı su muhtevasını düşürme eğilimindedir. Kile karıştırılan pomza miktarı arttıkça düşen su içeriğine bağlı olarak kil numunesi likit durumdan uzaklaşmakta plastik hatta yarı katı durum koşullarına ulaşarak daha stabil hale gelmektedir. Bu yönden atık pomza malzemesinin karıştırıldığı suya doygun killi zeminlerin stabilitesine olumlu katkı yapacağı öngörülmektedir. Çimen vd. (2015) çalışmalarında, yüksek plastisiteli killi yol alt yapısı için pomza stabilizasyonunun mekanik özellikleri geliştirdiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar bu doğrultuda, likit limit değerlerinin, pomzanın plastik olmayan bir malzeme olduğundan dolayı pomza oranının artmasıyla birlikte azaldığını ortaya koymuşlardır.

Kil numunesinin, ince taneli atık pomza malzemesi ile belirli oranlarda karışımından yapılan karışımın otomatik modifiye proktor deneyleri sonucunda optimum su içerikleri ve kuru birim hacim ağırlıkları Çizelge 9'da verilmiştir.

Çizelge 9. Değişik oranlardaki pomza içeriğine sahip kil numunesinin optimum su içeriği - kuru birim hacim ağırlık değerleri.

İnce Taneli Atık Pomza İçeriği (%)	Optimum Su İçeriği (%)	Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlığı (γ_{kmax}) (kN/m ³)
0,0	9,80	19,81
10,0	10,00	18,74
30,0	14,50	17,52
50,0	15,25	16,13

Kil numunesi içerisindeki pomza miktarı arttıkça optimum su içeriği artmakta ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı azalmaktadır. Güneri ve Aksoy (2020), bu davranışın beklenen bir durum olduğunu, bentonit kili – kum karışımlarına belirli oranlarda pomza ilave ederek yürüttükleri çalışmada vurgulamışlardır. Araştırmacılar, pomzanın birim hacim ağırlık değerinin kullanılan kum ve bentonitin birim hacim ağırlık değerlerine göre daha düşük olduğu için karışımın birim hacim ağırlığının azaldığını ifade etmişlerdir.

Yukarıda söz edilen karakteristiklerinden dolayı Türkiye, İtalya ve Yunanistan gibi Akdeniz ülkelerinde pomzanın hafif beton olarak kullanılabilirliğini vurgulayan Amato vd. (2012) malzemenin düşük maliyetli olmasına da dikkat çekmiştir. Bu bağlamda Hossain (2004), volkanik pomzanın inşaat malzemelerinde kullanımı üzerine potansiyeli olduğuna ilişkin çıkarımlarda bulunmuştur. Daha sonra Hossain vd. (2007), zemin iyileştirmesinde bu ve bunun gibi doğal bir biçimde oluşan kaynakların değerlendirilmesine değinmişlerdir. Ayrıca, pomza katkılı fırınlanmış harman (kil) tuğlası üzerine yapılan bir çalışmada, pomza katkı kullanarak tuğlanın birim hacim ağırlığının düşürülmesi ile birlikte yapının ölü yük değerinin azaltılması hedeflenmiştir (Gencel, 2015). %10, %20, %30 ve %40 oranında pomza katkı kullanılarak imal edilen tuğlalar 900°C ve 1000°C'ta 2 saat boyunca fırınlanmıştır ve termal iletkenlik karakteristiği ve su emme kapasitesi incelenmiştir. Araştırmacı bu çalışmaların sonucunda kullanım amacına yönelik olarak pomzanın ideal oranlarda kil ile birlikte kullanımının, stabilite, yalıtım ve su emme özelliklerinin iyileştirilmesine katkı sağladığını belirtmiştir.

Diğer bir yandan, Gökalp vd. (2011), Ankara'dan çıkarılan bentonit kili ile Kayseri İli Develi İlçesi kökenli pomza malzemesinin farklı karışım oranlarında birlikte kullanarak maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevası değişimlerini inceleyerek sıkışma karakteristiklerini ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar bu doğrultuda, ideal pomza tane boyutunu referans alarak pomza - kil karışımlarının pek çok alternatif alanda kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Bu örnekte de görüldüğü üzere lokasyon bakımından birbirine yakın olan bölgelerdeki

malzemelerin, mühendislik özellikleri ve finansal açıdan avantaj sağladığı halde bir arada kullanılması yaygın olarak gözlemlenmektedir.

Sonuç olarak, Aksaray İli Hasan Dağı çevresinde atık olarak yığın halinde istiflenen pomza malzemesinin mühendislik özellikleri belirlenerek killi zemin ortamlarında kullanılabilirliği ortaya konmuştur. Avanos kili ile Hasan Dağı ürünü olan pomza ocağı atık malzemesinin karışım oranlarına göre %9,8 ile %15,25 optimum su içerikleri aralığında sırasıyla 19,81 kN/m³ ile 16,13 kN/m³ aralığında maksimum kuru birim hacim ağırlığa ulaştığı sonucuna varılmıştır. Böylelikle karışımın, gerek arazide arzu edilen sıkışmanın elde edilmesinde gerek ise yapı malzemesi olarak kullanımı için davranışları ve mühendislik özellikleri ortaya konmuştur. Bu bakımdan, bölgede bulunan suya doymun, kıvamlı killi zemin ortamlarına belirlenen oranlarda atık pomza malzemesi ilave edilerek arazinin zemin özelliklerinin iyileştirilmesi amacına yönelik daha elverişli hale gelebileceği gösterilmiştir. Çalışmada, uygulama yapılacak suya doymun killi ortamlara saha koşullarının taşıma kapasitesi ve su içeriği göz önünde bulundurularak oluşturulan ideal karışımlar neticesinde, suya doymun, çamurumsu ortam daha stabil bir hale getirilmiştir.

Böylelikle, tek başına ayrı ayrı ele alındığında saha koşullarında değerlendirilemeyen iki farklı malzemenin bir arada kullanılarak bölgenin sorunlarının ortadan kaldırılmasına yönelik önü açılmıştır.

Elde edilen deneysel sonuçlar neticesinde üretim artışı olarak sektöre kazandırılmamış atık konumunda bulunan elek altı pomza malzemesinin killi zemin ortamlarındaki etkinliği ortaya konulmuştur.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, atık pomza malzemesinin temin edilmesinde yardımlarını esirgemeyen Maden Yüksek Mühendisi Hacı Ali EKEN'e teşekkür eder.

KAYNAKLAR

AASHTO T99, 2015. Moisture Density Relations of Soils. American Association of State Highway and Transportation Officials.

- Amato, G., Campione, G., Cavaleri, L., Minafò, G., Miraglia, N., 2012. The Use of Pumice Lightweight Concrete for Masonry Applications. *Materials and Structures*, 45(5), 679-693.
- ASTM D558, 2011. Standard Test Methods For Moisture - Density (Unit Weight) Relations of Soil - Cement Mixtures. American Society for Testing Materials.
- Başpınar, E., Gündüz, L., 2006. İnşaat Endüstrisinde Kullanılan Pomza Agregalarının Mineralojik ve Petrografik Özellikleri. IV. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul.
- Bozkurt, N., Yurdasal, B., Bozkurt, A. İ., Yılmaz, Ö., Tekin, M., 2016. Respiratory Systems of Dental Technicians Negatively Affected During 5 Years of Follow – up. *Balkan Medical Journal*, 33(4):426.
- BS 1377: Soils for Civil Engineering Purposes, Part 2: Classification Tests, 1990. 4. Determination of the Liquid Limit. British Standart Institution, England.
- BS1377-1, 2016. Methods of Test for Soils for Civil Engineering Purposes General Requirements and Sample Preparation. British Standards.
- Cox, K. G., Bell, J. D., Pankhurst, R. J., 1979. The Interpretation of Igneous Rocks. George Allen & Unwin, London. 450p.
- Çimen, Ö., 2006, Effect of Pumice to Unconfined Compressive Strength of a Clay with High Plasticity, 7th International Congress on Advances in Civil Engineering. Yıldız Technical University, İstanbul, 297.
- Çimen, Ö., Keskin, S. N., Şimşek, S., Kalay, E., 2010. Yüksek Plastisiteli Bir Kilin Mühendislik Özelliklerine Pomza ve Mermer Tozunun Etkisi. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 13. Ulusal Kongresi, Cilt 2, İstanbul Kültür Üniversitesi, 855-863.
- Çimen, Ö., Saltan, M., Keskin, S. N., 2015. Stabilization of Clayey Subgrade with Waste Pumice for Road Infrastructure. *Science and Engineering of Composite Materials*. Volume 22, Issue 5, Pages 583–590).
- Çimen, Ö., Dereli, B., Keleş, E. 2020. Üç Farklı Bölgeye Ait Pomzanın Yüksek Plastisiteli Kile Etkisinin Karşılaştırılması. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(1), 427-433.
- Dönmez, M., Akçay, A.E., Kara, H., Türkecan, A., Yergök, A.F., Esentürk, K., 2005. 1/100000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları. Aksaray-L32 paftası, MTA., Ankara.
- Ercan, T., 1985. Orta Anadolu'daki Senoziyik Volkanizması. MTA Yayınları, Ankara, s.119-140.
- Erenson, C., Terzi, N. U., Yılmaztürk, F., 2015. Displacement Behavior of Strip Footing on Pile Stabilized in Clayey Earth Slopes. *International Journal of Advanced Research*, Volume 3, Issue 12, 1100 – 1102.
- Ergün, D., Ergün, R., Evcik, E. Öziş, T. N., Akkurt, İ., 2016. The Relation Between the Extent of Radiological Findings and Respiratory Functions in Pneumoconiosis Cases of Dental Technicians who are Working in Ankara. *Tuberk Toraks*, 64(2):127-136.
- Gencil, O., 2015, Characteristics of Fired Clay Bricks with Pumice Additive. *Energy and Buildings*. Elsevier, 102, 217-224.
- Gökalp, Z., Başaran, M., Uzun, O., 2011. Compaction and Swelling Characteristics of Sand-Bentonite and Pumice - Bentonite Mixtures. *Clay Minerals*, 46(3), 449-459.
- Güneri, E., Aksoy, Y. Y., 2020. Pomza Katkısı Varlığında Kum - Bentonit Karışımlarının Hacimsel Deformasyon ve Yüksek Sıcaklık Altında Kayma Davranışlarının İncelenmesi. *Politeknik Dergisi*, Basım Aşamasında.
- Gür, K., Zengin, M., Uyanöz, R., 1997. Pomzanın Tarım ve Çevre Açısından Önemi. 1. Isparta Pomza Sempozyumu, s.125-132, Isparta.
- http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/pomza_erisim_tarihi:18.03.2019.
- http://www.maden.org.tr/mevzuat/mevzuat_detay.php?kod=25, erişim tarihi: 01.05.2020. TMMOB, 1990. Maden ve Taşocakları İşletmelerinde ve Tünel Yapımında Tozla Mücadeleyle İlgili Yönetmelik, 14.9.1990 tarih 20635 sayılı Resmi Gazete.
- Head, K. H., 1992. Manual of Soil Laboratory Testing. Volume 1, Second Edition, John Wiley and Sons, Inc., Great Britain.
- Hossain, K. M. A., 2004. Potential Use of Volcanic Pumice as a Construction Material. *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE, 16(6), 573-577.
- Hossain, K. M. A., Lachemi, M., Easa, S., 2007. Stabilized Soils for Construction Applications Incorporating Natural Resources of Papua New Guinea. *Resources, Concervations and Recycling*, 51(4), 711-731.

- Irvine, T. N., Baragar, W. R. Â., 1971. A Guide to the Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks. Canadian Journal of Earth Science, c.8,523-548.
- Keskin, S. N., Sungur, A., Akan, R., Uzundurukan, S., 2017. İnce Taneli Zeminlerde Katkı Maddelerinin Ve Donma-Çözülme Çevriminin Serbest Basınç Dayanımına Etkisi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 5(3), 473-478.
- Köksal, N., Kayhan, S., 2019. Diğer Pnömkonyozlar ve Metallerle Bağlı Akciğer Hastalıkları.
- Lee, N., Baek, K., Park, S., Hwang, I., Chung, I., Choi, W., Jung, H., Lee, M., Yang, S., 2018. Pneumoconiosis in a Polytetrafluoroethylene (PTFE) Spray Worker: a Case Report with an Occupational Hygiene Study. Ann Occup Environ Med. 2018 Jun 4;30:37.
- Moitra, S., Bandyopadhyay A., Moitra S. 2018. Mica Pneumoconiosis: a Neglected Occupational Lung Disease. Lancet Respir Med. 2018 Aug;6(8):e39.
- Na, J. P., Imanaka, M., Suganuma, N. 2017. Japanese Workplace Health Management in Pneumoconiosis Prevention. Journal of Occupational Health. 59(2):91-103.
- Orhan, M., Özer, M., Işık, N. S., 2013. Zemin Mekaniği Laboratuvar Deneyleri. Cilt I, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Rushton, L. 2017. The Global Burden of Occupational Disease. Current Environmental Health Reports. 4(3):340-348.
- Sarı, G., Piyal, B. 2019. Pnömkonyozu Önlemek; Japonya -Türkiye Karşılaştırması, Pneumoconiosis Prevention; Japan - Turkey Comparison. Bozok Medical Journal, 9(04), 162.
- Terzi, N. U., Özsoy, M. U., Yilmazturk, F., Gullu, B., Erenson, C. 2018. Effects of Tire Chips on the Shrinkage and Cracking Characteristics of Clayey Soils. Material in Tehnologije, 52(2), 143-150.
- Transport and Road Research Laboratory, (TRRL), 1993. Cone Penetrometer Test. Crowthorne, Berkshire.

