



Araştırma Makalesi / Research Article

Kahramanmaraş depremi sonrası oluşan gaz beton atıkları ile stabilize edilmiş killi kum zeminin geoteknik özelliklerinin araştırılması*Investigation of geotechnical properties of clayey sand soil stabilized with aerted concrete wastes after the Kahramanmaraş earthquake***Muhammet Çınar***Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, muhammetcinar@ksu.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5475-7787>

MAKALE BİLGİLERİ

*Makale Geçmişi:*Geliş 13 Aralık 2023
Revizyon 7 Şubat 2024
Kabul 8 Şubat 2024
Online 29 Mart 2024*Anahtar Kelimeler:**Zemin stabilizasyonu,
Killi Kum Zemin,
Kahramanmaraş Depremi,
Gaz Beton Atığı,
Aşşin Elbistan Yüksek Fırın Cürufu.*

ÖZ

Bu çalışmada Kahramanmaraş depremi sonrası oluşan gaz beton (GB) atığı ile killi kumlu zeminlerin geoteknik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca bölgede çokça üretilen Aşşin Elbistan yüksek fırın cürufu (AEC) da ilave edilerek etkisi belirlenmiştir. Killi kum zeminin mühendislik özellikleri belirlendikten sonra ağırlıkça %5,%10,%15,%20 oranında GB atığı ve %10 AEC oranı sabit olarak aynı oranlarda GB atığı katılarak karışımlar hazırlanmıştır. Karışımlara sırası ile kıvam limitleri, standart proktor, kesme kutusu, serbest basınç ve Kaliforniya taşıma oranı (CBR) deneyleri yapılmıştır. Yapılana deneylerde doğal zemin içerisine karıştırılan GB atığı oranı artıkça maksimum kuru birim hacim ağırlığın azaldığını ve optimum su içeriğinin ise artığı görülmüştür. Serbest basınç deneyi sonucunda en iyi dayanım %15 GB atığı ve %20 GB +%10 AEC karışımında elde edilmiştir. Doğal zemin ile karşılaştırıldığında sırası ile %30 ve %40 oranında artığı görülmüştür. CBR deneyi sonucuna göre GB atığı ilaveli karışım için %105 ve %10 AEC+ %15 GB atıklı karışımında %156 artış olmuştur. Sonuç olarak, deprem sebebi ile oluşan atık GB ve AEC killi kumlu zeminde kuru ağırlıkça %15 GB atığı ve %10 AEC olarak kullanılması zemin geoteknik özelliklerini iyileştirici yönde etkisi olduğu belirlenmiştir. Ayrıca deprem atığının ve sanayi yan ürün atığının bertarafı ile çevreye ve ekonomiye katkı sağlanacağı sonucuna varılmıştır.

ARTICLE INFO

*Article history:*Received 13 December 2023
Received in revised form 7 February 2024
Accepted 8 February 2024
Available online 29 March 2024*Keywords:**Soil Stabilization,
Clayey Sand Soil,
Kahramanmaraş Earthquake,
Aerated Concrete Waste,
Aşşin Elbistan Blast Furnace Slag*

Doi: 10.24012/dumf.1404478

* Sorumlu Yazar

ABSTRACT

In this study, the effect of aerated concrete (AC) waste generated after the Kahramanmaraş earthquake on the geotechnical properties of clayey sandy soils was investigated. Aşşin Elbistan blast furnace slag (AES), which is widely produced in the region, was also added and its effect was determined. After the engineering properties of the clay sand soil were determined, mixtures were prepared by adding 5%, 10%, 15%, 20% AC waste by weight and AC waste in the same proportions with a fixed 10% AES rate. Consistency limits, standard proctor, shear box, unconfined compressive pressure and California Bearing Ratio (CBR) tests were performed on the mixtures respectively. The experiments showed that the maximum dry density decreased and the optimum water content increased as the proportion of AC waste mixed into the natural soil increased. As a result of the unconfined compressive stress test, the best compressive stress value was obtained in the mixture of 15% AC waste and 20% AC + 10% AES. Compared to the natural soil, the increase was 30% and 40%, respectively. According to the CBR test results, there was an increase of 105% for the mixture with AC waste addition and 156% for the mixture with 10% AES + 15% AC waste. As a result, it was determined that the use of 15% AC waste and 10% AES by dry weight in clayey sandy soil due to earthquake-induced waste AC and AES has an effect on improving the geotechnical properties of the soil. It has also been concluded that the disposal of earthquake waste and industrial by-product waste will contribute to the environment and economy.

Giriş

Günümüzde kentleşmenin artması ile beraber daha çok yapı ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Özellikle büyük şehirlerde nüfusun artması ile yapılaşma artmakta ve sürekli yeni alanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Kent sınırları kısıtlı olduğu için mühendislik özelliği yönünden uygun olmayan zeminlere sahip bölgeler kullanıma açılmaktadır. Mühendislik özellikleri yönünden yeterli olmayan zayıf zemin bölgelerine yapılan yapılar ileride ciddi problemlere sebep olmaktadır. Zayıf zeminler, mühendislik açısından dayanımı ve taşıma kapasitesi düşük olan, genellikle yetersiz mukavemet gösteren toprak veya diğer zemin türlerini ifade eder. Zeminin dayanımı, inşaat projeleri için oldukça önemlidir çünkü yapıların sağlam ve güvenli olabilmesi için temel sağlam bir zemin üzerine oturtulması gerekmektedir. Bundan dolayı zayıf zeminler mühendislik özellikleri istenilen seviyeye gelmesi için stabilizasyon veya iyileştirme işlemi yapılmaktadır [1]. Zemin stabilizasyonu, bir zeminin dayanımını artırmak ve mühendislik açısından istenilen özelliklere ulaşmasını sağlamak amacıyla uygulanan bir dizi teknik ve işlemdir. Bu işlemler genellikle zeminin taşıma kapasitesini, su geçirgenliğini, sıkışabilirliğini ve diğer mühendislik özelliklerini iyileştirmeyi amaçlar. Zemin stabilizasyonu, inşaat projeleri için uygun temel koşullarını sağlamak ve yapıların dayanıklılığını artırmak için kullanılır. Günümüzde kimyasal, fiziksel, mekanik, termal, elektro kinetik ve biyolojik olmak üzere bir çok zemin stabilizasyon yöntemleri mevcuttur [2-5].

Zemin stabilizasyon yöntemlerinin bazıları çok maliyetli olmasından dolayı özellikler daha az maliyetli olan çeşitli katkı maddeleri ile zeminin geoteknik özelliklerinin iyileştirmesi son zamanlarda çok tercih edilmektedir. Bunun başlıca sebebi gelişen dünyada endüstriyel yan ürünler ve atık malzemelerin artmasından dolayı ciddi çevre problemlerinin ortaya çıkmasıdır. Zemin stabilizasyonunda bu atıkları kullanılması hem çevreci hemde sürdürülebilirdir. [6,7]. Zemin stabilizasyonunda katkı maddesi olarak kullanılan ürünler bazıları şunlardır; kazan altı külü, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, pirinç kabuğu külü, inşaat yıkıntı atıkları ve mermer tozu gibi çalışmalar literatürde mevcuttur [2,8,9]. Bu atıklar kolay temin edilen, üretimi sürekli, yüksek tonajlı ve maliyeti ucuz olmasından genelde tercih edilmiştir.

Bu çalışmada Kahramanmaraş depremleri sonrası oluşana inşaat yıkıntı atıklarından gaz beton atığı (GB) ve endüstriyel yan ürün olarak ortaya çıkan Afşin Elbistan yüksek fırın cürufu (AEC) farklı oranlarda karıştırılarak dayanımı düşük killi kum zeminin geoteknik özellikleri iyileştirmesi amaçlanmıştır. 6 şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrası yapılan çalışmalarda 350 milyon tonun üzerinde inşaat yıkıntı atığı oluşacağı ve bu atıkların 57 milyon tonu mineral fraksiyon atığının oluşturacağı belirtilmiştir [10]. Ülkemizde gaz beton 2015 yılında yıllık 5.1 milyon m³ üretilmekte ve bunların 4.7 milyon m³ iç piyasada satılmaktadır[11]. Özellikle 2008 ve sonrasında bölgede hem yalıtım hem de işçiliği kolay olması sebebi ile gaz

beton kullanımı ciddi miktarlarda artmıştır. Bundan çıkarımla deprem bölgesinde oluşana mineral fraksiyon atığının %50 den fazlası gaz beton atığı olduğu düşünülmektedir.

Afşin Elbistan Termik Santrali, Türkiye'nin Kahramanmaraş iline bağlı Afşin ve Elbistan ilçelerinde yer alan bir termik santral kompleksidir. Santral, linyit kömüründen elektrik üretimi yapmaktadır ve bu süreç sırasında termik santral cürufu adı verilen yan ürünler oluşmaktadır. Termik santral cürufu, genellikle uçucu olmayan mineral partiküllerden oluşan bir yan üründür. Bu cüruf, kömürün yanması sırasında ortaya çıkan yan ürünlerin bir parçası olarak oluşur. Afşin Elbistan Termik Santrali'nde üretilen yüksek fırın cürufu, genellikle endüstriyel atıklardan kaynaklanan malzeme olup, genellikle inşaat sektöründe kullanılan bir malzeme olarak değerlendirilir. AEC, inşaat sektöründe çeşitli uygulamalarda kullanılabilir. Özellikle beton ve asfalt üretiminde agrega olarak kullanılabilir. Ayrıca AEC içerisindeki yüksek silika, kalsiyum, alüminyum ve oksijen olmasından dolayı zayıf zeminlerin dayanımını artırmak ve stabilizasyonu sağlamak amacıyla kullanılmaktadır[6].

Alpyürür ve Şenol [11] yaptıkları deneysel çalışmada gaz beton, öğütülerek kullanılmış ve farklı zemin tiplerine etkisini araştırılmıştır. Yapılan çalışmada yüksek plastisiteli kil, düşük plastisiteli kil zemin ve kum zemin numuneleri ile 5, 10, 15, 20, 25% karıştırılarak deneyler yapılmıştır. Gaz beton atığı katkısı ile kil zeminlerin serbest basınç mukavemeti ve CBR değerlerinin, kum zeminin ise kayma mukavemeti açısından arttığı belirlenmiştir. Ayrıca yüksek plastisiteli numunesinin şişme basıncı ve şişme yüzdesinde önemli derecede azalmalar tespit edilmiştir. Yapılan bu çalışmada optimum katkı oranları, kil ve kum zeminler için kuru ağırlıkça %10-15 olarak bulunmuştur.

Lakkimsetti ve Nayak [12], çalışmalarında yüksek fırın cürufunu killi zemin özelliklerini iyileştirmek amacı ile kullanmıştır. Zemine kuru ağırlıkça %10 ile %45 arasında farklı oranlarda karıştırarak taşıma gücü ve kayma mukavemeti değerleri belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre en optimum katkı oranı %10 ve üzerindeki karışım oranlarında olduğunu ve serbest basınç dayanımı 2.5 katta kadar arttığı tespit edilmiştir.

Bilici ve diğerleri [13], yaptığı deneysel çalışmada killi bir zemine uçucu kül ve yüksek fırın cürufu ilave ederek zeminin basınç dayanımını belirlemeye çalışmıştır. Karışıma kireç oranı % 3 sabit tutularak, uçucu kül oranı 3, 6, 9, 12% ve yüksek fırın cürufu oranları 3, 6, 9, 12, 15% olarak farklı oranlarla karışım hazırlanmıştır. Deney sonuçlarına göre en iyi oran %3 kireç + %9 yüksek fırın cürufu karışımında sağlanmıştır. Kür süresine bağlı olarak ise UK katkısının YFC katkılı serilere oranla serbest basınç dayanımı üzerinde çok daha önemli seviyede dayanım artışına neden olduğu belirlenmiştir.

Geçkil ve diğerleri [14], çalışmasında yüksek fırın cürufu ilave ederek killi kumlu zemine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada %5 ile %30 aralığında yüksen

fırın cürufu ilave edilerek proktor deneyi, serbest basınç deneyi ve CBR deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre en iyi sonuç %10 yüksek fırın cürufu katkılı karışımda elde edilmiştir. Bu katkı oranında serbest basınç dayanımı ve CBR değeri 1.26 ve 2.06 kat artış gözlemlenmiştir.

Uysal ve diğerleri [15], çalışmasında uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu ve cam tozu ile stabilize edilmiş ince daneli zeminin mühendislik özelliklerini belirlemektir. İnce daneli zemin, kuru ağırlığının %10, %20, %30, %40 ve %50 oranında atık malzeme kullanılarak stabilize edilmiştir. Deney sonuçlarına göre, yüksek fırın cürufunun plastisite indisinin azaltılması ve drenajsız kayma mukavemetinin artırılmasında en etkili atık olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, artan silis dumanı oranı ve %20 atık oranından sonra yüksek fırın cürufu ile cam tozunun lineer rötreyi azalttığı tespit edilmiştir.

Avcı ve diğerleri [16], çalışmasında, çok ince taneli yüksek fırın cürufu çimento ile stabilize edilmiş düşük plastisiteli killi zeminin tek eksenli serbest basınç dayanımı, sıkışabilirlik ve şişme potansiyeli gibi bazı geoteknik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Öncelikle, %8, %10 ve %12 oranlarında çok ince taneli yüksek fırın cürufu çimento ile karıştırılarak elde edilen killi zemin numunelerinin temel geoteknik özellikleri deneysel olarak tespit edilmiştir. Daha sonra, optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığında sıkıştırılmış çok ince taneli yüksek fırın cürufu çimento katkılı killi zemin numuneler üzerinde tek eksenli serbest basınç, sıkışabilirlik ve şişme deneyleri yapılmıştır. Deneysel veriler, düşük plastisiteli killi zeminin çok ince taneli yüksek fırın cürufu çimento ile stabilize edilme sonrası, 90. gün sonunda dayanımının açık ortamda bekletilen numunelerde 9 ile 14 kat, streçe sarılı halde bekletilmiş numunelerde 9 ile 12 kat arasında arttığını göstermiştir.

Literatür incelendiğinde gaz beton atıkları için sınırlı çalışma olduğu, yüksek fırın cürufu için ise farklı çalışmalar mevcuttur. Ancak incelenen çalışmalarda gaz beton ve Afşin Elbistan yüksek fırın cürufu beraber kullanılmadığı görülmüştür. Bu çalışmada killi kumlu zemine ağırlıkça 5, 10, 15, 20% oranında gaz beton atığı ve 10% Afşin Elbistan yüksek fırın cürufu sabit tutularak 5, 10, 15, 20% oranında gaz beton atığı ilave edilerek kıvam limitleri, standart proktor deneyi, kesme kutusu deneyi, serbest basınç deneyi ve Kaliforniya taşıma oranı (CBR) deneyi yapılmıştır. Bu çalışmanın temel amacı deprem sonrası oluşana yüksek miktarlardaki atık gaz beton kullanılarak çevre kirliliğini en aza indirmek ve zayıf zeminlerin geoteknik özelliklerini iyileştirmektir. Ayrıca yüksek tonajlarla üretilen Afşin Elbistan yüksek fırın cürufu bertaraf etmek amaçlanmıştır.

Materyal ve Metot

Materyal

Çalışmada kullanılan killi kumlu zemin Kahramanmaraş Onikişubat İlçesi Maarif Mahallesinden alınmıştır. Bu zemin özelliklerini belirlemek için elek analizi, kıvam limitleri deneyleri yapılmıştır. Gaz beton atıkları Kahramanmaraş depreminde hasar görüp

yıkılmış bir binadan alınmıştır. Deneylerde kullanılmak için öğütülmüş ve 2 mm elekten elenerek kullanılmıştır. Afşin Elbistan yüksek fırın cürufu Afşin Elbistan Termik Santralinden temin edilmiştir. Tablo 1 de zeminin fiziksel özellikleri ve Tablo 2 de yüksek fırın cürufun bileşenleri gösterilmektedir.

Tablo 1. Zemin Fiziksel Özellikleri

Özellik	Değer
Tane Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)	26.5
Likit Limit (%)	40
Plastik Limit (%)	23
Plastisite İndeksi (%)	17
Optimum Su İçeriği (%)	20
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	14.75
Birleştirilmiş Zemin Sistemine Göre Sınıflandırılması	SC

Tablo 2. Afşin Elbistan Yüksek Fırın Cürufunun Bileşenleri

Kimyasal Bileşikler	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	LOI	Özgül Ağırlığı	Blaine İncelik (cm ² /g)
Ağırlıkça (%)	34.5	40	11.15	0.25	9.4	0.1	1.2	0.35	2.98	2.87	4100

Metot

Deneysel çalışmalara başlamadan önce gaz beton atıkları araziden alınarak öğütülmüştür. Daha sonra gaz beton atıkları ve zemin numunesi 24 saat süre ile etüvde kurutulmuştur. Literatürde yapılmış çalışmalar dikkate alınarak zemin içerisine ağırlıkça %5, %10, %15, %20 oranında GB atığı ilave edilmiştir. Daha sonra benzer şekilde %10 AEC sabit tutularak %5, %10, %15, %20 oranında GB atığı ilave edilmiştir[11,14]. Hazırlanan numunelerde kıvam limitleri, standart proktor deneyi, kesme kutusu deneyi, serbest basınç deneyi ve Kaliforniya taşıma oranı (CBR) deneyi yapılmıştır. Deneyler sırası ile önce doğal zeminde daha sonra ikili karışım olarak doğal zemin + GB (5, 10, 15, 20%) ve daha sonra üçlü karışım olarak doğal zemin + %10 AEC + GB (5, 10, 15, 20%) olarak yapılmıştır. Şekil 1 de deneyler için hazırlanan üçlü karışım örneği görülmektedir.



Şekil 1. Gaz Beton ve Afşin Elbistan Yüksek Fırın Cürufu Ekleilmiş Kumlu Kil Zemin Örneği

Çalışmada öncelikle kıvam limitleri deneyi yapılmıştır. Bu deney kapsamında likit limit ve plastik limit belirlenmiştir. Likit limit değerinden plastik limit değeri çıkarıldığında plastisite indeks bulunmuş olur. Kıvam limitleri, zeminin mühendislik özelliklerini anlamak ve tasarım yapmak için kullanılır. Kıvam limitleri, zeminin taşıma kapasitesi, zeminin kuruma çatlama veya şişmesi gibi davranışları anlamak için önemlidir. Özellikle inşaat mühendisliği ve zemin mekaniği projelerinde kullanılan bu limitler, zeminin işlenebilirliği ve taşıma kapasitesi gibi önemli özellikleri değerlendirmek için kullanılır. Kıvam limitleri deneyleri ASTM D4318-10 [17] standardına göre yapılmıştır.

Standart proctor deneyi, zeminin optimum su içeriğini ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı belirlemek amacıyla kullanılan bir laboratuvar deneyidir. Özellikle toprak dolgu malzemelerinin uygun yoğunlukta ve nem içeriğinde yerleştirilmesi için önemli bir testtir. Bu deney, zeminin işlenebilirlik özelliklerini ve taşıma kapasitesini değerlendirmek için kullanılır. Bu çalışmada yapılan standart proctor deneyi, ASTM D698-12 [18] standartlarına göre yapılmıştır.

Standart proctor deneyinden belirlenen optimum su içeriğini ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerinde numuneler hazırlanarak serbest basınç deneyleri ASTM D2166-16 [19] standardına göre yapılmıştır. Hazırlanan numuneler özenle çapı 50mm boyu 100mm olan kaplardan çıkarılmıştır. Numunelerin boy bölü çap oranı 2 ile 2.5 arasında olması gerekmektedir. Deney başlamadan önce eksenel deformasyon oranı dakikada %1.2 olacak şekilde cihaz bilgi girişi yapılır. Örneklerde deformasyon oranı %15 oluncaya kadar yükleme devam eder ve kırım gerçekleştiğinde test cihazı otomatik durur.

CBR deneyi için numuneler belirlenen optimum su içeriğini ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerinde hazırlanmıştır. CBR kalıbına yerleştirilen ve tabaka tabaka sıkıştırılan numuneler ASTM D1883-21' e [20] göre gerçekleştirilmiştir. Piston numuneye 2.5 mm ve 5 mm batması sonucu uygulana yükün standarda belirtilen yük e oranlayarak elde edilen yüzde CBR değeri olarak belirlenmiştir. Bulunan iki değerden en yükseği nihaiyi CBR değeri olarak değerlendirilir.

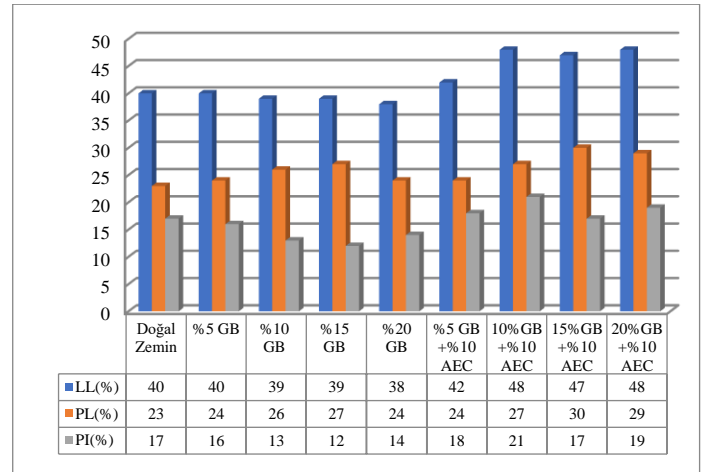
Kesme kutusu deneyi, zeminin kesme direncini değerlendirmek ve zeminin dayanıklılığını anlamak amacıyla yapılan bir deneydir. Bu deney, özellikle zemin mühendisliği ve inşaat projelerinde zeminin taşıma kapasitesini, dayanıklılığını ve davranışını değerlendirmek için kullanılır. Hazırlanan karışımlar 60x60x25 mm boyutlarındaki deney kalıbına yerleştirilmiştir. Deney 0.002 mm/sn yükleme hızında ve ASTM D3080M-11 [21] standartlarında yapılmıştır.

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Doğal zeminin içerisine ağırlıkça %5, %10, %15, %20 oranında GB atığı ilave edilmiştir. Daha sonra benzer

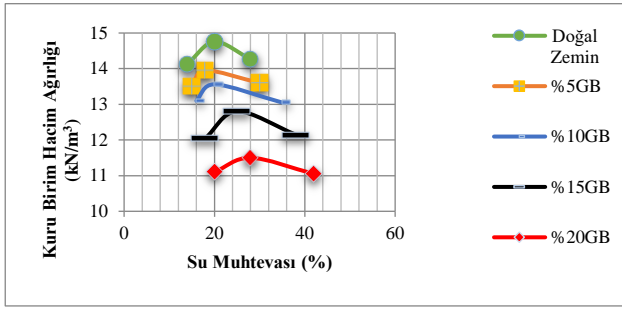
şekilde %10 AEC sabit tutularak %5, %10, %15, %20 oranında GB atığı ilave edilmiştir. Hazırlanan numunelerde kıvam limitleri, standart proctor deneyi, kesme kutusu deneyi, serbest basınç deneyi ve CBR deneyi yapılmıştır.

Sonuçlara göre ikili karışım (GB+killi-kum) likit limit değeri GB atığı oranı artıkça azalmış, plastik limit değeri de atık oranı artıkça arttığı görülmüştür. Bundan dolayı plastisite indeksi de GB atık oranı artıkça azaldığı görülmüştür. Bunun başlıca sebebi GB atığının yüksek oranlarda silis kumundan oluşmasından kaynaklanmaktadır. Yapısı gereği su tutmasından kaynaklı olarak likit limit değerini azaltmıştır. Ayrıca plastisite indeksi düşürerek işlenebilirliği artırdığı görülmüştür. Plastisite indeksi %15 GB karışımında en düşük olarak belirlenmiştir. Literatürde de Alpyür ve Şenol [11] yaptığı çalışmada benzer sonuçlar tespit etmiştir. Üçlü karışım (Killi-kum+%10 AEC+GB) atık oranı artıkça likit limit, plastik limit değeri artmış ve plastisite indeksi %15GB karışımında düştüğü görülmüştür. Kıvam limitleri deneyinde hem ikili karışım hem de üçlü karışım %15 GB karışımı en iyi sonuç verdiği görülmüştür.

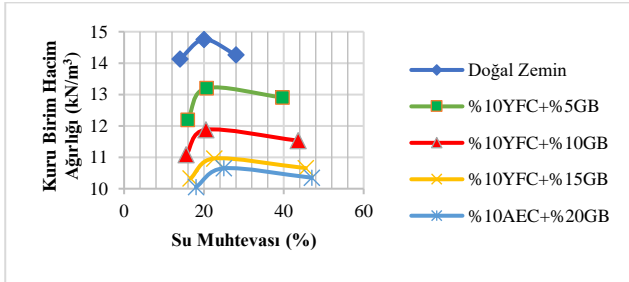


Şekil 2. Kıvam Limitleri Deney Sonuçları

Standart proctor deneyi doğal zemin ve tüm karışım numunelerinde sırası ile yapılmış ve kuru birim hacim ağırlık ve su içerikleri bulunmuştur. Bulunan değerlere göre kompaksiyon eğrileri Şekil 3'te gösterilmiştir. Şekil 3a ikili karışım ve Şekil 3b üçlü karışım grafikleri incelendiğinde, doğal zemin içerisine karıştırılan GB atığı oranı artıkça maksimum kuru birim hacim ağırlığın azaldığını ve optimum su içeriğinin ise arttığı görülmektedir. Bunun sebebi kıvam limitleri kısmında bahsedildiği gibi GB atığının su emme kapasitesinin fazla olduğundan ve doğal zeminin daha ince taneli ve hafif olmasından kaynaklanmaktadır. İnce daneli ve hafif olan GB atığı doğal zemine eklendikçe kütleyi azalttığı ve çok su emdiği için optimum su içeriğini artırdığı görülmüştür. Benzer sonuçlar literatürde tespit edildiği görülmüştür [11,14].



a.



b.

Şekil 3. Standart Proctor Deneyi Kompaksiyon Eğrileri
a. Killi-Kum+GB Atığı b. Killi-Kum+%10 AEC+GB Atığı

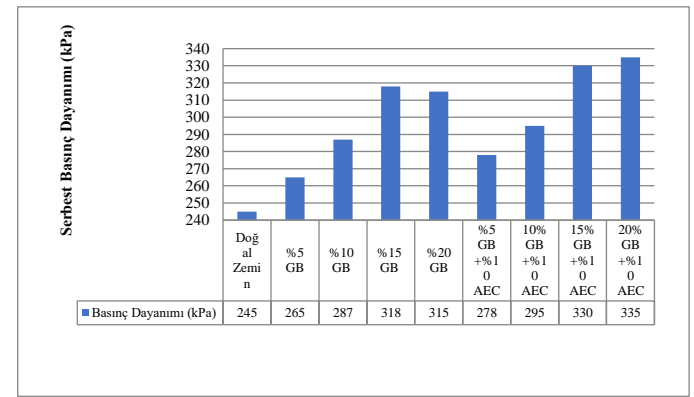
Kesme kutusu deneyi kumlu zeminlerin kayma direncini, içsel sürtünme açısı ve kohezyonları belirlemede kullanılan bir deneştir. Karışımların içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerleri optimum su muhtevasında hazırlandıktan sonra değerler hesaplanarak Tablo 3 gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde GB atığı tek başına ilave edilen zeminlerde %15 katkı oranına kadar içsel sürtünme açısının arttığı gözlemlenmiştir. Fakat üçlü karışımlarda içsel sürtünme açısı ilave GB atığı ile düştüğü görülmüştür. GB atığının ilave edildiği durumda içsel sürtünme açısının artmasının başlıca sebebi GB'nin silis kumundan imal edilmiş olmasından kaynaklı olarak artırdığı düşünülmüştür. AEC ilaveli üçlü karışımda çok etki etmemesi ve düşmesinin sebebi de AEC tanelerinin daha ince ve yuvarlak yapıya sahip olmasından dolayı içsel sürtünme açısını azaltmış ve kohezyonu da artırdığı görülmüştür.

Tablo 3. Karışımların İçsel Sürtünme Açısı ve Kohezyon Değerleri

	Doğal Zemin	%5 GB	%10 GB	%15 GB	%20 GB	%5 GB +%10 AEC	10%GB +%10 AEC	15%GB +%10 AEC
İçsel Sürtünme Açısı(ϕ)	40	41	42	43	40	41	35	35
Kohezyon (c, kPa)	19.3	18.1	17.5	17.2	16.8	11.7	23.8	18.7

Serbest basınç deney sonuçları Şekil 4 gösterilmiştir. Serbest basınç deneyi için her bir numuneden üç tane hazırlanmıştır. Deneyler 7 günlük kür süresi için yapılmıştır. Doğal zemin kumlu killi bir zemin olduğu için basınç dayanımı 245 kPa olarak bulunmuştur. GB atığı ilavesi ile beraber serbest basınç dayanımı arttığı

görülmüştür. En yüksek değer 318 kPa ile %15 GB atığı karışımında elde edilmiştir. Doğal zemin dayanım değeri ile karşılaştırıldığında %30 artış gözlemlenmiştir. Doğal zemin killi kumlu bir zemin olduğu için içerisindeki kil zeminin bir arada tutmayı sağlamış ama GB atığı ilavesi artması ile beraber gevrek davranış gözlemlenmiştir. Üçlü karışımlarda AEC etkisi ile beraber serbest basınç deney sonuçları sadece GB atığı ile yapılmış numunelere göre daha iyi çıktığı görülmüştür. En yüksek değeri 335 kPa olarak %20 GB +%10 AEC karışımından elde edilmiştir. Ayrıca doğal zemin serbest basınç değeri ile karşılatıldığında %40 bir artış olduğu görülmüştür. Bu artışın başlıca sebebi AEC'nin içerisindeki CaO değerinin yüksek olmasından dolayı puzolanik bir malzeme olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatüre bakıldığında Geçkil ve diğerleri [14] benzer sonuçlar bulduğu görülmüştür.



Şekil 4. Karışımlara Göre Serbest Basınç Dayanımı Sonuçları

Serbest basınç deneyi ve diğer deneylerde en iyi sonuçlar ikili ve üçlü karışımların %15 GB atığı katkılı sonucu olduğundan CBR deneyleri için 7 günlük kür süresi için doğal zemin, %15 GB atığı+Doğal Zemin ve %15 GB atığı+%10 AEC+ Doğal zemin numuneleri hazırlanarak deneyler yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre 2.5mm ve 5mm batma değerleri en yüksek değerlendirmeye alınarak doğal zemin %6.55, %15 GB atıklı karışımda %13.5 ve %15 GB atığı+%10 AEC için %16.8 olarak bulunmuştur. Doğal zemin sonucuna göre artış GB atığı ilaveli karışım için %105 ve %10 AEC+%15 GB atıklı karışımda %156 olarak bulunmuştur. Deney sonuçları Tablo 4 gösterilmiştir. Literatürde daha önceki yapılmış CBR deney sonuçlarına göre Look [22] bir çalışma yapmıştır. Look [22] göre CBR yüzdelere göre yol alt dolgu malzemesi olarak kullanılıp kullanılmayacağını değerlendirmiştir. Çalışmaya göre CBR sonuçları <%1 ise son derece zayıf, %1-%2 arasında ise çok zayıf, %2-%3 zayıf, %3 ile %10 arası orta, %10 ile %30 arası güçlü (alt temel dolgusu olarak kullanılabilir), >%30 Çok güçlü (Alt temel- temel- dolgu malzemesi olarak kullanım uygundur.) olarak değerlendirmiştir. Look [20] sonuçlarına göre %15GB ve %15GB+%10AEC karışımları ilave edildiğinde doğal zemin alt temel dolgusu olarak kullanıla bileceği görülmüştür [23].

Tablo 4. Doğal Zemin, %15 GB atığı ve %15 GB atığı +%10 AEC numunelerin CBR deneyi sonuçları

	CBR (%)	
	2.5 mm batma	5 mm batma
Doğal Zemin	6.55	6.05
% 15 GB	13.5	12.6
15%GB +%10 AEC	16.8	16.2

SONUÇLAR

Killi-kumlu zeminin geoteknik özellikleri belirlemek üzere farklı oranlarda ilave edilerek hazırlanmış depremden sonra ortaya çıkan gaz beton atığı ve Afşin Elbistan yüksek fırın cürufu karışımların etkisi araştırılmıştır. Yapılan kıvam limitleri, standart proktor, kesme kutusu, serbest basınç ve CBR deneylerinin sonuçları aşağıda belirtilmiştir.

- İkili karışım (GB+killi-kum) likit limit değeri GB atığı oranı artıkça azalmış, plastik limit değeri de atık oranı artıkça arttığı görülmüştür. Bundan dolayı plastisite indeksi de GB atık oranı artıkça azaldığı görülmüştür. Üçlü karışım (Killi-kum+%10 AEC+GB) atık oranı artıkça likit limit, plastik limit değeri artmış ve plastisite indeksi %15GB karışımında düştüğü görülmüştür. Kıvam limitleri deneyinde hem ikili karışım hemde üçlü karışım %15 GB karışım için en iyi sonuç verdiği görülmüştür.
- Standart proktor deneyi sonuçlarına göre, doğal zemin içerisine karıştırılan GB atığı oranı artıkça maksimum kuru birim hacim ağırlığın azaldığını ve optimum su içeriğinin ise arttığı görülmektedir.
- Kesme kutusu deneyine göre GB atığı tek başına ilave edilen zeminlerde %15 katkı oranına kadar içsel sürtünme açısının arttığı gözlemlenmiştir. Fakat üçlü karışımlarda içsel sürtünme açısı ilave GB atığı ile düştüğü görülmüştür. AEC tanelerinin daha ince ve yuvarlak yapıya sahip olmasından dolayı içsel sürtünme açısını azaltmış ve kohezyonu da artırdığı görülmüştür.
- Serbest basınç deneyi 7 günlük kür süresi için yapılmış ve doğal zemin kumlu killi bir zemin olduğu için basınç dayanımı 245 kPa olarak bulunmuştur. GB atığı ilavesi ile beraber serbest basınç dayanımı arttığı görülmüştür. En yüksek değer 318 kPa ile %15 GB atığı karışımında elde edilmiştir. Doğal zemin dayanım değeri ile karşılaştırıldığında %30 artış gözlemlenmiştir. Üçlü karışımlarda AEC etkisi ile beraber serbest basınç deney sonuçları sadece GB atığı ile yapılmış numunelere göre daha iyi çıktığı görülmüştür. En yüksek değeri 335 kPa olarak %20 GB +%10 AEC

karışımından elde edilmiştir. Ayrıca doğal zemin serbest basınç değeri ile karşılaştırıldığında %40 bir artış olduğu görülmüştür.

- CBR deney sonuçlarına göre doğal zemin %6.55, %15 GB atıklı karışımında %13.5 ve %15 GB atığı+%10 AEC için %16.8 olarak bulunmuştur. Doğal zemin sonucuna göre artış GB atığı ilaveli karışım için %105 ve %10 AEC+ %15 GB atıklı karışımında %156 olarak bulunmuştur. Look [22] sonuçlarına göre karşılaştırıldığında %15GB ve %15GB+%10AEC karışımları ilave edildiğinde doğal zemin alt temel dolgusu olarak kullanılabileceği görülmüştür.

Sonuç olarak, deprem sebebi ile oluşana atık gaz betonun ve Afşin Elbistan yüksek fırın cürufunun killi kumlu zeminde kuru ağırlığınca %15 gaz beton atığı ve %10 yüksek fırın cürufu olarak kullanılması zemin geoteknik özelliklerini iyileştirici yönde etkisi olduğu belirlenmiştir. Ayrıca deprem atığının ve sanayi yan ürün atığının bertarafı ile çevreye ve ekonomiye katkı sağlanacağı sonucuna varılmıştır.

Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur.

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- [1] M Çınar, ve B. Erbaşı, “Geoteknik Uygulamalarda Geopolimerlerin Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, Literatür Çalışması”, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(4), 774-789, 2022.
- [2] H.Canakci, A. Aram and F. Celik, “Soil stabilization of clay with lignin, rice husk powder and ash”, *Geomechanics and Engineering*, 8,1, 67-79, 2015.
- [3] M. Çınar ve K. Erbaşı, “Zemin İyileştirmesinde Kullanılan Jet Grout Yönteminde Çimento Yerine İkame Edilen Atık Malzemelerin Mekanik ve Reolojik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi: Literatür Araştırması”, *OKÜ Fen Bil. Ens. Dergisi*, c. 6, sy. 2, ss. 1742–1767, 2023.
- [4] F. Çelik, M. Çınar, and O. Akcuro, “Utilization of waste bottom ash as mineral additive with partial replacement of cement in geotechnical grouting works based on mechanical features”, *Arabian Journal of Geosciences* 15,14, 1290, 2022.
- [5] W. S. Sidik, H. Canakci, I. H. Kilic, and F. Celik, “Applicability of bio cementation for organic soil and its effect on permeability” *Geomech Eng*, 7(6), 649-663, 2014.
- [6] M. Şahin, M. Mahyar, and S. T. Erdoğan, “Afşin Elbistan uçucu külü ve yüksek fırın cürufu içeren çimentosuz bağlayıcılar hazırlanması.” *In Proc.*, 9th

- National Concrete Congress*, 2015, April, pp. 181-190.
- [7] M. Çınar, Utilization of Earthquake Demolition Wastes and Afşin-Elbistan Fly Ash for Soil Improvement After Kahramanmaraş Earthquake (6 February 2023). *Sustainability*, 16(2), 538, 2024.
- [8] H. Güllü, and H. İ. Fedakar, "Use of factorial experimental approach and effect size on the CBR testing results for the usable dosages of wastewater sludge ash with coarse-grained material" *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 22(1), 42-63, 2018.
- [9] M. Çınar, M. Karpuzcu and H. Çanakçı, "The measurement of fresh properties of cement-based grout containing waste marble powder", *Measurement*, 150, 106833, 2020.
- [10] G. Doğdu, and S. N. Alkan, "Deprem Sonrası Oluşan İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Değerlendirilmesi: 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri" *Artvin Çoruh Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 1.1, 38-50, 2023.
- [11] M. Alpyürür, and Ş. Aykut, "Yüzeysel zemin iyileştirmesinde yeni bir malzeme olarak atık gazbeton kullanımı", *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9.2, 168-178, 2018.
- [12] B. Lakkimsetti, and N. Sitaram, "Experimental Investigation and Performance Evaluation of Lithomargic Clay Stabilized with Granulated Blast Furnace Slag and Calcium Chloride", *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 8.1, 12, 2022.
- [13] H. Bilici, D. V. Okur, M. Türköz, ve H. Savaş, "Kil Zeminin Dayanımı Üzerinde Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılarının Etkisi ve Karşılaştırmalı Analizi", *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 9, sy. 2, ss. 910–919, 2020, doi: 10.17798/bitlisfen.598525.
- [14] T. Geçkil, T. Sarıcı, ve Ö. N. Çetkin, "Killi Kum Zeminlerin Dayanımı Üzerinde Yüksek Fırın Cürufunun Etkileri", *OKÜ Fen Bil. Ens. Dergisi*, c. 6, sy. 2, ss. 1159–1174, 2023.
- [15] F. Uysal, V. Yılmaz, ve H. M. Topçu, "Farklı Atık Malzemeler ile Stabilize Edilmiş İnce Daneli Zeminin Mühendislik Özellikleri", *Çukurovaummfd*, vol. 35, no. 1, pp. 19–26, 2020, doi: 10.21605/cukurovaummfd.764507.
- [16] E. Avcı, M. Mollamahmutoglu, E. Deveci, ve A. Gökçe, "Çok ince taneli yüksek fırın cürufu çimento ile stabilize edilmiş düşük plastisiteli killi zeminin mühendislik özellikleri", *GUMMFD*, vol. 36, no. 2, pp. 985–996, 2021, doi: 10.17341/gazimmfd.642402.
- [17] Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA. ASTM D4318-10, 2010.
- [18] Standart Test Methods for Laboratory Compaction Characteristic of Soil Using Standart Effort. ASTM International. West Conshohocken, PA. ASTM D698-12, 2012.
- [19] Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil, ASTM International, West Conshohocken, PA. ASTM D2166/D2166M-16, 2016.
- [20] Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA. ASTM D1883-21, 2021.
- [21] Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions, ASTM International, West Conshohocken, PA. ASTM D3080/D3080M-11, 2011.
- [22] Look, B. Handbook of Geotechnical Investigation and Desing Tables. Netherlands: Taylor Francis, 2007, 157.
- [23] M. Tanyıldızı ve M. Çınar, "The Effect of The Bearing Capacity of Sub-Grade Soil on The Thickness and Cost of The Superstructure of Chip Seals", *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 12, sy. 2, ss. 376–386, 2023, doi: 10.17798/bitlisfen.1213673.