

ATIK YÜZ MASKESİNİN DÜŞÜK PLASTİSİTELİ KİL ZEMİNİN SERBEST BASINÇ MUKAVEMETİNE VE KAYMA DALGASI HIZINA ETKİSİ

Yağmur UZUNKAYA¹, Eren BALABAN², Burak GÖRGÜN^{3*}

¹Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği ABD,
ORCID No : <https://orcid.org/0009-0008-6561-7577>

²Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-9559-0127>

³Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-7681-863X>

Anahtar Kelimeler	Öz
Atık yüz maskesi Bender element Serbest basınç dayanımı Maksimum kayma modülü Zemin iyileştirilmesi	Covid-19 pandemisi ile birlikte dünya genelinde tek kullanımlık yüz maskesi kullanımı büyük artış göstermiştir. Bu kullanılan maskelerin artışı çevre için büyük tehdit oluşturmakla birlikte, bertaraf edilmesi de problem olarak ortaya çıkmıştır. Bu problemin çözümü için yüz maskelerinin zemin iyileştirmede kullanımının bir yöntem olacağı düşünülmüştür. Bu nedenle 0,5*3 cm boyutlarındaki yüz maskeleri %0,2-0,4-0,6-0,8-1 oranlarında düşük plastisiteli kil ile karıştırılarak Bender element ve Serbest basınç deneylerine tabi tutulmuştur. Yapılan serbest basınç deney sonuçlarına göre yüz maskesinin belirli bir orana kadar dayanımı arttırdığı, daha sonra ise dayanımı düşürdüğü görülmüştür. Yapılan bender element testlerine göre maske liflerinin yüksek birim hacim ağırlıkta kayma dalgası hızının azalmasına ancak düşük birim hacim ağırlığındaki numunelerde kayma dalgası hızının öncelikle arttığı, daha sonra azaldığı görülmüştür.

INFLUENCE OF WASTE FACE MASK ON UNCONFINED COMPRESSION TEST STRENGTH AND SHEAR WAVE VELOCITY OF LOW PLASTICITY CLAY

Keywords	Abstract
Waste face mask Bender element Unconfined compression strength Maximum shear modulus Soil improvement	Use of disposable face masks has increased significantly around the world with the Covid-19 pandemic. While the increase in these used masks poses a great threat to the environment, their disposal has also emerged as a problem. It was thought that the use of face masks in soil improvement would be a method to solve this problem. Therefore, 0.5*3 cm sized face masks were added to low plasticity clay with a ratio of 0.2-0.4-0.6-0.8-1%. Samples are prepared at different unit weights. Unconfined compression and bender element tests are conducted to determine the effects of face masks to strength and small strain stiffness. Unconfined compression test results showed that the face mask inclusion increased the strength up to a certain extent and then decreased the strength. Shear wave velocity of the samples decreased for high unit weights but, increased initially and then decreased in case of low unit weight samples.

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi

Kabul Tarihi

: 19.12.2023

: 29.04.2024

Research Article

Submission Date

Accepted Date

: 19.12.2023

: 29.04.2024

* Sorumlu yazar: burak.gorgun@bilecik.edu.tr
<https://doi.org/10.31796/ogummf.1407114>

1. Giriş

İnşaat mühendisliğinde, yapıların inşası için hem yüksek bütçelere hem de uzun süreçlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Zemin, insanlık tarihi boyunca en yaygın kullanılan ve belki de en karmaşık yapı malzemesidir. Yapıların oturduğu zemin, güvenli yapı tasarımında büyük bir önem taşımaktadır. Artan nüfus ve şehirleşme dolayısıyla kullanılabilir alanlar azalmaktadır. Bu



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

nedenle yapılacak olan yapılar için elverişli olmayan zeminlerin bulunduğu bölgelerde de inşaatlar yapılmaktadır. Böyle durumlarda zeminlerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Bir zeminin deprem sırasındaki davranışını belirleyebilmek için öncelikle zeminin sınıfı, kıvam limitleri, dane çapı dağılımı, özgül ağırlığı gibi fiziksel özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Eğer zemin, üzerine inşa edilen bir yapı için uygun değilse, bu yapının hasar görmesine neden olabilir ve orada bulunan insanların can ve mal güvenliğini tehlikeye atabilir. Geçmişte yaşanan depremlerden sonra yapıları en çok etkileyen parametrelerden birinin üzerine inşa edildikleri zeminin özellikleri olduğu görülmüştür. Deprem nedeniyle boşluk suyu basıncının artması ve bu boşluk suyu basınçları sonrasında oluşan oturmalar ile deprem sırasında zeminlerde meydana gelen yatay deformasyonlar, zeminlerin fiziksel ve mekanik özelliklerine bağlı olarak değişmektedir (Ural, 2011). Bir taşıyıcı olarak zemin, üzerine inşa edilecek yapı için uygun özelliklere sahip olmadığı durumda, zemin özelliklerinin iyileştirilmesi ile çözüm elde edilebilir. Teknik nedenlerin yanı sıra, iyileştirilecek ortamın büyüklüğü, üzerindeki yapının önemi, kullanılacak malzemelerin tedarik koşulları, işin süresi ve maliyeti, işverenin tutumu gibi diğer faktörler de seçilecek iyileştirme yöntemini belirlemektedir. Kısaca zayıf zeminin iyileştirilmesindeki amaç; taşıma gücünün artırılması, stabilitenin sağlanması, zemin büyütme ve sıvılaştırma gibi problemlere karşı önlem alınması, zeminin kurutulması, korozyon ve erozyonun önlenmesi olarak sayılabilir. Konsolidasyon-deplasman esaslı titreşimli sıkıştırma, enjeksiyon, kontrollü kazı-dolgu, dinamik sıkıştırma, vibro-beton kolon, ahşap/precast kazık, delikli kazık gibi bilinen klasik yöntemlerin yanı sıra jet grout ve derin karıştırma yöntemleri gibi daha çağdaş zemin iyileştirme yöntemleri de mevcuttur. Zemine katkı maddeleri ekleyerek iyileştirme yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Günümüzde hızla artan insan nüfusu ve teknoloji ile birlikte çok sayıda atık ortaya çıkmaktadır. Son zamanlarda atık malzemelerin zemine katkı maddesi olarak kullanımı söz konusudur. Zemine istenilen özellikleri kazandırılması ve atık malzemelerin değerlendirilmesinden dolayı, atık malzemeler kullanılarak zemin iyileştirilmesi çok önemli bir konu haline gelmiştir. Tüm dünyayı etkisi altına alan pandeminin etkisinden korunmak için Dünya Sağlık Örgütü başta olmak üzere birçok ülkenin Sağlık Bakanlığı yetkilileri maske kullanımını tavsiye etmiş ve gerekli olduğunu vurgulamıştır (Dünya Sağlık Örgütü, 2020). Bu durum 2020 yılında dünya genelinde ayda 129 milyar maske kullanımına, ülkemizde ise günde 50 milyon kullanılmış maskenin tıbbi atık haline gelmesine yol açmıştır (Anadolu Ajansı, 2021). Maske kullanımıyla birlikte plastik üretiminde çok ciddi bir artış olmuş, 2015 yılında 381 milyon ton plastik üretilirken, plastik atıkların %55'i çöpe atılmış, %25'i yakılmış ve sadece

%20'si geri dönüştürülmüştür (Ak, 2020). Tıbbi atıkların geri dönüşümü uygun olmadığından, doğada 450 yıl kalan maskeler yakılarak bertaraf edilmektedir (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2021). Atık maskelerin yakılması ciddi karbon salınımına neden olarak küresel iklim değişikliğine karşı yapılan çalışmaları olumsuz olarak etkilemektedir. Atık maskelerin zeminin iyileştirilmesi amacıyla kullanılması hem bu karbon salınımının önüne geçecek hem de maskelerin doğaya atılmasını engelleyecektir.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Son yıllarda pandeminin etkisi ile ortaya çıkan atık maskelerin yakılarak bertaraf edilmesi yerine zemin iyileştirmesinde kullanılması yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Rehman ve Khalid (2021) yaptıkları çalışmada kilin mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla atık maske kullanmışlardır. Silis dumanı ve atık maske ile bunların ikili karışımlarını kullanarak kil zeminin fiziksel ve mekanik özelliklerinin değişimini incelemişlerdir. Çalışmalarında tek eksenli basınç deneyi ile CBR deneylerini kullanmışlardır. CBR deneyinde 7, 14 ve 28 gün kürede bıraktıkları numuneler üzerinde analizler gerçekleştirmişlerdir. Yazarlar kile maske ve silis dumanı ile bunların karışımlarını eklediklerinde kuru birim hacim ağırlığın azaldığını su muhtevasında ise artış olduğunu bulmuşlardır. Silis dumanı katılan numunelerde drenajsız kayma mukavemetinde artış meydana geldiğini ancak numunelerde ani yenilme gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Maske karışımlarının da benzer şekilde silis dumanı kadar olmasa da drenajsız kayma mukavemetini yükselttiğini belirten yazarlar %0.9'dan sonraki oranlarda ise serbest basınç dayanımının katkısız kile göre azaldığını söylemişlerdir. Aynı zamanda kile atık maske katılmasının yenilme davranışını değiştirmediğini belirten yazarlar maske ve silis dumanının beraber kullanılmasının da etkisinin bu yönde olduğunu söylemişlerdir. CBR deneyinde ise hem silis dumanının hem de atık maskenin bu değeri arttırdığını belirterek bu iki atığın karışımının ise CBR deneyinde en iyi değerleri verdiğini belirten yazarlar altyapı çalışmalarında kil ile bu karışımların kullanılabilirliğini ifade etmişlerdir (Rehman ve Khalid, 2021). Ullah ve diğ. 2023 yılında yaptıkları çalışmada kil zemine geopolimer küspe külü (GKK) ile geopolimer taşıcağı tozu (GTT) ve bunların yüz maskesi (YM) ile oluşturulan ikili karışımlarını (İK) ilave ederek numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Ayrıca karışımların mikroyapı analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Fiziksel deneyler ile karışımların kıvam limitlerini tespit eden yazarlar, mekanik deneylerde ise tek eksenli basınç deneyi ile CBR (California Bearing Ratio) deneylerini kullanmışlardır. Mikroyapı analizlerini ise XRD, EDAX ve SEM analizi ile gerçekleştirmişlerdir. Kıvam limitleri deneylerinde GTT ve GKK katılmasının likit limit ve

plastik limit oranını düşürdüğünü belirtmişlerdir. 0, 7 ve 28 günlük kür uygulanan karışım numunelerinde yapılan CBR deneylerinde kür ile CBR değerinin arttığı en yüksek değer $\dot{I}K$ ile %0.2 YM karışımlarından elde ettiği görülmüştür. Bu durum tek eksenli basınç deneylerinde de benzer bulunmuştur. Drenajsız kayma mukavemeti değeri en yüksek $\dot{I}K$ ile %0.2 YM karışımlarında tespit edilmiştir. Tek eksenli basınç deneyinde 0, 3, 7 ve 28 günlük kürler uygulanmış ve kür oranı arttıkça karışımlarda drenajsız kayma mukavemetinin arttığı görülmüştür. İÇyapı analizlerinde yazarlar yenilmenin maskelerin bulunduğu yerlerden olduğunu belirtmişlerdir (Ullah, Khalid, Rehman, Shah, Khan ve Ijaz, 2023). Wang ve diğ. 2023 yılında yaptıkları çalışmada kil zemine eski ve yeni maskeler katarak karışımların geoteknik özelliklerinin değişimini incelemişlerdir. Fiziksel ve mekanik deneyler gerçekleştiren yazarlar, karışımların iç yapısını incelemek için SEM analizi yapmışlardır. Üç eksenli UU deneyi kullanarak yapılan incelemelerde, yeni maskenin çekme gerilmesinin eski maskeye göre %15 daha fazla olduğu, %0,1 oranındaki maskenin en yüksek kayma gerilmesine ulaştığı gözlemlenmiştir. Farklı çevre basınçlarında yapılan analizlerde, çevre basıncı azaldıkça maskelerin mukavemete etkisinin daha fazla olduğunun görüldüğü belirlenmiştir. %0,1 oranındaki maskelerde deviatör gerilmesinin %20 oranda arttığını belirten yazarlar, SEM analizinde ise maske şeritleri ile zemin taneleri arasındaki sürtünmeye bağlı olmak üzere zeminin kayma mukavemetinin arttığını belirtmişlerdir (Wang, Zhang, Wei, Wang ve Li, 2023). Ghadr ve diğ. yaptıkları çalışmada (2022) kum zeminlere maske katarak karışımların mekanik özelliklerinin değişimini üç eksenli CU deneyi ile incelemişlerdir. 30 adet farklı karışımlarla yapılan deneylerde maske oranı, maske boyutları ve efektif gerilme değiştirilerek incelemeler yapılmıştır. Maske ilavesinin kumun fiziksel özelliklerine etkisini incelemek amacıyla SEM analizi gerçekleştirmişlerdir. Ottawa kumu ve deniz kumu ile gerçekleştirilen üç eksenli deneylerde maske oranı arttıkça kayma mukavemetinin arttığı gözlenmiş olup, %0,5 oranında maske ilavesiyle en yüksek kayma mukavemetinin elde edildiği, bu orandan sonra ise düşüş olduğu gözlenmiştir. Artan maske oranının mukavemete etkisi maske uzunluğu arttıkça artış göstermiştir. Daha düşük efektif gerilmelerde maskenin mukavemete etkisinin daha fazla olduğu gözlenmiştir. Maske boyutundaki değişim ele alındığında, maske uzunluğu arttıkça başlangıçta boşluk suyu basıncında bir miktar artış olduğu, ardından büyük bir düşüş olduğu yazarlarca gözlemlenmiştir. Ayrıca maske oranındaki artışın, içsel sürtünme açısından artış meydana getirdiği görülmüştür (Ghadr, Chen, Liu ve Hung, 2022).

Cheng ve Leong (2018) yaptıkları çalışmada, zeminlerin sönüm oranını bender element deney sonuçlarını kullanarak belirlemiştir. Hilbert dönüşüm metodu

kullanılarak bender element deney sonuçlarından sönüm oranlarını elde etmişlerdir. Elde edilen sönüm oranları rezonant kolon deneyinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmaya göre bender element deneyi ve Hilbert dönüşümden elde edilen sönüm oranları ile rezonant kolon deneyi ile elde edilen sönüm oranları arasında oldukça az bir farkın olduğu görülmüştür (Cheng ve Leong, 2018). Khosravi ve diğ. (2020) yaptıkları çalışmada silt ile hazırlanan numunelerin değişen hidromekanik yükleme koşulları altında küçük deformasyon kayma modülünün değişimi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, siltin doyunluğunun küçük deformasyon kayma modülünü etkilediğini göstermiştir. Kuruma sürecinde, siltin doyunluğu azaldıkça kayma modülü artmıştır. Bunun nedeni, suyun zemindeki etkileşimlerin önemli bir bileşeni olan kapiler gerilmelerin azalmasıdır (Khosravi, Hashemi, Ghadirianniari ve Khosravi, 2020). Kumar ve Shinde (2019) bender element test verilerini analiz etmek için yeni bir yöntem tanıtmıştır. Yazar kuru-doymuş kum ve cam boncuk üzerinde farklı şekillerde giriş frekansları, çevre basınçları ve boşluk oranları için bender element ve rezonans kolon testi yapmıştır. Önerilen yöntemden elde edilen verilerle rezonans kolon verileri karşılaştırmış ve sonuçların uyumunu gözetmiştir. Önerilen yöntemin bender element test verilerini başarıyla analiz ettiği ve rezonans kolon testleri ile uyumlu sonuçlar ürettiği vurgulanmaktadır (Kumar ve Shinde, 2019). Ingale ve diğ. (2019) yaptıkları çalışmada sonlu elemanlar yöntemine dayalı Abaqus isimli programda geliştirdikleri kod ile zemin kesme dalgası hızını bulmayı hedeflemişlerdir. Altı farklı zemin türü için yaptıkları bender element deneyleri ile elde edilen sonuçlar geliştirilen sonlu elemanlar yönteminden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçların uyumlu oldukları görülmüştür (Ingale, Patel ve Mandal, 2020).

Literatürde yapılan çalışmalarda, yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre yüz maskesinin belirli bir yüzdeye kadar dayanımı arttırdığı, sonrasında artan yüz maskesi oranıyla dayanımın düştüğü görülmüştür. Yapılan bu çalışmada farklı oranlarda atık yüz maskesi ilave edilen düşük plastisiteli bir kilin düşük deformasyon altındaki kayma modülü bender element deneyleriyle elde edilmiştir. Yapılan serbest basınç testleriyle atık yüz maskesinin kilin serbest basınç dayanımına olan etkisi de ortaya konmuştur. Böylelikle atık yüz maskelerinin farklı oranlarda karıştırıldığı zeminin dinamik ve statik özelliklerini nasıl etkilediği ortaya konmuştur.

3. Yöntem

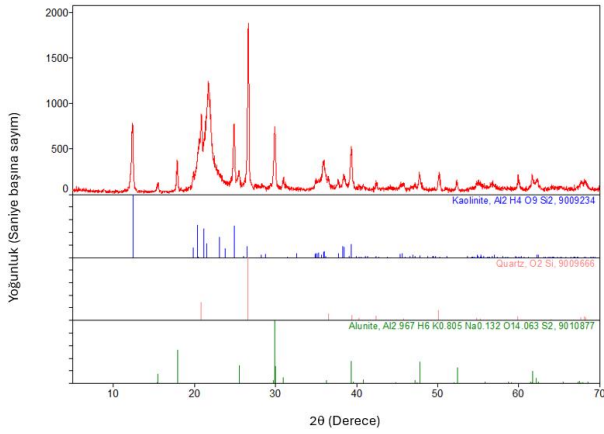
Yapılan bu çalışmada Balıkesir kaolini kullanılmıştır. Kaolin kilinin öncelikle özgül ağırlığı standarda göre belirlenmiştir (ASTM D854, 2014). Daha sonra plastik limit ve likit limit standarda göre belirlenmiştir (ASTM

D4318, 2018). Elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Kilin Fiziksel Özellikleri

Özgül Ağırlık	Likit Limit	Plastik Limit	Plastisite İndeks
2,61	28	20	8

Çalışmada kullanılan kil numune üzerinde XRD analizi yapılarak içeriğindeki elementler belirlenmiştir (Şekil 1). XRD analiz sonuçları aşağıdaki Tablo 2'de verilmiştir.

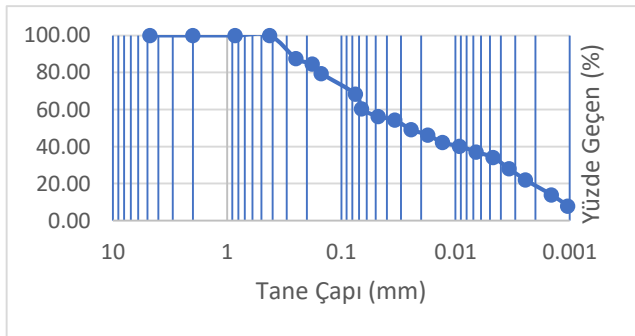


Şekil 1. Çalışmada Kullanılan Kilin XRD Grafiği

Tablo 2. Çalışmada Kullanılan Kilin Kimyasal Özellikleri

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	SO ₃ (%)
71,4	17,2	9,2	0,5	0,51	0,4	0,2	0,1	0,1
7	1	9	9	3	0	8	2	

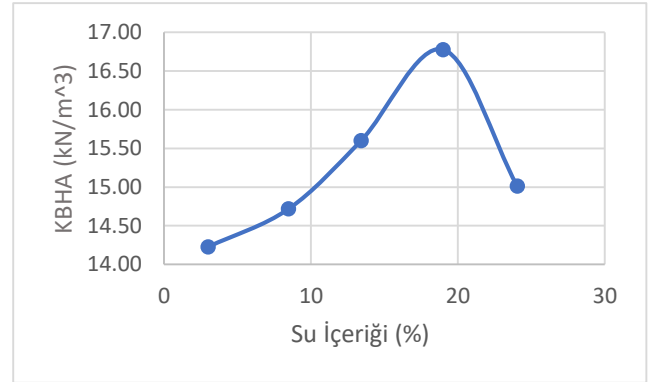
Kullanılan kilin granülometri eğrisi ise Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Çalışmada Kullanılan Kilin Granülometri Eğrisi

Kullanılan numunenin maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevasının belirlenebilmesi için standart proktor deneyi yapılmıştır. Standart proktor deney sonuçlarına göre kullanılan numunenin maksimum kuru birim hacim ağırlığı (KBHA) 16,78

kN/m³ ve optimum su muhtevası ise %19 olarak bulunmuştur. Deney sonucunda elde edilen KBHA ve su muhtevası ilişkisi Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3.Çalışmada Kullanılan Kile Ait Standart Proktor Eğrisi

Bender element ve serbest basınç deneylerinde kullanılacak numuneler, optimum su muhtevasında ancak farklı birim hacim ağırlıklarda olacak şekilde azaltılmış kompaksiyon yöntemiyle çapı 7 cm, boyu 14 cm olacak şekilde hazırlanmıştır (Daniel ve Benson, 1990; Güney ve diğ., 2008). Numune hazırlanırken sıkıştırma işlemi proktor tokmağı ile üç aşamada yapılmıştır.

Literatürde yapılan incelemeler kullanılan maske boyutlarının 1cm (Rehman Khalid, yıl, 1cm), Samadzadeh ve diğ., yıl, 2cm, Ghrdr ve diğ. 1-2cm) ile 2cm arasında değiştiğini göstermektedir. Bu çalışmada kullanılan maske boyutları literatüre benzer ancak farklılık oluşturmak amacıyla 0.5-3cm olarak seçilmiştir.

Çalışmada kullanılan atık yüz maskeleri 0,5*3 cm boyutlarında olup numunenin kuru ağırlığının %0,2, %0,4, %0,6, %0,8 ve %1 oranlarında karıştırılmıştır. Hazırlanan karışıma kilin optimum su muhtevası kadar su eklenmiş ve numuneler statik kompaksiyon yöntemiyle hazırlanmıştır. Farklı birim hacim ağırlıklarda numune hazırlanabilmesi için her bir tabakaya 5, 9 ve 11 vuruş yapılmıştır. Deneyler sırasında elde edilen sonuçları doğrulamak amacıyla üç adet özdeş numuneler hazırlanmış ve test edilmiştir. Hazırlanan numunelerin farklı vuruş sayılarına göre elde edilmiş birim hacim ağırlıkları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Çalışma Sırasında Kullanılan Numunelerin Birim Hacim Ağırlıkları

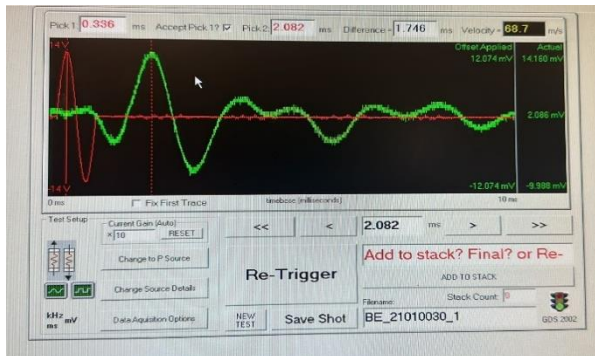
Maske İçeriği	5 Vuruş	9 Vuruş	11 Vuruş
%	ρ (gr/cm ³)	ρ (gr/cm ³)	ρ (gr/cm ³)
0	1,80	1,89	1,95
0,2	1,78	1,88	1,93
0,4	1,51	1,61	1,63
0,6	1,51	1,61	1,68
0,8	1,51	1,59	1,68
1	1,60	1,73	1,71

Bender element deneyi standarda uygun olarak ve GDS marka bender element deney seti kullanılarak yapılmıştır (ASTM D8295, 2019). Bender element deney aleti temel olarak iki parçadan oluşmaktadır. Her iki parçanın ucunda ise piezoelektrik malzemeler bulunmaktadır. Deney sırasında verici piezoelektrik malzemeye uygulanan voltaj ile kayma dalgası üretilmektedir. Üretilen bu kayma dalgası numune içerisinden geçerek alıcı proba ulaşır. Kayma dalgasının gönderildiği an ile alıcıda alındığı an arasındaki zaman farklı osiloskop yardımıyla belirlenir. Numune boyu önceden bilindiği için numunenin kayma dalgası hızı aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$V_s = \frac{L}{t}$$

Burada V_s kayma dalgası hızı, L numune boyunu ve t ise kayma dalgasının numune içerisinden geçme süresidir.

Bender element deneyinde dalga periyodu 0,8 ms olarak seçilmiştir. Bender element deneyinde kayma dalgası hızı giriş sinyalinin pik noktası ve çıkış sinyalinin pik noktası seçilerek belirlenmiştir. Şekil -4'te örnek bir bender element test sonucu paylaşılmıştır. Hazırlanmış tüm numuneler üzerinde Serbest basınç deneyi standarda göre yapılmıştır (ASTM D2166, 2006). Serbest basınç deneyinde yükleme hızı 1mm/dak olarak seçilmiştir.



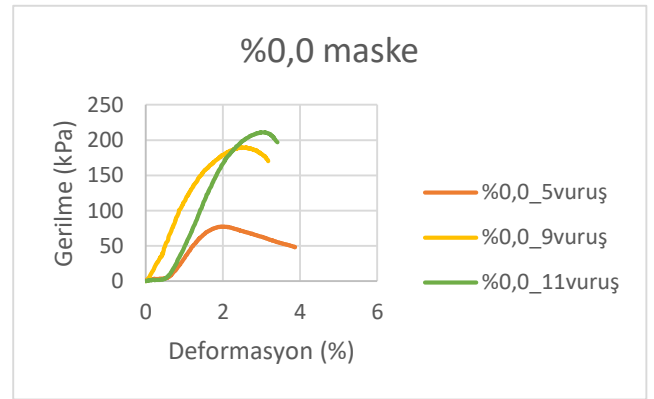
Şekil 4. Bender Element ile Kayma Dalgası Hızının Belirlenmesi

4. Bulgular

Yapılan serbest basınç ve bender element deneylerinde, zemine 0,5*3cm boyutlarında ve %0-0,2-0,4-0,6-0,8-1,0 farklı oranlarda katılan atık maske ilavesine bağlı olarak gerilme-deformasyon ve kayma hızı dalgası sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak bulunan değişim grafikleri Şekil4-Şekil 12 arasında verilmiştir.

Yapılan serbest basınç deneylerine göre, serbest basınç dayanımı numune yoğunluğu artarken artmaktadır. Benzer şekilde birim hacim ağırlık arttıkça numunelerin kırılma anındaki deformasyon miktarlarında da artış gözlenmiştir.

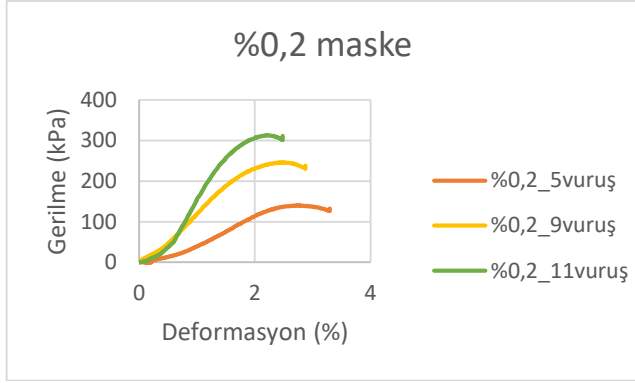
Şekil 5'de atık maske lifi ilavesiz numunelerin serbest basınç deney sonuçları verilmiştir. Vuruş sayısındaki artışla beraber, numune yoğunluğu artmıştır. Serbest basınç dayanımı en yüksek 11 vuruşla hazırlanan numunede 210 kPa olarak ölçülmüştür.



Şekil 5. %0,0 Maske İlaveli ve 5-9-11 Vuruş Sayılı Serbest Basınç Numunelerinin Gerilme Dayanımı ve Deformasyon İlişkisi

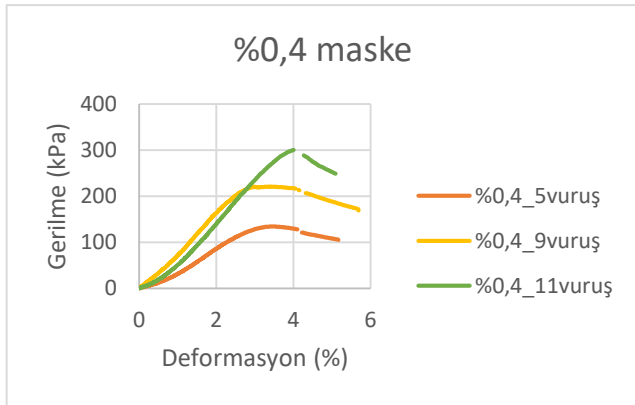
Şekil 5'e bakıldığı zaman en düşük mukavemete sahip numunelerin en düşük yoğunluğa sahip numuneler olduğu görülmüştür. Bununla birlikte yine Şekil 4'te görülebileceği üzere numune yoğunluğunun arttıkça numune sünekliği de artmıştır.

Farklı birim hacim ağırlıklarda oluşturulan ve %0,2 atık maske içeren numunelerin serbest basınç test sonuçları Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6'daki sonuçlara göre atık maskeli numunelerde artan birim hacim ağırlıkla birlikte serbest basınç dayanımı da artmıştır. En yüksek serbest basınç dayanımı ise 312 kPa olarak bulunmuştur.



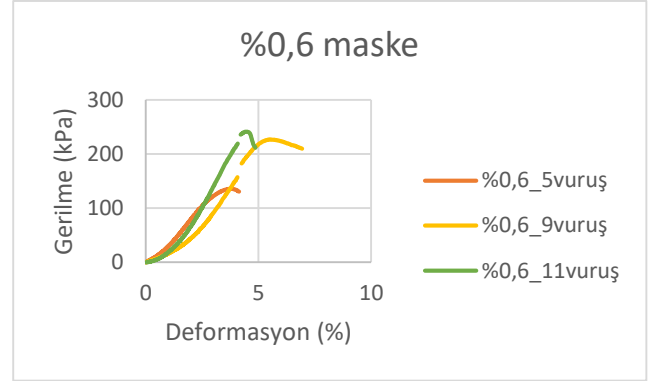
Şekil 6. %0,2 Maske İlaveli ve 5-9-11 Vuruş Sayılı Serbest Basınç Numunelerinin Gerilme Dayanımı ve Deformasyon İlişkisi

%0,4 atık maske içeren numunelerde de en yüksek serbest basınç değeri yoğunluğu en büyük olan numune de ölçülmüştür. Ölçülen en büyük serbest basınç dayanımı 300 kPa olmuştur. Numunelerin serbest basınç deneyi sırasında göstermiş oldukları gerilme-deformasyon eğrileri Şekil 7'de görülmektedir.



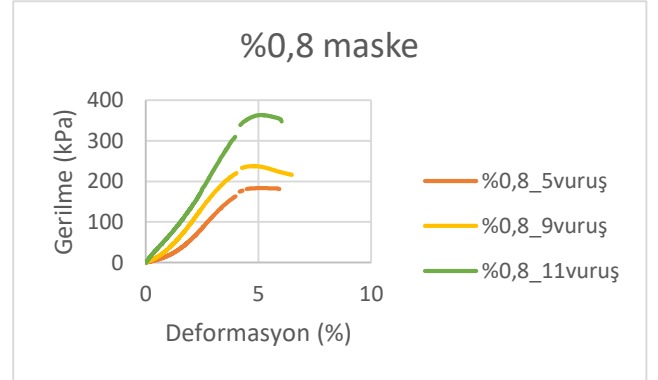
Şekil 7. %0,4 Maske İlaveli ve 5-9-11 Vuruş Sayılı Serbest Basınç Numunelerinin Gerilme Dayanımı ve Deformasyon İlişkisi

%0,6 atık maske lif ilaveli numunelerin serbest basınç dayanımının %0,4 atık maske içeren numunelere göre daha az olduğu Şekil 8'de görülürken, elde edilen en yüksek serbest basınç mukavemeti 239 kPa olmuştur. Numune yoğunluğu azaldıkça, serbest basınç mukavemet değeri de azalmıştır.



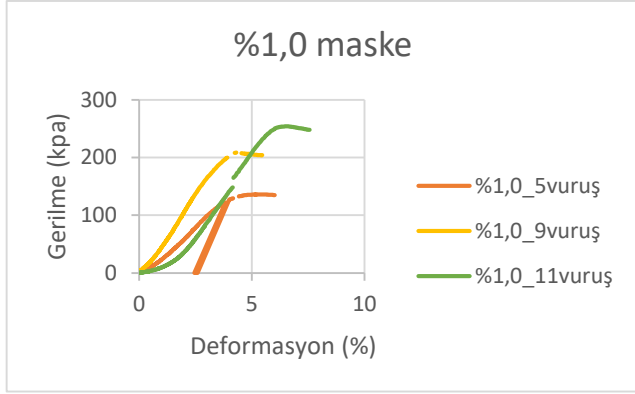
Şekil 8. %0,6 Maske İlaveli ve 5-9-11 Vuruş Sayılı Serbest Basınç Numunelerinin Gerilme Dayanımı ve Deformasyon İlişkisi

Atık maske oranı %0,6'dan %0,8'e çıktığı zaman serbest basınç değerlerinde oldukça büyük bir artış meydana gelmiştir. Meydana gelen bu artış ile birlikte en yüksek serbest basınç mukavemeti tüm birim hacim ağırlıklar için %0,8 atık maske içeren numunelerde görülmektedir. En yüksek birim hacim ağırlıkta hazırlanan numunenin serbest basınç mukavemeti 363 kPa olarak bulunmuştur. %0,8 atık maske içeren numunelerin serbest basınç mukavemet değerleri Şekil 9'da verilmiştir.



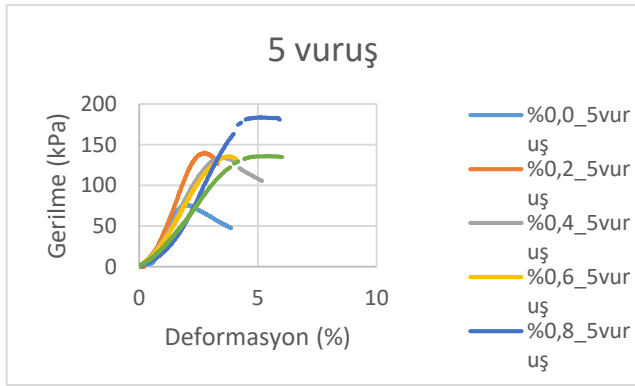
Şekil 9. %0,8 Maske İlaveli ve 5-9-11 Vuruş Sayılı Serbest Basınç Numunelerinin Gerilme Dayanımı ve Deformasyon İlişkisi

Şekil 10'da verilen %1 atık maske içerikli serbest basınç deney sonuçları görülmektedir. Verilere göre en yüksek gerilme değeri 11 vuruşla hazırlanan numune de 253 kPa olarak ölçülmüştür.



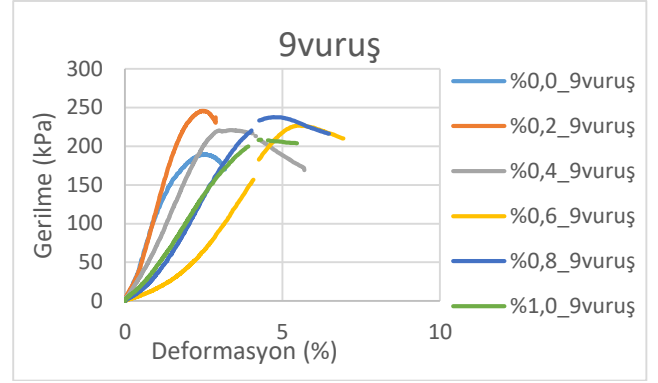
Şekil 10. %1,0 Maske İlaveli ve 5-9-11 Vuruş Sayılı Serbest Basınç Numunelerinin Gerilme Dayanımı ve Deformasyon İlişkisi

5 vuruş uygulanarak en düşük yoğunluğa sahip olacak şekilde oluşturulan numunelerin serbest basınç dayanımları Şekil 11’de verilmiştir. Deneyler sonucunda en yüksek serbest basınç dayanımı %0,8 atık maske lifi içeren numunede 183 kPa olarak bulunmuştur. Şekil 10’da görülebileceği üzere, atık maske ilavesi %0,8’lik orana kadar serbest basınç dayanımını artırırken daha sonra düşmesine neden olmuştur. Atık maske lifi ilave edilen numunelerin kırılma anındaki deformasyon miktarının atık maske lifi arttıkça arttığı görülmüştür.



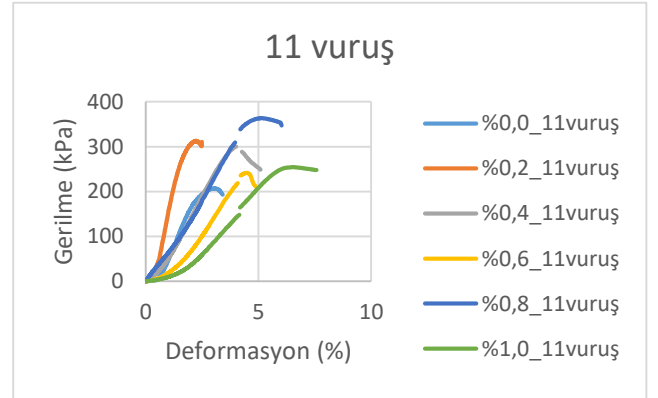
Şekil 11. Serbest Basınç Numunesi Vuruş Sayısı 5 ve %0,0-0,2-0,4-0,6-0,8-1,0 Maske Oranları ile Hazırlanan Numunelerin Gerilme Dayanımı ve Deformasyon İlişkisi

Şekil 12’de, 9 vuruş uygulanarak oluşturulan numunelerin serbest basınç grafikleri verilmiştir. Verilen değerlere göre en yüksek serbest basınç dayanımının %0,2 atık maske içeren numunelerde ortalama olarak 246 kPa olduğu görülmüştür. Numunelerde, atık maske oranı %0,6 olana kadar sünek kırılma meydana geldiği ancak atık maske oranının artmasıyla birlikte numunelerin daha gevrek bir şekilde kırıldığı görülmüştür.



Şekil 12. Serbest Basınç Numunesi Vuruş Sayısı 9 ve %0,0-0,2-0,4-0,6-0,8-1,0 Maske Oranları ile Hazırlanan Numunelerin Gerilme Dayanımı ve Deformasyon İlişkisi

Şekil 13’te, 11 vuruş uygulayarak en yüksek birim hacim ağırlıkta oluşturulan numunelerin serbest basınç dayanımı verilmiştir. Yapılan deneylerde en yüksek basınç dayanımının %0,8 atık maske ilaveli olan numunede 363 kPa olduğu gözlemlenmiştir.

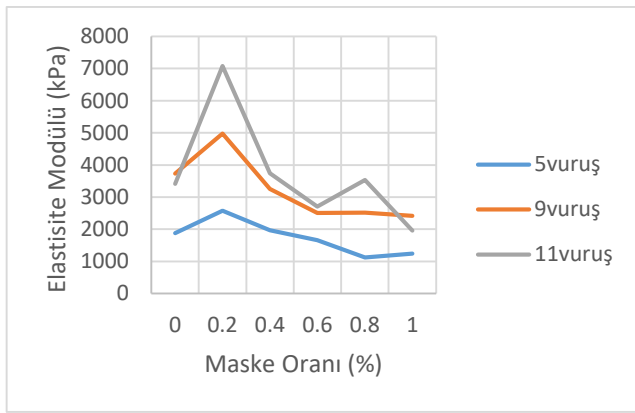


Şekil 13. Serbest Basınç Numunesi, Vuruş Sayısı 11 ve %0,0-0,2-0,4-0,6-0,8-1,0 Maske Oranları ile Hazırlanan Numunelerin Gerilme Dayanımı ve Deformasyon İlişkisi

Hazırlanan numunelerin elastisite modülleri incelendiği zaman numune yoğunluğu arttıkça elastisite modülünün arttığı görülmüştür. 11 vuruş yapılarak hazırlanan katkısız numune ile 9 vuruş ile hazırlanan katkısız numunenin elastisite modülünün hemen hemen aynı olduğu aşağıdaki Şekil 13’te görülmektedir. En düşük elastisite modülüne sahip numuneler ise tüm katkı oranları için 5 vuruş ile oluşturulan numuneler olduğu yine Şekil 13’te görülmektedir. Numunelere ilave edilen atık maske miktarı elastisite modülünde değişikliklere yol açmaktadır. Atık maske oranı %0,2 olduğu zaman farklı yoğunluğa sahip olan tüm numunelerde elastisite modülünün arttığı görülmüştür. Ancak en yüksek artışın 11 vuruş ile hazırlanan numunede olduğu görülmüştür.

Farklı vuruş sayıları ve farklı atık maske oranı ile yapılan deneylerin sonucunda en yüksek değeri alan numune içeriği %0,2 atık maske oranı ve 11 vuruş sayısı ile hazırlanan numune olduğu görülmüştür. Bu değer 7073 kPa olarak ölçülmüştür.

Daha sonra tüm numunelerde elastisite modülünün artan atık maske oranı ile birlikte azaldığı görülmüştür. Atık maske oranı %0,8'den %1'e çıktığı zaman elastisite modülünde meydana gelen azalma miktarının daha az olduğu Şekil 14'te görülmektedir. Bununla birlikte %0,8'lik atık maske katkısının en yoğun numunenin elastisite modülünde artış meydana getirdiği de görülmektedir.

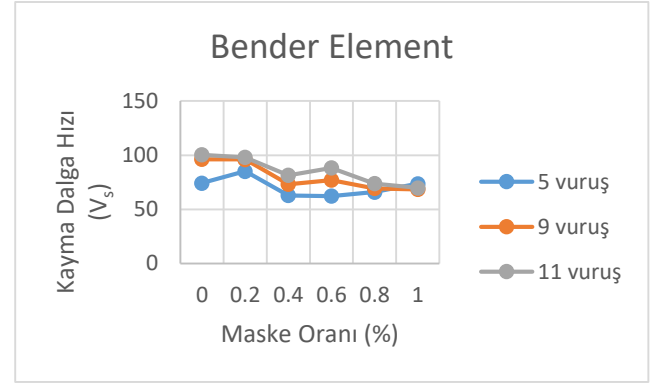


Şekil 14. 5-9-11 Vuruş Sayısı ile Hazırlanan Numunenin, %0,0-0,2-0,4-0,6-0,8-1,0 Oranlarda Maske İlaveli Elastisite Modülü Değerleri

Bender element deney sonucundan elde edilen kayma dalgası hızları Şekil 15'te verilmiştir. Kayma dalgası hızında meydana gelen değişimin de numune yoğunluğuna bağlı olduğu Şekil 14'te açık bir şekilde görülmektedir. Numune yoğunluğu en düşük olacak şekilde hazırlanan numunelerde %0,2 atık maske ilavesinin kayma dalgası hızını arttırdığı görülürken, 9 ve 11 vuruş yapılarak hazırlanan numunelerde kayma dalgası hızının %0,4 atık maske içeriğine kadar azaldığı görülmüştür. Ancak 5 vuruş yapılarak hazırlanan numunelerde ise kayma dalgası hızı %0,2 atık maske içeriği ile artmış ve %0,4 atık maske içeriği ile azalmıştır. Tüm farklı birim hacim ağırlıktaki numunelerde %0,6 atık maske oranının kayma dalgası hızını arttırdığı görülmektedir. %0,6 oranındaki atık maske oranından sonra kayma dalgası hızı 11 ve 9 vuruşluk numuneler için azalırken, 5 vuruşluk numunenin kayma dalgası hızının arttığı görülmüştür. %1'lik atık maske içeren tüm numunelerin kayma dalgası hızlarının hemen hemen aynı olduğu yine Şekil 14'te görülebilmektedir.

Yapılan tüm farklı deney sonuçlarına göre, en büyük kayma dalgası hızı değerinin atık maske ilavesiz 11

vuruşla hazırlanan numuneler olduğu anlaşılmıştır. Hız değeri 100 m/s olarak ölçülmüştür. %0,2 atık maske oranı ve 5 vuruş sayısı ile hazırlanan numunenin kayma dalgası hızında artış olduğu görülmüş, değeri 85 m/s olarak ölçülmüştür. En düşük değer olarak ölçümü yapılan 5 vuruş sayısı ve %0,6 atık maske oranı ilavesi ile yapılan numune deney sonucu 62 m/s'dir.



Şekil 15. Bender Element

Yapılan serbest basınç deneylerinden elde edilen önemli parametrelerden bir tanesi de numunelerin kırılma anında gösterdikleri deformasyon miktarlarıdır. Tablo 4'te farklı atık maske miktarları için numunelerin kırılma anındaki deformasyon miktarları verilmiştir. Tablo 4'e göre atık maske eklenen tüm numunelerin kırılma anındaki deformasyon miktarlarının arttığı görülmektedir. Artış kırılma anında meydana gelen artış miktarının da numune yoğunluğuna bağlı olduğu, numune yoğunluğu azaldıkça, kırılma anındaki deformasyon miktarında meydana gelen artış miktarının arttığı görülmektedir.

Tablo 4. Deformasyon Yüzdesi Değerleri

VURUŞ SAYISI	MASKE ORANI					
	0,00 %	0,20 %	0,40 %	0,60 %	0,80 %	1,00 %
5	2,00	2,72	3,41	3,81	5,11	5,46
9	2,61	2,47	3,40	5,55	4,71	4,31
11	3,03	2,21	4,01	4,45	5,15	6,50

5. Tartışma

Yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre serbest basınç dayanımında en yüksek artışı meydana getiren atık maske oranının %0,8 olduğu görülmüştür. Elde edilen bu sonucun literatürde yer alan sınırlı sayıda çalışmaları ile uyumlu olduğu görülmüştür. Ullah ve diğ. (2023) yaptıkları çalışmada, en yüksek serbest basınç dayanımını %0,2 maske oranı ile yaptıkları numuneden elde etmişlerdir (Ullah ve diğ., 2023).

Atık maske ilavesindeki artış ile birlikte numunelerin yenilmeden önceki gerçekleştirdiği şekil değiştirme arttığı görülmüştür. Bunun sebebi ise numune içerisinde kırılmaya neden olacak olan çatlakların ilerlemesinin kullanılan atık maskeler tarafından engellenmesi veya geciktirilmesinden kaynaklanmaktadır. Numune üzerinde oluşacak olan veya ilerleyecek olan bu çatlaklar için daha fazla enerji gerektireceği için numunelerin hem dayanımında hem de kırılma anındaki deformasyon miktarında artış meydana gelmektedir.

Yapılan bender element deneylerinde 5 vuruş yapılarak oluşturulmuş numuneye %0,2'lik atık maske ilavesinin kayma dalgası hızını arttırdığı görülmüştür. Kayma dalgası hızının numune yoğunluğu ile ilgili olduğu literatürde yer alan çalışmalarda ifade edilmiştir (Jin vd., 2000; Hussien ve Karray, 2015; Anbazhagan vd., 2016). Dolayısıyla numuneye ilave edilen atık maske miktarının numunenin yoğunluğunda kayda değer bir değişim meydana getirmediği Tablo 3'te görülmektedir. Dolayısıyla eklenen atık maskelerin numunenin boşluk oranında azalma meydana getirerek kayma dalgası hızında artış meydana getirdiği düşünülmektedir. Ancak 9 ve 11 vuruş ile hazırlanan numunelerde eklenen atık maskelerin numune yoğunluğunda kayma dalgası hızında azalma meydana getirdiği görülmüştür. Ancak atık maske oranı %0,6 olduğu zaman kayma dalgası hızında bir artışa neden olmuştur. %0,6'lık atık maske içeriğinden sonra kayma dalgası hızında bir miktar daha düşüş olsa da artan atık maske oranıyla kayma dalgası hızının sabit kaldığı görülmektedir. Bunun sebebi ise, artan maske içeriğine rağmen numune yoğunluğunun önce neredeyse sabit kalması ve daha sonra artmasından kaynaklanmaktadır. Maske içeriğinin artmasıyla 11 ve 9 vuruşluk numunelerde birim hacim ağırlık artmasının sebebi ise kompaksiyon sırasında maskelerin enerjiyi numune içerisinde daha düzgün yayması ve bunun sonucunda daha iyi bir sıkışma sağlaması şeklinde değerlendirilmektedir. 5 vuruşluk numune de ise %0,6'lık atık maske oranından sonra numune birim hacim ağırlıklarının sabit kaldığı ve aynı zamanda kayma dalgası hızının artan atık maske oranıyla birlikte kayma dalgası hızının arttığı görülmüştür. Bunun sebebinin yukarıda 11 ve 9 vuruş ile hazırlanan numunelerle aynı olduğu düşünülmektedir.

Hesaplanan elastisite modüllerine bakıldığı zaman %0,2 atık maske katkısına sahip numunelerde tüm birim hacim ağırlıklarda en yüksek elastisite modülüne sahip oldukları görülmüştür. Atık maske miktarı daha da arttıkça elastisite modülünün düştüğü görülmüştür. Bu durum ise numunelerin kırılma anındaki deformasyonlarına bakılarak anlaşılabilir. Maske katkısız numunelerin kırılma anındaki deformasyonları ile %0,2 atık maske katılmış numunelerin kırılma anındaki deformasyon miktarları karşılaştırıldığı zaman %0,2 oranında maske katılmış

numunelerin kırılma anındaki deformasyonlarının daha düşük olduğu Tablo 4'te görülebilmektedir. Benzer şekilde Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12 incelendiği zaman %0,2 oranında atık maske katılan numunelerin dayanımlarının da maskesiz zeminlerin dayanımlarından yüksek olduğu görülmektedir. Bu nedenle %0,2 oranında atık maske katılan numunelerin elastisite modülü maskesiz numunelere göre daha yüksek çıkmıştır. Ancak, artan maske oranıyla birlikte numunelerin kırılma anında meydana gelen deformasyon miktarında büyük artışlar meydana gelmiştir. Her ne kadar numunelerin mukavemetleri artsa da, kırılma anında meydana gelen deformasyonların artış miktarı dayanıma göre daha fazla olmasından dolayı elastisite modülü düşmüştür.

6. Sonuçlar

Yapılan bu çalışmada farklı oranlardaki atık maske ilavesinin düşük plastisiteli bir kilin kayma dalgası hızına ve serbest basınç mukavemetine olan etkileri incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

Atık maske ilavesinin numune birim hacim ağırlığını azalttığı görülmüştür. Atık maskesiz numunenin birim hacim ağırlığı ne kadar yüksekse, atık maske ilavesi birim hacim ağırlığı o kadar fazla düşürmektedir.

Atık maske ilavesinin %0,8 olduğu zaman en yüksek serbest basınç mukavemeti elde edilmiştir.

Maske ilavesiz numunelerde 9 ve 11 vuruş ile hazırlanan numunelerin elastisite modülleri yaklaşık olarak birbirlerine eşit iken, 5 vuruş ile hazırlanan numunenin elastisite modülü en düşük olarak hesaplanmıştır.

Atık maske ilavesinin numunelerin kırılma anındaki deformasyonlarını arttırdığı görülmüştür.

9 ve 11 vuruşluk numunelerin kayma dalgası hızları atık maske ilavesiyle birlikte azalmaktadır.

5 vuruşluk numunelerde %0,2'lik atık maske ilavesi kayma dalgası hızını arttırırken daha fazla atık maske ilavesi kayma dalgası hızının azalmasına neden olmuştur.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Y. Uzunkaya, literatür araştırması, bu çalışmaya ait analizlerin yapılması, E. Balaban, sonuçların yorumlanması ve makalenin oluşturulması, B. Görgün, sonuçların yorumlanması ve makalenin oluşturulması konularında katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Ak, Ö. (2020). "COVID-19'un Başka Bir Sonucu: Plastik Salgını", TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi, 2020(10), 26-35.
- Anadolu Agency. (2021). "Dünyada 2020'de bir dakikada 3 milyon maske kullanıldı" <https://www.aa.com.tr/tr/info/infografik/25449>
Last Accessed: December 12, 2023
- Anbazhagan, P., Uday, A., Moustafa, S. S., & Al-Arifi, N. S. (2016). Correlation of densities with shear wave velocities and SPT N values. *Journal of Geophysics and Engineering*, 13(3), 320-341.
- ASTM D4318. (2018). "Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils", ASTM International, West Conshohocken-PA, USA.
- ASTM D854. (2014). "Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer", ASTM International, West Conshohocken-PA, USA.
- ASTM D8295-19. (2019). "Standard Test Method for Determination of Shear Wave Velocity and Initial Shear Modulus in Soil Specimens Using Bender Elements", ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM D2166. (2006). "Standard Specification for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil", West Conshohocken, PA, USA.
- Cheng, Z., & Leong, E. C. (2018). Determination of damping ratios for soils using bender element tests. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 111, 8-13.
- Daniel, D. E., & Benson, C. H. (1990). Water content-density criteria for compacted soil liners, *Journal of Geotechnical Engineering*, 116(12), 1811-1830.
- Ghadr, S., Chen, C. S., Liu, C. H., & Hung, C. (2022). Mechanical behavior of sands reinforced with shredded face masks. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 81(8), 317.
- Guney, Y., Koparal, S., & Aydilek, A. H. (2008). Sepiolite as an alternative liner material in municipal solid waste landfills. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 134(8), 1166-1180.
- Hussien, M. N., & Karray, M. (2015). Shear wave velocity as a geotechnical parameter: an overview. *Canadian Geotechnical Journal*, 53(2), 252-272.
- Ingale, R., Patel, A., & Mandal, A. (2020). Numerical modelling of bender element test in soils. *Measurement*, 152, 107310.
- Jin, S., Cambois, G., & Vuillermoz, C. (2000). Shear-wave velocity and density estimation from PS-wave AVO analysis: Application to an OBS dataset from the North Sea. *Geophysics*, 65(5), 1446-1454.
- Khosravi, A., Hashemi, A., Ghadirianniari, S., & Khosravi, M. (2020). Variation of small-strain shear modulus of unsaturated silt under successive cycles of drying and wetting. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 146(7), 04020050.
- Kumar, J., & Shinde, N. S. (2019). Interpretation of bender element test results using sliding Fourier transform method. *Canadian Geotechnical Journal*, 56(12), 2004-2014.
- T.C. Ministry of Environment, Urbanisation and Climate Change. (2021). "2020/12 sayılı Bakanlık Genelgesi" https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/icerikler/gn_g2020-16-cov-d-19-20200408101457.pdf Last Accessed: December 12, 2023
- T.C. Resmî Gazete. "Paris Anlaşması'nın Onaylanmasının Uygun Bulunduğuna Dair Kanun" <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/10/20211007.pdf> Last Accessed: December 1, 2023
- Ullah, I., Khalid, U., Shah, M. M., Khan, I., & Ijaz, N. (2023). Integrated recycling of geopolymerized quarry dust and bagasse ash with facemasks for the balanced amelioration of the fat clay: a multi-waste solution. *Environmental Earth Sciences*, 82(21), 1-21.
- Rehman, Z., & Khalid, U. (2021). Reuse of COVID-19 face mask for the amelioration of mechanical properties of fat clay: A novel solution to an emerging waste problem. *Science of The Total Environment*, 794, 148746.
- Ural, N. (2011). "Zemin Dinamiği Deneylerinde Bilgisayar Kontrollü Sistemlerin Kullanılması", 6th International Advanced Technologies Symposium, Elazığ-Turkey, 35-39.
- Wang, Z., Zhang, W., Wei, M., Wang, P., & Li, D. (2023). Mechanical and deformation behavior of clay reinforced by discarded mask fibers. *Journal of Cleaner Production*, 428, 139485.
- World Health Organization. (2020). "Mask use in the context of COVID-19: interim guidance". <https://apps.who.int/iris/handle/10665/337199> Last Accessed: December 12, 2023.