



Yüksek plastisiteli kil zeminin mühendislik özelliklerine inşaat atıklarının etkisi

Effect of construction waste to engineering properties of high plasticity clay soil

Ömür ÇİMEN^{1*}, Halil İbrahim GÜNAYDIN¹, Sıddıka Nilay KESKİN¹

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye.
omurcimen@sdu.edu.tr, hibgunaydin@gmail.com, nilaykeskin@sdu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 11.03.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 13.07.2016
* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2016.81567
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada, inşaat atıklarının yüksek plastisiteli bir kilin bazı mühendislik özelliklerine olan etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda öncelikle zemin numunesi ve inşaat atıklarının kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Kile ağırlıkça %2, %5, %10, %15, %20, %25, %30 ve %35 oranlarında No. 40 elek altı inşaat atıkları karıştırılarak hazırlanan numuneler üzerinde kavam limitleri ve standart kompaksiyon deneyleri yapılmıştır. Ek olarak optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık şartlarında sıkıştırılmış katkısız kil ile %5, %10, %20 ve %30 katkılı numuneler üzerinde, optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık şartlarında sıkıştırılarak sabit hacimli şişme ve serbest basınç deneyleri de yapılmıştır. Deney sonuçları, şişen kile %10-%20 oranında inşaat atıklarının eklenmesinin şişme potansiyelinin azaltılmasında ve serbest basınç mukavemetinin artırılmasında ideal sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: İnşaat Atıkları, Zeminlerin İyileştirilmesi, Kil

1 Giriş

Kil içeren zeminlerin suyla karşılaşmaları durumunda hacimlerinde meydana gelen artışa şişme, hacim artışının oluşmaması için gereken basınca ise şişme basıncı denilmektedir. Böyle bir özelliğe sahip olan zeminler ise şişen zeminler olarak bilinmektedir. Şişen zeminler genellikle kurak ve yarı kurak ortamlarda oluşmaktadır. Bu tür zeminlerin bulunduğu tabakalarda inşa edilecek olan mühendislik yapılarında (karayolu, havaalanı ve demiryolları kaplamaları, su yapıları, istinad duvarları vb.) ortaya çıkabilecek problemlere önceden önlem alınması gereklidir [1]-[4]. Şişen zeminlerdeki problemlerin anlaşılabilir olarak çıkarılacak zararların ortadan kaldırılması aşamasında, bu probleme etkiyen faktörleri belirlemek ve değerlendirmek çözümün ilk aşamasını oluşturmaktadır. Kilin mineralojik özellikleri, su muhtevası, suyun kimyasal özellikleri, kompaksiyon yöntemi, kuru birim hacim ağırlık vb. gibi faktörler şişmeye etki etmektedir [2].

Dünyadaki endüstriyel atıkların %35'i inşaat endüstrisinden kaynaklanmaktadır [5]. Atıkların geri dönüştürülmesi son yıllarda önem verilen konulardan birisi olmuştur. İnşaat atıklarının geri dönüştürülmesi çalışmaları; ortaya çıkabilecek atık miktarının azaltılması, tekrar kullanılabilir olan kısımların yeniden kullanımının araştırılması ve geri kazanılması ya da kullanılmayacak kısımların ise uygun depolama alanlarına yerleştirilmesi gibi konuları içermektedir. Geri kazanılması mümkün olan inşaat ve moloz atıkları, tekrar hammadde şeklinde kullanılabilir. Bu tür atıkların geri

Abstract

In this study, it is investigated effect of construction waste to some engineering properties of a high plasticity clay. For this reason, some chemical properties of the soil sample and construction waste are determined. The consistency limits and standard compaction tests are carried out on the clayey samples in weight with the ratios 2%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% and 35% of the construction waste passing from the sieve of No 40. The constant-volume swelling and unconfined compression tests are also conducted on both pure clay and the mixtures in weight with the ratios 5%, 10% 20% and 30% of the construction waste compacting at the optimum water content and maximum dry density. From the results of test, it is found that the construction waste can be effectively used at a ratio of 10%-20% for both decreasing the swelling potential of clay and increasing the unconfined compression strength of that.

Keywords: Construction wastes, Improvement of soil, Clay

kazanımı, kırma makinelerinde parçalandıktan ve inşaat demiri gibi maddelerden arındırıldıktan sonra kırmataş, beton agregası, dolgu malzemesi, yol yapımı için altyapı malzemesi, grobeton, parke taşı, sıva ve peyzaj elemanlarının yapımında kullanılabilir [6],[7]. İngiltere 'de 2005 yılında ortaya çıkan 89.6 milyon ton inşaat atığından 61.6 milyon tonu geri dönüşümle kullanılırken, Avustralya 'da 2006-2007 yıllarında ortaya çıkan 7 milyon ton inşaat atığının yaklaşık yarısı tekrar kullanılmıştır [8],[9]. Yurdumuzda ise bu oran oldukça düşüktür. Bu oranın artırılması amacıyla Çevre ve Şehircilik Bakanlığı çalışmalar yapmaktadır [7].

İnşaat atıklarının değerlendirilmesiyle elde edilen geri dönüştürülmüş agregalar; betondan, seramikten ve farklı atıkların karışımlarından elde edilenler olarak üç grupta değerlendirilmektedir [10]. Rolon ve diğ. [11] inşaat atıklarından elde edilmiş agregaların doğal agregalarla karşılaştırıldıklarında içerisindeki betona bağlı olarak farklı performanslara sahip olabileceğini belirtmişlerdir. Carlos ve diğ. [12] inşaat atıklarından üretilen malzemelerin sızma deneylerini yaparak çevreye zararının olmadığını göstermiştir. Wahlstrom ve diğ. [13] standart çakılın elastisite modülünün 280 MN/m² iken parçalanmış inşaat atıklarının elastisite modülünün 600-1500 MN/m² arasında değiştiğini belirtmiştir.

Killi zeminlerin özelliklerinin iyileştirilmesinde katkı olarak kullanılan başlıca malzemeler; kireç, pomza, mermer atıkları, bitüm, çimento, uçucu kül, beton atıkları, talaş, ağaç kabuğu, çakıl, endüstriyel atıklar, yonga ve deniz kabuğu olarak sayılabilir [14]-[19]. Zemin iyileştirmesinde kullanılan katkıların atık malzemeler olarak kabul edilen malzemelerden

olması, depolama masraflarının azaltılmasına ve daha ucuz katkı malzemesi kullanımına imkan vermektedir [20]. Acchar ve diğ. [21] düşük plastisiteli kile %20-30 oranlarında inşaat atığı ilave ederek, çeşitli fırın sıcaklıklarında tuğla üretiminde kullanılabilir olduğunu göstermişlerdir. Azam ve Cameron [22] inşaat atıklarının kiremit kısmından elde edilen geri dönüştürülmüş kil (%20) ile beton kısmından elde edilen agregayı (%80) karıştırarak üç eksenli basınç ve matris emme deneyleri yapmışlar ve yol üst yapı inşaatında alt temel malzemesi olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Rezende ve diğ. [23] inşaat atıklarından elde edilen agregaya %17 ve %25 oranlarında doğal kil ilave edilerek elde ettikleri iki çeşit killi çakıl türü karışım için laboratuvar ve yol üst yapısı alt temeli için arazi deneyleri yapmışlardır. Elde edilen karışımın düşük yoğunluklu yollarda alt temel malzemesi olarak kullanılabilceğini belirtmişlerdir.

2 Malzeme ve metot

Bu çalışmada, inşaat atıklarının kil zemininin kıvam limitlerine, kompaksiyon parametrelerine, şişme basıncına ve serbest basınç mukavemetine olan etkisi araştırılmıştır. Öncelikle kullanılacak zemin numunesinin ve inşaat atıklarının kimyasal analizleri, zemin numunesinin mineralojik yapısını gösterecek olan X-Ray analizleri yapılmıştır. İnşaat atıkları No. 40 elekten elenerek kile belli oranlarda ilave edilmiştir. Bu numuneler üzerinde kıvam limitleri, standart kompaksiyon deneyleri yapılmıştır. Optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkta sıkıştırılmış kil zemin numuneleri üzerinde sabit hacimli şişme ve serbest basınç deneyleri yapılmıştır.

2.1 Numunelerin tanımlanması ve deney sonuçları

Yüksek plastisiteli kil numune Fethiye - Eşen civarından alınmış, kullanılan inşaat atıkları ise İstanbul Büyükşehir Belediyesi organizasyonu olan İstanbul Çevre Yönetimi San. Tic. AŞ. firmasından temin edilmiştir. İlgili firmada inşaat atıkları tuğla-kiremit ve beton olarak ayrılmakta ve beton atıkları grubu 0-12 mm, 12-22 mm ve 22-36 mm olmak üzere üç grupta kırılmaktadır. Bu çalışma için beton atıklarının 0-12 mm aralığındaki bölümü göz önüne alınmış ve No. 40 elekten elenerek kullanılmıştır. Eşen kiline ve inşaat atıklarına ait kimyasal analizler ve hakim minerallerin belirlendiği X-Ray analizleri sırasıyla MTA Genel Müdürlüğü Mineraloji ve Petroloji Laboratuvarında ve Afyon Kocatepe Üniversitesi Doğaltaş Analiz Laboratuvarında yapılmıştır. İnşaat atıkları ve

kil zemine ait kimyasal analiz sonuçları Tablo 1’de verilmiştir. Bu tabloya bakıldığında, kil numuneye ait SiO_2 , Fe_2O_3 ve MgO yüzdelerinin inşaat atığında bulunma yüzdelerine göre daha yüksek olduğu, fakat inşaat atığındaki diğer oksit yüzdelerinin ise kil numunedekilere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Özellikle, CaO yüzdesi kilde %2.8 iken, inşaat atığında bu değer 7.8 katı olan %21.8 olarak belirlenmiştir.

Deneyisel çalışmalarda kullanılan Eşen kili numunesinin likit limiti %112, plastik limiti %33, plastisite indisi %79, maksimum kuru birim hacim ağırlığı 1.24 gr/cm^3 ve optimum su muhtevası %43’tür. Türk Standardına (TS 1500) ve Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine göre CH (Yüksek Plastisiteli Kil) sınıfına girmektedir [24]. Yapılan X-Ray Analizleri sonucunda, kil numunesindeki mineraller çokluk sırasına göre Simektit, Serpantin, Kuvars, Kalsit, Amorf Silika olarak sıralanmıştır. Ayrıca içerisinde çok az olarak Amfibol, Feldispat, Klorit grubu mineraller de bulunmaktadır.

Tablo 1: İnşaat atıkları ve Eşen kilinin kimyasal analiz test sonuçları

Oksitler	İnşaat Atığı (%)	Kil (%)
SiO_2	45.30	47.10
Al_2O_3	8.22	4.30
Fe_2O_3	6.10	16.60
CaO	21.80	2.80
MgO	1.57	17.40
Na_2O	1.05	<0.10
SO_3	1.01	-
P_2O_5	0.10	<0.10
Cl	0.07	-
K_2O	1.74	0.30
TiO_2	0.52	0.20
NiO	0.01	-
MnO	0.11	0.10
V_2O_5	0.02	-
ZnO	0.01	-
Cr_2O_3	0.03	-
F	0.15	-
Rb_2O	0.01	-
SrO	0.08	-
ZrO_2	0.02	-
BaO	0.05	-
As_2O_3	0.01	-
A.Z. (LOI)	12.00	9.85

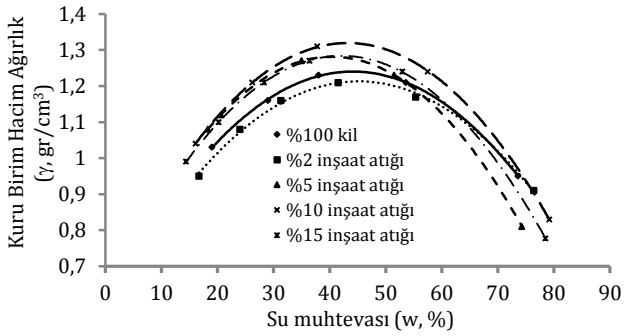
Tablo 2: Kıvam limitleri, kompaksiyon, sabit hacimli şişme ve serbest basınç deney sonuçları.

NUMUNE	LL (%)	PL (%)	PI (%)	γ_{kmax} (gr/cm^3)	W_{opt} (%)	P_s (kg/cm^2)	q_u (kg/cm^2)
%100 Kil	112	33	79	1.24	43	1.60	1.96
%2 İnşaat Atığı + %98 Kil	109	32	77	1.20	45	-	-
%5 İnşaat Atığı + %95 Kil	109	39	70	1.28	40	1.20	3.40
%10 İnşaat Atığı + %90 Kil	109	41	68	1.32	43	1.15	3.80
%15 İnşaat Atığı + %85 Kil	101	34	67	1.28	41	-	-
%20 İnşaat Atığı + %80 Kil	98	32	66	1.25	37	1.11	3.70
%25 İnşaat Atığı + %75 Kil	95	31	64	1.26	34	-	-
%30 İnşaat Atığı + %70 Kil	88	31	57	1.28	34	0.90	3.50
%35 İnşaat Atığı + %65 Kil	80	30	50	1.32	33	-	-

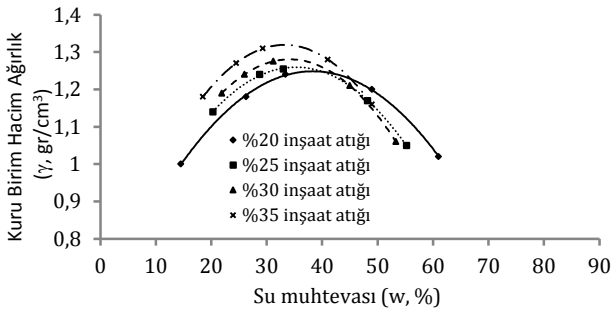
İnşaat atığının kilin kıvam limitlerine olan etkisinin belirlenmesi için kıvam limiti deneyleri yapılarak likit limit (LL), plastik limit (PL) ve plastisite indisi (PI) sonuçları, kile ağırlıkça farklı oranlarda inşaat atığı için, Tablo 2'de verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde, inşaat atığı katkısı arttıkça, numunelerin likit limitinde büyük oranlarda azalma, plastik limitinde küçük oranlarda azalma ve plastisite indisinde ise yine önemli oranlarda azalma görülmektedir.

Kilin kompaksiyon özelliklerine inşaat atıklarının etkisinin belirlenmesi amacıyla inşaat atıkları kile ağırlıkça belirli oranlarda karıştırılarak standart kompaksiyon deneyleri tekrarlanmıştır. %0, %2, %5, %10 ve %15 inşaat atığı katkılı numunelerin kompaksiyon eğrileri Şekil 1a'da; %20, %25, %30 ve %35 inşaat atığı katkılı numunelerin kompaksiyon eğrileri ise Şekil 1b'de verilmiştir. Kile ilave edilen inşaat atıkları genel olarak optimum su muhtevasının (W_{opt}) azalmasına (en düşük olan %2 katkılı hariç), fakat kuru birim hacim ağırlığın (γ_{kmax}) ise katkı miktarı arttıkça daha da artmasına (%2 ve %10 katkılı hariç) neden olmuştur. Kile inşaat atığı katkısının, kilin kuru birim hacim ağırlık değerinde arzu edilen bir artmayı sağladığı görülmüştür. Optimum su muhtevası ve kuru birim hacim ağırlık yönünden ideal katkı miktarları %15-%25 olarak belirtilebilir.

Kompaksiyon deney şartlarında sıkıştırılarak hazırlanmış numuneler üzerinde sabit hacimli şişme deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde zemin numunesinin hacim değiştirmesi engellenecek şekilde sürekli yükleme yapılmıştır. Hacim değişimine engel olacak yükleme değeri şişme basıncı (P_s) olarak belirlenmiştir. Tablo 2'deki sonuçlara bakıldığında, şişme basınçlarının inşaat atığı katkısı arttıkça önemli miktarlarda azaldığı görülmektedir.



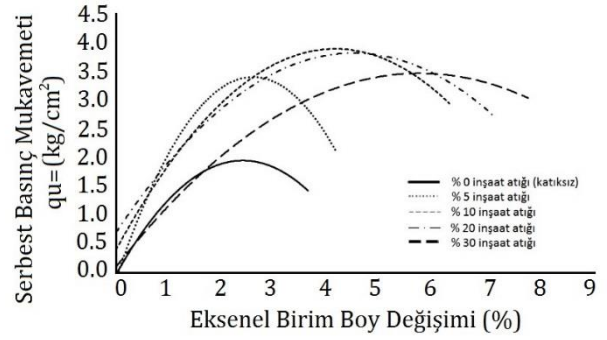
(a)



(b)

Şekil 1: İnşaat atığı katkılı numunelerin kompaksiyon eğrileri (a): %0, %2, %5, %10 ve %15 katkılı, (b): %20, %25, %30 ve %35 katkılı.

Kilin serbest basınç mukavemetine inşaat atığının etkisinin belirlenmesi amacıyla inşaat atığı kile ağırlıkça %5, %10, %20 ve %30 oranlarında karıştırılarak serbest basınç deneyleri de yapılmıştır. Bu deneylerde 3.5 cm çapında ve 7 cm yüksekliğinde numuneler kullanılmıştır. Bu numuneler öncelikle optimum su muhtevasında hazırlanmış ve maksimum kuru birim hacim ağırlığın elde edilmesi için gereken malzeme miktarı belirlenmiştir. Bu miktar üç kısma ayrılarak, ikiye ayrılabilen kalıp içerisine üç tabaka halinde yerleştirilmiştir. Her bir tabakaya kompaksiyon deneyinde uygulanan enerjiye karşılık gelecek enerji, hidrolik pres yardımı ile uygulanmıştır. Bu şekilde numunelerin homojen bir şekilde hazırlanması sağlanmıştır. Numuneler küre bırakılmadan serbest basınç deneyi yapılmıştır. Serbest basınç deneylerinden elde edilen eksenel birim boy değişimi eğrileri Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2 değerlendirildiğinde, inşaat atığı katkısının serbest basınç mukavemetini (q_u) arttırdığı ifade edilebilir. Kilin serbest basınç mukavemetine göre en yüksek artış 3.8 kg/cm² olarak %10 katkılı numunede elde edilmiştir. En düşük eksenel birim boy değişimi %5 katkılı numunede elde edilirken, genelde birim boy değişimleri katkı miktarlarının artmasıyla arttığı belirlenmiştir. Serbest basınç mukavemetine göre ideal katkı miktarları %10-%20 olarak belirtilebilir.



Şekil 2: %0, %5, %10, %20 ve %30 inşaat atığı katkılı numunelerin serbest basınç eğrileri.

Deney sonuçları incelendiğinde inşaat atığı katkısının kilin likit limitini, plastik limitini, plastisite indisini, optimum su muhtevasını ve şişme basıncını azalttığı, kurum birim hacim ağırlığı ve serbest basınç mukavemetini ise arttırdığı görülmektedir. %30 inşaat atığı katkılı serbest basınç mukavemetinde ise %20 katkılı numuneye göre azalma meydana gelmiştir. Bu etkiler değerlendirildiğinde, yüksek plastisiteli kilde inşaat atığı ilave edilmesiyle, kilin mühendislik özelliklerinde olumlu etkiler elde edilmiştir. Kullanılan kilin mühendislik özelliklerindeki değişimler; kation değiştirme kapasitesi, flokülasyon-aglomerasyon reaksiyonları ve kil-katkı karışımındaki reaksiyonlardan oluşan çimento jel formasyonu olaylarının birinin veya hepsinin gerçekleşmiş olmasıyla açıklanabilir [25]-[29].

3 Sonuçlar

İnşaat atığı katkı miktarının kile olan etkisinin araştırıldığı bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. İnşaat atığı katkısının artmasıyla kilin plastisite indisi azalmaktadır,

2. İnşaat atığı katkısının artmasıyla kilin maksimum kuru birim hacim ağırlığı artmakta, optimum su muhtevası ise azalmaktadır,
3. İnşaat atığı katkısının artmasıyla kilin sabit hacimli şişme basıncı azalmaktadır,
4. İnşaat atığı katkısının artmasıyla kilin serbest basınç mukavemeti artmaktadır.

Yapılan deneysel çalışmalardan, inşaat atığının yüksek plastisiteli kile karıştırılabileceği ideal katkı oranı %10-%20 olarak belirlenmiştir.

4 Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK-2209- Üniversite Öğrencileri Yurt İçi/Yurt Dışı Araştırma Projeleri Destekleme Programı tarafından desteklenen projeden üretilmiştir.

5 Kaynaklar

- [1] Chen FH. *Foundations on Expansive Soils: Developments in Geotechnical Engineering 54*. New York, USA, Elsevier, 1988.
- [2] Nelson JD, Miller DJ. *Expansive soils: Problems and Practice in Foundation and Pavement Engineering*. New York, USA, Wiley, 1992.
- [3] Jones DE, Holtz WG. "Expansive soils - the hidden disaster". *Civil Engineering, ASCE*, 43(8), 49-51, 1973.
- [4] Altmeyer WT. "Discussion of engineering properties of expansive clays". *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Engineering, ASCE*, 81(2), 531-533, 1955.
- [5] Hendriks CF, Pietersen HS. *Sustainable Raw Materials: Construction and Demolition Waste*. Cachan Cedex, France, Rilem Publication, 2000.
- [6] Güner C, Akbulut H, Kürklü G. "İnşaat endüstrisinde geri dönüşüm ve bir hammadde kaynağı olarak farklı yapı malzemelerinin yeniden değerlendirilmesi". 5. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, Türkiye, 13-14 Mayıs 2004.
- [7] Kılıç N. "Kentsel Dönüşümde Geri Dönüşüm Atağı". İZTO Sektörel AR&GE Basın Bülteni, İzmir, Türkiye, 2012.
- [8] DEFRA. "Department for Environment, Food and Rural Affairs". www.gov.uk/government/collections/waste-and-recycling-statistics (15.12.2014).
- [9] EPA. "Characterization of Building-Related Construction and Demolition Debris in the United States". Municipal and Industrial Solid Waste Division, Washington, DC, EPA530-R-98-010, 1998.
- [10] Dejuan MS, Alaejos P. "Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate". *Construction and Building Materials*, 23(2), 872-877, 2009.
- [11] Rolon JC, Nieves D, Huete R, Blandon B, Teran A, Pichardo R. "Characterization of concrete made with recycled aggregate from concrete demolition waste". *Materiales de Construcción*, 57(288), 5-15, 2007.
- [12] Levia C, Solis-Guzman J, Marreo M, Arenas CG. "Recycled blocks with improved sound and fire insulation containing construction and demolition waste". *Waste Management*, 33(3), 663-671, 2013.
- [13] Wahlstrom M, Laine-Ylijoki J, Maattanen A, Luotojarvi T, Kivekas L. "Environmental quality assurance system for use of crushed mineral demolition wastes in road constructions". *Waste Management*, 20(2-3), 225-232, 2000.
- [14] Aksoy İH. "Hafif dolgu malzemeleri ve geoteknikte kullanımı". *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 7. Ulusal Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 22-23 Ekim 1998.
- [15] Tremblay H, Leroueil S, Locat J. "Mechanical improvement and vertical yield stress prediction of clayey soils from eastern Canada treated with lime or cement". *Canadian Geotechnical Journal*, 38(3), 567-579, 2001.
- [16] Çokça E, Toktaş F. "Dispersif bir kilin C tipi uçucu kül ile stabilizasyonu". *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 9. Ulusal Kongresi*, Eskişehir, Türkiye, 21-22 Ekim 2002.
- [17] Şenol A, Edil TB. "Uçucu kül ile stabilize edilen yumuşak zeminlerin cbr sonuçlarının değerlendirilmesi". *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 16-17 Eylül 2004.
- [18] Hossain KMA. "Properties of volcanic pumice based cement and lightweight concrete". *Cement and Concrete Research*, 34(2), 283-291, 2004.
- [19] Hossain KMA. "Potential use of volcanic pumice as a construction material". *Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE*, 16(6), 573-577, 2004.
- [20] Hossain KMA, Lachemi M, Easa S. "Stabilized soils for construction applications incorporating natural resources of Papua New Guinea". *Resources, Conservation and Recycling*, 51(4), 711-731, 2007.
- [21] Acchar W, Silva JE, Segadaes AM. "Increased added value reuse of construction waste in clay building ceramics". *Advances in Applied Ceramics*, 112(8), 487-493, 2013.
- [22] Azam AM, Cameron DA. "Geotechnical properties of blends of recycled clay masonry and recycled concrete aggregates in unbound pavement construction". *Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE*, 25(6), 788-798, 2013.
- [23] Rezende LR, Marques MO, Oliveira JJ, Carvalho JC, Guimaraes RC, Resplandes HMS, Costa LCS. "Field investigation of mechanic properties of recycled CDW for asphalt pavement layers". *Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE*, 28(3), 05015003 (8 p), 2016.
- [24] Çimen Ö, Keskin SN, Şimşek S, Kalay E. "yüksek plastisiteli bir kilin mühendislik özelliklerine pomza ve mermer tozunun etkisi". *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 13. Ulusal Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 30 Eylül-1 Ekim 2010.
- [25] Brooks R, Udoeyo F, Takkalapelli KV. "Geotechnical properties of problem soils stabilized with fly ash and limestone dust in Philadelphia". *Journal of Materials in Civil Engineering*, 23(5), 711-716, 2011.
- [26] Yurdakoç MK, Güzel F, Tez Z. "Kation Değişirme Kapasitesi (KDK) ve Belirleme Yöntemleri". 6. *Ulusal Kil Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 8-11 Eylül 1993.
- [27] Yalçın M. Çevresel Kirlilik Şartlarının Bentonit Kilinin Şişme Büzülme Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 1997.
- [28] Wild S, Kinuthia JM, Jones GJ, Higgins DD. "Suppression of swelling associated with ettringite formation in lime-stabilised sulphate bearing clay soils by partial substitution of lime with ground granulated blastfurnace slag". *Engineering Geology*, 51(4), 257-277, 1999.
- [29] Mitchell JK. "Delayed failure of lime stabilized pavement base". *Journal of Geotechnical Engineering*, 112, 274-279, 1986.