

Geri Dönüştürülmüş İnşaat Yıkıntı Atıklarının (Beton, Tuğla, Cam) Geopolimer Bağlayıcı Olarak Killi Zeminlerin Mekanik Özelliklerinin İyileştirilmesinde Kullanımı

Use of Construction and Demolition Wastes as a Geopolymer in Improvement of Engineering Properties of Soils

Adem IŞIK¹, Muhammet KAHRAMAN², Ahmet Furkan POLAT³

ÖZET

İnşaat faaliyetleri sonucunda, doğal olarak kullanım ömrünü bitirmiş yapılardan çıkan atıklar (beton, tuğla, cam vb.) önemli çevre sorunlarını ortaya çıkarmaktadır. Sürdürülebilir bir çevre için hem doğal kaynakların korunması hem de bu tür inşaat yıkıntı atıklarının geri dönüşüm malzemesi olarak yapılarda kullanımı son yıllarda oldukça önem kazanmaktadır. Bu çalışma kapsamında, geri dönüştürülmüş beton, tuğla ve cam tozuna dayalı bir geopolimer bağlayıcı kullanmanın uygulanabilirliğini araştırılmış ve killi zeminlerin fiziksel ve mekanik davranışlar üzerine etkileri incelenmiştir. Yapılan kıvam ve kompaksiyon deneyleri sonucunda, inşaat yıkıntı atığının zeminin plastisitesini düşürdüğü görülmüş ancak kompaksiyon parametreleri üzerinde ise iyileştirme sağladığı belirlenmiştir. Serbest basınç deneyleri yapılarak killi zeminlerin mekanik davranışları iyileştirmeden önce ve sonra incelenmiştir. Geri dönüştürülmüş beton, tuğla ve cam tozuna dayalı bir geopolimer bağlayıcı ile iyileştirilmiş killi zeminlerin serbest basınç mukavemetinin iyileştirilmemiş zemine göre oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelime: Geopolimer, İnşaat Yıkıntı Atıkları, Zemin İyileştirme

ABSTRACT

As a result of construction activities, the wastes (concrete, brick, glass, etc.) that naturally come out of the structures that have ended their useful life cause important environmental problems. For a sustainable environment, both the protection of natural resources and the use of such construction and demolition wastes as recycling materials in structures have become very important in recent years. In this study, the feasibility of using a geopolymer binder based on recycled concrete, brick and glass powder was investigated and its effects on the physical and mechanical behavior of clayey soils were investigated. As a result of the consistency and compaction tests, it was determined that the construction demolition waste reduced the plasticity of the soil, but it also improved the compaction parameters. It has been determined that the unconfined compressive strength of clayey soils improved with a geopolymer binder based on recycled concrete, brick and glass powder is considerably higher than that of unimproved soil.

Keywords: Geopolymer, Construction and Demolition Wastes, Soil Improvement

¹Dr. Öğretim Üyesi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, aisik@erzincan.edu.tr

²İnşaat Mühendisi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, muhammetkahraman024@gmail.com

³İnşaat Mühendisi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, furkanplt24@gmail.com

1. GİRİŞ

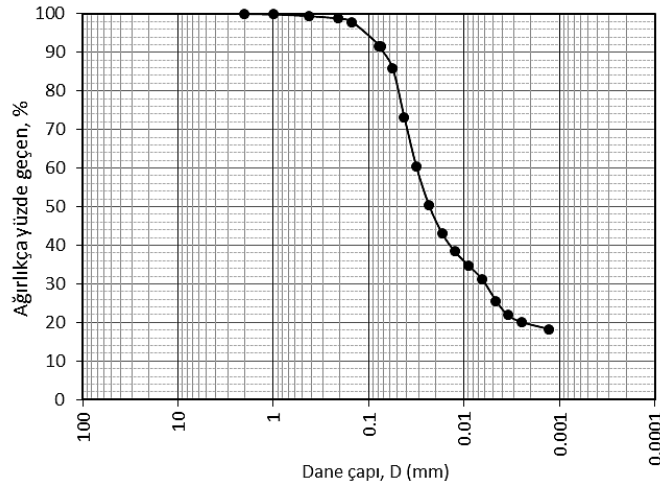
Dünyada ve ülkemizde artan hızlı nüfus sonucu inşaat faaliyetleri (endüstriyel yapılar, konutlar, yollar, barajlar, köprüler vb.) sonucu olarak doğal kaynakların kullanımı her geçen gün artmaktadır. Doğal kaynakların kullanımı (beton üretimi için hammadde kullanımı) sera gazı salınımı, çevresel sorunlar ve iklim değişikliği sorunlarına neden olmaktadır. Ayrıca kullanım ömrü sona eren milyonlarca yapılar dönüşürken inşaat yıkıntı atıklarının (beton, tuğla, seramik, cam vb.) bertaraf edilmesi ve çevresel sorunlara neden olmaması için geri dönüşüm malzemesi olarak kullanımı oldukça önemli hale gelmektedir. Tüm dünyada tartışılan konu olarak inşaat yıkıntı atıklarının depolanması, çok büyük alan gerektirmesi ve çok maliyetli olması nedeniyle geri dönüşüm malzemesi olarak kullanılması büyük önem arz etmektedir. Dünya genelinde yıllık inşaat atıkları üretimi, 3 Milyar tonu Çin tarafından (Zheng ve diğerleri, 2017) ve 700 milyon tonu ise Amerika Birleşik Devletleri (ABD) gibi büyük ülkeler tarafından (Wu ve diğerleri, 2019) olmak üzere yaklaşık olarak 10 milyar tondur. Ülkemizde ise başlatılan kentsel dönüşüm projeleri ile yılda 10 milyon ton inşaat yıkıntı atığının 6 milyon tonunun geri dönüştürülmesi hedeflenmektedir (T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Sanayi Genel Müdürlüğü. Ulusal Geri Dönüşüm Strateji Belgesi ve Eylem Planı 2014-2017).

Geopolimerler inorganik polimerlerdir ve farklı Si-Al omurga yapılarına sahip alüminosilikat bazlı malzemelerden oluşur. Geopolimerler, alüminosilikatlar (örneğin uçucu kül, volkanik kül, cüruf, silis dumanı, metakaolin vb.) ile alkalin aktivatörler (örneğin sodyum hidroksit, sodyum silikat ve potasyum hidroksit) arasındaki reaksiyonlar sonucu oluşur (Duxson ve diğ., 2007). Bir zemin iyileştirme yöntemi olarak geopolimer bağlayıcı kullanmak son yıllarda oldukça önemli hale gelmektedir. Özellikle alüminosilikat bazlı atık malzemeler yeniden işlenerek zeminlerin iyileştirilmesi için kullanılabilir (Zhang ve diğ., 2013; Ghadir ve Ranjbar, 2018; Bilondi ve diğ., 2018). Bu çalışma kapsamında, alüminosilikat bazlı malzemelerden üretilmiş inşaat yapı malzemelerinin atığı olan inşaat yıkıntı atığı (tuğla, beton ve cam tozu) geopolimer bağlayıcı olarak yumuşak zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılmıştır. Bu kapsamda, Erzincan ili sınırları içerisinde temin edilen yumuşak bir kil numunesi ile inşaat yıkıntı atığı geopolimer bağlayıcı olarak belli oranlarda karıştırılmış ve zemin numunesinin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Malzeme

DeneySEL çalışma kapsamında, zemin malzemesi Erzincan ilinden doğal olarak temin edilen kil kullanılmıştır. Zemin numunesine ait dane dağılım eğrisi Şekil 1' de verilmiştir. Kil numuneleri üzerinde yapılan kıvam deneyleri (Atterberg deneyleri) sonucunda, zemin numunesinin likit limiti %44, plastik limit %22 ve plastisite indeksi %22 olup birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine göre CL grubu sınıfına girmektedir. Geopolimer oluşturmak için alümino-silika bazlı inşaat yıkıntı atıklarından tuğla, beton ve cam tozu kullanılmıştır. Tuğla, beton ve cam tozu öğütülerek 200 No' lu (<75 µm) elekten elenmiş geopolimer bağlayıcı olarak elek altında kalan inşaat ayıkıntı atığı tozu kullanılmıştır. Geopolimerleşme için ise aktivatör olarak NaOH kimyasalı çeşitli molaritede çözelti hazırlanarak inşaat yıkıntı atık tozlarına karıştırılmıştır. Aktivatör olarak kullanılan NaOH kimyasalı TEKKİM firmasından temin edilmiş olup %98 saflık derecesine sahiptir.



Şekil 1. Zemin numunesine ait dane dağılım eğrisi

2.2. Yöntem

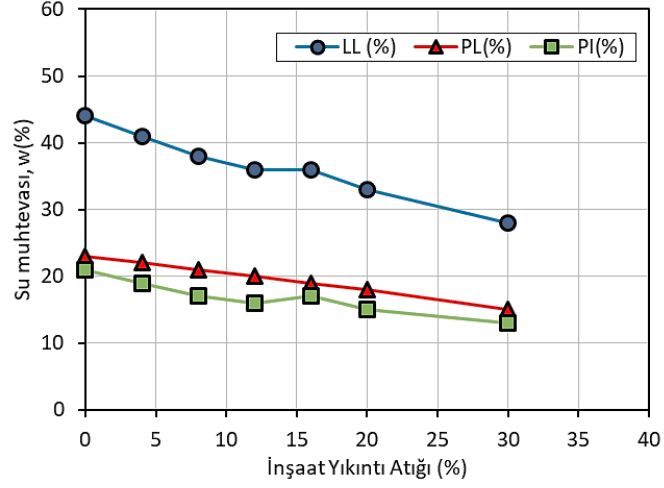
İnşaat yıkıntı atıklarının (tuğla, beton ve cam tozu) geopolimer bağlayıcı olarak killi zeminlerin mühendislik özellikleri üzerine etkisini incelemek amacıyla, Erzincan ili sınırları içerisinde yer alan bölgeden temin edilen killi zemin numunesi kullanılmıştır. İnşaat yıkıntı atıklarının zemin numunesinin kıvamına, sıkışma özelliklerine ve kayma mukavemeti üzerine etkisinin incelenmesi amacıyla Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Geoteknik Laboratuvarında elek analizi (ASTM C136), kıvam limitleri (ASTM D4318), standart proktor (ASTM D698) ve serbest basınç (TS 1900-2) deneyleri yapılmıştır.

İnşaat yıkıntı atığının geopolimer bağlayıcı olarak yumuşak bir zemin numunesinin kayma mukavemetine etkisinin belirlenmesi amacıyla, kil zemin numuneleri %25 su muhtevasında hazırlanmış olup inşaat yıkıntı atığı geopolimer olarak kuru ağırlıkça %4, %8, %12, %16, %20 ve %30 oranlarında zemine karıştırılmıştır. Geopolimer elde edilmesi için inşaat tıkkıntı atığına daha önce hazırlanan NaOH çözeltisi (12 molar) eklenmiştir. Geopolimerleşme için hazırlanan çözeltinin kuru inşaat yıkıntı atığına oranı (çözelti/binder) 0.4 olarak belirlenmiştir. Daha sonra ayrı ayrı hazırlanan zemin numunesi ve geopolimer bağlayıcı olan inşaat yıkıntı atığı birbiriyle karıştırılmış ve sonra deney numuneleri laboratuvar ortamında hazırlanan numune hazırlama deney aleti yardımı ile standart numune boyutlarında (D=38 mm, H=76 mm) olarak hazırlanmıştır. Deney aleti çapı 38 mm olan silindirik numune alıcının modifiye edilip deneysel çalışma amacına yönelik olarak hazırlanmıştır. Zemin numunesi silindirik deney aletine önceden belirlenen su muhtevası ve ağırlıkta manuel olarak çelik çubuk yardımı ile sıkıştırılmıştır. Sıkıştırılan zemin numunesi daha sonra silindirik deney aletinden çıkartılarak yüksekliği 76 mm olacak şekilde traşlanmış ve istenilen kür süresi için streç film ile detaylı bir şekilde sargılanarak desikatöre konulmuştur. Optimum su muhtevalarında hazırlanan ve sıkıştırılan zemin numunelerinin direnajsız kayma dirençlerinin belirlenmesi için serbest basınç deneyleri 1 mm/dk yükleme hızında yapılarak elde edilen sonuçlar referans zemin numunesi ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca inşaat yıkıntı atıkları ile iyileştirilen zemin numuneleri belli bir kür süresi (28 gün) dikkate alınarak atık miktarının iyileştirme üzerine etkisi belirlenmek istenmiştir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA VE DENEY SONUÇLARI

3.1. Kıvam Limitleri

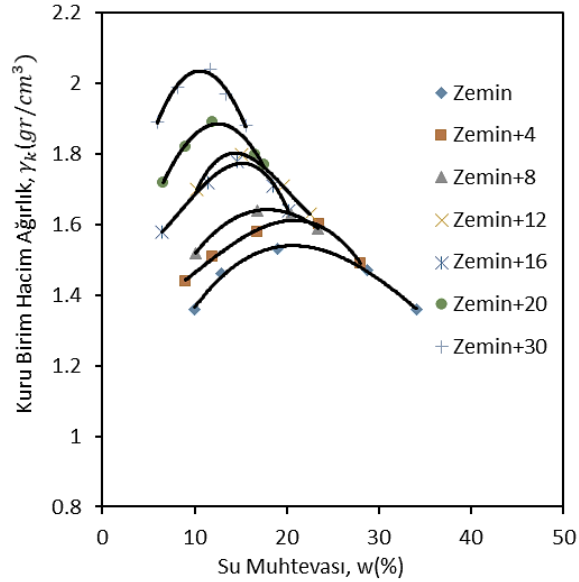
Ağırlıkça yüzde 4, 8, 12, 16, 20 ve 30 oranlarında eklenen inşaat yıkıntı atığı tozu zemin numunesinin kıvam limit değerlerini düşürdüğü gözlenmiştir. Kıvam limit deneylerinde kullanılan inşaat yıkıntı atıkları kimyasal aktivatör kullanılmadan yani geopolimerleşme oluşmadan zemin numunesine eklenmiştir. Elde edilen değerler Şekil 2' de katkı miktarlarına bağlı olarak likit, plastik limit ve plastisite indeksindeki değişimleri verilmiştir.



Şekil 2. İnşaat yıkıntı atıklarının zeminin kıvam limitlerine etkisi

3.2. Kompaksiyon Özellikleri

İnşaat sahasından alınan killi zemin numunesinin kompaksiyon özellikleri ve inşaat yıkıntı atıklarının kompaksiyon özelliklerine etkisi yapılan standart proktor deneyleri ile belirlenmiştir. Ağırlıkça artan inşaat yıkıntı atıkları yüzdelere göre zemin numunesinin kompaksiyon davranışı Şekil 3' te verilmiştir. Artan inşaat yıkıntı atıkları miktarlarına göre zeminin kompaksiyon özelliklerinde iyileşme gözlenmiştir.

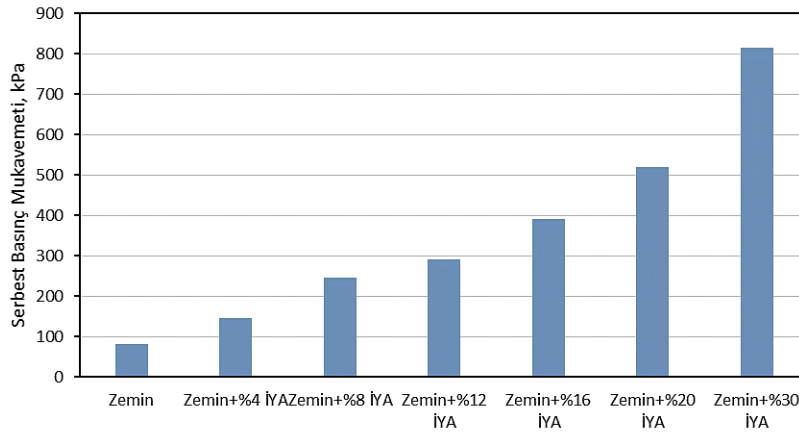


Şekil 3. İnşaat yıkıntı atığının zeminin kompaksiyon davranışına etkisi

3.3. Kayma Mukavemeti

Yumuşak killi bir zemin numunesinin inşaat yıkıntı atığı ile iyileştirildiği çalışmada bütün numuneler %25 su muhtevasında hazırlanmıştır. Ağırlıkça doğal haldeki kil numunesi üzerine %4, %8, %12, %16, %20 ve %30

oranında ilave edilerek hazırlanan karışımlar belirlenen su muhtevası ve değerlerinde hazırlanarak 28 günlük kür süreleri sonucunda serbest basınç deneylerine tabi tutulmuştur. İnşaat yıkıntı atığının yumuşak killi zemin numuneleri üzerindeki direnajsız kayma direnci etkileri araştırılmıştır. Zemin numunelerinin serbest basınç mukavemetleri iyileştirmeden önce yaklaşık 80 kPa civarlarında iken, inşaat yıkıntı atığı ile yapılan iyileştirme sonucu 810 kPa mertebelerine ulaştığı gözlenmiştir (Şekil 4). Genel olarak artan inşaat yıkıntı atığı (İYA) ile serbest basınç mukavemetinde gözle görülür şekilde iyileşmenin olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4. İYA' nın zeminin serbest basınç mukavemetine etkisi

4. SONUÇLAR

Erzincan merkez ilçesinden doğal olarak temin edilen killi zemin numunesine belli oranlarda inşaat yıkıntı atığı katılmış ve killi zemin numunesinin kıvam limitleri, kompaksiyon davranışı ve serbest basınç mukavemetindeki değişimler incelenmiştir. Kıvam limitleri ve kompaksiyon özelliklerine olan etkisi için inşaat yıkıntı atığına herhangi bir aktivatör (NaOH) eklenmemiş sadece inşaat yıkıntı atığı tozunun etkisi incelenmiştir. Ancak serbest basınç mukavemetine olan etkisinin incelenmesi için inşaat yıkıntı atığı belli molaritede hazırlanan NaOH çözeltisi eklenerek geopolimerleşmenin oluşması istenmiştir.

DeneySEL çalışma sonucunda elde edilen verilere göre, inşaat yıkıntı atığı ilave edilen zemin numunelerinin kıvam limitlerinde düşüş gözlenmiş, artan inşaat yıkıntı atığı ile zeminin plastisitesinin düştüğü belirlenmiştir. İnşaat yıkıntı atığının zemin numunesinin kompaksiyon özelliklerini oldukça önemli bir şekilde etkilediği görülmüştür. Artan inşaat yıkıntı atığı ile zemin numunesinin optimum su muhtevası azalırken maksimum kuru birim hacim ağırlığının arttığı belirlenmiştir. İnşaat yıkıntı atığı geopolimer bağlayıcı olarak artan yüzdelerde zemine ilave edilmiştir. Artan inşaat yıkıntı atığının zeminin kayma mukavemetini iyileştirdiği belirlenmiştir.

İnşaat yıkıntı atığı tozunun kil zeminin kıvam limitlerine, kompaksiyon özelliklerine ve kayma mukavemetine etkisi geoteknik mühendisliği açısından zeminlerin iyileştirmesinde kullanımı katkı sunacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- ASTM C136, (2006), Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, American Test Methods Standards.
- ASTM D2487, (2011), Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System), American Test Methods Standards.
- ASTM D4318, (2010), Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, American Test Methods Standards.

- ASTM D698-07E1, (2009), Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort, American Test Methods Standards.
- TS 1900-2, "Methods of testing soils for civil engineering purposes in the laboratory - Part 2: Determination of mechanical properties", TSI, Ankara, [in Turkish], 2006.
- Zheng, L., Wua, H., Zhang, H., Duan, H., Wanga, J., Jiang, W., Dong, B., Liu, G., Zuo, J., Song, Q. "Characterizing the generation and flows of construction and demolition waste in China", Construction and Building Materials, 136 (2017) 405–413.
- H. Wu, J. Wang, H. Duan, L. Ouyang, W. Huang, J. Zuo, "An innovative approach to managing demolition waste via GIS (geographic information system): a case study in Shenzhen city, China", J. Clean Prod. 112 (2016) 494–503.
- T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Sanayi Genel Müdürlüğü. Ulusal Geri Dönüşüm Strateji Belgesi ve Eylem Planı 2014-2017. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/ugds/ustmenu/ustmenu615.pdf>. Yayın tarihi Aralık 30, 2014. Erişim tarihi Mayıs 10, 2020.
- P. Duxson, A. Fernandez-Jimenez, J.L. Provis, G.C. Lukey, A. Palomo, J.S.J. Deventer, "Geopolymer technology: the current state of the art" J. Mater. Sci. 42(2007) 2917–2933.
- M. Zhang, H. Guo, T. El-Korchi, G. Zhang, M. Tao, "Experimental feasibility study of geopolimer as the next-generation soil stabilizer", Constr. Build. Mater. 47 (2013) 1468–1478.
- Ghadir P, Ranjbar N. "Clayey soil stabilization using geopolimer and Portland cement". Construction 1532 and Building Materials. 2018;188(361-71).
- Bilondi, M.P.; Toufigh, M.M.; Toufigh, V. "Experimental investigation of using a recycled glass powder-based geopolimer to improve the mechanical behavior of clay soils" Constr. Build. Mater. 2018, 170, 302–313.