

KONYA ŞEKER FABRİKASI ATIK KİREÇ ÇAMURU (PKF)'NİN GEOTEKNİK MÜHENDİSLİĞİNDE KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATION OF THE USE OF KONYA SUGAR FACTORY WASTE LIME SLUDGE (PKF) IN GEOTECHNICAL ENGINEERING

Mustafa YILDIZ¹, Mustafa ALARYAN²

ÖZET

Son yıllarda endüstriyel atıkların zemin iyileştirilmesinde kullanımları büyük önem kazanmaktadır. Bu malzemelerin geleneksel güçlendirme katkılarının yerine geçebilme durumları araştırılmaktadır. Bu amaçla endüstriyel atıkların değerlendirilmesi, atıkların neden olduğu çevre kirliliğinin önlenmesinin yanı sıra endüstriyel atıkların zemin iyileştirilmesinde kullanılması ile ülke ekonomisine katkı sağlanmaktadır. Şeker pancarından şeker üretimi sonucu büyük miktarda pres filtre atık kireç çamuru (PKF) açığa çıkmakta, çevre için ciddi sorun oluşturmaktadır. Tehlikesiz olan bu atığın zemin iyileştirme çalışmalarında ve yol alt yapılarının stabilizasyonunda kullanımı incelenmiştir. Bu çalışmada, düşük ve yüksek plastisiteli iki tür kil zeminin pres filtre atık kireç çamuru (PKF) ile stabilizasyonu araştırılmıştır. Yüksek ve düşük plastisiteli kilin iyileştirilmesi amacıyla numunelere farklı oranlarda (%5, %10, %15, %20) katkı maddesi olarak PKF eklenmiş, tüm karışımlara; 0, 7, 15 ve 28 günlük kür süreleri uygulanmıştır. Optimum su içeriğinde hazırlanan numunelerin sırasıyla taşıma gücü ve kayma mukavemeti değerleri araştırılmıştır. Yapılan çalışmada, yüksek ve düşük plastisiteli kil zeminlere belirli oranlarda ilave edilen PKF'nin zeminlerin basınç ve kayma mukavemetini artırdığı tespit edilmiştir. PKF, başta killi zeminler olmak üzere çeşitli zeminlerde stabilizasyon (iyileştirme) maddesi olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atık kireç çamuru (PKF), Düşük ve yüksek plastisiteli kil, Pres filtre atığı, Zemin iyileştirmesi.

¹Prof. Dr., Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, myildiz@ktun.edu.tr (Sorumlu yazar)

²Yüksek Lisans öğrencisi, mu.alaryan@gmail.com

ABSTRACT

In recent years, the use of industrial wastes in soil improvement has gained great importance. The ability of these materials to replace traditional reinforcement additives is being investigated. For this purpose, the use of industrial wastes, prevention of environmental pollution caused by wastes, as well as the use of industrial wastes for soil improvement, contributes to the country's economy. As a result of sugar production from sugar beet, a large amount of press filter waste lime sludge (PKF) is released, creating a serious problem for the environment. The use of this non-hazardous waste in soil improvement works and stabilization of road infrastructures has been investigated. In this study, the stabilization of two types of clay soils with low and high plasticity with press filter waste lime sludge (PKF) was investigated. In order to improve high and low plasticity clay, PKF was added to the samples at different rates (5%, 10%, 15%, 20%) as an additive. Curing times of 0, 7, 15 and 28 days were applied. The bearing capacity and shear strength values of the samples prepared at optimum water content were investigated. In the study, it was determined that PKF added to high and low plasticity clay soils in certain proportions increases the pressure and shear strength of the soils. It has been determined that PKF can be used as a stabilization (improvement) agent on various soils, especially on clayey soils.

Keywords: *Waste lime sludge (PKF), Low and high plasticity clay, Press filter waste, Soil improvement.*

1. GİRİŞ

Geoteknik mühendisleri tarafından, atık malzemelerin zemin iyileştirme çalışmalarında kullanılabilirliği yaygın şekilde araştırılmakta, bu malzemelerin geleneksel güçlendirme katkılarının yerine geçebilme durumları incelenmektedir. Bu bağlamda, birçok atık malzemenin tek başına ya da var olan malzemelere ilave edilerek kullanımı ve geri dönüşümü araştırılmaktadır. Böylece, hem bu atık malzemelerin ekosisteme zararları azaltılmış, hem de pahalı kimyasal katkı malzemelerinin karışımlardaki oranları düşürülmüş olacağı için ekonomik olarak katkı sağlayacaktır (Ural vd., 2014).

Sanayi üretimi sonrası ortaya çıkan endüstriyel atıklar, zemin özelliklerini iyileştirmek için katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Katkı malzemesi ile zeminin basınç mukavemeti ve dayanıklılığını artmakta, şişme potansiyeli azalmakta ve donma-çözülme döngüsünde zeminin stabilitesini korumaktadır. Zemin iyileştirme uygulamalarında katkı maddesi olarak kireç çimento gibi geleneksel malzemelerin yanında, uçucu kül, mermer tozu, silis dumanı, bor atıkları gibi endüstriyel atıklar da kullanılmaktadır (Zorluer, 2020).

Dünya’da şeker pancarından yılda 144.221.000 ton şeker üretimi yapılmaktadır. Bu miktarın yaklaşık %1’ine tekabül eden 1.848.000 tonu Türkiye’de üretilmektedir. Türkiye’de üretilen şekerin ise %12,8’i (237.000 ton) Konya Şeker Fabrikası’nda üretilmektedir. Konya Şeker Merkez ve Çumra Fabrikalarında yaklaşık 200.000 ton/yıl atık kireç çamuru (PKF) oluşmaktadır (Anonim, 2004; Tunçez, 2007). Depolama sorunu oluşturan büyük ölçekteki PKF atığının yeniden kullanımı için eşdeğer ölçekte bir alana ihtiyaç duyulmaktadır. Tehlikesiz bir atık olduğu için geri dönüşüm ve taşıma konusunda doğaya kimyasal bir zararı olmayan bu atığın zemin iyileştirme çalışmalarında ve yol alt yapılarının stabilizasyonunda kullanımı ile depolama için büyük ölçekte alana ihtiyaç kalmayacaktır. Oldukça maliyetli olan zemin iyileştirme yöntemlerinde bu atığın kullanılması hem maliyetin azaltılması hem de atık malzemenin yeniden değerlendirilmesi noktasında olanak sağlayacaktır. Ayrıca PKF

atığının geçirdiği süreçten kaynaklı yapı bozulmaları ve rahatsız edici koku oluşturmamasından kaynaklı çevresel problemler en aza indirgenmiş olacaktır.

Kireç çamuru (PKF)'nin değişik kullanım alanları ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Shoir (2006) yaptığı çalışmada, şeker fabrikası atık kirecin gübre ve sera toprağı karışımında katkı maddesi olarak, atık suyun arıtımında sorbent madde olarak, çimento ve gazbeton üretiminde mikro dolgu maddesi olarak ve hayvan besiciliğinde mineral katkısı olarak kullanılması araştırmıştır. Al-Kiki vd. (2011) tarafından Şeker fabrikası yan ürünü atık kireç kullanımının killi zeminlerin; basınç dayanımı, geçirgenlik, zemin-su karakteristik eğrisi ve dayanıklılık gibi mühendislik özelliklerine etkisi araştırmıştır. Çalışmada, artan atık kireç içeriğı ile zeminin su tutma kabiliyetinin arttığı, atık kireci ile stabilize edilen zeminin serbest basınç dayanımında kür süresine bağılı olarak artış olduğu belirtilmiştir. Li vd. (2014) kireç bazlı hammadde olarak PKF'nin Portland çimentosunun üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Uygun miktardaki PKF miktarının basınç dayanımını artırabileceğı, priz süresini kısaltabileceğı ve başlangıç ve hızlanma periyodunda çimento hidratasyonunu destekleyebileceğı bulunmuştur. Topçu ve Sofuoğlu (2017) PKF atığını harç karışımında belirli oranlarda kullanılarak harç özelliklerinin basınç dayanımına etkisi araştırmıştır. Assadi Langroudi vd. (2019) şeker üretiminin bir yan ürünü olan çökeltmiş kalsiyum karbonatı, gevşek siltli killi balçıkların iyileştirilmesi için bir stabilizatör olarak önermişlerdir. Stabilize edilmiş zeminlerin kayma dayanımında artış görülmüştür.

Bu çalışmada, Konya II. Organize Sanayi Bölgesindeki düşük ve yüksek plastisiteli iki tür kil zeminin atık kireç çamuru (PKF) ile stabilizasyonu araştırılmıştır. Yüksek ve düşük plastisiteli kilin iyileştirilmesi amacıyla numunelere farklı oranlarda (%5, %10, %15, %20) katkı maddesi PKF eklenmiş, tüm karışımlara; 0, 7, 15 ve 28 günlük kür süreleri uygulanmıştır. Yapılan çalışmada, yüksek ve düşük plasitisiteli kil zeminlere belirli oranlarda ilave edilen PKF'nin zeminlerin basınç ve kayma mukavemetini artırdığı tespit edilmiştir. PKF'nin, başta killi zeminler olmak üzere çeşitli zeminlerde stabilizasyon (iyileştirme) maddesi olarak kullanılabileceğı belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Kireç, zemin stabilizasyonu açısından oldukça ekonomiktir. Kireç stabilizasyonu; zemin özelliklerini iyileştirmek amacıyla kirecin zemine ilave edilmesidir. Zemine ilave edilen kireç türleri; hidratlı yüksek kalsiyumlu kireç, monohidratlı dolomit kireç, kalsit sönmemiş kireç ve dolomit kireçtir. Çoğu zemin stabilizatöründe kullanılan kireç miktarı %5 ila %10 aralığında değişmektedir. Kireç modifikasyonu, puzolanik reaksiyonun getirdiğı çimentolama etkisinden ziyade katyon değişim kapasitesinin getirdiğı mukavemet artışını tanımlar (Afrin, 2017).

Yüksek kalsiyum içeriğine sahip kireç sulandırılarak herhangi bir zeminle reaksiyona girdiğinde ortaya çıkan etkiler oldukça karmaşıktır. Katkı maddesi olarak kalsiyum içerikli maddelerin killi zeminleri iyileştirme süreci; katyon değişimi, flokülasyon ve aglomerasyon, çimento hidratasyonu ve puzolonik reaksiyonu olmak üzere dört farklı reaksiyonu içermektedir. Kireç stabilizasyon teknolojisi çoğunlukla geoteknik ve çevresel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Uygulamalardan bazıları, kireç bazlı dolgular, otoyol kaplaması, şev stabilizasyonu ve kireçle stabilize zemin kolonlarının kullanımı gibi temel iyileştirmeyi içerir (Dash ve Hussain, 2012).

Şeker endüstrisinde, arıtmada kullanılacak kireç, fabrika sahasındaki kireç ocaklarında üretilir. Su ile söndürülen kireçten şerbet arıtımında kullanmak amacıyla kireç sütü

hazırlanır. Arıtımda kullanılan kireç dekantörler vasıtasıyla çökertilir. Dekantörler yoğunluk farkı dolayısıyla çamur parçacıklarının dibe çökmesi ilkesine dayanır. Dekantörün üstünde berrak şerbet, altında çamur birikir. Filtre preslerden çıkan yaklaşık %70-80 kuru madde içeren toprağa Pres Filtre Atık Zemin veya Atık Kireç Çamuru (PKF) denir. PKF filtre atığının kimyasal bileşimi Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1. PKF filtre atığının kimyasal bileşimi

Bileşen Kütlesi (%)	
MgO	2.0242
Al ₂ O ₃	1.2064
SiO ₂	3.7480
P ₂ O ₅	0.1948
SO ₃	0.2142
K ₂ O	0.0910
CaO	56.3714
TiO ₂	0.0783
Cr ₂ O ₃	0.0392
Fe ₂ O ₃	1.0255
BaO	0.2331
Sınırlayıcı Oksijen İndeksi (LOI)	34.774

Bu çalışmada, Konya Şeker Fabrikası atık kireç çamuru (PKF)'nin Geoteknik mühendisliğinde kullanım alanları araştırılmıştır. Bu amaçla, Konya II. Organize Sanayi Bölgesindeki düşük ve yüksek plastisiteli iki tür kil zeminin atık kireç çamuru (PKF) ile stabilizasyonu araştırılmıştır.

2.1. Deneysel Çalışma

Çalışma kapsamında kullanılan yüksek ve düşük plastisiteli kil zeminler, Konya 2. Organize Sanayi Bölgesi'nden temin edilmiştir. Zeminler üzerinde ASTM ve TS 1900-1 standartlarına göre Atterberg Limitleri, Piknometre ve Elek Analizi deneyleri yapılmış, USCS zemin sınıflandırma sistemine göre zemin sınıfları belirlenmiştir. Ayrıca kil zemin üzerinde kompaksiyon deneyi yapılmış, optimum su muhtevası ve maksimum kuru yoğunluk değerleri bulunmuştur. Kil zemininin fiziksel özellikleri ve kompaksiyon değerleri Tablo 2'de, PKF'nin fiziksel özellikleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 2. Yüksek ve düşük plastisiteli kil zeminin fiziksel özellikleri

USCS Zemin sınıfı	CH	CL
Likit limiti (w_L) (%)	52	33
Plastik limit (w_P) (%)	23	21
Plastisite indisi (I_P) (%)	29	12
USCS Zemin sınıfı	CH	CL
Tane yoğunluğu (ρ_s) (Mg/m ³)	2.66	2.64
İnce tane (Kil+Silt) Yüzdesi (%)	87.60	65
Max. Kuru yoğunluk (ρ_{kmax}) (Mg/m ³)	1.64	1.72
Optimum su muhtevası (%)	22.60	20.60

Tablo 3. PKF'nin fiziksel özellikleri

4.75-0.075 mm	-
0.075-0.002 mm	%94
<0.002 mm	%6
Tane yoğunluğu (ρ_s) (Mg/m ³)	2.42
Organik madde oranı (%)	9.50

2.2. Kil-PKF numunelerinin hazırlanması

Kurutulmuş ve öğütülmüş yüksek ve düşük plastisiteli kil zemine, kuru ağırlıklarının %5, %10, %15 ve %20 oranlarında pres filtre atık kireç çamuru (PKF) eklenmiş, PKF ile kil zeminler homojen şekilde karıştırılmıştır. PKF'nin kil zeminlere ilavesinden sonra eklenecek su miktarı, her iki zemin için kompaksiyon deneyi sonucu elde edilen optimum su muhtevası değerlerine göre belirlenmiştir.

Serbest basınç deneyi için numuneler, Modifiye edilmiş, minyatür Harvard kompaksiyon aleti kullanılarak 38 mm çapa ve 76 mm yüksekliğe sahip kaplarda sıkıştırılması sonucunda elde edilmiştir. Kür süresi 7, 15 ve 28 gün olan numuneler, kapalı kutu içerisinde hava almayacak şekilde sarılarak saklanmıştır. Serbest basınç deneyi ASTM D2166/D2166M-16 standardına göre yapılmıştır. Deneyde hazırlanan zemin numunelerinin serbest basınç mukavemeti değerleri (q_u) bulunmuştur.

Kesme kutusu deneyleri için zeminler belirlenen oranlardaki karışımlarda optimum su muhtevasında sıkıştırılıp, deney numuneleri 60x60x20 mm boyutundaki standart numune alıcıların sıkıştırılmış zemine çakılmasıyla alınmıştır. Numunelerin 7, 15 ve 28 günlük kür süreleri boyunca serbest basınç deneyindeki gibi hava almayacak şekilde saklanmıştır. Kesme kutusu deneyi ASTM D6528 – 17 standardına göre yapılmıştır. Deney ile hazırlanan zemin numunelerinin kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) değerleri bulunmuştur.

3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

3.1. Serbest Basınç Deney Sonuçları

Optimum su muhtevasında hazırlanan katkısız ve PKF katkılı kil zeminin, 38 mm çapında 76 mm yüksekliğindeki hazırlanmış deney numunelerinin serbest basınç deney sonuçları Tablo 4'de, yüksek ve düşük plastisiteli kil-PKF karışımının serbest basınç deney sonuç grafikleri Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo 4. PKF karışımı yüksek ve düşük plastisiteli kil zeminde serbest basınç deney sonuçları

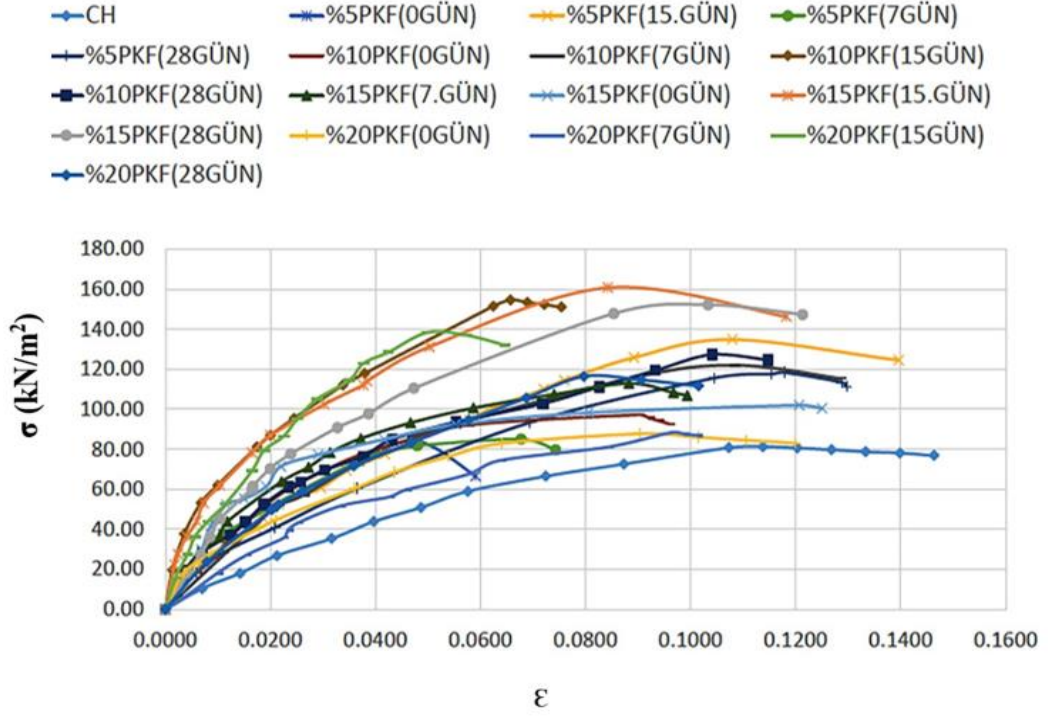
PKF yüzdesi (%)	Kür süresi (gün)	Serbest basınç mukavemeti (q_u) σ (kN/m ²)	
		CH	CL
0	0	81.31	64.56
	0	83.99	80.21
	7	85.04	92.25
	15	134.80	109.34
	28	118.40	131.41
5	0	97.23	116.94
	7	122.25	122.11
	15	154.60	157.46
	28	127.80	196.52
10	0	101.99	129.03
	7	112.87	132.53
	15	160.77	164.34
	28	152.20	210.24
15	0	87.71	107.70
	7	88.33	118.26
	15	138.31	137.64
	28	114.65	155.53

Yüksek plastisiteli kil zeminin serbest basınç mukavemeti; aynı katkı oranı için kür süresine bağlı olarak artmış, 15 günlük kür süresinden sonra mukavemette azalma meydana gelmiştir. Düşük plastisiteli kil zeminde ise 15 günlük kür süresinden sonra mukavemette azalma meydana gelmemiştir.

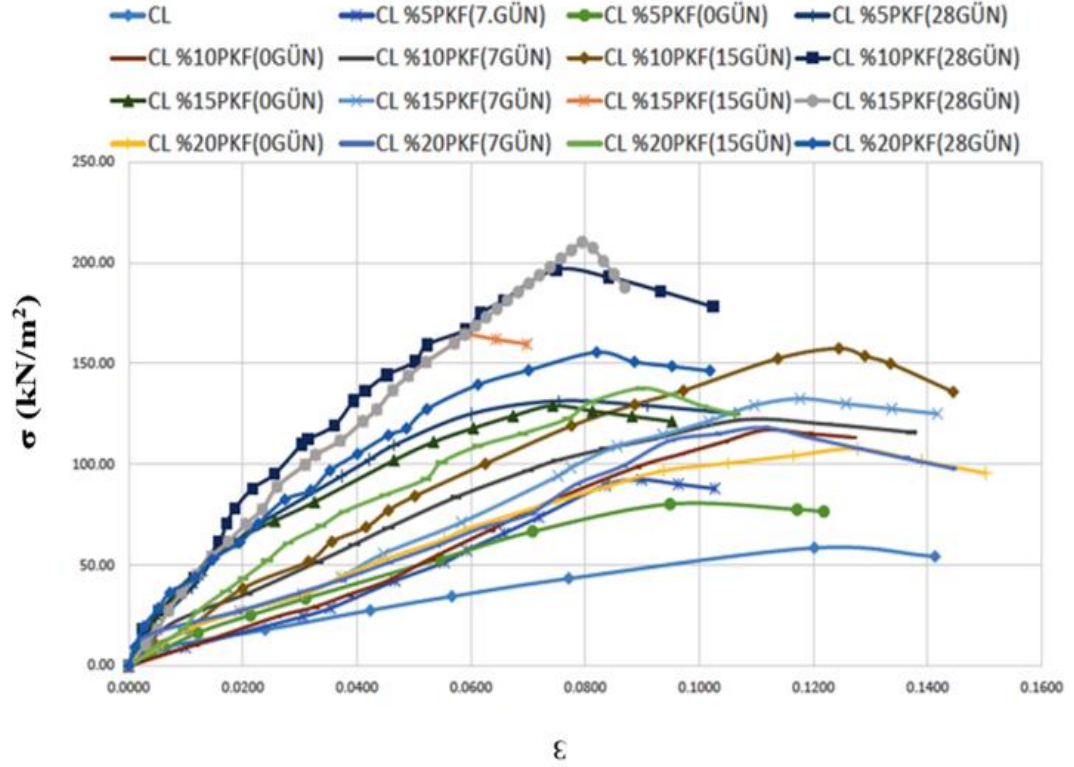
Her iki kil zemin için aynı kür süreleri içinde serbest basınç mukavemeti %0, %5, %10 ve %15'lik PKF katkısı ile artmıştır. En yüksek mukavemet ise %15'lik PKF ilavesi sonucunda elde edilmiştir. Mukavemet, %15'ten sonraki PKF ilavesi ile azalmaya başlamıştır.

Al-Kiki ve ark. (2011) killi zeminin kuru ağırlığına göre zemine farklı oranlardaki endüstriyel atık kireç (şeker fabrikası yan ürünü) (%2, %4, %6 ve %8) ilave etmiştir. Zemine ilave edilen %6 oranındaki atık kireç içeriğinin kürlenme süresi ile artarak zeminin maksimum serbest basınç dayanımına ulaştığı sonucuna varılmıştır. Artan atık kireç ilavesinin zemin mukavemetini azalttığı ifade edilmiştir.

Topçu ve Sofuoğlu (2017) harç karışımı için çimento yerine PKF atığını kullanmıştır. Atığın çimento ağırlığı %5, %10, %15, %20 oranında kullanılarak harç karışımları elde edilmiş ve ağırlıkça %5'lik PKF atığı 7 günlük ortalama basınç dayanımının en yüksek seviyede olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 1. Yüksek plastisiteli kil-PKF karışımının serbest basınç deneyi sonuçları



Şekil 2. Düşük plastisiteli kil-PKF karışımının serbest basınç deneyi sonuçları

3.2. Kesme Kutusu Deney Sonuçları

Optimum su muhtevasında hazırlanan katkısız ve PKF katkılı kil zemin numunelerin kesme kutusu deneyi sonuçları Tablo 5'te verilmiştir. %10 PKF katkılı, 15 gün kür süreli CH zemin numunelerin kesme kutusu deney sonuç grafikleri Şekil 3'te ve %15 PKF katkılı, 15 gün kür süreli CL zemin numunelerin kesme kutusu deney sonuç grafikleri Şekil 4'de örnek olarak verilmiştir.

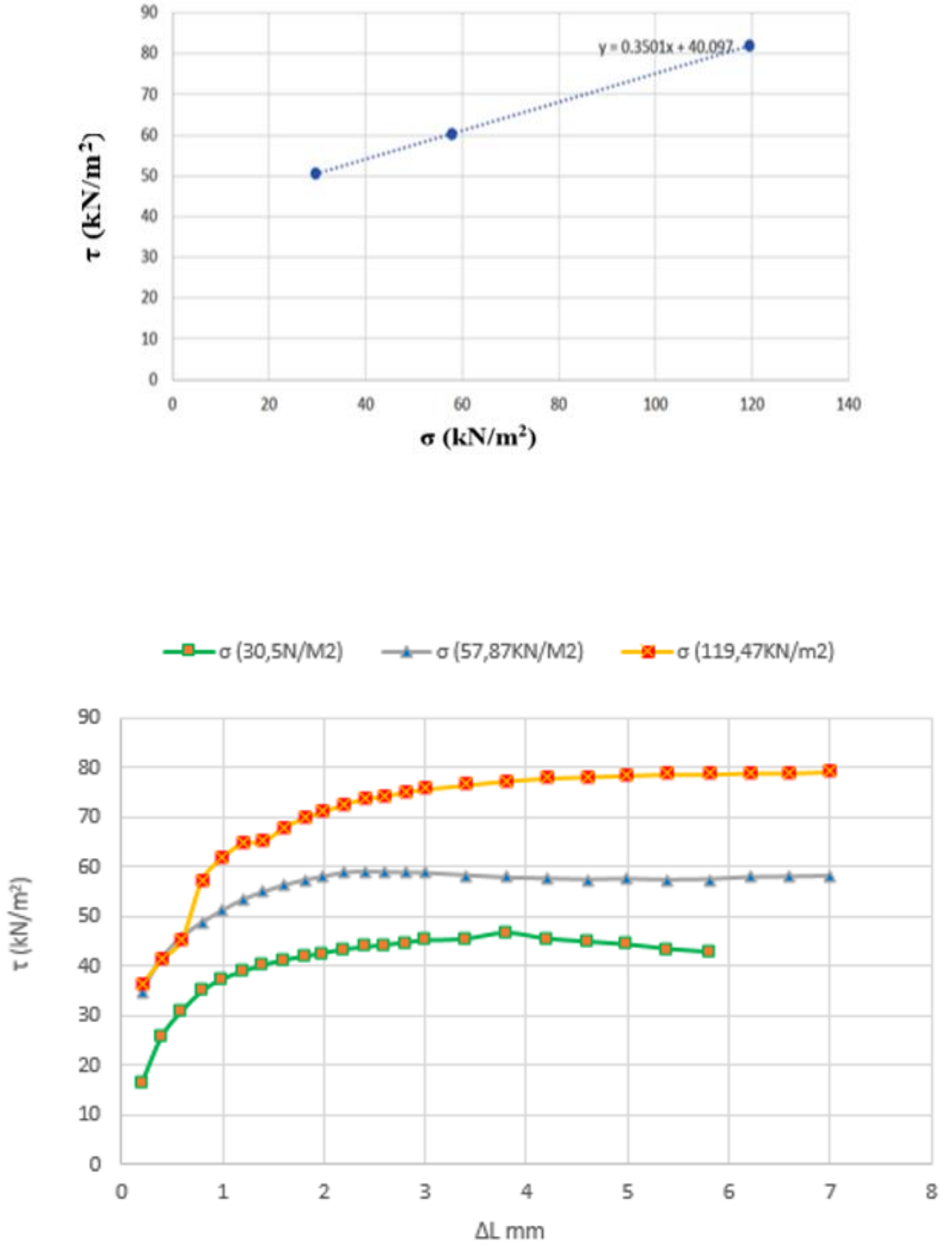
Tablo 5. PKF karışımı yüksek ve düşük plastisiteli kil zeminde kesme kutusu deneyi sonuçları

PKF yüzdesi (%)	Kür süresi (gün)	CH		CL	
		Kohezyon(c) (kPa)	İçsel sürtünme açısı (ϕ)	Kohezyon(c) (kPa)	İçsel sürtünme açısı (ϕ)
0	0	27.25	11.58	16.13	19.75
	0	29.66	12.31	24.98	19.75
	7	31.98	17.55	32.20	26.68
	15	39.55	22.15	38.11	26.85
	28	40.53	24.82	48.21	28.33
10	0	29.89	17.09	32.44	26.80
	7	34.22	17.67	36.99	29.49
	15	40.97	19.29	46.48	30.68
	28	44.35	27.25	49.50	31.98
15	0	30.37	21.81	33.93	29.93
	7	40.44	26.12	39.76	32.36
	15	47.17	27.28	48.56	34.36
	28	52.75	29.44	51.98	35.20
20	0	22.38	14.58	25.86	28.92
	7	25.72	16.09	35.23	30.84
	15	27.59	21.57	40.17	31.18
	28	29.84	24.08	44.11	34.51

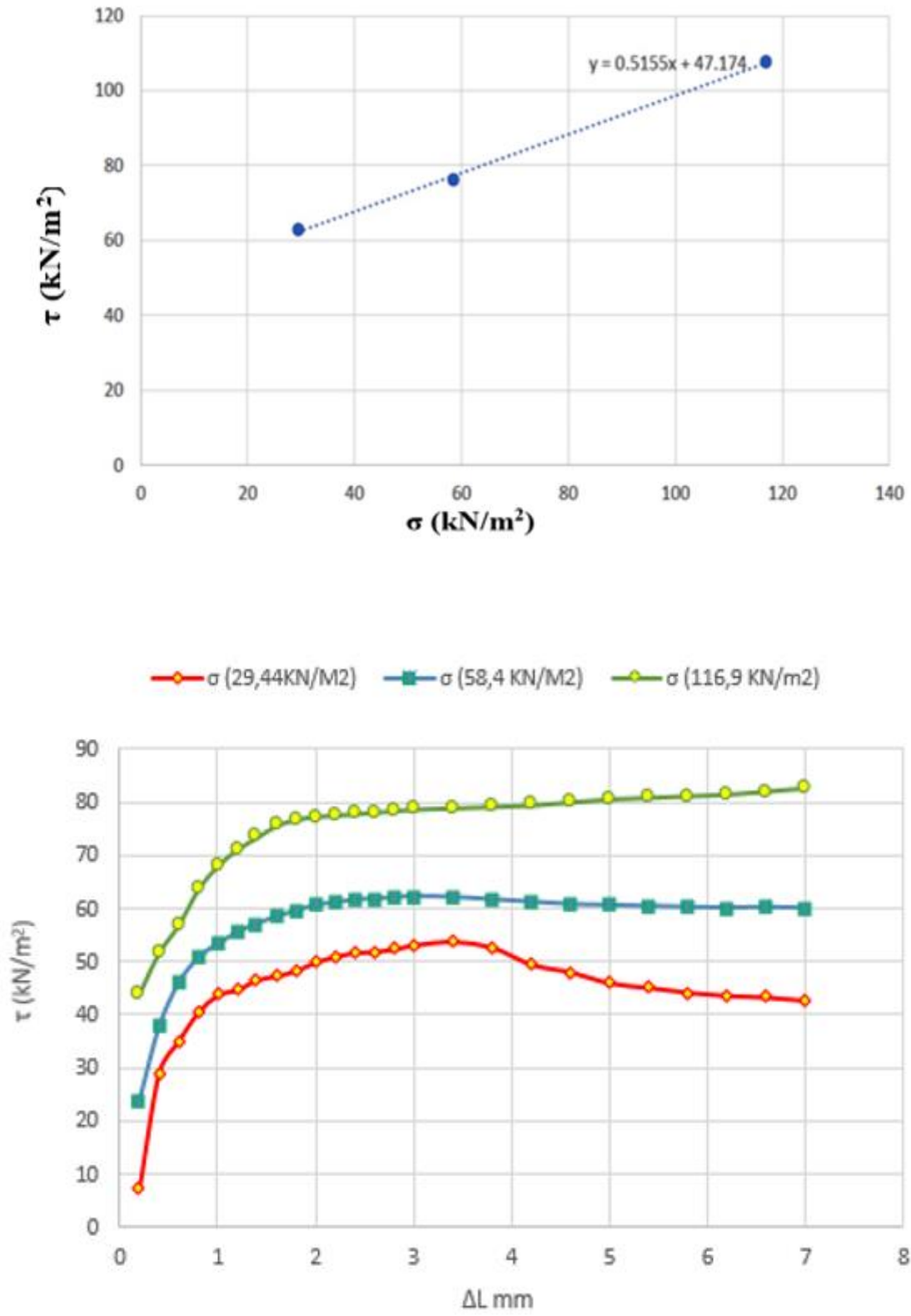
Kesme kutusu deneylerinde, optimum su muhtevasında hazırlanan düşük ve yüksek plastisiteli kil zeminlere PKF ilavesi sonucunda kür süresi ve katkı oranına bağlı olarak kayma dayanımında belirli miktarlarda artış meydana gelmiştir. %15 katkı oranında artan kür süresi ile en yüksek kayma dayanımına ulaşılmıştır.

PKF katkısı içerisindeki yüksek miktardaki kireç, flokülasyon ve aglomerasyon nedeniyle kil partiküllerinin hem içsel sürtünme açısında (ϕ) hem de kohezyonda (c) artışa sebep olmuştur.

Assadi Langroudi ve ark. (2019) stabilizör olarak kullandığı çökeltilmiş kalsiyum karbonatın, doymuş modifiye zeminlerin plastisitesi artırarak ve kafes içi gözenek hacmini azaltarak kesme dayanımını artırdığını ifade etmiştir.



Şekil 3. Kesme kutusu deney sonuçları (%10 PKF katkılı CH 15 gün kür süresi)



Şekil 4. Kesme kutusu deney sonuçları (%15 PKF katkılı CL 15 gün kür süresi)

4. SONUÇLAR

Çalışmada, Konya II. Organize Sanayi Bölgesindeki düşük ve yüksek plastisiteli iki tür kil zeminin atık kireç çamuru (PKF) ile stabilizasyonu araştırılmıştır. II. Organize Sanayi Bölgesi ve çevresi göl ortası çökellerinden oluşmakta olup, geniş bir alana yayılan yumuşak kil zeminlerden meydana gelmektedir. Maliyetli olan zemin iyileştirme yöntemlerine kıyasla maliyeti daha düşük olan bu atığın kullanılması, hem maliyetin azaltılması hem de atık malzemenin bertarafı hususunda olanak sağlayacaktır. Araştırmada, serbest basınç ve kayma dayanımı deneyleri ile düşük ve yüksek plastisiteli kil zeminlerdeki PKF katkısının etkileri araştırılmıştır. Çalışma sonuçları şu şekilde özetlenebilir.

Optimum su muhtevasında hazırlanan PKF karıştırılmış yüksek ve düşük plastisiteli kil zemin numunelerinde, katkısız kil zemine göre her iki kil zeminin (farklı kür sürelerinde) serbest basınç mukavemetinde artış görülmüştür. %15 üzeri katkı ilavesinde yüksek plastisiteli kilde mukavemette azalma tespit edilmiştir.

Her iki kil zeminde en yüksek dayanım 15 günlük kür süresinde tespit edilmiştir. Katkılı her iki kil zeminin, katkısız kil zemine göre basınç mukavemetindeki artış yüksek plastisiteli kilde %97, düşük plastisiteli kilde %225 olmuştur.

Kesme kutusu deneylerinde, düşük ve yüksek plastisiteli kil zeminlere PKF ilavesi (optimum su muhtevasında) sonucunda kayma dayanımında (farklı kür sürelerinde) %15 katkı oranına kadar belirli miktarlarda artış olmuştur. En yüksek kayma dayanımına %15 oranında ulaşılmıştır.

Yüksek ve düşük plastisiteli killi zeminlere farklı oranlarda (%5, %10, %15 ve %20) eklenen PKF atığı, zeminlerin içsel sürtünmesini ve kohezyonunu artırmıştır. Optimum artışa %15'lik katkıda 28günlük kür süresinde ulaşılmıştır. Katkısız zemine göre yüksek plastisiteli kilde (c)'de %93, (ϕ)'de %64, düşük plastisiteli kilde ise (c)'de %200, (ϕ)'de %78 bir artış olmuştur. Yapılan çalışmada, yüksek ve düşük plasitisiteli kil zeminlere belirli oranlarda ilave edilen PKF'nin zeminlerin basınç ve kayma mukavemetini artırdığı tespit edilmiştir. PKF, başta killi zeminler olmak üzere çeşitli zeminlerde stabilizasyon (iyileştirme) maddesi olarak kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- ASTM D2166/D2166M-16 Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil, American Society for Testing and Materials, USA.
- ASTM D6528 – 17 Standard Test Method for Consolidated Undrained Direct Simple Shear Testing of Fine Grain Soils, American Society for Testing and Materials, USA.
- Afrin, H. (2017), "A review on different types soil stabilization techniques", International Journal of Transportation Engineering and Technology, 3 (2), 19-24.
- Al-Kiki, I. M., Al-Atalla, M. A., Al-Zubaydi, A. H. "2011, Long term strength and durability of clayey soil stabilized with lime", Engineering and Technology Journal, 29 (4), 725-735.
- Assadi Langroudi, A., Ghadr, S., Theron, E., Oderinde., Katsipatakis, E. (2019), "Lime cake as an alternative stabiliser for loose clayey loams", International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering, 5 (3), 1-13.

- Dash, S. K., Hussain, M. (2012), "Lime stabilization of soils: reappraisal, Journal of materials in civil engineering", 24 (6), 707-714.
- Li, H., Xu, W., Yang, X., Wu, J. (2014), "Preparation of Portland cement with sugar filter mud as lime-based raw material", Journal of Cleaner Production, 66, 107-112.
- Shoira, M. (2006), "Application of defecation lime from sugar industry in Uzbekistan", Yüksek Lisans Tezi, Urgench State University KTH Chemical Engineering and Technology, Uzbekistan, 1-91.
- Topçu, İ. B., Sofuoğlu, T. (2017), "Properties of mortars produced with PKF press filter waste", International Sustainable Buildings Symposium, Dubai, 347-360.
- TS 1900-1, 2006, İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri – Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini, TSE, Ankara.
- Tunçöz, F. D. (2007), "Şeker fabrikası atık çamuru ve pomzanın toprak iyileştirici olarak kullanılması", Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya*, 93.
- Türkşeker, 2021, <http://www.turkseker.gov.tr/>, [Erişim Tarihi: 03.11.2021].
- Ural, N., Karakurt, C., Cömert, A. T. (2014), "Influence of marble wastes on soil improvement and concrete production, Journal of Material Cycles and Waste Management", 16 (3), 500-508.
- Zorluer, I. (2020), "Evaluation of Trace Elements from Used Industrial Waste in Soil improvement", Anais da Academia Brasileira de Ciências, 92 (3), e20200974.

SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Açıklama	Sembol	Açıklama
w_L	Likit limiti, (%)	ρ_s	Tane yoğunluğu (Mg/m^3)
w_P	Plastik limit (%)	ρ_{kmax}	Max. Kuru yoğunluk Mg/m^3
I_P	Plastisite indisi (%)	τ	Kayma gerimesi
c	Kohezyon (kPa)	σ	Normal gerilme
φ	İçsel Sürtünme Açısı (°)		