

Kimyasal Atık Alçıların Zemin Stabilizasyonunda Kullanılabilirliğinin Araştırılması

*M. TÜLEK¹, A. OKUCU², N. DEĞİRMENÇİ²

¹ İDATEK İnşaat Taahhüt Ltd. Şti., Aksoy Mah., 1748 Sok., Berk Apt., No:81/A, Karşıyaka, İzmir

² Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çağış Yerleşkesi, 10145, Balıkesir

*okucu@balikesir.edu.tr

(Geliş/Received:16.05.2014; Kabul/Accepted:17.07.2014)

Özet

Bu çalışmada, ülkemizde her geçen gün artan miktarlarda çevre ve ekonomi sorunlarına sebep olan kimyasal atık alçıların, azalan doğal stabilizasyon malzemeleri yerine kullanılması hedeflenmiştir. Kimyasal atık alçı sınıfında yer alan fosfoalçı kalsiyum tuzlu boroalçı ve sodyum tuzlu boroalçı, desülfoalçının ince taneli zeminlerde stabilizasyon malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla atık alçılar zemine %0, %5, %10 ve %15 oranlarında ilave edilerek katkılı zemin numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan katkı zemin numuneleri üzerinde likit limit, plastik limit, kompaksiyon, 2 ve 7 günlük serbest basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre numunelerin plastisite indisi, maksimum kuru birim hacim ağırlığı, optimum su içeriği ve serbest basınç dayanımları belirlenmiştir. Genel olarak %5 ve %10 kalsiyum tuzlu boroalçı ve sodyum tuzlu boroalçı, %10 ve %15 fosfoalçı ve desülfoalçı katkısı; plastisite indislerini düşürmüş, buna karşılık maksimum kuru birim hacim ağırlıklarını, optimum su içeriklerini ve serbest basınç dayanımlarını arttırmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fosfoalçı, Kalsiyum Tuzlu Boroalçı, Sodyum Tuzlu Boroalçı, Desülfoalçı, Zemin Stabilizasyonu

A Study of The Use of Chemical Waste Gypsums in Soil Stabilization

Abstract

The objective of this experimental study is to investigate the possibility of using waste gypsums which cause serious storage and environmental problems each year in our country, instead of diminishing natural stabilization materials. The possible usage of phosphogypsum, calcium salted borogypsum, sodium salted borogypsum and desulphogypsum classified as chemical waste gypsums as stabilization materials in fine grained soils were investigated. For that purpose, the samples were prepared by addition the chemical waste gypsum to the selected soils in contents of 0, 5, 10 and 15 %. The consistency limits, compaction properties and unconfined compressive strength were conducted for prepared samples. The unconfined compressive strength was determined at different curing times and the change of unconfined compressive strength with time was also determined. Generally, 10%, 15% phosphogypsum and desulphogypsum addition and 5%, 10% calcium-salted and sodium-salted borogypsum addition reduced the plasticity index and increased the required amount of water and maximum dry density of the soil samples and increased the values of unconfined compressive strength. The test results also showed that the unconfined compressive strength values changed with time.

Keywords: Phosphogypsum, Calcium Salted-Borogypsum, Sodium Salted-Borogypsum, Desulphogypsum, Soil Stabilization

1. Giriş

İnce taneli zeminlerin stabilizasyonu temel mühendisliğinde karşılaşılan en yaygın sorunlardan biridir. Bu tür olumsuz zemin koşullarının iyileştirilmesinde mekanik, hidrolik, fiziksel veya kimyasal stabilizasyon yöntemleri uygulanmaktadır. Bu stabilizasyon teknikleri ile zeminlerin hacimsel stabilitesi, sıkışabilirliği,

dayanımı, geçirgenliği ve dayanıklılığı iyileştirilebilmektedir.

Mekanik ve kimyasal stabilizasyon yöntemleri zeminlerin iyileştirilmesinde uygulanan en yaygın yöntemlerdendir. Mekanik stabilizasyonun yeterli olmadığı ya da uygulanmadığı durumlarda kimyasal stabilizasyon bir alternatif olarak uygulanabilmektedir. Kimyasal stabilizasyonda

zemine çeşitli katkı maddeleri karıştırılarak zemin özelliklerinin amaca uygun hale getirilmesine çalışılmaktadır [1].

Kimyasal stabilizasyon kireç, çimento, uçucu kül ve bunların bir veya bir kaçının birlikte kullanılmasıyla toprak stabilizasyonunda; toprağın geçirgenliğini azaltmak, kayma direncini arttırmak, taşıma kapasitesini arttırmak, oturmayı azaltmak ve inşaatı kolaylaştırmak gibi amaçlarla geniş ölçüde kullanılır. Kimyasal stabilizasyon yüzey topraklarında daha başarılı bir şekilde kullanılabilir. Toprak karışımları ve kimyasallar ya mekanik olarak yerinde ya da yığın yöntemiyle karıştırılırlar. Stabilizasyonda bu katkıları kullanmanın optimum faydası laboratuvar testleriyle saptanmalıdır [2].

En çok kullanılan kimyasal katkı malzemeleri çimento, kireç, bitüm ve uçucu kül, inşaat mühendisliğinde geniş kullanım alanlarına sahip malzemelerdir. Dünyada ve ülkemizde bu malzemelere alternatif atık malzemelerin kullanımına yönelik çalışmalar sürmektedir. Ülkemizde, çevre sorunlarına sebep olan, fosforik asit fabrikaları, bor tesisleri ve termik santrallerden elde edilen fosfoalçı, boroalçı ve desülfoalçı gibi atık kimyasal alçıların zemin stabilizasyon malzemesi olarak kullanım olanakları bu çalışmada araştırılmıştır. Atık kimyasal alçılar ya nehirlere ve denizlere dökülmekte ya da açık arazide depolanmakta, böylece nehir ve denizlerde kirliliğe neden olurken verimli tarım arazileri de işgal edilmektedir.

Milyonlarca ton kimyasal atık alçının elden çıkarılması kaynak israfına ve çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bugüne kadar yapılan araştırmalardan elde edilen deneyimler stabilizasyon malzemesi olarak incelenen yüzlerce malzemedan sadece birkaçının sürekli uygulama olanağı bulunduğunu göstermektedir. Bu malzemeler etkinlikleri yanında, ucuzluk ve gereksinim duyulduğunda kolayca temin edilebilme özelliğine göre çimento, bitüm, kireç, fosforik asit, kalsiyum bileşikleri, reçine ve polimerler, son olarak da çok değerlikli iyon içeren maddelerdir [3].

En yaygın kullanılan stabilizasyon katkı malzemesi portland çimentosudur. Diğer katkıların amacı da dayanımı arttırarak hem sıkışmayı hem de hidrolik geçirgenliği azaltacak

şekilde yapay çimentolaşma sağlamaktır. Bu katkılar ayrıca killerdeki şişme potansiyelini de azaltır [4].

Zeminde kullanılacak olan katkı maddesi seçilirken dikkate alınması gereken hususlar şunlardır [1].

1. Stabilizasyonla özellikleri amaca uygun hale getirilecek olan zeminin cinsi,
2. Stabilizasyonun amacı,
3. Zeminin hangi özelliklerinin iyileştirileceği,
4. Stabilize edilmiş zeminden beklenen dayanım,
5. Ekonomi ve çevreye olan etkiler.

Fosforik asit gübre fabrikası yan ürünü olan fosfoalçı fosforik asit üretiminde fosfat taşı ile sülfürik asidin reaksiyona girmesi sonucu ortaya çıkan atık üründür. Esas olarak $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ bileşimindedir ve yapısında P_2O_5 , F ve organik maddeler gibi safsızlıklar bulundurmaktadır. Yeterli saflık ve miktarda fosfatlı mineraller içeren kayalara fosfat veya fosfat kayası denir. Fosfat kayasının %85'i gübre olarak değerlendirilmektedir. %15'lik bölümü ise yem, gıda, deterjan, alaşım metalürjisi, kâğıt, kibrit, su tasfiyesi, harp sanayi ve kimya sanayinde kullanılmaktadır. Fosfat kayasının değerlendirilmesi ve fosforik asit üretimi sonrası, fosfoalçı atık ürün olarak ortaya çıkmakta olup, örneğin Samsun TÜGSAŞ gübre Fabrikasında günde 3150 ton, Bandırma Bağfaş Gübre fabrikasında 3500 ton gibi büyük miktarlarda ele geçmektedir [5-7].

Türkiye bor yatakları, dünyanın en büyük ve en yüksek tenörlü (sırasıyla %30, %29 ve %25 B_2O_5) kolemanit, üleksit ve boraks (tinkal) yatakları olup, dünya ihtiyacının büyük bir bölümünü uzun yıllar karşılayacak miktardadır. Bor türevleri tesislerinde açığa çıkan atıklar, kalsiyum tuzlu ve sodyum tuzlu olmak üzere iki ana grupta toplanmaktadır. Kalsiyum tuzlu boroalçı, kolemanit ve üleksit mineralleri işletmelerinden, sodyum tuzlu boroalçı ise tinkal ve üleksit mineralleri işletmeleri atığı olarak açığa çıkmaktadır. Bu çalışmada, bor türevleri tesislerinden temin edilen boroalçının kimyasal formunun farklı iki türden oluşması nedeniyle bu iki atığın, çalışmanın içinde ayrı birer kimyasal atık alçı gibi değerlendirilmesini gerektirmiştir.

Bandırma Bor Türevleri Tesisleri'nin atık miktarları 2005 yılı için 550–570 ton/gün kalsiyum tuzlu boroalçı ve 180–190 ton/gün sodyum tuzlu boroalçı olarak tespit edilmiştir [8-9].

Desülfoalçı (baca gazı temizleme sistemi ürünü- FGD ürünü) SO₂ ve SO₃ gazlarının tutulmasını sağlayan desülfürizasyon tesisi ürünüdür. Baca gazları ile püskürtülen eriyiğin reaksiyonu sonucu kalsiyum sülfat hemihidrat (CaSO₃.1/2H₂O) veya kalsiyum sülfat dihidrat (CaSO₄.2H₂O - alçıtaşı) esaslı çamur meydana gelmektedir. Genellikle çevreye zararlı sayılmayan, santralden santrale değişiklik gösterebilen bu atıklar büyük stoklama problemlerine yol açmaktadır. FGD çamurunun alçı panel eleman, çimento üretimi ve tarımsal toprak iyileştirilmesi alanlarında değerlendirilme potansiyeli yüksektir. Stabilize edilmiş FGD çamuru ise zemin benzeri bir malzemedir ve inşaat uygulamalarında yapısal dolgu, yol temel tabakası, alt temel tabakası, yapay kaya, taşıyıcı olmayan blok eleman yapımı gibi alanlarda değerlendirilebilir. Orhaneli Termik Santralinde yıllık yaklaşık 100 bin ton yapay alçı çamuru (desülfoalçı) oluşmaktadır [10].

Kuno [11], organik zeminlere normal portland çimentosu ve %10 (ağırlıkça) alçı ilave edildiğinde, dayanım gelişmesine göre yalnız çimento kullanılması durumuna göre daha iyi sonuçlar elde edildiğini ifade etmiştir. Kuno, sönmemiş ya da sönmüş kirece ağırlıkça %20 oranında alçı ilave edilerek elde edilen karışımın, aşırı yüksek doğal su içeriğine sahip olmayan organik zeminleri stabilize etmek için kullanılabildiğini belirtmiştir. Katkı maddeleri kullanılarak uygulanan zemin stabilizasyonu, toprak dolguların hazırlanması ile kaplama ve kaplama altı zemin tabakalarının özelliklerinin iyileştirilmesi için elverişli bir yöntem oluşturmaktadır. Arazideki elverişsiz mühendislik özelliklerine sahip doğal zemin tabakalarının özelliklerinin yerinde iyileştirilmesi (kazı ve yeniden yerleştirme gerekmeden) için ise farklı yöntemler uygulamak gerekmektedir [12].

Doğal zemin stabilizasyon malzemelerinin gün geçtikçe rezervleri azalmakta ve bazı bölgelerde temini, ekonomik sıkıntılara yol açmaktadır. Atıkların zemin stabilizasyonunda değerlendirilmesi hem ekonomik, hem de

çevresel faktörler açısından büyük önem taşımaktadır.

2. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmanın amacı zemin stabilizasyonunda kimyasal atık alçıların kullanım olanaklarının araştırılmasıdır. Bu amaçla fosforik asit gübre fabrikası atığı fosfoalçı, bor konsantratör ve bor türevleri tesisleri atığı sodyum tuzlu boroalçı ve kalsiyum tuzlu boroalçı, termik santral atığı desülfoalçı olmak üzere dört farklı kimyasal atık alçı kullanılmıştır.

Çalışmada atık alçılar kohezyonlu zemine %0, %5, %10 ve %15 oranlarında ilave edilerek katkılı zemin numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan katkı zemin numuneleri üzerinde likit limit, plastik limit, kompaksiyon, 2 ve 7 günlük serbest basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre numunelerin plastisite indisi, maksimum kuru birim hacim ağırlığı, optimum su içeriği ve serbest basınç dayanımları belirlenmiştir.

2.1. Malzeme Özellikleri

Bandırma Bagfaş Fosforik Asit Fabrikasından temin edilen fosfoalçı (F), Orhaneli Termik Santralinden temin edilen desülfoalçı (D), Bandırma Bor Konsantratör ve Bor Türevleri Tesislerinden temin edilen kalsiyum (KB) ve sodyum (SB) tuzlu boroalçı numunelerine ait kimyasal analiz sonuçları Tablo 1'de, laboratuara gelen kimyasal atık alçıların tane çapı dağılımları ve özgül yoğunlukları Tablo 2'de verilmiştir. Deneysel çalışmada 200 nolu elekten geçen kimyasal atık alçılar kullanılmıştır. Kimyasal atık alçıların tane çapı dağılım deneyleri 4 no'lu elek altında kalan numuneler üzerinde yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan zemin numunesi, Balıkesir Merkez Akçakaya Köyünden temin edilmiştir. Zeminin özellikleri Tablo 3'te, tane çapı dağılım eğrisi Şekil 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kimyasal atık alçıların kimyasal özellikleri

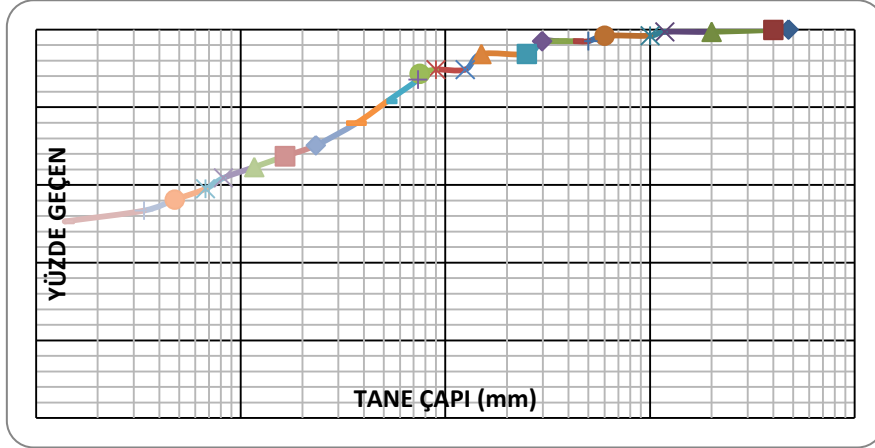
Bileşenler	F (%)	KB (%)	SB (%)	D (%)
SO ₃	54.15	-	-	56.25
SO ₄	-	43.55	38.52	-
CaO	32.26	26.43	12.94	41.80
Na ₂ O	-	0.086	5.79	-
SiO ₂	-	8.03	13.79	-
MgO	0.02	-	12.24	0.50
Fe ₂ O ₃	0.02	0.39	0.25	0.22
Al ₂ O ₃	0.03	1.03	1.17	-
B ₂ O ₃ S	-	3.09	-	-
Pb	-	-	-	0.06
MgO	-	1.44	-	-
SrO	-	1.56	1.08	-
P ₂ O ₅	0.35	-	-	-
B ₂ O ₃	-	5.18	13.59	-
Cu	-	-	-	0.019
Mn	-	-	-	0.011
K ₂ O	-	-	-	0.28
Li	-	0.012	0.112	-

Tablo 2. Kimyasal atık alçıların tane çapı dağılımları ve özgül yoğunlukları

Atık Alçı	8 No'lu Elekte Kalan (%)	16 No'lu Elekte Kalan (%)	30 No'lu Elekte Kalan (%)	40 No'lu Elekte Kalan (%)	200 No'lu Elekte Kalan (%)	325 No'lu Elekte Kalan (%)	Özgül Yoğunluk (Gs)
F	-	-	19	15	66	-	2.39
SB	48	33	13	2	4	-	2.19
KB	91	1.5	1.5	1.5	4.5	-	2.10
D	-	-	78	4	8	10	2.44

Tablo 3. Zeminin özellikleri

USCS Sınıflaması	MH
Özgül Yoğunluk	2.70
Likit Limit (%)	55
Plastik Limit (%)	35
Plastisite İndisi (%)	20



Şekil 1. Zemin numunesinin tane çapı dağılım eğrisi

2.2. Hazırlanan Zemin Numuneleri Üzerinde Yapılan Deneyler ve Sonuçları

Kohezyonlu zemine %0, %5, %10 ve %15 oranlarında atık alçılar ilave edilerek katkıli zemin numuneleri hazırlanmıştır (Tablo 4). Hazırlanan katkıli ve katkısız zemin numuneleri üzerinde likit limit, plastik limit, kompaksiyon, 2

ve 7 günlük serbest basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır [13]. Deney sonuçlarına göre numunelerin plastisite indisi (PI), maksimum kuru yoğunluğu (ρ_k maks), optimum su içeriği (wopt.), serbest basınç dayanımları (q_u) belirlenmiş ve Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 4. Hazırlanan zemin numuneleri ve kodları

Zemin Numuneleri		Kodları
1	%100 Kohezyonlu zemin numunesi	%0
2	%95 Kohezyonlu zemin numunesi + %5 fosfojips	%5F
3	%90 Kohezyonlu zemin numunesi + %10 fosfojips	%10F
4	%85 Kohezyonlu zemin numunesi + %15 fosfojips	%15F
5	%95 Kohezyonlu zemin numunesi + %5 kalsiyum tuzlu borajips	%5KB
6	%90 Kohezyonlu zemin numunesi + %10 kalsiyum tuzlu borajips	%10KB
7	%85 Kohezyonlu zemin numunesi + %15 kalsiyum tuzlu borajips	%15KB
8	%95 Kohezyonlu zemin numunesi + %5 sodyum tuzlu borajips	%5SB
9	%90 Kohezyonlu zemin numunesi + %10 sodyum tuzlu borajips	%10SB
10	%85 Kohezyonlu zemin numunesi + %15 sodyum tuzlu borajips	%15SB
11	%95 Kohezyonlu zemin numunesi + %5 desülfojips	%5D
12	%90 Kohezyonlu zemin numunesi + %10 desülfojips	%10D
13	%85 Kohezyonlu zemin numunesi + %15 desülfojips	%15D

Tablo 5. Deney sonuçları

	W _L (%)	W _p (%)	PI (%)	ρ _{k maks} (Mg/m ³)	w _{opt.} (%)	q _u (kN/m ²)	
						2 Gün	7 Gün
%0	55.20	34.59	20.61	1.24	30	734	809
%5F	57.81	39.18	18.63	1.27	33	867	819
%10F	59.20	41.91	17.29	1.33	31	874	1281
%15F	59.30	42.08	17.22	1.33	32	1036	1133
%5KB	59.65	42.35	17.30	1.26	33	934	1170
%10KB	59.57	39.78	19.79	1.28	34	902	794
%15KB	59.57	34.88	24.69	1.29	35	774	559
%5SB	58.52	45.01	13.51	1.21	32	1010	819
%10SB	58.85	45.33	13.52	1.22	33	1141	1152
%15SB	64.65	48.37	16.28	1.22	33	725	765
%5D	54.21	40.23	13.98	1.27	30	820	1107
%10D	56.90	42.15	14.75	1.34	31	936	1127
%15D	59.20	44.00	15.20	1.33	31	968	1304

3. Deneysel Sonuçların Değerlendirilmesi

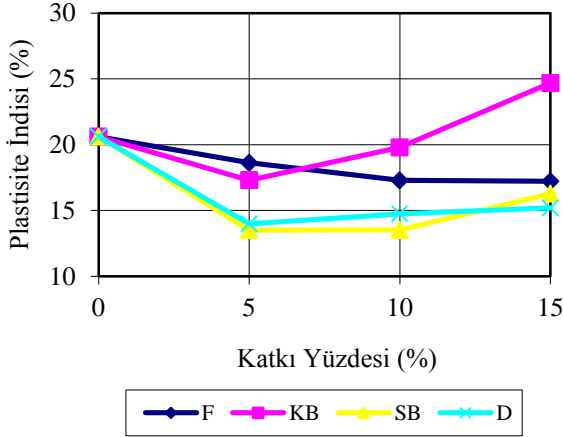
Genel olarak, katkılar zeminin plastisite indisini düşürmüş ve en düşük değerler %5 ve %10 katkılı oranlarında alınmıştır. En düşük plastisite indisi değerleri sodyum tuzlu boroalçı ve desülfoalçı katkılı zeminlerde alınmıştır. %15 kalsiyum tuzlu boroalçı katkılı zeminde en yüksek plastisite indisi değeri bulunurken aynı zamanda katkısız zeminden de daha yüksek değer elde edilmiştir (Şekil 2). Zeminin plastisitesi arttıkça sıkışma ve şişme potansiyeli artmakta su geçirgenliği azalmakta, arazi kazı ve dolgu işlemleri sırasında ise zorluklarla karşılaşmaktadır.

Katkısız zemine göre fosfoalçı, kalsiyum tuzlu boroalçı ve desülfoalçı katkılı zeminlerin, maksimum kuru yoğunlukları artmış, sodyum tuzlu boroalçı katkılı zeminlerin ise maksimum kuru yoğunlukları bir miktar azalmıştır. En yüksek kuru yoğunluk %10 desülfoalçı katkılı zeminde elde edilmiştir (Şekil 3). Zemin numunesinin maksimum kuru yoğunluğundaki artış, zeminin taşıma gücünün artmasına, geçirimsizliğin ve oturmaların azalmasına neden olmaktadır.

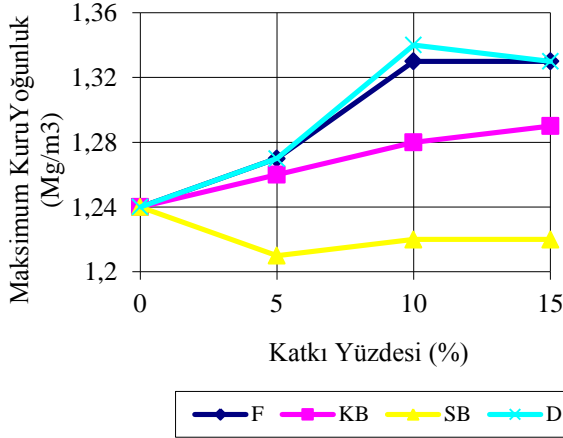
Genel olarak, katkılar zeminin optimum su içeriğini arttırmış ancak bu artışlar küçük oranlarda olmuştur. Optimum su içeriğindeki en az artış desülfoalçı katkılı zeminlerde en fazla artış ise kalsiyum tuzlu boroalçı katkılı zeminlerde olmuştur. Ayrıca %5 desülfoalçı katkılı zeminin optimum su içeriği katkısız zemin ile aynı değeri almıştır. (Şekil 4).

Optimum su ihtiyacındaki artışın küçük miktarlarda oluşu katkı malzemelerinin zemine ilave edilmesini kolaylaştırmaktadır.

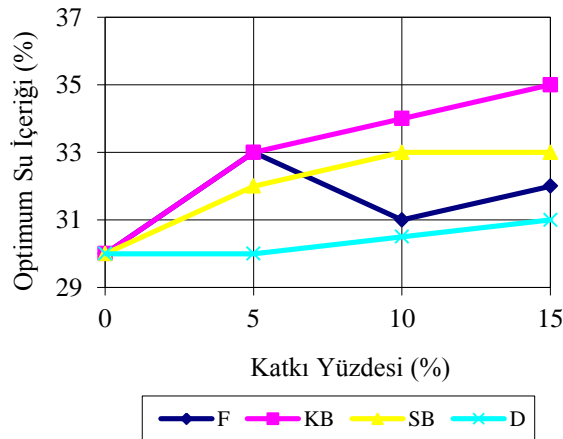
Katkılar genellikle zeminin serbest basınç dayanımlarını arttırmıştır. 2 günlük dayanımlarda, %10 sodyum tuzlu boroalçı katkılı zemin en yüksek serbest basınç dayanımı değerini verirken %15 sodyum tuzlu boroalçı katkılı zemin ise katkısız zeminden de daha düşük serbest basınç dayanımı değeri vererek en düşük dayanımı değerini almıştır. Fosfoalçı ve desülfoalçı katkılı zeminlerde katkı oranı arttıkça serbest basınç dayanımları da artmıştır. %15 sodyum tuzlu boroalçı katkılı zeminlerin katkısız zemine göre serbest basınç dayanımları daha düşük bulunmuştur (Şekil 5). 7 günlük dayanımlarda en yüksek serbest basınç dayanımı %15 desülfoalçı katkılı zeminde, en düşük serbest basınç dayanımı ise %15 kalsiyum tuzlu boroalçı katkılı zeminde elde edilmiştir. Desülfoalçı katkılı zeminlerde katkı oranı arttıkça serbest basınç dayanımları artmıştır. %15 kalsiyum ve sodyum tuzlu boroalçı katkılı zeminlerin katkısız zemine göre serbest basınç dayanımları düşmüştür (Şekil 6). Genel olarak zamanla katkılar serbest basınç dayanımlarını arttırmıştır.



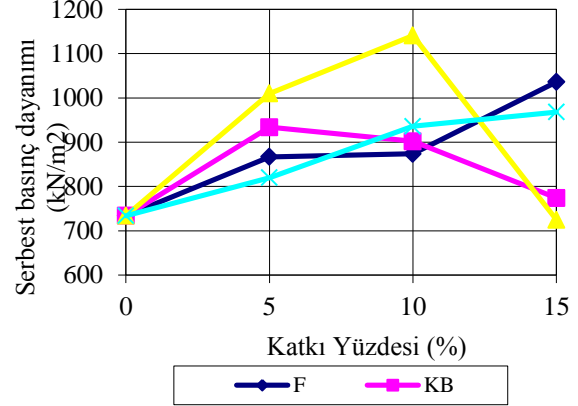
Şekil 2. Kimyasal atık alçı katkıli zeminlerin plastisite indisi değişimleri



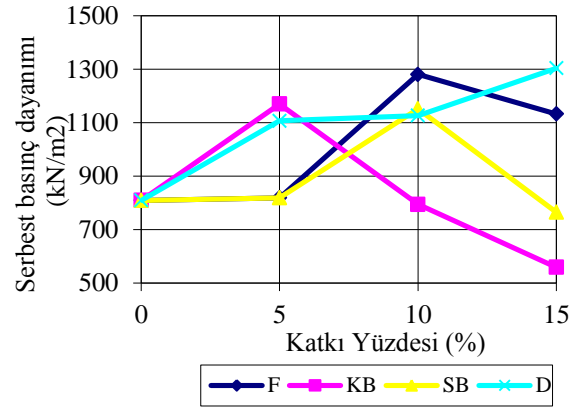
Şekil 3. Kimyasal atık alçı katkıli zeminlerin maksimum kuru yoğunluk değişimleri



Şekil 4. Kimyasal atık alçı katkıli zeminlerin optimum su içeriği değişimleri



Şekil 5. Kimyasal atık alçı katkıli zeminlerin 2 günlük serbest basınç dayanımları



Şekil 6. Kimyasal atık alçı katkıli zeminlerin 7 günlük serbest basınç dayanımları

4. Sonuçlar

Genel olarak, katkıler zeminin plastisite indisini düşürmektedir. En düşük plastisite indisi değerleri sodyum tuzlu boroalçı ve desülfoalçı katkıli zeminlerde alınmıştır. Zeminin plastisitesi arttıkça sıkışma ve şişme potansiyeli artmakta su geçirgenliği azalmakta, arazi kazı ve dolgu işlemleri sırasında ise zorluklarla karşılaşmaktadır.

Katksız zemine göre katkıli zeminlerin maksimum kuru yoğunlukları artmış ancak sodyum tuzlu boroalçı katkıli zeminlerin ise maksimum kuru yoğunlukları azalmıştır. Zeminlerin maksimum kuru yoğunluklarına en fazla etkiyi desülfoalçı katkısı yapmaktadır. Zemin numunesinin maksimum kuru yoğunluğundaki artış, zeminin taşıma gücünün artmasına, geçirimsizliğin ve oturmaların azalmasına neden olmaktadır.

Katkılar zeminin optimum su içeriğini arttırmış ancak artışlar küçük oranlarda olmuştur. Optimum su içeriğindeki en az artış desülfoalçı katkılı zeminlerde en fazla artış ise kalsiyum tuzlu boroalçı katkılı zeminlerde olmuştur. Optimum su ihtiyacındaki artışın küçük miktarlarda oluşu katkı malzemelerinin zemine ilave edilmesini kolaylaştırmaktadır

Katkılar genellikle zeminin serbest basınç dayanımlarını arttırmıştır. Fosfoalçı ve desülfoalçı katkılı zeminlerde katkı oranı arttıkça serbest basınç dayanımları da artmıştır. Zeminlerin serbest basınç dayanımları zamanla artmıştır.

Sonuç olarak, kalsiyum tuzlu boroalçı, fosfoalçı ve özellikle desülfoalçı katkılarının zemin stabilizasyonunda değerlendirilebileceği düşünülmektedir. Bu tür kimyasal atık alçıların kohezyonlu zeminlerin iyileştirilmesinde stabilizasyon malzemesi olarak değerlendirilmesi hem ülke ekonomisine katkı sağlayacak hem de çevre kirliliğinin çözümüne katkıda bulunacaktır.

5. Kaynaklar

1. Aytekin, M. (2004). Deneysel Zemin Mekaniği. Teknik Yayınevi, Ankara.
2. Raj, P.P. (1995). Geotechnical Engineering, Tata Mcgraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi,
3. Önalp, A. (1982). İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi, Cilt II, K.T.Ü Yayını, Yayın No: 187, Trabzon.
4. Coduto, D.P. (1999). Geotechnical Engineering, Principles And Practices, California State Polytechnic University, Pomona.
5. Gregory, C.A., Saylak, D., Led Beter, W.B., (1994). The Use of by-Product Phosphogypsum For Road Bases And Subbases, Transportation Research Record, Vol 998, 47-52,
6. Devlet Planlama Teşkilatı, Madencilik Özel İhtisas Komisyon Raporu (2001). Dpt:2607, Fosfat Çalışma Grubu, Ankara.
7. Değirmenci N., Okucu A. And Turabi A., 2006. Application Of Phosphogypsum İn Soil Stabilization Building and Environment Elsevier.
8. Devlet Planlama Teşkilatı, Madencilik Özel İhtisas Komisyon Raporu (2001). Dpt:2601, Bor Çalışma Grubu, Ankara.
9. Aşkın, S. (1998). Bor Endüstrisi Atıklarının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
10. Çetiner, S. (2004). Stabilization of Expansive Soils By Çayırhan Fly Ash And Desulphogypsum,

Master Thesis, The Middle East Technical University.

11. Kuno, G., K. Kutma and H. Miki, (1989). Chemical stabilization of soft soils containing humic acid. Proc. 12th ICSMFE, Rio de Janeiro, A.A. Balkema (Rotterdam), pp: 1381-1384.
12. Özyayın, K. (1989). Zemin Mekaniği, Yıldız Ü. İnşaat Müh. Böl., İstanbul.
13. Türk Standartları, (1987). İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleleri, TS 1900” Türk Standartları Enstitüsü.