

ENDÜSTRİYEL BİR ATIĞIN GEOTEKSTİL TÜP KULLANILARAK
SUSUZLAŞTIRILMASI VE DEPOLANMASI

Noyan AKRAY

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Tayfun ŞENGÜL

Şubat - 2022

KABUL VE ONAY SAYFASI

Noyan AKRAY tarafından hazırlanan “ENDÜSTRİYEL BİR ATIĞIN GEOTEKSTİL TÜP KULLANILARAK SUSUZLAŞTIRILMASI VE DEPOLANMASI” adlı tez çalışması, aşağıda belirtilen jüri tarafından Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek OY BİRLİĞİ ile Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

10/02/2022

Prof. Dr. Şahmurat ARIK
Enstitü Müdürü, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Doç. Dr. Uğur DAĞDEVİREN
Anabilim Dalı Başkanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Tayfun ŞENGÜL
Danışman, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Sınav Komitesi Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Tayfun ŞENGÜL
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Evren SEYREK
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Murat Ergenekon SELÇUK
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Kütahya Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının % 5 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.

Dr. Öğr. Üyesi Tayfun ŞENGÜL

Noyan AKRAY

ENDÜSTRİYEL BİR ATIĞIN GEOTEKSTİL TÜP KULLANILARAK SUSUZLAŞTIRILMASI VE DEPOLANMASI

Noyan AKRAY

İnşaat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2022

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Tayfun ŞENGÜL

ÖZET

Endüstriyel atıkların atık barajlarında depolanma maliyetlerine çözüm olarak dünya üzerinde uzun yıllardır geotekstil tüpler pratik bir susuzlaştırma aracı olarak pek çok yerde başarı ile kullanılmaktadır. Geotekstil tüpler aracılığı ve sentetik polimerler yardımı ile yüksek su muhtevasına sahip atıklar susuzlaştırılmakta ve kolaylıkla depolanmaktadır. Bu çalışmada Emet borik asit fabrikası atık zemininin susuzlaştırılması üzerine çalışılmıştır. Çalışmalar sırasında anyonik ve katyonik polimerler ile polipropilen geotekstil malzeme kullanılarak atık zemin üzerinde susuzlaştırma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Sentetik polimerler susuzlaştırma performansında oldukça etkili rol oynamaktadır. Yüksek su muhtevasına sahip atığın etkili şekilde susuzlaştırılması, etkili polimer yardımı ile mümkün olmaktadır. Etkili polimerin tayini için öncelikle bulanıklık ve çökeltme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bulanıklık ve çökeltme deneyleri ile polimer kullanımının çökeltmeyi hızlandırdığı ve zeminde hacim artışına sebep olduğu görülmüştür. Ardından filtre kek performansını gözlemek amacıyla filtrasyon deneyi gerçekleştirilmiştir. Polimerli ve polimersiz yapılan deneylerin ardından polimer kullanımının filtrasyon verimliliğini %15000'e kadar arttırdığı gözlemlenmiştir. Tabakalı gerçekleştirilen deneylerde geotekstil tüpün 6 defa etkili şekilde doldurulabileceği anlaşılmıştır. Filtre kekler üzerinde gerçekleştirilen deneylerde polimerli filtre kekil 100 kPa basınç altında hacminin %70ine kadar sıkılabileceği kayıt edilmiştir. Ayrıca polimerli filtre kekin serbest basınç altında polimersiz keke kıyasla 2 kat daha fazla gerilime dayanıklı olduğu saptanmıştır. Gerçekleştirilen bu deneylerde, susuzlaştırmaya yönelik bütün deneylerden birbirini doğrular sonuçlar elde edilmiştir. Etkili polimeri etkili dozda kullanmak susuzlaştırmada verimliliği artırıcı sonuçlar doğurmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Atık Zemin, Filtrasyon, Polimer, Geotekstil Tüp, Susuzlaştırma

DEWATERING AND STORAGE OF AN INDUSTRIAL WASTE BY USING GEOTEXTILE TUBE

Noyan AKRAY

Civil Engineering, Master Thesis, 2022

Thesis Supervisor: Asst. Prof. Dr. Üyesi Tayfun ŞENGÜL

SUMMARY

As a solution to the storage costs of industrial wastes in tailings dams, geotextile tubes have been used successfully in many places around the world for many years as a practical dewatering tool. Wastes with high water content are dewatered and stored easily with the help of geotextile tubes and synthetic polymers. In this study, the dewatering of the waste ground of the Emet boric acid factory was studied. During the studies, dewatering experiments were carried out on the waste ground by using anionic and cationic polymers and polypropylene geotextile material.

Synthetic polymers play a very effective role in dewatering performance. Effective dewatering of waste with a high water content is possible with the help of effective polymers. For the determination of the effective polymer, first of all, turbidity and precipitation tests were carried out. With turbidity and precipitation experiments, it was observed that the use of polymer accelerated the precipitation and caused an increase in the volume of the soil. Then, filtration experiment was carried out to observe the filter cake performance. After experiments with and without polymer, it was observed that the use of polymers increased the filtration efficiency up to 15000%. In the experiments carried out with layers, it was understood that the geotextile tube could be filled 6 times effectively. In the experiments carried out on filter cakes, it has been noted that the polymeric filter cake can be compressed up to 70% of its volume under 100 kPa pressure. In addition, it was determined that the filter cake with polymer was 2 times more tensile resistant than the cake without polymer under free pressure. In these experiments carried out, results confirming each other were obtained from all experiments for dewatering. Using the effective polymer at an effective dose creates efficiency-enhancing results in desalination.

Keywords: Dewatering, Filtration, Geotextile Tube, Polymer, Waste Ground

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bana her aşamasında maddi ve manevi yardımcı olan başta danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Tayfun ŞENGÜL'e, verdiği yardımlar sayesinde tezimde sağladığı kolaylıktan dolayı Abdülkadir BULUT'a, laboratuvar görevlileri Mustafa DÜNDAR ve Osman TİRİT'e, desteğini hiçbir zaman yanımdan eksiltmeyen aileme, üstümde emeği olan bütün hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. GEOSENTETİKLER.....	3
2.1. Temel Geotekstil Özellikleri.....	4
2.2. Geotekstil Tüp.....	4
3. LİTERARÜRDE SUSUZLAŞTIRMA ÇALIŞMALARI.....	7
3.1. Bulanıklık Deneyi (Jar Test).....	7
3.2. Çökelme Deneyi.....	8
3.3. Asılı Çanta Deneyi.....	9
3.4. Santrifüj Testi.....	12
3.5. Basınçlı Filtrasyon Testi	13
3.6. Hızlı Susuzlaştırma Deneyi.....	15
3.7. Basınçlı Geotekstil Susuzlaştırma Deneyi	16
4. MATERYAL VE YÖNTEM	18
4.1. Polimer	18
4.2. Zemin	19
4.3. Geotekstil	21
4.4. Yöntem.....	22
4.4.1. Bulanıklık deneyi (Jar test).....	22
4.4.2. Optimum karıştırma hızı belirleme deneyi.....	24
4.4.3. Optimum karıştırma süresi belirleme deneyi	25
4.4.4. Optimum çökelme bekleme süresi belirleme deneyi.....	25
4.4.5. Optimum sıcaklık belirleme deneyi	26
4.4.6. Optimum polimer bekleme süresi belirleme deneyi.....	26

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.4.7. Sedimentasyon deneyi.....	27
4.4.8. Bir boyutlu filtrasyon deneyi.....	27
4.4.9. Tabakalı filtrasyon deneyi	28
4.4.10. Konsolidasyon deneyi	29
4.4.11. Serbest basınç deneyi	31
5. DEĞERLENDİRME.....	32
5.1. Bulanıklık Deneyi Sonuçları.....	32
5.2. Karıştırma Hızının Bulanıklığa Etkisi.....	34
5.3. Karıştırma Süresinin Bulanıklığa Etkisi	35
5.4. Süspansiyonun Çökelme Süresinin Bulanıklığa Etkisi	36
5.5. Süspansiyon Sıcaklığının Bulanıklığa Etkisi	37
5.6. Polimer Bekleme Süresinin Bulanıklığa Etkisi.....	38
5.7. Sedimentasyon Deneyi Sonuçları	39
5.8. Bir Boyutlu Filtrasyon Deneyi Sonuçları.....	43
5.9. Tabakalı Filtrasyon Deneyi Sonuçları.....	45
5.10. Konsolidasyon Deneyi Sonuçları.....	54
5.11. Serbest Basınç Deneyi Sonuçları	57
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	58
KAYNAKLAR DİZİNİ	60
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Kesikli şerit ve monofilament şerit örgülü geotekstilller	3
2.2. Isıl işlem ile oluşturulmuş ve iğneleme ile oluşturulmuş örgüsüz geotekstil.....	3
2.3. Geotekstil tüp parametreleri.....	5
2.4. Geotüp çalışma prensibi.....	6
2.5. Geotüp tekrarlı dolun işlemi	6
3.1. Jar sedimantasyon deneyi.....	9
3.2. Asılı çanta deneyi kurulumu	12
3.3. Santrifüj test cihazı.....	12
3.4. Basınçlı filtrasyon susuzlaştırma deneyi.....	15
3.5. Hızlı susuzlaştırma deney kiti	16
4.1. Toz topaklaştırıcı polimer.	18
4.2. Sem görüntüleri: a) Sem görüntü 1 b) Sem görüntü 2.	20
4.3. Zemin dane çapı dağılımı grafiği.	21
4.4. Kullanılan geotekstil filtrenin fotoğrafı.	22
4.5. Bulanıklık ölçme cihazı.....	23
4.6. Karıştırıcı fotoğrafı.	24
4.7. Sedimantasyon (çökelme) deneyi.	27
4.8. Bir boyutlu filtrasyon deneyi düzeneği fotoğrafı.	28
4.9. Polimersiz bulamaç için tabakalı filtrasyon deneyi düzeneği fotoğrafı.	29
4.10. Üst üste dizilmiş geotekstil tüplerin altındakine uyguladığı gerilim.....	30
4.11. Konsolidasyon deney düzeneği fotoğrafı.	30
4.12. Polimer kapak ve piston fotoğrafı.	31
4.13. Serbest basınç deney düzeneği fotoğrafı.....	31
5.1. Örnek bulanıklık değerleri fotoğrafı.	32
5.2. Anyonik polimer dozları ve bulanıklık değerleri.	32
5.3. Katyonik polimer dozları ve bulanıklık değerleri.	34
5.4. Optimum karıştırma hızı belirleme deneyi sonuçları.	35
5.5. Optimum karıştırma süresi belirleme deneyi sonuçları.....	36
5.6. Optimum çökelme bekleme süresi belirleme deneyi sonuçları.....	37
5.7. Optimum sıcaklık belirleme deneyi sonuçları.....	38
5.8. Optimum polimer bekleme süresi belirleme deneyi sonuçları.....	39
5.9. Anyonikler polimer katkılı bulamaçlar için çökelme deneyi sonuçları.	40

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.10. Katyonik polimerli ve polimersiz zeminin çökeltme davranışları.	42
5.11. Tek boyutlu filtrasyon deneyi grafiği.....	44
5.12. Polimerli ve polimersiz filtre kek fotoğrafı.....	45
5.13. Küçük boyutlu filtrasyon deneyi için geotekstil doluluk oranı.	47
5.14. Polimerli bulamaçlar için küçük boyutlu sistemde filtrasyon-zaman grafiği.....	48
5.15. Polimersiz bulamaç için küçük boyutlu sistemde filtrasyon-zaman grafiği.....	48
5.16. Küçük boyutlu filtrasyon deney düzeneği fotoğrafı.....	49
5.17. Büyük boyutlu filtrasyon deneyi için filtreli cam hazne doluluk oranı.....	50
5.18. Polimerli bulamaçlar için büyük boyutlu sistemde filtrasyon-zaman grafiği.	51
5.19. Polimersiz bulamaç için büyük boyutlu sistemde filtrasyon-zaman grafiği.	51
5.20. 905 polimer katkılı bulamaç için filtrasyon hacminin son süzüntü hacmine oranı (V/Vf) ve susuzlaştırma süresinin son susuzlaştırma süresine oranı (T/Tf).	52
5.21. 923 polimer katkılı bulamaç için filtrasyon hacminin son süzüntü hacmine oranı (V/Vf) ve susuzlaştırma süresinin son susuzlaştırma süresine oranı (T/Tf).	52
5.22. Polimersiz bulamaç için filtrasyon hacminin son süzüntü hacmine oranı (V/Vf) ve susuzlaştırma süresinin son susuzlaştırma süresine oranı (T/Tf).	53
5.23. Büyük boyutlu filtrasyon deneyi fotoğrafı.	54
5.24. Konsolidasyon deneyi grafiği.	55
5.25. Konsolidasyon deneyi.	56
5.26. Konsolidasyon deneyi sonunda 905 katkılı kek ve 923 katkılı kek.	56
5.27. Serbest basınç deneyi gerilme - eksenel boy değişimi grafiği.	57
5.28. Serbest basınç altında polimerli ve polimersiz kırılmış numuneler.	57

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Örnek geotorba ve geotüp potansiyel uygulamaları.....	5
4.1. Anyonik polimerlerin özellikleri.....	19
4.2. Katyonik polimerlerin özellikleri.....	19
4.3. XRF deneyi sonuçları.....	20
4.4. Zeminin dane çapı dağılımı.....	21
4.5. Zeminin fiziksel özellikleri.....	21
4.6. Geotekstilin fiziksel özellikleri.....	22
4.7. Literatürde kullanılmış karıştırma hızları.....	24
4.8. Literatürde kullanılmış karıştırma süreleri.....	25
4.9. Literatürde kullanılmış bekleme süreleri.....	26
5.1. 20 ppm anyonik polimer dozundaki bulanıklık değerleri.....	33
5.2. 20 ppm katyonik polimer dozundaki bulanıklık değerleri.....	34
5.3. Nihai çökelmelerine göre anyonik polimerli ve polimersiz zemin bulamaçlarının çökeltme yüzdeleri.....	40
5.4. Nihai çökelmelerine göre katyonik polimerli ve polimersiz bulamaçlarının çökeltme yüzdeleri.....	42
5.5. Anyonik polimerli ve polimersiz bulamaçların filtrasyon performansı.....	44
5.6. Küçük boyutlu sistemde her tabaka için hazırlanan bulamaç hacimleri, etkili doz ve filtrasyon sorası filtre kek yükseklikleri.....	46
5.7. Küçük boyutlu sistemde dolun - filtrasyon süresi tablosu.....	47
5.8. Büyük boyutlu sistemde her tabaka için hazırlanan bulamaç hacimleri, etkili doz ve filtrasyon sorası filtre kek yükseklikleri.....	49
5.9. Büyük boyutlu sistemde dolun - filtrasyon süresi tablosu.....	50

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
As	Arsenik
dk	Dakika
gr	gram
ml	mililitre
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
P.siz	Polimersiz
PA	Poliamid
PAM	Poliakrilamidin
Pb	Kurşun
PE	Polietilen
PET	Polietilen tereftalat
PP	Polipropilen
Ppm	Milyonda Bir Birim
rpm	Revolutions per Minute
XRF	X-Ray Floresans

1. GİRİŞ

Dünya üzerinde nüfusun hızla artış göstermesi, tüketim miktarında artışa sebep olmaktadır. Gelişen teknoloji, sanayileşmeyi hızlandırmakta; üretim kapasiteleri de artan taleplere cevap verebilmek amacıyla devamlı olarak genişlemektedir. Fakat her geçen gün etkisini daha da arttıran sanayileşme hareketi, toplumların sosyal ve ekonomik refahına hizmet etmekle beraber birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Çevresel sorunlar bunlardan biridir ve tüm insanlığın ortak mirası dünyamız için ciddi bir mesele haline dönüşmektedir. Birçok uluslararası örgüt bu konuya dikkat çekmekte ve ekolojik farkındalık yaratmaya çalışmaktadır.

Her fabrika bir kaledir (Atatürk, 1923) fakat önlemsiz ve bilinçsiz üretim havayı, suyu ve toprağı ciddi manada kirletme potansiyeline sahiptir. Fabrikalar bu sorunlar ile kaynağında müdahale etme, bertaraf etme, ikame etme gibi yöntemler kullanarak mücadele etmektedir ancak teknolojik gelişmeleri yakalayamayan fabrikalar hem çevre kirliliğine müdahalede, hem de toplumun talebini tam anlamıyla karşılamakta yetersiz kalacaktır.

İnsanlar tarih boyunca yerin üstü kadar yerin altına da ilgi duymuşlardır. Tarih çağları, insanların yerin altındaki madenleri işleyebilme becerilerine göre şekillenmiştir. Altın gibi değerli madenleri işleyebilen toplumlar zengin, demir gibi sert madenleri işleyebilen toplumlar güçlü olmuşlardır. Çağımızda enerjisi yüksek madenleri işleyebilen toplumlar hem güçlü hem zengin olmuşlardır. Her maden kendine has karakterdedir ve kullanım alanları farklıdır. Bir maden işlenebilme özelliğine göre de farklı alanlarda kullanılabilir. Bor yüksek enerjili, dayanıklı ve nadir bulunan bir maden olması sebebiyle sağlıktan savunmaya birçok sektörde en çok talep edilen madenlerin başında gelmektedir.

Bu tezin ana materyali olan malzeme, borik asit fabrikasının boron bazlı atık zeminidir. Borik asit, tarım sektöründe kullanılan bir sanayi ürünüdür ve borik asit fabrikalarında üretilmektedir. Her fabrika üretiminin sonunda atık oluşturmaktadır. Bu gibi atıkların kontrolü tezin ana konusudur.

Hiçbir fabrika üretimin ardından oluşan atığını doğaya kontrolsüz olarak bırakamaz. Borik asit fabrikaları da üretimin ardından oluşan atıklarını barajlarında toplamaktadır. Atık zeminlerin barajlarda toplanması, fabrika için en ekonomik yöntem değildir. Fabrikanın, atığı ağırlıkça yaklaşık %15 zemin ve %85 su olarak baraja pompaladığı düşünüldüğünde, baraj çoğunlukla su ile dolmakta ve zemini toplamak için barajda istenildiği kadar yer kalmamasına sebep olmaktadır.

Atık barajı kazaları ve önlenbilmesi için alınan tedbirler şirketlere oldukça yüklü maliyetler çıkarabilmektedir. Başlıca atık baraj kazaları, zayıf inşaat teknikleri, sismik olaylar ve aşırı yüksek su seviyesi gibi sebeplerden dolayı oluşmaktadır ve çökmeyle sonuçlanabilmektedir (Arslan vd., 2007). Ayrıca atık barajlarından tarım arazilerine su sızma ihtimali de çevresel bir tehdit oluşturmaktadır.

Kazaların ve fabrikalara doğacak yüksek maliyetlerin önüne geçmek için alternatif birçok uygulama mevcuttur. Gelişen teknolojiye paralel seyreden deneysel yöntemler, yeni çözüm yollarının keşfinde önemli rol oynamaktadır. İzlenecek yöntemlerden bir tanesi baraj içerisindeki zemin ile suyu ayırarak depolamaktır. Zemin-su karışımının içerisinde suyu filtre edip zemini ayırmak maliyetli ve zor bir işlem değildir. Topaklaştırıcılar yardımı ile zemin topaklanarak çöktürebilmekte; su zeminden ayrıştırılarak tahliye edilebilmekte ve zeminin daha kolay toplanıp depolanması sağlanabilmektedir.

Bu tez kapsamında suyun filtrasyonu ve zeminin depolanması sırasında kullanılacak olan teknoloji geotekstil tüptür. Geotekstil tüp, tüp şeklinde dokunmuş bir geotekstil ürünüdür. Geotekstil tüp, *susuzlaştırma* veya *su sızdırma* teknolojisi olarak da tanımlanabilmektedir. Düşük maliyeti, basit kullanımı, çeşitliliği ve yüksek verimliliği sayesinde dünya genelinde büyük ve küçük çaplı birçok proje için öncelikli tercih edilen bir çözüm haline gelmiştir.

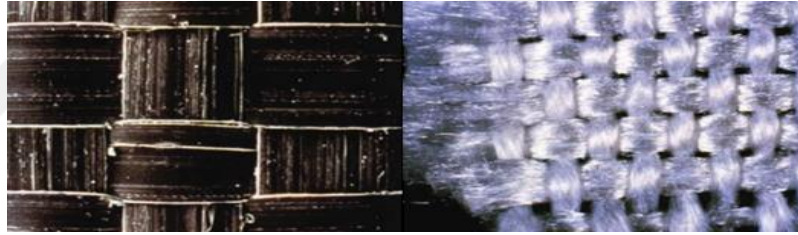
Geotekstil tüpler ilk olarak 1960'larda hidrolik ve deniz yapılarında kullanılmaya başlanmıştır (Lawson, 2008). 1980'lerin başlarında Brezilya tarafından yerleşim bölgelerinin ıslah çalışmaları için kil, kum ve çeşitli atıkların doldurulması işleminde kullanılmıştır. Ardından bu teknoloji Fransa tarafından kirlenmiş arazilerin ıslah çalışmaları için kullanılmaya devam edilmiştir. Yine 1980'lerde Almanya bu teknolojiyi lağımın ıslahı amacıyla kullanılmıştır. 1980lerin ortalarında Brezilya, Fransa ve Almanya'nın yanı sıra Hollanda da bu teknolojiyi kullanmıştır. Devam eden yıllarda ABD'de geotekstil tüpler üzerinde birçok çalışma yapılmış ve sahada uygulanmıştır. Günümüzde ölçüleri 1 ile 4000 m³ arasında değişen binlerce çeşit geotekstil tüp birçok ülkede başarı ile kullanılmaktadır.

2. GEOSENTETİKLER

Geosentetik, hammaddesi polimerik malzemelerden oluşan bir sentetik üründür. Geosentetikler geotekstil, geogrid, geomembran, geonet, geoköpük gibi ürünlerin tamamını ifade etmektedir. Bu tezin materyali olarak kullanılan teknoloji geotekstildir.

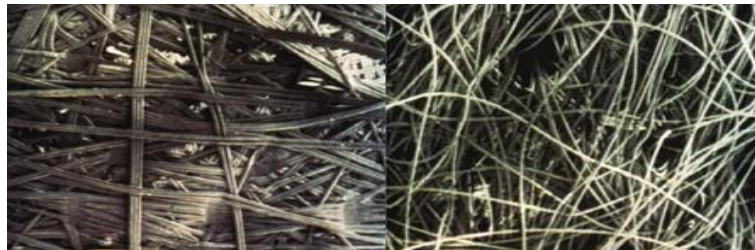
Bir sentetik polimer olan geotekstil, ilk olarak Hollandalılar tarafından 1950li yılların ortalarında kullanılmıştır. Hammaddeleri PP, PET, PA, PE bileşenleridir. Geotekstiller adından da anlaşıldığı gibi bir tekstil ürünüdür. Esnek ve poroz olarak üretilmektedirler fakat ipek, pamuk gibi doğal malzemeler yerine fiber, filament gibi malzemeler kullanılmaktadır. Geotekstiller üretim tekniklerine örgülü ve örgüsüz olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır.

Örgülü geotekstiller birbirlerine dik doğrultuda uzatılan iplikler ile örülen geotekstillerdir. Genellikle yüksek çekme dayanımı elde edilmek istenilen durumlarda kullanılırlar. Aşağıda Şekil 2.1.'de örgülü geotekstillere örnekler gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Kesikli şerit ve monofilament şerit örgülü geotekstiller (Sarioğlu, 2015).

Örgüsüz geotekstiller mekanik, kimyasal ya da fiziksel yöntemlerle birbirlerine bağlanmış, tek yönlü ya da gelişli olarak dizilmiş elyaflardan üretilen tabaka, ağ ya da keçedir. Aşağıda şekil 2.2.'de örgüsüz geotekstile örnekler gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Isıl işlem ile oluşturulmuş ve iğneleme ile oluşturulmuş örgüsüz geotekstil (Sarioğlu, 2015).

2.1. Temel Geotekstil Özellikleri

Geotekstillerin temel özelliklerini fiziksel özellikler, mekanik özellikler ve hidrolik özellikler olmak üzere 3 ana başlık altında toplamak mümkündür.

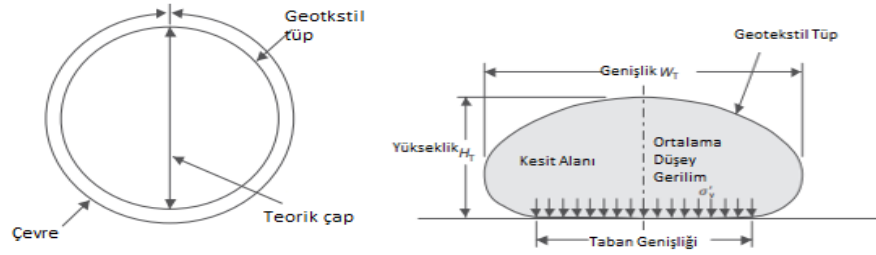
Geotekstilin fiziksel özellikleri kalınlık, birim alan başına düşen kütle ve esneklik olmak üzere üç temel başlık altında toplanmaktadır. Kalınlık mm, mil veya inç cinsinden ölçülmektedir ve geotekstilin kalınlığını ifade etmektedir. Birim alan başına düşen kütle de gr/m^2 veya oz/yd^2 cinsinden ölçülmektedir. Birim alan başına kütle 100 gr/m^2 ile 1000 gr/m^2 arasında değişebilmektedir. Esneklik ise geotekstilin bükülebilirlik ve katlanabilirlik özelliğini tanımlamaktadır. Bu üç temel özellik dışında geotekstilin bir diğer önemli fiziksel özelliği de spesifik ağırlıdır. Spesifik ağırlık, malzemenin yoğunluğunun suyun yoğunluğuna oranıdır. Suya bağlı bir değer olduğu için bağlı yoğunluk da denir ve birimsizdir.

Mekanik özellikler laboratuvar ortamında uygulanan yük ile ölçülmektedir. Yük ile deformasyon arasındaki ilişki bize mekanik özelliği hakkında bilgiler vermektedir. Geotekstillerin mekanik özellikleri dayanıklılık, çekme kuvveti ve sünme/sürünme olmak üzere üç temel başlık altında toplanmaktadır. Dayanıklılık, bir geotekstilin zamanın tümünde iç ve dış faktörlere karşı koyabilme direncini ifade etmektedir. Bu faktörler zamana bağlı yaşlanma, mekanik olarak zemin danelerine bağlı yıpranma, kimyasal olarak oksitlenme yahut biyolojik olarak birçok başlık ve alt başlık altında toplanabilmektedir. Dayanıklılık, kısaca malzeme için uzun ömürlülüktür. Çekme kuvveti, geotekstilin uygulama ömrü boyunca fiziksel, kimyasal, biyolojik gibi birçok etmene, gerilmeye karşı ortaya koyduğu mukavemeti ifade etmektedir. Sünme/sürünme ise, sabit sıcaklıkta uzun süreli yükler altında meydana gelen deformasyondur.

Geotekstilin bir diğer ana özelliği ise hidrolik özelliğidir. Gözenek büyüklüğü, permeabilite, transmissibilite gibi özellikler geotekstillerin temel hidrolik özelliklerindedir ve filtre etme ile boşaltma kabiliyetlerini direkt olarak etkilemektedir. Geotekstillerin gözenek açıklıkları 0,001 mm ile 1 mm arasında değişebilmektedir.

2.2. Geotekstil Tüp

Geotekstil tüpler gerekli görüldükleri geometrik formlarda sahaya döşenip pompalama yolu ile doldurulmaktadır.

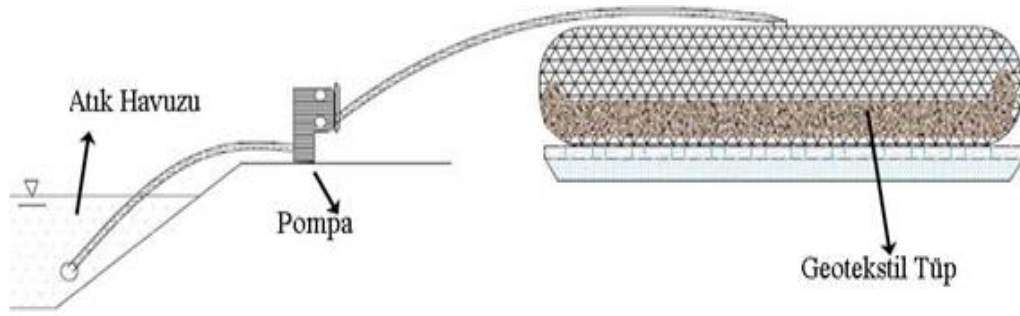


Şekil 2.3. Geotekstil tüp parametreleri (Lawson, 2008).

Geotekstil tüp üç aşamalı olarak çalışır. Birincisi doldurma işlemi; istenilen zeminin geotüp içerisine doldurma işlemidir. İkincisi susuzlaştırma işlemidir; tüp içerisine pompalanan zeminden suyun sızdırılıp drene edilmesi işlemidir. Üçüncü ve son aşama konsolidasyon işlemidir; bu aşamada torbanın/tüpün içerisinde su drene edildikten sonra sadece katı parçacıklar kalır. Hacim bu seviyede %90'a kadar azalabilir.

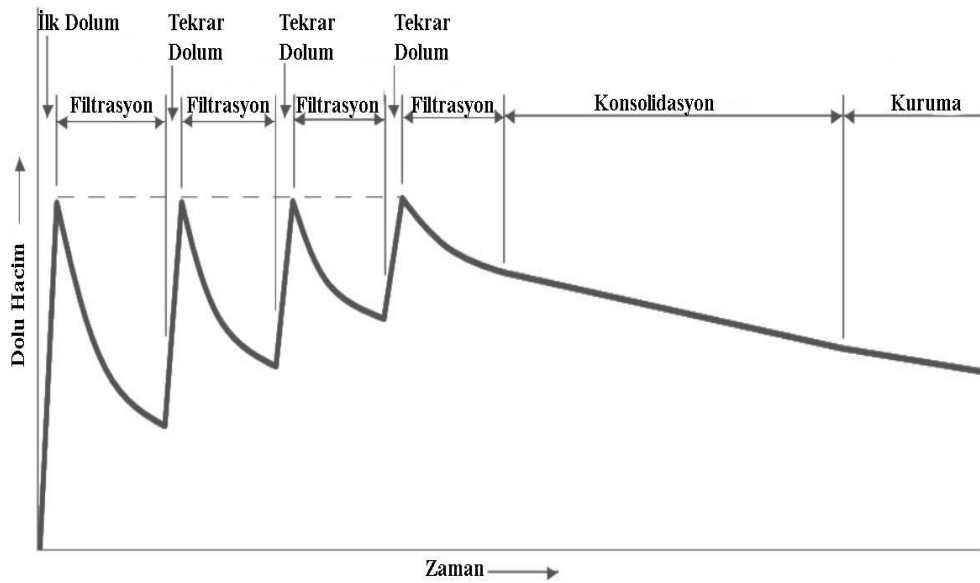
Çizelge 2.1. Örnek geotorba ve geotüp potansiyel uygulamaları.

Susuzlaştırma Uygulamaları	Drenaj Akım Uygulamaları	Yapısal Uygulamalar	Erozyona Önlem Uygulamaları	Bozulmuş Malzemeleri Tutma Uygulamaları
İnce daneli elenmiş malzeme	Havaalanları	Hendekler, setler	Rüzgâr erozyonu	Gezinme alanları
Belediyelerin lağım çamuru	Otoparklar	Palyeler, savaklar	İskele destekleri	Gemi ve yat limanı rıhtım alanları
Su artıma tesisleri	Otoyollar	Yollar, geçitler	Açık deniz sondaj kulesi destekleri	Tehlikeli ve zehirli sular
Hayvan atıkları	Yerleşim bölgeleri	Sulak alanlar	Tüneller	Endüstriyel ve kağıt fabrikası atıkları
Kâğıt fabrikaları	Sanayi siteleri	Sahiller, kıyılar	Abutmenler	Lağım pisliği
Uçucu kül	Petrol sızıntıları	Nehirler, ırmaklar	Boru hattı geçişleri	
Maden atıkları	Tarım ve madencilik işlemleri	Kaya düşmesi ve Çöl kumu koruma yapıları	Kazıklar	



Şekil 2.4. Geotüp çalışma prensibi (Kachan vd., 2012).

Geotekstil tüplere malzeme pompalanma işlemi Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Atık havuzlarından bir pompa yardımı ile borulardan geçirilerek geotekstil tüp içerisine malzemelerin doldurulması ve suyun filtrasyonu gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.4.'te geotekstil tüp çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Geotüp tekrarlı dolum işlemi (Lawson, 2008).

Tekrarlı dolumlar sırasında geotekstil tüp içerisindeki su sızdırıldıktan sonra boşalan hacme tekrar bulamaç doldurulmakta ve suyun filtrasyonu sağlanmaktadır. Projede önceden belirlenen seviyeye kadar tekrarlı olarak doldurulan geotekstil tüplerde Şekil 2.5.'te görüldüğü gibi konsolidasyon ve kuruma işlemleri gerçekleştirilmektedir.

3. LİTERARÜRDE SUSUZLAŞTIRMA ÇALIŞMALARI

Geotekstil susuzlaştırma çalışmaları, bir geotekstil filtre kullanarak bulamacı oluşturan katıları ve suyu ayırma prensibine dayanmaktadır. Bu teknik ile geotekstil tüp içerisinde katılar tutulup muhafaza edilirken su dışarı atılmaktadır.

Katı ile suyu ayırma işlemi birçok açıdan önem arz etmektedir. Tipine göre ağırlıkça %5-%20 arasında değişebilen katı ve %80-%95 arasında değişebilen sıvı içeriğine sahip atık zeminlerin susuzlaştırılması büyük ölçüde hacim tasarrufu sağlamaktadır. Bu işlem sırasında kullanılan sentetik polimerler, katı-su ayrımını hızlandırmakta zamandan tasarrufu sağlamaktadır.

Susuzlaştırma çalışmaları belirli bir standarta oturtulmadığı için literatürde pek çok deney ve yöntem mevcuttur.

3.1. Bulanıklık Deneyi (Jar Test)

Bulanıklık deneyi, bulamaç içerisinde katı-sıvı ayrımı yapabilmek için kullanılan polimerin verimliğinin ölçüldüğü deney yöntemidir. Bu deney ile polimerin bulamaç içerisindeki katı daneleri olabildiğince toplu tutması beklenmektedir. Bu deney yönteminde katıdan ayrılmış su ne kadar berrak olursa polimer o kadar etkili olmuş demektir. Bu deneyin amacı hızlı bir filtrasyona zemin hazırlamaktır. Bulanıklık deneyi, laboratuvar ortamında teknik cihazlar kullanılarak icra edilmektedir.

Bahri Ersoy (2004) traverten ve mermer süspansiyonları üzerine pH ve polimer yük yoğunluğunun bulanıklık ve topaklaşma üzerine etkisini araştırmıştır. Anyonik ve noniyonik polimerler ile yaptığı çalışmasında polimer dozajında artışın bulanıkta tekrar artışa sebep olduğunu saptamış ve noniyonik polimerin en kötü performansı sergilediğini kayıt etmiştir. Bayraktar vd. (1996) de mermer süspansiyonlarının flokülasyonu üzerinde çalışmış ve yüksek molekül ağırlıklı anyonik polimerin çökeltme oranı ve bulanıklık için en iyi sonuçları verdiğini belirlemişlerdir. Buna karşılık Seyrankaya vd. (2000) pH seviyesi ve polimer tipinin mermerin flokülasyonu üzerindeki etkisini incelemiş ve düşük yüklü anyonik polimerin, suyun bulanıklığı için en iyi performansı gösterdiklerini gözlemlemiştir.

M.H. Lau vd. (2000) toplamda %1,6 polimer konsantrasyonunun içerisine katılan jelatin oranı ve kalsiyum konsantrasyonunun bulanıklık üzerine (Abs 550 nm) etkisini araştırmış ve tek başına jellan (polisakkarit yapıda bir katkı maddesi) ve düşük konsantrasyonda kalsiyum kullanarak gerçekleştirdiği deneylerde genel olarak yüksek kalsiyum iyonu konsantrasyonu içeren karışık jellerin, daha düşük jellan seviyeleri hariç daha düşük kalsiyum konsantrasyonuna

sahip olanlardan daha bulanık olduğunu; sadece jellan içeren jellerde, artan kalsiyum iyonu konsantrasyonu ile bulanıklığın arttığını saptamıştır.

Şengül vd. (2014) polimer tipi ve optimum dozun belirlenmesi amacıyla üç farklı polimer tipi ile bulanıklık deneyi gerçekleştirmiştir. Ağırlıkça %30 uçucu külden oluşan 450 ml zemin bulamacı 500 ml ölçekli kaptaki belirlenen polimerler dozajı artacak şekilde her eklemede üç dakika boyunca mekanik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Her karıştırma aşamasından sonra çökeltme için iki dakika beklenmiştir. Bekleme süresinin ardından su yüzeyinden örnekler alınmıştır. Alınan örnekler bulanıklık ölçme cihazında analiz edilmiştir. Çıkan sonuçlara göre kullanılan üç farklı polimer tipinin süspansiyon içerisindeki dozlarının artmasının, bulanıklığı azaltmada çok fazla etki yaratmadığı ortaya konmuştur. Yapılan bu deneyde optimum polimer tipinin A3; optimum dozun ise 20 ppm olduğu sonucuna varılmıştır. 20 ppm dozda A3 polimeri karışım suyunun bulanıklığını 18 NTU'ya düşürmeyi başarmıştır.

3.2. Çökeltme Deneyi

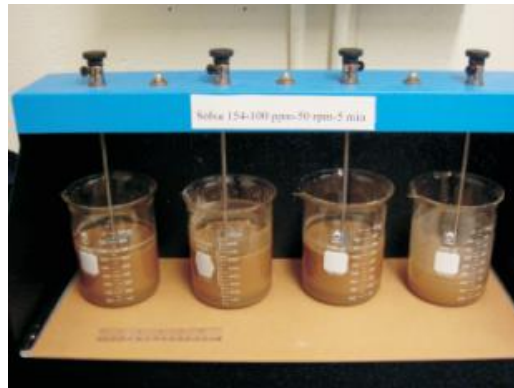
Çökeltme deneyi, bulamacının çökeltme performansını incelemek amacıyla yapılmaktadır. Bulamacının çökeltme performansı, deneyde etkisi araştırılan polimer, lif vb. gibi malzemelerin verimliliklerini yansıtmaktadır. Deney, bulamacının polimer, lif gibi malzemeler ile birlikte karıştırılarak çökeltmeye bırakılması suretiyle icra edilmektedir. Bir laboratuvar testi olarak tanımlanan bu deney yöntemi de geotekstil kullanılmayan susuzlaştırmaya yönelik deneylerden biridir.

Bahri Ersoy (2004) traverten ve mermer süspansiyonu üzerine gerçekleştirdiği çökeltme deneylerinde sırasıyla %0, %18, %28, %34 ve %40 anyonite derecesine sahip polimerler kullanmış ve bu süspansiyonlar için çökeltme hızı eğrileri elde etmiştir. Bu deneyde çökeltme hızı olarak flokülasyon performansının artan anyonite derecesi ile arttığı saptanmış ancak yük yoğunluğundaki aşırı artışın performansta tekrar azalmaya yol açtığı not edilmiştir. Traverten süspansiyonu için en iyi performansı %28 anyonite derecesine sahip polimer gösterirken, %34 anyonite derecesine sahip polimer mermer tozu süspansiyonu için en iyi performansı gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca bu deneyde, iyonik olmayan polimerin kullanımında 1500 mm/dakika çökme hızına ulaşılamamıştır.

Minyoung Kim vd. (2013) bir litrelik pleksiglass silindir içerisinde kaolin kili tozu ve sırasıyla 5, 10, 15, 20 ve 25 ppm PAM çözeltisi ile hazırlanan çökeltme deneyi gerçekleştirmiş. Silindir içerisindeki süspansiyon 10 kez ters – düz çevrilmek sureti ile karıştırılmış ve sırasıyla 0,5; 1, 3, 6, 10, 15 ve 20 dakikalık çökeltme okumaları kayıt edilmiştir. Minyoung Kim vd.;

çökme oranının, ters çevirme sayısından biraz etkilendiği saptanmıştır. Topaklaştırıcı polimerin silindirik içerisindeki süspansiyona verimli bir şekilde etki etmesi için 10 kez ters – düz çevirmek gerektiğini, fazla karıştırmanın bulanıklığı arttıracak biçimde süspansiyon içerisindeki agregaları ayırdığını not etmiştir. Ayrıca Minyoung vd. bu deneyde PAM miktarını arttırarak süspansiyonda daha hızlı çökme elde etmişlerdir. Bunu da PAM'ın kil parçacıkların yüzeyinde absorbe edilerek daneleri kümeler halinde toplaması ile açıklamışlardır. Fakat yine de 10 mg ile 25 mg doz arasında artış olsa da çok büyük farklar ortaya çıkmadığı için optimum PAM dozunun 10 mg olduğu vurgulanmıştır.

Şengül vd. (2014), %30 oranında katı dane içeriği bulunan zemin bulamacına suda çözünebilen organik polimer ile PVA Fiber lifi çeşitli oranlarda ekleyerek süspansiyonun çökme oranına etkisini gözlemlemek amacıyla sedimentasyon deneyi icra etmiştir. Şengül vd. polimer katkısının süspansiyonun çökme zamanını neredeyse yarı yarıya indirmesine karşın nihai çökmede küçük bir miktar azalmaya sebebiyet verdiği belirtilmiş, kullanılan %1-3 oranında fiber lif katkısının süspansiyonun çökme davranışında herhangi bir etkiye sebep olmamasına karşın %5 oranında fiber lif kullanımının polimer katkı kadar etki yaratmasa da bir miktar azalmaya sebep olduğu saptanmış fakat nihai çökme miktarında gözle görülür bir azalma meydana gelmediği vurgulanmıştır. Uçucu küle hem lif hem polimer katkı eklendiğinde ise süspansiyonun yalnız polimer katkısı eklenmiş gibi çökme davranışı gösterdiği kayıt edilmiştir.



Şekil 3.1. Jar sedimentasyon deneyi (Satyamurthy ve Bhatia, 2009).

3.3. Asılı Çanta Deneyi

Asılı çanta deneyi (AÇD) laboratuvarında veya sahada icra edilen bu deneyin amacı geotekstilin zemin özelliklerine göre saha değerlendirmesi için susuzlaştırma performansının test edildiği bir deneydir. Bu deney ile test öncesi ve sonrası geotekstilde kalan ve deşarj olan katı ile

sıvı yüzdesi belirlenir. Bu deneyde geotekstilden bir çanta, bir çerçeve sisteme asılır içerisine bulamaç boşaltılır/pompalanır. Altına konulan bir kap/tepsi ile deşarj olan sıvı toplanır ve deşarj süresi boyunca çanta içerisindeki sıvı seviyesi belirli aralıklarla kontrol edilip analizi yapılır. Geotekstil çantada deşarj sadece dikey yönlüdür ve yanıl deşarj gerçekleşmez.

Bu test geosentetik üreticilerin sıklıkla kullandığı bir test değildir çünkü AÇD bir kalite kontrol testi değildir. AÇD sonuçları değişkenlik gösterebilir çünkü bölgeye özgü zeminin performansına göre ölçüm yapılmış olacaktır. Test düzeneğinin hazırlanması, çantanın dikilmesi, zeminin temini ve hazırlanması gibi faktörler deneyin süresini uzatabilir ve operatörü yorabilir. Ayrıca asılı çanta deneyi verileri tartışılmaktadır, çünkü bir geotekstilin geçirgenliği, gerilme büyüklüğüne ve örgüye göre gerilme yönüne bağlı olabilmektedir (Weggel vd., 2011). AÇD'lerde pH, basınç, katkı maddeleri veya topaklaştırıcıların susuzlaştırma performansı üzerinde etkilerinin gözlemlenmesi ve değerlendirilmesi de oldukça meşakkatli ve zaman alıcıdır (Satyamurthy vd., 2011).

Koerner ve Koerner (2006) üç farklı arazi (Arazi-1, Arazi-2 ve Arazi-3) numunesi ile dört farklı örgülü geotekstil (A-1, A-2, B-1, B-2) üzerinde asılı çanta deneyi icra etmişlerdir. Arazi-1, Arazi-2 ve Arazi-3'ten alınan zeminlerin permeabilite katsayıları yapılan deneylerle sırasıyla $1,2 \times 10^{-2}$, $3,8 \times 10^{-5}$ ve $3,1 \times 10^{-3}$ olarak hesaplanmıştır ve özgül ağırlıkları sırasıyla 2,65; 2,60 ve 2,20'dir. Arazi-1 zemini iri daneli bir zemin olmasına karşın Arazi-2 ve Arazi-3 ince daneli dağılım göstermiştir. Geotekstillerin belirtilen görünür açıklık boyutu (AOS) değerleri ise sırasıyla 0,21; 0,43; 0,43; ve 0,43 mm'dir. Yapılan bu deneyde her araziden ayrı ayrı 38 litre zemin alınmış ve zeminler ile homojen olarak karıştırılmak üzere 151 litre su temin edilmiştir. Homojen olarak karıştırılan her bulamaç 33 cm çaplı geotekstil çanta içerisine ağzı tamamen dolana kadar boşaltılmıştır ve dolumu için geçen süre kaydedilmiştir. Ardından geotekstil torbanın en üst noktasından itibaren su seviyesindeki her 7,5 cm azalma miktarı kronometre ile kayıt edilmiştir. 7,5 cm azalma geotekstil çantada yaklaşık 6200 cm^3 'e denk gelmektedir ve 60 cm azalma miktarına kadar kayıt devam ettirilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda en yüksek akış hızının genellikle Arazi-1'den temin edilen zeminde gerçekleşmiş fakat Arazi-3'ün küllü bir zemin olmasına karşın iyi derecelenmiş kumlu zemin gibi akış oranına sahip olduğu gözlemlenmiştir. A-2 ve B-2 geotekstilleri ise Arazi-3 için benzer sonuçlar vermişlerdir. Yapılan testler sonucunda akış hızları zeminlerin geçirgenliği ile doğru orantılı olduğu fakat geotekstilin performansının geotekstilin göz açıklığına bağlı olmadığı saptanmıştır. Görünür açıklık boyutu değeri 0,43 mm olan B-1 geotekstili görünür açıklık boyutu değeri kendisiyle aynı olan B-2 geotekstilinden hatta görünür açıklık boyutu değeri kendisinden küçük olan A-1 geotekstilinden daha düşük $\text{cm}^3/\text{saniye}$ akış oranı sağlamıştır.

Weggel vd. (2011), su ile icra ettiği deneyde iki farklı tip düşük geçirgenlikte geotekstil seçilmiştir. 1,22 m olarak hazırlanan çantaların üretici tarafından belirtilen permittivite değeri $0,05 \text{ s}^{-1}$ 'dir. Deney sırasında çanta ve içerisindeki suyun ağırlığı her yarım saniyede bir kaydedilmiştir. 1 numaralı geotekstil için permittivite değerlerinin ölçüldüğü, 1930 – 2470 cm^3 arasında değişen hacimlerde su kullanılarak icra edilen beş adet deneyin ardından ortalama permittivite katsayısı $0,069 \text{ s}^{-1}$ bulunmuştur. Bulunan bu değer üreticinin belirttiği değerler biraz yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu farklılığın çantanın dikiminden veya torbanın özellikle alt kısımlarının tam dairesel olmayan şeklinden olduğu kanaatine varılmıştır. İki numaralı geotekstil üzerine yapılan asılı çanta deneyinin de hemen hemen aynı sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Satyamurthy vd. (2011) Syracuse üniversitesinde geotekstillerin AOS/D₈₅ oranının filtrasyon verimliliğine etkisini asılı çanta deneyi metodu ile test etmiştir. Deneyde standart olarak 40 cm çapında ve 150 cm uzunluğunda, AOS/D₈₅ oranı küçükten büyüğe sırasıyla 0,18; 0,60; 0,80; 1,08; 1,7 olan beş farklı geotekstil çanta kullanılmış ve her geotekstil için iki adet deney gerçekleştirilmiştir. Çantaya 240 litre %33'ü katı olan bulamaç pompalanmış ve bulamaç seviyesindeki her 7,6 cm'lik düşüş kaydedilmiştir. Çantadan bulamaç deşarjı durduğunda deney sonlandırılmış ve veriler analiz edilmiştir. Elde edilen grafiklerde ilk 20 dakikada deşarjın çok büyük kısmının gerçekleştiği görülmüştür. AOS/D₈₅ oranları 0,18 ve 1,08 olan iki geotekstilin deşarjlarının yaklaşık üç saatte tamamlandığı ve ortalama filtrasyon verimliliklerinin sırayla %99,50 ve %99,66 olduğu saptanmıştır. Diğer üç geotekstil yaklaşık altı saate kadar bulamacı deşarj etmiş ve AOS/D₈₅ oranları 0,60 ve 0,80 olan iki geotekstilin ortalama filtrasyon verimlilikleri sırayla 99,93 ve 99,95 olurken AOS/D₈₅ oranı 1,7 olan geotekstilin ortalama filtrasyon verimliliği %97,33 olarak kayda geçmiştir. Testin sonunda Geotekstilin AOS/D₈₅ değeri 1,5'in üzerindeyken en kötü filtrasyon verimliliği performansı gösterdiği fakat AOS/D₈₅ değeri 1,5'ten küçük iken görünür açıklık boyutunun 0,375 mm'den küçük değerleri için %99'dan daha büyük bir filtrasyon verimliliğine ulaştığı ve göl tortuları için mükemmel tutma kabiliyeti gösterdiği vurgulanmıştır.

Myers (2010) Alabama Üniversitesinde 115 litrelik zemin bulamacı numunesi ile polimerli ve polimersiz olmak üzere asılı çanta deneyi icra etmiştir. Polimersiz sekiz geotekstil ve polimerli dört geotekstil üzerinde farklı hava koşulları ve sıcaklıklarda gerçekleştirilen bu deneylerde ilk su içeriği yüksek olan testlerin 24 saat sonunda su içeriklerinin daha düşük olduğu saptanmıştır. Polimerli ve polimersiz yapılan testlerde geotekstillerin uzaklaştırma verimliliklerinin ortalama %99,5 ile neredeyse aynı oldukları anlaşılmıştır. Testlerin azlığı sebebi ile aradaki küçük farklar ihmal edilmiştir.



Şekli 3.2. Asılı çanta deneyi kurulumu (Weggel vd., 2011).

3.4. Santrifüj Testi

Santrifüj testi, bulamaç içerisindeki suyu uzaklaştırıp katı-sıvı ayrımını yapabilmek için gerçekleştirilen susuzlaştırma testlerinden biridir.

Şengül vd. (2014) filtre kek numunesinin sıkışma dayanımını ölçmek amacıyla santrifüj deneyi gerçekleştirmişlerdir. Bu ölçümlerde sürtünmeyi sınırlandırmak amacıyla 29,3 mm çapında ve 50 ml hacminde polikarbon santrifüj tüpleri kullanılmıştır. Ölçümler sırasında santrifüj deney aletinin hızını 300-1200 rpm arasında değişen değerler seçilerek, 10-140 g santrifüj ivmesi uygulanmıştır. Ağırlıkça %30'luk uçucu kül, katkı olarak da polimer ve/veya %1 - %5 arasında değişen oranlarda fiber lifin kullanıldığı süspansiyonlar üzerinde uygulanan bu deneyde genel olarak hem polimer hem de fiber lif katkısının uçucu külün sıkışabilirliğini arttırdığı gözlemlenmiştir. Sadece lif katkılı numuneler incelendiğinde %1 lif katkısının, uçucu külün sıkışabilirliğinde belirgin bir etki yaratmadığı; %2 - %3 oranında kullanılan lif katkısının sıkışabilirliğe olumlu katkı sağladığı ve daha yüksek oranlarda lif kullanımının ise sıkışabilirliği olumsuz etkilediğini kayıt edilmiştir.



Şekil 3.3. Santrifüj test cihazı (Şengül vd., 2014).

3.5. Basınçlı Filtrasyon Testi

Basınçlı filtrasyon testi, laboratuvar ortamında icra edilen bir susuzlaştırma deneyidir. Bir hazne içerisine bulamacın boşaltılıp, haznenin üst kapağının kapatılmasının ardından basınç verilerek filtrasyon performansının ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Bu deney yöntemi ile filtrasyon sırasında suyun akış hızı, filtre suyunun bulanıklığı, zeminin çökme hızı, zemin kaybı gibi parametreler belirlenirken filtre kek oluşumu gibi davranışlar da incelenebilmektedir. Bu deneyin avantajı basit ve hızlı olmasıdır fakat bir geotekstil tüpte gerçekleşen çok yönlü akışı hiçbir zaman kesin olarak temsil etmemesi bu deney sisteminin dezavantajlarından (Grezelak vd., 2011).

Şengül vd. (2014) %30 katı dane içeriğine sahip uçucu külün, polimerli ve %1 - %5 arasında değişen oranlarda fiber lif katkılı süspansiyonundan 500 ml alıp 3 dakika karıştırarak basınç kontrollü filtreleme deneyi sistemi hücrelerine boşaltılmıştır. Deney sistemi hücrelerinin üst kısmında bulunan kanaldan 34,5 kPa 'lık hava basıncı uygulanmış, zamana bağlı zemin süspansiyonundan çıkan su miktarı kaydedilerek suyun filtrasyon hızı belirlenmiştir. Gerçekleştirdikleri bu deneylerde susuzlaştırma zamanının, kullanılan lif yüzdesinin değişimi ile çok az miktarda değiştiği; hatta bu değişimin saf uçucu kül performansı ile hemen hemen aynı olduğu belirlenmiştir. Liflerin yanında polimer katkının da eklenip test edildiği ikinci grup deneylerde ise değişen oranlardaki lifin polimerle birlikte kullanılması, süspansiyonun susuzlaştırma süresinin, ilk grup deneylerde uçucu külün polimerli (lifsiz) susuzlaştırma süresi ile yaklaşık olarak aynı olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar süspansiyonun susuzlaştırılmasında fiber liflerin belirgin bir katkı sağlamadığını, liflerden çok polimer katkının etkili olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca bu deneylerin sonunda filtre kek numunesine polimer ve lif katkılarının, drenajsız kayma dayanıma ve filtrasyon suyunun bulanıklığına etkili araştırılmış ve çıkan sonuçlar kayıt edilmiştir. Bu sonuçlara göre polimer katkının filtre kekin drenajsız kayma dayanımına hiç etki etmediği görülürken fiber liflerin %1 kullanılması durumunda dayanımın küçük miktar arttığı; %5 kullanılması durumunda ise dayanımın 2 katına çıktığı saptanmıştır. Fakat polimer katkının filtrasyon suyunun bulanıklığını azalttığı da elde edilen önemli bulgular arasında kayda geçmiştir.

Liao ve Bhatia (2006a, 2006b), taranmış bir malzemeyi, saf kumu ve bir silt malzemesini üç dokuma malzemeyle birlikte analiz etmiştir. Silt, kumlu siltli toprağa benzer, ancak hem taranan malzeme hem de kum, burada incelenen malzemelerden çok daha iridir. Liao ve Bhatia'nın çalışmasında, farklı su içerikleri için basınçlı filtrasyon sonuçları sunulmaktadır (w = %100, %200, %300 ve %400). Basınçlı filtrasyon aparatı 7,17 cm çapında ve 17 cm

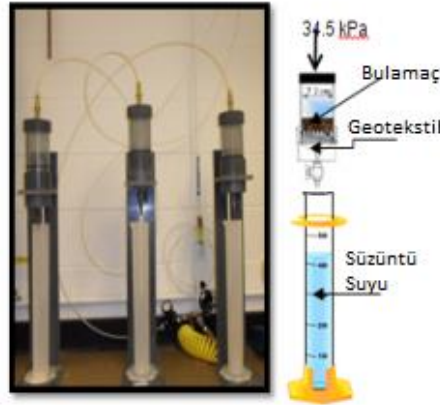
yüksekliğindedir ancak silindirlerin içindeki gerçek dolun yüksekliği hakkında bilgi bulunmamaktadır. Bu çalışmalarda araştırmacılar basınçsız filtrasyon testi de gerçekleştirmişlerdir. Bu testler temelde tek yönlü aşağı doğru akışlı ve çökeltme işlemlerinden kaynaklanan, yukarıda berrak su tabakası oluşma ihtimali olan kendi ağırlığından kaynaklanan konsolidasyon testleridir. Bununla birlikte, Liao ve Bhatia, bir filtre keki oluşturduğunu ve süzünü akışı önemli ölçüde daha düşük olduğu için yükleme altında olduğundan daha az geçirgen olduğunu varsaymışlardır.

Satyamurthy vd. (2011) geotekstillerin AOS/D₈₅ oranının filtrasyon verimliliğine etkisini araştırdığı çalışmada 7,2 cm ve yüksekliği 17 cm olan bir permeametre kullanılarak basınçlı filtrasyon testi (BFT) gerçekleştirmişlerdir. %33'ü katı olan 700 ml göl tortusu bulamacı 34,5 kPa basınç altında AOS/D₈₅ oranı küçükten büyüğe sırasıyla 0,18; 0,60; 0,80; 1,08; 1,7 olan 5 farklı geotekstil ile teste tabi tutulmuştur ve çıkan sonuçlar kayıt edilmiştir. Elde edilen verilere göre en yüksek ortalama filtrasyon verimliliği %99,86 ile 0,80 AOS/D₈₅ değerine sahip geotekstilde gerçekleşirken en düşük ortalama filtrasyon verimliliği %98,07 ile 1,7 AOS/D₈₅ değerine sahip geotekstilde gerçekleşmiştir. Ortalama filtrasyon verimliliğinin AOS/D₈₅ oranı 1,5'tan küçük olduğu değerler için orta %99'un üzerinde olduğu gözlemlenmiştir.

Moo Young vd. (2002), filamentli örgülü geotekstiller kullanarak yüksek su içerikli göl ve liman sedimentlerini susuzlaştırma performansını değerlendirmek amacıyla 35 ve 70 kPa basınçlar altında 26 adet basınçlı filtrasyon testi gerçekleştirmişlerdir. Deneyde kullanılan geotekstillerin AOS değerleri 0,25 ile 0,60 mm arasında değişiklik göstermiştir. Göl sedimentlerinin D₈₅, D₅₀ ve D₁₅ değerleri sırasıyla 0,19; 0,04 ve 0,003 mm iken liman sedimentlerinin D₈₅, D₅₀ ve D₁₅ değerleri sırayla 0,05; 0,023 ve 0,005 mm olarak belirlenmiştir. Liman sedimentlerinin ilk su içerikleri %142 ve %326 iken göl sedimentlerinin su içeriği %588dir. Yapılan testler sonucunda tüm testlerin filtrasyon verimlilikleri %95 üzeri olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar altında geotekstillerin kendisinden daha küçük görünür açıklık boyutu değerine sahip parçacıkları tutabildiği belirtilmiştir.

Kutay ve Aydilek (2004), geotekstillerin uçucu kül veya taranmış çökeltileri tutma kabiliyetini belirlemek ve statik akış koşulları altında filtre keki gelişimini izlemek amacıyla basınçlı filtrasyon testi uygulamışlardır. Basınçlı filtreleme test ekipmanları, 78 mm çapında ve 90 mm yüksekliğinde çelik borudan yapılmış bir basınç hücresinden ve basınç ve atık toplama deliklerine sahip iki uç kapaktan oluşmaktadır. Tortu ve uçucu kül kullanılan bu testlerde farklı başlangıç su içeriği kullanılmıştır. Uçucu kül bulamaçları %80, %200 ve %500; tortular ise %500 ve %1600 su içeriklerinde 27 kPa basınç altında teste tabi tutulmuşlardır. Atık hacimleri 0,25;

0,5; 1, 2, 4, 8, 15, 30 ve 60 dakikalık zaman aralıklarında ölçülmüştür ve her testin sonunda, geotekstil yoluyla borulanan zemin miktarı, bulamacın nihai su içeriği ve geotekstil numunesi içinde hapsolmuş bulamaç miktarı ölçülmüştür. Sekiz adet geotekstilin kullanıldığı örgülü/örgüsüz olarak farklı kombinasyonlarının denendiği bu deneyde uçucu kül ile 39 adet test yapılmış ve bu testlerin süreleri geotekstilin geçirgenliğine bağlı olarak 30 saniye ile üç saat arasında değişiklik göstermiştir. Yapılan ölçümlerde filtre kekinin oluşum gösterdiği gözlemlenmiş fakat kalınlığı her testin ardından 1 mm'den küçük çıktığı için önemsiz kabul edilmiştir. Elde edilen grafiklerde deşarj, filtre keklerinin oluşana kadar hızlı bir biçimde devam etmiş, bir dakikanın ardından filtre keki oluşmuş ve deşarjı olumsuz etkilemiştir. Yapılan bu deneyde filtre kekinin susuzlaştırma performansında geotekstilin hidrolik özelliklerinden daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 3.4. Basınçlı filtrasyon susuzlaştırma deneyi (Şengül vd., 2014).

3.6. Hızlı Susuzlaştırma Deneyi

Hızlı susuzlaştırma deneyi, optimum drenaj/susuzlaştırma oranına ulaşmak için geotekstilin ve polimerik topaklaştırıcıların, polimer zincirindeki çeşitli yüklerin ve dozaj performansının değerlendirilmesinde kullanılan hızlı ve kolay bir testtir. Bu test huni, huni üzerinde bir beher ve süzüntüyü toplayan kaptan oluşmaktadır. Huni içerisinde geotekstil kumaşların test edilebilmesine imkân sağlayan, geotekstilin yerleştirileceği bir disk bulunur. Beher 500 ml floku test edebilecek hacimdedir. Geotekstil üzerinde kalan filtre keki ile süzüntü hacmi, geotekstil ve polimer performansını analiz etmek amacıyla analiz edilir. Susuzlaştırma verimliliğinin analizi için suyun akış süresi sızan su hacmi genellikle 30 saniyede bir olmak üzere belirli aralıklarda kaydedilir. Sadece birkaç dakika süren bu deney, ardından bulanıklık ve/veya askıda kalan katı parçacık testleri ile sürdürülebilir.

Hızlı susuzlaştırma deneyi, asılı torba deneyi gibi eski testlerden evrimleşen testlerdir. Gelişen teknoloji ile ortaya çıkan yeni testler daha doğru sonuçlar verir ve suyun bulanıklığını daha iyi analiz etme, polimer verimliliğini daha iyi değerlendirme gibi yeteneklere sahiptir. (Mark Torre ve Chris Timpson, 2011)

Myers W. (2010) Alabama'da polimerli 12 ve polimersiz 8 adet olmak üzere değişen geotekstil ve farklı polimerler kullanarak hızlı susuzlaştırma deneyi gerçekleştirmiştir. 48,7 cm² disk üzerine yerleştirdiği geotekstil ile 500 ml bulamacı beş dakika boyunca her 30 saniyede bir ölçüm alıp sonuçları kayıt etmiştir. Polimersiz gerçekleştirilen deneylerden bir tanesi operatör hatası sayılarak iptal edilmiştir. Polimer kullanılarak yapılan tüm testlerin susuzlaştırılma ortalaması % 20,2 iken polimer içermeyen testler için bulamacın susuzlaştırılma ortalaması % 25,8 çıkmıştır. Bu nedenle Myers, polimerlerin suyu tuttuğu ve susuzlaştırma verimini azalttığı sonucuna varmıştır.



Şekil 3.5. Hızlı susuzlaştırma deney kiti (Myers, 2010).

3.7. Basıncılı Geotekstil Susuzlaştırma Deneyi

Bu deney bir susuzlaştırma deneyi olarak topaklaştırılmış tortuların boru hattı dirseklerinden ve valflerinden taşınmasını örneklemektedir. Mikserler yerine değişken hızlı çarklar kullanılır. Topaklanan tortu geotekstil bir muhafazaya maruz kalmadan önce harman tankında bir süre bekletilir. Ardından topaklanan tortu statik basınç dayanımı tasarımı çerçevesinde geotekstil kaba doldurulur. Deney tamamlandığında temel olarak geotekstil kap için kimsiyal doz oranı, geotekstil doldurma oranı ve su arıtma gereksinimleri belirlenmiş olur (Meagher, 2005).

Testin amacı fiziksel kuvvet ile fabrik filtre seçimi ve polimer performansı arasındaki etkileşimin arazide uygulanacak birebir ölçekli kuvvetin altında örnekleyip susuzlaştırma testinin

görselleştirilmesidir. Bu sayede temsil polimer dozunun tam ölçekli uygulamada performans sağlayacağını doğrular (Meagher, 2008).

Meagher (2008) kimyasal doz oranı, geotekstili doldurma oranı ve su arıtma gereksinimleri için geotekstil kapların kullanımında temel ölçümleri belirlemek amacıyla bu deneyi 300 ml numune kullanarak yaklaşık 7,5 galon kapasiteli geotekstil ile gerçekleştirmiştir. Tank %50 hızda karışırken belirlenen dozda polimer eklenmiştir ve borulama yoluyla bulamaç pompalanmıştır. Tahliye bulamacı karışım tankı ile benzer floka ulaştığı anda devir-daim durdurulmuş ve hortum kap doldurma manifolduna bağlanmıştır. İlk faz dolusunda pompa tahliyesinde bulunan basınç göstergesi, kap çevresinin tahliye basıncına ulaşıncaya kadar dolum pompası çalıştırılmıştır. Tüp üzerindeki test basınçları çevresi 9,14m için 0,18kg/cm², çevresi 13,7m için 0,21kg/cm²ve çevresi 24,38m için 0,25kg/cm²dir. 60 saniye boyunca çalıştırdıktan sonra pompalama ve bulamaç karıştırıcı durdurulmuştur ve kabın 20 dakika boyunca drene edilmesine izin verilmiştir. Ardından filtrenin toplama tablası üzerinde kalan hacmi kaydedilmiştir. Aynı işlemler tekrar uygulanıp toplanan numuneler ve elde edilen veriler proje için gerekli filtrasyon alanı hesabına katılmışlardır. İlk fazın üç eşit dolum aşaması vardır. İlk aşamada 10 galon bulamacın filtre bulanıklığı 46 NTU, ikinci aşamada beş galon bulamacın filtre bulanıklığı 24 NTU, üçüncü aşamada ise iki galon bulamacın filtre bulanıklığı 12 NTU çıkmıştır. Filtre kekinin ilk 24 saat sonunda kuru katı oranı %22 olarak belirlenmiştir. Geotekstil filtrasyon tasarım kapasitesi, her 24 saatlik susuzlaştırmanın ardından kuru katı değeri kullanılarak hesaplanmaktadır. Yedinci günün ardından kuru katı oranı %48, 14 günün ardından kuru katı oranı %62 olarak kayıt edilmiştir. Filtrasyon alanı başına kuru katı yoğunluğu 9,92 lb/ft³ olarak bulunmuştur.

Güney Portland/Amerika'daki Maden Hazırlama Servisi polimer dozajını belirledikten sonra polimer performansını tam ölçekli uygulama basıncı altında değerlendirmek, tam ölçekli uygulama için temsili polimer dozajını doğrulamak, süzüntü suyu ve çamur keki örnekleri oluşturmak ve tam ölçekli uygulama için gerekli geotekstil tüp alanını onaylamak için bir basınçlı geotekstil susuzlaştırma deneyi gerçekleştirmiştir. Bu testte, çamurun tarama /taşımaya sırasında karakteristik özelliklerini örnekleyebilmek için seyreltilmesi gerektiğinden çamur, ortalama % beş kuru katı içeriğine sahip olacak şekilde seyreltikten sonra 3lb/inç²'lik basınçta 1ft³ kapasiteli bir tüp içerisine enjekte edilmiştir. Yapılan bu deneyde, seçilen polimerin belirtilen dozajda tam ölçekli uygulama altında performans sağlayacağı tasdik edilmiştir. Filtre suyu ve filtre keki örnekleri toplandıktan sonra numuneler Shaw Environmental Inc'in New Jersey'deki laboratuvarında analiz edilmiş ve filtre kekinin katı içeriğinin %31,1; kütle yoğunluğunun ise 0,53 gr/cm³ olduğu belirlenmiştir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Polimer

Topaklaştırıcı olarak kullanılan polimerler doğada organik(poliakrilamid, nişasta vb.) veya inorganik(alüminyum, demir vb.) olarak bulunmaktadır. Topaklaştırıcılar yardımı ile zemin topaklanarak çöktürebilmekte, su zeminden ayrıştırılarak tahliye edilebilir ve zeminin daha kolay toplanıp depolanması sağlanabilmektedir.



Şekil 4.1. Toz topaklaştırıcı polimer.

Polimerik topaklaştırıcılar beyaz, renksiz ve suda çözünebilir özelliktedirler. Polimerler anyonik, katyonik yahut yüksüz olabilmektedir. Her zeminin tepki verdiği polimer tipi farklıdır. Polimerlerin moleküler ağırlığı, yük yoğunlukları ve kullanıldıkları dozlar zeminler üzerinde direkt olarak etkilidir. Polimerler, bulamaca belirlenen dozlarda katılıp bir süre birlikte karıştırılmalıdır. Katıldıkları bulamacın zemin danelerini elektriksel kuvvet yardımı ile birbirlerine bağlayıp, bir kütle halinde çökmesine neden olmaktadır. Böylece zemin ile suyun gözle görünür şekilde ayrılması sağlanmaktadır. Lakin topaklaştırıcı kullanılırken dikkat edilmesi gereken bir husus vardır. Polimerik topaklaştırıcılar, susuzlaştırma verimini arttırabilmektedir fakat bazı polimerler için aşılması gereken optimum doz vardır. Bu optimum dozun aşılması durumunda verim polimer katkısız halinin de altına düşebilmektedir. Ayrıca flokülasyon(çöktürme) işleminde verimliliğe etki eden karıştırma hızı, karıştırma süresi, bulamacın pH seviyesi, bulamacın sıcaklığı, polimerin moleküler ağırlığı gibi faktörler mutlaka dikkate alınmalıdır.

Kullanılan polimerler ve özellikleri aşağıdaki Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Anyonik polimerlerin özellikleri.

Polimer Kodu	Yük yoğunluğu	Moleküler kütle	Yoğunluk (g/cm ³)	Fiziksel form
905	Çok düşük	Çok yüksek	0,80	Beyazımsı granüler toz
913	Düşük	Çok yüksek	0,80	Beyazımsı granüler toz
923	Orta	Çok yüksek	0,80	Beyazımsı granüler toz
934	Orta	Çok yüksek	0,80	Beyazımsı granüler toz
956	Yüksek	Çok yüksek	0,80	Beyazımsı granüler toz

Çizelge 4.2. Katyonik polimerlerin özellikleri.

Polimer Kodu	Yük yoğunluğu	Moleküler kütle	Yoğunluk (g/cm ³)	Fiziksel form
4107	Ultra düşük	Orta	0,80	Beyazımsı granüler toz
4125	Çok düşük	Orta	0,80	Beyazımsı granüler toz
4190	Düşük	Orta	0,80	Beyazımsı granüler toz
4290	Orta	Orta	0,80	Beyazımsı granüler toz
4650	Yüksek	Çok yüksek	0,80	Beyazımsı granüler toz
4800	Çok yüksek	Yüksek	0,80	Beyazımsı granüler toz

4.2. Zemin

Borik asit fabrikaları, konsantre kelomanit'in öğütüldükten sonra reaksiyon, filtrasyon, kristalizasyon ve kurutma işlemlerinden geçirilip borik asite dönüştürüldüğü yerlerdir. Bu dönüşümün ardından her sanayi ürünün üretiminde olduğu gibi atık oluşmaktadır.

Atık zeminin içerisinde farklı element ve bileşikler mevcuttur. Bunlardan bazıları doğada az rastlanan ağır ve zararlı metallere, bazıları ise doğada çokça karşılaşılan bileşiklerdir. Atık zeminlerin içerisindeki temel bileşenleri tayin etmek sahada ve laboratuvarında uygulanacak deneyleri veya projeleri direkt olarak etkilemektedir. Bu gibi çeşitli zeminlerin temel bileşenlerini belirlemek için uzun yıllardır X-Ray Floresans (XRF) deneyi yaygın olarak kullanılan bir analiz tekniğidir. Temel prensibi bir X ışını kaynağından atoma gönderilen birincil X ışınlarının, atomun kararlılığını bozarak tekrar kararlı hale geçerken oluşturduğu ikincil X ışınlarını bir detektör ile toplama işlemidir. Atomun tekrar kararlı hale geçerken yaydığı ikincil X ışını o atomun karakteristik enerjisidir. Bu enerji pik'i bir elementi tanımlamaktadır ve pik yoğunluğu örnek numunedeki elementlerin veya bileşiklerin miktarını bizlere göstermektedir. XRF deneyi düşük maliyetli, hızlı ve zararsız bir deney yöntemi olduğu için yaygın olarak kullanılmaktadır.

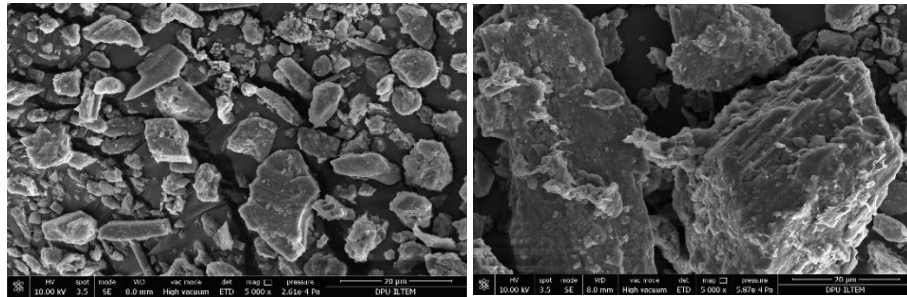
Deney 0,9 gram örnek numunenin 9,0 gram Li147B224O410 ile füzyona girmesi ile gerçekleştirilmiştir. Füzyon öncesi 9,90 gram olan toplam ağırlık deney sonrası 9,66 grama

düşmüştür. Çizelge 4.3'te görüldüğü üzere SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , MgO , F_2O , K_2O , MnO , SO_3 gibi doğada yaygın olarak bulunan bileşiklerin yanı sıra klor elementi, son derece reaktif olan stronsiyum elementi, doğada ender rastlanan sezyum elementi ve ağır ve zararlı bir metal olan arseniğin bileşiklerini de içerisinde barındırmaktadır. As_2O_3 yapılan bu deneyin ardından %0,46 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.3. XRF deneyi sonuçları.

	Bileşik ismi	Yoğunluk (%)
1	SiO_2	28,18
2	CaO	20,40
3	Al_2O_3	7,74
4	MgO	6,74
5	F_2O	3,50
6	K_2O	3,22
7	SrO	1,66
8	As_2O_3	0,46
9	SO_3	0,39
10	TiO_2	0,37
11	Na_2O	0,24
12	P_2O_5	0,18
13	Cs_2O	0,13
14	MnO	0,07
15	Cl	0,06

Atık zemin üzerinde çekilen elektron mikroskobu görüntüleri (sem fotoğrafları) şekil 4.2a. ve 4.2b.'de gösterilmiştir.



(a)

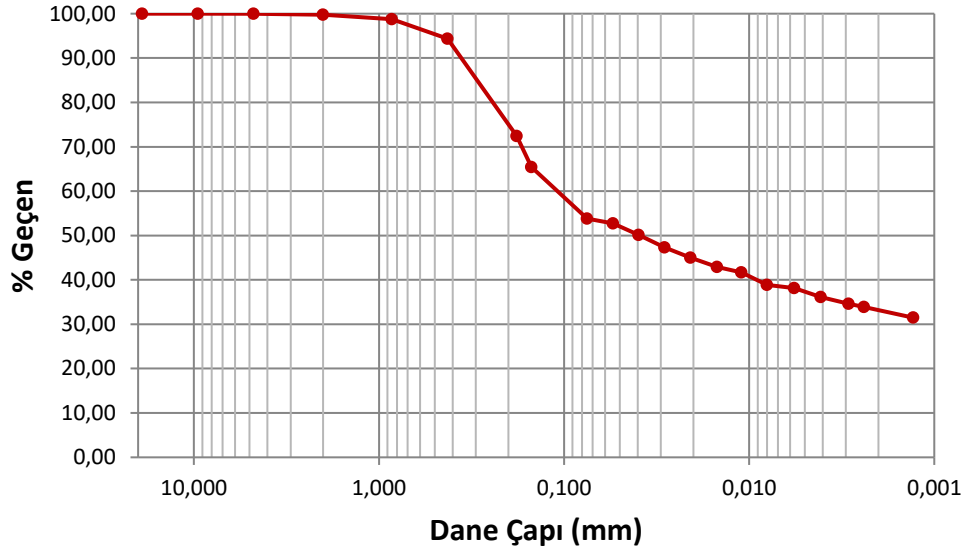
(b)

Şekil 4.2. Sem görüntüleri: a) Sem görüntü 1 b) Sem görüntü 2.

Her atık zeminin dane boyu dağılımı ve fiziksel özellikleri farklılık göstermektedir. Kütahya Emet ilçesinde bulunan borik asit fabrikası atık zeminini üzerinde fiziksel özellikleri

belirlemeye yönelik elek analizi, hidrometre, özgül ağırlık, likit ve plastik limit deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Aşağıdaki Şekil 4.3.'de zeminin dane çapı dağılımı; Çizelge 4.4. ve Çizelge 4.5.'te zeminin fiziksel özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Zemin dane çapı dağılımı grafiği.

Çizelge 4.4. Zeminin dane çapı dağılımı.

KİL (%)	SİLT (%)	KUM (%)	ÇAKIL (%)
33	20,6	46,2	0,2

Çizelge 4.5. Zeminin fiziksel özellikleri.

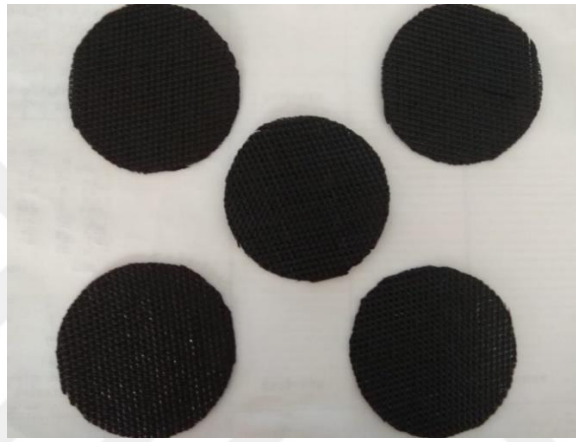
LİKİT LİMİT	PLASTİK LİMİT	ÖZGÜL AĞIRLIK
37,5	22,5	2,5

4.3. Geotekstil

Bu çalışmada kullanılan geotekstil ürünü polipropilenden (PP) üretilmiş olup yüksek mukavemete sahip bir malzemedir. Geotekstil, istenilen şekillerde kesilip-dikilerek belirlenen deney sistemlerinde kullanılabilecek uygunluğa sahiptir.

Çizelge 4.6. Geotekstilin fiziksel özellikleri.

Polimer Tipi	Polipropilen
Dokuma Yapısı	Örülmüş, Monofilament
Gözenek Açıklığı (mm)	0,255
Elektriksel Geçirgenlik (s-1)	0,37
Birim Kütle (g/m ²)	585
Kalınlık (mm)	1,04
Çekme Dayanımı (kN/m)	96x70



Şekil 4.4. Kullanılan geotekstil filtrenin fotoğrafı.

4.4. Yöntem

Zemin-su süspansiyonunu ayırmak ve süspansiyonu susuzlaştırmak için literatürde birden çok deney yöntemi kullanılmıştır. Polimer kullanımı ile zemin süspansiyon içerisinde çökeltilmiştir. Ardından geotekstil tüp kullanılarak süspansiyon suyu filtre edilerek zemin susuzlaştırılmıştır.

4.4.1. Bulanıklık deneyi (Jar test)

Zemin-su karışımına katılacak uygun polimer ve dozunun belirlenmesi yöntemlerinden biri bulanıklık deneyidir. Bulanıklık çözünmüş, çökmüş ya da askıda kalan tanecik yapılı organik yahut inorganik maddelerin çözelti içerisinde ışığı dağıtması veya yansıtmasına bağlı olarak solüsyonun berraklığı olarak tanımlanmaktadır.

Bulanıklık laboratuvar ortamında genellikle nefelometre adı verilen bir cihazla ölçülür. Nefelometri, çözelti içerisindeki taneciklerden 90 derece açıyla fotosellere saptırılan ışımaların ölçüldüğü yöntemdir. Nefelometreler tiplerine göre farklı ışınma açıları da okuyabilmektedir. En

yaygın kullanılan bulanıklık birimi, en yaygın kullanılan bulanıklık ölçüm cihazından adını alan nefelometrik bulanıklık birimidir (Nef. Turb. Unit - NTU) (SM 2130B).



Şekil 4.5. Bulanıklık ölçme cihazı.

Bulanıklık deneyi ile ilgili literatürde farklı çalışmalar mevcuttur. Polimerli, polimersiz veya farklı katkı ve kimyasallar kullanarak birçok çalışmada araştırmacılar zeminin topaklanması ile bulanıklık derecesini tayin etmeye çalışmışlardır. Bulanıklık deneyleriyle optimum polimer dozunun ve tipinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Optimum doz, bulamaç suyunun bulanıklığının ölçüsü olan 20 NTU değeri altındaki bulanıklık değerini veren polimer dozudur (Spritzer vd., 2015).

Tezin ana materyali atık zemin ile gerçekleştirilecek olan bulanıklık deneyi için cam bir kavanoz içerisinde 100 ml suya 0,250 gr polimer katılarak jel hazırlanmıştır. Hazırlanan her polimer jel laboratuvar koşullarında yaklaşık 20 °C'de 24 saat bekletilmiştir. Polimerler içerikli jelin metal kapak ile temasını önlemek amacı ile kavanoz ile kapağı arasına streç film yerleştirilmiştir.

24 saatin ardından laboratuvarında atık barajındaki içeriğe benzer ağırlıkça %85 su ve %15 zemin olacak şekilde 500 ml karışım hazırlanmıştır. 500 ml karışım içerisinde ağırlıkça belirtilen oranlar 82,4 gr zemine ve 467,04 gr suya tekabül etmektedir. Polimer jel, karışıma 10 ppm dozdan başlayacak şekilde her defasında 10 ppm artırılarak 120 ppm doza kadar toplam 12 defa karışıma eklenmiştir. Polimerler zemin ile birlikte 250 rpm hızda üç dakika boyunca karıştırıcı cihazda karıştırılmıştır. Üç dakika karıştırmanın ardından iki dakika beklenmiş ve karışımdan alınan örnekler nefelometrede analiz edilmiştir. Arttırılan her dozun ardından ölçülen bulanıklık (NTU) değeri kayıt edilmiş ve grafiğe dökülmüştür.



Şekil 4.6. Karıştırıcı fotoğrafı.

Literatürde araştırmacılar tarafından yapılan bulanıklık deneylerinde farklı karıştırma hızları, karıştırma süreleri ve çökeltme bekleme süreleri gibi pek çok farklı parametre kullanılmıştır. Bu parametrelerin bulanıklığa etkisini gözlemlemek amacıyla optimum karıştırma hızı, optimum karıştırma süresi, optimum çökeltme bekleme süresi, optimum sıcaklık ve optimum polimer bekleme süresi belirleme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

4.4.2. Optimum karıştırma hızı belirleme deneyi

Bu deney karışımın karıştırma hızına bağlı bulanıklığını gözlemlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Literatürde farklı zeminler ile farklı karıştırma süreleri kullanılmış ve polimerlerin bulanıklık değerleri üzerindeki etkilerinin karıştırma hızı ile ilişkisi araştırmacılar tarafından test edilmiştir.

Çizelge 4.7. Literatürde kullanılmış karıştırma hızları.

Çalışmacı/çalışmacılar	Çalışma Yılı	Zemin	Seçilen hız (dev/dk)
Zhu vd.	1997	Yağ içerikli endüstriyel atıklar	100
Oruç ve Sabah	2006	Tunçbilek kömür tesisi atığı	150
Grzelak	2011	Endüstriyel atıklar	275
Spritzer vd.	2015	İnce taneli siltli kil	260 - 270
Fatema vd.	2018	Uçucu kül	180 - 200

Karıştırma hızı üzerine gerçekleştirilen bu deneyde, deney parametrelerinden biri olan karıştırma hızı dışındaki karıştırma süresi, çökelme bekleme süresi, sıcaklık ve polimer bekleme süresi sabit tutulmuştur. 200 rpm, 250 rpm, 300 rpm ve 500 rpm olmak üzere dört farklı karıştırma hızında farklı polimerler atık zemine karıştırılmıştır. Üç dakika karıştırma süresi, iki dakika karışım bekleme süresi, 20 °C sıcaklık ve 24 saat polimer bekleme süresi altında icra edilen deneylerde sadece anyonik polimerler kullanılmıştır. Optimum doz olarak belirlenen 20 ppm polimer dozu karışımlara tek seferde katılmıştır.

4.4.3. Optimum karıştırma süresi belirleme deneyi

Bu deney polimer-atık zemin karışımının karıştırma süresine bağlı bulanıklığını gözlemlenmek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Literatürde farklı zeminler ile farklı süreler kullanılmış ve polimerlerin bulanıklık değerleri üzerindeki etkilerinin karıştırma süresi ile ilişkisi araştırmacılar tarafından test edilmiştir. Çizelge 4.8.'de literatür araştırmaları gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Literatürde kullanılmış karıştırma süreleri.

Çalışmacı/çalışmacılar	Çalışma Yılı	Zemin	Seçilen karıştırma süresi (dk)
Zhu vd.	1997	Yağ içerikli endüstriyel atıklar	2
Oruç ve Sabah	2006	Tunçbilek kömür tesisi atığı	0,5 – 0,75
Grzelak	2011	Endüstriyel atıklar	5
Spritzer vd.	2015	İnce taneli siltli kil	1
Çetin vd.	2017	Uçucu kül	3
Fatema vd.	2018	Uçucu kül	1

Karıştırma süresi üzerine gerçekleştirilen bu deneylerde, deney parametrelerinden biri olan karıştırma süresi dışındaki karıştırma hızı, çökelme bekleme süresi, sıcaklık ve polimer bekleme süresi sabit tutulmuş; karıştırma süresi 1, 2, 3, 4 ve 5 dakika olarak seçilmiştir. 250 rpm, iki dakika çökelme bekleme süresi, 20 °C sıcaklık ve 24 saat polimer bekleme süresi altında 20 ppm polimer dozu ile gerçekleştirilmiştir.

4.4.4. Optimum çökelme bekleme süresi belirleme deneyi

Bu deney polimer – atık zemin karışımının çökelme bekleme süresine bağlı bulanıklığını gözlemlenmek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Literatürde farklı zeminler ile farklı çökeltme bekleme süreleri kullanılmış ve polimerlerin bulanıklık değerleri üzerindeki etkilerinin çökeltme bekleme süresi ile ilişkisi araştırmacılar tarafından test edilmiştir.

Çizelge 4.9. Literatürde kullanılmış bekleme süreleri.

Çalışmacı/çalışmacılar	Sene	Zemin	Seçilen bekleme süresi (dk)
Zhu vd.	1997	Yağ içerikli endüstriyel atıklar	5
Sabah ve Cengiz	2004	Kömür hazırlama tesisi atığı	15
Spritzer vd.	2015	İnce taneli siltli kil	2
Fatema vd.	2018	Uçucu kül	0,5

Çökeltme bekleme süresi üzerine gerçekleştirilen bu çalışmalarda, deney parametrelerinden biri olan çökeltme bekleme süresi dışındaki karıştırma hızı, karıştırma süresi, sıcaklık ve polimer bekleme süresi sabit tutulmuş; atık zemin süspansiyonu karıştırıldıktan sonra çökeltmesi için beklenen süreler 0,5; 1, 2, 4, 8 ve 15 dakika olarak seçilmiştir. Deneyler 250 rpm hız, üç dakika karıştırma süresi, 20 °C sıcaklık ve 24 saat polimer bekleme süresi altında 20 ppm polimer dozu ile gerçekleştirilmiştir.

4.4.5. Optimum sıcaklık belirleme deneyi

Bu deney karışım suyu sıcaklığının, bulanıklığına etkisini gözlemlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Karışım suyu sıcaklığı dışındaki diğer parametreler sabit tutularak, karışım suyu 10 °C, 20 °C, 30 °C ve 40 °C olmak üzere dört farklı sıcaklıkta bulanıklık deneyi gerçekleştirilmiştir. Deneyler 250 rpm hızı, üç dakika karıştırma süresi, iki dakika çökeltme bekleme süresi ve 24 saat polimer bekleme süresi altında gerçekleştirilmiştir.

4.4.6. Optimum polimer bekleme süresi belirleme deneyi

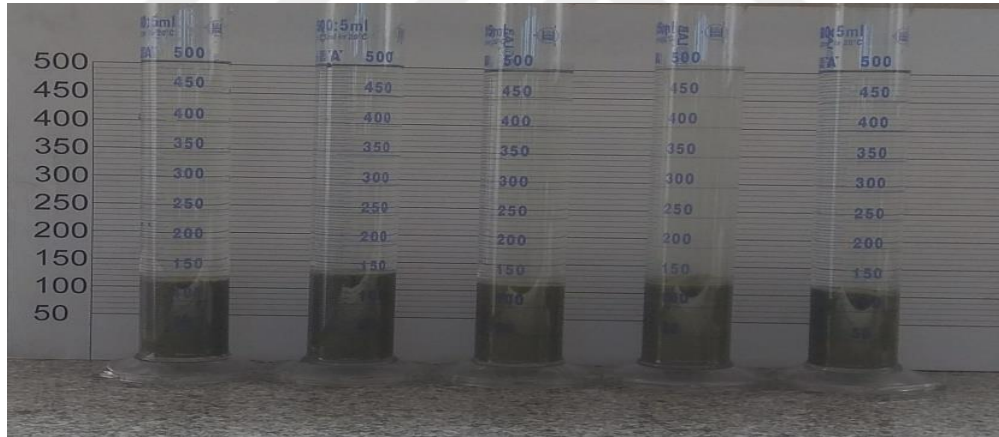
Minyoung Kim vd. (2013) polimer bekleme süresinin çökeltme üzerine etkisini araştırdığı çalışmasında, polimer-su karışımını 1, 3, 6, 9, 12, 18 ve 24 saat boyunca ayrı ayrı bekletmiştir. Deney sonucunda altı saatten uzun süre bekletme süresinin flokülasyon performansını iyileştirilmesinde gözle görülür etki yaratmadığını not etmiştir.

Polimerler jel olarak hazırlandıktan sonra cam kavanozlarda 6, 24, 48, 72, 96, 120, 144 ve 168 saat boyunca bekletilmiş ardından atık zemin süspansiyonuna katılmışlardır. Deney

sırasında karıştırma hızı 250 rpm, karıştırma süresi üç dakika ve çökeltme bekleme süresi iki dakika seçilmiştir ve deneyler 20 °C sıcaklık altında gerçekleştirilmiştir.

4.4.7. Sedimentasyon deneyi

Sedimentlerin (katı parçacık) çökeltme davranışını belirlemek, zeminin sıkışma oranını tahmin etme açısından önemlidir (Şengül vd., 2014). Sedimentlerin çökeltme davranışına, polimerlerin etkilerinin araştırıldığı bu deney için bir litrelik mezür içerisinde ağırlıkça %85 su ve %15 zemin olmak üzere 500 ml atık zemin süspansiyonu hazırlanmıştır. Süspansiyon içerisine tüm anyonik ve katyonik polimerler optimum doz olarak, bulanıklık deneyi ile belirlenen 20 ppm dozda eklenmiştir. Ardından her mezürün ağzı su sızdırmayacak şekilde streç film ile üç kat olarak sarılıp lastiklenerek 60 saniye boyunca, saniyede iki kez 180° takla attırarak sureti ile toplam 120 kez (60 ters ve 60 düz) çevrilerek karıştırılmıştır. Ardından düz bir tezgâh üzerine konularak sırasıyla 0,25; 0,5; 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60, 120, 240, 480 ve 1440 dakika çökeltme bekleme süreleri sonunda mezür içerisindeki seviyeleri kayıt edilmiştir.



Şekil 4.7. Sedimentasyon (çökeltme) deneyi.

4.4.8. Bir boyutlu filtrasyon deneyi

Bir boyutlu filtrasyon deneyi, polimerin ve geotekstil performansının etkili bir şekilde değerlendirildiği deneylerden biridir. Filtrasyon sırasında ilk olarak büyük daneli ve ağır parçacıklar çökelmektedir. Bu çökeltme sonrasında geotekstil filtre üzerinde kek denilen bir tabaka oluşmaktadır. Oluşan bu kek, bulamacın filtrasyon performansına doğrudan etki etmektedir. Filtrasyon deneyi, filtrasyon performansını ve filtre keki oluşumunu incelemek için kolay ve pratik bir deney yöntemi olduğu için pek çok araştırmacı tarafından sıklıkla uygulanmaktadır.

Filtrasyon deneyi için kullanılacak pleksiglass tüp hazne, 300 mm yüksekliğinde ve 70 mm çapındadır. Haznenin altında süzülen suyu kontrol etmek ve sağlıklı bir akış sağlamak amacıyla vanalı bir huni bulunmaktadır. Hazne ile huni arasına metal bir ızgara ile desteklenmiş geotekstil filtre yerleştirilmiştir. Geotekstil filtreden sızan su, huninin içinden ölçüm amacıyla bir kaba akıtılmaktadır.

Filtrasyon deneyi için 500 ml hacimli, ağırlıkça %15 katı ve %85 su olarak üç adet zemin bulamacı hazırlanmıştır. Bu üç bulamacın biri polimer katkısız, diğer iki bulamaç iki adet anyonik polimer katkılıdır. Anyonik polimerler 20 ppm dozda bulamacıya katılmışlardır. Hazırlanan bu üç bulamaç karıştırıcıda üçer dakika ve 250 rpm hızda karıştırıldıktan sonra bekletilmeden hazneye boşaltılmıştır. 0,25; 0,5; 1, 1,5; 2, 3, 5, 7, 10, 15, 30, 60, 120, 240 ve 480 dakika aralıklarla filtre edilen suyun ağırlığı ölçülmüş ve filtre kekin oluşumu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.8. Bir boyutlu filtrasyon deneyi düzeneği fotoğrafı.

4.4.9. Tabakalı filtrasyon deneyi

Tabakalı filtrasyon deneyi, haznenin içerisine bulamacı önceden belirlenmiş sabit bir yüksekliğe kadar tekrarlı doldurup filtre etme prensibine dayanmaktadır. Geotekstillerin bir kere doldurulup bırakılması ekonomik olarak uygulanabilecek bir yöntem değildir. Bu sebepten dolayı geotekstil tüpler tekrarlı olarak doldurulmaktadır. Tabakalı filtrasyon deneyi ile geotekstilin suyu filtre performansı ve filtre kekin davranışı araştırılmıştır.

Tabakalı filtrasyon deneyi büyük boyutlu ve küçük boyutlu iki farklı hazne kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Küçük boyutlu tabakalı filtrasyon deneyi için seçilen yükseklik 183 mm iken büyük boyutlu deney için seçilen yükseklik 1830 mm'dir. İki deney için de kullanılan haznelerin

çapları 70 mm'dir. Bu uzunluklar kumlu zeminlerin geotekstil tüpte efektif dolum yüksekliklerinden referans alınmıştır. Her dolumdan sonra haznelerden filtre edilen suyun miktarı tek boyutlu filtrasyon deneyinde olduğu gibi kayıt altına alınmış ve filtre kek oluşumları gözlemlenmiştir. Ağırlıkça %15 katı dane içeriğine sahip bulamaç ilk hacmi küçük boyutlu filtrasyon deneyi için 704,27 ml; büyük boyutlu filtrasyon deneyi için 7042,76 ml olacak şekilde hazırlanıp ilk susuzlaştırma işlemi için hazneye boşaltılmıştır. Küçük boyutlu sistemde bulamaçlar karıştırıcı yardımı ile 250 rpm hızda üç dakika karıştırılmış ve çökmesi beklenmeden geotekstil filtreli pleksiglas hazneye boşaltılmıştır. Büyük boyutlu sistemde mikserde karıştırma gibi bir olanak söz konusu olmadığı için şeffaf bidonlar içerisinde 60 saniye boyunca elle karıştırılıp geotekstil filtreli pleksiglas haznenin içerisine tek seferde boşaltılmıştır. Polimer katkıları bulamaçlara 500 ml'ye 20 ppm doz oranında katılmışlardır.

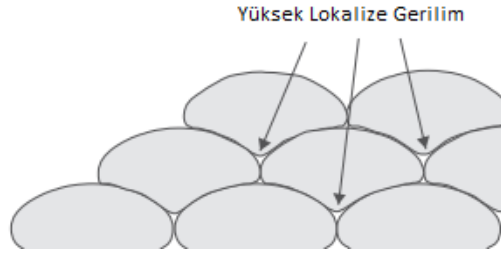
Her dolumdan sonra karışımın su seviyesi, filtre kek seviyesine geldiği anda alttaki huninin vanası kapatılmış ve filtrasyon durdurulmuştur. Filtre kek seviyesi ile ilk dolum yüksekliği arasında kalan hacim kadar tekrar bulamaç hazırlanmış ve vana tekrar açılarak filtrasyon devam ettirilmiştir. Bu tekrarlı dolumlar polimerli veya polimersiz herhangi bir filtre kek yüksekliği, ilk dolum yüksekliğinin %85'ine ulaşana kadar devam ettirilmiştir. Küçük boyutlu ve büyük boyutlu deneyler, boyut farkının filtrasyona etkisini gözlemlemek açısından büyük önem arz etmektedir.



Şekil 4.9. Polimersiz bulamaç için tabakalı filtrasyon deneyi düzeneği fotoğrafı.

4.4.10. Konsolidasyon deneyi

Konsolidasyon aşaması, geotekstil tüp dolum aşamalarında filtrasyondan sonra gelen aşamadır. Bu aşamada geotekstil tüp içerisindeki kek sıkıştırılarak hacmi azaltılmaktadır. Konsolidasyon deneyi ile filtre kekin sıkışma performansı araştırılmıştır.



Şekil 4.10. Üst üste dizilmiş geotekstil tüplerin altındakine uyguladığı gerilim (Lawson, 2008).

Şekil 4.10’da doldurulmuş geotekstil tüplerin birbirleri üzerine yerleştirilmek suretiyle dizildiği görülmektedir. En üstteki geotekstil bir altındaki tüpe gerilim uygulamaktadır. Dizilimde görüldüğü üzere gerilimler alttaki tüplere katlanarak iletilmektedir. Zeminlerin tüp içerisinde, üzerlerinde artan gerilmeler sebebiyle zamana bağlı sıkışma davranışları konsolidasyon deneyi ile belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 4.11. Konsolidasyon deney düzeneği fotoğrafı.

Konsolidasyon deneyi, küçük boyutlu deney sisteminde filtrasyon tamamlandıktan sonra oluşan tabakalı filtre kekler üzerinde uygulanmıştır. Haznenin içerisine çapı ayarlanabilir polimer malzemeden üretilmiş bir piston yerleştirilmiştir. Ardından basıncı kontrol edebilmek amacıyla vanalı bir başlık ile haznenin üstü kapatılmıştır. Pistonun üzerine kontrollü olarak 24 saat aralıklarla sırasıyla 25, 50 ve 100 kPa basınç uygulanmıştır ve pistonun keki sıkıştırması sağlanmıştır. Bu deney iki adet polimerli ve polimersiz olmak üzere üç farklı kek için de ayrı ayrı

uygulanmıştır. Her bir basınç değeri için sırasıyla 0,25; 0,5; 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60, 120, 240, 480 ve 1440 dakika okumaları kayıt edilmiş ve sıkışma performansı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.12. Polimer kapak ve piston fotoğrafı.

4.4.11. Serbest basınç deneyi

Serbest basınç deneyi ile konsolide edilmiş zeminin serbest basınç altında dayanımı araştırılmıştır. Serbest basınç deneyi 70 mm çaplı sıkıştırılmış filtre kekler üzerinde uygulanmıştır. Serbest basınç cihazına yerleştirilen iki adet polimerli ve bir adet polimersiz üç adet filtre kek, düşey yönde gerilmeye tabi tutulmuş ve boy değişimleri kayıt altına alınmıştır. Ardından gerilme-deformasyon grafiği elde edilmiştir.



Şekil 4.13. Serbest basınç deney düzeneği fotoğrafı.

5. DEĞERLENDİRME

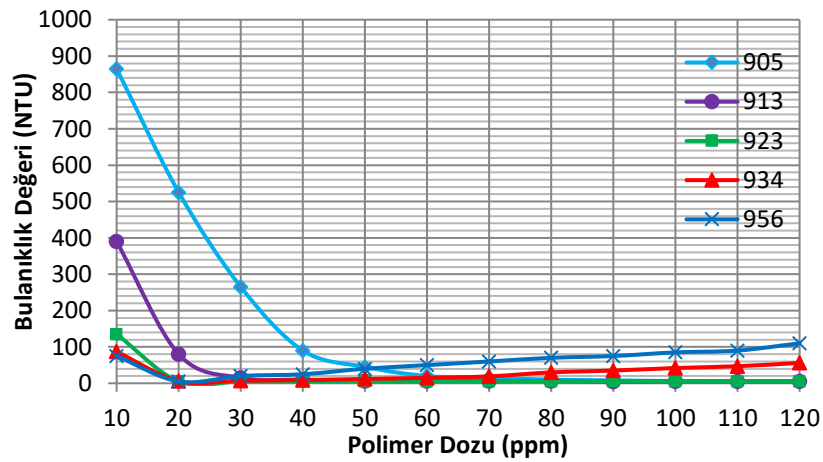
5.1. Bulanıklık Deneyi Sonuçları

Anyonik ve katyonik polimerler, her zemin üzerinde farklı etki yaratmaktadır. Bulanıklık deneyleri ile birlikte zemine uygun optimum polimer ve dozajı belirlenmeye çalışılmıştır. Polimerler zemin parçacıklarını Van der Waals çekim kuvvetiyle bir araya getirmektedir. Polimer ve dozajının uygun olduğunun teyit edilebilmesi için polimer, karışım suyunun bulanıklığını 20 NTU altına düşürmelidir (Spritzer vd. 2015).



Şekil 5.1. Örnek bulanıklık değerleri fotoğrafı.

Anyonik polimerler katkıli zemin bulamacının bulanıklık değerleri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Anyonik polimer dozları ve bulanıklık değerleri.

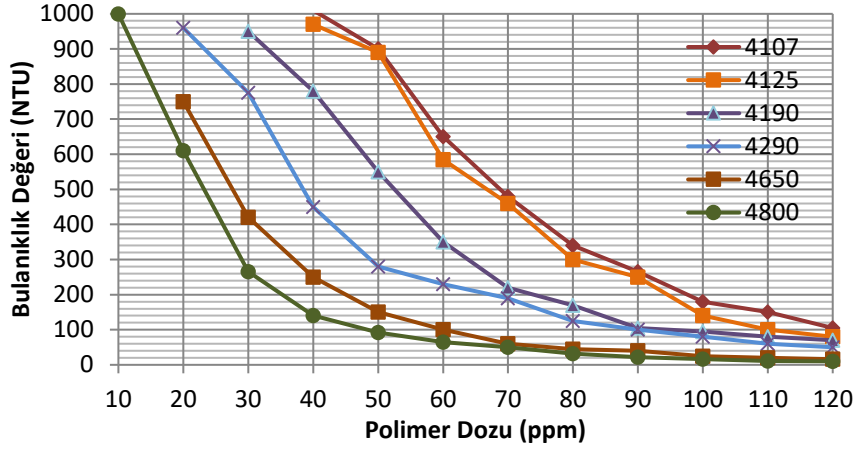
Polimer dozajındaki artış ile bulamaç suyunun bulanıklık değerinde azalma gözlemlenmektedir fakat polimer dozajındaki aşırı artış, flokülasyona uğramış koloidal parçacıkların yeniden ayrışmasıyla suyun bulanıklık değerinde yükselmeye yol açabilmektedir. (Gregory, 1989). Kullanılan 934 ve 956 polimerleri 20 ppm dozda sırasıyla 6 ve 5 NTU sonuç vermişlerdir. Fakat bu polimerlerin aşırı doz kullanımında tekrar partiküllerde ayrılma ve bulanıklık değerinde artış kaydedilmiştir. 934 ile aynı yük yoğunluğuna sahip olan 923 polimerinde ise böyle bir etki gözlemlenmemiştir.

Aşırı düşük yük yoğunluklu 905 polimeri ile düşük yük yoğunluklu 913 polimeri karışım suyu bulanıklığını 20 ppm'de 20 NTU altına düşürmekte başarısız olmuşlardır. Şekil 5.2.'deki verilere bakılarak anyonik polimer katkılı zemin bulamaçlarında 923, 934 ve 956 polimerlerinin 20 ppm dozda karışım suyu bulanıklığını 20 NTU altına indirdiği gözlemlenmiştir. Çizelge 5.1.'de anyonik polimer katkılı bulamaç sularının 20 NTU altına düştükleri optimum dozlar ve 20 ppm dozundaki bulanıklık değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. 20 ppm anyonik polimer dozundaki bulanıklık değerleri.

Polimer	Anyonik yük	Moleküler kütle	20 ppm'de NTU değeri	20 NTU altına düştüğü doz ve değeri	
				Doz (ppm)	NTU
905	Çok düşük	Yüksek	525	60	20
913	Düşük	Yüksek	80	30	15
923	Orta	Yüksek	5	20	8
934	Orta	Yüksek	6	20	6
956	Yüksek	Yüksek	5	20	5

Katyonik polimerler katkılı zemin bulamacının bulanıklık değerleri Şekil 5.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Katyonik polimer dozları ve bulanıklık değerleri.

Katyonik polimerler, karışım suyunun bulanıklık değerini düşürmede anyonik polimerler kadar etkili olamamışlardır. Şekil 5.3.'te görüldüğü üzere yük yoğunluğu en yüksek katyonik polimer olan 4800 polimeri, karışım suyunun bulanıklığını 20 NTU altına 100 ppm dozda, yüksek yük yoğunluklu 4650 polimeri ise 110 PPM dozda düşürmektedirler. Diğer katyonik polimerler 120 ppm dozda süspansiyonun bulanıklık değerini 20 NTU olan limit bulanıklık değerinin altına düşürememişlerdir.

Çizelge 5.2.'de katyonik polimer ilaveli zemin bulamaçlarının 20 NTU altına düşükleri optimum dozlar ve 20 ppm dozundaki bulanıklık değerleri gösterilmiştir.

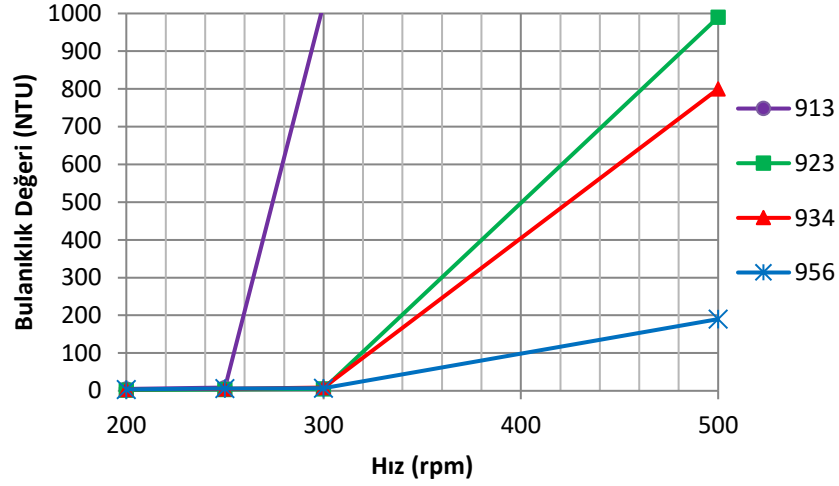
Çizelge 5.2. 20 ppm katyonik polimer dozundaki bulanıklık değerleri.

Polimer	Anyonik yük	Moleküler kütle	20 ppm'de NTU değeri	20 NTU altına düştüğü doz ve değeri	
				Doz (ppm)	NTU
4107	Ultra düşük	Yüksek	-	-	-
4125	Çok düşük	Yüksek	-	-	-
4190	Düşük	Yüksek	-	-	-
4290	Orta	Yüksek	960	-	-
4650	Yüksek	Yüksek	750	110	20
4800	Çok Yüksek	Yüksek	610	100	16

5.2. Karıştırma Hızının Bulanıklığa Etkisi

Süspansiyonun karıştırma hızının bulanıklığa etkisinin belirlenmesi amacıyla tüm polimerler 20 ppm dozda süspansiyona ilave edildikten sonra 200, 250, 300 ve 500 rpm karıştırma

hızlarında karıştırılmış ve bulanıklık değerleri belirlenmiştir. Farklı polimer katkıli süspansiyonlarda karıştırma hızının bulanıklık değerlerine etkisi Şekil 5.4'te gösterilmektedir.

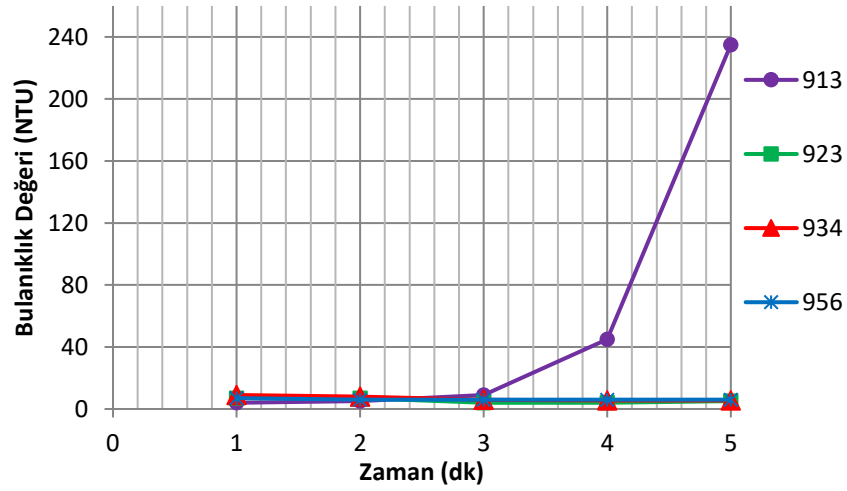


Şekil 5.4. Optimum karıştırma hızı belirleme deneyi sonuçları.

Şekil 5.4'te 905 dışında diğer anyonik polimerlerin kullanıldığı optimum karıştırma hızının belirlendiği deneylerde, karıştırma hızındaki artışın bulanıklığa olumsuz etkisi görülmektedir. Deneyde seçilen en düşük karıştırma hızı olan 200 rpm'den en yüksek karıştırma hızı 500 rpm'e çıkıldıkça karışım suyunun bulanıklık değerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak gerçekleştirilen bu deneylerde anyonik polimer katkıli bulamacın en uygun karıştırma hızının 200 rpm olduğu belirlenmiştir.

5.3. Karıştırma Süresinin Bulanıklığa Etkisi

Süspansiyonun karıştırma süresinin bulanıklığa etkisinin belirlenmesi maksadıyla tüm polimerler 20 ppm dozda süspansiyona ilave edildikten sonra 1, 2, 3, 4 ve 5 dk karıştırma sürelerinde karıştırılmış ve bulanıklık değerleri belirlenmiştir. Farklı polimer katkıli süspansiyonlarda karıştırma süresinin bulanıklık değerlerine etkisi Şekil 5.5.'te gösterilmektedir.

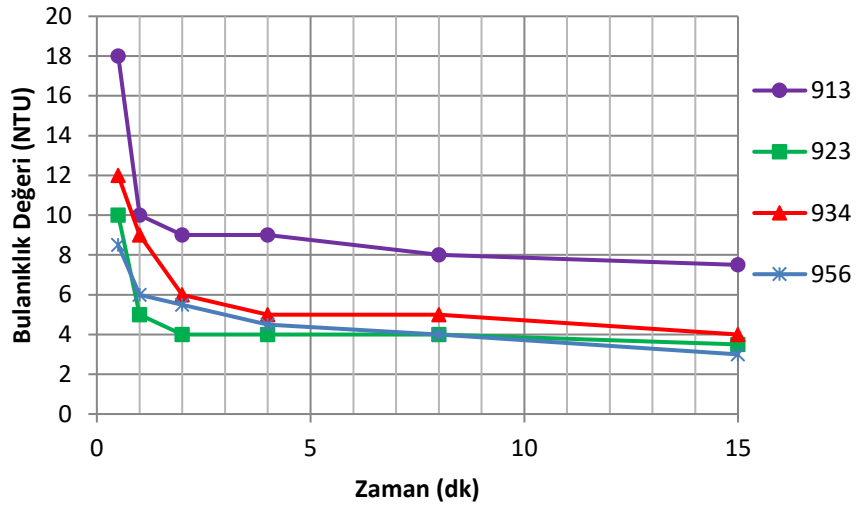


Şekil 5.5. Optimum karıştırma süresi belirleme deneyi sonuçları.

Kullanılan en düşük yoğunluklu polimer olan 913 polimeri ile hazırlanan süspansiyonun, karıştırma süresi arttıkça bulamaç suyundaki bulanıklık artışı açıkça görülmektedir. Yüksek yoğunlukları sırasıyla orta, orta ve yüksek olan 923, 934 ve 956 polimerleri ile hazırlanan süspansiyonun karıştırma sürelerinden etkilenmedikleri gözlemlenmiştir. Bu sonuç yüksek yük yoğunluklu polimerlerin bulamaç ile karıştırma süresinin artması bulanıklığa etki etmezken; düşük yük yoğunluklu polimerlerin karıştırma sürelerinin artması bulanıklığı azaltıcı yönde etkilediği anlamına gelmektedir. Kullanılan bu polimerler için optimum karıştırma süresinin bir dakika olarak seçilmesi uygun görülmüştür.

5.4. Süspansiyonun Çökelme Süresinin Bulanıklığa Etkisi

Süspansiyonun çökelme süresinin bulanıklığa etkisinin belirlenmesi amacıyla tüm polimerler 20 ppm dozda süspansiyona ilave edildikten sonra 0,5; 1, 2, 3, 4 ve 5 dk çökelmeleri beklenmiş ve bulanıklık değerleri belirlenmiştir. Farklı polimer katkılı süspansiyonlarda çökelme süresinin bulanıklık değerlerine etkisi Şekil 5.6'de gösterilmektedir.

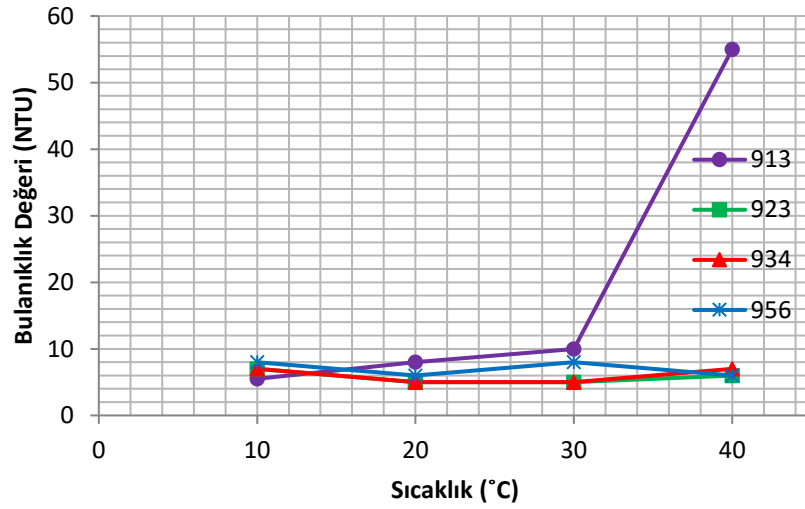


Şekil 5.6. Optimum çökelme bekleme süresi belirleme deneyi sonuçları.

Optimum çökelme bekleme süresi deneyi, polimer ile bulamacın karıştırıldıktan sonra çökelme için beklenen süresinin bulanıklık üzerine etkisini tayin etmek amacıyla yapılmıştır. 913, 923, 934 ve 956 polimerleri kullanılarak gerçekleştirilen bu deneylerde bekleme süresinin süspansiyonun bulanıklığına etkisi Şekil 5.6.'da gösterilmiştir. Bekleme süresindeki artış; her yük yoğunluğu için bulanık değerinde azalmaya olmasına rağmen en önemli fark 0,5 dakika ile bir dakika arasında gerçekleşmiştir. Bir dakikadan daha uzun bekleme sürelerinde tüm anyonik polimerli süspansiyonun bulanıklık değerlerinde önemli bir fark oluşmamıştır. Sonuç olarak bekleme süresinin bulanıklık değerlerinde azalma meydana getirdiği, en ciddi azalışın genel olarak birinci dakikada gerçekleştiği açıkça görülmektedir. Bu polimerler için optimum bekleme süresinin bir dakika olarak seçilmesi uygun görülmüştür.

5.5. Süspansiyon Sıcaklığının Bulanıklığa Etkisi

Süspansiyonun sıcaklığının bulanıklığa etkisinin belirlenmesi amacıyla tüm polimerler 20 ppm dozda süspansiyona ilave edildikten sonra 10, 20, 30 ve 40 C sıcaklıklarda karıştırılmış ve bulanıklık değerleri belirlenmiştir. Farklı polimer katkılı süspansiyonlarda süspansiyon sıcaklığının bulanıklık değerlerine etkisi Şekil 5.7'de gösterilmektedir.

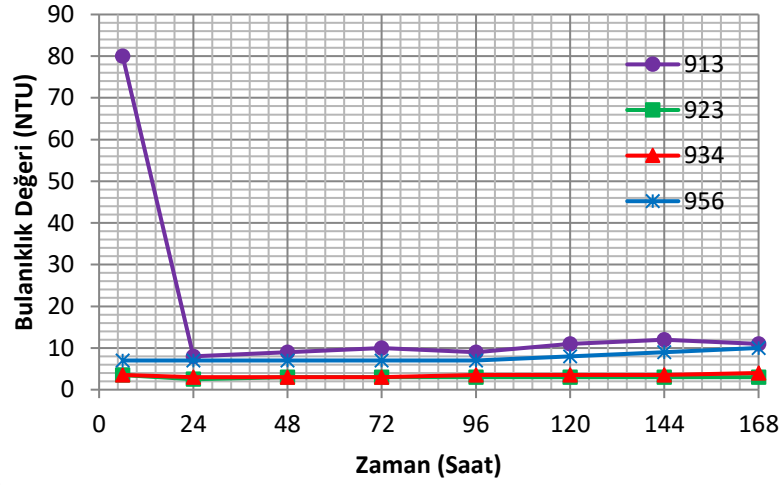


Şekil 5.7. Optimum sıcaklık belirleme deneyi sonuçları.

Dört farklı anyonik polimer ile hazırlanan atık zemin süspansiyonunun farklı ortam sıcaklıklarında bulanıklık değerlerindeki değişim belirlenmiştir ve Şekil 5.7.'de gösterilmektedir. Düşük yük yoğunluklu 913 polimerli süspansiyonun 10 - 30 °C aralığında bulanıklık değerinde önemli bir değişim gözlemlenmezken 30 °C'den yüksek ortam sıcaklıklarında polimerin karışım üzerindeki etkisi zayıflamış, 40 °C'de bulanıklık sınır değeri olan 20 NTU'nun üzerine çıkmıştır. 923, 934 ve 956 polimerlerinin kullanıldığı atık zemin süspansiyonlarında ise 10 - 40 °C gibi geniş bir ortam sıcaklığı aralığında süspansiyonun bulanıklığına önemli bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. 923, 934 ve 956 polimerlerinin bu sıcaklar arasında kullanılması uygun iken 913 polimerinin 40 °C'den daha düşük sıcaklıklarda kullanılması tavsiye edilmektedir.

5.6. Polimer Bekleme Süresinin Bulanıklığa Etkisi

Polimer bekleme süresinin bulanıklığa etkisinin belirlenmesi amacıyla tüm polimerler süspansiyona katılmadan önce 0,25; 1, 2, 3, 4, 5, 6 ve 7 gün bekletilmiş ve süspansiyona katıldıktan sonra bulanıklık değeri belirlenmiştir. Tüm polimerler 20 ppm dozda süspansiyona ilave edilmişlerdir. Farklı polimer katkılı süspansiyonlarda polimer bekleme süresinin bulanıklık değerlerine etkisi Şekil 5.8'de gösterilmektedir.



Şekil 5.8. Optimum polimer bekleme süresi belirleme deneyi sonuçları.

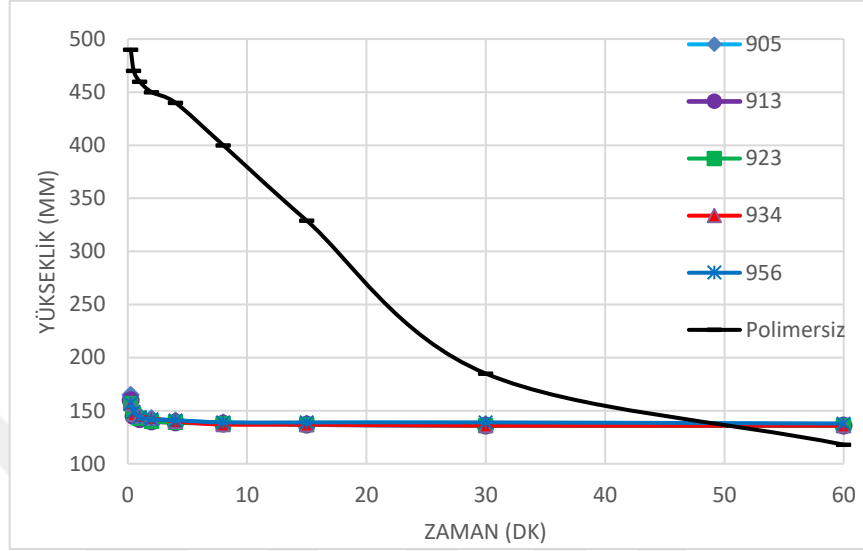
Deney sonuçları incelendiğinde polimerlerin bir haftalık bekleme süreleri boyunca herhangi bir bozulmaya uğramadığı görülmüştür. Bu süreç boyunca karışım suyu bulanıklıklarında ciddi değişimler ölçülmemiştir. Fakat 913 polimerinin ilk altı saat bekletildikten sonra kullanılmasıyla elde edilen bulanıklık değeri, diğer anyonik polimerlerin altı saatlik değerlerinden yüksektir. Bu sonucun 913 polimerinin ilk altı saatte saf su içerisinde homojen olarak çözülmemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Polimerler deneye tabi tutuldukları sürede ağızları kapalı şekilde herhangi bir madde ile temasları engellenerek karanlık ortamda bekletilmiş ve kullanılırken içerisine yabancı madde karışmamasına dikkat edilmiştir. Bir haftalık süre boyunca ilk altıncı saatte ve her 24 saatte bir kullanılan polimerler, kullanılmadan önce çalkalanmış ve kullanıldıktan sonra kavanozlar ile metal kapakları arasına streç film geçirilmiştir. Bu polimerlerin bir haftalık süre boyunca deneysel araştırmalarda bulanıklık değerlerinde önemli bir değişikliğe neden olmayacak şekilde kullanılmaya uygun olduğu saptanmıştır.

5.7. Sedimentasyon Deneyi Sonuçları

Altı farklı katyonik ve beş farklı anyonik polimer üzerinde gerçekleştirilen sedimentasyon(çökeltme) deneyi sonuçları Şekil 5.9. ve Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Çökeltme deneyleri, polimer performansının ve zeminin çökeltme davranışının araştırılmasında sıkça kullanılan bir deneydir. Zeminin çökeltme davranışı, filtre kek oluşumu hakkında araştırmacılara önemli ipuçları sunmaktadır.

Yapılan çökeltme deneylerinde verilerin işlendiği grafiklerde süreye karşılık gelen ml değeri, karışımın katı danelerinin mezür içerisinde o andaki seviyesini göstermektedir. Çökeltme deneyleri için etkili polimer dozu tüm polimerler için 20 ppm olarak kullanılmıştır. Katkısız ve

anyonik polimer katkılı bulamaçlar için çökeltme performansı aşağıdaki Şekil 5.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Anyonikler polimer katkılı bulamaçlar için çökeltme deneyi sonuçları.

Anyonik polimerlerin çökeltme performanslarında çok büyük farklılıklar gözlemlenmemiştir. Bütün anyonik polimerlerin genel olarak aynı etkiyi yarattığı söylenebilir. Orta yük yoğunluklu iki polimer olan 923 ve 934 arasında çok az farklılıklar gözükse de 923 polimeri atık zemin süspansiyonun en hızlı çökmesini sağlayan polimer olduğu görülmektedir. Anyonik polimerler arasında en kötü sayılabilecek performansı çok düşük yük yoğunluklu 905 polimeri göstermesine rağmen süspansiyonun çökeltme davranışında önemli bir farklılık meydana getirmemiştir.

Çizelge 5.3. Nihai çökelmelerine göre anyonik polimerli ve polimersiz zemin bulamaçlarının çökeltme yüzdeleri.

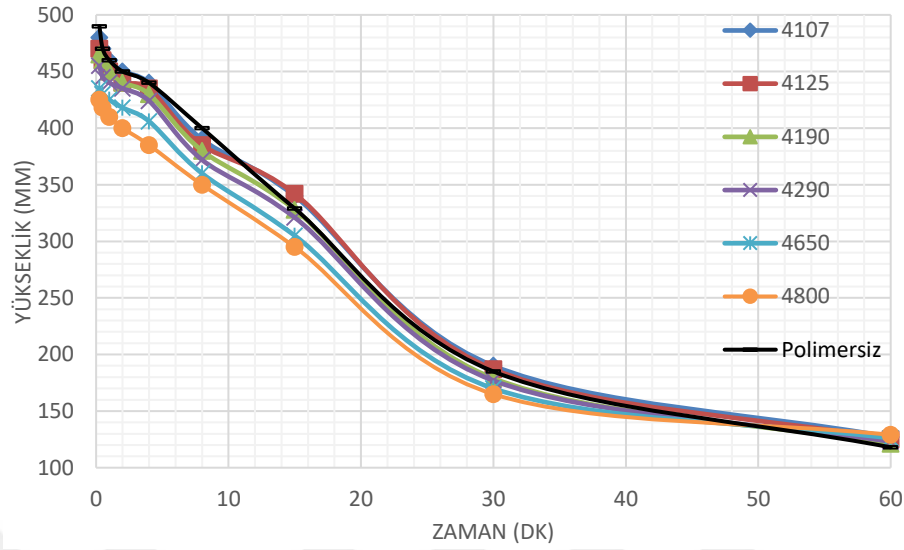
Polimer	Anyonik yük	Moleküler kütle	20 PPM'de NTU değeri	Nihai çökelmelerine göre çökeltme yüzdeleri (%)			
				5 dk	15 dk	30 dk	60 dk
905	Çok düşük	Yüksek	525	97	98	98	99
913	Düşük	Yüksek	80	98	99	99	99
923	Orta	Yüksek	5	99	99	99	99
934	Orta	Yüksek	6	98	99	99	99
956	Yüksek	Yüksek	5	98	99	99	99
Polimersiz				17	43	80	97

Çizelge 5.3.'te özetlenen sonuçlara göre 923 polimer katkılı zemin süspansiyonunda ilk beş dakikada nihai çökelmenin %99'una ulaşılmıştır. 905 polimeri ilk beş dakikada %97'sine ulaşarak anyonikler arasındaki en kötü sayılabilecek performansı sergilemiştir. 905 polimerinin nihai çökelmenin %99'una ulaşması bir saati bulmuştur. Yük yoğunlukları farklı üç polimer olan 913; 934 ve 956 katkılı bulamaçlar ilk beş dakika içinde aynı çökelme performansını göstermişlerdir. Polimersiz bulamacın çökelme performansı ise ilk beş dakika %17 olarak ölçülmüştür. 60 dakika sonunda nihai çökelmenin %97'sine ulaşan polimersiz bulamacın nihai çökmesi 120 dakika sonunda tamamlanmıştır. Anyonik polimerler bulamacın çökelme performansında polimersiz bulamaca göre ilk beş dakikada beş kat daha iyi performans göstermişlerdir. Buradan anyonik polimerlerin, zemin danelerini etkili bir şekilde topaklayıp homojen bir kütle haline getirerek ani çökeltmesine sebep olduğu sonucuna varılmaktadır.

Anyonik polimer katkılı zemin süspansiyonunun çökelme davranışı belirlendikten sonra mezür içerisindeki çökelmiş zemin yükseklikleri belirlenmiştir. Gerçekleştirilen çökelme deneylerinde polimer yük yoğunluğu arttıkça çökelmiş zeminin hacminde artış gözlemlenmiştir. Mezür içerisinde 905 polimeri katkılı zemin 132 ml, 913 polimeri katkılı zemin 134 ml, 923 polimeri katkılı zemin 135 ml, 934 polimeri katkılı zemin 135 ml ve 956 polimeri katkılı zemin 137 ml seviyesinde kalmışlardır. Polimersiz zeminin mezür içerisinde nihai çökelmiş seviyesi ise 106 ml olarak ölçülmüştür. Anyonik polimerler çökelmiş zeminin hacmini polimersiz zemin hacmine göre %24 ile %29 arasında değişen oranlarda arttırmıştır. Bu sonuç literatürdeki benzer çalışmalarla uyumluluk göstermektedir

Şengül v.d. (2014) Uçucu kül süspansiyonundaki polimer katkısının, süspansiyondaki külün çökelme hızını arttırmasına rağmen, nihai çökelme miktarını azalttığını belirlemişlerdir. Polimerler süspansiyon içerisindeki tanelerin hızlı bir şekilde topaklaşmasını sağlayarak çökelmeyi hızlandırdığından bu topaklar arasındaki boşluk hacminin artmasına ve dolayısıyla çökelmiş atık zeminin hacminde bir miktar artışa neden olmaktadır.

Katyonik polimer katkılı atık zemin bulamaçlarının çökelme davranışı Şekil 5.10.'da gösterilmiştir.



Şekil 5.10. Katyonik polimerli ve polimersiz zeminin çökelme davranışları.

Genel olarak katyonik polimerlerin çöktürme performansları ele alındığında anyonik polimerler kadar bulamaç üzerinde etkili olmamalarına rağmen katyonik polimerlerin 20 ppm dozda kullanımı durumunda polimersiz bulamaca göre çökelmeyi bir miktar hızlandırdığı görülmüştür.

Çizelge 5.4'te nihai çökelmelerine göre katyonik polimerli ve polimersiz bulamaçlarının 5, 15, 30 ve 60 dakikadaki çökelme yüzdeleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. Nihai çökelmelerine göre katyonik polimerli ve polimersiz bulamaçlarının çökelme yüzdeleri.

Polimer	Katyonik yük	Moleküler kütle	20 PPM'de NTU değeri	Nihai çökelmelerine göre çökelme yüzdeleri (%)			
				5 dk	15 dk	30 dk	60 dk
4107	Ultra düşük	Yüksek	-	18	41	80	97
4125	Çok düşük	Yüksek	-	19	41	82	98
4190	Düşük	Yüksek	-	21	44	83	99
4290	Orta	Yüksek	960	22	47	85	99
4650	Yüksek	Yüksek	750	28	52	88	99
4800	Çok Yüksek	Yüksek	610	32	55	90	99
Polimersiz				17	43	80	97

4107, katyonik polimerler arasında en kötü performansı gösteren polimer olurken 4800 en iyi çöktürme performansını gösteren polimer olmuştur. Ultra düşük yük yoğunluğuna sahip polimer 4107 katkılı bulamaçın çökelme performansı neredeyse polimersiz bulamaçla eşittir.

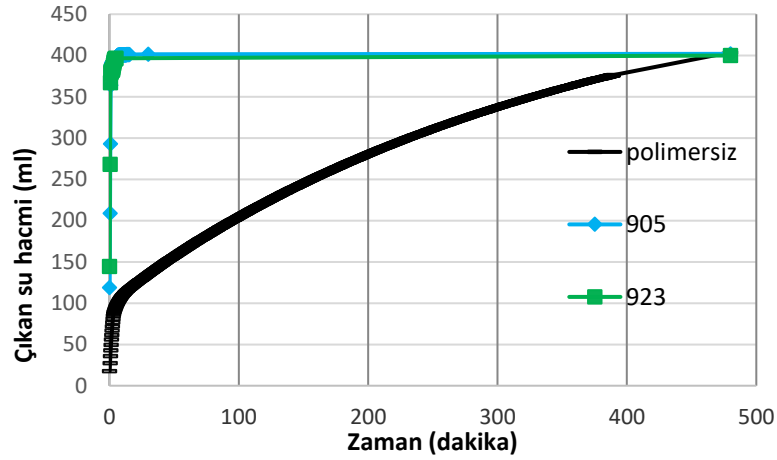
4107 katkılı bulamacın sedimentasyon yüzdesi nihai çökelmeye oranla ilk beş dakikada %18 olurken, 30 dakikanın sonunda %80 seviyesine ulaşmıştır. Çizelge 5.4. incelendiğinde yük yoğunluğu arttıkça çökeltme performanslarında iyileşme olduğu anlaşılmaktadır. 4107den sonra en kötü performansı gösteren çok düşük yük yoğunluklu 4125 katkılı bulamacın ilk beş dakikadaki sedimentasyonu nihai çökelmeye oranla %19 olurken düşük yük yoğunluklu 4190 katkılı bulamacın %21, orta yük yoğunluklu 4290 katkılı bulamacın %22, yüksek yük yoğunluklu 4650 katkılı bulamacın %28 ve çok yüksek yük yoğunluklu 4800 katkılı bulamacın ise %32 oranında gerçekleşmiştir. 15, 30 ve 60. dakika ölçümlerinde bulamaçların sedimentasyon yüzdelerinin de yük yoğunluğuna paralel seyrettiği gözlemlenmiştir. 15. dakikada yüksek ve çok yüksek yük yoğunluklu 4650 ve 4800 polimer katkılı bulamaçların nihai çökelmelerine göre sedimentasyon oranı %50 seviyesinin üzerine çıkabilmişken 4107, 4125, 4190 ve 4290 polimerler katkılı bulamaçların sedimentasyonları %40 seviyelerinde kalmıştır. 30. dakikada yalnızca çok yüksek yük yoğunluklu 4800 katkılı bulamacın sedimentasyonu nihai çökeltme seviyesinin %90'ına ulaşabilmiştir. 60. dakikada tüm bulamaçlarda %97 çökeltme seviyesinin üzerine çıkılmıştır.

Katyonic polimerler de çökelmiş zeminin hacmi üzerinde anyonik polimerlere benzer bir etki yaratmıştır. Yük yoğunluğu arttıkça çökelmiş zeminin hacminde artış gözlemlenmiştir. 4107, 4125, 4190, 4290, 4650 ve 4800 polimerleri çökelmiş zeminin hacminde polimersiz zemine kıyasla sırasıyla %9, %11, %10, %13, %18 ve %19luk bir artışına sebep olmuşlardır.

5.8. Bir Boyutlu Filtrasyon Deneyi Sonuçları

Filtrasyon sonunda atık zeminin çökeltmesi nedeni ile geotekstil üzerinde filtre keki oluşmaktadır. Filtrasyon uygulamalarında atık zeminin dane boyutuna uygun gözenek açıklığına sahip geotekstil seçmek gerekmektedir. Geotekstilin gözenek açıklığı çok büyük olduğunda zemin kek oluşturmadan akıp gitmektedir. Eğer gözenek açıklığı çok küçük ise geotekstil üzerinde kek oluşturmaktadır ancak geotekstildeki delikleri tıkayarak suyun geçişini engellemektedir.

Tek boyutlu filtrasyon deneyi laboratuvar ortamında polimersiz ve 20 ppm dozda 905 ve 923 katkılı bulamaçlar hazırlanarak gerçekleştirilmiş. Filtrasyon deneyinde tek tip geotekstil filtre kullanıldığı için geotekstil performansından ziyade polimer etkinliği, filtre keki oluşumu ve davranışı araştırılmıştır. Polimer katkılı ve polimersiz bulamaçların filtrasyon performansı Şekil 5.11.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.11. Tek boyutlu filtrasyon deneyi grafiği.

Polimerli ve polimersiz bulamaçların filtrasyon grafiği incelendiğinde anyonik polimer katkılı süspansiyonun filtrasyonu ortalama iki dakika gibi bir sürede tamamlanırken polimersiz bulamacın suyunun tamamının filtre olması ise 480 dakika sürmüştür. Polimer katkının filtrasyonu yaklaşık 200 kat hızlandırmasının sebebi polimersiz bulamaçta iri daneli parçacıkların ilk olarak çökmesi ile ince taneli parçacıkların filtre kekin üzerini örterek geçirimsizliği çok az olan bir tabaka yaratmasıdır. Bu kil ve siltten oluşan kek üzerini örten tabaka, filtre keki polimer katkılı keklere göre daha az geçirimli bir hale getirmiştir. Polimerler ise bulamaç içerisindeki zeminin tek bir parça olarak hareket etmesini sağlamıştır. Bu da filtre keki homojen hale getirmiş ve keke kısmen daha boşluklu bir yapı kazandırmıştır. Su, polimer katkılı filtre keklerin daneleri arasından çok daha rahat hareket ederek drene olmuş ve filtrasyon çok kısa sürede tamamlanmıştır.

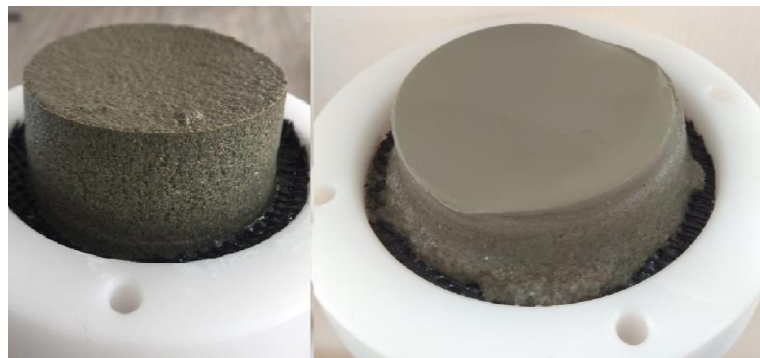
Bulamaç suyunun filtre kek üstü seviyeye ulaşana kadarki filtrasyonu, filtre kekin performansı hakkında bilgi vermektedir. Nihai filtrasyon verileri ise polimerli atık zeminin su tutma kapasitesi hakkında bilgiler vermektedir. Aşağıdaki Çizelge 5.5.'te filtrasyon verileri gösterilmiştir.

Çizelge 5.5. Anyonik polimerli ve polimersiz bulamaçların filtrasyon performansı.

Polimer	Çıkan su hacmi ml (kek üstü süzüntü seviyesi)	Çıkan su hacmi ml (toplam süzüntü)	Filtrasyon % (kek üstü süzüntü seviyesi/toplam karışım suyu)	Filtrasyon % (toplam süzüntü/toplam karışım suyu)
905	390	401,5	0,83	0,86
923	382	396,6	0,81	0,85
Polimersiz	396	404	0,84	0,87

Çizelge 5.5. incelendiğinde bulamaç suyu seviyesinin kek üstüne ulaştığında çıkan su hacimleri 905 katkılı bulamaç için 390 ml, 923 katkılı bulamaç için 382 ml ve polimersiz bulamaç için 396 ml olarak belirlenmiştir. Bulamaçların nihai filtrasyon suyu hacimleri incelendiğinde 905 katkılı bulamacın 401,5 ml, 923 katkılı bulamacın 396,6 ml ve polimersiz bulamacın 404 ml olduğu görülmektedir. Polimersiz bulamaç referans alındığında, toplam suyun tamamının %87'sinin nihai olarak filtre edildiği görülmüştür. Bu oranlar 905 katkılı bulamaç için %86, 923 katkılı bulamaç için ise %85 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre polimerli filtre kekin su tutma kapasitesinin polimersiz filtre keke göre çok da farklı olmadığı anlaşılmaktadır. Nihai filtrasyon suyu hacmi ile filtre kek üstü seviyesindeki filtrasyon suyu hacmi arasındaki fark, kek içerisindeki boşluklarda hapsolmuş su miktarını göstermektedir. 905 polimer katkılı bulamaç için bu miktar 11,5 ml'dir ve nihai filtrasyon suyunun yaklaşık %3'üne denk gelmektedir. 923 polimer katkılı bulamaç için bu miktar 14,6 ml'dir ve nihai filtrasyon suyunun yaklaşık %4'üne tekabül etmedir. Polimersiz bulamaç için ise fark sekiz ml olarak hesaplanmış ve nihai filtrasyon suyunun %2'si olarak kayıt edilmiştir.

923 polimeri katkılı bulamacın filtrasyon değerleri ile 905 katkılı bulamacın filtrasyon değerleri arasındaki küçük farkın sebebi filtre kek yüksekliği olarak açıklanabilir. Çökelme deneylerinden anlaşıldığı üzere 923 polimeri katkılı zeminin nihai yüksekliği 905 polimeri katkılı zeminden ve polimersiz zeminden daha yüksektir. 923 polimeri, bulamaç içerisinde zemin daneleri arasında daha fazla boşluk yaratmaktadır. Bu durum da boşluklarda daha fazla su tutulmasına sebep olmaktadır.



Şekil 5.12. Polimerli ve polimersiz filtre kek fotoğrafı.

5.9. Tabakalı Filtrasyon Deneyi Sonuçları

Tabakalı filtrasyon deneyinde, geotekstil tüpün tekrarlı dolumu sonucunda filtre kek oluşumu ve filtrasyon performansı araştırılmıştır. Bu deneyler için çok düşük ve orta yük

yoğunluklu iki adet anyonik polimer olan 905 ve 923 tercih edilmiştir. Küçük boyutlu deney için seçilen yükseklik 183 mm, büyük boyutlu sistem için seçilen yükseklik 1830 mm'dir

Burada;

V_t : Toplam bulamaç hacmini (ml),

M_s : Bulamaçtaki zemin miktarını (gr),

M_w : Bulamaçtaki saf su miktarını (gr),

M_p : Bulamaçtaki etkili polimer dozunu (gr),

H_f : Toplam filtre keki yükseliğini (mm),

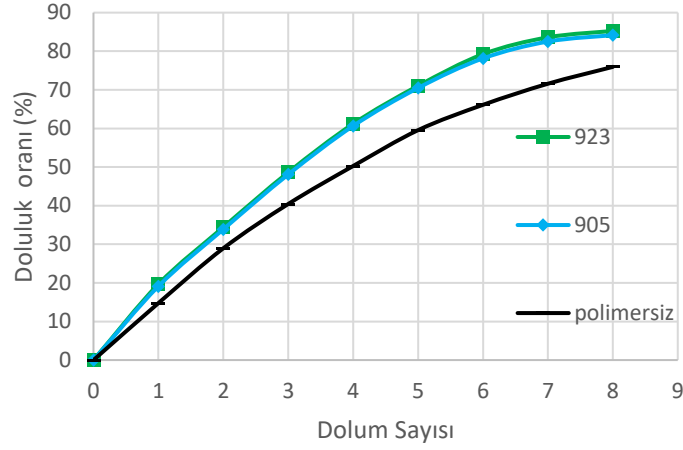
ΔH_f : Mevcut tabakaya ait filtre kek yüksekliğini (mm) tanımlamaktadır. Filtre kek yükseklikleri bir boyutlu ve iki boyutlu filtrasyon deneylerinde aynı olmuştur.

Çizelge 5.6.'da küçük boyutlu sistemde her tabaka için hazırlanan bulamaç hacimleri, etkili doz ve filtrasyon sorası filtre kek yükseklikleri gösterilmiştir. Küçük boyutlu filtrasyon deneyi için geotekstil doluluk oranı Şekil 5.13'te gösterilmiştir. Doluluk oranları, her bir dolum aşaması sonundaki filtre kek yüksekliğinin maksimum dolum seviyesine (183 mm) oranlanması ile hesaplanmıştır.

Çizelge 5.6. Küçük boyutlu sistemde her tabaka için hazırlanan bulamaç hacimleri, etkili doz ve filtrasyon sorası filtre kek yükseklikleri.

		1.Tabaka	2.Tabaka	3.Tabaka	4.Tabaka	5.Tabaka	6.Tabaka	7.Tabaka	8.Tabaka
923	V_t	704,27	565,72	461,81	361,75	273,24	203,97	146,24	115,45
	M_s	116,09	93,25	76,12	59,63	45,04	33,62	24,11	19,03
	M_w	657,83	528,42	431,36	337,9	255,22	190,52	136,6	107,84
	M_p	5,63	4,53	3,69	2,89	2,19	1,63	0,92	0,92
	H_f	36	63	89	112	130	145	153	156
	ΔH_f	36	27	26	23	18	15	8	3
	905	V_t	704,27	569,57	465,66	365,6	277,09	207,82	153,94
M_s		116,09	93,89	76,76	60,26	45,67	34,26	25,37	20,3
M_w		657,83	532,02	434,96	341,5	258,82	194,11	143,79	115,03
M_p		5,63	4,56	3,73	2,92	2,22	1,66	1,23	0,99
H_f		35	62	88	111	129	143	151	154
ΔH_f		35	27	26	23	18	14	8	3
P.siz		V_t	704,27	600,36	500,3	419,48	350,21	288,63	234,76
	M_s	116,09	98,96	82,47	69,15	57,73	47,58	38,7	32,99
	M_w	657,83	560,77	467,31	391,82	327,12	269,6	219,28	186,92
	M_p								
	H_f	27	53	74	92	108	122	131	139
	ΔH_f	27	26	21	18	16	13	10	8

Küçük boyutlu sistem için geotekstil doluluk oranı Şekil 5.13'te gösterilmiştir.



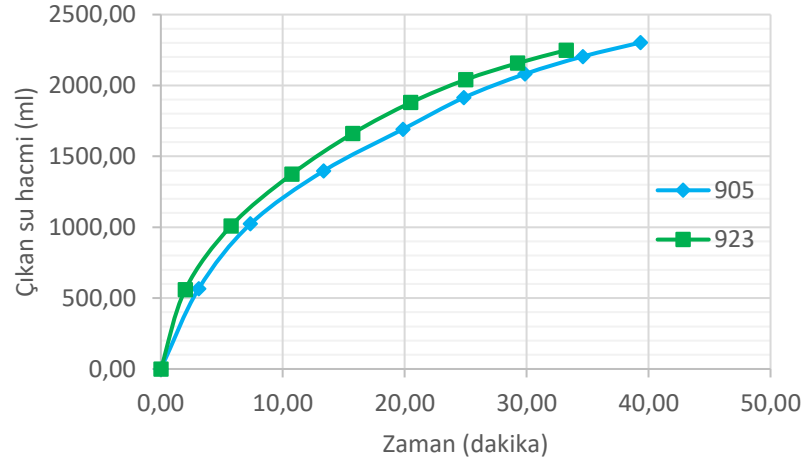
Şekil 5.13. Küçük boyutlu filtrasyon deneyi için geotekstil doluluk oranı.

Küçük boyutlu filtrasyon deneyinde de ikinci dolum sonunda polimerli zeminler toplam hacmin %34'üne ulaşarak 1/3 doluluk oranına ulaşılmıştır. Polimersiz zeminde ise İkinci dolum sonunda %29 doluluk oranında kalmıştır. Altıncı dolum sonunda 923 polimer katkıli zemin %79, 905 polimeri katkıli zemin ise %78 doluluk oranını yakalamıştır. Polimersiz zemin ise altıncı dolum sonunda %66 doluluk oranında kalmasına rağmen polimerli zemin süspansiyonuna göre % 10 daha fazla atık zemin depolanmıştır. Polimersiz zemin ile %75 doluluk oranına sekizinci dolum sonunda ulaşılmasına rağmen %14 daha fazla zemin depolanmıştır. Bu sonuçlara göre polimerli bulamaçlar için geotekstil tüp etkili olarak en az altı kere doldurulabilir. Çizelge 5.7.'de küçük boyutlu sistemde dolum sayısı - filtrasyon süresi tablosu gösterilmiştir.

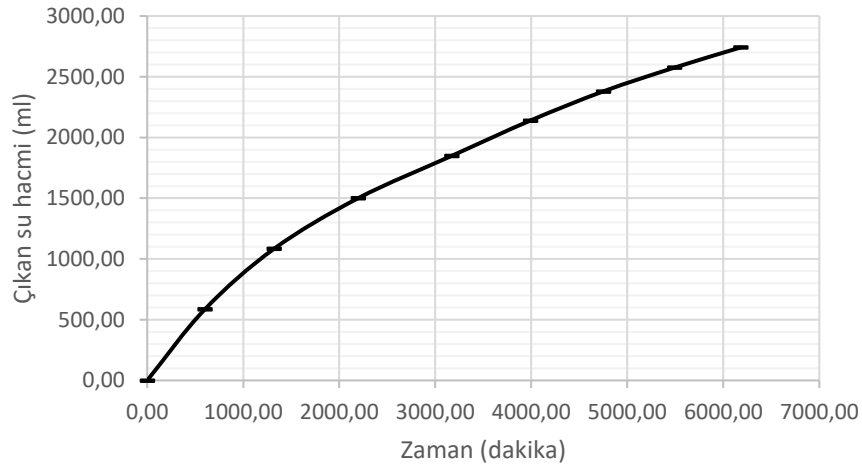
Çizelge 5.7. Küçük boyutlu sistemde dolum - filtrasyon süresi tablosu.

Dolum	905 (Dakika)	923 (Dakika)	Polimersiz (Dakika)
1	3,10	2,00	600,00
2	4,25	3,75	722,00
3	6,00	5,00	875,00
4	6,50	5,00	975,00
5	5,00	4,75	820,00
6	5,00	4,50	760,00
7	4,75	4,25	740,00
8	4,75	4,00	690,00

Polimer katkıli ve polimersiz süspansiyonlar için Şekil 5.14. ve Şekil 5.15.'te küçük boyutlu sistemden zamana bağlı sistemden çıkan su hacimleri gösterilmiştir.



Şekil 5.14. Polimerli bulamaçlar için küçük boyutlu sistemde filtrasyon-zaman grafiği.



Şekil 5.15. Polimersiz bulamaç için küçük boyutlu sistemde filtrasyon-zaman grafiği.

Polimersiz bulamacın sekiz tabaka olarak gerçekleştirilen filtrasyon deneyi küçük boyutlu sistemde toplam 6182 dakika sürmüş ve 2741 gr suyun filtrasyonu gerçekleştirilmiştir.

Anyonik polimerlerden 923 katkılı bulamaç suyunun filtrasyonu için geçen toplam süre 33,25 dakikadır ve bu süre içerisinde 2248,84 gr su filtre edilmiştir. Polimersiz zeminin sekiz tabakalık filtrasyonu için harcanan toplam süre, 923 polimeri katkılı bulamacın filtrasyonu için harcanan toplam sürenin 185 katıdır. Bir diğer anyonik polimer olan 905 katkılı zemin bulamacının sekiz tabakalık filtrasyonu için harcanan süre ise 39,35 dakikadır ve toplamda

2303,13 gr su filtre edilmiştir. Polimersiz bulamacın sekiz tabaka için filtrasyon süresi, 905 polimeri katkılı bulamacın sekiz tabaka için toplam filtrasyon süresinin 157 katıdır. 905 polimeri katkılı bulamaç ile 923 katkılı bulamacın toplam filtrasyon süresi arasındaki fark küçük boyutlu sistemde %18 olarak hesaplanmıştır.

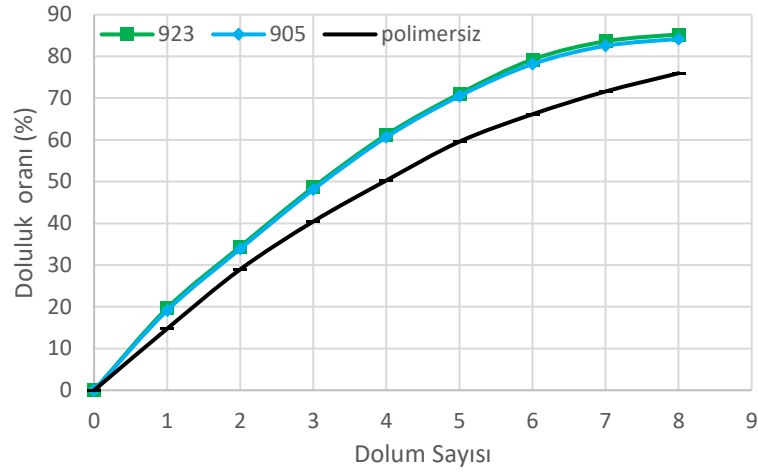
Çizelge 5.8. Büyük boyutlu sistemde her tabaka için hazırlanan bulamaç hacimleri, etkili doz ve filtrasyon sonrası filtre kek yükseklikleri.

	1.Tabaka	2.Tabaka	3.Tabaka	4.Tabaka	5.Tabaka	6.Tabaka	7.Tabaka	8.Tabaka	
923	V_t	7042,67	5680,31	4637,38	3632,94	2792,82	2066,62	1520,14	1200,72
	M_s	1160,88	936,32	764,4	598,84	461,18	340,65	250,57	197,92
	M_w	6578,31	5305,79	4331,62	3393,4	2613,35	1930,36	1419,91	1121,55
	M_p	56,34	45,44	37,1	29,06	22,38	16,53	12,16	9,61
	H_f	354	625	886	1103	1293	1435	1518	1559
	ΔH_f	354	271	261	217	190	142	83	41
905	V_t	7042,67	5707,25	4652,78	3656,03	2840,16	2112,8	1577,86	1277,69
	M_s	1160,88	940,76	766,94	602,64	468,16	348,26	260,09	210,61
	M_w	6578,31	5330,95	4346	3414,97	2652,89	1973,49	1473,83	1193,44
	M_p	56,34	45,66	37,22	29,25	22,72	16,9	12,62	10,22
	H_f	347	621	880	1092	1281	1420	1498	1535
	ΔH_f	347	274	259	212	189	139	78	37
P.siz	V_t	7042,67	5999,74	5002,99	4202,51	3505,94	2886,34	2382,19	1993,5
	M_s	1201,12	1023,25	853,25	716,73	597,94	492,26	406,28	339,99
	M_w	6594,41	5617,86	4684,55	3935,03	3228,79	2702,63	2230,57	1866,62
	M_p								
	H_f	271	530	738	919	1080	1211	1312	1380
	ΔH_f	271	259	208	181	161	131	101	68

Büyük boyutlu filtrasyon deneyinde tekrarlı dolum sayısına bağlı olarak hazne doluluk oranındaki değişim Şekil 5.17.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.16. Küçük boyutlu filtrasyon deney düzeneği fotoğrafı.



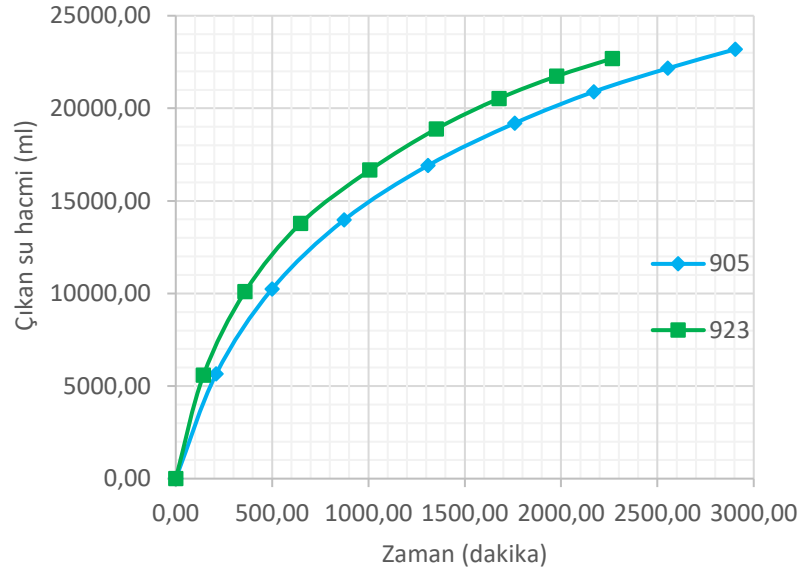
Şekil 5.17. Büyük boyutlu filtrasyon deneyi için filtreli cam hazne doluluk oranı.

905 ve 923 polimerleri üçüncü dolum sonunda %48 seviyesine ulaşarak neredeyse yarı doluluğa ulaşmıştır. Üçüncü dolum sonunda polimersiz zemin %40 doluluk oranında kalmıştır. Altıncı dolum sonunda 905 ve 923 polimerleri sırasıyla %77 ve %78 seviyelerine ulaşarak toplam hacmin 3/4'üne ulaşmışlardır. Altıncı dolum sonunda polimersiz bulamaç %66 seviyesiyle toplam hacmin 2/3'ünü ancak doldurabilmiştir. Sekizinci dolum sonunda 923 polimeri %85 seviyesine ulaşmış, 905 polimeri ise sekizinci dolum sonunda %83 seviyelerinde kalmıştır. Sekizinci dolum sonunda polimersiz zemin ise %76 seviyesine ancak ulaşabilmiştir. Polimersiz zemin sekizinci dolum sonunda hazne içerisinde %10 daha az yer kaplarken %15 daha fazla atık zemin depolanmıştır.

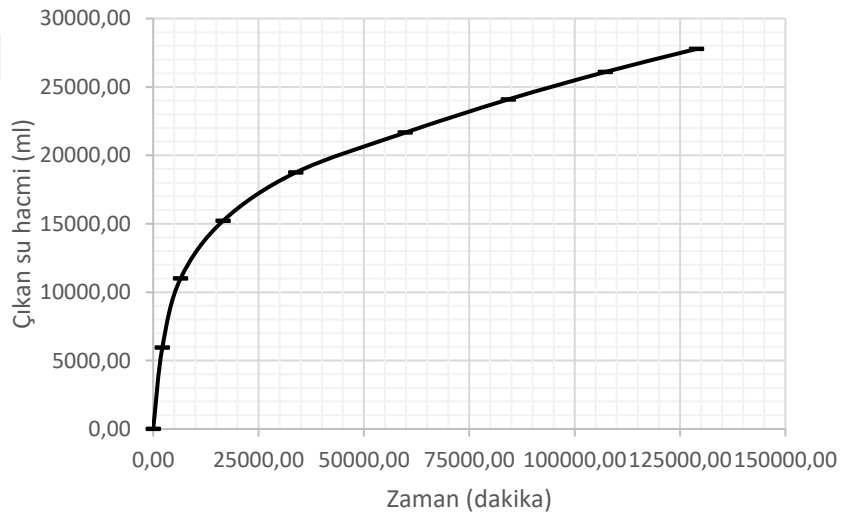
Çizelge 5.9. Büyük boyutlu sistemde dolum - filtrasyon süresi tablosu.

Dolum	905 (Dakika)	923 (Dakika)	Polimersiz (Dakika)
1	210	144	2160
2	290	216	4350
3	375	288	10080
4	435	360	17280
5	450	345	25920
6	410	325	24480
7	385	300	23040
8	355	288	21600

Şekil 5.18. ve Şekil 5.19.'da büyük boyutlu sistemde polimersiz ve polimer katkı bulamaçların filtrasyon- zaman grafikleri verilmiştir. Bu grafikler her dolumdan sonra geotekstil filtreli pleksiglass hazneden bulamaç suyunun filtrasyon süresini göstermektedir.



Şekil 5.18. Polimerli bulamaçlar için büyük boyutlu sistemde filtrasyon-zaman grafiği.



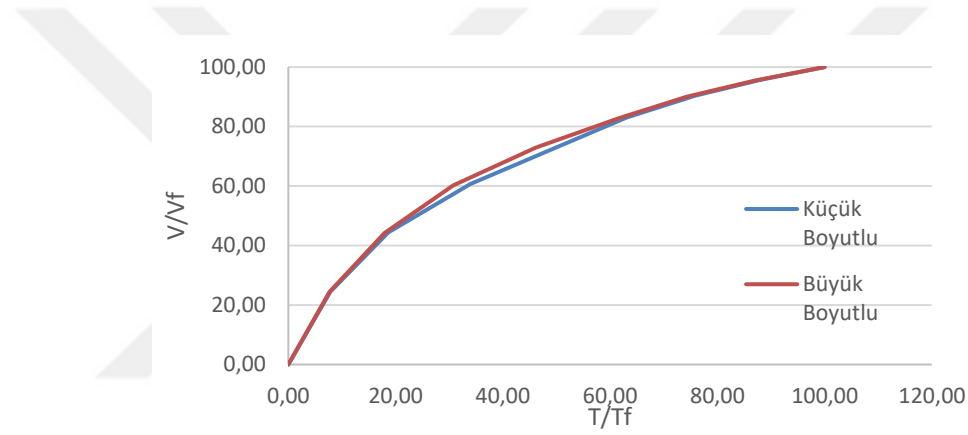
Şekil 5.19. Polimersiz bulamaç için büyük boyutlu sistemde filtrasyon-zaman grafiği.

Polimersiz bulamaç için sekiz tabaka olarak gerçekleştirilen deney toplam 128880 dakika sürmüştür ve filtre kek yüksekliği 1380 mm'ye ulaşmıştır.

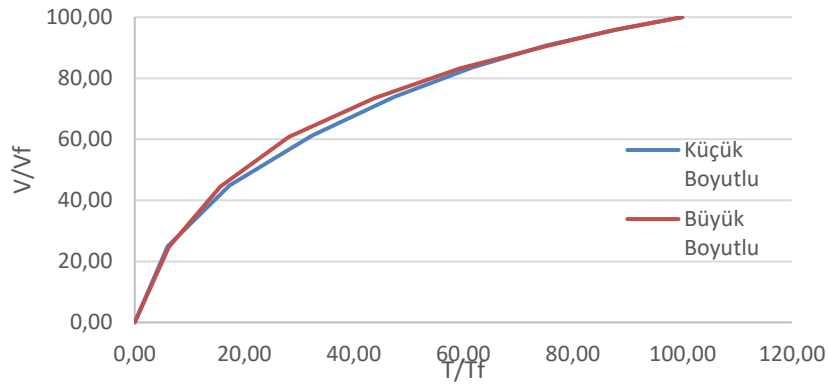
Anyonik polimerlerden 923 polimer katkıli bulamaç suyunun filtrasyonu için harcanan toplam süre 2266 dakika olarak ölçülmüştür ve filtre kek yüksekliği 1559 mm olarak bulunmuştur. 923 polimeri katkıli bulamacın sekiz tabaka dolumu sonrası filtrasyonu için

harcanan süre polimersiz zemin bulamacı için harcanan sürenin yaklaşık 1/57'si kadardır. Bir diğer anyonik polimer olan 905 katkılı zemin bulamacının sekiz tabakalık filtrasyonu için harcanan toplam süre ise 2905 dakika olarak kayıt edilmiştir ve filtre kek yüksekliği 1535 mm'ye ulaşmıştır. 905 katkılı bulamacın filtrasyonu, polimersiz bulamacın filtrasyonundan yaklaşık 44 kat daha kısa sürmüştür. 905 katkılı bulamacın filtrasyonu, 923 katkılı bulamacın filtrasyonundan %28 daha uzun sürmüştür.

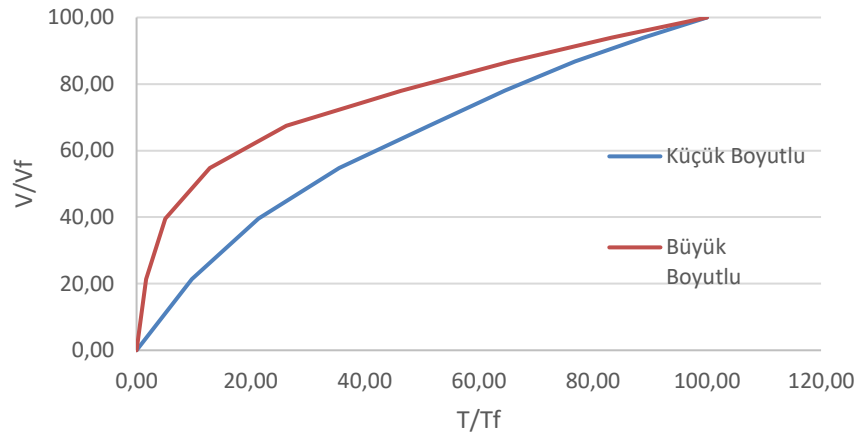
Polimer katkılı ve polimersiz bulamaçlar için büyük ve küçük boyutlu sistemlerde filtrasyon hacminin son süzüntü hacmine oranı ve susuzlaştırma süresinin son susuzlaştırma süresine oranı Şekil 5.20., Şekil 5.21. ve Şekil 5.22.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.20. 905 polimer katkılı bulamaç için filtrasyon hacminin son süzüntü hacmine oranı (V/Vf) ve susuzlaştırma süresinin son susuzlaştırma süresine oranı (T/Tf).



Şekil 5.21. 923 polimer katkılı bulamaç için filtrasyon hacminin son süzüntü hacmine oranı (V/Vf) ve susuzlaştırma süresinin son susuzlaştırma süresine oranı (T/Tf).



Şekil 5.22. Polimersiz bulamaç için filtrasyon hacminin son süzüntü hacmine oranı (V/V_f) ve susuzlaştırma süresinin son susuzlaştırma süresine oranı (T/T_f).

923 polimeri katkılı bulamaç için V/V_f büyük boyutta 44,52 iken T/T_f 15,89; küçük boyutta V/V_f 44,84 iken T/T_f 17,29dur. Yine 923 polimer katkılı bulamaç için büyük boyutta V/V_f 90,48 iken T/T_f 74,05; küçük boyutta V/V_f 90,76 iken T/T_f 75,19dur.

905 polimer katkılı bulamacın büyük ve küçük boyuttaki filtrasyon performansı da neredeyse aynıdır. 905 katkılı bulamaç için V/V_f büyük boyutta 44,17 iken T/T_f 17,21; küçük boyutta V/V_f 44,43 iken T/T_f 18,68 olmuştur. Yine 905 polimeri katkılı bulamaç için büyük boyutta V/V_f 90,11 iken T/T_f 74,70; küçük boyutta V/V_f 90,34 iken T/T_f 75,86 olarak kayıt edilmiştir.

Polimersiz bulamaç için büyük boyutta V/V_f 39,57 iken T/T_f 5,03; küçük boyutta V/V_f 39,56 iken T/T_f 21,38 olmuştur. Yine polimersiz bulamaç için büyük boyutta V/V_f 77,97 iken T/T_f 46,37; küçük boyutta V/V_f 78,06 iken T/T_f 64,57 olarak kayıt edilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre polimersiz bulamaç için büyük boyutlu sistemdeki filtrasyon oranı, küçük boyutlu sistemdeki filtrasyon oranında daha hızlı olduğu görülmektedir. Polimerli bulamaçlar için büyük boyutlu sistem ile küçük boyutlu sistem arasında ciddi filtrasyon oranı farkı oluşmamıştır. Polimersiz bulamaç için yapılacak deneylerde büyük boyutlu ve küçük boyutlu sistemlerin karşılaştırılması filtrasyon performansının değerlendirilmesi açısından önemlidir.

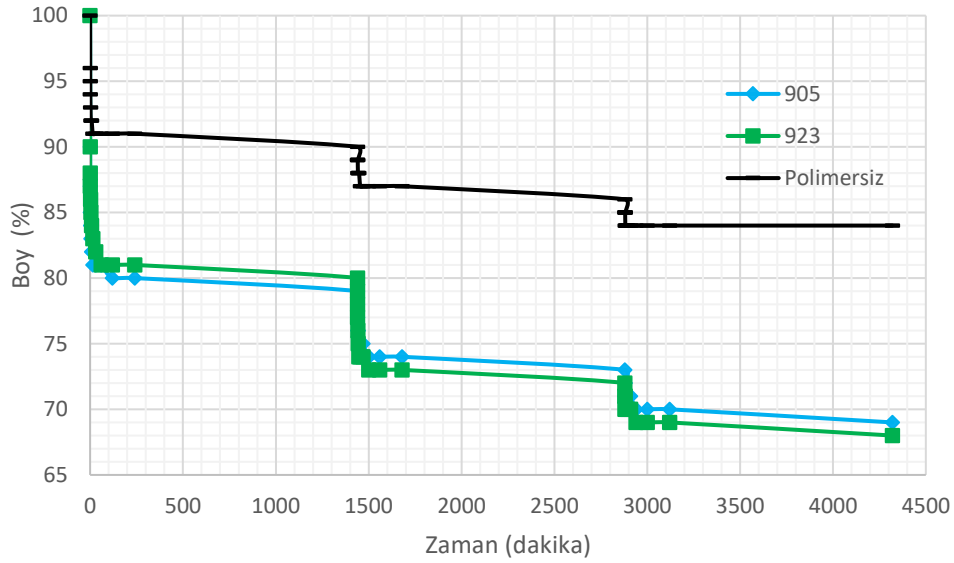


Şekil 5.23. Büyük boyutlu filtrasyon deneyi fotoğrafı.

5.10. Konsolidasyon Deneyi Sonuçları

Konsolidasyon deneyi, geotekstil tüp içerisindeki zeminin zamana bağlı sıkışma potansiyelini tespit etmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Polimerli ve polimersiz bulamaçlar, susuzlaştırma deneylerinin hemen ardından bir piston yardımıyla 24 saatlik süreler ile art arda sırasıyla 25, 50 ve 100 kPa basınç uygulanarak konsolide edilmişlerdir. Bu basınçlar sahada geotekstil tüplerin maruz kaldıkları gerilmelerin laboratuvar koşullarında örneklendirilmiş değerleridir. Geotekstil tüpün konsolidasyon aşaması dolmuş ve filtrasyondan sonraki aşamasıdır ve zeminlerin konsolidasyon davranışlarının tespit edilmesi tüpte ne kadar boşluk kalacağıının belirlenmesi açısından önemlidir. Konsolidasyon deneyi, literatürde hem filtrasyon davranışının hem de atık zeminin konsolidasyon davranışının birlikte belirlenebildiği bir deney sistemi olarak tasarlanmıştır.

Deney başladığı anda 923 katkılı filtre kekin yüksekliği 156 mm, 905 katkılı filtre kekin yüksekliği 154 mm, polimersiz filtre kekin yüksekliği ise 139 mm'dir. Zamana bağlı boy değişim grafiği aşağıdaki 5.24.'te gösterilmiştir.



Şekil 5.24. Konsolidasyon deneyi grafiği.

Polimer katkılı filtre kekler 25 kPa basınç altında ilk 15 saniye içerisinde %10, polimersiz filtre kek ise ilk 15 saniyede %4 oranında sıkışma göstermiştir. Polimersiz filtre keklerde aynı gerilme altında %4'lük konsolidasyon oturması meydana gelirken, polimerli filtre keklerde %10'luk konsolidasyon oturması meydana gelmiştir. Bu fark polimer katkınının filtre oluşumunda meydana getirdiği hacim artışından kaynaklanan boşluklu yapının sıkışması olarak yorumlanabilir. 25 kPa basınç altında 905 katkılı kek 24 saatin sonunda %21, 923 katkılı kek %19 ve polimersiz kek ise %10 oranında sıkışma göstermiştir.

24 saatin sonunda cam haznenin üstündeki kapağın vanası kapatılmış ve dijital manometreden basınç 50 kPa'ya getirildikten sonra vana tekrar açılarak piston yardımı ile filtre kekler sıkıştırılmaya devam edilmiştir. 923 polimeri katkılı kek 50 kPa basınç altında 24 saatin sonunda %8 daha sıkışma göstermiştir. 905 polimeri katkılı kek ise 24 saatin sonunda 50 kPa basınç altında %6 daha sıkışma göstermiştir. 905 ve 923 katkılı zeminler 50 kPa basınç altında 24 saat sonunda ilk yüksekliklerine oranla sırasıyla %27 ve %28lik sıkışmaya maruz kalmışlardır. Polimersiz kek ise 50 kPa basınç altında 24 saatin sonunda %4 daha sıkışarak 48 saat içerisinde toplamda %14'lük sıkışma performansı göstermiştir.

24 saat boyunca uygulanan 50 kPa basıncın ardından haznenin vanası tekrar kapatılarak basınç 100 kPa'ya çıkartılmıştır. Vana tekrar açılarak piston yardımı ile filtre keklerin sıkıştırılması işlemine devam edilmiştir. 100 kPa basınç altında 24 saat sonunda polimersiz filtre kek ilk yüksekliğinin %84'üne ulaşarak 72 saat sonunda %16'lık sıkışma performansı

göstermiştir. 905 katkılı bulamaç 72 saat sonunda ilk yüksekliğinin %69'una ulaşarak %31'lik sıkışma performansı gösterirken 923 polimeri ise 72 saatin sonunda ilk yüksekliğinin %68'ine ulaşarak %32'lik sıkışma performansı göstermiştir.

Polimer katkıli kekler ile polimersiz kek arasındaki farkın yanı sıra polimerli kekler arasında da %1'lik küçük bir sıkışma farkı ortaya çıkmıştır. Bu fark, 923 katkıli kekin 905 katkıli keke göre daha fazla hacme, dolayısıyla daha boşluklu yapıya sahip olması ile açıklanabilir.



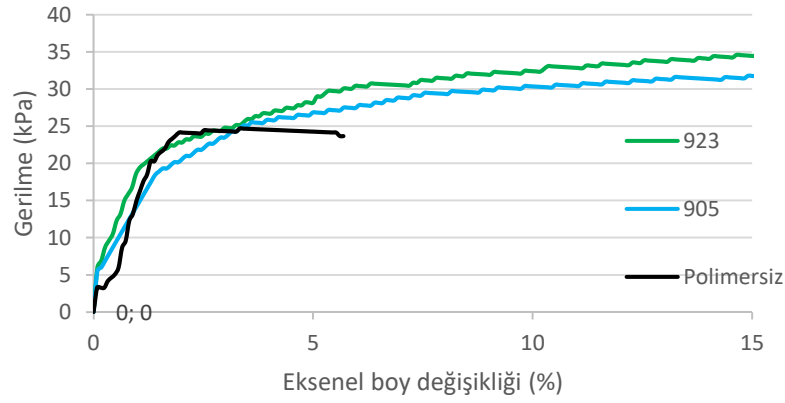
Şekil 5.25. Konsolidasyon deneyi.



Şekil 5.26. Konsolidasyon deneyi sonunda 905 katkıli kek ve 923 katkıli kek.

5.11. Serbest Basınç Deneyi Sonuçları

Serbest basınç deneyi, konsolidasyon deneyinde sıkıştırılmış filtre kekler üzerinde uygulanmıştır. Filtre keklerin tek eksenli yük altında dayanımları araştırılmış ve sonuçlar Şekil 5.26.'da gösterilmiştir.



Şekil 5.27. Serbest basınç deneyi gerilme - eksenel boy değişimi grafiği.

923 ve 905 katkılı filtre keklerde %15'lik eksenel şekil değiştirme meydana geldiğinde numuneler kırılmış kabul edilmiştir ve elde edilen serbest basınç dayanımları 34,5 ve 31 kPa olarak belirlenmiştir. Polimersiz filtre keklerde ise %5,7'lik eksenel şekil değiştirme meydana geldiğinde numune kesilmiş ve drenajsız kayma dayanımı 23,7 kPa olarak bulunmuştur. Aynı gerilme altında konsolide edilen filtre keklerin polimerleri olması durumunda polimersiz duruma göre drenajsız kayma dayanımında %45'lik bir artışa sebep olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.28. Serbest basınç altında polimerli ve polimersiz kırılmış numuneler.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda Emet borik asit fabrikası atık zemini kullanılmıştır. Atık zemin, geotekstil tüp model deneyleri kullanılarak susuzlaştırılmaya çalışılmıştır. Susuzlaştırma çalışmalarında altı adet katyonik ve beş adet anyonik polimer kullanılmıştır. Bu polimerlerin zeminin çökmesine ve susuzlaştırma süresine olan etkileri araştırılmıştır. Yapılan laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlara göre;

- Susuzlaştırma uygulamalarında geotekstil tüpler hızlı ve ekonomik sonuçlar vermektedir.
- Polimer kullanımı susuzlaştırma verimini belirgin derecede artırmakta ve susuzlaştırmayı hızlandırmaktadır. Emet borik fabrikası atık zemini için anyonik polimerler katyonik polimere kıyasla çok daha yüksek verimlilik sağlamışlardır. Anyonik polimerlerin yarattığı etkiler yük yoğunlukları ile doğru orantılı olmuştur. Emet borik asit fabrikası atık zemini için etkili polimer 923 polimeri ve etkili dozu 20 ppm olarak kabul edilmiştir.
- Yük yoğunlukları aynı olan polimerler bile farklı etkiler yaratabilmektedir. Anyonik 923 ve 934 polimerleri orta yük yoğunluğunda olmasına rağmen 934 polimerinin aşırı kullanımı bulanıklığa negatif yönde etki etmektedir.
- Optimum karıştırma hızı 200 rpm, optimum karıştırma ve bekleme süresi bir dakika olarak tespit edilmiştir. Etkili polimerin saf su çözeltiler hazırlandıktan altı saat sonra kullanılmasında bir olumsuzluk gözlemlenmemiştir. Etkili polimerlerin 10 - 40 °C arasında farklı ortam sıcaklıklarında kullanılması durumunda bulanıklık değerinde önemli bir farklılığa sebep olmadığı belirlenmiştir.
- Jar test optimum polimeri belirlemek için hızlı ve etkili bir deney olarak kabul edilse de tek başına yeterli bir deney yöntemi değildir. Jar test ile birlikte zeminin çökme davranışı ve filtrasyon performansının da belirlenmesi gerekmektedir.
- Gerçekleştirilen çökme deneyi sonunda anyonik polimerlerin katyonik polimerlere göre zemini daha hızlı topaklayıp çöktüğü gözlemlenmiştir. Anyonik ve katyonik polimerlerin çöktürme performansının yük yoğunlukları ile doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir. Kullanılan polimerlerde yük yoğunluğu arttıkça topaklanan zeminin hacminde artış gözlemlenmiştir.
- Literatürde sıklıkla kullanılan deney sistemlerinden biri olan bir boyutlu filtrasyon deneyi, filtre kek oluşumunun incelenmesi açısından oldukça önemlidir. Etkili polimer, optimum dozda kullanıldığında susuzlaştırma performansında küçük boyutlu filtrasyon

deneyinde 57 kata, büyük boyutlu filtrasyon deneyinde ise 185 kata kadar hızlandırma sağlamıştır.

- Filtre kek oluşumları büyük boyutlu ve küçük boyutlu filtrasyon deneylerinde benzerlik göstermiştir. Büyük boyutlu ve küçük boyutlu sistemler karşılaştırıldığında su muhtevaları ve kek yükseklikleri bakımından önemli bir farklılık gözlemlenmemiştir. 923 katkılı atık zemin, polimersiz zemine göre geotekstil tüpü sekizinci dolum sonunda %10 daha fazla doldurmuştur.
- Büyük ve küçük boyutlu filtrasyon sistemleri karşılaştırıldığında büyük boyutlu sistemdeki filtrasyon oranı, küçük boyutlu sistemdeki filtrasyon oranından daha hızlı çıkmıştır. Bu durum Şengül ve Bhati (2019)'nin çalışmasında bulduğu sonucu destekler niteliktedir.
- Polimer katkılı kek, polimerin hacim arttırıcı etkisi nedeniyle geotekstil tüp içerisinde daha fazla hacim kaplamaktadır. Sıkışma deneyleri ile polimerli kekler %31-%32 oranında sıkışırken polimersiz kek %16 oranında sıkışma göstermiştir.
- Serbest basınç deneyi altında polimer katkılı filtre kek polimersiz keke göre daha fazla dayanım göstermiştir. Polimersiz filtre kekin çökmesi sırasında atık zemin içerisinde bulunan kum danelerinin kil danelerine göre daha hızlı çökmesi filtre kekin farklı tabakalardan oluşmasına neden olmaktadır. Bu tabakalar arasındaki aderansın zayıf olması sebebiyle tabakaların gerilme altında birbirleri arasından kayması sonucu erken kırılma gerçekleşmiştir. Polimerler, filtre kekler üzerinde 1,5 kata kadar daha fazla kayma dayanımını sağlamışlardır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Aydilek, A. H. & Edil, T.B. (2008). Remediation of high water content geomaterials: A review of geotextile filter performance. *In First Panamerican Conference on Geosynthetics, Geo Americas*, 902-910.
- Bhatia, S. K., Maurer, B. W., Khachan, M. M., Grzelak, M. D., & Pullen, T. S. (2013). Performance indices for unidirectional flow conditions considering woven geotextiles and sediment slurries. *In Sound Geotechnical Research to Practice: Honoring Robert D. Holtz II*. 318-332.
- Cantré, S. & Saathoff, F. (2011). Design parameters for geosynthetic dewatering tubes derived from pressure filtration tests. *Geosynthetics International*, 18(3), 90-103.
- Carroll, R. P. (1995). Submerged geotextile flexible forms support pipelines, planks and other objects. *Geotechnical Fabrics Report*, 13(4), 24-29.
- Cengiz, İ., Sabah, E. ve Erkan, Z. E. (2004). Geleneksel ve UMA (Unique Molecular Architecture) teknolojisi polimerlerin flokülasyon performansları üzerine bir araştırma. *Madencilik Dergisi*, 43(1), 15-23.
- Ersoy, B. (2005). Effect of pH and polymer charge density on settling rate and turbidity of natural stone suspensions. *International Journal of Mineral Processing*, 75(3-4), 207-216.
- Fatema, N., Bhatia, S. K. & Grady, W. F. (2018). Comparison of 1-D and 2-D geotextile dewatering tests with fly ash slurry. *In Proceedings of the 11th International Conference on Geosynthetics*, 16-21.
- Fatema, N. & Bhatia, S. K. (2018). Sediment retention and clogging of geotextile with high water content slurries. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 4(2), 1-15.
- Fowler, J., Bagby, R. M. & Trainer, E. (1996, September). Dewatering sewage sludge with geotextile tubes. *In Proceedings of the 49th Canadian Geotechnical Conference* (pp. 129-137). Canadian Geotechnical Society, St. John's, NL, Canada.
- Grzelak, M. D., Maurer, B. W., Pullen, T. S., Bhatia, S. K. & Ramarao, B. V. (2011). A comparison of test methods adopted for assessing geotextile tube dewatering performance. *In Geo-Frontiers 2011: Advances in Geotechnical Engineering*, 2141-2151.
- Khachan, M. M., Bhatia, S. K., Maurer, B. W. & Gustafson, A. C. (2012). Dewatering and utilization of fly ash slurries using geotextile tubes. *Indian Geotechnical Journal*, 42(3), 194-205.
- Khachan, M. M., Bhatia, S. K., Bader, R. A., Cetin, D. & Ramarao, B. V. (2014). Cationic starch flocculants as an alternative to synthetic polymers in geotextile tube dewatering. *Geosynthetics International*, 21(2), 119-136.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kim, M., Kim, S., Kim, J., Kang, S. & Lee, S. (2013). *Factors affecting flocculation performance of synthetic polymer for turbidity control*, 2(1), 16-21.
- Koerner, G. R. & Koerner, R. M. (2005). Geotextile tube evaluation by hanging bag and pressure filtration testing. *In Geosynthetics Research And Development in Progress*, 1-7.
- Koerner, G. R. & Robert M. K. (2006) Geotextile tube assessment using a hanging bag test. *Geotextiles And Geomembranes*, 24(2), 129-137.
- Kutay, M. E. & Aydilek, A. H. (2004). Retention performance of geotextile containers confining geomaterials. *Geosynthetics International*, 11(2), 100-113.
- Lawson, C. R. (2008). Geotextile containment for hydraulic and environmental engineering. *Geosynthetics International*, 15(6), 384-427.
- Maurer, B. W., Gustafson, A. C., Bhatia, S. K. & Palomino, A. M. (2012). Geotextile dewatering of flocculated, fiber reinforced fly-ash slurry. *Fuel*, 97, 411-417.
- Meagher, J. E. (2008). Geotextile containment dewatering test methods their extension to full-scale operation, 389-398.
- Moo-Young, H. K. & Tucker, W. R. (2002). Evaluation of vacuum filtration testing for geotextile tubes. *Geotextiles and Geomembranes*, 20(3), 191-212.
- Myers, W. S. & Elton, D. J. (2011). Dewatering rock crushing fines using geotextile tubes. *In Geo-Frontiers 2011: Advances in Geotechnical Engineering*, 2111-2120.
- Oruç, F. & Sabah, E. (2006, September). Effect of mixing conditions on flocculation performance of fine coal tailings. *XXIII. International Mineral Processing Congress, 3-8 September 2006, Istanbul-Turkey*.
- Plan, A. (2009). *Former kent avenue generating station 500 kent avenue brooklyn*. New York.
- Rupakheti, P. & Bhatia, S. K. (2017). A study on containment of heavy metals using soils and cellulose materials inside geotextile tubes. *Geosynthetics International*, 24(3), 321-332.
- Sabah, E. & Cengiz, I. (2004). An evaluation procedure for flocculation of coal preparation plant tailings. *Water Research*, 38(6), 1542-1549.
- Satyamurthy, R. & Bhatia, S. K. (2009). Effect of polymer conditioning on dewatering characteristics of fine sediment slurry using geotextiles. *Geosynthetics International*, 16(2), 83-96.
- Satyamurthy, R., Liao, K. & Bhatia, S. K. (2011). Investigations of Geotextile Tube Dewatering. *In Geo-Frontiers 2011: Advances in Geotechnical Engineering*, 2121-2130.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Spritzer, J. M., Khachan, M. M. & Bhatia, S. K. (2015). Influence of synthetic and natural fibers on dewatering rate and shear strength of slurries in geotextile tube applications. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 1(3), 26.

Stropnik, Č., Musil, V. & Brumen, M. (2000). Polymeric membrane formation by wet-phase separation; turbidity and shrinkage phenomena as evidence for the elementary processes. *Polymer*, 41(26), 9227-9237.

Şengül, T. & Bhatia, S. K. (2019). *New test apparatus to study dewatering behavior of slurry in multiple filling cycles for geotextile tube design*. 961-973.

Şengül, T., Çetin, D., Bhatia, S. K. & Khachan, M. (2014). Polimer ve lif kullanımının geotüp içindeki C sınıfı bir külün susuzlaştırma ve sıkışma davranışları üzerindeki etkileri. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onbeşinci Ulusal Kongresi 16 - 17 Ekim 2014, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara*.

Taşdemir, T. ve Erdem, V. (2010). Flokülasyon yöntemi ile atıksudan askıda tanelerin giderimi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(1), 109-121.

Torre, M. & Timpson, C. (2011). Development and evolution of key industry dewatering tests (HBT, Cone, RDT, GDT) and their accuracy in predicting full scale results. *In Geo-Frontiers 2011: Advances in Geotechnical Engineering*, 2194-2202.

Weggel, J. R., Dortch, J. & Gaffney, D. (2011). Analysis of fluid discharge from a hanging geotextile bag. *Geotextiles and Geomembranes*, 29(1), 65-73.

Yee, T. W. & Lawson, C. R. (2012). Modelling the geotextile tube dewatering process. *Geosynthetics International*, 19(5), 339-353.

Yee, T. W., Lawson, C. R., Wang, Z. Y., Ding, L. & Liu, Y. (2012). Geotextile tube dewatering of contaminated sediments, Tianjin Eco-City, China. *Geotextiles and Geomembranes*, 31, 39-50.

Zhu, X., Reed, B. E., Lin, W., Carriere, P. E. & Roark, G. A. R. Y. (1997). Investigation of emulsified oil wastewater treatment with polymers. *Separation Science and Technology*, 32(13), 2173-2187.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AKRAY, Noyan

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	KDPÜ Geoteknik Bilim Dalı	2022
Yüksek Lisans	Eskişehir Teknik Üniv. Kentleşmede Risk Yönetimi	2021
Yüksek Lisans	Dumlupınar Üniversitesi İş Sağlığı ve Güvenliği	2021
Lisans	Anadolu Üniversitesi Uluslararası İlişkiler	2019
Lisans	Dumlupınar Üniversitesi İnşaat Mühendisliği	2018
Lise	Bursa Anadolu Erkek Lisesi	2012

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2018-2022	Bursa Kule Yapı Denetim LTD. ŞTİ.	İnşaat Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce