

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BALIKESİR - ÇAĞIŞ KÖYÜ VE SAVAŞTEPE - YAĞCILI KÖYÜ
BENTONİTLERİNİN JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ VE KATI ATIK
SAHALARINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeo. Müh. Ali Kamil YÜKSEL

Balıkesir, Ekim - 2006

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BALIKESİR - ÇAĞIŞ KÖYÜ VE SAVAŞTEPE - YAĞCILI KÖYÜ
BENTONİTLERİNİN JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ VE KATI ATIK
SAHALARINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ


YÜKSEK LİSANS TEZİ


Jeo. Müh. Ali Kamil YÜKSEL

Tez Danışmanı : Yrd. Doç.Dr. Ahmet ÇONA

Sınav Tarihi :

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Fazlı ÇOBAN (BAÜ) 

Yrd. Doç.Dr. Ahmet ÇONA (Danışman - BAÜ) 

Yrd. Doç.Dr. Arzu OKUCU (BAÜ) 

Balıkesir, Ekim - 2006

ÖZET

BALIKESİR ÇAĞIŞ KÖYÜ VE SAVAŞTEPE YAĞCILI KÖYÜ BENTONİTLERİNİN JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ VE KATI ATIK SAHALARINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ali Kamil YÜKSEL

Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

(Yüksek Lisans Tezi / Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr. Ahmet ÇONA)

Balıkesir, 2006

İnsan kaynaklı üretim ve tüketim, dünya nüfusunun artışına bağlı olarak sürekli artmaktadır. Böylece daha fazla miktarda katı atık artışı meydana gelmektedir. Bu katı atıkların sebep olduğu yer altı suyu kirlenmesi, koku kirliliği ve görüntü kirliliğini önlemek amacıyla düzenli katı atık depolama sahaları yapılması gerekmektedir.

Düzenli bir katı atık depolama alanı için depolama tabanını oluşturacak alt ve üst geçirimsizlik tabakasının permeabilite değeri 1×10^{-8} m/sn veya bu değerden daha küçük olmalıdır. Bu amaçla Balıkesir – Çağış köyü ve Savaştepe – Yağcılı köyü bentonitlerinde permeabilite deneyleri uygulanmıştır. Burada amaç, güvenli geçirimsizliği sağlamak ve atık suların yer altı sularına karışmasını önlemektir.

Savaştepe – Yağcılı ve Balıkesir – Çağış Köyleri bentonitlerinin jeoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla örselenmemiş ve örselenmiş numune alınarak laboratuvar deneyleri yapılmış, indis, Atterberg, elek analizi, kompaksiyon, permeabilite ve serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Örselenmemiş numuneler sahada, 6 ayrı noktadan Shelby tüpleri ile alınmıştır.

Çağış numunelerinin kil tane boyu içerikleri, Yağcılı numunelerine göre daha fazla olduğu için plastisite indisleri ve likit limitleri de yüksek değerlerle temsil edilmektedir. Elde edilen likit limit ve plastisite indisi değerlerine göre numuneler, plastisite kartında “MH” yani yüksek plastisiteli silt olarak belirlenmiştir. Elde edilen likidite indisi değerlerine göre Çağış ve Yağcılı numunelerinin her ikisi de katı – sert olarak belirlenmiştir. Yağcılı köyü numuneleri ortalama olarak % 15.5 kum, % 67.3 silt ve % 17.6 kil tane boyu malzemelerden oluşurken, Çağış köyü numuneleri % 14.6 kum, % 57.7 silt ve % 27.5 kil tane boyutlu malzemelerden oluşmaktadır. Kompaksiyon karakteristik özelliklerine göre Yağcılı numuneleri Çağış numunelerine göre daha fazla sıkışma özelliği göstermektedir. Çağış ve Yağcılı numuneleri, geçirgenlik katsayısı çizelgesinde “pratik olarak geçirimsiz” olarak belirlenmiştir. Yağcılı ve Çağış numunelerinde serbest basınç deneyleri yapılmış ve sırası ile ortalama olarak 2.42 kg/cm^2 ve 2.51 kg/cm^2 olarak belirlenmiştir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: katı atıklar / jeoteknik özellikler / yer altı suları / geçirgenlik.

ABSTRACT

EVALUATION OF USAGE IN SANITARY LANDFILLS AND GEOTECHNICAL PROPERTIES OF BALIKESIR CAGIS VILLAGE AND SAVASTEPE YAGCILI VILLAGE BENTONITES

Ali Kamil YÜKSEL

**Balikesir University, Institute of Science, Department of Geology
Engineering**

(M. Sc. Thesis / Supervisor : Assistant Prof. Dr. Ahmet ÇONA)

Balikesir-Turkey, 2006

Human resourced production and consumption continuously increase depending on increase of the world's population. Thus more solid wastes occur. Sanitary solid waste landfills should be made for preventing ground water pollution, smell pollution and view pollution caused by these solid wastes.

Permeability volue of lower and upper layers forming storage floor should be 1×10^{-8} m/sn or less than for a sanitary solid waste landfill. For this aim, permeability tests were done on Balikesir – Cagis village and Savastepe – Yagcili village bentonites for the purpose comparing the usage in solid waste landfills. The main goal in here is gaining safe permeability conditions and preventing mixing of waste waters to ground waters.

Undisturbed and disturbed samples were collected to determine geotechnical properties of Savastepe – Yagcili and Balikesir – Cagis village bentonites. Undisturbed samples were taken from six different location by Shelby sample tubes. Index, atterberg limits, sieve analysis, compaction tests, falling head permeability tests and unconfined compression tests were done.

Cagis samples represent with high plasticity index and liquid limit. Because Cagis samples have higher clay grain size content than Yagcili samples. All samples are “MH” that is to say high plasticity silt on plasticity chart according to their liquid limit and plasticity index value. Both of Cagis and Yagcili samples were determined as “solid – hard” according to their liquidity index values. Yagcili villige samples consist of on average 15.5 % sand, 67.5 % silt and 17.6 % clay grain size materials and Cagis villige samples consist of on average 14.6 % sand, 57.7 % silt and 27.5 % clay grain size materials. Yagcili samples have more compaction properties than Cagis samples according to their compaction characteristics properties. Cagis and Yagcili samples were determined as “practically impervious” on the coefficient permeability table. Unconfined compression tests were done on Yagcili and Cagis samples and on average respectively they are dedicated 2.42 kg/cm^2 and 2.51 kg/cm^2 .

KEY WORDS: Solid wastes / geotechnical properties / ground waters / permeability.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET, ANAHTAR SÖZCÜKLER	ii
ABSTRACT, KEY WORDS	iv
İÇİNDEKİLER	vi
SEMBOL LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ÖNSÖZ	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	1
1.2 İnceleme Alanlarının Yeri	3
2. GENEL JEOLOJİ	4
2.1 Balıkesir - Çağış Köyü Civarının Jeolojisi	4
2.1.1 Taban Volkanitleri	4
2.1.2. Taban Kireçtaşı	7
2.1.3 Alt Tüf	9
2.1.4 Alt Boratlı Zon	10
2.1.5 Üst Boratlı Zon	11
2.1.6 Güncel Çökeller	12
2.2 Savaştepe – Yağcılı Köyü Civarının Jeolojisi	13
2.2.1 Kınık Formasyonu	13
2.2.2 Kırkağaç Formasyonu	16
2.2.3 Rahmanlar Aglomerası	17
2.2.4 Savaştepe Formasyonu	20
2.2.5 Alüvyon	20

3. DÜZENLİ KATI ATIK SAHALAR	22
3.1 Düzenli katı atık sahalar	22
3.1.1 Yapım Aşamaları	25
3.1.2 Depolama Tabanının Hazırlanması	26
3.1.3 Mineral Geçirimsizlik Tabakası	27
3.1.4 Sentetik Geçirimsizlik Tabakası	29
3.1.5 Drenaj Tabakası	31
4. JEOTEKNİK ÖZELLİKLER	33
4.1 Fiziksel Özellikler	33
4.1.1 Tane çapı dağılımı	35
4.1.2 Kıyım Limitleri	37
4.1.3 Kompaksiyon	47
4.1.4 Permeabilite	49
4.1.5 Serbest Basınç Mukavemeti	50
5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	53
KAYNAKLAR	56

SEMBOL LİSTESİ

<u>Simge</u>	<u>Adı</u>	<u>Birimi</u>
k	Permeabilite katsayısı	cm/sn
γ_n	Doğal birim hacim ağırlığı	gr/cm ³
γ_k	Kuru birim hacim ağırlığı	gr/cm ³
γ_d	Doygun birim hacim ağırlığı	gr/cm ³
G _s	Tane özgül ağırlığı	birimsiz
ω_n	Doğal su içeriği	%
e	Doğal boşluk oranı	%
n	Doğal porozite	%
LL	Likit limit	%
PL	Plastik limit	%
PI	Plastisite indisi	%
I _c	Kıvamlılık indisi	%
A	Aktivite	%
I _L	Likidite indisi	%

$\gamma_k \text{ maks}$	Maksimum kuru birim ağırlık	gr/cm^3
ω_{opt}	Optimum su içeriği	%
D	Çap	cm
H	Yükseklik	cm
σ_1	Düşey basınç gerilmesi	kg/cm^2
σ_3	Yanal basınç gerilmesi	kg/cm^2
P_{maks}	En büyük yük	kg
A	En kesit alanı	cm^2
q_u	Serbest basınç mukavemeti	kg/cm^2
c	Kohezyon	kg/cm^2

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Sekil</u>	<u>Adı</u>	<u>Sayfa No:</u>
1.1	İnceleme alanlarının yer bulduru haritası.	3
2.1	Çağış Köyü civarının jeolojisi.	5
2.2	Çağış Köyü civarının stratigrafik kesiti.	6
2.3	Taban volkanitlerine ait andezitler.	7
2.4	Taban kireçtaşının en alt birimi olan dolomitik kireçtaşlarından görünüm.	8
2.5	Taban kireçtaşından bir görünüm.	8
2.6	Alt tüf ve Alt boratlı zon arasındaki dokanak.	10
2.7	Alt boratlı zon içindeki ince – orta tabakalı kireçtaşları.	11
2.8	Yağcılı Köyü ve çevresinin jeolojisi.	14
2.9	Yağcılı Köyü ve çevresinin stratigrafik kolon kesiti.	15
2.10	Kınık formasyonuna ait metakumtaşları.	16
2.11	Kırkağaç formasyonuna ait kireçtaşları.	18
2.12	Rahmanlar aglomeralarından görünüm.	19

2.13	Rahmanlar aglomerasına ait aglomera, silttaşı ve tufitten oluşan istif.	19
2.14	Savaştepe formasyonuna ait mostradan görünüm.	21
3.1	Depo tabanının teşkili ve sızıntı suyu toplanması.	28
3.2	Zeminin sıkıştırılmasına bir örnek.	28
3.3	Serilen jeomembranların üstten görünüşü.	30
3.4	Jeomembranların serimine bir örnek.	30
3.5	Dren borularının birbirine eklenmesi.	32
3.6	Drenaj sisteminin üstten görünüşü.	32
4.1	Savaştepe – Yağcılı Köyü numunelerinin plastisite kartı üzerinde dağılımları.	39
4.2	Balıkesir – Çağış Köyü numunelerinin plastisite kartı üzerinde dağılımları.	39
4.3	Çağış Köyü numunelerinin likidite indeksine göre sınıflaması.	42
4.4	Yağcılı Köyü numunelerinin likidite indeksine göre sınıflaması.	42
4.5	Geçirimsiz malzeme olarak kullanılacak Yağcılı numunelerinin Van Der MERWE (1964)'nin şişme potansiyeli abağı üzerindeki dağılımları.	44
4.6	Geçirimsiz malzeme olarak kullanılacak Çağış numunelerinin Van Der MERWE (1964)'nin şişme potansiyeli abağı üzerindeki dağılımları.	44

4.7	Geçirimsiz malzeme olarak kullanılacak Yağcılı numunelerinin Ulusay (2001)'in şişme potansiyeli abağı üzerindeki dağılımları.	45
4.8	Geçirimsiz malzeme olarak kullanılacak Çağış numunelerinin Ulusay (2001)'in şişme potansiyeli abağı üzerindeki dağılımları.	45
4.9	Geçirimsiz malzeme olarak kullanılacak Yağcılı numunelerinin Darkshanamantny ve Raman (1973)'in şişme potansiyeli abağı üzerindeki dağılımları.	46
4.10	Geçirimsiz malzeme olarak kullanılacak Çağış numunelerinin Darkshanamantny ve Raman (1973)'in şişme potansiyeli abağı üzerindeki dağılımları.	46
4.11	Zeminler için geçirgenlik katsayısı çizelgesi.	50

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Cizelge</u>	<u>Adı</u>	<u>Sayfa No:</u>
3.1	Belediye katı atıklarının yok etme yöntemine göre dağılımı.	25
4.1	Savaştepe – Yağcılı Köyü numunelerinin fiziksel özellikleri.	34
4.2	Balıkesir - Çağış Köyü numunelerinin fiziksel özellikleri.	34
4.3	Yağcılı Köyü numunelerinin tane boyu dağılımları.	36
4.4	Çağış Köyü numunelerinin tane boyu dağılımları.	36
4.5	Savaştepe – Yağcılı Köyü numunelerinin kıvam limitleri ve plastisite indeksi değerleri.	38
4.6	Balıkesir – Çağış Köyü numunelerinin kıvam limitleri ve plastisite indeksi değerleri.	38
4.7	Burmister (1951) plastisite indeksi sınıflandırması.	40
4.8	Leonards (1962) plastisite indeksi sınıflandırması.	40
4.9	Savaştepe – Yağcılı ve Balıkesir – Çağış Köyü numunelerinin Ulusay (2001)'in kıvamlilik indeksine göre sınıflandırması.	41
4.10	Gillot (1987) Aktivite Sınıflaması.	42
4.11	Yağcılı ve Çağış numunelerinin kompaksiyon özellikleri.	49

4.12	Yağcılı ve Çağış numunelerinin permeabilite değerleri.	50
4.13	Yağcılı ve Çağış numunelerinin serbest basınç (q_u) ve kohezyon (c) değerleri.	51
4.14	Ulusay (2001) serbest basınç mukavemetine göre sınıflandırması.	51
4.15	Uzuner (1996) serbest basınç mukavemetine göre sınıflandırması.	52

ÖNSÖZ

Tezimin oluşmasında ve her aşamasında değerli katkılarını esirgemeyen, destek ve yönlendirmeleri ile bana yol gösteren başta danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÇONA'ya, Jeoloji Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Fazlı ÇOBAN'a, Yrd. Doç. Dr. Abdullah TUFAN'a, Yrd. Doç. Dr. Ali Murat KILIÇ'a, Çevre Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Burhanettin FARİZOĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca yapılan bu tezin, arazi çalışmalarında yanımda bulunan, beni yalnız bırakmayan değerli arkadaşlarım Onur TOPÇU ve İbrahim Halil AKTUĞ'a, SÜD-CHEMİE firması çalışanlarına; deneysel çalışmalarında ZEM-AR firması personeline ve ayrıca tezimin yazımında yardımcı olan Arş. Gör. Cumhur KOCABAŞ'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Yaptıkları tüm fedakarlıklarla beni bu günlere ulaştıran, öğrenciliğim boyunca gösterdikleri sabır ve anlayışla, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen değerli Annem, Babam ve kardeşlerime gönülden teşekkür ederim.

Balıkesir – 2006

Ali Kamil YÜKSEL

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

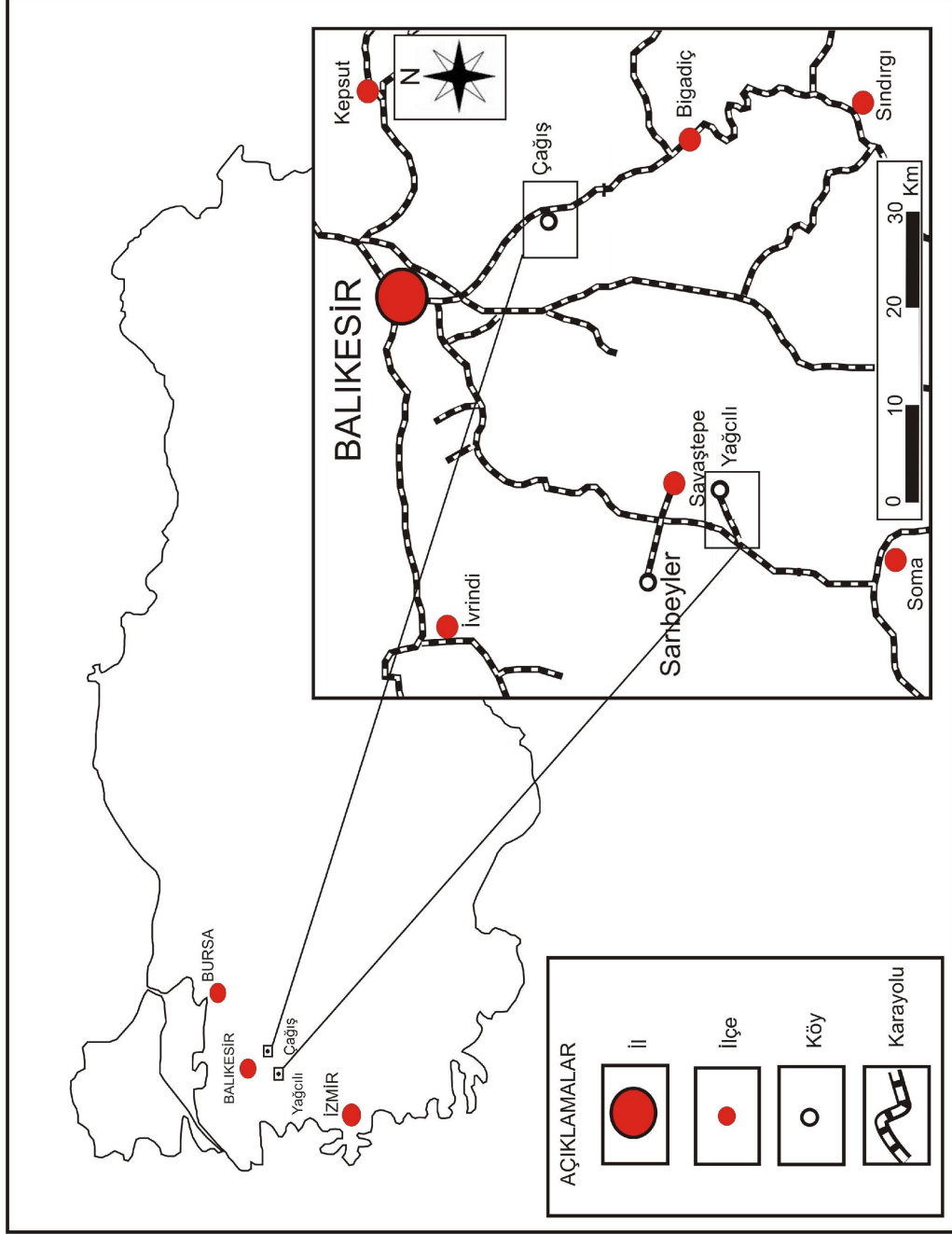
İnsan kaynaklı üretim ve tüketim, dünya nüfusu ile orantılı olarak sürekli artmakta ve böylece tüketim sonucu açığa çıkan atık miktarı da artmaktadır. Açığa çıkan bu katı atıklar hem ülke ekonomi ve turizmini hem de ekolojik dengeyi olumsuz yönde etkilemektedir. Bu katı atıklar ülkemizde gömme, dereye veya göle dökme, açıkta yakma, kompostlaştırma, düzensiz çöp sahalarında yığma ve düzenli çöp sahalarında biriktirme şeklinde yok edilmeye çalışılmaktadır.

D.İ.E. 2004 verilerine göre, düzenli katı atık sahalarında katı atık bertarafı, tüm bertaraf yöntemlerinin sadece % 28.9'unu oluşturmaktadır. Düzenli katı atık sahalarında yapılan atık bertarafı sırasında, çöp dolgu alanlarından sızan suyun yer altı suyuna karışması, metan (CH₄) ve hidrojen sülfür (H₂S) gazlarının oluşması gibi birçok tehlikeli prosesler de gelişebilmektedir. Ayrıca düzensiz katı atık sahalar koku ve görüntü kirliliği de oluşturmaktadır. Bu tip tehlikeli proseslerin oluşmasını engellemek, ekolojik dengeyi korumak, koku ve görüntü kirliliğini engellemek amacıyla düzenli katı atık sahalarının uygulamada yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Depolanan katı atıkların sahip olduğu su içeriğine, depolama alanına gelen yağış suları da eklendiğinde kirlilik değeri yüksek önemli miktarda atık su ortaya çıkmaktadır. Bu atık suyun yer altı suyuna ve çevreye zarar vermemesi için kontrol altına almak amacıyla depolama alanı tabanında bir sızdırmazlık tabakası oluşturulmaktadır. Doğal geçirimsiz malzeme olarak killer ekonomikliği ve teminindeki kolaylığı nedeniyle öncelikle tercih edilmektedir. Bu amaçla doğal geçirimsiz malzeme olarak Yağcılı ve Çağış Köyü killerinin katı atık sahalarında kullanılabilirliği bu tez kapsamında araştırılmıştır.

Düzenli katı atık sahalarındaki geçirimsiz kil tabakaları 30 cm'lik sıkıştırılmış katmanlar şeklinde döşenir. Sıkıştırılmış olan kil tabakasının geçirimsizlik katsayısı maksimum 1×10^{-8} m/sn olması öngörülmektedir (2872 sayılı çevre yasasının katı atık ile ilgili mevzuatından). Bu kapsamda Yağcılı ve Çağış killeri üzerinde bir takım permeabilite deneyi yapılmış ve istenilen geçirimsizlik katsayısı değeri belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca jeoteknik özellikleri belirlenerek, bir takım permeabilite deneyi yapılmış ve istenilen geçirimsizlik katsayısı değeri belirlenmeye çalışılmıştır.

1.2 İnceleme Alanlarının Yeri



Şekil 1.1 İnceleme alanlarının yer bulduru haritası.

2. GENEL JEOLojİ

2.1 Balıkesir - Çağış Köyü Civarının Jeolojisi

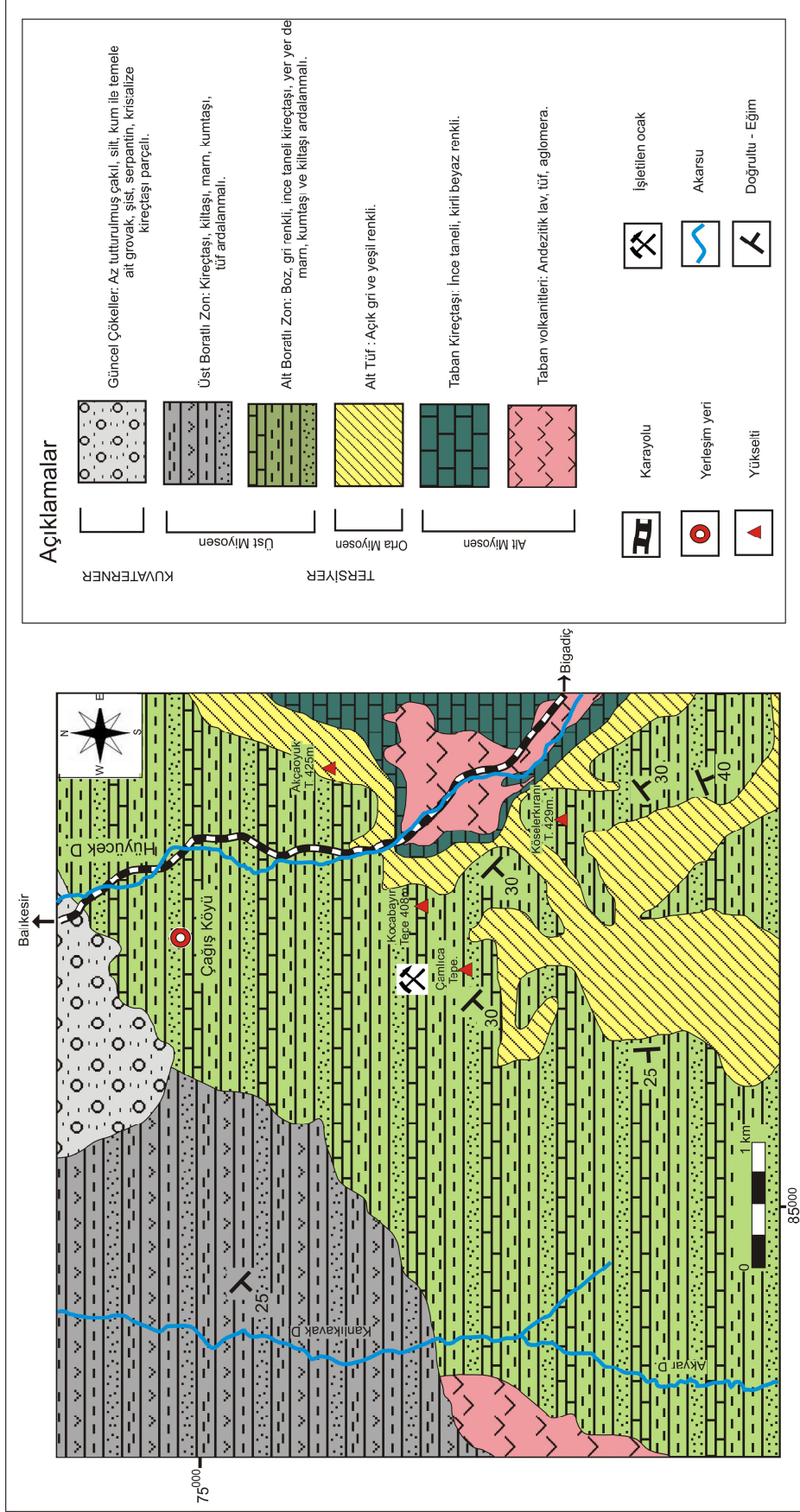
İnceleme alanında Miyosen yaşlı birimler alttan üste doğru; taban volkanitleri, bunun üzerine uyumsuzlukla gelen ve kendi aralarında uyumlu olan taban kireçtaşı, alt tuf, alt boratlı zon ve üst boratlı zondan oluşmaktadır. İnceleme alanında en genç birim olan alüvyonlar tüm birimleri uyumsuz olarak örtmektedir (Şekil 2.1 ve 2.2).

2.1.1 Taban Volkanitleri

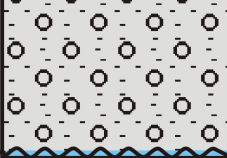
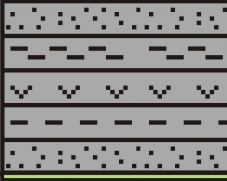
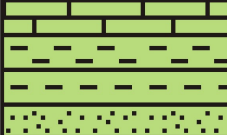
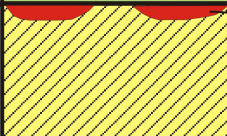


Araştırmacılar tarafından taban volkanitleri olarak adlandırılan birim, andezitik lav, tuf ve aglomeralardan oluşmaktadır [1]. Dış yüzeyi sarımsı ve kahverengimsi, taze kırılma yüzeyi kırmızı ve mor renkli ve bol çatlaklıdır (Şekil 2.3).

Taban volkanitleri üzerine ise taban kireçtaşı uyumsuzlukla gelir. Bölge genelinde taban kireçtaşının bulunmadığı yerlerde (Yeniköy civarında) alt boratlı zon taban volkanitlerini uyumsuzlukla üstlemektedir [1].

Taban volkanitleri diğer araştırmacılar tarafından Kalburcu andeziti olarak adlandırılmış olup olasılıkla Alt Miyosen yaşındadır [2].



Şekil 2.1 Çağış Köyü civarının jeolojisi.

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	KALINLIK (m)	KAYA TÜRÜ	KAYA TÜRÜ AÇIKLAMASI
SENOZOYİK	KUVATERNER		~100		Güncel Çökeller: Konglomera, kiltası, kumtaşı ve silttaşı
	TERSİYER	ÜST MİYOSEN	~400		Üst Borath Zon: Kireçtaşı, kiltası, marn, kumtaşı, tuf ar dalanmalı.
			~110		Alt Borath Zon: Boz, gri renkli, ince taneli kireçtaşı, yer yer de marn, kumtaşı ve kiltası ar dalanmalı.
		ORTA MİYOSEN	~140		Bentonit Alt Tuf : Açık gri ve yeşil renkli.
		ALT MİYOSEN	~130		Taban Kireçtaşı: İnce taneli, kirli beyaz renkli, sert ve yer yer de silisifiye.
	ALT MİYOSEN	~400		Taban Volkanitleri: Andezitik lav, tuf ve aglomera.	
					UYUMSUZLUK

Şekil 2.2 Çağış Köyü civarının stratigrafik kesiti.



Şekil 2.3 Taban volkanitlerine ait andezitler.
(Köselerkıranı Tepe kuzeydoğusu)

2.1.2 Taban Kireçtaşı

Taban kireçtaşı olarak adlandırılan birim, beyazımsı krem renkli, ince tabakalı, bol çatlaklı ve kırıklı bir yapıya sahip dolomitik kireçtaşı ile başlar (Şekil 2.4). Dolomitik kireçtaşının üzerine tuf bantlı kireçtaşı – marn ardalanması gelir. Birim üst seviyelerinde ise kıltaşı – kireçtaşı – tuf – marn ardalanması ile son bulur (Şekil 2.5).

Birimde tuf bantlarının görülmesi, çökelim sırasında volkanik aktivitenin devam ettiğini gösterir [1].



Şekil 2.4 Taban kireçtaşının en alt birimi olan dolomitik kireçtaşlarından görünüm.
(Bağlarbaşı Tepe güneyi)



Şekil 2.5 Taban kireçtaşından bir görünüm.
(Bağlarbaşı Tepe güneyi)

Alt tuf, taban kireçtaşı üzerine uyumlu olarak gelmektedir. Taban kireçtaşı başka araştırmacılar tarafından Güvemçetmi kireçtaşı üyesi olarak adlandırılmıştır [2].

2.1.3 Alt Tuf

Çalışmanın esas konusunu oluşturan bentonit oluşumlarının bulunduğu Alt tuf, bölgede geniş yayılıma sahip olan ve yaklaşık 140 m kalınlığa erişebilen tuf katmanları, açık gri, beyaz, sarımsı renklerde olup, taban kireçtaşı ile alt boratlı zon arasında uyumlu olarak yer alır (Şekil 2.6) [2].

Alt tuf, volkanik kaynaktan püskürme ile atılan, baskın olarak kül boyutundaki piroklastik malzemenin göle ve karaya düşmesiyle oluşmuştur. Alt tuf, taban kireçtaşını uyumlu olarak üstlemektedir. Taban kireçtaşının görülemediği yerlerde ise uyumsuz olarak taban volkaniklerini üstler [1].

Bentonitleşmeler, bu alt tuf içinde olup, yeşil ve beyaz renklidirler. Alt tuf içindeki bentonitler, tüfler ile mercek şeklinde karmaşık olarak yer almaktadır.

Bölgedeki gölsel havzada, tabanda yer alan kireçtaşlarının çökmesinden sonra asidik bir volkanizma yeniden etkin olmuş ve şiddetli püskürmelerle çevreye saçılan küller ve tüfler göl içine düşerek ya da akarsularla taşınarak çökeline katılmışlar ve birimi oluşturmuşlardır. Tüflerin kalın olması ve düzenli dağılımı, volkanik gereçlerin birkaç merkezden eş zamanlı olarak geldiğini ve volkanizmanın uzun süre devam ettiğini gösterir. Diğer araştırmacılar tarafından Akçakertil tüfit üyesi olarak adlandırılmıştır [2].



Şekil 2.6 Alt tüf ve Alt boratlı zon arasındaki dokanak.
(Çağış köyü güneyi; işletilmekte olan ocağın içinden)

2.1.4 Alt Boratlı Zon

Çalışma alanında, alt tüf üzerinde uyumlu olarak yer alan alt boratlı zon, esas olarak ince taneli kireçtaşı, yer yer de marn, kumtaşı ve kıltaşı ardalanmalarından meydana gelir. Marn düzeyleri çok ince taneli ve ince katmanlıdır. İnce taneli kireçtaşları belirgin kalsit çimentolu ve gri renklidir (Şekil 2.7). Altındaki Alt tüf ile olan dokanağı uyumludur (Şekil 2.6) [1].



Şekil 2.7 Alt boratlı zon içindeki ince – orta tabakalı kireçtaşları.
(Kocabayır Tepe batısı)

Alt tufün kaynağı olan çevredeki volkanizma sona erdikten sonra yeniden sakin bir dönem başlamış ve gölsel havzada bu çökel kaya birimleri oluşmaya başlamışlardır ve yaklaşık 110 m kalınlıktadır. Diğer araştırmacılar bu alt boratlı zonu Yeniköy Kireçtaşı üyesi olarak adlandırmışlardır [2].

2.1.5 Üst Boratlı Zon

Tabanda ince katmanlı tuf bantlı kilitaşı – kireçtaşı – marn ardalanmasıyla başlar. Bu ardalanma üzerine kilitaşı gelir ve bunun da üzerine kırmızımsı kahverengi laminalı kilitaşı gelir. Daha sonra bu birimlerin üstünde ince ve orta katmanlı tuf ve kireçtaşı bantlı kilitaşı – kireçtaşı ardalanması yer alır. Bu zon, üstte, yer yer çört bantlı kalın katmanlı kireçtaşı ile son bulur [1].

Genellikle kireçtaşı kısmen de kilitaşı, marn ve kumtaşı dizeyleri ardaalanmalarından oluşup, en çok 400 m kalınlığa erişebilmektedir. Üst boratlı zon, volkanik etkinliğin azalmasından sonra, gölsel havzada en son ökelmif ve yer yer de tüfit dizeyleri içermesi nedeniyle yüksek kalınlığa erişmiştir [2].

İskele kireçtaşı üyesi olarak adlandırılan üst boratlı zon, tabanda üst tuf üzerine uyumlu olarak gelmektedir. Tavanda ise bu zonu genç tortullar uyumsuz olarak üstlemektedir [2].

2.1.6 Güncel ökeller

Birim tabanda çakıllarını kireçtaşının oluşturduğu konglomera ile başlar. Konglomera üzerine kilitaşı, kumtaşı ve akilitaşı bantlı silttaşı gelir. Birim içindeki silttaşı parlak gri, yer yer sarımsı kırmızı renkli olup ince katmanlıdır. Kilitaşı ise sarımsı kırmızı olup laminalıdır. Birimin kalınlığı 3 - 180 m arasında değişmektedir. Birim tabanda üst boratlı birim üzerine uyumsuzlukla oturur. Tavanda ise birimin üzerine uyumsuzlukla alüvyon gelir. Birim, Neojen öncesi ve Neojen yaşlı birimlerinden türemiştir. Tüm birimlerin üzerini uyumsuzlukla örten alüvyon, temel kayaların ve Neojen yaşlı birimlerin çakıl, kum ve killlerinden ibarettir [1].

2.2 Savaştepe – Yağcılı Köyü Civarının Jeolojisi

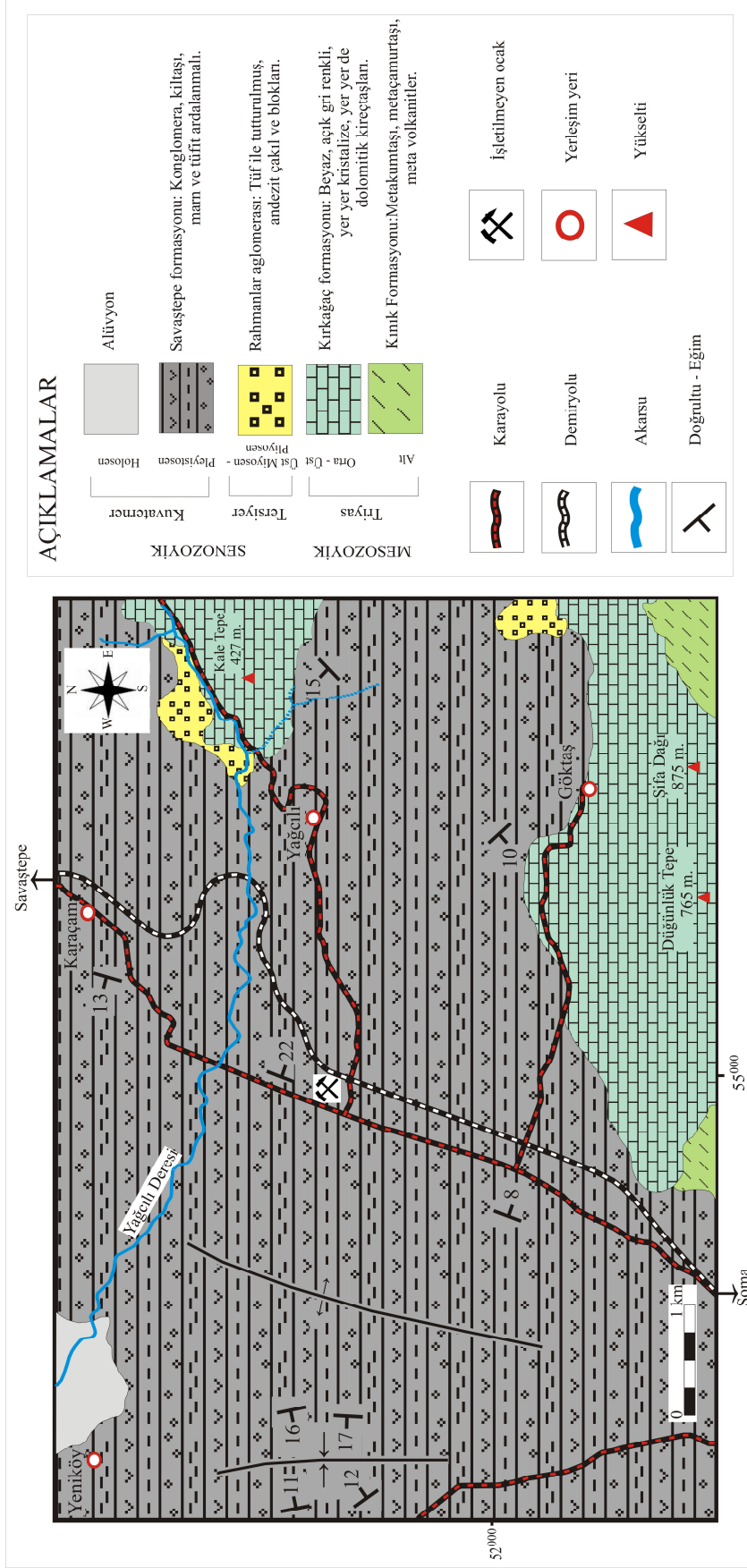
İnceleme alanında, tabanda Alt Triyas yaşlı Kınık formasyonuna ait metakumtaşları yer alır. Bu birimin zerine Orta – st Triyas yaşlı Kırkağağ formasyonunun kireğtaşları uyumsuz olarak gelir. Kırkağağ formasyonu, Tersiyer yaşlı Rahmanlar aglomerası tarafından uyumsuz olarak üzerlenir. İnceleme alanındaki en genç birimlerden biri olan Kuvaterner yaşlı Savaştepe formasyonu alttaki Rahmanlar aglomerasını yine uyumsuz olarak zerler ve yine Kuvaterner yaşlı alüvyonlar tüm birimleri uyumsuz olarak örter (şekil 2.8, 2.9).

2.2.1 Kınık Formasyonu

Soma güneyinden başlayarak Savaştepe dolayından kuzeydoğuya uzanan hatlar halinde ve en tipik olarak da Kınık belde merkezi güneyinde izlenir. Formasyon adı buradan alınmıştır [3]. Kınık formasyonu, Yeşil şist fasiyesinde metamorfizme olmuş çeşitli boyutlardaki kırıntılılardan oluşur. Çok düşük dereceli metamorfizma geçirmiştir (şekil 2.10). İnceleme alanındaki en yaşlı birim olup, Kırkağağ formasyonu tarafından uyumsuz olarak zerlenmiştir.

Otokton olarak saptanmış birim, ilksel halini kısmen koruyan çeşitli kırıntılı kayaçların yeşil şist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş türlerinden oluşan kayaçlardır [4].

Yaklaşık 400 m kadar görünür kalınlık kabul edilmiştir. Kınık formasyonu fosilce çok fakirdir. Birim içindeki kumlu kireğtaşı bantlarında bulunan fosile göre yaşı Alt Triyas olarak belirlenmiştir [5].



Şekil 2.8 Yağcılı Köyü ve çevresinin jeolojisi.

MESOZOYİK		SENEZOYİK			ÜST SİSTEM
TRİYAS		TERSİYER	KUVATERNER	SİSTEM	SİSTEM
ALT	ORTA - ÜST	ÜST MİYOSEN PLİYÖSEN	PLEYİSTÖSEN	SERİ	SERİ
KINIK	KIRKAĞAÇ	RAHMANLAR AGLOMERASI	SAVAŞTEPE	FORMASYON	FORMASYON
~ 400	~ 500	~ 400	~ 300	KALINLIK	KALINLIK
					KAYA TÜRÜ
					KAYA TÜRÜ AÇIKLAMASI
					Alüvyon
					Uyumsuzluk
					Konglomera, kiltası, marn ve tütif ardalanmalı.
					Bentonit
					Uyumsuzluk
					Tüf ile tutturulmuş, yuvarlak ve yarı köşeli andezit çakıl ve blokları.
					Uyumsuzluk
					Beyaz, açık gri renkli, yer yer kristalize yer yer dolomitik kireçtaşları.
					Uyumsuzluk
					Metakumtaşı, metaçamurtaşı, metavolkanitler.

Şekil 2.9 Yağcılı Köyü ve çevresinin stratigrafik kolon kesiti.



Şekil 2.10 Kınık formasyonuna ait metakumtaşları.
(Kızılören Köyü kuzeybatısı)

2.2.2 Kırkağaç Formasyonu

Araştırmacılar tarafından Kırkağaç formasyonu olarak adlandırılan birim, inceleme alanının güney/güneydoğu ve doğusunda yer almaktadır [3]. Beyaz, açık gri renkli, yer yer kristalize kireçtaşlarından oluşan bu birim, yer yer de dolomitiktir. Tabakalanması her yerde belirgin değildir. Orta-kalın tabakalı, çok kırıklı ve boşluklu, yer yer çok kolay ayrışabilme özelliğindedir (Şekil 2.11).

Birim, araştırmacılar tarafından İzmir – Ankara Zonu'nun filiş fasiyesindeki kırıntılı kayaları ve değişik yaştaki kireçtaşı blokları olarak tanımlamışlardır [6].

Kırkağaç formasyonu kıvrımlı, çok kırıklı ve kolay ayrıştığından tabakalanması her yerde iyi izlenemez. Kesin bir kalınlık ölçülememiş olup, görünür kalınlığı yaklaşık 500 m kadardır. Arazide daima Kınık formasyonu üzerine diskordan olarak gelir. Kırkağaç formasyonu, Tersiyer yaşlı Rahmanlar aglomerası ve Kuvaterner yaşlı Savaştepe formasyonu ile uyumsuz olarak örtülür [3].

Kırkağaç Formasyonu, araştırmacılar tarafından saptanan fosillere göre Orta - Üst Triyas yaşlı olarak kabul edilmektedir [5].

2.2.3 Rahmanlar Aglomerası

Çalışma alanının doğusunda yayılım gösteren birimlerdir. Rahmanlar aglomerası, genellikle yuvarlak ve yarı köşeli, çoğunluğu andezit çakıl ve bloklarının tuf ile tutturulmasından oluşur (Şekil 2.12). Aglomeraların arasında tufit ve silttaşı tabakaları da gözlenebilmektedir (Şekil 2.13).

Rahmanlar aglomerası, Kınık formasyonu ve Kırkağaç formasyonu üzerinde uyumsuz olarak bulunur. Rahmanlar aglomerasının kalınlığı yaklaşık 400 m kadardır [3].

Araştırmacılar tarafından Rahmanlar aglomerası, Deniz formasyonu olarak adlandırılmıştır [6].

Rahmanlar aglomerası, Tersiyer volkanizması sonucu oluşmuştur. Aglomeralar, Üst Miyosen – Pliyosen olarak kabul edilmiştir. Rahmanlar aglomerası, bölgede bulunan göllere taşınan çeşitli boyuttaki volkanik malzemenin göl ortamında çimentolanmasından oluşmuşlardır. Aralarında bulunan tufit ve silttaşı, aglomeraların sedimantasyonu anında ortama geldiklerini ve birlikte çökeldiklerini kanıtlamaktadır (Şekil 2.13) [5].



Şekil 2.11 Kırkağaç formasyonuna ait kireçtaşları.
(Kale Tepe güneybatı etekleri)



Şekil 2.12 Rahmanlar aglomeralarından görünüm.
(Değirmenbaşı sırtı doğu yamaçları)



Şekil 2.13 Rahmanlar aglomasına ait aglomera, silttaşı ve tüfitten oluşan istif.
(Değirmenbaşı sırtı doğu yamaçları)

2.2.4 Savaştepe Formasyonu

Konglomera, kiltası, marn ve tüfit ardalımalı birim Savaştepe formasyonu olarak adlandırılmıştır [7]. Soma – Savaştepe karayolu üzerinde, Göktaş köyü kuzeyi ve Yağcılı köyü çevresinde izlenilmektedir. Marn, kiltası, tüfit, konglomera ardalımasından oluşmuştur (Şekil 2.14). Konglomeralar, alttaki birimlerin çeşitli boyuttaki çakıllarından oluşmuştur.

Savaştepe formasyonu, Kırkağaç formasyonuna ait birimler üzerine diskordan olarak gelmektedir. Üstte ise alüvyon ile örtülüdür. Yaklaşık 300 metre kalınlık gösteren Savaştepe formasyonu, Savaştepe – Soma arasında geniş bir yayılım gösterir [7].

Kadıköy ile Beyce köyü arasındaki marnlardan araştırmacılar tarafından elde edilen fosile göre birimin yaşı Pleyistosen olarak kabul edilmiştir [8].

2.2.5 Alüvyon

Çalışma alanının kuzeybatısında ve ayrıca küçük akarsular çevresinde dar şeritler boyunca yüzeyler.



Şekil 2.14 Savaştepe formasyonuna ait mostradan görünüm.
(Çardakkıranı Sirtı doğusu)

3. DÜZENLİ KATI ATIK SAHALAR

3.1 Düzenli katı atık sahalar

Çöp depolama alanları endüstrileşmiş ülkelerde yeraltı suyunu ve zeminini kirleten potansiyel bir kaynaktır. Atıktan sızan sızıntı suyu, çözünebilen ve askıda kalabilen kirleticileri geçirimsiz tabakaya taşıyan bir akışkandır. Atık sızıntısından yeraltı suyunu ve zeminini koruyacak olan geçirimsiz alt tabaka ve yağmur sularının çöp deponi içine girmesini önleyecek üst örtü sistemi deponi alanın en önemli bileşenidir. Dolayısıyla, ekonomik ve etkin olarak düzenlenecek geçirimsiz alt tabaka sistemi, çevrenin korunması için kaçınılmazdır.

Depolama alanının tabanında geçirimsiz bir tabaka genellikle kaolinit, illit ve bentonit killeri kullanılarak oluşturulmaktadır. Bu killerden özellikle en etkili olanı bentonit kilidir [9].

Üretim ve tüketim artmasıyla artan çöp oluşumu başta insan sağlığı olmak üzere yurt ekonomisini ve turizmini etkilemektedir. Gelişen yapılaşma nedeni ile düzenli depolama için ayrılacak uygun arazilerin bulunması zorlaşmıştır. Değişen yaşam standartları, artan tüketim eğilimleri gibi faktörler, uzaklaştırılması gereken katı atık miktarının gün geçtikçe artmasına neden olmaktadır. Bu da, katı atıklardan kaynaklanan toplum ve çevre sağlığı problemlerinin önemli boyutlara ulaşmasına yol açmaktadır.

Bilinçsizce ve gelişmiş güzel depolanan çöpler insan sağlığı açısından büyük bir tehlike oluşturmakla beraber koku ve estetik açısından olumsuz bir görüntü meydana getirmektedir. En önemli problemlerden biri ise çöp dolgusundan sızan sızıntı suyunun zemini ve yeraltı suyunu kirletmesidir. Düzensiz bir depolama sahasında oluşan metan ve hidrojen sülfür gazlarının oluşturacağı tehlike de göz ardı edilmemelidir. Dolayısıyla, yerleşim merkezlerinde üretilen katı atıkların uygun

koşullar altında toplatılması, depolanması ve zararsız hale getirilmesi gerekmektedir [10].

2872 sayılı çevre yasasının ilgili mevzuatında farklı atık türleri için ayrı ayrı yönetmelik düzenlenmiş durumdadır. Bunlar:

- Katı atıkların kontrolü yönetmeliği
- Tıbbi atıkların kontrolü yönetmeliği
- Tehlikeli atıkların kontrolü yönetmeliği

Evsel, Tehlikeli ve Tıbbi katı atıkların depolanacağı tesisler, yönetmelikler gereği, ayrı ayrı tesisler olarak düzenlenmekte ve her bir tesiste depolanacak söz konusu atığın kimyasal ve jeoteknik özellikleri dikkate alınarak teknoloji düzeyi farklı olan çevre koruma önlemleri alınmaktadır. Söz konusu teknoloji düzeyi, depolanacak atık grubunun “organik, kimyasal, zararlı-zehirli ve mikrobik (patojenik)” yapısının oluşturduğu çevre riskine bağlı olarak, gerekli çevre koruma teknolojisi düzeyi farklı olmaktadır [11].

Çevreyi kirletme riski olan sıvı ve gaz emisyonlarının yeraltına sızmasının önlenmesi ve toplanıp, kontrol altına alınması bertaraf edilmesi gerekmektedir. Burada jeoteknik yönden en önemli nokta, çevrenin kirlenme riski arttıkça, öncelikle sıvı emisyonlarının kontrol altına alınmasını sağlayan taban sızdırmazlığının daha yüksek bir düzeyde sağlanması gereğidir. Sızdırmazlık için gerekli doğal (kil) ve Jeo-Sentetik (HDPE) sızdırmazlık tabakalarının kalınlığı ve tabaka sayısı artırılmaktadır. Ayrıca kil sızdırmazlık tabakasının permeabilite değeri de belli değerden daha küçük olacak şekilde düzenlenmektedir [11].

Düzenli katı atık depolama yeri planlamasında ilk aşama, depolama sahası için uygun yer seçimi olmaktadır. Bunun için ilgili yönetmelik ve kılavuzlarda [12]:

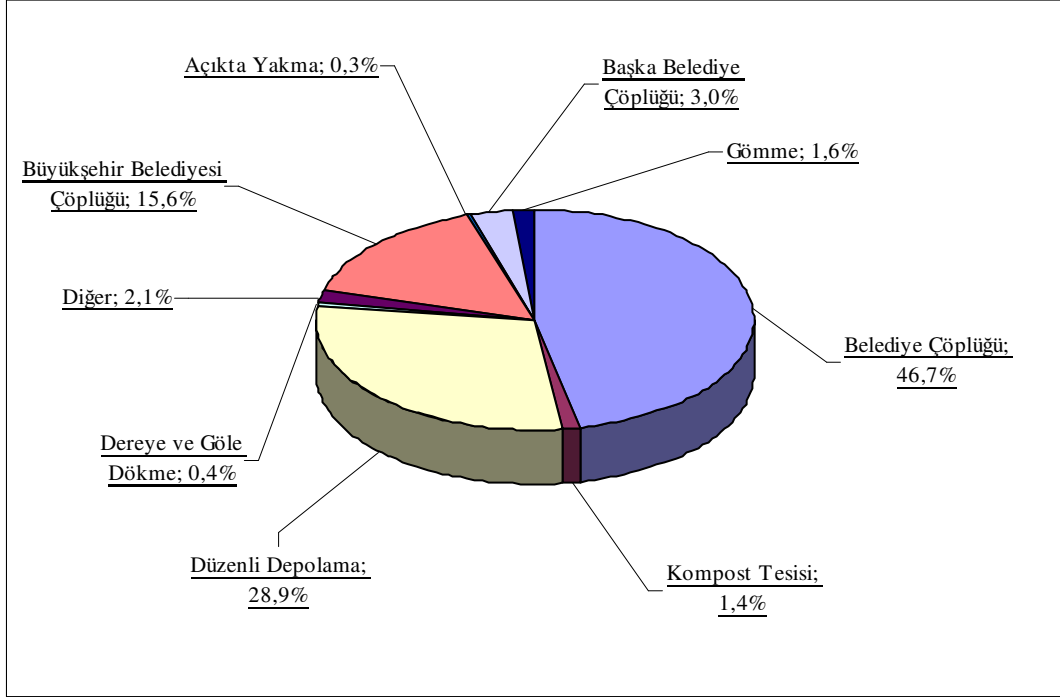
- Katı atık depolama yeri (Çöp döküm sahaları) en yakın yerleşim birimlerine en az 1000 metre mesafede olmalıdır.
- Havaalanına en az 3 km uzaklıkta olmalıdır.
- İçme, kullanma ve sulama suyu temin edilen yer altı ve yer üstü sularını koruma bölgelerinde inşa edilmemelidir.

- Deprem bölgelerinde fay hattı üzerinde inşa edilmemelidir.
- Taşkın riskinin yüksek olduğu yerlerde, çığ, heyelan ve erozyon bölgelerinde inşa edilmemelidir.
- Sulak alanlarda hiçbir şekilde inşa edilmemelidir.
- Şehircilik açısından, hakim rüzgar yönünde inşa edilmemelidir.
- Kurulan tesisin konumu imar planında belirtilerek, işletmeye kapatıldıktan sonra en az 40 yıl yerleşime açılmaması sağlanmalıdır.
- Planlanan depolama sahası en az 10 yıllık ihtiyaca cevap verecek kapasitede olmalıdır.

2004 yılı Belediye Katı Atık İstatistikleri Anketi sonuçlarına göre 1911 belediyenin 1889'unda katı atık hizmeti verildiği tespit edilmiştir. Katı atık hizmeti verilen belediyelerden, 2004 yılı yaz mevsiminde 12.38 milyon ton, kış mevsiminde 11.86 milyon ton ve yıllık toplam 24.24 milyon ton katı atık toplandığı belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre kişi başı günlük ortalama katı atık miktarı, yaz mevsimi için 1.34 kg, kış mevsimi için 1.33 kg, yıllık ortalama ise 1.34 kg olarak hesaplanmıştır [13].

2004 yılında katı atık toplama ve taşıma hizmeti veren belediyelerden toplanan 24.24 milyon ton katı atığın, % 46.7'si belediye çöplüğünde, % 28.9'u düzenli depolama sahalarında, % 15.6'sı büyükşehir belediyesi çöplüğünde, % 3'ü başka belediye çöplüğünde, % 1.6'sı gömülerek, % 1.4'ü kompost tesislerinde, % 0.4'ü dereye ve göle dökülerek, % 0.3'ü açıkta yakılarak bertaraf edilmiştir (Çizelge 3.1) [13].

Çizelge 3.1 Belediye katı atıklarının yok etme yöntemine göre dağılımı [13].



3.1.1 Yapım Aşamaları

Düzenli katı atık terimi, (evsel) katı atıkların yok edilmesi için, halk sağlığına ve çevresel etkilerini minimize edecek şekilde düzenleme ve işletme yapacak bir mühendislik görevini ifade etmektedir. Zehirli atıkların boşaltımında kullanılan depolama alanları ise “güvenli depolama alanları” olarak adlandırılmaktadır [14].

Hücre veya odacık terimi; atık materyal hacminin genellikle bir gün içinde, içine doldurulduğu zemin odacığı olarak tarif edilebilir. Bir hücre doldurulmuş katı atık içerip, üzerine günlük örtü malzemesi serilir. Günlük kaplama genellikle doğal zemin (toprak) veya alternatif malzemelerle (kil tabakalar, geomembranlar v.s.) her işlem sonunda doldurulan alanın yüzeyini kaplama işine denilmektedir. Günlük kaplamanın amacı; atık maddelerin rüzgarla uçuşunu engellemek, fare, uçucu haşarat v.b. hastalık yapıcı faktörlerin depolama alanına giriş ve çıkışını önlemek ve işletme süresince depolama alanına su girişini kontrol altında tutmaktır [15].

Düzenli katı atık depolama tesisi yapımının jeoteknik yönden incelendiğinde aşağıdaki aşamalar belirmektedir.

- Depolama yeri taban zemininin tesviyesi ve sıkıştırılması
- Mineral (kil) ve/veya Jeo-sentetik (HDPE) geçirimsizlik tabakasının oluşturulması
- Drenaj sisteminin oluşturulması
- Dolgu bitiminde üst kısmın erozyon kontrollü olarak yeşillendirilmesi

3.1.2 Depolama Tabanının Hazırlanması

Katı atık depolama yeri yapılacak olan sahanın taban zemininde bulunan doğal engebelerin, alt yapı birimleri olan mineral geçirimsizlik tabakası ve drenaj sisteminin oluşturulmasından önce tesviye edilerek, bu birimlerin fonksiyonlarına uygun olarak yapımı gerekmektedir. Bu sırada depolama yeri tabanının yer yer kazı ve dolgu yapılacağından, doğal taban zemininde farklı sıklıktaki kısımların oluşma riski bulunmaktadır. Doğal kısımların farklı sıklıkta olması, taban zemininde farklı oturmaların oluşmasına neden olacaktır. Buda öncelikle drenaj sisteminde yetersiz veya ters eğimlerin oluşmasına neden olacaktır. Bu sakıncalı durumun önlenmesi için dolgu işlemleri uygun teknikler kullanılarak gerekli ve standart düzeyde kompaksiyon uygulanarak farklı oturmalar önlenmek durumundadır.

Kalite kontrolün önem taşıdığı ve yerinde kontrol gerektiren toprak dolgu baraj, havaalanı, katı atık depolama yeri gibi inşaatlarda uygulanan sıkıştırma (kompaksiyon) işlemlerinin yeterliliği ve imalatın kalite kontrolü için “DIN 18134 ve TS 5744” standartlarına uygun deney düzenekleri ile plaka yükleme deneyi yapılması gerekmektedir [11].

3.1.3 Mineral Geçirimsizlik Tabakası

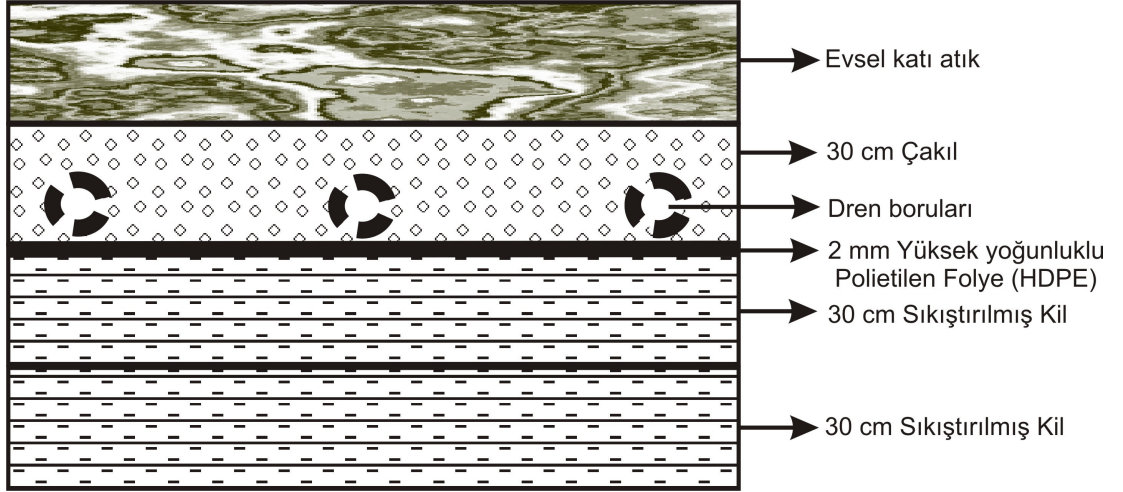
Depolanan evsel katı atıkların sahip olduğu su içeriğine, depolama alanına gelen yağış suları da eklendiğinde önemli miktarda, kirlilik değerleri çok yüksek bir sızıntı suyu ortaya çıkmaktadır. Bu kirliliğin yer altı suyuna ve çevreye zarar vermemesi için kontrol altına alınması gerekmektedir. Bu amaçla öncelikle depolama alanı tabanında bir sızdırmazlık tabakası oluşturulmaktadır. Doğal geçirimsizlik malzemesi olan kil ekonomikliği ve teminindeki kolaylığı nedeniyle öncelikli olarak tercih edilmektedir.

2872 sayılı çevre yasasının ilgili katı atık depolama yeri yönetmeliklerinde, mineral sızdırmazlık kil tabakasının kalınlığı, sıkıştırılmış olarak evsel katı atık depolama tesisinde 60 cm, tıbbi ve tehlikeli katı atık depolama tesislerinde ise 90 cm'dir. Bu tabakalar en çok 30 cm'lik tabaka halinde sıkıştırılarak döşenir (Şekil 3.1, 3.2) [12].

İstenilen kompaksiyon derecesinde sıkıştırılmış olan kil tabakasının geçirimsizlik katsayısının minimum 1×10^{-8} m/sn (1×10^{-6} cm/sn) olması öngörülmektedir [12]. Proktor sıkılığında sıkıştırılmış olan kil sızdırmazlık tabakasının permeabilitesi paralel olarak laboratuvar deneyleri ile belirlenmesi istenmektedir.

Laboratuvarda sağlanan hidrolik yük altında numune içinden sızan su hacmi yardımı ile zeminin geçirgenlik değeri (k), permeabilite deneyi ile belirlenir. Bu değerler teknik şartnamede öngörülen değerlerin altında kalması kontrol edilir.

Literatürde, evsel atıklar için verilen geçirimsizlik değerleri; Fransa'da 10^{-6} cm/sn [16], Almanya'da 10^{-10} cm/sn ve Amerika Birleşik Devletleri'nde ise 10^{-8} – 10^{-10} cm/sn arasında değişmektedir [17].



Şekil 3.1 Depo tabanının teşkili ve sızıntı suyu toplanması [12].



Şekil 3.2 Zeminin sıkıştırılmasına bir örnek [18].

3.1.4 Sentetik Geçirimsizlik Tabakası

Depolama alanı taban sızdırmazlığı daha az riskli olması ve mineral geçirimsizlik tabakasının atmosferik ve biyolojik etkilerden korunması için, mineral sızdırmazlığa ek olarak sentetik geçirimsizlik tabakası da uygulanmaktadır. Bu amaçla yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) jeosentetik veya bitümlü koruma tabakası kullanılmaktadır (Şekil 3.3, 3.4).

HDPE jeosentetikler daha çok tıbbi atık ve tehlikeli atık depolama tesislerinde ek geçirimsizlik tabakası olarak kullanılmaktadır. Kil tabakasının üzerine serilecek olan kalınlığı 2 mm olan yüksek yoğunluklu polietilen folyenin yoğunluğu 941-965 kg/m³ arasında olmak zorundadır [12].

Mineral geçirimsizlik tabakasının atmosferik ve biyolojik etkilerden korunması için gerektiğinde HDPE folye kullanılabilirdiği gibi, bunun yerine yaklaşık “1.5 kg/m²” bitümlü emülsiyon ve “10 kg/m²” 5/8 – ince çakıl birlikte sıcak uygulama yapılarak 4-5 mm kalınlığında bitümlü tabaka oluşturulur [11].

Şev eğiminin 1:2 den daha dik olduğu durumlarda sızdırmazlık tabakası şu şekilde düzenlenir. Bu durum daha çok kaya ve bozuk kaya olan yerlerde karşılaşıldığından, yüzey önce püskürtme beton ile düzeltilir, üzerine HDPE folye yerleştirilir. En üstüne de koruma amaçlı 20 cm kalın hasır beton çeliği donatılı beton dökülür. Sahanın taban kısmı yine mineral (kil) sızdırmazlık tabakası olarak düzenlenir. Drenaj sistemi yalnız tabanda yapılır [11].



Şekil 3.3 Serilen jeomembranların üstten görünüşü [18].



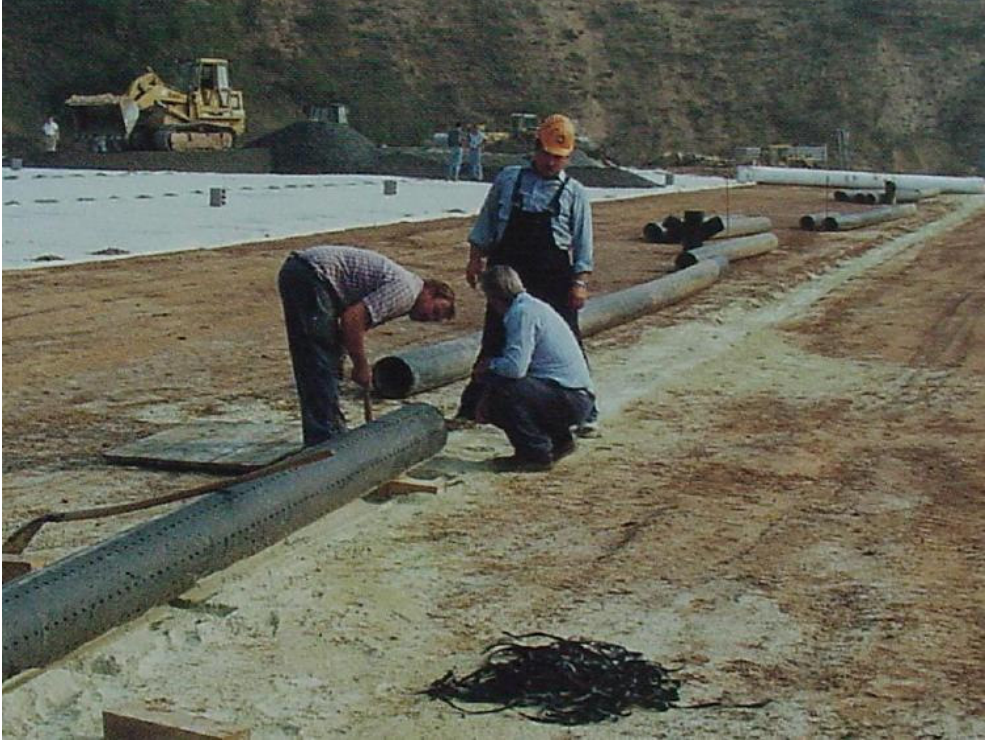
Şekil 3.4 Jeomembranların serimine bir örnek [18].

3.1.5 Drenaj Tabakası

Depolama alanının tabanında biriken sıvıya “sızıntı suyu” denir. Derin depolama alanlarında bu sıvı orta noktalarda toplanmaktadır. Genelde sızıntı suyu atıklarının kimyasal bozunmasıyla çökmesinden dolayı oluşan süzülme, kontrol edilemeyen yüzey akışı ve sulama suyundan depolama alanına gelen sızmaların bir sonucu olarak oluşmaktadır. Aynı zamanda, en az yeraltına sızan su kadar katı atık içinde de bulunan su, sızıntı suyuna dönüşmektedir. Sızıntı suyu, eriyebilen, çözünebilen maddelerden türeyen değişik kimyasal bünyeler içermekte ve bunun sonucu, depolama alanı içinde kimyasal ve biyokimyasal çoğalmadan dolayı reaksiyonlar oluşmaktadır [15].

Geçirimsizlik tabakaları üzerinde toplanan “Sızıntı Suları”nın toplanıp, depolama alanı dışına taşınması için bir “drenaj sistemi” oluşturulması gerekmektedir. Depolama alanının tamamı 30 cm kalınlığında çakıl malzeme ile kaplanarak, depo tabanına ulaşan sızıntı sularının drenaj borularına ulaşması sağlanmaktadır. Drenaj borularının çapı en az 100 mm olarak planlanmaktadır (Şekil 3.5, 3.6) [12].

Drenaj tabakasına gelen sızıntı suyu organik ve kimyasal yönden yoğun bir kirlilik içermesi, pH değerinin düşük olması nedenleri ile çakıl malzemenin mineral yapısı önem taşımaktadır. Karbonat miktarının belli değerin üzerinde olması durumunda sızıntı suyu çakıl bünyesindeki karbonatı bikarbonat olarak çözerek aşınmasına, küçülmesine, çamurlaşmasına ve sonuçta drenaj yeteneğini kaybetmesine neden olmaktadır. Bu nedenle drenaj tabakasında kullanılan 16/32 çakıl malzemesinin karbonat içeriğinin % 20 değerini geçmemesi öngörülmektedir. Karbonat içeriği DIN 18129 a göre belirlenmektedir [11].



Şekil 3.5 Dren borularının birbirine eklenmesi [18].



Şekil 3.6 Drenaj sisteminin üstten görünüşü [18].

4. JEOTEKNİK ÖZELLİKLER

Savaştepe – Yağcılı ve Balıkesir – Çağış Köyleri bentonitlerinin jeoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla örselenmemiş ve örselenmiş numune alınarak laboratuvarında, indeks, atterberg, elek, kompaksiyon, permeabilite ve serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Örselenmemiş numuneler sahada, 6 ayrı noktadan Shelby tüpleri ile hidrolik baskıyla alınmıştır. Örselenmemiş ve örselenmiş numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri ile sahadaki zeminlerin tane boyu dağılımı, kıyım limitleri, özgül ağırlığı, doğal birim hacim ağırlığı, kuru birim hacim ağırlığı, doymun birim hacim ağırlığı, su içeriği, boşluk oranı, porozitesi, doymunluk yüzdesi, serbest basınç değerleri, hacimsel sıkışma katsayıları ve permeabilite değerleri hesaplanmıştır. Laboratuvarında yapılan tüm deneyler için TS 1901'e göre numune alınmış, TS 1900 ve TS 2028'e göre deneyleri yapılmış, TS 1500'e göre tanımlamaları yapılmıştır [19 – 22].

4.1 Fiziksel Özellikler

Çağış ve Yağcılı Köyü numunelerinin jeoteknik özelliklerini saptamak amacıyla alınan örselenmiş ve örselenmemiş numuneler üzerinde laboratuvar deneyleri yapılarak numunelerin fiziksel özellikleri belirlenmiştir.. Laboratuvar deneyleri verilerinin değerlendirilmesi sonucunda Yağcılı numunelerinin ortalama olarak, doğal birim hacim ağırlığı 1.7770 gr/cm^3 , kuru birim hacim ağırlığı 1.2807 gr/cm^3 , doymun birim hacim ağırlığı 1.7834 gr/cm^3 , tane özgül ağırlığı 2.5796 , doğal su içeriği % 45.29, tabii boşluk oranı % 1.01, tabii porozite % 50.27; Çağış numunelerinin ise yine ortalama olarak, doğal birim hacim ağırlığı 1.5944 gr/cm^3 , kuru birim hacim ağırlığı 1.1646 gr/cm^3 , doymun birim hacim ağırlığı 1.6840 gr/cm^3 , tane özgül ağırlığı 2.4309 , doğal su içeriği % 63,75, tabii boşluk oranı % 1.10, tabii porozite % 51.93 olarak belirlenmiştir ve Çizelge 4.1 ve 4.2 de toplu olarak verilmiştir.

Çizelge 4.1 Savaştepe – Yağcılı Köyü numunelerinin fiziksel özellikleri.

ÖZELLİKLER	DEĞİŞİM ARALIĞI		
	En Çok	En Az	Aritmetik Ortalama
Doğal Birim Hacim Ağırlığı γ_n (gr/cm ³)	1.8153	1.7225	1.7770
Kuru Birim Hacim Ağırlığı γ_k (gr/cm ³)	1.3318	1.2095	1.2807
Doygun Birim Hacim Ağırlığı γ_d (gr/cm ³)	1.8202	1.7318	1.7834
Tane Özgül Ağırlığı Gs	2.6083	2.5370	2.5796
Doğal Su İçeriği ω_n (%)	49.64	41.92	45.29
Tabii Boşluk Oranı e (%)	1.09	0.95	1.01
Tabii Porozite n (%)	52.23	48.84	50.27

Çizelge 4.2 Balıkesir - Çağış Köyü numunelerinin fiziksel özellikleri.

ÖZELLİKLER	DEĞİŞİM ARALIĞI		
	En Çok	En Az	Aritmetik Ortalama
Doğal Birim Hacim Ağırlığı γ_n (gr/cm ³)	1.6390	1.5289	1.5944
Kuru Birim Hacim Ağırlığı γ_k (gr/cm ³)	1.3409	1.0642	1.1646
Doygun Birim Hacim Ağırlığı γ_d (gr/cm ³)	1.7803	1.6317	1.6840
Tane Özgül Ağırlığı Gs	2.4656	2.3966	2.4309
Doğal Su İçeriği ω_n (%)	68.44	56.80	63.75
Tabii Boşluk Oranı e (%)	1.31	0.78	1.10
Tabii Porozite n (%)	56.75	43.94	51.93

4.1.1 Tane apı dağılımları

Yağcılı ve Çağış Köyü numunelerinin tane boyu dağılımlarının belirlenmesi için elek ve hidrometre deneyleri yapılmıştır. Bu sahalara ait numunelerinin çakıl, kum, silt ve kil tane çapı bileşenlerinin ağırlıkça yüzdelerinin genel istatistiksel değerlendirme sonuçları izelge 4.3 ve 4.4'de verilmiştir. Buna göre, Yağcılı sahasındaki zemin ortalama ve yaklaşık yüzde ağırlık olarak % 0.00 akıl, % 15.5 Kum, % 67.3 Silt ve % 17.6 Kil tane boyundaki malzemelerden, Çağış sahası zeminleri ise % 0.00 akıl, % 14.6 Kum, % 57.7 Silt ve % 27.5 Kil tane boyundaki malzemelerden oluşmaktadır.

Tane apı dağılımları zeminlerin birçok mühendislik özelliğini etkilemektedir. Bu özelliklerden başlıcaları geçirimlilik, mukavemet, sıkışabilirlik ve dondan etkileşimdir [23].

İri ve temiz taneler yüksek sıvı geçirgenliğine sahip iken, % 90'lara varan ince taneden oluşan Yağcılı ve Çağış Köyü numunelerinin, iri taneli malzemelerden daha az geçirgen olacağı şüphesizdir. Geçirimlilik özelliği bu tez kapsamında permeabilite deneyi bölümünde daha ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

İyi derecelenmiş zeminler, uygulanan yükler altında, kötü derecelenmiş veya üniform zeminlerden daha az sıkışma göstermektedir. İyi derecelenmiş zeminlerdeki iri tanelerin çevresindeki boşluklar, ince taneler tarafından doldurulmakta ve böylece zemin içinde fazla taneler arası boşluk kalmamaktadır. Bu yüzden bu tip zeminlerde sıkışma, kötü derecelenmiş veya üniform zeminlerden daha az olacaktır. ağış ve Yağcılı numuneleri üniform zemine yakın olduğundan, sıkışması iyi derecelenmiş zeminlere oranla daha fazla olacaktır. Düzenli katı atık sahaslarında

Çizelge 4.3 Yağcılı Köyü numunelerinin tane boyu dağılımları.

Tane Boyu (%)	Değişim Aralığı		Ortalama
	En Az	En Çok	
Çakıl	0.00	0.00	0.00
Kum	10.4	19.6	15.5
Silt	59.3	75.2	67.3
Kil	12.9	24.2	17.6

Çizelge 4.4 Çağış Köyü numunelerinin tane boyu dağılımları.

Tane Boyu (%)	Değişim Aralığı		Ortalama
	En Az	En Çok	
Çakıl	0.00	0.00	0.00
Kum	13.1	16.2	14.6
Silt	52.6	68.0	57.7
Kil	17.3	34.1	27.5

kullanılan zeminlerin sıkıştırılarak serilmekte olduğu Düzenli Katı Atık Sahalar bölümünde bahsedilmiştir. Malzemelerin sıkıştırılarak serilmesi onların geçirimsizliğini azaltmakta olduğundan, bu tip kullanım alanlarında sıkışabilir kil zeminler tercih edilmektedir.

Zeminlerin dondan etkilenme oranı da tane çapı dağılımına bağlı olmaktadır. Farklı tane boyutunda malzeme içeren bir zemin soğuk ve sıcak etkisine maruz kalırsa, farklı boyuttaki tanelerin büzülüp genişmesi sonucunda hacim değişimleri farklı olacaktır ve bu da zeminin mukavemetini azaltacaktır [23]. Yağcılı ve Çağış sahalarındaki zeminin sıcaklık – soğukluk karşısındaki büzülmesi ve genişmesi her yerinde yaklaşık aynı olacak ve mukavemetini farklı boyutta tane içeren malzemelere göre daha fazla koruyacaktır.

Yukarıda sıralanan zeminlerin mühendislik özellikleri tane çapından etkilendiği için değişik amaçlarla malzeme seçiminden tane çapı dağılımı belirleyici rol oynamaktadır.

4.1.2 Kıvam Limitleri

İnce taneli zeminlerin mühendislik davranışları büyük ölçüde içerdikleri su miktarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Killi bir zeminin kıvamı, içindeki su miktarı artırılarak katı durumdan viskoz bir sıvı kıvamına kadar değiştirilebilmektedir. Buna bağlı olarak, zeminin mukavemeti, yük altında şekil değiştirmesi ve sıkışma gibi mühendislik özelliklerinde farklılıklar meydana gelmektedir [23]. Killerin kıvamında su içeriğine bağlı olarak meydana gelen değişimleri deneysel olarak saptayabilmek için kıvam limitleri tanımlanmıştır. Çağış ve Yağcılı numunelerinin kıvam limitlerini belirlemek amacıyla 12 adet numune üzerinde TSE 1900'a göre laboratuvar deneyleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5 ve 4.6'da verilmiştir.

Bu çizelgelerdeki ortalama değerler göz önüne alındığında, Yağcılı bölgesi numuneleri daha düşük plastisiteli ve daha az kil boyu tane içerdiği, Çağış bölgesi numunelerinin ise daha yüksek plastisiteli ve daha çok kil boyu tane içerdiği söylenebilir.

Genel olarak, zeminin plastisitesi arttıkça sıkışma ve şişme potansiyeli artmakta, su geçirgenliği azalmakta, arazi kazı ve dolgu işlemleri sırasında ise zorluklarla karşılaşmaktadır [23].

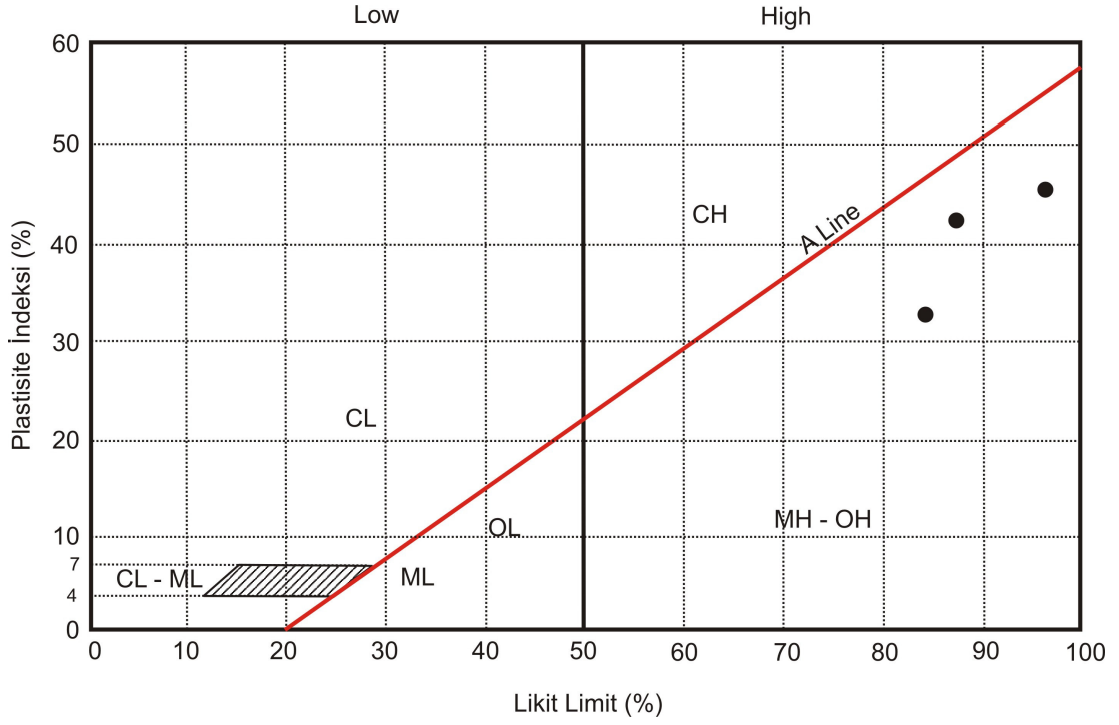
Kıvam limitlerinden likit limit ve plastisite indisi değerleri kullanılarak, örnekler birleştirilmiş zemin sınıflama sistemine göre sınıflandırılmışlardır. Numunelerin plastisite kartındaki dağılımları Şekil 4.1 ve 4.2 de gösterilmiştir. Bu şekillerden de görüldüğü gibi, Yağcılı bölgesi ve Çağış bölgesi numuneleri MH grubunda yer almaktadır.

Çizelge 4.5 Savaştepe – Yağcılı Köyü numunelerinin kıvam limitleri ve plastisite indeksi değerleri.

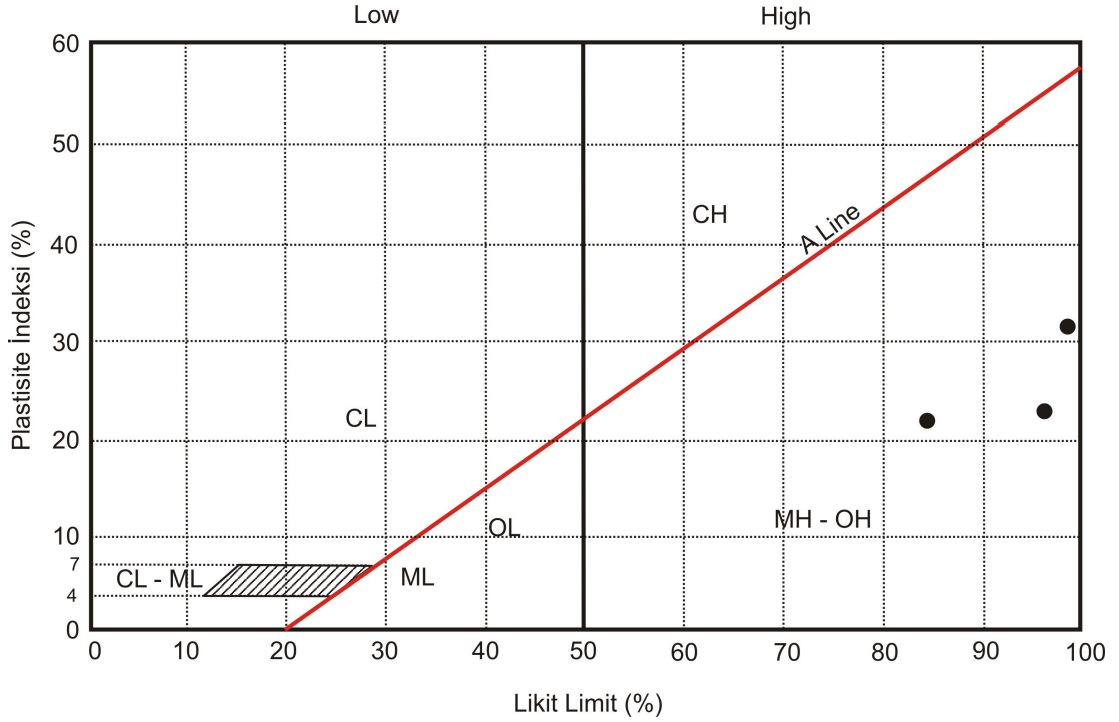
Kıvam limitleri ve plastisite indeksi (%)	Değişim aralığı		Aritmetik ortalama
	En az	En çok	
Likit limit (LL)	83.10	96.00	88.77
Plastik limit (PL)	44.71	51.46	49.03
Plastisite indeksi (PI)	32.17	44.54	40.41
Kıvamlılık indeksi (I _c)	1.04	1.21	1.125
Aktivite (A)	1.33	3.45	2.57
Likidite indeksi (I _L)	- 0.20	- 0.04	- 0.1

Çizelge 4.6 Balıkesir – Çağış Köyü numunelerinin kıvam limitleri ve plastisite indeksi değerleri.

Kıvam limitleri ve plastisite indeksi (%)	Değişim aralığı		Aritmetik ortalama
	En az	En çok	
Likit limit (LL)	83.57	99.12	92.94
Plastik limit (PL)	60.61	72.84	66.93
Plastisite indeksi (PI)	22.96	31.79	26.01
Kıvamlılık indeksi (I _c)	1.04	1.19	1.133
Aktivite (A)	0.68	1.32	1.00
Likidite indeksi (I _L)	- 0.19	- 0.04	- 0.13



Şekil 4.1 Savaştepe – Yağcılı Köyü numunelerinin plastisite kartı üzerinde dağılımları.



Şekil 4.2 Balıkesir – Çağış Köyü numunelerinin plastisite kartı üzerinde dağılımları.

Çizelge 4.7 Burmister (1951) plastisite indeksi sınıflandırması [24].

Plastisite indeksi (PI %)	Plastisite Derecesi	Tanım
0	Plastik değil	Silt
1-5	Önemsiz derecede plastik	Killi silt
5-10	Düşük plastisiteli	Silt ve kil
10-20	Orta plastisiteli	Kil ve silt
20-40	Yüksek plastisiteli	Siltli kil
>40	Çok yüksek plastisiteli	Kil

Çizelge 4.8 Leonards (1962) plastisite indeksi sınıflandırması [25].

Plastisite İndeksi (PI)	Plastisite Derecesi
0 – 5	Plastik değil
5 - 15	Az plastik
15 - 40	Plastik
>40	Çok plastik

Ayrıca Yağcılı Köyü ve Çağış Köyü numuneleri Burmister (1951) (Çizelge 4.7) ve Leonards (1962) (Çizelge 4.8) plastisite indeksine dayalı sınıflandırmaları yapılmıştır [24, 25]. Burmister (1951) sınıflamasına göre Yağcılı numuneleri “yüksek – çok yüksek plastisiteli”, Çağış numuneleri ise “yüksek plastisiteli” zemin olarak tanımlanmıştır [24]. Leonards (1962) plastisite indeksi sınıflamasına göre ise Yağcılı numuneleri “plastik – çok plastik”, Çağış numuneleri ise “plastik” zemin olarak belirlenmiştir [25].

Zeminin tabii su muhtevasının kıvam limitleri ile karşılaştırılması bize o zeminin mukavemeti hakkında bir fikir vermektedir. Bu karşılaştırmayı yapmak için

Çizelge 4.9 Savaştepe – Yağcılı ve Balıkesir – Çağış Köyü numunelerinin Ulusay (2001)’in kıvamlılık indeksine göre sınıflandırması [26].

Kıvamlılık İndeksi (Ic)	Tanımlama
< 0	Akışkan (Çamur)
0 – 0.25	Çok yumuşak
0.25 – 0.50	Yumuşak
0.50 – 0.75	Orta
0.75 – 1.00	Katı
> 1.00	Çok katı

Çağış ve Yağcılı numunelerinin kıvamlılık indisi, likitlik indisi ve aktivite katsayıları hesaplanmış ve Çizelge 4.5 ve 4.6’da gösterilmiştir.

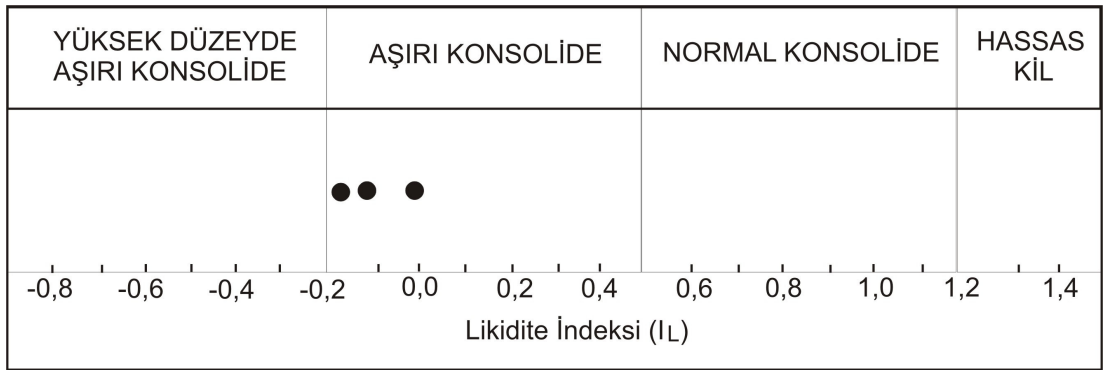
Ulusay (2001)’in kıvamlılık indeksi sınıflamasına göre Yağcılı Köyü ve Çağış Köyü numuneleri ortalama değerlerine göre çok katı olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.9) [26].

Aktivite, plastisite indisinin zeminin 0.002 mm çapına karşılık gelen geçen yüzdesine oranı olarak tanımlanır [27]. Örneklerin aktivite sınıflaması, Gillot (1987)’e göre yapılmıştır [28]. Yapılan sınıflamaya göre Çağış numuneleri ortalama aktivite değerine göre normal killer grubunda, Yağcılı numuneleri ise ortalama aktivite değerine göre aktif killer grubunda yer almaktadır.

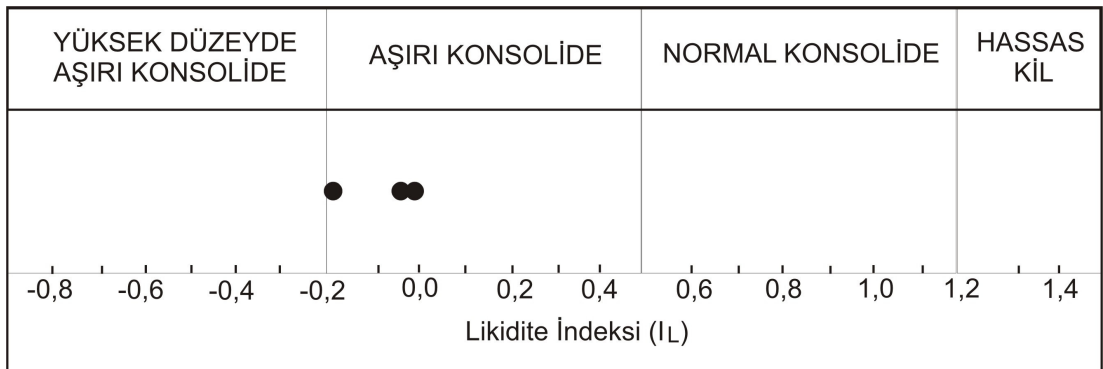
Yüzeyde olanlar hariç, doğal kil tabakaları, likit ile plastik zeminler arasında kalan bir su içeriğine sahiptir. Likidite indeksi, bir zeminin doğal su içeriği ile plastik limiti arasındaki farkın plastisite indeksine oranıdır ve I_L ile gösterilir. Likidite indeksi 0 ve 1 arasında olan killer “plastik”, 0’dan küçük olanlar “katı – sert”, 1 den büyük olanlar ise “sıvı” olarak tanımlanmaktadır [29]. Elde edilen likidite indeksi değerlerine göre Çağış ve Yağcılı numunelerinin her ikisi de katı – sert olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.10 Gillot (1987) Aktivite Sınıflaması [28].

Aktif olmayan killer	< 0.75
Normal killer	$0.75 - 1.25$
Aktif killer	$1.25 >$



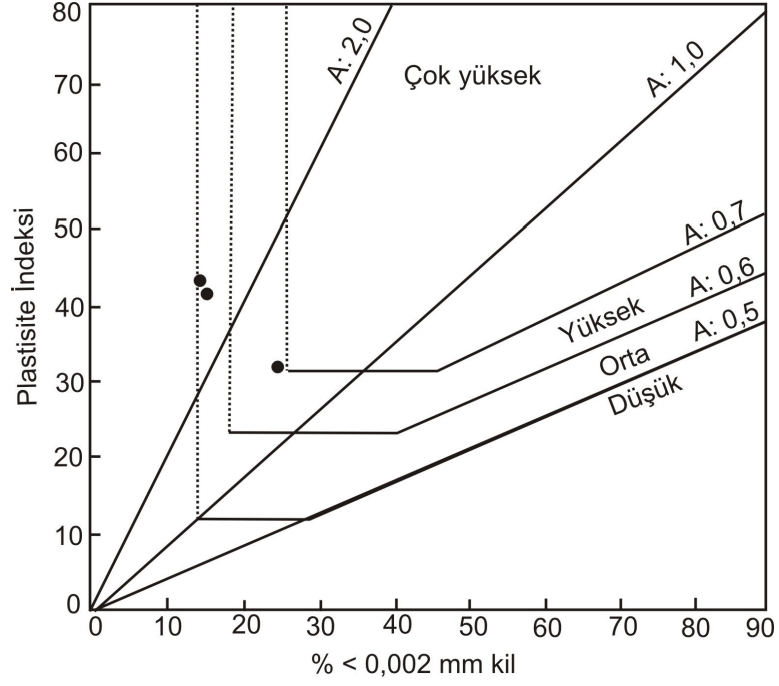
Şekil 4.3 Çağış Köyü numunelerinin likidite indeksine göre sınıflaması [30, 31].



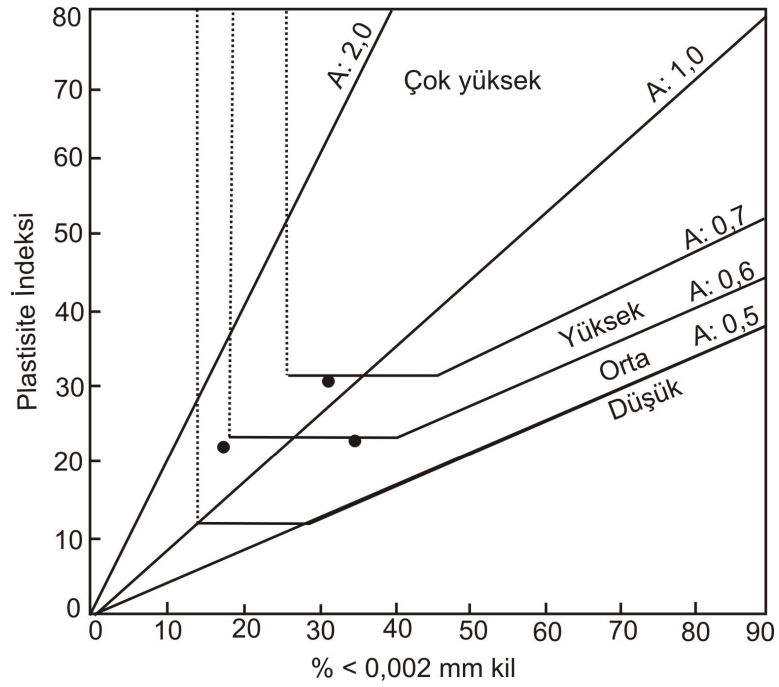
Şekil 4.4 Yağcılı Köyü numunelerinin likidite indeksine göre sınıflaması [30, 31].

İnce taneli zeminlerde likidite indeksi konsolidasyon derecesi hakkında bir bilgi verebilmektedir. Bu doğrultuda Yağcılı ve Çağış numunelerinin Reminger ve Rutledge, (1952); Means ve Parcher, (1963) likidite indeksine göre sınıflandırması yapılmış ve Şekil 4.3 ve 4.4’de gösterilmiştir [30, 31]. Buna göre Çağış ve Yağcılı Köyü numuneleri aşırı konsolide killer grubunda yer almaktadır.

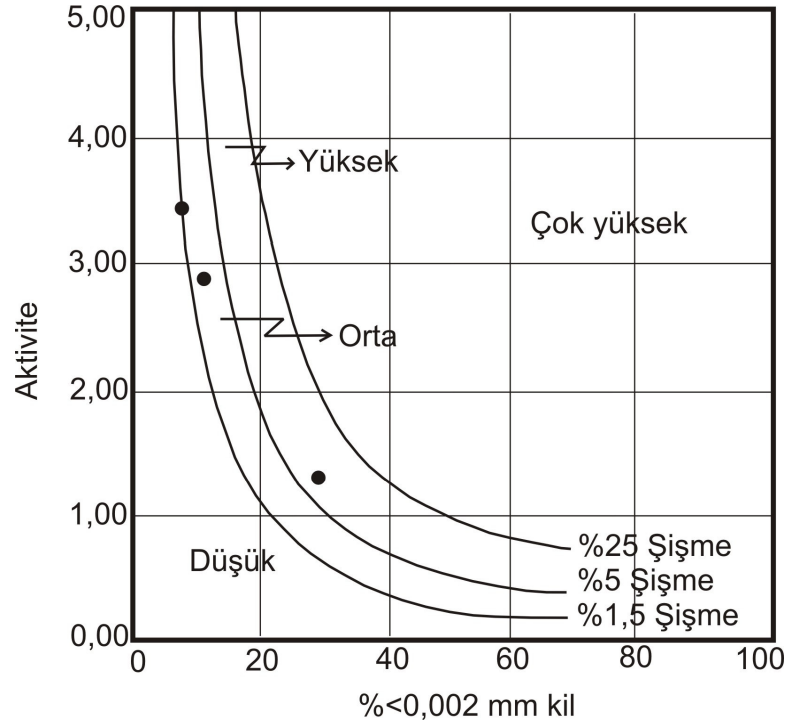
Baraj inşaatı, havaalanı inşaatları ve katı atık sahaları gibi önemli yapılarda kullanılacak killi toprakların bünyelerine su almaları durumunda şişme davranışlarını önceden tahmin edebilmek için şişme potansiyeli bakımından değerlendirilmesinde büyük yarar vardır. Buradan hareket edilerek, Çağış ve Yağcılı zemin örnekleri Van der Merve (1964), Ulusay (2001) ve Darkshanamathy ve Raman (1973) şişme potansiyeli sınıflama abaklarındaki dağılımları Şekil 4.5 – 4.10’da gösterilmiştir [26, 32, 33]. Van der Merve (1964) ve Ulusay (2001)’e göre Çağış ve Yağcılı numuneleri “orta - yüksek şişme potansiyelli” topraklar olarak tanımlanmışlardır [26, 32]. Darkshanamathy ve Raman (1973)’a göre ise Çağış ve Yağcılı numuneleri “çok yüksek şişme potansiyelli” topraklar olarak tanımlanmışlardır [33].



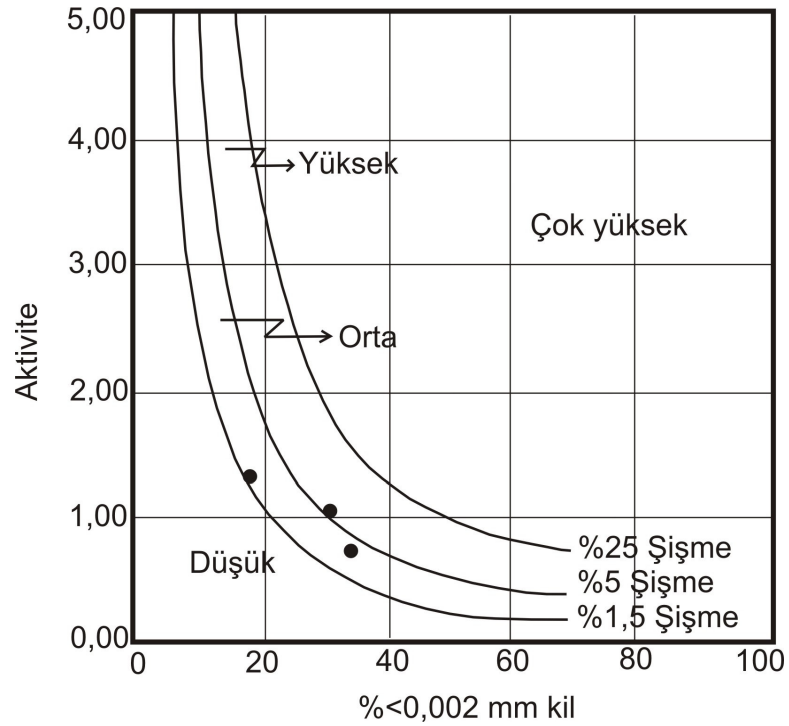
Şekil 4.5 Geçirimsiz malzeme olarak kullanılacak Yağcılı numunelerinin Van Der MERWE (1964)'nin şişme potansiyeli abağı üzerindeki dağılımları [32].



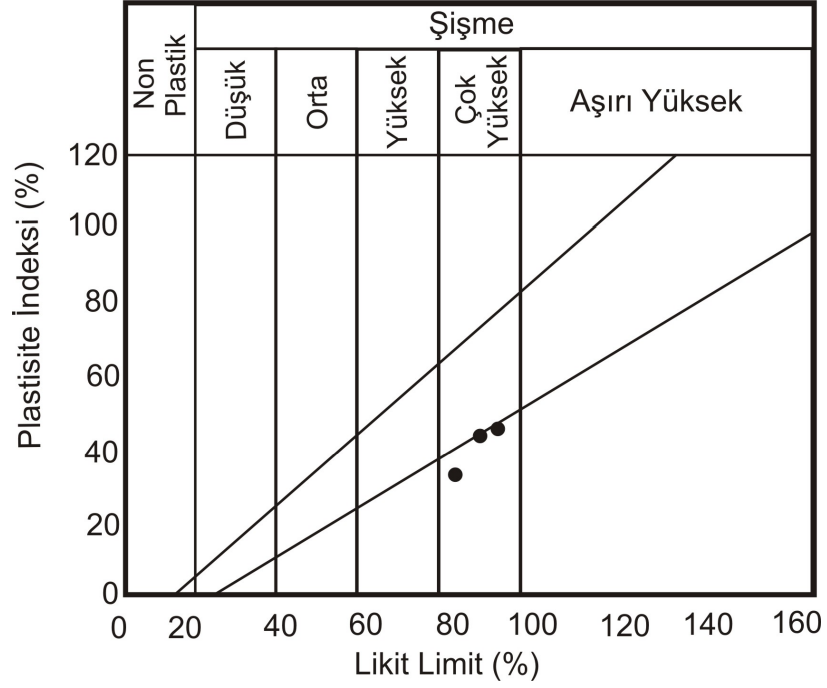
Şekil 4.6 Geçirimsiz malzeme olarak kullanılacak Çağış numunelerinin Van Der MERWE (1964)'nin şişme potansiyeli abağı üzerindeki dağılımları [32].



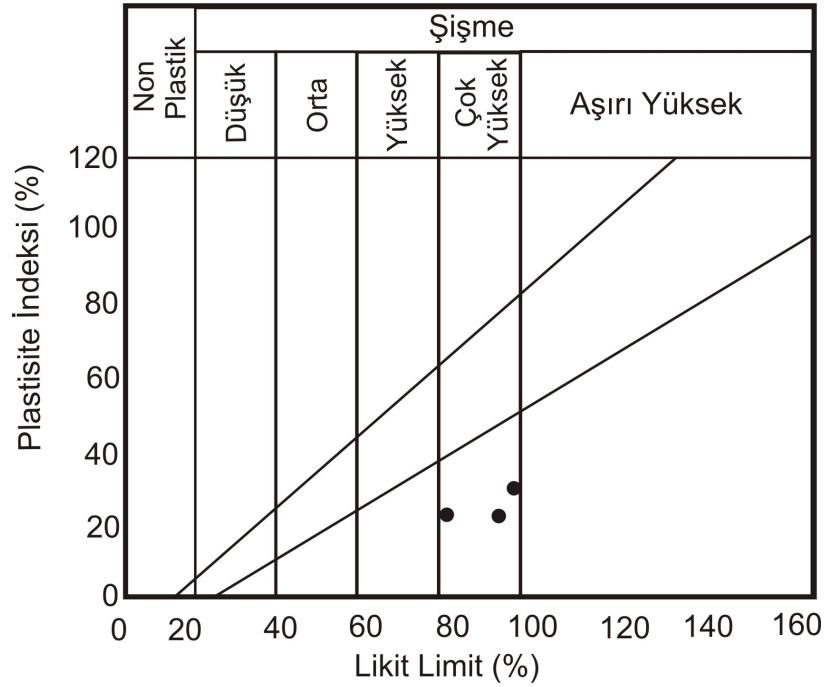
Şekil 4.7 Geçirimsiz malzeme olarak kullanılacak Yağcılı numunelerinin Ulusay (2001)'in şişme potansiyeli abağı üzerindeki dağılımları [26].



Şekil 4.8 Geçirimsiz malzeme olarak kullanılacak Çağış numunelerinin Ulusay (2001)'in şişme potansiyeli abağı üzerindeki dağılımları [26].



Şekil 4.9 Geçirimsiz malzeme olarak kullanılacak Yağcılı numunelerinin Darkshanamanthy ve Raman (1973)'in şişme potansiyeli abağı üzerindeki dağılımları [33].



Şekil 4.10 Geçirimsiz malzeme olarak kullanılacak Çağış numunelerinin Darkshanamanthy ve Raman (1973)'in şişme potansiyeli abağı üzerindeki dağılımları [33].

4.1.3 Kompaksiyon

Katı atık sahalarında drenaj sistemini olumsuz yönde etkilemesini, baraj inşaatlarında gövdede meydana gelebilecek oturmaları en az düzeye indirmek ve olası şev yenilmelerinde güvenlik faktörünü arttırmada, kompaksiyonun en iyi koşullarda yapılmasının önemli bir yeri vardır. Arazide kompaksiyon işleminin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için kompaksiyon karakteristiklerinin laboratuarda standartlara uygun ve doğru bir şekilde belirlenmesi zorunludur [11].

Katı atık depolama yeri yapılacak olan sahanın taban zemini, alt yapı birimleri olan geçirimsiz kil tabaka ve drenaj sisteminin oluşturulmasından önce sıkıştırılarak, taban zemininde farklı oturmalar bir derece önlenmiş olur. Taban zeminindeki farklı oturmalar, katı atık depolama alanındaki drenaj sisteminde yetersiz veya ters eğimlerin oluşmasına sebep olabilmektedir [11]. Yetersiz veya ters eğimli bir drenaj sistemi, katı atık sahasını düzenli olmaktan çıkarıp tam bir vahşi çöp alanına çevirmektedir ve yapılan tüm masrafların boşa gitmesi demektir. Bu yüzden gerekli önlemleri en başından, geçirimsiz kil tabakası serilmeden önce katı atık saha taban zemininden başlanmalıdır.

Kompaksiyon; zeminin, tabaka tabaka serilerek, silindirleme, vibrasyon (titreşim) uygulama, tokmaktama gibi işlemlerle sıkıştırılmasına denilir. Bu işlemlerle, zemin taneleri daha az boşluklu yerleşerek, zeminin boşluk oranı azaltılır. Yol, havaalanı, toprak baraj, toprak dolgu inşaatlarında, zemin belli bir kalınlıkta serilerek, belli bir su muhtevasında, uygun bir sıkıştırma aracı ile sıkıştırılır [27].

2872 sayılı çevre yasasının ilgili katı atık depolama yeri yönetmeliklerinde, mineral sızdırmazlık kil tabakasının kalınlığı, sıkıştırılmış olarak evsel katı atık depolama tesisinde 60 cm, tıbbi ve tehlikeli katı atık depolama tesislerinde ise 90 cm dir. Bu tabakalar en çok 30 cm'lik tabakalar halinde sıkıştırılarak döşenir [12]. Zeminin sıkıştırılması teknik anlamda, kuru birim hacim ağırlığının standart enerji uygulaması ile en uygun su içeriğinde (optimum) alabileceği en sıkı değere getirilmesini kapsamaktadır. Belli bir ince taneli zeminin ulaşılabilen en sıkı değeri

($\gamma_{k \text{ maks}}$) ve sıkıştırma için gereken optimum su içeriği (ω_{opt}) değeri, laboratuarda standart proktor deneyi ile belirlenmektedir.

Sıkıştırma işlemi sonucunda zeminin [11]:

- Kayma direnci yükselir
- Sıkışabilirliği azalır
- Geçirimsizliği azalır
- Şişme – büzülme davranışı kontrol altına alınabilir
- Aşınabilirliği azalır veya gecikir
- Sıvılaşma yeteneği kaybolabilir
- Dondan aşırı etkilenmez

Bu tez kapsamında Yağcılı ve Çağış Köyü numuneleri üzerinde laboratuarda, standart proktor kompaksiyon deneyleri yapılmış ve numunelerin maksimum kuru birim hacim ağırlığı ($\gamma_{k \text{ maks}}$) ve buna karşılık gelen optimum su içeriklerinin (ω_{opt}) istatistiksel değerlendirme sonuçları toplu olarak Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Bu çizelgeden de görüldüğü gibi Yağcılı ve Çağış numunelerinin ortalama maksimum kuru birim hacim ağırlığı ve ortalama optimum su içeriği değerleri sırası ile 1.47 gr/cm^3 , 1.42 gr/cm^3 ve % 26, % 28 olarak belirlenmiştir.

Bu sonuçlara göre Yağcılı numunelerini, Çağış numunelerine göre daha iyi sıkıştırılabilme özelliklerine sahiptirler. Daha iyi sıkıştırılabilme özelliğinden dolayı Yağcılı numuneleri, Çağış numunelerine göre daha az geçirimsiz olup, katı atık sahalarında geçirimsiz malzeme olarak kullanılması daha faydalı olacaktır. Ayrıca Yağcılı numuneleri daha fazla sıkıştırılarak Çağış numunelerine göre kayma direnci daha da yükselecek, aşınabilirliği ve dondan etkilenmesi daha az olacaktır. Bu özelliklerinden dolayı da katı atık sahalarındaki kullanımı açısından dayanımı ve ömrü daha fazla olacaktır.

Malzemelerin sıkıştırma işlemi ile şişme – büzülme özelliklerinin kontrol altına alınabilmesi, katı atık sahalarında drenaj sistemindeki yetersiz veya ters eğim sebebi ile oluşacak olumsuz durumu bir miktar engellemiş olur [11]. Yağcılı

Çizelge 4.11 Yağcılı ve Çağış numunelerinin kompaksiyon özellikleri.

Zemin Örneği	γ_k maks (gr/cm ³)			ω_{opt} (%)		
	En az	En çok	Ortalama	En az	En çok	Ortalama
Yağcılı	1.40	1.56	1.47	23	30	26
Çağış	1.38	1.50	1.42	26	30	28

numunelerine kıyasla daha az sıkışabilen Çağış Köyü numunelerinden yararlanılmak istenirse, sağlanacak malzemenin sıkıştırılması işlemlerinde, sıkıştırılabilme performansını arttıran donanım kullanılması gerekebilecektir.

4.1.4 Permeabilite

Düzenli katı atık depolama yapılacak sahada kullanılacak geçirimsiz malzemenin uygun olup olmadığını belirlemeye yarayacak en önemli özelliklerden biri de zeminin geçirimsizliğidir. İstenilen kompaksiyon derecesinde sıkıştırılmış olan kil tabakasının geçirimsizlik katsayısının minimum 1×10^{-8} m/sn (1×10^{-6} cm/sn) olması öngörülmektedir [12]. Yönetmeliklerdeki geçirimsizlik değerlerinin sağlanması ile katı atık sahalarındaki çöp sızıntı sularının yeraltı ve yüzey sularına karışması engellenmiş olmaktadır.

Yağcılı ve Çağış numunelerinin geçirimsizlik (permeabilite) özelliğini belirlemek amacıyla çalışma sahasından alınan numuneler üzerinde maksimum kuru birim hacim ağırlığında ve optimum su içeriğinde laboratuarda düşen seviyeli permeabilite deneyi yapılmış ve sonuçları Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Bu elde edilen sonuçlara göre Yağcılı ve Çağış numunelerinin ortalama permeabilite değerleri sırası ile 5.6×10^{-8} cm/sn ve 2.49×10^{-7} cm/sn olup, her iki bölgenin de zemin örnekleri Çevre Bakanlığı’nın Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’ne göre kullanılması uygundur [12]. Ayrıca Gillot (1968) zeminler için

Çizelge 4.12 Yağcılı ve Çağış numunelerinin permeabilite değerleri.

Örnek Yeri	Permeabilite Değeri (k) (cm/sn)		
	En Düşük	En Yüksek	Ortalama
Yağcılı Köyü	1.0×10^{-8}	1.1×10^{-7}	5.6×10^{-8}
Çağış Köyü	1.0×10^{-7}	4.98×10^{-7}	2.49×10^{-7}

k (cm/sn)	Geçirgenlik Katsayısı											
	10^2	10^1	10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}
Drenaj Özelliği	Çok İyi Drenaj		İyi Drenaj				Zayıf Drenaj		Pratik Olarak Geçirimsiz			

Şekil 4.11 Zeminler için geçirgenlik katsayısı çizelgesi [34].

geçirgenlik katsayısı çizelgesine göre Yağcılı ve Çağış numuneleri pratik olarak geçirimsizdir (Şekil 4.11) [34].

4.1.5 Serbest Basınç Mukavemeti

Örselenmemiş numunelerin alınabildiği kohezyonlu zeminler için uygun olan bir deneydir. Örselenmemiş silindirik ($D=3.8$ cm, $H=7.6$ cm) numune, yanal basınç olmaksızın ($\sigma_3=0$), düşey basınç gerilmesine (σ_1) tabi tutulur. Kırılma anındaki en büyük yük (P_{maks}), zemin örneğinin A en kesit alanına bölünerek, serbest basınç mukavemeti (q_u) bulunur. Ayrıca, serbest basınç deneyinde, kohezyon (c), serbest basınç mukavemetinin yarısına eşittir [27]. Yağcılı ve Çağış numunelerinin serbest basınç mukavemet değerleri ve kohezyon değerleri Çizelge 4.13'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.13 Yağcılı ve Çağış numunelerinin serbest basınç (q_u) ve kohezyon (c) değerleri.

Numune Yeri	Serbest Basınç Değeri (q_u) (kg/cm^2)			Kohezyon (c)		
	En Düşük	En Yüksek	Ortalama	En Düşük	En Yüksek	Ortalama
Yağcılı	2.19	2.65	2.42	1.09	1.32	1.22
Çağış	2.40	2.71	2.51	1.20	1.35	1.25

Çizelge 4.14 Ulusay (2001) serbest basınç mukavemetine göre sınıflandırması [26].

q_u (kg/cm^2)	Kıvam	Açıklaması
< 0.4	Çok yumuşak zemin	Parmakla kolayca yoğrulur. Kolaylıkla ezilebilir ve belirgin ezilme izleri gösterir.
0.4 – 0.8	Yumuşak zemin	Parmakla zor yoğrulur. Kolay ezilmez, hafif ezilme gösterir.
0.8 – 1.5	Sıkı zemin	Parmaklarla yoğrulması çok zordur, tırnak batırılabilir. Kürekle kazılması zordur.
1.5 – 6.0	Sert zemin	Parmakla yoğrulmaz. Kürekle kazılamaz. Kazı için kazma gerekir.
6.0 – 10.0	Çok sert zemin	Çok katı. Kazma ile parçalanması güç. Kazı için kompresörlü delici gerekir.

Kohezyonlu zeminler, serbest basınç mukavemetine göre sınıflandırılabilirler. Ulusay (2001) ve Uzuner (1996)'in serbest basınç mukavemetine göre sınıflandırma tabloları sırası ile Çizelge 4.14 ve 4.15'de verilmiştir [26, 27]. Buna göre Yağcılı ve Çağış numuneleri her iki sınıflandırmada da sert, tırnak ile çizilebilir, parmakla yoğrulamaz, kürekle kazılamaz özelliklerini göstermektedir.

Çizelge 4.15 Uzuner (1996) serbest basınç mukavemetine göre sınıflandırması [27].

q_u (kg/cm²)	Kıvam	Açıklaması
< 0.25	Çok yumuşak	Yumruk kolayca girer
0.25 – 0.5	Yumuşak	Baş parmak kolayca girer
0.5 – 1.0	Yumuşak – orta sert	Baş parmak zorlukla girer
1.0 – 2.0	Orta sert	Baş parmak iz bırakır
2.0 – 4.0	Sert	Baş parmak tırnağı ile çizilir
> 4.0	Çok sert	Tırnakla zorlukla çizilir

5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Çağış ve Yağcılı köyü numunelerinin ortalama tane özgül ağırlığı 2.40 gr/cm³'ün üzerindedir (2.43 gr/cm³ – 2.57 gr/cm³). Yağcılı köyü numuneleri ortalama olarak % 15.5 kum, % 67.3 silt ve % 17.6 kil tane boyu malzemelerden oluşurken, Çağış köyü numuneleri % 14.6 kum, % 57.7 silt ve % 27.5 kil tane boyutlu malzemelerden oluşmaktadır. Bu ağırlıkça yüzde bileşenlerine göre her iki malzeme alanındaki numuneler ince taneli zemin karakterinde olup, Çağış numuneleri, Yağcılı numunelerine kıyasla daha fazla kil tane boyutunda malzeme içermektedir.

Çağış numunelerinin kil tane boyu içerikleri, Yağcılı numunelerine göre daha fazla olduğu için plastisite indeksleri ve likit limitleri de yüksek değerlerle temsil edilmektedir.

Yağcılı ve Çağış numunelerinin sırası ile ortalama likit limit değerleri % 88.77, % 92.94 ve plastik limit değerleri % 49.03, % 66.93, bu değerlere göre plastisite indisi değerleri yine sırası ile % 40.41 ve % 26.01 olarak belirlenmiştir. Elde edilen likit limit ve plastisite indeksi değerlerine göre numuneler, plastisite kartunda “MH” yani yüksek plastisiteli silt olarak belirlenmiştir.

Yağcılı ve Çağış numunelerinin Burmister (1951) ve Leonards (1962) plastisite indeksine dayalı sınıflandırmaları yapılmıştır. Burmister (1951) sınıflandırmasına göre Yağcılı numuneleri “yüksek – çok yüksek plastisiteli”, Çağış numuneleri ise “yüksek plastisiteli” malzeme olarak belirlenmiştir. Leonards (1962) plastisite indeksi sınıflamasına göre ise Yağcılı numuneleri “plastik – çok plastik”, Çağış numuneleri ise “plastik” olarak belirlenmiştir.

Likidite indeksi 0 ve 1 arasında olan killer “plastik”, 0’dan küçük olanlar “katı – sert”, 1 den büyük olanlar ise “sıvı” olarak tanımlanmaktadır. Elde edilen likidite indeksi değerlerine göre Çağış ve Yağcılı numunelerinin her ikisi de katı – sert olarak belirlenmiştir.

Ulusay (2001)’ın kıvamlılık indeksi sınıflamasına göre Yağcılı Köyü ve Çağış Köyü numuneleri ortalama değerlerine göre çok katı olarak belirlenmiştir.

Örneklerin aktivite sınıflaması, Gillot (1987)’e göre yapılmıştır. Yapılan sınıflamaya göre Çağış numuneleri ortalama aktivite değerine göre normal killer grubunda, Yağcılı numuneleri ise ortalama aktivite değerine göre aktif killer grubunda yer almaktadır.

Çağış ve Yağcılı numuneleri, Van Der Merwe (1964) ve Ulusay (2001) şişme potansiyeli abaklarında “orta – yüksek şişme potansiyelli”, Darkshanamany ve Raman (1973) şişme potansiyeli abağında ise “çok yüksek şişme potansiyelli” malzeme olarak belirlenmiştir. Düzenli katı atık sahalarında şişen malzemelerin kullanılması durumunda drenaj sisteminde farklı eğimler oluşabilmekte, bu da yetersiz drenaja sebebiyet verebilmektedir. Bu tür şişen malzemelerin kullanılması durumunda kompaksiyon yapılarak serilmesi gerekmektedir. Kompaksiyonla malzemenin şişme – büzülme davranışı kontrol altına alınabilmektedir.

Kompaksiyon karakteristiklerinden ortalama maksimum kuru birim hacim ağırlık (γ_{kmax}) ve optimum su içeriği (ω_{opt}) sırasıyla Yağcılı için 1.47 gr/cm^3 , % 26 ve Çağış için 1.42 gr/cm^3 , % 28 olarak belirlenmiştir. Bu verilere göre Yağcılı numuneleri, Çağış numunelerine göre daha fazla sıkıştırılabilme özelliğindedir. Daha fazla sıkışan malzemenin geçirimsizliği, aşınabilirliği ve dondan etkilenmesi daha az olmaktadır. Bu yüzden Yağcılı zemini sadece kompaksiyon karakteristiklerine göre, düzenli katı atık sahalarında kullanılması Çağış malzemelerine kıyasla daha yararlı olacaktır. Ancak sıkıştırma performansını arttıran donanımların kullanılması ile Çağış malzemeleri de düzenli katı atık sahalarında kullanılabilir.

Yağcılı ve Çağış numunelerinin düşen seviyeli permeabilite deneyinden elde edilen değerleri ortalama olarak sırası ile 5.6×10^{-8} cm/sn ve 2.49×10^{-7} cm/sn olarak belirlenmiştir. Bu değerlere göre Çağış ve Yağcılı numuneleri, Gillot (1968) geçirgenlik katsayısı çizelgesinde “pratik olarak geçirimsiz” olarak belirlenmiştir. Çevre Bakanlığı'nın 25.04.2002'de düzenlenen Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nde düzenli katı atık sahalarda kullanılacak kil tabakasının minimum geçirimsizlik katsayısı 1×10^{-8} m/sn olarak belirtilmiştir. Yağcılı ve Çağış numuneleri bu değerleri sağladığından, her ikisinin de düzenli katı atık sahalarda kullanılmasında bir sakınca yoktur.

Yağcılı ve Çağış numunelerinde serbest basınç deneyleri yapılmış ve sırası ile ortalama olarak 2.42 kg/cm^2 ve 2.51 kg/cm^2 olarak belirlenmiştir. Elde edilen değerler Ulusay (2001) ve Uzuner (1996)'in serbest basınç mukavemetine göre sınıflandırma tablolarında kullanılmıştır. Buna göre Yağcılı ve Çağış numuneleri her iki sınıflandırmada da sert, tırnak ile çizilebilir, parmakla yoğrulamaz, kürekle kazılamaz özelliklerini göstermektedir.

İnce taneli zeminlerde likidite indeksi konsolidasyon derecesi hakkında bir bilgi verebilmektedir. Bu doğrultuda Yağcılı ve Çağış numunelerinin Reminger ve Rutledge, (1952); Means ve Parcher, (1963) likidite indeksine göre sınıflandırması yapılmış ve “aşırı konsolide killer” grubunda yer almaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Helvacı, C., Alaca, O., “Bigadiç borat yatakları ve çevresinin jeolojisi ve mineralojisi”, *M.T.A. Dergisi*, 113, (1991), 61 – 92.
- [2] Ercan, T., Bigadiç çevresinin (Balıkesir) jeolojisi ve magmatik kayaçların petrolojisi ve kökensel yorumu, M.T.A. Jeoloji Dairesi, Şubat (1984).
- [3] Akyürek, B., ve Soysal, Y., “Kırkağaç – Soma (Manisa), Savaştepe – Korucu – Ayvalık (Balıkesir), Bergama (İzmir) civarının jeolojisi”. MTA Jeoloji Dairesi, Rapor No: 6452 (1978).
- [4] Ercan, T., “Dikili – Bergama – Çandarlı (Batı Anadolu) yöresinin jeolojisi ve magmatik kayaçların petrolojisi” *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 20, (1984), 47 – 60.
- [5] Akyürek, B., ve Soysal, Y., “Biga Yarımadası güneyinin (Savaştepe – Kırkağaç – Bergama – Ayvalık) temel jeoloji özellikleri” *M.T.A. Dergisi*. 95/96, (1983).
- [6] İnci, U., Koçyiğit, A., Bozkurt, E., Arpalıyigit, İ., “Soma ve Kırkağaç grabenlerinin Kuvaterner jeolojisi, Batı Anadolu Kuvaterner Çalıştayı IV, İstanbul, (2003).
- [7] ÇONA A., Soma (Manisa) – Savaştepe - Sarıbeyler (Balıkesir) dolayının jeolojisi, Doktora tezi, Kocaeli Üniv. Fen Bil. Enst., Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli, (1999).
- [8] Nebert, K., “Bakırçay’ın güneyinde bulunan linyit kömürü ihtiva eden Soma / Manisa Vilayeti Neojen sahasının jeolojik durumları hakkında rapor”. MTA Rap., No. 3019, Ankara (1959).

[9] Tuncan, A., Tuncan, M., Güney, Y.. “Tabii zeolitlerin çöp deponi alanında kullanılabilirliği”, 9. Ulusal Kil Sempozyumu, İstanbul, (1999) 143 – 148.

[10] Tuncan, A., Erkılavuz, D., Tuncan, M., Güney, Y., “Çöp deponi alanı için geçirimsiz kil tabakası dizaynı”, 8. Ulusal Kil Sempozyumu, Kütahya, (1997) 511 – 519.

[11] Alyanak, İ., İmançlı, G., Haldenbilen, S., “Katı atık depolama yeri düzenlenmesinde geoteknik ve yasal kurallar – uygulama örnekleri”, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi, İstanbul, (2004) 281 – 292.

[12] T.C. Çevre Bakanlığı, Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 14.03.1991 tarih ve 20814 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanmış.

[13] Türkiye İstatistik Kurumu Haber Bülteni, Sayı 210, (2005).

[14] Tchobanoglous, G., “Decentralised systems for waste water management and sustainable development”, On-Site '99 – Making On-site Wastewater Systems Work. R. Patterson (Ed.), Lanfax Lab, Armidale NSW, (1999) 1–8.

[15] McBean, E. A., Rovers, F. A., Farquher, G. J., Solid Waste Landfill Engineering and Design, Chapter 6, (1995) 7 – 260.

[16] Street, A. A., “Landfilling: The difference between continental European and British practice”, Proc. Inst. Civil Engineering, Geotechnical Engineering, Ground Panel; 10374, (1994) 41 – 46.

[17] Carol, J. M., Imad, S., Jeffry, S., “Heavy metal adsorption by landfill liners: Implication for landfill design”, Proc. of the Mediterranean Conference on Environmental Geotechnology, (1992) 167 – 172.

[18] <http://web.deu.edu.tr/erdin> (Mayıs, 2006) “Katı Atık Web Sitesi”.

[19] Türk Standartları, (1987), İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyle, TS 1900 (20.04.1987).

[20] Türk Standartları, (1975), İnşaat Mühendisliğinde Sondaj Yolları ile Örselenmiş ve Örselenmemiş Numune Alma Yöntemleri, TS 1901 (25.04.1975).

[21] Türk Standartları, (1975), Kayaçların Tek Eksenli Basma Dayanımlarının Tayini, TS 2028 (29.04.1975).

[22] Türk Standartları, (2000), İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin- Sınıflandırılması, TS 1500 (15.12.2000).

[23] Özaydın, K., Zemin Mekaniği, Birsen Yayınevi, İstanbul, 261 s.

[24] Burmister, D.M., "Identification and classification of soil", An appraisal and statement of principles, ASTM STP 113, Amer. Soc. For Test and Mat., Philadelphia, (1951).

[25] Leonards, G.A., (Editor), Foundation Engineering, Mc. Graw Hill Book Comp. (1962) p. 1139.

[26] Ulusay, R., Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler, Jeoloji Mühendisleri Odası yayını, no:38, Ankara, (2001).

[27] Uzuner, A. B., Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği, Teknik yayınevi, Ankara, (1996).

[28] Gillot, E. J., Clay in Engineering Geology, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, (1987) p. 468.

[29] Önalp, A., Geoteknik Bilgisi I, Çözümlü Problemlerle Zeminler ve Mekaniği, Birsen Yayınevi, (2002).

[30] Reminger, J., and Rutledge, P., “Use of Soil Mechanics Data Correlation and Interpretation of Lake Agassiz Sediments”, *J., Geol.* 60 (2), (1952) p. 180.

[31] Means, R. E., and Parcher, J. W., *Physical Properties of Soils*, Oklahoma State University, Charles. E. Merrill Publishing Comp, (1963).

[32] Van Der Merwe, D. H., “The Prediction of heave from the plasticity index and percentage clay friction of soils”, *Civil Engineers in South Africa*, Vol. 6, No. 6 pp. (1964) 103 – 106.

[33] Darkshanamathy, V. And Raman, V., “A simple method of identifying an expansive soils”, *Soils and Foundations*, Vol. 13, No. 1, (1973) 97 – 104.

[34] Gillot, E. J., *Clay in Engineering Geology*, Elsevier Publishing Company, (1968).