



**FATİH SULTAN MEHMET VAKIF ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ANABİLİM DALI
KÜLTÜREL MİRASIN KORUNMASI VE YÖNETİMİ
PROGRAMI**

**TÜRKİYE'DEKİ KERPIÇ İNŞAAT GELENEĞİNİN KORUNMASI İÇİN
SIKIŞTIRILMIŞ TOPRAK BLOK ÜRETİMİNDE FARKLI
STABİLİZATÖRLERİN KULLANILABİLİRLİĞİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mahmoud SAQR SAYED

İSTANBUL, 2020



**FATİH SULTAN MEHMET VAKIF ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ANABİLİM DALI
KÜLTÜREL MİRASIN KORUNMASI VE YÖNETİMİ
PROGRAMI**

**TÜRKİYE'DEKİ KERPIÇ İNŞAAT GELENEĞİNİN KORUNMASI İÇİN
SIKIŞTIRILMIŞ TOPRAK BLOK ÜRETİMİNDE FARKLI
STABİLİZATÖRLERİN KULLANILABİLİRLİĞİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

**Mahmoud SAQR SAYED
(170203018)
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Danışman
(Dr. Öğr. Üyesi Ömer DABANLI)**

İSTANBUL, 2020

29/07/2020

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Mimarlık Anabilim Dalı'nda 710203018 numaralı Mahmoud SAQR SAYED 'nın hazırladığı "Farklı Stabilizatörlerle Üretilmiş Sıkıştırılmış Kerpiç Blokların Restorasyon Uygulamalarında Kullanılabilirliği Üzerine Bir Araştırma" konulu Yüksek lisans tezi ile ilgili Tez Savunma Sınavı, 29/07/2020 Çarşamba günü saat 10 :00 'da yapılmış, sorulara alınan cevaplar sonunda adayın tezinin **OYBİRLİĞİ İLE KABULÜNE** karar verilmiştir.

Düzeltilme verilmesi halinde:

Adı geçen öğrencinin Tez Savunma Sınavı .../.../20... tarihinde, saat ...:.... da yapılacaktır.

Tez Adı Değişikliği Yapılması Halinde: Tez adının **Türkiye'deki Kerpiç İnşaat Geleneğinin Korunması için Sıkıştırılmış Toprak Blok Üretiminde Farklı Stabilizatörlerin Kullanılabilirliği Üzerine Bir Araştırma** şeklinde değiştirilmesi uygundur.

Jüri Üyesi	Tarih	İmza
(Danışman) Dr. Öğr. Üyesi Ömer DABANLI	29/07/2020	KABULÜNE
Doç. Dr. Genco BERKİN	29/07/2020	KABULÜNE
Prof. Dr. Yasin FAHJAN	29/07/2020	KABULÜNE
.....	29/07/2020
*.....	29/07/2020

*2. Danışman varsa doldurulacak

BEYAN/ ETİK BİLDİRİM

Bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bağlı olduğum üniversite veya bir başka üniversitedeki başka bir çalışma olarak sunulmadığını beyan ederim.

Mahmoud SAQR SAYED

İmza

TEŞEKKÜR

Kıymetli Aileme (Babam, Annem, Ablam, Abim), Vatanıma

إهداء إلى أبي و أمي ، أخي و أختي و لعائلتي جميعاً و وطني جميعاً.

Mahmoud SAQR SAYED

İmza

TÜRKİYE'DEKİ KERPIÇ İNŞAAT GELENEĞİNİN KORUNMASI İÇİN SIKIŞTIRILMIŞ TOPRAK BLOK ÜRETİMİNDE FARKLI STABİLİZATÖRLERİN KULLANILABİLİRLİĞİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Mahmoud SAQR SAYED

ÖZET

Anadolu coğrafyası, binlerce yıl önce bu bölgeye gelen toplumların, kültürlerin ve medeniyetlerin etkisiyle zenginleşmiş ve bu çeşitli medeniyetler döneminde inşa edilmiş olan ve günümüzde de hala varlığını sürdüren birçok kerpiç yapıya ev sahipliği yapmaktadır. Büyük bir kültürel değere sahip olan ve bölgede geçmiş ile geleceği canlandıracak olan kerpiç mimari mirasının, bu kültürel ve mimari zenginlik ile korunması gerekmektedir. Diğer bir deyişle, taşınmaz kültürel varlıkların korunması ve sürdürülebilir bir şekilde geleceğe aktarılması önemli bir gerekliliktir.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'deki kerpiç yapıların somut ve soyut miras boyutları ile korunması için uyumlu ve sürdürülebilir bir giriş oluşturmak ve kerpiç yapımın modern tekniklerini kullanarak bu bölgelerde yeni binalar geliştirme olasılığını araştırmaktır.

Tezin birinci bölümünde, çalışmanın amacı, kapsamı ve yöntemi hakkında bilgi verilmiştir. İkinci bölümde, kerpiç mimari mirasının UNESCO mevzuatı ışığında sürdürülebilirlik ile çevresel ve mimari uyumluluk açısından ele alınmış. bunun yanı sıra, restorasyon ve teknolojinin entegrasyonu açısından kerpiç mimari ve somut miras ilişkisi incelenmiştir. Üçüncü bölümde, toprak bileşenleri ve bunların oluşturan faktörler ve çeşitli kil mineralleri üzerinde durulmuştur. Dördüncü bölüm ise, bir yapı malzemesi olarak toprak ve yapım yöntemleri hakkındadır. Beşinci bölüm'de laboratuvar çalışmaları, testler, analizler ve deneylerden elde edilen sonuçları verilmiştir. Altıncı bölümde, üretimin tüm aşamaları, numunelerin mekanik ve fiziki deneyleri ve deneylerin sonuçları ele alınmıştır. Yedinci bölüm, tez konusundaki çalışmalardan elde edilen sonuçları ve ortaya konulan önerileri kapsamaktadır.

Anahtar kelimeler; Kerpiç, Sıkıştırılmış kerpiç blok, kültürel miras, Toprak.

A RESEARCH ON THE SUITABILITY OF DIFFERENT STABILIZERS IN PRODUCING COMPRESSED EARTH BLOCKS FOR PRESERVING THE EARTHEN CONSTRUCTION HERITAGE IN TURKEY

Mahmoud SAQR SAYED

SUMMARY

Anatolian geography has been enriched with the influence of several societies, cultures and civilizations that came to this region thousands of years ago. The geography is also home to many earthen buildings that were built during these civilizations and still exist today. The earthen architectural heritage, which will revive the past and the future in this geographical region, which has a great value, must be protected with its cultural and architectural richness. In other words, the protection and sustainable preservation of immovable cultural assets are an important requirement.

The aim of this study is to create a harmonious and sustainable entrance to protect the dimensions of the tangible and intangible heritage of earthen buildings in the Turkey and to investigate the possibility of developing new buildings in these regions using modern techniques of adobe construction.

In the first part of the thesis, information about the purpose, scope and method of the study is given. In the second part, earthen architecture is discussed in terms of sustainability and environmental and architectural compatibility in the light of UNESCO laws as intangible heritage. In addition, the relationship between earthen architecture and tangible heritage was examined in terms of restoration and integration of technology. In the third section, soil components and factors leading to their formation and various clay minerals are emphasized. The fourth part is on soil and construction methods as a building material. The fifth chapter also includes results from laboratory studies, tests, analyses and experiments. In the sixth section, all stages of production, mechanical and physical tests of the samples and the results of the tests are discussed. The seventh chapter includes the analysis of the results obtained from the thesis and the suggestions for further researches.

Keywords; earth construction, compressed earth block, cultural heritage, Soil.

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarımın her aşamasında bana destek olan, araştırma boyunca bana yol gösteren ve motivasyonumu üst düzeyde tutan, tez konusunu ve konuya dair tüm bilgisini esirgmeden paylaşan, benden zamanını, teşvik ve desteklerini esirgemeyen saygı değer hocam ve tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ömer DABANLI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Beni sürekli motive eden, tez konusunu seçmemi sağlayan, çalışmalarımın her aşamasında desteğini esirgemeyen, konuya dair tüm bilgisini esirgemedi paylaşan, tez çalışmalarımın farklı bir bakış açısı kazandıran ve büyük katkı sağlayan değerli Yüksek Mimar Mohammed M. Al-Rafei'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım esnasında özellikle deneyler konusunda yardımcı olan, tüm KURAM ekibine teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım esnasında özellikle tercüme konusunda yardımcı olan sayın Sayed Hassan'a teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca bana emek veren tüm hocalarıma, sevgi ve desteklerini devamlı olarak hissettiğim değerli aileme ve sevgili arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Tüm yaşantım boyunca bana destek olan sevgili annem Zekiye Ramazan'a, değerli babam Sakr Sayed'e ve kıymetli kardeşim Ahmet Sakr'a ile sevgili kız kardeşim Amel Sakr'e teşekkürlerimi sunarım.

Türkiye Bursları Program'ına beni layık gören, Türkiye'de yüksek lisans okuma fırsatı sağlayan Yurt Dışı Türkler ve Akraba Toplulukları Başkanlığı YTB'a teşekkürü bir borç bilirim.

Mahmoud Saqr Sayed
(Restoratör- Koruma Mimarı)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	v
SUMMARY	vi
ÖNSÖZ.....	vii
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
GİRİŞ	1
AMAÇ.....	1
KAPSAM VE YÖNTEM	2
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	2
1. KERPİCİN SOMUT VE SOYUT MİRAS BOYUTU	5
1.1. SOYUT BOYUT	5
1.1.1. Kerpiç Yapım Geleneği	5
1.1.2. Mirasın Sürdürülebilirliği.....	7
1.1.2.1. Kültürel Mirasla İlgili Sürdürülebilirlik Kuralları.....	7
1.1.3. Mimari ve Çevresel Uyumluluk.....	9
1.2. SOMUT BOYUT	11
1.2.1. Koruma ve Restorasyon	11
1.2.1.1. Teknolojiyi Mirasla Entegre Etmek.....	11
1.3. TÜRKİYE'DE KERPİÇ YAPI ÖRNEKLERİ	12
2. TOPRAK VE KİL.....	15
2.1. TOPRAĞIN TANIMI VE OLUŞUMU	15
2.2. TOPRAK KATMANLARI	16
2.3. TOPRAĞI ETKİLEYEN FAKTÖRLER	18
2.3.1. İklim	18
2.3.2. Anakaya	18
2.3.3. Topoğrafya	19
2.3.4. Zaman	19
2.4. TOPRAK DOKUSU	20
2.5. DÜNYADA MEVCUT TOPRAKLAR.....	21
2.6. TÜRKİYE'DE MEVCUT TOPRAKLAR	22
2.6.1. Bölgesel (Zonal) Topraklar	22
2.6.2. İntrazonal Topraklar.....	22
2.6.3. Azonal Topraklar.....	23

2.6.4. Litosoller (Taşlı topraklar)	24
2.7. YAPIDA KULLANILAN TOPRAKLAR.....	25
2.7.1. Terra Rosa Toprağı.....	25
2.7.2. Kara Pamuk Toprağı	25
2.7.3. Laterit Toprağı	25
2.8. KİL MİNERAL GRUPLARI.....	26
2.8.1. Kaolinit	26
2.8.2. İllit.....	26
2.8.3. Montmorillonit.....	26
2.8.4. Klorit.....	27
2.8.5. Vermikülit	28
3. TOPRAK YAPI MALZEMESİ İLE YAPIM YÖNTEMLERİ	29
3.1. TOPRAK BLOKLARLA ÜRETİLEN TAŞIYICI DUVARLAR.....	29
3.1.1. Kubbe Ve Tonozlar	29
3.1.2. Toprak Doldurulan Torbalarla Oluşturulan Yapılar	29
3.1.3. Sandık Şeklindeki Kalıplara Döküm	29
3.1.4. Çeşitli Panolarla Oluşan Kalıplara Döküm	30
3.1.5. Sıkıştırılmış Blok.....	31
3.1.5.1. Yöntem	31
3.1.5.2. Malzeme Toplama ve Parçalama.....	31
3.1.5.3. Eleme ve Karıştırma	31
3.1.5.4. Sıkıştırma ve Sertleştirme.....	31
3.1.5.5. İyileştirme ve Stabilizasyon.....	32
3.1.5.5.1. Kireç İle Stabilizasyon	32
3.1.5.5.2. Çimento İle Stabilizasyon.....	34
3.1.5.5.3. Alçı İle Stabilizasyon	34
3.1.6. Avantajlar ve Dezavantajlar.....	35
3.1.6.1. Sıkıştırılmış Kerpiç Blokların Avantajları.....	35
3.1.6.2. Dezavantajlar	36
4. TOPRAK KARAKTERİZASYONU	37
4.1. ENSTRÜMENTAL ANALİZLER.....	38
4.1.1. X Işınları Difraksiyonu (XRD)	38
4.1.2. SEM ve EDS Analizi.....	48
4.1.3. Petrografi Analizi	52
4.1.3.1. Tel Battal	53
4.1.3.2. Tel Aar.....	53
4.1.3.3. Tel Rai	54
4.1.3.4. Şahin Çiftliği.....	54
4.1.3.5. Killi.....	55
4.1.3.6. Maret.....	55
4.2. KİMYEVİ DENEYLER	56
4.2.1. Asit Kaybı Deneyi	56
4.2.2. Kızdırma Kaybı (Kalsinasyon) Deneyi.....	58
4.2.3. Suda Çözünebilir Tuz İçeriği.....	59

4.2.4. Organik Madde İçeriği.....	60
4.2.4.1. Protein Testi.....	60
4.2.4.2. Yağ Testi.....	60
4.3. FİZİKİ DENEYLER	63
4.3.1. Su Muhtevası.....	63
4.3.2. Özgül Ağırlık.....	63
4.3.3. Kıvam Limitleri.....	65
4.3.4. Proktor Deneyi	74
4.3.5. Elek Analizi	77
4.3.6. Hidrometre Deneyi	83
5. SIKIŞTIRILMIŞ TOPRAK BLOK ÜRETİMİ VE DENEYLERİ	91
5.1. STABİLİZE EDİLEN BLOKLARIN KARAKTERİZASYONU	91
5.2. KALIP İŞLEME	91
5.3. TOPRAK SONUÇLARIN DEĞERLENDİRMESİ.....	92
5.4. GRANÜLOMETRİ DÜZELTMELERİ (REDİSTRİBÜTİON).....	93
5.5. KALIP- NUMUNE BOYUTU	94
5.6. DENEY DİYAGRAM	94
5.7. KARIŞIM TASARIMI.....	95
5.8. ÜRETİM AŞAMASI.....	97
5.8.1. Kullanılan Ekipman	97
5.8.2. Üretim adımları.....	97
5.9. MEKANİK DENEYLER	100
5.9.1. Tek Eksenli Basınç Deneyi (Kuru).....	100
5.9.2. Tek Eksenli Basınç deneyi (Islak)	104
5.9.2.1. Alçı Stabilizatörlü Numuneler	104
5.10. FİZİKİ DENEYLER	107
5.10.1. Islanma – Kuruma	107
5.10.2. Donma – Çözülme.....	109
5.10.3. Ağırlıkça Su Emme.....	111
6. SONUÇLARIN İSTATİSTİKİ DEĞERLENDİRMESİ	113
6.1. TEK EKSENLİ BASINÇ (KURU).....	114
6.2. TEK EKSENLİ BASINÇ (ISLAK)	116
6.3. ISLANMA – KURUMA DENEYİ	117
6.4. DONMA – ÇÖZÜLME DENEYİ.....	118
6.5. AĞIRLIÇA SU EMME DENEYİ.....	119
SONUÇLAR	121
KAYNAKLAR	125
EKLER.....	131
ÖZGEÇMİŞ.....	137

SEMBOLLER

NO_3^-	: Nitrat
CO_3^{2-}	: Karbonat
SO_4^{2-}	: Sülfat
Cl^-	: Klorür
τ	: Kayma gerilmesi
τ_0	: Kayma çatlama gerilmesi
\square_d	: Kayma mukavemeti
μ	: Sürtünme katsayısı
g	: Yerçekimi ivmesi, $9,81 \text{ m/s}^2$
t	: Zaman
ε	: Birim şekil değiştirme
E	: Elastisite modülü
Hz	: Hertz
S	: Saniye
MPa	: Mega Pascal (N/mm^2)
N	: Newton
V	: Kesme kuvveti
P	: Düşey basınç kuvveti
CH	: Kalsiyum Hidroksit

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1: Şahin toprağı bileşenleri (%).....	41
Çizelge 2: Tal Battal toprağı bileşenleri (%).....	42
Çizelge 3: Tal Aar toprağı bileşenleri (%).....	43
Çizelge 4: Tal Rai toprağı bileşenleri (%).....	44
Çizelge 5: Killi toprağı bileşenleri (%)	45
Çizelge 6: Maret toprağı bileşenleri (%)	46
Çizelge 7: Topraklar kil mineralleri ve oranları	47
Çizelge 8: Tal Aar örneğın EDS analizinde tespit edilen element ve oksitler.....	49
Çizelge 9: Tal Battal örneğın EDS analizinde tespit edilen element ve oksitler	50
Çizelge 10: Tal Rai örneğın EDS analizinde tespit edilen element ve oksitler	50
Çizelge 11: Şahin örneğın EDS analizinde tespit edilen element ve oksitler	51
Çizelge 12: Topraklar EDS analizinde tespit edilen element ve oksitler	51
Çizelge 13: Topraklar asitle muamele analizinin sonuçları.....	56
Çizelge 14: Toprakların kalsinasyon deneyi sonuçları.....	58
Çizelge 15: Suda çözünebilir tuzlar analizi sonuçları	62
Çizelge 16: Organik madde analizi sonuçları.....	62
Çizelge 17: Topraklardaki Su Muhtevası Yüzdesi	63
Çizelge 18: Piknometre deneyinin sonuçları	64
Çizelge 19: Kıvam limitleri deneyinin sonuçları.....	65
Çizelge 20: Maret örneğının proktor deneyinin sonuçları.....	75
Çizelge 21: Killi örneğının proktor deneyinin sonuçları	76
Çizelge 22: Asitle muamele sonrası elek analizi sonuçları	78
Çizelge 23: Asitle muamele sonrası elek analizini sonuçlar	78
Çizelge 24: Asitle muamele öncesi elek analizi sonuçları.	79
Çizelge 25: Asitle muamele öncesi elek analizi sonuçları.	79
Çizelge 26: Şahin toprağı hidrometre deneyi sonuçları.....	84
Çizelge 27: Tal Rai toprağı hidrometre deneyi sonuçları.....	85
Çizelge 28: Tal Aar toprağı hidrometre deneyi sonuçları	86
Çizelge 29: Tal Battal toprağı hidrometre deneyi sonuçları.....	87

Çizelge 30: Killi toprağı hidrometre deneyi sonuçları	88
Çizelge 31: Maret toprağı hidrometre deneyi sonuçları	89
Çizelge 32: XRD sonuçları.....	92
Çizelge 33: Suda çözünebilir tuzlar ve organik madde ile asitle muamele analizleri	92
Çizelge 34: Elek analizi sonuçları	92
Çizelge 35: Üretilen blokların kodları açıklaması.....	98
Çizelge 36 : Stabilizatörsüz kuru numunelerin basınç deneyi sonuçları	100
Çizelge 37 : %10 Kireçle stabilize edilen kuru numunelerin basınç deneyi sonuçları.....	100
Çizelge 38 : % 10 alçı ile stabilize edilen kuru numunelerin basınç deneyi sonuçları.....	101
Çizelge 39 : %6 Çimento stabilize edilen kuru numunelerin basınç deneyi sonuçları.....	101
Çizelge 40 : % 6 Çimento stabilize edilen kuru numunelerin basınç deneyi sonuçları.....	101
Çizelge 41 : % 10 Çimento stabilize edilen kuru numunelerin basınç deneyi sonuçları.....	102
Çizelge 42 : % 2 kireç + % 10 Alçı ile stabilize edilen kuru numunelerin basınç deneyi... 102	
Çizelge 43 : %5 Kireç + % 5 Çimento ile stabilize edilen kuru numunelerin deneyi	102
Çizelge 44 : Kuru numunelerle tek eksenli basınç (kuru) deneyinin sonuçlarını	103
Çizelge 45 : % 6 Çimento stabilizatörlü ıslak numunelerde deney sonuçları	106
Çizelge 46 : %1 0 Kireç stabilizatörlü ıslak numunelerde deney sonuçları	106
Çizelge 47 : % 5 Kireç + % 5 Çimentolu ıslak numunelerle basınç deneyin sonuçları	106
Çizelge 48 : % 10 kireç stabilizatörlü numunelerin ıslanma-kuruma sonrası tek eksenli basınç deneyi sonuçları	108
Çizelge 49 : % 6 Çimentoyla stabilize edilen numunelerin ıslanma- kuruma sonrası tek eksenli basınç deneyi sonuçları.....	108
Çizelge 50 : % 5 kireç + % 5 Çimento ile stabilize edilen numunelerin ıslanma- kuruma sonrası tek eksenli basınç deneyi sonuçları.....	108
Çizelge 51 : % 10 kireç stabilizatörlü numunelerin donma-çözülme sonrası tek eksenli basınç deneyi sonuçları	110
Çizelge 52 : % 6 Çimento stabilize edilen numunelerin donma- çözülme sonrası tek eksenli basınç deneyi sonuçları.....	110
Çizelge 53 : % 5 kireç + % 5 Çimento stabilize edilen numunelerin donma- çözülme deneyinin sonuçları	110
Çizelge 54 : Stabilizatörlü numunelerin ağırlıkça su emme deneyi sonuçları.....	111
Çizelge 55: Sıkıştırılmış kerpiç blokların değerlendirilme kriterleri (Houben, 1994)	113
Çizelge 56: Tek eksenli basınç deneyi sonuçları (kuru)	114
Çizelge 57 : Tek eksenli basınç deneyi sonuçları (ıslak).....	116
Çizelge 58 : Islatma – kurutma deneyi sonuçları	117
Çizelge 59 : Donma – çözülme deneyi sonuçları	118
Çizelge 60 : Su emme deneyi sonuçları	119

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1 : Eski Medeniyetlerde Kerpiç Yapı Merkezleri (Alrafi, 2007, s.86).....	6
Şekil 2 : Kerpiç Mimari ve Miras Alanları (Anysz, 2019).....	7
Şekil 3 : Sürdürülebilirliğin Kültürel Mirasla İlişkisi (Krijn, 2018).....	8
Şekil 4 : Lalibela Miras Alanında Beton binaları yapılmış (Ishanlosen, 2010, s.26)	10
Şekil 5 : Lalibela Miras alanında Betonarme Bir Otel (Ishanlosen, 2010, s.26)	10
Şekil 6 : kerpiç kullanılan tescilli yapı örnekleri (Demirtaş, 2020).....	12
Şekil 7 : Farklı kerpiç yapıları örnekleri (Demirtaş, 2020)	13
Şekil 8 : İznik Hisar Dere köyünde kerpiç yapılar (Çakan, 2019, s.55)	14
Şekil 9 : Toprak Katmanları (Url:10)	17
Şekil 10: Toprak içyapısı (Ünal, 2011)	17
Şekil 11: Toprak doku üçgeni (Url: 10)	20
Şekil 12: Dünya Toprak Haritası (Url: 1).....	21
Şekil 13: Türkiye Başlıca Toprakları Haritası ile İşaretleri (Url: 3).....	23
Şekil 14: Türkiye’de Toprak Tiplerinin Sınıflandırılması (Url: 4).....	24
Şekil 15 : Kil mineralleri (a) kaolinit, (c) vermikülit, (d) montmorillonit ve (e) klorit	28
Şekil 16: Kerpiç yapım yöntemleri (Houben, 1994, s.165).....	30
Şekil 17: Üretilmiş Sıkıştırılmış Kerpiç Blokların Üretim Hattı (Url: 15).....	32
Şekil 18: Kullanılan toprakların alındığı bölgeler	37
Şekil 19: XRD Numune hazırlığı (KURAM Lab.).....	39
Şekil 20: X-ışını difraksiyonu analizini aşamaları	40
Şekil 21: Şahin toprağı xrd analizi	41
Şekil 22: Tal Battal toprağı XRD analizi	42
Şekil 23: Tal Aar toprağı XRD analizi	43
Şekil 24: Tal Rai toprağı XRD analizi	44
Şekil 25: Killi toprağı XRD analizi	45
Şekil 26: Maret toprağı XRD analizi.....	46
Şekil 27: Tal Aar örneği EDS spektrumu.....	49
Şekil 28: Tal Battal örnek örneği EDS spektrumu	49

Şekil 29: Tal Rai örneği EDS spektrumu	50
Şekil 30: Şahin örneği EDS spektrumu	51
Şekil 31: Stereo ile Polarizen mikroskop Petrografi inceleme (KURAM Lab.)	52
Şekil 32: Tel Battal örneği; a) Stereo, b) Polarizen mikroskop incelemesi	53
Şekil 33: Tel Aar örneği; a) Stereo, b) Polarizen mikroskop incelemesi	53
Şekil 34: Tel Rai örneği; a) Stereo, b) Polarizen mikroskop incelemesi	54
Şekil 35: Şahin örneği; a) Stereo, b) Polarizen mikroskop incelemesi	54
Şekil 36: Killi örneği; a) Stereo, b) Polarizen mikroskop incelemesi	55
Şekil 37: Maret örneği; a) Stereo, b) Polarizen mikroskop incelemesi	55
Şekil 38: Asitle muameleye analizin aşamaları (KURAM Lab.)	57
Şekil 39: Kızdırma kaybı deneyi aşamaları (KURAM Lab.)	59
Şekil 40: Tuz ve organik madde analizi aşamaları (KURAM Lab.)	61
Şekil 41: Yoğunluk tayini (KURAM Lab.)	63
Şekil 42: Kıvam limitleri (likit) deney aşamaları (KURAM Lab.)	66
Şekil 43: Kıvam limitleri (plastik) deney aşamaları (KURAM Lab.)	67
Şekil 44: Killi toprağı için kıvam limitleri deneyinin sonuçları	68
Şekil 45: Tal Aar toprağı için kıvam limitleri deneyinin sonuçları	69
Şekil 46: Maret toprağı için kıvam limitleri deneyinin sonuçları	70
Şekil 47: Şahin toprağı için kıvam limitleri deneyinin sonuçları	71
Şekil 48: Tal Battal toprağı için kıvam limitleri deneyinin sonuçları	72
Şekil 49: Tal Rai toprağı için kıvam limitleri deneyinin sonuçları	73
Şekil 50: Proktor deneyi aşamaları	74
Şekil 51: Maret örneğinin proktor deneyinin grafiğı	75
Şekil 52: Killi örneğinin proktor deneyinin grafiğı	76
Şekil 53: Elek analizi aşamaları (KURAM Lab.)	77
Şekil 54: Şahin toprağının asitle muamele elek öncesi (kırmızı) ve sonrası (mavi)	80
Şekil 55: Tal Aar toprağı asitle muamele elek öncesi (kırmızı) ve sonrası (mavi)	80
Şekil 56: Tal Rai toprağı asitle muamele elek öncesi (kırmızı) ve sonrası (mavi)	81
Şekil 57: Tal Battal toprağı asitle muamele elek öncesi (kırmızı) ve sonrası (mavi)	81
Şekil 58: Killi toprağının asitle muamele elek öncesi (kırmızı) ve sonrası (mavi)	82
Şekil 59: Maret toprağının asitle muamele elek öncesi (kırmızı) ve sonrası (mavi)	82
Şekil 60: Şahin toprağı elek analizi ve hidrometre sonuçları	84
Şekil 61: Tal Rai toprağı elek analizi ve hidrometre sonuçları	85
Şekil 62: Tal Aar toprağı elek analizi ve hidrometre sonuçları	86
Şekil 63: Tal Battal toprağı elek analizi ve hidrometre sonuçları	87
Şekil 64: killi toprağı elek analizi ve hidrometre sonuçları	88
Şekil 65: Maret toprağı elek analizi ve hidrometre sonuçları	89

Şekil 66: Çelik kutu profil	91
Şekil 67 : Metal kalıbın iç ve dış görünüşü ile metal kesimi.....	92
Şekil 68 : Maret toprağına % 30 kum eklenerek granülometri düzeltmeleri.....	93
Şekil 69: Killi toprağına % 30 kum eklenerek granülometri düzeltmeleri	93
Şekil 70 : Sağlam bir toprak karışım için güvenli alan.....	94
Şekil 71 : Karşım tasarım şablonu (Al-Rafei, 2007, s.110).....	95
Şekil 72 : Modifikasyondan sonra karışım tasarımı	96
Şekil 73 : Numune karıştırma aşaması	97
Şekil 74: Sıkıştırılmış kerpiç blok üretim aşamaları	98
Şekil 75 : Kür kabiniindeki numuneler ve danışmanların incelemeleri.....	99
Şekil 76 : Kireç stabilizatörlerle örneklerin basınç deneyi sonrası.....	103
Şekil 77: %10 alçı stabilizatörlü numunelerin suya daldırıldıktan sonraki görünüşü	104
Şekil 78 : %2 kireç ve %10 alçı stabilizatörlü numunelerin kurutulduktan sonraki görünüşü	105
Şekil 79 : Numunelerin ve ıslak basınç mukavemeti deneyi önce ve sonra.....	105
Şekil 80 : Tek eksenli basınç deneyinin sonuçları.....	114
Şekil 81: Tek eksenli basınç (ıslak) deneyi sonuçları.....	116
Şekil 82: Islatma – kurutma deneyi detaylı sonuçları.....	117
Şekil 83: Donma – çözülme deneyi detaylı sonuçları	118
Şekil 84: Ağırlıkça Su emme deneyi detaylı sonuç değerlendirmesi	119

KISALTMALAR

ASTM	: American Society for Testing and Materials
KURAM	: Vakıf Kùltür Varlıklarını Koruma Uygulama ve Araştırma Merkezi
UNESCO	: Birleşmiş Milletler Eēitim, Bilim ve Kùltür Kurumu
SOKÜM	: Somut Olmayan Kùltürel Mirasın Korunması Sözleşmesi
SEM-EDS	: Taramalı Elektron Mikroskobu ve Enerji Daēılım Spektrometresi
SS	: Standart Sapma
TS	: Türk Standartları
XRD	: X- Işını Difraksiyonu

GİRİŞ

Medeniyetlerin başlangıcından bu yana kerpiç, farklı inşaat çalışmalarında ana malzeme olarak kullanılmıştır. Uluslararası istatistiklere göre, günümüzde dünya çapında yaklaşık üç milyar insan, kerpiçten yapılmış binalarda yaşamakta veya çalışmaktadır, bu binaların çoğu, şehir dışında ve kırsal kesimde yoğunlaşmaktadır (Alrafi, 2007, s.86; Houben, 1994, s.6-7). Geçen yüzyıldan bu yana, uzmanlaşmış merkezlerde yapılan yüzlerce bilimsel araştırma sayesinde, kerpiç malzemesinin yapılarda kullanılması için modern teknikler de geliştirilmektedir.

Ekolojik malzeme olarak kerpiç, geri kalmış ülkelerde olduğu gibi, gelişmiş ülkelerde de kullanılmaktadır. Maalesef günümüzde kerpice gereken önem verilmemekte, mevcut kerpiç yapılar yıkılarak yerine modern malzemelerle sağlıksız yapılar yapılmaktadır. Tez çalışmasında, yeni bir yerleşim yerinde, ideal sürdürülebilir malzeme olan kerpiçle yapılmış uygulama tanıtılmaktadır. Antik çağlardan bu yana yapı malzemesi olarak kerpiç kullanılarak yapım yöntemleri geliştirilmiştir. Günümüzde dünya çapında kullanılan yaklaşık 18 teknik vardır ki bu çalışmada, sıkıştırılmış kerpiç blok üretimi ele alınmıştır. Kerpiç yapı zanaatının niteliğini geliştirmek ve yapım yöntemlerinden biri olarak canlandırmak için fiziki ve mekanik özelliklerini geliştirerek kullanmak amacıyla farklı stabilizatörler üzerinde birçok araştırma yapılmaktadır.

AMAÇ

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'deki kerpiç mimari mirasının korunması için sıkıştırılmış toprak blok üretiminde farklı stabilizatörlerin kullanılabilirliğinin belirlenmesi, ayrıca uyumlu ve sürdürülebilir bir giriş biçimde ve kerpiç yapımın modern tekniklerini kullanarak bu bölgelerde yeni binalar geliştirme olasılığını araştırmaktır. Çalışmada en iyi sonuçları elde etmek için çeşitli stabilizatörler incelenecektir. Sonuç olarak bu çalışmada, tarihi yapılarda rekonstrüksiyon ve restorasyon işlerinde kullanılabilir örneklerin ortaya konulması amaçlanmaktadır.

KAPSAM VE YÖNTEM

Araştırma, sıkıştırılarak üretilmiş kerpiç blokları tekniğinin farklı stabilizatörler ile uygulanabilirliğini belirlemek için, tek eksenli basınç (kuru ve ıslak) gibi mekanik deneyler ile fiziki özelliklerini belirlemek için ıslanma-kurutma, donma-çözülme ve ağırlıkça su emme vb. deneylerle değerlendirilmiş olup elde edilen sonuçlar verilmiştir. Toprak malzemesi ham olarak altı farklı bölgeden getirildikten sonra ileri analizler (XRD, EDS analizi vb.) analizler yapılmış olup aynı zamanda spot analizler (asit kaybı, suda çözülebilir tuz ve organik madde içeriği) gerçekleştirilmiştir. Ayrıca fiziki özelliklerin belirlenmesi için su muhtevası, kıvam limitleri, proktor ve elek ile hidrometre deneyler yapılmıştır.

Toprak üzerinde gerçekleştirilen analizlerden sonra sıkıştırılarak üretilmiş kerpiç blokların üzerinde farklı stabilizatör (kireç, alçı, çimento, kireç ile çimento, kireç ile puzolan ve çimento) kullanılarak sağlam bloklar elde edilmiştir. Ayrıca numuneler hazırladıktan sonra üzerinde fiziki ve mekanik deneyler yapılarak değerlendirilmiştir. Kuru tek eksenli basınç, ıslak tek eksenli basınç gibi mekanik deneyler ile mekanik özellikleri, ıslanma-kurutma, donma-çözülme ve ağırlıkça su emme gibi deneyler ile dayanıklılık tespit edilmiştir.

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Türkiye kerpiç üretimi ve kerpiç mirası çeşitli araştırmalarda konu edilmiş olsa da, genellikle tarihi bakış, geleneksel restorasyon yöntemleri ve alker yöntemi gibi bir kaç konu çerçevesinde ele alınmıştır. Ancak sıkıştırılmış kerpiç bloklar hiç akademi araştırma konusu edilmemiştir. Dolayısıyla, çalışmamızda başvurulan kaynaklar, genel olarak yabancı kaynaklar olacaktır.

“Experimental study on cement stabilized earth block” isimli araştırmada çimento malzemesi stabilizatör olarak konu edilmiştir. Tek eksenli basınç (kuru ve ıslak) testleri üzerinden % 5, 7, 10, 12 oranları değerlendirilmiş ve %10 oranı en uygun oranı olarak belirlenmiştir (Peng, 2012).

“Cement with scba as a stabilizer in compressed earth blocks” isimli araştırmada çimento stabilizatör olarak kullanılmıştır. Tek eksenli basınç (kuru ve ıslak) testleri üzerinde % 5, % 6, % 7 oranları değerlendirilmiş. Diğer fiziki ve mekanik deneyler yapılmamıştır (Joffroy, 2016).

“Mechanical properties and durability of lime and natural puzzolana stabilized steam-cured compressed earth block bricks” isimli araştırmada kireç ile doğal puzolan malzemeleri stabilizat3r olarak kullanılmıştır. Tek eksenli basıncı (kuru ve ıslak), testleri yapılmıştır, kireç oranları % 6, 8, 10 ve puzolan oranları % 10, 20, 30, 40 olan kerpiçler değerlendirilmiştir. Tek eksenli basıncı (kuru ve ıslak) deneyleri sonucu kireç %6 - puzolan %30 oranıyla en başarılı oranlar olduğu ortaya çıkmıştır kuru tek eksenli basıncı (16 MPa) ve ıslak tek eksenli basıncı (14.5 MPa) dayanımı belirlenmiştir (Izemouren, 2015).

“Compressed Stabilized Earth Blocks by Using Lime” isimli araştırmada kireç malzemesi stabilizat3r olarak konu edilmiştir. Kuru tek eksenli basıncı deneyi 3zerinden %10 kireç oranıyla 5 MPa olduğu tespit edilmiştir, diğer fiziki ve mekanik deneyler yapılmamıştır (Abhijeet, 2015).

“Role of lime with cement in long-term strength of compressed stabilized earth blocks” isimli araştırmada kireç ve imento stabilizat3r olarak konu edilmiştir. Tek eksenli basıncı, ağırlıkça su emme analizleri 3zerinden imento ile kireç % 6 imento, % 6 imento: % 2 kireç, % 4 imento: % 4 kireç oranları değerlendirilmiş ve % 4,4 oranıyla kuru tek eksenli basıncı (7 MPa) mukavemeti sonuçları en başarılı olduğu ortaya konulmuştur. Diğer fiziki ve mekanik deneyler yapılmamıştır (Nagaraj, 2014).

“Effect of cement, lime, and bioresin stabilizers on compressed earth block performance” isimli araştırmada kireç, imento ve organik ile inorganik reçine stabilizat3r olarak konu edilmiştir. Tek eksenli basıncı ile su emme deneyleri 3zerinden imento % 5,0, % 7,5, % 10 oranları değerlendirilmiş, % 5,0 oranının en uygun oran olduğu tespit edilmiştir (Mak, 2014).

“Optimization of mix proportions of compressed earth blocks with rice straw using artificial neural network” isimli araştırmada pirinç samanı ile imento stabilizat3r olarak konu edilmiştir. Tek eksenli basıncı dayanımı deneyi 3zerinden çimentosuz, % 5, % 10, % 15, % 20, % 25 imento oranları değerlendirilmiş ve %20 oranı olan çimentonun tek eksenli basıncı dayanımı testinin (5 MPa) en iyi sonucu verdiği tespit edilmiştir (Ongpeng, 2017).

“Experimental analysis of compressed earth block (CEB) with banana fibers resisting flexural and compression forces” isimli araştırmada sıkıştırılmış kerpiç

blokları üzerine muz lifleri stabilizatör olarak konu edilmiştir. Tek eksenli basınç ve eğilmede çekme testleri üzerinden muz liflerinin sonuçları belirlenmiştir. 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 mm uzunluklarında muz lifleri kullanılmıştır. En başarılı olan 60 mm uzunluğundaki lif katkılı malzemenin tek eksenli basınç deneyi (6.58 MPa), eğilmede çekme deneyi (1.02 MPa) olduğu tespit edilmiştir (Mostafa, 2016).

“Earthen architecture experinces in gypsum stabilization- alker” isimli araştırmada, Alçı ile stabilize edilen kerpiç blok türlerinden biri çalışılmış, mekanik ve fiziki özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca bu araştırma alker (alçılı-kerpiç) yapım sistemi detaylı bir şekilde konu edilmiştir (Işık, 2008).

“The use of gypsum mining by-product and lime on the engineering properties of compressed earth blocks” isimli araştırmada alçı konu edilmiştir. Tek eksenli basınç dayanımı üzerinden % 2,5, % 5, % 10 oranları değerlendirilmiş, % 2,5 ve % 5 oranıyla kuru tek eksenli basınç dayanımı en yüksek olan sonuçlar ortaya konulmuştur ve (1,6 MPa) gösterilmiştir (Jaramillo, 2015).

“Stabilization of clayey soil by using gypsum and calcium chloride” isimli araştırmada, alçı ile kalsiyum klorür malzemeleri stabilizatör olarak konu edilmiştir. Tek eksenli basınç dayanımı üzerinden % 2, % 4, % 6, % 8 alçı oranları değerlendirilmiş ve % 4 oranı, en uygun oran olarak belirlenmiştir. Ayrıca % 4 alçı ve % 1 kalsiyum klorür kullanılan numunelerin sadece % 4 alçı olandan su emme oranı ve tek eksenli basınç dayanımı açısından daha uygun olduğu tespit edilmiştir (Sikarwar, 2017).

“Çağdaş yapı malzemesi toprak ve alker” isimli kitabında, toprağın tanımı, ve yapıda kullanılan topraklar verilmiş, ayrıca, Türkiye’de geleneksel toprak yapılardan bahsedilmiş ve alker yöntemi açıklanmıştır (Kafescioğlu, 2017).

“Mısır'da hurma lifi katkılı kerpicingin restorasyon uygulamalarında kullanılabilirliğine yönelik bir araştırma” isimli doktora tezinde, restorasyon çalışmalarında hurma lifleri ile pirinç samanı kerpiç bloklar adobe üzerindeki performansı değerlendirilmiş ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Tek eksenli basınç gibi bazı mekanik testler yapılmış olup hurma liflerin pirinç samanından daha yüksek mukavemet vermiş olduğu (4.91 MPa) belirlenmiştir (Elborgy, 2019).

1. KERPİCİN SOMUT VE SOYUT MİRAS BOYUTU

Kerpiç mimarisi iki biçimde kültürel miras ile ilişkilidir. Bunlar somut ve somut olmayan boyuttur.

1.1. SOYUT BOYUT

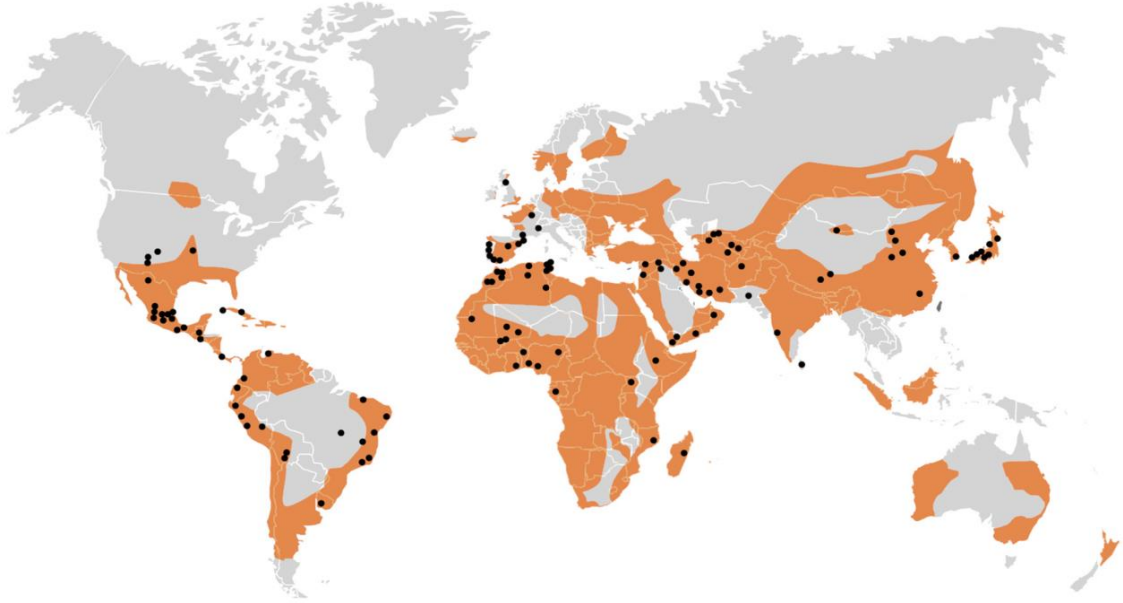
17 Ekim 2003 tarihinde Paris'te düzenlenen Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü UNESCO'nun 32. Genel Konferansı, "Somut Olmayan Kültürel Mirasın Korunması Sözleşmesi"ni kabul etti. Söz konusu sözleşme, 19 Ocak 2006 tarihinde genel kurulun oturumunda oy birliği ile kabul edildi.

Soyut Kültürel Miras (SOKÜM) UNESCO tarafından; toplulukların, grupların ve bazı durumlarda bireylerin kültür miraslarının bir parçası olarak tanımladığı uygulamalar, temsiller, anlatılar, bilgi, beceriler ile ilgili araçlar, materyaller ve kültürel alanlardır.

1.1.1. Kerpiç Yapım Geleneği

Kerpiç mimarisinin eski medeniyetlerde oldukça yaygın olduğu ve eski yapıların çoğunun kerpiçten yapıldığı bilinmektedir (Şekil 1). Bu yapım yöntemi yıllar boyunca sürmüştür. Kâgir, kerpiç ve ahşap gibi yapım yöntemleri, beton binaların ortaya çıkmasıyla son 100 yılda hızla yok olmuştur. Bu durum, kerpiç mimarisinin ihmaline neden olmuş ve kerpicingin bir yapı malzemesi olarak kullanılmamasına sebep olmuştur.

Bu çalışmanın hedeflerinden biri, UNESCO tarafından yürütülen "Halkların Somut Olmayan Kültürel Mirasının Korunması Programı" kapsamında kerpiç yapım geleneğinin yeniden canlandırılmasına katkı sunmaktır.



Şekil 2 : Kerpiç Mimari ve Miras Alanları (Anysz, 2019)

1.1.2. Mirasın Sürdürülebilirliği

1992 de Janeiro konferansında 21 yüzyılın gündeminin ilan edilmesinden sonra, insan faaliyetlerinin her sektörü için sürdürülebilir kalkınma kavramını hayata geçirmek ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için uygun stratejiler geliştirmek için kendi gündemini oluşturmak gerekli hale gelmiştir (Alrafi, 2007, s.40). Dolayısıyla, sürdürülebilir kalkınma kavramı tüm alanların bir parçası haline gelmekle birlikte, kültürel mirasın sürdürülebilir kalkınma ve boyutları ile ilişkisi tanımlanmıştır (Şekil 2).

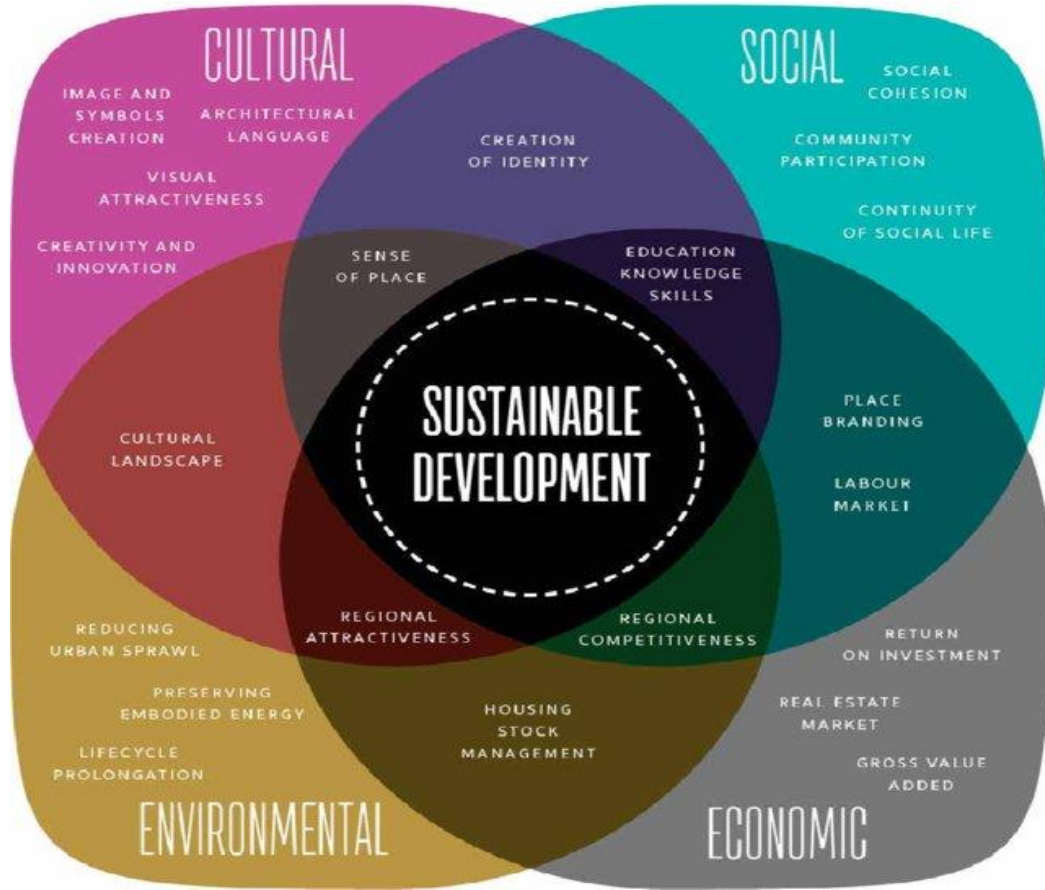
1.1.2.1. Kültürel Mirasla İlgili Sürdürülebilirlik Kuralları

Kırsal mimari, özellikle 19. yüzyılın ikinci yarısından sonra, Avrupa'da sürdürülmesi gereken bir değer olduğunu kabul eden yasalar veya önerilerle desteklenmektedir (Çağlayan, 2018, s.273). Çalışma kapsamında, iki bin yılın başlangıcına kadar Avrupa'da kırsal mimarinin korunması için çıkarılan tüzük, sözleşme, karar ve öneriler kronolojik sırayla incelenmiştir.

Bu kadar çok kerpiçten yapılmış kültürel miras unsurları varsa, bu miras nasıl korunmalıdır, sorusuna cevap vermek için kerpiç üretimiyle ilgili ayrıntılı bir çalışma ihtiyaç vardır ve bu bilimsel araştırmanın hedefleri arasında diğer hedeflerle birlikte öncelikli olarak kültürel mirasın sürdürülebilirliği bulunmaktadır (Şekil 3).

Bu hususta bu başlıklar ortaya çıkmaktadır:

- Koruma ve Restorasyon yoluyla fiziksel mirasın sürdürülmesi
- Teknolojiyi mirasla entegre etmek.
- Sürdürülebilir zanaat ve kerpiç inşası yoluyla maddi olmayan mirasın sürdürülmesi



Şekil 3 : Sürdürülebilirliğin Kültürel Mirasla İlişkisi (Krijn, 2018)

1.1.3. Mimari ve Çevresel Uyumluluk

Mimari miras, kültürel mirasın en önemli bileşenlerinden biridir. Tarihi süreklilikteki kültürel mirasımız olan toplumsal varlığımız, kimliğimiz, anıtlar, yapılar, kentsel dokular, sosyal ve manevi değerlerimiz ifade bulmaktadır. Ancak, sosyal-ekonomik ve politik koşullara bağlı olarak, mimari miras değişim ve dönüşüm baskısı altındadır. Bu durumda, toplumların kültürel sürekliliği ile mimari mirasın çağdaş yaşamla bütünleştirilebilmesi için, mimari mirasa saygı duyan koruma ve kalkınma politikaları göz önünde bulundurulmalıdır (Atalan, 2018).

Bu politikalar, tarihi mimari mirasa çeşitli şekillerde müdahale edilmesini gerekli kılabilir. Tarihsel miras üzerinde rehabilitasyon, yeniden kullanım, ulaşım ve yeniden yapılanma gibi müdahale yaklaşımları vardır. Ancak, bu yaklaşımlara ek olarak son 20-30 yıl içinde tarihi mimari mirasa eklenen yapıların inşası da mimari gündemde önemli bir yer tutmuştur. Tarihsel süreçteki artan gereksinimlere bağlı olarak binalara ilaveler yapıldığı bilinmektedir ve geleneksel tasarımın her aşamasında ilaveler yapmak mümkün olmuştur. Ek yapılar ya da ekler, mimari mirasa bir müdahaledir, bu nedenle koruma yaklaşımları, tarihsel ve yeni ek arasındaki kitle ilişkisinin tasarımında, yapımında, malzeme seçiminde ve kitle ilişkisinin belirlenmesinde birincil belirleyici olmalıdır (Atalan, 2018).

Yukarıda belirtilenlere göre, Lalibela Dünya Mirası alanındaki kerpiç mimarisi buna bir örnektir. Lalibela, Etiyopya'da bir dağın tepesinde bulunan bir köydür. Binaların % 75'i toprak, % 25'i ahşaptan yapılmıştır. Zaman geçtikçe ve nüfusun artmasıyla, binalar uyumsuz yeni malzemeler girerek veya çevresel ve kentsel uyumluluğu etkileyen farklı malzemelerle yeni bina ve tesisle yapılmıştır (Ishanlosen, 2010, s.13).



Şekil 4 : Lalibela Miras Alanında Beton binaları yapılmış (Ishanlosen, 2010, s.26)

Etiyopya’da, Lalibela Şehrinde tarihi binalar kerpiçten yapılmasına rağmen beton bir bina ile taş bir duvarı inşa edilmiştir (Şekil 4). Lalibela Dünya Mirası alanında betondan yapılmış bir otel de bulunmaktadır (Şekil 5). Tezin amaçlarından biri, mimari ve çevresel uyumluluk için kerpiç dünya mirası alanlarındaki sıkıştırılmış kerpiç blok yönteminin kullanılmasını sağlamak suretiyle mimari ve çevresel uyumluluğu korunmasına katkı sağlamaktadır.



Şekil 5 : Lalibela Miras alanında Betonarme Bir Otel (Ishanlosen, 2010, s.26)

1.2. SOMUT BOYUT

1.2.1. Koruma ve Restorasyon

Kerpiç mirasını restore etmenin birçok yolu ve yöntemi vardır. Bu çalışmayla sıkıştırılmış kerpiç blokları ve koruma uygulamalarında çeşitli yerlerde kullanılabilirliği üzerinde durulmuştur:

- a) Sıkıştırılmış kerpiç blokları kullanılarak tamamlama yapılması.
- b) Mimari uyumluluk için yeni alanlarındaki hizmet binalarında sıkıştırılmış kerpiç blokları kullanılması.



1.2.1.1. Teknolojiyi Mirasla Entegre Etmek

Teknoloji, mal veya hizmetlerin üretiminde veya bilimsel araştırma amaçlarına ulaşmada kullanılan tekniklerin, becerilerin, yöntemlerin ve süreçlerin toplamıdır. Yunanca "techne" ve "logia" sözcüklerinden türetilmiştir. Techne "zanaat bilimi" ve logia "sanat, beceri" anlamına gelir (Sazali, 2012).

Kerpiç mimarisi, yapım yöntemi olarak, binlerce yıldır sürmüş, insanlar kerpicli bir yapı malzemesi olarak kullanmışlardır. Teknolojiyi kültürel miras ile bütünleştiren, kültürel mirası korunmak için modern teknolojileri kullanan ve mirası teşvik etmek ve bilgi paylaşmak için sosyal medyayı kullanan birçok model vardır. Araştırmanın ana hedeflerinden biri, modern çağın gelişmelerine ayak uydurmaya devam etmek için kerpiç inşaat teknolojisini özellikle de sıkıştırılmış kerpiç blokların geliştirilmesi ve kullanılmasına katkı sunmaktır.

1.3. TÜRKİYE'DE KERPIÇ YAPI ÖRNEKLERİ

Bu bölümde Anadolu'daki kerpiç mimarisinin bazı canlı örnekleri verilmiştir (Şekil 6-7). Bu yapıların bazıları yerel miras listesine kayıtlı, bazıları tescillidir. Bu örnekler Konya'nın Karatay ilçesinde yer alınmaktadır.

<p style="text-align: center;">KONUT-1</p> <ul style="list-style-type: none">• Yapının Mevkii Karatay İlçesi, Civar Mahallesi, Amil Çelebi Sokak• Yapım Tarihi ve Dönemi 20. yüzyıl ilk çeyreği, Geç Osmanlı Dönemi.• Yapım Tekniği ve Malzemesi Kerpiç ve ahşap malzeme - kargir	
<p style="text-align: center;">KONUT-2</p> <ul style="list-style-type: none">• Yapının Mevkii Karatay İlçesi, Civar Mahallesi, Aslanlı Kışla Caddesi• Yapım Tarihi ve Dönemi 20. Yüzyıl ilk çeyreği, Geç Osmanlı Dönemi.• Yapım Tekniği ve Malzemesi Taş temel üzerine kerpiç yığma ve bağdadi.	

Şekil 6 : kerpiç kullanılan tescilli yapı örnekleri (Demirtaş, 2020)

KONUT-19

• **Yapının Mevkii**

Karatay İlçesi, Fakih Mahallesi,
Tartan Sokak No:4

• **Yapım Tarihi ve Dönemi**

19. Yüzyıl, Geç Osmanlı dönemi.

• **Yapım Tekniği ve Malzemesi** Kerpiç malzeme ile yığma



KONUT-20

• **Yapının Mevkii**

Karatay İlçesi, Hoca Habib Mahalle

• **Yapım Tarihi ve Dönemi**

20. yüzyıl ilk yarısı, Cumhuriyet dönemi.

• **Yapım Tekniği ve Malzemesi** Tuğla kerpiç malzeme ile yığma.



KONUT-21

• **Yapının Mevkii**

Karatay İlçesi, Hoca Habib Mahallesi, Mahmut Şevket Paşa, No:14'te yer alır.

• **Yapım Tarihi ve Dönemi**

20. yüzyıl ilk yarısı, Cumhuriyet dönemi.

• **Yapım Tekniği ve Malzemesi**

Yapım sistemi yığmadır. Yapı malzemesi olarak taş, kerpiç ve ahşap kullanılmıştır. Çıkma da bağdadi tekniği kullanılmıştır.



Şekil 7 : Farklı kerpiç yapıları örnekleri (Demirtaş, 2020)

Yapı malzemesi olarak Hisar Dere Köyü'nde çevreden temin edilen kerpiç, taş, ahşap kullanımının yanı sıra tuğla, briket ve beton kullanımı da mevcuttur. En yoğun kullanım % 45 oranla kerpiçe aitken, beton kullanımı %15 oranla ikinci sıradadır. Delikli tuğla kullanımı ise %11 oranla betonu takip etmektedir (Şekil 8) (Çakan, 2019, s.54).



Şekil 8 : İznik Hisar Dere köyünde kerpiç yapılar (Çakan, 2019, s.55)

2. TOPRAK VE KİL

İnsanların yerleşik düzende yaşamaya başladıkları ilk dönemlerden bu yana korunmak ve barınmak, yuva edinmek için yararlandıkları toprak yapılar, zaman içinde gelişerek günümüzün konforlu ve sağlıklı yaşam koşullarını en üst düzeyde karşılayabilen konutlara dönüşmüştür. Enerji tasarrufu ve çevre kirliliği gibi önemli sorunların çözümlerinde de insanlara yardımcı olan toprağı ve toprak yapıları doğru değerlendirebilmek için onları olabildiğince iyi tanımakta fayda vardır (Kafescioğlu, 2017, s.26).

2.1. TOPRAĞIN TANIMI VE OLUŞUMU

Toprak, kayaların fiziki ve kimyevi ayrışmasından ve organik maddelerin bir karışımından oluşan, ana kayayı örten, dünyanın bir kısmını da az ya da çok belirli bir tabaka içeren gevşek ve dağınık malzemelerden oluşur. İçinde ve üstünde yaşayan canlılar, bol miktarda su ve hava, gevşek ve dağınık maddeler içerir. Toprak dört ana elementten oluşur. Bunlar; organik ve inorganik maddeler, hava ve sudur (Şekil 10) (Edwin, 2002, s.3).

Organik ve inorganik maddeler, topraktaki bitki ve hayvan kalıntılarıdır. Toprağa düşen sebze ve hayvan artıkları mikroorganizmaların yaşam ve beslenme ortamlarını oluşturur. Bunlar organik kalıntıları ayrıştırır. Toprağı oluşturan inorganik maddeler ise ufalanmış ana kayadır (Raymond, 2017).

Katı kısmın her içindeki bölüm toprağın boşluğudur, bu boşluklar su ve hava ile doludur. Suyun kaynağı yağış ve sulama yoluyla toprağa verilen sudur. Toprağa giren suyun bir kısmı toprak boşluklarını doldurduktan sonra, alt katmanlara sızar ve bir kısmı buharlaşır. Topraktaki su miktarıyla ters orantılıdır. Yağmur ve sulamadan sonra, su havayı topraktaki boşluklarla atmosfere çıkarır ve boşlukları kendisi doldurur. Bu durumda, boşluklardaki su miktarı artar (Raymond, 2017, s.15).

Topraktaki bitkiler ve diğer canlılar tarafından kullanılması ve buharlaşmasının bir sonucu olarak, topraktaki su miktarı azalır. Bu kez atmosferdeki hava toprağa girerek suyun yerini doldurur. Bu, toprak boşluğundaki hava miktarını artırır (Kafescioğlu,

2017, s.29). Bu değişim ile toprak kaldırılır. Olgun bir toprağın oluşması için, her şeyden önce, ana kayanın uzun süre çözülmesi, içerdęi çeşitli canlılar, bitkilerin yerleşmesi, yıkama ve birikme olayları için gereklidir (Kafescioğlu, 2017, s.29).

Toprağın canlılar, özellikle mikro fauna ve flora, ayrışma ile oluşan kısma yavaş yavaş yerleşir. Daha sonra bitkiler toprağa yerleşerek büyümeye başlar. Böylece, ayrışma olayları, bitki köklerinin etkisi ile giderek ilerlemekte ve toprak yüzeyine düşen bitki kalıntıları ve bunların ayrışması sonucunda besin açısından zenginleşmektedir. Bu oluşum, topraktaki canlıların hızla çoğalmasına neden olur ve bitki örtüsü giderek ayrışan bir zemin üzerinde gelişir. Toprağın yerkabuğunun ayrışma yüzeyinde oluşması için, önce çeşitli kimyasal ayrışma-çözünme olayları perçeleşmeli ve daha sonra bitki kalıntıları humusa ayrışmalıdır. Başka bir deyişle, ayrışma ile maddelerin durumunu değiştirmek gereklidir (Ünal, 2011).

2.2. TOPRAK KATMANLARI

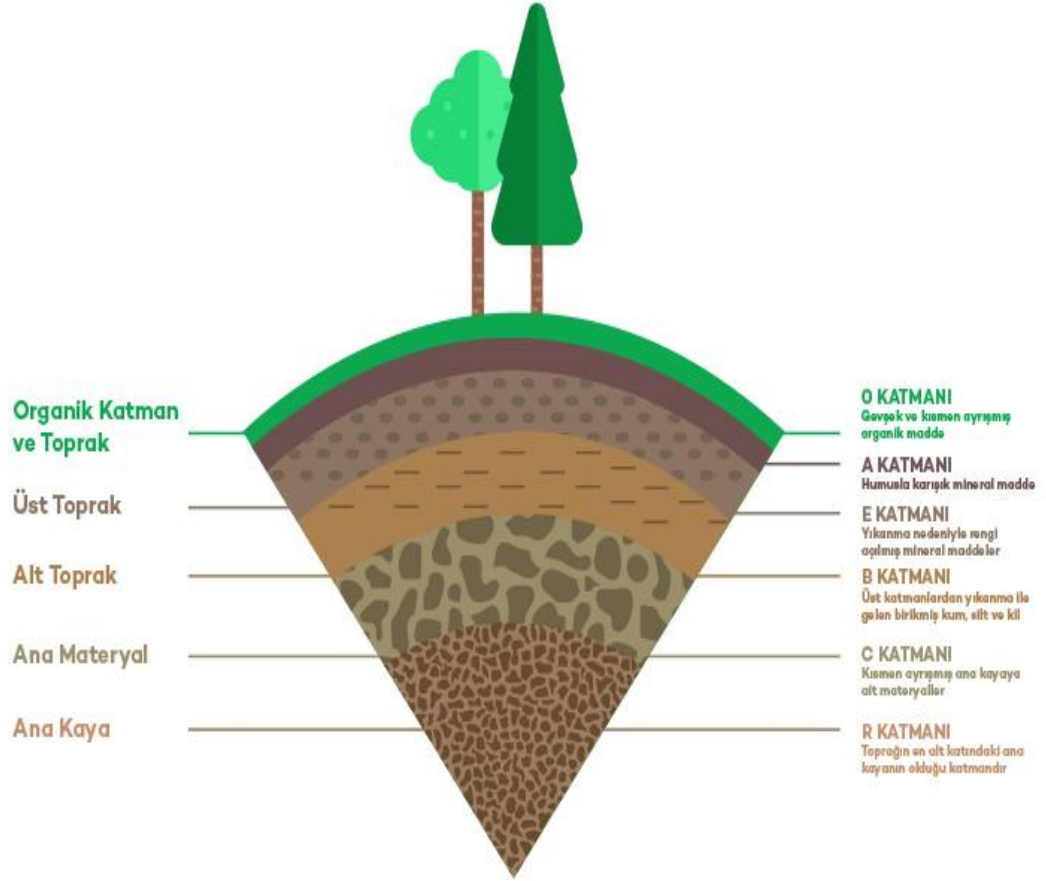
Toprak profiline ana kaya üzerinde bulunan toprak tabakası denir. Bir toprak profiline bakarken, fiziki ve kimyevi olarak farklı toprak katmanları görülür. Bu katmanlara Tabaka denir. Yüzeyden tabana, renk, yapı ve yapı gibi toprağın fiziksel özellikleri ile asitlik ve besin kapasitesi gibi kimyasal özellikler değişir. Normal bir toprak profiline bakarken, aşağıdaki tabakalar yukarıdan aşağıya doğru görülür (Şekil 9-10) (Kafescioğlu, 2017, s.27).

A tabakası: Organik maddenin karıştığı toprak yıkama banyosu tabakadır ve bu nedenle genellikle koyu renklidir (Kaufmann, 2016, s.326).

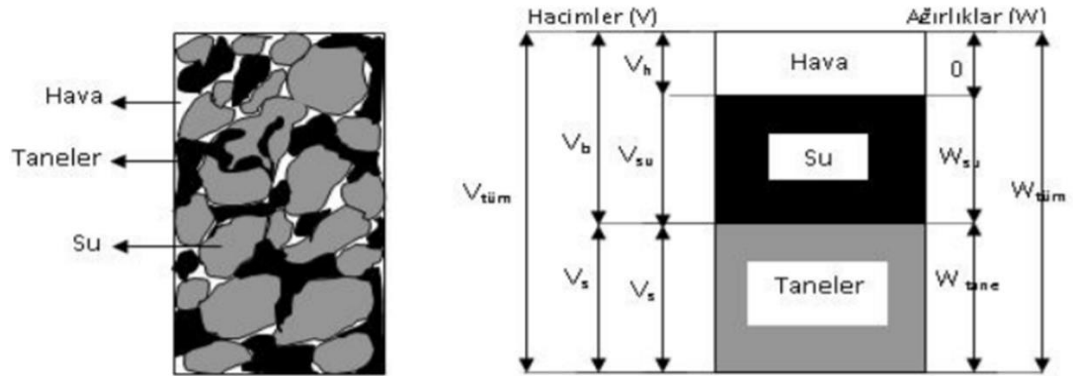
B tabakası: A tabakadan yıkanmış tuz, kireç ve kil gibi suda çözünür maddeler yağmur suyuyla alt katlara taşınır. B tabakası genellikle açık renklidir. Kil birikmesi nedeniyle ağır bir yapıya sahiptir (Atalay, 1989, s.225).

C tabakası: Toprağın en alt katıdır. Bu tabakadaki ana kaya hafifçe ayrışmıştır. Bu katta büyük anakaya parçaları bulunmaktadır.

D tabakası: Fiziki ve kimyevi ayrışmanın gözleendiği ana kayadan oluşmaktadır, Belirtilen tabakalardan ana toprak tabakasını yalnızca A ve B tabakaları oluşturmaktadır (Kaufmann, 2016, s.326).



Şekil 9 : Toprak Katmanları (Url:10)



Şekil 10: Toprak içyapısı (Ünal, 2011)

2.3. TOPRAĞI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

İklim toprağın oluşumunda rol oynayan en önemli faktörlerden ilkidir. Küresel ölçekte ana toprak tipleri ve ana iklim türleri arasında belirgin bir uyum vardır (Atalay, 1989, s.103).

2.3.1. İklim

Toprak oluşumu ve gelişmesinde en etkili faktör iklimdir. Özellikle sıcaklık ve yağış iklim öğelerinden etkili olanlardır. Sıcaklık kayaların fiziksel olarak parçalanmasını etkiler. Gece ve gündüz arasındaki (günlük) sıcaklık farkı bu konuda en etkili husustur. Karasal iklimin etkili olduğu yerlerde günlük sıcaklık farkı daha fazladır (Mater, 1998, s.15).

Dünyadaki kurak ve yarı kurak bölgelerde fiziksel ufalanma çok yaygındır. Sürekli fiziksel kırılmanın bir sonucu olarak, ana kaya küçük parçalar halinde kesilir. Sıcaklık ayrıca kimyevi olayların ve mikroorganizmaların etkisini arttırır, toprak oluşumu sürecini hızlandırır, Yağış kimyasal ayrışmaya neden olur (Ergene, 1998, s. 60).

Topraktaki nemin etkisi kimyasal bozuma ile sınırlı değildir. Ayrıca üst katmandaki bozulabilir maddeleri alt katmanlara taşır. Başka bir deyişle, üst kısımları yıkar ve alt kısımlarda yıkanmış maddeleri biriktirir. Topraktaki su kaynağı yağıştır. Toprağa yağışla giren su dibe sızar (Ergene, 1998, s. 61).

Yüzeyden ısınma nedeniyle görülen buharlaşma ile alttaki su yukarı yükselir. Böylece, topraktaki su dikey olarak hareket eder. Ek olarak, topraktaki su eğimini takiben yatay bir yönde hareket eder. İklim, toprak oluşumunu dolaylı olarak da etkiler. Örneğin, bitki örtüsünün özelliklerini belirleyerek toprağın oluşumunu ve gelişimini etkiler (Crocker, 1967, s.190).

2.3.2. Anakaya

Ana kaya, çözünerek-ayrışarak toprağı oluşturan toprağın altındaki ana malzemedir. Toprak oluşumunun ilk aşamasında, ana kayaların fiziki ve kimyevi özellikleri toprak üzerinde güçlü bir şekilde hissedilir. Ana kayanın ayrışmasıyla birçok mineral ve element açığa çıkar. Bu maddeler yeni oluşan toprağın ayrışması, geçirgenlik

derecesi ve bitki besin maddesi ile belirlenir. Kumtaşı, kuvarsit, gnays, bol miktarda kum gibi malzeme ayrışması sonucu açığa çıkar. Böyle toprakta kumlu topraklarda oluşur (Edwin, 2002, s.80-83).

Toprak oluşumunun ilerlemesi ile anakayanın toprak üzerindeki etkileri, toprağın uzaklaştırılması ve toprağa organik minerallerin eklenmesi nedeniyle zayıflamaya başlar. Örneğin, kireçtaşı üzerinde başlangıçta oluşan topraktaki bol kireç zamanla topraktan tamamen veya büyük ölçüde taşınır. Böylece kalkerli olmayan veya daha az kalkerli toprak oluşur. Özellikle anakaya etkisini yansıtan toprak, toprak erozyonuna maruz kalan dağlık tepelik alanlarda baskındır (Çepel, 1988, s.18).

2.3.3. Topoğrafya

Topoğrafyanın iklim ve özellikle suyun etkilerini hızlandıran veya yavaşlatan yer özellikleri olarak toprak oluşumu üzerinde dolaylı bir etkisi vardır. Benzer iklim koşullarına sahip benzer ana kayadaki topraklardan, dik eğimli arazilerde bulunanlar, doğal erozyon, yüksek yüzey akışları ve toprağa sızan düşük su nedeniyle düz arazi topraklarına kıyasla daha sık zemin örtüsüne sahiptir. Az eğimli arazilerde alt katlara sızan su miktarı yüksek olduğundan, bu arazideki toprak profilleri genellikle dik eğimli arazilerden daha derindir. Büyüyen bitkiler daha yoğun ve canlıdır (Edwin, 2002, s. 91).

2.3.4. Zaman

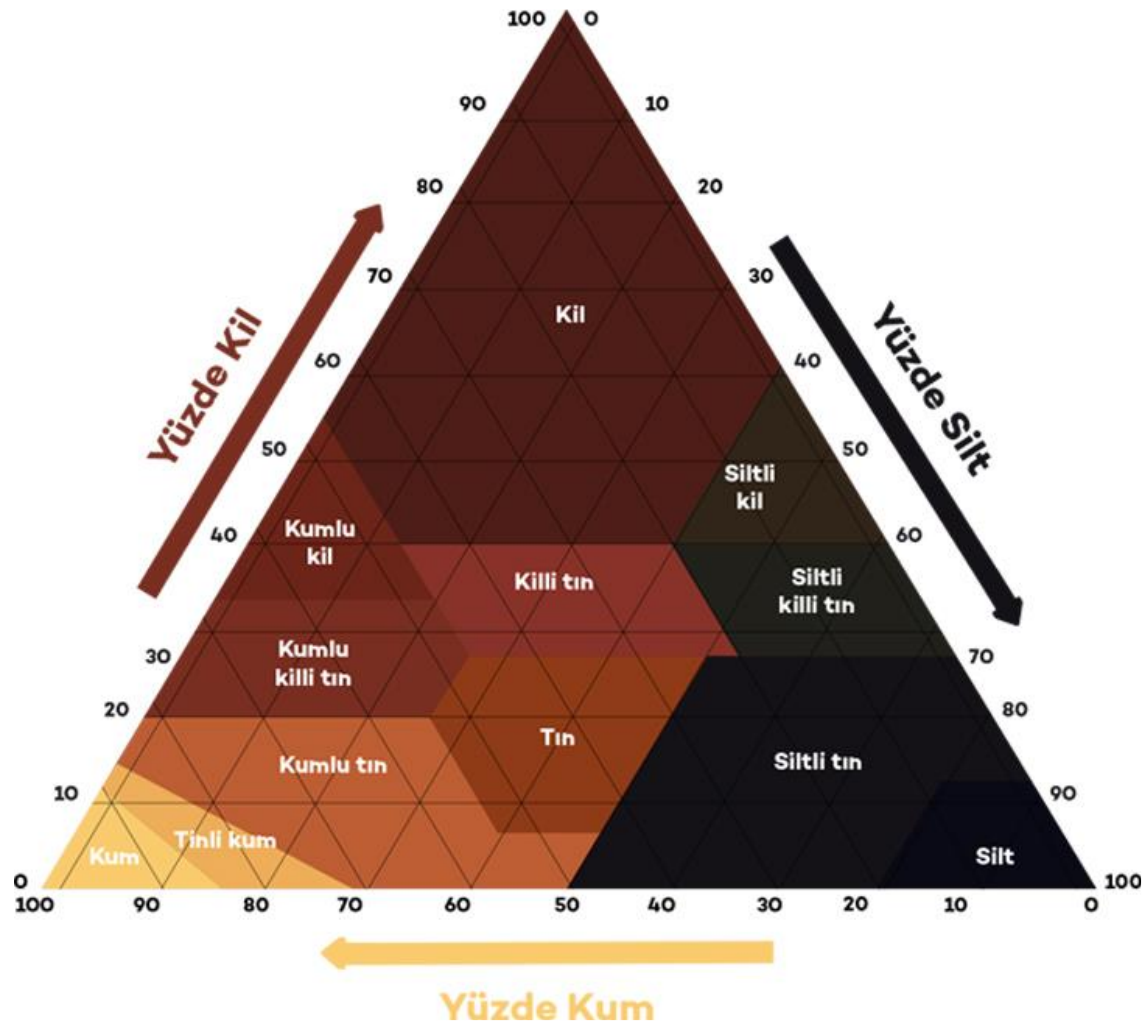
Toprakların olgun bir profil yapısına sahip olabilmesi için, ana kaya parçalanmadan önce yüz binlerce yıl geçmesi gerekir, bitkiler ve diğer toprak canlıları ayrışan zemine yerleşir, organik madde humusa ayrılır ve yeni toprak meydana gelir. Bununla birlikte, bazı faktörler toprak oluşumu için bu sürenin uzunluğunu etkiler, bu faktörler; ana kayaların fiziki ve kimyevi özellikleri iklim, bitki örtüsü ve eğimdir (Atalay, 1989, s. 71).

Kolayca bozulabilen anakayanın bulunduğu yerlerde, yağışlı ve ılıman bir iklim etkili ise, ayrışma hızlı olacağından toprak daha kısa sürede oluşacaktır. Bununla birlikte, yeterli yağışın olmadığı yerlerde, kışlar soğuktur ve bitki örtüsü cılızdır, yılın bir kısmında ayrışma süreci kesintiye uğradığından toprak oluşumu için çok daha uzun bir süre geçmelidir (Ünal, 2011, s.134).

2.4. TOPRAK DOKUSU

Toprağın özelliğini anlamak için parçacıklarının boyutlarına göre sınıflandırma yapılır. İnce çakıl (2-1mm çapında), kaba kum (1-0.5mm), kum (0.5-0.25mm), ince kum (0.25-0, 1 mm) çok ince kum (0.1-0.05 mm) gruplandırılır, mil (0.05-0.02 mm) ve kil (0.02 mm'den az) olarak gruplandırılır. Topraktaki parçacıkların oranları toprağın dokusunu oluşturur (Ashman, 2002, s.28-29).

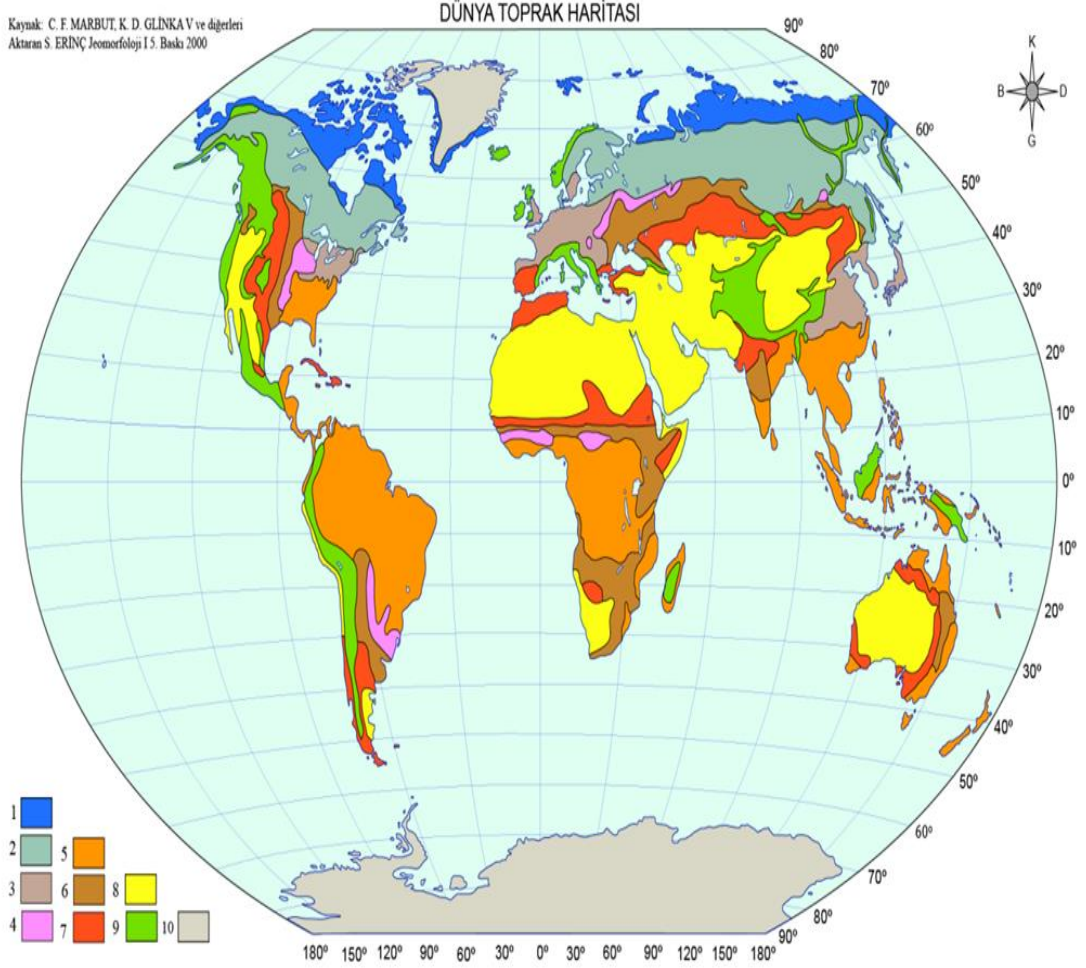
Toprak Dokusu terimi, toprak analizi ile ilgilenen bilim ve mühendislik alanlarında "toprak yapısı" olarak tanımlanmaktadır (Url: 10). Aşağıdaki elek analizi ile toprağın tipini belirerek toprak üçgeni oluşturulmuştur (Şekil 11).



Şekil 11: Toprak doku üçgeni (Url: 10)

2.5. DÜNYADA MEVCUT TOPRAKLAR

Her bir disipline özel isimleri olan çok özel toprak türleri vardır, aşağıdaki isimler dünyada mevcut topraklar en sık karşılaşılanlardır (Şekil 12).



Şekil 12: Dünya Toprak Haritası (Url: 1)

2.6. TÜRKİYE'DE MEVCUT TOPRAKLAR

Yeryüzündeki topraklar iklim koşulları, kayaçların yapısı, yer şekilleri ve dış etkilere göre üç ana gruba ayrılmaktadır. Bunlar zonal, azonal ve intrazonal topraklardır.

2.6.1. Bölgesel (Zonal) Topraklar

Dünya üzerinde geniş kuşaklar halinde yayılan zonal toprakların oluşumlarında, genetik oluşum faktörlerinden iklim ve bitki örtüsü, temel malzeme, zaman faktörlerinin etkilerini önemli ölçüde örtmüş ve bu topraklar iklim bölgeleri esas alınarak (alt sıralara) ve büyük toprak gruplarına ayrılmışlardır (Zhao, 2016).

Türkiye' de yayılma gösteren zonal topraklarda bu genel kaideye uygun bir dağılım gösterirler. Örneğin Akdeniz iklim bölgelerinin karakteristik kırmızı toprakları (terra rossa), kuzey ve Batı Anadolu'da nemli iklim bölgelerinin podsolik toprakları, Orta Anadolu Bölgesi kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinin, kahverengi, kırmızı-kahverengi, sierozem toprakları ile yarı kurak-yarı nemli iklim bölgelerinin kestane renkli, kırmızımsı kestane renkli toprakları, türkiye'deki farklı iklim bölgelerinde iklim faktörleri ve bitki örtüsünün belirgin izlerini taşıyan topraklardır. bu toprakların oluşumunda materyal, topografya ve drenaj gibi yerel etkilerde iklim ve bitki örtüsünün etkilerini güçlendirmektedir (zhao, 2016).

Bölgesel topraklarda profil oluşumu ve morfolojik yapı karakteristik ayrımlar gösterir, oluşumlarında etken olan genetik olaylar podsolloşma, lateritleşme ve kalsifikasyon (Kireç Birikmesi). Tabaka sınırları belirgindir ve A/B/C tabakaları ile yıkanma (ellüviyal) ve birikme (illüviyal) tabakaları; iklim ve yağış faktörlerinin etkisine bağlı olarak kolayca ayırt edilmektedir (Şekil 13-14) (Baldwin, 1969, s.993).

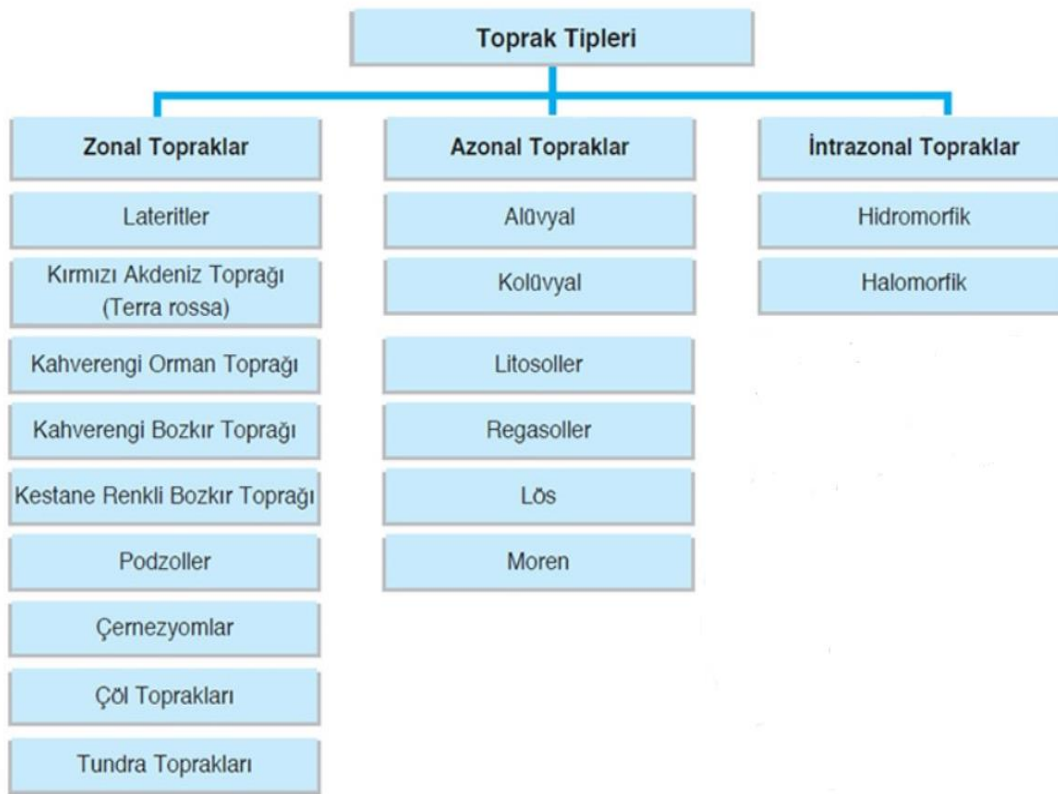
2.6.2. İntrazonal Topraklar

İklim ve bitki örtüsünün toprak oluşumu temel malzeme üzerindeki açık etkileri, topografya ve oluşumunda aşırı ıslaklık gibi yerel faktörlerin etkisi, kötü drenaj, tuzluluk ve alkalinite veya ana materyal çok fazla kalsiyum karbonat içermesi faktörler topraklara karakteristik özellikler kazandırmıştır. Birçok özellik açısından intrazonal topraklar, bölgesel topraklara benzer, ancak belirli bir iklim bölgesi ve bitki örtüsüne sahiptir (Baldwin, 1969, s.994).

hemen her bölgesinde bulunan ve verimli tarım arazilerini oluşturan alluviyel topraklar, Regosol topraklar ve taşlı karakterli Lithosol topraklar azonal topraklara örnek olarak gösterilir (Şekil 14-15) (Baldwin, 1969, s.997).

2.6.4. Litosoller (Taşlı topraklar)

Dağlık alanların eğimlerinde sürekli aşınma nedeniyle anakayanın ayrışmasıyla oluşan taşlı topraklardır. Su eğimli ve gözenekli alanlarda sıkışamaz ve bu nedenle topraktaki kuraklık artar. Yağmur damlası erozyonu, ince malzemelerin taşınmasına ve yüzeysel akışa geçen su ile çakıl miktarının artmasına neden olur. Bu nedenle, çakıllı alanlar bitki örtüsü bakımından zayıftır. Taşlı topraklar özellikle Taşeli Yaylası, Bozdağ, Aydın ve Bitlis Dağları, Kaçkar Dağları'nın yamaçları, Orta ve Doğu Anadolu'daki volkan konilerinin yamaçları ve Bolu ve Aladağ'ın güneye bakan yamaçlarında görülür (Şekil 13-14) (Dinç, 1980, s.86).



Şekil 14: Türkiye’de Toprak Tiplerinin Sınıflandırılması (Url: 4)

2.7. YAPIDA KULLANILAN TOPRAKLAR

2.7.1. Terra Rosa Toprağı

Bu topraklar, Akdeniz ikliminin hüküm sürdüğü bölgelerimizde görülür. Her türlü kaya üzerinde gelişmişlerdir. Ancak bu topraklar; çoğunlukla kireç taşlarının olduğu alanlarda daha yaygındır. Toprak düz sahalarda kireç taşlarının üzerinde eğimli sahalarda kireç taşlarının çatlakları ve tabaka yüzeyleri boyunca oluşmuştur. Kırmızı Akdeniz toprakları Toroslardaki karstik ovaların tabanlarında görülür. Güney Doğu Anadolu'da da kırmızı topraklar görülür. Kırmızı Akdeniz toprakları her türlü tarım ürünün yetişmesine uygundur. Toprağın verimi gübre verildiği takdirde artar (Kafescioğlu, 2017, s.37).

2.7.2. Kara Pamuk Toprağı

Bu tür topraklar nemli tropik bölgelerde, bazalt ve benzeri volkanik kayaları. Parçalanması ve ayrışmasıyla oluşur. Bünyelerinde kireç ve genellikle büyük oranlarda montmorillonit grubu killer bulunduğu için kohezyon ve Plastisite zellikleri ne sahiptirler. Dış ortamda suyla karıştırılıp kurumaya bırakıldıklarında, kendiliğin-den çok yavaş gelişen bir stabilizasyon süreci oluşur ve kitlenin rijitliği zamanla artar. Afrika'nın bazı bölgelerinde doğal haliyle blok üretilerek duvar yapımında kullanılmaktadır. Kara pamuk topraklar çok miktarda kil içerdikleri için plastisite indisi ve rötre büyüktür (Kafescioğlu, 2017, s.36).

2.7.3. Laterit Toprağı

Bu tür topraklar ekseriya ekvatora yakın bölgelerde, tropikal ve alt tropikal bölgelerde B tabakasında bulunur. Çok ileri düzeyde parçalanma ve metalik hidroksit konsantrasyonu gösterirler. Genellikle yumuşak, kumlu ve killidirler. Aşıboyası, kızıl, kahve, menekşe ye siyah renkte olabilirler. Bazıları sert ye çakıllı olur ve çeşitli demir bileyenleri içerir (Kafescioğlu, 2017, s.36).

Alüminyum bileşenleri acısından zengin olanlarda vardır. Lateritler içinde bazen çok ince bir organik toprak tabakası bulunabilir. Belirgin zellikleri, havayla temas ettiklerinde hızla sertleşerek, atmosfer etkilerine dayanıklı, suda çözülmeyen bir kitleye dnşmeleridir. Lateritler bu nitelikleri nedeniyle geleneksel toprak bloklara (kerpilere) kıyasla yapı için olumlu özelliklere sahiptir (Kafescioğlu, 2017, s.36).

2.8. KİL MİNERAL GRUPLARI

2.8.1. Kaolinit

Bu kil grubunun içyapısı Gruner tarafından XRD analiziyle incelenerek açıklanmıştır. Kimyasal birleşimi $Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$ olan kaolin SiO_4 , tetraederlerinden oluşan tabaka ile $Al(OH)_3$ oktaederlerinden oluşan bir tabakadan ibarettir. Kimyasal formülünde Al_2O_3 %40, SiO_2 %46, H_2O %14 ağırlığındadır. Bazı türleri Fe, Mg ve diğer oksitleri de içerir. Aktivesi düşük killer grubundadır (Kafescioğlu, 2017, s.41).

Çok saf olduğu zaman hidrat alümin silikat (kaolinit) adını alır ve üstteki tabakaların ayrışması sonunda gelişme sürecine kaolinizasyon denir. Kaolinizasyon sonucunda meydana gelen kaolinit çeşitli etkilerle yer değiştirmeden, içinde az miktarda demir oksit, alkali bazları, toprak alkalileri (sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum) bulunabilir. Kaolinizasyon sırasında oluşan kitle sellerle sürüklenerek başka maddeler ve taş parçalarıyla karışır. Bazen hayvan ve bitki fosilleri ile bazı karmaşık kombinasyonları da bünyesinde barındırır. Kaolinler de diğer kil türleri gibi, çeşitli gruplar oluşturur (Şekil 15) (Kafescioğlu, 2017, s.41).

2.8.2. İllit

İllit grubu veya mika grubu kil minerallerinin simektit grubundan farkı, potasyum (K^+) içermeleridir (Yalçın, 2010, s.15). Tabaka yapısında olmalarının yanı sıra tabakaları negatif yüklüdür. Montmorillonit mineralinin katmanlarındaki Si^{4+} iyonlarının %15-25'i yerine Al^{3+} iyonlarının bir kısmı yerine ise Fe^{3+} ve Mg^{2+} iyonlarının geçmesiyle illit minerali oluşmaktadır.

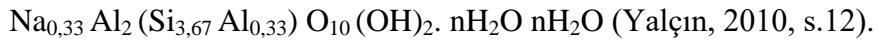
Bu mineralinin genel kimyasal formülü $(Si_8 Al) (Al_4, Fe_4, Mg_4, Mg_6) O_{20} (OH)_4 K$ şeklinde olup arasında değişmektedir. Doğal katman kalınlığı ise 1,0 nm civarındadır. İllit mineralindeki yük denkleği katmanlar arasında bulunan ve bir başka iyonla kolayca yer değiştiremeyen K^+ iyonları ile sağlanmaktadır (Yalçın, 2010, s.15).

2.8.3. Montmorillonit

Bentonit, smektit grubu kil minerallerindendir. İlk olarak ABD Wyoming eyaleti Ford Benton yakınlarında bulunan Plastisite yüksek ve kolloidal yapı özelliği

gösteren bir çeşit kile bentonit adı verilmiş ve aynı özelliklerde başka bir kil de Fransa'nın Montmorillon bölgesinde bulunarak montmorillonit adı verilmiştir (İşçi, 2015, s.4). Sementit kili ile aynı özelliklere sahip bu killere smektit grubu killeri olarak bilinir. Bentonit killerinin %80'inden fazlası montmorillonit killerinden oluşmaktadır. Endüstride çokça kullanılan bentonit kili, montmorillonit kilinin ticari ismi olarak da bilinir (İşçi, 2015, s.4).

Montmorillonitlerde oktahedral tabakada katman oluşurken, formülü şöyledir:



Bu gruptaki killerin zerrelere çok ince kristal partiküller halindedir. Bu özellikleri nedeniyle, buldukları yerlerde çok büyük bir özgül yüzey oluştururlar. Grubun iç yapısı, 1933'te Hofmann tarafından incelenmiş ve açıklanmıştır. Montmorillonit grubu killerin doğada var olan türlerinin kimyasal birleşiminde alüminyumun yanında genellikle bir miktar magnezyum da bulunur (Kafescioğlu, 2017, s.41).

Grubun minerallerindeki kimyasal birleşimindeki su molekülleri de değişik değerlerde olabilir. Buna bağlı olarak da killerin özelliklerinde değişiklikler görülür. Montmorillonit grubu killerin hacimsel stabilitesinin az, hidroskobik özelliklerinin, şişme oranlarının yüksek ve aktif olması kullanımları sırasında bazı sakıncalar yaratır (Şekil 16) (Kafescioğlu, 2017, s.41).

2.8.4. Klorit

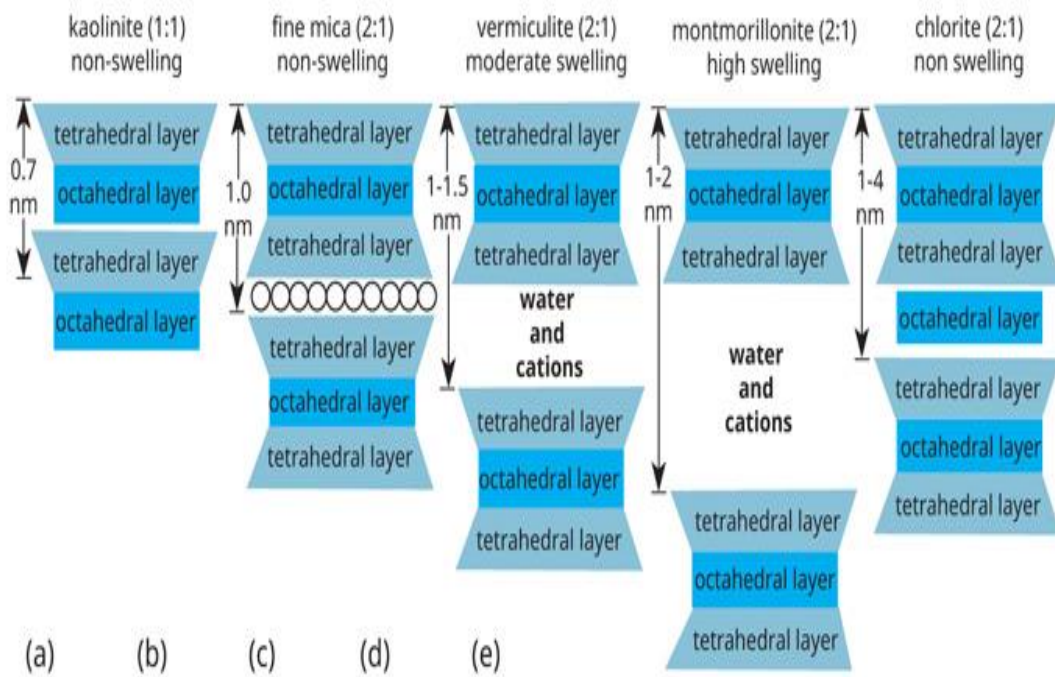
Tetrahedronların merkezindeki Si^{4+} yerine kısmen Al^{3+} geçmesiyle eksi yüklenen 2:1 tabakaları ile Mg^{2+} yerine kısmen Al^{3+} geçmesiyle artı yüklenen burisit tabakası arasındaki iyonik çekim kuvveti nedeniyle dört katmanlı klorit tabakası oluşmaktadır.

Kloritlerin dört tabakalı yapısında oluşan katmanların alt yüzünde tetrahedronlara ait oksijen tabakası, üst yüzünde de oktahedronlara ait hidroksilli tabaka bulunur. Bir katmanın oksijen düzlemi ile diğer katmanın hidroksilli düzlemi arasında oluşan hidrojen bağları nedeniyle yüzeyler ve dolayısıyla tabakaları birbirine bağlanarak klorit partiküllerini oluşturur. Bu nedenle, klorit grubu killerin aynı kaolinit grubunda olduğu gibi şişmeleri ve tabakalar arası katyonları azdır. Klorit grubu kil

mineralleri hidratlaşmış magnezyumlu alüminyum silikatlar olarak nitelenebilir (Şekil 16) (Yalçın, 2010, s.15).

2.8.5. Vermikülit

Fillosilikatların bir başka grubunu oluşturan vermikülit, montmorillonite oranla daha fazla tabaka yüküne sahiptir. Bu tabaka yükü de tetrahedron silikon yerine kısmen alüminyum yer değişimlerinden oluşmaktadır. Vermikülitler dioktahedral ya da trioktahedral yapıda olabilirler. Tabakaları arasında magnezyum veya kalsiyum gibi katyonlar ile iki moleküler su katmanı bulunur. Tabakaları arasında sulu katyonların bulunması diğer minerallerden ayırt edilmelerinde önemli bir ölçüttür (Şekil 15) (Yalçın, 2010, s.14).



Şekil 15 : Kil mineralleri (a) kaolinit, (c) vermikülit, (d) montmorillonit ve (e) klorit

3. TOPRAK YAPI MALZEMESİ İLE YAPIM YÖNTEMLERİ

3.1. TOPRAK BLOKLARLA ÜRETİLEN TAŞIYICI DUVARLAR

Toprak bloklarla yığma duvar yapımında tuğla yığma yapı kuralları uygulanır. Toprak yığma duvarlar yarım, bir buçuk ve iki blok kalınlığında, tuğla duvar örgü düzeninde yapılır. (Kafescioğlu, 2017, s.128).

3.1.1. Kubbe Ve Tonozlar

Belirlenen koşullara uyularak üretilen, basınç dayanımı yeterli düzeyde olan iyi kalitedeki toprak bloklarla eski dönemlerde kubbe ve tonoz yapıldığı bilinmektedir. Harran örneğinde olduğu gibi kubbe yapımında küresel form yerine, kalıp yapılamadığı için, konik bir form tercih edilir (Kafescioğlu, 2017, s.133).

3.1.2. Toprak Doldurulan Torbalarla Oluşturulan Yapılar

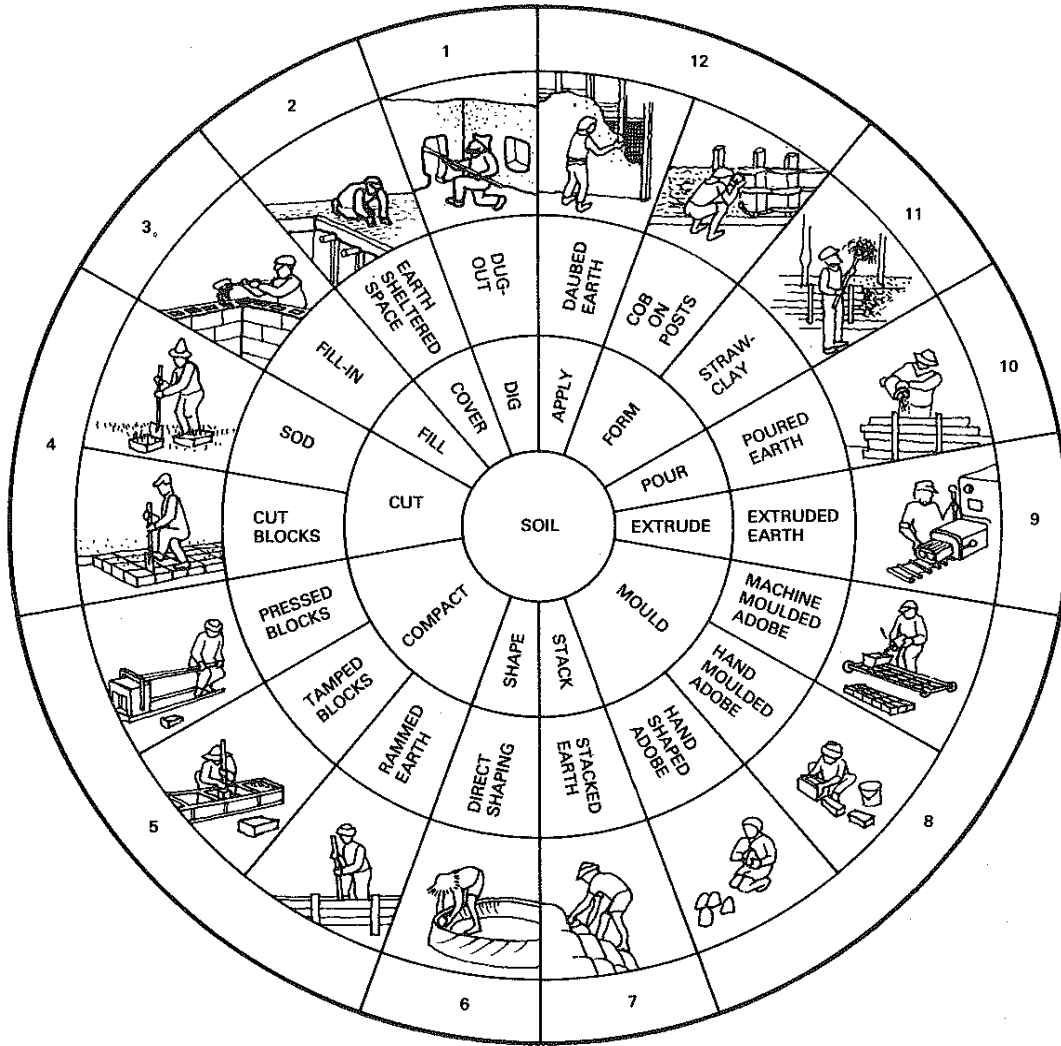
Toprak doldurulan torbalarla oluşturulan yapılar ABD'de son zamanlarda hızlı, ucuz, kolay yapı oluşturmak amacıyla geliştirilmiştir. Başlangıçta toprak doldurulmuş, atmosfer koşullarına dayanıklı sentetik liflerden yapılmış çuvallar, dairelerden oluşan alanlarda yan yana dizilerek Harran'daki konik kubbelere benzeyen, sıvalı veya sıvasız, evler yapılır üst üste konan çuvalların kaymaması için araya iki sıra dikenli tel koyulur. Silindir şeklindeki hacimlerin üstünün düz damla örtüldüğü yapılara da betonarme kolye ve döşeme yapıp duvarları toprak doldurulmuş çuvallarla oluşan yapılara da rastlanır (Kafescioğlu, 2017, s.135).

3.1.3. Sandık Şeklindeki Kalıplara Döküm

Sandık şeklindeki kalıplara döküm diğer kalıp türlerinden birinin tedarik edilemediği veya kalıp maliyetinin amor-ti edilemeyeceği tek evlik küçük şantiyelerde, sandık şeklinde kalıp kullanılabilir (Şekil 16), (Kafescioğlu, 2017, s.142).

3.1.4. Çeşitli Panolarla Oluşan Kalıplara Döküm

Kayar kalıplarla yerinde döküm, sandık kalıbın uzun boyutlu bir türü olarak değerlendirilebilir, karışım döküm yerinin yakınında yapılırsa işçiler tarafından kalıba aktarılabilir, her seferde 15-20 cm kadar bir kat karışım döküm yapıp yerleştirilir ve tokmaklanarak sıkıştırılır, sıra tamamlandınca kalıp bir kademe yukarıya kaydırılır, döküm işine devam edilir, hatıl ve köşe bağlantıları kolayca koyulabilmektedir (Kafescioğlu, 2017, s.143).



Şekil 16: Kerpiç yapım yöntemleri (Houben, 1994, s.165)

3.1.5. Sıkıştırılmış Blok

Toprak inşaat için birçok teknik olmasına rağmen, sıkıştırılmış toprak bloğunun bu teknolojilerin en önemlilerinden, en iyilerinden ve en popülerlerinden biri olduğu kanıtlanmıştır. Bu tekniğin temeli önceden hazırlanmış toprak karışımının sıkıştırılmasıdır (AlRafei, 2007, s.86-99).

3.1.5.1. Yöntem

Yöntem, toprak karışımının çelik kalıplara preslenmesi esasına dayanmaktadır. Preslenen bloklar kuruduktan sonra kullanılabilirlerdir. Su oranı %8-20 arası olmalıdır, çimento, kireç veya alçı gibi stabilizatörlerin yanı sıra farklı boyutlarda kum kullanılarak, karışım çelik kalıplarda 6-25 MPa arasında değişen yüksek basınç altında preslenir (Şekil 17).

3.1.5.2. Malzeme Toplama ve Parçalama

Bu aşamada, toprak kütlesi hazırlayıp kuru gevşek parçalara dönüştürülmek üzere kırılır, bu aşama kil blokların öğütülmesi ve granülleri 4 mm'den daha küçük haline dönüştürülür.

3.1.5.3. Eleme ve Karıştırma

Ürün kuru halde büyük granüllerin bulunmamasını ve gerekli homojenliği ve granül sağlamak için standart eleklerle elenir. Toprak bileşenleri kum ve stabilizatör (kireç, çimento, alçı) ile iyice karıştırılır. Kuru karıştırmadan sonra, karışımın preslenmeye hazır hale getirilmesi için karışıma hesaplanan miktarlarda su ilave edilir.

3.1.5.4. Sıkıştırma ve Sertleştirme

Islak karışım, hidrolik, mekanik veya manuel preslerin gerektirdiği farklı şekil ve boyutlarda demir kalıplara sıkıştırılır. Üretiminin iyi bir havalandırmaya sahip bir yerde istiflenmesi imalatın son aşamasıdır. Bloklar çimento veya kireç ile stabilize için üç haftaya veya bir aya kadar nem ve ısı ile kürlenip preslenir.



Şekil 17: Üretilmiş Sıkıştırılmış Kerpiç Blokların Üretim Hattı (Url: 15)

3.1.5.5. İyileştirme ve Stabilizasyon

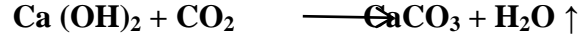
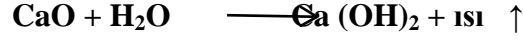
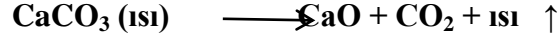
Geçmişte bazı yöntemler geliştirilmiş olsa da mevcut tespit çerçevesinden geliştirilen yöntemler ve bilimsel çalışmalar tamamen yenidir. İlk araştırma 1920'lerde ve özellikle 1940 ile 1960 arasında başladı. İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra bu alanda önemli ilerleme sağlandı, büyük firmaların oluşturdukları tesislerde geliştirdikleri yöntemlerle ürettikleri toprak, blok ve yapı bileşenlerinin karışımlarını sunduğu güçlü bir pazar ve sektör oluşturulmuştur (Kafescioğlu, 2017, s.70).

3.1.5.5.1. Kireç İle Stabilizasyon

Kireç, hidrolik kireç ve hava kireci olarak genellikle adlandırılan su altında kalma yeteneğine göre sınıflandırılır. Hava kireci, inşaatta kullanıldığında hava kireci ile karşılaştırıldığında zaman alır. Hava kireci saf kireçtaşının Kalsinasyon işleminden elde edilirken, hidrolik kireç kil ve diğer safsızlıkların bulunduğu kireçtaşından elde edilir (Rıza, 2011, s.582).

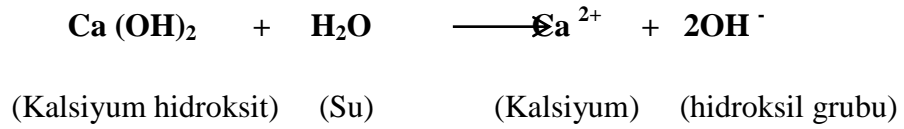
Sönmüş Kireç $[Ca(OH)_2]$, sönmemiş kirecin (CaO) söndürülmesi ile üretilir. Sönmemiş kireç, kireç taşının (CaCO₃) endotermik kalsinasyonu ile elde edilir,

Kalsiyum hidroksit karbondioksitle maruz kaldığında reaksiyonu tamamlamak yıllar alabilir:

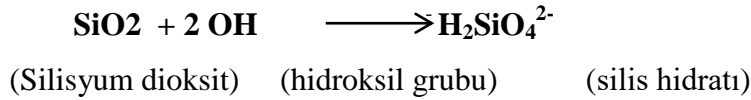


Temel olarak, puzolanlar kireç ile reaksiyona girebilen ve bağlanma özelliklerine sahip çözünmez ürün oluşturabilen iki temel özelliğe sahiptir.

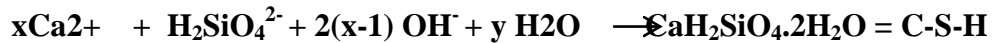
Reaktif toprağa kireç eklendiğinde, toprak ile kireç reaksiyona girmektedir. Kilden çözünen alüminatlar ile reaksiyona giren kireç, puzolanik reaksiyonun devam edebildiği sürece kalsiyum silikat hidratlar ve kalsiyum alüminam hidratlar üretecektir. Yeterli kireç mevcut ise ve ortam Ph'ı yüksek kaldığı sürece reaksiyon çok uzun süre devam edebilir. Sıkıştırılmış toprak bloklarını stabilize etmek için, karışıma bir kısmı kalsiyum hidroksit olan bir kısım suya ihtiyacı vardır. İlk adım, kalsiyum hidroksitin üzerine su eklemektir. Bunun sebebi ise kalsiyumu ve hidroksit grubunu birbirinden ayırmaktır (Rıza, 2011, s.584):



İkinci adım, negatif yüklü serbest hidroksit grubundan (OH-) parçanın toprak karışımındaki silisyum dioksit (SiO₂), özellikle ince kum (kaolinitten ezilmiş kuvars veya silika) ile silis hidratı birleştirilmesidir (H₂SiO₄) (Rıza, 2011, s.584).

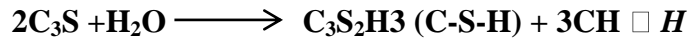


Üçüncü adım, bağlayıcı olan kalsiyum silikat hidratın (C-S-H) bir kısmına ek olarak silika hidrat (H₂SiO₄²⁻) ile birinci denklemden kaynaklanan kalsiyum oksit (CaO) birleşimidir (Rıza, 2011, S.584).



3.1.5.5.2. Çimento İle Stabilizasyon

En önemli hidrolik bileşen kalsiyum silikatlar, C₂S ve C₃S'dir. Su ile karıştırıldıktan sonra, kalsiyum silikatlar su molekülleri ile reaksiyona girerek kalsiyum silikat hidrat (3CaO • 2SiO₂ • 3H₂O) (C-S-H) ve kalsiyum hidroksit (Ca [OH]₂) oluşturur. Bu bileşiklere C-S-H (ortalama formül C₃S₂H₃ ile temsil edilir) ve CH steno gösterimleri verilir. Trikalsiyum silikat su ilave edildikten sonraki ilk saniyelerde çözünür; bununla birlikte, çözünme hızı doygunluktan önce yaklaşık 17 büyüklükte hızla azalır. C₃S'nin toplam hidrasyonu, kalsiyum hidroksit ve kalsiyum silikat hidrat jelinin oluşması ile sonuçlanır. Dikalsiyum silikat, C₃S ile aynı hidrasyon mekanizmasını takip eder, ancak daha yavaş bir orandadır (Peng, 2014, s.3).



Trikalsiyum silikat + Su □ kalsiyum silikat hidrat + kalsiyum hidrat + ısı



Dikalsiyum silikatlar + Su □ kalsiyum silikat hidrat + kalsiyum hidrat + ısı

Yukarıdaki reaksiyonun ana ürünleri şunlardır: kalsiyum silikat hidratlar, monosülfoalüminatlar ve kalsiyum hidroksit. Bir blokta dayanık gelişiminden sorumlu olan ilk ikisi, yani C-S-H. Bu reaksiyondan etkelenen topraktaki çakıl ve kumlu fraksiyonlardır. Kalsiyum silikat hidrat C-S-H yüksek bağlama kapasitesine sahip olduğu bilinmektedir. Ürettikleri bağlayıcı kuvvetler, toprak kumaşı içinde güçlü bir ağ oluşturan çakıl ve kum fraksiyonlarının iç içe geçmesinden ve gömülmesinden sorumludur (Peng, 2014, s.5).

3.1.5.5.3. Alçı İle Stabilizasyon

Alçı katkılı yapı işlerinde kullanılan alçı, doğadaki alçıtaşının (CaSO₄,2H₂O) dikey veya döner fırınlarda 160-200⁰C'de pişirilerek molekül suyunun dörtte üçünü kaybedip (CaSO₄,1/2.H₂O) beta alçıya dönüşmesiyle elde edilir. Stabilizasyon işlemlerinde, fırından çıktığı haliyle kaba veya ham alçı olarak tanımlanan alçı hiçbir katkı yapılmadan, sadece öğütülerek kullanılır. Çok basit tesislerde üretilen ucuz bir üründür (Kafescioğlu, 2017, s.83).

3.1.6. Avantajlar ve Dezavantajlar

Sıkıştırılmış kerpiç blokların avantajları ile dezavantajlar Alrafei'ye göre şöyledir (2007, s.88-91).

3.1.6.1. Sıkıştırılmış Kerpiç Blokların Avantajları

- a) Tuğla, beton veya kerpiç bloklardan %30 daha az bir maliyetle elde edilebildiğinden, üretim maliyeti maksimuma düşüktür. Bloklar oluşturan malzemeler kolayca geri dönüştürülebilir. Ayrıca doğal çevre üzerinde herhangi bir olumsuz etki. Buna ek olarak, üretim ekipmanının sadeliği onu çok düşük karbon ayak izine işaret eder.
- b) Kuru ve ıslak hallerinde yüksek mukavemetlidir.
- c) Üretim süreçleri basit ekipmanla gerçekleştirildiğinden ve kerpiç kırmızısı tuğlalarda olduğu gibi fırınlarda yakılmasına gerek olmadığı için enerji tüketiminde ciddi bir tasarruf sağlamaktadır.
- d) Geleneksel kerpiçlerin aksine, yağmur suyuna dayanıklıdır.
- e) Blokların yüksek kütlesi, yüksek bir termal gecikme süresi elde etmesini sağlar, iyi bir ısı yalıtımı sağlar. Sonunda, inşaattaki termal performansı mükemmel tutar ve yaz aylarında soğutma ve kış aylarında ısıtma için harcanan enerji maliyetinden tasarruf edilir.
- f) Geleneksel kerpicing aksine, bu bloklar üretim teknolojileriyle yapı taşları ve beton ile kullanılabilir.
- g) Üretim tekniği sayesinde, bloklar gözenekleri sonsuz derecede azaltır, böylece rüzgâra karşı dirençlerini ve nemlendirende şişme ve büzölmeye karşı dirençlerini arttırır.
- h) Tekniğin demir kalıplarda preslemeye bağımlı olması nedeniyle, farklı yapı ihtiyaçlarını karşılayan birçok farklı boyut ve şekildeki bloklar elde edilebilir.
- i) Üretim sürecinin ve ekipmanının sadeliği nedeniyle, işçiler veya yerel halk, kolayca üretim ve onlara aktarmak için eğitilebilir.
- j) Bu teknoloji, basit el presliyle üretimden başlayarak, günde az miktarda blok üretmekten, büyük miktarlarda üretim yapan otomatik fabrikaların kurulmasına kadar değişen yatırım seviyelerini kabul eden büyük bir esnekliğe sahiptir. İş planlarına ve farklı yatırım sermayesi seviyelerine uygun birçok seçenek vardır.
- k) Bu teknoloji, yerel nüfus için iyi iş olanakları sağlayabileceğinden, bina yoluyla yerel kalkınma oluşturmanın bir yoludur.

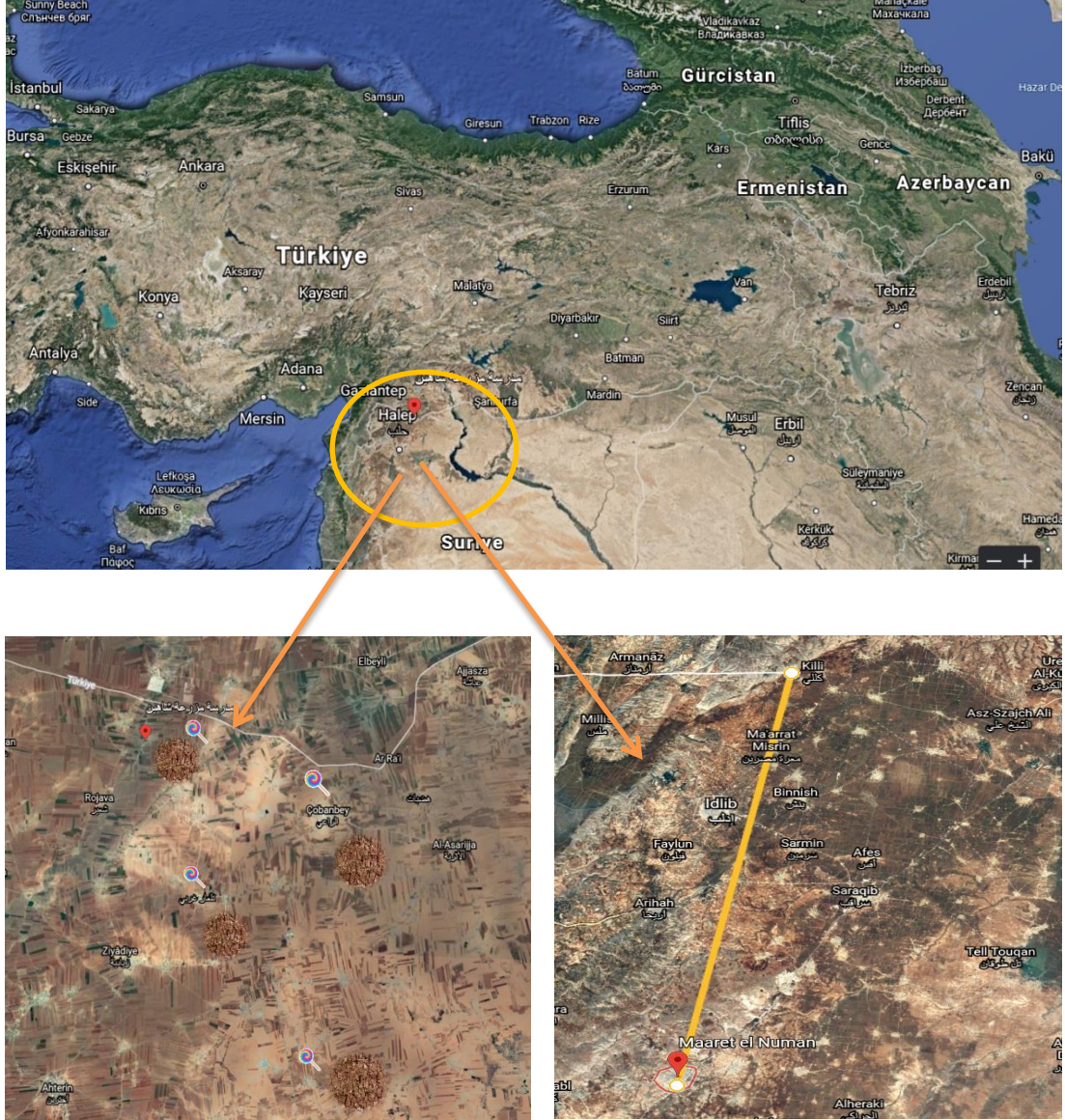
- l)** Üretim operasyonlarının geniş arazi veya karmaşık altyapı tesislerine ihtiyacı yoktur. Daha ziyade, üretim ekipmanı şantiyeye taşınabilir, böylece maliyeti düşürür ve nihai ürünün taşınmasından kaynaklanan kirliliği azaltır.
- m)** Bilinçli tasarım sayesinde, bloklar deprem yüklerine direnmeye yardımcı olur ve yüksek düzeyde güvenlik sağlar.
- n)** Üretim, çok az miktarda su gerektirdiği için su tüketiminde çok uygun maliyetlidir. Sadece %8 ila %12 arasında nem oranına yedeklidir.
- o)** Yüksek düzeyde ses yalıtımı sağlar.
- p)** Yangına dayanıklıdır ve yangının yayılmasını önler.
- q)** Üretim sürecinde arta kalan atıklar hemen geri dönüştürüldüğü ve kullanıldığı için herhangi bir çevre kirliliği yaratmaz.
- r)** Bloklar taşıyıcı duvar olarak kullanarak, betonarmeden vazgeçilebilir.
- s)** Toprak karışımında kullanılan kireç veya çimento oranları % 10'u aşmayan çok küçük miktardadır, bu nedenle üretimlerinde çok fazla enerji tüketen bu malzemelerin tüketiminde tasarruf sağlar.

3.1.6.2. Dezavantajlar

- a)** Özellikle orta ve yüksek alan alanlarda düzenli olarak bakım yapılması ve uygun şekilde korunması gerekmektedir.
- b)** Yeterince takviye edilmemiş veya korunmamışsa, aşınma ve darbelere karşı düşük dirençlidir (Abhijeet, 2015, s.119).

4. TOPRAK KARAKTERİZASYONU

Bu bölümde sıkıştırılmış blok üretimi öncesi yapılması gereken karakterizasyon deneyleri ve deney sonuçları değerlendirilecektir. Üretimden önce toprak test edilmeli, bileşenleri ve özellikleri belirlenmelidir. Toplanan topraklar altı ayrı bölgeden getirilmiştir, onlar sırayla Tel Aar, Tel Battal, Tel Rai, Şahin Çiftliği, Maret ve Killi. Bu bölgeler Suriye'de yer almaktadır (Şekil 18).



Şekil 18: Kullanılan toprakların alındığı bölgeler

4.1. ENSTRÜMENTAL ANALİZLER

4.1.1. X Işınları Difraksiyonu (XRD)

Çok geniş bir uygulama alanı olan X-Işını Kırınımı (XRD) tekniği ile kristalin yapıya sahip inorganik ve bazı organik toprak ve kil fazları nitel ve nicel olarak tanımlanabilmektedir. XRD tekniğinin temeli angström boyutundaki dalga boyuna sahip x ışınlarının kristallerin yüzeylerini oluşturan atom düzlemleri arasına (kristal kafesi içerisine) girip-çıkabilmeleri ve bu yüzeylerden kırılarak yansiyabilmeleri prensibine dayanır (Şekil 19-20) (Kırmızıgül, 2008, s.32).

Analiz edilen örnek ilk olarak öğütücüler ile 22 mikron altında bir boyutta toz haline getirilmiştir. Toz haline getirilmiş numune, dikey presleme ile analize uygun hale getirilmiştir. Killerde, numune damıtılmış su ile süspanse edildi. Saf su kil arasındaki kasyonu bozmaz. Stokıs kuralına göre, tane büyüklüğü 2 mikrondan daha büyük olanlar çöker, boyutu 2 mikrondan az olanlar ayrılmak üzere yukarıda kalır. XRD ile elde edilen analiz sonuçları grafik olarak verilir. Mineraller için hazırlanan katalogların karşılaştırılmasıyla bulunmaktadır (Kırmızıgül, 2008, s.36).

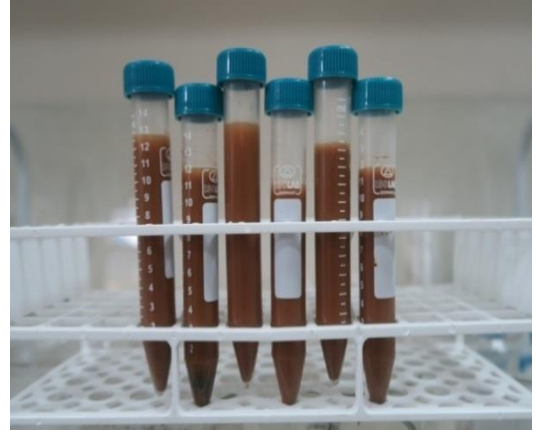
Tel Battal'dan alınan toprak örneğinden hazırlanan numuneler üzerinde XRD deneyleri gerçekleştirilmiş ve toprakta tespit edilen kil mineralleri Şekil 22 ve Çizelge 2'de verilmiştir. Tel Aar Toprağı, Tel Aar'dan alınan toprak örneğinden hazırlanan numuneler üzerinde XRD deneyleri gerçekleştirilmiş ve toprakta tespit edilen kil mineralleri Şekil 23 ve Çizelge 3'de verilmiştir.

Tel Rai'den alınan toprak örneğinden hazırlanan numuneler üzerinde XRD deneyleri gerçekleştirilmiş ve toprakta tespit edilen kil mineralleri Şekil 24 ve Çizelge 4'de verilmiştir. Şahin Çiftliği, Şahin Çiftliği'nden alınan toprak örneğinden hazırlanan numuneler üzerinde XRD deneyleri gerçekleştirilmiş ve toprakta tespit edilen kil mineralleri Şekil 21 ve Çizelge 1'de verilmiştir.

Maret'den alınan toprak örneğinden hazırlanan numuneler üzerinde XRD deneyleri gerçekleştirilmiş ve toprakta tespit edilen kil mineralleri Şeki 26 ve Çizelge 6'de verilmiştir. Killi Toprağı, Killi'den alınan toprak örneğinden hazırlanan numuneler üzerinde XRD deneyleri gerçekleştirilmiş ve toprakta tespit edilen kil mineralleri Şeki 25 ve Çizelge 5'de verilmiştir.



A: Toprakların asitle muameleleri



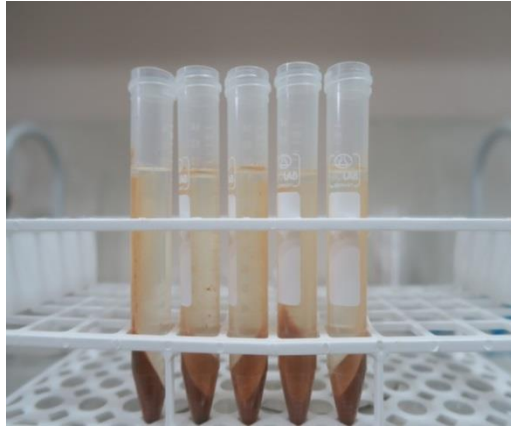
B: Ayırmak için toprağın tüplerde hazırlanması



C: Kil ayırıcı içindeki çözeltilerin görüntüsü



D: Kil ayrıldıktan sonra toprak tüplerin görüntüsü



E: Kalan kili ayırmak için toprak çözeltisinin test tekrarı



F: Araştırmacı testi yaparken

Şekil 19: XRD Numune hazırlığı (KURAM Lab.)



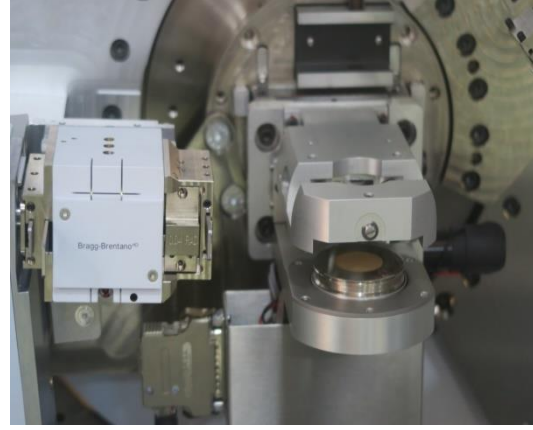
A: Kül fırınına numunelerin yerleştirilmesi



B: Numunenin hazırlaması



C: Numunenin cihaza yerleştirilmesi



D: XRD Analizi

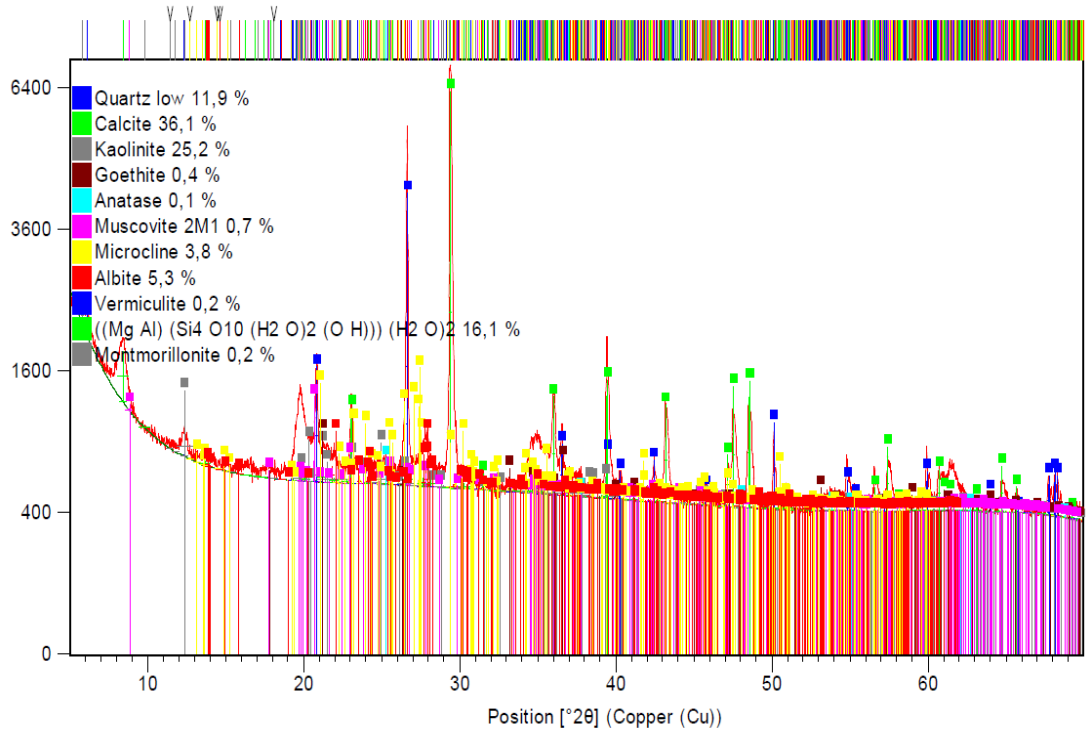


G: Araştırmacı, test sonuçlarını takip ederken



F: X- Işını açısının değiştirilmesi

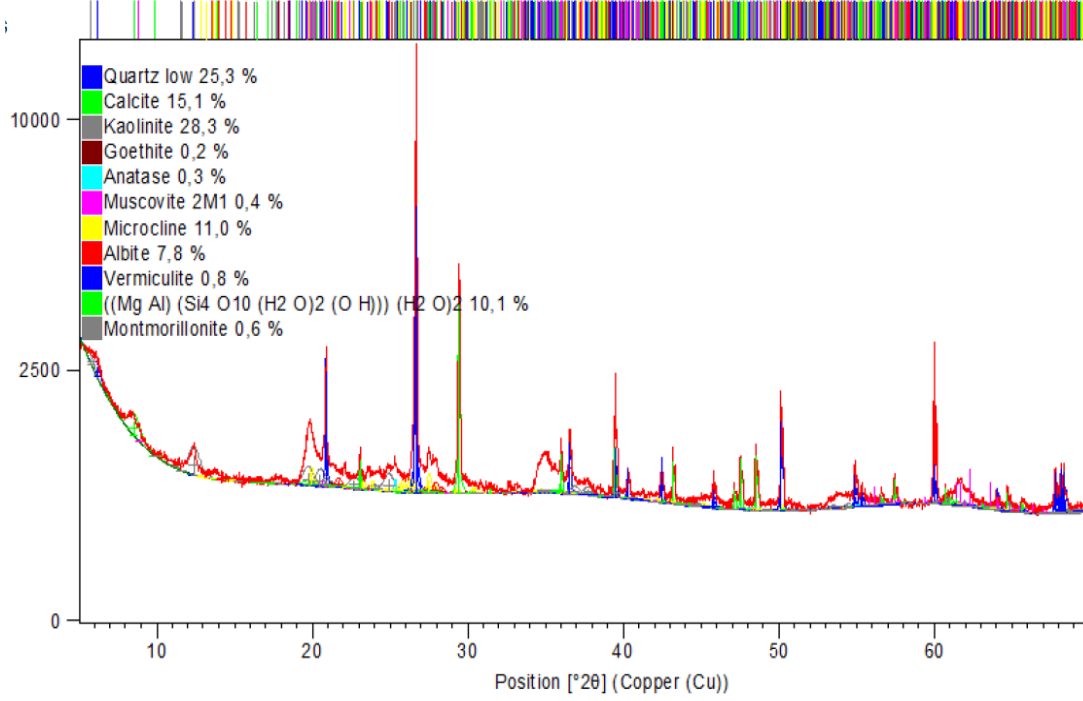
Şekil 20: X-ışını difraksiyonu analizini aşamaları



Şekil 21: Şahin toprağı xrd analizi

Çizelge 1: Şahin toprağı bileşenleri (%)

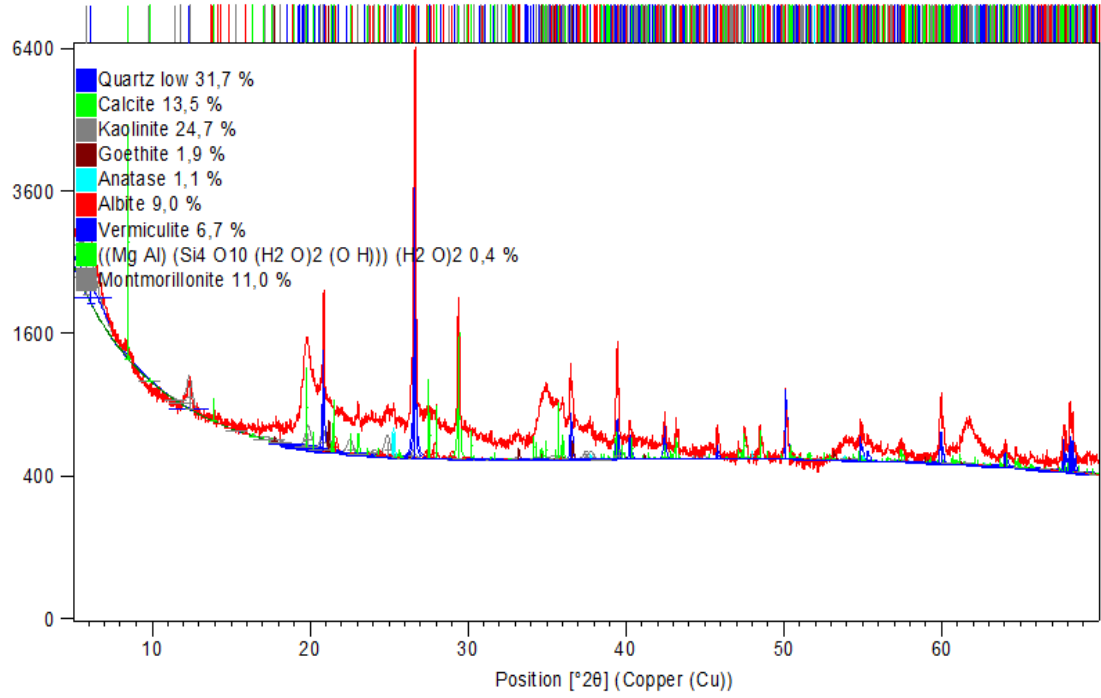
Kil mineral	Sembol	Kimyasal formül	Şahin %
Kuvars	Q	SiO ₂	11.9
Kalsit	C	CaCO ₃	36.1
Montmorillonit	MO	Na _{0,2} Ca _{0,1} Al ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ (H ₂ O) ₁₀	0.2
Kaolinit	K	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	25.2
Vermikülit	V	Mg _{1,8} Fe ²⁺ _{0,9} Al _{4,3} SiO ₁₀ (OH) ₂ •4(H ₂ O)	0.2
Götüt	G	Fe ⁺⁺⁺ O(OH)	0.5
Paligorskit	P	Mg _{1,5} Al _{0,5} Si ₄ O ₁₀ (OH)•4(H ₂ O)	16.1
Microcline	MI	KAlSi ₃ O ₈	3.8
Anatase	AN	TiO ₂	0.1



Şekil 22: Tal Battal toprağı XRD analizi

Çizelge 2: Tal Battal toprağı bileşenleri (%)

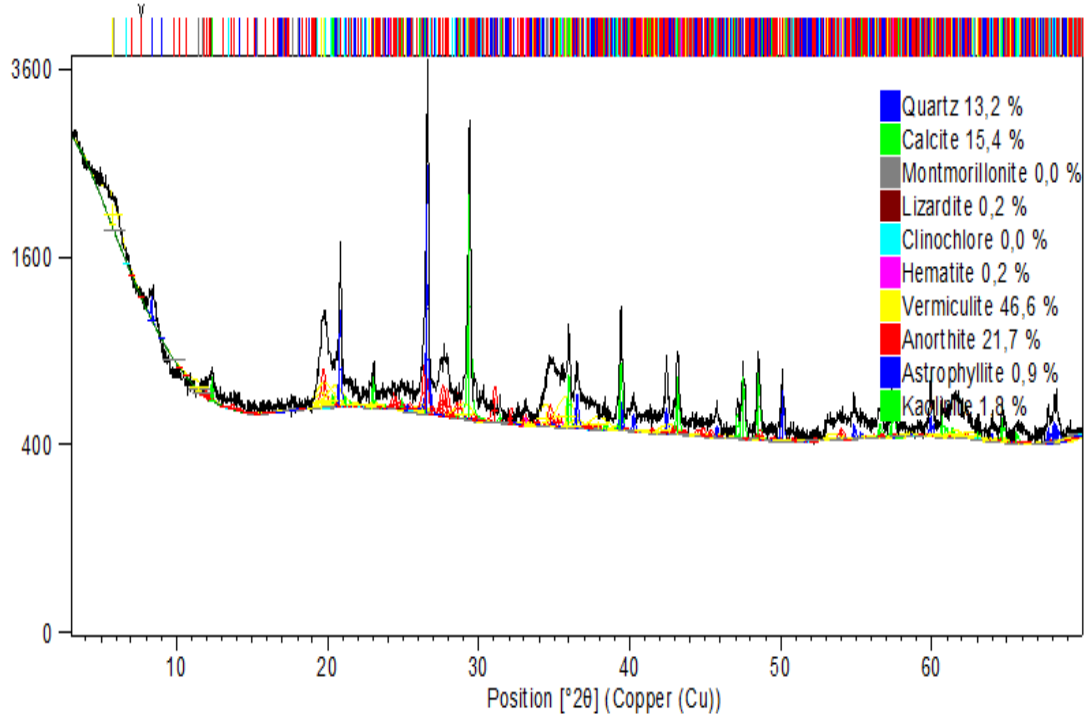
Kil mineral	Sembol	Kimyasal formül	T. Battal %
Kuvars	Q	SiO ₂	25.3
Kalsit	C	CaCO ₃	15.1
Albit	A	Na _{0,95} Ca _{0,05} Al _{1,05} Si _{2,95} O ₈	7.8
Kaolinit	K	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	28.3
Vermikülit	V	Mg _{1,8} Fe ²⁺ _{0,9} Al _{4,3} Si ₁₀ (OH) ₂ •4(H ₂ O)	0.8
Götüt	G	Fe ⁺⁺⁺ O(OH)	0.2
Paligorskit	P	Mg _{1,5} Al _{0,5} Si ₄ O ₁₀ (OH)•4(H ₂ O)	10.1
Microcline	MI	KAlSi ₃ O ₈	11
Montmorillonit	MO	Na _{0,2} Ca _{0,1} Al ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ (H ₂ O) ₁₀	0.6
Anatase	AN	TiO ₂	0.3



Şekil 23: Tal Aar toprağı XRD analizi

Çizelge 3: Tal Aar toprağı bileşenleri (%)

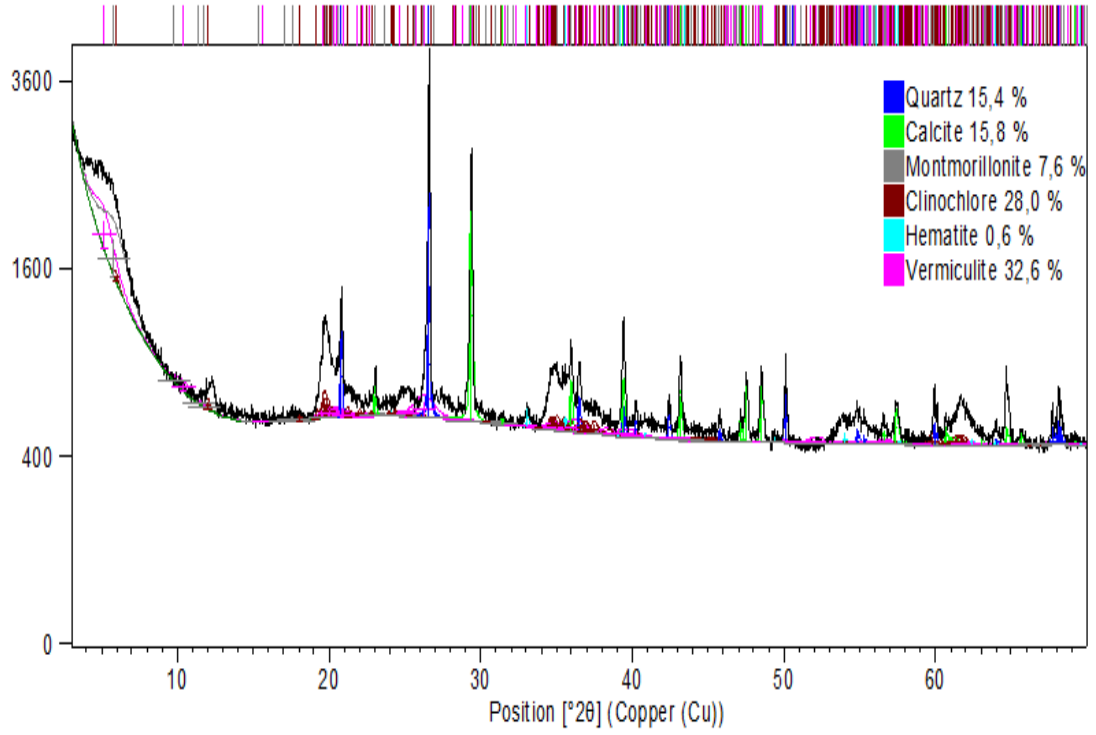
Kil mineral	Sembol	Kimyasal formül	T. Aar %
Kuvars	Q	SiO ₂	31.7
Kalsit	C	CaCO ₃	13.5
Albit	A	Na _{0,95} Ca _{0,05} Al _{1,05} Si _{2,95} O ₈	9
Kaolinit	K	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	24.7
Montmorillonit	MO	Na _{0,2} Ca _{0,1} Al ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ (H ₂ O) ₁₀	11
Vermikülit	V	Mg _{1,8} Fe ²⁺ _{0,9} Al _{4,3} SiO ₁₀ (OH) ₂ •4(H ₂ O)	6.7
Götüt	G	Fe ⁺⁺⁺ O(OH)	1.9
Palygorskite	L	Mg _{1,5} Al _{0,5} Si ₄ O ₁₀ (OH)•4(H ₂ O)	0.4



Şekil 24: Tal Rai toprağı XRD analizi

Çizelge 4: Tal Rai toprağı bileşenleri (%)

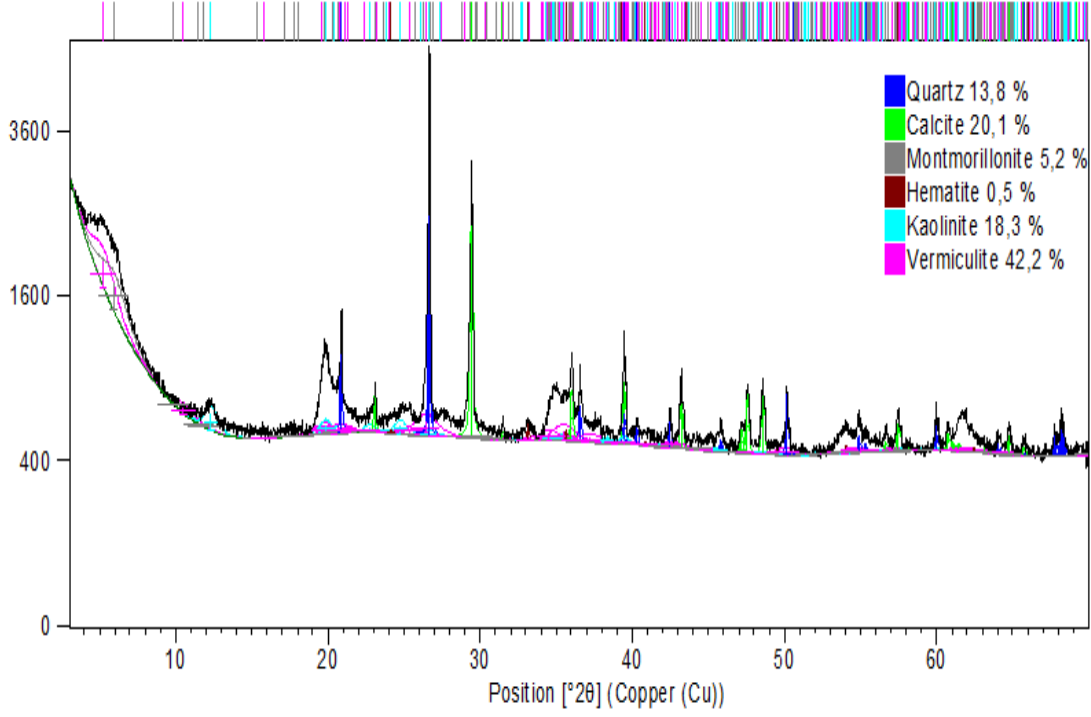
Kil mineral	Sembol	Kimyasal formül	T. Rai %
Kuvars	Q	SiO ₂	13.2
Kalsit	C	CaCO ₃	15.4
Anorthite	ANO	CaAl ₂ Si ₂ O ₈	21.7
Kaolinit	K	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	1.8
Vermikülit	V	Mg _{1.8} Fe ²⁺ _{0.9} Al _{4.3} SiO ₁₀ (OH) ₂ •4(H ₂ O)	46.6
Götit	G	Fe ⁺⁺⁺ O(OH)	0.5
Hematite	H	Fe ₂ O ₃	0.2
Lizardite	L	Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	0.2
Astrophyllite	AS	K ₂ Na (Fe ⁺⁺ Mn) ₇ Ti ₂ Si ₈ O ₂₆ (OH) ₄	0.9



Şekil 25: Killi toprağı XRD analizi

Çizelge 5: Killi toprağı bileşenleri (%)

Kil mineral	Sembol	Kimyasal formül	Killi %
Kuvars	Q	SiO_2	15.4
Kalsit	C	CaCO_3	15.8
Montmorillonit	MO	$(\text{Na}, \text{Ca})_{0,3}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})$	7.6
Clinochlore	CLI	$(\text{Mg}, \text{Fe}^{++})_5\text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	28
Vermikülit	V	$(\text{Mg}, \text{Fe}^{++}, \text{Al})_3(\text{Al}, \text{Si})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_{2-4}(\text{H}_2\text{O})$	32.6
Hematite	H	Fe_2O_3	0.6
Lizardite	L	$\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	0.2
Astrophyllite	-	$\text{K}_2\text{Na}(\text{Fe}^{++}, \text{Mn})_7\text{Ti}_2\text{Si}_8\text{O}_{26}(\text{OH})_4$	0.9



Şekil 26: Maret toprağı XRD analizi

Çizelge 6: Maret toprağı bileşenleri (%)

Kil mineral	Sembol	Kimyasal formül	Maret %
Kuvars	Q	SiO_2	13.8
Kalsit	C	CaCO_3	20.1
Montmorillonit	MO	$\text{Na}_{0,2}\text{Ca}_{0,1}\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_{10}$	5.2
Kaolinit	K	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	18.3
Vermikülit	V	$(\text{Mg}, \text{Fe}^{++}, \text{Al})_3(\text{Al}, \text{Si})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_{2-4}(\text{H}_2\text{O})$	42.2
Hematite	H	Fe_2O_3	0.5
Lizardite	L	$\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	0

Çizelge 7: Topraklar kil mineralleri ve oranları

Kil Minerali Tipi	Tal Aar	Tal Battal	Tal Rai	Şahin	Maret	Killi
Kuars	31.7	25.3	13.2	11.9	13.8	15.4
Kalsit	13.5	15.1	15.4	36.1	20.1	15.8
Albit	9.0	5.3	-	7.8	-	-
Kaolinit	24.7	25.2	1.8	28.3	18.3	-
Götit	1.9	0.4	-	0.2	-	-
Microcline	6.7	3.8	-	11	-	-
Vermikülit	0.4	0.2	46.6	0.8	42.2	32.6
Montmorillonit	11	0.6	-	0.2	5.2	7.6
Anatase	1.1	0.1	-	0.3	-	-
Muscovite	-	0.7	-	0.4	-	-
Paligorskit	0.4	16.1	-	10.1	-	-
Clinochlore	-	-	-	-	-	28
Anorthite	-	-	21.7	-	-	-
Hematite	-	-	0.2	-	0.5	0.6

XRD, Tüm toprak örneklerinin %15-30 arasında kalsit ile kum içerdiğini bulunmuştur, ayrıca toprak örneklerinden kil (Kaolinite, Vermikülit, Clinochlore, Albite, Montmorillonite) mineralleri tespit edilmiştir (Çizelge 7).

Maret ve Killi topraklarının (testlerde kullanılan) ortalama 7% oranında Montmorillonite içerdiği belirtilmektedir. Maret toprağına gelince, Kaolinit (% 18.30), Vermikülit (% 42.20), Montmorillonit (% 5.20) kil mineralleri bulunmuştur. Killi toprağına, Vermikülit (% 32.60), Montmorillonit (% 7.60) kil mineralleri bilirmiştir. Tal Aar toprağına Albite (% 9.00) Kaolinit (% 24.70) Microcline (% 6.70) Montmorillonite (% 11.00) kil mineralleri bulunmuştur, Tal Battal toprağına Albite (% 5.30) Kaolinit (% 25.20) Microcline (% 3.80) Montmorillonit (% 0.60) bulunmuştur Palygorskite (% 16.10) kil mineralleri bilirmiştir. Tal Rai toprağına Kaolinit (% 1.80), Vermikülit (% 46.60), Anorthite (21.70) belirlemiştir. Şahin toprağına Albit (% 7.80) Kaolinite (% 28.30) Microcline (% 11) Palygorskite (% 10,1) kil mineralleri bulunmuştur.

4.1.2. SEM ve EDS Analizi

Deneyleerde kullanılan malzemeler ASTM E986-97 (Standard Practice for Scanning Electron Microscope Beam Size Characterization) standardına göre üretilmiştir. Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Elektron Mikroskop- SEM), analizi yapılacak örneğin yüzeyini, yüksek enerjili elektron ışınlarıyla şeritler halinde tarayarak görüntüleyen bir elektron mikroskobudur. Elektronlar, örneği oluşturan atomlarla etkileşerek, sinyaller oluşturur ve bir görüntünün veya örneğin elemanlarının bileşiminin analizini yaparken, belirli değerdeki sinyalleri de algılayarak, görüntüleme yapar.

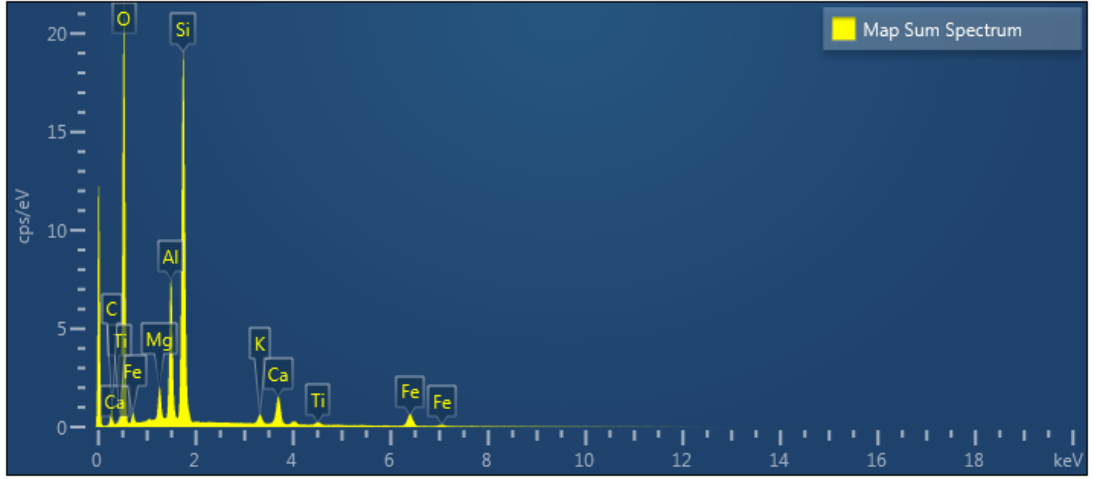
Görüntüler, ışını taramakla oluşturulurken bir yandan da elektron detektöründen çıkan sinyaller, monitörde gösterilir. En uygun algılama modu seçilerek, topografik veya kompozisyonla kontrastlar elde edilebilir. Her ne kadar, birçok uygulamada, SEM görüntülerinin alan derinliği (tipik olarak, kıyaslanabilir bir optik mikroskoptan 100 kat daha büyük), yüksek çözünürlükten daha önemliyse de, topografik modda 10 mm'den ve kompozisyon durumunda 100 mm'den daha iyi uzamsal çözünürlükler elde edilebilir (Çizelge 12) (KUDEB, 2011, s. 76).

Tel Battal'dan alınan toprak örneğinden hazırlanan numuneler üzerinde EDS deneyleri gerçekleştirilmiş ve toprakta tespit edilen element ve oksitler Şekil 28 ve Çizelge 9'de verilmiştir.

Tel Aar'dan alınan toprak örneğinden hazırlanan numuneler üzerinde EDS deneyleri gerçekleştirilmiş ve toprakta tespit edilen element ve oksitler Şekil 27 ve Çizelge 8'de verilmiştir.

Tel Rai'den alınan toprak örneğinden hazırlanan numuneler üzerinde EDS deneyleri gerçekleştirilmiş ve toprakta tespit edilen element ve oksitler Şekil 29 ve Çizelge 10'de verilmiştir.

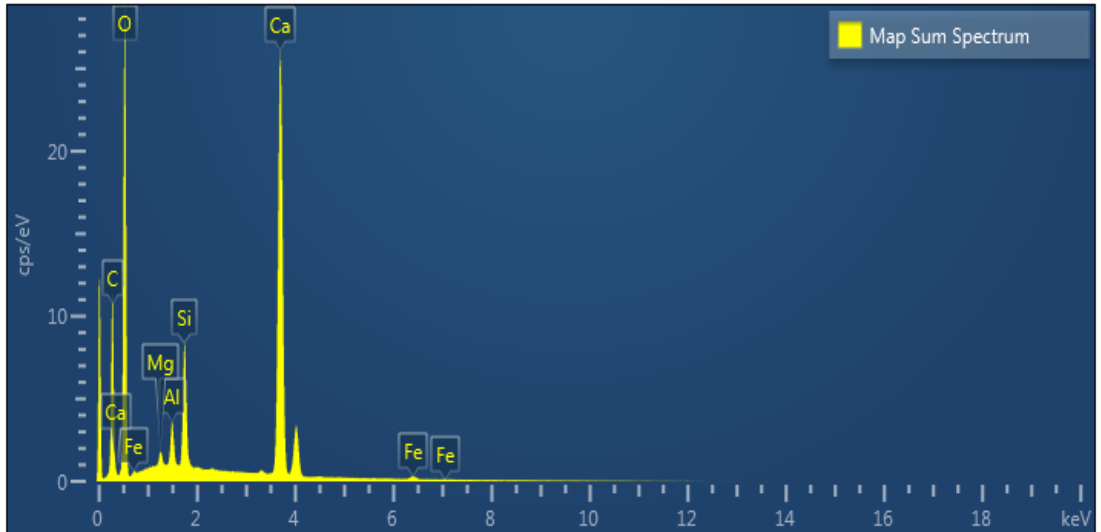
Şahin Çiftliği'den alınan toprak örneğinden hazırlanan numuneler üzerinde EDS deneyleri gerçekleştirilmiş ve toprakta tespit edilen element ve oksitler Şekil 30 ve Çizelge 11'de verilmiştir.



Şekil 27: Tal Aar örneği EDS spektrumu

Çizelge 8: Tal Aar örneğinin EDS analizinde tespit edilen element ve oksitler

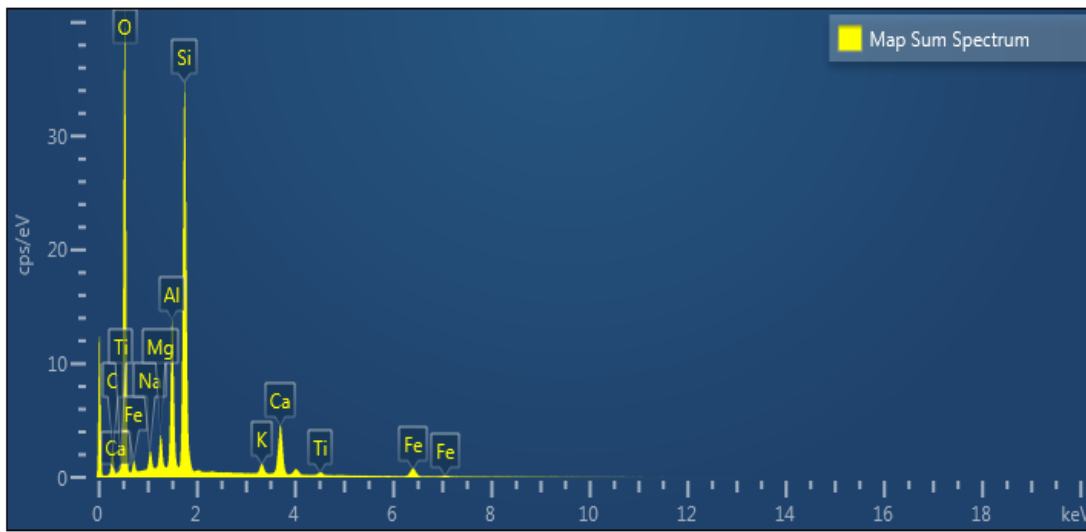
Element	Tip	Ağırlık %	Ağırlık SS (%)	Atom %	Oksit	Oksit %	Oksit SS (%)
O	K series	46.26	0.14	62.49			
Mg	K series	2.38	0.04	2.11	MgO	3.94	0.07
Al	K series	9.72	0.07	7.79	Al ₂ O ₃	18.37	0.13
Si	K series	27.47	0.11	21.13	SiO ₂	58.76	0.23
Ca	K series	4.72	0.06	2.55	CaO	6.61	0.09
K	K series	1.36	0.04	0.75	K ₂ O	1.64	0.05
Fe	K series	7.35	0.13	2.84	FeO	9.46	0.00
Ti	K series	0.73	0.05	0.33	TiO ₂	1.22	0.09
Total		100.00		100.00		100.00	



Şekil 28: Tal Battal örnek örneği EDS spektrumu

Çizelge 9: Tal Battal örneğın EDS analizinde tespit edilen element ve oksitler

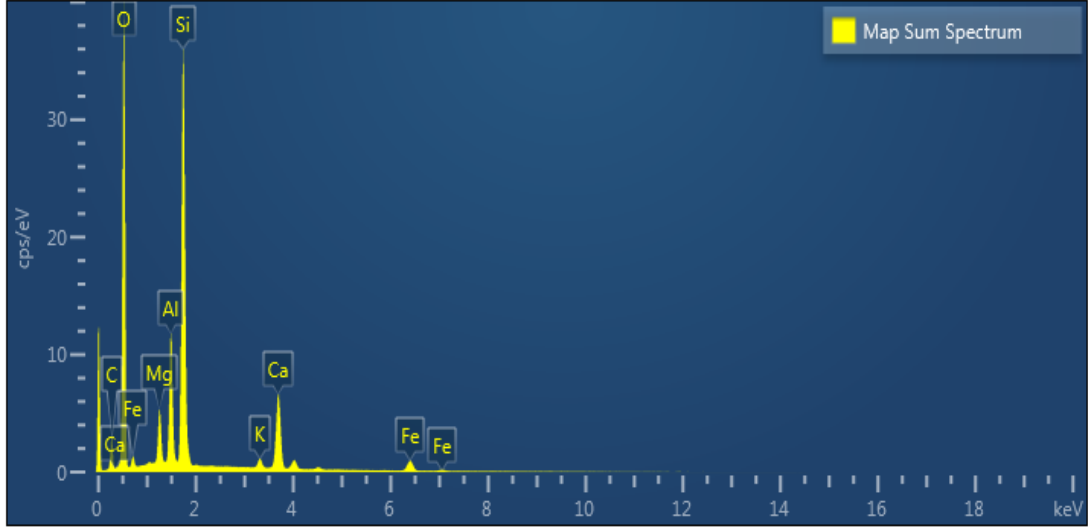
Element	Tip	Ağırlık %	Ağırlık SS (%)	Atom %	Oksit	Oksit %	Oksit SS (%)
O	K series	33.21	0.12	53.89			
Al	K series	2.49	0.04	2.40	Al ₂ O ₃	4.71	0.08
Si	K series	7.11	0.06	6.57	SiO ₂	15.22	0.12
Ca	K series	54.87	0.13	35.53	CaO	76.77	0.18
Mg	K series	0.89	0.04	0.95	MgO	1.47	0.07
Fe	K series	1.43	0.09	0.66	FeO	1.84	
Total		100.00		100.00		100.00	



Şekil 29: Tal Rai örneğın EDS spektrumu

Çizelge 10: Tal Rai örneğın EDS analizinde tespit edilen element ve oksitler

Element	Tip	Ağırlık %	Ağırlık SS (%)	Atom %	Oksit	Oksit %	Oksit SS (%)
O	K series	45.78	0.10	61.66			
Mg	K series	2.19	0.03	1.94	MgO	3.63	0.05
Al	K series	9.36	0.05	7.48	Al ₂ O ₃	17.68	0.09
Si	K series	26.58	0.08	20.39	SiO ₂	56.86	0.17
Ca	K series	7.71	0.06	4.15	CaO	10.79	0.08
K	K series	1.35	0.03	0.74	K ₂ O	1.62	0.04
Fe	K series	4.74	0.08	1.83	FeO	6.10	0.11
Na	K series	1.60	0.03	1.50	Na ₂ O	2.15	0.05
Ti	K series	0.70	0.04	0.31	TiO ₂	1.16	0.06
Total		100.00		100.00		100.00	



Şekil 30: Şahin örneği EDS spektrumu

Çizelge 11: Şahin örneğin EDS analizinde tespit edilen element ve oksitler

Element	Tip	Ağırlık %	Ağırlık SS (%)	Atom %	Oksit	Oksit %	Oksit SS (%)
O	K series	45.16	0.08	61.62			
Mg	K series	3.33	0.03	2.99	MgO	5.52	0.05
Al	K series	7.72	0.04	6.25	Al ₂ O ₃	14.59	0.07
Si	K series	26.31	0.06	20.44	SiO ₂	56.27	0.14
Ca	K series	10.87	0.05	5.92	CaO	15.21	0.07
K	K series	1.17	0.03	0.65	K ₂ O	1.41	0.03
Fe	K series	5.44	0.08	2.13	FeO	7.00	0.10
Total		100.00		100.00		100.00	

Çizelge 12: Topraklar EDS analizinde tespit edilen element ve oksitler

Element	Tip	Oksit	T. Aar	T.Battal	T. Rai	Şahin Çiftliği
			Oksit %	Oksit %	Oksit %	Oksit %
O	K series					
Mg	K series	MgO	3.94	1.47	3.63	5.52
Al	K series	Al ₂ O ₃	18.37	4.71	17.68	14.59
Si	K series	SiO ₂	58.76	15.22	56.86	56.27
Ca	K series	CaO	6.61	76.77	10.79	15.21
K	K series	K ₂ O	1.64		1.62	1.41
Fe	K series	FeO	9.46	1.84	6.10	7.00
Na	K series	Na ₂ O	1.22		2.15	
Ti	K series	TiO ₂	3.94		1.16	
Total						100.00

4.1.3. Petrografi Analizi

Petrografi analizinde, toprak örnekleri mikroskobik ölçeklerde incelenmiştir. Epoksiye alınan örneklerden kaba kesitler hazırlanmıştır (Şekil 32). Genel doku özellikleri ve türleri stereo mikroskop altında incelenmiştir. Ayrıca örneklerin hazırlanan ince kesitleri polarizen mikroskop ile incelenerek petrografi analizleri yapılmıştır (Şekil 31-37).



A: Örneklerin epoksiye alınması



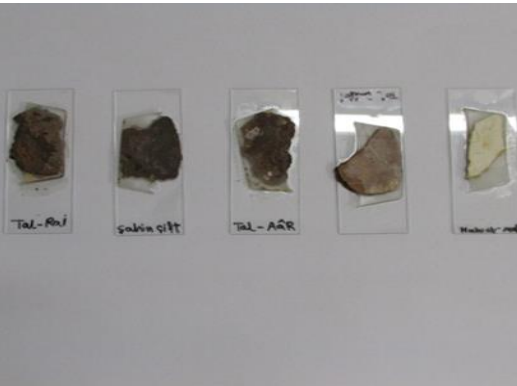
B: Numunenin ölçeği ve boyutları



C: Numune hazırlama



D: Numune kesme



G: Hazırlanan numuneler

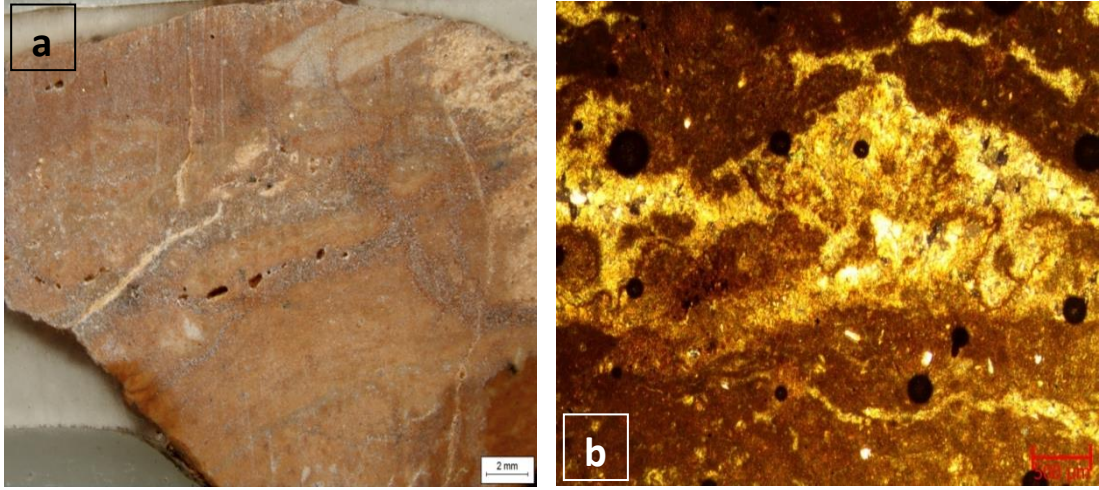


F: Araştırmacı, mikroskobik inceleme yaparken

Şekil 31: Stereo ile Polarizen mikroskop Petrografi inceleme (KURAM Lab.)

4.1.3.1. Tel Battal

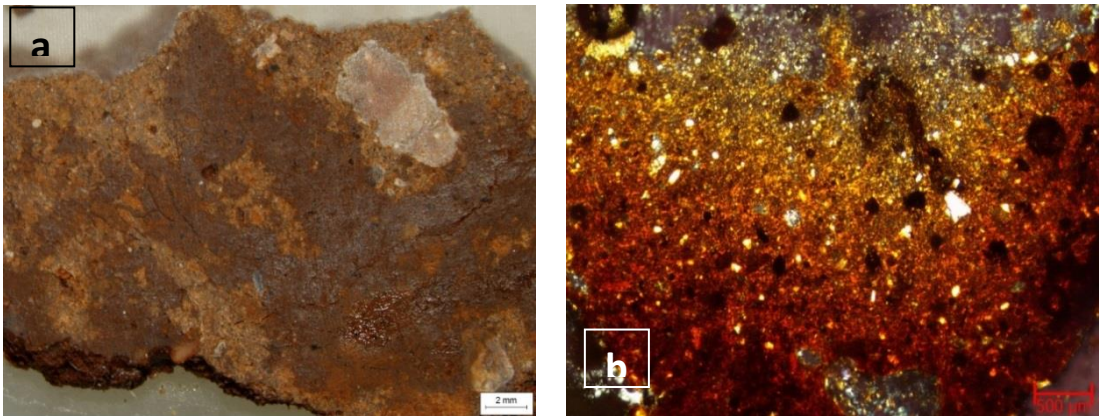
Sarımsı renkli örnek, geneli mikrokristalin kesitlerden oluşan yer yer sipari kalsitlerin, iri kalsit damarlarının ve kuvars minerallerinin eşlik ettiği mikritik dokuludur. Toprak ince taneli (mikritik) kısmındaki hafif bulutumsu görünüm ise, kil içerdiğini göstermektedir. Fissür ve çatlaklarda demiroksit getirimi söz konusudur (şekil 33).



Şekil 32: Tel Battal örneği; a) Stereo, b) Polarizen mikroskop incelemesi

4.1.3.2. Tel Aar

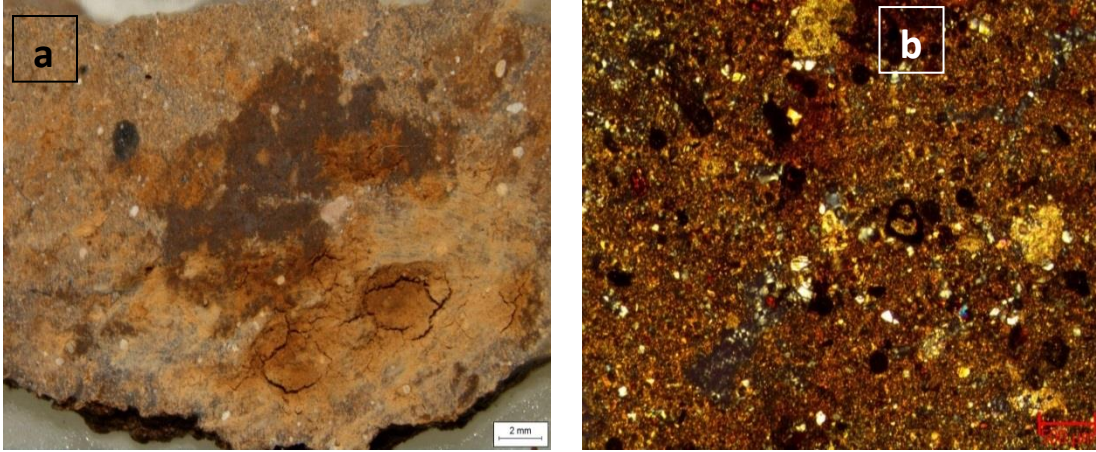
Kırmızımsı kahverengi renkli, homojen açık kahverengi tonlarda demir oksit getiriminin yoğun olduğu, kırmızı-kahverengi kil bölümlerinin gözleendiği, ince-orta taneli kuvars, feldspat, karbonatlı parçacıkların eşlik ettiği toprak örneğidir (Şekil 34).



Şekil 33: Tel Aar örneği; a) Stereo, b) Polarizen mikroskop incelemesi

4.1.3.3. Tel Rai

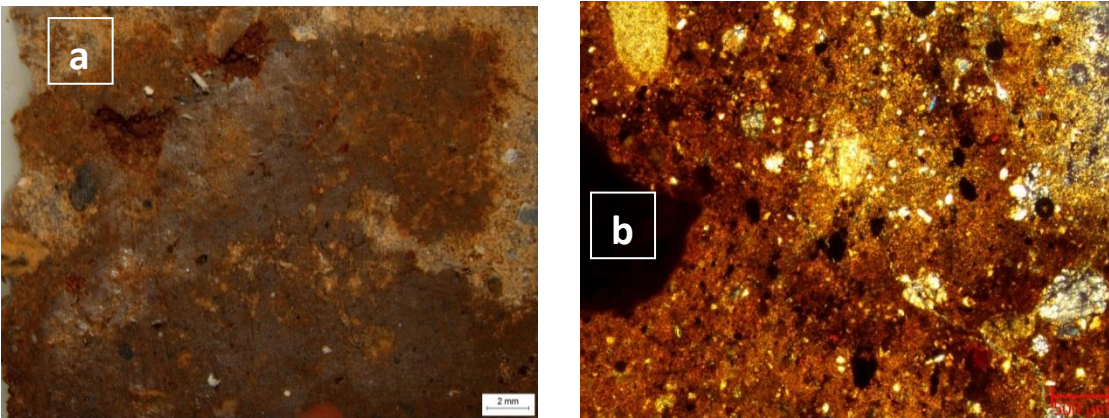
Kırmızımsı kahverengi renkli, homojen açık kahverengi tonlarda demir oksit getiriminin yoğun olduğu, kırmızı-kahverengi kil bölümlerinin gözleendiği, ince taneli kuvars, feldspat parçacıkların eşlik ettiği toprak örneğidir (Şekil 35).



Şekil 34: Tel Rai örneği; a) Stereo, b) Polarizen mikroskop incelemesi

4.1.3.4. Şahin Çiftliği

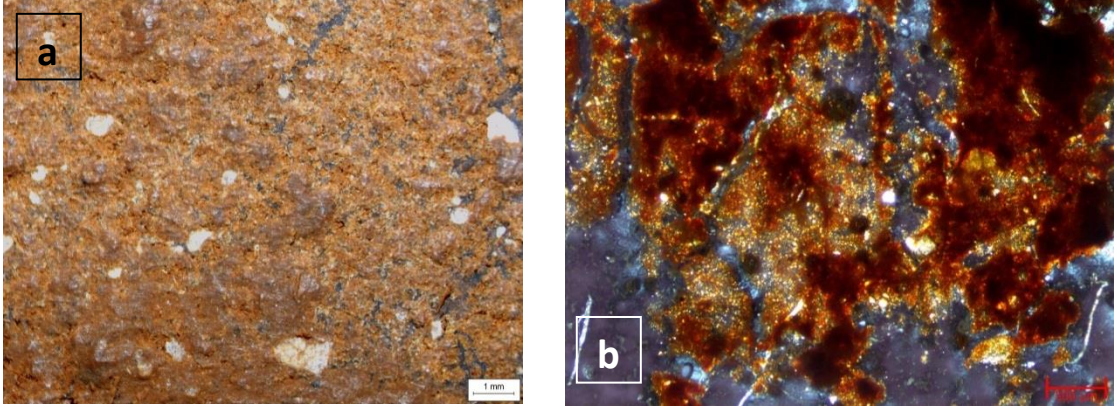
Kırmızımsı kahverengi renkli, homojen açık kahverengi tonlarda demir oksit getiriminin yoğun olduğu, kırmızı-kahverengi kil bölümlerinin gözleendiği, ince-orta taneli kuvars, feldspat ve karbonatlı parçacıkların eşlik ettiği toprak örneğidir (Şekil 36).



Şekil 35: Şahin örneği; a) Stereo, b) Polarizen mikroskop incelemesi

4.1.3.5. Killi

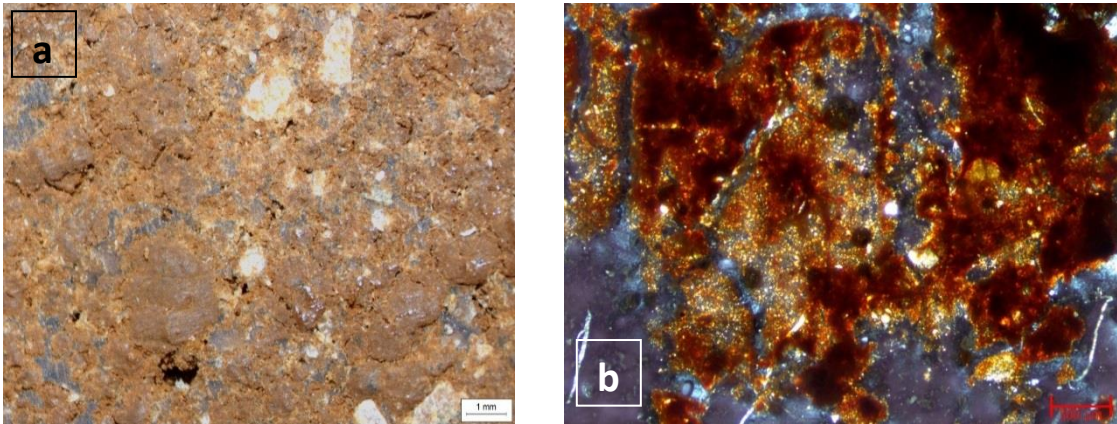
Kırmızımsı kahverengi renkli, homojen açık kahverengi tonlarda demir oksit getiriminin yoğun olduğu, kırmızı-kahverengi kil bölümlerinin gözleendiği, ince-orta taneli kuvars, feldspat ve karbonatlı parçacıkların eşlik ettiği toprak örneğidir (Şekil 37).



Şekil 36: Killi örneği; a) Stereo, b) Polarizen mikroskop incelemesi

4.1.3.6. Maret

Kırmızımsı kahverengi renkli, homojen açık kahverengi tonlarda demir oksit getiriminin yoğun olduğu, kırmızı-kahverengi kil bölümlerinin gözleendiği, ince-orta taneli kuvars, feldspat ve karbonatlı parçacıkların eşlik ettiği toprak örneğidir (Şekil 38).



Şekil 37: Maret örneği; a) Stereo, b) Polarizen mikroskop incelemesi

4.2. KİMYEVİ DENEYLER

Toprakların kimyevi özelliklerini belirlemek malzemeyi tanımak açısından oldukça önemlidir. Topraktan alınmış örnekler üzerinde Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi bünyesindeki Vakıf Kültür Varlıklarını Koruma Uygulama ve Araştırma Merkezi (KURAM) laboratuvarında yürütülmüş olan asit-kızdırma kaybı, tuz ve organik madde içeriği sonuçları bu başlık altında verilmiştir.

4.2.1. Asit Kaybı Deneyi

Asit kaybı deneyi, örnek içerisinde bulunabilecek karbonatlı (CaCO_3) agregaların ve kireç esaslı bağlayıcıların ağırlıkça oranını belirlemek için 20-30 gram örnek ayrılır ve asitle muamele edilir. örneklerin %10'luk HCl (hidroklorik asit) ile muamele edilmesi işlemidir (Şekil 39). Kalsiyum oksit (CaO) kökenli bağlayıcı ve CaCO_3 kökenli agregalar %10'luk HCl içerisinde reaksiyona girerek kaybolacak ve geriye silikatlı malzemeler kalacaktır. Asitle muamele sonucunda kaybolan ve kaybolmadan kalan kısımların oranı Çizelge 13'de verilmiştir.

Çizelge 13: Topraklar asitle muamele analizinin sonuçları

Örnek	Asitle Muamele (%)	
	Kayıp	Kalan
Şahin	42,63	57,37
Tel Aar	39,60	60,40
Tel Rai	30,05	69,95
Tel Battal	44,19	55,81
Killi	34,92	65,08
Maret	33,38	66,62

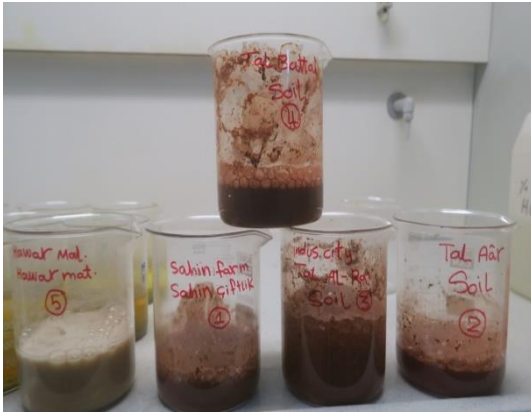
En yüksek asit kaybının Tel Battal toprağın olduğu görülmektedir. Aynı zamanda en düşük kalsiyum karbonat yüzdesinin Tel Rai toprağında olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 13, Şekil 38).



A: Etüvde numunelerin kurutulması



B: Örneklere HCl uygulanması



C: Örneklerin deney sonrası tartımı



D: Asitle reaksiyon sırasında örnekler



F: Nötralizasyon İşlemi



G: Kuruma sonrası desikatör içerisinde soğutma işlemi

Şekil 38: Asitle muameleyle analizin aşamaları (KURAM Lab.)

4.2.2. Kızdırma Kaybı (Kalsinasyon) Deneyi

Kızdırma kaybı, agat havanda dövülerek toz haline getirilmiş olan numunelerin kül fırını içerisinde 105°C'den 550°C ve 1050°C'ye kadar yükselen sıcaklığa bağlı olarak sırasıyla nem (higroskopik su), organik madde, molekül suyu ve karbondioksit kaybının ağırlıkça belirlenmesinden ibarettir (Şekil 39).

Deneyde tespit edilen molekül suyu H₂O ve karbondioksit CO₂ kaybından CO₂/H₂O oranı, diğer bilinenlerden CaCO₃ miktarı hesaplanmakta ve bu sayede malzemenin içerisindeki bağlayıcı-karbonatlı oranı belirlenebilmektedir. CaCO₃ miktarı, toz örneğin içerisinde bulunduğu kroze (yüksek ısıya dayanıklı porselen kap) ağırlığı ve sırasıyla 105°C, 550°C ve 1050°C'de ısıl işleme tutulan kroze içindeki örnek ağırlıklarının yardımıyla
$$\left[\frac{(550C-1050C) \times 10000}{(1050C - \text{Kroze}) \times 44} \right]$$
 şeklindeki formül ile hesaplanarak bulunur (İş, 2019, s.15). Kızdırma kaybı deneyinden elde edilen sonuçlar Çizelge 14'de verilmiştir.

Çizelge 14: Toprakların kalsinasyon deneyi sonuçları

Örnek No	Kalsinasyon Analizi		
	Nem (105 °C)	Organik madde molekül suyu (550 °C)	CaCO ₃ (1050 °C)
Şahin	11,57	4,63	34,95
Tel Aar	12,13	4,27	17,81
Tel Al-Rai	10,15	4,48	27,10
Tel Battal	6,85	3,87	24,20
Killi	1,68	4,17	22,46
Maret	1,89	4,15	22,82

Kalsinasyon deneyinin sonuçları genellikle asitle muamele analizi ile tamamlayıcı sonuçlar olarak ortaya çıkmaktadır. Yukarıdaki tabloya ve şekle göre, kalsit içeren en yüksek toprağın Şahin, en düşük Tel Aar olduğu belirlenmiştir (Çizelge 14, Şekil 40).



A: Numuneler kül fırını içerisindeyken



B: Örneklerin kızdırma sonrası
desikatörde soğutulması



C: Tartım İşlemi

Şekil 39: Kızdırma kaybı deneyi aşamaları (KURAM Lab.)

4.2.3. Suda Çözünabilir Tuz İçeriği

Suda çözülebilir tuzlar, yapı elemanlarına fazlasıyla zarar veren etmenlerdir. Bu tuzlar özellikle ıslanma kuruma bölgelerinde ve yoğun su teması olan bölgelerde yoğunlaşır yapı elemanlarına zarar vermektedir. sıkça karşılaşılan çözünebilir tuzlar klorür (Cl⁻), sülfat (SO₄²⁻), karbonat (CO₃²⁻) ve nitrat (NO₃⁻) tuzlarıdır. Bu tuzların malzemede bulunup bulunmadığı, bulunuyor ise hangi oranlarda olduğunun tespiti, önem arz etmektedir. Suda çözünebilir tuz içeriği analizinden elde edilen sonuçlar Çizelge 15’de verilmiştir.

4.2.4. Organik Madde İçeriği

Bu testlerin amacı, malzemeye içinde bulunabilecek yağ ve protein gibi organik katkı maddelerinin varlığını anlayabilmektedir.

4.2.4.1. Protein Testi

Protein tespiti için, bir ucu kapalı olan kapılar tüpe yaklaşık 3 cm yüksekliğinde olacak şekilde toz haline getirilmiş örnek doldurulmuştur. Sonrasında çok ince kesilmiş süzgeç kâğıdının tüpün içine girecek kısmına, yoğunlaştırılmış HCl (hidroklorik asit) içerisine %5 oranında Diaminobenzaldehyde katılarak elde edilmiş çözelti emdirilerek tüpe yerleştirilmiş ve kapılar tüp kapalı kısmından ispirto ocağı yardımıyla ısıtılmıştır. Bu işlem sonucunda süzgeç kağıdının ucunda renk değişimleri gözlenmiştir (Şekil 40). Süzgeç kâğıdının renginde herhangi bir değişim yok ise örneğin protein içermediği, pembe-mor renk var ise örneğin protein içerdiği tespit edilir. Protein analizinden elde edilen sonuçlar Çizelge 16’de verilmiştir.

4.2.4.2. Yağ Testi

Yağ analizinde ise, bir miktar toz numune alınarak cam levha üzerine konular, üzerine birkaç adet kristal formunda bakır sülfat (CuSO₄) eklenerek karıştırılır. Bu karışım üzerine bir-iki damla hidrojen peroksit (H₂O₂) eklenir. Son olarak bu karışım üzerine amonyak (NH₃) damlatılır. Amonyak ilavesinden yaklaşık 20 dk sonra malzemede sabun kabarcıkları yok ise yağ olmadığı, sabun kabarcıkları var ise numunede yağ varlığı tespit edilmiş olur. Yağ analizinden elde edilen sonuçlar Çizelge 16’de verilmiştir.



A: Deney için numunenin öğütülmesi



B: Saf su eklenerek numunenin çözeltiliye dönüştürülmesi



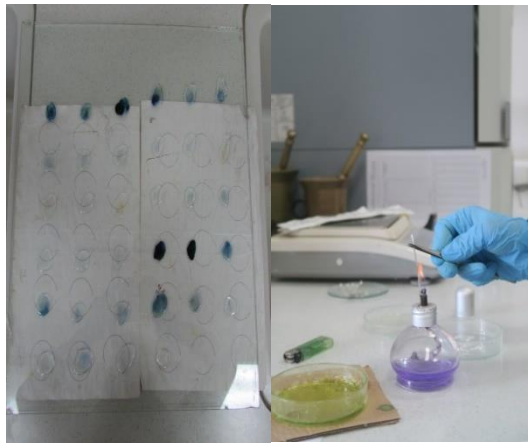
C: Tuz ölçümü yapılacak toprak çözeltileri



D: Araştırmacı, çözeltilerin iletkenliğini ölçerken



F: Protein ve yağ (organik madde) analizi



Şekil 40: Tuz ve organik madde analizi aşamaları (KURAM Lab.)

Çizelge 15: Suda çözünebilir tuzlar analizi sonuçları

[- : Yok; + : Az var; ++ : Var; +++ : Fazla var; ++++ : Çok Fazla var]						
Örnek No	Suda Çözünebilir Tuzlar					
	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	NO ³⁻	İletkenlik (µS)	Tuz Miktarı (%)
Şahin	+	-	-	-	120	0,71
Aar	-	-	-	-	86	0,51
Rai	-	-	-	-	111	0,65
Battal	-	-	-	-	109	0,64
Killi	-	-	-	-	99	0,52
Maret	-	-	-	-	101	0,17

Çizelge 16: Organik madde analizi sonuçları

[- : Yok; + : Az var; ++ : Var; +++ : Fazla var; ++++ : Çok Fazla var]		
Organik Madde		
Örnek No	Protein	Yağ
Şahin	+	-
Aar	-	-
Rai	-	-
Battal	-	-
Killi	-	-
Maret	-	-

incelenen tüm numunelerde suda çözünebilir tuza rastlanılmamıştır. Sadece Şahin toprağında çok az klorür tuzu bulunmaktadır. Ayrıca yağ ve protein gibi organik maddelerin olmadığını da görülmektedir, sadece Şahin toprağında düşük protein miktarı bulunmaktadır (Çizelge 16, Şekil 41).

4.3. FİZİKİ DENEYLER

4.3.1. Su Muhtevası

Deneyleerde kullanılan numuneler ASTM D2216-10 (Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass) standardına göre üretilmiştir. Su, doğal olarak oluşan topraklarda bulunur ve toprak davranışında önemli bir etkiye sahiptir. Nem içeriği, sınıflandırma için bir kriter olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda toprağın diğer tüm saha ve laboratuvar testlerine yardımcı olarak kullanılır, Fırında kurutma yöntemi, toprakların nem içeriğini ölçmenin kesin yöntemidir (Çizelge 17).

Çizelge 17: Topraklardaki Su Muhtevası Yüzdesi

Örnek	Şahin	Aar	Rai	Battal	Killi	Maret
Su Muhtevası %	17.77	14.61	13.68	6.44	34	34.1

4.3.2. Özgül Ağırlık

Deneyleerde kullanılan numuneler ASTM D854-02 (Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer) standardına göre yapılmıştır, ince taneli topraklardaki tanelerin nispi yoğunluğunu belirlemek için uygulanır.



Şekil 41: Yoğunluk tayini (KURAM Lab.)

Numuneyi deney için hazırlama yöntemine göre elde edilen yaklaşık 50g malzeme öğütülür ve gerekirse 4.75 ml'lik bir elekten geçirilir. Bu malzeme, yaklaşık 50 g numune elde edilene kadar bir dörderlime yöntemi ile bölünür. Nihai numune, (105 ± 5) ° C'lik bir sıcaklıkta bir fırında kurutulur.

Su içeriği deneyinde tarif edildiği gibi oda sıcaklığına kadar soğutulur. En az 10 g kütleli öğütülmüş numune nispi yoğunluk şişesine aktarılır.

Çizelge 18: Piknometre deneyinin sonuçları

<i>Örnek</i>	<i>Örnek No</i>	<i>Me (g)</i>	<i>M₁ (g)</i>	<i>M₂ (g)</i>	<i>Pr (g/cm³)</i>	<i>Pr (g/cm³) Ortalama</i>
<i>Tel Rai</i>	1A	10	89.41	82.82	2.93	3.15
	1B	10	89.85	84.97	1.95	
	1C	10	90.55	82.73	4.58	
<i>Tel Aar</i>	2A	10	90.05	84.23	2.39	2.39
	2B	10	90.85	85.05	2.38	
	2C	10	88.77	82.93	2.40	
<i>Şahin</i>	3A	10	90.55	84.93	2.71	2.42
	3B	10	88.57	82.90	2.30	
	3C	10	89.27	83.66	2.27	
<i>Tel Battal</i>	4A	10	88.90	84.89	1.66	2.09
	4B	10	90.21	84.88	2.14	
	4C	10	88.75	82.79	2.47	
<i>Kerpiçli</i>	5A	10	88.90	82.58	2.71	2.65
	5B	10	88.81	82.58	2.65	
	5C	10	90.98	84.81	2.61	
<i>Maret</i>	6A	10	88.88	82.70	2.63	2.69
	6B	10	91.16	84.83	2.72	
	6C	10	91.18	84.84	2.73	

Piknometre deneyinden elde edilen sonuçlar En yüksek yoğunluğun Tel Ra'i toprağına (3.15 g/cm³) ait olduğu ve en düşük yoğunluğun Tel Batal (2.09 g/cm³) toprağına ait olduğu verilmiştir (Çizelge 18, Şekil 41).

Me: Öğütülmüş ve kurutulmuş numune kütlesi, gram.

M₁: Su ve öğütülmüş numune ile doldurulmuş piknometre kütlesi, gram.

M₂: Suyla doldurmuş piknometre kütlesi, gram.

4.3.3. Kıvam Limitleri

Deneyle ASTM D 4318-10 (Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils) standardına göre üretilmiştir. Kıvam limitleri, yer davranışını tanımlamak için kullanılan su içeriğinin sınırlarıdır. Sınır halleri katı hal, yarı katı hal, plastik hal, sıvı hal olarak sınıflandırılır (Çinicioğlu, 2002, S.2).

İnce taneli topraklarda (kohezyon), zeminin yumuşaklık ve sertlik durumu tutarlı bir şekilde belirtilir. İnce taneli topraktaki su miktarı arttıkça, çok sert bir durumdan sıvı viskozitesine kadar çok geniş bir aralıkta değişir. Buna göre, mukavemet, gerinim deformasyonu ve sıkıştırma gibi mühendislik özelliklerinde büyük farklılıklar meydana gelir. İnce taneli toprakların kıvamındaki değişiklikleri deneysel olarak belirlemek için bazı sınır su içeriği değerleri tanımlanmıştır.

Likit Limit Deneyi, Likit limit, zeminin plastik bir malzemedan akıcı bir malzemeye dönüştüğünde su içeriğidir (Şekil 42), (Çizelge 19). Plastik Limit Deneyi, Plastisite ince taneli toprakların bir özelliğidir, kırılmadan şekillendirilebilmesi anlamına gelir. Plastik sınır, yağurma sırasında ıslak zeminin yüzeyinde çatlakların görüldüğü su içeriği olarak tanımlanır (Şekil 43), (Çizelge 18). Kıvam limitleri deneyinin elde edilen sonuçlar Şekil 44-49'de verilmiştir.

Sonuç Değerlendirmesi:

Çizelge 19: Kıvam limitleri deneyinin sonuçları

Örnek	Likit limit	Plastik limit	Sınıflandırma	Malzeme	Miktar
Tel Aar	56	39	CH	Kil	Yüksek
Tel Battal	56	38	CH	Kil	Yüksek
Tel Rai	56	35	CH	Kil	Yüksek
Şahin	56	34	CH	Kil	Yüksek
Killi	56	44	CL-ML	Kil ve Silt	Az
Maret	56	46	CL-ML	Kil ve Silt	Az



A: Likit limit için toprağı hazırlamak



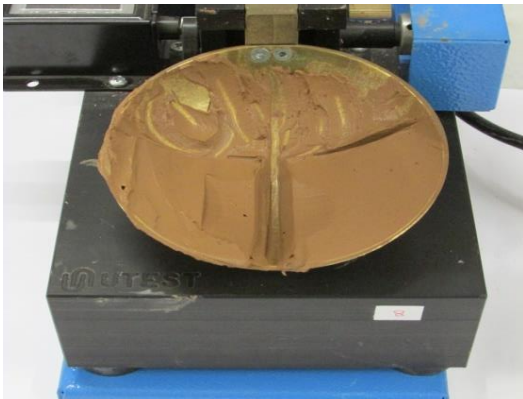
B: Araştırmacı örnekleri hazırlarken



C: Su ile karıştırıldıktan sonra toprak



D: Cihazın çalışmadan önceki standardına uygun olduğu



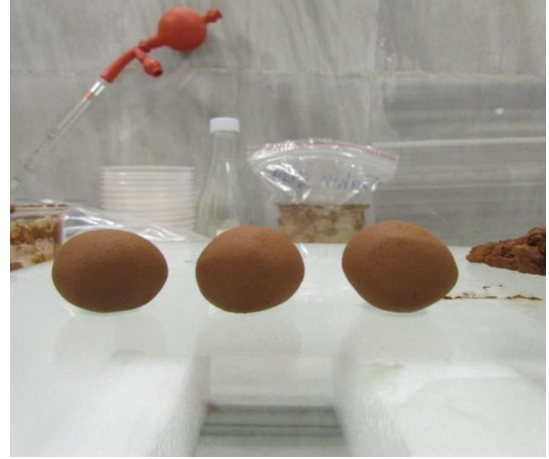
G: Kesi kaldıktan sonra standarda göre 1 cm uzunluğu



Şekil 42: Kıvam limitleri (likit) deney aşamaları (KURAM Lab.)



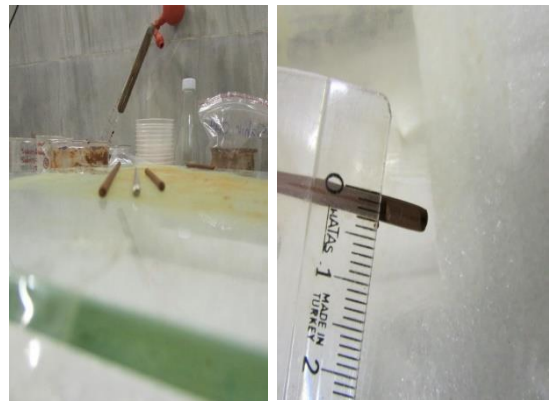
A: Plastik limit deneyi için hazırlanan toprak



B: Toprağı toplara dönüştürme



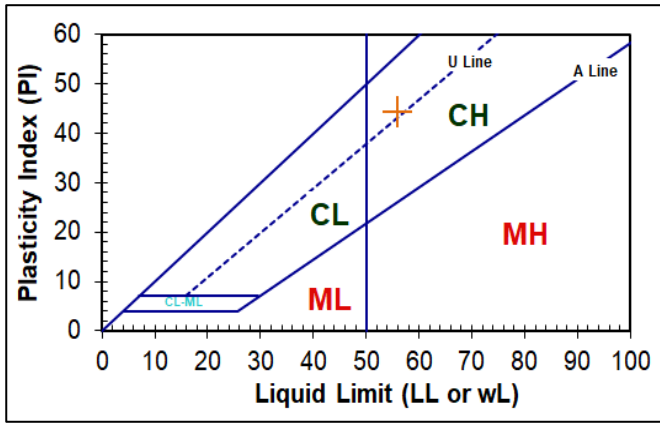
C: Araştırmacı çalışırken



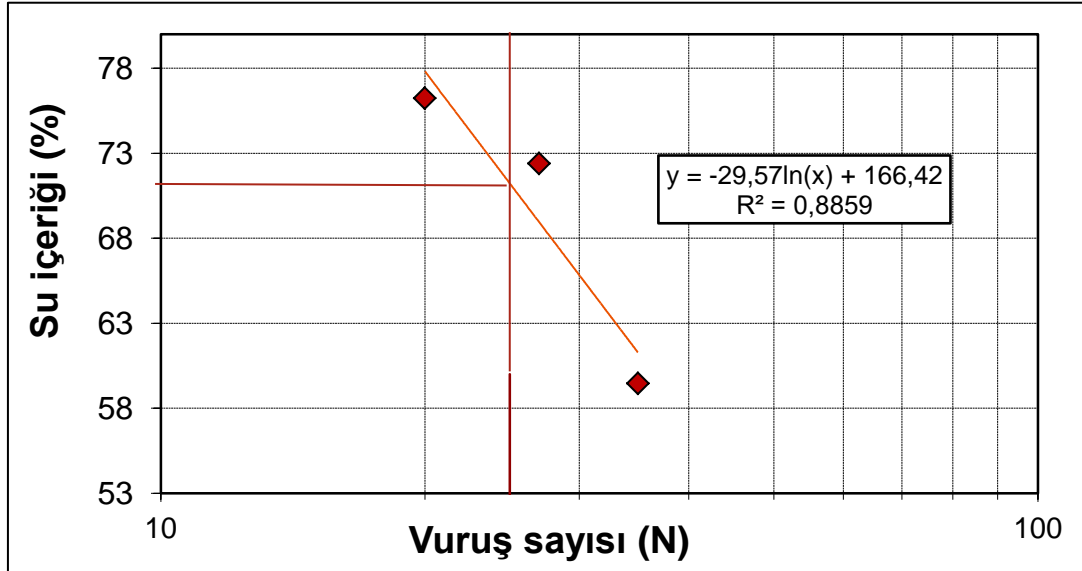
G: Mevcut demir referansı gibi ince bir çubuk oluşumu

Şekil 43: Kıvam limitleri (plastik) deney aşamaları (KURAM Lab.)

	Plastik Limit			Likit Limit			
	Sayı	1	2	3	4	5	6
Vuruş sayısı	vuruş				20	27	35
Dara Sayası	---	1	2	3	4	5	6
Dara Kütlesi	(g)	68.95	68.86	57.73	104.11	103.21	104.08
Dara & Toprak (ıslak)	(g)	75.79	77.91	66.47	120.87	128.24	130.10
Dara & Toprak (kuru)	(g)	73.69	75.12	63.80	113.62	120.88	120.40
Toprak Kütlesi	(g)	4.74	6.26	6.07	9.51	7.82	16.32
Su kütlesi	(g)	2.10	2.79	2.67	7.25	5.66	9.70
Su içeriği	(%)	44.3	44.6	44.0	76.2	72.4	59.4

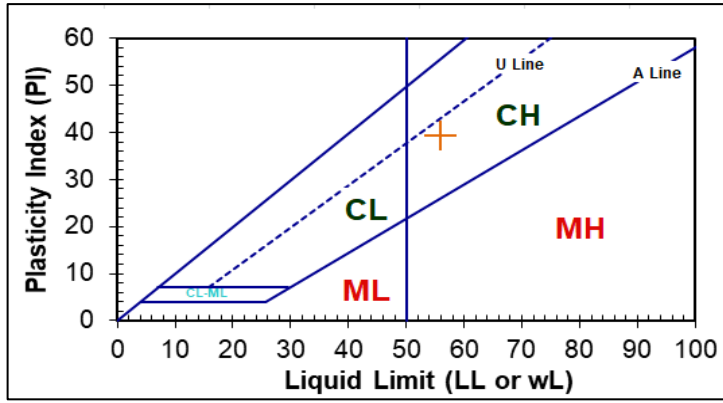


(LL or w_L) (%) :	56
(PL or w_P) (%) :	44
(PI) (%) :	12
UC :	CL-ML
Su içeriği :	69.3

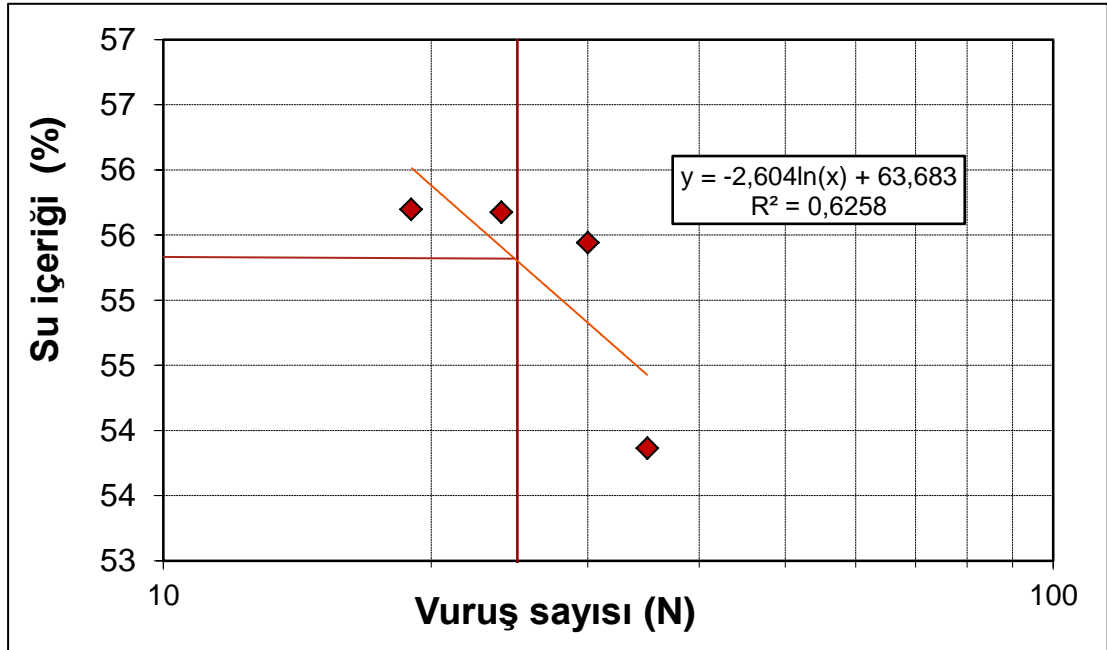


Şekil 44: Killi toprağı için kıvam limitleri deneyinin sonuçları

	Sayı	Plastik Limit				Likit Limit		
		1	2	3	4	5	6	7
Vuruş sayısı	vuruş				19	24	30	35
Dara Sayısı	---	1	2	3	4	5	6	7
Dara Kütlesi	(g)	71.3	69.7	70.0	104.7	107.6	103.0	103.98
Dara & Toprak (islak)	(g)	74.8	73.2	72.7	125.6	128.2	119.4	124.09
Dara & Toprak (kuru)	(g)	73.8	72.2	72.0	118.1	120.8	113.6	117.05
Toprak Kütlesi	(g)	2.56	2.49	1.95	13.43	13.22	10.57	13.07
Su kütlesi	(g)	0.98	1.01	0.75	7.48	7.36	5.86	7.04
Su içeriği	(%)	38.3	40.6	38.5	55.7	55.7	55.4	53.9

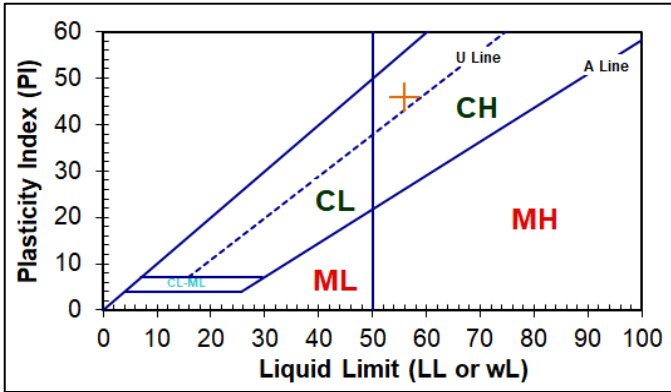


(LL or w_L) (%) :	56
(PL or w_P) (%) :	39
(PI) (%) :	17
UC :	CH
Su içeriği :	55.2

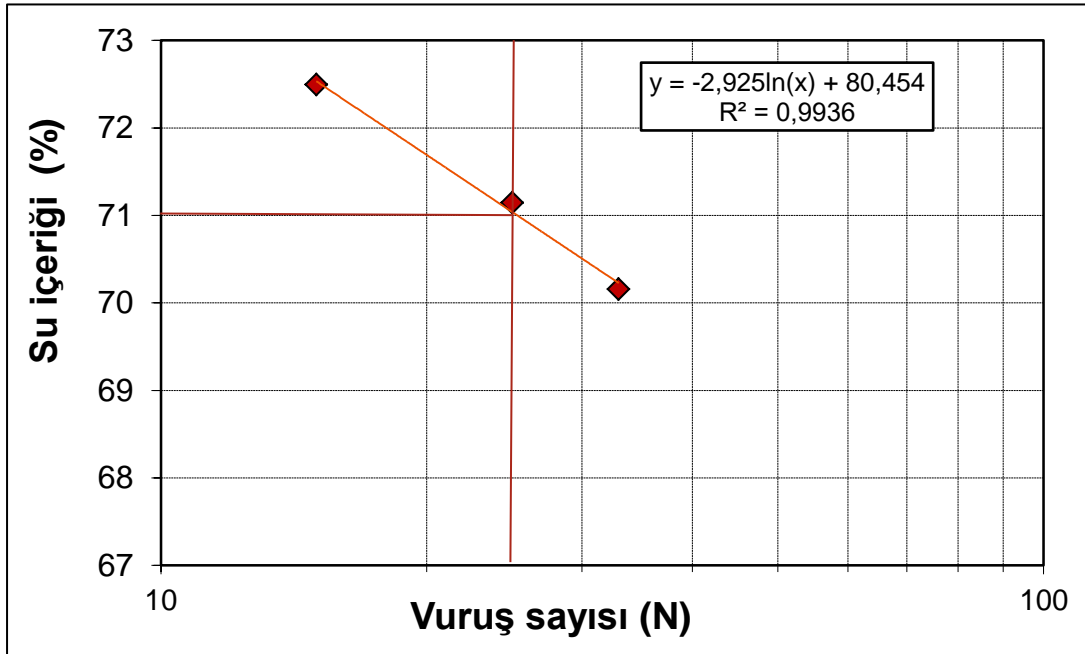


Şekil 45: Tal Aar toprağı için kıvam limitleri deneyinin sonuçları

	Sayı	Plastik Limit			Likit Limit		
		1	2	3	4	5	6
<i>Vuruş sayısı</i>	<i>vuruş</i>				25	33	15
<i>Dara Sayısı</i>	---	1	2	3	4	5	6
<i>Dara Kütlesi</i>	(g)	71.32	68.16	67.58	113.5	115.9	106.45
<i>Dara & Toprak (islak)</i>	(g)	79.66	76.27	75.40	130.8	133.2	126.77
<i>Dara & Toprak (kuru)</i>	(g)	77.04	73.71	72.96	123.6	126.1	118.23
<i>Toprak Kütlesi</i>	(g)	5.72	5.55	5.38	10.12	10.12	11.78
<i>Su kütlesi</i>	(g)	2.62	2.56	2.44	7.20	7.10	8.54
<i>Su içeriği</i>	(%)	45.8	46.1	45.4	71.1	70.2	72.5

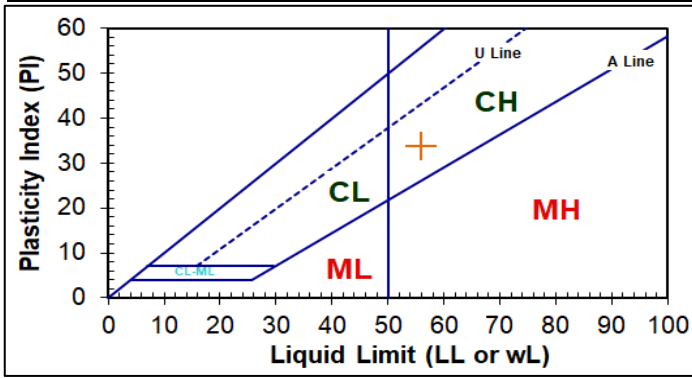


(LL or w_L) (%) :	56
(PL or w_p) (%) :	46
(PI) (%) :	10
UC :	CL-ML
Su içeriği :	71.26

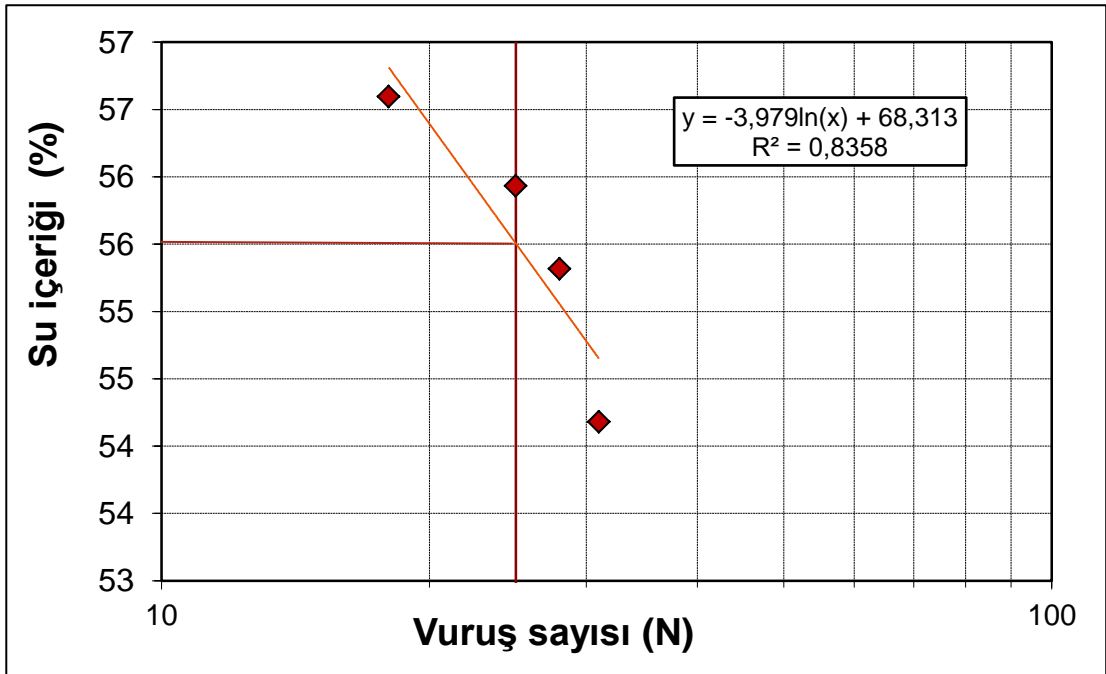


Şekil 46: Maret toprağı için kıvam limitleri deneyinin sonuçları

	Sayı	Plastik Limit			Likit Limit			
		1	2	3	4	5	6	7
Vuruş sayısı	vuruş				18	25	28	31
Dara Sayısı	---	1	2	3	1	2	3	4
Dara Kütlesi	(g)	104.5	108.2	103.8	62.92	72.81	70.08	71.33
Dara & Toprak (islak)	(g)	109.2	113.9	110.2	83.34	87.53	86.73	86.64
Dara & Toprak (kuru)	(g)	108.0	112.5	108.5	75.96	82.25	80.80	81.26
Toprak Kütlesi	(g)	3.54	4.35	4.74	13.43	13.04	9.44	10.72
Su kütlesi	(g)	1.14	1.47	1.67	7.48	7.38	5.28	5.93
Su içeriği	(%)	32.2	33.8	35.2	55.7	56.6	55.9	55.3

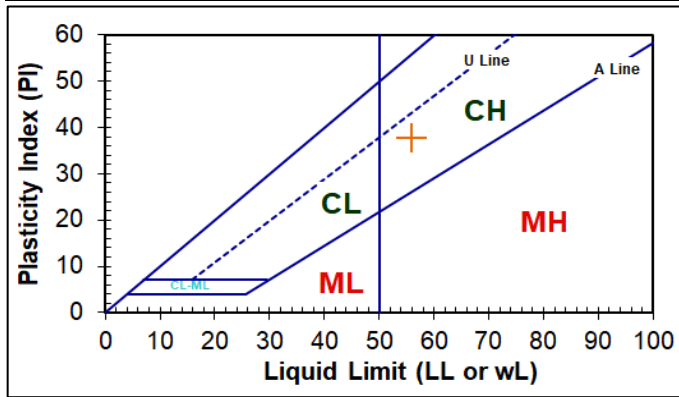


(LL or wL) (%) :	56
(PL or w_p) (%) :	34
(PI) (%) :	22
UC :	CH
Su içeriği :	55.63

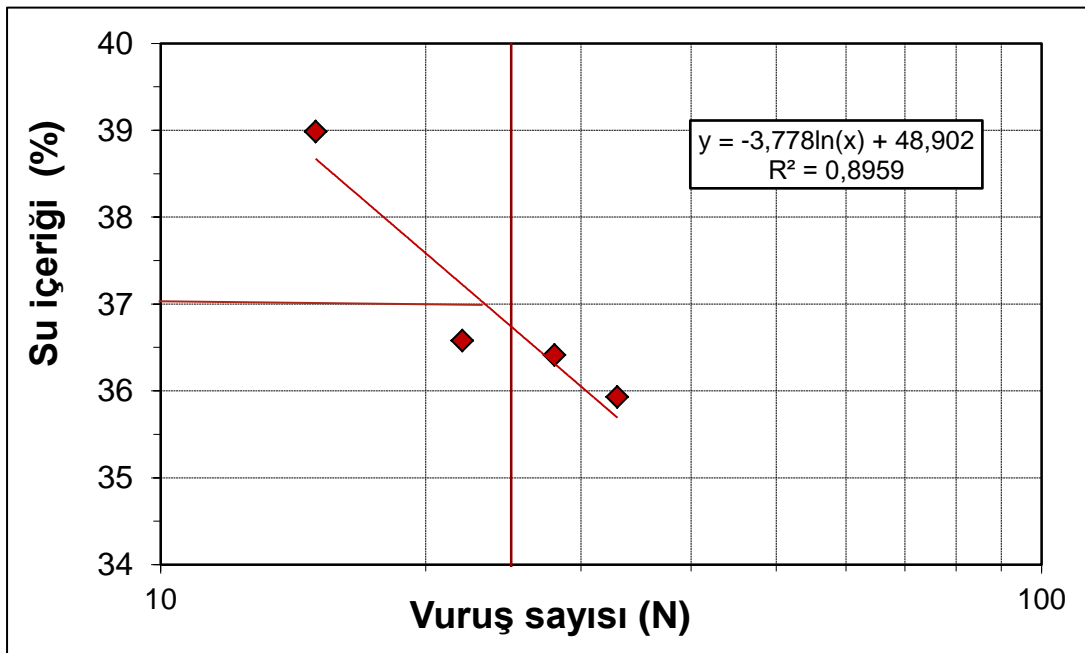


Şekil 47: Şahin toprağı için kıvam limitleri deneyinin sonuçları

	Sayı	Plastik Limit			Likit Limit			
		1	2	3	4	5	6	7
Vuruş sayısı	vuruş				15	22	28	33
Dara Sayısı	---	1	2	3	1	2	3	4
Dara Kütlesi	(g)	62.9	55.7	72.8	102.8	107.0	99.18	103.9
		2	2	1		9		7
Dara & Toprak (islak)	(g)	65.5	59.2	77.3	124.6	126.3	117.9	125.0
Dara & Toprak (kuru)	(g)	64.5	58.4	76.4	118.5	121.1	112.9	119.5
		6	9	3	5	7	4	0
Toprak Kütlesi	(g)	1.64	2.77	3.62	13.43	15.75	14.08	13.76
Su kütlesi	(g)	1.00	0.71	0.96	7.48	6.14	5.15	5.01
Su içeriği	(%)	61.0	25.6	26.5	55.70	39.0	36.60	36.40
		0	0	0				

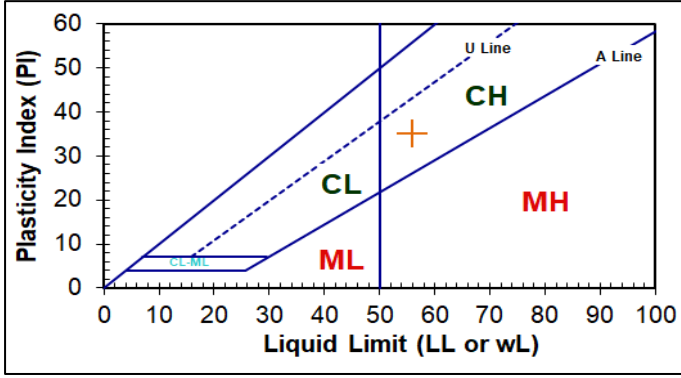


(LL or w_L) (%) :	56
(PL or w_p) (%) :	38
(PI) (%) :	18
UC :	CH
Su içeriği :	37.30

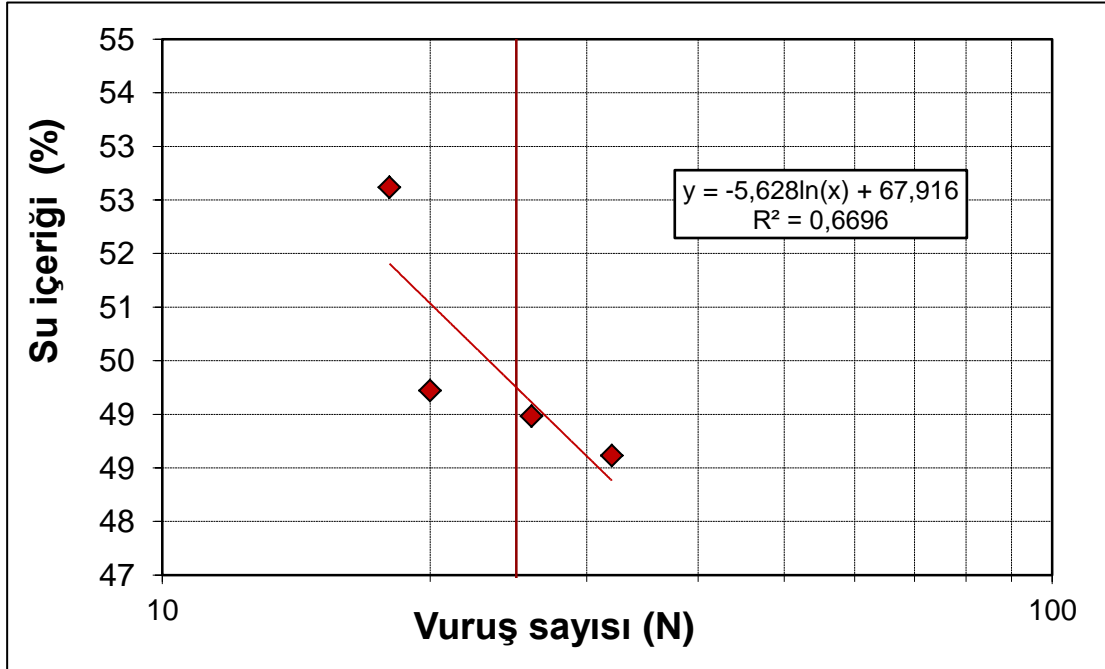


Şekil 48: Tal Battal toprağı için kıvam limitleri deneyinin sonuçları

	Plastik Limit				Likit Limit			
	Sayı	1	2	3	4	5	6	7
Vuruş sayısı	vuruş				18	20	26	32
Dara Sayısı	---	1	2	3	1	2	3	4
Dara Kütlesi	(g)	102.7	113.4	98.6	69.74	72.8	70.0	62.92
Dara & Toprak (islak)	(g)	106.9	117.9	104.	88.93	91.2	86.7	82.47
Dara & Toprak (kuru)	(g)	105.8	116.8	102.	82.3	85.1	81.2	76.06
Toprak Kütlesi	(g)	3.08	3.40	4.13	12.56	12.3	11.1	13.14
Su kütlesi	(g)	1.11	1.20	1.39	6.63	6.12	5.50	6.41
Su içeriği	(%)	36.0	35.30	33.7	52.80	49.8	49.4	48.80
				0		0	0	



(LL or w _L) (%):	56
(PL or w _p) (%):	35
(PI) (%):	21
UC:	CH
Su içeriği :	50.20



Şekil 49: Tal Rai toprağı için kıvam limitleri deneyinin sonuçları

4.3.4. Proktor Deneyi

Deneyle ASTM D 698-00'a (Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³))) standardına göre yapılmıştır. Standart proktor testi 30,5 cm yükseklikten 2,5 kg yük altında üç kalıp katmanına sıkıştırarak maksimum kuru birim hacim ağırlığını (γ_{max}) ve optimum su içeriği parametrelerini belirlemede kullanılan bir yöntemdir.

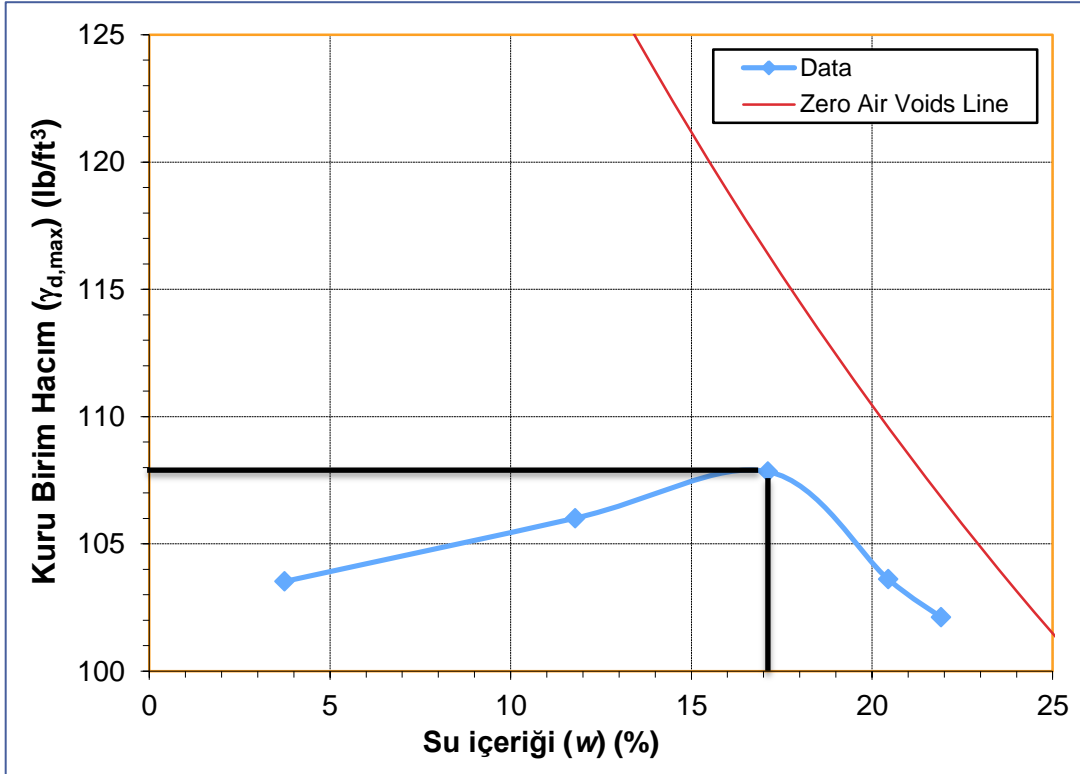
Sıkıştırma, en kaba anlamda, bir zemini mekanik yollarla daha sağlam bir şekilde yapay hale getirmektir. Bu işlem, zemindeki ağırlığı azaltarak veya hareketli bir ağırlığı geçirerek veya sallayarak taneler arasındaki boşlukları azaltmaya dayanır. Sıkıştırma mekanizmaları tam olarak bilinmemekle birlikte, absorbe edilmiş bir su tabakası taneleri kaplar. Su miktarı arttıkça, bu film kalınlaşır ve parçacıklar birbiri üzerinde daha kolay kayarak taneler arasındaki sürtünme enerjisinin en aza indirilmesine neden olur ve böylece yerleşim kolaylaşır. Proktor deneyinden elde edilen sonuçlar Şekil 50-52 arası ile Çizelge 20-21'de verilmiştir.



Şekil 50: Proktor deneyi aşamaları

Çizelge 20: Maret örneğinin proktor deneyinin sonuçları

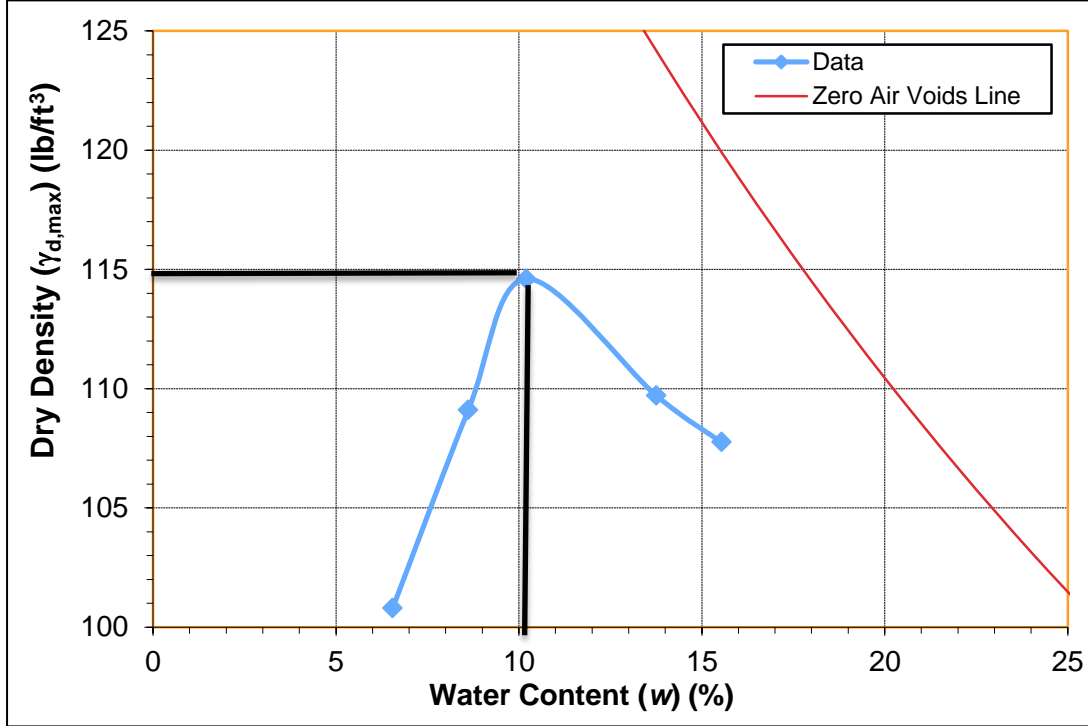
Deneş Sayısı	1	2	3	4	5
Toprak Kütlesi & Mold (M_t) (lb):	13.12	13.49	13.75	13.70	13.69
Mold Kütlesi (M_{mold}) (lb):	9.54	9.54	9.54	9.54	9.54
Toprak Kütlesi (M_s) (lb):	3.58	3.95	4.21	4.16	4.15
birim hacim (islak) (γ_{wet}) (lb/ft ³):	107.40	118.50	126.3	124.80	124.50
Dara sayısı	K10	K15	K20	K25	K30
Dara Kütlesi (g):	16.90	16.40	18.00	16.85	16.85
Dara Kütlesi & Toprak Kütlesi (islak) (g):	28.68	27.31	27.03	24.98	27.02
Dara Kütlesi & Toprak Kütlesi (kuru) (g):	27.84	26.16	25.71	23.60	22.00
Toprak Kütlesi (g):	22.44	9.76	7.71	6.75	22.91
Su Kütlesi (g):	0.84	1.15	1.32	1.38	5.02
Su İçeriğı w (%):	3.70	11.80	17.10	20.40	21.90
Birim hacim (γ_{dry}) (lb/ft ³):	103.50	106.0	107.8	103.6	102.1
$\gamma_{d,max}$ (lb / ft ³) :	107.80				
Optimum Su İçeriğı (%) :	17.10				



Şekil 51: Maret örneğinin proktor deneyinin grafiğı

Çizelge 21: Killi örneğinin proktor deneyinin sonuçları

Deney sayısı	1	2	3	4	5
Toprak Kütlesi & Mold (M_t) (lb):	13.12	13.49	13.75	13.70	13.69
Mold Kütlesi (M_{mold}) (lb):	9.54	9.54	9.54	9.54	9.54
Toprak Kütlesi (M_s) (lb):	3.58	3.95	4.21	4.16	4.15
birim hacim (islak) (γ_{wet}) (lb/ft ³):	107.40	118.50	126.3	124.8	124.50
Dara sayısı	M5	M15	M20	M25	M30
Dara Kütlesi (g):	15.73	18.22	15.68	15.24	17.89
Dara Kütlesi & Toprak Kütlesi (islak) (g):	27.51	32.59	19.89	16.48	29.78
Dara Kütlesi & Toprak Kütlesi (kuru) (g):	26.04	31.45	19.50	16.33	26.22
Toprak Kütlesi (g):	22.44	13.23	3.82	1.09	22.91
Su Kütlesi (g):	1.47	1.14	0.39	0.15	3.56
Su İçeriği w (%):	6.60	8.60	10.20	13.80	15.50
Birim hacim (γ_{dry}) (lb/ft ³):	100.8	109.1	114.6	109.7	107.80
$\gamma_{d,max}$ (lb / ft ³) :	114.80				
Optimum Su İçeriği (%) :	10.20				



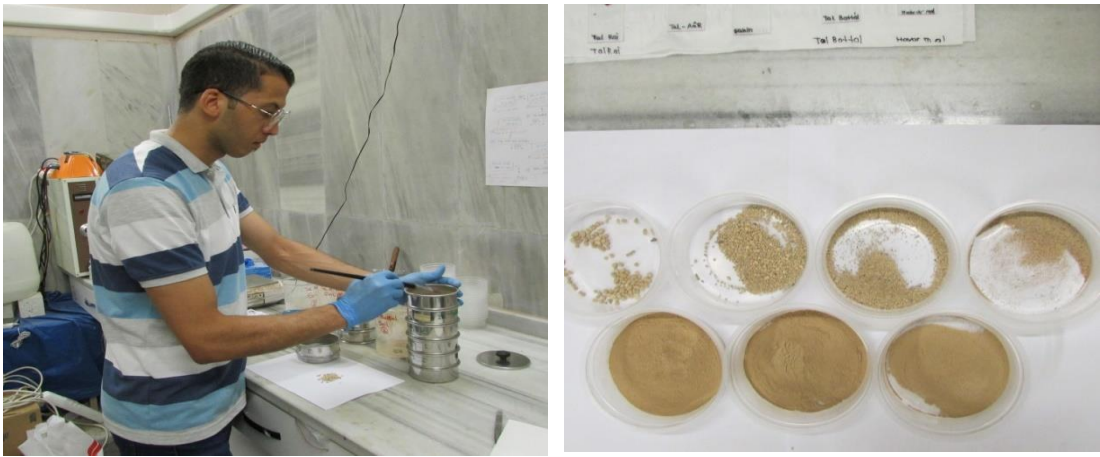
Şekil 52: Killi örneğinin proktor deneyinin grafiği

4.3.5. Elek Analizi

Deney ASTM D 422-07 (2007) standardına göre gerçekleştirilmiştir. İnce ve kaba taneli topraklar karışık olarak bulunabileceğinden, çapı 76.2 mm ile 0.075 mm arasında olan parça elek analizine tabi tutulurken, 0.075 mm'den daha küçük çaplı topraklara ıslak analiz (hidrometre ve pipet analizi) yapılmıştır. Bu işlemde granülometri eğrisinin belirleneceği malzeme kurutulur ve farklı çaplardaki bir elek serisinden elenir. Bu deney için standart olarak kullanılan ASTM standartlarında verilen elek serisi kullanılmıştır (Çizelge 22-25). Elek numaraları inç kare başına delik sayısını gösterir. Örneğin, 40 nolu elek, 1 inç karelik bir alanda 40 deliğe sahiptir (Şekil 53).



A: Elek ve sarsıma cihazı



B: Araştırmacı elek analizi yaparken

Şekil 53: Elek analizi aşamaları (KURAM Lab.)

Elek analizi örnekler üzerinde ilk olarak asit kaybı deneyinden sonra yapılmıştır, Ancak asitle muamelede karbonatlı parçacıkların kaybolmasından dolayı sonucun doğru olmayabileceği ortaya çıkmıştır. Bu yüzden test asitle muamele öncesi ham örnekler üzerinde tekrarlanmış ve iki sonuç birlikte verilmiştir (Çizelge 22-23).

Çizelge 22: Asitle muamele sonrası elek analizi sonuçları

Elek Analizi (%)										
Örnek No	8.0 mm ^	5.6 mm ^	4.0 mm ^	2.0 mm ^	1.0 mm ^	500 µm ^	250 µm ^	125 µm ^	63 µm ^	<63 µm
Şahin	0,0	0,00	0,00	0,19	0,39	0,90	2,24	5,52	47,21	43,56
T.Aar	0,0	0,00	0,00	0,00	2,58	0,90	1,55	7,27	40,16	47,54
T.Rai	0,0	1,08	0,00	0,19	0,19	0,72	1,91	11,14	57,26	27,50
Battal	0,0	0,00	0,00	2,98	4,77	4,01	3,39	16,00	21,35	47,49
Killi	0,0	0,00	0,00	13,10	14,36	8,57	4,77	26,33	0,00	32,89
Maret	0,0	0,00	0,00	4,90	13,90	7,60	3,42	3,11	34,18	32,89

Çizelge 23: Asitle muamele sonrası elek analizini sonuçlar

Elek Analizi (%)			
Örnek	≤ %63 µm	125 – 1000 µm	≥ %1000 µm
Şahin	90.76	8.66	0.58
Tel Aar	88.85	8.80	2.35
Tel Rai	84.77	13.77	1.46
Tel Battal	68.85	23.40	7.75
Killi	67.07	14.13	18.80
Maret	32.89	39.66	27.45

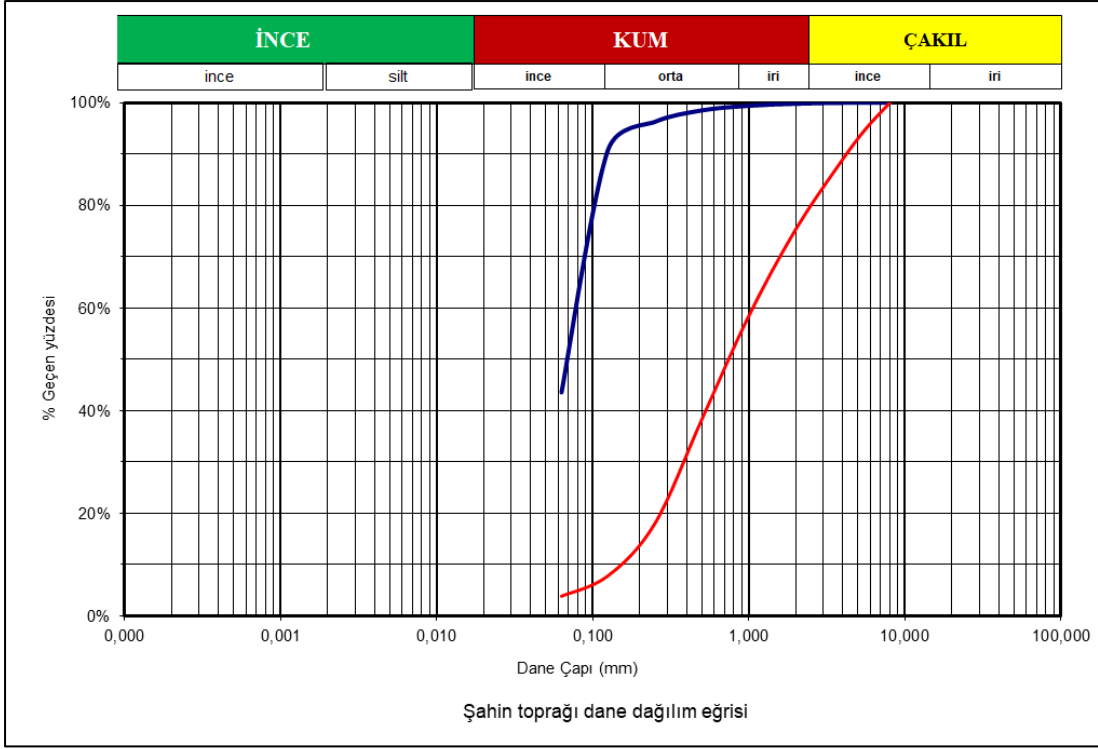
Asitle muamele öncesi yapılan elek analizindeki hazırlığın sonucu ne olursa olsun, toprak parçacıkları birbirine sıkıca bağlıdır ve dane boyu olarak iri görünür, Asitle Muamele Öncesi ve sonrası Elek Analizi sonuç elde edilen Şekil 54-59 ile çizelge 24-25’de verilmiştir.

Çizelge 24: Asitle muamele öncesi elek analizi sonuçları.

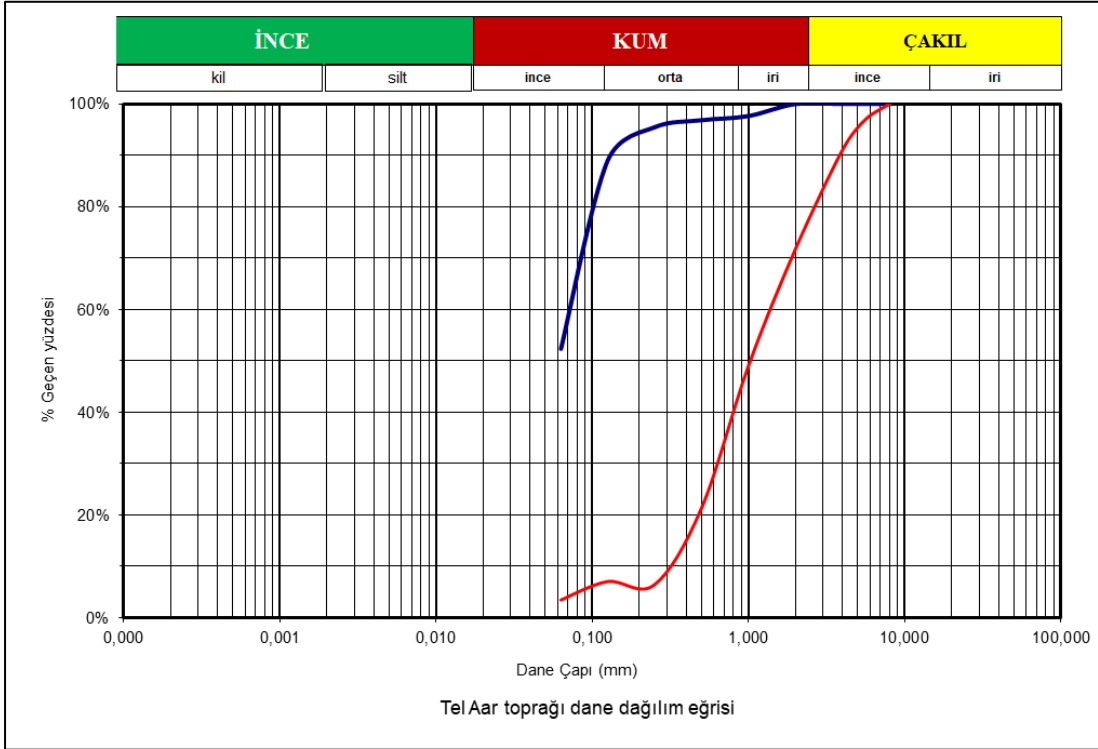
Elek Analizi (%)										
Örnek No	8.0 mm	5.6 mm	4.0 mm	2.0 mm	1.0 mm	500 µm	250 µm	125 µm	63 µm	<63 µm
Şahin	1.33	5.12	5.88	13.65	16.87	20.17	20.30	10.20	3.94	2.54
T.Aar	1.76	2.37	4.63	15.10	17.81	21.70	21.70	10.53	2.80	1.58
T.Rai	0.00	0.00	5.96	21.73	25.28	22.02	14.58	5.18	2.98	2.27
Battal	0.00	2.29	5.34	12.67	15.94	23.90	26.30	8.41	2.73	2.42
Killi	0.00	0.00	0.00	0.39	4.47	31.48	30.11	16.37	9.93	7.24
Maret	0.00	0.00	0.00	2.41	7.30	13.54	32.14	16.09	18.08	8.90

Çizelge 25: Asitle muamele öncesi elek analizi sonuçları.

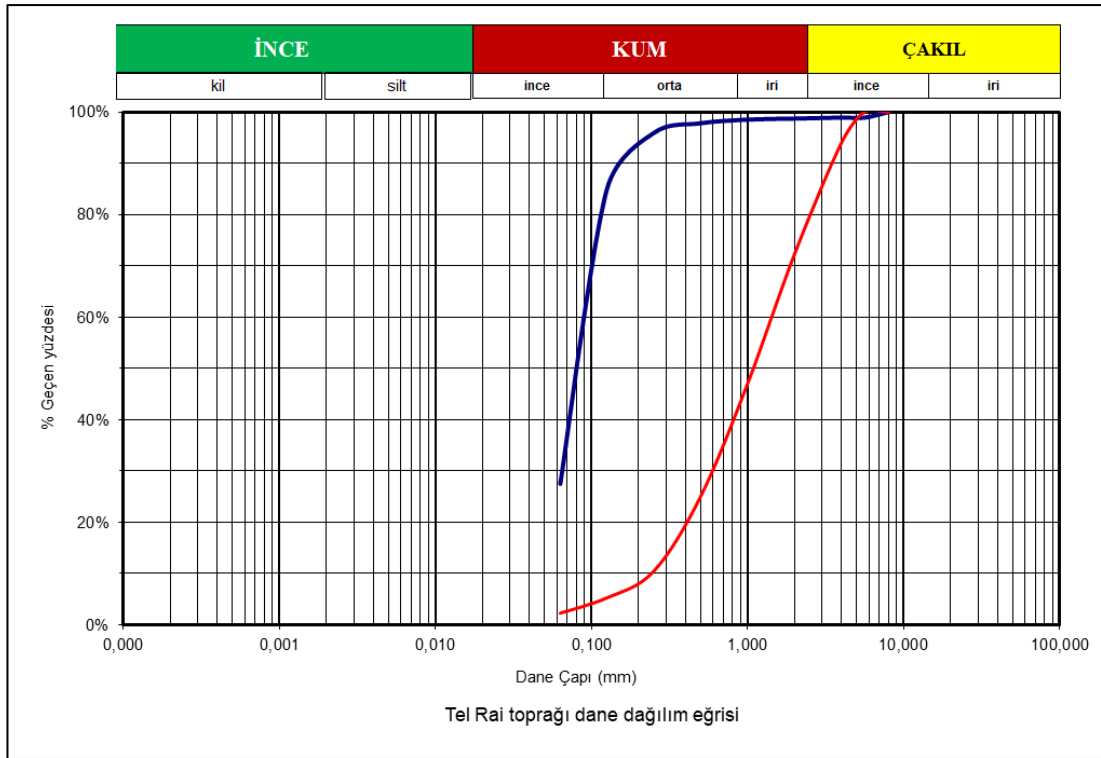
Elek Analizi (%)			
Örnek	≤ %63 µm	125 – 1000 µm	≥ %1000 µm
Şahin	5.15	58.61	36.24
Tel Aar	6.48	50.67	42.85
Tel Rai	5.25	41.78	52.97
Tel Battal	4.39	53.93	41.68
Killi	17.18	77.96	4.86
Maret	27.71	62.59	9.71



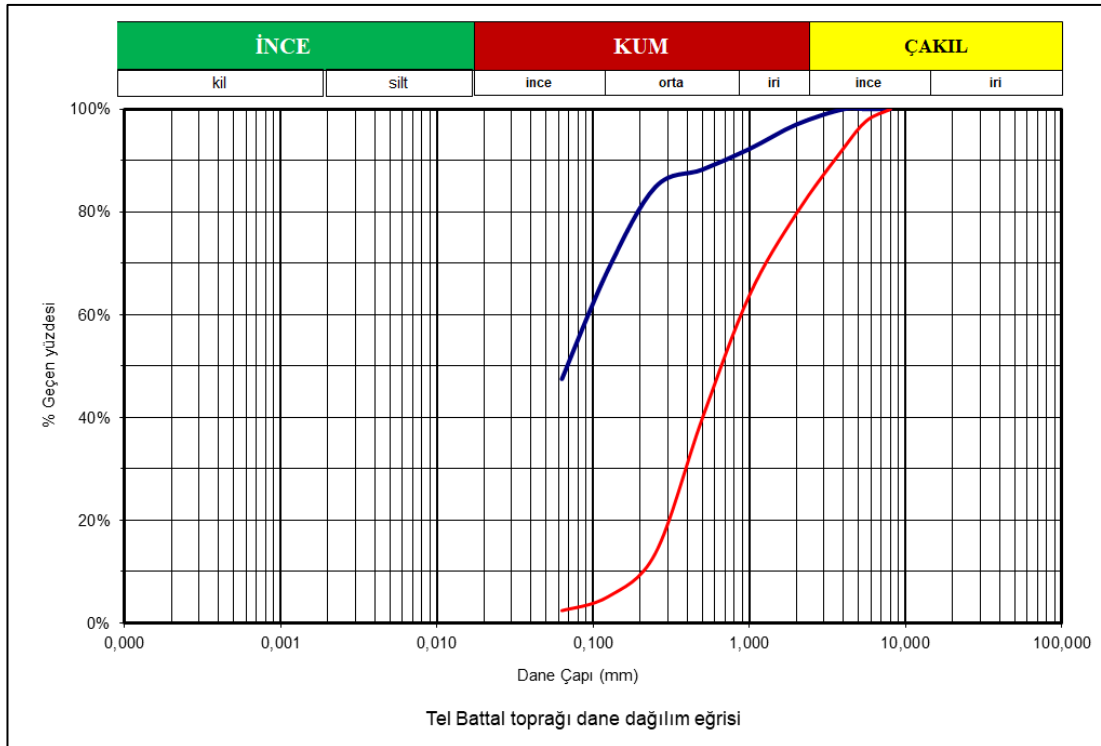
Şekil 54: Şahin toprağının asitle muamele elek öncesi (kırmızı) ve sonrası (mavi).



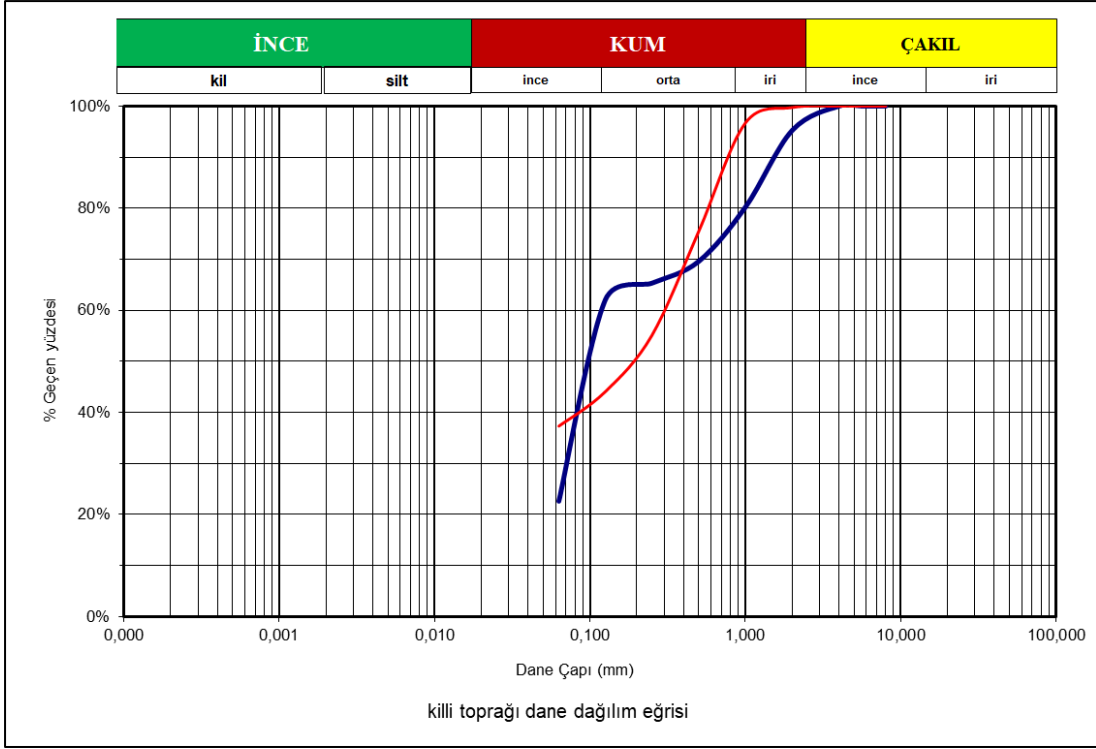
Şekil 55: Tal Aar toprağı asitle muamele elek öncesi (kırmızı) ve sonrası (mavi).



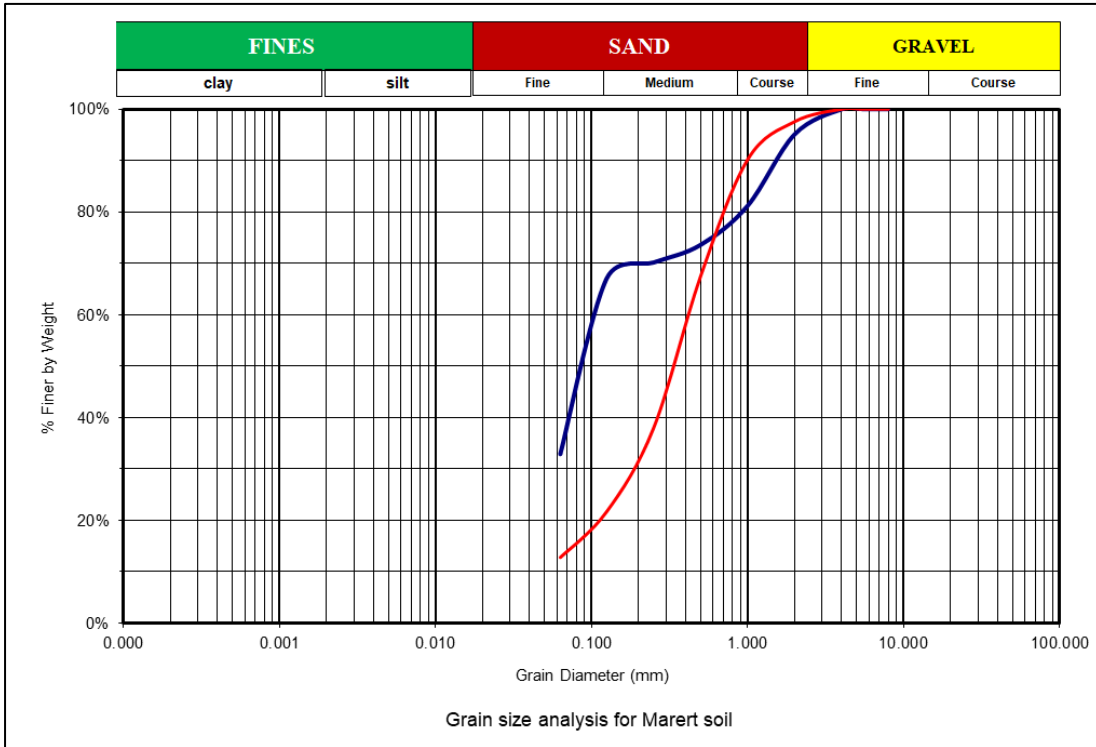
Şekil 56: Tal Rai toprağı asitle muamele elek öncesi (kırmızı) ve sonrası (mavi)



Şekil 57: Tal Battal toprağı asitle muamele elek öncesi (kırmızı) ve sonrası (mavi)



Şekil 58: Killi toprağının asitle muamele elek öncesi (kırmızı) ve sonrası (mavi)



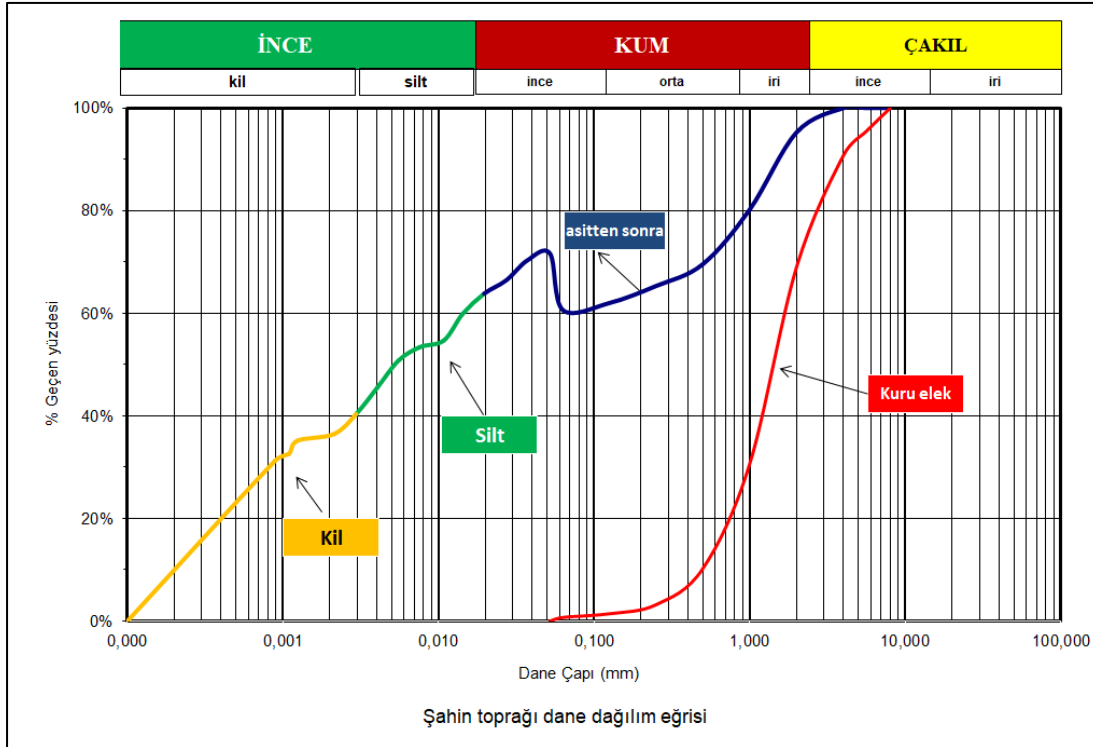
Şekil 59: Maret toprağının asitle muamele elek öncesi (kırmızı) ve sonrası (mavi)

4.3.6. Hidrometre Deneyi

Deneyler kullanılan numuneler ASTM D422-07 (Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils) ve ASTM D1140-00 (Historical Standard: ASTM D1140-00 Standard Test Methods for Amount of Material in Soils Finer Than the No. 200 (75-um) Sieve) standartlarına göre yapılmıştır. Dane dağılımının saptanmasında ince daneli zeminler (200 No'dan küçük) hidrometre yöntemiyle saptanır. 4 numaralı elekten geçen malzemedan 200-250 gr alınır, fırında 24 saat beklenir. Malzemeye suyu ekleyerek, cihaz çalışırken malzeme kaybını önlemek için cihaz 10 dakika karıştırılır. Bu arada, bir mezura suyla doldurulur, deney sırasında hidrometre bu ölçümde tutulur (Palalı, 2006, S.32). Hidrometre Deneyi sonuç elde edilen Şekil 60-65 ile çizelge 26-31'de verilmiştir. Tabloda verilen özetleri şöyledir: **Z** = Zaman (**dakika**), **S** = Sıcaklık (°C), **R_H** = Hidrometre okuması, **C_m** = Menisküs düzeltmesi, **Rc** = Düzeltmiş hidrometre okuması, **D** = Çap (**mm**).

Çizelge 26: Şahin toprağı hidrometre deneyi sonuçları

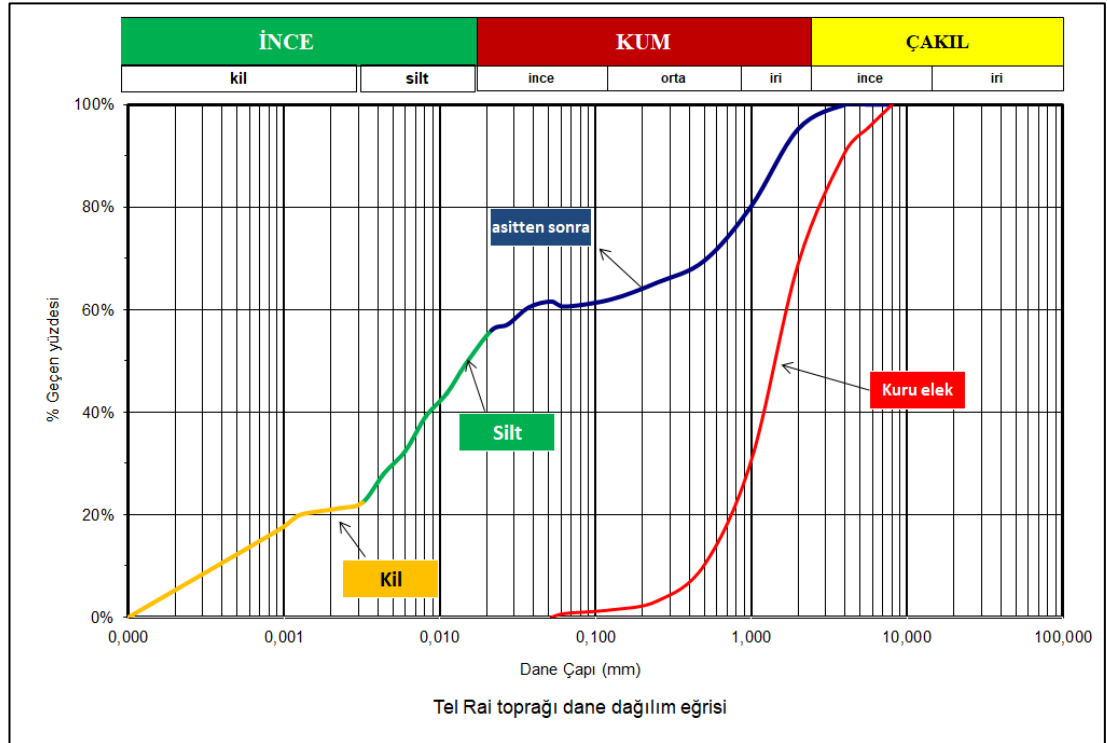
#	Z	S	C _m	R _H	R _c	D (mm)	Geçen %
1	0.5	20	56	57	54.40	0.05200	71.64
2	1	20	55	56	53.40	0.03728	70.34
3	2	20	52	53	50.40	0.02725	66.43
4	4	20	50	51	48.40	0.01963	63.83
5	8	20	47	48	45.40	0.01431	59.92
6	15	20	43	44	41.40	0.01081	54.71
7	30	20	42	43	40.40	0.00759	53.41
8	60	20	40	41	38.40	0.00554	50.81
9	120	20	36	37	34.40	0.00406	45.59
10	240	20	32	33	30.40	0.00296	40.38
11	480	20	29	30	27.40	0.00213	36.47
12	1440	20	28	29	26.40	0.00124	35.17
13	1920	20	26	27	24.40	0.00109	32.56
14	2880	20	25	26	23.40	0.00089	31.26



Şekil 60: Şahin toprağı elek analizi ve hidrometre sonuçları

Çizelge 27: Tal Rai toprağı hidrometre deneyi sonuçları

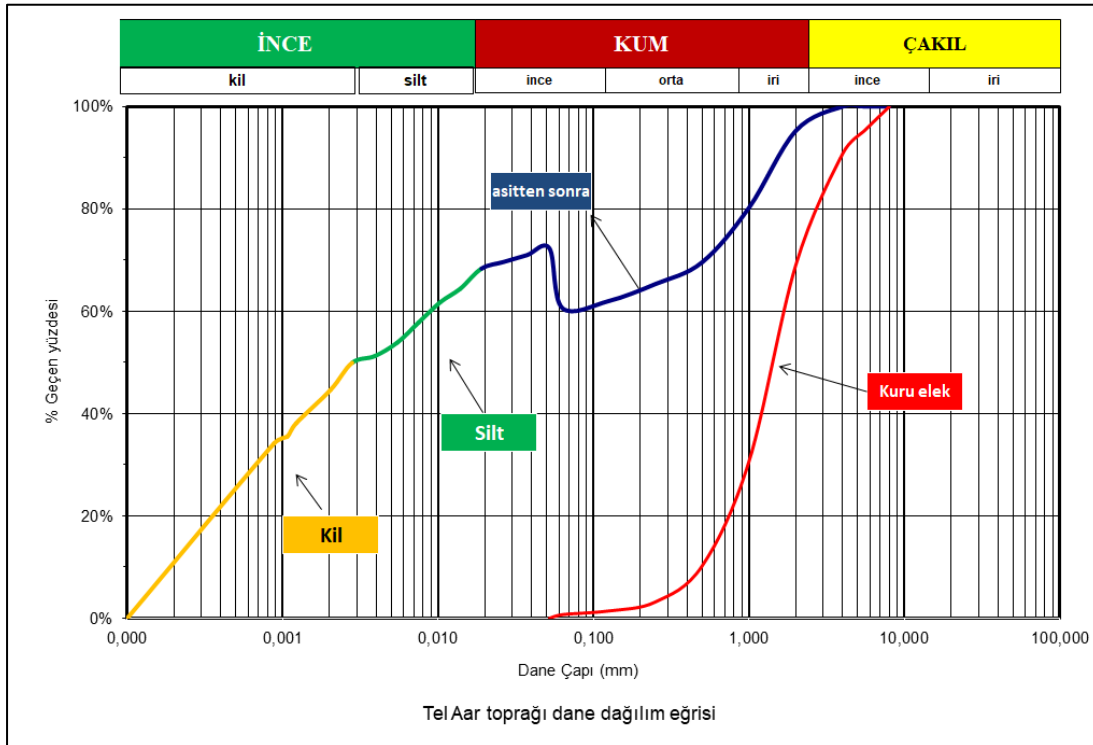
#	Z	S	C _m	R _H	R _c	D (mm)	Geçen %
1	0.5	20	56	57	54.40	0.05200	61.59
2	1	20	55	56	53.40	0.03728	60.47
3	2	20	52	53	50.40	0.02725	57.11
4	4	20	51	52	49.40	0.02148	55.99
5	8	20	45	46	43.40	0.01455	49.27
6	15	20	40	41	38.40	0.01109	43.67
7	30	20	36	37	34.40	0.00812	39.19
8	60	20	30	31	28.40	0.00601	32.47
9	120	20	26	27	24.40	0.00436	27.99
10	240	20	21	22	19.40	0.00319	22.39
11	480	20	20	21	18.40	0.00227	21.27
12	1440	20	19	20	17.40	0.00132	20.15
13	1920	20	18	19	16.40	0.00114	19.12
14	2880	20	17	18	15.40	0.00094	17.91



Şekil 61: Tal Rai toprağı elek analizi ve hidrometre sonuçları

Çizelge 28: Tal Aar toprağı hidrometre deneyi sonuçları

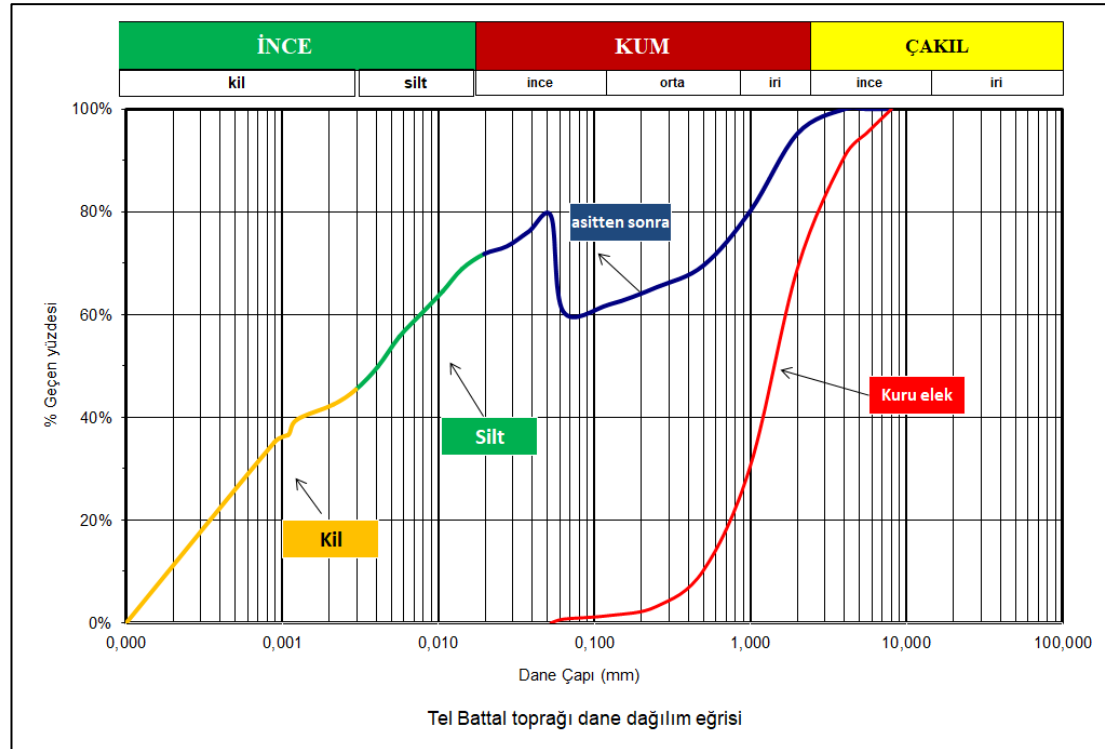
#	Z	S	C _m	R _H	R _c	D (mm)	Geçen %
1	0.5	20	56	57	54.40	0.05200	72.28
2	1	20	55	56	53.40	0.03728	70.97
3	2	20	54	55	52.40	0.02654	69.65
4	4	20	53	54	51.40	0.01902	68.34
5	8	20	50	51	48.40	0.01388	64.40
6	15	20	48	49	46.40	0.01032	61.77
7	30	20	45	46	43.40	0.00751	57.83
8	60	20	42	43	40.40	0.00546	53.88
9	120	20	40	41	38.40	0.00392	51.25
10	240	20	39	40	37.40	0.00280	49.94
11	480	20	35	36	33.40	0.00204	44.68
12	1440	20	30	31	28.40	0.00122	38.11
13	1920	20	28	29	26.40	0.00107	35.48
14	2880	20	27	28	25.40	0.00088	34.17



Şekil 62: Tal Aar toprağı elek analizi ve hidrometre sonuçları

Çizelge 29: Tal Battal toprağı hidrometre deneyi sonuçları

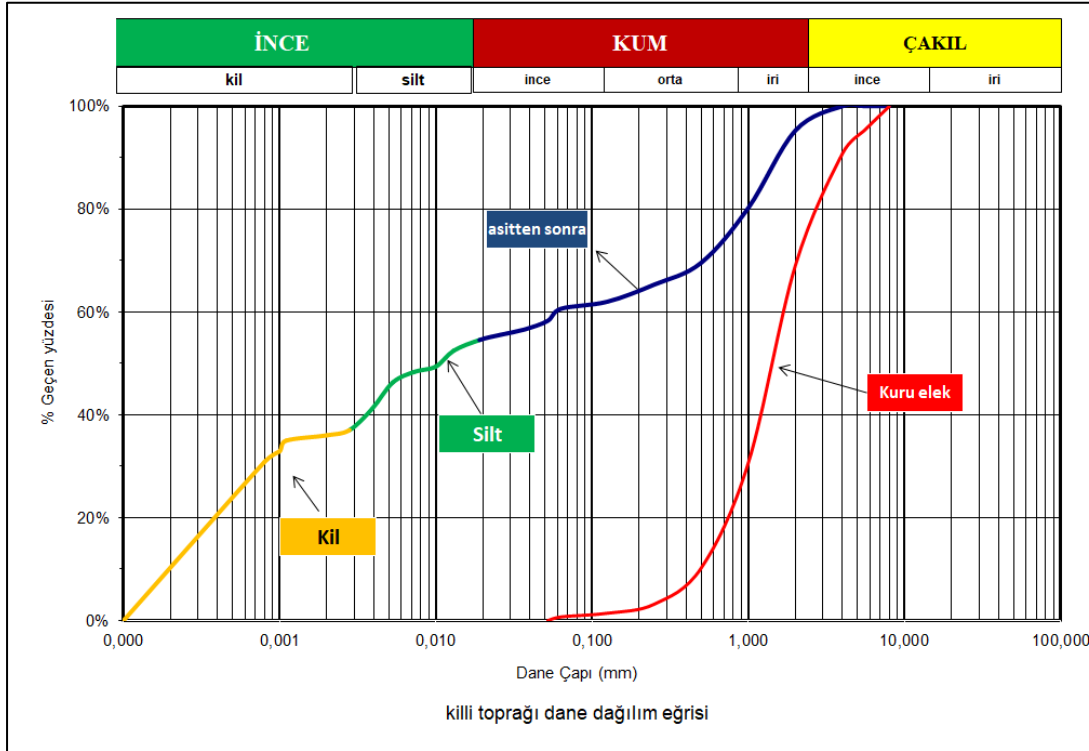
#	Z	S	C _m	R _H	R _c	D (mm)	Geçen %
1	0.5	20	55	56	53.40	0.05272	79.14
2	1	20	53	54	51.40	0.03804	76.21
3	2	20	51	52	49.40	0.02742	73.28
4	4	20	50	51	48.40	0.01963	71.81
5	8	20	48	49	46.40	0.01414	68.88
6	15	20	45	46	43.40	0.01062	64.49
7	30	20	42	43	40.40	0.00772	60.09
8	60	20	39	40	37.40	0.00561	55.69
9	120	20	35	36	33.40	0.00408	49.83
10	240	20	32	33	30.40	0.00296	45.43
11	480	20	30	31	28.40	0.00212	42.50
12	1440	20	28	29	26.40	0.00124	39.57
13	1920	20	26	27	24.40	0.00109	36.58
14	2880	20	25	26	23.40	0.00089	35.17



Şekil 63: Tal Battal toprağı elek analizi ve hidrometre sonuçları

Çizelge 30: Killi toprağı hidrometre deneyi sonuçları

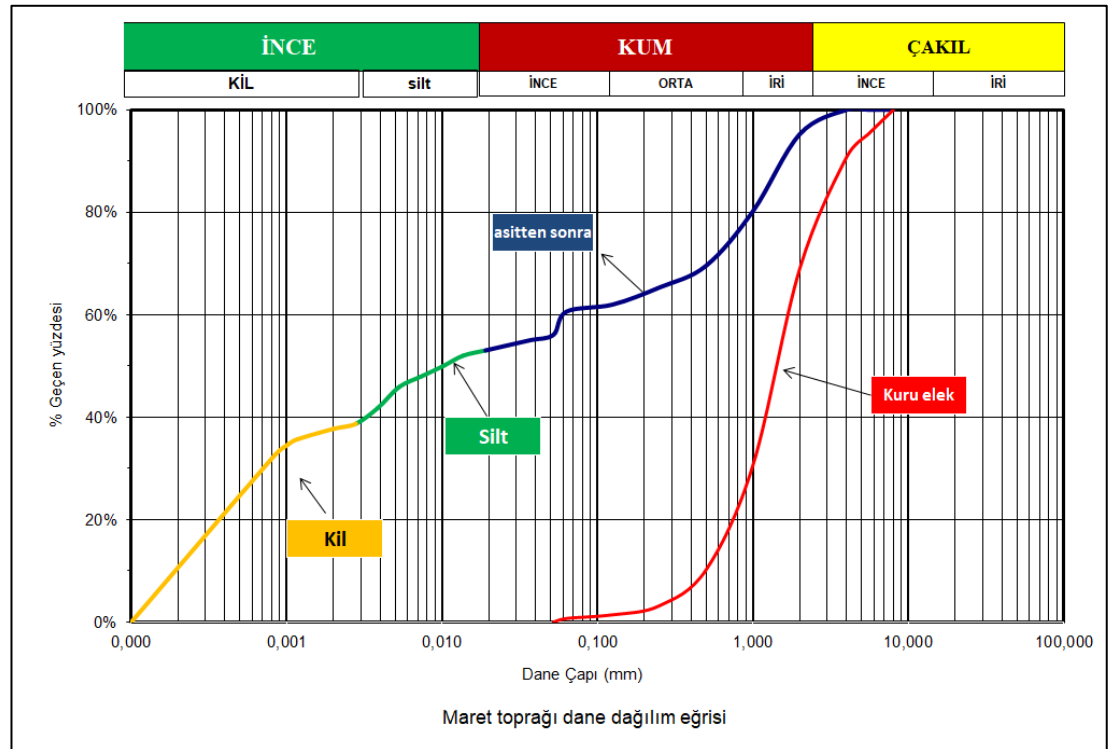
#	Z	S	C _m	R _H	R _c	D (mm)	Geçmiş %
1	0.5	20	56	57	56.40	0.0511	58.28
2	1	20	55	56	55.40	0.0363	56.60
3	2	20	54	55	54.40	0.0261	55.57
4	4	20	53	54	53.40	0.0185	54.54
5	8	20	51	52	51.40	0.0134	52.48
6	15	20	48	49	48.40	0.0101	49.39
7	30	20	47	48	47.40	0.0072	48.37
8	60	20	45	46	45.40	0.0052	46.31
9	120	20	40	41	40.40	0.0038	41.16
10	240	20	36	37	36.40	0.0028	37.04
11	480	20	35	36	35.40	0.0020	36.02
12	1440	20	34	35	34.40	0.0012	34.99
13	1920	20	32	33	32.40	0.0010	32.93
14	2880	20	30	31	30.40	0.0008	30.87



Şekil 64: killi toprağı elek analizi ve hidrometre sonuçları

Çizelge 31: Maret toprağı hidrometre deneyi sonuçları

#	Z	S	C _m	R _H	R _c	D (mm)	Geçmiş %
1	0.5	20	56	57	54.40	0.05200	56.09
2	1	20	55	56	53.40	0.03728	55.07
3	2	20	54	55	52.40	0.02654	54.05
4	4	20	53	54	51.40	0.01902	53.03
5	8	20	52	53	50.40	0.01362	52.01
6	15	20	50	51	48.40	0.01014	49.97
7	30	20	48	49	46.40	0.00730	47.93
8	60	20	46	47	44.40	0.00528	45.89
9	120	20	42	43	40.40	0.00386	41.81
10	240	20	39	40	37.40	0.00280	38.75
11	480	20	38	39	36.40	0.00200	37.73
12	1440	20	36	37	34.40	0.00117	35.69
13	1920	20	35	36	33.40	0.00102	34.67
14	2880	20	33	34	31.40	0.00084	32.63



Şekil 65: Maret toprağı elek analizi ve hidrometre sonuçları

5. SIKIŞTIRILMIŞ TOPRAK BLOK ÜRETİMİ VE DENEYLERİ

5.1. STABİLİZE EDİLEN BLOKLARIN KARAKTERİZASYONU

Önceki bölümde altı tür toprak üzerinde testler yapılmıştır. Bu bölümde sadece maret toprağı ve killi toprağı kullanılmış, diğer topraklar kullanılmamıştır. Tüm numunelerin test edilmemesinin nedeni, başlangıçta 4 farklı bölgeden (Tel Aar, Tel Battal, Tel Rai ve Şahin) getirilen numuneler üzerinde 6 ay boyunca uygulanan deneyler sonucu elimizde yetenekli numune kalmamasıdır. Türk Kızılayı ile yürütülen işbirliği çerçevesinde Kızılayı katkılarıyla ancak Maret ve Killi isimli bölgelerden elde edilmiş ve üretimde bu topraklar kullanılmıştır.

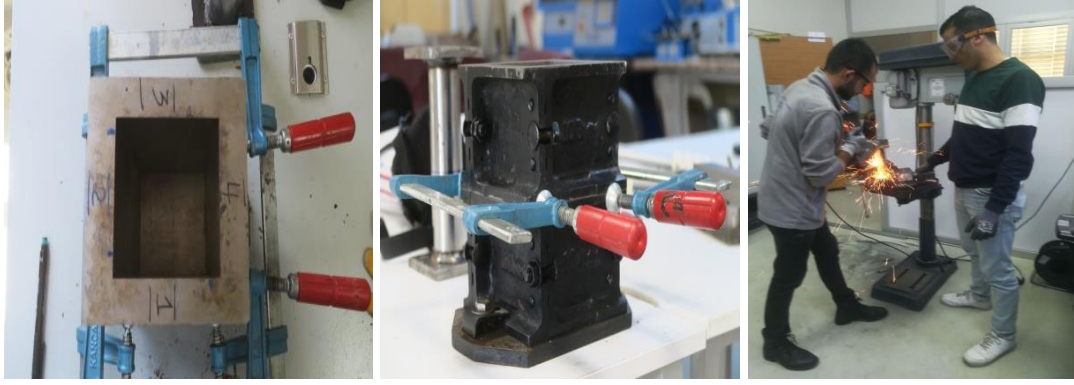
5.2. KALIP İŞLEME

İlk olarak kalıp üretimi kutu profil çelikten yapılmıştır. Bu kalıp türünde de kutu profil özelliklerinden ve sıkışma sorunlar sebebiyle presleme işlemi düzgün bir şekilde yapılamamıştır (Şekil 66).



Şekil 66: Çelik kutu profil

Kullanılan ikinci çözüm ise üstü üste gelecek şekilde yerleştirilen 10x10x10 cm ebatlarındaki küpler yardımıyla bulunmuştur. Kalıpları presleme sırasında birbirine sabitlemek için mengenerler kullanılmıştır. Bununla birlikte yükleme başlığı yeni kalıp eşleştirmek için her taraftan kesilerek şekillendirildi (Şekil 67).



Şekil 67 : Metal kalıbın iç ve dış görünüşü ile metal kesimi

5.3. TOPRAK SONUÇLARIN DEĞERLENDİRMESİ

Çizelge 32: XRD sonuçları

XRD					
	Maret	Killi		Killi	Maret
Quartz	13.80	15.40	Vermiculite	42.20	32.60
Calcite	20.10	15.80	Montmorillonite	5.20	7.60
Kaolinite	18.30	-	Clinochlore	-	28

Çizelge 33: Suda çözünebilir tuzlar ve organik madde ile asitle muamele analizleri

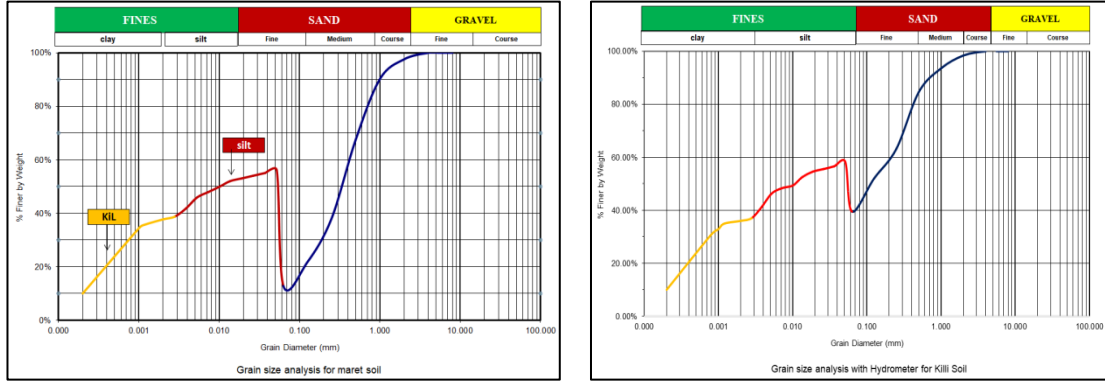
Suda Çözünebilir Tuzlar ve Organik Madde Analizi [- : Yok]										
Örnek No	Suda Çözünebilir Tuzlar						Organik Madde		Asitle muamele	
	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	NO ₃ ⁻	İletkenlik (µS)	Tuz Miktarı (%)	Protein	Yağ	Kayıp	Kalan
Killi	-	-	-	-	99	0,52	-	-	65,08	66,62
Maret	-	-	-	-	101	0,17	-	-	34,92	33,38

Çizelge 34: Elek analizi sonuçları

Elek Analizi (%)										
Örnek No	> 8.0 mm	> 5.6 mm	> 4.0 mm	> 2.0 mm	> 1.0 mm	> 500 µm	> 250 µm	> 125 µm	> 63 µm	< 63 µm
Killi	0.00	0.00	0.00	0.39	4.47	31.48	30.11	16.37	9.93	7.24
Maret	0.00	0.00	0.00	2.41	7.30	13.54	32.14	16.09	18.08	8.90

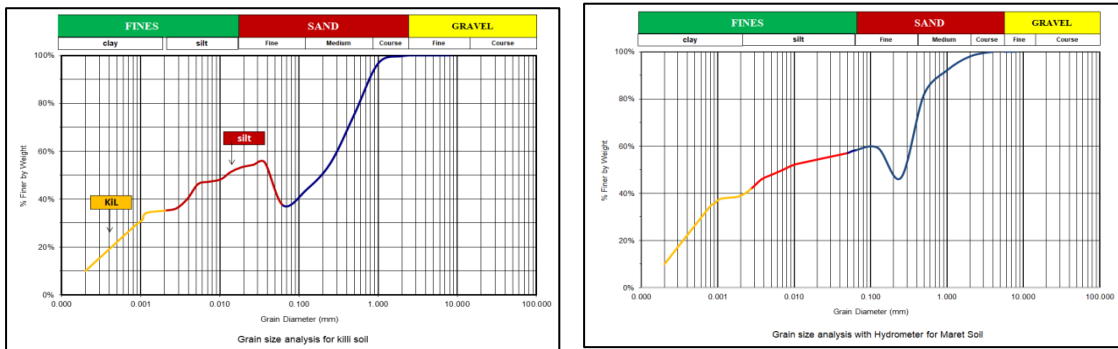
Maret ve Killi toprağın organik madde veya tuz içermediği görülmektedir (Çizelge 32, 33 ve 34). Ayrıca Houben'e göre (1994, s.116), tuzlardan düşük miktarı daha iyidir özellikle olarak sülfat stabilizatör ile etkileşime girer, organik maddenin yanı sıra, yüzdesi belirli bir yüzdeyi aştığında malzeme kullanılamaz hale gelir (Çizelge 33). XRD sonuçlarına göre, Montmorillonit miktarının düşük olması nedeniyle, killi ve maret toprakları kullanılabilirlerdir.

5.4. GRANÜLOMETRİ DÜZELTMELERİ (REDİSTRİBÜTİON)



Şekil 68 : Maret toprağına % 30 kum eklenerek granülometri düzeltmeleri

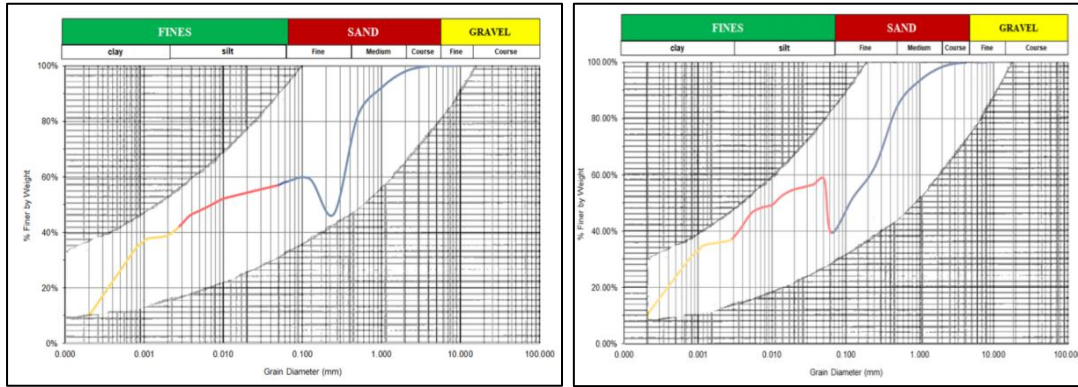
Şekil 73'te Kullanılan her iki numunedeki kil yüzdesinin yaklaşık %40 civarında olduğu görülmektedir. Ayrıca, eğrilerin orta kısımlarında görülen düşüş orta boyutlu kum eksikliğini göstermektedir. Houben'e göre, (1994, s.116), kireç stabilizatör olarak kullanılırken kil oranı %15-25 arasında çimento stabilizatör olarak kullanıldığında %12-20 arasında olmalıdır.



Şekil 69: Killi toprağına % 30 kum eklenerek granülometri düzeltmeleri

Literatürde gerçekleştirilmiş birçok laboratuvar ve saha denemesinden sonra, belirli sınırlar içinde tane boyutu düzenlenmiş, başarılı bir şekilde sıkıştırılmış kerpiç blok üretmek için kullanılabilirliği görülmüştür (Şekil 70) (Houben, 1994).

Bu maksatla, karışımın tane boyutunu uygun hale getirmek için toprak numunesine ~%30 oranında kum eklenerek toprağın granülometrisi iyileştirilmiştir. Bu durumda numunedeki kil oranı %40'tan %20'ye düşürülmüştür (Şekil 68-69).



Şekil 70 : Sağlam bir toprak karışım için güvenli alan

5.5. KALIP- NUMUNE BOYUTU

Amerikan (ASTM C140M-98) (Standard Test Methods for Sampling and Testing Concrete Masonry Units and Related Units) standartları'ne göre örnek 10x10x10 cm olmalıdır, numuneyi ifade eden bir ortalama üretmek için en az 6 örnek üzerinde deney gerçekleştirilmesi gerektiğinin söylemektedir. Ancak bu projede, tüm testler için yeterli toprak olmamasından dolayı 3 örnek ile çalışılabılmıştır.

5.6. DENEY DİYAGRAM

Sıkıştırılmış kerpiç blokların testleri için en önemli iki deney kuru ve ıslak olmak üzere iki durumda yapılan basınçtır. Ek olarak ıslanma-kuruma, donma-çözülme ve ağırlıkça su emme deneyleri de yapılmıştır. Böylece blokların hem malzeme özellikleri hem de bozucu etkilere karşı dayanıklılık özellikleri ve fiziki özellikleri belirlenmiştir.

5.7. KARIŞIM TASARIMI

Karıştırma aşaması, sıkıştırılmış kerpiç blok üretiminin en önemli aşamalarından biridir. Her numune için hazırlanması gerekli karıştırma dosya, karıştırma, basınç, üretim, ağırlık ve test sonuçlarının tüm ayrıntılarını içeren bir doğum sertifikası gibidir. Aşağıdaki tablo, bu çalışma kapsamına uyarlanmış bir şablondur (Şekil 71).



ADEEM CEBs, Mixing Design Sheet

SAMPLE CODE	SAMPLE ORIGIN

PERSON IN CHARGE	LOCATION OF TEST	DATE	TIME
NAME :			

MIXTURE				
MIXTURE CONTENT	SAND or SOIL	CLAY	WATER	OTHERS
RATIO BY WEIGHT	%	%	%	%
WEIGHT .g				
VOLUME. cm3				

MIXING		MOLDING		PRESSING		NOTE.	
TIME OF MIXING		WEIGHT OF MATERIALS		TYPE OF PRESS			COMP. RATIO
DRY	MOIST						
min.	min.						

STABILIZER				
TYPE	CEMENT	LIME	RICE HUSK ASH	OTHERS
RATIO	%	%	%	
WEIGHT IN GRAMS				
VOLUME IN cm3				

CURING		WET		DRY		NOTE.
PERIOD		FROM	TO	FROM	TO	
DURATION						

Manufacturing Results				
DIMENSIONS		WEIGHT Kg	DENSITY Kg / m3	NOTE.
FRESH				
CURED				

TEST RESULTS			
TEST TYPE	LOAD kg	STRENGTH kg/cm2	NOTE.
DRY COMPRESSION TEST			
WET COMPRESSION TEST			

REMARKS

SIGNATURE :

SUPERVISOR :

19-05-01 ADEEM CEB Mixing Design Sheets (2)

Şekil 71 : Karşım tasarım şablonu (Al-Rafei, 2007, s.110)

Bu çalışma karışımın tasarımı araştırmacı tarafından değiştirilmiş olup, tüm aşamaların detayları, (bileşenler ve oranları, karıştırma, ağırlıkları, boyutlar, işleme, mekanik testler ve dayanıklılık testleri) eklenmiştir (Şekil 72).

SAMPLE ORIGIN		SAMPLE CODE		Production Date		Sample Testing Date		
Op.inf	PROJECT NAME	PRODUCING STANDARD SAMPLES OF CEB BY THE USE OF DIFFERENT STABILIZERS						
	LOCATION OF TEST	Mechanics Lab - Kuram Center - FSMVU / Istanbul						
	PERSON IN CHARGE	Mahmoud Saqr						
MIXTURE	MIXTURE CONTENT	Sand		Soil	Water	stabilizer	Clay	Note
	RATIO BY WEIGHT							
	WEIGHT (g)							
	TIME OF MIXING	MOLDING			PRESSING			NOTE
	MOIST	DRY	holding.	MACHINE LOAD KN	TYPE OF PRESS	COM.RATIO		
	min.	min.						
	TYPE	sample dimensions				W MIX DRY		W MIX WET
	RATIO BY WEIGHT	fresh		cured				
	WEIGHT (g)					Whight block wet		block dry
	TYPE	Wet		Dry		temper	Humidity	sample Density
PERIOD	From	To	From	To	45 C	85%	Before	after
DURATIO								
Laboratory tests	Mechanical tests	Dry compressive strength			Wet compressive strength			NOTE
		1	2	3	1	2	3	
	Dimensions							
	Unit weight							
	loading speed (Mpals)							
	breaking load (KN)							
	strength (Kg/cm²)							
	average							
	Durability tests	wetting drying			Freeze thaw			NOTE
		1	2	3	1	2	3	
	Dimensions							
	weight	Before			After			
	loading speed (Mpals)							
	breaking load (KN)							
	strength (Kg/cm²)							
average								
	Water Absorbation			Water erosion			NOTE	
	1	2	3	1	2	3		
Dry mass								
Wet Mass								
Absorbed water								
Mass								
Hole depth								
average								

Şekil 72 : Modifikasyondan sonra karışım tasarımı

5.8. ÜRETİM AŞAMASI

Sıkıştırılmış kerpiç blok üretim aşaması Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, İnşaat Mühendisi ile KURAM Laboratuvarları'nda gerçekleştirilmiştir. Numuneler, araştırmacı tarafından hazırlanan karışımlara göre üretilmiştir.

5.8.1. Kullanılan Ekipman:

UTM-6000 Hidrolik Üniversal Test Cihazı, Servo Kontrollü, 600kN, UTEST

UTG-0130 Laboratory Mixer 10 L, 220-240 V 50-60 Hz, UTEST

UTD-1300 Etüv 120 L, UTEST

UTW-0700 Dijital Platform Terazisi 150 kg x 5 g, UTEST

UTCM-1100 Kür Kabini 1000 Lc, UTEST

5.8.2. Üretim adımları:

Karıştırma

İlk aşamada kullanılacak malzemeler tartılır ve daha sonra elle olarak karıştırılır. Sonrasında otomatik karıştırıcıda 10 dakika karıştırılır ve daha sonra yavaş yavaş su ilave edilerek 15 dakika daha karıştırılır (Şekil 73).

Sıkıştırma

Karıştırma aşamasından sonra toprak, kalıbın içinde boşluk kalmayacak şekilde doğrudan kalıba yerleştirilir. Pres aşaması iki adımda yapılır: Birincisi küpü sıkıştırmak, ikinci adım, tabanı çıkardıktan sonra bloğu çıkarmak için yeniden basmaktır (Şekil 74, Şekil B).

Tartım-Ölçümü ve Kodlama

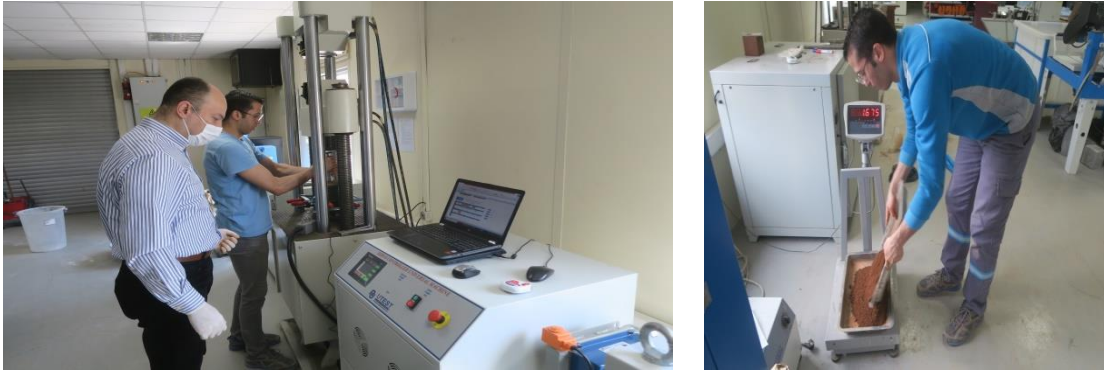
Numune çıkarıldıktan sonra tartılır boyutları, ölçülür ve kaydedilir (Şekil 74, Şekil C). Numune için kod hazırlanır ve imalattan hemen sonra üzerine konulur.



Şekil 73 : Numune karıştırma aşaması



A: Karışım sıkıştırma sırasında ve sonrasında



B: Araştırmacı Y. Mimar Mohamed El-Rafei Deneyi Takip Ederken



C: Hazır numune, kodlama ve numuneler kür aşaması

Şekil 74: Sıkıştırılmış kerpiç blok üretim aşamaları

Çizelge 35: Üretilen blokların kodları açıklaması

SKB-0-K-1	Sıkış. Ker. Blok. – Stabilizatörsüz - kuru basınç - numune 1
SKB-10K-K-21G-1	Sıkış. Ker. Blok. – %10 kireç - kuru basınç -21 gün kür -numune 1
SKB-10A-K-3G-1	Sıkış. Ker. Blok. – %10 alçı - kuru basınç - numune 1
SKB-6C-K-7G-1	Sıkış. Ker. Blok. – %6 Çimento - kuru basınç -7gün kür- numune 1
SKB-6C-K-14G-1	Sıkış. Ker. Blok.– %6 Çimento - kuru basınç -14gün kür- numune 1
SKB-10C-K-7G-1	Sıkış. Ker. Blok. –%10 Çimento - kuru basınç -7gün kür- numune 1
SKB-2K/10A-K-3G-	Sıkış. Ker. Blok. –%2 kireç //%10 alçı- kuru basınç -7gün kür-

1	numune 1
SKB-5K/5C-K-21G-1	Sıkış. Ker. Blok. -%2 kireç //%10 çimento- kuru basınç -7gün kür- numune 1

Sertleştirme (Kür) Aşaması

Sertleştirme aşaması, sıkıştırılmış kerpiç blok prizlenmesi için imalatındaki en önemli aşamalardan bir diğeridir. Kireç stabilizatörlü numunelerin ısı ve neme ihtiyaç vardır. Nemin rolü reaksiyon sürecini tamamlamaktır. Houben'e göre kür aşamasında sıcaklık 45 °C, nem ise % 85 olarak ayarlanmıştır.

Çimentonun kullanılan örneklerde ise, sadece neme ihtiyaç vardır. Stabilizatörsüz ve alçı stabilizatörle üretilmiş numunelerde ise uzun süreli küre gerek yoktur, kurutma yeterli olmaktadır (Şekil 75).



Şekil 75 : Kür kabinindeki numuneler ve danışmanların incelemeleri

5.9. MEKANİK DENEYLER

5.9.1. Tek Eksenli Basınç Deneyi (Kuru)

Deneyleerde kullanılan numuneler ASTM C140M-98 (Standard Test Methods for Sampling and Testing Concrete Masonry Units and Related Units) standardına göre üretilmiştir. KURAM laboratuvarındaki 2000 kN kapasiteli hidrolik pres ile yükleme hızı 345 N/s olarak seçilmek suretiyle deneyler gerçekleştirilmiştir. Örnek cihazın içine yerleştirilmiş ve yükleme parametreleri girilerek deney gerçekleştirilmiştir. Tek eksenli basınç deneylerinde örnek yüzeyleri düzgün olmadığında başlık yapıldıktan ve sonrasında deneye tabi tutulmaktadır, ancak bu çalışmada numune yüzeyleri eksenli basınç deneyi için elverişli düzgünlükte olduğundan başlık yapılmamış, numuneler doğrudan kullanılmıştır. (Şekil 76). Elde edilen sonuçlar Çizelge 36 – Çizelge 44 arasında verilmiştir.

Çizelge 36 : Stabilizatörsüz kuru numunelerin basınç deneyi sonuçları

Numune	Tek Eksenli Basınç Mukavemeti (MPa)
SKB-0-K-1	2.37
SKB-0-K-2	2.78
SKB-0-K-3	2.68
<i>Ortalama</i>	2.63
<i>Standart Sapma</i>	0.22
<i>Varyasyon Katsayısı</i>	0.08
<i>Numune Yaşı (Gün)</i>	7
<i>Numune Ölçüleri (cm)</i>	10 x 10 x 10
<i>Kür Süresi</i>	0

Çizelge 37 : %10 Kireçle stabilize edilen kuru numunelerin basınç deneyi sonuçları

Numune	Tek Eksenli Basınç Mukavemeti (MPa)
SKB-10K-K-21G-1	3.02
SKB-10K-K-21G-2	4.30
SKB-10K-K-21G-3	3.72
<i>Ortalama</i>	3.66
<i>Standart Sapma</i>	0.64
<i>Varyasyon Katsayısı</i>	0.17
<i>Numune Yaşı (gün)</i>	23
<i>Numune Ölçüleri (cm)</i>	10 x 10 x 10
<i>Kür Süresi (gün)</i>	21

Çizelge 38 : % 10 alçı ile stabilize edilen kuru numunelerin basınç deneyi sonuçları

Numune	Tek Eksenli Basınç Mukavemeti (MPa)
SKB-10A-K-3G-1	4.69
SKB-10A-K-3G-2	4.07
SKB-10A-K-3G-3	3.27
<i>Ortalama</i>	4.01
<i>Standart Sapma</i>	0.71
<i>Varyasyon Katsayısı</i>	0.18
<i>Numune Yaşı (gün)</i>	7
<i>Numune Ölçüleri (cm)</i>	10 x 10 x 10
<i>Kür Süresi (gün)</i>	3

Çizelge 39 : %6 Çimento stabilize edilen kuru numunelerin basınç deneyi sonuçları

Numune	Tek Eksenli Basınç Mukavemeti (MPa)
SKB-6C-K-7G-1	7.40
SKB-6C -K-7G-2	9.78
SKB-6C K-7G-3	6.94
<i>Ortalama</i>	7.93
<i>Standart Sapma</i>	1.65
<i>Varyasyon Katsayısı</i>	0.21
<i>Numune Yaşı (gün)</i>	10
<i>Numune Ölçüleri (cm)</i>	10 x 10 x 10
<i>Kür Süresi (gün)</i>	7

Çizelge 40 : % 6 Çimento stabilize edilen kuru numunelerin basınç deneyi sonuçları

Numune	Tek Eksenli Basınç Mukavemeti (MPa)
SKB-6C-K-14G-1	8.12
SKB-6C-K-14G-2	8.96
SKB-6C-K-14G-3	6.61
<i>Ortalama</i>	8.01
<i>Standart Sapma</i>	1.01
<i>Varyasyon Katsayısı</i>	0.13
<i>Numune Yaşı (gün)</i>	17
<i>Numune Ölçüleri (cm)</i>	10 x 10 x 10
<i>Kür Süresi (gün)</i>	14

Çizelge 41 : %10 Çimento stabilize edilen kuru numunelerin basınç deneyi sonuçları

Numune	Tek Eksenli Basınç Mukavemeti (MPa)
SKB-10C-K-1	10.16
SKB-10C-K-2	8.13
SKB-10C-K-3	11.02
<i>Ortalama</i>	9.77
<i>Standart Sapma</i>	1.48
<i>Varyasyon Katsayısı</i>	0.15
<i>Numune Yaşı (gün)</i>	10
<i>Numune Ölçüleri (cm)</i>	10 x 10 x 10
<i>Kür Süresi (gün)</i>	7

Çizelge 42 : % 2 kireç + % 10 Alçı ile stabilize edilen kuru numunelerin basınç deneyi sonuçları

Numune	Tek Eksenli Basınç Mukavemeti (MPa)
SKB-2K/10A-K-1	3.54
SKB-2K/10A-K-2	4.72
SKB-2K/10A -K-3	3.34
<i>Ortalama</i>	3.87
<i>Standart Sapma</i>	0.75
<i>Varyasyon Katsayısı</i>	0.19
<i>Numune Yaşı (gün)</i>	7
<i>Numune Ölçüleri (cm)</i>	10 x 10 x 10
<i>Kür Süresi (gün)</i>	3

Çizelge 43 : %5 Kireç + % 5 Çimento ile stabilize edilen kuru numunelerin basınç deneyi sonuçları

Numune	Tek Eksenli Basınç Mukavemeti (MPa)
SKB-5K/5C-K-21G-1	6.53
SKB-5K/5C -K-21G-2	6.49
SKB-5K/5C -K-21G-3	7.23
<i>Ortalama</i>	6.65
<i>Standart Sapma</i>	0.52
<i>Varyasyon Katsayısı</i>	0.08
<i>Numune Yaşı (gün)</i>	24
<i>Numune Ölçüleri (cm)</i>	10 x 10 x 10
<i>Kür Süresi (gün)</i>	21

Çizelge 44 : Kuru numunelerle tek eksenli basınç (kuru) deneyinin sonuçlarını

<i>Stabilizatör Türü</i>	<i>Stabilizatör Oranı</i>	<i>Numune Yaşı (Gün)</i>	<i>Kırılma Yüğü (F) kN</i>	<i>Tek Eksenli Basınç Mukavemeti (Ort.) (MPa)</i>	<i>Standart Sapma</i>
Stabilizatörsüz	<i>Kontrol Numunesi</i>	0	26.11	2.61	0.22
Çimento	<i>(%6) Çimento</i>	7	79.28	7.93	1.45
	<i>(%6) Çimento</i>	14	80.05	8.01	1.01
	<i>(%10) Çimento</i>	7	97.69	9.77	1.45
Kireç	<i>(%10) Kireç</i>	21	36.80	3.68	0.64
Kireç + Çimento	<i>(%5) Kireç (%5) Çimento</i>	21	67.50	6.65	0.52
Alçı	<i>(%10) Alçı</i>	3	40.11	4.01	0.71
Alçı + Kireç	<i>(%2) Kireç (%10) Alçı</i>	3	38.66	3.87	0.75
Numune Ölçüleri (cm): 10x10x10					

Sıkıştırılmış kerpiç blokların tek eksenli basınç mukavemeti deneyi sonrası genel olarak merkez bölümleri tutarlı kalırken kenarlarda ayrılma meydana gelmiştir (Şekil 77). %5 kireç + %5 Çimento ile stabilize edilen kuru numunelerde tek eksenli basınç deneyinin sonuçlarının en yüksek olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 76 : Kireç stabilizatörlerle örneklerin basınç deneyi sonrası

5.9.2. Tek Eksenli Basınç deneyi (Islak)

Islak tek eksenli basınç mukavemeti ASTM C140M-98 (Standard Test Methods for Sampling and Testing Concrete Masonry Units and Related Units) standardına göre yapılmıştır, numuneler 24 - 48 saate kadar suya daldırılmıştır. Stabilizatörsüz numunelerde toprak sudan büyük oranda etkilendiği için bu örnekler üzerinde deney yapılmamıştır. Islak tek eksenli basınç mukavemeti deneyi için, numuneler 24 - 48 saate kadar suya batırılmıştır, çıkarıldıktan sonra deney yapılmıştır.

5.9.2.1. Alçı Stabilizatörlü Numuneler

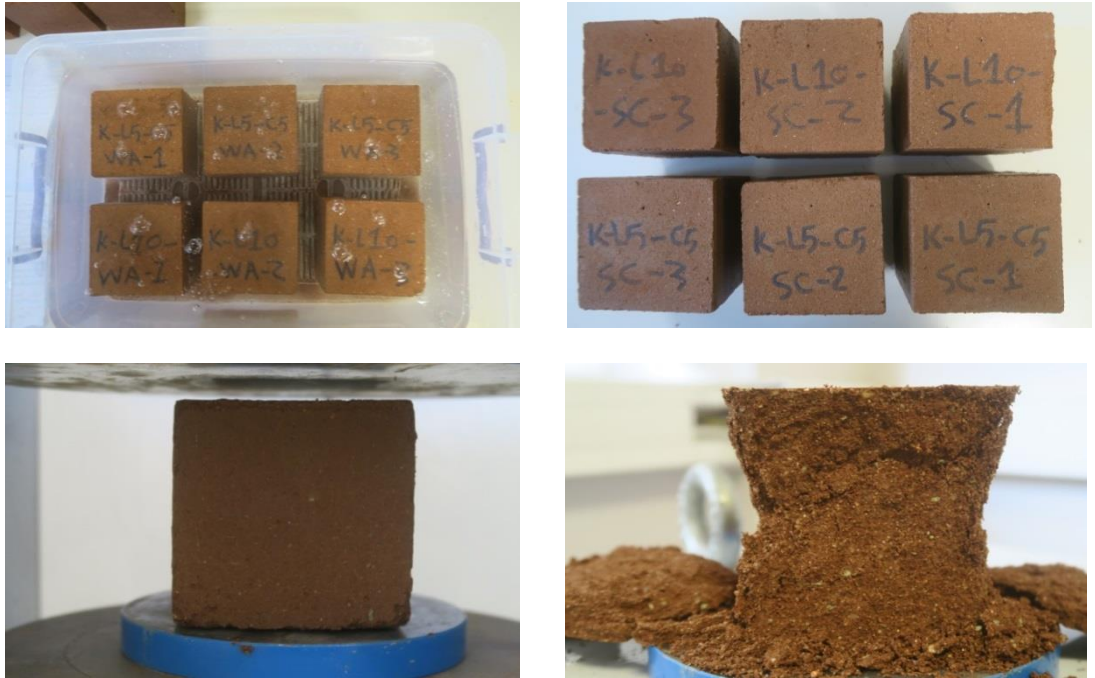
İlk olarak %5 oranında alçı stabilizatör olarak kullanılmıştır. numune suya daldırıldıktan sonra dağıldığından, sonra %10 alçı stabilizatör içeren numuneler üretilmiştir (Şekil 77). Daha önceki bahsedilen oranı başarılı olmadığı için % 10 alçı ile % 2 kireç oranı kullanılmıştır. Bu oran alçı ile stabilize edilen sıkıştırılmış kerpiç bloklarla hakkında yapılan bir çalışma olan Işık'e göre seçilmiştir (Işık, 2008). Numune suya koyduktan sonra biraz sağlam bir şekilde durmuş, geçen sonuçlara göre kireç olmasaydı alçı su karşısında dayanıksız bir şekilde kalacaktır. Bu oran alker yönteminin uygun değildir, sadece sıkıştırılmış kerpiç blok teknolojisi için uygundur (Şekil 77-79).



Şekil 77: %10 alçı stabilizatörlü numunelerin suya daldırıldıktan sonraki görünüşü



Şekil 78 : %2 kireç ve %10 alçı stabilizatörlü numunelerin kurutulduktan sonraki görünüşü



Şekil 79 : Numunelerin ve ıslak basınç mukavemeti deneyi önce ve sonra

Çizelge 45 : % 6 Çimento stabilizatörlü ıslak numunelerde deney sonuçları

Numune	Tek Eksenli Basınç Mukavemeti (MPa)
SKB-6C-I-1	1.88
SKB-6C -I-2	2.25
SKB-6C -I-3	3.08
<i>Ortalama</i>	2.40
<i>Standart Sapma</i>	0.61
<i>Varyasyon Katsayısı</i>	0.26
<i>Numune Yaşı (gün)</i>	11
<i>Numune Ölçüleri (cm)</i>	10 x 10 x 10
<i>Kür Süresi (gün)</i>	7

Çizelge 46 : %1 0 Kireç stabilizatörlü ıslak numunelerde deney sonuçları

Numune	Tek Eksenli Basınç Mukavemeti (MPa)
SKB-10k-I-1	0.91
SKB-10k -I-2	2.49
SKB-10k -I-3	1.20
<i>Ortalama</i>	1.54
<i>Standart Sapma</i>	0.84
<i>Varyasyon Katsayısı</i>	0.54
<i>Numune Yaşı (gün)</i>	25
<i>Numune Ölçüleri (cm)</i>	10 x 10 x 10
<i>Kür Süresi (gün)</i>	21

Çizelge 47 : % 5 Kireç + % 5 Çimentolu ıslak numunelerle basınç deneyin sonuçları

Numune	Tek Eksenli Basınç Mukavemeti (MPa)
SKB-5k/5C-I-1	4.47
SKB-5k/5C -I-2	3.80
SKB-5k/5C -I-3	3.03
<i>Ortalama</i>	3.77
<i>Standart Sapma</i>	0.72
<i>Varyasyon Katsayısı</i>	0.19
<i>Numune Yaşı (gün)</i>	25
<i>Numune Ölçüleri (cm)</i>	10 x 10 x 10
<i>Kür Süresi (gün)</i>	21

Deney sonuçlarına göre en yüksek sonuçlar % 5 çimento ve % 5 kireç stabilizatörlü örneklerde görülmüştür (Çizelge 45-47). Islak basınç deneyi aşamalar Şekil 77-79'de verilmiştir.

5.10. FİZİKİ DENEYLER

5.10.1. Islanma – Kuruma

Deneyle NZS4298-1998-Appendix-c wet/dry appraisal test tarafından ortaya konulan yöntemi uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem de aşırı nemli bir ortamda 7 günlük bir saklama süresinden sonra, numuneler 5 saatlik bir süre boyunca laboratuvarla aynı sıcaklıkta tamamen suya batırılır. Bu süreden sonra numuneler sudan çıkarılır ve 42 saat boyunca 71 ° C sıcaklıkta bir fırında veya dolapta kurutulur. Kuruduktan sonra numuneler fırından alınır ve fırçalanır. Fırçalama, metalik fırça ile gerçekleştirilecek ve ıslatma ve kurutma döngülerinden etkilenen malzemenin tüm parçalarının çıkarılmasını sağlamaktadır. Fırçalama sağlam olmalı ve toplam 18 ila 25 fırça darbesi için her iki yönde örneklerin her bir yüzeyi üzerinde gerçekleştirilmelidir. Fırçalama sırasında uygulanan kuvvet ~1,5 kg olmalıdır. Yukarıda tarif edilen yöntemi, 48 saatlik bir ıslatma-kurutma çevrimini oluşturur. Daha sonra numuneler bir kez daha suya daldırılır ve bir başka ıslatma-kurutma döngüsüne tabi tutulur. Prosedür 12 döngü boyunca tekrarlanır.

Testin durdurulması gerekiyorsa (örn. hafta sonları), numuneler fırında veya dolapta saklanmalıdır. On iki test döngüsünden sonra, numuneler sabit bir kuru ağırlık elde edilene kadar 110 ° C 'de kurutulmalıdır. Daha sonra başlangıç ağırlığına göre ağırlık kaybı hesaplanır. Numuneler kireç ile stabilize edildiğinde ıslatma-kurutma testleri bir aylık bir kütleme süresinden sonra gerçekleştirilir.

Araştırmalara göre donma- çözülme, ıslanma- kuruma testleri ağırlık kaybı açısından değerlendirilmektedir (ASTM D 560). Ancak bu yeterli olmadığından ve en önemli kerpiç blok fonksiyonu dayanıklılık olduğu için numuneler tekrar tek eksenli basınç (kuru) altında test edilmiştir (Çizelge 48-50).

Çizelge 48 : % 10 kireç stabilizatörlü numunelerin ıslanma-kuruma sonrası tek eksenli basınç deneyi sonuçları

Numune	Tek Eksenli Basınç Mukavemeti (MPa)
SKB-10K-IK-1	1.45
SKB-10K-IK-2	2.08
SKB-10K-IK-3	2.30
<i>Ortalama</i>	4.40
<i>Standart Sapma</i>	1.55
<i>Varyasyon Katsayısı</i>	0.23
<i>Numune Yaşı (gün)</i>	37
<i>Numune Ölçüleri (cm)</i>	10 x 10 x 10
<i>Kür Süresi (gün)</i>	21

Çizelge 49 : % 6 Çimentoyla stabilize edilen numunelerin ıslanma- kuruma sonrası tek eksenli basınç deneyi sonuçları

Numune	Tek Eksenli Basınç Mukavemeti (MPa)
SKB-6C-IK-1	2.73
SKB-6C -IK-2	5.97
SKB-6C -IK-3	4.67
<i>Ortalama</i>	1.95
<i>Standart Sapma</i>	0.44
<i>Varyasyon Katsayısı</i>	0.35
<i>Numune Yaşı (gün)</i>	33
<i>Numune Ölçüleri (cm)</i>	10 x 10 x 10
<i>Kür Süresi (gün)</i>	7

Çizelge 50 : % 5 kireç + % 5 Çimento ile stabilize edilen numunelerin ıslanma-kuruma sonrası tek eksenli basınç deneyi sonuçları

Numune	Tek Eksenli Basınç Mukavemeti (MPa)
SKB-5K/5C-IK-1	6.69
SKB-5K/5C -IK-2	4.95
SKB-5K/5C -IK-3	6.84
<i>Ortalama</i>	6.16
<i>Standart Sapma</i>	1.05
<i>Varyasyon Katsayısı</i>	0.17
<i>Numune Yaşı (gün)</i>	37
<i>Numune Ölçüleri (cm)</i>	10 x 10 x 10
<i>Kür Süresi (gün)</i>	21

5.10.2. Donma – Çözülme

Deney, ASTM D 560 ve AASHTO T 156 standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. 7 günlük bir süre boyunca aşırı nemli bir ortamda saklandıktan sonra, numuneler su ile doyurulmuş emici bir malzemeye yerleştirilir ve daha sonra -23°C'den fazla olmayan sabit bir sıcaklıkta bir buzdolabına konur. 24 saatlik bir süre boyunca dondurulur ve daha dondurucudan çıkarılır. Numuneler, 23 saat boyunca 21 °C'lik bir sıcaklıkta nemli bir ortamda (RH =% 100) çözdürülür. Bu çözdürme aşaması sırasında numuneler kılcallık ile suyu emmelidir. Numuneler daha sonra ıslanma-kuruma testinde kullanılan yöntemle göre fırçalanır. Test 12 donma-çözülme döngüsü boyunca sürdürülür, numune her döngü arasındaki emici malzemeye geri gönderilir. Siltli veya killi malzemedeki bazı numuneler, özellikle altıncı test döngüsünden sonra ölçeklenebilir. Fırçalamanın engellenmemesi için bu ölçeğin ortadan kaldırılmasına özen gösterilecektir. Testin kesilmesi gerekiyorsa (örn. hafta sonu), numuneler buzdolabında saklanmalıdır.

12 test döngüsünden sonra, numuneler 110 ° C sıcaklıkta bir fırında sabit bir ağırlık elde edilene kadar kurutulur. Daha sonra orijinal ağırlığa göre ağırlık kaybı hesaplanır.

ASTM D 560 standardı, numunelerin 6 döngüden sonra incelenmesi ve gerekirse deneyin durdurulması veya devam ettirilmesi gerektiğini belirtmiştir. Kontrol sonrası deney 6 döngü için değil 12 döngü için gerçekleştirilmiştir. Araştırmaya göre donma- çözülme, ıslatma- kurutma testleri ağırlık kaybı açısından değerlendirilmektedir. Ancak bu yeterli olmadığından ve en önemli kerpiç blok fonksiyonu dayanıklılık olduğu için numuneler tekrar tek eksenli basınç (kuru) altında test edilmiştir (Çizelge 51-53).

Çizelge 51 : % 10 kireç stabilizatörlü numunelerin donma-çözülme sonrası tek eksenli basınç deneyi sonuçları

Numune	Tek Eksenli Basınç Mukavemeti (MPa)
SKB-10k-DÇ-1	1.68
SKB-10k -DÇ-2	2.08
SKB-10k -DÇ-3	2.38
<i>Ortalama</i>	2.05
<i>Standart Sapma</i>	0.35
<i>Varyasyon Katsayısı</i>	0.17
<i>Numune Yaşı (gün)</i>	37
<i>Numune Ölçüleri (cm)</i>	10 x 10 x 10
<i>Kür Süresi (gün)</i>	21

Çizelge 52 : % 6 Çimento stabilize edilen numunelerin donma- çözülme sonrası tek eksenli basınç deneyi sonuçları

Numune	Tek Eksenli Basınç Mukavemeti (MPa)
SKB-6C-DÇ-1	6.35
SKB-6C -DÇ-2	4.05
SKB-6C -DÇ-3	5.55
<i>Ortalama</i>	5.32
<i>Standart Sapma</i>	1.17
<i>Varyasyon Katsayısı</i>	0.22
<i>Numune Yaşı (gün)</i>	23
<i>Numune Ölçüleri (cm)</i>	10 x 10 x 10
<i>Kür Süresi (gün)</i>	7

Çizelge 53 : % 5 kireç + % 5 Çimento stabilize edilen numunelerin donma- çözülme deneyinin sonuçları

Numune	Tek Eksenli Basınç Mukavemeti (MPa)
SKB-6C-DÇ-1	5.12
SKB-6C -DÇ-2	5.34
SKB-6C -DÇ-3	9.02
<i>Ortalama</i>	6.49
<i>Standart Sapma</i>	2.19
<i>Varyasyon Katsayısı</i>	0.34
<i>Numune Yaşı (gün)</i>	37
<i>Numune Ölçüleri (cm)</i>	10 x 10 x 10
<i>Kür Süresi (gün)</i>	21

5.10.3. Ağırlıkça Su Emme

Ağırlıkça su emme deneyi, BS EN 771-1: 2003'e (Specification for masonry units Clay masonry units) göre gerçekleştirilmiştir. Test edilen numunelere kurutulmuş (72 saat boyunca 60 ° C civarında) ve BS EN 771-1: 2003 uyarınca ortam sıcaklığına soğumasına izin verilmiştir. Numuneler daha sonra 20°C oda sıcaklığında bütün numuneyi daldırma kapasitesine sahip bir su tankına yerleştirilmiştir.

24 saat sonra örnekler tanktan çıkarılmış ve örnekler üzerindeki yüzey suyu nemli bir bezle silinip tartımları yapılmıştır. Her bir örneğin su emme oranı hesaplanmıştır (Çizelge 53). Su emme deneyi elde edilen sonuçlar yüzdesi olarak en yüksek %10 kireçle stabilize edilen numunelerde belirlenmiştir. bunula birlikte en az % 6 Çimento stabilizatörlü numunelerin gösterilmiştir (Çizelge 54).

Çizelge 54 : Stabilizatörlü numunelerin ağırlıkça su emme deneyi sonuçları

Ağırlıkça Su Emme			
<i>Blok Yaşı</i>	7 gün		
<i>Örnek Ölçüleri</i>	10x10x10 cm		
<i>Örnek</i>	% 6 Çimento	% 10 Kireç	% 5 Kireç + % 5 Çimento
<i>Su Emme %</i>	9.41 %	24.42 %	13.33 %

6. SONUÇLARIN İSTATİSTİKİ DEĞERLENDİRMESİ

Tek eksenli basınç deneyi (kuru) için 2,0 MPa ve üzerindeki değerler, tek eksenli basınç deneyi (ıslak) için 0,5 MPa ve üzeri değerler başarılı olarak kabul edilen numunelerdir (Houben, 1994, s.148). Ağırlıkça su emme konusunda, değeri %0-7,5 arasında ise A sınıfı, %5-10 arasındaysa B sınıfı, %10-20 arasındaysa C sınıfı, %20 ve üstü ise D sınıfı olacaktır (Çizelge 55) (Houben, 1994, s.148).

Çizelge 55: Sıkıştırılmış kerpiç blokların değerlendirilme kriterleri (Houben, 1994)

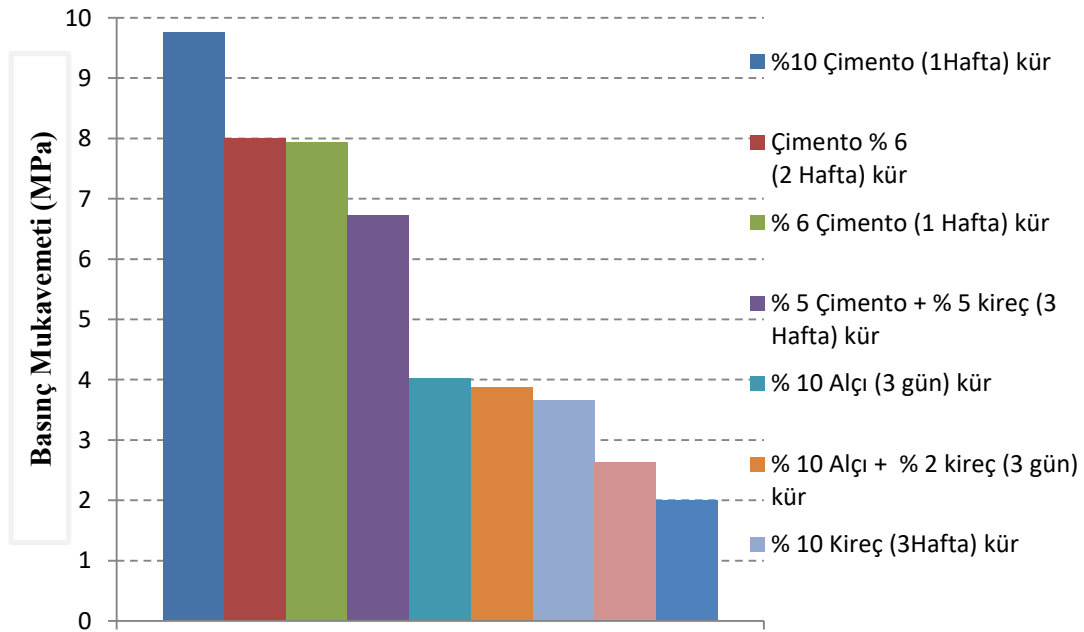
		Sınıflandırma			
		A	B	C	D
28 Gün Tek Eksenli Basınç Mukavemeti (Kuru)	MPa	>12	5-12	2-5	2
28 Gün Tek Eksenli Basınç Mukavemeti (Kuru)	MPa	>2	1-2	0,5-1	0-0,5
28 Çekme Deneyi	MPa	>2	1-2	0,5-1	0-0,5
28 Çekme Deneyi (Brezilya yöntemi)	MPa	>2	1-2	0,5-1	0,5
28 Eğilmede Çekme Deneyi	MPa	>2	1-2	0,5-1	0,5
Yarma Deneyi	MPa	>2	1-2	0,5-1	0,5
Poisson'un Oranı	MPa	0,015	0,15-0,35	0,35-0,60	>0,5
Young'un Modülü	MPa		700-7000		
Görünür Yoğunluk	Kg/cm ³	> 2200	1700-2200	1200-1700	>1200
Oyutların Tekdüzeligi	MPa	Çok iyi	İyi	Orta	Zayıf

6.1. TEK EKSENLİ BASINÇ (KURU)

Deney Sonuçlarına göre, kirece çimento eklemek stabilizatör olarak sadece kireç kullanmaktan daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çimento ve kireç ile stabilize edilen numunelerin tek eksenli basınç mukavemeti 6,7 MPa iken, kireç ile stabilize edilen numuneler 3,6 MPa de kalmıştır (Çizelge 56, Şekil 80).

Çizelge 56: Tek eksenli basınç deneyi sonuçları (kuru)

<i>Karışım</i>	<i>Basınç Mukavemeti MPa</i>
Stabilizatörsüz	2.63
% 6 Çimento (1) Hafta	7.93
% 6 Çimento (2) Hafta	8,00
% 10 Çimento (1) Hafta	9.76
%10 Kireç (3) Hafta	3.66
%10 Alçı (3) Gün	4.03
%5 Çimento + % 5 kireç (3) Hafta	6.73
%10 Alçı + %2 kireç (3) Gün	3.87



Şekil 80 : Tek eksenli basınç deneyinin sonuçları

% 10 çimento ile stabilize edilen numuneler en yüksek mukavemeti göstermekle birlikte stabilizatörsüz numuneler en düşük mukavemeti göstermektedir.

%6 Çimento (2 hafta kür) ile % 6 çimento (1 hafta kür) numuneler eşit mukavemeti göstermektedir. Çimento ile stabilize edilen numuneler bir haftalık kürden sonra kullanıma hazırdır. Çünkü nihai mukavemete ulaşması için bir hafta yeterlidir. % 6 çimento ve % 10 çimento ile stabilize edilen numunelerin mukavemeti arasındaki fark büyük değildir.

Daha az çimento ile aynı mukavemete ulaşmanın amacı, kerpiç üretimini büyük projeler için daha ekonomik hale getirmektedir. % 10 alçı ile % 10 alçı + % 2 kireçten oluşan numuneler eşit mukavemet göstermektedir. Dolayısıyla, kuru tek eksenli basınç mukavemetini artırmak için alçıya kireç katmanın bir anlamı yoktur. Numuneye sadece % 6 çimento eklenmesinin numunenin mukavemetini 2,6 MPa'den 8 MPa'a yükselttiği görülmektedir.

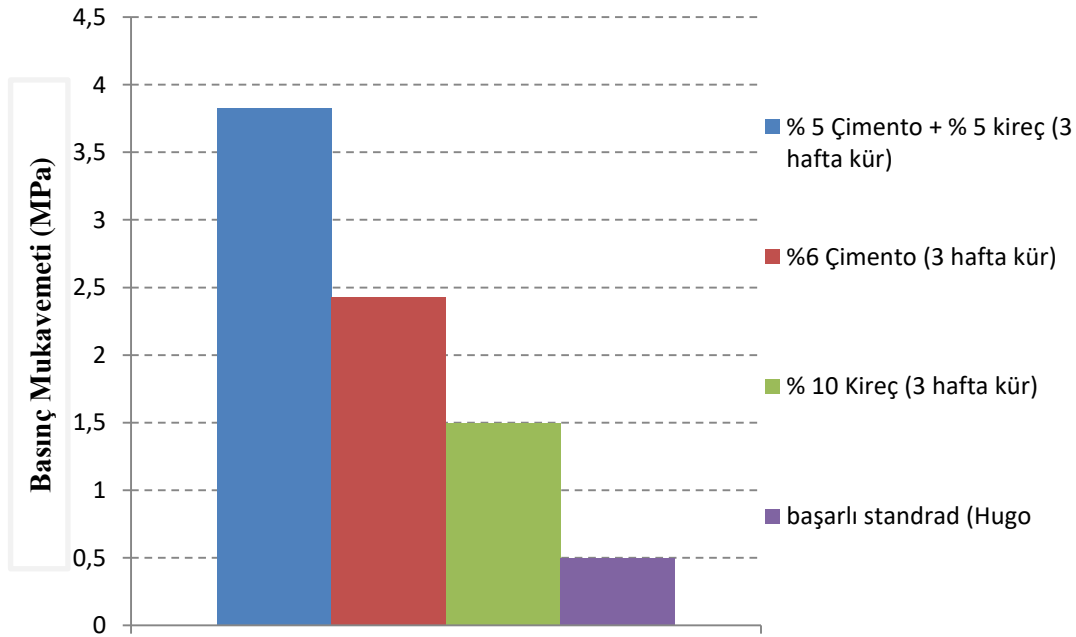
6.2. TEK EKSENLİ BASINÇ (ISLAK)

% 5 çimento + % 5 kireç ile stabilize edilen numuneler en yüksek mukavemeti, % 10 kireç ile stabilize edilen numuneler ise en düşük mukavemeti göstermektedir (Çizelge 57).

% 6 çimento ile stabilize edilen numuneler 2,5 MPa mukavemete sahiptir. Toprağın granüller dağılımının ayarlanmasıyla numunelerin mukavemeti arttırılabilmektedir. Kireç ve su ile ilgili testlerde her zaman en iyi performans göstermektedir, Bununla birlikte, bu tip toprakta bulunan kil mineralleri nedeniyle kireç için uygun olmayabilir (Şekil 81).

Çizelge 57 : Tek eksenli basınç deneyi sonuçları (ıslak)

Karışım	Çimento %6 1 Hafta	Kireç %10 3 Hafta	%5 Çimento + %5 kireç 3 Hafta
Basınç Mukavemeti MPa	2.43	1.5	3.83



Şekil 81: Tek eksenli basınç (ıslak) deneyi sonuçları

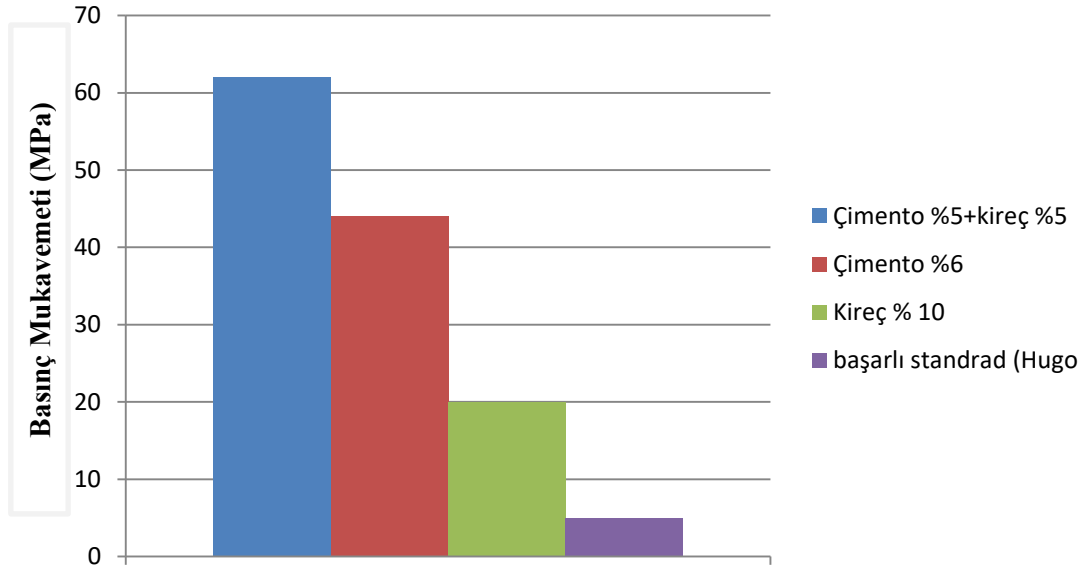
6.3. ISLANMA – KURUMA DENEYİ

Islanma kuruma deneyinden sonra yapılan deneylere göre % 5 Çimento + % 5 Kireç ile stabilize edilen numuneler en yüksek mukavemeti, % 10 kireç ile stabilize edilmiş numuneler ise en düşük mukavemeti vermektedir.

% 6 çimento ile stabilize edilen numuneler 4,4 MPa mukavemet göstermektedir. Toprağın granüller dağılımının ayarlanmasıyla numunelerin mukavemeti artırılabilir (Çizelge 58, Şekil 82). Kirece çimento eklemek stabilizatör olarak sadece kireç kullanmaktan daha iyidir. Çimento ve kireç ile stabilize edilen numuneler 6,2 Mpa gösterirken kireç ile stabilize edilen numuneler 2 MPa verilmiştir.

Çizelge 58 : Islatma – kurutma deneyi sonuçları

<i>Karışım</i>	<i>Çimento %6 1 Hafta</i>	<i>Kireç %10 3 Hafta</i>	<i>%5 Çimento + %5 kireç 3 Hafta</i>
<i>Kuvvet / alan Mpa</i>	4,4	2,0	6,2
<i>Ağırlık önce (g)</i>	1914	1635	1824
<i>Ağırlık sonra (g)</i>	1893	1601	1801
<i>Kayıp (g)</i>	21	34	23
<i>Ağırlıktan kayıp %</i>	1.10 %	2.08 %	1.26 %



Şekil 82: Islatma – kurutma deneyi detaylı sonuçları

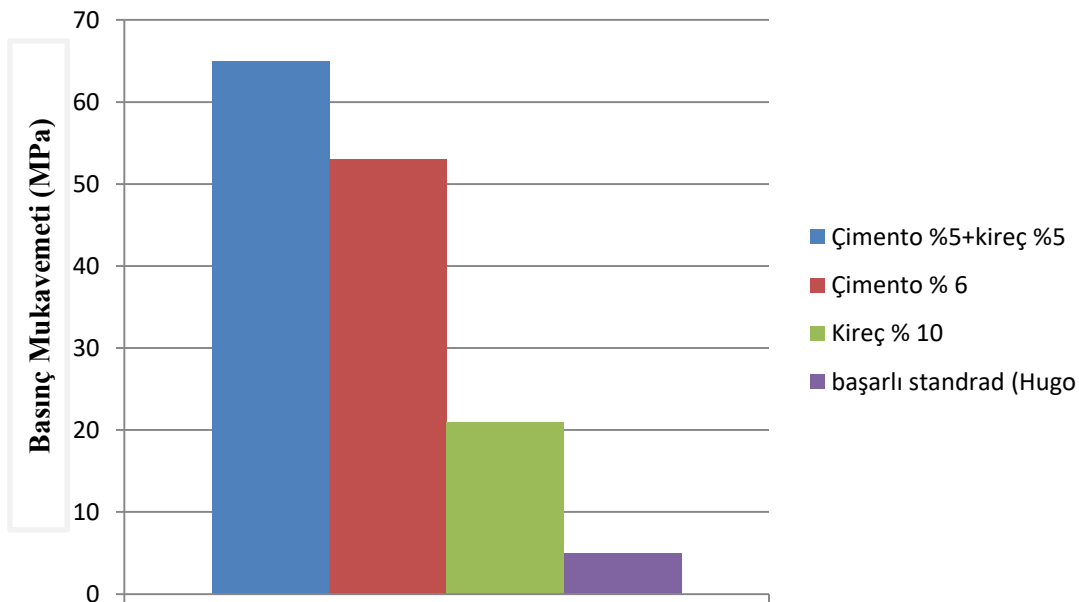
6.4. DONMA – ÇÖZÜLME DENEYİ

Donma çözülme deneyinden sonra yapılan deneylere göre % 5 çimento + % 5 kireç ile stabilize edilen numuneler en yüksek dayanımı, % 10 kireç ile stabilize edilmiş numuneler en düşük dayanımı vermektedir.

% 6 çimento ile stabilize edilen numuneler 5,3 MPa mukavemet göstermektedir. Toprağın granüller dağılımının ayarlanmasıyla numunelerin mukavemeti artırılabilir (Çizelge 59, Şekil 83). Kirece çimento eklemek stabilizatör olarak sadece kireç kullanmaktan daha iyidir. Ayrıca Çimento ve kireç ile stabilize edilen numuneler 6,5 Mpa, kireç ile stabilize edilen numuneler 2,1 Mpa basınç mukavemetine sahiptir.

Çizelge 59 : Donma – çözülme deneyi sonuçları

<i>Karışım</i>	<i>Çimento %6 1 Hafta</i>	<i>Kireç %10 3 Hafta</i>	<i>%5 Çimento + %5 kireç 3 Hafta</i>
<i>Kuvvet / alan Mpa</i>	5,3	2,1	6,5
<i>Ağırlık önce (g)</i>	1910	1609	1820
<i>Ağırlık sonra (g)</i>	1752	1446	1779
<i>Kayıp (g)</i>	158	163	41
<i>Ağırlıktan kayıp %</i>	8.27 %	8.5 %	2.25 %



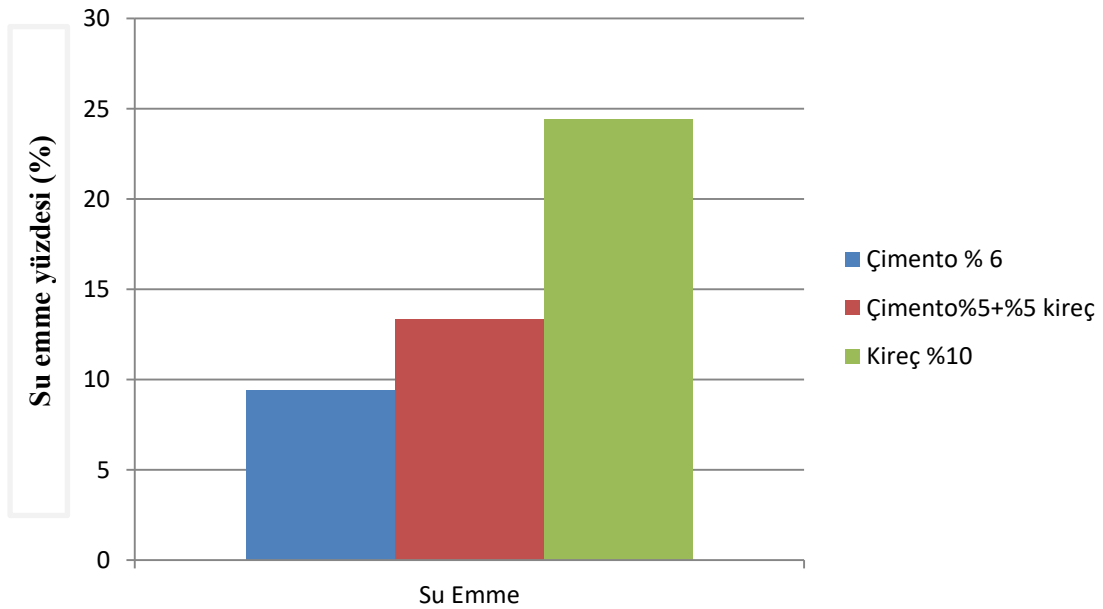
Şekil 83: Donma – çözülme deneyi detaylı sonuçları

6.5. AĞIRLIÇA SU EMME DENEYİ

% 6 Çimento ile stabilize edilen numunelerin ağırlıkça su emme oranı %10 kireç ile stabilize edilen numuneler, su emme oranı % 24,4 civarında olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 60, Şekil 84).

Çizelge 60 : Su emme deneyi sonuçları

<i>Karışım</i>	Çimento %6 1 Hafta	Kireç %10 3 Hafta	%5 Çimento + %5 kireç 3 Hafta
<i>Su Emme Ağırlıktan %</i>	9.41	24.42	13.33



Şekil 84: Ağırlıkça Su emme deneyi detaylı sonuç değerlendirilmesi

SONUÇLAR

Bu tez çalışması kapsamında incelenen toprak örneklerinin karakteristik özellikleri ve üretilen sıkıştırılmış toprak blokların dayanımını gösteren fiziki ve mekanik özellikleri hakkında yapılan deney ve araştırmalar sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- İncelenen toprak örnekleri üzerinde gerçekleştirilen XRD analizleri sonucunda, tüm toprak örneklerinin %15-30 arasında kalsit ile kum içerdiğini ayrıca örneklerde Kaolinit, Vermikülit, Clinochlore, Albit ve Montmorillonit gibi kil mineralleri bulunduğu belirlenmiştir.
- Sıkıştırılmış blok üretiminde kullanılan Killi ve Maret topraklarında ortalama % 7 oranında Montmorillonit bulunmaktadır. Maret toprağında Kaolinit (%18.30), Vermikülit (% 42.20), Montmorillonit (% 5.20) kil mineralleri bulunmuştur. Killi toprağında ise Vermikülit (% 32.60), Montmorillonit (% 7.60) kil mineralleri bulunduğu belirlenmiştir.
- Tal Aar toprağında Albit (% 9) Kaolinit (% 24.70) Mikrokline (% 6.70) Montmorillonit (% 11) kil mineralleri bulunmuştur. Tal Battal toprağında ise Albit (% 5.3), Kaolinit (% 25.2), Mikrokline (% 3.8), Montmorillonite (% 0.60), Palygorskite (% 16.10) kil mineralleri belirlenmiştir. Tal Rai toprağında Kaolinit (% 1.80), Vermikülit (% 46.60), Anorthit (21.70) bulunmuştur. Şahin toprağında ise Albit (% 7.80) Kaolinit (% 28.30) Mikrokline (% 11) ve Palygorskit (% 10.1) kil mineralleri bulunduğu tespit edilmiştir.
- SEM ile EDX ünitesi kullanılarak yapılan analiz sonuçlarına göre tespit edilmiş olan magnezyum oksit, kalsiyum oksit, silisyum dioksit, demir oksitler ve potasyum oksitler numunelerde bulunan mineralleri ifade eder. Silisyum bileşiminin bir kısmı, numunenin içindeki kum miktarını ifade etmekte, kalsiyum ve magnezyum bileşikleri ise, toprak örneğindeki kalsit ve dolomit içeriğini ifade ederler. Test işlemi sırasında, analiz her numuneden beş farklı noktadan alınmış ve daha doğru sonuçlar için ortalama elde edilmiştir.

- Asitle muamele, en yüksek kaybın Tal Battal toprağında (% 44.19) en düşük kalsiyum kaybın ise Tal Rai toprağında (% 30.05) olduğu belirlenmiştir.
- Tal Ra'i toprağının özgül ağırlığının 3.15 g/cm^3 , Tal Battal toprağının özgül ağırlığının ise 2.09 g/cm^3 toprağı olduğu belirtilmiştir. Ayrıca Su çözünebilir tuz Örneklerde bulunamadı.
- Killi toprağında likit limiti (56) ve plastik limiti (44) olarak tespit edilmiş ve buna göre (CL-ML) sınıflandırılmıştır. Tal Aar toprağı ise likit limiti (56) ve plastik limit (39) idi olduğundan (CH) sınıflandırıldı. Likit limiti (56) ve plastik limiti (46) olan Maret toprağı (CL-ML) şeklinde sınıflandırıldı. Şahin toprağı ise likit limiti (56) ve plastik limiti (34) olduğundan (CH) olarak sınıflandırıldı.

Tek Eksenli Basınç Deneyi - Kuru

- Kuru örnekler üzerinde yapılan tek eksenli basınç deneyinin sonuçlarına göre, kirece çimento eklemek stabilizatör olarak sadece kireç kullanmaktan daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Ayrıca çimento ve kireç ile stabilize edilen numuneler 6.7 MPa , kireç ile stabilize edilen numuneler 3.6 MPa basınç mukavemeti göstermiştir.
- Stabilizatörsüz numuneler en düşük mukavemete sahipken, %10 çimento ile stabilize edilen numuneler en yüksek mukavemete sahiptir.
- %6 çimento kullanılan numunelerde 1 hafta kür ile 2 hafta kür yapılması arasında fark yoktur, numuneler ile eşit mukavemeti göstermektedir. Buna göre, çimento ile stabilize edilen numuneler bir haftalık sonra hazırdır.
- %6 çimento ile %10 çimento stabilize edilen numunelerin mukavemeti arasındaki fark büyük değildir. Daha az çimento ile aynı mukavemete ulaşılması, büyük projeler için daha ekonomik üretim yapılabileceğini göstermektedir.
- %10 Alçı ile %10 alçı + %2 kireçten oluşan numuneler ile eşit mukavemet göstermektedir. Tek eksenli kuru basınçta alçıya kireç katmanın bir önemi yoktur. Ancak tek eksenli ıslak basınç deneyiminde kirecin rolü çok önemlidir.
- Numuneye sadece %6 çimento eklenmesinin numunenin mukavemetini 2.6 MPa 'ten 8.0 MPa 'e yükselttiğini göstermektedir.

Tek Eksenli Basınç Deneyi - Islak

- Tek eksenli basınç (ıslak) deneyi sonuçlarına göre grafiği göre, %5 çimento+% 5 kireç ile stabilize edilen numuneler en yüksek mukavemeti, %10 kireçli numuneler en düşük mukavemeti göstermektedir.
- %6 Çimento ile stabilize edilen numuneler 2.5 MPa mukavemete sahiptir. Toprağın granülometrisinin ayarlanmasıyla numunelerin mukavemeti arttırılabilir.
- Kireç su ile ilgili testlerde her zaman iyi performans göstermektedir.

Islanma Kuruma Deneyi

- Islanma – kuruma deneyini sonrasında yapılan basınç deneyi sonuçlarına göre, %5 çimento+% 5kireç ile stabilize edilen numuneler en yüksek mukavemeti, %10 kireçli numuneler en düşük mukavemeti vermektedir.
- %6 Çimento ile stabilize edilen numuneler 4.4 MPa mukavemete sahiptir.
- Kirece çimento eklemek stabilizatör olarak sadece kireç kullanmaktan daha iyidir. Ayrıca Çimento ve kireç ile stabilize edilen numuneler 6.2 MPa, kireç ile stabilize edilen numuneler 2.0 MPa basınç mukavemetine sahiptir.

Donma – Çözülme Deneyi

- Donma çözülme deneyinde sonra gerçekleştirilen basınç deneyi sonuçlarına göre %5 çimento + % 5kireç ile stabilize edilen numuneler en yüksek mukavemeti, %10 kireçli numuneler en düşük sonuçları vermektedir.
- %6 Çimento ile stabilize edilen numuneler 5.3 MPa mukavemete sahiptir. Toprağın granül dağılımının ayarlanmasıyla numunelerin mukavemeti arttırılabilir.
- Kirece çimento eklemek stabilizatör olarak sadece kireç kullanmaktan daha iyidir. Ayrıca Çimento ve kireç ile stabilize edilen numuneler 6.5 MPa gösterirken kireç ile stabilize edilen numuneler 2.1 MPa göstermiştir.
- Su emme deneyini sonuçlara göre, %6 çimento ile stabilize edilen numunelerin su emme oranı en düşük olurken, %10 kireç ile stabilize edilen numuneler su emme oranı en yüksek örneklerdir. Çimento artırıldığı zaman, mukavemet yükseltmekte, su emme oranı da düşmektedir.

KAYNAKLAR

Anysz, H. & Narloch, P. (2019), Designing the Composition of Cement Stabilized Rammed Earth Using Artificial Neural Networks, *MPDI Journal Materials* **2019**, *12*(9), 1396.

Abhijeet, D. P. & Attar, A. C. (2015), Compressed Stabilized Earth Blocks by using Lime, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, ISSN: 2278-0181, Vol. 4 Issue 09.

AKSA Z (1984) : A lime-stabilized soil building materials. Institute of Human Settlement. Bandung, Indonesia .

Al-Rafei, M. M. S. (2007), “Technical Approach to form Sustainable Construction from a Local Point of View” - An Egyptian Experiment for Developing Compressed Earth Blocks for building at the Desert Areas, master thesis, Cairo University, Faculty of Engineering, Cairo, Egypt.

AS, 1225 (1984). Clay Buildings Bricks. Australia Standard. British Standards Institution (1985). British Standard Specification for clay Brick. London, BS, p. 3921.

ASTM C 1314, Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prisms. West Conshohocken, PA, 2012.

ASTM C 1314. (2012). “Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prisms.” American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.

ASTM C 140, Standard Test Method for Sampling and Testing Concrete Masonry Units and Related Units. West Conshohocken, PA, 2012.

ASTM C 150. (2012). “Standard Specification for Portland Cement.” American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.

ASTM C 207. (2011). “Standard Specification for Hydrated Lime for Masonry Purposes.” American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.

ASTM C136-06. Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates. American Society for Testing Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, PA 19428, USA, 2006.

ASTM C618-12A (1994) Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete. Book of standards volume (04.02)

ASTM C67-11. Standard test methods for sampling and testing brick and structural clay tile. American Society for Testing Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, PA 19428, USA, 2011

ASTM D 559, Standard Test Methods for Wetting and Drying Compacted Soil-Cement Mixtures. West Conshohocken, PA, 1996.

ASTM D1140-00. Standard test methods for amount of material in soils finer than No. 200 (75- μ m) Sieve. American Society for Testing Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, PA 19428, USA, 2006.

ASTM D1557-12. Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kNm/ m³

ASTM D2487-11. Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System). American Society for Testing Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, PA 19428, USA, 2011.

ASTM STANDARD D 6276-99'a, 1996. Standard test method for using pH to estimate the soil-lime proportion requirement for soil stabilization. American Testing and Materials Society, Philadelphia, United States.

ASTM, D 422-07, Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils, Historical Standard |Developed by Subcommittee: D18.03|2007.

ASTM, D4318-10, Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, Historical Standard |Developed by Subcommittee: C18.03|Book of Standards Volume: 04.08, 2010.

BRITISH STANDARDS INSTITUTE. Cement. Part 1: Composition, Specification and Conforming Criteria for Common Cements. BSI, London, 2000, **BS EN 197-1: 2000.**

BRITISH STANDARDS INSTITUTE. Stabilised Materials for Civil Engineering Purposes. Part 2: Methods of Test for Cement- Stabilised and Lime- Stabilised Materials. BSI, London, 1990, **BS 1924-2: 1990.**

BRITISH STANDARD PREN 1996-1-1:2003. Eurocode 6. Design of masonry structures. BSI. 20. Krefeld, W.J. Effect of shape of specimen on the apparent compressive strength of brick masonry, Proceedings of the American Society of Materials, 1938, Philadelphia, USA, 363.

CSA A82-0. (2006) “Fired Masonry Brick Made from Clay or Shale.” Canadian Standards Association, Mississauga, ON.

Çakan, R. (2019), İznik hisardere köyü’nde kırsal mimarinin korunması ve sürdürülebilirliği, yüksek lisans tezi, fatih sultan mehmet vakıf üniversitesi , lisansüstü eğitim enstitüsü, istanbul.

Çinicioğlu, F. & Öser C. & Uzman E. & Kutu S. & Güler M. (2002), Killerde Kıvım Parametrelerinin Birbirleriyle İlişkilendirilmesi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi 21-22 Ekim 2002, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.

DDCEN/TS 772-22. (2006). “Methods of Test for Masonry Units —Part 22: Determination of Freeze/Thaw Resistance of Clay Masonry Units.” British Standards Institute, London.

Demirtaş. G (2020), Konya-türbeönü tescilli kerpiç yapılarının restorasyonunda kullanılacak uygun harç tayini, doktora tezi, konya teknik üniversitesi, lisansüstü eğitim enstitüsü, konya.

Houben, H. & Hubert, G. (1994), Earth Construction A Comprehensive Guide, CraTerre, Maison levret, Reu de lac, BP 53, F-38092, Villefontaine cedex, France.

INTERNATIONAL CODE COUNCIL INC. (ICC). (2006). International Building Code, International Code Council Inc., Washington, DC, USA.

IS: 1725, 1982. Specification for Soil Based Blocks Used in General Building Construction. Bureau of Indian Standards, New Delhi, India.

IS: 3495-1, 1976. Methods of Tests of Burnt Clay Building Bricks: Part 1 Determination of Compressive Strength. Bureau of Indian Standards, New Delhi, India.

IS: 712, 1984. Specification for Building Limes. Bureau of Indian Standards, New Delhi, India.

IS: 8112, 1989. 43 Grade Ordinary Portland Cement – Specification. Bureau of Indian Standards, New Delhi, India.

Işık, B . (2008), earthen experiences in gypsum stabilization – alker, Turkey

Izemouren, O. & Guettala, A. & Guettala, S, (2015) Mechanical properties and durability of lime and natural pozzolana stabilized steam-cured compressed earth block bricks, Geotechnical and Geological Engineering Journal, Springer International Publishing, ISSN 0960-3182, Volume 33 - Number 5.

Jaramillo-Pérez, E. R. & Plata-Chaves, J. M. & Ríos-Reyes, C. A. (2014), The use of gypsum mining by-product and lime on the engineering properties of compressed earth blocks, Dyna, vol. 81, núm. 188, diciembre-, pp. 42-51, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.

Joffroy, Thierry, Guillaud, Hubert, Sadozai, (2016). Cement with scba as a stabilizer in compressed earth blocks, Terra 2016 conference, Terra, Lyon.

Kırmızıgül, F. (2008), Cdo ince filmlerin püskürtme yöntemi ile hazırlanması, yüksek lisans tezi, çukurova üniversitesi, fen bilimleri enstitüsü, Adana.

Krijn H.J. B. (2018), Imprint of Action: The Sociocultural Impact of Public Activities in Archaeology, Publisher: Sidestone Press, ISBN: 9789088906992.

Kudeb Kbb, (2010). Konya il merkezi taşınmaz kültür ve tabiat varlıkları Envanteri. KUDEB KBB, Bahçıvanlar Basım Sanayi A.Ş

Maka, K. & Maracleb, O. & Macdougall, C. (2015), Effect of cement, lime, and bioresin stabilizers on compressed earth block performance.

Mostafa, M. & Uddin, N. (2016) Experimental analysis of Compressed Earth Block (CEB) with banana fibers resisting flexural and compression forces, Case Studies in Construction Materials, Elsevier Journal

Nagaraj, H.B.& Sravan, M.V.& Jagadish, K.S.(2014), Role of lime with cement in long-term strength of Compressed Stabilized Earth Blocks, International Journal of Sustainable Built Environment, Volume 3, Issue 1, Pages 54-61.

NEW MEXICO COMMISSION OF PUBLIC RECORDS (NMCPR). (2009). “2009 new Mexico Earthen Building Materials Code.” New Mexico Administrative Code.

Ongpeng, J. M. & Gapuz, E. & Roxas, C. L. (2017), Optimization of mix proportions of compressed earth blocks with rice straw using artificial neural network, advanced structural engineering and machines conference, korea.

Peng, M. A. S & Mazumdar, B. & Hafiza, R. & Uddin, M. Experimental study on cement stabilized earth block, Housing and Building Research Institute, Darus Salam, Mirpur, Dhaka.

RILEM TEST METHOD IL4, Measurement of Water Absorption under Low Process, Bagnaux, France.

Riza, F. V. & Abdul Rahman, I. & Zaidi, A. M. (2011), International Conference on Advanced Science Engineering and Information Technology, Bangi-Putrajaya, ISBN 978-983-42366-4-9, Malaysia, 14 - 15 January.

Sikarwar, B. P. S. & Trivedi, M. K. (2017), Stabilization of Clayey Soil by using Gypsum and Calcium Chloride, International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology, Volume 5 Issue V, May 2017, ISSN: 2321-9653.

SINGAPORE STANDARD, 103: 1974. Singapore Institute of Standard and Industrial Research (1974). "Specification for Burnt Clay and Shale bricks."

STANDARDS AUSTRALIA HANDBOOK 194. The Australian earth building handbook. Standards Australia, Sydney, Australia, 2002.

STANDARDS AUSTRALIA STANDARD 2733. Concrete masonry units, Standards Australia, Sydney, Australia, 1984.

Ünal, M. (2011), Toprak Oluşumu Ve Ülkemizde Çeşitleri, Bilim ve Aklın Aydınlığında Eğitim, S. 134, Nisan 2011, ss. 12-18.

WALKER, P., AND STANDARDS AUSTRALIA INTERNATIONAL LTD. (SAI). (2002). The Australian Earth Building Handbook, Standards Australia International Ltd., Sydney, Australia.

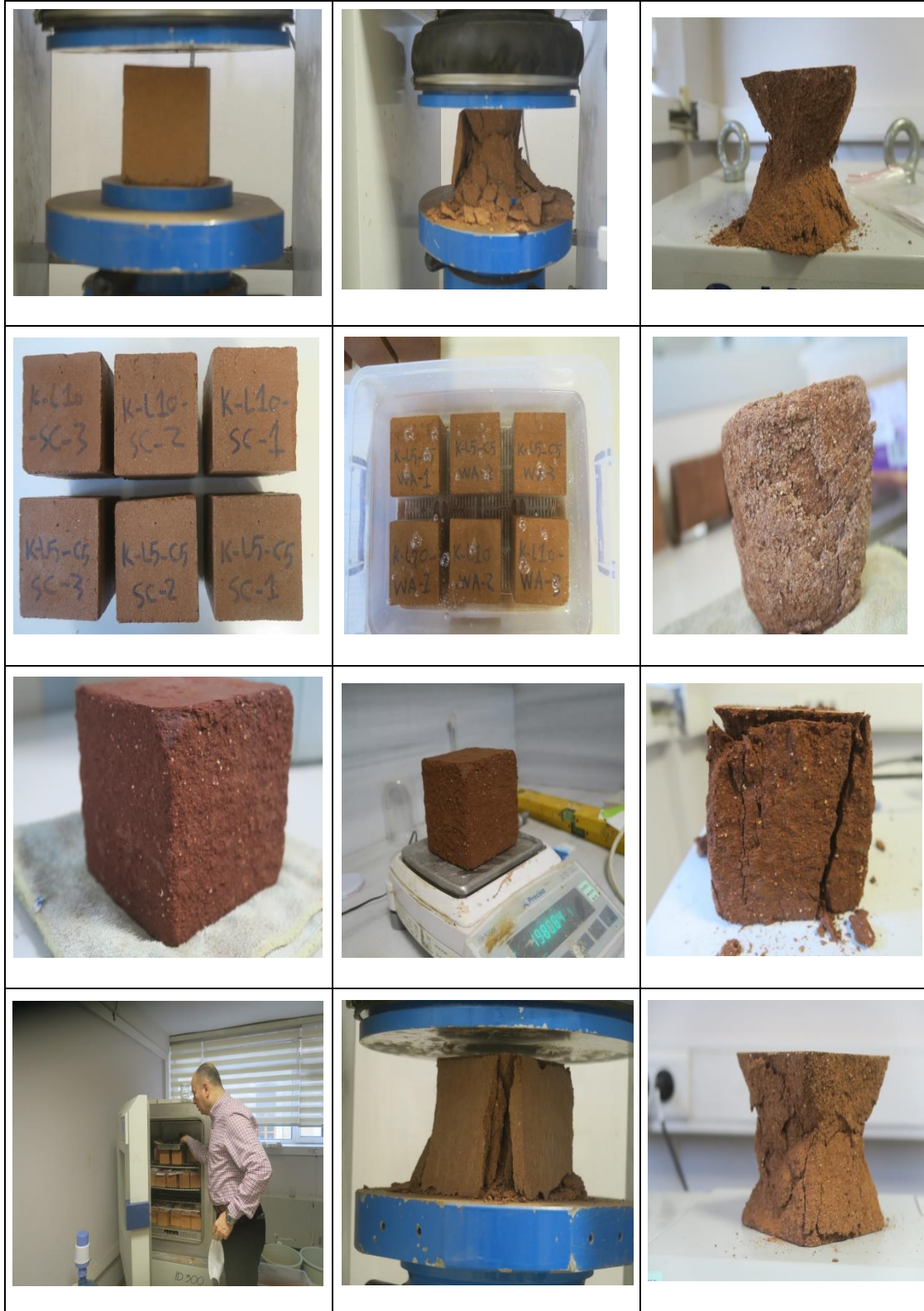
- Url-1** < <http://cografyaharita.com/haritalarim/1edunya-toprak-haritasi1.png> >,
Erişim tarihi 19.03.2020.
- Url-2** < http://cografyaharita.com/haritalarim/2fturkiye_toprak_haritasi2..png >,
Erişim tarihi 19.03.2020.
- Url-3** < <http://cografyaharita.com/haritalarim/2fturkiye-toprak-haritasi.png> >,
Erişim tarihi 20.03.2020.
- Url-4** < <https://cografyahocasi.com/10-sinif/toprak-tipleri-ve-ozellikleri.html> >,
Erişim tarihi 22.03.2020.
- Url-5** < <http://www.unesco.org.tr/pages/126/123/unesco> >,
Erişim tarihi 25.03.2020.
- Url-6** < <http://www.unesco.org.tr/Pages/446/90/BCrkiye> >,
Erişim tarihi 25.03.2020.
- Url-7** < <https://topraktema.org/toprak-dokusu> >,
Erişim tarihi 27.03.2020.
- Url-8** < <http://yebim.ankara.edu.tr/2013/04/25/x> >,
Erişim tarihi 28.03.2020.
- Url-9** < <http://www.sedlab.com.tr/x-isini-difraksiyonu-xrd>>,
Erişim tarihi 28.03.2020.
- Url-10** < <https://topraktema.org/kategoriler/toprak-ana/toprak-dokusu> >,
Erişim tarihi 28.03.2020.
- Url-11** < <http://www.astronomievi.com/nedir-kimdir/teknoloji> >,
Erişim tarihi 29.03.2020.
- Url-12** < <https://insapedia.com/kivam-limitlerinin-belirlenmesi-likit-limit-plastik-limit-deneyleri/> > , Erişim tarihi 29.03.2020.
- Url-13** < <https://www.grainsa.co.za/soil-the-producers-most-important-asset--> >
Erişim tarihi 12.04.2020
- Url-14** < www.jeolojimuhendisleri.com > , Erişim tarihi 16.04.2020
- Url-15** < file:///c:/users/mahmoud%20saqr/downloads/zemin_ozellikleri_ve_de_neysel_zemin_meka.pdf > , erişim tarihi 16.04.2020

EKLER

EK 1: Üretim Aşaması



EK 2: Tek Eksenli basınç Deneyi



EK 3: Islatma – Kurutma Deneyi



EK 4: Dönme – Çözülme Deneyi



EK 5: Üretilen Numuneleri



