

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EKOTASARIM KAPSAMINDA TOPRAK YAPIM SİSTEMLERİ
VE YÖNETMELİKLERİN İRDELENMESİ**

Z. GÜLŞAH KOÇ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI
YAPI PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. DİLEK EKŞİ AKBULUT**

İSTANBUL, 2017

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EKOTASARIM KAPSAMINDA TOPRAK YAPIM SİSTEMLERİ VE
YÖNETMELİKLERİN İRDELENMESİ

Z. Gülşah KOÇ tarafından hazırlanan tez çalışması 04.07.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Dilek EKŞİ AKBULUT
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Dilek EKŞİ AKBULUT
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Zafer AKDEMİR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Seden ACUN ÖZGÜNLER
İstanbul Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

“Biz doğayı korudukça doğa da bizi korur.”

M. Kemal Atatürk

Sanayi devrimi ile ekonomik büyüme ve fabrikaların kentlerin çeperlerinde inşa edilmesi kentsel nüfusun artışına neden olmuştur. Nüfusun ve yapılaşmanın artması doğal kaynakların yenilenme sürecinden önce tükenmesine neden olmakta ve artan atık miktarı doğal çevre üzerinde baskı yaratmaktadır.

Yapılı çevrenin devamlılığı, atık miktarının azaltılması ve doğal kaynakların sürdürülebilir bir şekilde etkin kullanılmasına bağlıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları, doğal malzeme kullanımı ve ekolojik tasarım anlayışı atık miktarının azalmasında etkili olabileceği gibi kaynakların korunması açısından da önemlidir. Bu kapsamda doğal bir malzeme olan toprak, ihtiyaçları karşılayabilir niteliktedir. Bu bağlamda toprak malzeme ile modern yapı üretimi çeşitli yönetmeliklerle desteklenmeli ve toprak yapı üretimi teşvik edilmelidir.

Çalışmamda bilgi ve birikimlerini benimle paylaştığı ve yol gösterdiği için tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Dilek EKŞİ AKBULUT’a; desteklerinden dolayı sevgili arkadaşlarım Begüm Humaçoğlu, Ümran Ersin, Akın Oğuztürk, Melike İsmailoğlu ve değerli hocam Pervane Alizade’ye; çalışmalarımda beni teşvik eden ve bana hayatım boyunca her konuda destek olan en değerli varlığım aileme her şey için çok teşekkür ederim.

Temmuz, 2017

Z. Gülşah KOÇ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMA LİSTESİ.....	vi	
ŞEKİL LİSTESİ	vii	
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii	
ÖZET	ix	
ABSTRACT	xi	
BÖLÜM 1		
GİRİŞ		
1.1 Literatür Özeti.....	1	
1.2 Tezin Amacı.....	1	
1.3 Hipotez.....	2	
BÖLÜM 2		
KENTLEŞMENİN EKOSİSTEM ÜZERİNDEKİ ETKİSİ VE HAFRİYAT TOPRAĞI İLE İLGİLİ DÜZENLEMELER.....		3
2.1 Sanayileşme ve Nüfus Artışı.....	3	
2.2 Kentleşme ve Arazi Kullanımı	4	
2.3 Kentleşme ve Ekosistem Üzerindeki Etkisi.....	5	
2.4 Kentleşme ve Doğal Kaynak Tüketimi.....	6	
2.5 Ekotasarım	7	
2.6 Ekotasarım ve Malzeme Seçimi	9	
2.7 Dünyada Hafriyat Toprağı ile İlgili Düzenlemeler.....	12	
2.7.1 ABD ve Farklı Ülkelerde Hafriyat Toprağı ile İlgili Düzenlemeler .	12	
2.7.2 Avrupa Birliği Ülkelerinde Hafriyat Toprağı ile İlgili Düzenlemeler	13	
2.7.3 Türkiye’de Hafriyat Toprağı ile İlgili Düzenlemeler	18	
BÖLÜM 3		
YAPI MALZEMESİ OLARAK TOPRAK VE TOPRAK YAPI ÜRETİM TEKNİKLERİ		24
3.1 Toprağın Sınıflandırılması.....	24	
3.2 Yapı Malzemesi Olarak Toprak ve Toprak Yapı Üretim Teknikleri.....	31	

BÖLÜM 4

TOPRAK YAPI ÜRETİM STANDARTLARI.....	50
4.1 Toprak Yapı Yönetmelikleri.....	50
4.1.1 Yeni Zelanda Toprak Yapı Yönetmeliği.....	54
4.1.2 Amerika Toprak Yapı Yönetmeliği.....	57
4.1.3 İngiltere Toprak Yapı Yönetmeliği.....	59
4.1.4 Türkiye Toprak Yapı Yönetmelik ve Standartları.....	62
4.2 Farklı Ülkelere Ait Toprak Yapı Standart ve Yönetmeliklerinin Karşılaştırılması.....	65
4.3 Türkiye’de Toprak Yapı Standart ve Yönetmeliklerinde Olması Gereken Kriterler.....	69

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER	74
KAYNAKLAR.....	78
EK-A	
ÇEVRESEL GELİŞMELERİN TARİHÇESİ.....	86
EK- B	
YENİ ZELANDA TOPRAK YAPI YÖNETMELİKLERİ.....	88
EK - C	
AMERİKA TOPRAK YAPI YÖNETMELİĞİ.....	96
EK - D	
İNGİLTERE TOPRAK YAPI KILAVUZLARI.....	99
EK - E	
TÜRKİYE TOPRAK YAPI YÖNETMELİK VE STANDARTLARI	104
EK - F	
TÜRKİYE VE FARKLI ÜLKELERDE TOPRAK YAPI STANDART VE YÖNETMELİKLERİNE AİT İNCELEME TABLOSU	111
ÖZGEÇMİŞ.....	116

KISALTMA LİSTESİ

AÇA	Avrupa Çevre Ajansı
BM	Birleşmiş Milletler
BRE	The Building Research Establishment
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
CFC	Chlorofluorocarbon
CORINE	Coordination of Information on the Environment
DEFRA	Department for Environmental, Food & Rural Affairs
EUROSTAT	European Statistics
GSM	Gayrisafi Milli Hasıla
Ha	Hektar
LCA	Life Cycle Assessment
POP	Persistent Organic Pollutant
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
NASA	The National Aeronautics and Space Administration
NZS	New Zealand Standards
PISE	Pneumatically Impacted Stabilized Earth
PLEA	Passive and Low Energy Architecture
TS	Türk Standartları
UNEP	United Nations Environment Programme
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
USEPA	US Environmental Protection Agency
USGBC	US Green Building Council
WCED	World Commission on Environment and Development
WCN	World Conservation Network
WWF	World Wide Fund for Nature

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Bir ürünün yaşam döngüsü süreçleri, süreçleri birbiri ve çevre ile ilişkisi	8
Şekil 2.2 İnşaat ve yıkıntı atıklarının ülkelere göre geri dönüşüm oranı (Avrupa Birliği).....	15
Şekil 3.1 Toprak profili.....	26
Şekil 3.2 Tekstür üçgeni	28
Şekil 3.3 Çatalhöyük güney kısmı kazıları	33
Şekil 3.4 Marmaris Turunç Saadet Zeki Ünsal ilköğretim okulu, anaokulu	34
Şekil 3.5 Fas - Aknaibich kerpiç okul.....	34
Şekil 3.6 İstanbul Teknik Üniversitesi, Deneme Evi, Ayazağa Yerleşkesi	35
Şekil 3.7 Dökme toprak tekniği ile inşa edilmiş ev	35
Şekil 3.8 Dökme toprak yapı Schweize, Flurlingen	36
Şekil 3.9 Omurgalı kerpiç tekniği uygulama	36
Şekil 3.10 Omurgalı kerpiç tekniği.....	37
Şekil 3.11 Panyaprteep okulu sanat sınıfı	37
Şekil 3.12 Yerinde dökme toprak tekniği uygulama	38
Şekil 3.13 Yerinde dökme toprak tekniği	38
Şekil 3.14 Sıkıştırılmış toprak tuğla ve yerinde dökme toprak teknikleri ile inşa edilmiş Khamsa evi, Senegal.....	39
Şekil 3.15 Hafif toprak tekniğinde kremi bulamaç	39
Şekil 3.16 Hafif toprak tekniğinde kalıp.....	40
Şekil 3.17 Hafif toprak ev, Yeni Zelanda	40
Şekil 3.18 Sıkıştırılmış toprak tuğla	41
Şekil 3.19 Toprak blok projesi iç mekan, Atelier Tekuto, Tokyo	41
Şekil 3.20 Toprak blok projesi, Atelier Tekuto, Tokyo	42
Şekil 3.21 Norman Foster droneport projesi.....	42
Şekil 3.22 Norman Foster droneport projesi görünümü	43
Şekil 3.23 Toprağın sıkıştırılması	43
Şekil 3.24 Duvarın üretilmesi	43
Şekil 3.25 Çin Seddi	45
Şekil 3.26 Nk'Mip Desert kültür merkezi, British Columbia.....	46
Şekil 3.27 İsviçre Bitki İşleme Tesisi	46
Şekil 3.28 Burundi, Afrika'da çocuk kütüphanesi	47
Şekil 3.29 Burundi, Afrika çocuk kütüphanesi iç mekân	47
Şekil 3.30 (a) PISE tekniğinde kullanılan kalıp (b) PISE tekniği ile uygulama.....	48
Şekil 3.31 Kavner Evi, California	49
Şekil 4.1 Toprak yapı üretimine ait işleyiş şeması	72

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	Avrupa Birliği Ülkeleri hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıkları miktarı (ton)	16
Çizelge 2.2	Amerika, Yeni Zelanda ve Türkiye'ye ait hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıkları miktarı (ton).....	18
Çizelge 2.3	2015 yılı nüfus verilerine göre İstanbul'da ilçe bazında oluşabilecek yıllık hafriyat toprağı miktarı (ton).....	21
Çizelge 2.4	Varsayımlara göre oluşacak hafriyat toprağı miktarı (ton)	22
Çizelge 2.5	Varsayımlara göre oluşacak inşaat yıkıntı atığı miktarı (ton)	22
Çizelge 2.6	2006-2011 Yılları arası İstanbul'da yok edilen ve geri kazanılan hafriyat toprağı ve inşaat ve yıkıntı atığı miktar.....	23
Çizelge 3.1	Toprak katmanları ve özellikleri.....	26
Çizelge 3.2	Malzeme ve çap sınırları.....	27
Çizelge 4.1	Farklı ülkelere ait toprak yapı standart ve yönetmelikleri	51
Çizelge 4.2	Toprak gereç ile üretilen yapı ürünleri	52
Çizelge 4.3	Yeni Zelanda toprak yapı yönetmeliklerinin karşılaştırılması	55
Çizelge 4.4	Amerika toprak yapı sistemleri tasarımı için standart kılavuz	58
Çizelge 4.5	İngiltere'de toprak yapı üretim kılavuzlarının karşılaştırılması	61
Çizelge 4.6	Türk toprak yapı yönetmeliklerinin karşılaştırılması	63
Çizelge 4.7	Farklı ülkelere ait toprak yapı standart ve yönetmeliklerinin karşılaştırılması.....	66
Çizelge 4.8	Türkiye'de toprak yapı standart ve yönetmeliklerinin hazırlanmasında dikkate alınması gereken kriterler.....	71
Çizelge A.1	Küresel çevreyle ilişkili önemli uluslararası gelişmelerin tarihçesi	86
Çizelge B.1	NZS 4297 Mühendislik gerektiren toprak yapı yönetmeliğı	88
Çizelge B.2	NZS 4298 Toprak yapı malzeme ve işçiliğı	91
Çizelge B.3	NZS 4299 Özel bir tasarım gerektirmeyen toprak yapılar	93
Çizelge C.1	ASTM E2392/E2392M Toprak yapı sistemleri tasarımı için standart kılavuz.....	96
Çizelge D.1	İskoçya toprak yapı kılavuzu	99
Çizelge D.2	Toprak duvar tasarımı ve yapım kuralları kılavuzu.....	101
Çizelge E.1	TS 2514 Kerpiç bloklar ve yapım kuralları.....	104
Çizelge E.2	TS 2515 Kerpiç yapıların yapım kuralları	107
Çizelge E.3	Kerpiç binalar için depreme dayanıklı tasarım kuralları	109
Çizelge F.1	Türkiye ve farklı ülkelerde toprak yapı standart ve yönetmeliklerine ait inceleme.....	111

ÖZET

EKOTASARIM KAPSAMINDA TOPRAK YAPIM SİSTEMLERİ VE YÖNETMELİKLERİN İRDELENMESİ

Z. Gülşah KOÇ

Mimarlık Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Dilek EKŞİ AKBULUT

Artan yapılaşmanın neden olduğu kaynak tüketimi, kaynakları yenilenme hızından önce tüketmekte ve küresel ölçekte çevre sorunlarına neden olmaktadır. Bu kapsamda, dünya çapında *Ekolojik Tasarım* gibi kaynak ve enerji verimliliğini esas alan çevreci üretim teknikleri önem kazanmaktadır. Ekolojik tasarımda enerji ve kaynak kullanımı gibi önemli kriterler bulunmaktadır. Toprak malzeme, kolay ulaşılabilirliğinin yanı sıra kaynak ve enerji verimliliği sağlayan ekonomik ve doğal bir malzeme olması nedeniyle ekolojik tasarımda tercih edilmektedir. Türkiye’de kentsel dönüşüm faaliyetleri ile artış göstereceği düşünülen hafriyat toprağının yapı üretiminde yeniden değerlendirilmesinde, toprak malzeme ile modern yapı üretim teknikleri hem toprak atığının azaltılması hem de daha çevreci yapı üretim tekniklerinin benimsenmesi açısından önem kazanmaktadır.

Çalışmanın birinci bölümünde; literatür özeti, çalışmanın amacı ve hipotez ile ilgili bilgi verilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde; sanayileşmenin kentsel nüfus artışı üzerindeki etkileri irdelenmiş, yapılaşmanın arazi kullanımı değişikliği, doğal kaynak tüketimi ve ekosistemlere olan etkileri incelenmiştir. Artan yapılaşmanın çevre üzerindeki baskısını azaltmakta ise yapı üretiminde Ekotasarımın irdelenmesi ve değerlendirilmesi gerektiği belirtilmiştir. İnşaat faaliyetlerinin artması sonucu yapısal atık miktarında da artış görülmektedir. Bu kapsamda, organik atıkların (hafriyat toprağı) dolgu malzemesi, katı atık sahaları için günlük örtü gibi çeşitli şekillerde değerlendirildiği görülmektedir. Çalışmada; Avrupa Birliği Ülkeleri, Amerika, Türkiye ve çalışma kapsamındaki diğer

lkelerde inşaat faaliyetleri ile oluşan hafriyat toprağı miktarı ve bu alanda yapılan düzenlemeler incelenmiştir. Türkiye’de kentsel dönüşüm faaliyetleri ile oluşacak olan hafriyat toprağı miktarının belirlenmesinde İstanbul ili verilerinden yararlanılmıştır.

Çalışmanın nc bölümünde; oluşan hafriyat toprağının yapı üretiminde değerlendirilmesinde toprak gerecin yapısı, bileşenleri, sınıfı ve toprağın yapı üretimine uygunluğu incelenmiştir. Böylece toprak yapısına uygun olarak en uygun toprak yapı üretim tekniği belirlenebilmektedir. Dolayısıyla toprak yapısına bağlı olarak farklı tekniklerle (sıkıştırılmış toprak, yerinde dökme toprak vb.) retilmiş toprak yapılar mevcuttur. Çalışmada; bu toprak yapı üretim teknikleri ile üretilmiş tarihi ve modern yapılara ait örnekler verilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümde; farklı ülkelere ait toprak yapı yönetmelikleri incelenmiştir. Bu kapsamda, Türkiye gibi deprem kuşağı üzerinde olması ve toprak yapı üretiminde gelişmiş yönetmeliklere sahip olması nedeniyle *Yeni Zelanda*, yapı üretiminde farklı üretim teknikleri uygulaması nedeniyle *Amerika*, değişken bir iklime ve çevreci bir anlayışa sahip olması nedeniyle de *İngiltere* toprak yapı yönetmelikleri incelenen ülkelerdir. Çalışma kapsamındaki ülkelerin toprak yapı yönetmelikleri incelenerek Türkiye’de toprak yapı üretiminde yararlanılan yönetmelik (Deprem Yönetmeliği) ve standartlarla (TS 2514, TS 25215) karşılaştırılmıştır. Böylece diğer ülkelerle karşılaştırıldığında Türkiye’de toprak yapı üretiminde uygulanan yönetmelik ve standartların *güçlü* ve *zayıf* kaldığı alanlar belirlenmeye çalışılmış; toprak yapılara ait standart ve yönetmeliklerin hazırlanmasında olması gereken kriterlerin belirlenmesi ve *Toprak Yapı retimine Ait İşleyiş şemasının* hazırlanması amaçlanmıştır.

Çalışmanın beşinci bölümünde; Türkiye’de yeni hazırlanacak toprak yapı yönetmelik ve standartlarında olması gereken kriterlere ait genel bir değerlendirme yapılmış ve önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Hafriyat Toprağı, Ekoloji, Ekotasarım, Yapı Malzemesi Olarak Toprak, Toprak Yapı retim Teknikleri, Toprak Yapı Standart ve Yönetmelikleri.

ABSTRACT

EXAMINATION OF EARTH CONSTRUCTION SYSTEMS AND REGULATIONS WITHIN THE SCOPE OF ECO-DESIGN

Z. Gülşah KOÇ

Department of Architecture

MSc. Thesis

Adviser: Assist. Prof. Dilek EKŞİ AKBULUT

Increasing construction activities consumes natural resources before their renewal and causes global environmental problems. Therefore, more environmentally friendly materials and construction techniques are being considered worldwide. In this context, ecological design (eco-design) gains importance. Uses of energy and chosen materials have primary importance in ecological design. Earth as a natural material is preferred in ecological design due to being an affordable material which is easily accessible, resourceful and energy efficient. It is thought that the amount of excavation soil will increase with the urban renewal activities in Turkey. For this reason, it is important to use excavation soil for producing modern earth buildings, which can both decrease the amount of excavation soil and increase the adaptation of ecological construction techniques.

In the first chapter; the literature summary, purpose of the study and hypothesis are defined.

In the second chapter; increased population by industrialization and its effects on urbanization and the effect of over-urbanization on land use, ecosystem and resource consumption are examined. It is stated that Eco-design in building production should be examined and evaluated in order to reduce the pressure on the environment of increasing construction activities. In the result of increasing construction activities, structural wastes also increased. In this context, it is seen that organic wastes (excavation soil) are evaluated various forms. In this study, the effects of increasing

construction on waste generation as well as demolition waste and respective numbers in EU Countries, USA and Turkey are examined and current regulations are presented. Istanbul province data is used in this study, in order to determine the excavation soil amount obtained from the increasing renewal activities in Turkey.

In the third chapter; reusing excavation soil in construction, soil structure, components and classifications and the suitability of soil for the construction are examined. The most suitable earth building construction technique is suggested with gathered data. Therefore, there are earth structures produced by different techniques depending on the soil structure. In this study; examples of modern buildings produced with these earth construction techniques are given.

In the fourth chapter; earth building standards and regulations are examined. In this context, New Zealand earth construction regulations have been examined since it is on earthquake zone like Turkey and has advanced regulations on earth construction production. Due to the application of different construction techniques in the production of buildings, US earth construction regulation has been examined. Due to its variable climate and environmentalist understanding, UK earth construction regulations have been examined. In this context, earth construction documents from *USA*, *UK* and *New Zealand* are examined and compared with the standards and regulations in *Turkey*. As a result, strong and weak areas of the earth regulations and standards applied in Turkey in the construction of earth buildings are determined. Furthermore, we aimed to show important elements that ought to be in earth construction standards and regulations. Thus, it is aimed to determine the criteria that should be in the preparation of the standards and regulations of earth constructions and also to prepare the operation diagram of earth construction production.

In the fifth chapter, a general evaluations and recommendations have been made regarding to strengthening of the earth construction regulations and standards in Turkey or the criteria that should be in the newly prepared regulations and standards.

Key Words: Excavation Soil, Ecology, Eco-Design, Earth as a Construction Material, Earth Construction Techniques, Earth Construction Standards and Regulations.

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Çalışmada artan yapılaşmanın; arazi kullanımını değiştirmesi, ekosistem ve doğal kaynak tüketimi üzerindeki etkisine dikkat çekilmiş ve inşaat faaliyetlerinin küresel ölçekte neden olduğu çevresel sorunlar irdelenmiştir. Çevresel sorunları azaltmak için çevreci bir tasarım anlayışı olan Ekotasarım, dünya çapında giderek benimsenmektedir. Ekotasarımda malzeme seçimi önemli bir kriterdir. Bu kapsamda yapı üretiminde seçilecek malzemelerin enerji ve kaynak verimliliği sağlarken aynı zamanda atık olmaması gerekmektedir. İnşaat faaliyetleri ile oluşan hafriyat toprağı, organik bir malzeme olması nedeniyle ekotasarım kriterlerine uygun bir malzemedir. Bu nedenle toprak yapısının uygun olması durumunda yapı üretiminde değerlendirilmelidir. Ancak hafriyat toprağı gibi malzemeler, organik olmaları nedeniyle birçok ülkede atık sayılmamaktadır. Bu nedenle bu tür malzemelerin miktarı ve nasıl değerlendirildiğı ile ilgili sınırlı düzeyde bilgi vardır. Çalışmada; farklı ülkelerde inşaat faaliyetleri ile artış gösteren hafriyat toprağına ait düzenlemeler incelenmiş, toprak gerecin yapı üretiminde kullanılmasına yönelik farklı toprak yapı üretim teknikleri ve toprak yapı yönetmelikleri irdelenmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Çalışmada; inşaat faaliyetleri ile artış gösteren hafriyat toprağının yapı üretiminde yeniden kullanılmasına yönelik toprak yapı üretim teknikleri ve toprak yapı yönetmelikleri incelenmiştir. Bu kapsamda *Yeni Zelanda, Amerika, İngiltere* ve *Türkiye*'ye ait toprak yapı yönetmelikleri incelenmiştir. İncelenen belgelerden elde edilen kriterlerin karşılaştırılması ile Türkiye'ye yönelik bir değerlendirme yapılmış ve toprak yapı yönetmeliklerinde olması gereken kriterlerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Yapı üretiminde kullanılan malzemelerin sağlanması, işlenmesi, çalışılacak boyuta getirilmesi ve nakliyesi göz önünde bulundurulduğunda yapı üretiminin ve yapı malzemelerinin kaynak ve enerji tüketimi ile atık oluşumunda küresel ölçekte sorunlara neden olduğu görülmektedir. Bu bağlamda enerji ve kaynak verimliliğini sağlayan ve atık oranını azaltan çevreye duyarlı *Ekolojik Tasarım (Ekotasarım) Anlayışı* giderek önem kazanmaktadır. Toprak; ekotasarım anlayışına uygun, üretimi için enerji gerektirmeyen, atık oluşturmeyen, enerji ve kaynak verimliliği sağlayabilme potansiyeli olan doğal bir malzemedir. Dolayısıyla toprak malzemedir, farklı toprak yapı üretim teknikleri ile modern toprak yapı üretiminin mümkün olduğu görülmektedir. Türkiye’de kentsel dönüşüm faaliyetleri ile artış göstereceği düşünülen hafriyat toprağının yapı üretiminde yeniden değerlendirilmesinde, toprak malzeme ile modern yapı üretim teknikleri hem toprak atığın azaltılması hem de daha çevreci yapı üretim tekniklerinin benimsenmesi açısından önem kazanmaktadır. Dünya çapında farklı ülkelerde toprak yapı üretiminin yönetmeliklere bağlı olarak üretilmektedir. Türkiye’de ise toprak yapı üretiminin sınırlı bir düzeyde kaldığı görülmektedir. Bu durum, yönetmelikler üzerinden irdelenmeli ve değerlendirilmelidir. Bu kapsamda çalışmada; Türkiye’de toprak yapı üretiminde yararlanılan yönetmelik (deprem yönetmeliği) ve standartlar (TS 2514, TS 2515) incelenmiştir. Kerpiç yapı standartları 2011 yılında yürürlükten kaldırılmış ve yenilenmemiştir. Ancak 2011 yılına kadar kerpiç yapıların üretiminde bu standartlardan yararlanıldığı için çalışmaya dâhil edilmeleri uygun görülmüştür. Çalışmada, Türkiye’de uygulanan toprak yapı yönetmelik ve standartları ile toprak yapı üretiminde gelişmiş yönetmeliklere sahip olan Yeni Zelanda, Amerika ve İngiltere’ye ait toprak yapı yönetmelikleri incelenmiştir. İncelenen yönetmeliklerden yola çıkarak bazı başlıklar ve bu başlıklar altında da kriterler belirlenmiştir. Çalışmada incelenen yönetmelikler bu kriterlere göre değerlendirilmiştir. Sonraki aşamada ise incelenen yönetmeliklerin bir arada değerlendirildiği bir çizelge hazırlanmıştır. Böylece, toprak yapı üretiminde diğer ülkelerle karşılaştırıldığında Türkiye yönetmelik ve standartlarının *güçlü* ve *zayıf* kaldığı alanların belirlenmesi ve Türkiye’ye yönelik bir değerlendirmenin yapılması hedeflenmiştir. Sonuç olarak, Türkiye’de toprak yapılara ait standart ve yönetmeliklerin hazırlanmasında ya da geliştirilmesinde bu dokümanlarda olması gereken kriterler belirlenmeye çalışılmış ve *Toprak Yapı Üretimine Ait İşleyiş Şeması* hazırlanmıştır.

KENTLEŞMENİN EKOSİSTEM ÜZERİNDEKİ ETKİSİ VE HAFRİYAT TOPRAĞI İLE İLGİLİ DÜZENLEMELER

Bir ekosistemde yaşam, enerji akışı ve besin döngüleri ile sağlanmaktadır. Açık bir sistemden oluşan ekosistemlerde enerji akışı ve besin giriş-çıkışı süreklilik göstermektedir [1]. İnsan yapımı çevre açık bir sistemden oluşmamakta, yapılı çevrenin devamlılığının sağlanması için ekosistemlere ve doğal kaynaklara ihtiyaç duymaktadır. İnsan faaliyetlerinin devamlılığını sağlamak için kaynakların yenilenme hızından önce tüketilmesi çevresel sorunlara neden olmaktadır. Dengeli, sürekli ve gelecek nesillerin yaşam hakkını tehlikeye sokmadan oluşturulabilecek bir kalkınma anlayışı; ancak kaynak verimliliğini esas alan, çevreyi tahrip etmeyen ve oluşan atıkların akılcı bir şekilde yok edildiği veya değerlendirildiği bir yönetim anlayışı ile mümkündür.

2.1 Sanayileşme ve Nüfus Artışı

Sanayileşme; “İnsan ve hayvan gücüne dayalı üretim tarzından, makine gücünün hâkim olduğu üretim tarzına geçiştir” [2]. Bu geçiş insanlık tarihinin ikinci dönüm noktasıdır. Üretimin artması ile insan nüfusundaki artış ekonomik büyümeyi sınırlamamış dolayısıyla ekonomik büyüme ve nüfus artışı paralel olarak değişmiştir [2]. Makineleşmenin hızlı üretimin önünü açması ile insana olan ihtiyaç artmış ve kentsel sanayi alanları, tarım sektörü dışında yeni iş alanları oluşturmuştur. Fabrikaların genellikle kentsel alanlarda toplanması ile kentsel nüfus artış göstermiştir [3]. Sanayileşme ile başlayan süreç; nüfus artışı, sosyal hareketler, göçler, aşırı tüketim alışkanlıkları ve ekonomik sistemlerde değişikliklere neden olmuştur [4].

2.2 Kentleşme ve Arazi Kullanımı

Gelişmekte olan ülkelerde en fazla kentsel nüfus artışının 1990-2000 yılları arasında yaşandığı görülmektedir. Artan nüfusun konut, endüstri, altyapı ve rekreasyon alanı ihtiyaçlarını karşılamak için her yıl gelişmekte olan ülkelerde 1 ile 2 milyon ha (hektar) alana sahip tarım arazisinin, tarım dışı faaliyetler için kullanılmak üzere dönüştürüldüğü tahmin edilmektedir. Bu alanlar genellikle kıyı düzlüklerinde ya da nehir vadilerinde yer alan birinci derece tarım arazileridir. Örnek olarak Çin'deki Pearl River deltasında, 1988-1996 yılları arasında kentsel alanlar %364 oranında artış göstermiştir. Yeni kentsel alanların %70'i tarım arazilerinin dönüştürülmesi ile oluşmuştur. Pekin-Tianjin-Hebel koridorunda yer alan kentsel alanlar ise 1990-2000 yılları arasında %71 oranında artış göstermiş ve birinci derece tarım arazilerinin %74'ünün dönüştürülmesi ile oluşmuştur [5].

Türkiye'de ise Avrupa Birliği arazi yönetimi projelerinden biri olan CORINE (Çevresel Verilerin Koordinasyonu Projesi-Çevre Bilgi Düzeni) kapsamında CORINE 1990,2000 ve 2006 arazi kullanımına yönelik proje çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmada; Türkiye'de 1990-2006 yılları arasında tarımsal alanlar, orman ve yarı doğal alanlarda azalış görülürken; yapay alanlar ve su kütlelerinde artış gözlemlendiği belirtilmektedir. Artan nüfus, kentleşme ve sanayileşme; tarım alanları ve doğal alanlar üzerinde baskı yaratmaktadır. Türkiye'de 2001-2013 döneminde, toplam 974.282 ha (hektar) tarım arazisinin tarım dışı faaliyetler için kullanılmasına izin verilmiştir [6].

Avrupa Çevre Ajansı (AÇA) 2015 Sentez Raporu'nda arazi kullanımının; ekosistemlerin dağılımına, işlev görmesine ve ekosistem hizmetlerinin iletilmesine etki eden bir sistem olduğu belirtilmektedir [7]. İnsan faaliyetleri ve artan kentleşme ile değişiklik gösteren arazi kullanımı, küresel ölçekte sorunlara neden olmaktadır. Arazi kullanımı değişimi *direkt* ve *endirekt* olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Direkt Arazi Kullanımı Değişimi; tarım, kentleşme, ormansızlaştırma (deforestation), yeniden ağaçlandırma (reforestation) ve ormanlaştırmanın (afforestation) içinde olduğu insan faaliyetleri (antropojenik) sonucu değişmiş olan alanlar için kullanılmaktadır (Amerika Çevre Koruma Ajansı, 2012).

Endirekt - Biyojenik Arazi Kullanımı Değişimi; insan faaliyetleri sonucunda iklimde, karbon yoğunluğunda ve bitki örtüsünde meydana gelen değişiklikler için kullanılmaktadır [8],[9].

Arazi kullanımının değişimi sadece tarım ve orman arazilerinin kaybolması değil, yağmur ve su rejiminin değişmesi, peyzajın parçalanması, ekosistem faaliyetlerinin bozulmasına da vb. neden olmaktadır.

2.3 Kentleşme ve Ekosistem Üzerindeki Etkisi

Aşırı kentleşme; bölgesel hava ve iklimde değişikliğe ve mevcut alanların bölünmesine (land fragmentation) neden olmaktadır [9]. Kentleşme nedeniyle tarım ve orman alanlarının yok edilmesi yeryüzünden uzaya yansıyan güneş ışığı miktarını (the surface albedo) artırmaktadır. Arazi kullanımının değişmesiyle birlikte atmosfere verilen sera gazı miktarı artmakta ve bu durumun küresel ısınmayı %20 oranında artırdığı tahmin edilmektedir [10]. Bu kapsamda okyanuslar en büyük karbon depo alanlarını oluştururken karasal karbon (terrestrial carbon sinks) depo alanları da önem taşımaktadır. Karadaki en büyük karbon depo alanlarını genç ormanlar oluşturmaktadır. 1 hektarlık bir orman, 1 hektarlık yeşil alan veya tarım alanına göre 50 kat daha fazla karbon tutmaktadır. Yaşlı ormanlar ve toprak da (older forests and soils) karbon tutabilmektedir ancak bu oran genç ormanlara kıyasla düşüktür [11]. Arazi kullanımı değiştikçe topraktaki ve ağaçlardaki karbonla birlikte küresel ısınmaya neden olan *Metan* ve *Azot Oksit* gazları da atmosfere verilmektedir. Aynı zamanda toprak yapısının bozulması, erozyon ve toprak besinlerinin azalması, toprağın karbon tutuculuğunu azaltmakta ve atmosferde sera gazı birikimine neden olmaktadır [8].

Arazilerin çeşitli şekillerde tahrip edilmesi, parçalanması ve sürdürülemez bir biçimde kullanılması ekosistem hizmetlerinin yürütölememesine neden olmaktadır. Bu durum, biyolojik çeşitliliği tehdit etmekte ve bölgenin iklim değişikliğine ve doğal afetlere açıklılığını artırmaktadır. Bu kapsamda, dünya ekosistemlerinin yaklaşık üçte ikisinin gerilemekte olduğu görölmektedir [7].

“Kuzey Amerika, Avrupa ve Güney-Doğu Asya gibi yerlerde insan faaliyetleri sonucu değişmiş olan arazi kullanımı hem bölgesel hem de küresel ölçekte ısı artışına neden olmaktadır. Küresel ölçekte, arazi kullanımındaki değişikliklerden kaynaklı karbondioksit emisyonlarının, toplam yıllık emisyonların %18’i civarında olduğu tahmin edilmektedir. Bu miktarın %30’u gelişmekte olan ölkelerden gelirken, %60’tan fazlası az gelişmiş ölkelerden gelmektedir” [8].

2.4 Kentleşme ve Doğal Kaynak Tüketimi

Kaynak kullanımı ve ekonomik durum birbiriyle ilişkili olgulardır. Gelir seviyesi artan bir toplumun kaynak tüketiminde artış gözlenmektedir. Yüksek gelire sahip sanayileşmiş ülkelerin, gelişmekte olan ülkelere göre daha fazla enerji ve kaynak tükettiği görülmektedir [12]. Dünya Gayrisafi Milli Hasıla'nın (GSM) %10'unu oluşturan inşaat sektörü, iş alanlarının da %7'sini oluşturarak doğal kaynakların yarısını ve enerjinin %40'ını tüketmektedir [13]. Dünya nüfusunun %50'den fazlasının kentlerde yaşadığı ve bu oranın önümüzdeki elli yılda yaklaşık %60 artacağı düşünülrse [14] artan yapılaşma ile birlikte kaynak tüketiminin de artacağı tahmin edilmektedir. “Yapı Sanayi, nüfus artışıyla doğru orantılı olarak doğal kaynakların tüketilmesi, enerji tüketimi ve atık üretimi açısından çevreyi doğrudan etkilemektedir. Günümüzde yapı malzemelerinin en iyimser bakışla %35'i geri dönüştürülebilmekle birlikte bu yüzde çok yetersiz kalmaktadır” [4]. Dünya Doğayı Koruma Vakfı'nın (WWF) Yaşayan Gezegen Raporu'nda, 1970'lerden bu yana insanlığın gezegenin sürdürülebilir bir şekilde sunacağından fazlasını talep ettiği ve 2012 yılı içinde tüketilen kaynak ve hizmetleri karşılayabilmek için 1.6 gezegene eş değer biyolojik kapasiteye ihtiyaç duyulduğu belirtilmektedir [15].

Günümüzde inşaat sektörü; enerji ve kaynak tüketimi ile sera gazı artışından sorumlu tutulmaktadır. “Gelişmekte olan ülkelerde yapıların üretim ve yıkım faaliyetleri sonucu oluşan atık miktarının toplam katı atıkların yaklaşık %40'ını oluşturduğu ve dünya çapında üretilen enerjinin üçte birinin binalar tarafından harcandığı belirtilmektedir. İnşaat sektörü küresel ölçekte kaynakların üçte birinden fazlasını tüketmekte (buna su kaynaklarının %12'si de dâhil) ve küresel çapta üretilen toplam enerjinin %10'u yapı malzemelerinin üretimi için kullanılmaktadır.” [16]. Dolayısıyla üretim ve inşaat faaliyetleri sonucu enerji tüketimindeki artış atmosfere salınan zararlı gazların miktarında artışa neden olmaktadır. Örneğin, Japonya'nın yıllık 1.3 milyar tonluk CO₂ salımının yaklaşık %40'ı yapı sektörü tarafından oluşturulmaktadır [13]. Bu nedenle dünya çapında karbon ayak izini azaltan daha çevreci yaklaşımlar önem kazanmaktadır. Doğal kaynakları tüketen yapı sektöründe de bu konuya duyarlı yaklaşımların sınırlı da olsa tercih edilmeye başlandığı görülmektedir. Bu kapsamda çevreye uyumlu, sürdürülebilir tasarım anlayışının ilk girişimlerinin 1960'lı yıllarda başladığı ve somut adımların 1980'li yıllarda atıldığı görülmektedir. Bu tarihten itibaren ilk yasal

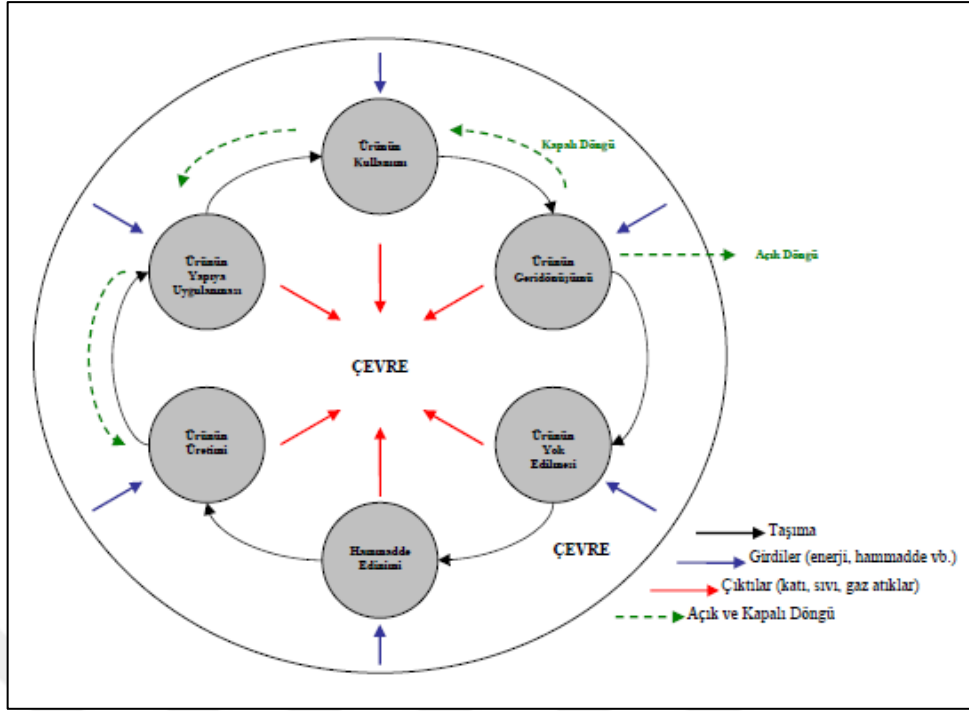
düzenlemeler ve tedbirler alınmaya başlanmıştır. Küresel çevre ile ilgili uluslararası gelişmelerin tarihçesi *EK-A*'da verilmiştir.

Günümüzde inşaat faaliyetlerinin yarattığı sorunları azaltmak için yapı üretiminde daha çevreci tasarım ve üretim teknikleri incelenmekte ve günümüz gereksinimlerine göre uygulanmaktadır. Böylece hem kaynak ve enerji verimliliği sağlanması hem de çevreye verilen zararın azaltılması hedeflenmektedir. Bu kapsamda *Ekolojik Tasarım* anlayışı, yenilenebilir kaynakların ve doğal malzemelerin kullanımı ile ekosisteme uyumlu tasarım şeklini temel aldığından tercih edilmektedir.

2.5 Ekotasarım

Birleşmiş Milletler (BM) verilerine göre 2050 yılında dünya nüfusunun 9,7 milyarı bulacağı tahmin edilmektedir [17]. Sanayileşme ile kentsel alanlarda artan yapılaşma, çevre ve doğal kaynaklar üzerinde baskı yaratmaktadır. İnsan faaliyetlerinin yarattığı çevresel sorunları en aza indirmek ve doğal çevrenin sürekliliğini sağlamak için ekolojik tasarım anlayışı benimsenmektedir. Bu kapsamda öncelikle *Ekotasarımın* ne olduğunun ve *Ekotasarım-Çevre* ilişkisinin bilinmesi gerekmektedir.

“Ekolojik tasarım ya da ekotasarım; ekolojik tasarım ilkeleri ve stratejileri uyarınca yapılı çevremizi ve yaşam tarzlarımızı, yeryüzündeki tüm yaşam formlarını içinde barındıran biyosferin yer aldığı doğal çevreyle uyumlu ve kusursuz bir şekilde bütünleştirmek üzere tasarlamaktır” [18]. Diğer bir tanıma göre Ekotasarım, “Daha iyi ürün tasarımı ile tüm yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerin azaltılmasıdır. Ürün kaynaklı çevresel etkilerin yaklaşık %80’i tasarım aşamasında belirlenebilmektedir. Çevreye duyarlı tasarım sayesinde maliyette ve enerjide tasarruf yapılabilmektedir” [19]. Bu kapsamda ekotasarım, bir ürünün beşikten beşiğe tüm aşamalarında çevreye duyarlı bir şekilde tasarlanmasıdır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Bir ürünün yaşam döngüsü süreçleri, süreçleri birbiri ve çevre ile ilişkisi [20]

Ekotasarımda, insan yapımı çevre ile doğal sistemler arasında bir örüntü yaratılarak insan faaliyetlerinin doğal çevre üzerindeki baskısının azaltılması ve yapılı çevre ile doğal çevrenin bütüncül bir şekilde birleştirilmesi amaçlanmaktadır. Dolayısıyla üretimden, kullanım ve yıkım aşamasına kadarki süreçte her işlem, doğa için bir tehdit olmaktan çıkmakta ve her aşamasında doğanın da içinde bulunduğu bütüncül bir sistem söz konusu olabilmektedir. Ekotasarımda temel öncül, yapay sistemlerin doğal sistemlerle iç içe geçmesi ve etkin bir şekilde bütünleşmesidir [18]. Böylece yapılı çevrenin, doğal çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda çevresel etkilerin belirlenmesinde *ekosistemler* ve *ekosistemlerin sürekliliğinin* bilinmesi gerekmektedir.

• Ekosistem ve Ekosistem Sürekliliği

Ekotasarımın amacı; yapılı çevrenin doğal çevre ile etkin bir şekilde bütünleşmesidir. Bu nedenle öncelikle ekosistem ve ekosistem sürekliliği bilinmelidir. “Belirli bir alanda bulunan canlılar ile bunları saran cansız çevrelerinin karşılıklı ilişkileri ile meydana gelen ve süreklilik arz eden ekolojik sistemlere *ekosistem* adı verilmektedir” [1]. Ekosistemlerin sürekliliği onları oluşturan canlı ve cansız varlıkların (su, sıcaklık, ışık, toprak, iklim, hava) etkileşimi ile mümkündür. Cansız varlıkların özellikleri değiştikçe canlı varlıkların çeşitliliği de değişmektedir. Bu kapsamda ekosistemlerin sürekliliğinin sağlanmasında;

- Üretici canlıların (yeşil bitkiler, su yosunları vb)
- Tüketici canlıların (insanlar, hayvanlar vb)
- Ayrıştırıcıların (mantarlar, bakteriler vb)
- Yeterli miktarda güneş ışığının ve
- Hammaddenin (kalsiyum, oksijen, karbondioksit, su vb.) bulunması ve sürekli olması gerekmektedir [21].

Birbirine madde ve enerji akışı ile bağlı olan ekosistemler, birer açık sistem durumundadır. Yapılı çevrenin devamlılığını sağlamak için yapılan her müdahale ve yapım faaliyeti doğal sistemlerin akış ve etkileşimini değiştirerek ekosistemlerin sürekliliğini etkilemektedir.

Malzeme değişim hareketlerinde ve kimyasal süreçlerde termodinamik kanunlara göre *negatif entropi*¹ geçerlidir. Negatif entropiye göre, yapılan her malzeme hareketi çevresel düzeyde bozulmalara neden olmaktadır. Entropi bir sistemin düzen-düzensizlik derecesini gösteren bir olgu olarak düşünüldüğünde, dünya üzerinde yapılan her hareket ve değişim sistemin düzenini azaltacak ve düzeni sağlamak için daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulacaktır. Bu durumda, sistem çalışmaz hale gelene kadar her seferinde daha fazla enerji gerekecektir. Bu kapsamda, geçmiş yüzyılda fosil yakıt tüketiminin yaklaşık 30 kat, endüstriyel üretimin ise 50 kattan fazla bir oranda arttığı görülmektedir. Bu artışın %75'ten fazla bir kısmı 1950 yılından sonra gerçekleşmiştir. Enerji, büyük ölçüde doğal hammadde kaynaklarının, tüketim ürünlerine dönüştürülüp tüketiciye aktarılması aşamasında harcanmaktadır. Bu nedenle aşırı tüketim alışkanlıklarının değiştirilmesi, kaynak ve enerji verimliliğini esas alan tasarım anlayışlarının benimsenmesi gerekmektedir [22].

2.6 Ekotasarım ve Malzeme Seçimi

Yapılı çevrenin devamlılığını sağlamak için ekosistemlere ve doğal kaynaklara ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılan her malzeme hareketi ile çevresel düzeyde bozulmalar olmakta ve düzeni sağlamak için daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır [22]. Bu kapsamda binalar yapılı çevrenin her yıl gerektirdiği enerjinin %30-40'ını tüketmektedir. Taşımacılığa düşen oran ise %25'tir. Enerji miktarının artması çevre için verimli

¹ Entropi; termodinamiğin ikinci yasasıdır. Enerji miktarının değişmemesine rağmen niteliğinin geri dönüşümü olmayacak şekilde azalmasına işaret eder ve sistem iş yapma kabiliyetini yitirir

olmamaktadır. Kullanılan enerji miktarı arttıkça, malzeme kullanımı ve yoğunluğu da artacak, bu durum kaynak tüketiminin de artmasına neden olacaktır [18]. Bu nedenle yapı üretiminde kullanılacak her malzemenin yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerinin bilinmesi ve ekolojik tasarım anlayışının benimsenmesi gerekmektedir.

Ekolojik tasarımda, dikkat edilmesi gereken en önemli unsurlardan biri *enerji* ve *kaynak kullanımı* ile *malzeme seçimidir*. Tasarımda seçilecek malzemeler; hava, su ve toprak kalitesini doğrudan veya dolaylı yoldan etkileyeceğinden ekosisteme uyumlu malzemeler tercih edilmelidir. Böylece yapılı çevrenin olumsuz etkilerini en aza indirip, doğal ekosistemlerle olan yararlı etkileşimlerin azami düzeye çıkarılması hedeflenmektedir [18]. Ekotasarımın tanımı yapılırken belirtildiği gibi, "Ürün kaynaklı çevresel etkilerin yaklaşık %80'i tasarım aşamasında belirlenebilmektedir." [19]

Yapılarda kullanılan malzemelerin üretim aşamasından başlayarak hizmet ömrünü tamamladıktan sonra tekrar üretime katılması ve tüm safhalardaki çevresel etkileri yaşam döngüsü analizlerinin inceleme alanına girmektedir. Bu kapsamda yapılarda kullanılan *beton*, *çelik*, *alüminyum* ve *ahşap* gibi malzemelerin ekosisteme olan etkileri incelendiğinde;

- 1 ton çeliğin üretiminde atmosfere yaklaşık 2 ton karbondioksit salındığı,
- 1 ton çimento üretiminde atmosfere yaklaşık 240 gr kükürt dioksit ve 6 kilogramdan fazla azot oksit salındığı,
- Çelik ve alüminyum gibi malzemelerin geri dönüşümünün ek bir enerji gerektirdiği ve oluşan karbondioksit ve katı atıkların çevre için tehdit oluşturduğu,
- Eşit büyüklükteki çelik karkas ve ahşap karkas ev karşılaştırıldığında; çelik karkas ev atmosfere 3.5 ton karbon salarken, ahşap karkas evin ise 3.1 ton karbon depoladığı,
- Çelik bir kirişin üretiminde harcanan enerjinin, aynı ebatla ahşap bir kirişe göre 10 kat daha fazla olduğu,
- Alüminyum doğramaların üretiminde kullanılan enerjinin, ahşap doğramaların üretimi için kullanılan enerjinin 50 katı olduğu,
- Ağırlık esasına göre kereste üretiminde kullanılan enerjinin; çelik malzemeye göre yaklaşık %10-30 kadar, alüminyum malzemeye göre ise %6 kadar daha az olduğu,

- Çelik ve ahşap malzemeden yapılan duvarların üretimi sırasında çevreye olan maliyeti incelendiğinde; ahşap malzemelerin çevre üzerinde yarattığı baskının çeliğe göre %30 daha az olduğu,
- Tüketilen aynı miktarda enerji ile 12 kg alüminyum, 60 kg çelik, 400 kg betonarme, 500 kg tuğla ve 1200 kg tomruk üretilmenin mümkün olduğu görülmektedir [23].

Yapılan çalışmalar; günümüzde yapı üretiminde en çok tercih edilen malzemeler olan beton, alüminyum ve çeliğin üretiminde harcanan enerji ve atmosfere salınan karbondioksit oranının ahşap malzemeye kıyasla daha fazla olduğunu göstermektedir. Bu kapsamda beton 120 kg/m^3 , çelik 5320 kg/m^3 ve alüminyum 22000 kg/m^3 oranında karbon salınımı yaparken bu oran ahşap malzemede 15 kg/m^3 'tür [23]. Dolayısıyla yapı üretiminde doğal ve yenilenebilir malzeme kullanımının kaynak ve enerji verimliliği sağlarken, atık oluşumu ve maliyet açısından da çevresel etkilerinin daha az olduğu görülmektedir.

Ekolojik tasarımda öncül, ekolojik malzemelerin kullanılmasıdır. Beşikten beşiğe tasarım kapsamında tüm malzemeler iki gruba ayrılmaktadır. İlk grup; teknik kökenli, insanlar tarafından üretilen ve organik özelliği olmayan malzemelerdir. Bu tür malzemeler (plastik, metal gibi) doğada çözünmemekte ve bu nedenle niteliği bozulmadığından tekrar tekrar kullanılabilir. İkinci grubu ise organik malzemeler (ahşap, keçe vb.) oluşturmaktadır. Bu grupta yer alan malzemeler doğaya bırakıldığında çözünmekte ve atık olmamaktadır [24]. Bu gruba organik bir malzeme olan toprağı da dâhil etmek mümkündür. Toprak malzeme; dünyada en çok bulunan malzeme olması nedeniyle sürdürülebilir bir malzemedir. Üretimi aşamasında enerji gerektirmez ve atık oluşturmaz. Toprak yapılar; üretimi ve tamiri kolay yapılar olup, iç mekân hava ve nem kalitesinin sağlanmasında ve ısı kontrolünde etkilidirler. Yapılar ömrünü tamamladıktan sonra yeni toprak yapıların üretimi için dönüştürülebileceği gibi doğaya bırakılmaları durumunda yok olacaktırlar. Dolayısıyla yapı malzemesi olarak toprak malzeme kullanımının hem ekonomik hem de ekolojik olarak avantaj sağladığı görülmektedir [25].

Sanayileşme ile birlikte nüfusun kentsel alanlarda toplanması, kentlerde yapı üretimini artırmaktadır. Artan yapı üretimi beraberinde çevre ve atık sorunlarını getirmektedir. Bu kapsamda inşaat faaliyetleriyle oluşan organik malzemelerin yapı üretiminde

kullanılması kaynak ve enerji verimliliği sağlanırken aynı zamanda atık sorununa da çözüm getirilmiş olacaktır.

2.7 Dünyada Hafriyat Toprağı ile İlgili Düzenlemeler

Atık yönetimi; atık oluşumunu azaltmak ve bu atıkların çevreye zarar vermeyecek şekilde geri dönüştürülmesi, yeniden kullanılması ve yok edilmesi konularını içermektedir. Atık yönetimi yalnızca çevresel değil aynı zamanda ekonomik sürdürülebilirlik açısından da önemlidir. Atıkların yok edilmesi atık oluşumunun engellenmesine göre daha maliyetli olmaktadır. Bu kapsamda, “Oluşan atıkların yaklaşık üçte biri tasarımdan kaynaklı atıklar olup, yapıların üretimi aşamasında kullanılan malzemelerin %10’u atık haline gelmektedir. Bu oran binanın yıkım ve onarım aşamasında on katına çıkmaktadır” [26]. İnşaat ve yıkıntı atıklarının dönüştürülmesi, yeniden kullanımı ya da yok edilmesi ile ilgili farklı ülkelerde çeşitli düzenlemeler mevcuttur. Ancak hafriyat toprağı gibi malzemeler, organik olmaları nedeniyle birçok ülkede atık sayılmamaktadır. Bu nedenle hafriyat toprağı miktarı ile ilgili yeterli bilgi bulunmamakla birlikte bu tür malzemelerin nasıl değerlendirildiği ile ilgili sınırlı düzeyde bilgi vardır. Çalışmada; *Amerika, Avrupa Birliği Ülkeleri, Türkiye ve farklı ülkelerde* yapısal atıklar ve geri dönüştürülme oranları ile ilgili genel bir bilgi verilmektedir.

2.7.1 ABD ve Farklı Ülkelerde Hafriyat Toprağı ile İlgili Düzenlemeler

Hafriyat toprağı ve inşaat atıklarının çevreye zarar vermeyecek şekilde depolanması, yeniden kullanılması ve yok edilmesinde ülkeden ülkeye değişiklik gösteren düzenlemeler bulunmaktadır. Bu kapsamda oluşan toplam yapısal atık miktarından yola çıkarak hafriyat toprağı miktarına ulaşmak amaçlanmıştır. Dolayısıyla bu başlık altında *Amerika, Japonya, Hindistan ve Kore* gibi farklı ülkelerin hafriyat toprağı ile ilgili genel bilgi ve bu malzemelerin geri dönüştürülme oranı verilmektedir.

- **Amerika:** Amerika Birleşik Devletleri verilerine göre inşaat ve yıkıntı atıkları evsel olmayan atıkların %95’ini oluşturmaktadır. Amerika’da her yıl 31,5 milyon tonu inşaat atığı, 70 milyon tonu yıkıntı atığı olmak üzere 101,5 milyon ton atık oluşmaktadır. Bu oran, toplam katı atık miktarının %29’unu oluşturmaktadır. Amerika’da yıllık oluşan hafriyat toprağı ile ilgili bilgi bulunamamıştır [27].
- **Japonya:** Japonya’da İnşaat sektörü 75,4 milyon ton atık ile toplam atık miktarının (380 milyon ton / yıl) %20’sini oluşturmaktadır. Bu kapsamda geri dönüşüm oranı,

Beton (3,092t) %99; Asfalt (2,577t) %99; Karışık Atıklar (80t) %57; Diğer atıklar (164t) %84'tür. Organik malzemeler ise Çamur (Sludge) (657t) %69; Talaş (500t) %89; oranında geri dönüştürülmektedir [28].

- Çin: Çin'de üretilen yıllık 1,8 milyar metre karelik yapı alanı dünyadaki tüm yapıların üçte birinden fazlasına denk gelmektedir [29]. Geri dönüştürülen ya da yeniden kullanılan yapısal malzemelerin başında az oranda *bakır* ve *çelik* gibi malzemeler gelmektedir. Beton gibi büyük miktarda ve hacimdeki malzemeler inşaat ve yıkıntı atıkları depolama sahalarına gitmektedir [30]. Oluşan hafriyat toprağı miktarı ve geri dönüşüm oranı ile ilgili bilgiye ulaşılammıştır.
- Hindistan: Ülke sermayesinin %50'si artan inşaat talebini karşılamak için ayrılmıştır. İnşaat faaliyetlerinin artış göstermesi atık miktarında da artışa neden olmaktadır. İnşaat ve yıkıntı atıklarının geri dönüştürülmesinde bir düzenleme bulunmamaktadır [31]. Oluşan hafriyat toprağı miktarı ve geri dönüşüm oranı ile ilgili bilgiye ulaşılammıştır.
- Kore: 2009 yılında Kore'de inşaat ve yıkıntı atığı miktarı (67 milyon ton), toplam atık miktarının (131 milyon ton) %51,2'sini oluşturmaktadır. Bu malzemelerin geri dönüştürülme oranı ise %36 civarındadır [32]. Oluşan hafriyat toprağı ile ilgili bilgiye ulaşılammıştır.

2.7.2 Avrupa Birliği Ülkelerinde Hafriyat Toprağı ile İlgili Düzenlemeler

İnşaat sektörü, Avrupa iş gücünün % 7,1'ni oluşturarak Avrupa Birliği ekonomisine %9,8 oranında katkıda bulunmaktadır [33]. Avrupa Birliği Komisyonu verilerine göre; Avrupa Birliği'nde üretilen inşaat ve yıkıntı atıkları, toplam atık miktarının %25-30'unu oluşturmaktadır [34]. Yapılan çalışmalar; Avrupa'da yıllık ortalama 890 milyon ton inşaat ve yıkıntı atığının oluştuğunu göstermektedir [35]. Diğer bir çalışmada ise AB ülkelerinde katı atık türleri incelendiğinde en çok atık üretiminin inşaat, madencilik, sanayi ve evsel çöplerden kaynaklandığı görülmektedir. İnşaat sektörü, inşaat ve yıkım atıkları ile atık miktarının %34'ünü oluşturarak en fazla katı atık oluşturan sektördür. Oluşan katı atıkların yeniden kullanılması durumunda %10 oranında hammadde tasarrufunun sağlanması mümkündür [36]. Dolayısıyla inşaat ve yıkıntı atıkları, maden ve tarım atıklarından sonra en büyük paya sahiptir [37]. Atık malzemelerin yönetimi ile ilgili çalışmalar 1928 yılında başlamıştır. Atık malzemelerin yeniden kullanımı ise II. Dünya savaşı sonrası yıkılan kentlerin inşası sırasında başlamıştır [38].

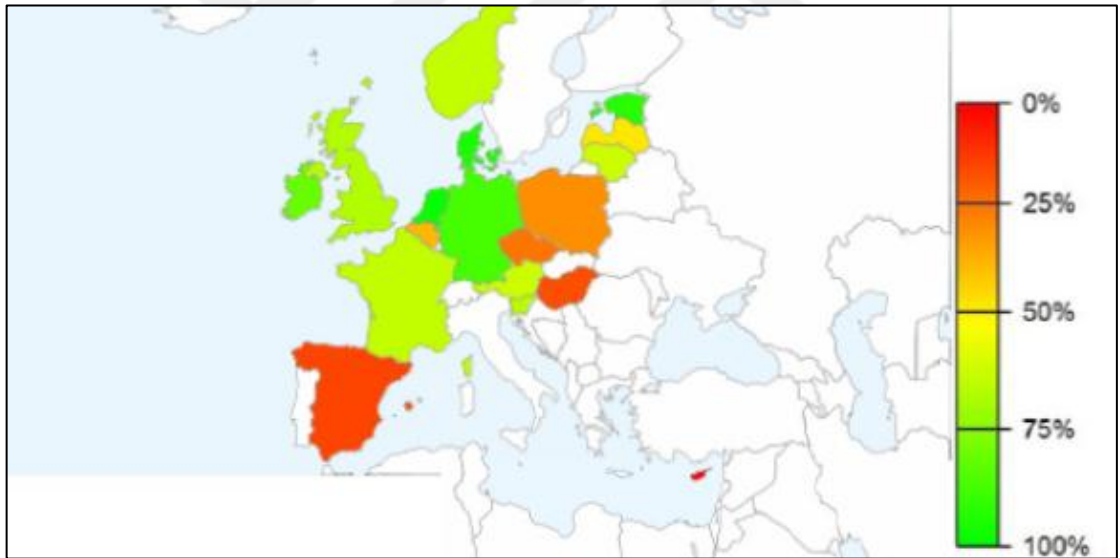
1990'lı yıllarda artan inşaat ve yıkıntı atıkları miktarını azaltmaya yönelik çeşitli önlemler alınmıştır. Bu kapsamda 2008 yılında kurulan *Avrupa Toplulukları İstatistik Ofisi* (EUROSTAT), inşaat ve yıkıntı atıklarının içeriği ve miktarı ile ilgili bilgi vermektedir.

İnşaat ve yıkıntı atıkları ile ilgili *Avrupa Parlamentosu* ve *Avrupa Birliği Konseyi* tarafından Haziran 2008'de alınan yeni kararlarla; Avrupa Birliği'nde inşaat ve yıkıntı atıklarının %70'inin 2020 yılına kadar geri dönüştürülmesi hedeflenmektedir. Bu kapsamda yirmi yedi Avrupa birliği ülkesinde inşaat ve yıkıntı atıklarının dönüştürülmesi ile ilgili mevcut durum %47 civarındadır [39]. Ancak *Danimarka, Almanya, İrlanda, Hollanda ve İngiltere*'deki mevcut geri dönüşüm politikaları sayesinde bu ülkelerde geri dönüşüm oranı %70 sınırını aşmıştır [29].

- Almanya: Almanya'da inşaat ve yıkıntı atıkları ile ilgili düzenlemeler *Atık Yönetim Kurumu* tarafından denetlenmektedir [40]. Bu kapsamda 1996 yılından beri uygulanmakta olan taahhütler ile (national voluntary commitment) atık sahalarında oluşan inşaat ve yıkıntı atıklarının %50 azaltılması amaçlanmaktadır [39]. Oluşan hafriyat toprağı miktarı ve geri dönüşüm oranı ile ilgili bilgiye ulaşılamamıştır.
- Hollanda: Atıklarının azaltılmasına yönelik düzenlemeler ile inşaat ve yıkıntı atıkları %95 oranında geri dönüştürülebilmektedir [41]. Hollanda'da katı atık sahalarına gidecek olan atıkların her bir tonu için 83€ ücret ödenmesi gerekmektedir. Dolayısıyla bu durum, inşaat ve yıkıntı atıklarının geri dönüşümünü artırmaktadır [39].
- İngiltere: “*İngiliz Hükümeti Çevre, Gıda ve Kırsal İşler Departmanı* (DEFRA) tarafından yapılan istatistiklere göre, İngiltere'de üretilen yapısal atıklar, evsel atıkların 3 katından fazlasını oluşturmaktadır” [4]. Atık oranının azaltılması konusunda İngiltere'nin oluşturduğu sistem, üreticinin atıkları azaltacak ve çevreyi koruyacak bir sistem geliştirmesi şeklindedir [39]. Oluşan hafriyat toprağı miktarı ve geri dönüşüm oranı ile ilgili bilgiye ulaşılamamıştır.
- Danimarka: Atık yönetimi ile ilgili uygulamalar; depolama ücretleri, yıkım faaliyetleri ve çevre yönetim sistemlerini içermektedir. Bu kapsamda Danimarka'da üretilen inşaat ve yıkıntı atıklarının %70'ten fazlası geri dönüştürülmektedir. Bunun %40 civarını toprak ve çakıl gibi (track blast) organik esaslı malzemeler oluşturmaktadır [39].

- İspanya: İnşaat ve yıkıntı atıklarının yönetimi ile ilgili düzenlemeler, 2008 yılında *İkinci Ulusal Plan*ın geliştirilmesi ile hayata geçirilmiştir. Bu kapsamda, oluşan atık miktarının belli bir miktarı aşması durumunda yeniden kullanılması çeşitli düzenlemeler ve kanunlarla zorunlu hale getirilmiştir. Bu oran >80 ton beton; >40 ton tuğla ve kiremit; >2 ton metal; >1 ton ahşap malzeme; >1 ton cam; >0,5 ton plastik ve >0,5 ton kâğıt malzemedir. Atık sahalarına giden katı atıkların her bir tonu için alınan 12€ ücret de alınan önlemler arasındadır [39]. Buna karşılık, inşaat ve yıkıntı atığı miktarında geçmiş yıllara oranla 40 milyon ton artış olduğu görülmektedir (Ministry of Environment and Rural and Marine Affairs, 2008) [35]. *İkinci Ulusal Plan* kapsamında (2008-2015) İspanya’da inşaat ve yıkıntı atıklarının geri dönüşümünün %18’den az olduğu belirtilmektedir [35]. Oluşan hafriyat toprağı miktarı ve geri dönüşüm oranı ile ilgili bilgiye ulaşılammıştır.

Şekil 2.2’de Kuzey Avrupa ülkelerinin inşaat ve yıkıntı atıklarını geri dönüştürme konusunda Güney Avrupa’ya göre daha başarılı olduğu görülmektedir.



Şekil 2.2 İnşaat ve yıkıntı atıklarının ülkelere göre geri dönüşüm oranı (Avrupa Birliği) [39]

Oluşan yapısal atıkların miktarı ve içeriğı ülkeden ülkeye değişmektedir. Genel olarak en çok geri dönüşümü yapılan malzemeler; *beton*, *tuğla*, *kiremit* ve *asfalt* gibi malzemelerdir. *Danimarka*, *Almanya* ve *İrlanda* gibi ülkelerde toprak ve çakıl gibi organik esaslı malzemelerin; *Fransa* ve *Hollanda*’da ise daha çok maden esaslı malzemelerin geri dönüşümünün yapıldığı görülmektedir [39]. Bu kapsamda, Avrupa *Toplulukları İstatistik Ofisi* (Eurostat) verilerine göre oluşan Hafriyat Toprağı ve İnşaat ve Yıkıntı Atıkları miktarı Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Avrupa Birliği Ülkeleri hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıkları miktarı (ton) [42]

	İNŞAAT VE YIKINTI ATIĞI MİKTARI (ton)		ATIK HAFRİYAT TOPRAĞI MİKTARI (ton)	
YER	Zaman		Zaman	
	2010	2012	2010	2012
Almanya	190.990.271	197.527.868	103.494.060	106.234.740
Avusturya	9.010.097	19.470.934	5.787.318	12.745.602
Belçika	18.164.920	24.570.406	2.169.354	1.397.144
Bulgaristan	78.880	1.032.651	1.134	52.075
Çek Cum.	9.353.673	8.592.900	5.669.551	5.393.352
Danimarka	3.142.215	3.867.209	1.767.846	2.065.588
Estonya	436.289	657.089	157.064	252.400
AB-15 Ülkeleri	807.960.000	786.940.000	368.720.000	-
AB-27 Ülkeleri	848.680.000	821.690.000	392.090.000	-
Finlandiya	24.645.393	16.033.874	0	0
Fransa	260.699.131	246.702.428	179.953.572	170.955.897
Hırvatistan	7.656	682.058	29	358.916
Hollanda	78.063.887	81.354.111	6.932.363	6.494.428
İngiltere (UK)	102.231.321	100.230.491	40.307.847	40.553.494
İrlanda	1.609.762	1.609.762	272.193	-
İspanya	37.946.523	26.129.151	12.590	6.496
İsveç	9.381.226	7.655.935	4.450.000	4.222.000
İtalya	59.340.134	52.965.743	15.198.047	12.772.212
İzlanda	26.981	15.790	1	4
Kıbrıs	1.068.282	965.177	866.763	814.210
Letonya	21.551	7.509	0	13
Litvanya	356.773	408.643	28.717	39.034
Lüksemburg	8.866.757	7.079.473	8.265.226	6.506.223
Macaristan	4.072.214	4.015.161	812.793	802.572
Malta	988.070	1.040.846	47	0
Norveç	1.542.803	1.880.543	0	0
Polonya	20.818.234	15.367.995	15.133.834	10.071.815
Portekiz	1.779.897	928.394	109.423	122.282
Romanya	237.502	1.325.341	100.991	186.592
Slovakya	1.786.430	806.184	472.351	112.401
Slovenya	1.509.476	535.153	122.228	103.237
Yunanistan	2.086.080	812.519	0	0

Çizelge 2.1’den elde edilen veriler doğrultusunda 2010-2012 yılları arasında *Belçika*’da toplam 46,301,824 ton yapısal atık oluşmuştur. Bu atıkların 3,566,498 tonunu hafriyat toprağı oluşturmaktadır. 2012 yılı hafriyat toprağı miktarının 2010 yılına göre 772,210 ton azaldığı görülmektedir. Dolayısıyla hafriyat toprağının çeşitli şekillerde kullanılarak değerlendirildiği söylenebilir.

Türkiye’nin batıda komşusu olması nedeniyle atık oluşum verileri incelenen *Bulgaristan*’da; 2010-2012 döneminde oluşan yapısal atık miktarı toplam 1,164,740 tondur. Bu atıkların 53,209 tonu hafriyat toprağı atığıdır. Aynı yıllar arasında hafriyat toprağı, %4492 oranında artmış ve 1.134 tondan 52.075 tona ulaşmıştır. Dolayısıyla 2010-2012 yılları arasında *Bulgaristan*’da hem hafriyat toprağı hem de inşaat ve yıkıntı atıklarındaki artış, yapı üretim faaliyetlerinin artış gösterdiği şeklinde açıklanabilir.

Danimarka verilerine göre; 2010-2012 döneminde oluşan yapısal atık miktarı toplam 10,842,858 tondur. Bu atıkların 3,833,434 tonunu hafriyat toprağı oluşturmaktadır. 2010-2012 döneminde inşaat ve yıkıntı atıklarının %23, hafriyat atıklarının ise yaklaşık %17 oranında arttığı görülmektedir. Bu durum onarım ve yıkım faaliyetleri ile yapı üretim faaliyetlerinin belli bir oranda devam ettiği şeklinde yorumlanabilir.

Hollanda verileri incelendiğinde; 2010-2012 yılları arasında oluşan yapısal atık miktarının toplam 172, 844, 789 ton olduğu görülmektedir. Bu atıkların 13,426,791 tonunu hafriyat toprağı oluşturmaktadır. 2010-2012 yılında inşaat ve yıkıntı atıkları 3.290.224 ton artarak %4.2 oranında artış göstermiştir. Bu yıllar arasında hafriyat toprağı miktarında ise %6.3 azalış olmuştur. Dolayısıyla bu verilerden 2010-2012 yılları arasında *Hollanda*'da inşaat üretiminin belirli bir seviyede kaldığı ve çok fazla artış göstermediği görülmektedir. Hafriyat toprağı miktarında görülen azalış ise, bu atıkların çeşitli şekillerde değerlendirildiği ve yok edildiği yönündedir.

EUROSTAT verilerine göre 2010-2012 yılında *İngiltere*'de oluşan yapısal atık miktarı toplam 283,323,153 tondur. Bu atıkların 80,861,341 tonu hafriyat toprağından oluşmaktadır. 2010-2012 döneminde inşaat ve yıkıntı atıklarında %2 oranında azalış, hafriyat toprağı miktarında ise %0,6 oranında artış olmuştur. Bu durum 2010-2012 yılları arasında *İngiltere*'de yapı üretim ve onarım çalışmalarının azaldığı ancak kazı işlerinin az oranda arttığı şeklinde açıklanabilir.

Çalışma kapsamında *Amerika*, *İngiltere*, *Yeni Zelanda* ve *Türkiye* toprak yapı yönetmelikleri incelenen ülkelerdir. *İngiltere*'ye ait atık verileri *Çizelge 2.1*'de; *Amerika*, *Yeni Zelanda* ve *Türkiye*'ye ait veriler ise *Çizelge 2.2*'de görülmektedir.

Çizelge 2.2 Amerika, Yeni Zelanda ve Türkiye’ye ait hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıkları miktarı (ton)

Zaman	İnşaat ve Yıkıntı Atığı Miktarı			Hafriyat Toprağı Miktarı		
	1995	1999	Yıllık	1995	1999	Yıllık
YER						
Amerika	-	-	101.500.000	-	4,7.000.000 ^b	-
Y.Zelanda	476.000 ^a	-	-	350.000 ^a	-	-
Türkiye	-	-	4-5 milyon ^c	-	-	40.000.000 ^c

^a Auckland bölgesi verilerine göre oluşan hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıkları miktarı

^b Massachusetts ‘te oluşan hafriyat toprağı miktarı

^c Türkiye’de her yıl depolanan hafriyat toprağı ve inşaat ve yıkıntı atığı miktarı

Amerika’da, yıllık inşaat ve yıkıntı atıkları miktarının 100 milyon tondan fazla (31.5 milyon ton inşaat atığı ve 70 milyon ton yıkıntı atığı) olduğu görülmektedir [27]. Yıllık hafriyat toprağı oluşum miktarı ile ilgili detaylı bilgi bulunamamakla birlikte bu oranın 1999 yılı verilerine göre Massachusetts’te 4.7 milyon ton olduğu belirtilmektedir [27],[41].

Yeni Zelanda verilerine göre inşaat ve yıkıntı atıkları toplam atık miktarının %50’sini; katı atık sahalarına giden atıkların %20’sini ve depolama (clean fill) sahalarına giden atıkların %80’ini oluşturmaktadır [43]. *Yeni Zelanda*’da hafriyat toprağı oluşum miktarı ile ilgili detaylı bilgi bulunamamıştır. Ancak *Ulusal Atık Verileri*’nde, 1995 yılı Auckland bölgesi verilerine göre oluşan 826.000 ton atığın 350.000 tonunun hafriyat atığı olduğu belirtilmektedir [44].

Türkiye’de yıllık depolanan hafriyat toprağı miktarı 40 milyon tondur [45],[46]. İnşaat ve yıkıntı atıklarının ise yıllık 4-5 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir [47]. Ancak bu oranların kentsel dönüşüm faaliyetleri ile birlikte artacağı düşünülmektedir.

2.7.3 Türkiye’de Hafriyat Toprağı ile İlgili Düzenlemeler

Türkiye topraklarının %66’sı birinci ve ikinci deprem bölgesidir. Dolayısıyla Türkiye nüfusunun %71’i deprem bölgelerinde yaşamaktadır. Yaşanan afetler sonucunda oluşan atıkların yok edilmesinde mevcut düzenlemelerin yetersizliğinden dolayı istenen verim alınamamaktadır. 1999 yılında yaşanan Marmara depreminde oluşan 13 milyon ton moloz, geri dönüşüm konusundaki düzenlemelerin ve uygulamaların yetersizliğinden dolayı denize veya boş alanlara dökülerek yok edilmiştir [26].

Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi ile ilgili çıkarılan yasa kapsamında başlatılan kentsel dönüşüm faaliyetleri önümüzdeki yirmi yıl boyunca atık miktarının artacağını göstermektedir. Bu kapsamda ilk olarak 1991 yılında çıkarılan ve 2005 yılında tekrar düzenlenerek yürürlüğe giren *Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıkları*

Kontrolü Yönetmeliği'nde; “Hafriyat toprağından başlayarak, inşaat ve yıkıntı atıklarına kadar genel çevre politikaları çerçevesinde bu atıkların çevreye zarar vermeden toplanması, biriktirilmesi, taşınması ve geri kazanılmasının amaçlandığı” belirtilmektedir [36].

Türkiye’de inşaat atıkları konusunda *Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği* ile birlikte;

- 2872 sayılı Çevre Kanunu,
- 5216 sayılı Büyükşehir Belediyesi Kanunu,
- 3194 sayılı İmar Kanunu,
- 5326 sayılı Kabahatler Kanunu
- Madencilik Faaliyetleri ile Bozulan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılması Yönetmeliği
- Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik
- Orman Kanunun 16. Maddesi Uygulama Yönetmeliği uygulanmaktadır [41].

Hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıklarının yönetiminde; oluşan atık miktarı ve içeriğine bağlı olarak ülkeden ülkeye değişiklik gösteren düzenlemeler bulunmaktadır. Türkiye’de ise kentsel dönüşüm faaliyetleri ile birlikte hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıklarının miktarında artış olacağı tahmin edilmektedir. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Ulusal Geri Dönüşüm Strateji Belgesi ve Eylem Planı 2014-2017 kapsamında inşaat ve yıkıntı atıklarının yıllık 4-5 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir [47]. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Atık Yönetimi Başkanlığı’nın yapmış olduğu çalışmalarda, Türkiye’de yıllık 45 milyon ton *inşaat ve yıkıntı atığının* kentsel dönüşüm kanunu ile birlikte ilk 3 yıl boyunca yıllık 10 milyon ton olacağı belirtilmiştir. Geri kazanılacak malzeme miktarının ise yıllık 6 milyon ton olacağı hesaplanmıştır [36], [47].

Yıllık depolanan hafriyat toprağı miktarı ise 40 milyon tondur [45],[46],[47]. Her yıl 125 milyon tonluk hacme sahip hafriyat toprağının yıllık olarak çeşitli şekillerde değerlendirilerek veya yok edilerek geri kazanımı amaçlanmaktadır. Avrupa Birliği’nin *Atık Çerçeve Direktifi* ile karşılaştırıldığında Türkiye’nin geri dönüşüme ilişkin bir hedefinin olmadığı görülmektedir [47].

Çalışmada; hafriyat toprağının ekotasarım kapsamında yapı üretiminde kullanılması irdelenmiştir. Bu nedenle, kentsel dönüşüm faaliyetlerinin yoğun olduğu *İstanbul ilinden* hareket edilerek oluşan *hafriyat toprağı* miktarına dikkat çekilmiş ve bu toprağın yeniden değerlendirilmesi ve yok edilmesine yönelik çalışmalar incelenmiştir.

Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliğı resmiyet kazanmadan önce İstanbul'da; inşaat ve yıkıntı atıkları şahıs ve kamu arazilerine bir izne ve planlamaya gerek duyulmaksızın dökülmekteydi [41]. Dolayısıyla yönetmeliğın yürürlüğe girmesinden önceki dönemlerde İstanbul'da hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıkları ile ilgili kesin rakamlara ulaşılammaktadır. Yönetmeliğın yürürlüğe girmesi ile bu alanda çeşitli düzenlemeler ve geri kazanım yöntemleri resmiyet kazanmıştır.

İstanbul ilinde üretilen hafriyat toprağı ile inşaat ve yıkıntı atıkları, İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından izin verilen madencilik vb. faaliyetleri sonucu zeminin bozulduğı yerlere dökülmektedir. Bu alanlarda, atık malzemeler çeşitli tekniklerle geri dönüştürölmekte veya yok edilmektedir [41]. “İnşaat faaliyetleri sonucu çıkan hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıkları ile karıştırılmamalı ve ayrı toplanmalıdır. Bitkisel toprak dışındaki hafriyat toprağı öncelikle dolgu malzemesi, rekreasyon, katı atık depolama sahaları için günlük örtü vb. amaçlarla kullanılmaktadır. Tekrar kullanımının mümkün olmadığı durumlarda depolanarak yok edilmektedir” [47].

• İstanbul Geneline Oluşacak Hafriyat Toprağı Miktarı

İstanbul'da bulunan 19 milyon konuttan 6,5 milyonunun *Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürölmesi* [48] ile ilgili yasa kapsamında yıkılmasıyla *önümüzdeki yirmi yılda* sadece İstanbul'da inşaat yıkıntı atığı miktarının 150 milyon ton olacağı düşünülmektedir [45]. Bu kapsamda, yapılan tespit ve belgeleme çalışmalarında; İstanbul'da *günlük* 150 bin ton hafriyat toprağı sirkülasyonunun olduğu ve hafriyat toprağının değerlendirilmesine yönelik çalışmalarda ise %20 kayıp yaşandığı belirtilmektedir [45]. Kentsel dönüşüm faaliyetleri ile atık oranının artacak olması geri dönüşümü zorunlu hâle getirmektedir. Bunun en kolay yolu ise atıkların çevreye zarar vermeyecek şekilde *üretildikleri yerde* azaltılmasıdır [49].

Hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıklarının hesaplanmasında kullanılan yöntemlerden biri de nüfusa dayalı tahminlerdir. İl bazında yapılan her türlü bakım/onarım, tadilat, yıkıntı ve inşaat faaliyetleri sonucunda oluşacak olan hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıklarının miktarının nüfusla orantılı olarak yıllık %3 artış/azalış göstereceğı kabul

edilmiştir [50]. İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma Müdürlüğü'nün ortaklaşa yaptıkları çalışmada, Uluslararası ve İstanbul şartları dikkate alındığında 2015 yılı için hafriyat toprağı üretim miktarı 1.739 ton/kişi/yıl iken inşaat ve yıkıntı atıklarının miktarı 0.232 ton/kişi/yıl olarak belirlenmiştir [51],[52]. Bu kapsamda İstanbul'da *ilçe bazında* nüfusa göre oluşabilecek hafriyat toprağı miktarı *Çizelge 2.3*'te görülmektedir.

Çizelge 2.3 2015 yılı nüfus verilerine göre İstanbul'da ilçe bazında oluşabilecek yıllık hafriyat toprağı miktarı (ton)

İLÇE	NÜFUS	MİKTAR (ton)	İLÇE	NÜFUS	MİKTAR (ton)
Adalar	15.623	27.168.397	Gaziosmanpaşa	501.546	872.188.494
Arnavutköy	236.222	410.790.058	Güngören	302.066	525.292.774
Ataşehir	419.368	729.280.952	Kadıköy	465.954	810.294.006
Avcılar	425.228	739.471.492	Kağıthane	437.942	761.581.138
Bağcılar	757.162	1.316.704.718	Kartal	457.552	795.682.928
+Bahçelievler	602.040	1.046.947.560	Küçükçekmece	761.064	1.323.490.296
Bakırköy	223.248	388.228.272	Maltepe	487.337	847.479.043
Başakşehir	353.311	614.407.829	Pendik	681.736	1.185.538.904
Bayrampaşa	272.374	473.658.386	Sancaktepe	354.882	617.139.798
Beşiktaş	190.033	330.467.387	Sarıyer	344.159	598.492.501
Beykoz	249.727	434.275.253	Silivri	165.084	287.081.076
Beylikdüzü	279.999	486.918.261	Sultanbeyli	321.730	559.488.470
Beyoğlu	242.250	421.272.750	Sultangazi	521.524	906.930.236
Büyükçekmece	231.064	401.820.296	Şile	33.477	58.216.503
Çatalca	67.329	117.085.131	Şişli	274.017	476.515.563
Çekmeköy	231.818	403.131.502	Tuzla	234.372	407.572.908
Esenler	459.983	799.910.437	Ümraniye	688.347	1.197.035.433
Esenyurt	742.810	1.291.746.590	Üsküdar	540.617	940.132.963
Eyüp	375.409	652.836.251	Zeytinburnu	289.685	503.762.215
Fatih	419.345	729.240.955			

Veriler doğrultusunda 2015 yılında oluşan yıllık hafriyat toprağı miktarı 25.489.457.726 ton, inşaat ve yıkıntı atıkları miktarı ise 3.400.524.688 tondur. İleriye yönelik hesaplamalarda ise nüfus projeksiyonlarından yararlanılmaktadır. İstanbul'da oluşacak *Hafriyat Toprağı / İnşaat ve Yıkıntı Atığı* miktarının hesaplanmasında nüfus projeksiyonlarına bakıldığında ortaya altı varsayım çıkmaktadır;

- **Varsayım 1:** Bugün görülen nüfus artış hızının değişmeden sürmesi
- **Varsayım 2:** Bugün görülen nüfus artış hızının 2045 yılında yarıya inmesi

- **Varsayım 3:** Bugün görülen nüfus artış hızının son altı sayımda görülen artış hızlarından çıkarılan regresyon eğrileri doğrultusunda azalacağı
- **Varsayım 4:** Son iki sayım döneminde görülen artış hızlarındaki değişimler doğrultusunda doğrusal olarak azalacağı varsayımı
- **Varsayım 5:** Nüfus artış hızının 2045 – 2050 döneminde 0-0,1 değerine inmesi
- **Varsayım 6:** Nüfus artış hızının 2045 – 2050 döneminde “sıfır” düzeyine inmesi

Varsayımlar temel alınarak oluşturulan nüfus projeksiyonlarında, oluşabilecek *Hafriyat Toprağı Miktarı* Çizelge 2.4’te, *İnşaat ve Yıkıntı Atıkları Miktarı* ise Çizelge 2.5’te görülmektedir.

Çizelge 2.4 Varsayımlara göre oluşacak hafriyat toprağı miktarı (ton) [41]

Yıllar	Varsayım -1	Varsayım -2	Varsayım -3	Varsayım -4	Varsayım -5	Varsayım -6
2015	27.959.405	26.667.751	27.324.044	27.959.405	26.210.401	28.435.767
2020	37.948.158	35.071.536	35.715.051	35.516.326	34.074.823	32.412.974
2030	69.896.079	59.232.136	58.325.325	51.882.492	55.752.314	50.195.177
2040	128.732.684	96.925.836	89.697.288	42.620.598	87.370.192	62.953.307
2050	237.049.987	153.653.492	129.878.400	26.453.558	131.122.108	63.953.708

Çizelge 2.5 Varsayımlara göre oluşacak inşaat yıkıntı atığı miktarı (ton) [41]

Yıllar	Varsayım -1	Varsayım -2	Varsayım -3	Varsayım -4	Varsayım -5	Varsayım -6
2015	3.727.921	3.555.700	3.643.206	3.727.921	3.494.720	3.391.436
2020	5.059.754	4.676.205	4.762.007	4.735.510	4.543.310	4.321.730
2030	9.319.477	7.897.618	7.776.710	6.917.666	7.433.642	6.692.690
2040	17.164.358	12.923.445	11.959.638	5.682.746	11.649.359	8.393.774
2050	31.606.665	20.487.132	17.317.120	3.527.141	17.482.948	8.527.161

Hazırlanan nüfus projeksiyonlarında, *Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı* ve *Devlet Planlama Teşkilatı* nüfus artış hızının 2045-2050 döneminde *sıfır* düzeyine ineceği varsayımını (Varsayım 6) kabul etmiştir [41],[50]. Bu kapsamda *Çizelge 2.4* ve *Çizelge 2.5*’ten elde edilen veriler doğrultusunda 2050 yılına gelindiğinde hafriyat toprağı miktarının 35.517.941 ton artarak yaklaşık %125 oranında artacağı; inşaat atığı miktarının ise %151.4 oranında artış göstereceği belirlenmiştir.

2009 yılı İstanbul verilerine (Nüfus: 12.573.836) göre hazırlanan *Çizelge 2.6*’da ise yok edilen ve geri kazanılan inşaat ve yıkıntı atığı miktarı ile hafriyat toprağı miktarı görülmektedir [26].

Çizelge 2.6 2006-2011 Yılları arası İstanbul’da yok edilen ve geri kazanılan hafriyat toprağı ve inşaat ve yıkıntı atığı miktarı [26]

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Toplam Miktar
Yok Edilen Hafriyat Toprağı Miktarı (Bin ton /gross ton)	2.999	18.354	16.796	16.257	24.100	47.709	126.215
Geri Kazanılan Hafriyat Toprağı Miktarı (Bin ton/gross ton)	-	1.389.986	102.421	175.540	34.356	35.996	1.738.299
Yok Edilen İnşaat Yıkıntı Atığı Miktarı (Bin ton/gross ton)	2.818	4.577	4.439	4.258	5.361	5.680	27.133
Geri Kazanılan İnşaat Yıkıntı Atığı Miktarı (Bin ton/gross ton)	-	-	12.819	77.826	73.200	116.952	280.797

Çizelge 2.6’den elde edilen veriler doğrultusunda 2010 yılında *Yok Edilen Hafriyat Toprağı Miktarının* 24.100 gross ton (bin ton) olduğu görülmektedir. Bu oran 2011 yılına gelindiğinde 20.609 gross ton artarak 47.709 gross ton olmuş ve yok edilen hafriyat toprağı miktarı %97.96 oranında artmıştır. Yine bu kapsamda 2010 yılında *Geri Kazanılan Hafriyat Toprağı Miktarı* 34.356 gross ton iken 2011 yılında bu oran %4.7 artarak 35.996 gross ton olmuştur.

YAPI MALZEMESİ OLARAK TOPRAK VE TOPRAK YAPI ÜRETİM TEKNİKLERİ

İnşaat faaliyetlerinin artmasıyla birlikte artış gösteren hafriyat toprağının depolamaya gerek kalmadan modern toprak yapı üretim teknikleriyle yapı üretiminde yeniden değerlendirilmesi mümkündür. Bu kapsamda İstanbul verilerinden yola çıkılarak oluşacak olan hafriyat toprağı miktarı bir önceki bölümde incelenmiştir. Bu bölümde doğal bir malzeme olan toprak gerecin sınıflandırılması, toprak çeşitleri, yapılan analizler ve toprak yapı üretim teknikleri incelenecektir.

3.1 Toprağın Sınıflandırılması

Toprak, oluşumu yüzyıllar süren doğal bir malzemedir. 1 cm'lik toprak tabakasının oluşabilmesi için en az 300 ile 1000 yıl arasında bir süreye ihtiyaç vardır [53]. Tarıma uygun, işlenebilir toprak tabakasının oluşabilmesi için ise 3000 ile 12000 yıl geçmesi gerekmektedir [54].

Çalışmada incelenen konu toprak gereci kapsadığından yapı üretiminde *Alan Kazılarında* çıkan toprak ve malzeme türlerinin bilinmesi, toprak malzemenin uygunluğunun değerlendirilmesi ve buna bağlı üretim esaslarının bilinmesi gerekmektedir. Alan atıkları her türlü bina yapım faaliyetleri sonucu oluşan atıklarla, doğal afetler sonucu oluşan *zemin kaynaklı atıkları* kapsamaktadır.

Yüzeysel Kazı Atıkları, bu tür atıklar toprağın 1-1,5 metresinde yapılan çalışmalarda oluşan atıklardır. Yüzeysel kazılar; yeni bir yapının yapılması durumunda temel için zeminin kazılması, mevcut yapının yıkılması sonucunda veya yapımı tamamlanan bir yapının çevresinin temizlenmesi durumunda gerçekleşmektedir. Yüzey kazılarında

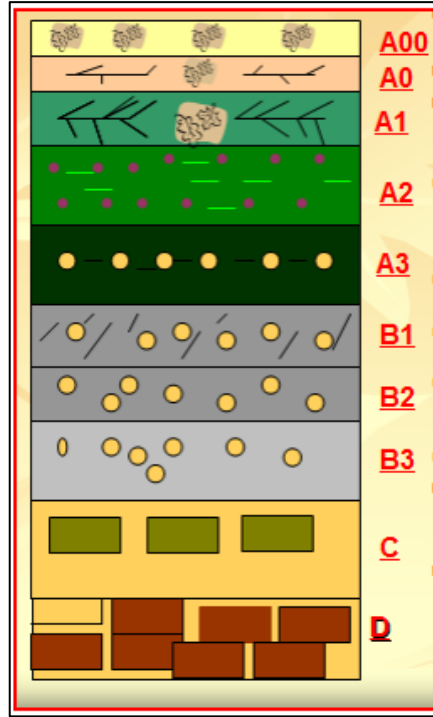
ıkan atık türleri; *toprak, bitki gibi organik esaslı malzemeler ve yapı kaynaklı atıklardır.*

Derin Kazı Atıkları: 1,5 metreden daha derin kazılarda çıkan atıklara *derin kazı atıkları* denilmektedir. Bu tür kazılar genellikle, temel kazıları için ya da yapıların söküm – yıkım faaliyetleri sonucu alanın temizlenmesi amacıyla yapılmaktadır. Derin kazılarda çıkan malzemeler; *Yumuşak ve sert toprak, yumuşak ve sert küskülük, yumuşak, sert ve çok sert kaya, bataklık ve balık* gibi ürünlerden oluşmaktadır [55].

Yapı retimi veya söküm yıkım faaliyetlerinde alan kazılarından çıkan malzemelerin toprak, taş vb. organik esaslı malzemeler olduğu görülmektedir. Toprağın yaklaşık 40-50 cm'lik kısmı bitki yetişmesine elverişli, humus bakımından zengin *bitkisel topraktır*. Bu kısım ayrı toplanmakta, yapı üretiminde tercih edilmemekte ve daha çok park ve bahçe düzenlemelerinde kullanılmak üzere çeşitli şekillerde değerlendirilmektedir. Yapı retiminde kullanılan toprak, bitkisel toprak altında kalan *alt toprak* tabakasıdır.

Yapı retiminde kullanılacak toprağın *killi* (kohezyonlu), *marnlı, puzolanlı* ya da *kumlu* toprak (kohezyonsuz) olması gerekmektedir. Bu kapsamda, toprağın iyileştirilmesinde kullanılan katkı maddeleri, toprağın türüne göre değişmektedir. rnek olarak, puzolanlı toprakların iyileştirilmesinde *kireç* iyi sonuç veren malzemelerden biridir. Termik santrallerden çıkan *uçucu küller* ise puzolonik özellik gösterdiğinden toprak malzemenin dayanımını artırmak için kullanılan malzemelerden biridir. [56]

Çeşitli katmanlardan oluşan toprak malzemed e yüzeyden ana materyale kadar olan dikine kesite *Toprak Profili* denilmektedir. Toprak profil katmanları A,B,C,D şeklinde sınıflandırılmaktadır. A ve B katmanları toprağın asıl kısmını oluştururken, her katman birbirinden farklı fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklere sahiptir (şekil 3.1) [57], [58].



Şekil 3.1 Toprak profili [58]

Toprak katmanları farklılaştıkça o katmana ait özellikler de değişmektedir. Şekil 3.1’de görülen toprak katmanları ve özelliklerine ait detaylı bilgi Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Toprak katmanları ve özellikleri [58]

KATMANLAR	ÖZELLİKLER
A00 katmanı	Yaprak ve organik atıkların bulunduğu katmandır
A0 katmanı	Kısmen ayrılmış organik atıkları kapsamaktadır
A1 katmanı	Büyük oranda organik madde ile mineral içeren koyu renkli katmandır
A2 katmanı	Genellikle iğne yapraklı orman ağaçları altında görülen, yıkanmış açık renkli topraktır
A3 katmanı	Kimyasal özellikler olarak A2’ye benzemektedir.
B1 katmanı	A ve B katmanları arasındaki geçiş katmanını oluşturmaktadır. Kimyasal özellikleri B2 katmanına benzemektedir
B2 katmanı	Kil mineralleri organik kolloidler demir ve alüminyum oksitler bakımından zengin olan katmandır
B3 katmanı	B ve C katmanları arasındaki geçiş katmanını oluşturmaktadır
C katmanı	Kısmen ayrılmış ana kayadan oluşan katmandır. Bu katmanda taşınmış ana materyal de olabilir.
D katmanı	Bu tabaka ana kayadan oluşabileceği gibi kil-kum tabakasından da oluşabilmektedir. Ancak genellikle kaya formunda olmaktadır. Katman taşınmış bir materyalden oluşuyorsa C katmanı ile bu katman arasında bir ilişki olmamaktadır

Toprak; organik ve mineral esaslı malzemeler ile hava ve sudan oluşmaktadır. Topraktaki gazların büyük bir kısmını dış ortamdan gelen ve toprağın boşluklu yapısını dolduran hava (bağıl nem, azot, oksijen, karbondioksit, hidrojen ve metan) oluşturmaktadır. Canlıların çıkardığı gazlar ve organik maddelerin çürümesi ile çıkan gazlar toprak yapısındaki diğer gaz türleridir. Toprağın yapısında bulunan su; atmosferik olaylar (yağmur gibi) ve atıkların çürümesi sonucunda oluşmaktadır [59].

Toprağın katı kısmı; çakıl ve kum gibi büyük çaplı malzemeler ile silt ve kil gibi daha küçük çaplı malzemelerden oluşmaktadır (Çizelge 3.2). “Toprak tanelerinin, kimyasal yapıları ve şekillerine bakılmaksızın sadece parçaların büyüklüklerine göre gruplandırılmasına *Toprak Fraksiyonu* denir. Aynı fraksiyonda yer alan toprak taneleri, fiziksel özellikleri bakımından benzerlik göstermektedir” [60].

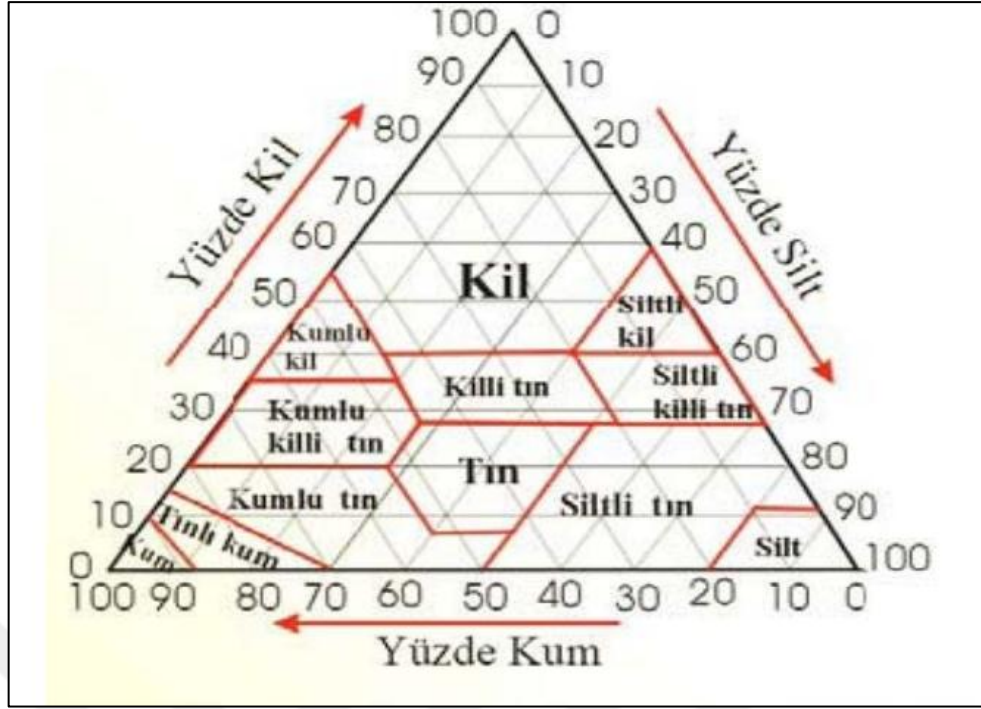
Çizelge 3.2 Malzeme ve çap sınırları [57]

Malzeme	Çap Sınırları
Çakıl	60,00 – 20,00 mm
Kum	2,00 – 0,02 mm
Silt	0,02 – 0,002 mm
Kil	0.002 mm'den küçük

“Toprak tanelerinin iriliklerine göre toprak kütlesi içerisinde dağılışları ve miktarı bünyeyi (tekstür) oluşturur“ [60]. Toprağın ait olduğu bünye sınıfı çeşitli metotlarla belirlenebilmektedir.

Kalitatif Metot; parmaklarla yapılan yoklama ile bölgede bulunan toprak sınıfının (killi, siltli vb.) kabaca tahmin edilmesidir. Bu yöntemle bilimsel sonuçlar elde etmek mümkün değildir.

Kantitatif Metot; bu metotla 100 gr toprak içerisindeki kum, kil ve silt miktarını yüzde olarak belirlemek mümkündür. Bulunan değerler *Tekstür Üçgenine* yerleştirilerek analizi yapılan toprağın hangi sınıfa ait olduğu belirlenebilmektedir (Şekil 3.2). “Tekstür Üçgeninin her bir kenarı bir fraksiyonun yüzde miktarını gösterecek şekilde yüzde bölümlere ayrılmıştır.” [58] Örneğin: %20 kil, %45 silt ve %35 kum içeren bir toprağın tekstür üçgeninden yararlanarak tekstür sınıfına bakıldığında toprağın tınlı toprak olduğu anlaşılmaktadır [60].



Şekil 3.2 Tekstür üçgeni [58]

- **Tekstür Sınıfına Göre Toprak Çeşitleri**

Tekstür sınıflarına göre toprak türleri dört başlık altında incelenmektedir. Bunlar;

Kumlu Topraklar

%85 oranında kum bulunduran topraklardır. Bu tür toprakların kil oranı az olduğundan su tutma kapasitesi az topraklardır.

- *Kum*; %85 ve daha fazla kum içeren topraklardır. Silt ve kil oranı düşüktür.
- *Tınlı – Kum*; %70 - %85 oranında kum içeren topraklardır. Silt oranı kile göre daha fazladır.

Sıtlı Topraklar

Bünyesinde %80'den fazla silt ve %12'den az kil bulunan topraklardır. Su tutma kapasitesi kumlu topraklara göre daha iyidir.

Tınlı Topraklar

Bu tür topraklar her üç fraksiyonun bir arada olduğu toprak türleridir. İdeal seviyede su tutma kapasitesine ve geçirgenliğine sahip topraklardır. Tınlı topraklar çeşitli başlıklar altında sınıflandırılmaktadır.

- *Tın*; yakın oranlarda kil, kum ve silt içeren toprak türüdür.

- *Kumlu – Tın*; %15 - %20 oranında kil ve %52'den fazla oranda kum ihtiva eden toprak türüdür. Yapısında az oranda silt bulundurmaktadırlar. Su geçirgenlikleri tınlı topraklara göre fazla, su tutma kapasiteleri az topraklardır.
- *Kumlu – Killi Tın*; bünyesinde %25 - %35 oranında kil, %45 veya daha fazla oranda kum ve %28'den daha az silt bulunduran topraklardır.
- *Siltli – Tın*; bünyesinde %50'den fazla silt, %12 - %27 oranında kil ve %20 - %50 oranında kum ihtiva eden toprak türüdür. Optimum seviyede su tutma özelliğine sahiptirler.
- *Silt (mil)*; bu tür toprakların bünyesinde %80'den fazla silt ve %12'den az kil bulunmaktadır. Su tutma kapasiteleri fazla olan topraklardır.

Killi Topraklar

Bünyesinde %40'tan fazla kil, %45'ten az kum ve %40'tan az mil bulunduran toprak türleridir. Kil oranının fazla olması su tutma oranının da fazla olmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla aşırı sulandığında hemen balçıklaşan topraklardır. Killi topraklar çeşitli başlıklar altında sınıflandırılmaktadır.

- *Siltli – Killi – Tın*; bünyesinde %40'a kadar kil ve %20'den daha az kum bulunduran topraklardır. Yüksek elastikiyet özelliğine sahiptir.
- *Killi – Tın*; bünyesinde %27 - %40 oranında kil ve %20 - %40 oranında kum ihtiva eden toprak türüdür. Islak olduklarında elastikiyet özellikleri yüksektir.
- *Kumlu – Kil*; bünyesinde %35 veya daha fazla oranda kil ve %45'ten fazla oranda kum bulunduran topraklardır. Islakken biraz elastikiyet gösterebilen topraklardır.
- *Siltli – Kil*; %40'tan fazla kil ve %40 veya daha fazla silt içeren topraklardır. Drenajları zayıf ve su tutma kapasitesi yüksektir.
- *Kil*; bünyesinde %40'tan fazla kil, %45'ten az kum ve %40'tan daha az silt bulunduran topraklardır. Bu tür toprakların su tutma kapasitesi fazla olurken, su geçirgenlikleri azdır. Elastikiyet özellikleri (kohezyon – adezyon) yüksektir [58], [60].

Toprak malzeme ile yapı üretiminde, toprakta aranan özelliklerden biri malzemenin *kil* içeriğidir. “Kerpiçte, agregayı bağlayıp rijitliği sağlayan, kimyasal maddelerle reaksiyona girip stabilize olan maddeler genellikle *kil* ve *siltlerdir*” [57]. Bu nedenle kil mineralinin özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir.

Toprak malzemenin yapısı genel olarak *Kohezyonlu* ve *Kohezyonsuz* olma durumuna göre incelenmektedir. *Kohezyonlu Toprak*; kil oranının fazla olduğu, plastik ve

kohezyonu (taneleri bağlayan çekim kuvveti) olan topraklardır. *Kohezyonsuz Toprak* ise; kum ve çakıl gibi malzemelerden oluşan, plastik özelliği ve kohezyonu olmayan topraklardır [59], [61]. Toprakta bulunan kilin türü ve oranı, toprak özelliklerinin büyük oranda değişmesine neden olmaktadır. “Killer toprak içinde, bir veya birkaç tür kil mineralinin kristalli parçacıklarının karışımından oluşmuşlardır” [57]. Bu kapsamda kil çeşitleri üç başlık altında toplanmaktadır.

Kaolinit Grubu; bir oktahedral tabakaya bağlı bir tetrahedral tabakadan oluşan, 1:1 tipi tabakalı silikatlatlardır. Bu kil türü *granit kayalardan* elde edilmektedir. Kaolinit grubu, kaolin minareleri arasında en yaygını olmakla birlikte şişmeyen bir mineraldir.

Montmorillonit Grubu; *Smektit* olarak da adlandırılan bu grup, zayıf Van der Waal's bağları nedeniyle su ile temas ettiğinde genişlemektedir. 2:1 tabaka yapısına (2 silis tetraederi tabakasıyla 1 adet merkezi dioktaedral veya trioktaedral tabaka) sahiptir. Montmorillonitlerin yüksek plastiklik ve kohezyon özelliği vardır. Su ve iyon emilimi için büyük yüzey alanına sahiplerdir. Bu nedenle katyon değişim kapasitesi oldukça yüksektir (80 – 120 me/100g).

İllit Grubu; illit mineralleri yapısal özellik bakımından mika mineraline benzerlik göstermektedir. Bu yapı; smektit (montmorillonit) grubunda olduğu gibi iki silis tetrahedra tabakası arasında yer alan Alüminyum oktahedraları şeklinde olmaktadır (2:1). İllit grubu, potasyum iyonlarının birim tabakalar arasında köprü oluşturması ve bunları bağlaması nedeniyle genişleme gösteremezler [62].

Toprak gereç ile yapı üretiminde toprağın hangi gruba ait olduğu belirlendikten sonra yapı üretiminde kullanılması durumunda uygunluğunun belirlenmesi için bazı testler yapılmaktadır. Kıvam limitleri olarak bilinen *Atterberg Limitleri*; toprağın rötire limitini, plastik ve likit limitini tanımlamak için kullanılmaktadır. Kuru toprağa eklenen su ile katı fazdan yarı katı faza geçen toprak, plastik ve sonrasında likit faza geçmektedir. Yarı katı ve plastik kıvam arasındaki aralıkta bulunan toprağın nem içeriğine *plastik limit* denilmektedir. Plastik ve likit limit arasında bulunan toprağın nem içeriğine ise *likit limit* denilmektedir. Plastik limit değerinin likit limitten çıkarılması ile bulunan değer ise *Plastiklik İndeksi* değerini vermektedir.

Likit limitin büyük olması, *sıkışabilirlik* değerinin ve *şişme - rötire eğiliminin* yüksek olması anlamına gelmektedir. Plastik İndeksinin büyük olması ise *düşük kayma dayanımı* göstermektedir. Bu tür topraklar kil bakımından zengin topraklardır. Killi

topraklar genel olarak Plastik Limit > 20 ve Likit Limit > 40 değerine sahip olan topraklardır. Plastiklik Endeksini değiştirmek için malzemeye belirli oranda kum veya kil eklenmelidir. Böylece Plastiklik Endeksi kum ekleyerek azaltılmış ve kil ekleyerek artırılmış olunur [57].

Kıvamı belirlenen toprak malzemenin; *elden bırakma deneyi*, *şerit deneyi* ve *küre deneyi* gibi deneylerle *plastiklik*, *rötre* ve *granülometri* bilgileri elde edilebilmektedir.

Şerit Deneyi; Toprak malzemenin plastikliğini ve yapışkanlığını tespit etmek için kullanılmaktadır. Islak toprak kütlesi el yardımıyla bir parmak kalınlığında şerit haline getirilir. Malzemenin belli bir uzunluğa kadar kopmadan sallanabilmesi gerekmektedir. Böylece hazırlanan toprak malzemenin uygun plastiklik ve yapışkanlığa sahip olup olmadığı tespit edilmektedir.

Küre Deneyi; Islak toprak kütlesi avuç içinde yuvarlanarak 2 cm çapında top haline getirilir. Aynı özelliklere sahip malzemeden birkaç numune daha hazırlanarak, güneş altında kurumaya bırakılır. Tamamen kuruyan malzemeler, başparmak ile parmaklar arasında sıkıştırılır. Üretilen malzemelerin hiç biri kırılmamalıdır [57].

Toprağın yapısı, uygulanacak toprak yapım tekniğinin belirlenmesi için önemlidir. Bu kapsamda toprak yapı üretiminde kullanılacak teknik, toprak yapısına göre değişiklik göstermektedir. Dolayısıyla hem üretim öncesi toprak malzemenin yapısının belirlenmesinde hem de üretimden sonra kalite kontrol amaçlı uygulanan testler gerekli kriterlerin karşılanması açısından önemlidir.

3.2 Yapı Malzemesi Olarak Toprak ve Toprak Yapı Üretim Teknikleri

Toprak gereç, çimentonun keşfi ve ilk betonarmeme yapıların yapılmasından önce farklı medeniyetler tarafından yapı malzemesi olarak tercih edilmiş ve kullanılmıştır. Dolayısıyla çok eski çağlardan günümüze kadar gelebilmiş toprak yapılar mevcuttur. İnsanoğlunun toprak yapıları ne zamandan beri kullandığına dair kesin bir bilgi olmamakla birlikte M.Ö 8000 - 6000 yılları arasından Türkmenistan'da bulunan kerpiç tuğlalar nedeniyle M.Ö 9000 yılından fazla bir zamandır kullanıldığı sanılmaktadır. Torgal ve Jalali, toprağın yapı malzemesi olarak kullanımının Mezopotamya'da M.Ö 5000-4000 yıllarına uzandığını ve en eski kerpiç tuğlanın M.Ö 7500 yıllarına ait olup Dicle Nehri havzasında bulunduğunu belirtmektedir. Bu nedenle toprak yapıların yaklaşık 10.000 yıldan fazla bir zamandır kullanıldığı sanılmaktadır [63].

Günümüzde Blondet ve Garcia, “*Dünya nüfusunun yaklaşık %30’unun, gelişmekte olan ülkelerde ise nüfusun %50’sinin*” [64] Lyamuya ve Alam ise, “*Dünya nüfusunun %50’sinin toprak gereç ile üretilen yapılarda yaşadığını belirtmektedir*” [65]. Dolayısıyla toprak yapılar günümüzde de insanlar tarafından tercih edilmekte, üretilmekte ve farklı amaçlar için kullanılmaktadır.

Toprak yapı üretiminde ise toprağın yapısı, uygulanacak toprak yapı üretim tekniğinin belirlenmesi açısından önemlidir. Üretimde kullanılacak toprağın belirli oranlarda kil içermesi aranan özellikler arasındadır. İnşaat alanının yapım faaliyetlerine hazırlanması sırasında kazı işleri sonucu çıkan toprak olarak nitelendirilen hafriyat toprağı [55]; toprak yapısının uygun olması durumunda yapı üretiminde kullanılabilir. Bu kapsamda, alan kazıları sırasında bitkisel toprak tabakasının ayrılması ve ayrı toplanması gerekmektedir. Toprak malzeme ile yapı üretiminde bitkisel toprak kullanılmamalıdır. Yapı üretiminde kullanılacak kısım, *alt toprak* tabakasıdır. Bu kapsamda inşaat alanında yapılacak sondaj çalışmaları ile alınacak numunelerden uygun nitelikteki toprağın hangi katmanda olduğunun belirlenmesi gerekmektedir. Bu katmanlar organik madde (bitki vb.) içermeyen, toprağın alt katmanlarıdır. Bölgede bulunan toprağın yapı üretiminde kullanılabilmesi için uygunluğunun belirlenmesi ve üretime hazırlanması gerekmektedir

Toprak gereç ile yapı üretimi çok eski çağlardan beri insanlar tarafından tercih edilmekte ve üretilmektedir. Günümüzde; modern toprak yapı üretimi çeşitli tekniklerle standart ve yönetmeliklere bağlı olarak üretilmektedir. Türkiye’de ise kentsel dönüşüm faaliyetleri ile artış gösteren hafriyat toprağının değerlendirilmesinde toprak malzeme ile yapı üretiminden yararlanılmalıdır. Bu kapsamda öncelikle yapı üretiminde kullanılacak olan toprak analiz edilerek eldeki malzemeye uygun üretim tekniğinin belirlenmesi, çeşitli tasarım kriterleri ve uygulamalarla üretiminin yapılması gerekmektedir.

Bu bölümde, eski çağlardan beri kullanılan ve günümüz ihtiyaçlarına göre modernize edilen toprak yapı teknikleri incelenmekte ve bu tekniklerle üretilmiş modern toprak yapılara ait örnekler gösterilmektedir. Teknikler; *Kerpiç Tekniği (Adobe)*, *Dökme Toprak Tekniği (Cob)*, *Omurgalı Kerpiç Tekniği (Wattle and Daub)*, *Yerinde Dökme Toprak Tekniği (Poured Earth)*, *Hafif Toprak Tekniği (Light Earth)*, *Sıkıştırılmış Toprak Tuğla Tekniği (Pressed Earth Brick)*, *Sıkıştırılmış Toprak*

Tekniği (Rammed Earth) ve PISE(Pneumatically Impacted Stabilized Earth Walls) tekniği olmak üzere çeşitli başlıklar altında incelenmektedir.

- **Kerpiç Tekniği (Adobe)**

Kerpiç, balçıktan yapılan ve kalıplanarak güneşte kurutulan çığ tuğladır. Killi toprağa saman sapları vb. malzemeler eklenerek suyla karılması sonucu oluşan karışım kalıplara doldurulur ve önce gölgede sonrada güneşte kurumaya bırakılarak üretim yapılır [66], [67].

Türkiye’de toprak yapılara verilebilecek en güzel örnek Çatalhöyük’tür. Günümüzden 9 bin yıl önce Orta Anadolu’da yer alan Çatalhöyük, çok geniş bir Neolitik ve Kalkolitik yerleşim yeridir. Höyüklerde kabaca 2 bin yıl iskân edildiği düşünülmektedir. Höyükte yer alan konutlar dikdörtgen planlı olup kerpiç tuğlalarla inşa edilmiştir (Şekil 3.3) [68], [69].



Şekil 3.3 Çatalhöyük güney kısmı kazıları [70]

Modern kerpiç yapılara örnek olarak 2012 yılında Marmaris Turunç’ta yapılan anaokulu ve yemekhane binası gösterilebilir. Projenin kaba yapısı iki ayda tamamlanmış ve ince işler için daha küçük bir ekip çalışmıştır. Projeye; İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Marmaris İlçe Milli Eğitim Müdürlüğü ve Turunç Belediyesi destek vermiştir (Şekil 3.4) [71].



Şekil 3.4 Marmaris Turunç Saadet Zeki Ünsal ilköğretim okulu, anaokulu ve yemekhanesi [71]

Modern kerpiç yapılara, Mimar *Nicolas Coeckelberghs* ve *Dorian Vauzelle Mamoth*'un yöresel işçilerle birlikte Fas'ın Aknaibich kasabasında yöresel tekniklerle inşa ettikleri okul örnek olarak gösterilebilir. Projede; bölgede bulunan taş malzemedен temeller, duvarlarda ise kerpiç tuğlalar kullanılmıştır. Duvarlar toprak, saman ve kumdan oluşan bir karışım ile sıvanmıştır (Şekil 3.5) [72].



Şekil 3.5 Fas - Aknaibich kerpiç okul [72]

- **Alçı Katkılı Kerpiç Tekniği (Alker)**

Kerpicingin alçı ile iyileştirilmesi olan ALKER Tekniği; killi topraklara kullanılacağı yere ve amaca göre belirli oranlarda *kireç*, *alçı* ve *suyun* katılmasıdır. Teknikle, hazırlanan karışımın pişirilmeye gerek kalmadan fiziksel ve mekanik özellikleri geliştirilmektedir. Tekniğin en önemli özelliği karışıma *alçının* katılmasıdır. Alçı su ile birleştiğinde yaklaşık 10 dakikada sertleşebilmektedir. Karışıma toprak katıldığında ise bu süre 20 dakikaya kadar çıkabilmektedir. Bu nedenle üretimi hızlı ve dayanıklıdır. Bu teknikle üretilmiş modern yapılara örnek olarak İstanbul Teknik Üniversitesi, Ayazağa Yerleşkesi'nde bulunan *Deneme Evi* gösterilebilir (Şekil 3.6) [56].



Şekil 3.6 İstanbul Teknik Üniversitesi, Deneme Evi, Ayazağa Yerleşkesi [73]

- **Dökme Toprak Tekniği (Cob)**

Kalıp kullanılmadan üretim yapılan bir tekniktir. Nemli ve killi toprak içine saman katılarak hazırlanan karışım, sıkıştırılarak belli bir form oluşturulur. Bu tarz yapılarda kalıp kullanılmadığından daha heykelsi formlar ortaya çıkmaktadır (Şekil 3.7) [66].



Şekil 3.7 Dökme toprak tekniği ile inşa edilmiş ev [74]

Bu teknikle inşa edilen modern yapılara örnek olarak *Mimar Peter Vetsch*'in Schweize, Flurlingen'de yaptığı yapı gösterilebilir (Şekil 3.8) [75].



Şekil 3.8 Dökme toprak yapı Schweize, Flurlingen [75]

- **Omurgalı Kerpiç Tekniği (Wattle and Daub)**

Taşıyıcı sistemi ahşap olan bu yapılar, dikmeler ve destekler arasında kalan panellerin taşıyıcı özelliği olmayan toprak malzeme ile doldurulması ile oluşmaktadır. Üretimi kolay olan bir tekniktir. İnce ahşap şeritler örülerek üzeri *toprak*, *kil* ve *saman* karışımı bir malzeme ile sıvanır (Şekil 3.9, Şekil 3.10) [66], [76].



Şekil 3.9 Omurgalı kerpiç tekniği uygulama [76]



Şekil 3.10 Omurgalı kerpiç tekniği [76]

Bu teknikle inşa edilen modern yapılara örnek olarak Tayland'daki *Panyaprateep Okulu* gösterilebilir. Şekil 3.11'de görülen yapı, *Panyaprateep okulu sanat sınıfı* olarak kullanılmaktadır. Yapının duvarları *omurgalı kerpiç tekniği*, döşemesi ise sıkıştırılmış toprak tekniği ile inşa edilmiştir [77].



Şekil 3.11 Panyaprateep okulu sanat sınıfı [77]

- **Yerinde Dökme Toprak Tekniği (Poured Earth)**

Teknik; bağlayıcı olarak genellikle çimentonun kullanıldığı bulamaç halindeki toprağın yerinde dökme beton gibi kalıplara püskürtülerek veya doldurularak bir form oluşturulması sistemine dayanmaktadır. Betondan en büyük farkı ise agrega yerine normal toprağın kullanılmasıdır. Bu teknikle inşa edilmiş yapılar 800-1200 psi basınç

dayanımına sahip olmalıdır. Bu nedenle malzemenin testlerle uygunluğu belirlenmelidir. Malzemenin dayanımını artırmak için katkı maddesi olarak karışıma uçucu kül ve kirecin katılması durumunda çimento miktarı %50'ye kadar azaltılabilmektedir. Çimento miktarını azaltmak için katkı maddesi olarak Magnezyum oksit de tercih edilmektedir (Şekil 3.12, Şekil 3.13) [66],[78].



Şekil 3.12 Yerinde dökme toprak tekniği uygulama [78]



Şekil 3.13 Yerinde dökme toprak tekniği [78]

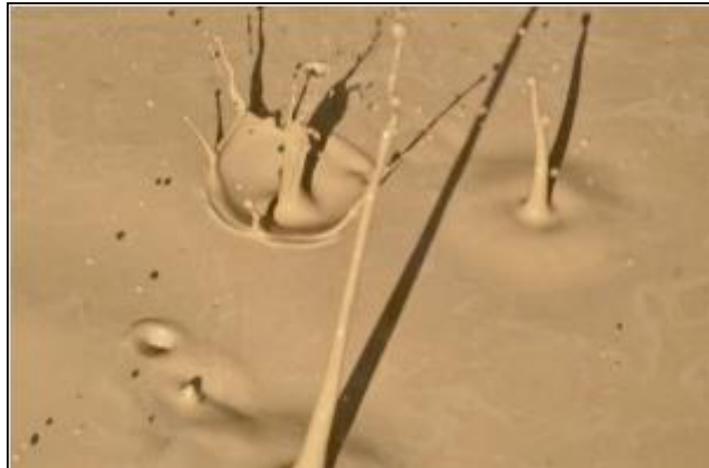
Teknikle inşa edilen modern yapılara *Atelier Koe* mimarlığın 2015 yılında Senegal'de yaptığı *Khamsa Evi* gösterilebilir. 350 m² alana sahip evin yapımında çimento ile güçlendirilmiş (%8 oranında) sıkıştırılmış toprak tuğla kullanılırken, ek binaların yapımında *yerinde dökme toprak tekniği* kullanılmıştır (Şekil 3.14) [79].



Şekil 3.14 Sıkıştırılmış toprak tuğla ve yerinde dökme toprak teknikleri ile inşa edilmiş Khamisa evi, Senegal [79]

- **Hafif Toprak Tekniği (Light Earth)**

Bu teknikte öncelikle killi toprak tabakası su ile karıştırılarak kremesi bir bulamaç oluşturulmaktadır (clay-slip). Bulamacın saman, talaş veya uygun olan diğer dolgu malzemeleri ile oluşturulması gerekmektedir. Bütün malzemeler elle karıştırılabileceği gibi karıştırma işlemi uygun olan makineler de yapılabilmektedir. Dolgu malzemesi olarak kullanılacak samanın kuru olmasına dikkat edilmelidir. Bu tarz yapıların taşıyıcı özelliği yoktur. Taşıyıcı olarak ahşap sistemler tercih edilebilir. Taşıyıcı sisteme monte edilen kalıp, hazırlanan karışım ile doldurularak monolitik bir form oluşturmak için hafifçe sıkıştırılır. Sonrasında kurumaya bırakılır (Şekil 3.15, Şekil 3.16) [80], [81]



Şekil 3.15 Hafif toprak tekniğinde kremesi bulamaç [80]



Şekil 3.16 Hafif toprak tekniğinde kalıp [80]

Bu teknikle inşa edilen modern yapılara örnek olarak *Mimar Martyn Evan*'ın *Yeni Zelanda, Kaikobe-Northland* yakınlarında 1996 yılında inşa edilen ve yaklaşık 180 m²'lik alana sahip konut projesi gösterilebilir. Geniş saçaklarla çevrili olan yapıda; taşıyıcı sistem olarak ahşap, toprak karışımında ise talaş ve saman kullanılmıştır. Yapının iç ve dış yüzeyleri kireç sıva ile sıvanmıştır (Şekil 3.17) [81].



Şekil 3.17 Hafif toprak ev, Yeni Zelanda [81]

- **Sıkıştırılmış Toprak Tuğla (Pressed Earth Brick) Tekniği**

Sıkıştırılmış toprak tuğla, toprağın yüksek basınçlı makinelerle sıkıştırılıp form verilmesi ile üretilmektedir. Katkı malzemesi (çimento gibi) kullanılarak üretilmiş olanlarına *stabilize edilmiş sıkıştırılmış toprak tuğla* denilmektedir (Şekil 3.18) [82]. Çalışmalar, sıkıştırılmış toprak tekniği ile üretilmiş tuğlaların %100 oranında geri dönüştürülebildiği dolayısıyla atık oluşturmadığını göstermektedir [83].



Şekil 3.18 Sıkıştırılmış toprak tuğla [84]

Teknikle inşa edilmiş modern yapılara örnek olarak *Atelier Tekuto* (Tokyo) mimarlığın 2008 yılında başlattığı *Toprak Blok Projesi* (konut projesi) gösterilebilir (Şekil 3.19, Şekil 3.20). *Atelier Tekuto*'nun öncelikli amacı ekonomik değişimlerden etkilenmeyecek ve çevre dostu malzeme kullanımını artıracak projeler üretmektir. Bu nedenle toprak malzeme tercih edilmiştir. Killi toprak içine katılan *magnezyum oksit* ile toprağın dayanımı ve ömrü artırılmış, Japon yapı standartlarına uygun hale getirilmiştir. *Magnezyum oksit* dünyanın her yerinde bulunabilen, toksik olmayan ve geri dönüşebilen bir malzemedir. Yapının inşasında 2600 toprak tuğla kullanılmış ve Japon yapı standartlarına uygun olarak inşa edilmiştir. Duvar kalınlığı 400 mm'dir. Japon yapı standartları gereği, her on metrede bir destek duvarlarının yapılması (supportive walls) ve binanın üst kısmından beton veya çelik bağlama kirişleri ile bağlanması gerekmektedir [85].



Şekil 3.19 Toprak blok projesi iç mekân, Atelier Tekuto, Tokyo [85]



Şekil 3.20 Toprak blok projesi, Atelier Tekuto, Tokyo [85]

Sıkıştırılmış toprak tuğla tekniği ile inşa edilmiş yapılara bir diğer örnek ise 2016 *Venedik Bienalinde* Afrika'nın uzak bölgelerine insansız hava araçları ile tıbbi malzeme nakletmek için tasarlanmış *Droneport Projesidir*. Proje, *Norman Foster Foundations*'ın projesi olarak sergilenmiştir. Tonozlu form, iki katman olarak tasarlanmış ve *Durabric* olarak adlandırılan sıkıştırılmış toprak tuğlalardan inşa edilmiştir. Tuğlalar (*Durabric*), sürdürülebilir inşaat için LafargeHolcim vakfı tarafından, Zürih ETH'den Block Research Group ve Toulouse'deki MecoConcept'te bulunan araştırmacılarla geliştirilmiştir (Şekil 3.21, Şekil 3.22) [86].



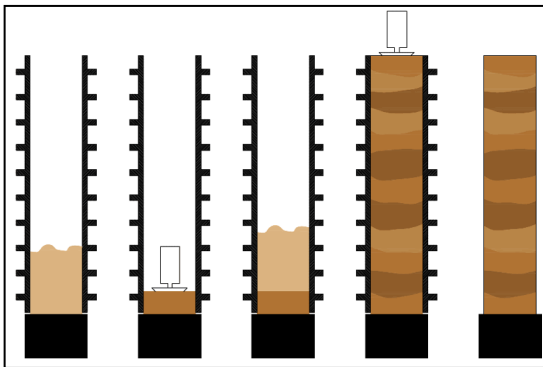
Şekil 3.21 Norman Foster droneport projesi [86]



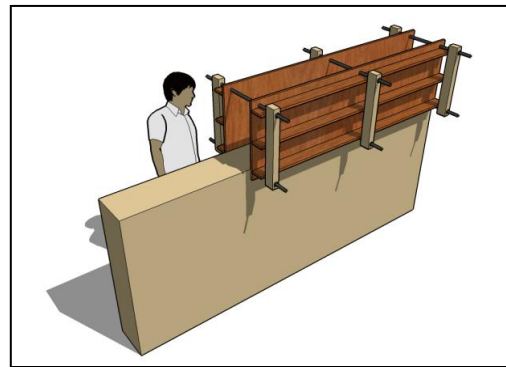
Şekil 3.22 Norman Foster droneport projesi görünümü [86]

- **Sıkıştırılmış Toprak (Rammed Earth) Tekniği**

Sıkıştırılmış toprak tekniği belli özelliklere sahip killi alt toprak tabakasının hazırlanan kalıplar içine dökülüp sıkıştırılması mantığına dayanmaktadır. Ancak bu teknik temelde aynı kalıp günümüz ihtiyaçlarına göre modernize edilmiştir. Teknik hemen hemen her bölgede uygulanabilmektedir. Geliştirilen teknik ile duvarlar; inşaat için uygun olduğu belirlenen alt toprak tabakasına belirli oranlarda *çimento*, *uçucu kül* veya *kireç* gibi malzemeler eklenerek hazırlanan kalıplar içine dökülüp sıkıştırılmasıyla oluşturulmaktadır. Sıkıştırma işlemi tokmakla yapılabileceği gibi bu işlem için uygun titreşimli aletlerle de yapılabilmektedir (Şekil 3.23, Şekil 3.24). Kalıplar, üretilen duvar tamamen kurumadan çıkarılabilir. Deprem bölgelerinde donatısız veya çok az takviyeli toprak yapıların deprem dayanımını artırmak için güçlendirilmeleri gerekmektedir [66].



Şekil 3.23 Toprağın sıkıştırılması [87]



Şekil 3.24 Duvarın üretilmesi [88]

Geleneksel sıkıştırılmış toprak yapılarda katkı maddesi olarak *kireç* ve *bitüm* gibi malzemeler kullanılırken, günümüzde bu yapıların üretiminde katkı maddesi olarak *çimento* tercih edilmektedir. Bu kapsamda *Avusturalya*, *New Mexico* ve *Yeni Zelanda* yönetmeliklerinde toprak dayanımını artırmak için katkı malzemesi olarak genellikle çimentonun tercih edildiği görülmektedir. Çimento miktarı kullanılan toprak miktarının %3-10'u civarındadır [89],[90].

Bölgede bulunan toprak ya da hafriyat toprağı, toprak yapısının uygun olması durumunda toprak yapı üretiminde kullanılabilir. Bina üretiminde bölgedeki malzemelerin kullanılması betonarme binalara kıyasla enerji tüketimini 2 kat, ulaşımın yarattığı etkileri ise 4,5 kat azaltmaktadır. Çalışmalar, duvarların ve döşemelerin üretimi için harcanan enerjinin ve inşaat alanına taşınan malzeme miktarının bir evin gömülü enerjisinin %50'sini oluşturduğunu göstermektedir. Betonarme bir konutun enerji tüketimi 239Gj olarak belirlenirken, beton bir evin taş kâgir bir eve kıyasla (97Gj) yaklaşık 2,5 kat; sıkıştırılmış topraktan yapılmış bir eve kıyasla (70Gj) ise 2,4 kat oranında daha fazla enerji tükettiği saptanmıştır. Bu kapsamda bölgede bulunan toprağın, sıkıştırılmış toprak tekniğı ile yapı üretiminde kullanılması durumunda çevresel sorunların 6,4 kat, ulaşımdan kaynaklı çevresel sorunların ise 4,8 kat oranında azaldığı görülmektedir [91].

Torgal ve Jalali; İngiltere'de her yıl toprak yapı inşaatı için 24 milyon ton toprağın yeniden kullanılarak değerlendirildiğini; sıkıştırılmış topraktan yapılmış 92 m²'lik bir evin aynı ebatta tuğla ile yapılmış bir eve göre karbondioksit salımının 7 kat, betonarmeye göre ise 14 kat daha az olduğunu belirtmiştir. Bu kapsamda İngiltere'deki betonarme yapıların sadece %5'inin toprak yapılarla değiştirilmesi durumunda CO₂ salımının 100.000 ton düşeceği ifade edilmiştir [63]. Tekniğın, uygun toprak karışımı elde edildikten ve gerekli testler yapıldıktan sonra üretiminin kolay olması ve farklı iklim yelpazesinde uygulanabilir olması tercih edilmesinin nedenlerinden biridir.

Bu teknikle inşa edilmiş en eski yapı Çin Seddidir (M.Ö 221-M.S 608). “Çin Seddi, aynı zamanda dünyanın en büyük ve uzun savunma amaçlı yapılmış duvarıdır” (Şekil 3.25) [92].



Şekil 3.25 Çin Seddi [92]

Sıkıştırılmış toprak tekniği ile inşa edilmiş modern yapılara örnek olarak; *Hotson Bakker Boniface Haden Architects + Urbanistes* mimarlık şirketi tarafından 2006 yılında yapılan *Nk'Mip Desert Cultural Center* projesi gösterilebilir. Kanada çölü, British Columbia'da (Osoyoos - Güney Okanagan vadisi) bulunan kültür merkezi Kuzey Amerika'nın en büyük sıkıştırılmış toprak yapısıdır. Yapı, 200 hektarlık bir planın parçası olarak inşa edilmiştir.

Yapının çölde inşa edilmiş olması -18 dereceden +33 dereceye kadar (yazın +40 dereceye ulaşabilmektedir) sıcaklık farklarına dayanıklı olmasını gerektirmektedir. Bu nedenle bina iklim ve bölge koşullarından azami seviyede yararlanacak şekilde tasarlanmıştır. Bu kapsamda binanın kısmen gömülmesi yapıyı büyük sıcaklık farklarından korumaktadır. Güney ve batı yönlerde açılan ufak pencereler ile güneş enerjisinden maksimum düzeyde yararlanılmaktadır.

Yapı 80 metre uzunluğunda, 5.5 metre yüksekliğinde ve 600 mm kalınlığında sıkıştırılmış toprak duvarlardan oluşmaktadır. Duvarların yalıtılması aşırı sıcaklık değişimlerine karşı yapının zarar görmesini engellemektedir. Yapının inşasında bölgede bulunan toprak kullanılmıştır. Toprak karışımına dayanımı artırmak için *çimento* ve estetik amacıyla çeşitli *renk pigmentleri* katılmıştır. Projede iç ve dış mekân düzenlemesinde bölgede bulunan malzemelerin kullanılmasına dikkat edilmiştir. Yapının gündüz ısınan toprak duvarları, gece ısıyı içeri vererek iç mekânın belli bir sıcaklıkta kalmasını sağlamaktadır (Şekil 3.26) [93].



Şekil 3.26 Nk'Mip Desert kültür merkezi, British Columbia [93]

Sıkıştırılmış toprak yapılara diğer bir örnek ise *Herzog & de Meuron*'un yedinci projesi olan ve bir çeşit bitkisel üretimin yapıldığı (Swiss Herbal Sweet Manufacturer Ricola) tesistir (Şekil 3.27) [94].

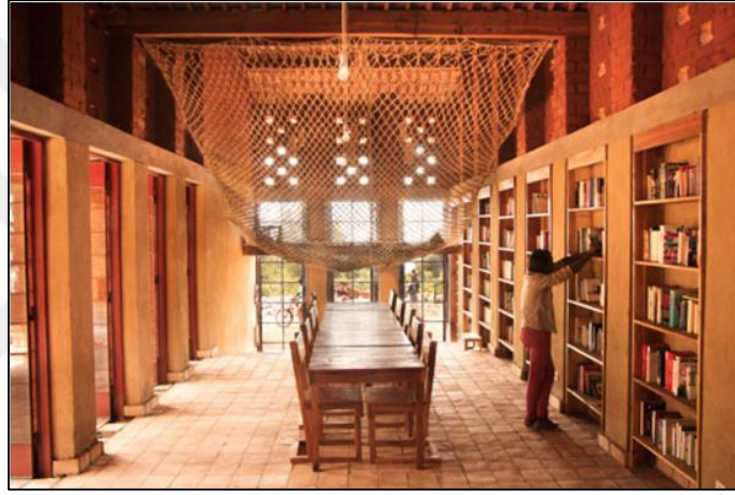


Şekil 3.27 İsviçre Bitki İşleme Tesisi [94]

Sıkıştırılmış toprak yapılara başka bir örnek olarak Burundi, Afrika'daki çocuk kütüphanesi gösterilebilir. Proje *BC Architects and Studies* (Belçika) ve yerli halk tarafından inşa edilmiştir (Şekil 3.28, Şekil 3.29) [95].



Şekil 3.28 Burundi, Afrika'da çocuk kütüphanesi [95]

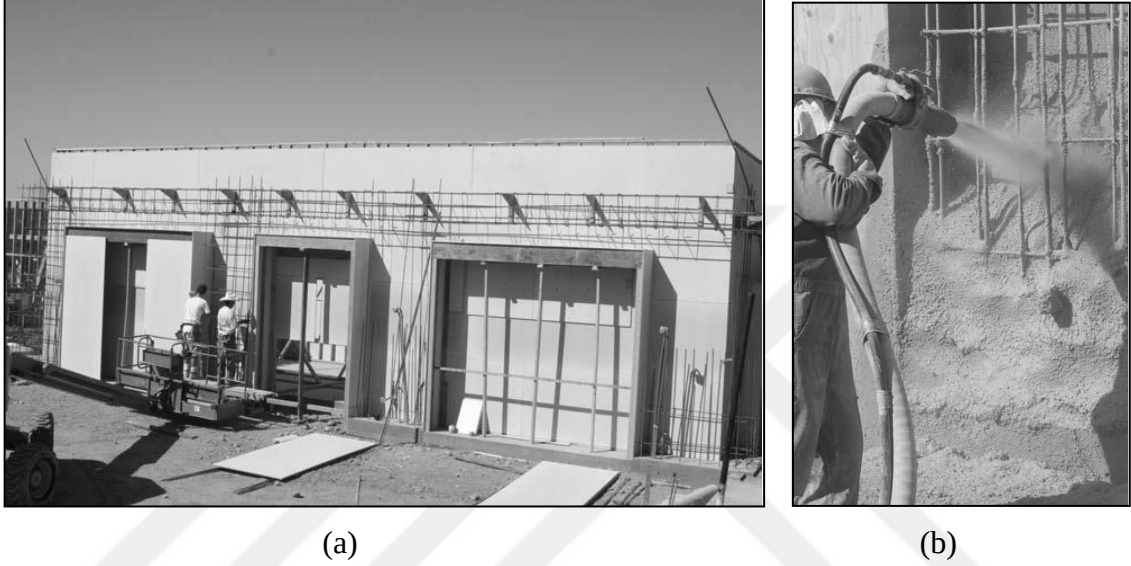


Şekil 3.29 Burundi, Afrika çocuk kütüphanesi iç mekân [95]

- **PISE (Pneumatically Impacted Stabilized Earth Walls) Tekniği**

PISE, toprak ve kil kullanarak dayanıklı ve taşıyıcı özelliği olan duvar inşa etme tekniğidir. Teknik ilk kez 1980'li yıllarda mühendis *David Easton* tarafından uygulanmıştır [96]. Bu teknikle yapılmış ilk uygulamalar *Kuzey Kaliforniya*'da bulunmaktadır. Uygulamanın hızlı ve son ürünün dayanıklı olması tekniğin tercih edilme nedenlerinden biridir. PISE tekniği; kuru toprak ve çimento karışımının basınçlı bir hortum ile püskürtülmesi mantığına dayanmaktadır. Teknikte kullanılan kuru toprak – çimento karışımı uygulama aşamasında hortumun çıkış kısmında su ile birleştirilerek işleme uygun hâle getirilir ve tek taraflı bir kalıba püskürtülerek uygulama yapılır. İşlemden kullanılan ekipmanlar püskürtme beton tekniğinde kullanılan ekipmanlara benzemektedir. Sıkıştırılmış toprak tekniğinden farklı olarak bu teknikte kullanılan kalıp tek taraflıdır. Panellerin üretiminde çelik, metal, ahşap, dayanıklı yalıtım levhaları

vb. malzemeler kullanılabilir. Kalıplar, hazırlanan plana göre oluşturulduktan sonra uygulama sırasında dağılmaması için düzgün bir şekilde birleştirilmesi gerekmektedir. Kalıbın genişliği, duvarın bitmiş haldeki genişliğine eşit olmalıdır (Şekil 3.30 a-b). Kolon ve kirişlerin üretiminde iki kenarın kalıplarla oluşturulması ile üretim yapılmaktadır [66]. Bu teknikle üretilen duvarlarda öncelikle duvarın formu oluşturulur, elektrik tesisatı ve sıhhi tesisat yapıldıktan sonra son aşama olarak PISE tekniği ile uygulamaya geçilir.



Şekil 3.30 (a) PISE tekniğinde kullanılan kalıp (b) PISE tekniği ile uygulama [66]

0.45 m (18 inch) kalınlığında bir toprak duvarın inşası için $76-117 \text{ m}^3$ (40-60 cubic yard) toprak gerekirken, PISE tekniği ile üretim yapılması durumunda günlük üretim miktarı $30-45 \text{ m}^3$ olmaktadır. Bu oran mekanik araçlarla üretilen sıkıştırılmış toprak tekniğinde günlük $7-11 \text{ m}^3$ (10-15 cubic yard) civarındadır [97]. Dolayısıyla PISE tekniği ile 0.45 m (18 inch) kalınlığında ve yaklaşık 92 m^2 'lik (1000 square feet) bir duvarın inşası deneyimli bir ekiple bir gün sürmektedir [98]. PISE tekniği ile çok katlı yapı üretimi tasarım kriterlerine uyulduğu takdirde üretilebilmektedir.

Tekniğin modern bir örneği olarak, *Mimar Eric Haesloop*'un yaptığı *Kavner Evi* gösterilebilir. Yapı, California'da sahile yakın bir bölgede bulunmaktadır. Yapının gün boyunca ısınan toprak duvarları, sıcaklığın düştüğü akşam saatlerinde ısıyı iç mekâna vermektedir. Böylece iç mekân sıcaklığı belli bir seviyede kalmaktadır. Ayrıca yapının inşası sırasında hafriyat toprağının kullanılması karbon salınımını azaltmaktadır (Şekil 3.31) [99].



Şekil 3.31 Kavner Evi, California [99]

Dünya çapında giderek daha fazla ülkenin toprak yapı ürettiği görülmektedir. Bu kapsamda *Avusturalya* en fazla modern toprak yapıya sahip ülkedir. 1990 yılında *Margaret River* WA bölgesinde bulunan modern sıkıştırılmış toprak yapıların sayısı, *Avusturalya*'nın güney ve batısındaki kerpiç evler ile tüm yeni konutların yaklaşık %25'i idi. Toprak yapılara ilgi Amerika, Kanada ve Avrupa'da da giderek artmaktadır [100]. İngiltere'de ise 500.000 kişinin toprak yapılarda yaşadığı tahmin edilmektedir [101]. Bu kapsamda *Devon*, bütün İngiltere'de en fazla toprak yapıya sahip yerdir. Toprak ile inşa edilmiş 20.000'den fazla konut ve eşit sayıda ahır, müstemilat ve sınır duvarının bulunduğu düşünülmektedir. Almanya ise, inşaat sektörünün büyümediği bir dönemde yıllık 60 milyon Euro ciro ve %20'lik büyüme ile toprak yapı ürünlerinde Avrupa'da en başarılı pazara sahiptir [66].

BÖLÜM 4

TOPRAK YAPI ÜRETİM STANDARTLARI

Toprak gereç ile modern yapı üretimi, yapı üretiminin artış göstermesi ile oluşan hafriyat toprağı miktarının azaltılmasında ve toprak gerecin yapılarda yeniden kullanılmasında değerlendirilmesi gereken bir konudur. Bu kapsamda toprak yapı üretim teknikleri ile ilgili detaylı bilgi önceki bölümde yer almaktadır.

Bu bölümde, toprak gereç ile yapı üretiminde yararlanılan yönetmelikler incelenmiştir. Çalışmada yer alan *Yeni Zelanda, Amerika ve İngiltere*'ye ait toprak yapı yönetmelikleri incelenmiş ve *Türkiye*'deki toprak yapı yönetmelik ve standartları ile karşılaştırılmıştır. Böylece Türkiye'de uygulanan toprak yapı yönetmelik ve standartlarına yönelik bir değerlendirme yapılmaya çalışılmıştır.

4.1 Toprak Yapı Yönetmelikleri

Toprak malzeme ile yapı üretimi birçok ülkede uygulanmakla birlikte toprak yapı üretimini çeşitli yönetmeliklere bağlayan ülke sayısı sınırlıdır. Farklı ülkelerde toprak yapı üretimi ile ilgili dokümanlar ve içerikleri *Çizelge 4.1* ve *Çizelge 4.2*'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Farklı ülkelere ait toprak yapı standart ve yönetmelikleri [66]

ÜLKE	DOKÜMAN ADI	İÇERİK		
		Tür	Yapı Malzemesi	Yapım Sistemi
Fransa	AFNORXP.P13-901	Standart	Toprak Blok (kerpiç)	
Almanya	Lehmbau Regeln (2009)	Standart	Dökme Toprak, Kil Panel, Toprak Blok, Toprak Harç, Hafif Kil	Sıkıştırılmış Toprak, Dökme Toprak, Yığma Toprak Blok, Toprak Dolgu, Toprak Sıva, Duvar Astarı.
	RL 0803 (2004) TM 01 (2008)	Normatif Belge	Toprak Sıva	
	TM 02 -TM 03 - TM 04 (2011)	Taslak	Toprak Duvar Harcı, Toprak Sıva Toprak Blok	
İspanya	MOPT Tapial (1992)	Normatif Belge		Sıkıştırılmış Toprak
	UNE 41410 (2008)	Standart	Sıkıştırılmış Toprak Blok	
İsviçre	Regeln zum Bauen mit Lehm (1994)	Normatif Belge	Toprak Blok, Hafif Toprak, Toprak Harç	Yığma Toprak Blok, Sıkıştırılmış Toprak, Toprak Dolgu, Duvar Astarı
Türkiye	TS 537, 2514, 2515	Standart	Stabilize Edilmiş Sıkıştırılmış Toprak Blok	
Kırgızistan	PCH-2-87 (1988)	Standart		Sıkıştırılmış Toprak
Amerika	UBC,Sec. 2405 (1982)	Yönetmelik		Yığma Toprak Blok
	14.7.4 NMAC (2006)	Yönetmelik	Toprak Blok, Toprak Duvar Harcı	Yığma Toprak Blok, Sıkıştırılmış Toprak
	ASTM E2392/E2392M	Standart	Toprak Blok, Toprak Harç	Dökme Toprak, Yığma Toprak Blok, Sıkıştırılmış Toprak, Toprak Harç, Duvar Astarı
Peru	NTE E.080 (2000)	Standart	Toprak Blok	Yığma Toprak Blok
Brezilya	NBR 8491-2, 10832-6, 12023-5, 13554-5	Standart	Stabilize Edilmiş Sıkıştırılmış Toprak Blok	
	NBR 13553 (1996)	Standart		Çimento ile Stabilize Edilmiş Sıkıştırılmış Toprak
Kolombiya	NTC 5324 (2004)	Standart	Stabilize Edilmiş Sıkıştırılmış Toprak Blok	
Hindistan	IS: 2110 (1998)	Standart		Sıkıştırılmış Toprak
	IS: 13827 (1998)	Standart	Toprak Blok	Yığma Toprak Blok, Sıkıştırılmış Toprak
	IS 1725 (2011)	Taslak	Stabilize Edilmiş Sıkıştırılmış Toprak Blok	
Y.Zelanda	NZS 4297-9 (1998)	Standart	Toprak, Toprak Blok	Sıkıştırılmış Toprak, Yığma Toprak Tuğla, Toprak Sıva
Nijerya	NIS 369 (1997)	Standart	Stabilize Edilmiş Sıkıştırılmış Toprak Blok	
	NBC 10.23 (2006)	Yönetmelik		Yığma Toprak Blok, Sıkıştırılmış Toprak
Avustralya	CSIRO Bulletin 5, 4th ed. (1995)	Normatif Belge	Toprak Blok, Stabilize Edilmiş Sıkıştırılmış Toprak Blok, Toprak Duvar Harcı	Yığma Toprak Blok, Sıkıştırılmış Toprak
	EBAA (2004)	Normatif Belge	Toprak Blok, Toprak Duvar Harcı	Yığma Toprak Blok, Sıkıştırılmış Toprak
Sri Lanka	Specification for CSEB, SLS 1382 part 1-3	Standart	Stabilize Edilmiş Sıkıştırılmış Toprak Blok	Yığma Toprak Blok
Tunus	NT 21.33, 21.35 (1998)	Standart	Sıkıştırılmış Toprak Blok	
Kenya	KS02-1070 (1999)	Standart	Stabilize Edilmiş Sıkıştırılmış Toprak Blok	
Zimbabve	SAZS 724 (2001)	Standart		Sıkıştırılmış Toprak
Afrika	ARS 671-683 (1996)	Standart	Toprak Blok	Yığma Toprak Blok

Çizelge 4.2 Toprak gereç ile üretilen yapı ürünleri [66]

TOPRAK YAPI ÜRÜNÜ	ÜRÜN İÇERİĞİ
Toprak Harç	Çeşitli katkı maddeleri içeren malzemelerdir. Kuru veya nemli hazır karışımlar halinde bulunur ve uygulama türüne göre belirli oranlarda karıştırılırlar. •Toprak Sıva Harcı (earth plaster mortar): yapının dış cephesine uygulanan, genellikle kum ve/veya lif içeren malzemelerdir. •Toprak Duvar Harcı (earth masonry mortars): toprak yığma bloklarda kullanılan genellikle kum ve doğal sertleştiriciler (natural tempering) içeren malzemelerdir. •Püskürtme Toprak Harçlar (earth spray mortars): toprak blokların üretiminde toprak karışımının bir kalıba püskürtülmesi ile üretim yapılmaktadır.
Toprak Blok (earth blocks)	Nemli ve çeşitli katkı maddeleri içeren karışımın kalıplanıp, şekil verilmesi ile üretilirler. Toprak blokların mekanik özellikleri içeriğindeki su miktarı ve sıkıştırılma şekline (elle veya mekanik) göre değişmektedir. Tuğladan farklı olarak toprak bloklar pişirilmez ve açık havada kurutulurlar.
Kil Panel (clay panels)	Oran, kalınlık ve üretiliş şekli bakımından toprak bloklardan farklılık gösterirler. Genellikle taşıyıcı özelliği olmayan, iç duvarların üretiminde kullanılmaktadırlar. Kil paneller genellikle 30 mm kalınlığa kadardır ve alçı panellerle benzer ebatlardadırlar.
Yığma Toprak Blok (earth block masonry)	Toprak blok (earth block), sıkıştırılmış toprak blok (compressed earth block), çimento ile stabilize edilmiş sıkıştırılmış toprak blok (cement stabilized compressed earth block) ve toprak harçlar (earth mortars) ile çerçeveli ve yarı ahşap yapılarda dolgu (earthen infill) malzemesi olarak toprağın kullanıldığı yapım sistemleridir.
Dökme Toprak (cob);	Nemli haldeki toprak karışımının (straw clay) monolitik bir duvar oluşturmak amacıyla kalıp kullanmadan hafifçe sıkıştırılması ile üretilen yapım sistemidir.
Sıkıştırılmış Toprak (rammed earth)	Nemli toprak karışımının hazırlanan kalıplara belirli oranlarda konulup sıkıştırılması ile üretim yapılmaktadır. Üretilen duvar tamamen kurduğunda kalıp çıkarılmaktadır.
Yerinde Dökme Toprak (poured earth)	Yerinde dökme betona benzerlik gösteren bir yapım sistemidir. Bulamaç halde ve çeşitli bağlayıcılar içeren toprak karışımı bir kalıba püskürtülerek ya da doldurularak üretim yapılmaktadır.
Toprak Sıva (earth plaster)	Toprak sıva harçlarından yapılmaktadır. Yapıların iç veya dış duvarlarına su yalıtımı sağlamak amacıyla bir veya birkaç kat şeklinde uygulanmaktadır. Bütün toprak sıva katmanlarının ortalama kalınlığı genellikle 20 mm'den fazla olmamaktadır. Toprak sıvalar nemi kontrol ederek iç mekân hava kalitesini düzenlemektedir.
Toprak Dolgu (earthen infill)	Taşıyıcı çerçeveli veya yarı ahşap sistemlerle kullanılan bir inşaat metodudur. Ahşap paneller arasında kalan dikmeler ve desteklerin taşıyıcı özelliği olmayan toprak malzeme ile doldurulması ile üretimin yapıldığı bir sistemdir.
Duvar Astarı (wall linings)	Bazen “iç katman (inner leaf)” olarak da adlandırılan bu teknik mevcut ince dış cephe duvarlarının (tarihi yapılarda) ısı yalıtımı, rüzgâr geçirmezliği ve ses izolasyonunu iyileştirmek için yenileme çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu teknikte toprak malzeme ve kil paneller de kullanılmaktadır.

Çalışmada; öncelikle toprak yapı yönetmelikleri incelenecek olan ülkelere karar verilmiş ve bu ülkelere ait toprak yapı dokümanları incelenmiştir. Bu amaçla, Türkiye’de toprak yapı üretiminde deprem yönetmeliği ve kerpiç yapı standartları incelenmiştir. Kerpiç yapı standartları (TS 2514, TS 2515) 2011 yılında yürürlükten kaldırılmıştır. Ancak 2011 yılına kadar kerpiç yapıların üretiminde bu standartlardan yararlanıldığından çalışmaya dâhil edilmişlerdir. Türk yönetmelik ve standartları ile birlikte Türkiye gibi deprem kuşağı üzerinde olması ve toprak yapı üretiminde gelişmiş yönetmeliklere sahip olması nedeniyle *Yeni Zelanda*; yapı üretiminde farklı üretim tekniklerini uygulanması nedeniyle *Amerika*; değişken bir iklim yapısına ve çevreci bir anlayışa sahip olması nedeniyle *İngiltere* toprak yapı yönetmelikleri incelenen ülkelerdir. İncelenen yönetmeliklerden yola çıkarak bazı başlıklar ve bu başlıklar altında

da kriterler belirlenmiştir. Çalışmada incelenen yönetmelikler bu kriterlere göre değerlendirilmiştir. Sonraki aşamada ise incelenen yönetmeliklerin bir arada değerlendirildiği bir çizelge hazırlanmıştır. Elde edilen veriler, Türkiye'deki *Toprak Yapı Standartları (TS 2514, TS 2515)* ve *Deprem Yönetmeliği*'nde yer alan toprak yapı üretim esasları ile karşılaştırılmıştır. Böylece, toprak yapı üretiminde diğer ülkelerle karşılaştırıldığında Türkiye yönetmelik ve standartlarının *güçlü* ve *zayıf* kaldığı alanların belirlenmesi ve Türkiye'ye yönelik bir değerlendirmenin yapılması hedeflenmiştir. Sonuç olarak, Türkiye'de toprak yapılara ait standart ve yönetmeliklerin hazırlanmasında ya da geliştirilmesinde bu dokümanlarda olması gereken kriterler belirlenmeye çalışılmış ve *Toprak Yapı Üretimine Ait İşleyiş Şeması* hazırlanmıştır. İncelenen dokümanlar üç başlık altında değerlendirilmiştir;

- Toprak yapı üretimi öncesi inşaat alanının hazırlanması,
- Yapı üretiminde kullanılacak olan toprak malzemenin özelliklerinin belirlenmesi, yapılan testler ve üretime hazırlanması,
- Toprak yapı üretiminde yararlanılan tasarım ve uygulama esasları.

Bu amaçla *Yeni Zelanda Toprak Yapı Yönetmelikleri*;

- NZS 4297 – Mühendislik Gerektiren Toprak Yapılar
- NZS 4298 – Toprak Yapıların Malzeme ve İşçiliği
- NZS 4299 – Özel Bir Tasarım Gerektirmeyen Toprak Yapılar

Amerika Toprak Yapı Yönetmeliği;

- ASTM E2392/E 2392M – Toprak Duvar Yapı Sistemleri Tasarımı için Standart Kılavuz.

İngiltere Toprak Yapı Kılavuzları;

- İskoçya Toprak Yapı Kılavuzu
- Toprak Duvar Tasarımı ve Yapım Kuralları Kılavuzu (Earth Masonry Design and Construction Guidelines)

Türkiye Toprak Yapı Yönetmelik ve Standartları;

- TS 2514 Kerpiç Bloklar ve Yapım Kuralları
- TS 2515 Kerpiç Yapıların Yapım Kuralları

- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik incelenmiştir.

4.1.1 Yeni Zelanda Toprak Yapı Yönetmeliği

Yeni Zelanda, toprak gereç ile yapı üretiminde en detaylı yönetmeliğe sahip ülkedir. Dolayısıyla toprak yapı üretiminde Yeni Zelanda yönetmeliklerinden yararlanan farklı ülkeler bulunmaktadır. Ülkenin Pasifik deprem kuşağı üzerinde olması ve bu kapsamda hazırlanan toprak yapı yönetmelikleri, Türkiye gibi deprem ülkeleri için örnek oluşturmaktadır. Yeni Zelanda Toprak Yapı Yönetmeliği üç yönetmelikten oluşmaktadır. Bu yönetmeliklere ait detaylı bilgi EK-B’de verilmiştir.

- **NZS 4297 – Mühendislik Gerektiren Toprak Yapılar**

NZS 4297, 1998 yılında hazırlanan Yeni Zelanda toprak yapı yönetmeliklerinin ilkidir [102]. Yönetmelik; mühendislik gerektiren toprak yapı türlerini kapsamaktadır. Dolayısıyla yönetmelikte bu toprak yapı türlerine ait *performans kriterleri*, *inşaat ve tasarım kuralları* ile *temel inşaatına yönelik kurallar* yer almaktadır. Yönetmelikte toprak yapı *performans kriterleri* ile *temel* üretimine ait kriterlerin detaylı bir şekilde ele alındığı görülmektedir.

- **NZS 4298 – Toprak Yapıların Malzeme ve İşçiliği**

NZS 4298, 1998 yılında yürürlüğe girmiş ve hâlâ yürürlükte olup Yeni Zelanda toprak yapı yönetmeliklerinin ikincisidir [103]. Yönetmelikte, *malzeme ve işçilik kriterleri*, *tasarım kriterleri*, *performans kriterleri* ve *testlere* ait bilgiler yer almaktadır. Bu kapsamda toprak yapı üretiminde *malzeme ve işçilik* ile toprak gerecin uygunluğunu teşhis etmede kullanılan *testlerle* ilgili esasların ayrıntılı bir şekilde ele alındığı görülmektedir.

- **NZS 4299 – Özel Bir Tasarım Gerektirmeyen Toprak Yapılar**

NZS 4299, 1998 yılında hazırlanmış ve hâlâ yürürlükte olan Yeni Zelanda toprak yapı yönetmeliklerinin üçüncüsüdür [104]. Yönetmelik; özel bir tasarım gerektirmeyen toprak yapı türlerini kapsamaktadır. Bu toprak yapı türlerine ait *tasarım kriterleri*, *performans kriterleri*, *çatı ve temel üretim kriterleri* ana başlıklar halinde incelenmiştir. Bu kapsamda toprak yapı üretiminde yararlanılan *inşaat ve tasarım kriterleri* ile *çatı ve temellere* ait kriterlerin detaylı bir şekilde ele alındığı görülmektedir. Yeni Zelanda toprak yapı yönetmeliklerine ait kriterler karşılaştırılmalı olarak Çizelge 4.3’te görülmektedir.

Çizelge 4.3 Yeni Zelanda toprak yapı yönetmeliklerinin karşılaştırılması

KRİTERLER		YÖNETMELİKLER		
		NZS 4297 Mühendislik Gerektiren Toprak Yapılar	NZS 4298 Toprak Yapıların Malzeme ve İşçiliği	NZS 4299 Özel Bir Tasarım Gerektirmeyen Toprak Yapılar
Malzeme ve İşçilik	Toprak Özellikleri	-	+	-
	Katkı Maddesi	-	+	-
	Toprak Nem İçeriği	-	+	-
	Kür ve Kurutma	-	+	-
	Toprak Karışımı	-	+	-
	Bitki Lifleri	-	+	-
	Kerpiç Boyutu	-	-	-
	Kalıplama	-	-	-
	Çimento Esaslı Harç	-	+	-
	Toprak Esaslı Harç	-	+	-
	Harç Derzleri	-	+	-
	Kullanılan Araçlar	-	-	-
	İşçilik	-	-	-
Yapım Sistemleri	Kerpiç	+	+	+
	Sıkıştırılmış Toprak Tuğla	+	+	+
	Dökme Toprak	+	+	+
	Sıkıştırılmış Toprak	+	+	+
	Yerinde Dökme Toprak	-	-	-
Tasarım Kriterleri	Yapı Geometrisi	-	-	+
	Kat Adedi	+	-	+
	Kat Yüksekliği	-	-	+
	Duvar Kalınlığı	-	-	+
	Duvar Uzunluğu	-	-	+
	Duvar Boşlukları	-	-	+
	Bağ Kirişleri	-	-	+
	Lentolar	-	-	+
	Kemerler	-	-	+
	Yüzey Bitişleri	-	-	+
Performans Kriterleri	Dayanıklılık (durability)	+	-	+
	Rötre (Shrinkage)	+	+	-
	Termal Kütle/Yalıtım	+	-	+
	Nem Kontrolü	+	-	+
	Basınç Dayanımı	+	+	-
	Çekme Dayanımı	+	+	-
	Kayma Gerilmesi	+	-	-
	Eğilme Mukavemeti	+	-	-
	Makaslama Kuvveti	+	-	-
	Yangın Performansı	+	-	-
	Narinlik	+	-	-
	Elastisite Modülü	+	-	-
	Akustik Performans	-	-	-
	Donma	-	-	-
	Aşınma	-	+	+
Çatı	Çatı+ Eğimi	-	-	+
	Saçak Genişliği	-	-	+
Temeller	Temel Genişliği	+	-	+
	Temel Yüksekliği	+	-	+
	Buhar Bariyeri	+	-	+
	Temel Donatısı	+	-	+
Testler	Toprak Testleri	-	+	-
	Laboratuvar Testleri	-	+	-
	Kalite Kontrol Testleri	-	+	-

Yeni Zelanda toprak yapı yönetmelikleri *kerpiç, sıkıştırılmış toprak tuğla, dökme toprak, sıkıştırılmış toprak* vb. tekniklerle üretilmiş olan toprak yapılara ait kriterleri kapsamaktadır. Bu kapsamda *NZS 4297 Mühendislik Gerektiren Toprak Yapılar Yönetmeliği*'nde, *performans kriterlerine* detaylı olarak yer verilmiştir. Bu başlık altında; *dayanıklılık, rötre, termal yalıtım, nem kontrolü, basınç dayanımı, çekme dayanımı, kayma gerilmesi, eğilme mukavemeti, makaslama kuvveti, yangın performansı, narinlik ve elastisite modülü* gibi performans dayalı kriterler ayrıntılı olarak incelenmiştir. Ayrıntılı olarak incelenen bir diğer başlık ise *temellerdir*. Temellerin üretiminde *genel ilkeler ve şartlar, temel genişlik ve yüksekliği* gibi tasarım kriterleri ile temellerde *kesme kuvveti, buhar bariyerleri ve temel donatı özellikleri* gibi kriterler incelenmiştir. Yönetmelik kapsamında *inşaat ve tasarım kurallarına* çok detaylı olmamakla birlikte, genel olarak değinilmiş sismik bölgelerde yapılacak olan toprak yapılarla ilgili kısaca bilgi verilmiştir. *Malzeme ve işçilikle* ilgili kriterlerle ve toprak gerecin uygunluğunu teşhis etmede kullanılan *toprak testleri, laboratuvar testleri ve kalite kontrol testlerine* ait yeterli bilgi bulunmamaktadır.

NZS 4298 Toprak Yapıların Malzeme ve İşçiliği Yönetmeliği'nde, *malzeme ve işçilik kriterlerine* detaylı olarak yer verilmiştir. Bu başlık altında; *toprak özellikleri, kullanılan katkı maddeleri, toprak nem içeriği, küre ve kurutma, toprak karışımı, bitki lifleri, çimento esaslı harçlar, toprak esaslı harçlar ve harç derzleri* gibi kriterler detaylı olarak incelenmiştir. Ayrıntılı olarak incelenen diğer başlık ise uygulanan *testlerdir*. Toprak gerecin uygunluğunu teşhis etmekte kullanılan *toprak testleri, laboratuvar testleri ve kalite kontrol testleri* ve bu testlere ait *basınç mukavemeti, eğilme-çekme mukavemeti, rötre ve aşınma* gibi kriterler incelenmiştir. Yönetmelikte, performans kriterlerine çok detaylı olmamakla birlikte genel olarak değinilmiştir. Bu başlık altında *rötre, basınç dayanımı, çekme dayanımı ve aşınmayla* ilgili kriterlere yer verilmiştir. *NZS 4298* kapsamında toprak yapı üretiminde *inşaat ve tasarım kriterleri, çatı ve temel üretim kriterlerine* ait yeterli bilgi bulunmamaktadır.

NZS 4299 Özel Bir Tasarım Gerektirmeyen Toprak Yapılar Yönetmeliği'nde, toprak yapıların üretiminde genel inşaat ve tasarım kriterlerine kapsamlı bir şekilde yer verilmiştir. *Yapı geometrisi, kat adedi, kat yüksekliği, duvar kalınlığı, duvar uzunluğu, duvar boşlukları, bağ kirişleri, lentolar, kemerler ve yüzey bitişleri* gibi tasarım kriterleri detaylı olarak incelenmiştir. Ayrıntılı olarak incelenen diğer başlıklar ise, *çatı ve temel üretim kriterleridir*. Bu başlıklar altında; *çatı eğimi, saçak genişliği, temel*

tasarım kuralları, temel genişliği, temel yüksekliği, buhar bariyeri ve temel donatısı gibi kriterler incelenmiştir. Yönetmelikte, performans kriterlerine çok detaylı olmamakla birlikte genel olarak değinilmiştir. *Dayanıklılık, termal yalıtım, nem kontrolü ve aşınma* gibi performansa dayalı kriterler incelenmiştir. Yönetmelikte; malzeme ve işçilik ile toprak gerecin uygunluğunu teşhis etmekte kullanılan *toprak testleri, laboratuvar testleri ve kalite kontrol testlerine* ait yeterli bilgi bulunmamaktadır.

Yeni Zelanda toprak yapı yönetmeliklerinin her birinin belli bir alanda daha detaylı bilgi içerdiği görülmektedir. NZS 4297, *performans kriterleri ve temeller* alanında detaylı bilgi içerirken; NZS 4298 *malzeme ve işçilik* ile uygulanan *testler* alanında kapsamlı bilgi içermektedir. NZS 4299'un ise *tasarım kriterleri, çatı ve temel üretim kriterlerinde* detaylı bilgiye sahip olduğu görülmektedir.

4.1.2 Amerika Toprak Yapı Yönetmeliği

Amerika Toprak Yapı Yönetmeliği ilk olarak 2005 yılında onaylanmış ve 2010 yılında tekrar düzenlenmiştir. Amerika, toprak yapı üretiminde Yeni Zelanda yönetmeliklerini temel almaktadır [105]. Yönetmelikte, toprak yapı *malzeme ve işçiliği* ile *tasarım kriterlerinin* detaylı bir şekilde ele alındığı görülmektedir. *Performans kriterlerinden* ise daha genel olarak bahsedilmiş, yalnızca bazı başlıklar incelenmiştir. Yönetmeliğe ait detaylı bilgi *EK-C*'de verilmiştir.

Yönetmelik; *kerpiç, sıkıştırılmış toprak, dökme toprak, yerinde dökme toprak* vb. tekniklerle üretilmiş toprak yapıları ait kriterlerini kapsamaktadır. Yönetmelikte, bu toprak yapı türlerine ait *malzeme ve işçilik, performans kriterleri, ampirik tasarım ve asgari detaylandırma şartları* başlıklar halinde incelenmektedir. Yönetmeliğin, toprak yapı üretimde *malzeme ve işçilikle* ilgili yeterli bilgi içerdiği görülmektedir. Bu başlık altında *toprak özellikleri, katkı maddesi, toprak nem içeriği, toprak karışımı, bitki lifleri, çimento esaslı harç, toprak esaslı harç, harç derzleri ve işçilik* gibi kriterler ayrıntılı olarak incelenmiştir. *İnşaat ve tasarım kriterleri* detaylı incelenen diğer başlıktır. Toprak yapı *performans kriterleri* ise genel olarak incelenmiştir. Bu başlık altında *dayanıklılık, termal yalıtım ve nem kontrolü* gibi performansa dayalı kriterlere yer verilmiştir. Yönetmelikte, *çatı ve temel üretim kriterleri* ile toprak gerecin uygunluğunu teşhis etmekte kullanılan *testlere* ait yeterli bilgi bulunmamaktadır (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4 Amerika toprak yapı sistemleri tasarımı için standart kılavuz

KRİTERLER		YÖNETMELİKLER
		ASTM E2392/E2392M Toprak Yapı Sistemleri Tasarımı için Standart Kılavuz
Malzeme ve İşçilik	Toprak Özellikleri	+
	Katkı Maddesi	+
	Toprak Nem İçeriği	+
	Kür ve Kurutma	-
	Toprak Karışımı	+
	Bitki Lifleri	+
	Kerpiç Boyutu	-
	Kalıplama	-
	Çimento Esaslı Harç	+
	Toprak Esaslı Harç	+
	Harç Derzleri	+
	Kullanılan Araçlar	-
	İşçilik	+
Yapım Sistemleri	Kerpiç	+
	Sıkıştırılmış Toprak Tuğla	-
	Dökme Toprak	+
	Sıkıştırılmış Toprak	+
	Yerinde Dökme Toprak	-
Tasarım Kriterleri	Yapı Geometrisi	+
	Kat Adedi	-
	Kat Yüksekliği	-
	Duvar Kalınlığı	-
	Duvar Uzunluğu	-
	Duvar Boşlukları	+
	Bağ Kirişleri	+
	Lentolar	+
	Kemerler	-
	Yüzey Bitişleri	+
Performans Kriterleri	Dayanıklılık (durability)	+
	Rötre (Shrinkage)	-
	Termal Kütle/Yalıtım	+
	Nem Kontrolü	+
	Basınç Dayanımı	-
	Çekme Dayanımı	-
	Kayma Gerilmesi	-
	Eğilme Mukavemeti	-
	Makaslama Kuvveti	-
	Yangın Performansı	-
	Narinlik	-
	Elastisite Modülü	-
	Akustik Performans	-
	Donma	-
	Aşınma	-
Çatı	Çatı+ Eğimi	-
	Saçak Genişliği	+
Temel	Temel Genişliği	-
	Temel Yüksekliği	-
	Buhar Bariyeri	-
	Temel Donatısı	-
Testler	Toprak Testleri	+
	Laboratuvar Testleri	-
	Kalite Kontrol Testleri	-

4.1.3 İngiltere Toprak Yapı Yönetmeliği

İngiltere toprak yapı üretiminde belirli bir standart ve yönetmeliğe sahip değildir [101]. İngiltere’de bina üretimi; İngiltere ve Galler, İskoçya ve Kuzey İrlanda’da ki mevzuatlarla karşılaştırıldığında performansa dayalı standartlara dayanmaktadır. Bina üretiminde kullanılan standartlar geleneksel ve yerel yönetimlerce kabul edilen düzenlemeler değildir. Bağımsız sertifikalandırma birimleri tarafından yönetilmektedir.

Toprak yapı malzemelerinin İngiltere (UK) veya Avrupa (EU) standartları veya sertifikasyonu bulunmamaktadır. Bu kapsamda toprak malzemenin uygunluğunu belirlemede bazı yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan en çok kullanılan *Kişisel Sertifikasyon* (self-certification) yöntemidir. Bu yöntemde, konusunda uzman danışmanlar malzemenin uygunluğuna göre sertifika vermektedir. Yöntem, İngiliz standartlarının olmadığı durumlarda izin verilen yöntemlerden biridir.

Kullanılan diğer bir yöntem ise, Avrupa Birliği ülkelerinde kabul edilmiş standartların kabulü şeklindedir. Toprak yapı malzemelerinde *İngiltere* ve *İskoçya*’da *Alman DIN* standartları kabul edilmiştir. Bu kapsamda performans standartları olarak *Regeln* kullanılmaktadır [106].

Bu başlık altında toprak yapı üretiminde İskoçya’da yapılan düzenlemeler ve uygulamalar ile İngiltere’de yararlanılabilecek diğer dokümanlar (*Toprak Duvar Tasarımı ve Yapım Kuralları Kılavuzu*) incelenmiştir. Bu dokümanlara ait detaylar *EK-D*’de verilmiştir.

- **Toprak Duvar Tasarımı ve Yapım Kuralları Kılavuzu**

İngiltere’de toprak yapı üretiminde yararlanılabilecek, çeşitli üretim kriterlerinin yer aldığı bir diğer doküman ise *Toprak Duvar Tasarımı ve Yapım Kuralları Kılavuzudur* (Earth Masonry Design and Construction Guidelines). Toprak Duvar Tasarımı ve Yapım Kuralları Kılavuzu, toprak duvar sistemlerinin kullanılmasını yaygınlaştırmak ve kolaylaştırmak için hazırlanmış olup toprak yapı üretim esaslarına ait *genel bilgiler* içermektedir. Kılavuz, genel olarak tüm ülkelerde geçerli olmak üzere hazırlanmış olsa da, öncelikle *İngiltere* perspektifinden yazılmıştır [106]. Kılavuzda, *malzeme ve işçilik* kriterlerinden yalnızca bazı başlıklar incelenirken; *performans kriterleri* ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Bu kapsamda; *dayanıklılık, rötre, termal yalıtım, nem kontrolü, basınç dayanımı, çekme dayanımı, eğilme mukavemeti, yangın performansı, narinlik, akustik performans, donma ve aşınma* gibi performansa dayalı kriterler incelenmiştir. *İnşaat ve*

tasarım kriterleri çok detaylı olmamakla birlikte genel olarak incelenmiştir. Bu başlık altında *yapı geometrisi, lentolar ve yüzey bitişleri* gibi bazı kriterlere yer verilmiştir. Kılavuzda; *malzeme ve işçilik, çatı, temeller* ve toprak gerecin uygunluğunu teşhis etmede kullanılan *testlere* ait yeterli bilgi bulunmamaktadır.

- **İskoçya Toprak Yapı Kılavuzu**

İskoçya Toprak Yapı Kılavuzu, İskoçya'daki toprak yapıların potansiyelini ve çevresel faydalarını değerlendirmek üzere hazırlanmıştır. Bu çalışma bir *rapor* niteliğinde olup Avrupa'da yeniden canlanan toprak yapı üretiminin İskoçya bağlamında değerlendirilmesidir. Bu kapsamda rapor, modern İskoç yapı endüstrisi ile ilişkili olarak toprak yapı üretimini ve gelişme olanaklarını vurgulamaktadır. Çalışma, Kasım 2000-Haziran 2001 döneminde yapılmıştır. Araştırmalar, masa başı araştırmaları ile saha araştırmaları olarak ikiye ayrılmıştır; raporun hazırlanmasında İskoçya, İngiltere, Kuzey İrlanda, Galler, Hollanda ve Almanya'daki uzman kişiler ziyaret edilmiştir [101]. Kılavuz, toprak yapıların az işlemden geçmiş formlarını içermektedir. Kılavuzda, toprak yapı üretiminde yararlanılan *performans kriterleri* incelenmiş; bu başlık altında *dayanıklılık, rötre, termal yalıtım, nem kontrolü ve yangın performansı* gibi performansa dayalı kriterler yer almaktadır. Detaylı olarak incelenen diğer başlık ise *testlerdir*. Bu bölümde, *toprak testleri* ve *laboratuvar testleri* incelenmiştir. *Tasarım kriterleri* ve *malzeme ve işçilikle* ilgili esaslar ise daha genel olarak ele alınmış yalnızca bazı başlıklar ile ilgili bilgi verilmiştir.

Sonuç olarak; *Toprak Duvar Tasarımı ve Yapım Kuralları Kılavuzu*'nun performans kriterleri alanında detaylı bilgiye sahip olduğu görülürken; *İskoçya Toprak Yapı Kılavuzu* ise toprak yapı üretiminde yüzeysel bilgi içermektedir. İngiltere toprak yapı kılavuzlarına ait kriterler karşılaştırılmalı olarak *Çizelge 4.5*'te görülmektedir.

Çizelge 4.5 İngiltere’de toprak yapı üretim kılavuzlarının karşılaştırılması

KRİTERLER		KILAVUZLAR	
		İskoçya Toprak Yapı Kılavuzu	Toprak Duvar Tasarımı ve Yapım Kuralları Kılavuzu
Malzeme ve İşçilik	Toprak Özellikleri	+	+
	Katkı Maddesi	+	+
	Toprak Nem İçeriği	-	-
	Kür ve Kurutma	-	-
	Toprak Karışımı	+	-
	Bitki Lifleri	-	+
	Kerpiç Boyutu	-	-
	Kalıplama	-	-
	Çimento Esaslı Harç	-	-
	Toprak Esaslı Harç	-	-
	Harç Derzleri	-	-
	Kullanılan Araçlar	-	-
	İşçilik	-	-
Yapım Sistemleri	Kerpiç	Az işlemekten geçmiş toprak yapı formlarını kapsamaktadır	Toprak yapı elemanları tasarım kriterleri mimariye adapte edilmiştir.
	Sıkıştırılmış Toprak Tuğla		
	Dökme Toprak		
	Sıkıştırılmış Toprak		
	Yerinde Dökme Toprak		
Tasarım Kriterleri	Yapı Geometrisi	-	+
	Kat Adedi	-	-
	Kat Yüksekliği	-	-
	Duvar Kalınlığı	+	-
	Duvar Uzunluğu	-	-
	Duvar Boşlukları	-	-
	Bağ Kirişleri	-	-
	Lentolar	-	+
	Kemerler	-	-
	Yüzey Bitişleri	+	+
Performans Kriterleri	Dayanıklılık (durability)	+	+
	Rötre (Shrinkage)	+	+
	Termal Kütle/Yalıtım	+	+
	Nem Kontrolü	+	+
	Basınç Dayanımı	-	+
	Çekme Dayanımı	-	+
	Kayma Gerilmesi	-	-
	Eğilme Mukavemeti	-	+
	Makaslama Kuvveti	-	-
	Yangın Performansı	+	+
	Narinlik	-	+
	Elastisite Modülü	-	-
	Akustik Performans	-	+
	Donma	-	+
	Aşınma	-	+
Çatı	Çatı+ Eğimi	-	-
	Saçak Genişliği	-	-
Temeller	Temel Genişliği	-	-
	Temel Yüksekliği	-	-
	Buhar Bariyeri	-	+
	Temel Donatısı	-	-
Testler	Toprak Testleri	+	-
	Laboratuvar Testleri	+	-
	Kalite Kontrol Testleri	-	-

4.1.4 Türkiye Toprak Yapı Yönetmelik ve Standartları

Türkiye’de, *kerpiç blokların hazırlanması ve kerpiç yapıların üretimi* ile ilgili belirli yönetmelik ve standartlar bulunmaktadır. İncelenen standartlar *TS 2514, TS 2515 ve Deprem Yönetmeliğidir*. Yönetmelik ve standartlara ait detaylı bilgi *EK-E*’de verilmiştir.

- **TS 2514 Kerpiç Bloklar ve Yapım Kuralları**

TS 2514 Standardı, 1977 yılında hazırlanmıştır[107]. Standart, *kerpiç blokların* üretilmesinde *tarif, sınıflandırma, özellikler, yapım kuralları ve deneyleri* içermektedir. TS 2514’te, *malzeme ve işçilik kriterleri* ve *uygulanan testlerin* ayrıntılı olarak ele alındığı görülmektedir. *Performans kriterlerinde* ise daha genel olarak ele alınmış yalnızca bazı başlıklar incelenmiştir.

- **TS 2515 Kerpiç Yapıların Yapım Kuralları**

TS 2515 Standardı 1985 yılında hazırlanmıştır [108]. Standart, kerpiç bloklarla yapılan yapıların *tasarım ve uygulama kriterlerini* içermektedir. Standartta, toprak yapı *tasarım kriterleri* ile *çatı ve temel üretim kriterlerinin* ayrıntılı olarak ele alınmıştır. *Malzeme ve işçilik kriterlerinde* ise daha genel bir bilgi verildiği ve yalnızca bazı başlıkların incelendiği görülmektedir.

TS 2514 ve TS 2515 standartları *Kasım 2011* tarihinde yürürlükten kaldırılmış ve tekrar yenilenmemiştir [109], [110]. Ancak 2011 yılına kadar kerpiç yapıların üretiminde bu standartlardan yararlanıldığı için çalışmaya dâhil edilmeleri uygun görülmüştür.

- **Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik**

Deprem Yönetmeliği 2007 yılında hazırlanmış ve hâlâ yürürlüktedir [111]. Yönetmelik; kerpiç binalar için depreme dayanıklı tasarım kurallarını, kerpiç binaların boyutlandırılmasını ve donatılmasını içermektedir. Yönetmelikte, kerpiç yapı *tasarım kriterleri* ile *çatı ve temel üretim kriterlerinin* ayrıntılı olarak ele alınmıştır. *Malzeme ve işçilik kriterlerinde* ise daha genel bilgi verildiği ve yalnızca bazı başlıkların incelendiği görülmektedir. Bu kapsamda toprak yapı üretiminde Türk Standartları ve Deprem Yönetmeliğinde yer alan kriterler karşılaştırılmalı olarak *Çizelge 4.6*’da görülmektedir.

Çizelge 4.6 Türk toprak yapı yönetmeliklerinin karşılaştırılması

KRİTERLER		YÖNETMELİK ve STANDARTLAR		
		TS 2514 Kerpiç Bloklar ve yapım kuralları	TS 2515 Kerpiç yapıların yapım kuralları	Deprem Yönetmeliği
Malzeme ve İşçilik	Toprak Özellikleri	+	-	-
	Katkı Maddesi	+	-	-
	Toprak Nem İçeriği	+	-	-
	Kür ve Kurutma	+	-	-
	Toprak Karışımı	+	-	-
	Bitki Lifleri	+	-	-
	Kerpiç Boyutu	+	-	+
	Kalıplama	+	-	-
	Çimento Esaslı Harç	-	+	+
	Toprak Esaslı Harç	-	+	+
	Harç Derzleri	-	+	-
	Kullanılan Araçlar	+	-	-
	İşçilik	+	-	-
	İşçilik	+	-	-
Yapım Sistemleri	Kerpiç	+	+	+
	Sıkıştırılmış Toprak Tuğla	-	-	-
	Dökme Toprak	-	-	-
	Sıkıştırılmış Toprak	-	-	-
	Yerinde Dökme Toprak	-	-	-
Tasarım Kriterleri	Yapı Geometrisi	-	-	+
	Kat Adedi	-	+	+
	Kat Yüksekliği	-	+	+
	Duvar Kalınlığı	-	+	+
	Duvar Uzunluğu	-	+	+
	Duvar Boşlukları	-	+	+
	Bağ Kirişleri	-	+	+
	Lentolar	-	+	+
	Kemerler	-	-	-
	Yüzey Bitişleri	-	+	-
Performans Kriterleri	Dayanıklılık (durability)	+	-	-
	Rötre (Shrinkage)	+	-	-
	Termal Kütle/Yalıtım	-	-	-
	Nem Kontrolü	-	+	-
	Basınç Dayanımı	+	-	-
	Çekme Dayanımı	+	-	-
	Kayma Gerilmesi	-	-	-
	Eğilme Mukavemeti	-	-	-
	Makaslama Kuvveti	-	-	-
	Yangın Performansı	-	-	-
	Narinlik	-	-	-
	Elastisite Modülü	-	-	-
	Akustik Performans	-	-	-
	Donma	-	-	-
	Aşınma	-	-	-
Çatı	Çatı+ Eğimi	-	+	+
	Saçak Genişliği	-	+	+
Temeller	Temel Genişliği	-	+	+
	Temel Yüksekliği	-	+	+
	Buhar Bariyeri	-	+	-
	Temel Donatısı	-	-	-
Testler	Toprak Testleri	+	-	-
	Laboratuvar Testleri	+	-	-
	Kalite Kontrol Testleri	-	-	-

Türk yönetmelik ve standartları toprak yapı üretim tekniklerinden yalnızca *kerpiç* tekniğini içermektedir. Bu kapsamda *TS 2514 Kerpiç Bloklar ve Yapım Kuralları*; kerpiç blokların üretilmesine yönelik *malzeme ve işçilik kriterlerine* detaylı olarak yer vermektedir. *Toprak özellikleri, kullanılan katkı maddeleri, toprak nem içeriği, kür ve kurutma, toprak karışımı, bitki lifleri, kerpiç boyutu, kalıplama, kullanılan araçlar ve işçilik* gibi kriterler ayrıntılı olarak incelenmiştir. Ayrıntılı olarak incelenen diğer başlık ise toprak malzemenin uygunluğunu teşhis etmekte kullanılan *testlerdir*. Bu başlık altında; *toprak numunesinin alınması, çamur numunesinin hazırlanması, çekme deneyi, rötre deneyi, çamurlaşma deneyi ve basınç deneyi* gibi deneyler bulunmaktadır. Standart kapsamında *performans kriterlerine* çok detaylı olmamakla birlikte genel olarak değinilmiş; *dayanıklılık, rötre, basınç dayanımı ve çekme dayanımı* gibi kriterler incelemiştir. Standartta; kerpiç yapı *inşaat ve tasarım kriterleri ile çatı ve temel üretim kriterlerine* ait bilgi bulunmamaktadır.

TS 2515 Kerpiç Yapıların Yapım Kuralları'nda; kerpiç yapıların üretilmesine yönelik *tasarım kriterlerine* detaylı olarak yer verilmiştir. *Kat adedi, kat yüksekliği, duvar kalınlığı, duvar uzunluğu, duvar boşlukları, bağ kirişleri, lentolar ve yüzey bitişleri* gibi kriterler ayrıntılı olarak incelenmiştir. Ayrıntılı olarak incelenen diğer başlıklar ise *çatı ve temel üretim kriterleridir*. Bu başlık altında; *çatı eğimi ve saçak genişliği ile temel genişliği, temel yüksekliği ve buhar bariyeri* gibi esaslar incelenmektedir. Standart kapsamında *malzeme ve işçilik kriterleri* çok detaylı olmamakla birlikte *çimento esaslı harçlar, toprak esaslı harçlar ve harç derzleri* gibi bazı başlıklar incelenmiştir. Standartta; *performans kriterleri* ve toprak malzemenin uygunluğunu teşhis etmekte uygulanan *testlere* ait bilgi bulunmamaktadır.

Türk Deprem Yönetmeliği'nde; kerpiç yapı *tasarım kriterlerine* detaylı olarak yer verilmiştir. Bu kapsamda *yapı geometrisi, kat adedi, kat yüksekliği, duvar kalınlığı, duvar uzunluğu, duvar boşlukları, bağ kirişleri, lentolar ve yüzey bitişleri* gibi kriterler ayrıntılı olarak incelenmiştir. Ayrıntılı olarak incelenen diğer başlıklar ise *çatı ve temel üretim kriterleridir*. Bu başlık altında; *çatı eğimi ve saçak genişliği ile temel genişliği ve temel yüksekliği* gibi esaslar incelenmektedir. *Malzeme ve işçilik kriterlerine* çok detaylı yer verilmemekle birlikte *kerpiç boyutu, çimento esaslı harçlar ve toprak esaslı harçlar* gibi bazı başlıklar incelenmiştir. Yönetmelikte; toprak malzemenin uygunluğunu belirlemekte kullanılan *testlere* ait bilgi bulunmamaktadır. *Performans Kriterleri* alanında yer alan maddeler *Deprem Yönetmeliği*'nde bulunmakla birlikte *Yığma Binalar*

için Depreme Dayanıklı Tasarım Kuralları başlığı altında farklı yığma yapı türleri için detaylı olarak incelenmiştir. Ancak burada yer alan kriterlerin birçoğunda kerpiç yapılar için hesaplama yapılmamıştır.

Sonuç olarak *TS 2514 Kerpiç Bloklar ve Yapım Kuralları* kapsamında *Malzeme ve İşçilik Kriterlerinin* ve *Testlerin* detaylı olarak incelendiği görülmektedir. *TS 2515 Kerpiç Yapıların Yapım Kuralları* kapsamında *Tasarım Kriterleri*, *Çatı* ve *Temel Üretim Kriterleri* detaylı olarak incelenen başlıklardır. *Türk Deprem Yönetmeliği*'nde ise *Tasarım Kriterleri* ve *Çatı Üretim Kriterleri* kapsamlı olarak incelenmiştir. *Malzeme ve İşçilik Kriterleri* ile *Temel Üretim Kriterlerinde* ise bazı başlıklar incelenmiştir. Yönetmelikte yer alan bazı maddeler toprak yapı üretimini sınırlamaktadır. Bu nedenle, toprak yapılar Türkiye coğrafyasına ve iklim şartlarına uygun olmasına rağmen sınırlı düzeyde kalmaktadır.

4.2 Farklı Ülkelere Ait Toprak Yapı Standart ve Yönetmeliklerinin Karşılaştırılması

Çalışmada, çalışma kapsamındaki ülkelere ait toprak yapı yönetmelikleri incelenerek, karşılaştırılmıştır. Böylece diğer ülkelere ait toprak yapı yönetmelikleri ile karşılaştırıldığında Türkiye'de uygulanan yönetmelik ve standartlarda yer alan üretim kriterleri ve bunların güçlü ve zayıf olduğu alanların belirlenmesi hedeflenmiştir.

Çalışma kapsamında *Yeni Zelanda*, *Amerika*, *İngiltere* ve *Türkiye* toprak yapı yönetmelikleri ve standartları incelenmiştir. Bu kapsamda, bu ülkelere ait toprak yapı dokümanları; *malzeme ve işçilik*, *yapım sistemleri*, *tasarım kriterleri*, *performans kriterleri*, *çatılar*, *temeller* ve *testler* başlıkları altında karşılaştırılarak bir çizelge oluşturulmuştur. Elde edilen verilere ait detaylı bilgi *Çizelge 4.7*'de görülmektedir.

Çizelge 4.7 Farklı ülkelere ait toprak yapı standart ve yönetmeliklerinin karşılaştırılması

KRİTERLER		YÖNETMELİK ve STANDARTLAR				
		Yeni Zelanda	Amerika	İngiltere		Türkiye
		NZS 4297 NZS 4298 NZS 4299	ASTM E2392/ E2392M	İskoçya Toprak Yapı Kılavuzu	Toprak Duvar T. ve Yapım Kılav.	TS 2514 TS 2515 Deprem Yön.
Malzeme ve İşçilik	Toprak Özellikleri	+	+	+	+	+
	Katkı Maddesi	+	+	+	+	+
	Toprak Nem İçeriği	+	+	-	-	+
	Kür ve Kurutma	+	-	-	-	+
	Toprak Karışımı	+	+	+	-	+
	Bitki Lifleri	+	+	-	+	+
	Kerpiç Boyutu	-	-	-	-	+
	Kalıplama	-	-	-	-	+
	Çimento Esaslı Harç	+	+	-	-	+
	Toprak Esaslı Harç	+	+	-	-	+
	Harç Derzleri	+	+	-	-	+
	Kullanılan Araçlar	-	-	-	-	+
	İşçilik	-	+	-	-	+
Yapım Sistemleri	Kerpiç	+	+	Az işlemden geçmiş toprak yapı formlarını kapsamaktadır	Toprak yapı elemanları tasarım kriterleri mimariye adapte edilmiştir.	+
	Sıkıştırılmış Toprak Tuğla	+	-			-
	Dökme Toprak	+	+			-
	Sıkıştırılmış Toprak	+	+			-
	Yerinde Dökme Toprak	-	+			-
Tasarım Kriterleri	Yapı Geometrisi	+	+	-	+	+
	Kat Adedi	+	-	-	-	+
	Kat Yüksekliği	+	-	-	-	+
	Duvar Kalınlığı	+	-	+	-	+
	Duvar Uzunluğu	+	-	-	-	+
	Duvar Boşlukları	+	+	-	-	+
	Bağ Kirişleri	+	+	-	-	+
	Lentolar	+	+	-	+	+
	Kemerler	+	-	-	-	-
	Yüzey Bitişleri	+	+	+	+	+
Performans Kriterleri	Dayanıklılık (durability)	+	+	+	+	+
	Rötre (Shrinkage)	+	-	+	+	+
	Termal Kütle/Yalıtım	+	+	+	+	-
	Nem Kontrolü	+	+	+	+	+
	Basınç Dayanımı	+	-	-	+	+
	Çekme Dayanımı	+	-	-	+	+
	Kayma Gerilmesi	+	-	-	-	-
	Eğilme Mukavemeti	+	-	-	+	-
	Makaslama Kuvveti	+	-	-	-	-
	Yangın Performansı	+	-	+	+	-
	Narinlik	+	-	-	+	-
	Elastisite Modülü	+	-	-	-	-
	Akustik Performans	-	-	-	+	-
	Donma	-	-	-	+	-
	Aşınma	+	-	-	+	-
Çatı	Çatı+ Eğimi	+	-	-	-	+
	Saçak Genişliği	+	+	-	-	+
Temel	Temel Genişliği	+	-	-	-	+
	Temel Yüksekliği	+	-	-	-	+
	Buhar Bariyeri	+	-	-	+	+
	Temel Donatısı	+	-	-	-	-
Test	Toprak Testleri	+	+	+	-	+
	Laboratuvar Testleri	+	-	+	-	+
	Kalite Kontrol Testleri	+	-	-	-	-

İncelenen ülkelere ait yönetmeliklerin karşılaştırılması ile oluşturulan *Çizelge 4.7*'den elde edilen veriler doğrultusunda; *Malzeme ve İşçilik* alanında Yeni Zelanda, Türkiye ve Amerika yönetmelik ve standartlarının yeterli seviyede olduğu görülmektedir. İngiltere toprak yapı kılavuzları ise bu alanda yeterli bilgi ve düzenlemeye sahip değildir.

Yapım Sistemleri alanında Yeni Zelanda'nın kerpiç, sıkıştırılmış toprak tuğla, dökme toprak ve sıkıştırılmış toprak gibi farklı toprak yapı üretim tekniklerini içerdiği görülmektedir. Bu toprak yapı üretim tekniklerinden farklı olarak Amerikan yönetmeliği, yerinde dökme toprak tekniğini de içermektedir. Yapım sistemleriyle ilgili İngiliz toprak yapı kılavuzlarında, toprak yapı üretim tekniklerinden açıkça bahsedilmemiştir. Bu alanda yönetmeliğin yalnızca "Az işleminden geçmiş toprak yapı formlarını" kapsadığı ifade edilmiştir. Türk Deprem yönetmeliği ve toprak yapı standartları, toprak yapı üretim tekniklerinden yalnızca *kerpiç* tekniğini içermektedir. Dolayısıyla yönetmelik ve standartların kapsamı kerpiç blok ve kerpiç yapı üretimini kapsamaktadır.

Tasarım Kriterleri alanında Yeni Zelanda ve Türkiye'ye ait yönetmelik ve standartların yeterli düzeyde olduğu görülmektedir. Bu alanda Amerikan yönetmeliğinde bazı başlıklar incelenmiştir. İngiliz toprak yapı kılavuzları ise çok sınırlı bilgiye sahiptir.

Performans Kriterleri alanında İngiltere toprak yapı kılavuzları ve Yeni Zelanda yönetmeliklerinin yeterli düzeyde olduğu görülmektedir. Amerikan ve Türk yönetmeliklerinin ise bu alanda çok sınırlı kaldığı ve yeterli bilgi içermediği görülmektedir.

Çatı ve Temel üretiminde en iyi düzenlemeye sahip ülkelerin Yeni Zelanda ve Türkiye olduğu görülmektedir. Bu alanda İngiliz toprak yapı kılavuzları ve Amerikan yönetmelikleri zayıf kalmaktadır.

Toprak gerecin uygunluğunu teşhis etmede uygulanan *Testler*; Yeni Zelanda yönetmeliklerinde ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu alanda, İngiltere ve Türkiye yeterli bilgiye sahip diğer ülkelerdir. Amerikan toprak yapı yönetmeliği, testlerle ilgili sınırlı düzeyde bilgi içermektedir.

Sonuç olarak; Yeni Zelanda yönetmeliklerinin *Malzeme ve İşçilik*, *Yapım Sistemleri*, *Tasarım Kriterleri*, *Performans Kriterleri*, *Çatı*, *Temeller* ve *Testler* alanında oldukça kapsamlı düzeyde yönetmeliklere sahip olduğu görülmektedir. Amerikan yönetmeliği *Malzeme ve İşçilik* ile *Yapım Sistemleri* alanında yeterli seviyededir. İngiliz toprak yapı

kılavuzları *Performans Kriterleri* ve *Testler* alanında yeterli bilgi içerdiği görülmektedir.

Çalışmada; incelenen ülkelere ait toprak yapı yönetmeliklerinin karşılaştırılması ile oluşturulan *Çizelge 4.7*'den elde edilen veriler doğrultusunda, Türkiye'de toprak yapı üretiminde yönetmelik ve standartların güçlü ve zayıf olduğu alanlar belirlenmiştir. Bu kapsamda, Türk yönetmelik ve standartlarının *Yapım Sistemleri* ve *Performans Kriterleri* alanında geliştirilmesi gerektiği görülmektedir. *Yapım Sistemleri* alanında yönetmelik ve standartların, toprak yapı üretim tekniklerinden yalnızca *kerpiç* tekniğini kapsadığı ve *kerpiç* tekniği ile üretilen yapıların tasarımına ait uygulama esaslarını içerdiği görülmektedir. Dolayısıyla yalnızca *kerpiç* yapı üretilmektedir. Yönetmelik ve standartlarda, diğer toprak yapı üretim tekniklerine ait bilgi bulunmamakta ve bu nedenle bu tekniklerle üretim yapılamamaktadır. *Performans Kriterleri*, yönetmelik ve standartların zayıf olduğu diğer alandır. Bu başlık altında yalnızca *dayanıklılık*, *rötre*, *nem kontrolü*, *basınç* ve *çekme dayanımı* gibi kriterlere yer verilmiştir. *Performans Kriterleri* alanında yer alan maddeler *Deprem Yönetmeliğinde* farklı yığma yapı türleri için hesaplanmış ancak kerpiç yapılar için gerekli görülmemiştir. Dolayısıyla çalışmada yer alan ülkelerin toprak yapı yönetmelikleri ile karşılaştırıldığında, toprak yapı üretiminde Türkiye'de uygulanan yönetmelik ve standartlarda yer alan performans kriterlerinin yeterli seviyede olmadığı söylenebilir.

Türk yönetmelik ve standartlarının; *Malzeme ve İşçilik*, *Tasarım Kriterleri*, *Çatı* ve *Temel* üretimi ve *Testler* alanında yeterli düzeyde olduğu görülmektedir. Bu alanlarda yönetmelik ve standartlar detaylı bilgi içermektedir.

Türkiye'de kentsel dönüşüm faaliyetlerinin artmasıyla birlikte artış gösteren hafriyat toprağının değerlendirilmesinde toprak gereç ile yapı üretimi, oluşan hafriyat toprağı miktarının azaltılmasında ve daha çevreci yapı üretim anlayışlarının benimsenmesinde etkili olabilir. Bu kapsamda öncelikle İstanbul ilinden yola çıkılarak oluşacak hafriyat toprağı miktarına dikkat çekilmiştir. İkinci bölümde detaylı olarak anlatıldığı gibi hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıklarının hesaplanmasında kullanılan yöntemlerden biri de nüfusa dayalı tahminlerdir. Bu kapsamda 2015 yılı için İstanbul'da ilçe bazında nüfusa göre oluşabilecek hafriyat toprağı miktarının 25.489.457.726 ton olduğu görülmektedir. Nüfus projeksiyonlarına bakıldığında *Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı* ve *Devlet Planlama Teşkilatı*'nın kabul ettiği varsayımına göre 2045-2050 nüfus artışının *sıfır* düzeyine ineceği varsayımı kabul edilmektedir. Bu verilere göre ise

İstanbul’da oluşacak hafriyat toprağı miktarının 2015 yılında 28.435.767 ton olduğı ve bu oranın 2050 yılında 63.953.708 tona ulaşacağı öngörülmektedir [41],[50]. Dolayısıyla 2015 yılı nüfus verilerine göre oluşabilecek hafriyat toprağı miktarı ile *Devlet Planlama Teşkilatı’nın* kabul ettiği varsayımlara göre 2015’te oluşacak hafriyat toprağı miktarı benzerlik göstermektedir.

Hafriyat toprağının toprak yapı üretiminde kullanılmasında ise öncelikle yönetmelik ve standartların düzenlenmesi ve güçlendirilmesi gerekmektedir. Böylece çevreci yapı üretim teknikleriyle hem hafriyat toprağının yeniden değerlendirilerek azaltılması hem de yapı üretiminde çevresel etkilerin azaltılması hedeflenmelidir.

Farklı ülkelere ait toprak yapı standart, yönetmelik ve kılavuzlarının karşılaştırılması ile oluşturulan *Çizelge 4.7*’den elde edilen verilerle Türk yönetmelik ve standartlarının güçlü ve zayıf kaldığı alanlar belirlenmiş böylece *Türkiye ve Farklı Ülkelerde Toprak Yapı Standart ve Yönetmeliklerine Ait İnceleme* tablosu hazırlanmıştır. Çizelgenin hazırlanmasında *Çizelge 4.7*’den ve *TS 2514, TS 2515, Türk Deprem Yönetmeliğı*’nden ve çalışmada yer alan ülkelere ait toprak yapı yönetmeliklerinden yararlanılmıştır. İncelenen yönetmeliklerdeki kriterler, o ülkeye ait yönetmeliğın altında yer almaktadır. Böylece Türkiye’de uygulanan yönetmelik ve standartların güçlü ve zayıf alanlarının, çalışma kapsamındaki diğer ülkelerin yönetmeliklerinde nasıl ele alındığı ve hangi sonuçlara ulaşıldığı ayrıntılı olarak görölmektedir. Çizelgeye ait detaylı bilgi *EK-F*’de bulunmaktadır.

4.3 Türkiye’de Toprak Yapı Standart ve Yönetmeliklerinde Olması Gereken Kriterler

Çizelge 4.7 ve *Çizelge F.1*’den elde edilen verilerle Türkiye’de toprak yapı üretiminde yararlanılan yönetmelik ve standartlarının yalnızca *kerpiç tekniğini* kapsadığı ve kerpiç tekniğı dışında kalan diğer toprak yapı üretim tekniklerini içermediğı görölmektedir (*Çizelge 4.7* ve *Çizelge F.1*). Yönetmelik ve standartların *kerpiç yapı üretiminde inşaat alanının hazırlanması, yapı toprağının uygunluğu ve üretime hazırlanması, çatı ve temel üretim kriterleri, toprak malzeme testleri ile kerpiç yapıların tasarım kriterleri* alanında yeterli seviyede olduğı görölmektedir. Ancak toprak yapı üretiminde *performans kriterleri* ve *Yapım Sistemleri* alanlarının yeterli düzeyde olmadığı görölmektedir. Bu kapsamda, Türkiye’de standart ve yönetmeliklerin geliştirilmesinde

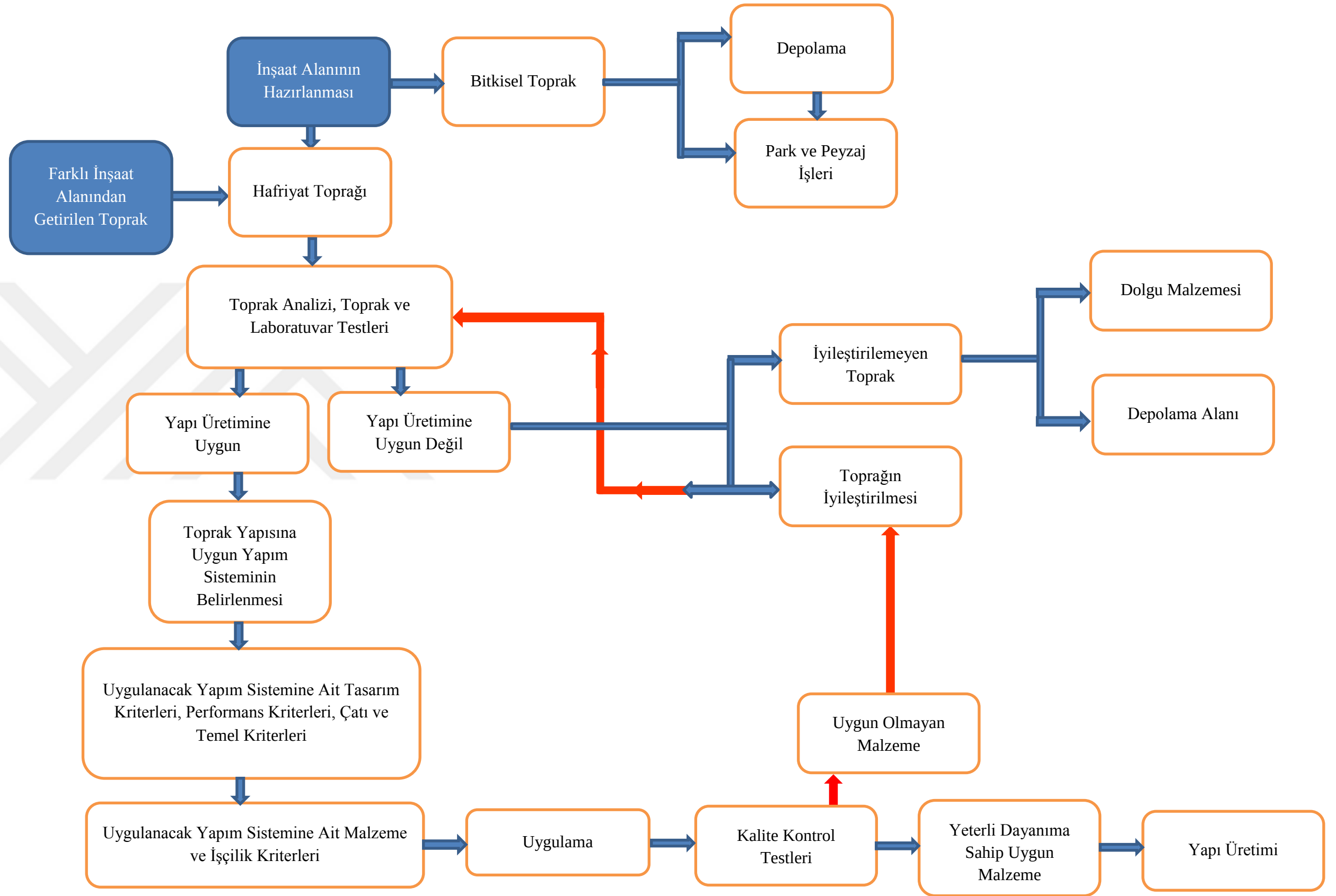
dikkate alınması gereken kriterler ve bu kriterlere ait detaylı bilgi *Çizelge 4.8*'de görülmektedir.

Çizelge 4.8'de, hazırlanacak toprak yapı dokümanlarında bulunması gereken kriterlere dikkat çekilmiştir. *Tasarım kriterleri*, *performans kriterleri*, *çatılar*, *temeller* ve *testlere* ait kriterler; mimar, zemin mühendisi, inşaat mühendisi, malzeme mühendisi ve konu ile ilgili ekipte yer alacak farklı uzmanlık alanlarının deney ve ortak çalışmaları ile belirlenmeli ve farklı çevresel verilere göre geliştirilmelidir. *Şekil 4.1*'de ise *Toprak Yapı Üretimine Ait İşleyiş Şeması* görülmektedir.



Çizelge 4.8 Türkiye’de toprak yapı standart ve yönetmeliklerinin hazırlanmasında dikkate alınması gereken kriterler

KRİTERLER		AÇIKLAMALAR
Malzeme ve İşçilik	Toprak Özellikleri	Genel olarak bütün tekniklerde torağın killi olması gerekmektedir. Kil miktarı tekniğe göre değişiklik göstermektedir.
	Katkı Maddesi	Toprak karışımın içine dayanımı artırmak için çimento, alçı, kireç, magnezyum oksit vb. malzemeler katılabilir. Bu malzemeler toprak malzemenin yapısına göre (killi, kumlu vb) belirlenmelidir. Karışıma eklenecek katkı maddesi miktarı, yönetmeliklerde belirlenen dayanım standartlarına göre değişmektedir.
	Toprak Nem İçeriği	Üretimin kolay olması için toprak gerecin belli oranlarda su ihtiva etmesi gerekmektedir. Malzemenin nem içeriği üretimde kullanılacak tekniğe göre değişmelidir.
	Kür ve Kurutma	Toprak malzeme ile yapı üretiminde, kuruma için belli bir sürenin geçmesi gerekmektedir. Bu süre iklim koşullarına ve toprak karışıma katılan katkı maddelerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir.
	Toprak Karışımı	Toprak yapı üretiminde kullanılacak toprak karışımı, belli oranda kil bulundurulmalıdır. Karışımın kil oranı kullanılacak tekniğe göre değişmektedir.
	Bitki Lifleri	Toprak malzemenin çevresel koşullara karşı dayanımını artırmak, rötre çatlaklarını azaltmak vb. için karışım içine saman, kıl, kepek, talaş, kaba ot, kenevir, çam iğnesi vb. bitkisel lifler ile süt ürünleri, at idrarı, boğa kanı vb. organik malzemeler de katılabilir.
	Malzeme Boyutu	Üretilen malzemenin boyutu kullanılacak toprak yapı üretim tekniklerine göre değişiklik gösterebilir
	Kalıplama	Kalıplama, üretimde kullanılacak tekniğe göre değişiklik gösterebilir. Bazı toprak yapı üretim teknikleri kalıp gerektirmemektedir.
	Harçlar	Harçlar; çimento ve toprak esaslı harçlar olmak üzere iki çeşittir. Kullanılacak olan harç, yapı üretiminde kullanılan toprak karışım ile benzerlik göstermelidir.
	Harç Derzleri	Harç derzleri, çimento ve toprak esaslı harçlara göre değişiklik göstermelidir.
	Kullanılan Araçlar	Kullanılan aletler, yapı üretiminde tercih edilecek olan toprak yapı üretim tekniğine göre değişiklik göstermelidir.
Yapım Sistemleri	İşçilik	Üretimde çalışacak kişi sayısı, projenin büyüklüğüne ve kullanılacak araçlara göre değişmelidir.
	Kerpiç	Killi toprağın içine belirli oranlarda saman sapı vb. malzemeler katılıp, suyla karılır ve kalıplanarak kurutulur.
	Sıkıştırılmış Toprak Tuğla	Toprağın yüksek basınçlı makinelerle sıkıştırılıp form verilmesi ile üretilir. Katkı maddesi olarak çimento kullanılabilir.
	Dökme Toprak	Nemli ve killi toprak içine saman katılarak hazırlanan karışım, sıkıştırılarak form verilir. Bu teknikte kalıp kullanılmaz.
	Sıkıştırılmış Toprak	Killi toprak tabakasının kalıp içine dökülüp tokmakla ya da titreşimli aletlerle sıkıştırılması ile üretilir.
	Yerinde Dökme Toprak	Bağlayıcı olarak çimentonun kullanıldığı, bulamaç halindeki toprağın kalıplara püskürtülmesi ile üretim yapılır. Agregaya yerine normal toprak kullanılır.
Tasarım Kriterleri	Yapı Geometrisi	Yapı simetrik veya simetriğe yakın olmalıdır. Duvar ve döşemeler iyi bağlanmalıdır.
	Kat Adedi	Deprem bölgelerinde tek veya iki katlı yapılar şeklinde tasarlanabilir. Çok katlı yapı üretimi için gerekli ön çalışmaların yapılması gerekmektedir.
	Kat Yüksekliği	Yapının deprem bölgesinde olması veya olmaması durumunda değişiklik göstermektedir.
	Duvarlar	Duvarların kalınlığı taşıyıcı olan iç/dış duvarlar ve taşıyıcı olmayan duvarlara göre değişiklik göstermelidir. Deprem bölgelerindeki yapıların duvar uzunluğu sınırlanmalı veya payandalarla desteklenmelidir.
	Duvar Boşlukları	Pencere – kapı boşlukları arasında kalan duvar uzunluğunun ve boşlukların duvarın dış köşesine olan mesafesi sınırlandırılmalıdır.
	Bağ Kirişleri	Ahşap ve betonarme bağ kirişleri kullanılmalıdır.
	Lentolar	Kapı ve pencere alt ve üst kısımlarına yerleştirilmelidir. Lentolar betonarme veya ahşap olabilir.
	Yüzey Bitişleri	Yüzeyler bitişleri toprak, kireç, alçı ve çimento sıva ile sıvanabileceği gibi nefes alabilen bir malzeme ile de kaplanabilir.
Performans Kriterleri	Genel	Dayanıklılık, rötre, termal kütle / yalıtım, nem kontrolü, basınç ve çekme dayanımı, kayma gerilmesi, eğilme mukavemeti, makaslama kuvveti, narinlik, elastisite modülü vb. performansa dayalı kriterler zemin, inşaat ve malzeme mühendislerinin ortak çalışmaları ile belirlenmelidir. Bu kriterlerin belirlenmesinde sismik faktörler de göz önünde bulundurulmalıdır.
	Yangın Performansı	Yapının yangın performansını karışım içindeki bitkisel lifler de etkilemektedir. Bu kapsamda toprak karışımının içine belirlenen oranlarda bitkisel lif katılmalıdır. Yapının yangın dayanımı ve performansı inşaat ve malzeme mühendislerinin ortak çalışmaları ile belirlenmelidir.
	Akustik Performans	Toprak yapıların akustik performansları mühendislerce yapılan çalışmalar ile belirlenmelidir. Yapının kullanım amacına göre istenen değerde akustik performansı sağlamak için farklı malzemeler kullanılabilir.
	Donma	Gece-gündüz sıcaklık farkının çok olduğu bölgelerde donma ve aşınma toprak malzemeye zarar verdiği için yapının yüzeyi uygun malzemelerle kaplanması veya sıvanmalıdır.
	Aşınma	Yüksek porozite veya yetersiz dayanımı olan toprakların dayanıksız olduğu görülmektedir. Malzemenin aşınma değeri yapılan ön çalışmalarda belirlenen aralıklarda olmalıdır.
Çatı	Çatı+ Eğimi	Çatı eğimi, bölgesel koşullara göre değişiklik göstermektedir. Çok yağış alan bölgelerde çatı eğimi fazla olmalıdır.
	Saçak Genişliği	Toprak yapıların neme karşı korunmaları gereklidir. Bu nedenle geniş saçaklar tercih edilmelidir.
Temel	Temel Genişliği / Yüksekliği	Temel genişliği ve yüksekliği yapılan ön çalışmalar ile belirlenmelidir. Deprem bölgeleri için temel genişlik ve yüksekliği değişiklik gösterebilir.
	Buhar Bariyeri	Rutubete karşı dayanıklı, nefes alabilen malzemeler tercih edilmelidir.
	Temel Donatısı	Deprem riskine karşı temeller iyi bağlanmalıdır. Temel donatıları yapılan ön çalışmalar ile belirlenmelidir.
Testler	Toprak Testleri	Toprak malzeme ile üretime geçmeden önce toprağın uygunluğunu belirlemeye yönelik görsel, dokunsal vb. testler yapılmalıdır.
	Laboratuvar Testleri	Numuneler kopma gerilmesi, rötre deneyi, basınç, çekme vb. testlerdeki standart değerleri karşılayabilmelidir.
	Kalite Kontrol Testleri	Son ürün üzerinde yapılan testlerdir. Ürünün belirlenen değerlerde ve kalitede olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılır. Ürünün belirlenen standart değerleri karşılamalıdır.



Şekil 4.1 Toprak yapı üretimine ait işleyiş şeması

Çizelge 4.8'den yola çıkarak oluşturulan *Toprak Yapı Üretimine Ait İşleyiş Şeması*'nda (Şekil 4.1), toprak yapı üretiminde hafriyat toprağından başlayarak izlenecek yol gösterilmektedir. İnşaat alanının yapı üretimine hazırlanması sırasında çıkan *bitkisel toprağı*n ayrı toplanması gerekmektedir. Bitkisel toprak park ve peyzaj işleri için kullanılmalı ve yapı üretiminde bitkisel toprak *kesinlikle* kullanılmamalıdır.

Hafriyat çalışmaları ile çıkan toprağın öncelikle yapı üretimine uygun olup olmadığını belirlemek için toprak analizinin ve toprak yapı testlerinin yapılması gerekmektedir. Toprak yapısı belirlenen toprak malzemenin yapı üretimine uygun olması durumunda, toprak yapısına uygun yapım tekniğine karar verilmektedir. Sonraki aşamada, uygulanacak yapım tekniğine göre *Tasarım Kriterleri*, *Performans Kriterleri*, *Çatı* ve *Temellere* ait kriterler belirlenir ve uygulanacak yapım sistemine ait *Malzeme ve İşçilik Kriterlerine* göre üretim yapılır. Üretilen numuneler üzerinde yapılan kalite kontrol testlerinde malzemenin yeterli dayanıma sahip olduğu görülürse yapı üretimine geçilir. Yeterli dayanımı gösteremeyen malzemelerin toprak yapısına uygun çeşitli katkı maddeleri ile iyileştirilmesi ve uygunluğunun belirlenmesi için tekrar laboratuvar testlerin yapılması gerekmektedir. Bu aşamadan sonra üretim, uygulanacak tekniğe ait kriterlere göre (tasarım kriterleri, performans kriterleri vb.) yapılmalıdır.

İlk aşamada hafriyat toprağının yapı üretimine uygunluğunun belirlenmesinde yapılan *Toprak Analizleri*, *Toprak* ve *Laboratuvar Testlerinden* geçemeyen toprak malzemelerin yapı üretimine uygun hale getirilmesi için iyileştirilmesi ve laboratuvar testlerinin yeniden yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda iyileştirilen malzemeler yapı üretiminde kullanılırken, yeterli dayanımı gösteremeyen malzemeler depolanır ya da dolgu malzemesi olarak kullanılır.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Sanayi devrimi ile başlayan üretim, kentsel alanlarda nüfus artışına neden olmaktadır. Dolayısıyla aşırı kentleşme; tarım ve orman arazilerinin kaybolmasına, yağmur ve su rejiminin bozulmasına neden olmaktadır. Kentleşme ile arazi kullanımındaki değişiklik; biyolojik çeşitliliği tehdit etmekte, bölgesel sıcaklık artışına ve atmosferdeki sera gazı artışına neden olmaktadır. Bu kapsamda inşaat sektörünün doğal kaynak ve enerji tüketimi ile atık oluşumunda çevre üzerinde doğrudan etkili olduğu görülmektedir [13].

Yapı üretiminde, atık yönetimi ile ilgili düzenlemelere paralel olarak atık üretimini azaltacak ve ekosistem üzerinde baskı yaratmayacak tasarım anlayışlarının da benimsenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, *Ekolojik Tasarım* anlayışı çevresel sorunları en aza indirmek ve doğal çevrenin sürdürülebilirliğini sağlamak açısından etkili olabilmektedir. Yapılı çevrenin ekosistem ile bütünleşmesi temeline dayanan ekolojik tasarım anlayışı, ürünlerin beşikten beşiğe tasarım kapsamında çevre için bir tehdit oluşturmayacak şekilde tasarlanması prensibine dayanmaktadır. Bu amaçla öncelikle, ekosistemlerin işleyiş ve sürekliliğinin anlaşılması gerekmektedir. Ekotasarımda, enerji ve kaynak kullanımı ile malzeme seçimi dikkat edilmesi gereken unsurlardır. Seçilecek malzemeler hava, su ve toprak kalitesini doğrudan veya dolaylı yoldan etkileyebileceğinden ekosistemlerin işleyişi üzerinde tehdit oluşturmayan çevreci malzemelerin kullanılmasına dikkat edilmelidir. Gelecek nesillerin yaşam hakkını tehlikeye sokmadan oluşturulacak bir kalkınma anlayışı ancak kaynak verimliliğini esas alan, çevreye zarar vermeyen, dengeli ve sürdürülebilir bir tasarım anlayışı ile mümkündür.

“Binaların küresel enerji tüketiminin yaklaşık %40’ından, su tüketiminin %25’inden ve karbon salımının üçte birinden sorumlu olduğu göz önünde bulundurulduğunda

binaların çevresel etkilerini azaltmanın önemi daha iyi ortaya çıkmaktadır” [112]. Bu kapsamda inşaat sektörü, kaynak ve enerji tüketiminden sorumlu tutulmakta, oluşan atıklar ise çevre üzerinde baskı yaratmaktadır. Yapısal atıkların etkili ve sürdürülebilir bir şekilde yönetiminde ülkeden ülkeye değişiklik gösteren düzenlemeler mevcuttur. Çalışma kapsamında *Amerika, Avrupa Birliği Ülkeleri* ve *Türkiye*’nin de içinde bulunduğu çeşitli ülkelerde inşaat faaliyetleri ile oluşan yapısal atık miktarı ve bu atıkların geri dönüştürülme oranlarıyla ilgili genel bilgi verilmiştir. Çalışmada; hafriyat toprağının yapı üretiminde tekrar kullanılması irdelendiğinden, toplam yapısal atık miktarından yola çıkarak oluşan hafriyat toprağı miktarına ulaşmak amaçlanmıştır. Ancak birçok ülkede hafriyat toprağı gibi organik malzemeler atık sayılmadığından bu tür malzemelerin miktarı ve ne şekilde değerlendirildiğine dair sınırlı düzeyde bilgi bulunmaktadır. Türkiye’de ise kentsel dönüşüm faaliyetleri ile artış göstereceğı düşünölen hafriyat toprağı miktarının azaltılmasında ve çevreci üretim politikalarının benimsenmesinde toprak malzeme ile modern yapı üretimi değerlendirilmesi gereken bir konudur. Bu amaçla öncelikle, kentsel dönüşüm faaliyetlerinin yoğun olduğı İstanbul ilinden yola çıkılarak oluşacak hafriyat toprağı miktarına dikkat çekilmiş ve toprağın yapı üretiminde kullanılması durumunda uygunluğunun belirlenmesine yönelik çalışmalar incelenmiştir.

Toprak gereç ile yapı üretimi; uygun toprak karışımı elde edildikten ve gerekli testler yapıldıktan sonra kolay olmaktadır. Üretim tekniğine ise toprak yapısına göre karar verilmektedir. Toprak gereç ile yapı üretimi çok eski çağlardan beri insanlar tarafından uygulanmaktadır. Bu kapsamda toprak yapı üretiminde farklı teknikler bulunmaktadır. Bu teknikler; *kerpiç, dökme toprak tekniğı, omurgalı kerpiç tekniğı, yerinde dökme toprak tekniğı, hafif toprak tekniğı, sıkıştırılmış toprak tuğla tekniğı, sıkıştırılmış toprak tekniğı ve PISE tekniğı*dir. Çalışmada; bu teknikler incelenerek, tekniklerle üretilmiş tarihi ve modern toprak yapılara örnekler gösterilmiştir.

Toprak malzeme ile yapı üretimi birçok ülkede uygulanmakla birlikte, toprak yapı üretimini çeşitli yönetmelik ve standartlara bağlayan ülke sayısı sınırlıdır. Çalışma kapsamında yönetmeliğı incelenen ölkeler *Türkiye, Amerika, İngiltere* ve en detaylı yönetmeliklere sahip *Yeni Zelanda*’dır. Bu kapsamda çalışmada yer alan ölkelere ait toprak yapı yönetmelikleri, belirlenen başlıklar ve bu başlıklar altında yer alan kriterlere göre değerlendirilmiş ve karşılaştırılarak veriler ortaya konmuştur (*Çizelge 4.7*). Bu veriler doğrultusunda Türkiye’de toprak yapı üretiminde yararlanılan yönetmelik ve

standartların *güçlü* ve *zayıf* yanlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. *Çizelge 4.7*'den yola çıkarak *Türkiye ve Farklı Ülkelerde Toprak Yapı Standart ve Yönetmeliklerine Ait İnceleme* tablosu hazırlanmıştır (*Çizelge F.1*). *Çizelgede*, Türk yönetmelik ve standartlarının güçlü ve zayıf kaldığı alanlara ait kriterler genel olarak ele alınmış ve bu kriterlerin çalışmada yer alan diğer ülkelerin toprak yapı yönetmeliklerinde nasıl ele alındığı ve hangi sonuçlara ulaşıldığı incelenmiştir.

Türkiye'de toprak yapı yönetmelik ve standartlarının sadece *kerpiç* tekniği ile üretime izin verdiği, diğer toprak yapı üretim tekniklerini içermediği görülmektedir. Dolayısıyla yönetmelik ve standartlarda yalnızca kerpiç tekniğine ait üretim ve uygulama esaslarına yer verilmiştir. Çalışma kapsamındaki diğer ülkelerin toprak yapı dokümanları ile karşılaştırıldığında Türkiye'de toprak yapı yönetmelik ve standartlarının bazı alanlarda zayıf kaldığı görülmektedir. Bu kapsamda *Çizelge 4.7* ve *Çizelge F.1*'den elde edilen veriler doğrultusunda Türkiye için önerilecek toprak yapı yönetmelik ve standartlarında ya da mevcut olanların geliştirilmesinde bu dokümanlarda olması gereken kriterler *Çizelge 4.8*'de bulunmaktadır. *Şekil 4.1*'de ise, *Çizelge 4.8*'den yola çıkarak toprak yapı üretiminde hafriyat toprağından başlayarak izlenecek yol belirlenmiş ve *Toprak Yapı Üretimine Ait İşleyiş Şeması* hazırlanmıştır.

Sonuç olarak toprak malzemenin; ekolojik tasarım kriterlerine uygun, ekosistem döngülerine direkt dahil olabilen bir malzeme olduğu görülmektedir. Dolayısıyla doğal çevre için tehdit oluşturmamaktadır. Bu amaçla; toprak malzeme ile modern yapı üretimi hem kentsel dönüşüm faaliyetleri ile artan hafriyat toprağı miktarının azaltılmasında ve depolama sorunlarının çözülmesinde hem de daha çevreci yapı üretim anlayışlarının benimsenmesinde dikkate alınmalıdır. Türkiye'de mevcut deprem yönetmeliğinin toprak yapı üretimini sınırlaması nedeniyle toprak yapı üretiminin Türkiye iklim ve coğrafyasına uygun olmasına rağmen sınırlı bir düzeyde kaldığı görülmektedir. Yenilenmeyen ve yürürlükten kaldırılan kerpiç yapı üretim standartları ise çalışma kapsamındaki diğer ülkelerle kıyaslandığında Türkiye'nin toprak yapı üretiminde yeterli seviyede olmadığını bir göstergesidir. Yönetmelik ve standartların geliştirilmesi ile toprak yapı üretiminin artırılması ekolojik tasarım kapsamında değerlendirilmesi gereken bir konudur.

Çalışmanın bundan sonraki aşamasında farklı bir çalışma konusu olarak; yönetmelik ve standartların farklı toprak yapı üretim tekniklerini de içerecek şekilde genişletilmesi, bu tekniklere ait gerekli tasarım ve uygulama kriterlerinin belirlenmesi ve bu alanda gerekli

düzenlemelerin yapılması gerekmektedir. Toprak yapı üretiminde; yönetmelik ve standartların farklı toprak yapı üretim tekniklerini de içerecek şekilde geliştirilmesinde bu çalışmada belirlenen kriterler göz önüne alınarak gerekli test ve analizlerin yapılması hedeflenmelidir.



KAYNAKLAR

- [1] Teknikbilimlermyo, Ekosistem, <http://teknikbilimlermyo.istanbul.edu.tr/basimyayin/wp-content/uploads/2014/10/At%C4%B1k-Y%C3%B6netimi-Ders-Notlar%C4%B1.pdf>, 06 Haziran 2016.
- [2] Küçükkalay, M., (1997).“Endüstri Devrimi ve Ekonomik Sonuçlarının Analizi”, Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 2:51-68.
- [3] Yıldız Teknik Üniversitesi, Modern Kent Sanayileşme, Kentleşme, Sorunlar, http://yildiz.edu.tr/~kurtarir/pdfs/D5%20Modern_Kent_%20sanayilesme_sorunlar.pdf, 6 Haziran 2015.
- [4] Özçuhadar, T., (2007). Sürdürülebilir Çevre İçin Enerji Etkin Tasarımın Yaşam Döngüsü Sürecinde İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] Lambin, E. ve Geist, H.,(2006). Land Use and Land Cover Change Local Processes and Global Impacts, Springer, Almanya.
- [6] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB), (2013). Çevresel Göstergeler, Yayın No: 24, Ankara.
- [7] Avrupa Çevre Ajansı (AÇA),(2015). Avrupa'da Çevre Durum ve Genel Görünüm 2015 Sentez Raporu, Lüksemburg.
- [8] Enviroliteracy, Land Use Changes & Climate, <http://enviroliteracy.org/article.php/1346.html>, 28 Temmuz 2015.
- [9] USGS,(2012). National Climate Assessment Technical Report on The Impacts of Climate and Land Use and Land Cover Change, Yayın No: 1155, Virginia.
- [10] USGS, How Does Land-Use Change Affect Climate Change?, <http://www.usgs.gov/faq/node/5601>, 28 Temmuz 2015.
- [11] Houghton, R.A. (2002). Terrestrial Carbon Sinks – Uncertain Explanation. <http://whrc.org/wp-content/uploads/2015/09/HoughtonBiologist.02.pdf>, 23 Mart 2017.

- [12] Kim, J. J. ve Rigdon, B., (1998), Sustainable Architecture Module: Introduction to Sustainable Design, <http://www.umich.edu/~nppcpub/resources/compendia/ARCHpdfs/ARCHdesIntro.pdf>, 21 Mart 2016.
- [13] Yüksek, İ. ve Mıhlayanlar, E., (2015). “Yaşam Döngüsü Sürecinde Yapı Malzemesi Çevre Etkileşimi”, ISBS 2nd International Sustainable Building Symposium, 28-30 Mayıs 2015, Ankara.
- [14] Huang, S., Yeh, C. ve Chang, L., (2010). “The Transition to an Urbanizing World and the Demand for Natural Resources”, Current Opinion in Environmental Sustainability, 2:136–143.
- [15] World Wide Fund (WWF), (2016). Living Planet Report 2016 Risk and Resilience in a New Era, İsviçre.
- [16] United Nations Environment Programme (UNEP), (2011). Toward a Green Economy, Buildings Investing in Energy and Resource Efficiency.
- [17] Becker, R., (2015), 2050 Yılında Dünya Nüfusunun 9.7 Milyar Olması Bekleniyor, <http://www.nationalgeographic.com.tr/makale/kesfet/2050-yilinda-dunya-nufusunun-97-milyar-olmasi-bekleniyor/2539> , 14 Nisan 2016.
- [18] Yeang, K., (2006). Ekotasarım Ekolojik Tasarım Rehberi, Birinci Baskı, YEM, İstanbul.
- [19] ab.immib, Çevreye Duyarlı Tasarım (Eko-Tasarım), <http://ab.immib.org.tr/AB-Mevzuati-ve-Politikalari/Cevreye-duyarli-tasarim-Eko-tasarim>, 05 Ocak 2016.
- [20] Taygun, G., (2005). Yapı Ürünlerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesine Yönelik Bir Model Önerisi, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [21] Bakır, B., Ekosistem Hizmetleri Şube Müdürlüğü, <http://slideplayer.biz.tr/slide/2290969/>, 06 Haziran 2016.
- [22] Ayvaz, Z. ”Enerji, Ekonomi, Entropi ve Çevre Kirliliği”, Ekoloji Çevre Dergisi, s.22-23.
- [23] Ergin, N., (2003). "Ağaç Malzeme Kullanımı ve Çevreye Etkisi", Türkiye Mühendislik Haberleri, 427: 96-100.
- [24] Elker, C. ve Utkuğ, G., (2012). “Çevre ve Yaşam İçin Tasarım: Ekolojik Tasarım”, Çevreye Duyarlı Tasarım Konferansı II, 19 Aralık 2012, Ankara.
- [25] Elizondo, M. F., Guerrero, L. F. ve Mendoza, L. A., (2011). “Environmental Impact: Comparison Between Earthen Architecture and Conventional Construction”, Structural Repairs and Maintenance of Heritage Architecture XII, WIT Transactions on The Built Environment, 118: 475-484.
- [26] Arslan, H., Coşgun, N. ve Salgın, B., (2012). Construction and Demolition Waste Management in Turkey, 313-332; Derleyen: Rebellon, L.F.M., (2012). Waste Management – An Integrated Vision, InTech.
- [27] Lu, W. ve Yuan, H., (2011). “A Framework For Understanding Waste Management Studies in Construction”, Waste Management 31: 1252–1260.

- [28] Yonetani, H., Construction and Demolition Waste Management in JAPAN [http://www.uncrd.or.jp/content/documents/2661Parallel%20Roundtable\(2\)-Presentation\(4\)-Hideko%20Yonetani.pdf](http://www.uncrd.or.jp/content/documents/2661Parallel%20Roundtable(2)-Presentation(4)-Hideko%20Yonetani.pdf), 16 Mayıs 2016.
- [29] Asian Development Bank (ADB), (2015). People's Republic of China: Construction and Demolition Waste Management and Recycling, Project No: 48105-001, Çin.
- [30] Zhao, W., Leeftink, R.B. ve Rotter, S., (2008). "Construction and Demolition Waste in China: Analysis of Economic Instruments For Solving a Growing Problem", 471-480; Derleyen: Zamorano, M., Brebbia, C.A., Kungolos, A.G., Popov, V. ve Itoh, H., (2008). Waste Management and the Environment IV, 978-1-84564-113-9, WIT Press,
- [31] Waste-management-world (WMW), Rebuilding C&D Waste Recycling Efforts in India, <https://waste-management-world.com/a/rebuilding-cd-waste-recycling-efforts-in-india>, 17 Mayıs 2016.
- [32] Bansal, S. ve Singh, S. K., (2014). "A Sustainable Approach Towards The Construction and Demolition Waste", International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 3297: 9226-9235.
- [33] Baniyas, G., Achillas, C., Vlachokostas, C., Moussiopoulos, N. ve Tarsenis, S., (2010). "Assessing Multiple Criteria for the Optimal Location of a Construction and Demolition Waste Management Facility", Building and Environment 45: 2317-2326.
- [34] Europa, Construction and Demolition Waste (CDW), http://ec.europa.eu/environment/waste/construction_demolition.htm, 05 Mayıs 2016.
- [35] Sáez, P., V., Merino, M. ve Amores, C., (2012). "Estimation of Construction and Demolition Waste Volume Generation in New Residential Buildings in Spain", Waste Management & Research, 30(2) 137-146.
- [36] Kılıç, N., (2012). Kentsel Dönüşümde Geri Dönüşüm Atağı, İzmir Ticaret Odası, Ar&Ge Bülten.
- [37] Merino, M., Gracia, P. ve Azevedo, I., (2010). "Sustainable Construction: Construction and Demolition Waste Reconsidered", Waste Management & Research 28: 118-129.
- [38] Mymrin, V. ve Correa, S.M., (2007). "New Construction Material from Concrete Production and Demolition Wastes and Lime Production Waste", Construction and Building Materials 21: 578-582.
- [39] Sáez, P., V., Merino, M. ve Amores, C., (2011). "Managing Construction and Demolition (C&D) Waste – A European Perspective", 2011 International Conference on Petroleum and Sustainable Development, Singapore.
- [40] Weil, M., Jeske, U. ve Schebek, L., (2006). "Closed-Loop Recycling of Construction and Demolition Waste in Germany in View of Stricter Environmental Threshold Values", Waste Management & Research 24: 197-206.
- [41] Altındağ, S., (2012). İstanbul'da Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Tersine Lojistik Yöntemiyle Alternatif Yönetim Planı, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [42] Eurostat, Generation of Waste, <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>, 9 Mayıs 2016.
- [43] Shaping Rotorua. Construction & Demolition Waste, Version 1 RDC-425481, Rotorua - New Zealand.
- [44] Ministry For The Environment, (1997). National Waste Data, New Zealand.
- [45] E-belediye, İSTAÇ A.Ş. Hafriyat Atıkları Müdürü Fatih Mehmet Karaca: İstanbul'da Önümüzdeki 20 Yıllık Sürekte 150 Milyon Ton İnşaat Yıkıntı Atığı Çıkacak (2014), <http://www.ebelediye.info/roportaj/istac-a-s-hafriyat-atiklari-muduru-fatih-mehmet-karaca-istanbul-da-onumuzdeki-20-yillik-surecte-150->, 19 Şubat 2015.
- [46] İstaç Stratejik Plan 2013 - 2017 İstanbul Çevre Yönetimi San. ve Tic. A.Ş.
- [47] T.C Resmi Gazete, Ulusal Geri Dönüşüm Strateji Belgesi ve Eylem Planı 2014-2017. (29221Mükerrer), 30.12.2014, 52-54.
- [48] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Kentsel Dönüşümde 50 Soru 50 Cevap, <https://www.csb.gov.tr/db/giresun/banner/banner495.pdf> , 28 Kasım 2015.
- [49] T.C Resmi Gazete, Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği. (25406), 18.3.2004, 1.
- [50] Mamur, A., (2012). Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Alternatif Yönetimleri ve İstanbul Ölçeğinde İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [51] Demir, İ. ve Altındağ, S., İstanbul'da Hafriyat Atıklarının Yönetimi ve Türkiye İçin Öneriler, <http://docplayer.biz.tr/2696751-Istanbul-da-hafriyat-atiklarinin-yonetimi-ve-turkiye-icin-oneriler.html>, 12 Nisan 2016.
- [52] Nufusu, İlçelere Göre İstanbul Nüfusu, <http://www.nufusu.com/il/istanbul-nufusu>, 14 Nisan 2016.
- [53] Tema, Toprak Nasıl Oluşur?, http://toprak.tema.org.tr/web_20002_1/entitalfocus.aspx?primary_id=9015&type=1628&target=categorial1&detail=single&sp_table=&sp_primary=&sp_table_extra=&openfrom=sortial, 28 Mayıs 2015.
- [54] Popülerbilim, Evrendeki Yaşam Bağımız: Toprak!, <http://www.populerbilim.com.tr/arsiv/0602/a00.htm>, 28 Mayıs 2015.
- [55] Ustaoglu, S.S., (2014). Yapıların Söküm - Yıkım Çalışmalarında Yapısal Atık Yönetiminin İrdelenmesi ve Öneriler, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [56] Türküresin, İ., (2017), Toprak, Alker ve Sürdürülebilir Yapılar, <http://ekoik.com/toprak-alker-surdurulebilir-yapilar/>, 05 Temmuz 2017.
- [57] Aghazadeh, E., (2011). Kireç ve Alçı İçeren Toprak Yapı Elemanlarının Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [58] Oğuz, H., (2008), Toprak Bilgisi Ders Notu, <http://gmyo.gumushane.edu.tr/media/uploads/gmyo-bitkisel/files/toprak-dersi-notlar.pdf>, 24 Mayıs 2016.
- [59] Çiçek, B., (2014). “Çağdaş Bir Yapı Malzemesi Olarak Toprak”, Sürdürülebilir Mimari Tasarımda Kerpiç Malzeme Kullanımı Paneli, 16-18 Mayıs 2014, Konya.
- [60] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, (2011). Ortaöğretim Projesi Laboratuvar Hizmetleri Toprakta Fiziksel Analizler, Yayın No: 524LT0037, Ankara.
- [61] Abi, E., (2012), Zemin Mekaniği – 1 Ders Notları, http://www2.aku.edu.tr/~eabi/duyuru/1hafta_zemin1.pdf, 24 Mayıs 2016.
- [62] Namlı, A., (2014), Toprağın Kimyasal Özellikleri, http://arsiv.agri.ankara.edu.tr/soil_sciences/1250_toprak_bilgisi_kimyasal_ozellikler.pdf, 25 Mayıs 2016.
- [63] Torgal, P. ve Jalali, S., (2011).”Earth Construction: Lessons From The Past for Future Eco-Efficient Construction”, Construction and Building Materials 29: 512-519.
- [64] Blondet, M. ve Garcia, G., Adobe Construction, http://www.world-housing.net/wp-content/uploads/2011/06/Adobe_Blondet.pdf, 23 Mart 2016.
- [65] Lyamuya, P. ve Alam, K., (2013). “Earth Construction in Botswana Reviving and Improving the Tradition”, CAA DHAKA 20th General Assembly and Conference, 2013, Bangladesh.
- [66] Hall, M,R., Lindsay, R. ve Krayenhoff, M., (2012). Modern Earth Buildings Metaterials, Engineering, Construction and Applications, Woodhead Publishing Limited, 33, UK.
- [67] Hasol, D., (2005). Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü, 9.baskı, Yapı Yayın, İstanbul.
- [68] Catalhoyuk, Çatal News The Newsletter of The Çatalhöyük Research Project, http://www.catalhoyuk.com/sites/default/files/Catal_News_2010.pdf, 28 Kasım 2015.
- [69] Tayproject, Çatalhöyük (Doğu), [http://www.tayproject.org/TAYages.fm\\$Retrieve?CagNo=629&html=ages_detail_t.html&layout=web](http://www.tayproject.org/TAYages.fm$Retrieve?CagNo=629&html=ages_detail_t.html&layout=web), 28 Kasım 2015.
- [70] Seyahatdergisi, Çatalhöyük Nerede, Nasıl Gidilir ve Hakkında Bilgi, <https://seyahatdergisi.com/catalhoyuk-nerede-nasil-gidilir-ve-hakkinda-bilgi/>, 28 Kasım 2015.
- [71] Topaloğlu, S., (2014), İmece Usulü Toprakla Buluşmak: Turunç Kerpiç Anaokulu Projesi, <http://www.mimarlikdergisi.com/index.cfm?sayfa=mimarlik&DergiSayi=391&RecID=3412>, 21 Aralık 2016.
- [72] Griffiths, A., (2014), Mud Bricks and Woven Rattan Used To Build An Affordable Preschool İn Morocco, <https://www.dezeen.com/2014/11/22/preschool-building-bc-architects-mud-bricks-rattan-morocco/>, 17 Şubat 2017.

- [73] Toprakyapılar, Toprak Yapılar Grubu, <http://www.toprakyapilar.com/>, 05 Temmuz 2017.
- [74] Kirknielsen, Cob Highly Sustainable Building Technique, <http://kirknielsen.com/project/cob/>, 10 Aralık 2015.
- [75] Erdhaus, Vetsch Architektur – Earth Houses, <http://www.erdhaus.ch/erdhaumluser--earth-houses.html>, 2 Ekim 2016.
- [76] Earthhomesnow, Wattle and Daub Homes, <http://www.earthhomesnow.com/wattle-daub-homes.htm>, 10 Aralık 2015.
- [77] Bamboo-earth-architecture-construction, Art House, <http://www.bamboo-earth-architecture-construction.com/portfolio-item/art-house/>, 30 Eylül 2016.
- [78] Firerking, M., Poured Earth, http://www.greenhomebuilding.com/poured_earth.htm, 2 Ekim 2016.
- [79] Archdaily, "Khamisa" House / Atelier Koe, <http://www.archdaily.com/604246/khamisa-house-atelier-koe>, 2 Ekim 2016.
- [80] Treeyopermacultureedu, Light Earth Building, <https://treeyopermacultureedu.wordpress.com/natural-building/light-earth-building/>, 10 Aralık 2015.
- [81] Buildingforfuture, Light Earth, http://www.buildingforafuture.co.uk/winter02/Earth_building.pdf, 10 Aralık 2015.
- [82] Auroville Earth Institute, Compressed Stabilised Earth Block, http://www.earth-auroville.com/compressed_stabilised_earth_block_en.php, 10 Aralık 2015.
- [83] Papayianni, I., Anastasious, E. ve Papadopoulou, K., (2015). "Comparative Life Cycle Assessment of Earth-Block and Conventional Concrete-Based Houses", WIT Transactions on Ecology and The Environment, 193: 309-317.
- [84] Eartharchitecture, Revealing The Potential of Compressed Earth Blocks, <http://eartharchitecture.org/?cat=79>, 30 Eylül 2016.
- [85] Meinhold, B., (2011), Atelier Tekuto's Earth Brick House is The Epitome Of Efficient, Local Design, <http://inhabitat.com/atelier-tekutos-earth-brick-house-is-the-epitome-of-efficient-local-design/earth-bricks-atelier-tekuto-2/>, 30 Eylül 2016.
- [86] Mairs, J., (2016) Norman Foster Reveals Vaulted Droneport Prototype At Venice Architecture Biennale, <https://www.dezeen.com/2016/05/27/norman-foster-partners-vaulted-drone-port-prototype-medical-supplies-remote-africa-venice-architecture-biennale/>, 16 Şubat 2017.
- [87] Cosoleto, D., (2015), Rammed Earth – Diagrams and Examples, <https://esdrammedearth2015.wordpress.com/>, 28 Mayıs 2015.
- [88] Tinyhousedesign, How To Build Rammed Earth Walls, <http://www.tinyhousedesign.com/how-to-build-rammed-earth-walls/>, 28 Mayıs 2015.

- [89] Ciancio, D. ve Beckett, C., (2013). “Rammed Earth: An Overview Of A Sustainable Construction Material” Third International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, August 2013, Kyoto.
- [90] Maniatidis, V. ve Walker, P., (2003). “A Review of Rammed Earth Construction”, Natural Building Technology Group Department of Architecture & Civil Engineering University of Bath.
- [91] Morel, J. C., Mesbah, A., Oggero, M. ve Walker, P., (2011). “Building Houses with Local Materials: Means to Drastically Reduce the Environmental Impact of Construction”, Building and Environment, 36: 1119-1126.
- [92] Seyahatdergisi, Dünyanın En Uzun Savunma Duvarı Çin Seddi, <https://seyahatdergisi.com/dunyanin-en-uzun-savunma-duvari/>, 28 Mayıs 2015.
- [93] Archdaily, Nk’Mip Desert Cultural Center – HBBH Architects / HBBH Architects, <http://www.archdaily.com/10629/nkmip-desert-cultural-centre-hbbh-architects>, 30 Eylül 2016.
- [94] Frearson, A., (2014), Herzog & de Meuron Uses Rammed Earth to Create Countryside Herb Centre for Ricola, <http://www.dezeen.com/2014/07/07/herzog-de-meuron-krauterzentrum-herb-processing-plant-ricola-laufen/>, 10 Aralık 2015
- [95] Frearson, A., (2014), African Children's Library With Rammed Earth Walls By BC Architects and Studios, <https://www.dezeen.com/2014/01/14/childrens-library-muyinga-africa-rammed-earth-walls-bc-architects/>, 16 Şubat 2017.
- [96] Easton, D., (2015). “The Future and The Common Ground”, 11-16; Derleyen: Ciancio, D. ve Beckett, C., (2015). Rammed Earth Construction Cutting-Edge Research on Traditional and Modern Rammed Earth, CRC Press, London, UK.
- [97] Easton, D., (2001). Pisé – A New Earthen Construction Technology. S. 1-11.
- [98] Cleanhouston, Green Building From The Ground Up: Natural Materials, http://www.cleanhouston.org/living/green_building/construction/natural_materials.htm, 11 Mayıs 2015.
- [99] Fisher, A., PISE Does It, <https://www.dwell.com/article/pise-does-it-9036f44a>, 30 Eylül 2016.
- [100] Morris, H.W., Walter, R. ve Drupsteen, T., (2011). “Modern and Historic Earth Buildings: Observation of the 4th September 2010 Darfield Earthquake”, Proceeding of the Ninth Pacific Conference on Earthquake Engineering Building an Earthquake-Resilient Society, 14-16 Nisan 2011, Auckland, New Zealand, s.2.
- [101] Little B. ve Morton, T.(2001). Building with Earth In Scotland: Innovative Design and Sustainability, Scottish Executive Central Research Unit, Edinburgh.
- [102] Standards Council New Zealand, (1998). NZS 4297 Engineering Design of Earth Buildings [Building Code Compliance Documents B1 (VM1), B2 (AS1)], Wellington.
- [103] Standards Council New Zealand, (1998). NZS 4298 Materials and Workmanship for Earth Buildings [Code Compliance Document E2 (AS2)], Wellington.

- [104] Standards Council New Zealand, (1998). NZS 4299 Earth Buildings not Requiring Specific Design [Building Code Compliance Documents B1 (AS1), B2 (AS1), E2 (AS2)], Wellington.
- [105] ASTM, (2010). Committee, Standard Guide for Design of Earthen Wall Building Systems, ASTM, Pennsylvania.
- [106] Morton, T. (2008). Earth Masonry and Construction Guidelines, First Publication, IHS BRE Press.
- [107] TSE 2514, (1977). Kerpiç Bloklar ve Yapım Kuralları, TSE, Ankara.
- [108] TSE 2515, (1985). Kerpiç Yapıların Yapım Kuralları, TSE, Ankara.
- [109] Türk Standartları Enstitüsü, Standart Detayı,
<https://intweb.tse.org.tr/standard/standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055048065082077055103076076056084115049111048112065113076056079119118075116049066072073121053065115102085103101076090053047076065043122104088074051119079108118052079077107099081073083121087083050081112076043085051043078074098119054102049078121072090089081067052104111103078049071082077120104122065085048050075069098083086110082108055115068065047050079103088106103079055082097104107068056117120081082112121053073065116065061061,15>
Temmuz 2017.
- [110] Türk Standartları Enstitüsü, Standart Detayı,
<https://intweb.tse.org.tr/standard/standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055048065082077055103076076056084103118110100122076043076114106082047068053101055112110103057115115103116055069085083053085107108097069049050072069085116079070105074055090098110057102121053116055065057101121082085073076084115118067054083073111057104115122070084076090119048118068114049052120051057080113084097057102115048088114100098067098119106119077121079109088054117049086047083122080083120048051119069077057077104081061061,15>
15 Temmuz 2017.
- [111] tydteknikyapıdenetim, Kerpiç Binalar İçin Depreme Dayanıklı Tasarım Kuralları, <http://www.tydteknikyapıdenetim.com.tr/yonetmelik/bl11.htm>, 27 Haziran 2016.
- [112] İnşaat Malzemesi Sanayicileri Derneği (İMSAD), (2015). Sürdürülebilirlik Raporu, İstanbul.

ÇEVRESEL GELİŞMELERİN TARİHÇESİ

Küresel çevreyle ilgili gelişmelerin 1960'lı yıllarda başladığı görülmektedir. Bu kapsamda çevresel gelişmelerin tarihçesi *Çizelge A.1*'de kronolojik olarak görülmektedir.

Çizelge A.1 Küresel çevreyle ilişkili önemli uluslararası gelişmelerin tarihçesi [18]

YIL	ÖNEMLİ ULUSLARARASI GELİŞMELER
1967-69	Çevre Savunma Fonu, Çevre Kaynaklarını Koruma Konseyi ve Yeryüzü Dostları Örgütü Kuruldu
1969	ABD'de Ulusal Çevre Politikaları Yasası kongreden geçti ve Çevre Koruma Kurulu ve Çevre Kalitesi Konseyi kuruldu.
1972	"Tek Bir Dünya" başlıklı BM İnsan Çevresi Konferansı Stocholm'de düzenlendi. BM Çevre Programı kuruldu.
1973	Nesli Tükenen Türler Yasası; petrol ambargosu. Roma Kulübü. <i>The Limits to Growth</i> yayımladı.
1974	Kloroflorokarbon (CFC) bileşiklerinin (1930'larda bulundu) atmosferdeki bazı bileşenleri, özellikle de ozon tabakasını parçalama eğiliminde olduğunu kanıtlandı.
1975	Worldwatch Enstitüsü kuruldu. Nesli Tükenen Hayvan ve Bitki Türleri Uluslararası Ticaret Konvansiyonu yürürlüğe girdi.
1979	Uzun Erimli Sınır Ötesi Hava Kirliliği Konvansiyonu kabul edildi. Ulusal Bilimler Akademisi, iklim değişikliği raporunu (Charney Report) yayımladı.
1980	Dünya Koruma Birliği (WCN) Küresel 2000 Dünya Koruma Stratejisi Başkanlık Raporu'nu yayımladı.
1981	"Edilgin ve Düşük Enerjili Mimarlık" ın (PLEA) ilk toplantısı ABD Miami Üniversitesi'nden Profesör Arthur Bohan tarafından başlatıldı.
1982	Dünya Kaynakları Enstitüsü kuruldu. BM Deniz Yasası Konvansiyonu kabul edildi. BM Doğa Bildirisi Yayımlandı.
1985	Dünya Meteoroloji Topluluğu Avusturya Toplantısı: Birleşmiş Milletler Çevre Programı ve Uluslararası Bilimsel Birlikler Konseyi karbondioksit vs. sera gazlarının atmosferdeki oluşumuna ilişkin raporlar yayımladı. Güney Kutbu'nda ozon deliği keşfedildi.
1987	Dünya Çevre ve Gelişme Komisyonu (WCED), Bruntland Raporu: "Ortak Geleceğimiz" Montreal Protokolü'nde ozon tabakası tehdidinde değinilerek, CFC ve ACFC'lerin aşamalı olarak durdurulması için bir zaman çizelgesi sunuldu.
1989	Tehlikeli Atıkların Sınır Ötesi Hareketinin Denetimi Konvansiyonu Basel'de imzalandı.
1990	Çevre Değerlendirme Yönetimi (BREEAM), İngiltere; Bina Araştırma Kuruluşu (BRE)

Çizelge A.1 Küresel çevreyle ilişkili önemli uluslararası gelişmelerin tarihçesi (Devamı)

1992	Yeryüzü Zirvesi, Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı Rio de Janeiro’da toplandı. Amaç, atmosferdeki sera gazı yoğunlaşmasını belli bir düzeyde sabitlemek. Agenda 21 (iklim değişikliği ile mücadele etmek üzere uluslararası eylem planı) kabul edildi. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Konvansiyonu (UNFCCC), ABD başkanı da dâhil olmak üzere dünya liderleri tarafından imzalandı. Biyolojik Çeşitlilik Konvansiyonu imzalandı. Konvansiyonun 4. Maddesinin 2. Paragrafının b fıkrası, endüstrileşmiş ülkeler için sera gazı salımlarını 1990 yılı düzeyine indirme hedefi koydu.
1994	Küresel Çevre Tesisi kuruldu. BM Nüfus ve Kalkınma Konferansı Kahire’de toplandı. BM Çölleşmeyle Mücadele Konvansiyonu imzalandı.
1995	Dünya Ticaret Örgütü kuruldu. Avrupa Birliği 1995 yılından itibaren CFC üretimini ve 2015 yılından itibaren ACFC üretimini kademeli olarak yasakladı.
1997	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Konvansiyonu Kyoto Protokolü imzalandı. Protokol endüstrileşmiş ülkelerin sera gazı salımlarını 2010 yılına kadar %5.2 azaltmasını gerektirmektedir. Protokolü 140’tan fazla ülke imzaladı.
1997	ABD Byrd-Hagel Kararı. Kararda ABD’nin, gelişmekte olan ülkeler zorunlu tutulmadığı takdirde, salımları azaltma konusunda bağlı olduğu her anlaşmaya uyacağı bildirilmektedir. ISO 14040 – Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) ilke ve çerçevesi ISO 14000 standartlarının (Çevre Yönetimi) parçası olarak uluslararası bir standart haline geldi.
1998	Bu yükümlülük, endüstrileşmiş veya Ek 1 ülkelerine (ABD, Kanada, Japonya, Avrupa, Avustralya, Yeni Zelanda) ve birkaç Doğu bloğu ülkesine getirildi. Zararlı Kimyasal ve Böcek Öldürücüler Ticareti için Şartlı Onay Uygulaması, Rotterdam Konvansiyonu imzalandı.
2000	Kalıcı Organik Kirlenici Maddeler (POP) Stockholm Konvansiyonu imzalandı.
2001	ABD Yeşil Bina Konseyi (USGBC, Washington, DC) Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik (LEED), Çevresel Bina Dereceleme Sistemi 2.0 Sürümü. Tüm bina uygulamalarına ortak bir standart getirerek yeşil binayı tanımlamak, yeşil rekabeti teşvik etmek, tüketiciyi bilinçlendirmek, yapı sektörü ve ürünlerini dönüştürmek ve yapılı çevrenin çevresel sonuçlarını tanıtmak için LEED sertifikası hazırlandı.
2002	Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi Johannesburg’ta toplandı. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Konvansiyonu Bakanlık Toplantısı (Yeni Delhi)
2003	Kyoto Protokolü devreye girdi (ABD onaylamadı). 2004 yılında Rusya; 2008 yılında ABD tarafından onaylandı.
2012	Kyoto Protokolü’nün süresi doldu.

YENİ ZELANDA TOPRAK YAPI YÖNETMELİKLERİ

Yeni Zelanda toprak yapı yönetmelikleri üç yönetmelikten oluşmaktadır. Bu yönetmeliklere ait detaylı bilgi *Çizelge B.1*, *Çizelge B.2* ve *Çizelge B.3*'te görülmektedir.

Çizelge B.1 NZS 4297 Mühendislik gerektiren toprak yapı yönetmeliği [102]

KAPSAM	
Genel	Yönetmelik; kerpiç, sıkıştırılmış toprak tuğla, dökme toprak, sıkıştırılmış toprak ve yapısal dayanımını içindeki kil ve silt tanecikleri ile sağlayan kimyasal olarak stabilize edilmiş veya edilmemiş pişirilmemiş toprak duvar yapı malzemelerini kapsamaktadır.
PERFORMANS KRİTERLERİ	
Dayanıklılık (Durability)	Yüzey bakımı yapılan toprak bir yapının 50 yıllık bina ömrü boyunca duvar kalınlığının yapının herhangi bir noktasında %5'ten fazla ya da 30 mm'den fazla azalmadığı durumlarda bina dayanıklı kabul edilmektedir
Nem Kontrolü	Yalıtımı sağlayan ve nefes alabilen kaplama malzemeleri tercih edilmelidir
Rötre (Shrinkage)	Toprak malzemede, içindeki kilden dolayı kurduğunda çatlama görülebilir. Bu durumu azaltmak için toprak karışımı içine çimento katılabilir.
Termal Yalıtım ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)	Isıl Direnç R = Duvar kalınlığının (m) 2.04 katı + 0.12. 280 mm duvar kalınlığı ek bir termal yalıtıma gerek duymamaktadır.
Yangın	Yangın dayanımı 150 mm kalınlığındaki duvarlar için 120/120/120 olmalıdır.
GENEL İNŞAAT ve TASARIM KURALLARI	
Standart Kalite Toprak Yapı İnşaatı	-Döşeme hareketli yükü asma katlar için 1.5 kPa'ı, balkonlar için 2.0 kPa'ı aşmamalıdır (NZS 4203). Asma kat ölü yükü 0.9 kPa'dan az olmalıdır. -NZS 4203 kapsamında sismik bölge katsayısı 0.6'dan büyük olan bölgelerde zemin kat alanı; a) 600 m ² tek katlı toprak bina b) 200 m ² iki katlı toprak bina c) 300m ² iki katlı toprak bina alt katı toprak, üst kat ahşap olmalıdır. - En düşük beton temel üst yüzeyi ve çatı üst yüzeyi 6.5m'yi aşmamalıdır.
Basınç Dayanımı (f_c)	$f_c = 0.5 \text{ MPa}$
Max. Toplam Nominal Kayma Gerilmesi (f_n)	$f_n = 0.09 \text{ Mpa}$
Toprağın rüzgar yükü ve elastik tepki ile sismik yük kayma direnci (f_{es})	$f_{es} = 0.08 \text{ Mpa}$
Sınırlı süneklikte ($\mu = 2.0$) sismik yükleme için toprak kayma direnci (f_{es})	$f_{es} = 0.0 \text{ MPa}$
Çelikte güçlendirilen toprak yapılar için kayma direnci (f_{es})	$f_{es} = 0.35 \text{ MPa}$
Çekme/Esneleme Bağ Kuvveti (f_{eb})	$f_{eb} = 0.02 \text{ MPa}$
Eğilme Çekme Mukavemeti (f_{et})	$f_{et} = 0.1 \text{ Mpa}$

Çizelge B.1 NZS 4297 Mühendislik gerektiren toprak yapı yönetmeliği (Devamı)

YÜKSEK KALİTE TOPRAK YAPI İNŞAATI																													
Basınç ve Eğilme Dayanımı	-Basınç (f_c) ve eğilme (f_{et}) dayanımı NZS 4298 kapsamında belirtilen testlerle belirlenmelidir. - $f_c = 3.5 f_{et}$																												
Birleşim Yeri Dayanımı	Basınç dayanımının 6 MPa'dan büyük olduğu durumlarda birleşim yeri dayanımı toprak tuğla duvarlarda dikkate alınmalıdır.																												
Kesme Direnci (Shear strength) (f_{cs})	$f_{cs} = 0.07 f_c$ $f_{cs} = (70 + 5 h)$ kPa, h:yükseklik (m)																												
Eğilme Çekme Mukavemeti (Flexural tensile strength) (f_{et})	$f_{et} = 0.10 f_c$ (basınç dayanımı 6MPa'dan az olan toprak yapı malzemeleri için) 6MPa'dan fazla ise test yapılması gerekir (NZS 428).																												
Elastisite Modülü (E_c)	- $E_c = 300 \times f_c$ - Siltli ve düşük kalite topraklar için elastisite modülü 120kPa-3GPa; siltli-kumlu killer ve düşük kaliteli topraklar için 3GPa-7GPa, siltli kum ve kumlu killer 7GPa'a yakın ve çakıllı topraklarda 7GPa-20GPa olarak kabul edilmektedir. - Ön gerilmemiş çelik donatı (non-prestressed steel reinforcement) elastisite modülü E_s , 200 GPa alınmalıdır.																												
Duvar Kalınlığı	Toprak duvarlar min. 250 mm kalınlığında olmalıdır. Cinva tuğla duvarlar ise 130 mm kalınlığında olmalıdır. 280 mm daha az kalınlıkta duvarlar için ek termal yalıtıma ihtiyaç duyabilir.																												
Max. Narinlik Oranı (S_r)	<table><tr><td></td><td colspan="2">Sismik Bölge Faktörü</td></tr><tr><td></td><td>$Z \leq 0.6$</td><td>$Z > 0.6$</td></tr><tr><td>Donatısız Taşıyıcı Duvarlar</td><td>10</td><td>6</td></tr><tr><td>Donatılı Taşıyıcı Duvarlar</td><td>16</td><td>10</td></tr><tr><td>Donatısız Kolonlar</td><td>4</td><td>3</td></tr><tr><td>Donatılı Kolonlar</td><td>8</td><td>6</td></tr><tr><td>Donatısız Taşıyıcı Olmayan Duvarlar</td><td>12</td><td>8</td></tr><tr><td>Donatılı Taşıyıcı Olmayan Duvarlar</td><td>18</td><td>12</td></tr><tr><td>Donatılı Cinva Tuğla</td><td>24</td><td>16</td></tr></table>			Sismik Bölge Faktörü			$Z \leq 0.6$	$Z > 0.6$	Donatısız Taşıyıcı Duvarlar	10	6	Donatılı Taşıyıcı Duvarlar	16	10	Donatısız Kolonlar	4	3	Donatılı Kolonlar	8	6	Donatısız Taşıyıcı Olmayan Duvarlar	12	8	Donatılı Taşıyıcı Olmayan Duvarlar	18	12	Donatılı Cinva Tuğla	24	16
	Sismik Bölge Faktörü																												
	$Z \leq 0.6$	$Z > 0.6$																											
Donatısız Taşıyıcı Duvarlar	10	6																											
Donatılı Taşıyıcı Duvarlar	16	10																											
Donatısız Kolonlar	4	3																											
Donatılı Kolonlar	8	6																											
Donatısız Taşıyıcı Olmayan Duvarlar	12	8																											
Donatılı Taşıyıcı Olmayan Duvarlar	18	12																											
Donatılı Cinva Tuğla	24	16																											
Sismik Yükleme	Yanal deprem yüklerine karşı tasarlanmış duvarlarda NZS 4203 kapsamında yapısal süneklik katsayısı (Structural Ductility Factor) donatısız ve esnek donatılı duvarlar için $\mu = 1.0$; sınırlı süneklikte donatılı duvarlar için $\mu = 2.0$ ve cinva tuğla duvarlar için $\mu = 1.25$ olarak kabul edilmektedir.																												
Yapısal Performans Faktörü (Structural Performance Factor)	NZS 4203 kapsamında $S_p = 0.67$ olarak kabul edilmektedir.																												
EĞİLME (Aksiyal Yüklü veya Yüksüz)																													
Basınç	- $0.5 f_c A_b$ aşan bir aksiyal yüke maruz kalan elemanda toplam aksiyal yük ahşap, betonarme veya çelik bir çekirdekle taşınacak şekilde tasarlanmalıdır. - Bir elemanın enine kesiti üzerindeki aksiyal yükü $0.5 f_c A_b$ az ise bu eleman kolon veya duvar olarak tasarlanmalıdır.																												
Kolon İnşası	Min. kolon ölçüleri donatılı kolonlar için 250 mm^2 , Donatısız kolonlar için 580 mm^2 olmalıdır.																												
Max. Kolon Narinlik Oranı	Z: Sismik Bölge Faktörü; $Z \leq 0.6$ için 4 (donatısız kolonlar), $Z > 0.6$ için 3 (donatısız kolonlar); $Z \leq 0.6$ için 8 (donatılı kolonlar), $Z > 0.6$ için 6 (donatılı kolonlar) olmalıdır.																												
Çekme Dayanımı	Takviyelerin çekme dayanımı, eğilme basınç dayanımının %75'inden fazla olmamalıdır.																												
Kolon Donatı Çapı	Boyuna donatının çapı 16 mm aşmamalıdır. Demir çubuklar min.12 mm olmalıdır.																												
MAKASLAMA/KESME KUVVETİ																													
Kesme Kapasitesi	Donatısız toprak yapılar için $V^* \leq \phi [f_{cs} A_b + k_v f_d A_b]$ veya $V^* \leq 5\phi f_{cs} A_b$ V^* (simultaneously acting design shear force); Donatılı toprak yapılar için $V_n = f_{estd} + A_{sv} f_{sy} d/s + k_v f_d t_d$ veya $V_n = A_{sv} f_{sy} d/s$																												
Kesme Dayanımı	Deprem yükleri altında yapısal süneklik faktörü ≤ 2.0 μ olan elemanlar ile deprem yükleri altında $2.0 \geq \mu \geq 1.25$ yapısal süneklik gösteren elemanlara yönetmelikte yer alan farklı hükümler uygulanmaktadır.																												

Çizelge B.1 NZS 4297 Mühendislik gerektiren toprak yapı yönetmeliği (Devamı)

GÜÇLENDİRİLMİŞ DETAYLAR ve BAĞLAMA	
Kolon Donatı Mesafesi	Paralel takviye çubukları arasındaki net mesafe ne çubuklar arasındaki nominal mesafeden ne de 25 mm'den az olmamalıdır.
TEMELLER	
Genel İlkeler ve Şartlar	Temeller toprak duvar genişliğinde betonarmeden, taştan yapılmış olmalıdır. Betonarme yığma temeller üzerindeki duvarla aynı kalınlıkta olmakla birlikte 240 mm genişliğinde bir temel 300 mm'lik bir duvarı taşıyabilmektedir. 300 mm'den daha geniş duvarlarda betonarme temeller kullanılabilir ancak temel genişliği duvar genişliği ile aynı olmalıdır.
Temellerde Kesme Kuvveti (Shear in Strip Foundation)	NZS 3101'e göre min. kesme donatısı sağlanmalı ve donatı mesafesi merkezden merkeze 600 mm'den fazla olmamalıdır.
Bitmiş Zemin Seviyesinden Temel Yüksekliği	- Bitmiş zemin asfalt kaplı ise temelin üst seviyesi döşeme seviyesinden 150 mm'den az olmalıdır. - Temel yüksekliği; zeminin toprak, gevşek çakıl veya diğer asfaltlanmamış yüzeyler olması durumunda bitmiş zemin seviyesinden en az 225 mm olmalıdır. - Toprak altında kalan temel üst seviyesinin suya karşı yalıtımı yapılmalıdır.

Çizelge B.2 NZS 4298 Toprak yapı malzeme ve işçiliği [103]

KAPSAM	
Genel	Yönetmelik; kerpiç, sıkıştırılmış toprak tuğla, sıkıştırılmış toprak ve dökme toprak yapım tekniklerine ait malzeme ve işçilik gereksinimlerine yönelik hazırlanmıştır.
MALZEME ve İŞÇİLİK	
Toprak	Yapı malzemesi olarak kullanılacak toprak şunları içermemelidir; -Duvar içinde çürüyebilecek türden organik maddeler bulunmamalıdır. -Duvarın mukavemetini bozacak suda çözülebilen tuzlar -Duvarın homojenliğini ya da dayanımını azaltabilecek kadar büyük agregalar -Islanma/kuruma testlerini geçemeyen topraklar -Yüzey tabakası nem içeriğindeki değişikliklerden dolayı kurumuş toprak yüzeylerinde oluşan dökülmeler. - Kuruma / Islanma testinde n geçemeyen topraklar yapı üretiminde kullanılmamalıdır.
Katkı Maddesi	Toprak malzeme içine katılmasına izin verilen katkı maddeleri saman, çimento, bitüm ve sönmüş kireçtir. Katkı maddesi katılmasının amacı kil parçacıklarının kontrol etmek ve duvarın su direncini artırmaktır. Böylece duvarın sertlik ve basınç dayanımı da iyileştirilebilir.
Nem İçeriği	Toprak malzeme içinde agregaları bağlamak ve çimentonun hidrasyonu için belirli oranda su bulunmalıdır.
Kür ve Kurutma (curing and drying)	Kerpiç ve sıkıştırılmış toprak tuğlalar hazırlandıktan sonra 28 gün boyunca direkt yağmur ve rüzgâra maruz kalmadan kurutulmalıdır. İlk 4 gün doğrudan güneşten korunmalıdır. Dış ortamda kurumaya bırakılmadan önce çimento içeren malzemeler en az 1 hafta, kireç içeren malzemeler ise en az 3 hafta nemli ortamda kürlenmelidir.
Rötre	Rötre çatlakları en aza indirilmelidir.
Bağlantı Parçaları, Borular vb	-Drenaj, su, elektrik ve diğer teçhizatların geçmesi için duvarda açılan delikler 200 mm'den geniş olmamalıdır. -Dikey ve yatay servis kanalları duvar kalınlığının orta üçte birine yerleştirilir ve duvar kalınlığının %10'nunu geçemez.
Toprak Karışımı	-Toprak ve içine katılan katkı maddeleri toprağın her yerinde eşit ve homojen olacak şekilde karışmalıdır. -Çimento içeren topraklar, çimento ve su eklendikten sonra 45 dk. içinde kullanılmalıdır.
HARÇ	
Genel	Harç, toprak duvarların genel performansında büyük öneme sahiptir.
Malzemelerin Ölçülmesi	Bütün ölçüler hacim cinsinden olmalıdır.
Karışım	Harçlar; a)Toprak esaslı (toprak esaslı harçlar çimento, hidrolik kireç ve bitüm ile stabilize edilebilir). b)Toprak/çimento (toprak/çimento harçları toprak/kireç/çimento içerebilir) esaslı toprak harç şeklinde olabilir. -Kullanılan harç, duvar üretiminde kullanılan malzeme ile benzer olmalıdır.
Çimento İçeren Harçlar	-Çimento içeren harçlar bir kere hazırlandıktan sonra içine başka bir şey katılmamalıdır. -Kum/çimento oranı 6:1 veya 12:1 (kum: çimento) oranında olabilir. Çimento ile aynı oranlarda kireç-toprak karışımı da hazırlanabilir. Kullanılacak kireç en az 2 saat önceden ıslatılmış olmalıdır. -Karışımda kullanılacak kum yağlı olmalıdır. Yağsız kumlar da uygundur ancak bu kumlarla çalışmak zor olduğundan içine plastikleştirici katmak gerekmektedir.
Toprak Esaslı Harçlar	-Yüksek kil oranına sahip harçlar kuruduktan sonra çatlamasını engellemek için kum veya saman lifleri ile iyileştirilebilir. Saman yalnızca toprak duvarda kullanılmış ise kullanılmalıdır. -Kuruduktan sonra çok fazla parçalanma gösteren, kum oranı yüksek olan harçlar içine katılacak kil ile iyileştirilebilir. Bu tür topraklar aynı zamanda çimento esaslı harçlar için de uygundur.

Çizelge B.2 NZS 4298 Toprak yapı malzeme ve işçiliği (Devamı)

Özellikler	-Harç çok ıslak olmamalıdır, yeterli dayanımda olmalıdır. -Su geçirgenliği olmamalıdır. -Yatak kalınlığı kum/çimento harçları için 10 mm'den az veya toprak esaslı harçlar için 15 mm'den az olmamalıdır. -Fazla çatlamamalıdır. -Yeterli bağlanma özelliği olmalıdır. -Uygun oranda granülometriye sahip olmalıdır.																			
MALZEME TESTLERİ																				
Standart Kalite Toprak Yapı İnşaatı için İnşaat Öncesinde Yapılacak Testler	Eğilme - Çekme dayanımı çok değişkendir ve çoğu sonuç basınç dayanımının %10-20'si arasında bulunur.																			
Basınç veya Eğilme-Çekme Mukavemeti	$f_e > 1.3 \text{ MPa}$ (basınç) $f_{et} > 0.25 \text{ MPa}$ (eğilme çekme) $f_e > 3.2 \text{ MPa}$ cıva tuğlalar için																			
Rötre (shrinkage)	$\leq \%0.05$ sıkıştırılmış toprak $\leq \%1.0$ çimento esaslı harç $\leq \%3.0$ çimentosuz harç ve dökme toprak (poured earth)																			
Aşınma	Toprak malzemenin aşınmasını engellemek için toprak karışımına kireç, çimento, bitüm, uçucu kül vb. katkı maddeleri katılabilir. Bu kapsamda aşınmayı belirlemek için çeşitli testler yapılmaktadır. <table><tr><td>Özellik</td><td>Kriter</td><td>Erodibilite Endeksi</td></tr><tr><td rowspan="5">Aşınma Derinliği D (mm/hr)</td><td>$0 \leq D < 20$</td><td>1</td></tr><tr><td>$20 \leq D < 50$</td><td>2</td></tr><tr><td>$50 \leq D < 90$</td><td>3</td></tr><tr><td>$90 \leq D < 120$</td><td>4</td></tr><tr><td>$D \leq 120$</td><td>5 (başarısız)</td></tr><tr><td colspan="3">Numune 120 mm'den kalın ise.</td></tr></table>			Özellik	Kriter	Erodibilite Endeksi	Aşınma Derinliği D (mm/hr)	$0 \leq D < 20$	1	$20 \leq D < 50$	2	$50 \leq D < 90$	3	$90 \leq D < 120$	4	$D \leq 120$	5 (başarısız)	Numune 120 mm'den kalın ise.		
Özellik	Kriter	Erodibilite Endeksi																		
Aşınma Derinliği D (mm/hr)	$0 \leq D < 20$	1																		
	$20 \leq D < 50$	2																		
	$50 \leq D < 90$	3																		
	$90 \leq D < 120$	4																		
	$D \leq 120$	5 (başarısız)																		
Numune 120 mm'den kalın ise.																				
Yüksek Kalite Toprak Yapı İnşaatı için İnşaat Öncesinde Yapılacak Testler	Numuneler test edilmeden önce 70 °C altında bir sıcaklıkta nem içeriği %3-5 olacak şekilde kurutulmalıdır																			
KALİTE KONTROLÜ İÇİN HEDEF DAYANIM																				
Basınç Dayanımı	1.9 f_e																			
Eğilme – Çekme Dayanımı	2.1 f_{et}																			

Çizelge B.3 NZS 4299 Özel bir tasarım gerektirmeyen toprak yapılar [104]

KAPSAM	
Yönetmelik Sınırları	Tek katlı yapılar, taban alanı 300 m ² olan iki katlı yapılar, duvar yüksekliği $Z \leq 0.6$ (Z: Sismik Bölge Faktörü) olan bölgelerde tek katlı yapılarda maks. kat yüksekliği 2.75 ve maks. kalkan duvar (Gable Wall) yüksekliği 3.6 m (donatılı duvarlarda) ve 3.3 m (donatısız duvarlarda) olmalıdır.
Kat yüksekliği	$Z \leq 0.6$ olan bölgelerde tek katlı yapılarda maks. kat yüksekliği 2.75 m $Z > 0.6$ olan bölgelerde tek katlı yapılarda maks. kat yüksekliği 2.75 m olmalıdır.
Kalkan Duvar Yüksekliği	$Z \leq 0.6$ olan bölgelerde tek katlı yapılarda donatılı duvarlar için kalkan duvar yüksekliği maks. 3.6 m ve donatısız veya kısmen donatılı duvarlar için kalkan duvar yüksekliği maks. 3.3 m. Olmalıdır. $Z > 0.6$ olan bölgelerde tek katlı yapılarda maks. kalkan duvar yüksekliği 3.05 m. Bu bölgelerde donatısız veya kısmen donatılı toprak duvar inşasına izin verilmemektedir.
Zemin katı toprak yapılarda üst kat plan düzeni	-Çatı katındaki ahşap kısım zemin kat alanının %50'sini aşmamalı ve hafif çatılı olmalıdır. -Birinci katı ahşap ve kat yüksekliği 2.75 m kadar olan ahşap duvarlı yapılar hafif çatılı olmalıdır.
Toprak Duvar Kalınlığı	Toprak duvar kalınlığı 280-350 mm olmalıdır. Cinva tuğla duvarlar (cinva brick wall) için min. duvar kalınlığı 140 mm'dir. Dış duvar kalınlığı min. 280 mm olup yalıtım gerektirmeden termal performans koşullarını sağlayabilmektedir.
Çatı	Çatı eğimi 45°'den daha dik olmamalıdır. Dayanıklılık standartlarını karşılamak için min. saçak genişliğinin 600 mm olması önerilmektedir. NZS 3604'e göre saçaklar 750 mm'ye kadar çıkabilmektedir.
Rüzgâr, Yağmur ve Kar Yükleri	Rüzgâr hızı saniyede 50 m/s geçmemelidir. Kar yükü NZS 4203'te belirtildiği gibi 1.0 kPa aşmamalıdır. Yıllık yağış miktarı 2000 mm aşmamalıdır.
Asma Kat	Asma katlarda hareketli yük 1.5 kPa aşmamalıdır. Asma kat ve Çatılar NZS 3604 kapsamında hafif ahşap yapı şeklinde olmalıdır.
Temeller	-Beton temeller yapı alanı çevresi boyunca sürekli olmalıdır. Dış kanat duvarlarının (external wing walls) temelleri, çevre temellerinin 1.2 m kadar dışına çıkabilir. 1.2 metreden uzun iç duvarlara ait beton temeller çevresindeki elemanlara iki taraftan bağlanmalıdır. Ancak 1.2 metreden kısa ise bir taraftan bağlanabilmektedir.
GENEL KURALLAR	
Dayanıklılık (Durability)	Yüzey bakımının yapılmış olması kaydıyla, toprak bir yapının 50 yıllık bina ömrü boyunca duvar kalınlığının yapının herhangi bir noktasında %5'ten fazla ya da 30 mm'den fazla azalmadığı durumlarda bina dayanıklı kabul edilmektedir.
Nem Kontrolü	Yalıtımı sağlayan ve nefes alabilen kaplama malzemeleri tercih edilmelidir.
Erodibilite Endeksi (Erodibility Index)	Toprak malzeme erodibilite endeksi; yapı erodibilite endeksinden az veya eşit olmalıdır. Toprak duvar malzemesi erodibilite endeksi; toprağın çimento veya asfalt emülsiyon ile güçlendirilmesi ile artırılabilir.
Beton Dayanımı	Çelik donatıda min. 50 mm beton olmalıdır.
Termal Yalıtım	-Çatılar için termal yalıtım katsayısı $R=3.0$ olarak belirlenmiştir. -Cam alanının duvar alanının %30'undan fazla olması ısı kaybına veya fazla ısınmaya neden olabilir. Bu nedenle cam alanı NZS 4218'de %30 olarak belirlenmiştir.
YERLEŞİM ŞARTLARI (Site Requirement)	
	Yerleşim şartları drenaj ve toprak koşullarını kapsamaktadır. Bu kapsamda; - NZS 3604'e göre yapılan testler, 300 kPa'lık bir nihai dayanma gücünün varsayılabilmesi için basit yöntemler sunmaktadır. -Yapı temellerinin (footings) asgari derinliği sağlam olmayan kaya (weathered rock) zeminlerde 150 mm; diğer malzemeler için genişleyebilen killeri (expansive clay) hariç, NZS 4431'de 300 mm olarak belirtilmiştir. - Genişleyebilen killerin (expansive clay) olduğu yerlerde temeller özel olarak tasarlanmalıdır. Bu tasarım kriterleri, bu yönetmeliğin kapsamı dışındadır.

Çizelge B.3 NZS 4299 Özel bir tasarım gerektirmeyen toprak yapılar (Devamı)

TEMELLER	
Genel	- Taşıyıcı olsun ya da olmasın tüm yapı duvarları donatılı bir temel ile desteklenmelidir. - Temeller duvarın merkezinden itibaren simetrik olmalıdır.
Temel Genişliği	Temel genişliği 280 mm'den az ya da duvarın genişliğinden az olmamalı ve temel genişliği 450 mm'den fazla olmamalıdır.
Temel Yüksekliği	- Toprak duvarın alt kısmındaki tabanın üst seviyesi; a) Bitmiş dış zemin seviyesinden en az 225 mm yukarıda, b) İnşaat sırasında, çatının hava koşullarına karşı korunmadan önce iç zemin seviyesinin en az 50 mm üzerinde, c) Temizlenen zemin seviyesinin maksimum 600 mm üzerinde ve d) Sürekli döşeme yüzeyinden en az 150 mm yukarıda olmalıdır. - Binaların ıslak hacimlerindeki duvarlarda zemin katından en az 50 mm yukarıda bir beton temel bulunmalıdır.
Temel Donatısı	- $Z \leq 0.6$ (Z: Sismik Bölge Faktörü) olan bölgelerde genişliği 350 mm aşmayan temellerde; boyuna donatı a) 4/D12 veya 2/D16 demir çubuklardan b) temel genişliği 350 mm'den fazla olması durumunda temeller 4/D16 demir çubuklardan oluşmalıdır. - Takviye malzemesi 400 mm merkezlerle R6 dikdörtgen etriyelerle veya 400 mm merkezlerde R6 "L" etriyelerle bağlanacaktır. Bu durumda; üzerinde beton zemin varsa etriye demirleri 400 mm'lik merkezlerle D10 olacaktır. Toplam derinliği 450 mm'den az temeller için yukarıdaki aralık 350 mm olmalıdır. - Temel donatıları 400 mm'lik merkezlerde R10 etriyeler ile bağlanacaktır. Taban kesitlerinde güçlendirme D16 L çubukları ile üstten ve alttan bağlanarak üst üste bindirilmelidir. - Dikey duvar takviyeleri aynı çap, tip, aralık ve konumda olacak şekilde malzemeyi suya karşı korumak amacıyla 600 mm'den az olmayacak bir mesafede duvara yerleştirilmelidir
Zemin Katlarda Beton Levha (Concrete Slab on Ground Floors) ve Granüler Dolgu	- Bitmiş beton döşeme seviyesi bitişik dış zemin seviyesinden min. 175 mm veya bitişik daimi döşeme yüzeyinin 100 mm üstünde olmalıdır. - Granül taban şu şartlara uymalıdır; a) sıkıştırma işlemi yapılmadan önce 150 mm aşmayacak katmanlar halinde yerleştirilir ve sıkıştırılmalıdır. b) Granül dolgu malzemesi yuvarlak taş veya kırılmış taştan oluşmalıdır (%5'i, 2.2 mm elekten geçmeyecek şekilde) %100 geçmesi durumunda; A) her türlü dolgu kalınlığı için 19 mm elek veya B) dolgu kalınlığı 100 mm aşması durumunda 37.5 mm elek gerekmektedir.
Buhar Bariyeri (Vapour Barriers) Nem Geçirmezlik (Damp Proof Course)	Beton plaka altında yer alan buhar bariyeri NZS 3604 kapsamında yapılmalıdır. Nem geçirmezlik için (damp proof course) toprak duvarın alt kısmındaki taban kısmının üst bölümünün nem geçirmezliği sağlanmalıdır. Beton döşemenin üstünün nem geçirmezliği sağlanmadan önce 5mm genlikte pürüzlendirilmelidir. Nem geçirmezlik için AS/NZS 2904 ile uyumlu toprak duvar veya malzemenin genişliği 2 kat bitümlü boya ile boyanmalıdır.
Kalınlık ve Donatı	Beton plaka kalınlığı ve donatısı NZS 3604 kapsamında incelenmektedir.
DUVARLAR	
Duvar Kalınlığı	Toprak duvar kalınlığı min. 280 mm, max. duvar kalınlığı 350 mm (yüzey bitiş malzemeleri dahil değil) olmalıdır. 350 mm'den kalın olan duvarlar özel tasarım gerektirmektedir.
Kapı – Pencere Boşlukları	Açılacak kapı ve pencere boşlukları dış duvarın dış köşesinden itibaren min. 900 mm olmalıdır. Açıklıklar arasındaki toprak panel uzunluğu min. 600 mm olmalıdır.
Yüzey Bitişleri	Toprak duvarın her türlü nefes alabilen malzemeler ile kaplanması ya da sıvanmasına izin verilmektedir. Kullanılacak malzemeler yalıtım için de uygun olmalıdır.
Yatay Yükler Altında Toprak Duvarlar	-Bütün toprak duvarlar yatay deprem ve rüzgâr yüklerine karşı dayanıklı olması için iki ana yönden birbirine 90° olacak şekilde toprak bir payanda duvarla desteklenmelidir. - Payanda duvarları yüksekliği; yüksekliği 2.4 metreye kadar olan duvarlar için min.1.8 m ve min. payanda uzunluğu 1.2 m olmalıdır. Yüksekliği 3.0 m olan duvarlar için min. payanda uzunluğu 1.5 m ve yüksekliği 3.3 m olan duvarlar için min. payanda uzunluğu 1.8 m olmalı ve temel ve üst levha kısmında ya da bağlama kirişi arasında kalan bölümde bir açıklık olmamalıdır. -Bir payanda duvarın uzunluğu; duvar uçları, açıklıklar, köşeler veya kontrol derzleri (control joints) arasındaki duvar boyunca yatay uzunluk olarak tanımlanmaktadır. -Payanda duvarların belirli açılarda olması dayanım kuvvetine katkıda bulunmaktadır. Bu kapsamda payanda duvarlarının; a) 30° bir yönde ve 60° diğer yönde olması duvarın destek kuvvetine 0.87 ve 0.5 kat; b) iki taraftan 45° olması durumunda duvarın destek kuvvetine 0.7 kat katkıda bulunmaktadır.

Çizelge B.3 NZS 4299 Özel bir tasarım gerektirmeyen toprak yapılar (Devamı)

Kısmen Güçlendirilmiş Duvarlar	-Kısmen güçlendirilmiş duvarlar sismik bölge faktörünün $Z \leq 0.6$ olduğu bölgelerde uygulanmaktadır. -Kısmen güçlendirilmiş toprak duvarlarda payanda duvarlarından itibaren 150 mm - 200 mm mesafede bir D12 dikey takviye çubuğu bulunmalıdır.
Kalınlığı 280mm – 350 mm Olan Toprak Duvarlarda Güçlendirme	Güçlendirilmiş toprak duvarlarda payanda duvarlarından itibaren 150 mm - 200 mm mesafede bir D12 dikey takviye çubuğu bulunmalıdır. Çeşitli özel durumlar dışında bütün kerpiç, sıkıştırılmış toprak ve sıkıştırılmış tuğla duvarların tümü ortalama ve maksimum boşluklarda D12 takviye çubuklarına sahip olacaktır. Güçlendirilmiş toprak duvarlarda D12 takviyesi mesafeleri aşağıdaki gibidir. Duvar Yüksekliği 2.4 m = Ortalama Mesafe 1.65 m = Max. Mesafe = 2.10 m Duvar Yüksekliği 2.7 m = Ortalama Mesafe 1.35 m = Max. Mesafe = 1.80 m Duvar Yüksekliği 3.0 m = Ortalama Mesafe 1.05 m = Max. Mesafe = 1.50 m Duvar Yüksekliği 3.3 m = Ortalama Mesafe 0.75 m = Max. Mesafe = 1.20 m olmalıdır
Yapısal Diyaframa Sahip Olmayan Toprak Duvarlar (earth walls without structural diaphragms)	-Toprak yapı duvarları çatı ile bağlamanın mümkün olmadığı durumlarda bütün duvarlar bağ kirişleri ile bağlanarak yanall olarak desteklenmelidir. Birinci katı destekleyen bütün duvarlar veya ağır çatı bir diyaframla bağlanmalıdır. Yapısal diyaframı olmayan toprak yapılar sadece tek katlı hafif çatılı yapılar için geçerlidir. -Yapısal diyaframı olmayan yapılarda sismik bölge faktörü $Z > 0.6$ olan bölgelerde bağ kirişleri betonarme olmalıdır. Bu bölgelerde özel tasarımların yapılması durumunda bağ kirişleri ahşap olarak da kullanılabilir. - Yapısal diyaframın olmadığı durumlarda ahşap bağ kirişleri sismik bölge faktörünün $Z \leq 0.6$ olduğu bölgelerde için uygundur. - Yan duvarlar arasında kalan bağ kirişinin max. uzunluğu 6.0 m olmalıdır. - Sürekli olmayan bir betonarme bağ kirişi yan duvarlardan max. 1.2 m uzun olabilir.
BAĞ KİRİŞLERİ	
Genel	Bağ kirişleri tüm toprak duvarların üst kısmında yer almaktadır. Bağ kirişler; a) Bitişik duvarlar arasında yanall yükleri desteklemeye yardımcı olur b) Döşeme ve çatı elemanlarının bağlanmasını (anchorage) sağlar. c) Toprak duvarları birbirine bağlar.
Yapı Diyaframı Olan Bağ Kirişler	Sismik bölge katsayısı $Z \leq 0.6$ ve $Z > 0.6$ olan bölgelerde ahşap veya betonarme bağ kirişleri kullanılabilir.
Yapı Diyaframı Olmayan Bağ Kirişleri	Sismik bölge katsayısı $Z \leq 0.6$ olan bölgelerde ahşap veya betonarme bağ kirişleri kullanılabilir. Sismik bölge katsayısı $Z > 0.6$ olan bölgelerde betonarme bağ kirişleri kullanılabilir.
Ahşap Kalkan Duvara Sahip Toprak Duvarlar (Timber gable walls above earth walls)	-Sismik bölge katsayısı $Z > 0.6$ olan bölgelerde tek katlı ahşap çatılı yapılar şu şartları sağlamalıdır; a) Ahşap bağlama kirişli düz çatı b) Betonarme bağ kirişi c) Toprak duvar ve ahşap kalkan duvarı arasında ahşap bağlama kirişi ve eğimi 25° geçmeyen beşik çatı. - Sismik bölge katsayısı $Z \leq 0.6$ olan bölgelerde tek katlı ahşap çatılı yapılar şu şartları sağlamalıdır; a) Ahşap bağlama kirişli düz çatı b) Yapısal diyaframı olmayan betonarme veya ahşap bağlama kirişi c) Toprak duvar ve ahşap kalkan duvarı arasında ahşap bağlama kirişi ve eğimi 25° geçmeyen beşik çatı.
LENTOLAR	
Genel	Lentolar kapı ve pencere açıklıkları üzerinde olan ahşap veya beton elemanlardır.
Ahşap Lentolar	Ahşap hatıllar boşluğun her iki yanındaki toprak duvar üzerine en az 300 mm olacak şekilde yerleştirilmelidir. Duvar genişliğinden daha dar olan ahşap lentolar duvarla aynı genişlikte bir ahşap bloğa dayanacaktır.
Beton Lentolar	Beton lentolar beton bağlama kirişleri ile birlikte açıklığın iki tarafında da devam etmelidir.
DUVAR BOŞLUKLARI ve TEÇHİZATLAR	
Kapı ve Pencere Detayları	Geleneksel yığma ve ahşap yapılara kıyasla toprak duvarlarda açılacak olan kapı ve pencere boşlukları özel bir dikkat gerektirmektedir. Toprak duvarlar kalın, yüzeyi daha az homojen ve duvar malzemesi kırılgan olabilmektedir.
Kemerler	- Kapı ve pencere üzerinde kemer oluşturmak için toprak tuğla malzemesi kullanılabilir. - Max. kemer açıklığı 1800 mm olmalıdır. - Kemerin alt kısmındaki duvar yüksekliği ve bağ kirişi altındaki duvar açıklığının en az dörtte biri kadar ya da geniş olan kenardan 300 mm olmalıdır.

AMERİKA TOPRAK YAPI YÖNETMELİĞİ

Amerika toprak yapı yönetmeliğine ait detaylı bilgi *Çizelge C.1*’de görülmektedir.

Çizelge C.1 ASTM E2392/E2392M Toprak yapı sistemleri tasarımı için standart kılavuz [105]

KAPSAM	
Genel	Bu yönetmelik toprak yapılar için bir kılavuz niteliğindedir ve toprak yapı üretimi için gerekli teknik bilgileri içermektedir. Kılavuz; kerpiç, sıkıştırılmış toprak, dökme toprak, yerinde dökme toprak vb. toprak yapı üretim teknolojilerini içermektedir.
SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA ve MALZEME DAYANIMI	
Malzeme	Toprak yapı üretiminde kullanılan malzemeler genellikle kil ve silt, kum ve çakıl gibi inorganik maddeler içermekle birlikte saman, kıl ve kepek (chaff) gibi organik esaslı malzemeler de içermektedirler. Toprak malzeme çimento, asfalt, alçı ve kaktüs suyu gibi malzemelerle güçlendirilebileceği gibi güçlendirilmeden de kullanılabilir.
Toprak	Toprak yapılarda kullanılan toprağın kil (bağlayıcı) silt, kum ve çakıl içermesi gerekmektedir. Bazı kil türleri ıslandığında çok genişleyebildikleri gibi (monmorillonit) orta düzeyde genişleyen killer de (illit) mevcuttur. Bu tür killer toprak yapılar için sorun oluşturduğundan genişlemeyen türden killer (kaolinit) tercih edilmelidir. Karışıma katılacak az oranda kireç, bitüm veya çimento bu genişlemeyi engelleyecektir fakat aynı kimyasal mekanizma kilin bağlanma ve diğer yararlı özelliklerini de azaltmaktadır. Bu nedenle gerekli olmadığı durumda bu tip malzemeler kullanılmamalıdır.
Üretim Süreci	Stabilize edilmemiş toprak yapılar; diğer yapı üretim tekniklerine göre daha enerji etkin bir yapı üretim tekniğidir.
Enerji Kullanımı	Taşıma ve imalat masraflarından dolayı pişmiş tuğla, beton yapılar, çelik ve ahşap sistemler; stabilize edilmemiş toprak yapılara göre üretimleri için daha fazla enerji kullanılmaktadır. Stabilize edilmiş toprak yapılar biraz daha fazla enerji tüketmektedir. Bu nedenle çimento, kireç ya da alçıyla güçlendirme diğer önlemler yetersiz kaldığında (geniş saçaklar, sıva vb.) yapılmalıdır.
Dayanıklılık (Durability)	Su, stabilize edilmemiş toprak yapılara zarar verebilmektedir. Bu nedenle toprak yapıları sudan korumak için bina zeminden yükseltilebilir, kireç veya toprak sıvalar ile sıvanarak korunabilir. Saçaklar genişletilebilir. Ömrünü tamamlamış stabilize edilmemiş toprak yapılar yıkıldıktan sonra parçalanarak toprağa geri dönebilir (çevreye olumsuz bir etkisi yok). Bitüm veya çimentoyla stabilize edilmiş topraklar daha dayanıklı olmakla birlikte toprağın yapısı değiştiğinden yapı yıkıldıktan sonra tarım için uygun olmamaktadır.
Enerji Etkinlik	Toprak yapı sistemlerinin termal depolama kapasiteleri (Özgül ısı) bulunmaktadır ancak az ısı yalıtımı sağlamaktadır (R- değeri). İstenen iç mekân ısının sağlanabildiği iklimlerde toprak dış duvarlar ısı transferi yaparak iç mekân ısının ayarlanmasına yardımcı olmaktadır. Bunun sağlanamadığı iklimlerde ise yalıtım gerekmektedir.

Çizelge C.1 ASTM E2392/E2392M Toprak yapı sistemleri tasarımı için standart kılavuz (Devamı)

TEKNİK GEREKSİNİMLER	
Tasarım	-Stabilize edilmemiş toprak yapıların mühendislik tasarımında Yeni Zelanda toprak yapılar yönetmeliğinden yararlanılmaktadır (NZS 4297, NZS 4298, NZS 4299). Bununla birlikte dünyanın birçok yerinde mühendisler çimento ile güçlendirilmiş toprak yapıların tasarımında beton yapılar için kabul edilmiş tasarım kriterlerini kabul etmektedir. -Stabilize edilmemiş toprak yapılar ıslandıklarında yapısal dayanımını kaybedebilmektedirler. Bu nedenle toprak yapılar temel, bodrum vb. zemin altı yapılar için uygun değildir. - Toprak yapıların ortak sorunu aşınmaya karşı dirençsiz oluşlarıdır. Yağmurun yarattığı aşınmayı engellemek için duvar tabanı boyunca bir taş kaide yapılabilceği gibi geniş saçaklar ya da yenilebilen bir sıva da yapılabilir. -Açıklıklar üzerindeki lentolar üzerindeki duvarın ağırlığı ve çatı yükü hesaplanarak tasarlanmalıdır. Her durumda açıklığın iki yanından 300 mm olmalıdır.
Harç Derzleri	Sıvalar duvarda kullanılan malzeme ile dayanıklılık, sertlik ve buhar geçirgenliği açısından mümkün olduğunca aynı olmalıdır. Stabilize edilmemiş toprak harçlar; çimentoyla stabilize edilmiş duvarlar ve taş duvarlarda; çimento esaslı harçlar stabilize edilmemiş toprak duvarlarda kullanılmamalıdır. Her koşulda harç derzleri uygulama yapılabilir kadar ince tutulmalıdır.
Sele Karşı Tasarım	Stabilize edilmemiş toprak yapılar sel riski olan bölgelerde tercih edilmemektedir. Bu gibi durumlarda yapıların yükseltilmesi gerekmektedir.
TOPRAK YAPILAR İÇİN AMPİRİK TASARIM ve ASGARİ DETAYLANDIRMA ŞARTLARI	
Malzeme	Yapı üretiminde kullanılacak olan toprak malzemenin dayanıklılığının test edilmesi gerekmektedir.
Karışım	Karışımın hazırlanmasında zaman ve karışım içine konulan su malzemenin dayanımını etkilemektedir. Bu kapsamda çok fazla ya da az su katmak dayanımı olumsuz etkileyecektir.
Tuğla Testi	Malzemenin inşaat için uygun olup olmadığını anlamanın en iyi yolu deneme için çeşitli toprak karışımlarından numune tuğlalar üretmek ve bunları mümkün olduğunca güçlendirmektedir. Bu kapsamda üretilen numuneler parçalanmaya ve hasar göremeye karşı dirençli olmalı, üzerinde 75 mm'den daha uzun, 3mm'den daha geniş veya derin çatlaklar olmamalıdır. Bu test kerpiç ve sıkıştırılmış tuğla yapılar için istenirken, sıkıştırılmış toprak ya da dökme toprak yapılar için de uygulanabilir.
Donatı	Toprak duvarların ve hatılların çekme dayanımı yetişkin bir insanı (100 kg) ağırlığını aşırı bir deformasyon olmadan taşıyabilecek güçte olmalıdır. Toprak harçlar bunun yarısı kadar güce sahip olmalıdır (50 kg). Bütün takviyeler dayanımı sağlamak için yeterli oranda gömülmüş olması gerekmektedir. Organik lifleri nemden korumak için özel önlemler alınmalıdır.
İşçilik	Toprak malzemenin karışımı, tuğlaların kürlenmesi ve duvarın bir araya getirilmesi, mümkün olduğunca yerel yapı gelenekleri ile tutarlı olmalıdır. Sağlam bir bina çok büyük bir bakım ve onarım gerektirmeden en az üç kuşak yaşayabilen yapılar olarak belirtilmektedir.
Tasarım	-Duvarın üst kısmından takviye edilmesi deprem dayanımı için en önemli ölçütlerden biridir ve duvarın üst kısmını ve çatıyı bağlayacak şekilde bir bağlama kirişi ile elde edilir. Alternatif olarak yapılar, duvarların üst kısımlarına yerleştirilmiş ve duvar ile bağlanmış (anchored through the wall) bir çekme takviye bandı (tension reinforcing band) ile güçlendirilebilirler. Bir bağ kirişi süncekle birlikte düzlem dışı sapma dayanımını (out-of-plane deflections) da sağlayacak kadar esnek olmalıdır (duvar kalınlığının %25'i kadar kalınlık). -Duvar çatlakları yatay ve dikey takviyelerle engellenmelidir.
Düzlem Dışı Stabilitate (Out of Plane Stability)	Düzlem dışı stabilite için duvarların üst kısımlarından bağlanması ve aşınmaya karşı korunması gerekmektedir. Düzlem dışı stabiliteyi sağlamak için tercih edilen yöntem duvarları düşey yönde takviye etmek ve duvarların üst kısımlarından güçlü bir bağlama kirişi ile bağlanması gerekmektedir. Diğer bir yöntem ise duvar geometrisini sınırlamaktır. Bunu yapmanın iki şekli vardır; a) Payanda duvarlar (cross walls) arasında kalan yatay duvarın uzunluğunu sınırlamak. b) Duvar yükseklik – kalınlık oranını sınırlamak. Kalın duvarlar (stout walls) ince duvarlardan daha dayanıklı ve sağlamdır. Bu kapsamda orta derece deprem bölgelerinde duvarın yüksekliğinin kalınlığının sekiz katı ile sınırlandırılması, yüksek deprem riskinin olduğu bölgelerde ise bu oranın altı kattan fazla olmaması gerekmektedir.
Çatı	Çatılar ve diğer destekleyici elemanlar olabildiğinde hafif olmalı ve duvar üst kısmı ile düzgün bir şekilde bağlanmış olmalıdır. Toprak ve ağır kiremit çatılar yüksek deprem riski olan bölgelerde tercih edilmemektedir.
Duvar Planı	Duvar planları uygulanabilir, sağlam ve simetrik olmalıdır. Duvarların deprem sırasında açılmaması için düzgün ve uygun bir şekilde bağlanması gerekmektedir.
Duvar Açıklıkları	Donatısız toprak yapılarda duvar açıklıkları; a) Toplam duvar açıklığının duvarın toplam uzunluğunun üçte biri ile sınırlandırılması b) Açıklığın 1.2 m ile sınırlandırılması c) Açıklıklar arasında kalan duvar mesafesinin 1.2 m ile sınırlandırılması gerekmektedir.

Çizelge C.1 ASTM E2392/E2392M Toprak yapı sistemleri tasarımı için standart kılavuz (Devamı)

<i>MALZEME TESTLERİ</i>	
İnşaat Öncesi Yapılacak Testler	Toprağın kıvamını belirleme de şerit ve küre deneyleri yapılmaktadır.



İNGİLTERE TOPRAK YAPI KILAVUZLARI

İngiltere toprak yapı kılavuzları iki kılavuzdan oluşmaktadır. Bu kılavuzlara ait detaylı bilgi *Çizelge D.1* ve *Çizelge D.2*'de görülmektedir.

Çizelge D.1 İskoçya toprak yapı kılavuzu [101]

KAPSAM	
Genel	Çalışmanın kapsamı toprak yapıların az işleminden geçmiş formlarını içermektedir
Ulusal Durum	-İngiltere’de kişi başına yıllık 6 ton inşaat malzemesi kullanılmakta ve katı atık oranının yarısı inşaat sektörü tarafından oluşturulmaktadır. -İngiltere, 2010 yılına kadar sera gazı salınımını %20 azaltarak 1990 seviyesine düşürmeyi hedeflemektedir. CO ₂ salınımlarının %40-50’si yapı sektöründen kaynaklanmaktadır.
YAPI MALZEMESİ OLARAK TOPRAK	
Dayanım (Strength)	-Toprak malzemenin basınç dayanımı iyi olmakla birlikte çekme dayanımı iyi değildir. Toprak duvarlar taşıyıcı olarak kullanılması durumunda üzerine binen yükü taşıyabilecek kalınlıkta olması gerekmektedir. Bu nedenle yük taşıyıcı monolitik duvarlar, kalın olma eğilimindedir (450-900mm). -Toprağın basınç dayanımı sıkıştırma ile artış gösterebilir. Bu aynı zamanda malzemenin yoğunluğunu da artırmaktadır.
Dayanıklılık (Durability)	-Soğuk ve nemli iklimlerde toprak yapıları suyun zararlı etkilerinden korumak gerekmektedir. Bu da binanın, suyun ulaşamayacağı bir yüksekliğe çıkarılması ile mümkündür. Ayrıca geniş saçaklı çatılar, hava geçirgenliği olan yüzey kaplama malzemeleri kullanılmalıdır. -Malzemenin dayanıklılığını artırmak için toprak karışıma çeşitli katkı malzemeleri eklenebilmektedir.
Rötre	Toprak yapı malzemesi su ile uzun süre temas ettiğinde şişer ve sonrasında kuruyarak küçülür. Bu durumda kilin türü ve miktarı ile toprak sınıfının da önemi vardır.
TERMAL ÖZELLİKLER	
Genel	Yüksek yoğunluktaki toprak yapılar yüksek termal kütleye sahiptir. Isıyı tutar ve yavaşça iç ortama yayarlar. Buna karşılık taşıyıcı özelliği olmayan, hafif malzemeler (toprak-lif paneller veya bloklar gibi) ısı geçirimine karşı dirençlidir ve ısı yalıtımı iyidir.
NEM KONTROLÜ	
Genel	Toprak ortamdaki nemi emerek ve ortama geri vererek iç ortam havasını dengelemektedir. Bu durum özellikle banyolarda mantar oluşumunu engellemektedir.
YANGIN DAYANIMI	
Genel	Toprak yapı malzemesi içinde belli oranlarda lif bulunması durumunda yangına dayanıklıdır. Alman Yapı Standartlarına göre 1700 kg/m’den daha yoğun toprak duvarlar çok fazla lif içerse bile yangına karşı dayanıklıdır. Hafif toprak-lif karışımlarının yangın dayanımı toprak ya da kireç siva kullanılarak geliştirilebilir.

Çizelge D.1 İskoçya toprak yapı kılavuzu (Devamı)

TOPRAK YAPI İNŞA TEKNİKLERİ			
Bölgedeki Toprağı Kullanmak	-Birkaç istisna dışında inşaat için istenilen özelliklerde alt toprak tabakası bulunabilir. İnşaatta içinde organik maddeler içerdiğinden dolayı üst toprak tabakası kesinlikle kullanılmamalıdır. Topraklar kil, silt, kum ve çakıl oranına göre sınıflandırılırlar. <i>Kil:</i> 0.002 mm'den daha küçük <i>Silt:</i> 0.002 mm - 0.06mm <i>Kum:</i> 0.06mm – 2.00 mm <i>Çakıl:</i> 2.00 – 60.00 mm taneciklerden oluşmaktadır (British Standard Grading) -Bunlar arasından kilin bağlayıcı özelliği vardır. Aynı zamanda şişme ve büzülmeğe karşı hassastırlar. -Toprağın türü yapım tekniğinde de etkili olmaktadır. Sıkıştırılmış toprak tekniğinde kil oranının %10 ve yüksek oranda kum ve çakıl olması istenirken; kil oranı başka bir yapım tekniğinde (mudwall) %15-40'a çıkabilmektedir.		
Yüzey Bitişleri	Toprak duvarlar, toprak veya kireç ile sıvanabileceği gibi ahşap malzeme ile de kaplanabilir.		
Katkı Maddeleri	Araştırmalar toprak malzeme içine katılan bazı katkı maddelerinin malzemenin toprağın özelliklerini iyileştirdiğini göstermektedir. Bu kapsamda geleneksel katkı maddeleri olarak inek dışkısı, at idrarı, boğa kanı, süt ürünleri, yosun ve sabun gösterilebilir.		
TESTLER			
Genel	Testler iki başlık altında yapılmaktadır. a) Yapı malzemesi olarak seçilen toprağın uygunluğu b) Yapı elemanlarına uygulanan performans testleri		
Alan Testleri	Birkaç basit testle kullanılacak olan toprağın yaklaşık bileşimi ve özellikleri anlaşılabilir. Bu testler görsel, dokunma, koku ve sedimentasyon ile ilgili testlerdir.		
Laboratuvar Testleri	Bu testler, iyi bir yapı malzemesinin elde edildiğinden emin olmak için yapılmaktadır. -Sedimentasyon, Plastik ve Likit Limit, Rötire (linear shrinkage), Basınç Dayanımı, Kütle Yoğunluğu (bulk density), Boşluk Oranı, Minerolojik Tanımlama, Çekme Dayanımı, Şişme, Su Emme, Donma, Aşınma.		
Yapı Toprağının Belirlenmesi	Performans Göstergeleri	Toprak Duvar (mudwall)	Sıkıştırılmış Toprak
	Kil İçeriği	%10-25	%7-15
	Nem İçeriği	%18-25	%10-16
	Dayanım	400-1000 kN/m ³	800-2000 kN/m ³
	Rötire (linear shrinkge)	%6'dan az	%3'ten az
Performans	Killi harçlar donmadan kaynaklı hasarlara karşı daha duyarlı iken kumlu harçlar daha kolay aşınabilmektedir.		
Buhar ve Termal Testler*	5 yıllık süre içinde Almanya'da yeni inşa edilen toprak yapılar üzerinde yapılan ölçümler neticesinde bağıl nemin %45-55 civarında kaldığı görülmüştür.		

*Kassel Üniversitesi, Yapı Araştırma Enstitüsü.

Çizelge D.2 Toprak duvar tasarımı ve yapım kuralları kılavuzu [106]

KAPSAM	
Genel	Bu bölüm toprak yapı elemanlarının detaylı tasarım kriterlerini ve mimariye nasıl adapte edilebileceğini göstermektedir.
YAPI MALZEMESİ OLARAK TOPRAK	
Toprak	Yapı üretimi için uygun olan toprak, organik madde içermeyen, uygun granülometriye sahip ve kil oranı %5-20 arasında olan topraklardır.
Bitkisel Lifler	Toprak malzemenin dayanımını artırmak ve çatlakları engellemek için içine çeşitli katkı maddeleri katılmaktadır. Bunlar saman, kenevir, keten, talaş, kağıt hamuru gibi malzemelerdir.
Katkı Maddeleri	Çimento, bitüm, nişasta, reçine gibi lignosülfatlar (lignosulfates) ve alçı.
TASARIM ve PERFORMANS KRİTERLERİ	
Basınç Dayanımı	Toprak, tuğla ve betona göre dayanımı daha az bir malzemedir. Toprak malzemenin basınç dayanımı 2-7N/mm ² 'dir.
Çekme Dayanımı	Toprak duvarların çekme dayanımı azdır. Bu nedenle yapılacak tasarımlar çekme dayanımını azaltma yönündedir. Kubbeli ve kemerli tasarımlarla çekme dayanımı azaltılabilir.
Geometri	Toprak yapıların köşe kısımları daha dayanıksız olduğu için bu bölgelerin iyi bağlanması gerekmektedir. Alternatif olarak kalın duvarlar çelik hasır vb. güçlendirilebilir.
Narinlik ve Dayanıklılık (slenderness and stability)	Elemanların uzunluk/genişlik oranları yeterli olmalıdır. 1:8 veya 1:10 oranı yanal bir kısıtlama olmadan duvarlara uygulanabilir. Yanal sınırlaması (lateral restraint) olan duvarlar için bu oran iki katına çıkarılabilir. Ancak narinlik oranı 1:20 olan sınırlaması olmayan duvarlarda (unrestrained walls) uygun katkı maddeleri eklenerek hazırlanan harçlarla iyi sonuçlar elde edilmiştir.
Harç Bağ Gücü (mortar bond strength)	100 mm kalınlığındaki bir duvarın eğilme mukavemeti 140 mm kalınlığındaki bir duvarın yarısı ve 200 mm kalınlığındaki bir duvarın çeyreği kadardır. Harç bağ dayanımı tasarımın ana kriterlerinden biridir.
Taşıyıcı	Lentolar (bearing) en az 250 mm olmalıdır. 1m'den geniş açıklar üzerindeki yükleri yaymak için kemerler kullanılabilir.
Yapı Derzleri	Farklı elemanlar arasında takviyeler yapılmalıdır. Bu durum için çelik hasırlar her 5-6 katmanda (every five or six courses) bir kullanılabilir.
Yüzey Bitişleri	Toprak yapılarda en çok kil sıvalar tercih edilmektedir. İngiltere'de ise kil sıvalar (clay plaster) suda çözünemediğinden ve yumuşak olduğundan çok fazla tercih edilmemektedir.
Tasarım Kuralları	-Toprak yapılar sudan etkilenmeyecek şekilde tasarlanmalı ve zemin seviyesinden min. 75 mm yukarda olmalıdır. -Toprak yapılar zeminden gelebilecek neme karşı yalıtılmalıdır. Yüzey yalıtımında buhar geçirgenliği olmayan yalıtım malzemeleri kullanılmamalıdır. -Dış duvarlar hava şartlarından etkilenmeyecek şekilde yalıtılmalıdır. -Mutfak ve banyo gibi mekânlarda iç duvarlarda suya karşı önlem alınmalıdır. -Tüm duvar kaplamaları yüksek buhar geçirgenliğine (vapour permeability) sahip olmalıdır. - Farklı alanlar arasında dağılmış olan kalın toprak duvarlar, bütün bir bina boyunca daha uzun vadeli ısı dengelemesi sağlayacaktır. - Dış duvarlar boyunca ısı akışını geciktirmek için yapı duvarlarının dış yüzüne ısı izolasyonu yapılabilir. Bu düzenleme binanın dış duvarlarına eşit olarak dağıtılmalıdır. Gecikme etkisi ısı ve nem (hygo-thermal) koşullarına bağlı olarak birkaç saatten bir haftaya kadar değişiklik gösterebilir.
RÖTRE ve TERMAL HAREKET	
Rötre	Rötrenin derecesi malzemenin içindeki kil miktarı, tane dağılım oranı, lif içeriği, malzeme nem içeriği (inşaat sırasında) ve atmosfer şartları etkili olmaktadır.
Termal Hareket	Toprak duvarlarda genleşme katsayısı 0.006 mm/m K iken bu katsayı beton için 0.01 mm/mK.

Çizelge D.2 Toprak duvar tasarımı ve yapım kuralları kılavuzu (Devamı)

NEM			
Nem İçeriği	Rötre Limiti: Toprak malzeme nem alışı verisi ile nemi dengeler. Buna denge nem içeriği (equilibrium moisture content) denmektedir. İngiltere’de bu oran %2-5 civarındadır. Belli bir seviyeye kadar bu nem içeriği malzemede şekil değişikliğine neden olmaz. Bu, toprak duvarın ideal olarak inşa edilmiş halde bulunması gereken katı hal olup bu durumun sona ereceği nem içeriğine rötre limiti denilmektedir. Plastik Limit: Toprak malzemenin su emmesiyle dayanımı azalmaktadır ve deforme olmaya başlar buna plastik limit denmektedir. Katı faz ile plastik kıvam arasında geçiş fazıdır. Likit Limit: Nem içeriği arttıkça malzeme plastik fazdan likit faza geçmeye başlar. Bu aşamadaki toprak, çamur kıvamına gelmiştir.		
Porozite	Porozite toprak malzemedeki katı parçacıklar arasındaki mesafedir. Büyük gözenekli malzemelerde su buharı daha fazla içeri nüfus eder ve donma direncine katıda bulunur. Küçük gözenekler ise su emilimini kısıtlamaktadır. Yüzey kaplama malzemeleri ile su ve buharın malzeme içine geçişi azaltılmaktadır.		
HİDROSKOPİ ve NEM DÜZENLEME			
Genel	Kilin kristal yapısı ve toprak malzemenin gözenekli yapısı nem emiliş hızını ve miktarını kolaylaştırmaktadır. Bu özellik iç mekân nem oranının düzenlenmesinde faydalı olmaktadır. Bu durumun hem kısa hem de uzun dönemde faydaları vardır. Kısa vadeli etkiler yüzeyin 10-15 mm oluşmakta ve odalar arasında nem düzenlenmesine olanak sağlamaktadır. Kalın duvarlar nemi tutup tekrar ortama salma konusunda daha etkilidir. Ancak bu durum daha uzun sürede gerçekleşir. Yapılan testler sonucunda toprak tuğla bir duvarın 15 mm’lik yüzeyinin nem oranı %50-80’i bulduğu bir durumda 48 saat içinde 300 g suyu emebilmekte iken bu oran ahşapta 100 g ve pişmiş tuğlada 30 g’dır.		
Aşınma (erosion)	Yüzey aşınması suyun yüzey parçacıklarını götürmesiyle oluşmaktadır. Yüksek poroziteye ve yetersiz tanecik dağılımına sahip toprak malzemeler daha sert yüzeye sahip olan malzemelere göre daha kırılabilir olmaktadır. Suyun miktarı, açısı ve basıncı aşınmayı etkilemektedir. Kaplama malzemeleri aşınmanın engellenmesinde etkili olmaktadır.		
Donma	Geniş gözenekli toprak malzemelerde donan su taneciklerinin genişlemesi için yeterli alan mevcuttur. Dolayısıyla ince tanecikli toprak malzemeler donma etkilerine karşı daha dayanıksızdır. Ancak tüm toprak malzemeler sürekli tekrarlanan donma – çözülme döngüsünden etkileneceği için yüzey kaplamaları ile bu durum en aza indirilmelidir.		
Emilim (Absorption)	Çok gözenekli malzemeler su emilimi artırmakla birlikte düşük gözenekli, yüksek yoğunluktaki malzemeler daha az su emmektedir. Toprak duvarların lif içeriği emilen suyun malzeme üzerindeki etkisini değiştirebilmektedir. Ağaç yongaları (wood chips) ve talaş (sawdust) geniş hücreli yapılara sahip lifler, malzemenin yüzeyine zarar verebilecek kadar şişebilir ve tahribata neden olabilirler. Bu nedenle bu tür lifli malzemeler yeterince ufak boyuta getirilmelidir.		
TERMAL ÖZELLİKLER			
Termal Yalıtım	-Toprak malzemenin genellikle zayıf yalıtım özelliği vardır. Ancak termal iletkenlik malzemenin yoğunluğuyla birlikte artış göstermektedir. -İngiltere’de yapı malzemesi olarak kullanılan kil/talaş oranı 450 kg/m³ olan blokların 0.15 W/m K oranında termal iletkenliğinin olduğu belirlenmiştir. Bu iyi bir orandır. Ancak bu malzemelerin bağlayıcı toprak içeriği (binding earth content) düşüktür. -Toprak malzemeler ortak bir özellik olarak yüksek termal iletkenliğe sahiptir. 1900 kg/m³ yoğunluğa sahip toprak bir tuğla yaklaşık 1 W/m K oranında, yüksek lifli 1500 kg/m³ yoğunluğunda bir malzeme ise yaklaşık 0.65 W/m K oranında termal iletkenliğe sahiptir.		
Termal Kapasite	Toprak duvarlar 800-1000 J/kg K oranında termal kapasiteye sahiptir. Bu oran yoğunluk arttıkça artış göstermektedir.		
Termal Kütle	Toprağın hacimsel ısı kapasitesi, ısı tutma kabiliyeti taş ve beton malzemelerin yüksek termal kütlelerine göre daha azdır.		
AKUSTİK ÖZELLİKLER			
Genel	Nispeten kalın ve yoğun olan toprak duvarlar iyi akustik özelliklere sahiptir.		
Yoğunluk ve Akustik	Duvar Kalınlığı (mm)	Toprak Tuğla Yoğunluğu (kg/m ³)	Ses Azaltma Endeksi (dB)
	130	1500	46
	240	1500	53
	365	1500	57

Çizelge D.2 Toprak duvar tasarımı ve yapım kuralları kılavuzu (Devamı)

YANGIN PERFORMANSI	
Genel	Toprak malzeme içinde lifli malzeme çok olmadığı sürece toprak yapıların yangın dayanımı yüksektir. Ancak söndürme çalışmalarında kullanılan su, yapıya zarar verebilir. Bunu engellemek için suya dayanıklı yüzey malzemeleri kullanılmalı veya toprak duvarlar yüksek basınçlı suya dayanabilecek kalınlıkta yapılmalıdır.
Yanma ve Yangın Dayanımı	Toprağın yanma özelliği yoktur ancak toprak malzeme içine katılan bazı kil türleri (Lower Oxford kili) içindeki yüksek doğal karbon oranından (%5-6) dolayı veya yağ ve bitüm gibi malzemeler yüksek ısılarda yanma özelliği gösterebilmektedirler. Toprak malzeme içinde lifli malzemelerin çok olması da yanıcılığını artırmaktadır. Bu kapsamda İngiltere yapı standartlarında ağırlık olarak max. %1 oranında lifli malzemeye izin verilmektedir. Alman DIN 4102 standartlarında ise lif içeriğine bakılmaksızın duvar yoğunluğunun min.1700 kg/m ³ olması gerektiği belirtilmektedir.
DAYANIKLILIK	
Aşınma ve Darbe	Yağlı, mumlu, kireç badanalı ve boyanmış tuğla duvarlar, kil sıva kaplamalarına göre daha dayanıklı olmaktadır.

TÜRKİYE TOPRAK YAPI YÖNETMELİK VE STANDARTLARI

Türkiye’de toprak yapı üretiminde yararlanılan yönetmelik ve standartlara ait detaylı bilgi *Çizelge E.1*, *Çizelge E.2* ve *Çizelge E.3*’te görülmektedir.

Çizelge E.1 TS 2514 Kerpiç bloklar ve yapım kuralları [107]

KAPSAM				
Genel	Standart kerpiç blokların tarif, sınıflandırma, özellikleri, yapım kuralları, muayene ve deneylerini kapsamaktadır.			
Kerpiç Bloklar	Killi ve uygun nitelikteki toprağın saman vb. bitkisel liflerle birlikte çeşitli katkı maddeleri ile karıştırılıp su ile yoğrulup kalıplara dökülerek açık havada kurutulması işlemidir.			
Kerpiç Toprağı	%30-%40 arasında kil bulunduran topraklardır.			
Bitkisel Lifler	Kerpici çatlamaması için içine konulan malzemelerdir. Bunlar; saz türünden bitkiler, kaba ot, kenevir lifleri, saman, kuru funda, çam iğneleri, ağaç dalları, talaş vb. maddelerdir.			
SINIFLANDIRMA ve ÖZELLİKLER				
Sınıflandırma	Sınıf	Boyut (cm)	Hacim (dm ³)	Yaklaşık Ağırlık (kg)
	I	12X19X40	9,12	10-12 (Kuzu)
	II	12x30x40	14,40	15 -25 (Ana)
	III	12x18x30	6,48	7-11 (Kuzu)
	IV	12x25x30	9,00	10-15 (Ana)
ÖZELLİKLER				
Boyutlar ve Mekanik Özellikler				
Şekil ve Boyut Toleransı	Kerpiçler dikdörtgen prizması şeklinde olmalıdır. Bloklar ± %5 toleransı ile belirtilen ebatlarda olmalıdır.			
Basınç Dayanımı	Kerpiçlerin en küçük basınç dayanımı 8kgf/cm ² 'den az ve ölçülen numunelerin ortalaması 10 kgf/cm ² 'den az olmamalıdır.			
Suya Dayanıklılık	Kerpiç 45 dakikadan önce dağılmamalıdır.			

Çizelge E.1 TS 2514 Kerpiç bloklar ve yapım kuralları (Devamı)

Malzeme Özellikleri											
Toprağın Özellikleri	-Kerpiç yapılacak killi toprağın içinde 3 cm den büyük taşlar bulunmamalıdır. Kerpiç toprağının yaklaşık %40'ı 0.063 mm'lik elekten geçmelidir. -Kerpiç toprağında bitkisel toprak ve turba bulunmamalıdır. İri taşlar, kökler vb. ayıklanmış olmalıdır. -Kerpiç toprakları; içindeki kil oranına göre yağsız orta yağlı, yağlı ve çok yağlı olabilirler.										
Bitki Lifleri	Saman vb. bitkisel maddeler kuru, çürümemiş, iri ve kalın olmamalıdır. Uzun bitkisel maddeler 10-12 cm boyunda biçilmelidir.										
Suyun Özelliği	-Kullanılacak suda yağ, çürümüş maddeler, tuz, kabarma yapacak kadar fazla bulunmamalıdır. -Fabrika artığı ve içerisinde insan sağlığına zararlı maddeler bulunan ve kilin kolloit hale gelmesine neden olacak maddeler bulunmamalıdır.										
Karışımın Hazırlanması ve İşçilik	İstenen nitelikteki toprak hazırlanacak yere getirildikten sonra içindeki büyük boyutlu taşlar ayıklanır. Üç kişiden oluşan (2 taşıyıcı, 1 kalıpcı) ekip 1 m³ toprak için toprağın niteliğine göre yaklaşık olarak 500 litre su ekler ve toprağın iyice ıslanıp homojen bir hale gelmesi için karıştırılır. Karışım en az bir gece dinlendirilmelidir. <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td></td><td style="text-align: right;">1 m³ toprak için gerekli bitkisel madde</td></tr> <tr> <td>Yağsız topraklarda (yaklaşık %20 kil)</td><td style="text-align: right;">5-7 kg</td></tr> <tr> <td>Orta yağlı topraklarda (Yaklaşık %35 kil)</td><td style="text-align: right;">7-10 kg</td></tr> <tr> <td>Yağlı topraklarda (Yaklaşık %50 kil)</td><td style="text-align: right;">10-15 kg</td></tr> <tr> <td>Çok yağlı topraklarda (Yaklaşık %70 kil)</td><td style="text-align: right;">15-20 kg</td></tr> </table>		1 m ³ toprak için gerekli bitkisel madde	Yağsız topraklarda (yaklaşık %20 kil)	5-7 kg	Orta yağlı topraklarda (Yaklaşık %35 kil)	7-10 kg	Yağlı topraklarda (Yaklaşık %50 kil)	10-15 kg	Çok yağlı topraklarda (Yaklaşık %70 kil)	15-20 kg
	1 m ³ toprak için gerekli bitkisel madde										
Yağsız topraklarda (yaklaşık %20 kil)	5-7 kg										
Orta yağlı topraklarda (Yaklaşık %35 kil)	7-10 kg										
Yağlı topraklarda (Yaklaşık %50 kil)	10-15 kg										
Çok yağlı topraklarda (Yaklaşık %70 kil)	15-20 kg										
Kerpiç Kesilecek Yerinin Özellikleri	Alan mümkün olduğunca düz, yatay ve sert olmalıdır. Alanın genişliği yapı için kullanılacak kerpiçlerin 1/3'ünü alabilmelidir. Alanın %60'ı kerpiçlere, %40'ı ise kerpiç arasındaki boşluklara (10-15 cm) ayrılmalıdır.										
Kullanılan Araçlar	-Kalıp: Kalıplar düzgün olmalıdır ve kuruma rötresi nedeniyle kerpiç boyutlarından %3-5 büyük olmalıdır. -Tahta Mala: Karışımın kalıp içine yerleştirilmesi ve üst yüzeyinin düzeltilmesine yarar. -Kova: Malanın her seferinde ıslatılıp temizlenmesi için bulundurulur. -Saman: Kerpiğin döküleceği alana serpilerek yapışmasını önler. -El Arabası: Çamurun hazırlandığı yerden kalıba kadar taşınması için kullanılır.										
Kalıplama	Gerekli araçlar ve alan hazırlandıktan sonra en az bir gece bekletilmiş çamur tekrar karıştırılır ve alana getirilir. Çamurun el arabasına yapışmaması için aracın içine saman serpilir. Sonrasında kalıplar ıslatılarak taban ve kenarları samanlanır. Getirilen saman doğrudan kalıplara dökülür ve mala ile düzeltilir. Boşluk kalmaması için harç mala ile sıkıştırılır. Bu işlem için en uygun zaman Mayıs-Eylül arasındır.										
Kerpicingin Kurutulması	Kuruma süresince malzemelerin üzeri ot, saz, saman vb. ile örtülmelidir. Dökülen kerpiçler iki günde bir çevrilmeli, bir hafta sonra uzun yüzleri kuruduktan sonra kerpiç bloklar dikine istif edilerek çadıra benzer bir şekil verilmelidir. Fazla bekleme ihtimali varsa etrafına yağmur hendeği açılmalı; ot, dal, tahta vb. ile üzeri kapatılmalıdır. Kuruma süresi blok büyüklüğüne ve hava şartlarına göre 1-8 haftadır.										

Çizelge E.1 TS 2514 Kerpiç bloklar ve yapım kuralları (Devamı)

DENEYLER																				
Toprak Numunesi Alınması	Aynı alandan alınmış 2 litrelik örneklere numara verilmeli ve bunların yerleri ve derinlikleri bir krokide belirtilmelidir. Hiçbir numune 50 cm den az derinlikten alınmış olmamalıdır. Numunelerde organik madde bulunmamalıdır.																			
Çamur Numunesinin Hazırlanması	Kurumuş topraktan eleyerek veya ayıklayarak 2 mm'den büyük taneler ayıklanır ve bunların ortalama büyüklüğü ve hacim yüzdesi saptanır. Hazırlanan toprak bir levha üzerinde bir çekiçe (2,5X2,5 cm) dövülerek ve çok az su katılarak bir çörek haline getirilir. Sonrasında çörek levhadan ayrılarak dilimlere bölünür ve dikine olacak şekilde yan yana dizilir ve tokmaklanır. Bu işlem, çöreğin altında düzgün bir yüzey elde edilinceye kadar tekrarlanır. Numune hazırlanmaya başlandığı zaman kuru ise tokmakla dövüldükten sonra nemin bütün kitleye düzgün bir şekilde yayılması için nemli bir bez içinde yağsız ise 6 saat yağlı ise 12 saat dinlendirilir																			
Standart Kıvamın Elde Edilmesi	Hazırlanan çamurun 200 gramı levha üzerinde vurularak sertleştirilir. Sonrasında top haline getirilir. Bu küre merkezinden itibaren 2 m yüksekten düşürülür. Kürenin yassılaştıran yeni şeklinin çapı yaklaşık 50 mm ise çamur standart kıvamındadır. Düşükten sonra kürenin aldığı şekil yuvarlak olmazsa, bu şeklin en büyük ve en küçük çaplara arasındaki fark en çok 2 mm olmalıdır.																			
Çekme Deneyi	<table><tr><td>Kopma gerilmesi 50 g/cm²'den az olan çamur kullanılmaz.</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Gerilme Kopma g/cm3</td><td>50-110</td><td>111-200</td><td>201-280</td><td>281-360</td></tr><tr><td>Sınıfı</td><td>Yağsız Çamur</td><td>Orta Yağlı Çamur</td><td>Çok Yağlı Çamur</td><td>Yağlı Çamur</td></tr></table>					Kopma gerilmesi 50 g/cm ² 'den az olan çamur kullanılmaz.					Gerilme Kopma g/cm3	50-110	111-200	201-280	281-360	Sınıfı	Yağsız Çamur	Orta Yağlı Çamur	Çok Yağlı Çamur	Yağlı Çamur
Kopma gerilmesi 50 g/cm ² 'den az olan çamur kullanılmaz.																				
Gerilme Kopma g/cm3	50-110	111-200	201-280	281-360																
Sınıfı	Yağsız Çamur	Orta Yağlı Çamur	Çok Yağlı Çamur	Yağlı Çamur																
Rötre Deneyi	<table><tr><th>Sınıf</th><th>Ortalama Rötre (mm)</th></tr><tr><td>Yağsız Çamur</td><td>2-5</td></tr><tr><td>Orta Yağlı Çamur</td><td>4-7</td></tr><tr><td>Yağlı Çamur</td><td>6-10</td></tr><tr><td>Çok Yağlı Çamur</td><td>8-20</td></tr></table> Kabul edilecek rötre değeri iki numune değerlerinin ortalamasıdır. Ancak, iki deney numunesinde yapılan ölçmeler arasında 2 mm den fazla fark varsa deney tekrarlanır.					Sınıf	Ortalama Rötre (mm)	Yağsız Çamur	2-5	Orta Yağlı Çamur	4-7	Yağlı Çamur	6-10	Çok Yağlı Çamur	8-20					
Sınıf	Ortalama Rötre (mm)																			
Yağsız Çamur	2-5																			
Orta Yağlı Çamur	4-7																			
Yağlı Çamur	6-10																			
Çok Yağlı Çamur	8-20																			
Çamurlaşma Deneyi	Hazırlanan deney numuneleri alt kısmı 5 cm suyun içine girecek şekilde asılır. Suya batırılmasından, sudaki kısım kopuncaya kadarki süre saptanır. Bu kısım 1 saatte kopuyorsa suda çamurlaşan türden bir numunedir. Süre bir saatten uzunda çamurlaşması zor bir numunedir. 45 dk. ve altındaki sürelerde çamurlaşan numuneler kerpiç yapımında kullanılmamalıdır.																			
Basınç Deneyi	İstenen standartlarda çamur hazırlandıktan sonra kenar uzunluğu 70 mm olan küp şeklinde numuneler hazırlanır ve kalıplardan çıkarılarak 20°C'de gölge bir yerde kurutulur. Çekirdeğin kurduğundan emin olunduktan sonra 3 örnek üzerinde basınç deneyi yapılır. Deney numunesinin basınç dayanımı kgf/cm ² olarak üç deney sonucunun ortalama değeridir.																			

Çizelge E.2 TS 2515 Kerpiç yapıların yapım kuralları [108]

KAPSAM	
Genel	Standardın amacı kerpiç bloklarla yapılan yapıların tasarım ve uygulama kriterlerinin belirlenmesidir.
Kerpiç Yapı	Kerpiç yapı, duvarları kerpiç ve çamur harçla yapılan, tavan ve kat döşemeleri ahşap olan binalardır.
Toprak Dam	Çatı yapılamayan yerlerde kilin; ahşap kirişler üzerine yerleştirilmiş tahta, hasır kamış vb. serilip sıkıştırılması ile üretilen damlardır.
Uygulama Alanı	Bu standart, kerpiçten yapılacak tek katlı konut, depo, ahır vb. binalar için uygulanmaktadır.
MALZEME	
Taş	Kerpiç yapıların temel su basman ve varsa bodrum katında kullanılacak taşlar ocak taşı olmalıdır. Ocak taşı olmayan yerlerde ise kırılarak keselendirilmek şartıyla dere ve araziden alınan taşlar da kullanılabilir. En küçük taş boyutu 15 cm'den az, en büyük boyut ise taş duvar kalınlığından daha büyük olmamalıdır.
Harç	Sivada kullanılacak harcın toprağı elenmeli, saman daha ince ve daha bol olmalı, yoğrulma ve dinlendirilmesine özen gösterilmelidir. Temel, subasman ve varsa bodrum kat taş duvarlarında, en az 1 ölçü çimento, 2 ölçü kireç ve 9 ölçü en büyük tane büyüklüğü 2 mm. den küçük olan kumdan yapılan takviyeli harç veya 1 ölçü çimento ve 3 ölçü aynı tane büyüklüklü kumdan yapılan çimento harcı kullanılmalıdır.
Ahşap Malzeme	Hatıl, lento, döşeme ve tavan kirişlerinde kullanılacak ahşap malzeme biçilmiş olmalıdır. Biçilemiyorsa yuvarlak ağaç kullanılmalıdır. Çatılar biçilmiş keresteden olmalıdır. Kullanılacak ahşap düzgün, az budaklı, kuru, çatlaksız vb. olmalıdır.
TASARIM, YAPIM ve BAKIMLA İLGİLİ KURALLAR	
Boyutlar	
Temel Derinliği	Temel derinliği; 80 cm'den ve don derinliğinden daha az olmamalıdır. Kaya zeminlerde derinlik azaltılabilir. Çürük zeminlerde derinlik artırılmalıdır (zemin emniyet gerilmesi 1 kgf/cm ² (0,1 N/mm ²)den düşük olan zeminler).
Temel Duvarı Genişliği	Temel duvarı kalınlığı en az 50 cm olmalıdır. Bodrum katı taş duvar olan yapılarda en az temel duvarı kalınlığı 60 cm olmalıdır. Çürük zeminlerde duvar kalınlığı artırılmalıdır.
Duvar Kalınlığı	Kerpiç yapılarda taşıyıcı dış duvarların kalınlıkları 40 cm'den, deprem bölgelerinde ise 47cm'den, taşıyıcı iç duvarlar 25 cm'den, deprem bölgelerinde 30 cm'den az olmamalıdır. Taşıyıcı olmayan bölme duvarları 25 cm'den ince olmamalıdır.

Çizelge E.2 TS 2515 Kerpiç yapıların yapım kuralları (Devamı)

Duvar Yüksekliği									
Subasman Yüksekliği	Bodrum olmayan binalarda subasman yüksekliği, zeminin en yüksek noktasından itibaren en az 50 cm yukarıda olmalıdır. Kar ve zemin üzerinde oluşan su yüksekliği göz önünde bulundurulmalıdır.								
Bodrum Kat Yüksekliği	Moloz taş olarak yapılan bodrum katlarda kat yüksekliği 2.40 metreden fazla olmamalıdır. <table border="0"> <tr> <td>Kerpiç duvar kalınlığı</td><td>Yükseklik</td></tr> <tr> <td>40 cm</td><td>2.40 m</td></tr> <tr> <td>47 cm</td><td>2.70 m</td></tr> <tr> <td>62 cm</td><td>3.50 m'den fazla olmamalıdır.</td></tr> </table> Ancak deprem bölgelerinde kerpiç duvar yükseklikleri 2,70 m'yi geçmemelidir. Bahçe duvarlarının, kalınlığı 40 cm'den az, yükseklikleri de 2,00 m'den fazla olmamalıdır.	Kerpiç duvar kalınlığı	Yükseklik	40 cm	2.40 m	47 cm	2.70 m	62 cm	3.50 m'den fazla olmamalıdır.
Kerpiç duvar kalınlığı	Yükseklik								
40 cm	2.40 m								
47 cm	2.70 m								
62 cm	3.50 m'den fazla olmamalıdır.								
Kat Adedi	Kerpiç yapılar en çok bir bodrum ve bir katlı olarak yapılmalıdır.								
Serbest Duvar Boyları	Kendine dik yönde iki yandan duvarlarla desteklenmiş taşıyıcı duvarların içten içe serbest uzunluğu 4m'den çok olmamalıdır. İnsan ve hayvan barınmayan yerlerde bu uzunluk 6 metreye çıkabilir. Bu takdirde duvar, en çok 3 m aralıkla duvar kalınlığında ve duvar kalınlığının 1,5 katı derinliğinde destek ayakları ile desteklenmelidir. Temeller bu destek ayakları altında da devam ettirilmelidir.								
Duvar Boşlukları	Dış duvarlardaki pencere boşlukları yüksekliği 1.40m, kalınlığı 0.90 m'den büyük olmamalıdır. Kapıların genişliği 1.0 m'den, yüksekliği 2.0'den çok olmamalıdır. Taşıyıcı duvarlardaki boşlukların bina dış köşelerine uzaklığı en az 1.0 m ve iki duvar boşluğu arasındaki dolu duvar kısmı en az 0.60 m olmalıdır. Taşıyıcı ve destek duvarlarının kesim noktalarından başlayarak ilk boşluğun bu duvarın kesim noktasına uzaklığı en az 0.50 m olmalıdır.								
Bacalar	Bacalar, taşıyıcı duvarın kalınlığını azaltmayacak şekilde içten yapılmalıdır. Bacalar kerpiçten yapılmalı ve taşıyıcı kerpiç duvarlardan derzle ayrılmalıdır. Çatı veya dam seviyesinden en az 50 cm yukarıya çıkarılmalı ve baca delikleri en az 15 cm çapında olmalıdır.								
Hatıllar	Kerpiç duvarlarda subasman seviyesinde, pencere alt ve üst seviyesinde, tavan veya döşeme seviyesinde olmak üzere en az dört hatıl yapılmalıdır. Hatıllar betonarme veya ahşap olmalı ve yatay bağlantı sağlayacak şekilde düzenlenmelidir. Birbirini izleyen iki hatıl arasındaki yükseklik 1,50 m'yi geçmemelidir.								
Döşemeler	Bodrumlu kerpiç yapıların döşemelerinde kiriş eksen aralıkları 50 cm'den az; dam altı kirişlerinde ise 40 cm'den fazla olmamalıdır. Kirişler, en az ϕ 15 mm, 10 cm x 15 cm veya eşdeğer kesitte olmalıdır. Dikdörtgen kirişler enkesit dar kenarı yatay biçimde konulmalıdır. Kiriş serbest açıklığı 4 m'den fazla olmamalıdır.								
Çatılar	Kerpiç binaların çatıları dış duvarları en az 50 cm aşmayacak şekilde saçaklı olarak yapılmalıdır. Eğimli çatı tercih edilmelidir ancak yapılamadığı durumlarda (1.ve 2. Deprem bölgeleri hariç) dam yapılmalıdır. Dam yapılması durumunda; hiçbir surette killi toprak ve çorak kalınlığı 3. ve 4. derece deprem bölgelerinde 15cm, deprem bölgeleri dışında 20 cm'yi aşmamalıdır.								
YAPIM KURALLARI									
Dikkat Edilecek Hususlar									
Temeller	Rutubetli zeminlerde subasman üst seviyesinde rutubete karşı bitüm, katran, bitümlü karton vb. bir yalıtım tabakası yapılmalıdır. Temelde kullanılan betonarme hatıllı moloz dış duvarın dış kısmına tretuvar veya geçirimsiz kilden tretuvar şeklinde dolgu yapılarak temele yağış sularının sızması önlenmelidir								
Dış ve İç Duvarlar	Derz kalınlıkları 1.5 cm'yi geçmemelidir. Dış kerpiç duvarlarda girinti ve çıkıntı yapılmamalıdır.								
Hatıllar	Kapı ve pencere üstlerinde hatıl kirişleri arası en az 1,50 m boyda ve hatılarda kullanılan ölçülerde lento kirişi ile doldurulmalıdır. Pencere ve kapı boşluklarının köşelerine konulan dikmeler alt ve üst hatıl kirişlerine çivilerle tutturulmalıdır. Hatılların tamamı katran veya benzeri bir madde ile korunmalıdır.								
Sıvalar	- <i>Killi Toprak Sıva</i> : Sıvanın duvara iyi yapışması için kerpiç derzleri gizli derzli olmamalı, derz aralıkları 1-2 cm derine kadar açık bırakılmalıdır. Killi toprak sıva sık sık badana edilmelidir. - <i>Kıtık veya Keçi Kılı Kireç Sıva</i> : Killi toprak sıvanın dayanıklılığının artırılması ve su geçirgenliğinin azaltılması için bu sıvanın üzerine bir ölçek kireç hamuruna bir ölçek ince kum ve yeteri kadar kıtık veya keçi kılı katılarak yapılan harçla ince bir sıva yapılmalıdır. - <i>Kireç ve Çimento Harçlı Sıva</i> : Bu cins harçların kerpice yapışma yeteneği az olduğundan bu yapışmayı mümkün kılacak tedbirler (çimento harca toprak katılması gibi) başvurulmalıdır. - <i>Alçı Sıva</i> : Kerpiç yüzeylere doğrudan sıva alçısı ile sıva yapılabilir. Alçı sarfiyatını azaltmak amacıyla alçı katkılı sıvada kullanılabilir.								

Çizelge E.3 Kerpiç binalar için depreme dayanıklı tasarım kuralları [109]

KAPSAM	
Genel	Deprem bölgelerinde yapılacak olan ve hem düşey, hem de yatay yükler için tüm taşıyıcı sistemi kerpiç taşıyıcı duvarlar ile oluşturulan kerpiç binaların boyutlandırılması ve donatılması bu konuda yürürlükte olan ilgili standart ve yönetmeliklerle birlikte, öncelikle bu bölümde belirtilen kurallara göre yapılacaktır.
GENEL KURALLAR	
Genel	Kerpiç binalar bütün deprem bölgelerinde, bodrum kat hariç tek katlı olmalıdır.
Kat	Kerpiç tek katın yüksekliği döşeme üstünden döşeme üstüne 2.70 m'den fazla olmayacaktır.
Yüksekliği	Bodrum kat yüksekliği 2.40 m'den fazla olmayacaktır.
Bina Şekli	Kerpiç binalar planda dikdörtgen olacak ve taşıyıcı duvarlar, ana eksenlere göre simetrik veya simetriğe yakın biçimde düzenlenecektir. Kısmi bodrum yapılmayacaktır.
TEMELLER ve TAŞIYICI DUVARLAR	
Temeller	
Genel	Temeller; bodrumsuz binalarda en az 50 cm, bodrumlu binalarda ise en az 60 cm kalınlıkta moloz taş duvar olarak yapılacaktır.
Temel Derinliği	Don derinliğinin altında olmak üzere en az 80 cm olmalı ve temel duvarları dış yüzeyinden en az 50 cm yukarı çıkacak şekilde yapılmalıdır.
Harç	Temel duvarlarında harç malzemesi olarak çimento harcı (<i>çimento/kum hacimsel oranı=1/4</i>) veya çimento takviyeli kireç harcı (<i>çimento/kireç/kum hacimsel oranı =1/2/9</i>) kullanılacaktır.
Taşıyıcı Duvarlar	
Kerpiç Boyutu	Normal kerpiç boyutları, cm olarak, 12x30x40 (<i>ana</i>) ve 12x19x40 (<i>kuzu</i>), ya da 12x18x30 (<i>kuzu</i>) ve 12x25x30 (<i>ana</i>) olacaktır.
Harç	Bodrum katlardaki moloz taş duvarlarda harç malzemesi olarak, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde çimento takviyeli kireç harcı (<i>çimento/kireç/kum hacimsel oranı=1/2/9</i>) kullanılacaktır. Üçüncü, dördüncü derece deprem bölgelerinde kireç harcı (<i>kireç/kum hacimsel oranı=1/3</i>) kullanılabilir.
Duvar Kalınlığı	-Taşıyıcı dış kerpiç duvarlar en az 1.5, taşıyıcı iç kerpiç duvarlar ise en az 1 kerpiç boyu kalınlığında olacaktır. -Bodrum katlar için moloz taş kalınlığı en az 50 cm olmalıdır.
Duvar Uzunluğu	-Planda birbirine dik doğrultuların her biri boyunca uzanan taşıyıcı duvarların, pencere ve kapı boşlukları hariç olmak üzere, toplam uzunluğunun brüt kat alanına (konsol döşemeler hariç) oranı 0.25 m/m ² 'den daha az olmayacaktır. - Taşıyıcı duvarın, planda kendisine dik olarak sapanan taşıyıcı duvar eksenleri arasında kalan mesnetleşmemiş uzunluğu, 4.5 m'yi geçmeyecektir.
Duvar Boşlukları	-Bina köşesine en yakın kapı-pencere boşluğu ile bina köşesi arasındaki dolu duvar mesafesi 1.0 m'den az olmamalıdır. -Bina köşesi dışında kapı ve pencere boşlukları arasındaki dolu duvar uzunluğu 1.0 m'den az olmamalıdır. - Pencere veya kapı boşluklarının her iki kenarına ikişer adet 10 cm x 10 cm kesitinde ahşap dikmeler konulması durumunda, min. dolu duvar uzunluğu 0.80 m'ye indirilebilir. Konulacak ahşap dikmeler pencere altı hatılına ve pencere üstü lentosuna bağlanacaktır. - Bina köşeleri dışında, birbirini dik olarak kesen duvarların arakesitine en yakın pencere veya kapı boşluğu ile duvarların arakesiti arasında bırakılacak dolu duvar parçasının plandaki uzunluğu 0.50 m'den az olmayacaktır. -Kapı boşlukları 1.00x1.90 m; pencere boşlukları 0.90x1.20 m'den fazla olmamalıdır.

Çizelge E.3 Kerpiç binalar için depreme dayanıklı tasarım kuralları (Devamı)

LENTOLAR ve HATILLAR	
Lentolar	
Genel	-Kapı ve pencere alt ve üst kısımlarına ikişer adet 10x10 cm ebadında ahşap kadronla lento yapılmalıdır. -Lentoların duvarlara oturan kısmının her birinin uzunluğu 20cm'den az olmamalıdır.
Hatıllar	
Genel	Kerpiç yığma duvarlarda ahşap hatıl yapılabilir. -<i>Ahşap Hatıl:</i> 100 mm×100 mm kesitindeki iki adet kadron, dış yüzleri duvar iç ve dış yüzeyleri ile çakışacak aralıkta konulacaktır. Bu kadronlar boylamasına doğrultuda 500 mm'de bir 50 mm×100 mm kesitinde dikine kadranlarla çivili olarak birleştirilecek ve araları tas kırıntıları ile doldurulacaktır.
ÇATILAR	
Genel	-Çatılar genel olarak hafif olmalıdır. Saçaklar en fazla 50 cm taşırılabilir. -Birinci ve ikinci deprem bölgelerinde toprak dam yapılmasına izin verilmemekle birlikte; üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde dam çatı kalınlığı 15 cm geçmemelidir. - Kerpiç binaların çatıları, ahşap makas veya betonarme plak şeklinde de yapılabilir..

TÜRKİYE VE FARKLI ÜLKELERDE TOPRAK YAPI STANDART VE YÖNETMELİKLERİNE AİT İNCELEME TABLOSU

Çizelgelerden yola çıkarak oluşturulan inceleme tablosuna ait detaylı bilgi *Çizelge F.1*'de görülmektedir.

Çizelge F.1 Türkiye ve farklı ülkelerde toprak yapı standart ve yönetmeliklerine ait inceleme

YÖNETMELİKLER		ÜLKELER			
		TÜRKİYE	YENİ ZELANDA	AMERİKA	İNGİLTERE
		TS 2514 TS 2515 DEPREM YÖNETMELİĞİ	NZS 4297 NZS 4298 NZS 4299	ASTM E2392/E2392M	TOPRAK DUVAR TASARIMI VE YAPIM KURALLARI KILAVUZU İSKOÇYA TOPRAK YAPI KILAVUZU
Malzeme ve İççilik	Toprak Özellikleri	%30-40 kil bulunduran toprakları kapsamaktadır	NZS 4298'de toprak şunları içermemelidir; -Duvar içinden çürüyebilen organik malzemeler -Mukavemeti bozacak suda çözülebilen tuzlar -Homojenliği azaltabilecek kadar büyük agregalar -Isınma/kuruma testlerini geçemeyen toprak -Yüzey tabakası kurumuş toprak yüzeyinde oluşan dökülmeler	Toprak yapılarda kullanılan toprağın kil (bağlayıcı) silt, kum ve çakıl içermesi gerekmektedir Genişlemeyen türden killer (kaolinit) tercih edilmelidir. Karışıma katılacak az oranda kireç, bitüm veya çimento bu genişlemeyi engelleyecektir.	<i>İskoçya Toprak Yapı Kılavuzu'nda</i> ; toprağın türü yapım tekniğinde de etkili olmaktadır. Sıkıştırılmış toprak tekniğinde kil oranının %10 ve yüksek oranda kum ve çakıl olması istenirken; kil oranı başka bir yapım tekniğinde (mudwall) %15-40'a çıkabilmektedir. <i>Toprak Duvar Tasarımı ve Yapım Kuralları Kılavuzu'nda</i> ; yapı üretimi için uygun olan toprak, organik madde içermeyen, uygun granülometriye sahip ve kil oranı %5-20 arasında olan topraklardır.
	Katkı Maddesi	Harç içine çimento veya kireç gibi malzemeler katılabilmektedir	NZS 4298'de toprak malzeme içine katılmasına izin verilen katkı maddeleri saman, çimento, bitüm ve sönmüş kireçtir	Toprak karışımına çimento, asfalt, alçı ve kaktüs suyu katılabilir	<i>İskoçya Toprak Yapı Kılavuzu'nda</i> ; toprak karışımına inek dışkısı, at idrarı, boğa kanı, süt ürünleri, yosun ve sabun gibi malzemeler katılabilmektedir <i>Toprak Duvar Tasarımı ve Yapım Kuralları Kılavuzu'nda</i> ; çimento, bitüm, nişasta, reçine ve alçı gibi malzemeler kullanılabilir.
	Toprak Nem İçeriği	1 m ³ toprak için toprağın niteliğine göre yaklaşık olarak 500 litre su eklenir	NZS 4298'de toprak malzeme belli oranda su içermelidir.	Belli bir oranda su olmalıdır	<i>Toprak Duvar Tasarımı ve Yapım Kuralları Kılavuzu'nda</i> ; <i>Rötre Limiti</i> : toprak duvarın ideal olarak inşa edilmiş halde bulunması gereken katı hal durumudur. <i>Plastik Limit</i> : Toprak malzemenin su emmesiyle dayanımı azalmaktadır ve deforme olmaya başlar buna plastik limit denmektedir. Katı faz ile plastik kıvam arasında geçiş fazıdır. <i>Likit Limit</i> : Nem içeriği arttıkça malzeme plastik fazdan likit faza geçmeye başlar. Bu aşamadaki toprak, çamur kıvamına gelmiştir.
	Kür ve Kurutma	Kuruma süresi blok büyüklüğüne ve hava şartlarına göre 1-8 haftadır	NZS 4298'de malzeme 28 gün boyunca yağmur ve rüzgâra maruz kalmamalıdır Dış ortamda kurumaya bırakılmadan önce çimento içeren malzemeler en az 1 hafta, kireç içeren malzemeler ise en az 3 hafta nemli ortamda kürlenmelidir.	-	-
	Toprak Karışımı	Killi ve uygun nitelikteki toprağın saman vb. bitkisel liflerle birlikte çeşitli katkı maddeleri ile karıştırılıp su ile yoğrulur	NZS 4298'de toprak; kil, silt, kum ve çakıl içermeli ancak organik madde, suda çözülen tuz ve büyük agrega içermemelidir.	Karışımın hazırlanmasında zaman ve karışım içine konulan su malzemenin dayanımını etkilemektedir. Bu kapsamda çok fazla ya da az su katmak dayanımı olumsuz etkileyecektir.	<i>İskoçya Toprak Yapı Kılavuzu'nda</i> ; inşaatta üst toprak tabakası kesinlikle kullanılmamalıdır. Topraklar kil, silt, kum ve çakıl oranına göre sınıflandırılırlar. Bunlardan kilin, bağlayıcı özelliği vardır. Şişme ve büzölmeye karşı hassastırlar
	Bitki Lifleri	Kaba ot, kenevir, talaş, saman, çam iğnesi vb. malzemeler bulunabilir	NZS 4298'de yüksek kil oranına sahip harçlar kuruduktan sonra çatlamamaları için kum veya saman lifleri ile iyileştirilebilir. Saman, toprak duvarlarda kullanılmışsa kullanılmalıdır	Saman, kıl ve kepek gibi bitkiler bulunabilir	<i>Toprak Duvar Tasarımı ve Yapım Kuralları Kılavuzu'nda</i> ; toprak malzemenin dayanımını artırmak ve çatlakları engellemek için içine saman, kenevir, keten, talaş, kağıt hamuru gibi malzemeler katılmaktadır
	Kerpiç Boyutu	12x19x40; 12x30x40; 12x18x30;12x25x30cm	-	-	-
	Kalıplama	Mayıs-Eylül uygun zamanlardır	-	-	-

Çizelge F.1 Türkiye ve farklı ülkelerde toprak yapı standart ve yönetmeliklerine ait inceleme (Devamı)

Malzeme ve İşçilik	Çimento Esaslı Harç	1 ölçü çimento, 2 ölçü kireç, 9 ölçü kum veya 1 ölçü çimento, 3 ölçü kumdan yapılmalıdır	NZS 4298'de Kum/ çimento oranı 6:1 veya 12:1 olmalıdır. Çimento esaslı harçlar stabilize edilmemiş toprak duvarlarda kullanılmamalıdır. -Karışımında kullanılacak kum yağlı olmalıdır	Çimento esaslı harçlar stabilize edilmemiş toprak duvarlarda kullanılmamalıdır.	-
	Toprak Esaslı Harç	Killi toprak sıvaların kullanımını uygun görmektedir	NZS 4298'de kuruduktan sonra çok fazla parçalanma gösteren kum oranı yüksek harçlar, içine katılan kil ile iyileştirilebilir.	Toprak harçlar, çimentoyla stabilize edilmiş toprak duvarlar ve taş duvarlarda kullanılmamalıdır	-
	Harç Derzleri	1.5 cm'yi geçmemelidir	NZS 4298'de yatak kalınlığı kum/çimento harçları için 10 mm'den az veya toprak esaslı harçlar için 15 mm'den az olmamalıdır.	Sıvalar duvarda kullanılan malzeme ile dayanıklılık, sertlik ve buhar geçirgenliği açısından mümkün olduğunca aynı olmalıdır. Her koşulda harç derzleri uygulama yapılabilecek kadar ince tutulmalıdır.	-
	Kullanılan Araçlar	Kalıp, tahta mala, kova, saman, el arabası	-	-	-
	İşçilik	3 kişilik ekipten oluşur	-	Toprak malzemenin karışımı, tuğlaların kürlenmesi ve duvarın bir araya getirilmesi mümkün olduğunca yerel yapı gelenekleri ile tutarlı olmalıdır.	-
Tasarım Kriterleri	Yapı Geometrisi	Planda dikdörtgen ve taşıyıcı duvarlar ana eksenlere göre simetrik veya simetriğe yakın olmalıdır	Yapılar simetrik olmalı ve duvarlar düzgün bir şekilde bağlanmalıdır	Yapılar simetrik olmalı ve duvarlar düzgün bir şekilde bağlanmalıdır	<i>Toprak Duvar Tasarımı ve Yapım Kuralları Kılavuzu'nda</i> ; toprak yapıların köşe kısımlarının iyi bağlanması gerekmektedir. Alternatif olarak kalın duvarlar çelik hasır vb. güçlendirilebilir
	Kat Adedi	Deprem bölgelerinde bodrum kat hariç tek katlı olmalıdır	NZS 4297 ve NZS 4299'da yapılar tek veya iki katlı olacak şekilde tasarlanmalıdır	-	-
	Kat Yüksekliği	Döşeme üstünden döşeme üstüne 2.70 m'den fazla olmamalıdır. Bodrum kat yüksekliği 2.40 m'den fazla olmamalıdır	NZS 4299'da $Z \leq 0.6$ olan bölgelerde tek katlı yapılarda maksimum kat yüksekliği 2.75 m $Z > 0.6$ olan bölgelerdeki tek katlı yapılarda maksimum kat yüksekliği 2.75 m olmalıdır	-	-
	Duvar Kalınlığı	Taşıyıcı dış duvarlar 40 cm'den, taşıyıcı iç duvarlar 25 cm'den az olmamalıdır. Taşıyıcı olmayan bölme duvarlar 25 cm'den ince olmamalıdır. Bodrum katlar için moloz taş kalınlığı en az 50 cm olmalıdır.	NZS 4299'da yeni Zelanda yönetmeliklerinde toprak duvar kalınlığı 280-350 mm olmalıdır. 350 mm'den kalın olan duvarlar özel tasarım gerektirmektedir.	-	<i>İskoçya Toprak Yapı Kılavuzu'nda</i> ; 450-900 mm. Olarak belirtilmiştir
	Duvar Uzunluğu	Taşıyıcı duvarların toplam uzunluğunun brüt kat alanına oranı 0.25 m/m ² 'den az olmamalıdır	NZS 4299'da yatay deprem ve rüzgar yüklerine karşı yüksekliği 2.4 m olan duvarlar için min. Payanda yüksekliği 1.8 m, min. Payanda uzunluğu 1.2 m olmalıdır. Yüksekliği 3 m olan duvarlar için min. Payanda uzunluğu 1.5 m; yüksekliği 3.3 m olan duvarlar için min. Payanda uzunluğu 1.8 m olmalıdır.	-	-
	Duvar Boşlukları	Kapı boşlukları 1.00x1.90 m; pencere boşlukları 0.90x1.20 m'den fazla olmamalıdır. Kapı ve pencere boşlukları arasındaki dolu duvar uzunluğu 1 m'den az olmamalıdır	NZS 4299'da yeni Zelanda yönetmeliklerinde; boşluk duvarın dış köşesinden itibaren min 900 cm; kapı ve pencere boşlukları arasındaki dolu duvar uzunluğu min. 600 cm olmalıdır	Donatısız toprak duvarlarda toplam duvar açıklığı duvar uzunluğunun üçte biri olmalıdır, açıklık 1.2 m ile sınırlandırılmalı ve açıklıklar arası duvar mesafesi 1.2 m olmalıdır	-
	Bağ Kirişleri	Hatıllar ahşap (10x10 cm) olmalıdır. İki hatıl arasındaki yükseklik 1,50 m'yi geçmemelidir	NZS 4299'da sismik bölge katsayısı $Z \leq 0.6$ ve $Z > 0.6$ olan bölgelerde ahşap veya betonarme bağ kirişleri kullanılabilir	Duvarın üst kısımdan takviye edilmesi deprem dayanımı için en önemli ölçütlerden biridir. Bir bağ kirişi süneklikle birlikte düzlem dışı sapma dayanımını (out –of – plane deflections) da sağlayacak kadar esnek olmalıdır	-
	Lentolar	Kapı ve pencere alt ve üst kısımlarına ikişer adet 10x10 cm ebadında ahşap kadronla lento yapılmalıdır. Lentoların duvarlara oturan kısmının her birinin uzunluğu 20cm'den az olmamalıdır	NZS 4299'da Yeni Zelanda Yönetmeliğine göre lentolar ahşap veya beton olabilir. Ahşap hatıllar boşluğun her iki yanındaki toprak duvar üzerine en az 300 mm olacak şekilde yerleştirilmelidir. Duvar genişliğinden daha dar olan ahşap lentolar duvarla aynı genişlikte bir ahşap bloğa dayanacaktır.	Açıklıklar üzerindeki lentolar, üzerindeki duvarın ağırlığı ve çatı yükü hesaplanarak tasarlanmalıdır. Her durumda açıklığın iki yanından 300 mm olmalıdır	<i>Toprak Duvar Tasarımı ve Yapım Kuralları Kılavuzu'nda</i> ; lentolar en az 250 mm olmalıdır.
	Kemerler	-	NZS 4299'da maksimum kemer açıklığı 1800 mm olmalıdır	-	-
	Yüzey Bitişleri	Killi toprak sıva, kıtık veya keçi kıllı kireç sıva, kireç ve çimento harçlı sıva, alçı sıva kullanılabilir	NZS 4299'da toprak duvarlar, yalıtım için de uygun her türlü nefes alan malzemelerle kaplanmalı veya sıvanmalıdır	Yapılar kireç veya toprak sıva ile sıvanabilir	<i>İskoçya Toprak Yapı Kılavuzu'nda</i> ; toprak duvarlar, toprak veya kireç ile sıvanabileceği gibi ahşap malzeme ile de kaplanabilir <i>Toprak Duvar Tasarımı ve Yapım Kuralları Kılavuzu'nda</i> ; dış duvarlar hava şartlarından etkilenmeyecek şekilde yalıtılmalıdır. -Tüm duvar kaplamaları yüksek buhar geçirgenliğine sahip olmalıdır - Toprak yapılarda en çok kil sıvalar tercih edilmektedir. İngiltere'de ise kil sıvalar (clay plasters) suda çözünemediğinden ve yumuşak olduğundan çok fazla tercih edilmemektedir.

Çizelge F.1 Türkiye ve farklı ülkelerde toprak yapı standart ve yönetmeliklerine ait inceleme (Devamı)

Performans Kriterleri	Dayanıklılık (durability)	Kerpiç 45 dakikadan önce dağılmamalıdır	NZS 4299'da yüzey bakımının yapılmış olması kaydıyla toprak bir yapının 50 yıllık bina ömrü boyunca duvar kalınlığının yapının herhangi bir noktasında %5'ten fazla ya da 30 mm'den fazla azalmadığı durumlarda bina dayanıklı kabul edilmektedir.	Sağlam bir bina çok büyük bakım/onarım gerektirmeden üç kuşak yaşayabilmelidir	<i>İskoçya Toprak Yapı Kılavuzu'nda</i> ; buhar geçirgenliği olan malzemeler kullanılmalı, yalıtım yapılmalı ve suya karşı dayanıklılığı artırma için bina yükseltilmeli, sıvanmalı ve saçak yapılmalıdır. Dayanıklılığı artırmak için karışıma çeşitli katkı maddeleri katılabilir. <i>Toprak Duvar Tasarımı ve Yapım Kuralları Kılavuzu'nda</i> ; yağlı, mumlu, kireç badanalı ve boyanmış tuğla duvarlar; kil siva kaplamalı duvarlar daha dayanıklıdır
	Rötre (Shrinkage)	Ortalama rötre: Yağsız çamur 2-5 mm; Orta yağlı çamur 4-7 mm Yağlı çamur 6-10 mm; Çok yağlı çamur 8-20 mm	NZS 4298'de $\leq \%0.05$ sıkıştırılmış toprak $\leq \%1.0$ çimento esaslı harç $\leq \%3.0$ çimentosuz harç ve dökme toprak	-	<i>İskoçya Toprak Yapı Kılavuzu'nda</i> ; toprak yapı malzemesi su ile uzun süre temas ettiğinde şişer ve sonrasında kuruyarak küçülür. Bu durumda kilin türü ve miktarı ile toprak sınıfının da önemi vardır. <i>Toprak Duvar Tasarımı ve Yapım Kuralları Kılavuzu'nda</i> ; rötrenin derecesinde; malzemenin içerisindeki kil miktarı, tane dağılım oranı, lif içeriği, malzeme nem içeriği ve atmosfer şartları etkili olmaktadır.
	Termal Kütle/Yalıtım	-	NZS 4297'de Isıl direnç R =duvar kalınlığının (m) 2.04 katı + 0.12. 80 mm duvar kalınlığı ek termal yalıtım gerektirmez NZS 4299'da çatılar için termal yalıtım katsayısı $R=3.0$ olarak belirlenmiştir. -Cam alanının duvar alanının %30'undan fazla olması ısı kaybına veya fazla ısınmaya neden olabilir. Bu nedenle cam alanı NZS 4218'de %30 olarak belirlenmiştir.	Toprak yapı sistemlerinin termal depolama kapasiteleri (Özgül ısı) bulunmaktadır ancak az ısı yalıtımı sağlamaktadır (R- değeri). İstenen iç mekân ısının sağlanabildiği iklimlerde toprak dış duvarlar ısı transferi yaparak iç mekân ısının ayarlanmasına yardımcı olmaktadır. Bunun sağlamadığı iklimlerde ise izolasyon gerekmektedir.	<i>İskoçya Toprak Yapı Kılavuzu'nda</i> ; yüksek yoğunluktaki toprak yapılar yüksek termal kütleyle sahiptir. Isıyı tutar ve yavaşça iç ortama yayarlar. Buna karşılık taşıyıcı özelliği olmayan, hafif malzemeler (toprak-lif paneller veya bloklar gibi) ısı geçirimine karşı dirençlidir ve ısı yalıtımı iyidir. <i>Toprak Duvar Tasarımı ve Yapım Kuralları Kılavuzu'nda</i> ; toprak malzemenin genellikle zayıf yalıtım özelliği vardır. Ancak termal iletkenlik malzemenin yoğunluğuyla birlikte artış göstermektedir. -İngiltere'de yapı malzemesi olarak kullanılan kil/talaş oranı 450 kg/m ³ olan blokların 0.15 W/m K oranında termal iletkenliğinin olduğu belirlenmiştir. -Toprak malzemeler ortak bir özellik olarak yüksek termal iletkenliğe sahiptir. 1900 kg/m ³ yoğunluğa sahip toprak bir tuğla yaklaşık 1 W/m K oranında, yüksek lifli 1500 kg/m ³ yoğunluğunda bir malzeme ise yaklaşık 0.65 W/m K oranında termal iletkenliğe sahiptir. - Farklı alanlar arasında dağılmış olan kalın toprak duvarlar, bütün bir bina boyunca daha uzun vadeli ısı dengelemesi sağlayacaktır. - Dış duvarlar boyunca ısı akışını geciktirmek için yapı duvarlarının dış yüzüne ısı yalıtımı yapılabilir.
	Nem Kontrolü	Rutubete karşı bitüm, katran, bitümlü karton vb. kullanılabilir	NZS 4297'de yalıtımı sağlayan ve nefes alabilen kaplama malzemeleri kullanılmalıdır	Toprak yapıları sudan korumak için bina zeminden yükseltilebilir, kireç veya toprak sıvalarla sıvanabilir, saçaklar genişletilebilir.	<i>İskoçya Toprak Yapı Kılavuzu'nda</i> ; yalıtımı sağlayan ve nefes alabilen kaplama malzemeleri kullanılmalıdır <i>Toprak Duvar Tasarımı ve Yapım Kuralları Kılavuzu'nda</i> ; toprak yapılar zeminden gelebilecek neme karşı yalıtılmalıdır. Yüzey yalıtımında buhar geçirgenliği olmayan yalıtım malzemeleri kullanılmamalıdır. Mutfak ve banyo gibi mekânlarda iç duvarlar suya karşı yalıtılmalıdır
	Basınç Dayanımı	Üç deney sonucunun ortalama değeri alınır	NZS 4297'de $F_e=0,5$ MPa	-	<i>Toprak Duvar Tasarımı ve Yapım Kuralları Kılavuzu'nda</i> ; 2-7 N/mm ²
	Çekme Dayanımı	Kopma gerilmesi 50 g/cm ² 'den az olan çamur kullanılmaz	NZS 4297'de $f_{eb};0.02$ MPa	-	<i>Toprak Duvar Tasarımı ve Yapım Kuralları Kılavuzu'nda</i> ; toprak duvarların çekme dayanımı azdır. Kubbeli ve kemerli tasarımlarla çekme dayanımı azaltılabilir.
	Kayma Gerilmesi	-	NZS 4297'de $F_n=0.09$ MPa	-	-
	Eğilme Mukavemeti	-	NZS 4297'de $f_{et}=0.10$ MPa	-	<i>Toprak Duvar Tasarımı ve Yapım Kuralları Kılavuzu'nda</i> ; 100 mm kalınlığındaki bir duvarın eğilme mukavemeti 140 mm kalınlığındaki bir duvarın yarısı ve 200 mm kalınlığındaki bir duvarın çeyreği kadardır. Harç bağ dayanımı tasarımın ana kriterlerinden biridir.
	Makaslama Kuvveti	-	NZS 4297'de $f_{es} = 0.07 f_e$ $f_{es} = (70 + 5 h)$ kPa, h:yükseklik (m) kesme direnci Kesme kapasitesi donatısız toprak yapılar için $V * \leq \phi [f_{es}A_b + k_v f_d A_b]$ veya $V * \leq 5\phi f_{es} A_b$ V^* (simultaneously acting design shear force); Donatılı toprak yapılar için $V_n = f_{estd} + A_{sv} f_{sy} d/s + k_v f_d t_d$ veya $V_n = A_{sv} f_{sy} d/s$. Deprem yükleri altında yapısal süneklik faktörü ≤ 2.0 μ olan elemanlara nominal kesme dayanımı uygulanmaktadır. Deprem yükleri altında $2.0 \geq \mu \geq 1.25$ yapısal süneklik gösteren elemanlara ideal kesme dayanımı uygulanmaktadır.	-	-

Çizelge F.1 Türkiye ve farklı ülkelerde toprak yapı standart ve yönetmeliklerine ait inceleme (Devamı)

Performans Kriterleri	Yangın Performansı	-	NZS 4297’de 150mm duvarlar için 120/120/120	-	İskoçya Toprak Yapı Kılavuzu’nda;. Alman Yapı Standartlarına göre 1700 kg/m’den daha yoğun toprak duvar çok fazla lif içerse bile yangına karşı dayanıklıdır. Hafif toprak-lif karışımlarının yangın dayanımı toprak ya da kireç sıva kullanılarak geliştirilebilir. - Toprak Duvar Tasarımı ve Yapım Kuralları Kılavuzu’na göre İngiltere yapı standartlarında ağırlık olarak max. %1 oranında lifli malzemeye izin verilmektedir
	Narinlik	-	NZS 4297’de $Z \leq 0.6$ için narinlik oranı 10-24; $Z > 0.6$ için narinlik oranı 6-16.	-	Toprak Duvar Tasarımı ve Yapım Kuralları Kılavuzu’nda; yanal kısıtlama olmayan duvarlarda uzunluk/genişlik oranı 1:8 veya 1:10 olmalıdır. Yanal sınırlaması olan duvarlarda bu oran 2 katına çıkarılabilir. Narinlik oranı 1:20 olan duvarlarda katkı maddesi kullanılmalıdır
	Elastisite Modülü	-	NZS 4297’de $E_e = 300 \times f_e$ -Siltli ve düşük kalite topraklar için elastisite modülü 120kPa-3GPa; siltli-kumlu killeri ve düşük kaliteli topraklar için 3GPa-7GPa, siltli kumlu ve kumlu killeri 7GPa’a yakın ve çakıllı topraklarda 7GPa-20GPa olarak kabul edilmektedir	-	-
	Akustik Performans	-	-	-	Toprak Duvar Tasarımı ve Yapım Kuralları Kılavuzu’nda; 130 mm = 46 dB; 240mm = 53 dB; 365 mm = 57 dB duvar kalınlığı arttıkça ses azaltma endeksi de artmaktadır
	Donma	-	-	-	Toprak Duvar Tasarımı ve Yapım Kuralları Kılavuzu’nda; ince tanecikli toprak malzemeler donma etkilerine karşı daha dayanıksızdır. Genel olarak tüm toprak malzemeler yüzey kaplamaları ile korunmalıdır
	Aşınma	-	Derinlik Erodibilite $0 \leq D < 20$ =1 $20 \leq D < 50$ =2 $50 \leq D < 90$ =3 $90 \leq D < 120$ =4 $D \leq 120$ =5 (başarısız) Yüksek porozite ve yetersiz tanecik dayanımı olan topraklar dayanıksız olduğu görülmektedir (NZS 4298) NZS 4299’da toprak malzeme erodibilite endeksi; yapı erodibilite endeksinden az veya eşit olmalıdır. Toprak duvar malzemesi erodibilite endeksi; toprağın çimento veya asfalt emülsiyon ile güçlendirilmesi ile artırılabilir.	-	Toprak Duvar Tasarımı ve Yapım Kuralları Kılavuzu’nda; yüzey aşınması suyun yüzey parçacıklarını götürmesiyle oluşmaktadır. Yüksek poroziteye ve yetersiz tanecik dağılımına sahip toprak malzemeler daha sert yüzeye sahip olan malzemelere göre daha kırılgan olmaktadır. Suyun miktarı, açısı ve basıncı aşınmayı etkilemektedir. Kaplama malzemeleri aşınmanın engellenmesinde etkili olmaktadır.
Çatı	Çatı+ Eğimi	Eğimli ve hafif çatı kullanılmalıdır	NZS 4299’da çatı eğimi Maks.45° olmalıdır	-	-
	Saçak Genişliği	En fazla 50 cm olmalıdır	NZS 4299’da Min. 600-750 mm olmalıdır	Yağmura karşı yapıyı korumak için geniş saçaklar tercih edilebilir	-
Temeller	Temel Genişliği	En az 50 cm olmalıdır	NZS 4299’da 280 mm’den az 450 mm’den fazla olmamalıdır	-	-
	Temel Yüksekliği	En az 80 cm olmalıdır	NZS 4297’de bitmiş zemin asfalt kaplı ise temelin üst seviyesi döşeme seviyesinden 150 mm’den az olmalıdır. Temel yüksekliği; zeminin asfaltlanmamış olması durumunda bitmiş zemin seviyesinden en az 225 mm olmalıdır. Toprak altında kalan temel üst seviyesinin suya karşı yalıtımı yapılmalıdır NZS 4299’da Toprak duvarın alt kısmındaki tabanın üst seviyesi; a) Bitmiş dış zemin seviyesinden en az 225 mm yukarıda, b) İnşaat sırasında, çatının hava koşullarına karşı korunmadan önce iç zemin seviyesinin en az 50 mm üzerinde, c) Temizlenen zemin seviyesinin maksimum 600 mm üzerinde ve d) Sürekli döşeme yüzeyinden en az 150 mm yukarıda olmalıdır. Binaların ıslak hacimlerindeki duvarlarda zemin katından en az 50 mm yukarıda beton temel bulunmalıdır.	-	-

Çizelge F.1 Türkiye ve farklı ülkelerde toprak yapı standart ve yönetmeliklerine ait inceleme (Devamı)

Temeller	Buhar Bariyeri	Rutubete karşı bitüm, katran, bitümlü karton vb. kullanılabilir	NZS 4299'da beton plaka altında yer alan buhar bariyeri NZS 3604 kapsamında yapılmalıdır	-	<i>Toprak Duvar Tasarımı ve Yapım Kuralları Kılavuzu'nda</i> ; büyük gözenekli malzemelerde su buharı daha fazla içeriye nüfus eder ve donma direncine katkıda bulunur. Yüzey kaplama malzemeleri ile su ve buharın malzeme içine geçişi azaltılmalıdır.
	Temel Donatısı	-	NZS 4297'da Min. Kesme donatısı sağlanmalı ve donatı mesafesi merkezden merkeze 600 mm'den fazla olmamalıdır NZS 4299'da $Z \leq 0.6$ olan bölgelerde genişliği 350 mm aşmayan temellerde; boyuna donatı 4/D12 veya 2/D16 demir çubuklardan; temel genişliği 350 mm'den fazla olması durumunda temeller 4/D16 demir çubuklardan oluşmalıdır	-	-
Testler	Toprak Testleri	45 dk ve altındaki sürelerde çamurlaşan numuneler kerpiç yapımında kullanılmamalıdır	NZS 4298'de Eğilme - Çekme dayanımı çok değişkendir ve çoğu sonuç basınç dayanımının %10-20'si arasında bulunur. -Numuneler test edilmeden önce 70 derece altında bir sıcaklıkta nem içeriği %3-5 olacak şekilde kurutulmalıdır	Toprağın kıvamını belirlemede şerit ve küre testleri yapılmalıdır	<i>İskoçya Toprak Yapı Kılavuzu'nda</i> ; toprağın yaklaşık bileşimi ve özellikleri anlaşılmasında görsel, dokunma, koku ve sedimentasyon testleri yapılmaktadır
	Laboratuvar Testleri	-Kopma gerilmesi 50g/cm^2 'den az olan çamur kullanılmaz -Rötre deneyinde iki deney numunesi arasında 2 mm'den fazla fark varsa deney tekrarlanır	NZS 4298'de Basınç dayanımı: $f_e > 1.3\text{MPa}$ Eğilme ve Çekme dayanımı: $f_{et} > 0.25\text{MPa}$	-	<i>İskoçya Toprak Yapı Kılavuzu'nda</i> testler; iyi bir yapı malzemesinin elde edildiğinden emin olmak için yapılmaktadır. -Sedimentasyon, Plastik ve Likit Limit, Rötre (linear shrinkage), Basınç Dayanımı, Kütle Yoğunluğu (bulk density), Boşluk Oranı, Minerolojik Tanımlama, Çekme Dayanımı, Şişme, Su Emme, Donma, Aşınma.
	Kalite Kontrol Testleri	-	NZS 4298'de Basınç dayanımı: $1.9 f_e$ Çekme dayanımı: $2.1 f_{et}$	-	-

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Z. Gülşah KOÇ
Doğum Tarihi ve Yeri :19.05.1987, İstanbul
Yabancı Dili :İngilizce, İtalyanca
E-posta :koc_gulsah@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Mimarlık	Maltepe Üniversitesi	2009
Lise	Fen Bilimleri	Doğuş Lisesi	2005

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2014-2015	Selma Sökmen Mimarlık	Mimar
2013-2014	Atölye Mimarlık	Mimar
2010-2011	Mimar Ocağı Mimarlık	Mimar

YAYINLARI

Makale

1. Koc, G. ve Akbulut, D.,(2017). “Ekolojik Tasarım Kapsamında Dünyada ve Türkiye’de Toprak Yapı Standart ve Yönetmeliklerinin Değerlendirilmesi”, Megaron YTÜ Mimarlık Dergisi.

Kitap

1. Koç, G., Claes, M.T. ve Christiansen, B. (2017). Cultural Influences on Architecture, IGI Global, Hershey, PA.



.