



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**CAM ELYAF VE HAVA SÜRÜKLEYİCİ KATKI
KULLANILARAK GELİŞTİRİLMİŞ KERPİÇ**

**İnş.Müh. Tuna GÜL
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Malzemesi Programı**

**Danışman
Prof.Dr. Fahriye M. KILINÇKALE**

Mayıs, 2011

İSTANBUL



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**CAM ELYAF VE HAVA SÜRÜKLEYİCİ KATKI
KULLANILARAK GELİŞTİRİLMİŞ KERPİÇ**

**İnş.Müh. Tuna GÜL
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Malzemesi Programı**

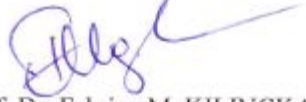
**Danışman
Prof.Dr. Fahriye M. KILINÇKALE**

Mayıs, 2011

İSTANBUL

Bu çalışma 25/05/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Malzeme programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi



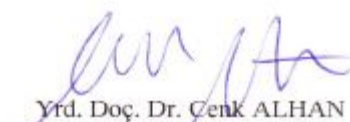
Prof. Dr. Fahriye M. KILINÇKALE (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Abdurrahman GÜNER
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Nabi YÜZER
Yıldız Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi



Yrd. Doç. Dr. Cenk ALHAN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Yrd. Doç. Dr. Özgür ÇAKIR
Yıldız Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Prof.Dr. Fahriye M. KILINÇKALE'e en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını esirgemeyen çalışma arkadaşlarıma ve çalışmamın uygulama kısmını destekleyen İstanbul Üniversitesi'ne teşekkürü borç bilirim.

Mayıs, 2011

Tuna GÜL

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	3
2.1. KERPIÇ	3
2.1.1 Kerpicing iyi etkileri.....	11
2.1.2 Kerpicing olumsuz yönleri	15
2.1.1 Kerpiç yapıda dikkat edilmesi gereken detaylar	15
2.2. GELİŞTİRİLMİŞ KERPIÇ	18
2.3. TÜRKİYE’DE KERPIÇ	21
3. MALZEME VE YÖNTEM	31
3.1. MALZEME	31
3.1.1. Toprak.....	31
3.1.2. Cam Lifi	32
3.1.3. Hava Sürükleyici	33
3.1.4. Karışım Suyu	33
3.2. YÖNTEM	34
3.2.1. Numunelerin Hazırlanması	34

3.2.2. Basınç Deneyi	38
3.2.3. Suya Dayanıklılık Deneyi	38
3.2.4. Maliyet Analizi	39
4. BULGULAR.....	43
4.1. FİZİKİ MUAYENE	43
4.2. BASINÇ DENEYİ.....	44
4.3. SUYA DAYANIKLILIK DENEYİ.....	55
4.4. MALİYET ANALİZİ	63
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	68
KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİŞ	75

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	: Kerpiç kullanım alanları.....	4
Şekil 2.2	: Spor ve sanat merkezi, İngiltere	5
Şekil 2.3	: Kerpiç yapı.....	5
Şekil 2.4	: Farklı kerpiç blokları.....	9
Şekil 2.5	: Kerpiç Kalıbı	9
Şekil 2.6	: Kerpicin kalıplanması	10
Şekil 2.7	: Günlük 20.000 adet kerpiç üretimi yapabilen makine	10
Şekil 2.8	: Kerpiç harcının üretimi	11
Şekil 2.9	: Kerpiç duvar imalatı.....	15
Şekil 2.10	: Modern kerpiç yapı, New Mexico	16
Şekil 2.11	: Kerpiç yapılar Santorini, Yunanistan.....	17
Şekil 2.12	: Kerpiç yapı	17
Şekil 2.13	: Dhyanalingam tapınağının kubbesi.....	21
Şekil 2.14	: Mirramukhi okulu	21
Şekil 2.15	: Hattuşa kent suru.....	23
Şekil 2.16	: Yıllara göre yeni inşa edilen yapı sayıları	27
Şekil 2.17	: Hacı İmam Konağı, Gümüşhane.....	28
Şekil 2.18	: Acıkuyu Köy Evi, Ankara	28
Şekil 2.19	: Sansarak köyü, İznik	29
Şekil 2.20	: 1935 yılından yapılmış köy evi, Bursa.....	29
Şekil 2.21	: Köy evi, Harran.....	30
Şekil 2.22	: Kerpiç ev, Safranbolu.....	30
Şekil 3.1	: Toprak numunesi elek analizi grafiği.....	32
Şekil 3.2	: Cam lifi.....	33
Şekil 3.3	: Kerpiç harcının karışımı	36
Şekil 3.4	: Kıvam deneyi.....	36
Şekil 3.5	: Kerpiç üretim	37
Şekil 3.6	: Numuneler	37
Şekil 3.7	: Örnek yapı plan.....	39
Şekil 3.8	: Örnek yapı A-A kesiti	40
Şekil 3.9	: Kerpiç duvar kesiti.....	40
Şekil 3.10	: Tuğla duvar kesitleri	41
Şekil 3.11	: Kolon donatı detayı.....	42
Şekil 4.1	: Üretim gününe ait fotoğraf.....	43
Şekil 4.2	: 28. Güne ait fotoğraf.....	43
Şekil 4.3	: 0K3-28 Numunesi	44
Şekil 4.4	: 0K3-28 Numunesinin basınç deneyi.....	45
Şekil 4.5	: 0K2-56 Numunesinin basınç deneyi.....	45
Şekil 4.6	: 5K3-28 Numunesinin basınç deneyi.....	46
Şekil 4.7	: 2K3-28 Numunesinin basınç deneyi.....	46
Şekil 4.8	: Gevrek ve sünek davranışa ait fotoğraf.....	47

Şekil 4.9	: 0K1 numunelerine ait basınç dayanım grafiği.....	48
Şekil 4.10	: 0K2 numunelerine ait basınç dayanım grafiği.....	49
Şekil 4.11	: 0K3 numunelerine ait basınç dayanım grafiği.....	49
Şekil 4.12	: 0K numunelerine ait ortalama basınç dayanım grafiği	50
Şekil 4.13	: 2K1 numunelerine ait basınç dayanım grafiği.....	50
Şekil 4.14	: 2K2 numunelerine ait basınç dayanım grafiği.....	51
Şekil 4.15	: 2K3 numunelerine ait basınç dayanım grafiği.....	51
Şekil 4.16	: 2K numunelerine ait ortalama basınç dayanım grafiği	52
Şekil 4.17	: 5K1 numunelerine ait basınç dayanım grafiği.....	52
Şekil 4.18	: 5K2 numunelerine ait basınç dayanım grafiği.....	53
Şekil 4.19	: 5K3 numunelerine ait basınç dayanım grafiği.....	53
Şekil 4.20	: 5K numunelerine ait ortalama basınç dayanım grafiği	54
Şekil 4.21	: Suya dayanıklılık deneyi	55
Şekil 4.22	: 2K3-28 Numunesinin 72 Saat sonraki fotoğrafı.....	57
Şekil 4.23	: 5K2-28 Numunesinin 72 Saat sonraki fotoğrafı	57
Şekil 4.24	: 5K2-28 ve 5K3-28 Numunesi.....	58
Şekil 4.25	: 0K1-56 Numunesinin 35 dakika sonraki fotoğrafı	59
Şekil 4.26	: 2K1-56 Numunesinin 1saat 55 dakika sonraki fotoğrafı.....	59
Şekil 4.27	: 5K1-56 Numunesinin 2saat 08 dakika sonraki fotoğrafı.....	60
Şekil 4.28	: 0K1 numunelerinin suya dayanım grafiği	60
Şekil 4.29	: 2K1 numunelerinin suya dayanım grafiği	61
Şekil 4.30	: 5K1 numunelerinin suya dayanım grafiği	61
Şekil 4.31	: K1 numunelerinin suda ortalama dağılma sürelerine ait grafik.....	62
Şekil 4.32	: Kerpiç yapı planı.....	65

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	: Kerpiç için genel toprak sınıflandırması	6
Tablo 2.2	: 1 m ³ Toprak için gerekli lif miktarı	8
Tablo 2.3	: Kerpiç sınıflandırma tablosu	8
Tablo 2.4	: Yapı malzemelerinin üretimi için sarf edilen enerji miktarı	12
Tablo 2.5	: Yapı malzemelerinin enerji tüketimi ve CO ₂ salınımı	13
Tablo 2.6	: Malzeme ısı iletkenlik değerleri	14
Tablo 2.7	: Kerpiç yapıda ölçülen sıcaklık değerleri.....	14
Tablo 2.8	: Türk dili konuşulan halklarda kerpicing tarihsel gelişimi	22
Tablo 3.1	: Toprak numunesi elek analizi.....	31
Tablo 3.2	: Cam lifinin özellikleri	32
Tablo 3.3	: Hava sürükleyici katkının özellikleri	33
Tablo 3.4	: Numune Karışım Oranları	34
Tablo 3.5	: Numune üretim tablosu	35
Tablo 4.1	: Gevrek numunelere ait basınç deney sonuçları	47
Tablo 4.2	: Sünek numunelere ait basınç deney sonuçları.....	48
Tablo 4.3	: Suda dağılma deney sonuçları	56
Tablo 4.4	: Özel 1 Pozu Analizi	64
Tablo 4.5	: Kerpiç yapı maliyet analizi.....	64
Tablo 4.6	: Tuğla duvar maliyet analizi	66

SEMBOL LİSTESİ

P_k	: kırılma anındaki kuvvet
A	: alan
σ	: basınç dayanım değeri

ÖZET

CAM ELYAF VE HAVA SÜRÜKLEYİCİ KATKI KULLANILARAK GELİŞTİRİLMİŞ KERPIÇ

Çalışmada yüz yıllardır yapı malzemesi olarak kullanılan geleneksel kerpiç üretiminden farklı malzemeler kullanılarak kerpicingin özellikleri geliştirilmeye çalışılmıştır. Çalışma iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm geliştirilmiş kerpiç üretim aşamasıdır. İkinci bölüm ise kerpiç kullanımındaki maliyet avantajının araştırıldığı bölümdür.

Birinci bölüm için kerpiç harcına cam elyaf ve hava sürükleyici katkı katılmıştır. Katkılarının etkisinin araştırılması için farklı karışımlara sahip numuneler üretilmiştir. Numuneler 28. ve 56. günlerde basınç ve suya dayanıklılık deneylerine tabi tutulmuştur. Deneyler sonucunda kerpicingin dayanım değerlerindeki değişim grafiklerle ifade edilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde ise kerpiçin sağladığı finansal kâr incelenmiştir. Bunun için kerpiç duvar ile günümüzde yaygın kullanıma sahip tuğla duvarın maliyet karşılaştırması yapılmıştır. Maliyet karşılaştırmasında deneyler sonunda elde edilen en üstün özellikteki toprak ağırlığının %0,05 cam lifi ve su ağırlığının %100'ü miktarında hava sürükleyici katkı içeren kerpiç numunesi kullanılmıştır. Bu karşılaştırmada kerpicingin ekonomide sağladığı fayda belirtilmiştir.

Daha önce yapılan çalışmalar incelenmiş bu çalışma ile ilişkilendirilmiştir. Çalışma sonunda elde edilen değerler çevreci ve ekonomik yapı malzemesi araştırmalarına olumlu katkı sağlamıştır. Çalışma ile ilgili genel bir değerlendirme sonuç bölümünde belirtilmiştir.

SUMMARY

IMPROVEMENT OF ADOBE MATERIAL BY USING GLASSFIBER AND AIR-ENTRAINING

This work investigates adobe which has been in use as a construction material for many centuries. The purpose of this study is to improve the properties of adobe. The study consists of two parts. The first part deals with production of improved adobe. The second part investigates the cost advantage of using adobe bricks.

In the first part, glass fiber and air-entraining additives were added to the adobe mortar. The samples were produced with various mix proportions to observe and analyze the effect of the additives. The specimens were tested on the 28th and 56th day for compressive strength and water resistance properties. The results were illustrated with appropriate graphics.

In the second part, financial advantage gained by the use of adobe is analyzed. Cost comparison of the adobe wall and the brick wall which is widely used are made. The best performing composition was found to be adobe containing 0.05% glass fiber by weight of soil and 100% air-entraining additive by weight of water. The cost comparison was made using this best performing composition. Based on this comparison, the economic benefit of adobe to economy was illustrated.

Earlier research work carried out by others were reviewed and analyzed in relation to this study. The outcome of the present makes a positive contribution to the development of environment friendly and cost efficient building material. A general evaluation for the study can be found in the last chapter.

1. GİRİŞ

Kerpiç yüzyıllardır konut, ahır, merek ve kümes gibi farklı yapıların malzemesi olarak kullanılmaktadır. Üretim aşaması son derece basit olup, toprak ile saman karışımının su ile yoğrularak güneşte kurutulmasından elde edilir. Toprak bünyesinde bulunan kil karışımında bağlayıcı olarak görev yapar. Karışımındaki su ise toprağın kalıplanabilmesi için toprağa plastiklik özelliği sağlar. Kurutulup dayanım kazanması için gerek duyulan enerji ise güneşten temin edilir.

Toprak yapılara olan ilgiyi 20.yüzyılda yaşanan iki önemli olay arttırmıştır. Birincisi İkinci Dünya Savaşı'dır. Savaşın başlamasıyla pek çok ülke tarafından ithal edilen demir, tuğla gibi yapı malzemeleri temin edilemez olmuş; insanlar binalarını ülkelerinin kendi imkânları dâhilindeki yerel malzemelerle inşa etmek zorunda kalmıştır. İkincisi ise 1970'lerde yaşanan enerji krizidir. Krizden sonra, bir yandan akılcı olmayı öneren, diğer yandan doğayla uyum içinde yapılaşmayı öngören bir düşünce olarak yeşil (veya ekolojik) mimarlık kavramı ortaya çıkmıştır. Yeşil mimarlığın üç temel ölçütü vardır. Bunlar; yeniden kullanım, geri dönüşüm ve azaltma. Toprak; gerek malzeme, gerek yapım tekniği olarak, bu temel ölçütleri yeterince sağlamaktadır [1].

Bir çok özelliği ile üstün malzeme olan kerpiç, suya karşı düşük direnç ve basınç dayanım değeri ile zayıf bir malzemedir. Yapılan çalışmalar da bu değerlerin iyileştirilmesine yönelik olmaktadır. Araştırmalarda karışımına katılan kireç, alçı, çimento, puzolan ve lif gibi diğer katkıların, dayanım değerlerini arttırdığı belirtilmektedir. Yapılan çalışmaların ortak noktası kerpicing özelliklerinin ilave katkıları (kireç, alçı, çimento ve lif) ile geliştirilebildiğidir.

Bu çalışmanın amacı, kerpiç harcına cam elyaf ve hava sürükleyici katkının etkisinin araştırılmasıdır. Bu amaçla üretilen numuneler 28. ve 56. günlerde deneylere tabi tutulmuştur. Belirtilen günlerde yapılan basınç deneyi ve suya dayanıklılık deneyleri

yapıldı. Deneyle sonucunda elde edilecek değerler ilgili bağlantılar, çizelge ve grafiklerle ifade edildi.

Çalışmada üretilen kerpıcın maliyet analizi yapıldı. Böylece kerpiç ve tuğla duvarın maliyeti ve kerpiç kullanımını ile sağlanacak kâr belirlendi. Çevreci ve ekonomik bir yapı malzemesi olan kerpıcın özellikleri iyileştirilerek kullanılabilieceği gösterildi.

2. GENEL KISIMLAR

2.1 KERPIÇ

Kerpiç, toprak ve saman karışımının su ile yoğrularak kalıplanmasından sonra güneşte kurutulması ile elde edilen yapı malzemesidir. İmalatı son derece basit olan kerpiç, en ilkel koşullarda bile üretilebilmektedir. İmalatının basit olması maliyetinin de düşük olmasına neden olmaktadır. Tamamen doğal malzemelerden elde edilen kerpiç doğaya zararlı katkı içermemektedir. Hizmet ömrü sonunda ise tamamen yeniden kullanılabilir. Tüm bunların yanında iyi bir akustik özelliğe ve ısı yalıtımına sahip olmasının yanında nem düzenleyici olarak da görev yapmaktadır. Bu özellikleri ile konforlu, çevreci ve ucuz yapılar sunan kerpiç özellikle kırsal alanlarda her dönemin alternatif malzemesi olmuştur.

İlk dönemlerde yaygın olarak kullanılan kerpiç, sanayi çağı ile yerini farklı yapı malzemelerine bırakmıştır. Fakat yine de tarihin her döneminde tüm coğrafyalarda var olmayı sürdürmüştür.

İlk dönemlere ait kerpiç kullanımına MÖ X. yüzyıllarda Mezopotamya'da rastlanmaktadır [2]. Avrupa kıtasında ilk kerpiç kullanımına MÖ VI. yüzyıllarda Almanya'da rastlanmaktadır [3]. Anadolu'da ise ilk kerpiç kullanımına MÖ 8500 yıllarında Diyarbakır'daki Çayönü yerleşmesinde rastlanmıştır. Çayönü kerpiç kullanılarak inşa edilmiştir. Aynı yıllarda tüm Yakındoğu'da ise kerpiç kullanımı yaygınlaşmış ve MÖ 8000 yıllarında yığma ve pise tekniklerinin yanı sıra dörtgen biçimli kerpiç blokların kullanımına başlanmıştır. Bu dönemde Orta Anadolu'da levhalar halinde kerpiç kullanımına rastlanmaktadır. Yakındoğu ve Anadolu'da MÖ 6000 yıllarında yaygın olarak kalıp kerpice rastlanır. Aynı yıllarda Avrupa'da ahşap iskelete sahip yapıların kerpiçle kaplanarak, dolgu malzemesi şeklinde kullanıldığı görülür [4]. Yüzyıllar süren hizmet ömrüne sahip olan kerpiç yapılardan günümüze ulaşan eserler hâlâ görülebilmektedir. Mezopotamya'da Babillilerin (MÖ 625-562) kerpiçten inşa ettikleri "Etemenanki Ziggurat"ı ya da yaygın adıyla "Babil Kulesi" günümüze kadar ulaşmıştır.

Kerpiç kullanımı ilk dönemlere nazaran azalmış olsa da hâlâ yüksek miktarda yapı stokunu temsil etmektedir. Dünya nüfusunun yaklaşık %30'u kerpiç evlerde yaşamaktadır [5,6]. İngiltere'de çoğu 20. yüzyıldan önce inşa edilmiş yaklaşık 500.000 adet yapı bulunmaktadır. ABD'de ise her yıl kerpiç yapı miktarına ortalama 1.500 civarında yeni yapı eklenmektedir[7]. Yemen'de ise kerpiç yapının önemi bir başkadır. Diğer coğrafyalarda görülmeyen çok katlı kerpiç yapılara bu ülkede rastlanmaktadır. Yemen'de 9 katlı bir yapının kerpiç ile yapılabildiği görülmektedir [1]. Günümüzde kerpicin dünya üzerinde kullanıldığı yerleri gösteren harita Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1: Kerpiç kullanım alanları [9]

Sanayileşme ile değişim yaşayan insanoğlu her alanda farklı malzemeler kullanmaya başlamıştır. Hayatımızda olan bu değişiklikler yapı malzemelerini de etkilemiştir. Yeni malzemelerin yapımına imkân verdiği yüksek ve farklı mimarilere sahip yapıların inşası, kerpiç kullanımını azaltmıştır. Yeni malzemelerin kullanımı ise çevre kirliliği ve daha fazla enerji ihtiyacına neden olmaktadır. Fazla enerji kullanımı ise daha fazla çevre kirliliği oluşturmaktadır. Bu kısır döngü sonucu oluşan çevre kirliliği insan sağlığını tehdit eder boyutlara ulaşmıştır. Çevre kirliliğini önlemek amacıyla modern yaşamda başlayan doğa ile barışık malzeme arayışı kerpicin tekrar gündeme gelmesini sağlamıştır. Kerpiç çağa uygun yapı malzemesi haline getirilerek çağdaş yapılar yapılabilmektedir. Aşağıda modern yaşama ait kerpiç yapı örnekleri gösterilmektedir.



Şekil 2.2: Spor ve sanat merkezi, İngiltere [8]



Şekil 2.3: Kerpiç yapı [10]

Kerpiç yüzeyin yaklaşık 0.60 m altından alınan toprak ile üretilir. Kerpicing ve üretimi aşaması Türk standardında şu şekilde tanımlanmaktadır; “Killi ve uygun nitelikte toprağın içine saman veya diğer bitkisel lifler vb. diğer katkı maddeleri karıştırılıp ve su ile yoğrulup kalıplara dökülerek şekillendirmek ve açık havada kurutulmak suretiyle elde edilen ve inşaatta kullanılabilen hale gelen mamullerdir” [11].

Kerpiç hiçbir üretim aşamasında tesis gerektirmeyen bir üründür. Bir kişi bir günde yaklaşık 300 adet kerpici karıştırabilir, kalıplayabilir, taşıyabilir ve depo edebilir. Hindistan’da bir kişi için bu değer 500 adet kerpiçtir [3]. Başka bir kaynakta da günlük kerpiç üretim sayısı 500 adet olarak kabul edilmektedir [10]. Kerpiç üretimi aynı zamanda otomatik kerpiç makineleri ile de yapılabilmektedir. Makineler için günlük üretim değerleri 1500 ile 4000 kerpiç arasında değişmektedir [3]. Tam otomatik kerpiç makineleri için ise bu değer 20.000 adeti bulabilmektedir [12].

Kerpiç üretiminde kullanılacak toprağın bünyesindeki kil oranının belirli bir değer aralığı içerisinde olması istenir. Toprak ne çok killi olmalı ne de kumlu olmalıdır. Kerpiç toprağında gereğinden fazla kullanılan ince malzeme, büzülme ve çatlamalara neden olur. Toprakta bulunan fazla miktarda kumda ise kil miktarının az olması nedeni ile tanelerin birbirine bağlanması gerçekleşmez. İdeal kerpiç toprağı kil, silt ve kum karışımından oluşan topraktır. Toprak bünyesinde bulunan kumun kaba ve ince kum içermesi arzu edilir [13]. Araştırmacılar kerpiç için ideal karışım oranlarını farklı aralıklarda tutmaktadır. Tüm araştırmalarda kil oranı %25-35, kum oranı ise %50-75 arasında değişmektedir. TS 2514’e göre kerpiç toprağı %20- %70 arasında kil ihtiva etmekle beraber en uygun oran olarak %30-%40 arasında kil bulunan toprak önerilmektedir [11].

Tablo 2.1: Kerpiç için genel toprak sınıflandırması [15]

Toprak Sınıfı	Tane Büyüklüğü (mm)
Kil	0-0,002
Silt	0,002-0,060
Kum	0,060-2
Çakıl	>2

Üretimde kullanılması düşünülen toprağın belirlenmesinde laboratuvar deneylerinin yanında arazide de deneyler yapılabilmektedir. Bu deneyler kolay olup elle basitçe yapılabilir. Bu yöntemlerden birincisinde deney yapılacak toprak çamurundan 3 ya da daha fazla küçük toprak (yaklaşık 20 mm çapında) yapılır. Bu topraklar en az 24 saat kuruduktan sonra baş parmak ve işaret parmağı arasında sıkılır. Eğer toprak kırılmaz ise toprağın kerpiç yapımına uygun olduğu ve yeterli miktarda kil içerdiği anlamına gelir. Fakat bu toprak kullanılarak yapılacak kerpiçlerde kuruma çatlaklarına da dikkat edilmelidir. Topraklardan kırılan olması halinde toprakta yeterli miktarda kil olmadığı, kerpiç üretiminde kullanılmaması gerektiği anlaşılır [14,9].

Diğer bir yöntem ise yuvarlama deneyidir. Bunun için avuç içine ufak bir çamur koyulup avuç içlerinde yuvarlanarak silindirik yapılır. Eğer silindirik numune kırılmadan 50 mm ile 150 mm arasında uzar ise toprak kerpiç yapımına uygundur. Eğer silindirik 50 mm uzayamadan kopar ise bu toprak kerpiç imalatında kullanılmamalıdır [9].

Kerpiç toprağında en önemli birleşen kildir. Kil kerpiçte dayanımı sağlarken aynı zamanda kerpiçteki kuruma çatlaklarına neden olur. Sağlam bir kerpiç duvarı oluşturmak için kerpiçlerdeki kuruma çatlaklarının kontrol altına alınması gerekmektedir [14]. Kuruma esnasında oluşan bu gerilmeler karışımına lif katılmak sureti ile giderilebilmektedir. Kerpiç bünyesinde bulunan samanın görevi, bu kuruma çatlaklarının sınırlandırılmasıdır. Kerpiçte katılan lif katkısı bölgelere göre farklılıklar gösterebilmektedir. Ülkemizde yaygın olarak saman kullanılmasına rağmen diğer lifli bitkiler, çam iğneleri, testere, yün ve benzeri liflerin de kullanıldığı görülmektedir.

Kerpiç harcına katılacak 1 m³ toprak için gerekli lif miktarı TS 2514 “Kerpiç Bloklar Yapım ve Kullanma” standardında belirtilmiştir. Lif miktarları aşağıda Tabloda 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2: 1 m³ Toprak için gerekli lif miktarı [11]

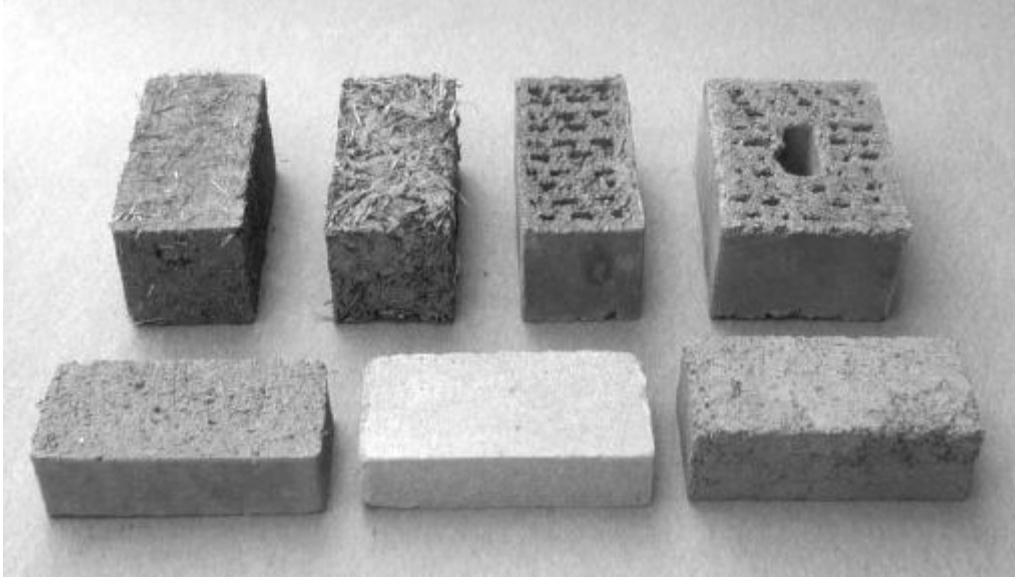
Toprak cinsi	1 m ³ toprak için gerekli bitkisel madde (kg)
Yağsız toprak [Yaklaşık % 20 kil içeren]	5-7
Orta yağlı toprak [Yaklaşık % 35 kil içeren]	7-10
Yağlı toprak [Yaklaşık % 50 kil içeren]	10-15
Çok yağlı toprak [Yaklaşık % 70 kil içeren]	15-20

Yaşanılan coğrafya yalnızca kerpiç hammaddesini etkilemez. Aynı zamanda kerpiçin şekli, ölçüsü ve yapısında da coğrafyanın etkisi görülebilmektedir. Avustralya'da kullanılan kerpiç ölçüleri tipik olarak 250×375×125 mm iken İran'da 200×250×50mm, Güney ve Orta Amerika'da 400×400×90 mm ve 250×350×100 mm boyutlarında kare kerpiç kullanılmaktadır[1, 10]. TS 2514 standardında ülkemizde kullanılan kerpiç ebatları ve adlarını gösteren sınıflandırma aşağıda Tablo 2.3'te verilmiştir.

Tablo 2.3: Kerpiç sınıflandırma tablosu [11]

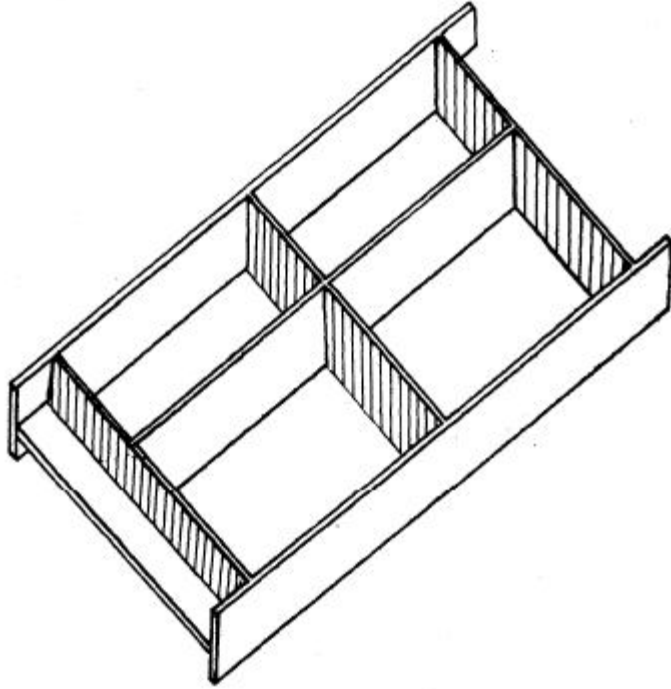
Sınıf	Boyutlar (cm)	Hacim (dm ³)	Yaklaşık Ağırlık (kg)	Adı
I	12x19x40	9,12	10-12	Kuzu
II	12x30x40	14,40	15-25	Ana
III	12x18x30	6,48	7-11	Kuzu
IV	12x25x30	9,00	10-15	Ana

Kerpiç blokları kullanım amacına göre de farklılıklar gösterebilmektedir. Ölçüleri ve karışım miktarları farklı olan kerpiç örneklerinin gösterildiği Şekil 2.4 aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.4: Farklı kerpiç blokları [3]

Kerpiç üretimi basit ahşap kalıplar ile yapılmaktadır. Ahşap kalıplara kerpiç harcı yerleştirilmeden önce iç kısımları yağlanır. Kerpiç harcının kalıplara yerleştirilmesinden sonra kalıp kaldırılarak kerpiçler kurumaya bırakılır. Şekil 2.5'te TS 2514'te Anadolu'da kullanılan tipik bir kerpiç kalıbını temsil eden çizim verilmiştir.



Şekil 2.5: Kerpiç kalıbı [11]

Kerpiç kalıpları Şekil 2.5 ile sınırlı olmayarak farklılıklarda gösterebilmektedir. Aşağıdaki fotoğraflarda farklı kalıp kullanılarak üretilen kerpiçler gösterilmiştir.



Şekil 2.6: Kerpicin kalıplanması [16]



Şekil 2.7: Günlük 20.000 adet kerpiç üretimi yapabilen makine, New Mexico [12]

Kerpiç harcı toprağın temini için açılmış olan çukurda saman ve su ile yoğrularak üretilir. Şekil 2.8’de kerpiç harcının yoğrulması görülmektedir.



Şekil 2.8 Kerpiç harcının üretimi [17]

Kerpiç numunelerin kurutulması en önemli üretim aşamasıdır. Kerpiç bünyesinde bulunan suyun, dayanımın düşmesine neden olduğu unutulmamalıdır. Ani ve hızlı yapılan kurutma ise çatlamalara ve derin yarılmalara neden olmaktadır. Bu da kerpicingin basınç ve suya dayanıklılık değerini düşürmektedir. Kerpiçler doğrudan güneş altında bırakılmamalı ve rüzgârdan korunmalıdır. Kurutma işlemi serin yerde ve yavaşça yapılmalıdır. Kurutma esnasında kerpiç numuneleri belirli aralıklarla su serpilerek nemlendirilmelidir. Aynı zamanda kerpiçlerin yerleri değiştirilerek kurumunun kerpicingin her tarafında eşit oluşması sağlanmalıdır. Geliştirilmiş kerpiçlerde farklı uygulamalar görülebilmektedir. Örneğin harcına alçı katılarak geliştirilmiş (alker) kerpiçlerde kuruma veya sertleşme süreci hızlıdır. Alker kerpici kalıptan çıkarılmasından kısa bir süre sonra kullanılabilir. Bu tür kerpiçlerde kurutma aşamasında harcanan enerji ve iş gücünden tasarruf sağlanır [14].

2.1.1. Kerpicingin iyi etkileri

Kerpiç sahip olduğu yüksek ısı kapasitesi ile gün boyu ısıyı emerek yapının iç tarafını soğuk tutmaktadır. Gece dış sıcaklığın düşmesi ile gün boyu depolanan ısıyı dışarıya

verirler. Kerpiçteki bu ısı kapasitesinin en önemli değişkeni bünyesindeki su miktarıdır. Kurutma aşaması bu yüzden ısı iletimi ve ısı kapasitesi için önemli bir aşamadır. Su miktarı arttıkça ısı iletkenlik artmaktadır. Bu nedenle kerpiçte ısı iletiminin düşürülmesi için bünyesinde bulunan suyun olabildiğince buharlaşması sağlanmalıdır. Yapıda yerindeki kerpiğin ise su ile teması engellenmelidir [5,18,19].

Kerpiç boşluklu bir malzemedir ve nem dengeleyici olarak davranır. Kerpiç yapı içerisinde nem oranını %40 oranında tutmaktadır. Kerpiç alternatifi olan tuğlaya göre 30 kattan daha fazla nem dengeleme özelliğine sahiptir [20,1].

Kerpiğin enerji tüketimi diğer yapı malzemelerinden daha azdır. Enerji tüketimi malzemenin üretimi, binanın inşaat aşaması ve kullanım süresinde harcanan enerjilerin toplamı şeklinde değerlendirilmelidir. Toprak yapılar her üç evrede de, diğer yapı malzemelerine göre daha az enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Makinelerle üretilmiş kerpiç blokların diğer yapı malzemelerine göre üretim aşamasında ihtiyaç duyduğu enerji miktarı aşağıda Tablo 2.4 de gösterilmiştir [1].

Tablo 2.4 Yapı malzemelerinin üretimi için sarf edilen enerji miktarı [1]

Malzeme	Miktar	Tüketilen Enerji (kcal/saat)
Portland çimentosu	42,64 kg	96,232
Söndürülmüş kireç	45,36 kg	111,109
Tuğla	1 blok	3,422
Beton blok	1 blok	7,317
Makine ile üretilmiş kerpiç blok	1 blok 254×101,6×355,6 mm	0,63

Kerpiç üretimi tuğlanın üretim aşamasındaki enerji kullanımına göre mükemmel çevreci özelliğe sahiptir [21]. Hindistan'daki CO₂ emisyonununun %22'sine inşaat sektörü neden olmaktadır. Kerpiç yapının enerji geri dönüşüm süresi 1,54 yıldır ve ayrıca CO₂ salımını ise 101 ton/yıl daha azaltır [32]. Kerpiç tuğlaya nazaran 15,1 kat daha az enerji tüketimi ve 7,9 kat daha az kirlilik salımı sağlar. Kerpicin diğer yapı malzemeleri ile enerji tüketimi ve CO₂ salım analizini gösteren Tablo 2.5 aşağıda verilmiştir [22].

Tablo 2.5. Yapı malzemelerinin enerji tüketimi ve CO₂ salımını [22]

Ürün ve Kalınlık	Malzeme Sayısı (1/m ²)	Enerji Tüketimi (MJ/ m ²)	CO ₂ Salımı (kg/m ²)
Sıkıştırılarak geliştirilmiş kerpiç -24 cm	40	110	16
Pres tuğla - 22 cm	87	539	39
Tuğla - 22 cm	112	1657	126
Beton blok – 20 cm	20	235	26

Isı iletkenlik katsayısı malzemenin ısıyı ne kadar ilettiğini ifade eden değerdir. Isı iletkenlik katsayı değeri ne kadar küçük ise malzeme ısıyı o kadar az iletir. Kerpiç ısı iletkenlik katsayısı düşük olan ve iyi bir ısı yalıtımı sağlayan malzemedir. Bazı yapı malzemelerinin birim hacim kütlelerine göre ısı iletkenlik hesap değerleri Tablo 2.6'da verilmiştir [1].

Tablo 2.6 Malzeme ısı iletkenlik değerleri [1]

TS 825'deki sıra no	Malzeme veya bileşenin çeşidi	Birim hacim kütlesi (kg/m ³)	Isı İletkenlik hesap değeri (W/(m·K))
5.10	Donatılı beton	2400	2,10
	Donatısız beton	2200	1,74
7.1.1	TS 704, TS 705'e uygun tuğlalarla yapılan kârgir duvarlar, dolu klinker, düşey delikli klinker, (TS 4562) seramik klinker (TS 2902)	1800	0,81
		2000	0,94
		2200	1,20
7.1.2	TS 704, TS705'e uygun dolu veya düşey delikli tuğlalarla duvarlar	1200	0,50
		1400	0,58
		1600	0,68
		1800	0,81
		2000	0,96
	295×140×90 mm ebadında sıkıştırılmış toprak blok	1700-2200	0,81-1,04
	400×200×100 mm ebadında kerpiç	1200-1700	0,4-0,8

Sıcak bir iklimde olan Kıbrıs'ın geleneksel yapım teknikleri ile inşa edilen kerpiç yapıda ölçülen sıcaklıklar ve dış ortam sıcaklığını gösteren Tablo 2.7 aşağıda verilmiştir[1].

Tablo 2.7 Kerpiç yapıda ölçülen sıcaklık değerleri [1]

Ay	Dış Ortam Hava Sıcaklığı (°C)			Bina İçi Sıcaklık (°C)
	En Yüksek	En Düşük	Ortalama	
Mayıs	33,24	13,94	~23,59	20-25
Temmuz	>40	25	~33	30
Aralık	21,28	2,94	~24,22	10-15

2.1.2. Kerpicing olumsuz yönleri

Diğer inşaat malzemelerine nazaran daha az dayanıklı, insan gücü odaklı, depreme karşı zayıf dayanıma sahip, yapısallığının sınırı bulunan, imalatçılar için ekonomik olmayan, yüksek duvar kalınlığı gerektiren yapı malzemesidir [22]. Fakat bu olumsuz etkiler sürekli olmayıp giderilebilecek niteliktedirler.

Kerpicing dayanımını düşürücü en önemli etken sudur. Fakat kerpice katılan ilave katkılar ile suya karşı dayanıklılık (veya direnç) arttırılabilmektedir. İlave katkılar ile birçok mühendislik özellikleri de geliştirilebilmektedir [21]. İlave katkılarla kerpicing birçok sakıncalı yönü ortadan kaldırılabilir.

2.1.3. Kerpiç yapıda dikkat edilmesi gereken detaylar

Kerpiç yapılar genellikle tek katlı, 3m yükseklikte ve duvar kalınlıkları 0,25m ile 0,80m arasında değişmektedir [6]. Daha yüksek ve ince duvar kalınlığında yapıların yapılabilmesi için kerpiç bloklar desteklenmelidir. Bu destekleme kerpiç duvarlar içine destekleyici yapı malzemeleri eklenerek veya kerpiç harcına farklı malzemeler katılarak yapılmaktadır. Şekil 2.9'da kerpiç duvarların iki farklı yöntem ile kuvvetlendirilmesi gösterilmiştir.



Şekil 2.9 Kerpiç duvar imalatı [3]

Kerpiç yapı sisteminin uygulanacak olan yapının yalın kare veya dikdörtgen olmasına çalışılmalıdır. Yapıdaki girinti ve çıkıntının en az düzeyde olması sağlanmalıdır. Taşıyıcı dış duvarların en az 500 mm, taşıyıcı iç bölme duvarların 300 mm, taşıyıcı

olmayan bölme duvarların ise 150 mm'den ince olmaması gerekmektedir. Planda enine ve boyuna taşıyıcı duvarların sürekli olması gerekir. Tek açıklıkta taşıyıcı duvar uzunluğunun 4,5 m'yi aşması istenmez. Dış duvarda yapılacak boşlukların yeri, köşeden itibaren 1.ve 2. derece deprem bölgelerinde 1,50 m, 3. ve 4. derece deprem bölgelerinde 1,00 m'den başlamalıdır. Kapı ve pencere genişliği betonarme hatıl kullanılsa bile 1,00 m'yi geçmemelidir. Lentoların duvara oturma payı en az 500 mm olmalıdır. Boşluklar arasındaki dolu kısımların en az 600 mm olması gerekir. Geniş saçak yapılması, duvarların yağmurdan korunması bakımından yararlıdır. Düz çatı yapılacaksa, tavan kirişlerinin duvardan en az 400 mm taşırılması sağlanmalıdır. Kerpiç yapı deprem bölgesinde inşa edilecek ise yürürlükte olan deprem yönetmeliğine uygun olarak değişme gösterebilmektedir. Kerpiç bloklar su basman seviyesinden sonra kullanılmaya başlanmalıdır. Zeminde kerpiç bloklarına olabilecek suyun geçişi önlenmelidir. Tasarım ve yapımla ilgili diğer kurallar kerpiç yapı standartları olan TS 2514, TS 2515 ve Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkındaki yönetmeliğe uygun olmalıdır [1,13].



Şekil 2.10: Modern kerpiç yapı, New Mexico [23]



Şekil 2.11: Kerpiç yapılar Santorini, Yunanistan [23]



Şekil 2.12: Kerpiç yapı [24]

2.2 GELİŞTİRİLMİŞ KERPIÇ

Anadolu'da kerpicing geliştirilmesi için kerpiç toprağına katkı olarak genellikle saman katılır. Toprak ve saman karışımından elde edilen kerpiç yüksek dayanım değerleri göstermez. Kerpiç harcına katılan kireç, yüksek fırın cürufu, çimento, asfalt, alçı ve benzeri malzemeler kerpicing özelliklerinin iyileştirilmesini sağlar. Bu sayede elde edilen kerpiçlere "geliştirilmiş kerpiç" denilmektedir. İlave katkılar ile elde edilen geliştirilmiş kerpiç geleneksel kerpice nazaran daha yüksek mukavemete sahiptir.

Kerpicing iyileştirilmesinde başlıca üç yol vardır.

- a. Mekanik iyileştirme: Toprağın sıkıştırılması. Sonuç olarak yoğunluk, mekanik özellik, permeabilite ve porozite etkilenmektedir.
- b. Fiziksel İyileştirme: Toprağın özelliklerinin ısıtma, kurutma ve granülometrisi gibi değişik yöntemlerle iyileştirilmiştir.
- c. Kimyasal İyileştirme: Toprağa ilave katkılar katılarak yapılan iyileştirilmiştir.

Bunlar ayrı ayrı veya birlikte uygulanabilmektedir. Geliştirilmiş kerpicing elde edilmesi amacıyla yapılan çalışmalar ve sonuçları aşağıda verilmiştir;

Oti ve diğ. [21] yaptıkları araştırmada kerpiç harcına katkı olarak yüksek fırın cürufu, kireç ve portland çimentosu katmışlardır. Yaptıkları deneyler sonucunda kireç ve cüruf katkısının çimento ve yüksek fırın cürufu katkısından daha iyi sonuç verdiğini görmüşlerdir. Yapılan çalışmalarda [21, 25, 26] yüksek fırın cürufunun kerpicing mühendislik özelliklerinin iyileştirmesine iyileştirici katkıları olmuş, doğaya zararlı madde olan yüksek fırın cürufunun da çevreye zarar vermeden tüketilmesi sağlanmıştır.

Ömer [27] yapmış olduğu araştırmada kerpiç harcına ferrokrom cürufu katmıştır. Çalışma sonunda çevre kirliliğine neden olan ferrokrom cürufunun kerpiçte kullanılmasının mukavemeti etkilediği görülmüştür. Cürufun kullanılması basınç dayanımında 1,74 kat artışa, suya dayanıklılık değerinde 94 dk süre ile %10'luk artışa neden olmuştur. Bunun yanında çevre kirliliğine yol açan ferrokrom cürufuna kullanım alanı sağlanmıştır.

Juliana ve diğ. [28] yaptıkları çalışmada kerpiç yüzeylerine seramiklerde uygulanan TiO_2 sol-jel kaplama yöntemi uygulamıştır. Sol-jel kaplama yapılan kerpiç yüzeyleri elektron mikroskobu ve çeşitli deneylerle incelenmiştir. Deney sonuçlarında yapılan bu kaplama ile geliştirilmiş mükemmel alternatif bir yapı malzemesi elde edilmiştir.

Younoussa ve diğ. [29] yaptıkları çalışmada kerpici kireç katkısı ile geliştirmeyi araştırmışlardır. Kerpiç kullanılarak üretilen numuneler 4 gün boyunca yağmur suyuna maruz bırakılmıştır. Dört gün sonunda numunelerde yapılan deneylerde standart değerlere çok yakın değerler elde edilmiştir. Çalışma sonunda kireç kullanımı ile basınç ve eğilme dayanımının artış gösterdiği ve su emme özelliğinin de azalmış olduğu görülmüştür.

Osman ve diğ. [13] yaptıkları çalışmada çevre kirliliğine neden olan uçucu kül kullanmışlardır. Uçucu kül katkısının %10 bulunduğu katkılı kerpiçlerde basınç dayanımının en yüksek notaya çıktığı görülmüştür. Ayrıca üretimde kullanmış oldukları basınç makinesinin kerpiçlerin dayanımlarında olumlu etki gösterdiği de belirtilmiştir.

Galan-Marin ve diğ. [30] Kerpicing iyileştirilmesi için yapılan çalışmada kerpice katılan yün ve aljinat katkısının kerpicing basınç dayanımını 4,44 MPa değerine arttırdığını belirtmişlerdir. Basınç dayanımındaki bu artışın %10 çimento katkısına ve yüksek dozdaki alçı katkısının basınç dayanım değeri olan [3,6 MPa]'dan daha iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir.

Şükrü ve diğ. [31] lif katkısının etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda fazla miktarda lif artışı basınç dayanımının azalmasına neden olduğunu belirtmişlerdir. Çalışma sonucu olarak lif oranının ağırlığın %0,5'den fazla olmaması gerektiği belirtilmiştir. Çalışmada liflerin oranının artması ile çekme çatlaklarının azaldığı belirtilmiştir.

Hanifi ve diğ. [36] lifler kullanarak yaptıkları çalışmada fiber kullanılarak üretilen kerpiçlerin diğer kerpiçlere göre daha elastik davrandığını belirtmiştir. Elastik davranış

gösteren lif katkılı kerpiçlerin enerjiyi sönmüleme özellikleri sayesinde depreme karşı daha dayanıklı olduğunu belirtmişlerdir.

Julide [7] yaptığı çalışmada silis dumanı katkılı kerpiç üretmiştir. Araştırma sonunda %10 oranında silis dumanı katkısının, basınç dayanımını en yüksek seviyeye ulaştırdığını belirtmiştir. Suya karşı dayanıma ise en iyi sonuç %15 oranında silis dumanı katkısı ile sağlamıştır.

Bülent [44] yaptığı çalışmada tuğla ve kiremit artıklarının değirmende öğütülmesi ile elde ettiği toprağı kerpiç üretiminde hammadde olarak kullanmıştır. Elde edilen pişmiş toprak tozuna değişen oranlar da sönmüş kireç ve uçucu kül katılmıştır. Elde ettikleri bu karışımdan mühendislik özellikleri yüksek kerpiç bloklar üretmiştir.

Alçı katkısı ile nitelikleri iyileştirilmiş kerpice “alger” denmektedir. Alger, uygun kerpiç toprağına %10-20 arasında alçı katılması ile elde edilir. ALKER çabuk sertleştiğinden katkısız normal kerpiç ve diğer katkılı kerpiçler gibi kullanılabilir duruma gelinceye kadar yapılacak gölgede serme, çevirme, kurutma işine gerek yoktur. Bu da çabukluk ve ucuzluk sağlar. Alger'in suya karşı duyarlılığının azalması, normal kerpicein kısa sürede dağıldığı ortamlarda bile bütünlüğünü korumasını sağlar ve yağmurda yıpranmasını engeller.

Geliştirilmiş kerpiç elde edilmesinde diğer bir yöntemde kerpiç bloklarının basınç altında kalıplanmasıdır. Basınç etkisi ile kerpiç bünyesindeki boşlukların azalması ile porozitesi düşük, dayanımı yüksek malzeme elde edilmiş olmaktadır. Böylece suyun malzemenin iç kısımlarına nüfuz etmesi engellenmiş olur. Sıkıştırılarak iyileştirilmiş kerpiçlerden yapılmış kubbe mimarisine sahip iki yapının fotoğrafı aşağıda verilmiştir. Fotoğraf 2.13'de kubbe ölçüsü 22,16 m olan tapınağın, Fotoğraf 2.14'de ise 10,35 m açıklığındaki kubbeye ait fotoğraf bulunmaktadır [22].



Şekil 2.13: Dhyanalingam tapınağının kubbesi, çapı 22,16 m, yüksekliği 7,90 m, 570 ton, 9 haftada inşa edilmiştir, Coimbatore [22]



Şekil 2.14: Mirramukhi okulu, 10,35 m açıklık, 2,25 m yükseklik, 30 ton, 3 haftada inşa edilmiştir, Auroville [22]

2.3 TÜRKİYE'DE KERPIÇ

Ülkemizde kerpiç kullanımı kırsal ve orman bulunmayan bölgelerde görülmektedir. Ormanlık kısımlarda ise yapı malzemesi olarak ahşap kullanılmaktadır. Ahşap kullanılan bazı yapılarda, kerpiç duvarlarda dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Şehirlerde ise kerpiç yapı tercih edilmeyen bir yapı malzemesi olmuştur.

Türklerin kerpiç kullanımı çok eski dönemlere dayanmaktadır. Türk dilini konuşan halklar, bilinen ilk dönemlerinde; takılıp sökülen ve taşınan konutların dışında; kış aylarında kerpiçten yapıldıkları tahmin edilen konutları kullanırdı. Bu konutlar; küçük mülkiyetlere dayalı alanlarda, yüksek duvarlarla çevrilmiş avlu içerisinde ve tek katlı yapılardır [49].

Türk dilini konuşan halkların kullanmış olduğu yapı malzemesinin tarihsel gelişimi Tablo 2.8’de verilmiştir. Tabloda da görüldüğü üzere kerpiç her dönemin temel yapı malzemesi olmuştur.

Tablo 2.8: Türk dilini konuşan halklarda kerpiçin tarihsel gelişimi [49]

Yıllar	Yapı Malzemesi
MÖ 4500-1500	Kerpiç Tuğlası
MÖ 4.- MS 3. yy	Kerpiç ve tuğla
600 - 965	Duvarlar ahşap, bazen kerpiç
500 - 700	Kerpiç, tuğla, bazen kesme taş ve ahşap sütunlar
969 -1187	Temel tuğla nadiren kerpiç, duvar tuğla, kerpiç ve yarım/tam silindir takviyeli
840 - 1211	Kerpiç
1040 - 1157	Derin temel kerpiç ve tuğla duvar, ahşap kirişler
1000-1100	Eğik yükselen duvarlar ve basamaklı piramidi anımsatan iki katlı kerpiç duvarlar
1400 - 1500	Kalın kerpiç duvarlar
1500 Yıllar Sonu	Taş, ahşap, kerpiç
1700	Ahşap iskelet yaygın, yer yer taş ve kerpiç evler

Kerpiçin Anadolu’daki gelişimi sürekli olarak değişim içindedir. Anadolu’nun en eski yerleşim yerlerinden biri olan Çatalhöyük’te kerpiç uzunluğu 80-90 cm’ye çıkmıştır. Bu büyüklükteki bir kerpiç iki kişi tarafından taşınıp kullanılabilir. Aşıklıhöyük’te bulunan kerpiçlerin ölçülerinin 40x40 cm olduğu ölçülmüştür. Boğazköy’de ise 43-48x48x10cm ölçüsündeki kerpiçler kullanılmıştır. Troya’daki kerpiçler ise 40x60 cm ölçülerindedir [39].

İç Anadolu'da yer alan Hitit devletinin başkenti Hattuşa MÖ 13-14 yy. inşa edilmiş, uzunluğu 9 kilometreyi geçen, yüksekliği 7-8 m olan, kerpiçten surlarla korunmaktaydı. Surlar günümüze kadar gelmiş olup 2005 yılında rekonstrüksiyon çalışması ile bir kısmı tekrar ayağa kaldırılmıştır. Duvarda kullanılan kerpiçlerin ölçüleri 45x45x10 cm olup ağırlığı yaklaşık 34 kg'dır [17].



Şekil 2.15: Hattuşa kent suru [17]

Ülkemizde kullanılan kerpiç ölçüleri şehirler arasında da farklılık gösterir. Konya'da kullanılan kerpiçlerde analar 27x27x10 cm, kuzular 14x27x10 cm kadardır. Eskişehir ve Kayseri civarlarında ana ve kuzu kerpiç yerine hepsi aynı büyüklükte kerpiç yapılır. Boyutları 12x15x35 – 15x20x40 arasında değişmektedir. Ankara köylerinde bu boyuttakiler kuzu, iki katı olanlar anadır. Elazığ'da alt katta kerpiç ölçüleri ana 27,5x27,5x10 cm, kuzu 13x27,5x10 cm, üst katta ana 30x30x10x cm, kuzu 15x30x10 cm'dir. Diyarbakır'da analar 28x28x8, 30x30x10 cm kuzular bunun yarısı kadardır. Divriği'de 15x25x50 cm boyutlu kerpiçlerle ensiz ara duvarlar ve üst kat duvarları örülmüştür, 15x50x50 cm büyüklüğünde çift kerpiçle kalın duvarlar inşa edilmiştir.

İstanbul ve Edirne civarlarında 40-32 cm boyunda, 20-15 cm eninde, 12-10 cm kalınlığında çeşitli kerpiç boyutları görülmektedir. Safranbolu'da 27x27x10, 27x13x10, 27x22x10, 32x20x13, 25x16x10 gibi, Kütahya'da ise 9x12x30 ve 15x30x60 cm gibi çeşitli ebatlardadır [49].

Ülkemizdeki geleneksel kerpiç yapılarının damı, taşıyıcı kirişlerinin üzerine sıkışık bir şekilde, yan yana bir sıra kavak dizilir. Kavakların üzerine de bir kat şap veya ince dallar konup üzerine bir kat çamur serilerek iyice sıkışması için ayakla çığnenir. Son tabaka olarak da 10-20 cm kalınlığında çorak denilen su geçirmeyen bir cins toprak dolgu konur. Damın yüzeyi yağmur suyunun birikmesini engellemesi için hafif eğimli inşa edilir [17].

Ülkemizde, depremler sonucu oluşan can kayıplarından kerpiç sorumlu tutulmaktadır. Bunun bir ön yargı olduğu, deprem sonucu hazırlanan raporlardan görülmektedir. Son dönemlere gerçekleşen depremlere ait raporların kerpiç yapılar ile ilgili değerlendirmeleri aşağıda verilmiştir.

6 Haziran 2000 Çankırı depreminde köylerde hasar gören yapıların çoğu çamur harçlı, moloz taş duvarlı ve kerpiç duvarlı yapılardan oluşmuştur. Bu yapıların hemen hemen tamamı ahır ve samanlıktan oluşmaktadır.

3 Şubat 2002 Sultandağ'da 6 büyüklüğünde deprem meydana gelmiştir. Deprem sonucunda yıkılan kerpiç yapılar üzerine Alkaya'nın [59] yaptığı çalışmada hasarların nedenleri şöyle belirtilmiştir;

- Yapıların çok eski olması
- Yapıların büyük çoğunluğunun depreme dayanıksız ahşap destekli kerpiç yığma yapı olması
- Yağışlı geçen mevsimin kerpice etkisi

Çalışma sonucunda ekonomik koşullar ve kırsal yaşamın zorunluluklarının bölge insanının depreme dayanıksız yapılarda yaşamaya zorlandığı belirtilmiştir. Örnek olarak depremde yıkılan kerpiç yapıların taş temel kullanılmadan doğrudan doğruya kerpiçle inşa edildiği belirtilmiştir.

8 Mart 2010 Elazığ depremine ait Sadık ve diğ. [60] tarafından hazırlanan ön inceleme raporunda hasar gören bir kerpiç yapıya ait şu bilgi verilmektedir; Yakından incelendiğinde kerpicin dağılarak ufalandığı görülmektedir. Kerpiç blokların içinde saman görülmekte ise de karışımın uygun olmadığı kesindir. Kerpiç bloklar arasında herhangi bir harç görülmemiştir. Yine aynı raporda, yapıların tümünde hatıl ve lentolara rastlanmadığı da rapor edilmiştir. Raporun sonuç kısmında ise göçmüş ya da hasarlı binaların mühendislik açısından hiçbir değerinin bulunmadığı belirtilmiştir.

Nazım ve Zerrin'nin [61] Afyon-Akşehir depreminin Konya ilindeki kerpiç yapılar üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Konya çevresinde inşa edilen konutların % 27'sinde kerpiç malzeme kullanılmıştır. Depremde zarar gören yapıların hatılsız, köşe bağlantıları iyi olmayan, ağır toprak damlı yapılardan olduğu tespit edilmiştir. Kerpiç malzeme ile üretilen yapıların depreme karşı mukavemetsiz oluşu sadece malzeme hatasından değil, detayların doğru uygulamaması, su ve nem ile ilgili yalıtımın yetersiz olması en önemlisi ise yapının taşıyıcı duvarların yerleşimi ile ilgili sorunlardan kaynaklandığını belirtmiştir. Araştırma sonunda yapıım kurallarına uygun üretilmeyen kerpiç yapıların depremin yıkıcı etkisine dayanamadığını belirtmiştir.

Tüm raporların ortak noktası, yıkılan kerpiç yapıların herhangi bir mühendislik değeri taşımadığıdır. Kerpicin toprak ve saman karışım oranlarının da uygun nitelikte olmadığı veya kerpiç yapımına uygun olmayan toprağın kullanıldığı belirtilmektedir.

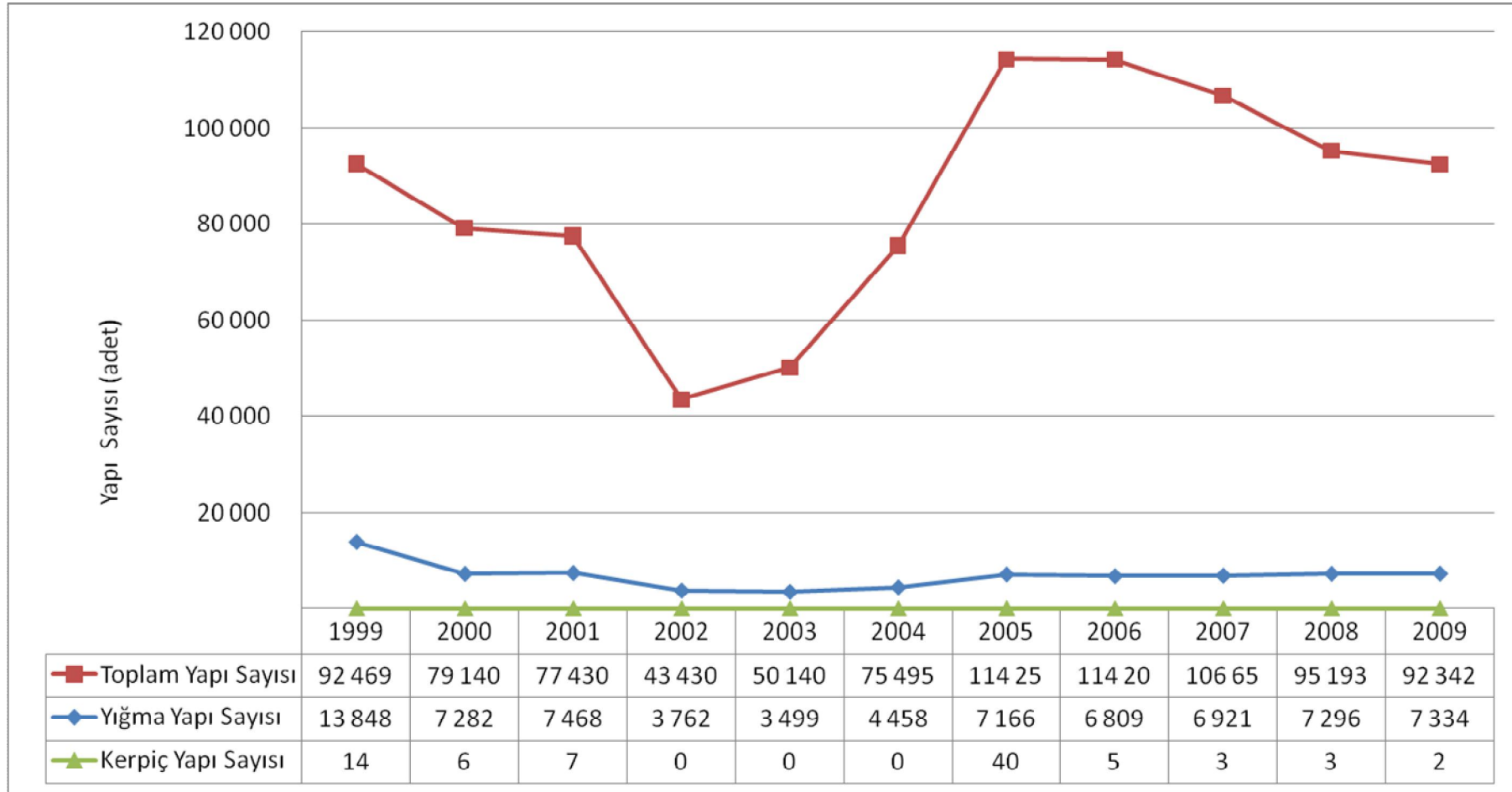
Kerpicin ülkemiz için enerji tüketimi ve CO₂ salınımının azaltılmasında da büyük rol oynamaktadır. Kerpiç kullanımının ülkemizde sağlayacağı etkiler aşağıda verilmiştir; Uluslararası Enerji Ajansı'nın 2001 Türkiye raporunda, enerji tüketimin azaltılabilmesine yönelik öneriler içerisinde, binaların m² başına tükettikleri enerjinin ortalama 250 kWh'den, 100-150 kWh civarına çekilmesi gerekliliği belirtilmiştir. Gülsu ve Nihal [35] yaptıkları çalışmada 130-140 yıl öncesinin teknik, malzeme ve bileşenleri ile yapılan kerpiç yapıda yıllık enerji tüketimini 98,6 kWh/m² olarak hesap etmişlerdir.

2008 yılı Sera Gazı Ulusal Envanterine göre; ulusal CO₂ salınımının (270 milyon ton) %16'sı ve enerji sektörünün %18'i konut sektöründen (48 milyon ton) kaynaklanmaktadır. Mevcut durum (BAU) Senaryosuna göre; binalar sektörünün 28,3

milyon TEP olan enerji tüketiminin 2020 yılına kadar 47,5 milyon TEP'e ulaşacağı tahmin edilmektedir, bu da CO₂ salınımının iki misli olacağını göstermektedir [51].

Geliştirilmiş kerpiç, ülkemiz koşullarında 1 veya 2 katlı olmak üzere her bina için uygun bir yapı malzemesidir [36]. Mühendislik özelliklerine sahip kerpiç yapıların kullanımını deprem yönünden sakıncası bulunmamaktadır. Ayrıca ülkemiz için yukarıda belirtilen CO₂ salınımı ve enerji tüketiminin azaltılması için kerpiç en uygun yapı malzemesidir. Kırsal bölgelerimizde yaşayan %36 nüfusumuzun konut sorunu bulunmaktadır [59]. Tüm bunlar ışığında ucuz, hızlı ve konforlu konut sunan kerpiç ülkemiz için alternatif bir yapı malzemesidir. Fakat TUIK'in [62] yapmış olduğu "Yapılan İlave Yapılar Sayısı" araştırmasında kerpiç yapının neredeyse yok denecek kadar azaldığı görülmektedir. 1954 yılında yeni yapılan yapıların % 17,28'i kerpiç yapıdan oluşmakta iken 2009 yılında bu değer 92.342 adet yapıdan sadece 2 tanesini oluşturmaktadır.

Ülkemizde son 10 yılda yapı ruhsatı alan yapıların ortalama %8 yığma yapılardan oluşmaktadır. Bu yapıların tamamı kerpiç yapı olabilecek iken, kerpiç yapı neredeyse yok denilecek kadar azdır. En çok tercih edilen yığma yapı sistemi sırası ile tuğla, briket ve taştır. Yeni yapılan yapılara ait bilgileri içeren Şekil 2.16 aşağıda verilmiştir [46].



Şekil 2.16: Yıllara göre yeni inşa edilen yapı sayıları [46]

Kerpiç yapının unutulması veya yok olması, tarihi birikimlerin aktarıldığı usta çırak ilişkisi ile bu günlere gelmiş kerpiç yapı ustalığını ve kerpiç yapı mimarisinin de silinip kaybolması anlamına gelmektedir. Türk mimarisi için önemli yapı malzemesi olan kerpice hemen hemen her bölgede rastlanır. Ülkemizde kerpiç mimarisinin bölgelere göre farklılıklarının gösterildiği fotoğraflar aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.17: Hacı İmam Konağı, Gümüşhane [62]



Şekil 2.18: Acıkuyu Köy Evi, Ankara, Foto: Can CÖMERT



Şekil 2.19: Sansarak köyü, İznik [7]



Şekil 2.20: 1935 yılından yapılmış köy evi, Bursa [63]



Şekil 2.21: Köy evi, Harran, Foto: Sezai ŞAHMAY



Şekil 2.22: Kerpiç ev, Safranbolu [26]

3. MALZEME VE YÖNTEM

Çalışmada geleneksel kerpiç üretiminden farklı üretim yapılarak zayıf özellikleri iyileştirilmiştir. Kerpiçte kullanılan saman bünyesine su çekerek dayanımın azalmasına neden olmaktadır. Aynı zamanda çürüyerek özelliğini de yitirmektedir. Çalışmada bu sorunların çözümü için cam lifi kullanılmıştır. Kerpiç bünyesindeki kılcal kanalların neden olduğu suya karşı dayanıksızlığın da hava sürükleyici katkı kullanılarak önlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan malzemeler ve yapılan deneyler aşağıda açıklanmaktadır.

3.1. MALZEME

3.1.1. Toprak

Araştırmada kullanılan toprak numunesi İstanbul İli Kayabaşı bölgesinden alınmıştır. Numune özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan laboratuvar deneylerinin sonuçları aşağıda belirtilmiştir.

Plastik Limit değeri % 20, Plastisite İndeksi 14,8

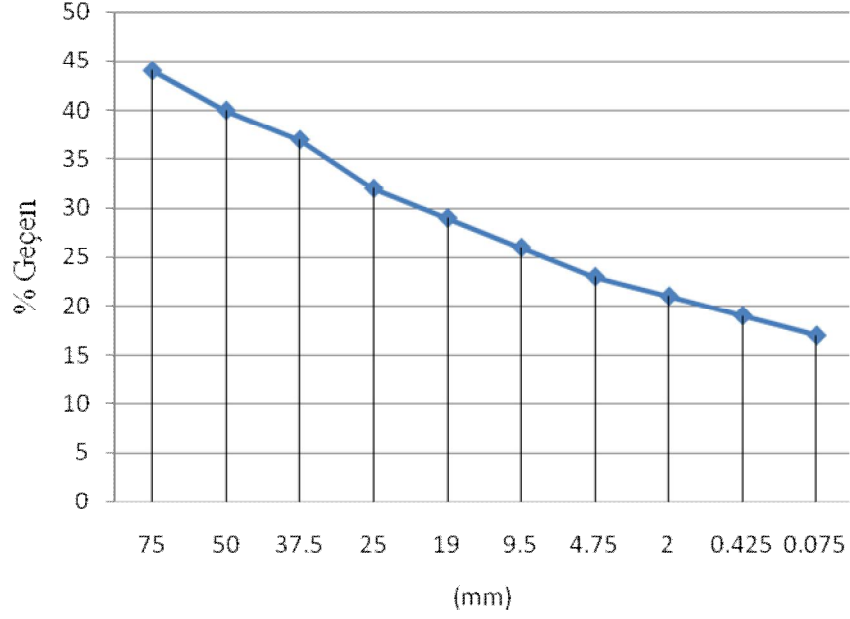
Maksimum Kuru Birim Ağırlığı 2,010 g/cm³.

Topraklar, plastiklik özelliklerine göre çeşitli gruplara ayrılırlar. Atterberg'e göre; plastiklik indeksi 7'den küçük olan topraklar az plastik, 7-17 arasında olanlar orta plastik, 17'den büyük olanlar fazla plastik topraklardır [7].

Plastiklik indeksi küçük olan toprakların bünyesindeki kum miktarı, genellikle fazladır. Buna karşılık plastiklik indeksi büyük olan toprakların bünyesinde, kil-silt miktarı fazla olur. Böylece, plastiklik indeksi küçük olan toprak çeşidi ile imal edilmek istenen kerpice fazla su ilave edilmesi gerektiği anlaşılır [7].

Tablo 3.1: Toprak numunesi elek analizi

Elek Çapı mm	75	50	37,5	25	19	9,5	4,75	2,00	0,425	0,075
Geçen %	44	40	37	32	29	26	23	21	19	17



Şekil 3.1: Toprak numunesi elek analizi grafiği

3.1.2 Cam Lif

Çalışmada kırılmış cam lifi kullanılmıştır. Cam lifi çekme mukavemeti yüksek ve yanmaz fakat yüksek sıcaklıkta eriyen bir malzemedir. Cam lifi kerpiç dayanımını olumsuz etkileyen en önemli faktör olan suya karşıda yüksek dayanıma sahiptir. Life ait özellikleri içeren Tablo 3.2 ve cam life ait Fotoğraf 3.1 aşağıda verilmiştir.

Tablo 3.2: Cam lifinin özellikleri

Elyaf çapı (μm)	6,5
Nem miktarı (%)	Max 0,1
Kırılma boyu (mm)	12
Özgül ağırlık (gr/cm^3)	2,54
Elastisite modül (GPa)	72,4
Çekme mukavemeti (MPa)	3448,0
Yumuşama sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	841,0



Şekil 3.2: Cam lifi

3.1.3. Hava Sürükleyici

Hava sürükleyici katkı maddesi beton ve diğer malzemelerin içeriğinde hava boşlukları oluşturarak ısı ve ses izolasyonu sağlamaktadır. Oluşan bu hava boşlukları sayesinde daha hafif malzemelerin üretilmesi sağlanmaktadır. Hava boşluklarının diğer bir avantajı ise suyun iç kısımlara doğru emilmesini engelleyerek suyun zararlarından korumakta ve donma çözünmeye karşı dayanımın yüksek olması sağlamaktadır. Hava sürükleyici katkıya ait teknik özellikler aşağıda Tablo 3.3’de verilmiştir.

Tablo 3.3: Hava sürükleyici katkının özellikleri

Yoğunluk (kg/l)	1,00-1,01
pH	9-11
Donma Noktası ($^{\circ}$ C)	-5

3.1.4. Karışım Suyu

Numunelerin üretiminde kullanılan karışım suyu İstanbul ili şehir şebekesinden temin edilmiştir.

3.2. YÖNTEM

Kerpiç numunelerinin üretim ve deney aşamasında TS2514/Şubat1977 “Kerpiç Bloklar Yapım ve Kullanma” Türk standardı kullanılmıştır. Yapılan deneyler ile hava sürükleyici ve cam lifi katkısının kerpiç üzerinde etkisi gösterilmiştir. Bu amaç ile numuneler 28. ve 56. günlerde basınç deneyi ve suya dayanıklılık deneylerine tabi tutulmuştur. Deneyler İstanbul Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Yapı laboratuvarın da gerçekleştirilmiştir.

3.2.1 Numunelerin Hazırlanması

Çalışmada ilave katkıların kerpiç üzerindeki etkisinin araştırılması için farklı kerpiç numuneleri üretilmiştir. Numuneler farklı miktarlar da cam lif ve hava sürükleyici katkı içermektedir. Hava sürükleyici katkı maddesi su miktarının %0, %50 ve %100 oranlarında karışıma katılmıştır. Cam elyaf miktarı ise toprak ağırlığının %0, %0,2 ve %0,5 oranlarında karışıma katılmıştır. Hammaddelerin 1 m³ topraktaki karışım oranları aşağıda Tablo 3.4’de verilmiştir.

Tablo 3.4: Numune Karışım Oranları

Numune Kodu	Toprak (m ³)	Hava Sürükleyici % (Su Miktarının)	Elyaf % (Toprak Ağırlığının)		
K1	1	0	0,0	0,2	0,5
K2	1	50	0,0	0,2	0,5
K3	1	100	0,0	0,2	0,5

Yukarıda belirtilen oranlar da hazırlanan numuneler 28. ve 56. günlerde deneylere tabi tutulacaktır. Meydana gelebilecek karışıklıkların önlenmesi ve numunelerin tanınması için kodlama sistemi geliştirilmiştir. Sistem örnek bir kod olan “2K1-28” kodu kullanılarak açıklanmıştır. İki bölümden oluşan kodlama da, üretilen numunelerin deney günleri ve katkı oranları görülebilmektedir. Numune kodlama sisteminde başlangıç rakamı cam elyaf miktarını, K kerpici, K’dan sonraki rakam ise hava sürükleyici katkı miktarını, sayı ise deney gününü belirtmektedir. Örnek kod olan “2K1-28”de, 2 Kerpiç

numunesinde toprak ağırlığının %0,2 oranında cam lif oranını, K kerpici, 1 hava sürükleyici oranının sıfır olduğunu, 28 ise bu numunenin 28.günde deneyde kullanılacağını göstermektedir. Kodlama sistemini, karışım oranlarını ve üretilen numune sayılarını gösteren Tablo 3.5 aşağıda verilmiştir.

Tablo 3.5: Numune üretim tablosu

Numune Kodu	Hava Sürükleyici % (Su Miktarının)	Cam Lifi % (Toprak Ağırlığının)	Basınç Deneyi İçin Numune Sayısı		Suya Dayanıklılık Deneyi İçin Numune Sayısı		Toplam Numune Sayısı
			28.Gün	56.Gün	28.Gün	56.Gün	
0K1	0,00	0,0	3	3	3	3	12
0K2	50,00	0,0	3	3	3	3	12
0K3	100,00	0,0	3	3	3	3	12
2K1	0,00	0,2	3	3	3	3	12
2K2	50,00	0,2	3	3	3	3	12
2K3	100,00	0,2	3	3	3	3	12
5K1	0,00	0,5	3	3	3	3	12
5K2	50,00	0,5	3	3	3	3	12
5K3	100,00	0,5	3	3	3	3	12
TOPLAM							108

Kerpiç harcı beton karıştırıcısının da hazırlanmıştır. Karıştırıcıya konulan toprak numunesi homojen karışım sağlayana kadar 5 dakika süre ile çalıştırılmıştır. Süre sonunda karıştırıcıya gerekli hammaddeler olan su, hava sürükleyici ve cam lifi uygun oranlar da karışıma katılmıştır. İstenilen homojen karışım elde edilinceye kadar karıştırma işlemine devam edilmiştir. Numune karışımını gösteren fotoğraf Şekil 3.3'de aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.3: Kerpiç harcının karışımı

Karışımlar da standart kıvamın elde edilmesi için karışıma katılacak su miktarı TS 2514’te tanımlanan “2.1.3- Standard Kıvamın Elde Edilmesi” tarifine uygun olarak belirlenmiştir. Bunun için hazırlanan kerpiç harcından 200 gr’lık bir kısım madeni levha üzerine birçok defa vurularak sertleştirilmiş ve sonradan küre şekline sokulmuştur. Küre merkezinden 2 m yükseklikten sert zemin üzerine serbest düşüşe bırakılmıştır. Düşme sonucunda kürenin yassılaştıran yeni şeklinin çapı ölçülmüş, 50mm ise çamur standart kıvamda kabul edilmiştir. Bununla ilgili olarak yapılan deneye ait fotoğraf Şekil 3.4’te verilmiştir.



Şekil 3.4: Kıvam Deneyi

Kerpiç harcın da istenilen kıvamın elde edilmesinden sonra kalıplama aşamasına geçilmiştir. Kerpiç numunelerinin kalıptan zarar görmeden ve kolayca çıkabilmesi için kalıplar harç konulmadan önce yağlanmıştır. Üretilen harçlar 120×120×120 mm ebatlarındaki yağlanmış kalıplara el ile sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. Kerpiç numunelerinin üretim sonrasında kalıplardan çıkarılmadan önceki fotoğrafı Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5: Kerpiç üretimi

Üretim sonun da numuneler kalıptan çıkartılarak laboratuvar ortamında kurumaya bırakılmıştır. Kuruyan numuneleri 2 gün ara ile üzerlerine su serpilerek nemlendirilmiştir. Numunelerin fotoğrafı Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6: Numuneler

3.2.2 Basınç Deneyi

Basınç deneyi için 120×120×120 mm ebatların da kerpiç numuneleri üretilmiştir. Üretilen bu numuneler 28. ve 56. günlerde pres makinesin de basınç deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonunda pres makinesinden kuvvet değeri alınmıştır. Kuvvet değerinin basınç alanına oranı ile basınç dayanım değeri elde edilmiştir. Söz konusu işlemlere ait formül ve simgeler aşağıda verilmiştir.

P_k = Kırılma anındaki kuvvet, (N)

A = Başın uygulama yüzey alanı, (mm²)

σ = Basınç dayanım değeri, (N/mm²)

$$\sigma = \frac{P_k}{A}$$

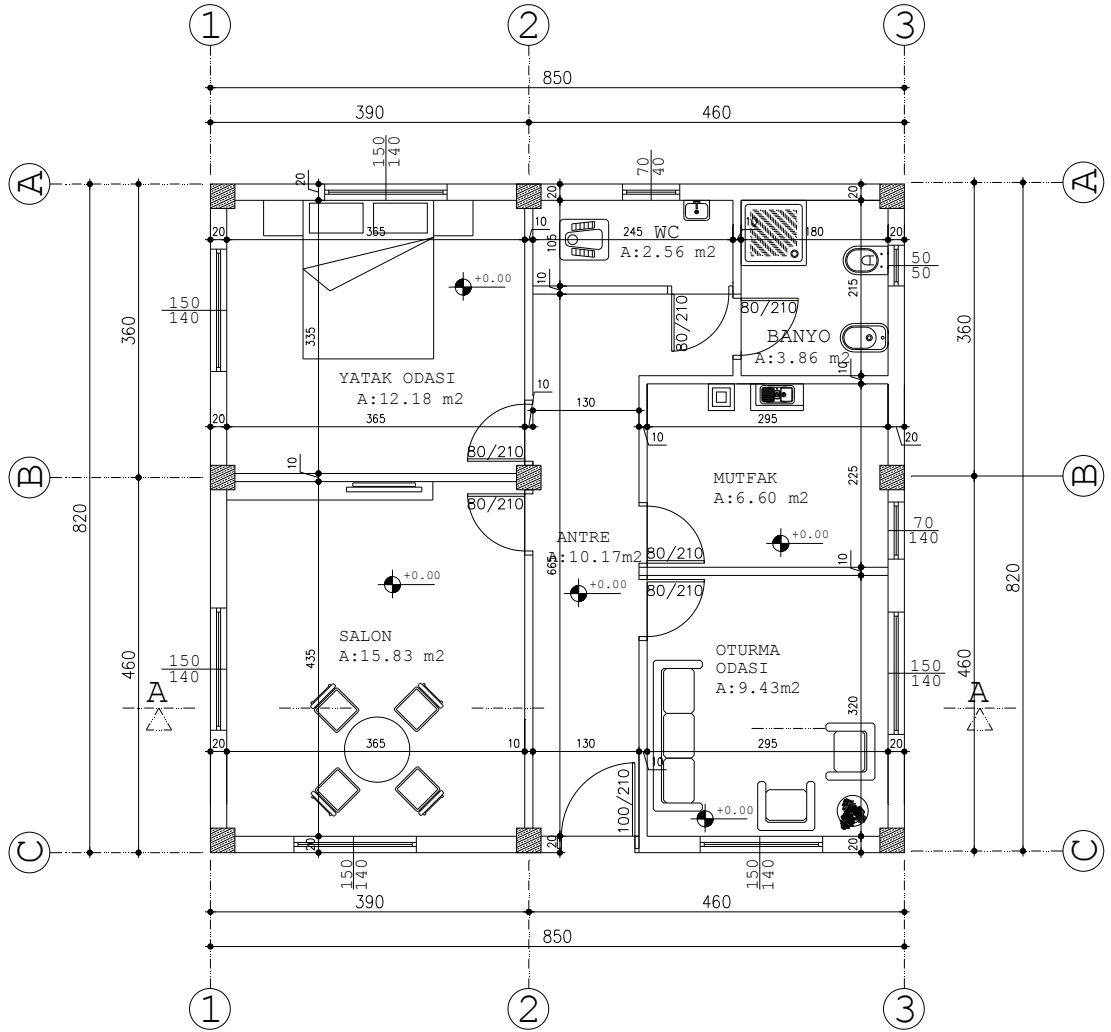
TS 2514 Kerpiç Bloklar ve Yapım Kuralları standardın da en düşük basınç dayanım değeri 0,8 N/mm² olarak tanımlanmaktadır. Çalışma sonunda elde edilecek dayanım değerinin bu değerin üzerinde olması amaçlanmıştır.

3.2.3 Suya Dayanıklılık Deneyi

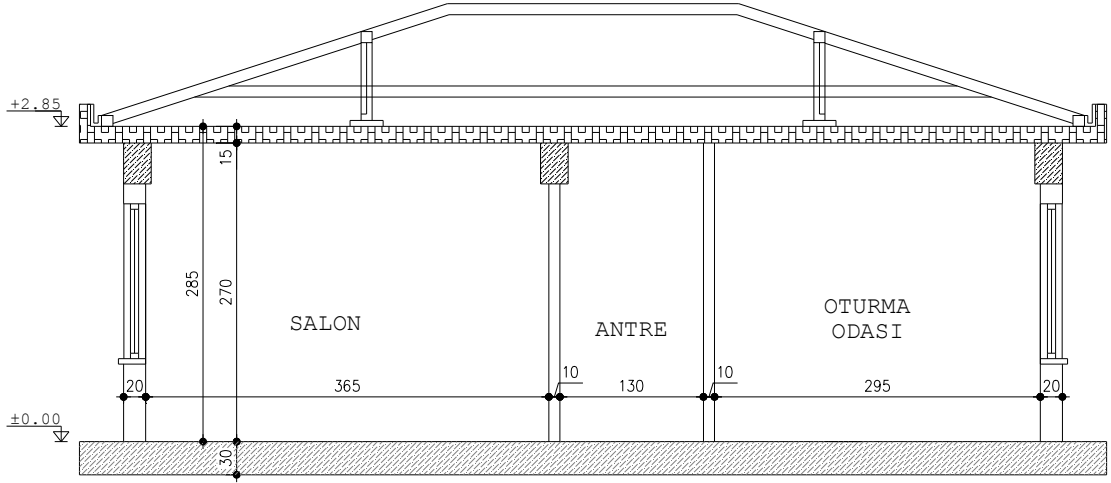
Suya dayanıklılık deneyi TS 2514'te tanımlanan "2.2.2.3- Kerpiç Blokların Su Etkisiyle Dağılma Deneyi"ne uygun olarak yapılmıştır. Deney de 120×120×120 mm ölçülerinde kerpiç numuneleri kullanılmıştır. Üretilen numuneler su dolu bir kaba, kerpiç yüksekliğinin yarısı suda kalacak şekilde bırakılmış, su içinde beklemeye bırakılan numunelerin dağılma süreleri ölçülmüştür. TS 2514 Kerpiç Bloklar ve Yapım Kuralları standardın da kerpiç numunelerinin suda bekleme süresinin en az 45 dakika olması istenmektedir. Çalışma sonun da üretilen numunelerin deney sonuçlarının bu sürenin üzerinde olması amaçlanmıştır.

3.2.4 Maliyet Analizi

Kerpiç kullanımının maliyette sağladığı etkinin belirlenmesi için alternatif bir sistem olan betonarme sistem ile karşılaştırılmıştır. Böylece kerpiç kullanımının tercih edilmesindeki finansal kâr araştırılmıştır. Kerpiçin duvar yapı malzemesi olması nedeni ile maliyet karşılaştırması yalnızca duvarların ve kaplamalarının imalatı ile sınırlıdır. Maliyet analizi duvarların kullanıma hazır seviyeye ulaşması için gerekli bütün imalat kalemlerini kapsamıştır. Analiz için kullanılan yapı tek katlı bir yapı olup, betonarme temel üzerine yapıldığı ve tavan döşemesinin her iki sistemde de aynı olduğu kabul edilmiştir. Çalışma da kullanılan örnek yapı AKSIYON Yapı İnşaat Dek San. ve Dış Tic. Ltd. Şti. firması tarafından hazırlanmış olup plan Şekil 3.7, kesit Şekil 3.8'de verilmiştir.

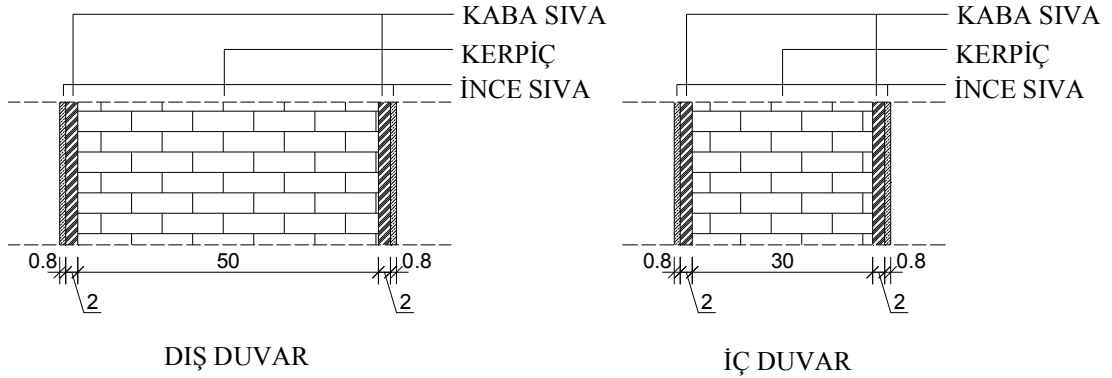


Şekil 3.7: Örnek yapı planı



Şekil 3.8: Örnek yapı A-A kesiti

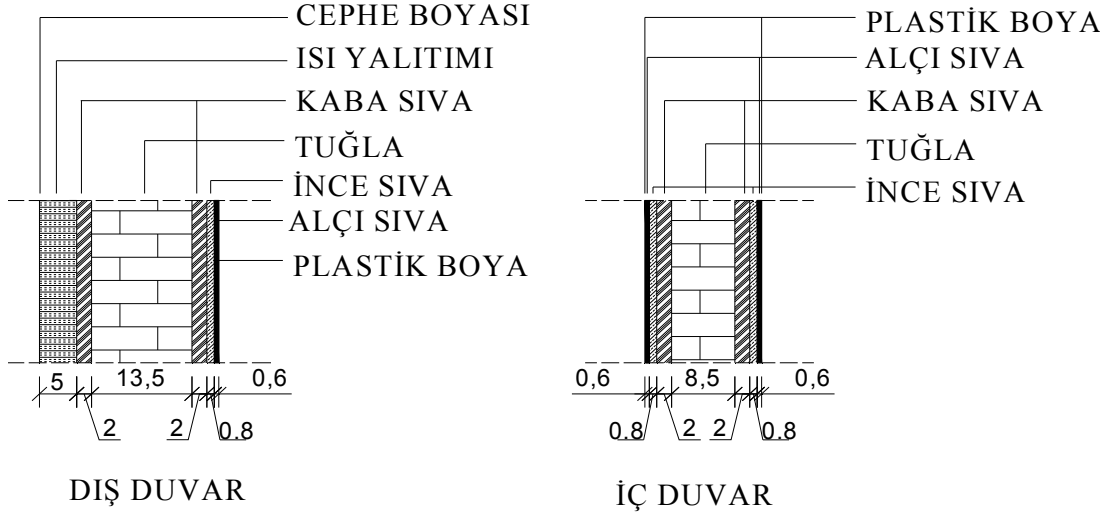
Kerpiç yapı da duvarlara ait özellikler şu şekilde kabul edilmiştir; dış duvarlar da 50 cm kalınlıkta, iç duvarlar da 30 cm kalınlığında kerpiç bloklar kullanılmıştır. Duvarlar da 2,0 cm kaba sıva yapılarak üzerine düzenleyici olarak 0,8 cm kalınlığının da ince sıva uygulanmıştır. Kerpiç yapıda duvarların boyanmasına ve ısı yalıtımına ihtiyaç duyulmadığından boya ve yalıtım masrafı kullanılmamıştır.



Şekil 3.9 Kerpiç duvar kesiti

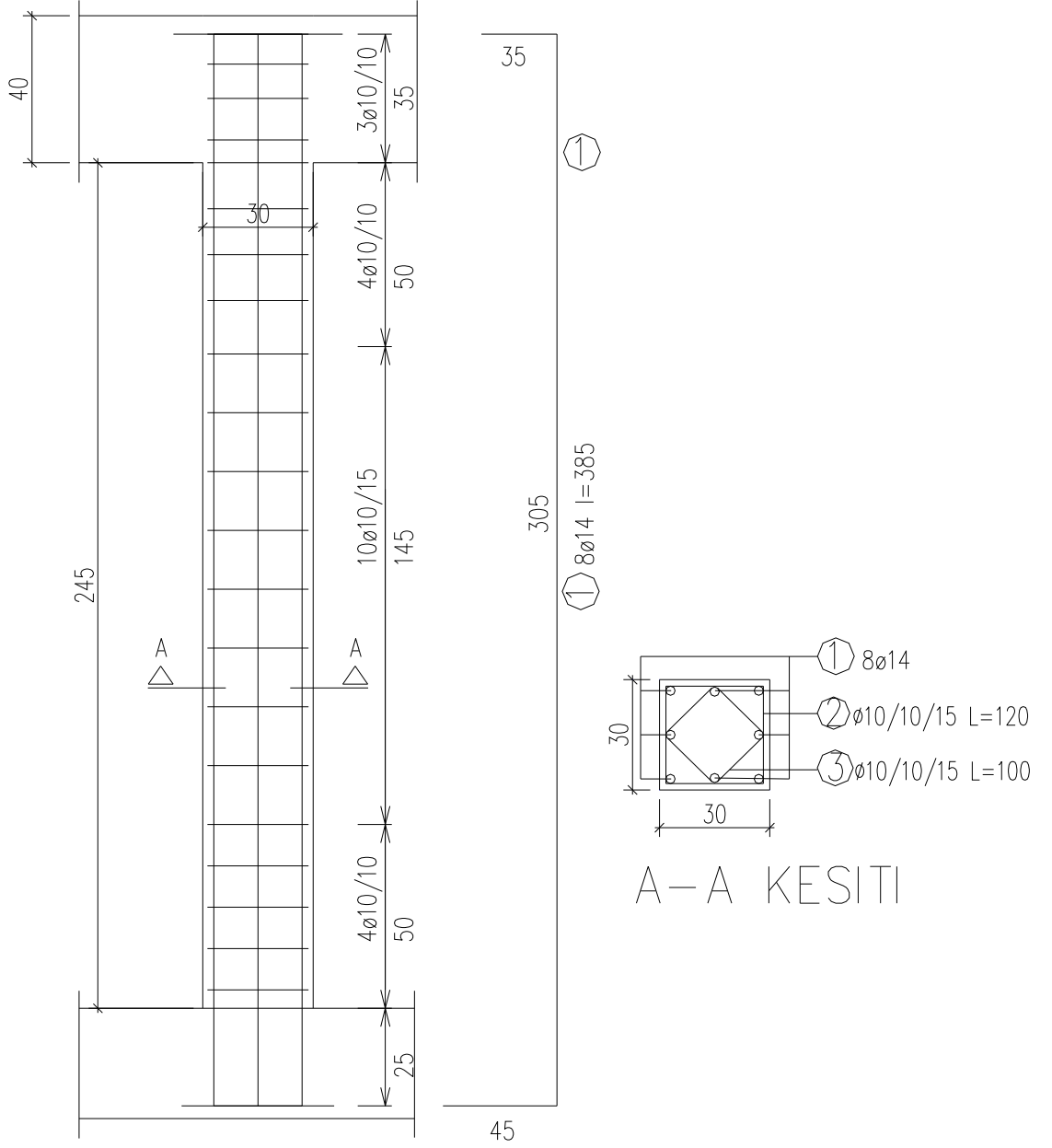
Betonarme sistem de ise duvar dolgu malzemesi olarak tuğla kullanılmıştır. Tuğla duvar kalınlıkları dış duvarlar da 20 cm, iç duvarlar da 10 cm kalınlıktadır. Duvarlar da 2,0 cm kaba sıva yapılarak üzerine düzenleyici olarak 0,8 cm kalınlığının da ince sıva uygulanmıştır. Sıvanın ardından dış duvarlar ısı yalıtımını yapılarak, silikon esaslı dış

cephe boyası ile boyanmıştır. İç duvarlar da ise alçı sıva yapılarak, su bazlı plastik boya ile boyanmıştır.



Şekil 3.10 Tuğla duvar kesitleri

Tuğla duvarların birleşme noktalarının da 30×30 cm boyutlarının da betonarme kolonlar bulunmaktadır. Maliyet hesabının da bu kolonlara ait beton, donatı ve kalıp kalemlerinin maliyeti de hesaba katılmıştır. Kolon imalatı için kullanılan betonun sınıfı C25/30 sınıfı olarak seçilmiştir. Maliyet hesaplamasının da kullanılan kolonlara ait donatı detayı Şekil 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.11: Kolon donatı detayı

Maliyet analizinde kullanılacak birim fiyatlar 2010 yılına ait Bayındırlık Bakanlığı birim fiyatlarından alınmıştır. Nakliye pozları İstanbul ili Avrupa yakası için hesap edilmiştir.

4. BULGULAR

4.1 FİZİKİ MUAYENE

Numuneler kalıptan çıkarıldıktan sonra ve deney günlerin de incelenmiştir. Bu incelemeler de numunelerin herhangi bir yerin de çatlama veya parçalanma gibi ciddi şekil bozukluklarının oluşmadığı görülmüştür. Fakat %50 ve %100 oranın da hava sürükleyici katkı bulunan numuneler de (0K2, 0K3, 2K2, 2K3, 5K2, 5K3) küflenme görülmüştür. Küflenme nedeni ile söz konusu numunelerin renklerinde siyahlaşma meydana gelmiştir. Numunelerdeki değişimin görülebileceği numunelerin üretim gününe ait fotoğraf Şekil 4.1’de ve numunelerin 28. deney gününe ait fotoğraf Şekil 4.2’de verilmiştir.

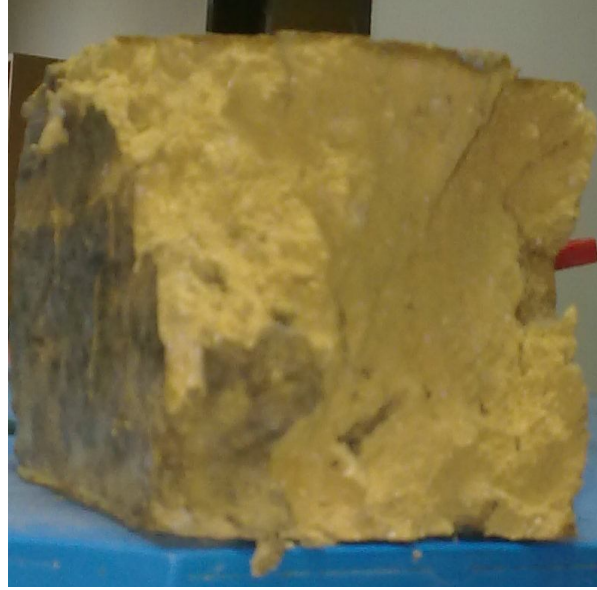


Şekil 4.1: Üretim gününe ait fotoğraf



Şekil 4.2: 28. Güne ait fotoğraf

Siyahlaşma gösteren numunelerden biri de 0K3 numunesidir. Yüzeylerdeki bu siyahlaşma suyun iç kısmına nüfuz edememesinden dolayı, dış yüzeyde kalan suların küflenmesinden meydana gelmiştir. Gerçekleşen bu küflenme sadece dış yüzeyde kalmış numunen içine nüfuz etmemiştir. Numunenin iç kısımlarında herhangi bir etki etmediği Şekil 4.3'te görülmektedir.



Şekil 4.3: 0K3-28 Numunesi

4.2 BASINÇ DENEYİ

Basınç deneyi sonucunda numunelerde cam lifi katkısına bağlı olarak iki farklı davranış görülmüştür. Cam lif katkısı bulunmayan numuneler (0K1, 0K2 ve 0K3) gevrek kırılma göstermiştir. Cam lif katkısı bulunan numunelerde (2K1, 2K2, 2K3, 5K1, 5K2 ve 5K3) ise sünek davranış görülmüştür. Gevrek kırılma gösteren numuneler sabit bir kırılma noktasına sahiptir. Bu numuneler basınç deneyinde kırılma noktasına ulaştıktan sonra yük taşıyamayarak parçalanmış ve yük taşıma özelliğini yitirmiştir. Sünek davranış gösteren numunelerde ise kırılma noktasına ulaştıktan sonra, kuvvetin artması ile parçalanmamış ezilerek sıkışmıştır. Sünek numuneler ezilmiş fakat yük taşıma özelliğini yitirmemiştir.

Numunelerin farklı davranış göstermesi nedeniyle basınç deneyine ait sonuçlar da iki farklı grupta ele alınmıştır.

Gevrek davranış gösteren numunelerde kırılma, kuvvetle aynı doğrultuda boylu boyunca çatlaklarla meydana gelmiştir. Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te bu durumun iki farklı numunede oluşumunu ve kırılmanın gerçekleştiği anı göstermektedir.



Şekil 4.4: OK3-28 Numunesinin basınç deneyi



Şekil 4.5: OK2-56 Numunesinin basınç deneyi

Sünek davranış gösteren numunelerde ise boyuna çatlaklardan söz etmek mümkün olmamıştır. Ezilme bir noktaya kadar kerpiçte ciddi şekil bozuklukları oluşmadan gerçekleşmiştir. Uygulanan kuvvetin devam etmesiyle numunelerin şekil bozukluğu

ciddi ve kalıcı şekil almaya başlamıştır. Basınç altında ezilen kerpiçlerde yatay doğrultuda şişmeler olup, kabuk kısımlarında parçalanmalar görülmüştür. Sünek davranış gösteren 5K3-56 numunesinde 12 cm olan kerpiç yüksekliği 5 cm' e kadar, yaklaşık % 41 mertebelerinde sıkışmıştır. Bu duruma ait fotoğraf Şekil 4.6'da görülebilmektedir.



Şekil 4.6: 5K3-28 Numunesinin basınç deneyi

Sünek davranış gösteren başka bir numune olan 2K3-28 numunesinin ezilme anındaki davranışı Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7: 2K3-28 Numunesinin basınç deneyi

Numunelerin davranış türleri kırılma şeklinde farklılık göstermektedir. Gevrek kırılma gösteren 0K1-28 numunesi basınç altında parçalanmıştır. Sünek davranış gösteren 2K3-28 numunesi basınç kuvveti altında barçalanmamış, ezilmiştir. Basınç altında ezilen numunelerin farklı davranışlarını gösteren fotoğraf Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8: Gevrek ve sünek davranışa ait fotoğraf

Deney sonuçlarının verilmiş olduğu Tablo 4.1’de gevrek kırılma gösteren numunelerin kırılma anındaki basınç dayanım değeri verilmiştir. Tablo 4.2’de ise sünek davranış gösteren numunelerin ciddi şekil bozukluğu oluşturduğu basınç değerleri verilmiştir.

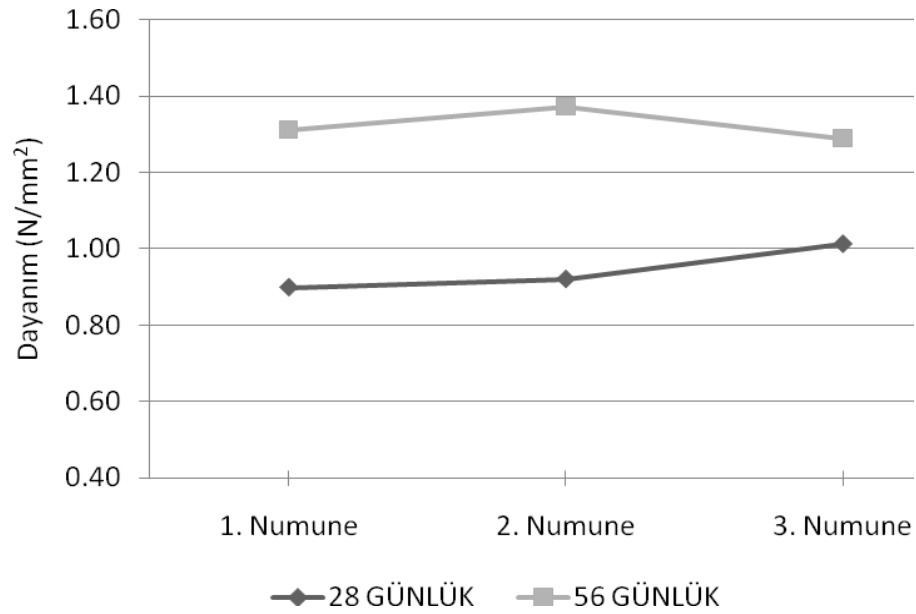
Tablo 4.1: Gevrek numunelere ait basınç deney sonuçları

Numune Kodu	28 günlük		56 günlük		Numune Davranış Türü	Dayanım Artış Oranı
	Dayanım (N/mm ²)	Ortalama Dayanım (N/mm ²)	Dayanım (N/mm ²)	Ortalama Dayanım (N/mm ²)		
0K1	0,90	0,94	1,31	1,32	Gevrek	0,40
	0,92		1,37			
	1,01		1,29			
0K2	1,18	1,13	1,37	1,55	Gevrek	0,37
	1,07		1,52			
	1,14		1,76			
0K3	1,50	1,39	1,71	1,83	Gevrek	0,31
	1,31		1,84			
	1,36		1,93			

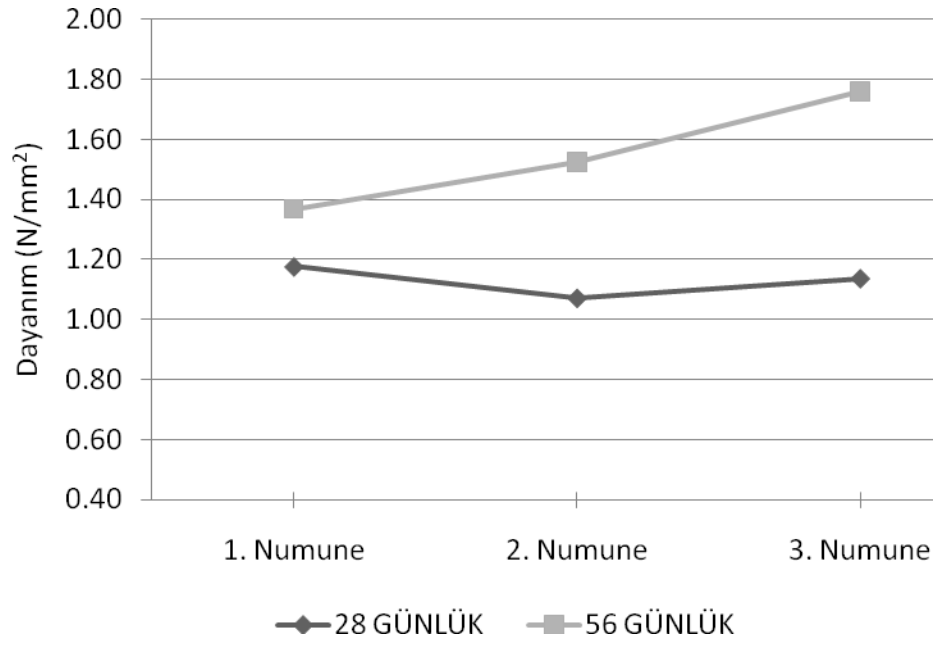
Tablo 4.2: Sünek numunelere ait basınç deney sonuçları

Numune Kodu	28 günlük		56 günlük		Numune Davranış Türü	Dayanım Artış Oranı
	Dayanım (N/mm ²)	Ortalama Dayanım (N/mm ²)	Dayanım (N/mm ²)	Ortalama Dayanım (N/mm ²)		
2K1	1,64	1,57	1,80	1,80	Sünek	0,14
	1,56		1,86			
	1,52		1,76			
2K2	1,72	1,79	2,09	2,03	Sünek	0,13
	1,97		2,02			
	1,67		1,98			
2K3	2,34	2,27	2,51	2,50	Sünek	0,10
	2,25		2,48			
	2,21		2,51			
5K1	3,18	3,17	3,31	3,35	Sünek	0,05
	3,23		3,35			
	3,11		3,39			
5K2	3,57	3,50	3,70	3,67	Sünek	0,04
	3,48		3,92			
	3,45		3,40			
5K3	4,07	4,04	4,14	4,16	Sünek	0,02
	4,14		4,14			
	3,91		4,19			

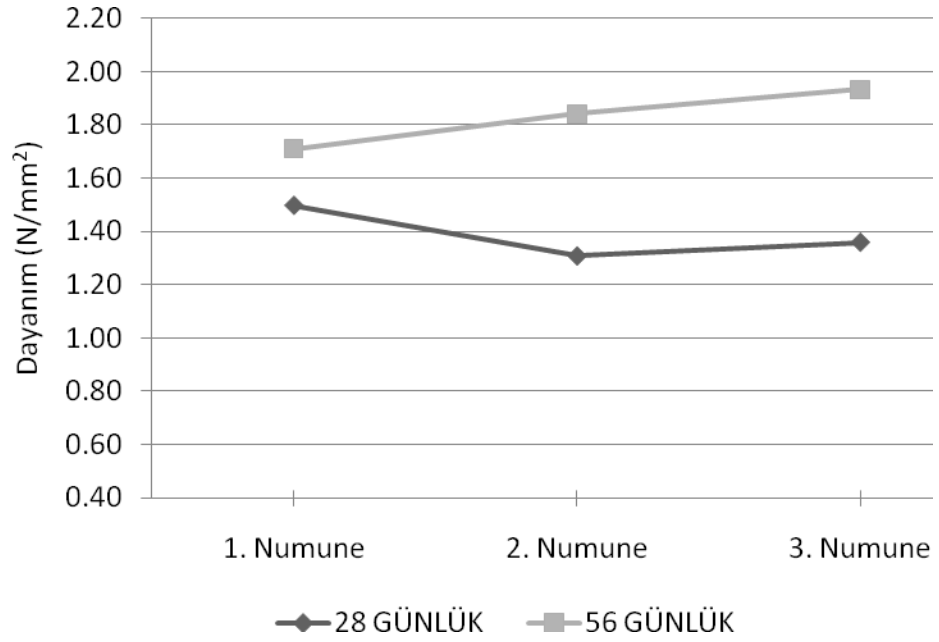
Basınç dayanım değerlerine ait sonuçların grafikleri aşağıda verilmiştir.



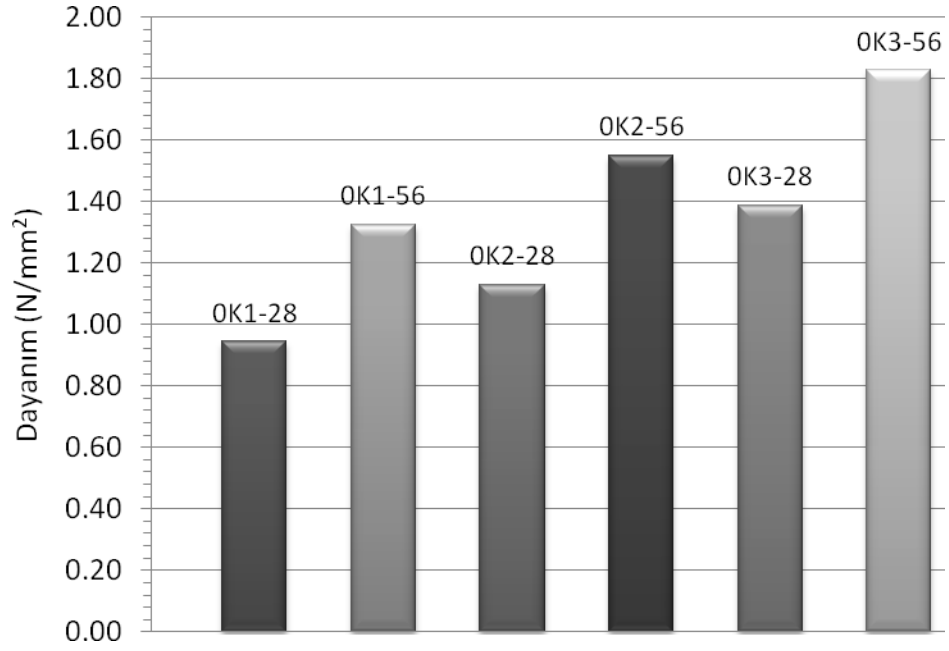
Şekil 4.9: 0K1 numunelerine ait basınç dayanım grafiği



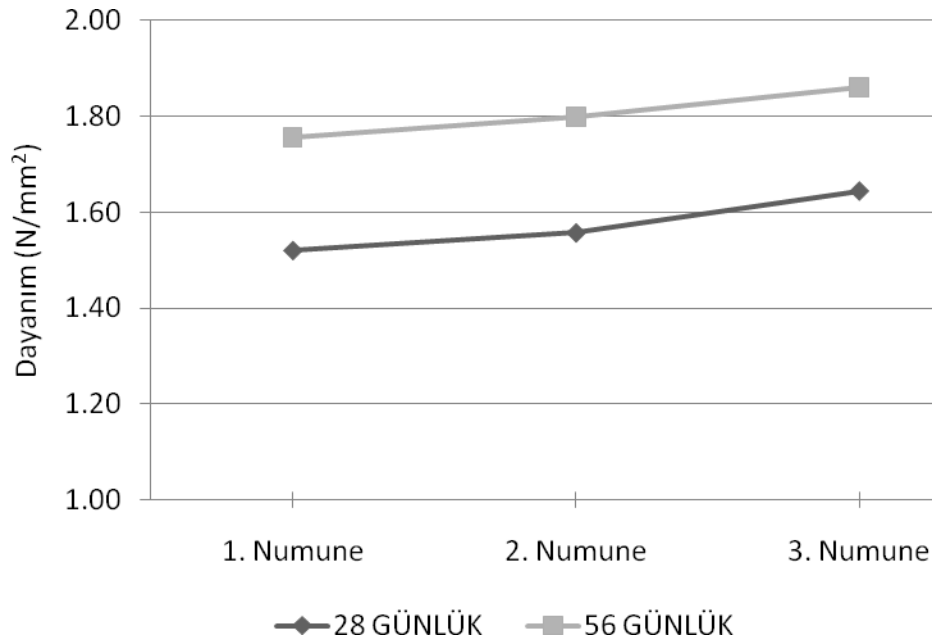
Şekil 4.10: 0K2 numunelerine ait basınç dayanım grafiği



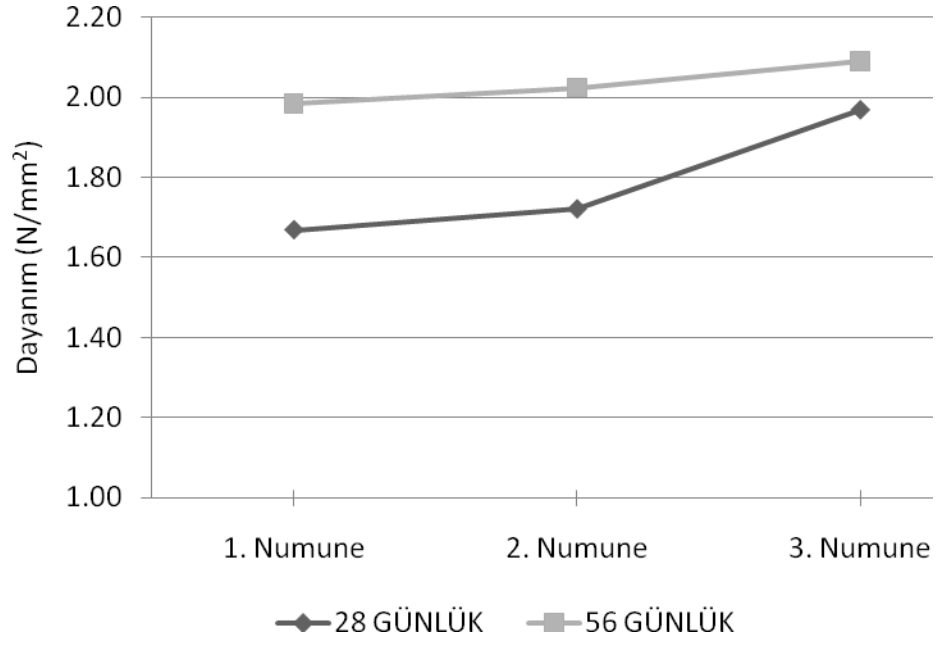
Şekil 4.11: 0K3 numunelerine ait basınç dayanım grafiği



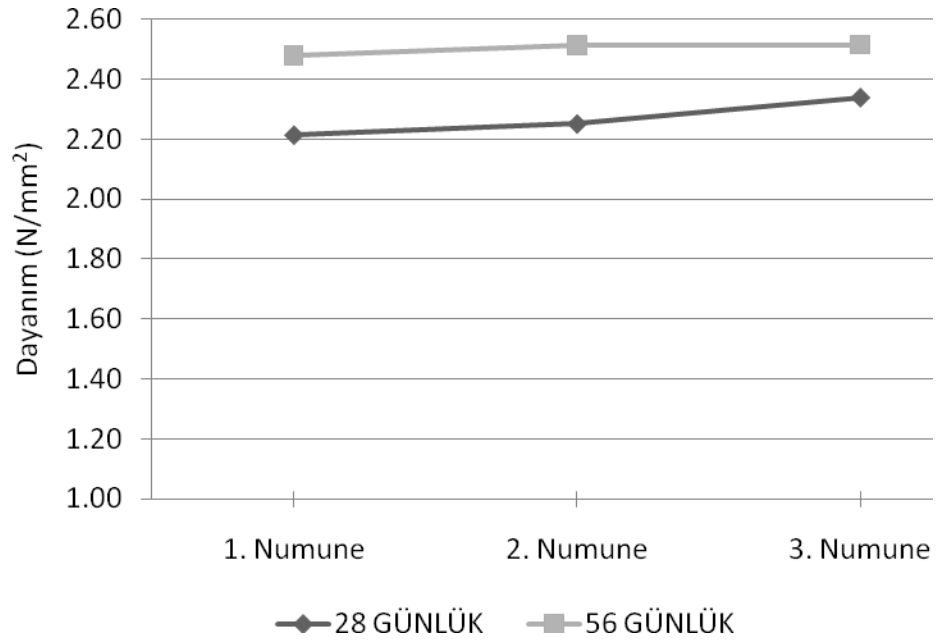
Şekil 4.12: OK numunelerine ait ortalama basınç dayanım grafiği



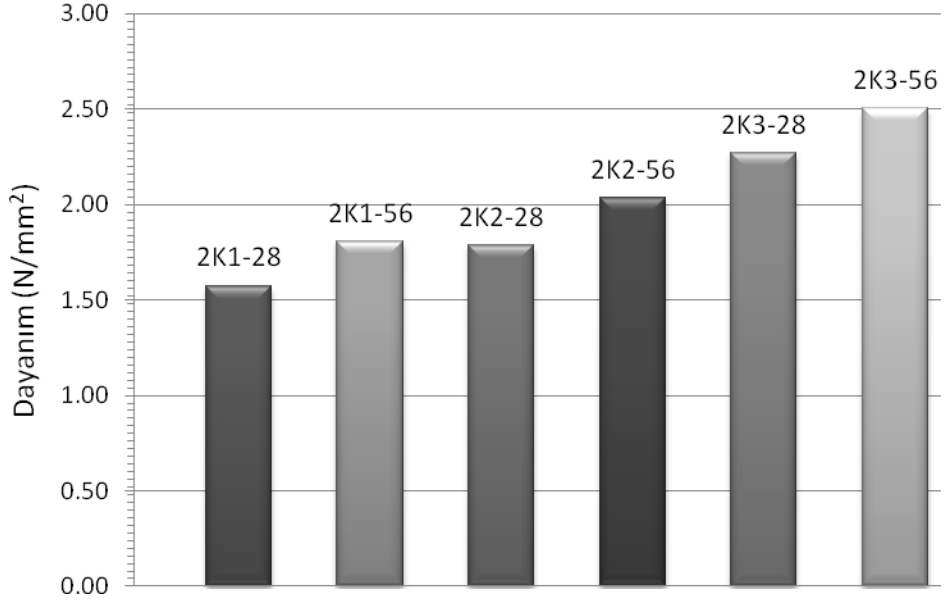
Şekil 4.13: 2K1 numunelerine ait basınç dayanım grafiği



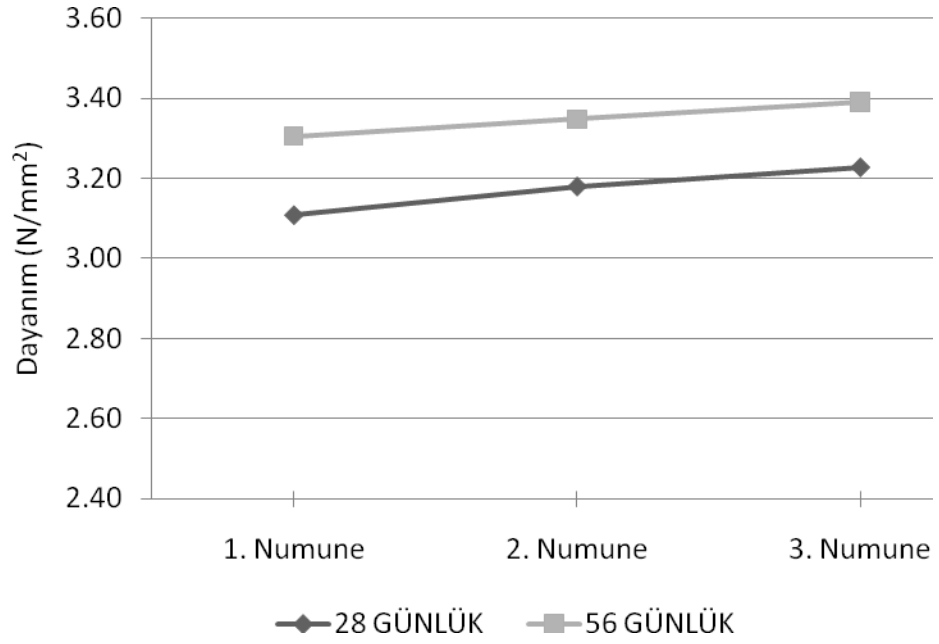
Şekil 4.14: 2K2 numunelerine ait basınç dayanım grafiği



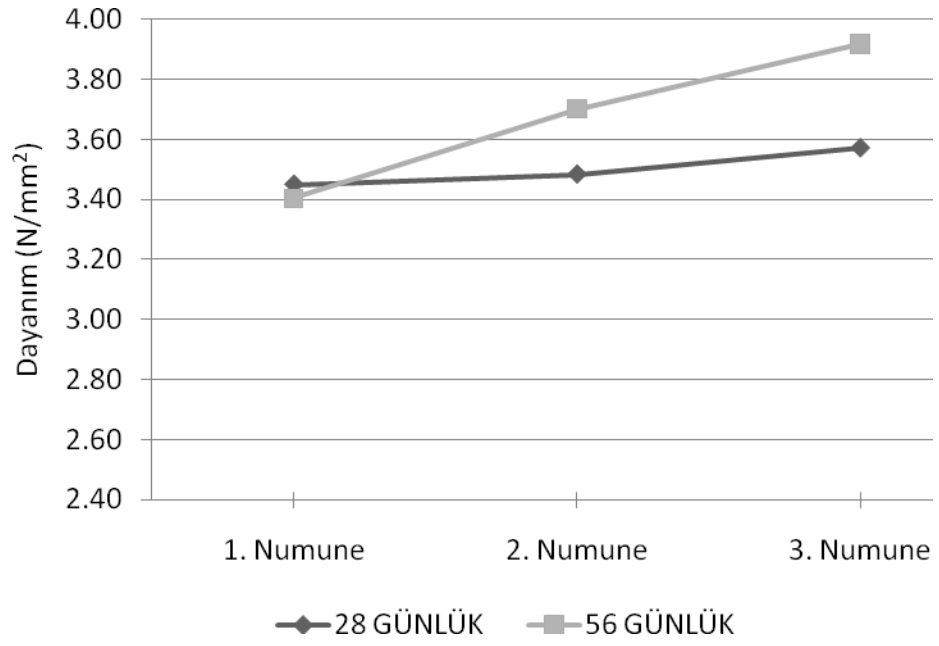
Şekil 4.15: 2K3 numunelerine ait basınç dayanım grafiği



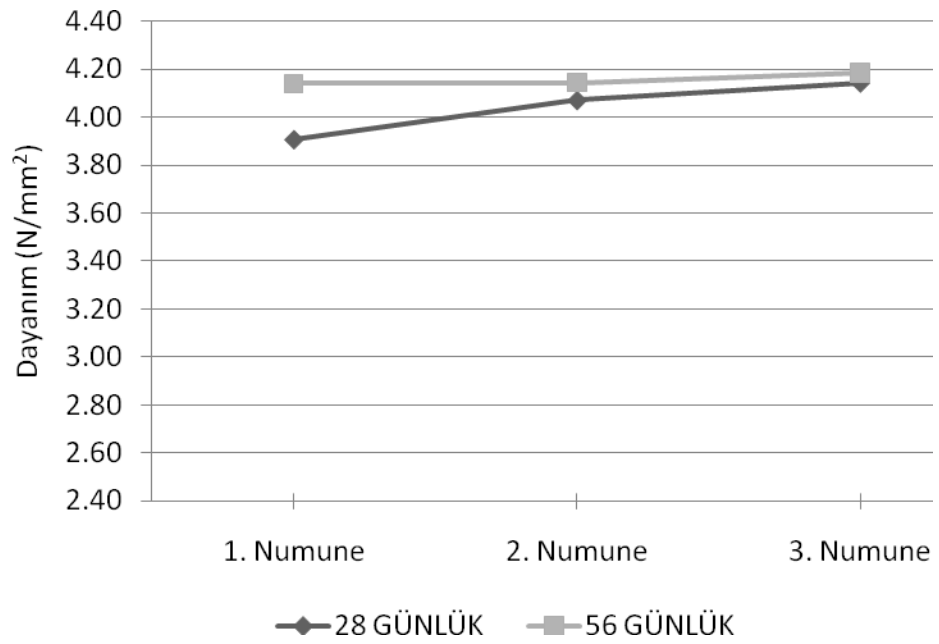
Şekil 4.16: 2K numunelerine ait ortalama basınç dayanım grafiği



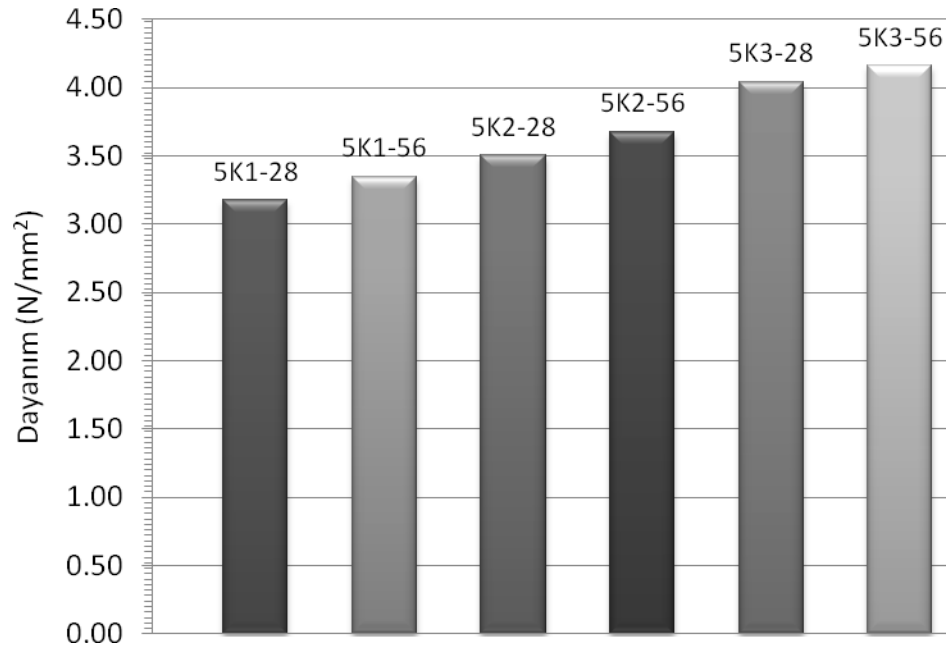
Şekil 4.17: 5K1 numunelerine ait basınç dayanım grafiği



Şekil 4.18: 5K2 numunelerine ait basınç dayanım grafiği



Şekil 4.19: 5K3 numunelerine ait basınç dayanım grafiği



Şekil 4.20: 5K numunelerine ait ortalama basınç dayanım grafiği

4.3 SUYA DAYANIKLILIK DENEYİ

Hava sürükleyici katılmayan numuneler (0K1, 2K1 ve 5K1) suya dayanıklılık deneyinde dağılma göstermiştir. Numunelerin suda dağılma süreleri, bünyesinde bulunan lif miktarı ile doğru orantılı artış göstermiştir. Hava sürükleyici bulunan kerpiç numuneleri TS 2514’de belirtilen 45 dakikalık dağılma süresinin çok üzerinde bir performans göstermiştir. Numuneler konuldukları kaplarda 72 saat bekletilmesine rağmen, dağılma göstermemiştir.



Şekil 4.21: Suya dayanıklılık deneyi

Numunelerin suda dağılma sürelerini ve sürelerdeki artış oranlarının gösterildiği Tablo 4.3 aşağıda verilmiştir.

Tablo 4.3: Suda dağılma deney sonuçları

Numune Kodu	Suda Bekleme Süresi (dak.)	Ortalama Bekleme Süresi (dak.)	Numune Kodu (dak.)	Suda Bekleme Süresi (dak.)	Ortalama Bekleme Süresi (dak.)	Dayanım Artış Oranı
0K1-28	00:33	00:35	0K1-56	00:35	00:37	0,05
0K1-28	00:36		0K1-56	00:38		
0K1-28	00:36		0K1-56	00:38		
0K2-28	Suda dağılmamıştır		0K2-56	Suda dağılmamıştır		
0K2-28	Suda dağılmamıştır		0K2-56	Suda dağılmamıştır		
0K2-28	Suda dağılmamıştır		0K2-56	Suda dağılmamıştır		
0K3-28	Suda dağılmamıştır		0K3-56	Suda dağılmamıştır		
0K3-28	Suda dağılmamıştır		0K3-56	Suda dağılmamıştır		
0K3-28	Suda dağılmamıştır		0K3-56	Suda dağılmamıştır		
2K1-28	01:08	01:10	2K1-56	01:51	01:55	0,64
2K1-28	01:10		2K1-56	01:55		
2K1-28	01:14		2K1-56	02:00		
2K2-28	Suda dağılmamıştır		2K2-56	Suda dağılmamıştır		
2K2-28	Suda dağılmamıştır		2K2-56	Suda dağılmamıştır		
2K2-28	Suda dağılmamıştır		2K2-56	Suda dağılmamıştır		
2K3-28	Suda dağılmamıştır		2K3-56	Suda dağılmamıştır		
2K3-28	Suda dağılmamıştır		2K3-56	Suda dağılmamıştır		
2K3-28	Suda dağılmamıştır		2K3-56	Suda dağılmamıştır		
5K1-28	01:45	01:48	5K1-56	02:08	02:10	0,20
5K1-28	01:50		5K1-56	02:10		
5K1-28	01:50		5K1-56	02:13		
5K2-28	Suda dağılmamıştır		5K2-56	Suda dağılmamıştır		
5K2-28	Suda dağılmamıştır		5K2-56	Suda dağılmamıştır		
5K2-28	Suda dağılmamıştır		5K2-56	Suda dağılmamıştır		
5K3-28	Suda dağılmamıştır		5K3-56	Suda dağılmamıştır		
5K3-28	Suda dağılmamıştır		5K3-56	Suda dağılmamıştır		
5K3-28	Suda dağılmamıştır		5K3-56	Suda dağılmamıştır		

Hava sürükleyici katkı katılan numuneler olan 2K3-28 ve 5K2-28 numuneleri suda dağılma göstermemiştir. Numunelerin 72 saat sonraki durumunu gösteren fotoğraflar aşağıda Şekil 4.22 ve Şekil 4.23’de verilmiştir.



Şekil 4.22: 2K3-28 Numunesinin 72 Saat sonraki fotoğrafı



Şekil 4.23: 5K2-28 Numunesinin 72 Saat sonraki fotoğrafı

Şekil 4.21’de suda bekletilen 5K2-28 ve 5K3-28 numunelerinin bulunduğu kaptaki suyun tamamen buharlaşmasından sonra numunelerin durumunu gösteren fotoğraf Şekil 4.24’te verilmiştir. Numuneler incelendiğinde 5K2-28 Numunesinin bünyesinde 5K3-28 numunesinden daha fazla su bulunduğu görülmüştür. 5K2 numunesi bünyesindeki su sayesinde plastik davranış göstererek şekil değiştirebilirken, 5K3 numunesi plastik davranış göstermemektedir.



Şekil 4.24: 5K2-28 ve 5K3-28 Numunesi

Suda dağılan tek numune olan K1 numunelerinde dağılma süresi cam lifi katkısının artması ile artış göstermiştir. Hava sürükleyici katkı ise oluşturduğu hava boşlukları ile suyun nüfuzunu geciktirmiştir, numunelerin dağılmasını engellemiştir. K1-56 numunelerinin suda dağılmalarını gösteren fotoğraflar aşağıda verilmiştir. Cam lifi katkısı numunelerin daha uzun sürede dağılmasını ve daha az zarar görmesini sağlamıştır.



Şekil 4.25: OK1-56 Numunesinin 35 dakika sonraki fotoğrafı

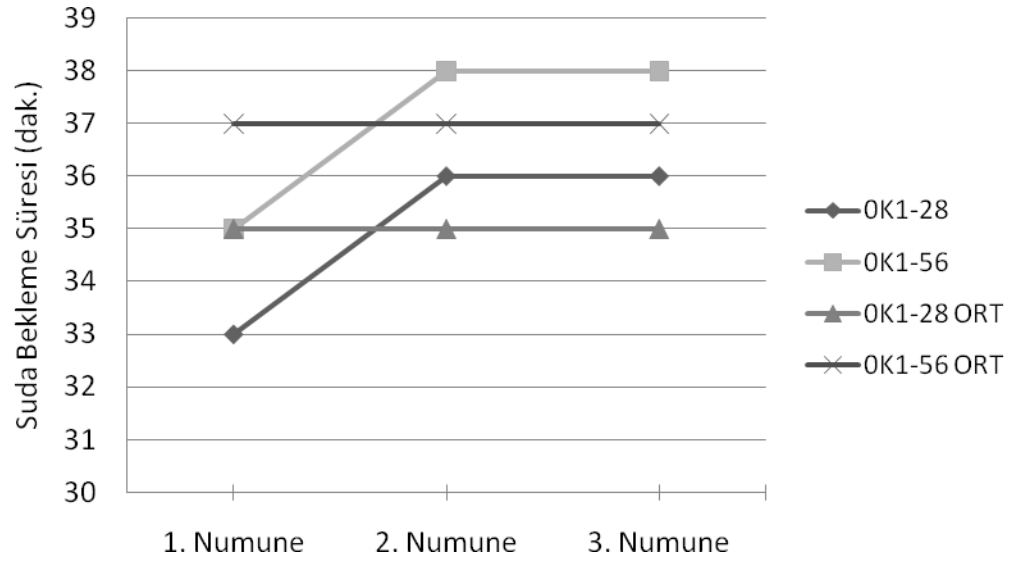


Şekil 4.26: 2K1-56 Numunesinin 1saat 55 dakika sonraki fotoğrafı

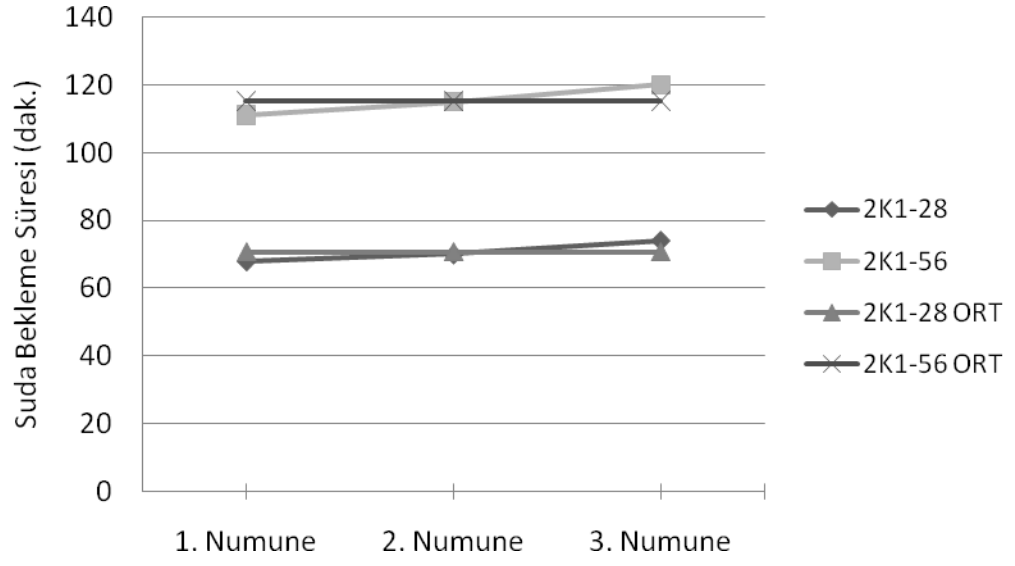


Şekil 4.27: 5K1-56 Numunesinin 2saat 08 dakika sonraki fotoğrafı

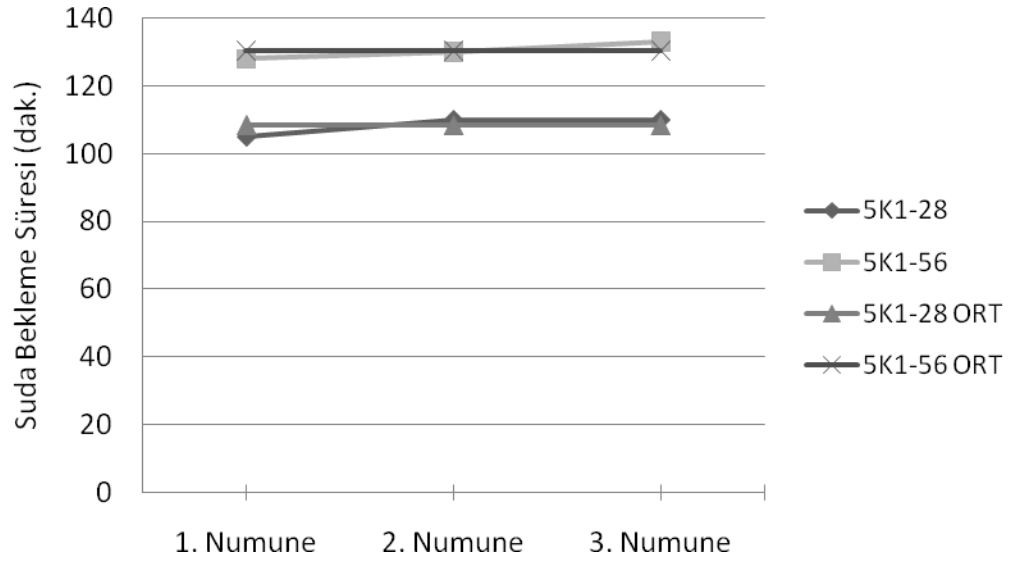
Kerpiç numunelerinde yapılan suda dağılma deneyine ait sonuçların grafikleri aşağıda verilmiştir.



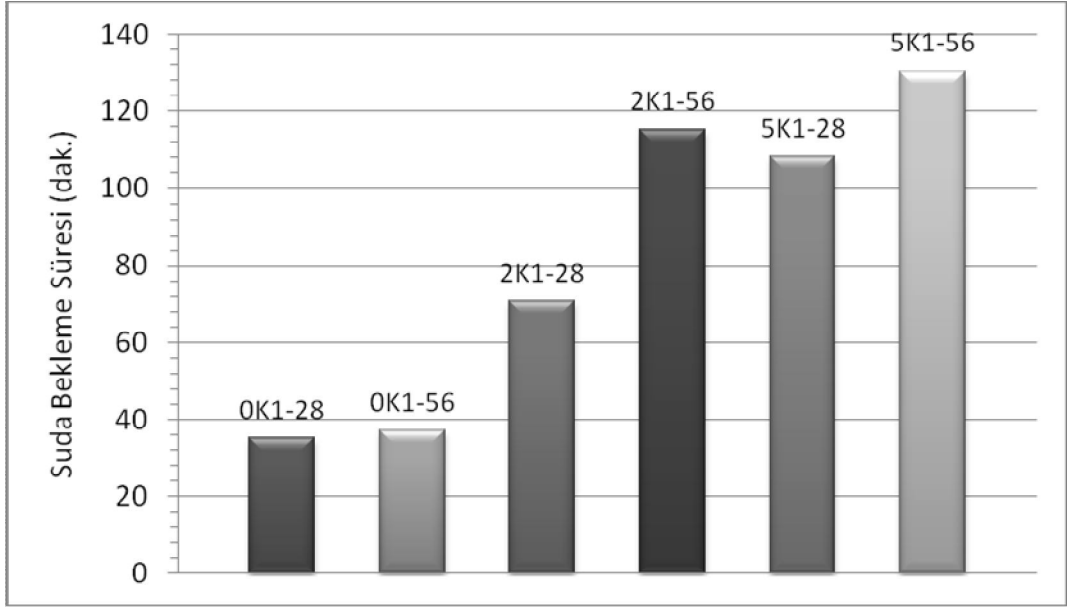
Şekil 4.28: 0K1 numunelerinin suya dayanım grafiği



Şekil 4.29: 2K1 numunelerinin suya dayanım grafiği



Şekil 4.30: 5K1 numunelerinin suya dayanım grafiği



Şekil 4.31 : K1 numunelerinin suda ortalama dağılma sürelerine ait grafik

4.4 MALİYET ANALİZİ

Maliyet analizi için kullanılan Bayındırlık Bakanlığı birim fiyatlarında, kerpiçten duvar yapılmasını içeren fiyat bulunmamaktadır. Maliyet analizi için yeni bir birim fiyat geliştirilmiştir. Bu yeni fiyatın poz adı Özel 1 "Kerpiç üretimi ve duvar örülmesi (10.015 Harcı ile)" olarak belirlenmiştir. Yeni birim fiyata ait analiz Tablo 4.4'te verilmiştir.

Özel 1 pozunu iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde kerpiç üretiminin maliyeti hesap edilmiştir. Bu bölüm Bayındırlık bakanlığına ait 10.015 "Çamur harcı hazırlanması" pozundan türetilmiştir. Fakat bu poz bünyesinde bulunan saman yerine cam lifi, su yerine ise hava sürükleyici katkı kullanılmıştır. İlave edilen cam lifi ve hava sürükleyici miktarı, yapılan deneylerde en iyi sonucu veren 5K3 numunelerinde bulunan miktarlardan alınmıştır. Çalışmada üretilen 12 adet 12x12x12 cm ölçüsündeki 5K3 kerpiç numunesi için 1,4 lt hava sürükleyici, 208 gr cam lifi kullanılmıştır. Analizde kullanılan miktarlar bu değerlerin 1 m³ toprak için orantılanması ile elde edilmiştir. Analiz bünyesindeki hava sürükleyicinin maliyeti Bayındırlık Bakanlığı birim fiyatlarından alınmıştır. Cam lifinin maliyeti Bayındırlık Bakanlığı birim fiyatlarında olmaması nedeni ile piyasa araştırmasından elde edilen fiyat kullanılmıştır.

Özel 1 pozunun ikinci bölümünde duvarın örülmesi ve sıvanması hesaba katılmıştır. Duvarın örülmesi Bayındırlık bakanlığına ait 18.301/MK "Dolu beton briket duvar yapılması (10.003 harcı ile)" birim fiyatının analizi kullanılarak duvar yapım maliyeti hesap edilmiştir. Bu kısımda duvar yapımı için gerekli çimento harç yerine çamur harç kullanılmış, işçi sayısı ve miktarında ise değişiklik yapılmamıştır.

Tablo 4.4: Özel 1 Pozu Analizi

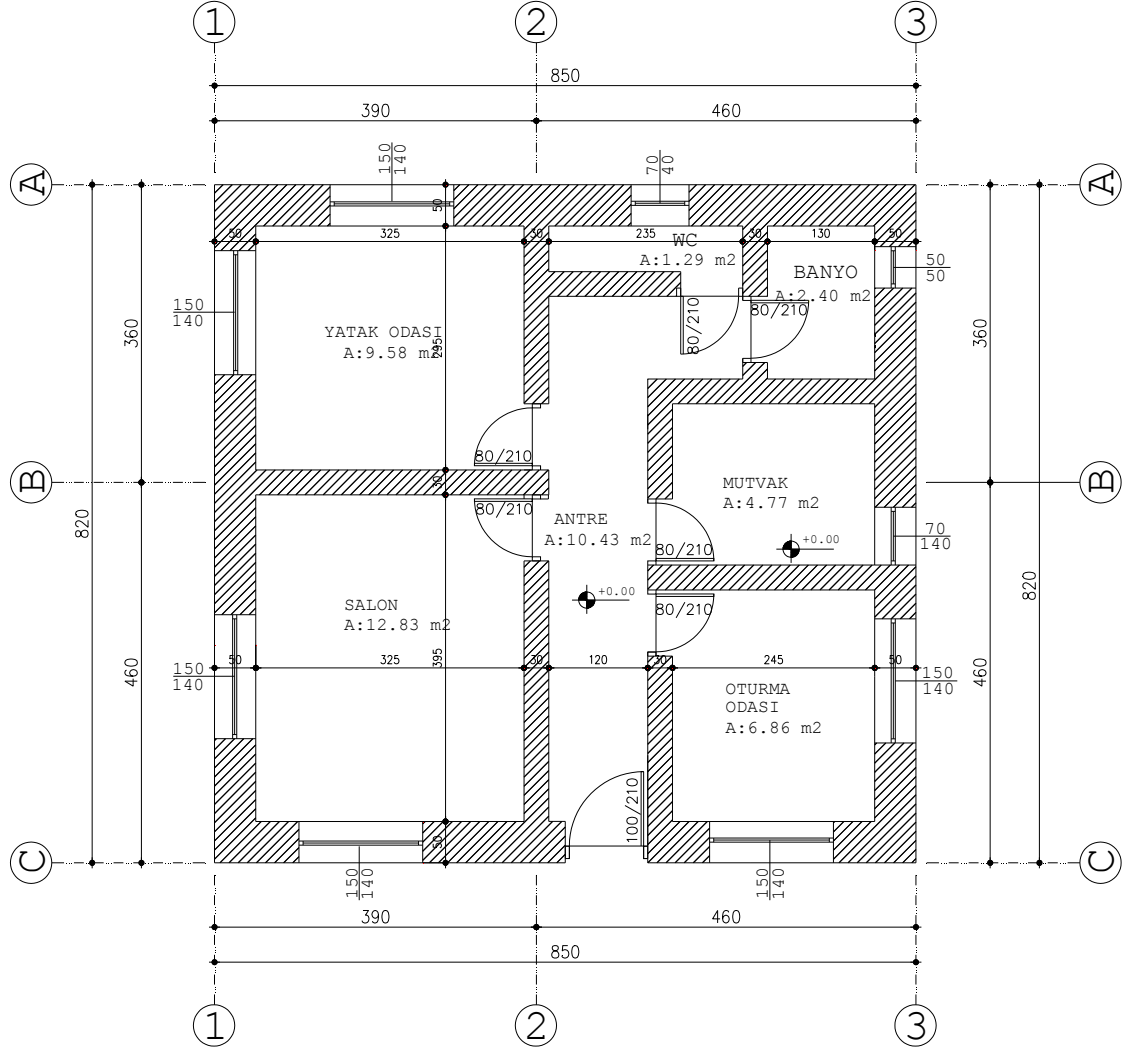
İş Kalemi	Analizin Adı :					Ölçü Birimi
Özel 1	Kerpiç üretimi ve duvar örülmesi (10.015 Harcı ile)					M ³
Poz No	GİRDİLER	Birim	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı [TL]	
	1.Bölüm KERPIÇ ÜRETİMİ					
	<i>Kerpiç Malzemesi:</i>					
Özel 2	Cam Lifi	KG	10,05	2,25	22,61	
04.613/1 G	Betona hava sürükleyici katkı	KG	67,51	1,39	93,83	
04.0000	Toprak	M ³	1			
	(Nebati olmayacak)					
	<i>Kerpiç İşçiliği:</i>					
01.501	Düz işçi (İnşaat işçisi)	SA	2,3	3,41	7,84	
01.501	Düz işçi (İnşaat işçisi)	SA	2,5	3,41	8,53	
	İşyerinde yükleme, yatay ve düşey taşıma karşılığı					
	2.Bölüm KERPIÇ DUVAR ÖRMESİ					
10.015	Çamur harcı hazırlanması	M ³	0,21	21,07	4,42	
	<i>İşçilik Yapılması</i>					
01.013	Duvarcı ustası	SA	3	5,00	15,00	
01.501	Düz işçi (İnşaat işçisi)	SA	6	3,41	20,46	
01.501	Düz işçi (İnşaat işçisi)	SA	2,5	3,41	8,53	
	İnşaat Yerindeki Yükleme, Yatay ve Düşey Taşıma, Boşaltma					
Kârsız Toplam					181,22	
					% 25,00 Kâr ve Genel Giderler	
Toplam Tutar					226,52	

Yukarıda açıklanan bilgiler ışığında Şekil 3.7’de verilen örnek yapının duvarlarının kerpiç ile inşasına ait maliyet analizi yapılmıştır. Maliyet analizi Tablo 4.5’te verilmiştir.

Tablo 4.5 Kerpiç yapı maliyet analizi

Sıra No	Poz No	Tanımı	Birim	Miktar	Birim Fiyatı	Tutarı
1	Özel 1	Kerpiç üretimi ve duvar örülmesi (10.015 Harcı ile)	M ³	42,61	226,52	9.652,23
Toplam						9.652,23

Kerpiç kullanılması duvar kalınlıklarının artmasına neden olmuştur. Bu da planda bozuklukların oluşmasını sağlamıştır. Artan duvar genişliklerinin gösterildiği kerpiç duvarlara ait kat planı Şekil 4.32’de verilmiştir.



Şekil 4.32: Kerpiç yapı planı

Maliyet analizi karşılaştırmasında kullanılacak tuğla duvarın yapım maliyeti için Şekil 3.7’de planı verilen yapının Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de belirtilen detaylara uygun olarak duvar maliyeti hesaplanmıştır. Tuğla duvarların inşasına ait maliyet analizi Tablo 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4.6: Tuğla duvar maliyet analizi

Sıra No	Poz No	Tanımı	Birim	Miktar	Birim Fiyatı	Tutarı
1	16,059/A	Basınç dayanım sınıfı C25/30 (BS 25 B300) olan hazır beton dökülmesi (Beton nakli dahil)	M ³	1,863	112,55	209,68
2	18,071/2/MK	Yatay delikli 19*19*13,5 cm fabrika tuğlası ile duvar yapılması (TS 4563)	M ³	7,065	80,54	569,02
3	18,071/MK	Yatay delikli 19*19*8,5 cm fabrika tuğlası ile duvar yapılması (TS 4563)	M ³	4,402	112,76	496,37
4	19,055/A3	5 cm, Taşyünü ısı yalıtım levhalı, dış duvarların dıştan ısı yalıtımı, ısı yalıtım sıvası	M ²	60,61	53,55	3.245,67
5	21,011	Betonarme kalıp yapılması	M ²	1,863	16,33	30,42
6	23,014	ø 8-12 mm İnce nervürlü çeliğin bükülüp döşenmesi	TON	0,257	1.591,75	409,08
7	23,015	ø 14-28 mm Kalın nervürlü çeliğin bükülüp döşenmesi	TON	0,335	1.494,19	500,55
8	25,048/3	Saten alçılı yüzeylere astar çekilerek 2 kat yarım mat subazlı plastik boya yapılması	M ²	164,17	5,75	943,98
9	27,511	Kireç harçlı düz sıva yapımı	M ²	224,78	9,51	2.137,66
10	27,525	Alçı sıva yapılması	M ²	164,17	11,35	1.863,33
11	27,560/7	Silikon esaslı dış cephe boyası (su bazlı) yapılması	M ²	60,61	11,59	702,47
12	SNBF,01	Sönmemiş kireç nakliyesi	TON	1,602	16,74	26,82
13	SNBF,03	Normal, prese, delikli tuğla nakli (19*9*5)	B/A	2,483	35,11	87,18
14	SNBF,15	Kum çakıl [Bedeli hariç] nakli	M ³	12,964	23,15	300,12
15	SNBF,21/B	Nervürlü çelik nakli (İzmir) (Rumeli y.)	TON	0,652	141,75	92,42
16	SNBF,25	Çimento nakli (Normal)	TON	0,92	19,20	17,66
Toplam						11.632,43

Maliyet analizi sonucunda iki önemli bulgu elde edilmiştir. Bunlardan ilki kerpiç kullanımındaki maliyet kârıdır. Yapı duvarlarının tuğla duvar olarak yapılmasındaki maliyet 11.632,43 TL'dir. Duvarlar kerpiç ile inşa edildiği takdirde maliyeti 9.652,23 TL'ye düşmektedir. Kerpiç duvar maliyeti tuğla duvar maliyetinin

% 82,97'sine karşı gelmektedir. Yapıda tuğla duvarlar yerine kerpiç duvar kullanılması ile duvar maliyetinin % 17,02'si oranında kâr sağlanabilmektedir.

İkinci önemli bulgu ise kerpiç kullanımı ile artan duvar kalınlıkları yapının net kullanım alanını azaltmaktadır. Tuğla duvar ile inşa edilen yapıda net kullanım alanı 60,63m² iken kerpiç duvar ile inşa edildiği takdirde net kullanım alanı % 20,57 oranında azalarak 48,16 m²'ye düşmüştür.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışmanın sonuçlarını aşağıda belirtildiği şekilde sıralamak mümkündür.

Basınç deneylerinin incelemesinde;

Lif katkısının kerpiç numunelerin davranışını etkilediği görülmüştür. Lif katkısının ağırlığın %0,2'i oranında bulunduğu 2K ve %0.5'i oranında bulunduğu 5K kerpiç numuneleri sünek davranış göstermiştir. Lif katkısı bulunmayan 0K numuneleri ise gevrek davranış göstermiştir.

Lif katkısının kullanılması Galab ve diğ. [30] belirttiği gibi basınç dayanımının artmasına neden olmuştur. Lif katkısının farklı oranlarda bulunması, basınç dayanımındaki artışın da farklı oranlarda olmasına neden olmuştur. Her hangi bir katkı bulunmayan 0K1-28 numunesinin ortalama basınç dayanımı $0,94 \text{ N/mm}^2$ 'dir. Bünyesinde yalnızca su miktarının % 100'ü oranında hava sürükleyici bulunan 0K3-28 numunesinin ortalama basınç dayanımı $1,39 \text{ N/mm}^2$ 'dir. İçeriğinde yalnızca ağırlıkça % 0,5'i oranında cam lifi bulunan 5K1-28 numunesinin ortalama basınç dayanımı $3,17 \text{ N/mm}^2$ 'dir. İçeriğinde ağırlıkça % 0,5'i oranında cam lifi ve su miktarının % 100'ü oranında hava sürükleyici bulunan 5K3-28 numunesinde ise ortalama basınç dayanımı $4,04 \text{ N/mm}^2$ olmuştur. Bu değerler katkı kullanılması ile basınç dayanımında artış sağlandığını göstermektedir. Dayanımda sağlanan artışın sırası ile hava sürükleyici, cam lifi ve her ikisinin birlikte kullanılması ile dahada arttığı görülmüştür.

Basınç dayanım deneyleri sonucunda cam lifi ve hava sürükleyici oranının artması ile basınç dayanım değerinin de arttığı görülmüştür.

Suda dağılma deneyi sonuçları incelendiğinde; hava sürükleyici katkı bulunan numunelerde kılcal kanalların sürekliliğini engellendiği, böylece suyun iç kısımlara ilerlemesinin önüne geçildiği görülmüştür. Çalışmada su miktarının % 50'si oranında hava sürükleyici bulunan K2 ve % 100'ü oranında hava sürükleyici bulunan K3 numuneleri suda dağılma göstermemiştir. Fakat hava sürükleyici katkı bulunmayan K1 numuneleri suda dağılmıştır. Kullanılan cam lifi katkısı bu dağılma süresinin uzamasını

sağlamıştır. Yapılan deneylerde cam lifi bulunmayan 0K1-56 numunelerinin dağılma süresini 37 dakika olarak kaydedilirken, hava sürükleyici oranının aynı fakat cam lifi oranının % 0,5 olduğu 5K1-56 numunesinde ise dağılma süresi 2,51 kat artarak 130 dakikaya ulaşmıştır.

Çalışmanın diğer bir ayağı olan maliyet araştırmasında ise kerpiç duvar kullanılmasının tuğla duvar kullanılmasına göre % 17,02 oranın da bir maliyet karına neden olduğu belirlenmiştir. Litaretür çalışmasında bir çok kaynakta belirtilen kerpiçin ucuz maliyetinin, bu çalışma ile gösterilmiştir. Kerpiç sahip olduğu bu düşük maliyet daha ucuz konut yapımını olanaklı kılmaktadır. Fakat kerpiç kullanılması ile artan duvar kalınlıkları yapının net kullanım alanını azalmasına neden olmaktadır.

Çalışma sonunda diğer araştırmalarda da belirtildiği gibi kerpicin ilave katkılar ile geliştirilebildiği görülmüştür. Kerpiçin en önemli zayıf yönü olan suya karşı dayanıksızlığı hava sürükleyici katkı kullanılarak önemli ölçüde azaltılmıştır. Yapı maliyetinde önemli bir kazanç sağlayan kerpiçin, suya karşı dayanımının daha da geliştirilerek ülkemiz için tek ve çift katlı yapıların yapımında yaygın olarak kullanılması gerekmektedir. Böylece ülkemiz insanına ucuz, konforlu ve doğa ile barışık yapılar sunulabilecektir.

Yapılacak çalışmalar kerpiç bünyesinde sürüklenen hava boşlukları ile suyun iç kısımlara iletilmesinin engellenmesine yönelik olmalıdır. Böylece basınç dayanımında ve suya karşı dayanımda olumlu yönde artış sağlanabilecektir.

KAYNAKLAR

1. GÜRBÜZ, G., 2005, *Toprak yapı malzemesinin stabilizasyonu ve toprak bina yapım teknikleri üzerine bir araştırma*, Yüksek lisans, Gazi Üniversitesi.
2. QUAGLIARINI, E. ve diğ., 2009, Mechanical properties of adobe walls in a Roman Republican domus at Suasa, *Journal of Cultural Heritage*, 11, 130-137
3. MİNKE, G., 2006, *Building with earth*, Birkhauser, Berlin, 978-3-7643-7477-8
4. KARUL, N., 2008, Kerpiçten tarih [online], <http://www.kesfetmekicinbak.com/ arkeoloji/07674/>, [Ziyaret Tarihi: 24 Nisan 2011]
5. PARRA-SALDIVAR, M.L. ve BATTY, W., 2006, Thermal behaviour of adobe constructions, *Building and Environment*, 41, 1892-1904.
6. BLONDET, M. GARCIA, G.V., Adobe construction [online], <http://www.world-housing.net/uploads/adobe.pdf> [Ziyaret Tarihi: 1 Nisan 2011]
7. KIVRAK, J., 2007, *Silis dumanı katkılı kerpiçlerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin araştırılması*, Yüksek lisans, Gazi Üniversitesi.
8. MANIATIDIS, V ve WALKER, P., 2003, *A review of rammed earth construction for DTi partners in innovation project*, Natural building technology group, University of Bath, Bath
9. BLONDET, M. ve diğ., 2003, Earthquake-resistant construction of adobe buildings: A tutorial, Earthquake engineering research institute, Geneva, 1-932884-20-3
10. MİLANİ, B, 2005, *Building materials in a green economy: community-based strategies for dematerialization*, Doctora, Toronto Üniversitesi.
11. Türk Standardı, TS2514/Şubat1977, Kerpiç bloklar yapım ve kullanma,
12. Anonim, 2010, Earth architecture [online], <http://www.eartharchitecture.org/index.php?plugin/tag/mud+brick/P2.html>, [Ziyaret Tarihi: 26 Nisan 2011]
13. ŞİMŞEK, O. SANCAK, E. FIRAT, S., 2001, Türkiye İnşaat Mühendisliği XVI. Teknik Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı, 1-3 Kasım 2001 Ankara, 45.

14. VARGAS, J. BARIOLA, J. BLONDET, M., 2006, Seismic strength of adobe masonry, *Materials and Structures*, 19 (4), 253-258.
15. SİLVA, R. A. ve diğ., 2009, Grouting as a repair/strengthening solution for earth construction, 8-9 October 2009. Leuven ,WTA publications,
16. DOWNTON, P., Mud brick (Adobe) [online], <http://www.yourhome.gov.au/technical/pubs/fs56.pdf> [Ziyaret Tarihi: 26 Nisan 2011]
17. 2010, <http://www.hattuscha.de/turkce/surrekonstruk.htm>, [Ziyaret Tarihi: 26 Nisan 2011]
18. RAIMONDO, M. ve diğ., 2007, Equilibrium moisture content of clay bricks: The influence of the porous structure, *Building and Environment*, 42, 926-932.
19. DONDI, M. ve diğ., 2003, Water vapour permeability of clay bricks, *Construction and Building Materials*, 17, 253-258.
20. CALABRIA, J. A. VASCONCELOS, W.L. BOCCACCINI, A.R., 2009, Microstructure and chemical degradation of adobe and clay bricks, *Ceramics International*, 35, 665-671.
21. OTI, J.E. KINUTHIA, J.M. BAI, J., 2009, Engineering properties of unfired clay masonry bricks, *Engineering Geology*, 107, 130-139.
22. ZAMİ, M. ve LEE, A. 2009, Contemporary earth construction in urban housing- stabilised or unstabilised [online], University of Glasgow, http://www.gla.ac.uk/media/media_129735_en.pdf [Ziyaret Tarihi: 26 Nisan 2011]
23. Anonim, 2010, A changing environment [online], <http://www.pionomics.com/environment.htm>, [Ziyaret Tarihi: 28 Nisan 2011]
24. Anonim, 2010, Clay mine adobe [online], <http://www.claymineadobe.com/5.html>, [Ziyaret Tarihi: 27 Nisan 2011]
25. OTI, J.E. ve diğ., 2009, Compressive strength and microstructural analysis of unfired clay masonry bricks, *Engineering Geology*, 109, 230-240.
26. GÜRFİDAN, A., 2006, *Safranbolu evlerinde kullanılan kerpiç malzemenin yüksek fırın cürufu ile iyileştirilmesi*, Yüksek lisans, Sakarya Üniversitesi.
27. CAN, Ömer, 2008, Ferrokrom curufunun kerpicingin mühendislik özelliklerine etkisi, *Teknik-Online Dergi*, 7, 175-185
28. A. CALABRIA, J. ve diğ., 2010, Synthesis of sol-gel titania bactericide coatings on adobe brick, *Construction and Building Materials*, 24, 384-389.

29. MILLOGO, Y. HAJJAJI, M. OUEDRAOGO, R., 2008, Microstructure and physical properties of lime-clayey adobe bricks, *Construction and Building Materials*, 22, 2386-2392.
30. GALAB-MARIN, C. RIVERA-GOMEZ, C. PETRIC, J., 2010, Clay-based composite stabilized with natural polymer and fibre, *Construction and Building Materials*, 24, 1462-1468.
31. YETGİN, Ş. ve diğ., 2008, The effects of the fiber contents on the mechanic properties of the adobes, *Construction and Building Materials*, 22, 222-227.
32. SHUKLA, A. ve diğ., 2009, Embodied energy analysis of adobe house, *Renewable Energy*, 34, 755-761.
33. ARAİZA, J L R., 2009, Unfired bricks made of clay-gypsum: Mechanical and thermal properties, *Proceedings of the 11th international conference on non-conventional materials and technologies*, 6-9 September 2009 Bath,
34. LITTLE, B. ve MORTON, T., 2001, Building with earth in Scotland: innovative design and sustainability, Scottish executive, Edinburgh, 0755930088
35. HARPUTLUGİL, G. U. ve ÇETİNTÜRK, N., 2005, Geleneksel Türk evi'nde ısı konfor koşullarının analizi: Safranbolu hacı Hüseyinler evi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20, 77-84.
36. BİNİCİ, H. ve diğ., 2010, Kerpiç yapılar depreme dayanıksız mıdır? Avantajları ve dezavantajları nelerdir, *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(2), 1-11
37. MOREL, J. ve diğ., 2007, Compressive strength testing of compressed earth blocks, *Construction and Building Materials*, 21, 303-309.
38. KAFESÇİOĞLU, R. ve GÜRDAL, E., Çağdaş yapı malzemesi-Alker [online], İstanbul teknik üniversitesi, <http://web.itu.edu.tr/~isikb/alker03doc01.html> [Ziyaret Tarihi: 26 Nisan 2011]
39. BEKTAŞ, C., 2005, Kerpiçle çağdaş mimarlık [online], http://www.yapi.com.tr/Haberler/kerpicle-cagdas-mimarlik_61066.html [Ziyaret Tarihi: 19 Nisan 2011]
40. ÇİÇEK, E., 2002, *Pişmiş toprak tuğla, bimsbeton, gazbeton ve perlitli yapı malzemelerinin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi*, Yüksek lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi.
41. HIGGINS, D., 2007, GGBS and sustainability Proceedings of ICE, *Construction Materials*, 160(3), 99-11

42. TOMAZEVIC, M., 2007, Damage as a measure for earthquake-resistant design of masonry structures: Slovenian experience, *Can. J. Civ. Eng.*, 34, 1403-1412.
43. KÖYLÜ, Aslı., 2008, Geleneksel yapıların yatay yükler etkisinde incelenmesi, Yükek lisans, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
44. BARADAN, B., Kerpiç yapıların korunması için uygun puzolanik karışımlar, *Endüstriyel atıkların inşaat sektöründe kullanılması, 1995 Ankara*, 73-80
45. DELGADO, M. C. J. ve GUERRERO, I C., 2006, Earth building in Spain, *Construction and Building Materials*, 20, 679-690.
46. TÜİK, 2010, *Taşıyıcı sistem ve yapı malzemesi cinsine göre yapılacak yeni ve ilave yapılar.*
47. ORUÇ, Ş.E., 2004, *Kerpiç duvarlara uygulanan kil bağlayıcılı dış sıva hasarlarının irdelenmesi*, Yüksek lisans, Dicle Üniversitesi.
48. CHINDAPRASIRT, P. ve PIMRAKSA, K., 2008, A study of fly ash-lime granule unfired brick, *Powder Technology*, 182, 33-41.
49. ALTUN, S.B., 2008, *Geleneksel Türk evleri, kullanılan yapı malzemeleri, yapı elemanları ve yapım sistemleri*, Yüksek lisans, Karadeniz Teknik Üniversitesi.
50. ACUN, S. ve GÜRDAL, E., 2003, Yenilenebilir bir malzeme: kerpiç ve alçılı kerpiç, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 427, 71-77.
51. KESKİN, T., 2010, Binalar sektörü mevcut durum değerlendirmesi raporu, Türkiye'nin iklim değişikliği ulusal eylem planı'nın geliştirilmesi projesi.
52. GHAVAMI, K. TOLEDO, F.R. BARBOSAC,N., 1999, Behaviour of composite soil reinforced with naatural fibres, *Cem. Concr. Compos.*, 21, 39-48
53. OTÍ, J.E. ve diğ., 2010, Design thermal values for unfired clay bricks, *Materials and Design*, 31, 104-112.
54. DBYBHY, 2007, "Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik", Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara
55. ACHENZA, M. ve FENU, L., 2006, On earth stabilization with natural polymers for earth masonry construction, *Materials and Structures*, 39, 21-27.

56. HEARTH, A. ve diğ., 2009, Compressive strength of extruded unfired clay masonry units, *Construction Materials*, 162, 105-112.
57. CHEL, A. ve TIWARI, G.N., 2009, Performance evaluation and life cycle cost analysis of earth to air heat exchanger integrated with adobe building for New Delhi composite climate, *Energy and Buildings*, 41, 56-66.
58. DEMİRTAŞ, R. ve diğ., 2000, 06 Haziran 2000 Orta (Çankırı) depremi.
59. Alkaya, D., 2005, Sultandağı depremi ışığında toprak yapılar ve iyileştirme önerileri, *Yığma yapıların deprem güvenliğinin araştırılması çalışması, 17 Şubat 2005* Ankara,
60. BAKIR, S. ve diğ., 2010, 8 Mart 2010 Başyurt-Karakoçan (Elazığ) depremi ön inceleme raporu, Middle east technical university.
61. KOÇU, N., KORKMAZ, S.Z., 2004, Kerpiç malzeme ile üretilen yapılarda deprem etkilerinin tespiti, TMMOB. Mimarlar Odası İstanbul Büyükkent Şubesi 2. Ulusal yapı malzemesi kongresi, 6-8 Ekim 2007 İstanbul, 52-62
62. Anonim, 2010, Gümüşhaneyi tanıyalım [online], <http://www.siran29.com/genel-kultur/103-gumushaneyi-taniyalimkonaklar.html>, [Ziyaret Tarihi: 29 Nisan 2011]
63. Anonim, 2010, Semtler ve Bursa [online], http://www.lifeinbursa.com/fotografx/35/13169/semter_ve_bursa/yilların_yorgunlug, [Ziyaret Tarihi: 30 Nisan 2011]
64. AMP Hakediş ve Yaklaşık Maliyet Versiyon 2010, Hakediş ve Yaklaşık Maliyet Hesapları İçin Yazılım

ÖZGEÇMİŞ

Tuna GÜL 1984 yılında Gümüşhane’de doğmuştur. Hanyeri ilkokulu, Doğa İlköğretim okulu ve Toplu Konut Lisesi’ni tamamlamasının ardından 2001 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’ne kayıt olmuştur. 2006 yılında lisans öğrenimini tamamlayarak, 2008 yılında İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Malzemesi Programında yüksek lisans öğretimine başlamıştır.