KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİMARLIK ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞEFFAF BETONUN MİMARİDE KULLANIMI VE ÜRETİMİNE YÖNELİK DENEYSEL BİR DEĞERLENDİRME

ARZU ÇAKMAK

KOCAELİ 2012

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİMARLIK ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞEFFAF BETONUN MİMARİDE KULLANIMI VE ÜRETİMİNE YÖNELİK DENEYSEL BİR DEĞERLENDİRME

ARZU ÇAKMAK

Prof.Dr. Kamuran Öztekin
Danışman, Kocaeli Üniv. .....

Doç.Dr. Nilay Coşgun
Jüri Üyesi, GYTE .....

Yrd.Doç.Dr. Neslihan Türkmenoğlu Bayraktar
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv. .....

Tezin Savunulduğu Tarih: 27.11.2012

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Mimarlık tarihine adını yazdırmış birçok yapı betondan inşa edilmiştir. Gelişen teknoloji ile de farklı beton türevlerinin üretilmesi betonun yapı malzemesi olarak yaygın bir şekilde kullanılmasını ve mimari alanda sorgulanmasını kaçınılmaz kılmıştır.

Betonda son buluş olarak nitelendirilen şeffaf beton türevi, çok sayıda mimari kavramı içinde barındırması ve farklı kimliklerde tasarım girdileri oluşturması bakımından dikkat çekmektedir. Günümüzde dünyada dört firma tarafından imal edildiği ve uygulandığı bilinen şeffaf beton, bu akademik çalışma ile mimari alanda sorgulanmış ve şeffaf beton üretimi üzerine bir deney çalışması yapılmıştır.

Lisans, yüksek lisans ve tez aşaması süresince desteklerini esirgemeyen ve sürekli yanımda olan, ayrıca gösterdiği hoşgörü ve sabırdan dolayı çok saygıdeğer tez danışmanım Prof. Dr. Kamuran Öztekin'e, teze başlama nedenim ve deney çalışmasında yol göstericim olan, üniversite öğrenim süreci içinde her zaman yanımda hissettiğim Yrd. Doç. Dr. Salih Taner Yıldırım'a, muazzam deneyimlerinden faydalanmamı sağlayan, varlığı ile bana güç veren, yol gösteren ve desteğini üzerimden hiç esirgemeyen Dr. Gül Yücel'e, tasarımda ufkumu açan Yrd. Doç. Dr. M. Murat Uluğ ve Yrd. Doç. Dr. M. Burak Altınışık'a, tezimin takipçileri olup, hızlanmamı sağlayan Yrd. Doç. Dr. Gül Köksal ve Yrd. Doç. Dr. Neslihan Türkmenoğlu Bayraktar'a, çalışmamı ayrıntılı bir şekilde inceleyen juri üyelerine, öğrenim süresince karşılaşmalarımda manevi desteklerini esirgemeyen tüm Kocaeli Üniversitesi Mimarlık Fakültesi öğretim elemanlarına ve sekreterimiz Muharrem Kılıç'a, İstanbul Teknik Üniversitesi Aydınlatma ve İç Tesisat Bölümü Araştırma Görevlisi Sezen Yıldırım'a, çalışmalarımı destekleyen ve yol gösteren Y. Mimar Cengiz Ulus'a, en büyük sorumluluğu alarak nazımı çeken ve sonsuz mutlu eden sırdaşıma, her zaman yanımda olan en yakın arkadaşıma, keyifli molalar vermemi sağlayan mutluluk kaynaklarım, su perilerime ve tabii ki de annelerine ve her zaman yanımda olan, desteklerini üzerimden hiç çekmeyen, yaşama sevincim ve mucizelerim; babama, anneme ve ağabeylerime sonsuz minnet duygularımı sunarım.

Haziran – 2012 Arzu Çakmak

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iii
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR vii
ÖZET viii
ABSTRACT ix
GİRİŞ 1
1. ÇALIŞMANIN AMAÇ, KAPSAM VE YÖNTEMİ 3
2. MİMARLIK VE KAVRAMLAR 5
2.1. Mimarlık ve Sürdürülebilir Çevre 5
2.2. Mimarlıkta Saydamlık ve Opaklık Kavramları 6
2.2.1. Saydamlık kavramı 8
2.2.2. Yarı saydamlık kavramı 9
2.2.3. Saydamsızlık / Opaklık kavramı 11
2.3. Bölüm Değerlendirmesi 11
3. YAPI MALZEMESİ OLARAK BETON VE MİMARLIKTAKİ YERİ 12
3.2. Beton ve Mimarlıktaki Yeri 13
3.4. Beton Türleri ve Özellikleri 19
3.4.1. Kendiliğinden yerleşen beton 20
3.4.2. Hafif beton 21
3.4.3. Cam agregalı beton 23
3.4.4. Baskı beton 24
3.5. Bölüm Değerlendirmesi 27
4. ŞEFFAF BETON 29
4.1. Şeffaf Betonun Tarihsel Gelişimi 30
4.2. Şeffaf Beton Uygulama Yöntemleri ve Teknik Özellikler 31
4.4. Bölüm Değerlendirmesi 75
5. DENEYSEL ÇALIŞMA 78
5.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Laboratuvarlar ve Cihazlar 78
5.2. Şeffaf Beton Kompozit Üretimde Kullanılan Malzemeler 81
5.2.1. Çimento 81
5.2.2. Perlit 83
5.2.3. Kimyasal katkı maddesi 84
5.2.4. Plastik optik lif 84
5.3. Numunelerin Üretilmesi 85
5.4. Üretilen Betona Uygulanan Deneyler 89
5.5. Deney Sonuçları 92
5.6. Bölüm Sonuçları 95
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 97
KAYNAKLAR 100
ÖZGEÇMİŞ 104

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Van Valkenburgh; Radcliffe Ice Walls 10
Şekil 2.2. Klaus Kada'nın tasarladığı, St. Pölten'deki Festival Evi 10
Şekil 3.1. Fransız mimar Augus Perret'in ilk betonarme apartman binası 15
Şekil 3.2. Le Corbusier; Villa Savoye....15
Şekil 3.3. Louis Kahn; Salk Enstitüsü....16
Şekil 3.4. Oscar Niemeyer; Niterói Güncel Sanat Müzesi....16
Şekil 3.5. Santiago Calatrava; Tenerife Oditoryumu....16
Şekil 3.6. Kenzo Tange; St. Mary's Katedrali, Tokyo, Japonya, 1963 17
Şekil 3.7. One Shell Plaza Tower Binası 22
Şekil 3.8. Cam agregalı ve puzolonlu beton örnekleri....24
Şekil 3.9. Baskı beton örnekleri....25
Şekil 3.10. Brüt betonda doku örnekleri 25
Şekil 3.11. Toz pigment katkısı....26
Şekil 4.1. Bill Price'in saydam beton örnekleri....30
Şekil 4.2. Fiber optiğin yapısı....31
Şekil 4.3. Optik lifin içinde ışık yayınımı 32
Şekil 4.4. Losonczi'nin şeffaf betonu 34
Şekil 4.5. Juergen'in şeffaf betonu 35
Şekil 4.6. Andreas Bittis'in saydam betonu 35
Şekil 4.7. Optik lif dokumalı katmanlar ile saydam beton üretim süreci....36
Şekil 4.8. Optik lif dokuma sepet uygulaması ile saydam beton üretim süreci....36
Şekil 4.9. 2010 – Litracon pxl, optik fibersiz şeffaf beton uygulaması 37
Şekil 4.10. Luccon'un orjinal şeffaf betonu....38
Şekil 4.11. Luccon'un entegre ısı yalıtımlı şeffaf betonu 39
Şekil 4.12. Luccon'un üç boyutlu kaplama şeffaf betonu....39
Şekil 4.13. Luccon'un cam laminasyonlu şeffaf betonu....40
Şekil 4.14. Lucem'in şeffaf betonu....40
Şekil 4.15. Italcementi, İtalya Pavyonunda kullanılan şeffaf beton 41
Şekil 4.16. Üretilen şeffaf beton standart renkleri....42
Şekil 4.17. Soldan sağa :70 mikron doğrusal cam elyaf düzenlenmiş, 70 mikron kesitiyle cam elyaf düzenlenmiş, 1 mm polimer lifli ve 3mm polimer lifli şeffaf beton örnekleri....42
Şekil 4.18. Şeffaf beton yüzey işleme ve kesme 43
Şekil 4.19. Şeffaf betonda standart görünür vidalama yöntemi uygulanması....44
Şekil 4.20. Şeffaf betonda alttan ankrajlı yöntem uygulanması....45
Şekil 4.21. Şeffaf betonda cephe ankrajlı yöntem uygulanması 46
Şekil 4.22. Losonczi'nin seffaf betondan dış duvarı 47
Şekil 4.23. Losonczi; Fraungan kilisesi, yarışma projesi 2003 48
Şekil 4.24. 2006, Litracon, Montblanc butiğin Febelcem şeffaf dış duvarı....48
Şekil 4.25. Luccon; şeffaf betonun dış duvarlarda gece ve gündüz görüntüsü....49
Şekil 4.26. Luccon; şeffaf betonun dış duvarlarında kullanımı....49
Şekil 4.27. Italcement; İtalya Pavyonu şeffaf beton uygulaması dış cephe....50
Şekil 4.28. Italcement; İtalya Pavyonu şeffaf beton uygulaması iç görünüş 51

Şekil 4.29. Tiflis; Gürcistan Bankası genel merkezi 52
Şekil 4.30. Tiflis; Gürcistan Bankası çalışma alanı dıştan görünümü 52
Şekil 4.31. Tiflis; Gürcistan Bankası çalışma alanı içten görünümü.....53
Şekil 4.32. Tiflis; Gürcistan Bankası koridorlarından, saydam beton kaplamalı duvarların floresanlar açık ve kapalı iken görünümü 53
Şekil 4.33. Tiflis; Gürcistan Bankası vezne bölümü 54
Şekil 4.34. 2005, Litracon; yaşam için bir ev projesinde banyo ile koridor arasında şeffaf duvarın kullanımı 54
Şekil 4.35. 2010, Litracon; Budapeşte'de bir evin iç salon ve Japon bahçesi arasına uygulanan şeffaf bölücü duvar 55
Şekil 4.36. 2010, Litracon pxl; Budapeşte Milenaris Parkı şeffaf bölücü duvar 55
Şekil 4.37. Luccon; soyunma odası 56
Şekil 4.38. Luccon; bedea duş 56
Şekil 4.39. Luccon; banyo 56
Şekil 4.40. Luccon; iç duvarda kavisli şeffaf beton duvar 57
Şekil 4.41. Lucem; Genk/Berçika da diş kliniğinde şeffaf iç duvarlar 57
Şekil 4.42. Lucem, Hansa-Hamburg mezarlığında şeffaf beton iç duvar 57
Şekil 4.43. Luccon, şeffaf betonun merdivenlerde kullanımı 58
Şekil 4.44 Losonczi; PIX-Stureplan yarışma projesi.....59
Şekil 4.45. Luccon; şeffaf betonun zeminde kullanımı 59
Şekil 4.46 San Francisco, şeffaf betonun motifli döşeme olarak kullanılması 60
Şekil 4.47. Halm Juergen'in asansör sövesi.....60
Şekil 4.48. Luccon; asansör tavanı 61
Şekil 4.49. Lucem; şeffaf asansör kenarı 61
Şekil 4.50. 2004, Litracon; güneş kırıcı 61
Şekil 4.51. Halm Juergen'in Resepsiyon masası.....62
Şekil 4.52. 2007, Litracon; şeffaf betonun Corvinus Üniversitesi'nde lobide resepsiyon masası ve konferans salonunda masa olarak kullanımı.....62
Şekil 4.53. 2008, Litracon; Macaristan Büyükelçiliği Paris, ana resepsiyon.....62
Şekil 4.54. 2011, Litracon; pxl bar top 63
Şekil 4.55. Luccon; şeffaf betonun; masa, sehpa olarak kullanımı 63
Şekil 4.56. Luccon; resepsiyon masası 63
Şekil 4.57. Lucem; Moskova'da bir resepsiyon masası.....64
Şekil 4.58. Lucem; Spitzingsee'de bir otelde şeffaf betondan bar masası.....64
Şekil 4.59. Lucem; Moskova'da bir bar masası 64
Şekil 4.60. Lucem; kreşte resepsiyon masası.....65
Şekil 4.61. Lucem, Hamburg'da resepsiyon masası.....65
Şekil 4.62. Luccon, şeffaf betonun lavabo, evye olarak kullanımı.....66
Şekil 4.63. Lucem; 120x60x1,5 cm boyutlarında şeffaf beton plakadan askılık 67
Şekil 4.64. 2006, Litracon; Cella Septichora Müzesi'nin ana giriş kapısı.....67
Şekil 4.65. Luccon; şeffaf betondan garaj giriş kapısı.....68
Şekil 4.66. Andreas Bittis'in saydam betonu 68
Şekil 4.67. Luccon; cafe için paravanlar.....68
Şekil 4.68. Litracon; Budapeşte'de bir ev.....69
Şekil 4.69. Losonczi; LitraCube lamba.....69
Şekil 4.70. Andreas Bittis; lamba 69
Şekil 4.71. Lucem, Rotterdam da park, 45x45x3 cm sokak aydınlatma elemanı 70
Şekil 4.72. Luccon; şeffaf betonun bank olarak kullanımı 70
Şekil 4.73. 2005, Litracon; Logo Tasarımı 71

Şekil 4.74. 2007-2008, Litracon; Squire Sanders & Dempsey, logo duvarı.....71
Şekil 4.75. Losonczi; Urania Sinema Logosu.....71
Şekil 4.76. Lucem; Logo tasarımları.....72
Şekil 4.77. 2011, Litracon; Switch Studio Hıbıya Tokyo, Şeffaf betonun görsel olarak kullanımı, led projeksiyon.....72
Şekil 4.78. Luccon; şeffaf betonun görsel olarak kullanımı.....72
Şekil 4.79. Lucem; şeffaf betonun görsel olarak kullanımı.....73
Şekil 4.80. Fibrobeton; şeffaf betonun görsel olarak kullanımı.....73
Şekil 4.81. Losonczi; Avrupa Kapısı.....73
Şekil 4.82. 2008, Litracon - Iberville Parish Veterans Memorial.....74
Şekil 4.83. 2010, Litracon, Kálvária Kilisesi, Macaristan.....74
Şekil 4.84. 2010, Litracon pxl, Idokapszula açık hava heykeli.....75
Şekil 5.1. Kocaeli Üniversitesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarı.....78
Şekil 5.2. Kocaeli Üniversitesi Teknopark Lazer Merkezi.....79
Şekil 5.3. İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi Aydınlatma ve İç Tesisat.....79
Şekil 5.4. Optik spektrometre düzeneği.....80
Şekil 5.5. Optik spektrometre düzeneği.....80
Şekil 5.6. Yapay aydınlatma için kullanılan lambalar.....81
Şekil 5.7. Ahşap kalıp üstten görünüş.....85
Şekil 5.8. Lif demetleri-alttan görünüş.....85
Şekil 5.9. Beton harcının mikser yardımıyla karıştırılması.....86
Şekil 5.10. Çelik kalıplarda beton.....86
Şekil 5.11. Farklı açılarda doğal aydınlanmaya karşı konumlanmış şeffaf beton.....87
Şekil 5.12. Yapay ışıkla aydınlatılan şeffaf beton numunesinin optik lifli alt-üst yüzeyi.....88
Şekil 5.13. Yapay ışıkla aydınlatılan şeffaf beton numunesinin farklı açılarda duruşu.....88
Şekil 5.14. Yayılma miktarının ölçülmesi.....89
Şekil 5.15. Eğilme ve basınç deneylerinin yapılışı.....89
Şekil 5.16. Spektrometre ile ışık şiddeti ve dalga boyu ölçümü.....90
Şekil 5.17. Şeffaf betonun luxmetre ile ölçümü.....91
Şekil 5.18. Ölçüm için şeffaf betondan seçilen üç nokta.....92
Şekil 5.19. 1.noktadan ve kaynaktan elde edilen ölçümler.....92
Şekil 5.20. 2.noktadan ve kaynaktan elde edilen ölçümler.....93
Şekil 5.21. 3.noktadan ve kaynaktan elde edilen ölçümler.....93

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 4.1. Farklı niteliklerde üretilen şeffaf beton özellikleri....76
Tablo 5.1. KYB malzeme ağırlıkları....81
Tablo 5.2. Çimentonun kimyasal özellikleri....82
Tablo 5.3. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri....82
Tablo 5.4. Genleştirilmiş perlitin kimyasal analizi....83
Tablo 5.5. Genleştirilmiş perlitin fiziksel özellikleri....83
Tablo 5.6. Agreganın elek analizi....83
Tablo 5.7. Kullanılan optik fiberin yapısı....84
Tablo 5.8. Kullanılan optik fiberin performansı....84
Tablo 5.9. Tipik aydınlatma değerleri....94
Tablo 5.10. Sertleşmiş betonun fiziksel özellikleri....95
Tablo 5.11. Sertleşmiş betonun mekanik özellikleri....95

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

cm	:	Santimetre
cd	:	Kandela, ışık şiddeti
CK	:	İletken keratoplasti
ºC	:	Centigrade (Santigrat)
dB	:	Desibel
g	:	Gram
kg	:	Kilogram
km	:	Kilometre
lux	:	Lüx, aydınlık şiddeti
m	:	Metre
mm	:	Milimetre
MPa	:	Megapascal
µ	:	Mikro
µm	:	Mikrometre
N	:	Newton
pxl	:	Pixel (Piksel)
v	:	Volt

Kısaltmalar

ASR	:	Alkali-silika reaksiyonu
İTÜ	:	İstanbul Teknik Üniversitesi
KYB	:	Kendiliğinden yerleşen beton
MAX	:	Maximum (Maksimum)
MİN	:	Minimum
PMMA	:	Polimetilmetakrilat
RH	:	Relative Humidity (Bağıl nem birimi)
UV	:	Ultraviyole
YY	:	Yüzyıl

ŞEFFAF BETONUN MİMARİDE KULLANIMI VE ÜRETİMİNE YÖNELİK DENEYSEL BİR DEĞERLENDİRME

ÖZET

Mimarlıkta soyut kavramların, düşüncelerin aktarılması biçim aracılığıyla sağlanmaktadır. Mimari tasarım, malzemeyi malzeme olmaktan çıkarıp onu anlatım biçimine çevirerek gerçekleştirilir. Böylelikle soyut somutlaşır, somutlaştığı anda soyutluk aranır ve farkındalık sağlanır.

Biçimin vardığı nokta özne-nesne ilişkisine dayanmaktadır. Bu ilişki sağlanabildiği takdirde, biçim estetik bir değer kazanır. Plastik bir malzeme olmasından dolayı biçimi en kolay yansıtabilme özelliğiyle beton, mimarlık alanında önemli bir konumdadır. Modern mimarlıkta malzeme seçimi mekânsal olarak iç-dış bütünlüğünü sağlayabilmek için önemlidir. Malzeme ancak kendi doğallığıyla kullanıldığında bir anlamı ve estetiği olmaktadır.

Işık, mimarlar için vazgeçilmez bir tasarım aracıdır. Tasarımda önemli olan ışığı en anlamlı haliyle kullanabilmektir. Işık zaman kavramının algılatıcısı olmakla birlikte, nesnenin özneyle ilişki kurabilmesini sağlayan önemli bir faktördür. Yapılarda sağlanan saydam-yarısaydam ve opak yüzey kombinasyonlarında mekâna ulaşan ışık, algı da farklılıklar yaratmak suretiyle önemli bir tasarım aracına dönüşmektedir.

Çalışmada ışığı geçiren hafif beton tasarımı ile önemli mimari kavramların bir arada ve tekrar yorumlanması hedeflenmiştir. Masif betonun farklı dokularda, renklerde kullanılması ve ışığı geçirir niteliğe kavuşturulması görsel algıda farklılıklar oluşturmaktadır. Bu durum da yapılara farklı kimlikler kazandırmaktadır. Aynı zamanda farklı saydamlık düzeyleriyle de yapıya mistik bir hava verilebilmektedir. Küreselleşmenin yaşandığı günümüzde kaynak tüketiminin azaltılması hedeflenmektedir. Enerji tüketimi dağılımında yapılar önemli bir paya sahiptir. Işığı geçirir nitelikteki şeffaf betonun kullanımıyla, tüketilecek enerji miktarının azaltılması hedeflenmektedir. Aynı zamanda şeffaf beton iç ve dış sürekliliğini sağlayabilecek önemli bir yapı malzemesi olarak belirginleşmektedir. Tez kapsamında şeffaf beton tüm bu sorgulamalar çerçevesinde incelenmiş ve şeffaf beton üretimine yönelik deney çalışmasında malzemenin teknik özellikleri incelenmiş, doğal aydınlatmaya ilişkin bulgular ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Işık, Opak, Saydam, Şeffaf Beton, Yarısaydam

USE OF TRANSPARENT CONCRETE IN ARCHITECTURE AND AN EXPERIMENTAL ESTIMATION TOWARDS PRODUCTION

ABSTRACT

Tranfer of abstract concepts and ideas are provided by form at the architecture. Architectural design is carried out by turning from the material is not only material at the same time it is form of expression. Thus, abstraction is searched and provided awareness when abstract is concretized.

Reached the point of form is based on subject-object relationship. The form will win an aesthetic value if subject establish a relationship with the object. Concrete is an important position in the space of architecture with to reflect the feature best of the form. The choice of material is important to ensure the integrity of the inner and outer spatial in the modern architecture. Material will be aesthetic and sense when it is used with only its naturalness.

Light is an essential design tool for architects. To use the light with situation of the most sense is important at the design. Although the light is attention at concept of time, it is an important factor providing of object can build relationships with subject. Provided in buildings transparent-opaque surfaces creates differences in perception and obvious as the most of ideal using to tool of the light.

Important architectural concepts are targeted together and re-interpretation with design of passing light lightweight concrete in this study. Differences in visual perception is formed with using different tissues, colors and attaining the light passes the qualification of solid concrete. This situation gives different identities at structures. At the same time the structure can be given a mystical atmosphere with different levels of transparency. Benefit more from natural enlightenment is thought with to use transparent concrete, which is an important part the source of energy loss in buildings, to target of environment mitigation in those days of globalization. At the same time transparent concrete, which is made of concrete with more transparent, is an important building material to provide continuity of interior and exterior. Transparent concrete is examined at the all these queries within the framework and the findings of natural lighting is studied to put forward addition to the technical characteristics of the material with an experimental study towards production of the transparent concrete in scope of this thesis.

Keywords: : Light, Opaque, Transparent, Transparent Concrete, Translucent

GİRİŞ

Ünlü Filozof Herakleitos' a göre 'Değişmeyen tek şey değişimdir' [1]. İnsan hayatı da bu sözü doğrular bir biçimde sürekli bir değişim ve gelişim sürecindedir. Bu değişim ve gelişim teknoloji alanını etkilediği gibi mimarlığı ve mimari kavramları da etkilemektedir.

İlk çağlarda insanoğlunun barınaklarını oluştururken malzemeleri doğada bulunduğu biçimi ile kullanmasına karşın, teknolojik gelişmelerin yarattığı işlevsel değişimlerin gerektirdiği ihtiyaçlar doğrultusunda malzemeler değişim göstermiştir. Bu gelişim içerisinde yapı üretiminde beton malzeme olarak önemli bir yere sahiptir.

Beton 5000 yıl öncesinden beri bilinen önemli bir yapı malzemesidir. Şekil verilebilme kolaylığı, fiziksel ve kimyasal dış etkilere dayanıklılığı, ekonomik oluşu, üretim pratikliği, sürdürülebilirliği, enerji sakınımı ve geri dönüştürülebilirliği ile güncelliğini kaybetmeyen ve günümüzde de çeşitli türlerinin oluşturulması ve geliştirilmesi için üzerinde çalışılan önemli bir malzeme türüdür.

Beton taşıyıcı elemanların yapımında asal malzeme olarak kullanılmasının yanı sıra, yalıtım ve kaplama malzemesi, hazır ve dekoratif elemanlar olarak da kullanılmaktadır. Gelişen teknikler sayesinde çeşitli türlerinin oluşturulması ile sıradanlığının değiştirilmesi ve esnek tasarım olanakları sunması bakımından da mimarinin vazgeçilmez bileşenidir. Beton yapay olarak görünmesine karşın oluşumunu sağlayan malzemeler doğrultusunda doğa ile yapı arasında bir arakesittir. Betona her türlü şekil, renk ve doku verilebilmektedir.

Önemli pek çok yapı, betonun plastik özelliğinin ve masif ama etkili görüntüsünün vurgulanması ile öne çıkmıştır. Yalınlık ilkesini benimseyen modern çağ mimarlarının önemli bir bölümü, betonu kaplama malzemeleriyle örterek değil, masif ve yalın yüzey etkisi vererek 'Brüt Beton' olarak kullanmayı yeğlemişlerdir.

Beton ile yüzeylerde sağlanan saydamlık ve opaklık kavramları, mimari tasarımların yeniden yorumlanmasında etkili olmaktadır. Mimarlıkta, geçmişte olduğu gibi günümüzde de saydamlığın ve opaklığın oluşturduğu iç-dış bağlantısı ve zaman-mekân algısı sorgulanmaktadır. Bu birlikteliklerin algısal olarak doğurduğu sonuçlar, işlevsel açıdan da incelenmektedir.

Günümüzün önemli mimarlarından Norman Foster'a göre mimarlık; hem bir iç mekân hem de dış mekân deneyimidir. En iyi mimarlık, sokakla veya ufuk çizgisiyle olan ilişkisinden kendisini ayakta tutan strüktüre, işlemesine izin veren mekanik sistemden binanın ekolojisine, kullanılan malzemelerden mekânların kişiliğine, ışık ve gölgenin kullanımından, biçimin simgesel anlamına ve şehirdeki ya da kasabadaki varlığını nasıl gösterdiğine kadar, onu bir araya getiren parçaların sentezinden ortaya çıkar [2].

1. ÇALIŞMANIN AMAÇ, KAPSAM VE YÖNTEMİ

Tasarım malzemesi olarak önemli bir yere sahip olan ve geleceğin çok kullanılacak bir malzemesi olarak belirginleşen şeffaf beton, dünyada ve Türkiye'de maliyeti yüksek bir malzeme olması nedeni ile günümüzde henüz hak ettiği yeri bulamamaktadır. Bu çalışma ile dünyada az sayıda ülkemizde ise yalnızca bir firma tarafından üretilen şeffaf betonun teknik özelliklerinin ve mimari alandaki öneminin ortaya konulması amaçlanmıştır.

Bu bağlamda literatür taraması ve uygulama olmak üzere iki aşamalı olarak planlanan bu tez çalışmasının I. aşamasında şeffaf beton kullanımı ile gündeme gelen mimari kavramlar, beton ve gelecekte çok kullanılması beklenen beton türü olarak da şeffaf beton ele alınmıştır. Çalışmanın II. aşamasında ise şeffaf beton üretimine yönelik bir deney çalışması yapılmış ve elde edilen numunenin ışık geçirgenliği ve teknik özellikleri incelenmiştir.

Bu aşamalar bağlamında tez 6 bölümden oluşmaktadır. Tezin 1. bölümünde çalışmanın amaç ve kapsamı tanıtılmıştır. 2. bölümünde mimarlıkta önemli olan ve şeffaf betonun bünyesinde barındırdığı**,** günümüz tasarımlarında adı çok geçen "sürdürülebilirlik", betonun ışığı geçirmesiyle cephelerde oluşan "saydamlık", "yarı saydamlık" ve "opaklık" kavramları ele alınarak mimari sorgulamaları yapılmıştır.

3. bölümde çalışmanın temelini oluşturan modern çağın yapı malzemesi betonu tanıyabilmek için betonun tarihsel süreçte gösterdiği ve göstermekte olduğu gelişim, betonun mimarlıktaki yeri, anlamı ve önemi, betonunun diğer yapı malzemelerine göre avantajları ve dezavantajları, beton türlerinden şeffaf betonun oluşumunu sağlayan veya oluşumunda kullanılabilecek beton türleri incelenmiştir.

4. bölümde betonda en son denenen ve çok yeni bir buluş olan şeffaf betonun tarihsel gelişimi, şeffaf betonun süreç içerisindeki uygulama yöntemleri ve teknik özellikleri, uygulanmış örnekleri mimarlık açısından ele alınmıştır.

5. bölümde ise ışığı geçiren betona ilişkin bir deney çalışması yapılmış ve bu çalışmada izlenen süreç, malzeme, kullanılan cihazlar, uygulama yöntemleri anlatılmış ve deneyin sonuçları irdelenmiştir.

Çalışmanın son bölümü olan 6. bölümde ise kavramsal olarak yapılan incelemeler ve deney sonuçları üzerinden bir değerlendirme yapılmış ve önerilerde bulunulmuştur.

Çalışmanın yöntemi, literatür araştırmasına dayanarak mimarlıktaki güncel tartışmaların ve mimarlar için önemli bir yapı malzemesi olan betonun incelenmesi, şu ana kadar dünya üzerinde yapılmış şeffaf beton örneklerinin irdelenmesi ve şeffaf betonun üretilmesine yönelik bir deney çalışmasının gerçekleştirilmesi olarak belirlenmiştir.

Şeffaf beton hakkında literatür aracılığı ile elde edilen bilgiler betonun teknik ve fiziksel özelliğine göre tablolaştırılmış ve bu yol ile şeffaf betonun tasarımsal olarak kullanılabileceği alanlar tespit edilmiştir. Bu araştırmalardan sonra böyle bir betonun üretimini fiziksel ve mekanik olarak inceleyebilmek ve doğal aydınlanma ile ne kadar enerji tasarrufu sağlanabileceğini tespit etmek için Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda şeffaf beton numunesi oluşturulmuş ve numunenin fiziksel ve mekanik deneyleri yapılmıştır. Kocaeli Üniversitesi Teknopark Lazer Merkezi ile İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Aydınlatma ve İç Tesisat Laboratuvarı'nda çeşitli aydınlanma deney çalışmaları yapılmıştır. Araştırmalardan ve deneylerden elde edilen sonuçlar değerlendirilerek önerilerde bulunulmuştur.

Bu çalışma ile; şeffaf betonun daha iyi tanınmasıyla çeşitli tasarımların önünün açılması amaçlanmaktadır. Aynı zamanda ışığın anlamlı bir şekilde kullanılmasını sağlayan ve malzeme olarak güçlü bir tasarım aracı olarak kullanılan şeffaf beton kullanımının artacağına katkıda bulunulması amaçlanmaktadır.

2. MİMARLIK VE KAVRAMLAR

Şeffaf betonun kullanımıyla, geçmişten günümüze kadar mimari platformlarda tartışılan pek çok kavramın bu malzeme aracılığı ile tekrar gündeme gelmesi gerekliliği açıktır. Bu gerçekten hareketle günümüz mimari tasarımlarında çok önemli olan sürdürebilirlik kapsamında gerek mekân olgusu gerekse saydamlık ve opaklık kavramları incelenmiştir.

2.1. Mimarlık ve Sürdürülebilir Çevre

Mekân kurgusunda ekonomik, sosyal, çevresel, kültürel ve teknolojik sürdürülebilirliğin sağlanmasına yönelik kaygılar ön plana çıkmakta ve bu etmenler doğrultusunda tasarım olgusu şekillenmeye başlamaktadır. Bu girişimler de yeni yapı malzemeleri aranmasına neden olmaktadır.

Dünya kaynaklarının hızlı tüketilmesinin yanı sıra, yenilenemeyen enerji kaynaklarına dayalı üretim ve yaşam tarzının çevreye verdiği zarar 1900`lü yıllarda anlaşılabilmiştir. Sürdürülebilirlik kavramı da bu aşamada geliştirilmiş, benimsenmiş ve bir değer elde etmiştir. Aslında temellerini ekonomi ve çevre kavramlarının bir arada uyumlu bir şekilde çalışabileceği anlayışının oluşturduğu sürdürülebilirlik kavramının ortaya çıkması ile yeni tasarım anlayışlarının benimsenmeye başlanması kaçınılmaz olmuştur [3].

1987 yılında 2. Brundtland komisyonu (WCED)'nun raporu ile önem kazanmaya başlayan sürdürülebilir kalkınma kavramı, daha sonraları 1992'de Rio de Janerio'da düzenlenen "Yeryüzü Zirvesi" ile pekiştirilmiş ve mimari tasarım olgusunda da dikkate alınması gereken bir kavram olarak ortaya konmuştur. Çalışma alanı olarak çeşitli bilim dallarınca ele alınan sürdürülebilir kalkınma konusu üzerine Amerika Kongre Kitaplığında 4.410 dan fazla kitap ve daha onlarca rapor, makale, konuşma ve tartışma olduğu düşünüldüğünde, konunun ne kadar karmaşık bir yapıya sahip olduğu anlaşılabilmektedir [3].

Sürdürülebilirlik; hammadde tüketiminin en aza indirilmesi, kaynakların verimli kullanılarak topluma uygun bir şekilde dağıtılması ve tüketim kararlarının önceden belirlenmesi ile sağlanabilmektedir. Sürdürülebilir kalkınma, ekolojik sürdürülebilirlik ile planlama kararlarının en iyi hedeflere ulaşması için en uygun stratejilerin saptanması ve uygulanması ile doğru sonuçlara ulaşmayı hedeflemektedir.

Günümüzde sürdürülebilirliğin getirdiği yeşil binalar anlayışı yaygınlaşmakta ve bununla ilgili olarak yapılara Avrupa standartlarında çeşitli sertifikalar verildiği bilinmektedir. Tüm bu gelişmeler modern mimarlıkta sağlıklı bir çevre planlaması için malzeme seçimi, enerji kaynaklarının kullanımı, geri dönüşüm çemberinin tanımlanmasıyla mekân oluşumunun irdelenmesini sağlamaktadır. Mekân oluşumunda, doğaya dönüşümü ilke edinen, çevreye saygılı, kısacası ekolojik malzemeler ile tasarım dünyasında yeni anlayışlara fazlasıyla ihtiyaç duyulmaktadır.

Enerji tüketiminin büyük bir kısmını oluşturan yapılar, enerjinin etkin olarak kullanımını sağlamak üzere pasif ısıtma-soğutma ve aydınlatma sistemi olarak tasarlanması gerekmektedir. Bu bağlamda şeffaf beton kullanımıyla mekân görsel konfor koşullarının sağlanması, yapay aydınlatma yolu ile tüketilecek enerji miktarını azaltarak, enerji sakımına katkıda bulunaktır.

Sürüdürebilirlik kapsamında mekân oluşumunda önemli olan dolu-boş ve opak-saydam ilişkisi ile yapılarda doğal ve yapay aydınlanmanın doğru ve verimli şekilde kullanılması açısından şeffaf beton; kaçınılmaz olan yeni malzeme arayışına bir çözüm olacaktır.

2.2. Mimarlıkta Saydamlık ve Opaklık Kavramları

Maddenin gözlemlenebilir, kendine has bir özelliği olarak tanımlanabilen fiziksel saydamlığı ya da opaklığı, ancak üç temel kavram bir araya geldiğinde algılanabilir. Bunlar görsel algının temelini oluşturan; ışık, madde ve boşluktur. Bu kavramlar nesneler arasında ve nesnelerin kendi içinde var olan saydamlık-opaklık dengesini tanımlayan ana bileşenlerdir. Işık, madde ve boşluk arasındaki ilişki, görme süreciyle birleşerek bir madde tanımlamaktadır [4]. Işık etkisi; renkler, dokular, kırılmalar,

yansımalar, gökkuşağımsı süzülmeler, saydamlıklar, buğulu yansımalar, optik yansımalar, derinlik ve malzeme etkisini doğurmaktadır.

Kahn "Her mekân, yapısıyla ve doğal ışığının karakteri ile tariflenir. Mimari bir mekân, uzayın içinde nasıl varolduğunu açıklamak zorundadır. Mekânın yapılışı, yapı ve ışığın birlikte yönetimiyle olur." diyerek nesneleri algılayabilmemiz ve onların varlığını oluşturan ışığın mimarlık için önemini vurgulamıştır [5].

Işık sayesinde algılanan maddenin saydamlığının ya da opaklığının algısında en önemli etken eşzamanlılıktır. Saydam olan nesnenin ve arkasındaki nesnenin algılanmasını sağlayan görenin görülene olan mesafesidir. Mesafe algısı bir çeşit üç boyutlu görme şeklidir. Mesafe ve derinlik hislerinin ortaya çıkışı perspektif, gölge ve hareketten kaynaklanır. Mesafenin algılanmasıyla da saydamlık daha kolay algılanır.

Mimarlıkta saydamlık ve opaklık kavramları her ne kadar mekânsal düzenleri içerse de çoğunlukla cephe ile eşdeğer bir biçimde yer almıştır. Bunun da nedeni saydamlığı ve opaklığı mimari dile ve yapıya taşıyanın, yapının dış kabuğunu oluşturan cephe olmasıdır.

18. yüzyılda mimarlık literatürüne bir kavram olarak giriş yapan cephe; konumuyla iç ve dış mekân arasında ilişkiyi belirleyen, saydamlığı ve opaklığı ile iç-dış arasında bir sınır koyan veya bütünlük oluşturan önemli bir elemandır.

Cephe organizasyonunda yer alan ve en önemli elemanlardan biri olan duvar; geçmişten günümüze kadar gelen mimari ürünlere bakıldığında sahip olduğu strüktür, malzeme, renk ve doku gibi yüzey özellikleriyle cephe üzerinde en çok söz sahibi olan elemandır. Dolayısıyla cephenin opaklıktan saydamlığa ya da saydamlıktan opaklığa dönüşerek iç ve dış mekân arasındaki ilişkisini belirleyen konumunu; duvarın süreç içindeki opaklık-saydamlık boyutunun dönüşümü ile sorgulanmasıyla mümkündür [4].

Cephelerin saydamlığını ve opaklığını sağlayan bir sınır elemanı olan duvarın tasarımı, malzemesi, sağırlığı ya da saydamlığı bir problematik haline gelmiş ve tartışma konusu olmuştur. Duvarın strüktürel sistemden özgürleşmesi ve sınır

elemanı olması tekrar yorumlanması ihtiyacını beraberinde getirmiştir. Duvar iç mekâna mı, yoksa dış mekâna mı aittir, ya da her ikisine de mi aittir? Loos' a göre duvar, maskedir. Maske koruyucu ve gizleyicidir. Loos iç dış kavramını farklılaştırırken buna bağlı olarak pencere elemanını da farklı tanımlar; iç pencere, dış pencere olmak üzere. Loos'a göre pencere manzarayı çerçevelemez, o ışığın kaynağıdır. "Ev dışa bir şey söylemek zorunda değildir, onun bütün zenginliği için manifesto olmasıdır", " Ev yersizdir, böylece evin gizliliği, gizemi tutunabilir" [6].

Cephelerin hâkim olduğu opaklık 20. yüzyıl mimarisinde ve modern mimarlıkta yerini yüzeyin saydamlığına bırakmıştır. Pencere ve cam kavramları köklü bir değişime uğramıştır. Pencere iç-dış arasında ilişkiyi kuran, mekânsal sürekliliği sağlayan ve görsel algıyı devam ettiren bir yapı kabuğu haline dönüşmüştür.

Zevi, boşlukların sınırladığı her yerde - kapalı mekân, kent, sokak, meydan mimarlığın olduğunu söylemekte ve bu görüşüyle de mimaride dolu ve boş ilişkisinin önemini vurgulayan, dolulukların mekânsal sürekliliği kesebileceğini, bunun sonucunda için dıştan, dışın içten ayrıldığına işaret ederek mimaride bir sınırlamanın uygulanabileceğini göstermektedir [4]. Yapı bileşenlerini oluşturan duvarlar, taşıyıcılar ve kolonlar iç mekânı sınırlandırırken aynı zamanda da yapıyı dış (kentsel) mekândan ayırmakta veya dış mekânı devam ettirmektedir. Bununla birlikte mekân, çevreden ayrı izole bir kavram değildir, doluluk ve boşlukları ile yatayda ve düşeyde diğer mekânlarla ilişkiler kurabilmektedir. Bu ilişkiler çerçevesinde insanın hareketleriyle bağlantılı olarak "süreklilik kavramı" ortaya çıkmıştır. Mimaride süreklilik kavramının var olması, mekânsal düzenlemede iç-dış arası ilişkinin kurulabildiğine işaret eder. Bu ilişki tarih boyunca dolulukları ve boşlukları sağlayan saydamlık ve opaklık kavramları ile gerçekleştirilmiştir [4]. Dolu-boş ilişkisini sağlayan saydamlık ve opaklık mimarinin algılanması açısından farklı sonuçlar oluşturabilmektedir. Birbirleriyle zıt ifadeler olan saydamlık ve opaklık kavramları birbirlerini tamamlayan ve farkındalığı sağlayan mimarın vazgeçilmez kavramlarıdır.

2.2.1. Saydamlık kavramı

"Saydam", kelime anlamına göre, "İçinden ışığın geçmesine ve arkasındaki şeylerin görülmesine engel olmayan (cisim), şeffaf" anlamına gelmektedir. Aynı sözlüğe göre taşıdığı yan anlam, "Açık seçik, belirgin" dir [7].

Gyorgy Kepes'in "Görmenin Dili" (Language of Vision) adlı yapıtında kavram daha ileri yorumlanma düzeyleri bulmuştur. Saydamlık farklı mekânsal düzlemlerin eş anlı algılanması anlamına da gelir. Mekân geri çekilmekle kalmayarak sürekli etkinlik içinde dalgalanır. Saydam figürlerin konumları, figürlerin kâh daha yakında, kâh daha uzakta görülmesiyle çoklu anlam taşırlar. Birbirinin üstüne binen iki ya da daha fazla figür gördüğümüzde, eğer bunların her biri üst üste binen ortak kısım için kendisine bir çekim yaratıyorsa, mekânsal boyutların karşıtlığı ile karşı karşıyayız demektir. Bu karşıtlığı çözmek için yeni bir görsel niteliğin varlığına egemen olmak gerekir. Figürler saydamlığı kavrarlar; yani, görsel engel oluşturmaksızın birbirlerinin içine tamamen girebilirler. Ancak saydamlık görsel bir özellik olmaktan ötesini içerir, daha geniş bir mekânsal düzeni belirtir [8].

Rowe ve Slutzky saydamlıkla ilgili makalelerinde saydam olanı, 'saydamlık' düşüncesinden uzaklaştırarak 'açıkça belirsiz olan' haline getirmişlerdir. Bu tanımla saydamlık, maddenin kendine özgü bir niteliği olabileceği gibi, farklı malzemelerin bir arada örgütlenmesiyle algı boyutunda yaratılabilen bir kavram olarak da kabul edilebilir [8].

2.2.2. Yarı saydamlık kavramı

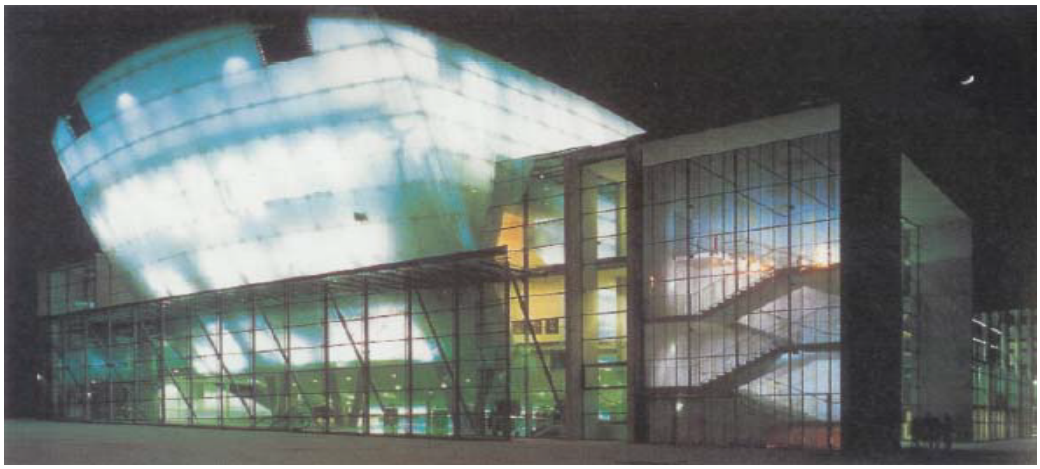
Maddenin tam geçirgen olmama durumudur. Görüntü veya ışık; var olduğu gibi değil de malzemeden kaynaklanan deformasyonla algılanır. Görme sürecine, görülen nesne ile birlikte, gözle nesne arasındaki yarı saydam malzeme de eklenir. Örneğin; buzlu cam, naylon poşet, tül perde gibi yarı geçirgen malzemelere bakıldığında hem bu malzemeler hem de arkasında var olan nesneler görülebilir.

Yarı saydam malzeme iki zıt kavramın arakesitindedir. Ne saydam gibi açık ve nettir, ne de opak gibi kapalıdır. Arkada olan ile ilgili merak uyandırır, hissettirir. Fakat ne olduğu ile ilgili tam bilgi vermez. Yalnız dikkatli bakılınca kavranabilir. Işık ve iklim değişiklikleri ile görsel etkiler yaratabilir ve hayal kurmaya yardımcı olur. Söz konusu malzeme ile mistik bir durum sergilenebilir.



Şekil 2.1. Van Valkenburgh; Radcliffe Ice Walls [8]

Michael Van Valkenburgh'un gerçekleştirdiği Radcliffe Ice Walls ile dondurucu havada hafif delikli bir metal çit üzerinden serbest olarak bırakılan su akıntısının aşağı inerken oluşturduğu yarı saydam geçiş olanağı veren buzlanma ile metaforik bir anlatımın işlendiği görülmektedir (Şekil 2.1) [8].



Şekil 2.2. Klaus Kada'nın tasarladığı, St. Pölten'deki Festival Evi [8]

Avusturya Mimarisi'nden yarı saydamlığa verilebilecek çarpıcı örnek Klaus Kada'nın tasarladığı St.Pölten'deki Festival Evi'dir (Şekil 2.2). Bu binada tam saydamlık ve yarı saydamlık uyumlu bir bütünleşme gösterir. Yarı saydam konser salonu, tam bir prizma olan binanın içinden eğimli formuyla dışarıya fırlamıştır. Salonun eğimi kütlesine yansıtılırken, iç mekân yarı saydam cam kullanımıyla giriş holünden görsel anlamda izole edilmiştir. Özellikle geceleri, binanın yapay aydınlatmasının bu ikili kompozisyona kattığı görsel zenginlik, saydam ve yarı saydam dokuların bir arada kullanılmasının doğruluğunu kanıtlar niteliktedir [8].

2.2.3. Saydamsızlık / Opaklık kavramı

Bir nesnenin ışığı diğer tarafa geçirmeme, dolayısıyla arkasındaki nesnenin mevcudiyetine dair hiçbir bilgi vermeme durumudur. Bu durumda ışığı ve nesnelerin görüntülerini geçirmeyen malzemeler ön plana çıkar. Malzemenin yoğunluğunun yüksek olmasından dolayı görme sürecinde sadece bu malzeme yer alır. Arkada bulunan nesne, malzemenin sahip olduğu hacimce tamamen örtülür, geçirgenlik ve saydamlık söz konusu değildir. Opak malzeme gizli, kapalı, bilinmez ve sürprizlerle doludur. Saklayıcı, gizemli, kendisine ve arkasındakine ilişkin imalarla yüklü ve zamansızdır.

2.3. Bölüm Değerlendirmesi

Mimarlıkta önem taşıyan mekân kurgusunda, sınırlar veya sınırsızlıklar önemli yer tutmaktadır. Bu sınırlamalar çerçevesinde, enerji verimliliğini de sağlayan tasarımların oluşturulması günümüzde kaçınılmaz hale gelmiş ve sürdürebilir malzeme arayışları hız kazanmıştır.

Sınırları oluşturan doluluk ve boşluk, saydam ve opak yüzeylerin ışığı geçirme düzeyleri ile sağlanmaktadır. Opak bir yüzeyle sınırlar oluşturulur, iç-dış bağlantısı kesilir. Yarı saydam bir yüzey ile iç-dış bağlantısı belirsiz bir şekilde sağlanır. Saydam yüzeyler ile iç-dış sürekliliği sağlanarak sınır ortadan kaldırılır. Tasarımda önemli olan ışığı opak, yarı saydam ve saydam yüzeyler ile en anlamlı şekillerde kullanabilmektir.

Enerji sakınımı ve aydınlanma açısından mekânlardaki iç yaşamın doğal aydınlanma ile sürdürülmesi önemlidir. Farklı düzeylerdeki ışık geçişleri ile aydınlanma sağlanırken farklı kimliklerde tasarımlar oluşturulabilmektedir.

Tüm bu kavramların sorgulanmasını sağlayan, pek çok çeşidinin üretilerek saydamlık düzeyleri ile de oynanan, sürdürülebilir, tasarımsal aynı zamanda taşıyıcı bir malzeme olan beton, tüm bu özellikleriyle yapı malzemesi olarak önemli bir yere sahiptir.

3. YAPI MALZEMESİ OLARAK BETON VE MİMARLIKTAKİ YERİ

Beton, en ilkel ve kaba şekliyle 5000 yıl kadar önce, Mısır Piramitleri'nin yapımı sırasında kullanılmıştır. Hammaddesinin doğada bol miktarda bulunması, plastik özelliğinden dolayı istenilen şekli kolayca alabilmesi, her türlü hava koşullarına uzun yıllar dayanabilmesi, mukavemeti ve ekonomik olarak çok uygun olması gibi pek çok avantajından dolayı beton, vazgeçilmez bir yapı malzemesi olarak ön plana çıkmaktadır.

Bağlayıcıların keşfinden sonra yapılan çeşitli araştırmalar sonucu hidrolik kirecin bulunması çimento üretimine giden yolda önemli bir adım olarak görülmektedir. Romalılar için hayati önem taşıyan betonun önemli karışımı olan çimentonun en ilkel halini Romalılar bulmuş ve kullanmıştır. Çimento, daha sonra 1824 yılında İngiltere'nin Leeds Kenti'nde tuğla yapımıyla uğraşan Joseph Asbdin isimli bir duvar ustası tarafından geliştirilmiştir ve ortaya çıkan son ürünün İngiltere'de Portland adasından getirilen yapı taşlarına çeşitli özellikleriyle benzediği görülünce Portland Cement (Portland çimentosu) adıyla patent alınmıştır. Joseph 1825'te kurduğu küçük bir fabrikada üretime başlamıştır. Bu çimento, üretim esnasında karışıma giren malzemelerin gerekli yüksek sıcaklıkta pişirilememesinden dolayı bugün kullanılan Portland Çimentosuyla aynı özelliklere sahip olamamıştır. 1845 yılında İngiltere'de Isaac Johnson isimli bir İngiliz hammaddelerin uygun oranlarını ve pişirme sıcaklığını yeniden tespit ederek günümüzde kullanılan Portland Çimentosuna ilişkin normları belirlemiştir [11]. Portland Çimentosu günümüzde kullanılan betonun temel maddesidir.

Sanayi devrimi ile birlikte yeni malzeme arayışları artmış ve seri üretime geçilmiştir. 1877'de betonarme sisteminin bulunmasıyla yapı üretim teknolojisini etkileyen önemli gelişmeler olmuştur. Daha sonra farklı amaçlara hizmet edebilen çimento çeşitleri üretilmiştir. Çimentonun üretimi ve kullanımı 19. yüzyılın ikinci yarısından itibaren İngiltere dışında da birçok ülkeye yayılmıştır [9].

Betonun istenilen kalitede olması, hızlı bir şekilde üretilebilmesi ve beton oluşumu için gerekli malzemelerin gerekli oranlarda karıştırılmak istenmesi sonucu günümüzdeki hazır beton ortaya çıkmıştır. Hazır beton üretimi dünyada ilk kez 20. yüzyıl başında (1903) Almanya'da gerçekleştirilmiş, sonraki birkaç yıl içerisinde de ABD'de görülmeye başlamıştır. 1914 yılında beton taşıma amaçlı "transmikser" aracı Amerika'da geliştirilmiştir. Özellikle savaş yıllarından sonra, bazıları bugün de faaliyette olan pek çok hazır beton firması kurulmuştur. Sonraki yıllarda hazır betonun yapıların temel inşaat malzemesi olarak benimsenip yaygınlaşmaya başlaması uzun sürmemiş, kısa zamanda pek çok ülkede hazır beton üretilip kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısıyla birlikte hız kazanan kentleşme ve alt yapı çalışmaları, hazır beton ve beton ürünlerinin daha çok üretilip kolayca yaygınlaşmasını sağlamıştır. Dolayısıyla bu alanda pek çok teknolojik gelişme kaydedilmiştir [12]. Hazır beton teknolojisinin gelişimi ise beton kullanımını yaygınlaştırmıştır.

Dünyada beton üzerinde ayrıntılı araştırmalar ve karışım hesapları için esasların geliştirildiği yıllar 1950-1960'lı yıllardır. Daha sonra betonun çeşitli zaman dilimleri içindeki davranışı, döküm tekniği, ekipman kalitesinin devamlılığı, kalite kontrol deneyleri, betonda ekonomiyi artırma, daha zor şartlarda beton yapıların inşası, yeni malzemeler, katkı maddeleri, iş programlama yöntemleri ve ekonomisi konularında büyük gelişmeler olmuştur [9].

Betondaki gelişmeler, teknik olarak betonun iyi bir yapı malzemesi olması ve taşıyıcı olarak kullanılmasının yanında biçimi en iyi şekilde yansıtabilen ve estetik bir malzemeye de dönüşebilmesi nedeniyle mühendislerin yanında mimarların da çok tercih ettiği bir yapı malzemesi olmasını sağlamıştır.

1954 yılında betonun malzeme, biçim ve işlev olarak yalınlığı ifade etmesi mimarlar arasında yeni bir akım başlatmış ve Brütalizm akımını ortaya çıkarmıştır [13].

3.2. Beton ve Mimarlıktaki Yeri

Mimarlıkta belli bir düşüncenin aktarılması yapı malzemesine, teknik olanaklarla verilen biçim aracılığı ile mümkün olmaktadır. Mimar düşünceden hareketle biçime varır. Soyut düşünce mimari üründe somutlaşır. Mimari ürün bu noktadan sonra

toplumun malı olur ve tersine bir süreç başlar. Bu süreç, somut biçimden, soyut düşünceye varma süreci ve somut biçimin gündelik hayat içinde anlamlanma süreci olarak işler [6].

19. yüzyıl eski toplumsal değerlerin, yargıların ve beğenilerin kökten sarsıntıya uğradığı, ancak yenilerin de kurulamadığı bir dönemdir. Bu dönemde, estetik değer yargıları hep geçmişten beslenmiş ve Neo-Akımlar olarak karşımıza çıkmıştır. Arendt'e göre bu durum kaçınılmazdır. Çünkü yeni toplumsal gerçeklikler yeni biçimini oluşturmadan önce geçmişi tekrar ederler. Malzeme ve biçim ilişkisi özellikle modern mimarlık eleştirmenleri tarafından bir değerlendirme kriteri olarak kullanılmaktadır [6].

20. yy. başında, Wright " Bir malzeme için uygun olan bir tasarım bir başka malzeme için uygun olmayabilir" belirlemesini yapmaktadır. Bu düşünce, yani malzeme ile biçimin doğrudan ilişkili olduğu düşüncesi, 20. yüzyılın temel problematiğini oluşturmaktadır. Yeni malzemelerin yeni biçimler tanımlaması problemi, 19 yüzyılda ortaya konulsa da, çözümler ancak 20. yüzyılda üretilebilmiştir. Endüstri döneminin iki yeni malzemesi olan beton ve çelik başlangıçta estetik bir malzeme olarak ele alınmamaktadır. Mühendisler betonu teknik yönleriyle, mimarlar ise bir süre üstü örtülen bir malzeme olarak kullanmıştır [6]. Daha sonra ise beton Brütalizm akımı ile estetik bir değer kazanmış, mühendislerin yanında mimarların da çok tercih ettiği bir yapı malzemesi haline dönüşmüştür. Betonun yalın hali ön plana çıkarılarak önemli sayıda yapı yapılmıştır.

Malzeme, biçimsel ifade kazanırken, örneğin, beton yapı yüzünün bir zırh, ya da deri, ya da maske gibi ele alınması, tasarımcılar tarafından anlam yüklenebileceğini göstermektedir. Estetik değer, tasarımcının biçim ile ortaya koyduğu içeriğin özne tarafından keşfedilmesiyle oluşmaktadır. Tasarımcı, malzeme, biçim, içerik ilişkisini baştan kurgulamaktadır. Anlamın oluşma süreci ise öznenin bu kurgulanan anlamı keşfetmesi olarak işlemekte ve bu bağlamda estetik bir değer oluşmaktadır [6].

Betonun inşaat sektöründe kullanılmaya başlamasından itibaren çağdaş Avrupa Mimarlığı'nın öncü mimarları bu malzeme ile yaratıcı çözümler sunmaya başlamıştır. August Perret'in 1900'lerin başında yaptığı ilk betonarme apartmandan bu yana Modern Mimarlığın en önemli isimleri betonu gerek taşıyıcı olarak gerekse

bitirme malzemesi olarak kullanmışlardır (Şekil 3.1). Bu isimlerin en önemlisi Le Corbusier'dir. Corbiser'in Modern Mimarlık tarihinde çok önemli bir yer tutan Villa Savoy'u (Şekil 3.2), Amerika'daki tek yapısı olan Carpenter Center'i, Hindistan'ın Chandigarh eyaletindeki Meclis Binaları, Marsilya Blokları ve pek çok diğer yapısı, betonun ustaca kullanıldığı eserleridir. 1940'lı yıllarda Louis Kahn hala dünyanın en güzel binalarından biri sayılan Salk Enstitüsü ve Kimbell Sanat Müzesi'ni (Şekil 3.3), Eero Saarinen, Pierre Luigi Nevri, Felix Candela ve Oscar Niemeyer (Şekil 3.4) ise betonun plastik özelliğini kullanarak güçlü ama bir o kadar da zarif yapılarını tasarlamışlardır. Daha sonraki yıllarda I.M.Pei, Tadao Ando, Arata Izosaki, Santiago Calatrava (Şekil 3.5), Kenzo Tange (Şekil 3.6), Herzog&de Meuron gibi mimarlar betonun plastik ve estetik özelliklerini kullanmışlardır [14].



Şekil 3.1. Fransız mimar Augus Perret'in ilk betonarme apartman binası [15]



Şekil 3.2. Le Corbusier; Villa Savoye [16]



Şekil 3.3. Louis Kahn; Salk Enstitüsü [17]



Şekil 3.4. Oscar Niemeyer; Niterói Güncel Sanat Müzesi [18]



Şekil 3.5. Santiago Calatrava; Tenerife Oditoryumu [19]



Şekil 3.6. Kenzo Tange; St. Mary's Katedrali, Tokyo, Japonya, 1963 [20]

3.3. Yapı Malzemesi Olarak Betonun Özellikleri

Betonun diğer yapı malzemeleriyle karşılaştırıldığında değişik amaçlarla oldukça çok sık kullanılmasının nedeni üstün özelliklerinin olmasındandır. Bu özellikler [9, 21]:

- Beton çelik donatılarla çok iyi aderans gösterebilecek kapasitede bir malzeme olduğundan çelik donatı kullanılarak (betonarme) çekme mukavemetinin yetersizliğinin dengelenmesi,

-Yüksek basınç dayanımlarına ulaşılması,

- Sertleşmiş betonun çevresinde oluşan yıpratıcı fiziksel ve kimyasal dış etkilere karşı kendi sınıfındaki birçok yapı malzemesine oranla daha uzun süre dayanabilmesi ve daha az bakım gerektirmesi,

- Hafif agrega ile hafifletilebilmesi,

- Prefabrike olarak istenilen kesitte kolaylıkla üretilebilmesi,

- Yangına dayanıklığı, (Betonarme yapılarda insan sağlığını tehdit eden herhangi bir emisyon bulunmamaktadır. Yangın sırasında herhangi bir gaz açığa çıkmaz)

- Bilgisayar kontrollü santraller, transmikserler, pompalar vs. ile üretim, taşıma ve yerleştirme aşamalarında büyük gelişmelerin sağlanmış olması,

-Taze betona plastik özelliğinden dolayı istenilen biçim ve boyutta şekil verilebilme kolaylığı,

- Estetik amaçlarla kullanılmaya uygun özellikte bir malzeme olmasından dolayı kullanılan kalıp özelliğine bağlı olarak istenilen doku ve renk pigmentleriyle istenilen rengin verilebilmesi,

- Ucuzluğu,

- Atık malzemelerin beton içinde bol miktarda değerlendirilmesi, (Sürdürülebilir çevre açısından önemlidir ve geri dönüşümlü bir malzemedir.)

- Ülkemiz açısından betonun önemli bir üstünlüğü de ülkemiz kaynaklarının beton üretimine oldukça elverişli oluşudur.

Betonun dezavantajları olarak nitelendirilebilecek özellikleri [2]:

- Sertleşmiş beton, çekme dayanımı düşük olan bir malzemedir.

- Beton dış ortamlarda sıcaklık değişiklikleri nedeni ile bir miktar hacim değişikliği gösterebilmekte ve çatlayabilmektedir.

- Beton tamamen geçirimsiz bir malzeme değildir. İçerisine zaman içerisinde bir miktar su ve zararlı kimyasallar içeren sular sızabilmekte ve bu durum betonun dayanımına zarar vermektedir.

- Betondaki "dayanım/ağırlık" oranı metallerde olduğu kadar yüksek değildir. Bu nedenle yüksek ağırlıkta yüklerin taşınabilmesi için, normalden daha büyük kesitte beton elemanların kullanılması gerekmektedir.

Özellikle yaşanan afetler sonrası yapılan sorgulamalarda betonun yapım tekniği için olumsuz bir malzeme olduğu düşünülmektedir. Beton uygulamalarındaki aksaklıklıklar betonun kötü bir malzeme olduğunu göstermemektedir. Betonun dezavantajları sayılabilecek özelliklerinin de giderilebilmesi veya en aza indirilebilmesi için alınması gereken önlemler olduğu bilinmektedir. Ayrıca bu durum diğer tüm malzemeler için de geçerlidir.

Betonun sağladığı avantajlardan dolayı günümüzde farklı beton türleri üzerindeki çalışmaların arttığı gözlemlenmektedir. Farklı katkı maddelerinin birleştirilmesiyle oluşturulan beton türleri, farklı özelliklerde beton türlerinin oluşmasını sağlamaktadır.

3.4. Beton Türleri ve Özellikleri

Beton günümüzde kullanılan diğer yapı malzemelerine göre daha fazla işlevsel ve çok yönlü yapı malzemesidir. Modern malzeme bilimi sayesinde kullanım amacına göre betonun, istenilen özellikte ve türde olması sağlanabilmektedir.

Çimento bulamacı emdirilmiş lifli beton, reaktif pudra beton, yıkanmış beton, iletken beton, akıllı beton, özel dayanıklılığa sahip beton, pompa beton, gaz ve köpük beton, yüksek dayanımlı beton, püskürtme beton, lifli beton, çelik donatılı beton gibi farklı amaçlarda kullanılan farklı özellikte beton türleri mevcuttur.

Mimarlıkta biçimle düşünce aktarımında benimsenen benzetme ilişkisi, doğal olana benzeme olarak karşımıza çıkmaktadır. İnsanın estetik duygusu, şu ya da bu yolla olsun, doğa karşısındaki duygusu ile ilişkisiz düşünülemez. Doğal olan güzeldir yargısı, antik dönemlere kadar uzanmaktadır. Malzemenin üzeri örtülmeyerek, doğasının ön plana çıkarılması bir estetik kriter olarak belirlenebilir. [6]. Malzemenin doğası olarak kabul edilen brüt etkinin ön plana çıkarılması brütalizm akımını başlatmıştır. Brütalizm modernizm ışığı altındaki akımlardan biridir ve döneme önemli damgasını vurmuştur. Tüm 20. yy. boyunca olduğu gibi günümüzde de brüt beton kullanımı beton estetiğinin ortak ölçütü olmaktadır.

Tezin ana konusunu oluşturan brüt ve şeffaf olan beton ise günümüzde adının daha çok duyulması ile fark edilen ve mimarlar için geleceğin malzemesi olarak görülen bir başka beton türüdür. Şeffaf betonun oluşumunu sağlayan veya oluşumunda kullanılabilecek beton türleri kendiliğinden yerleşen beton, hafif beton, cam agregalı beton, baskı beton ve renkli beton bu bölümde ayrıntılı bir şekilde anlatılacaktır.

3.4.1. Kendiliğinden yerleşen beton

Betonda kendiliğinden yerleşebilirlik kavramı ilk olarak Tokyo Üniversitesinde, 1986 yılında Prof. Dr. Hajime Okamura tarafından ortaya atılmıştır. Bu özel tip betonun geliştirilmesinde öncelikli amaç, dayanımın yanı sıra dayanıklılık açısından da yüksek performansı sağlamaktır [22].

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB) vibrasyon gerekmeden istenilen yere yerleşebilen beton türüdür. KYB'de akıcılığı gerçekleştirmek amacı ile kuvvetli bir süper akışkanlaştırıcıya gereksinme vardır.

KYB henüz normal beton kadar geniş kullanım alanına sahip değildir. Bunun en önemli nedeni maliyetin yanı sıra, dizayn ve uygulama alanlarında yeni yöntemler gerektirmesidir. KYB üretiminde yöntem geliştirme çalışmaları çeşitli kuruşlar tarafından sürdürülmektedir. [23].

Günümüzde kullanımı artan bu beton türünün birçok avantajı vardır. Prefabrike beton sektöründe karşılaşılan önemli sorunlardan biri sık donatılı narin elemanların kalıptan alınırken ince kesitlerinde yetersiz vibrasyondan kaynaklanan boşlukların oluşmasıdır. Bu durumda yama ile boşluklar kapatılmaktadır. KYB kullanımı ile taze betonu sıkıştırma ihtiyacı, vibratör kullanımının yarattığı zaman, enerji, gürültü kirliliği ve para kaybı ortadan kalkmakta ve betonda rötuş işleminin geleneksel betona kıyasla %25 ile %75 oranında azaldığı belirtilmektedir. Betonun sık donatılı perde tipi dar ve derin kesitlere kendi ağırlığı ile boşluk bırakmadan yerleşmesi betonun mekanik performansını artırmaktadır. Yeni nesil kimyasal katkıların kullanımıyla çok akıcı, fakat düşük su/çimento oranına sahip, yüksek mukavemetli beton üretilerek beton kalitesi hem dayanım hem de dayanıklılık açısından artmaktadır. Efektif kimyasal katkıların KYB üretiminde kullanımıyla, prefabrike sektöründe erken kalıp almak için, özellikle kış aylarında uygulanan buhar kürü ortadan kalkmaktadır. KYB'nin perdahlanma işlemi geleneksel betona kıyasla daha kolaydır. Beton dökümünü önemli ölçüde hızlandırmaktadır. KYB kalıp yüzeylerinde sağladığı boşluksuz görünüm ile sıva ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır. KYB'nin pompalanabilirliği geleneksel betona göre daha kolaydır. Pompa içi basıncın geleneksel betona kıyasla ortalama % 20 azaldığı bilinmektedir [23].

Her malzemede olduğu gibi kendiliğinden yerleşen beton türünün avantajlarının yanında dezavantajları da vardır. KYB normal betona kıyasla daha pahalıdır. Maliyeti artırıcı ana etken kimyasal katkılar olup, gelecekte bu katkıların maliyetinin düşmesi beklenmektedir. KYB'nin dayanım ve yerleşim performansı malzeme tipi ve oran değişkenliklerine hassastır (özellikle agrega nemi ve gradasyonu). Klasik betona göre daha sık kontrol edilmesi gerekmektedir. Kesinleşmiş beton dizayn yöntemlerinin ve standart beton karışım deneylerinin yokluğu kalite kontrol işlerinde genelleme yapılmasını engellemekte ve standartlaşmada sıkıntılara yol açmaktadır. Geleneksel betona göre yüksek oranda toz malzeme içerdiği için, boyutsal stabilitesi hakkında toz malzemenin tipine göre farklı sonuçlar elde eden araştırmacılar çoğunluktadır. KYB'nin erken dönemde küre(betonun daha hızlı prizini alması için verilen ısı) hassas olduğu çeşitli araştırmacılarla ortaya konulmuştur. Küre hassasiyet puzolanik aktivite gösteren toz maddelerin kullanılması halinde daha baskındır. KYB'nin 7 güne kadar kür edilmesi gerektiği belirtilmektedir. Özellikle prefabrike beton üretiminde, taze betonun taşınmasında ve kalıp sistemlerinde geleneksel betonda kullanılan bazı sistemlerin değiştirilmesi veya modifiye edilmesi gerekmektedir. KYB'nin taşınmasında taşıma kovalarından veya ahşap kalıpların arasından sızma olursa betonun ayrıştığı bilinmektedir. Ayrıca %2'den fazla eğimli elemanlar KYB ile dökülemez. KYB'nin viskozitesinin kararlı bir konuma gelmesi için karıştırma süresi normal betona kıyasla fazladır. Bu özellik zaman ve enerji kaybına neden olsa da yerleştirme işlemindeki kolaylık dikkate alındığında ihmal edilecek kadar azdır. KYB'nin yerleştirilmesinde sürekli döküm yöntemleri tercih edilmelidir. Beton yerleştirmesinin kesikli yapılması halinde, iki karışım arasında derz oluşturma riski vardır [23].

3.4.2. Hafif beton

Hafif beton iri agrega olarak hafif agreganın, ince agrega olarak da doğal kum ve/veya hafif agrega kırıntılarının normal çimento ile birlikte kullanıldığı beton türüdür. Yapıların hafif agregalarla yapılması hem yapının yükünü azaltmakta; hem de yapının ses ve ısı yalıtımını sağlamaktadır [24].

Hafif agregalarda dayanımı en yüksek olan seçilmelidir. Normal betonlarda yaklaşık 2400kg/m³ olan yoğunluk, hafif agregalılarda 1000-2000 kg/m³'e düşmektedir.

Genelde agregaların basınç dayanımı, yoğunluğu ile birlikte artış göstermektedir. Yoğunluğun düşük olması boşluğun fazla olduğuna ve dolayısıyla ısı yalıtım kabiliyetinin fazlalığına işarettir. Hafif betonda hem yüksek dayanım hem de ısı yalıtımı aranmamalıdır. Yüksek dayanımlı hafif betonda çekme dayanımının, aynı basınç dayanımına sahip normal betonunkinden %25 daha düşük olması beklenmektedir. Hafif agregalı betonda su-rutubet etkisi ile şişme normal betona göre %50 daha fazla olup hava ve gaz geçişi kolay olduğu için, betonun korozyona karşı dayanıklılığı da azalır. Hafif agregalı betonlar boşluklar nedeniyle, normal agregalı betonlara göre yangına karşı %30 daha fazla koruyucudur [24].

Birçok ülkede hafif agregalı betondan, alışılmışın çok üzerindeki yükseklik ve açıklıklarda görkemli binalar, köprüler, kuleler, kabuklar ve temel kazıkları yapılmıştır. A.B.D.'nin Houston kentinde 1967-1969 yıllarında inşa edilen One Shell Plaza Tower binası (Şekil 3.7) 218 m yükseklikte ve 52 kattan meydana gelmektedir. Strüktürün yapımında radye temel dahil tümüyle hafif agregalı beton kullanılmıştır [24].



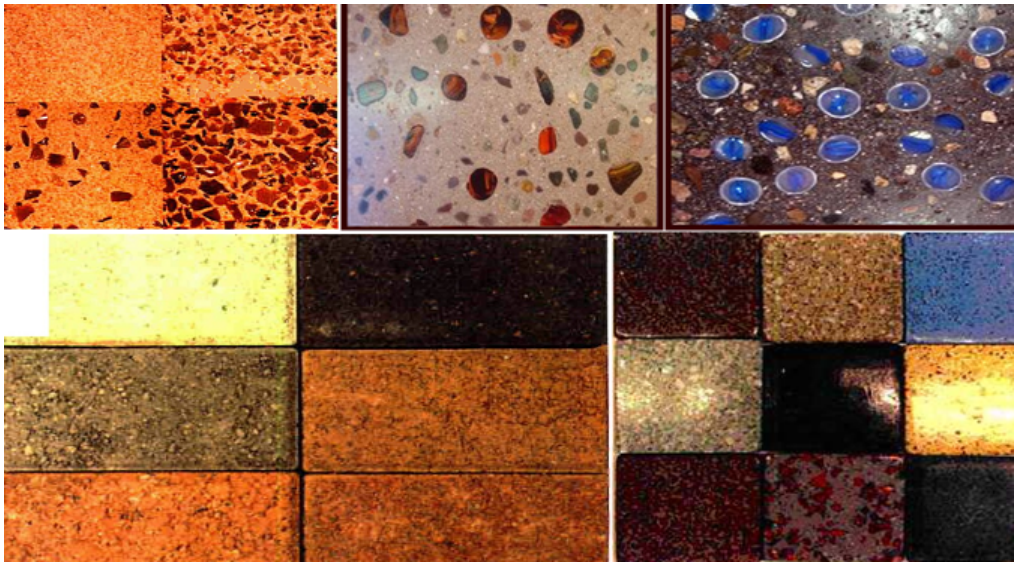
Şekil 3.7. One Shell Plaza Tower Binası [25]

3.4.3. Cam agregalı beton

Cam parçalarının beton içinde agrega veya puzolan olarak kullanılmasıyla elde edilen beton türüdür. Camın beton içinde agrega olarak kullanılması hem atık camların değerlendirilmesini hem de estetik betonların oluşumunu sağlamaktadır. Farklı renklerdeki camlar ayrı ayrı kullanıldıklarında betona farklı etkiler yapmaktadır (Şekil 3.8). Cam agregalı beton önceden dökülmüş duvar panelleri, bölmeler, döşeme karoları, duvar karo ve panelleri, asansör panelleri, mutfak tezgahları, park sıraları v.s. birçok alanda üzeri cilalı veya yerine göre cilasız olarak da kullanılabilmektedir.

Dr. Yıldırım'ın ders notlarından alınan bilgilere göre; yapılan çalışmalar ince cam tozunun geçirimsizlik ve rötre yönünden beton durabilitesini geliştirici potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Fakat cam, puzolan ya da agrega olarak beton içinde kullanıldığında beton özellikleri üzerinde genleşme ve çatlak oluşturma gibi bazı negatif etkiler de yapabilmektedir. Bu sakıncaların giderilmesi ve betonda genleşmeye neden olan alkali-silika reaksiyonu (ASR) etkilerinin tam olarak ortaya konabilmesi için araştırmalar sürmektedir. Cam; beton, çimento ve harç ile temas ettiğinde, çimentoda yer alan alkaliler, camdaki silikatları etkileyerek, alkali silika reaksiyonlarına (ASR) neden olmakta, reaksiyon sonucu betonda genleşme ve iç gerilmeler oluşmaktadır. Ortamda nem olmadığında ASR oluşmadığı için, cam agregalı betonun suya maruz kalabilecek bir ortamda kullanılmamasını gerektirmektedir. Camın beton içerisinde agrega olarak kullanılmasında karşılaşılan sorunlardan biri de camın çatlaması ve bu çatlakların ilerlemesidir. Camın düzgün yüzeyi, dayanımı olumsuz etkileyen çatlak hareketini kolaylaştırmaktadır. Cam agregalı bir harç numunesinde eğilme dayanımı normal betona göre %10 daha az olabilmektedir. Bunun yanında agregaların boyutu değiştirildiğinde dayanım ve çatlaklara direnç de değişmektedir. Camlar betona, sıcaklık değişimlerinde stabilite kazandırmaktadır [26].

Camın harca katılmadan etkisini kesin olarak tahmin etmek mümkün olmamaktadır. Fakat literatüre göre herhangi bir olumsuz durum için çözüm bulunabilmektedir [28].



Şekil 3.8. Cam agregalı ve puzolonlu beton örnekleri [26]

3.4.4. Baskı beton

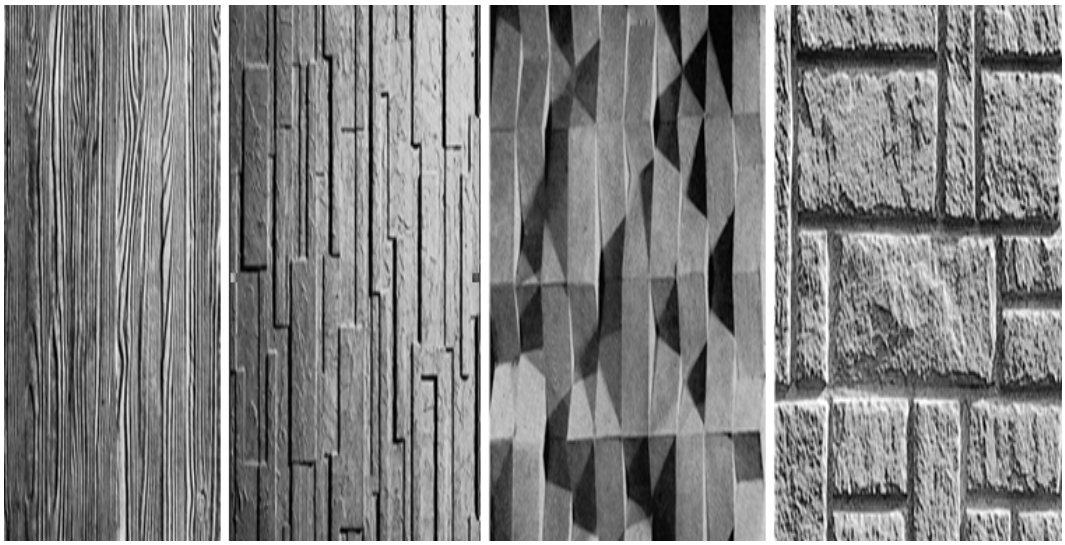
Baskı beton; kullanıcının kaplama olarak istediği yapay veya doğal malzeme görünümünün, diğer malzemelerin yüzeye uygulanmasıyla, doğrudan betondan elde edilmesi, aynı zamanda da betonun yaşlandırılması ve eskitilmesidir (Şekil 3.9, 3.10).

Mimar Aslan'ın ders notlarına göre; betonun yüzeyinin sınırsız renkte ve dokuda yapılabilmesi, aşınma dayanımının normal betona oranla 8-10 kat daha fazla olması, doğal dokuyla uyumluluğu, ekonomikliği, su emme oranının betona oranla daha az olması ve yüzeyde tozumaların önlenmesi gibi birçok nedenden dolayı baskı betonun kullanımı artmıştır [27].

Baskı beton, parklarda ve bahçe yollarında, konut ve site yollarında, otellerde, araç yollarında, alışveriş merkezlerinde, plazalarda, otoparklarda, restorantlarda, teraslarda, havuz kenarlarında, çay bahçelerinde, şehir teraslarında ve fabrika yönetim binalarının zeminleri gibi çeşitli alanlarda kullanılabilmektedir. Baskı beton, uygulama kolaylığı ve uygun maliyetiyle diğer zemin kaplamalarının yerini alabilecek niteliktedir.



Şekil 3.9. Baskı beton örnekleri [27]



Şekil 3.10. Brüt betonda doku örnekleri [28]

3.4.5. Renkli beton

Mimari beton üretiminde betonun renklendirilmesi; üretimde renkli agregaların kullanılması, özel olarak renklendirilmiş renkli çimentolardan yararlanılması, beyaz ve/veya gri renkte normal portland çimentosunun kullanılması veya bu seçeneklerin bazılarının bir arada kullanılması ile sağlanabilmektedir. Belirtilen renklendirme sistemleri içerisinde pigment veya pigmentli beton katkı kullanımı en yaygın yöntemlerden biridir. Mimari betonun renklendirilmesi için katkı maddesi olarak kullanılan üç farklı pigment türü vardır. Bunlar; toz pigmentler (Şekil 3.11), sıvı pigmentler, granül pigmentlerdir [29].



Şekil 3.11. Toz pigment katkısı [29]

Pigment türleri üzerinde yapılan incelemelerde; işlevlerinin aynı olmasına rağmen bazı avantaj ve dezavantajlarının olduğu gözlemlenmektedir. Toz pigmentlerin kullanımında bitmiş beton yüzeyde; renk varyasyonları oluştuğu, pigment yayılımının iyi olmaması sonucunda pigment yuvalaşmaları ve topaklanmaları oluştuğu bilinmektedir. Toz pigmentin beton hamuru içinde yeterince yayılmaması renk tonunun %10'a kadar kaybına neden olabilmektedir. Toz pigmentlerin özellikle iyi öğütülmeden kullanılmasıyla mermer benzeri damarlı bir bitmiş beton yüzey elde edilmektedir. Ancak bu görüntüdeki bir yüzey fazla talep görmemiştir [29].

Betonda sıvı pigment karışımlarının kullanılmasında da sorunlar yaşanmaktadır. Karışımdaki pigmentin tanklarda, borularda ve pompalarda beklemesi sonucunda çökelmesiyle renk tonunda farklılaşmalar oluşmaktadır. Karışımdaki katı oranı %33 (karbon) ile %60 (demir oksit) arasında olduğu için nemli agregalı beton hamurlarıyla kullanılmaması önerilmektedir. Soğuk havalarda karışımdaki suyun donmaması için ikincil işlemler yapılması gerekmektedir [29].

Günümüzde pigment karışımları tiksotropik jel (durgunken bir jel, karıştırıldığında ise viskoz bir sıvı) halinde piyasaya sürülmektedir. Bundan dolayı karışımdaki pigmentin çökelmesi sorunu ortadan kalkmaktadır. Sıvı pigment karışımları beton hamuruna daha üniform yayılmaktadır ve karışımın kutusu gerektiğinde sallanarak hatalar minimuma indirilmektedir. Kış mevsiminde antifriz katkılı karışımlar

kullanılması donma sorununu ortadan kaldırabilmektedir. Sıvı pigment karışımları en üst seviyede kaliteli olarak nitelendirilebilir. Karışıma %4,5'dan fazla çimento katılarak su-çimento oranının 1/3 olarak kalması sağlanmaktadır [29].

Granüler pigment sistemleri; toz pigmentlerin ve sıvı pigment karışımlarının avantajlarını bir arada sağlayan, bunun yanı sıra uygulamadaki dezavantajlarının da ortaya çıkmasını engelleyen sistemlerdir. Granül pigmentler, sıvı pigment karışımlarının sprey şeklinde hava üflenerek kurutulması ve küçük inci taneleri haline getirilmesiyle üretilmektedir. Beyaz dahil olmak üzere, sarı, turuncu, kırmızı, kahverengi, siyah, yeşil ve mavi tonlarında üretilebilen bu pigmentler alkali ortamlara ve iklim koşullarına karşı dayanıklıdır. Aynı zamanda hiç su içermedikleri için beton hamuruna %100 katı olarak katılmaktadır. Yine su içermedikleri için soğuk havalarda donma tehlikesi de yoktur [29].

3.5. Bölüm Değerlendirmesi

Geçmişte pek çok yol denenerek keşfedilen beton, sağladığı sayısız avantaj nedeniyle günümüzün vazgeçilmez yapı malzemesi olarak üretimdeki yerini almış, pek çok yapının gerçekleştirilmesinde kullanılmış ve kullanılmaktadır. Geçmişte olduğu gibi günümüzde de beton, üzerinde en çok çalışılan ve geliştirilmesi için yoğun çaba gösterilen bir malzemedir. Bu doğrultuda betona çeşitli katkı maddeleri eklenerek farklı beton üretimlerinin denendiği, farklı beton türlerinin elde edildiği görülmektedir. Farklı türlerdeki betonlarla farklı tasarımlar oluşturulabilmektedir.

Biçimi en iyi yansıtabilmesi ve taşıyıcı olarak da kullanılabilmesi gibi çeşitli özelliklerinden dolayı beton, mimarlar tarafından güçlü bir malzeme olarak keşfedilmiş ve çok fazla kullanılmıştır. Çığır açmış ünlü mimarlar, betonun plastik özelliğinin vurgulandığı sadece dik açılarla sınırlı olmayan yapıları mimarlık tarihine kazandırmıştır.

Modern mimarlığın özünde yer alan mekânsal iç-dış bütünlüğü ilkesi malzeme seçiminde de önemlidir. Dolayısı ile çok sayıda mimar kaplama yerine malzemelerin kendi doku ve renklerini öne çıkarmayı, kaplama yapılacak ise de kaplama malzemesinin özelliğinin vurgulanmasını tercih etmiştir [14].

Bu özelliğinden dolayı brüt beton mimari bir akım haline gelmiştir. Bunun yanında tasarım olanaklarını artırmak ve beklenen özelliklere sahip betonlar elde etmek için de çeşitli yöntemler ile çeşitli beton türleri üretilmeye devam edilmiştir.

Mimarların önemli tasarım girdileri olan renk ve doku için renkli beton ve baskı betonlar üretilmiştir. Mimari olarak kullanım şartlarını sağlayan uygun beton arayışlarının yanında teknik olarak da aranan şartlarda beton arayışlarına gidilmiş, bu koşulları sağlayacak betonların elde edilmesi çabalarına hız verilmiştir. Bu doğrultuda da yeni beton türleri elde edilmiştir. Örneğin; mimari tasarımları daha çok kolaylaştırmak, dar kesitlerde de kullanabilmek ve düzgün yüzeyli brüt beton yüzeyler elde edebilmek amacıyla kendiliğinden yerleşen beton; ürünlerin prefabrike de yapılabilmesi ve hafif olması için ise hafif beton geliştirilmiştir. Son zamanlarda da bu beton türlerinin bazılarının veya hepsinin kullanılabildiği bir beton türü olarak şeffaf beton oluşturulmuştur. Şeffaf beton, oluşumunu sağlayan beton türlerinin özelliklerini taşıması yanında opak olan bir malzemenin saydamlığa geçişini simgelemesiyle de dikkat çekmektedir. Tasarım için önem taşıyan ve gelecekte de çok kullanılacağı öngörülen bir malzeme olarak şeffaf beton üzerindeki çalışmalara devam edilmektedir.

4. ŞEFFAF BETON

Şeffaf beton; transparan beton, saydam beton, ışığı geçiren beton gibi isimler ile de anılmaktadır. Şeffaf beton opak bir malzeme olan betonun saydamlaştırılmasıdır. Şeffaf beton arkasındaki objelerin görüntülerini, hareketlerini, renklerini ön yüze geçirme özelliğine sahiptir.

Yakın zamanlara kadar şeffaf betonun brüt beton, özel agregalar ve optik fiberlerin birleşimi ile oluşan özel bir beton türü olduğu bilinmekteydi. Ancak, günümüzdeki son gelişmeler ile optik fiberlerin beton içine yerleştirilmesinin yanında farklı yöntemlerle ve farklı katkı maddeleri ile de şeffaf beton üretilebileceği görülmüştür.

Şeffaf beton istenilen kalınlıkta ve büyük ebatlarda üretilebilmektedir. Optik fiberlerin özel teknikler ile belirli desen oluşturacak şekilde beton içerisine yerleştirilmesi ile farklı dokuda beton türleri ve farklı düzeyde ışık geçişleri sağlanmaktadır. Şeffaf betona farklı malzemelerin katılması ile de farklı nitelikte şeffaf beton üretilebileceği araştırmalardan bilinmektedir.

Şeffaf beton, hammaddesini oluşturan betonun özeliğinden ve şeffaf özelliğinden aynı zamanda da katkı maddeleri ile farklı beton türlerinin oluşturulabilmesinden dolayı tasarımcılara çok fazla kullanım olanağı sunmaktadır. Şeffaf beton ile tasarımlarda önemli olan ışığı kullanarak pek çok tasarımın yapılması sağlanabilmektedir.

20. yüzyılda oluşturulan şeffaf beton türü günümüzde yaygınlaşmış ve şeffaf beton üzerine çalışmalar ve tasarımlar artmıştır. Doğal ışığın geçişini sağlanması, farklı özelliklerde şeffaf beton türlerinin üretilebilmesi ve sürekli geliştirilmesi ile şeffaf betonun geleceğin önemli bir yapı malzemesi olacağı yapılan incelemelerden anlaşılmaktadır.

4.1. Şeffaf Betonun Tarihsel Gelişimi

20.yüzyılda teknolojinin ilerlemesi ve bilgi birikiminin artmasıyla özel beton türleri üretilmiş ve son yıllarda da "şeffaf beton" gündeme gelmiştir. Bu beton türü geçmişte denenmiş, teknolojik şartlardan ve ekonomik nedenlerden dolayı deneme boyutunda kalmış; günümüzde ise yeniden gündeme gelmiş ve kullanıma sunulmuş bir beton türüdür.

1970'lerin başında Heidelberg Çimento yalıtılmış tekstil liflerini beton içerisinde incelemeye başlamış ve bu konuda önemli adımlar atmıştır [30]. 1976 tarihinde David Kenneth ve John Richardson tarafından yürütülen çalışmalarda optik cam liflerinden oluşan demetler beton içinde açılan kanallara yerleştirilmiştir. Bunun sonucu ışık iletimi kısıtlı ölçüde gerçekleşmiştir [31]. 1985 yılında Japonya'da ilk olarak sürekli fiberlerin aracılığıyla ışık geçiren beton üretimleri yapılmıştır [32]. 1990'ların başlarında RWTH Aachen Mimarlık Bölümü'nde gerçekleştirilen çalışmalarda ise yeni bir yaklaşım denenmiş, elde edilen örneklerle düşük seviyeli ve donuk ışık iletimi sağlanmıştır [30]. 1999 yılı Eylül ayından itibaren Houston Üniversitesi'nde Bill Price tarafından çeşitli saydam beton çalışmaları yürütülmüştür (Şekil 4.1). Price 2000 ve 2001 yıllarında saydam betonla ilgili olarak küçük numuneler üzerinde basınç, çekme gibi deneyler yapmıştır [33].



Şekil 4.1. Bill Price'in saydam beton örnekleri [33]

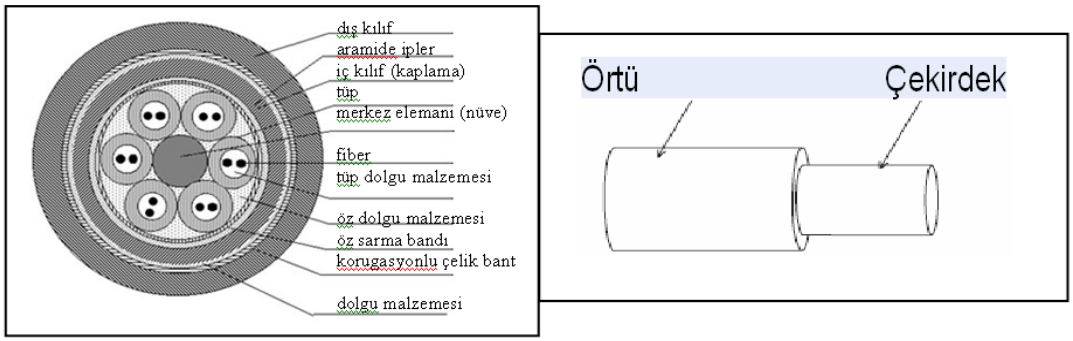
Şeffaf beton denemeleri ile tanınan üç önemli isimden söz edilmektedir. Bunlar; Alman Mühendis Andrean Bittis, Macar Mimar Aron Lazonczi ve Alman mühendis Halm Juergen'dir. Üç önemli isimden günümüzde en çok adı duyulan Macar Mimar Aron Losonczi 2001 yılında sürdürmekte olduğu çalışmaları belli bir noktaya getirmiş ve 2002'de ürettiği saydam betonun patentini almıştır. Aron Losonczi'nin ürettiği beton, dünya üzerinde gerçek anlamda ışığı geçiren ilk beton olması nedeniyle dikkatleri üzerine çekmiş ve mimarın büyük bir başarı elde etmesine neden olmuştur.

Şeffaf beton ile ilgili olarak pek çok çalışma farklı yöntemler, farklı tasarımlar ile devam etmiş ve günümüzde de hızlı bir şekilde devam etmektedir.

4.2. Şeffaf Beton Uygulama Yöntemleri ve Teknik Özellikler

Şeffaf beton üretiminde optik lifler (fiber) önemli bir yer tutmaktadır. Geçmişte ve günümüzde çok sayıda şeffaf beton üretimi optik liflerin kullanımı ile sağlanmış ve sağlanmaktadır. Optik lifleri beton içerisinde kullanma düşüncesi; camın görsel bir iletken olması ve ışık iletkenliği özelliğinin, cam lifler aracılığıyla daha uzun mesafelere taşınabileceği bu yolla da ışık iletim mesafesinin arttırılabileceği düşüncesine yol açmıştır. Uzun mesafede az kayıpla ışık iletimi için cam lifleri kullanma fikri 1887'de Charles Vernon Boys tarafından ortaya atılmıştır [34].

Her lif üç kısımdan oluşmaktadır (Şekil 4.2): nüve (çekirdek), kaplama, kılıf. Nüve: ışık sinyalini taşıyan kısımdır. Kaplama: nüveden farklı bir kırılma indisine sahip olan ve nüveyi dıştan kaplayan tabakadır. Kaplama, ışığın nüve içinde içten tam yansıma yaparak ilerlemesini sağlayan kısımdır. Kılıf: lifi aşınma, baskı ve kimyasallardan koruyan poliüretan bir cekettir [34].

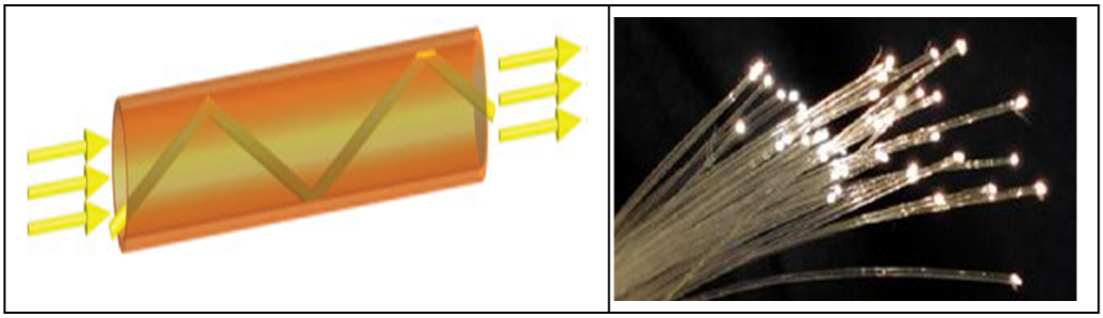


Şekil 4.2. Fiber optiğin yapısı [20, 23]

Optik lifler, kendilerini oluşturan maddelere göre temel olarak üç gruba ayrılmaktadır. Birinci grup olan cam lifleri (SCS lif); cam çekirdek ve cam koruyucudan oluşmaktadır. İkinci grup plastik kaplı silisyum lifleri (PCS lif); cam çekirdekli ve plastik koruyucu zarftan oluşmaktadır. Üçüncü grup olan plastik lifler; plastik çekirdekli ve plastik koruyucu zarftan oluşmaktadır [33].

Roye, A. ve diğerlerinin Kay, G., N.,'den aktardığı bilgilere göre cam liflerin plastik liflere göre daha uzun ömürlü ve ultraviyole (UV) ışınlarına, kimyasal etkilere, yangın durumunda ısıya plastik liflerden daha dayanıklı olduğu, daha berrak bir görüntü verdiği belirtilmiştir. Plastik liflerin ise gölgeleri homojen yaydığı, büyük imalatlarda üretilebildiği ve cama göre üretim kolaylığının bulunduğu ve ucuz olduğu belirtilmiştir [32].

Betonun içerisine, bir uçtan aldığı ışığı öbür uca iletmeyi sağlayan camdan ve plastikten yapılmış optik liflerin yerleştirilmesi şeffaf betonun oluşmasını sağlamaktadır. Fiberlerin ışık iletimi (Şekil 4.3) sayesinde ışık beton içerisinde de iletilebilmektedir. İlk başlarda camın ve ardından plastiğin lif olarak kullanılmasıyla üretilen şeffaf beton, liflerin düzenine ve türüne bağlı olarak ışık geçişi ile farklı şeffaf beton türleri oluşturmaktadır. Böylece farklı tasarımların önü açılmaktadır.



Şekil 4.3. Optik lifin içinde ışık yayınımı [30, 32]

Şeffaf betonun patentini alan Macar Mimar Aron Losonczi ışığı geçiren beton üretimini öncelikle içini taze betonla doldurduğu bir kalıba, değişik kalınlıklarda cam parçaları gömerek denemiştir. Daha sonraki çalışmalarını ise bir beton bloğunun iki yüzeyi arasına, birbirine paralel dizilmiş binlerce cam lifini gömerek denemiştir. Betonun iki yüzeyi arasında birbirine paralel biçimde yerleştirilmiş binlerce optik cam lifi sayesinde ışığın bu yüzeyler arasında geçişi sağlanmıştır [34, 35].

Losonczi'nin kullandığı lifler yaklaşık 2 mikron kalınlığında olduğundan betonla tam olarak bütünleşmekte, beton karışımına üretim sırasında katıldığından betonun bir bileşeni haline gelmektedir. Bu da iki malzemenin karışımından çok bütünleşmesi şeklinde sonuç vermektedir. Liflerin betonun bütününe olan hacimsel oranı yaklaşık %4'dür. Bu oran beton hacmine göre oldukça küçük bir değerdir. Losonczi'nin ürettiği şeffaf betonun yoğunluğu 2100-2400 kg/m³'dür ve basınç dayanımı 50 MPa'dır. Bu değerler, şeffaf betonun konvansiyonel betonla (C40 betonu) aynı basınç dayanımına sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Böylece yük taşıyan yapılarda da bu blokların kullanılabilirliği ortaya çıkmakta ve şeffaf betonun taşıyıcı olarak kullanımının önü açılmaktadır. Şeffaf beton bloklar değişik boyutlarda üretilebilmekle birlikte; standart olarak 60x30 cm boyutlarında ve 2,5-5 cm kalınlıkta üretilebilmektedir. Ayrıca Losonczi'nin çalışmasında liflerin beton içerisinde ışığı 20 m.'ye kadar iletebildiği gözlemlenmiştir. Bu durum şeffaf beton duvarlarının kalın tasarlanabileceğini ve ışık geçişinin sağlanabileceğini göstermektedir [31, 34].

Şeffaf beton üretim çalışmasındaki bir başka isim Alman-Mühendis Andreas Bittis'tir. Bittis şeffaf beton konusunda, öncü ve yaygın nitelikteki makaleleriyle ilk sırada yer almakatadır. Bittis Lasonczi'den daha önce çalışmalara başlamıştır. Losonczi ile çalışmalara devam etmiş olan Bittis daha sonra kendi geliştirdiği yöntemler ile şeffaf beton üretmeye başlamıştır [30, 34].

Andreas Bittis şeffaf beton üretiminde kullandığı optik cam liflerini bir dokuma halinde betona yerleştirmeyi denemiştir. Bunun için optik cam liflerinden hazırlanmış, kalınlıkları 2 mikrometre ile 0,2 cm arasında değişen dokumaları beton ile beraber katman katman kalıba yerleştirmiştir. Bu kullanım beton plağında temiz çizgisel bir yapı veya hat elde etmesini sağlamıştır. Değişen lif kalınlıklarının betonun mukavemetine etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Bittis'in ürettiği en büyük beton bloklar 200x120 cm boyutlarında olup kalınlık en az 2 cm kalınlıktadır. Bittis'in şeffaf betonunun basınç dayanımı ise 70 MPa'dır [33]. Bu basınç dayanımı C 55 ile C 60 beton sınıfları arasındaki bir değere denk gelmektedir.

Losonczi ve Bittis'in cam optik lifli şeffaf betonlarından farklı olarak plastik optik liflerle üretim üstüne çalışan Alman Mühendis Halm Juergen de 2006 yılında kendi yöntemiyle şeffaf beton üretimini gerçekleştirmeyi başarmıştır. Juergen, Losonczi ve

Bittis'in bilgilerini bir sonraki aşamaya ulaşmakta kullanmıştır. Juergen şeffaf beton üretimini çok daha kolay ve yarı otomatik bir hale getirmiştir. Juergen çalışmalarını, yüksek kalitede plastik optik lifler ile, lif çapını hesaba katarak, lif aralığı ve yüzey yapısını beton içindeki optimum kullanıma göre ayarlayarak dokumalar oluşturmuş ve bu dokumaları betonun içine yerleştirmiştir. Bu üretim, plastik optik lifin kullanımı yanında cam optik liflerin kullanımına da uygundur [28, 31].

Juergen'in ürettiği beton bloklarda basınç dayanımı 80 MPa'dır. Bu dayanım C 60 ile C 70 beton sınıfları arasında bir değere denk gelmektedir. Juergen'in kullandığı yöntemde optik lif dokumaları 0,2 – 0,5 cm aralıklı katmanlar halinde betonla birlikte özel bir kalıba yerleştirilmektedir. Katmanlar arası mesafenin azalması ışık geçirgenliğini artırmaktadır. Juergen'in yöntemiyle, özel kalıp sayesinde değişik yüzey dokularına sahip, iki yüzeyi de koruyucu ile kaplanmış 90x30 cm boyutlarında ve 2,5 – 10 cm kalınlığında beton bloklar üretilebilmekte ancak daha büyük boyutlu üretim için çalışmalar devam etmektedir [28, 31].



Şekil 4.4. Losonczi'nin şeffaf betonu [36]

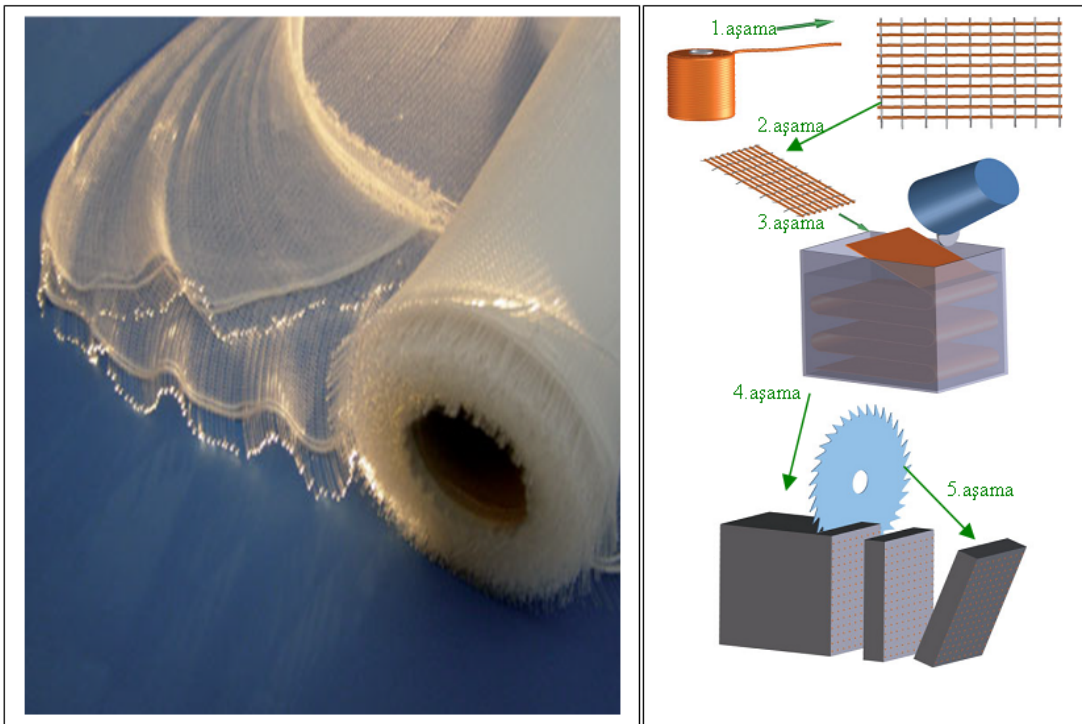


Şekil 4.5. Juergen'in şeffaf betonu [33]

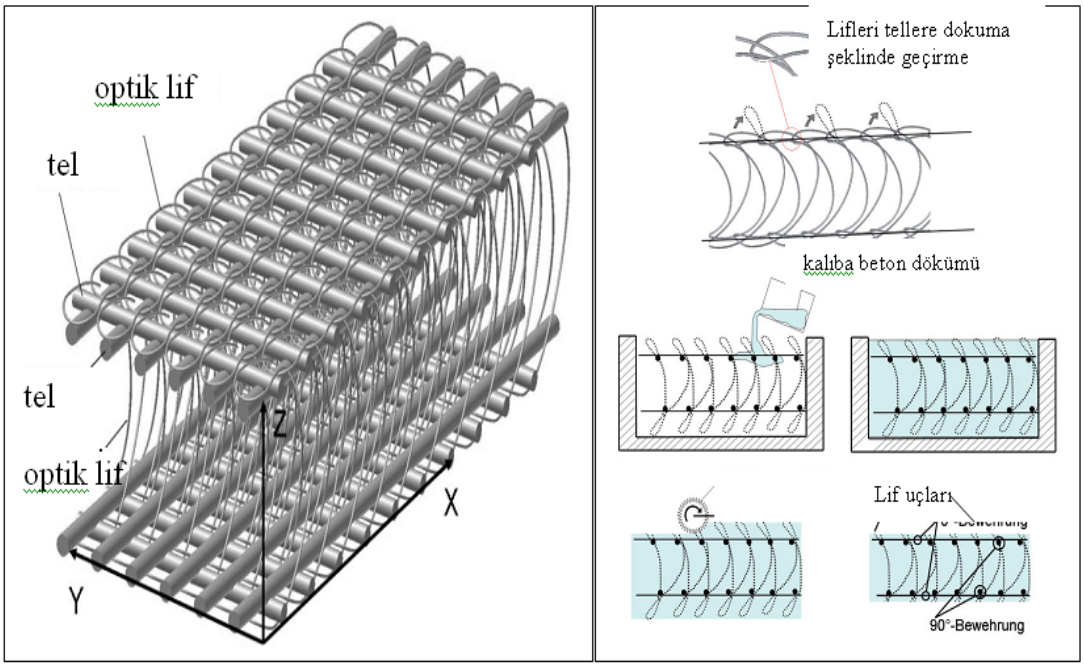


Şekil 4.6. Andreas Bittis'in saydam betonu [31, 29]

Losonczi'nin (Şekil 4.4), Juergen'in (Şekil 4.5) ve Bittis'in (Şekil 4.6) şeffaf beton üretiminde izlediği yolların temel mantığının aynı olduğu gözlemlenmektedir. Şeffaf beton üretiminde ana fikir; iki katman arasına optik liflerin sırayla dizilmesi, beton yüzeyinde lif uçlarının açık bırakılması ve iki katman arasının da akışkan beton ile doldurulmasıdır. Şeffaf betonun farklı dokularda ve özelliklerde üretilmesi istenmesinden dolayı ana fikrin aynı olduğu farklı yöntemler denenmektedir. Bu yöntemlerden bazıları Şekil 4.7 ve Şekil 4.8' de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Optik lif dokumalı katmanlar ile saydam beton üretim süreci [32]



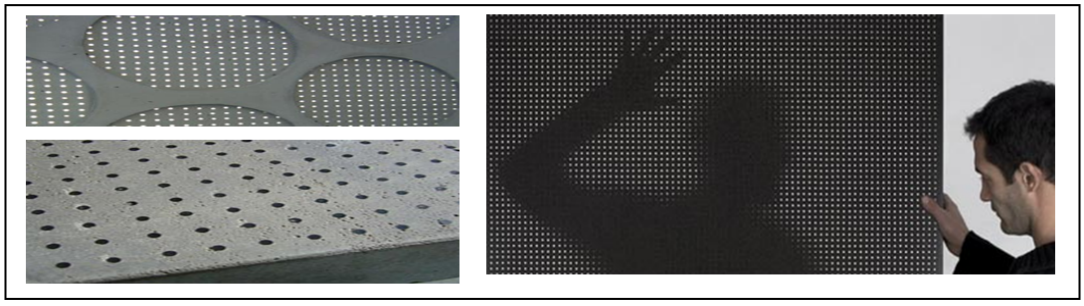
Şekil 4.8. Optik lif dokuma sepet uygulaması ile saydam beton üretim süreci [32]

Şeffaf betona yönelik çalışmalar günümüzde hız kazanmış ve bu durum da kullanım alanlarının sayısını ve çeşitliliğini artırmıştır. Günümüzde, dünya üzerinde dört firmanın şeffaf beton üretimini ve uygulamasını yoğun bir şekilde gerçekleştirdiği bilinmektedir. Bu firmalar; Macaristan'da Litracon, Avusturya'da Luccon,

Almanya'da Lucem ve Türkiye'de Fibrobeton'dur. Fibrobeton, Litracon ile iş birliği içerisinde çalışmalarını yürütmektedir. Diğer firmaların da başka ülkelerde şubelerinin olduğu bilinmektedir.

Litracon da, diğer şeffaf beton üretimlerinde olduğu gibi, betondan ışık geçişini optik lifler ile sağlamıştır. Şeffaf beton ilk defa 2004 yılında Litracon firması tarafından 40x120x6cm boyutlarında üretilerek yapı içinde kullanılmıştır. Litracon şeffaf betonu farklı boyutlarda üretebilmek için çalışmalarına devam etmiştir. Şu ana kadar ki ürettiği şeffaf beton blokları 2 mikrometre ile 0,2 cm kalınlık aralığındaki cam ya da plastik fiberlerden yapılmış olup blokların max. boyutu 120 x 40 cm, kalınlıkları ise 2,5 - 50 cm'dir [35].

Litracon' un son zamanlarda ürettiği bir diğer malzeme ise Litracon pxl' dir (Şekil 4.9). İçerisinde fiber optik bulunmayan özel olarak üretilmiş plastik ünite ile elde edilen beton, ışık geçişini sağlamaktadır. Bu malzeme ile daha ekonomik, kat yüksekliğinde, üretim ve kurulumu daha kolay olan şeffaf beton üretimi yapılabilmektedir. Işık noktaları, LCD ekran üzerindeki piksellere benzer ve düzenli dağılımı ile pxl panellerin yüzeyinde gözükmektedir. Bu malzeme ile düz paneller üretmenin yanında katlanmış veya kavisli formlar, üç boyutlu nesneler de üretilebilmektedir. Üretilen prefabrike panellerin % 96'sı beton, %4'ü PMMA[1] (polimetilmetakrilat)'dır. Bu malzeme 2100-2400 kg/m³ yoğunluktadır. 4 cm ve 6 cm kalınlıklarda üretilebilmektedirler. 4 cm kalınlıktaki malzemelerin max. panel boyutu 120x60 cm, 6 cm kalınlıktaki malzemelerin max. panel boyutu 360x 120 cm'dir [35].



Şekil 4.9. 2010 – Litracon pxl, optik fibersiz şeffaf beton uygulaması [36]

[1] Piyasada daha çok akrilik cam ya da pleksiglas olarak bilinen poli(metil metakrilat) (PMMA) renksiz ve şeffaf bir termoplastik polimerdir. PMMA genelde cama alternatif malzeme olarak tercih edilmekte ve polikarbonatla benzer özelliklere sahip olduğu için polikarbonatın kullanıldığı ürünlere de alternatif olabilmektedir. Ekonomikliği ve kolay üretilmesi sayesinde tercih edilmekle birlikte kırılgan bir yapıya sahip olduğu için kullanım alanı biraz kısıtlıdır [38].

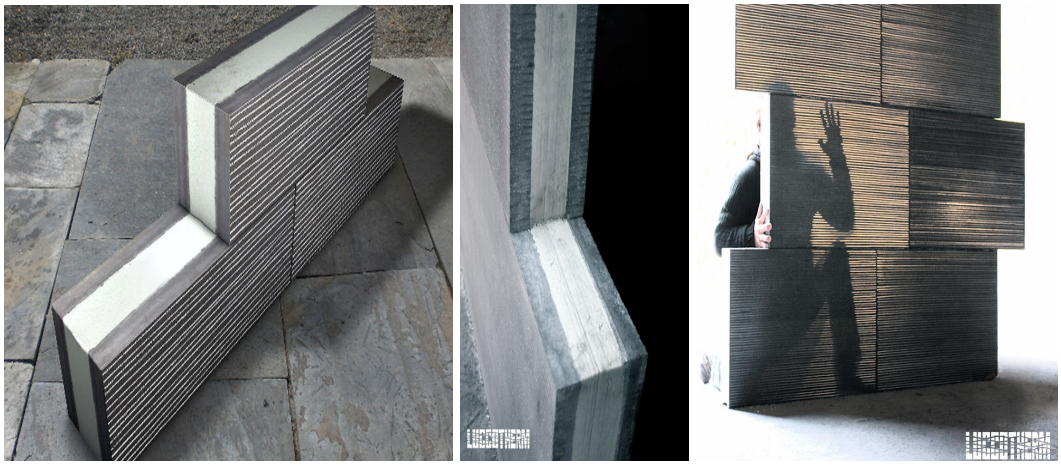
Şeffaf beton üretimi üzerine çalışan firmalardan birisi de Luccon firmasıdır. Uygulama yöntemleri diğer firmalar ile benzerdir. Luccon, şeffaf beton üretimini fiber optik kabloları betonun içine gömerek oluşturmaktadır. Luccon, şeffaf betonun dört farklı durumunu denemiştir. Bunlar; şeffaf betonun yalın hali, ısı yalıtımlı hali, üç boyutlu - kavisli olarak kaplama hali ve cam laminasyonlu halidir [37].

Luccon'un ürettiği şeffaf betonun yalın hali (Şekil 4.10) malzeme özellikleri olarak; yüksek yoğunluklu üst tabaka beton, optik fiberler ile aşılanmış don ve buz çözücülere karşı dayanıklı, yangından korunma sınıflandırmasında 2 ve yüksek UV dirençli olarak tanımlanmaktadır. Standart kullanım boyutları; 120x60x2 cm, 200x70x3 cm, 250x70x3 cm, 100x50x2 cm olup daha küçük boyutlarda da üretilebilmektedir. Basınç dayanımı > 90 N / mm, bükme çekme dayanımı >12 N / mm, brüt yoğunluğu: 2100 – 2300 kg / m^3'dir [37].



Şekil 4.10. Luccon'un orjinal şeffaf betonu [37]

Luccon, şeffaf betonu yapısal eleman olarak, özellikle de cephelerde kullanımak için ısı yalıtımlı olarak üretmiştir (Şekil 4.11). Böylece cephe tasarımları için daha uygun bir malzeme elde edilmiştir. Bu malzeme diğer şeffaf beton özelliklerini taşımaktadır. Diğer malzemelere ek olarak entegre ısı yalıtımı eklenmiştir. Dona karşı dayanıklı ve yüksek mukavemetlidir. K değeri 0.18 W/m^2K kadardır. Standart boyutları; 100x50x15 cm ve 250x80x15 cm'dir [37]. Ancak literatür araştırmasında ısı yalıtımını sağlamak için iki plaka arasında kullanılan malzemenin ne olduğuna ilişkin bir bilgi bulunamamıştır.



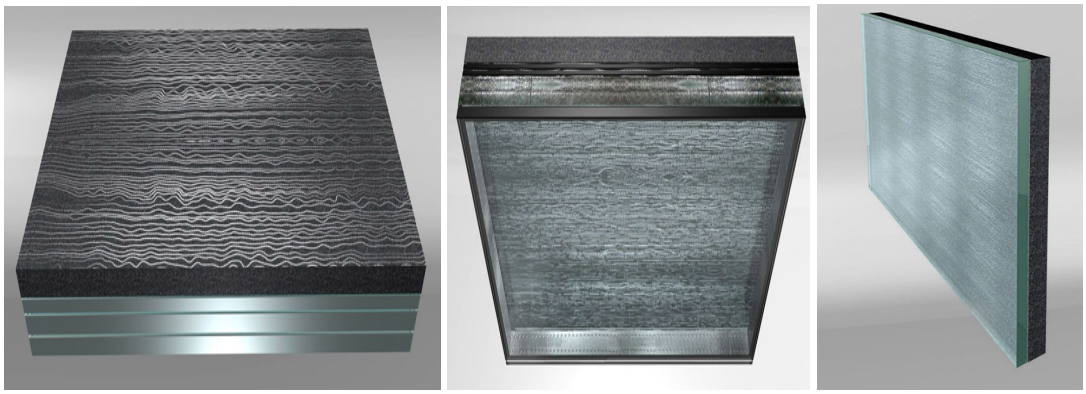
Şekil 4.11. Luccon'un entegre ısı yalıtımlı şeffaf betonu [37]

Luccon'un şeffaf beton kaplama plakaları özellikle tasarımcılar için gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.12). Bu plakalar şeffaf beton filigranlı olup üç boyutlu olarak üretilmiştir. Işığın kullanılması ile etkileyici görüntüler oluşturulabilmektedir. Malzeme üç boyutlu destek filmi ile kaplanarak şekillendirilmektedir. Yüksek UV dirençlidir. İstenilen boyutta üretilebilir. Ama standart boyutu 100x50x0,8 cm' dir [37].



Şekil 4.12. Luccon'un üç boyutlu kaplama şeffaf betonu [37]

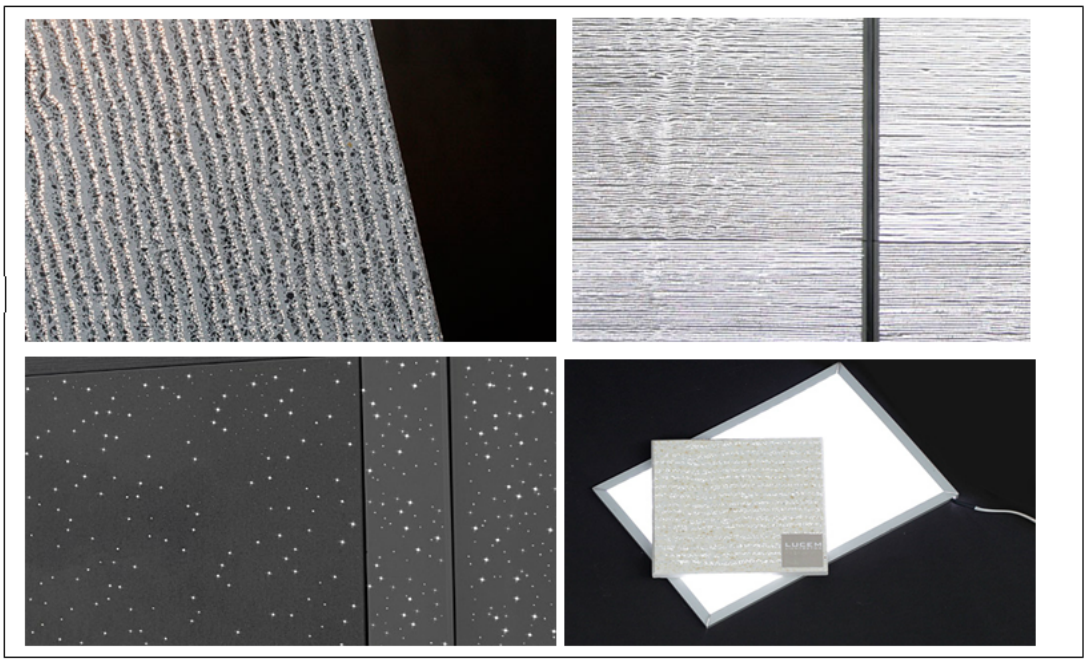
Luccon'un ürettiği diğer bir ürün ise cam laminasyonlu şeffaf betondur (Şekil 4.13). Ürün özel bir teknik ile cam laminasyon ve şeffaf betonun bir araya gelmesinden oluşmaktadır. Ürün camın da birleşimi ile statik olarak sağlam, ısı yalıtımlı ve güvenlikli olmaktadır.



Şekil 4.13. Luccon'un cam laminasyonlu şeffaf betonu [37]

Luccon şeffaf beton üretimindeki çalışmalarında ışık geçişinin yoğun olabilmesi için beton içinde fiber optik kabloların dik bir şekilde durdurulmasının sağlanması ve beton yüzeyinin taşlanması gerektiğini gözlemlemiştir [37].

Şeffaf beton üretimini yapan ve adı yeni duyulmaya başlayan bir diğer firma ise Lucem'dir. Firma üretimlerini 2010 yılından sonra gerçekleştirmiştir. Lucem de diğer firmalarla aynı yöntemi kullanarak, çimento içine çeşitli yoğunluklarda lifleri gömerek şeffaf betonu oluşturmuş ve ışık geçişini sağlamıştır (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Lucem'in şeffaf betonu [64]

Lucem'in ürettiği şeffaf betonun sınıfı C40 ve C50 arasındadır. Yoğunluğu ise yaklaşık 2400 kg/m³'dür. Eğilme dayanımı ise lif düzeni yönünde 3,5 ve 6,0 N/mm² arasındadır. Isıya karşı dayanıklı 1/2 sınıfındadır. Ham boyutları 125x65 cm, kullanılabilir boyutları ise 120x60 cm'dir. Özel formatları ise 300 x 300 cm olup kalınlıkları 1,5 cm / 3 cm'dir [39].

Şeffaf beton üretimini yapan ve uygulayan dördüncü firma ise Türkiye'deki Fibrobeton firmasıdır. Fibrobeton firması, Macaristan'da bulunan Litracon firması ile iş birliği içerisindedir. Fibrobeton, şeffaf beton üretiminde en çok kullanılan yöntemlerden biri olan fiber optikleri betonun içine gömerek şeffaf beton oluşturma yöntemini kullanmaktadır. Paneller %96 beton ve %4 hacminde PMMA malzemesinden oluşmaktadır. Beton yoğunluğu 2100-2400 kg/m³ olup panel kalınlıkları 4 cm ve 6 cm dir. 4 cm kalınlıktaki panel boyutları max. 120 x 60 cm ve 6 cm kalınlıktaki panel boyutları max. 360 x 120 cm' dir. Değişik boyutlarda paneller de üretilebilmektedir [40].

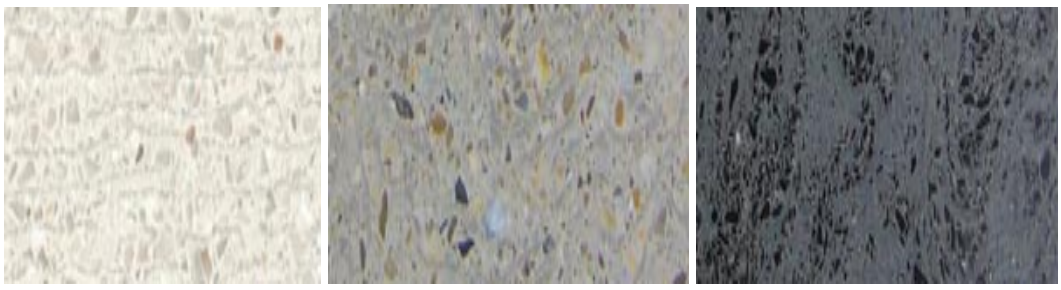
Şeffaf betonun üretimi ile ilgili en yeni ve en son gelişmelerden birisi de İtalyan firması Italcementi tarafından üretilen şeffaf betondur (Şekil 4.15). İlk defa büyük bir projede uygulanan bu betonun Litracon, Luccon, Lucem ve Fibrobeton firmaları gibi ticari olarak üretimi yoktur. İlk ve tek uygulaması ise İtalya Pavyonudur (Şekil 4.27). İtalyan üretimi olan malzeme ile ilgili firma detaylı bilgi vermemektedir. Fakat şeffaf, termoplastik reçine ve inorganik malzemelerin su kullanılmadan alümin gibi katılaşarak şeffaf betonu oluşturduğu bilgisi verilmektedir [41]. Şeffaf beton denilen plakada pek çok küçük delik bulunmakta ve bu delikler yapının strüktürünü etkilememektedir [42]. Termoplastik reçine (ısıtıldıklarında yumuşayan, soğutulduklarında tekrar sertleşen plastik gurubu) beton panelin içindeki bu küçük deliklere enjekte edilmekte ve enjekte edilen reçine miktarına göre şeffaflık değişmektedir [43]. Paneller 100x50x5 cm kalınlığındadır.



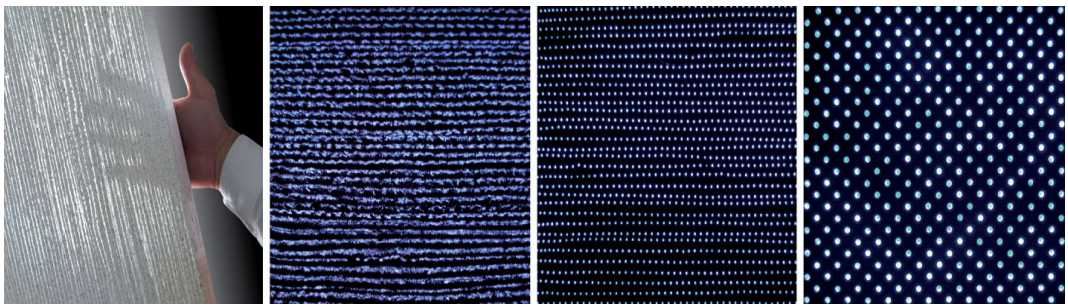
Şekil 4.15. Italcementi, İtalya Pavyonunda kullanılan şeffaf beton [42]

Şeffaf beton üretimlerinin hepsinden ışık geçişinin sağlandığı gözlemlenmektedir. Fakat yapım tekniği olarak Italcementi firmasının ürettiği şeffaf beton diğer firmaların ürettiği şeffaf betondan farklıdır. Italcementi tarafından üretilen malzemenin bu alanda optik fiberler ile yapılan uygulamalardan daha fazla şeffaflığa, geçirgenliğe ve dayanıma sahip ve aynı zamanda diğer malzemelerden daha ekonomik olduğu; daha büyük ölçeklerde üretilebileceği İtalya Pavyonu projesi ile anlaşılmıştır [41].

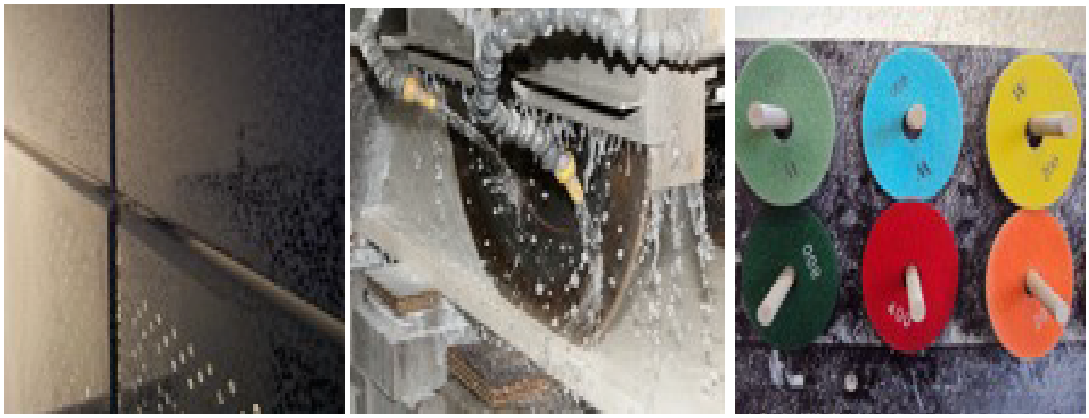
Genellikle, üretilen şeffaf betonun standart renkleri; siyah, gri ve beyazdır (Şekil 4.16). Ayrıca farklı optik liflerin, betonun içinde farklı şekillerde dizilişleri ile betonda farklı dokular oluşturulduğu ve betondan farklı ışık geçirgenliği sağlandığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.17). Firmalar tarafından da istenilen renk ve yüzeyde şeffaf beton tasarımı yapılabileceği bilinmektedir. Ayrıca şeffaf beton yüzey işlemleri; taşlama, kalıplı, yıkamalı, kumlama, parlak, mat, cilalı ve vidalama gibi çeşitli yöntemlerle olabilmekte, kenar işlemeleri ise; kırık, pahlı, yuvarlak şekilde ve çeşitli formlarda kesilerek gerçekleştirilmektedir (Şekil 4.18) [39]. Şeffaf beton temizliği aşındırıcı olmayan deterjanlar, su ve bez gibi betona zarar vermeyecek asitsiz temizleyiciler ile yapılmalıdır [39].



Şekil 4.16. Üretilen şeffaf beton standart renkleri [36]

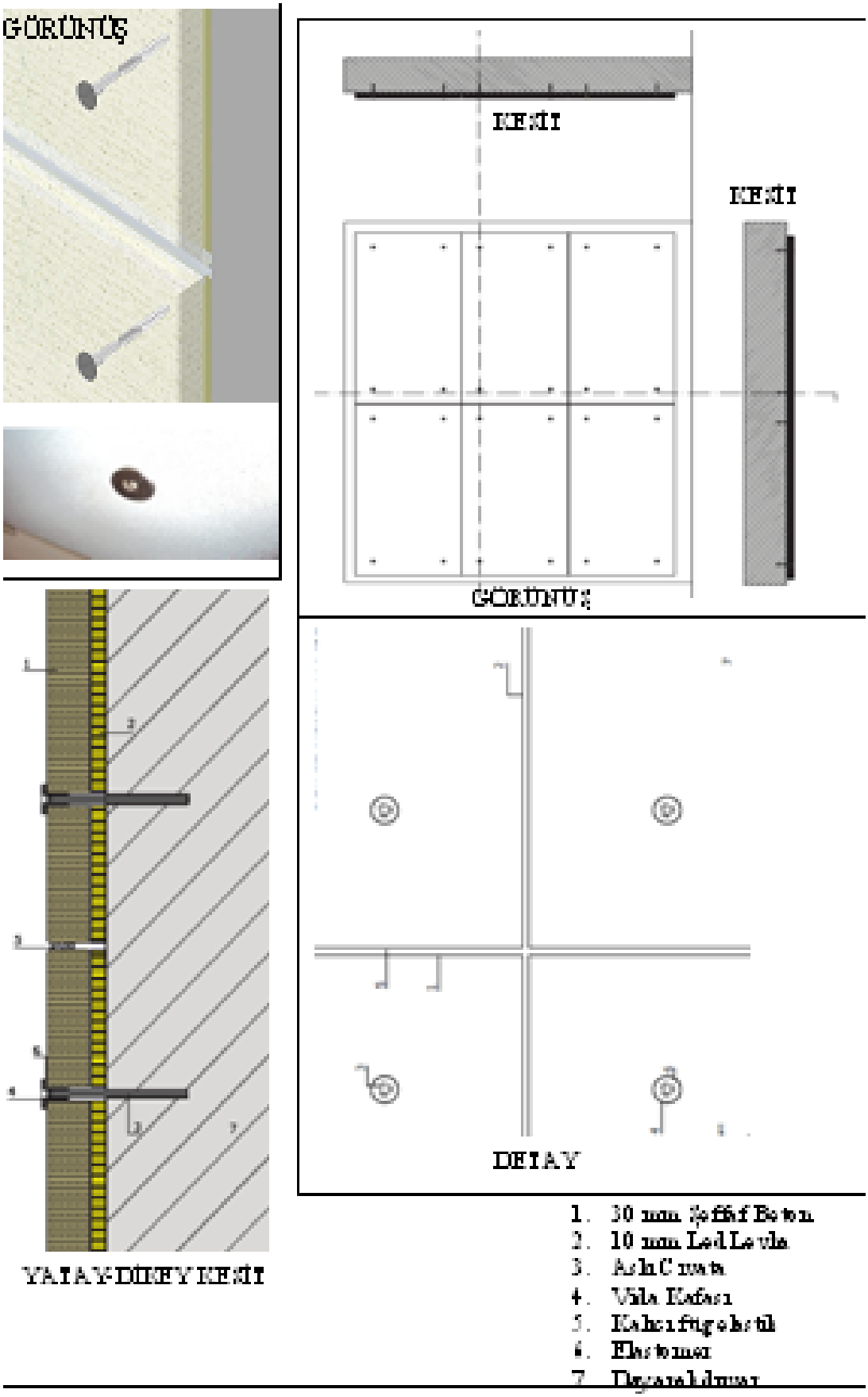


Şekil 4.17. Soldan sağa :70 mikron doğrusal cam elyaf düzenlenmiş, 70 mikron kesitiyle cam elyaf düzenlenmiş, 1 mm polimer lifli ve 3mm polimer lifli şeffaf beton örnekleri [32]

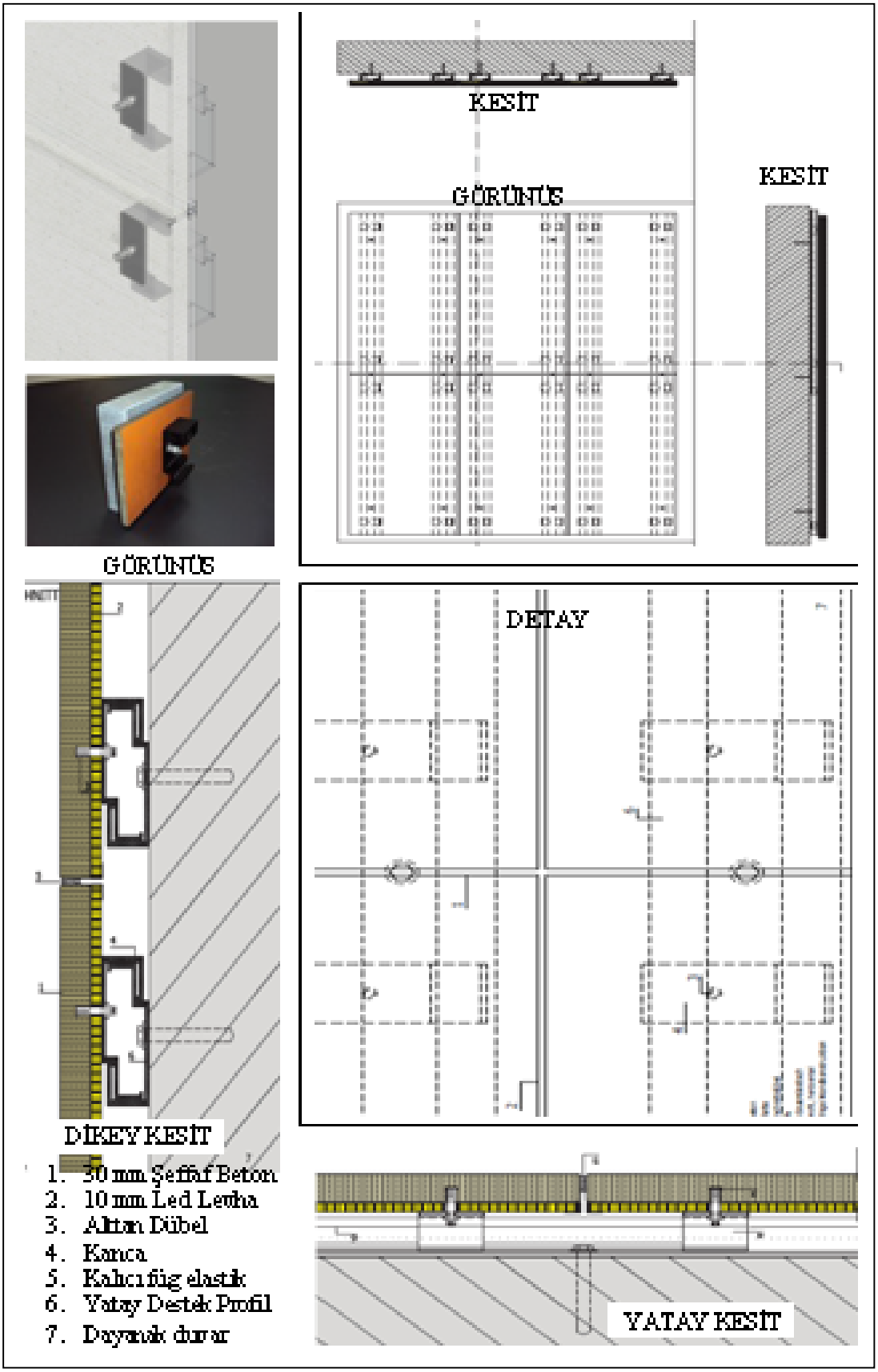


Şekil 4.18. Şeffaf beton yüzey işleme ve kesme [39]

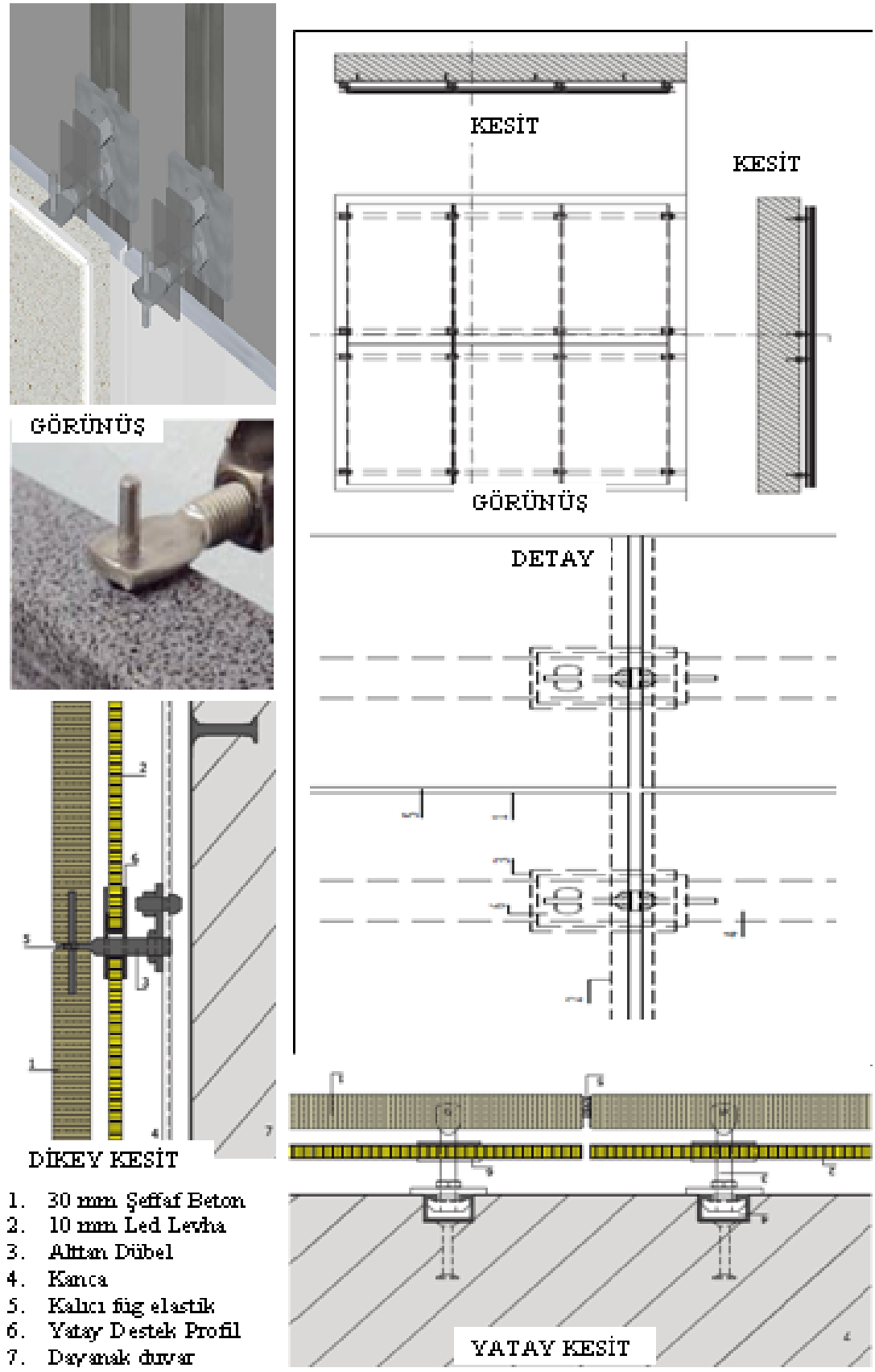
İncelenen yöntemlerde şeffaf betonun paneller (plakalar) şeklinde üretildiği gözlemlenmiştir. Bu paneller çelik bir taşıyıcı strüktere monte edilmekte veya tutkal yapıştırıcılar ile bir araya getirilmektedir. Bu konuda Lucem firması 3 farklı led panelli montaj uygulaması gerçekleştirmiştir [39]. Bunlar; standart görünür vidalama (Şekil 4.19), alttan ankrajlı (Şekil 4.20) ve cephe (Şekil 4.21) montaj sistemleridir.



Şekil 4.19. Şeffaf betonda standart görünür vidalama yöntemi uygulanması [39]



Şekil 4.20. Şeffaf betonda alttan ankrajlı yöntem uygulanması [39]



Şekil 4.21. Şeffaf betonda cephe ankrajlı yöntem uygulanması [39]

4.3. Şeffaf Beton Uygulamaları

Şeffaf beton birçok alanda kullanılmış ve kullanılmaktadır. Şeffaf beton ile yapılmış pek çok tasarım vardır. Ayrıca yapılan araştırmalardan şeffaf betonu farklı tasarımlarda malzeme olarak da kullanma arayışlarının devam ettiği bilinmektedir.

Şeffaf betonun; yapı iç-dış duvarı, dış ve iç mekân elemanı, güneş kırıcı, merdiven, sembol (anıt, heykel, simge v.s.), lamba, paravan, logo, tabela, pano, masa, mutfak tezgahı, bank, kapı, görsel obje, asansör yüzeyi, yer döşemesi gibi yapı elemanı veya obje olarak kullanıldığı gözlemlenmiştir.

Şeffaf betonun yapı dış (Şekil 4.22 - Şekil 4.29) ve iç duvarı (Şekil 4.29 – Şekil 4.42) olarak kullanımı, uygulanmış örnekler ile gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Losonczi'nin seffaf betondan dış duvarı [44]



Şekil 4.23. Losonczi; Fraungan kilisesi, yarışma projesi 2003 [36]

Saydam betonun kullanımına yönelik en fazla çalışmayı Aron Losonczi gerçekleştirmiştir. Fraungen Kilisesi Lasonczi'nin ikinci çalışması olup 2003 yılında yarışma projesi olarak tasarlanmış, ancak hayata geçirilememiştir. Yapının 50 cm kalınlığındaki dış duvarları şeffaf betondan yapılmıştır. Banliyö merkezindeki konut görünümlü kaba beton küp yapı, yapı içine giren süzülmüş yumuşak ışığın sembolik etkisiyle kilise kimliğine bürünmektedir (Şekil 4.23). Çevresindeki ağaçların sürekli hareketli gölgeleri iç duvarların yüzeyinde yansımalar oluşturmaktadır. Yarışma için malzemenin prototipi kullanılarak projenin 1:33 maketi yapılmıştır [35].



Şekil 4.24. 2006, Litracon, Montblanc butiğin Febelcem şeffaf dış duvarı [36]

2006 yılında gerçekleştirilen bir diğer önemli uygulama Tokyo'daki Montblanc Butik'dir (Şekil 4.24). Dört köşeden bulonlarla çelik bir taşıyıcı strüktüre monte edilmiş şeffaf bloklar ile mağazanın bir duvarı yapılmıştır [33]. Duvarın yarı geçirgenlik özelliği kullanılarak gündüzleri yapı içinde etkileyici bir görüntü oluşturulurken aynı zamanda dışarıdan sağır bir duvar görüntüsü verilmektedir. Duvara monte edilmiş görsel ise gündüzleri doğal ışık ile iç alanda dikkat çekici bir hale gelmektedir. Yapı, geceleri ise; içerdeki yapay aydınlanmanın dışarıya sızması ile sokaktan dikkatleri üzerine çekmektedir.



Şekil 4.25. Luccon; şeffaf betonun dış duvarlarda gece ve gündüz görüntüsü [37]



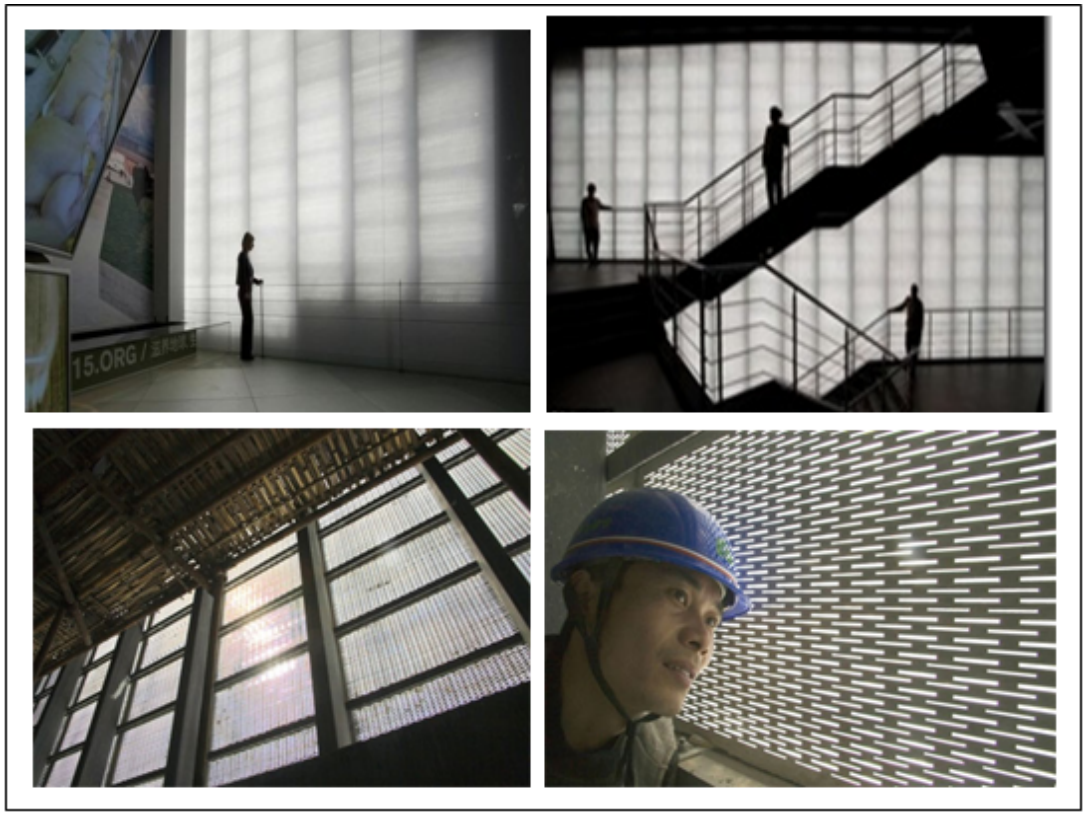
Şekil 4.26. Luccon; şeffaf betonun dış duvarlarında kullanımı [37]



Şekil 4.27. Italcement; İtalya Pavyonu şeffaf beton uygulaması dış cephe[40, 42]

Gerçek anlamda şimdiye kadar şeffaf beton ile gerçekleştirilmiş ilk ve son büyük uygulama İtalya pavyonudur (Şekil 4.27). Yapı 18 m. yüksekliğindedir ve yapının yaklaşık %40'ı üretilen şeffaf beton ile kaplanmıştır. Bu kaplama 100x50x5 cm kalınlığında 3.774 blok ile sağlanmıştır [42].

3.774 şeffaf panel bloğu, 189 ton ağırlığında ve 1.887 m² toplam yüzey alanına sahiptir. Pavyon cephesinin şeffaf betonla kaplı olmasından dolayı pavyon'un %40'ı gün ışığının düzeylerindeki değişiklikler sonucu ortaya çıkan farklı renkte ışıklar ve gölgelerden oluşmaktadır. Karanlıkta ise iç ışıklardan dolayı yapı dışarıdan daha görünebilir hale gelmektedir [42]. Pencere gibi kullanılan bu kaplama ile gün ışığı iç alana alınarak enerji tasarrufu sağlanması da hedeflenmiştir (Şekil 4.28).



Şekil 4.28. Italcement; İtalya Pavyonu şeffaf beton uygulaması iç görünüş [45]

Tasarımcısının Mimar Giampaolo Imbrighi olduğu İtalyan Pavyonu'nda şeffaf betonun kullanım amacı geleneksel mimari ile yenilikçi bir tasarım yapmaktır. Geçirgenlik için büyük boyutlarda cam kullanıldığı takdirde yapı için yeterli mukavemet sağlanamayacaktır. Konstrüksiyon da şeffaf betondan yapılan blokların uygulaması daha kolaydır [41].

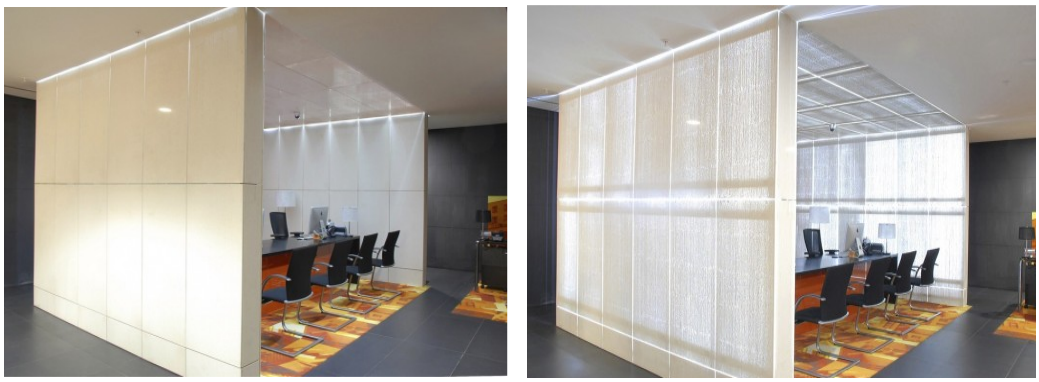
Şeffaf beton ile ilgili yayımlanan bir başka yayın da, 2007'de korunma altına alınmasından sonra, 2010 yılında yenileme kararı alınmış olan Tiflis'teki Gürcistan Bankası Genel Merkezidir. Binanın yeniden tasarımında, özgün yapının tasarımında benimsenmiş olan yapıdaki boşlukların doğal manzara ve ışık geçirgenliğini sağlaması fikrine dayandığından şeffaf beton temel eleman olarak kullanılmıştır. Yenileme işinde AG&P Mimarlık görevlendirilmiş ve 2010-2011 yılları arasında yenileme çalışmaları tamamlanmıştır [46].



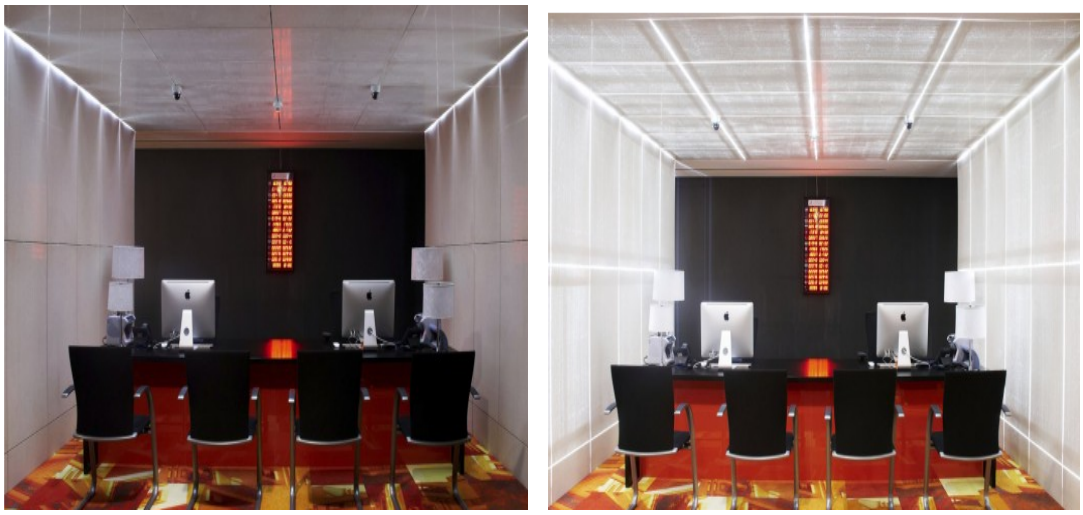
Şekil 4.29. Tiflis; Gürcistan Bankası genel merkezi [39]

Yapı 10.960 m² alana sahip büro yapısı, kutu benzeri dizilmiş, ikişer katlı yatay yapı parçalarından oluşmaktadır (Şekil 4.29). Yükseltilmiş temeli sayesinde bütün bir peyzaj, hatta küçük bir derenin yapı ile bütünleşmesi sağlanmıştır. Her yapı parçasındaki açık ve aydınlık odalar bir ormana benzer biçimde ışığın geçmesine olanak verirken kullanıcı için de fiziksel konforu artırmaktadır [46].

Toplamda 300 m²'lik ışık geçirgenliğine sahip şeffaf beton panelleri, Gürcistan Bankası'nın yeni genel merkezinin farklı bölümlerinde kullanılmıştır. Paneller 120x60 cm boyutlarında ve 1,5 cm kalınlıktadır. Montaj sistemi cephe ankrajlı yöntemdir. Paneller içinde gömülü binlerce fiber ile ışık, şeffaf beton yüzey ve duvarlar arasında dolaşmaktadır. Duvarlar, koridorlar, resepsiyon, bürolar, toplantı masaları içeriden gelen ışıkla parlatılmaktadır [46].



Şekil 4.30. Tiflis; Gürcistan Bankası çalışma alanı dıştan görünümü [39]



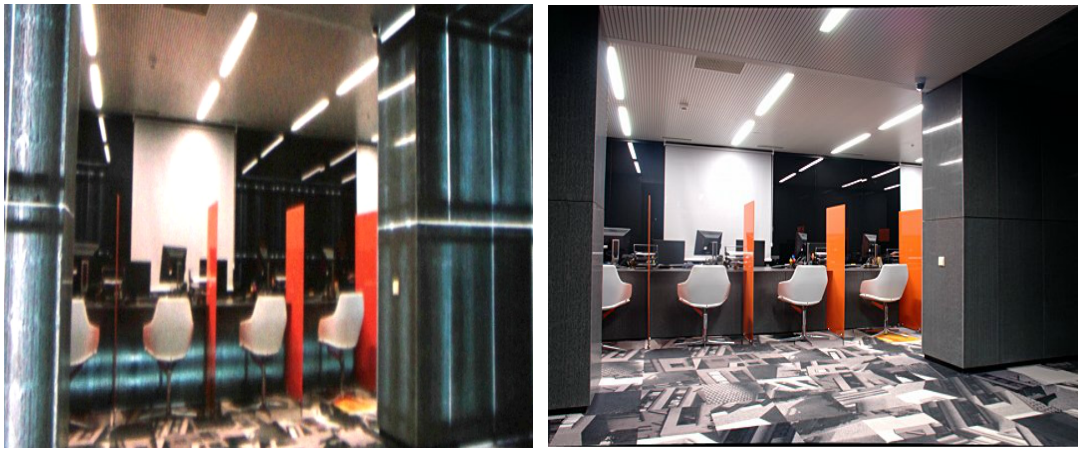
Şekil 4.31. Tiflis; Gürcistan Bankası çalışma alanı içten görünümü [39]

Bankanın çalışma alanının iki yan duvar ve tavanı şeffaf beton plaklarla kaplanmıştır. Plakların arasına da florasanlar yerleştirilmiştir. Florasanlar yandığında beton plakalar saydamlaşarak ışığın geçişine olanak vermektedir. (Şekil 4.30, Şekil 4.31) [46].

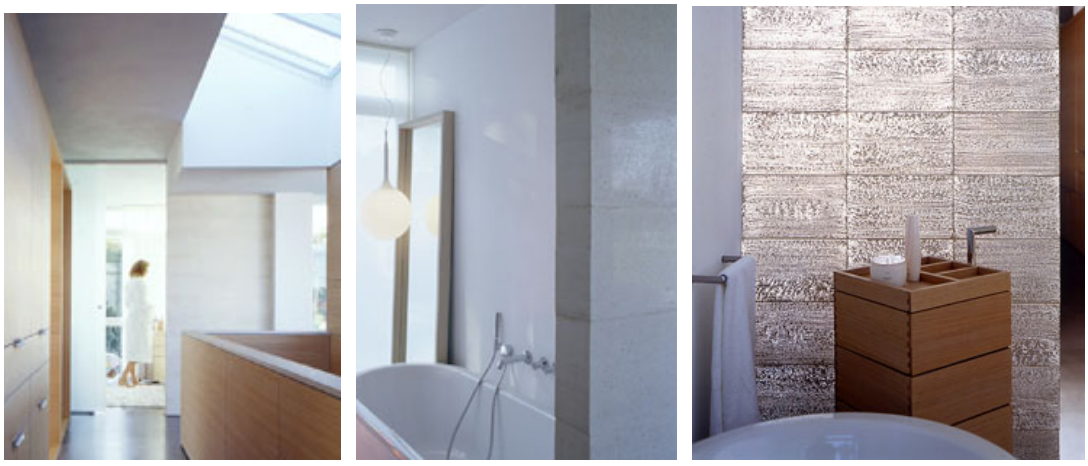
Veznelerin bulunduğu, zemin katındaki giriş küpü ise sıra dışı bir etkiye sahiptir. Bu bölüm bütünüyle şeffaf beton panellerle kaplanmış, şeffaf beton paneller sayesinde de hem ince hem de kalın duvarlarda bir hafiflik etkisi yaratılmıştır (Şekil 4.32, Şekil 4.33) [46].



Şekil 4.32. Tiflis; Gürcistan Bankası koridorlarından, saydam beton kaplamalı duvarların floresanlar açık ve kapalı iken görünümü [39]



Şekil 4.33. Tiflis; Gürcistan Bankası vezne bölümü [39]



Şekil 4.34. 2005, Litracon; yaşam için bir ev projesinde banyo ile koridor arasında şeffaf duvarın kullanımı [36]

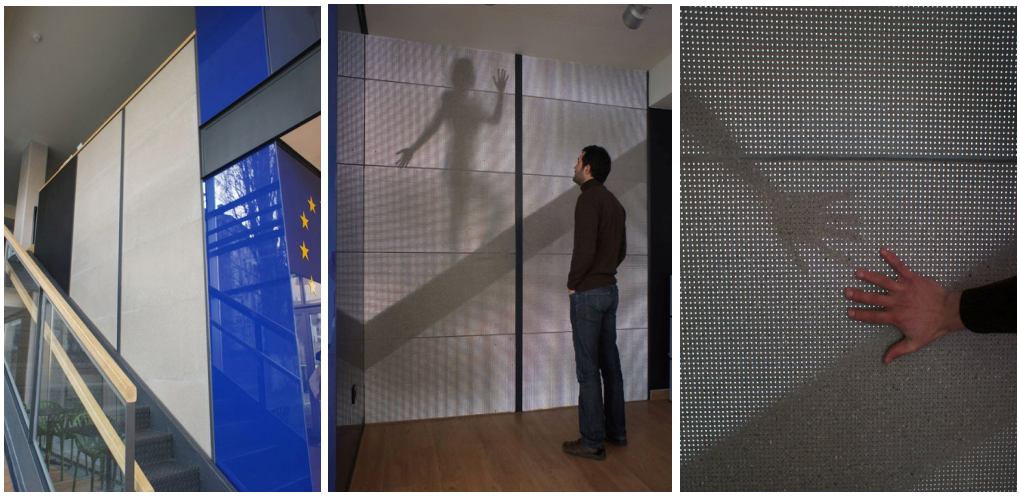
2005 yılında Litracon firması, Almanya'da "Yaşam İçin Bir Ev" projesinde evin banyosu ile koridorunu ayıran bölücü duvarı şeffaf beton bloklardan oluşturmuştur (Şekil 4.34). Bu bölücü eleman aracılığıyla, yaşam alanlarında arada kaldığı için karanlık olan mekânların, diğer mekânlardan gelen ışık ile aydınlatılması sağlanırken ışığın yoğun olduğu taraftan silüet şeklinde bir yansıma elde edilerek mekânın net bir şekilde algılanmaması sağlanmaktadır.

2010 yılında Litracon firması, Budapeşte de bir evin iç salonu ile Japon bahçesi arasına şeffaf betondan ayırıcı bir duvar yapmıştır (Şekil 4.35). Duvarın şeffaf olarak kullanılması yapının salonuna görsel bir farklılık kazandırırken aynı zamanda mekânda, gün içinde değişen zaman dilimleri farklı ışık geçişleri ile hissettirilmiştir.

Karanlık bir alan olan koridorun şeffaf duvar ile gündüzleri salonu aydınlatan doğal aydınlatma ile aydınlatılması sağlanmakta, geceleri ise yapay aydınlatma ile koridor aydınlatılırken salonda loş ışıklı ve yarı geçirgen bir duvar elde edilmektedir.



Şekil 4.35. 2010, Litracon; Budapeşte'de bir evin iç salon ve Japon bahçesi arasına uygulanan şeffaf bölücü duvar [36]



Şekil 4.36. 2010, Litracon pxl; Budapeşte Milenaris Parkı şeffaf bölücü duvar [47]



Şekil 4.37. Luccon; soyunma odası [38]



Şekil 4.38. Luccon; bedea duş [38]



Şekil 4.39. Luccon; banyo [37]



Şekil 4.40. Luccon; iç duvarda kavisli şeffaf beton duvar [37]

Lucem'in Berçika da yaptığı bir uygulama ise bir diş kliniğidir. Diş kliniği gibi bekleme gerektirecek özel alanların duvarlarının şeffaf betondan yapılması bekleyen kişilerin silüet şeklinde algılanabilmesini ve diğer mekânın da mahremiyetini sağlamaktadır (Şekil 4.41). Paneller 100x100 cm boyutlarında ve 0,3 cm kalınlıktadır. Klinikte 30m²'lik şeffaf beton paneli kullanılmıştır [39].



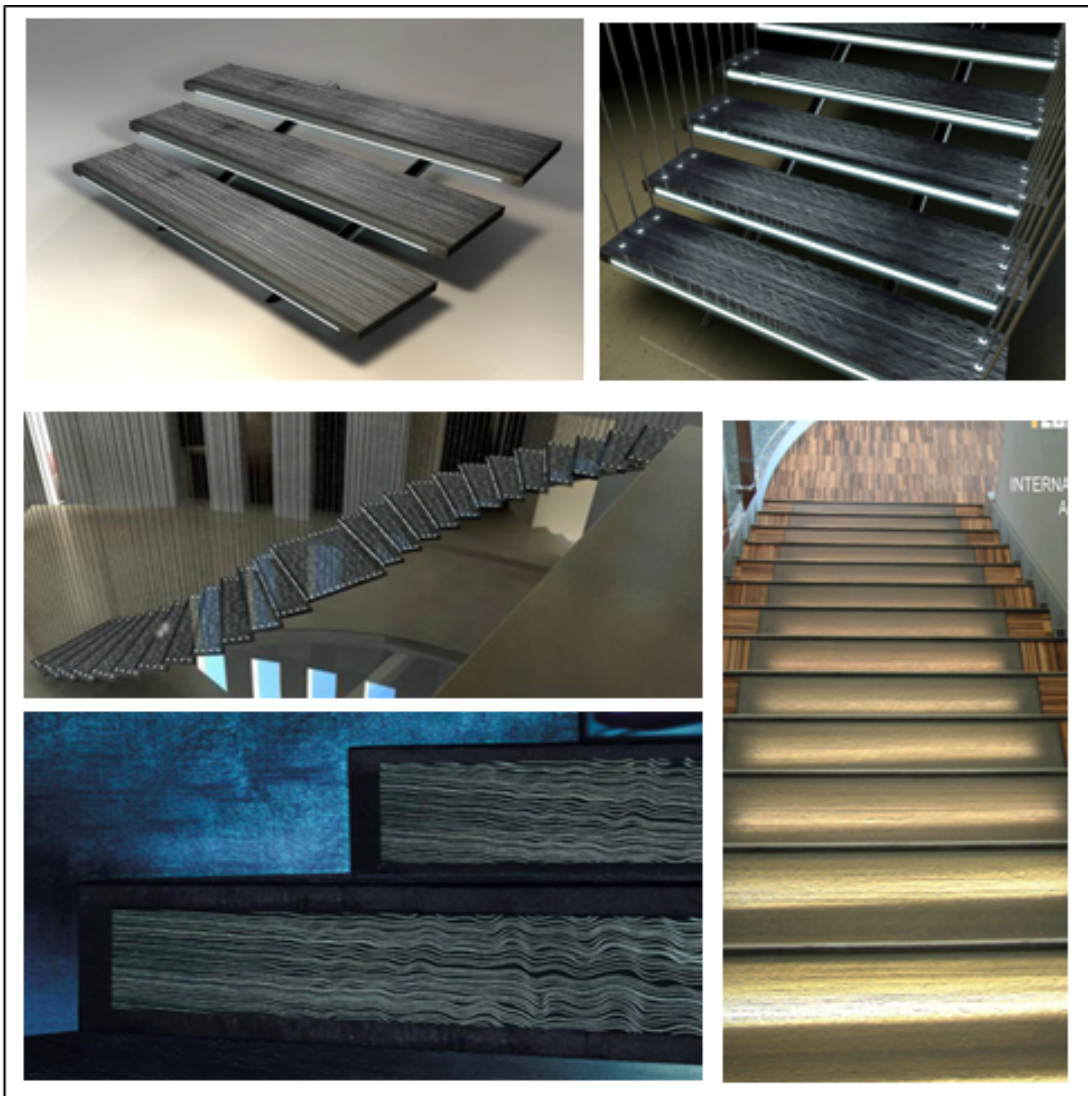
Şekil 4.41. Lucem; Genk/Berçika da diş kliniğinde şeffaf iç duvarlar [39]



Şekil 4.42. Lucem, Hansa-Hamburg mezarlığında şeffaf beton iç duvar [39]

Almanya'da Hansa kentindeki Hamburg mezarlığı Temmuz 1877 tarihinde açılmış ve 391 hektarlık alanı ile dünyanın en büyük mezarlığıdır. Tabut giriş alanında ayarlanabilir renklerde ışık ile kişilerin ruh hallerini yansıtabilecek atmosferik bir ortamın sağlanması için şeffaf beton panelleri ile bir konsept oluşturulmuştur (Şekil 4.42). Konsept 2011 yılında uygulanmış ve uygulamada 120x60cm boyutlarında, 1,5 cm kalınlığındaki paneller, görünür paslanmaz çelik vidalar ile monte edilmiştir [39].

Şeffaf betonun cam laminasyonlu ürünü, statik olarak taşıyıcılığı yüksek olduğundan daha çok merdivenlerde kullanılmıştır. Merdivenlerde ışığın kullanılması görsel olarak farklılık sağlarken dar merdiven alanlarının geniş gösterilmesini de sağlamaktadır (Şekil 4.43).



Şekil 4.43. Luccon, şeffaf betonun merdivenlerde kullanımı [37]

Şeffaf beton; kaldırım taşı, motifli döşeme gibi zeminlerde de kullanılabilmektedir (Şekil 4.44, Şekil 4.46). Bu kullanım yapay aydınlatma ile zeminde çeşitli görsel durumları oluşturabilmektedir.



Şekil 4.44 Losonczi; PIX-Stureplan yarışma projesi [35]

2002 tarihinde üretilmiş ama hayata geçirilememiş PIX-Stureplan (Şekil 4.44) yarışma projesi Aron Losonczi'nin çalışmalardan ilkidir. Bu projede Stokholm'un merkezinde 35x35x5 cm boyutlarında alttan aydınlatılmış kaldırım taşları olarak şeffaf beton bloklar kullanılmıştır [33].



Şekil 4.45. Luccon; şeffaf betonun zeminde kullanımı [37]



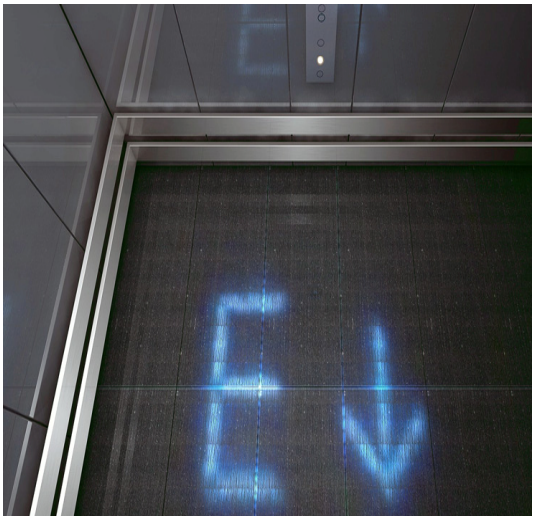
Şekil 4.46 San Francisco, şeffaf betonun motifli döşeme olarak kullanılması [48]

Şeffaf betonun önemli bir kullanım alanı da San Francisco merkezinde uygulanan çiçek motifli zemindir (Şekil 4.46) Bu zemin, çağdaş içlerin beton sanatı sözcüğünün popülaritesini bir adım daha ileriye götürmüştür [48]. Malzemenin verdiği opaklık ile opaklığın yer yer kırılarak şeffaf beton ile yüzeyin saydamlaştırılması zıt iki kavramın birlikteliğindeki uyumu göstermektedir. Beton zeminin cilalanması ile de mükemmel sonuçlar elde edilmiştir.

Şeffaf beton iç mekânlarda; asansör çevrelerinde yüzey (Şekil 4.47 – Şekil 4.49), pencere önlerinde güneş kırıcı (Şekil 4.50), masa (bar masası, resepsiyon masası, sehpa v.s.) (Şekil 4.51 - Şekil 4.61), evye, lavabo (Şekil 4.62), askılık (Şekil 4.63) gibi çeşitli şekillerde, yüzey ve obje olarak da kullanılabilmektedir.



Şekil 4.47. Halm Juergen'in asansör sövesi [33]



Şekil 4.48. Luccon; asansör tavanı [37]



Şekil 4.49. Lucem; şeffaf asansör kenarı [37]



Şekil 4.50. 2004, Litracon; güneş kırıcı [36]

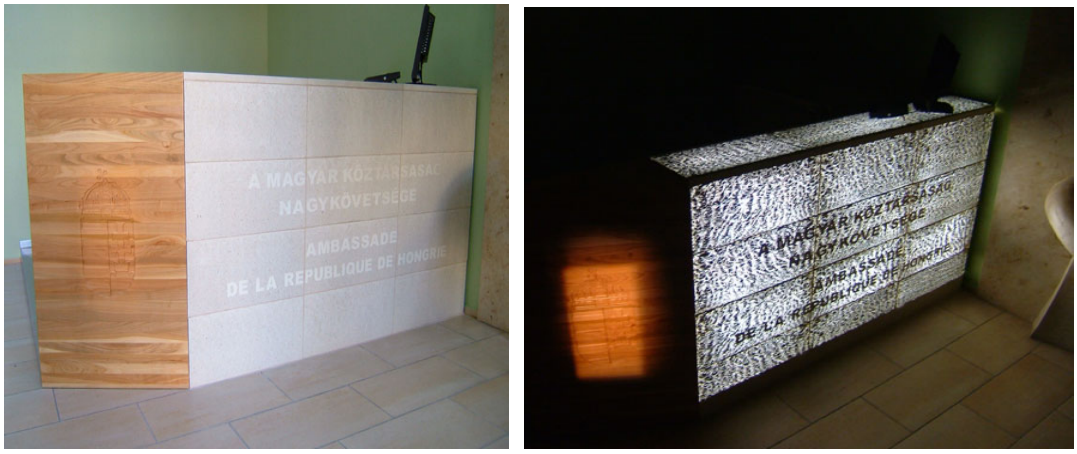
Şeffaf beton, ilk olarak 2004 yılında Litracon firması tarafından Budapeşte'de bir konutun yemek odası penceresinin önünde 40x120x6cm boyutlarında güneş kırıcı eleman olarak kullanmıştır (Şekil 4.50). Bu plaka sabah, güneşi ile aydınlanmakta ve geceleri de iç ışıktan dolayı dışarıya ışık yansıtmaktadır.



Şekil 4.51. Halm Juergen'in Resepsiyon masası [33]



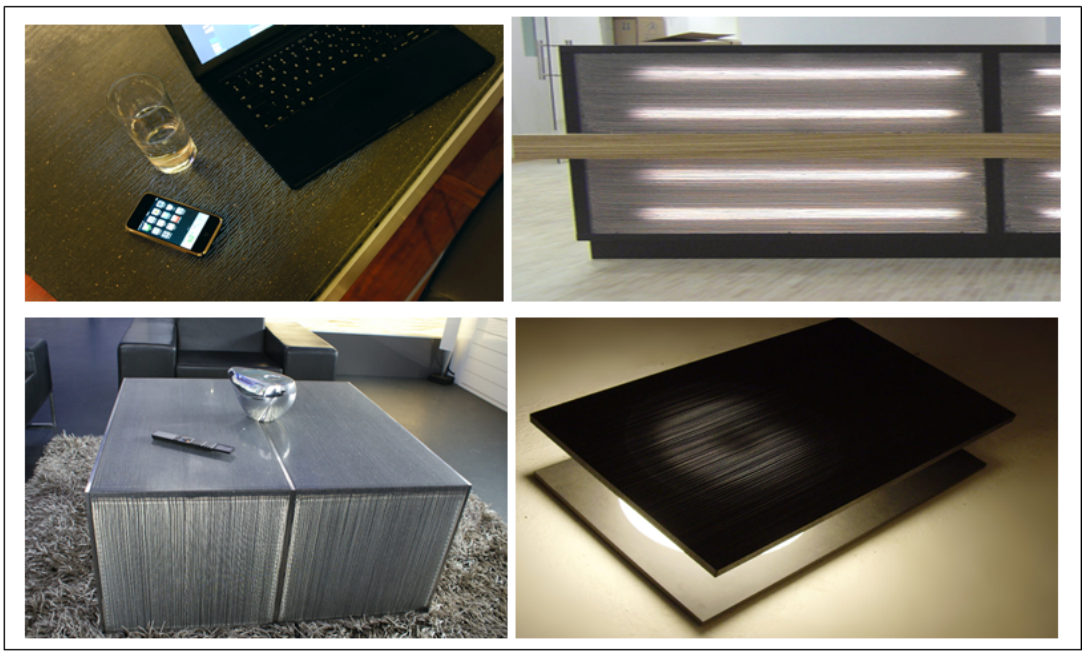
Şekil 4.52. 2007, Litracon; şeffaf betonun Corvinus Üniversitesi'nde lobide resepsiyon masası ve konferans salonunda masa olarak kullanımı [36]



Şekil 4.53. 2008, Litracon; Macaristan Büyükelçiliği Paris, ana resepsiyon [36]



Şekil 4.54. 2011, Litracon; pxl bar top [47]



Şekil 4.55. Luccon; şeffaf betonun; masa, sehpa olarak kullanımı [37]



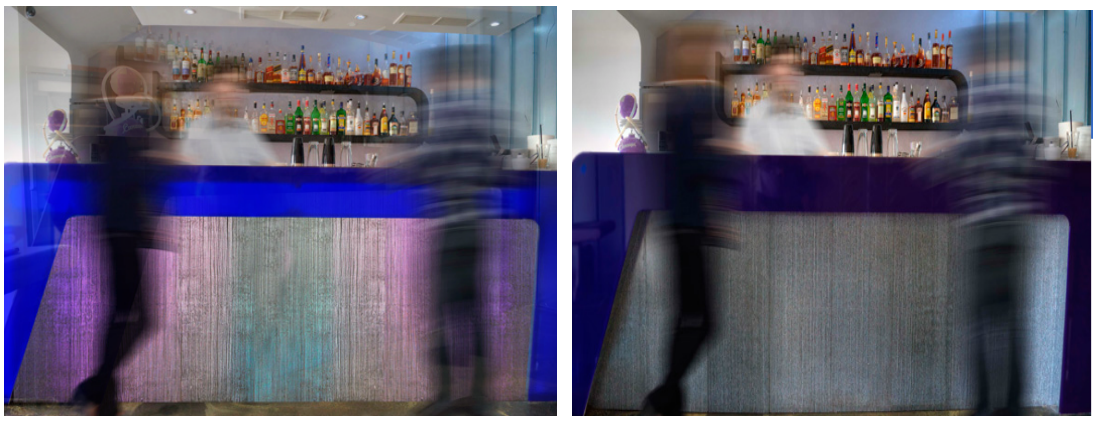
Şekil 4.56. Luccon; resepsiyon masası [37]



Şekil 4.57. Lucem; Moskova'da bir resepsiyon masası [39]



Şekil 4.58. Lucem; Spitzingsee'de bir otelde şeffaf betondan bar masası [39]



Şekil 4.59. Lucem; Moskova'da bir bar masası [39]



Şekil 4.60. Lucem; kreşte resepsiyon masası [39]



Şekil 4.61. Lucem, Hamburg'da resepsiyon masası [39]

Şeffaf betonun masa olarak kullanımı dikkat çekmektedir. Masalarda şeffaf betonun kullanılmasıyla kişilerin öncelikle masaya odaklanması sağlanmakta ve masanın vurgusu artırılmaktadır. İstenildiği zaman ise vurgu yok edilip brüt betonun güzelliği ortaya çıkarılmaktadır. Ayrıca masaya verilen değişik renklerdeki ışıklar masanın görüntüsünü değiştirmekte ve bu görüntü ortam renklerine göre ayarlanabilmektedir.

Masalar genelde arkalarından led ışıklar ile aydınlatılabilmekte ve Lucem'in masa için kullandığı şeffaf beton panellerin 120x60 cm ve 1,5 cm kalınlıkta olduğu, çerçeve sistem ve gizli ankrajlama ile monte edildiği bilinmektedir [39].

Luccon şeffaf betonu evye ve ıslak hacimlerde lavabo şeklinde kullanmıştır. Işıklandırmanın etkisi ile farklı atmosferde mekânların oluşturulması sağlanmıştır (Şekil 4.62).



Şekil 4.62. Luccon, şeffaf betonun lavabo, evye olarak kullanımı [37]



Şekil 4.63. Lucem; 120x60x1,5 cm boyutlarında şeffaf beton plakadan askılık [39]

Şeffaf beton ile üretilen bazı elemanlar hem iç mekânlarda hem de dış mekânlarda kullanılabilmektedir. Bunlar; kapılar (Şekil 4.64, Şekil 4.65), çeşitli paravanlar (Şekil 4.66 - Şekil 4.68), lambalar (Şekil 4.69- Şekil 4.71), banklar (Şekil 4.72), pano ve logo tasarımları (Şekil 4.73 - Şekil 4.76), görsel objelerdir (Şekil 4.77 - Şekil 4.80). Bu objeler odaklanmayı sağlamanın yanında aydınlatıcı obje ve görsel amaçlı olarak da kullanılmıştır. Kapılarda ve paravanlarda kullanılan şeffaf beton ise sayılan özellikler yanında hem görselliği kesmesi hem de görselliği devam ettirmesi nedeniyle önemli olmuştur. Çünkü; şeffaf beton görüntüyü net göstermemekte aynı zamanda arkasındaki objeleri de flu şekilde göstermektedir.

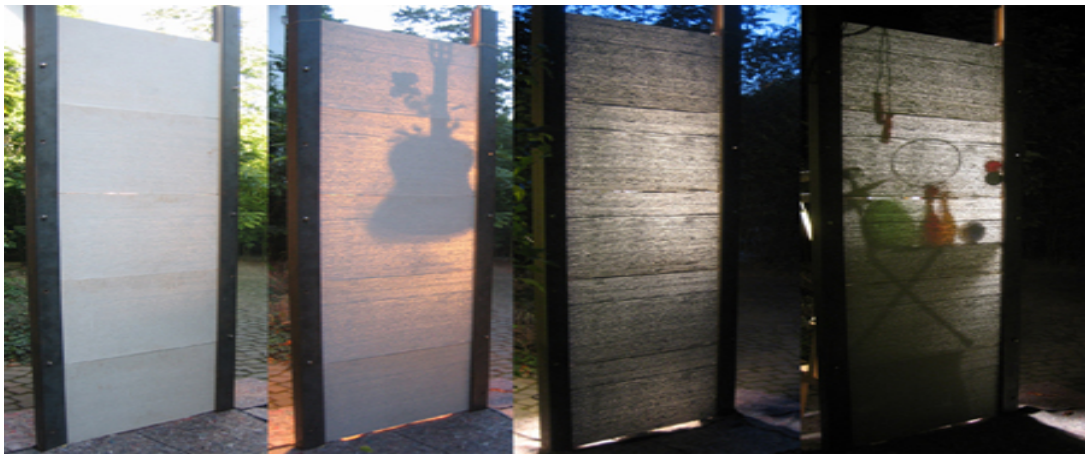


Şekil 4.64. 2006, Litracon; Cella Septichora Müzesi'nin ana giriş kapısı [36]

Şeffaf beton blokların 2006 yılında Macaristan'daki Cella Septichora Müzesi'nin ana giriş kapısında kullanılması, Litrocon'un önemli bir diğer uygulaması olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 4.64).



Şekil 4.65. Luccon; şeffaf betondan garaj giriş kapısı [37]



Şekil 4.66. Andreas Bittis'in saydam betonu [31]



Şekil 4.67. Luccon; cafe için paravanlar [37]



Şekil 4.68. Litracon; Budapeşte'de bir ev [47]

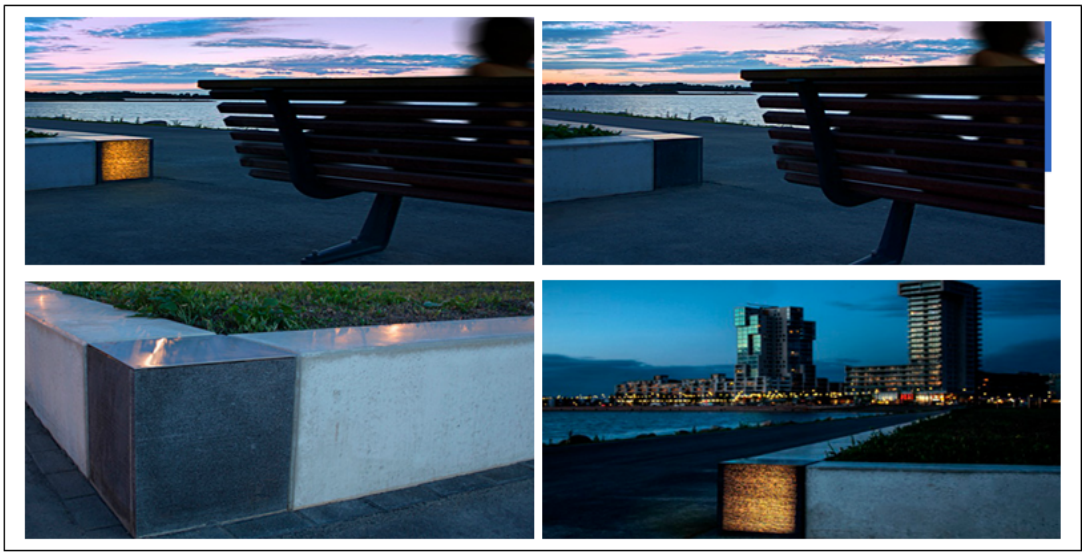


Şekil 4.69. Losonczi; LitraCube lamba [36]



Şekil 4.70. Andreas Bittis; lamba [36]

Lasonczi, 2005 yılında 19x19 cm boyutlarında ve 20 cm yüksekliğindeki şeffaf beton blokları kullanarak küp şeklinde bir lamba (Şekil 3.40) yapmış ve şeffaf betonun iç mekân ve dış mekân tasarımlarında da uygulama alanı bulabileceğini ortaya koymuştur [35].



Şekil 4.71. Lucem, Rotterdam da park, 45x45x3 cm sokak aydınlatma elemanı [36]



Şekil 4.72. Luccon; şeffaf betonun bank olarak kullanımı [37]



Şekil 4.73. 2005, Litracon; Logo Tasarımı [36]

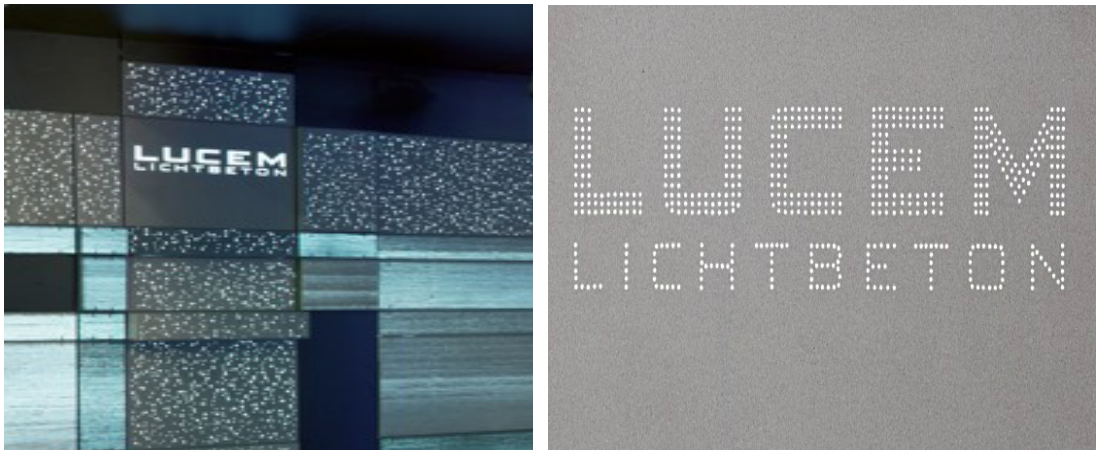


Şekil 4.74. 2007-2008, Litracon; Squire Sanders & Dempsey, logo duvarı [36]

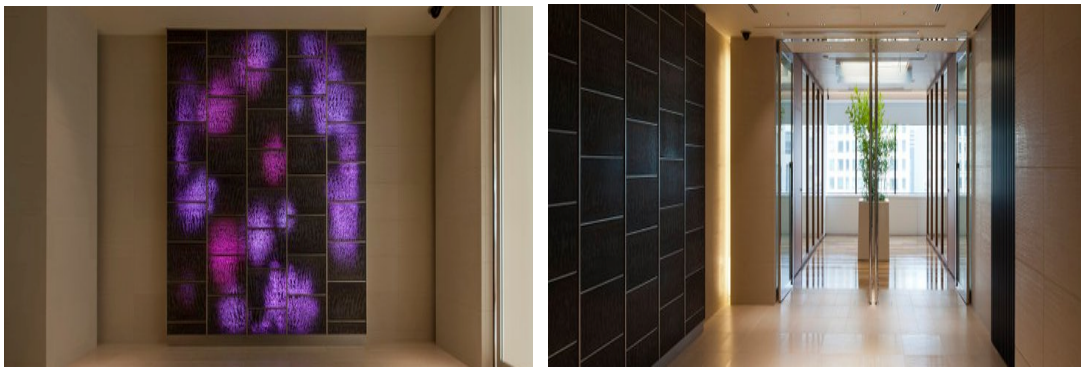


Şekil 4.75. Losonczi; Urania Sinema Logosu [36]

Lasonczi şeffaf betonu kullanarak 2010 yılında Macaristan'da Urania Sinema Logosunu tasarlamıştır (Şekil 4.75). Gündüz, beton plaka üzerinde sinemanın resmi adını gösteren paslanmaz çelikten yazı gözükmektedir. Gece ise logonun görünümü tamamen değişmektedir. Beton plaka arkasından ışık verilerek renkli pleksiglas harflerle mozi (Macarca sinema) yazısı ortaya çıkmakta; böylelikle yapının gece ve gündüz farklı işlevlerde kullanıldığı hissettirilmektedir [35].



Şekil 4.76. Lucem; Logo tasarımları [39]



Şekil 4.77. 2011, Litracon; Switch Studio Hıbıya Tokyo, Şeffaf betonun görsel olarak kullanımı, led projeksiyon [36]



Şekil 4.78. Luccon; şeffaf betonun görsel olarak kullanımı [37]



Şekil 4.79. Lucem; şeffaf betonun görsel olarak kullanımı [48]



Şekil 4.80. Fibrobeton; şeffaf betonun görsel olarak kullanımı [49]

Şeffaf beton simgesel olarak da birçok kullanım alanı bulmuştur. Bazı anıtların ve heykellerin de şeffaf betondan yapıldığı bilinmektedir (Şekil 4.81- Şekil 4.84)



Şekil 4.81. Losonczi; Avrupa Kapısı [36]

Nitekim; Losonczi'nin hayata geçirilmiş ilk uygulaması 180x125x400 cm boyutunda bir anıt olan Avrupa Kapısı projesidir (Şekil 4.81). Anıt; Macaristan'ın Avrupa Birliği üyeliğini kutlamak amacıyla 2004 yılı yaz aylarında yapılmış ve Macar kenti Komarom'da Monostor Kalesi'nin giriş bölümüne yerleştirilmiştir. Sabah ve öğleden sonraları güneş ışığı ile aydınlanan anıt, geceleri ise gömülü ışık kaynaklarından sağlanan yapay ışıkla aydınlanmaktadır. Güneş, sabahtan öğleden sonraya kadar anıtın 3,5 m²' sini aydınlatmaktadır [35].



Şekil 4.82. 2008, Litracon - Iberville Parish Veterans Memorial [36]

Bu konuda Litracon'un ürettiği ve uyguladığı önemli bir çalışma da Iberville anıtıdır (Şekil 4.82). Anıt 1. Dünya savaşı ve Vietnam anısına yapılmıştır. Bu anıtın görselliğinin zaman dilimlerine göre değişiklik göstermesi, savaşın değişken bir şey olduğunu sembolize etmektedir. Anıtta ışık geçişi ile beton sembolik bir şekilde kullanılmıştır [35].



Şekil 4.83. 2010, Litracon, Kálvária Kilisesi, Macaristan [47]

Kálvária kilisesindeki şeffaf beton ise tamamen simgesel amaçlı kullanılmıştır (Şekil 4.83). Tümü sağır duvarlardan oluşan kilisede şeffaf beton paneli ile dıştan sağırlığı koruyan ama içten simgeyi ön plana çıkaran sağırlığın içinde bir ışık parlaması oluşturulmuştur. Böylelikle basit bir işlem ile vurgulu bir yaklaşım uygulanmış, zamanın ve temsiliyetin büyüklüğü hissettirilmiştir.



Şekil 4.84. 2010, Litracon pxl, Idokapszula açık hava heykeli [36]

10 m. yüksekliğindeki Idokapszula açık hava heykeli pxl şeffaf beton panel malzemesinin ilk uygulamasıdır (Şekil 4.84.). Çelik bir çerçeve içine yerleştirilen üç adet beton panel ile gerçekleştirilen heykelde panellerin konumlanması doğal ışığa göre tasarlanmış olup gece de yapay ışık ile aydınlatılarak heykelin dikkat çekmesi sağlanmaktadır [35]. Bir panel yaklaşık 3 m. yüksekliğindedir.

4.4. Bölüm Değerlendirmesi

Yapılan araştırmalardan şeffaf betonun genellikle fiber optik kablolar ile elde edildiği gözlemlenmektedir. Üretiminde kullanılan fiber optik kabloların pahalı olması nedeniyle şeffaf betonun daha çok, küçük boyutlu tasarımlarda kullanıldığı bilinmektedir. Ayrıca şeffaf beton üretiminde fiber optik kablolar yerine farklı malzemelerin kullanıldığı ve yeni malzeme arayışlarının da arttığı yapılan araştırmalardan ve uygulanan örneklerden anlaşılmaktadır.

Dünya çapında düşünüldüğünde şeffaf beton uygulamalarının çok az olduğu ancak buna rağmen şeffaf betonun kullanıldığı çok çeşitli tür ve nitelikte tasarımların yapıldığı görülmektedir. Mimarların tasarımlarında önemli unsurlardan olan ışık ve

simgeselleştirmenin şeffaf betonun kullanımı ile sağlanabildiği, prefabrike bir malzeme olması, farklı renklerin, dokuların, yapay-doğal ışığın ve farklı düzeydeki şeffaflıkların bir arada kullanılabildiği, zamanın değişimini ve mekânın odak noktasını oluşturulabilecek konsept tasarımların bu malzeme ile oluşturulabildiği saptanmıştır.

Tablo 4.1. Farklı niteliklerde üretilen şeffaf beton özellikleri

Üretici Adı	Losonczi	Bittis	Jurgen	Litracon**	Litracon** Pxl	Luccon	Lucem
Işığı Geçişi İçin Kullanılan Malzeme	Cam Optik Lif	Cam OptikLif	Plastik Optik Lif	Cam veya Plastik Optik Lif	PMMA	Cam veya Plastik Optik Lif	Cam veya Plastik Optik Lif
Lifin Hacimsel Yoğunluğu	% 4				—		
PMMA'nın Hacimsel Yoğunluğu	—	—	—	—	% 4	—	—
Lif Kalınlığı	2 mikron	2 mikron –0, 2cm	0,2-0,5cm	2 mikron -0,2 cm			
Beton Basınç Dayanımı	50 MPa	70 MPa	80 MPa			>90 MPa	
Beton Sınıfı	C 40	C 55, C60	C60, C70			>C80	C40, C50
Beton Yoğunluğu	2100-2400 kg/m³				2100 -2400 kg/m³	2100 -2400 kg/m³	
Standart ve Max. Panel Boyutları (cm)	60x30x 2,5-60x30x5 *	200x 120x2	90x30x 2,5-90x30x10	40x120x 2,5-40x120x50	120x60x 4, 360x120x6	120x60x2 200x70x3 250x70x3 100x50x2	120x60, 300x300 boyutları, 1,5-3 kalınlık
Şeffaf Beton Türleri				Yalın,	Normal, Kavisli	Yalın, Isı Yalıtımlı, Kavisli, Cam Laminasyon	
Yangın Sınıfı						2	1/2

* Losonczi'nin Fraungen Kilise duvarlarını 50 cm kalınlığında tasarladığı bilinmektedir.

** Ülkemizde şeffaf beton üreten Fibrobeton firması şeffaf beton üretimlerini, Litracon firması ile birlikte yürüttüğünden şeffaf beton özellikleri aynıdır.

Üretilen şeffaf beton bloklarının basınç dayanımlarının çok iyi olduğu ve taşıyıcı olarak da kullanılabileceği, kalın kesitte tasarımların yapılabileceği, uv ışınlarına ve yangına karşı dayanıklı olduğu, ışığı geçiren malzeme olarak genelde lifin kullanılması ve lif çaplarının büyük olmasının şeffaflığı daha çok sağladığı, panel şeklinde farklı boyutlarda üretilebildiği, kullanılan lif hacminin beton hacmine göre çok az olmasına karşın betonu şeffaflaştırmak için yeterli olduğu ve blokların son zamanlarda kavisli ve üç boyutlu gibi bazı özel hallerinin de üretilebildiği gözlemlenmiştir (Tablo 4.1).

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde şeffaf betonla ilgili olarak literatürden elde edilen tüm bilgi ve çalışmaların deneysel olarak da ortaya konulabilmesi için bir çalışma yapılmış ve bu deneysel çalışmada öncelikle şeffaf betonun üretilmesi amaçlanmıştır.

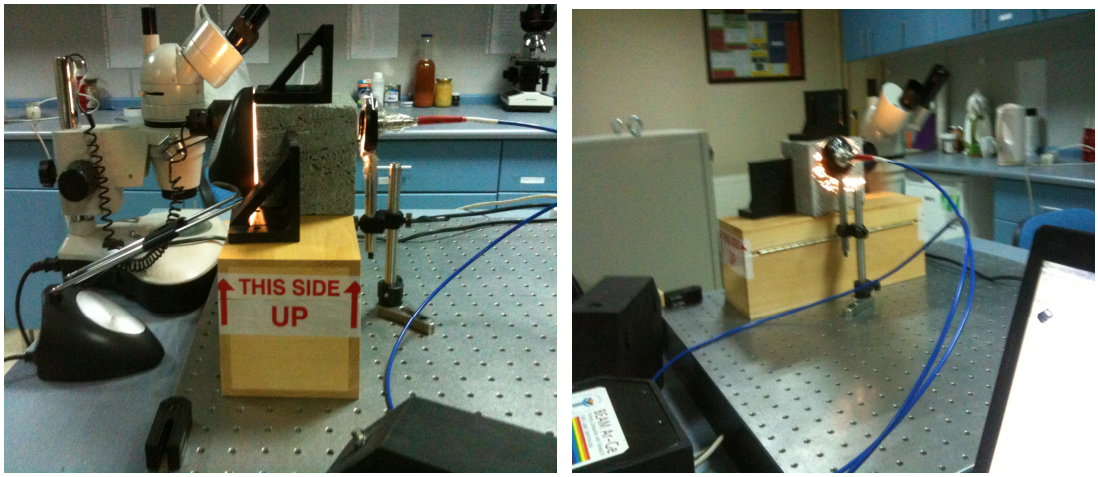
Üretilen 10x10x10cm boyutlarındaki küp beton örneğine dayanarak; malzemenin ışık geçirgenliği ve betonun eğilmede çekme, basınç dayanımı ile kılcallık katsayısı tayini gibi fiziksel ve mekanik özellikleri deneysel çalışma ile ortaya konmuştur. Elde edilen tüm sonuçlar tablolar halinde sunulmuştur.

5.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Laboratuvarlar ve Cihazlar

Deneysel çalışmada numunenin üretimi için Kocaeli Üniversitesi (KOÜ) Mühendislik Fakültesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda (Şekil 5.1) mevcut olan ve ilgili standartlara uygun araç-gereç ve cihazlar kullanılmıştır. Aydınlanma ölçümü için Kocaeli Üniversitesi Teknopark Lazer merkezi (Şekil 5.2) ve İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Elektrik-Elektronik Fakültesi Aydınlatma ve İç Tesisat Laboratuvarı (Şekil 5.3) kullanılmıştır.



Şekil 5.1. Kocaeli Üniversitesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarı



Şekil 5.2. Kocaeli Üniversitesi Teknopark Lazer Merkezi



Şekil 5.3. İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi Aydınlatma ve İç Tesisat

Deneysel çalışmada kullanılan cihazlar:

1. 0,1 ve 0,01 gram hassasiyetli dijital terazi

2. Uzunluğu 160 mm, genişliği 40 mm, yüksekliği 40 mm ve et kalınlığı 20 mm olan üçlü çelik numune kalıpları

3. Beton karıştırma mikseri

4. Çökme konisi

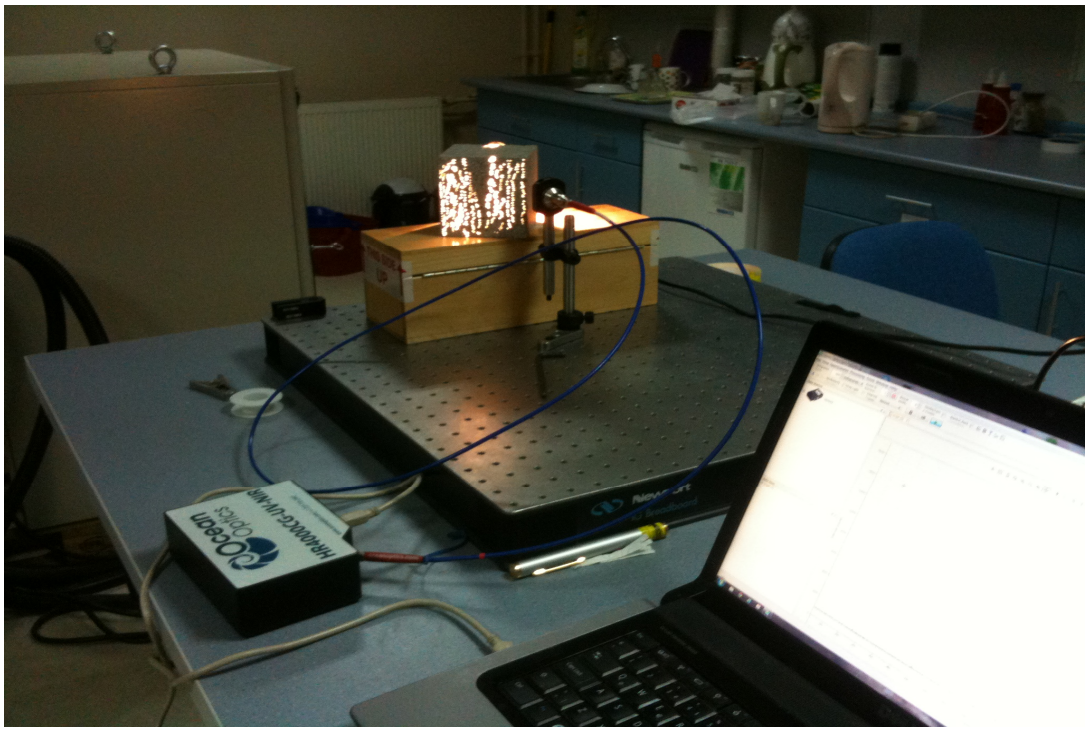
5. Deney presi

6. Ahşap kalıp

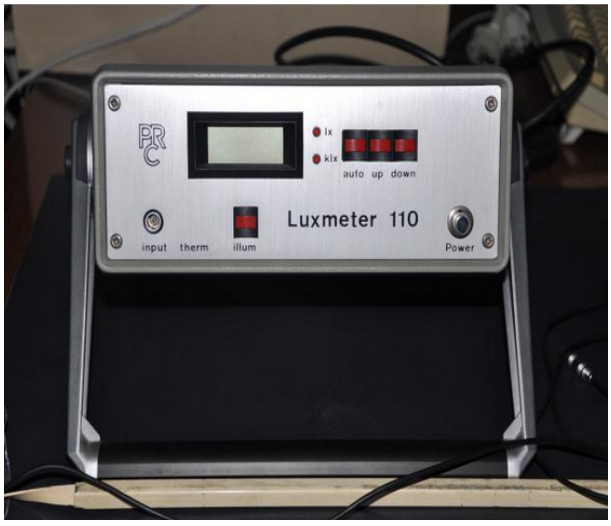
7. Optik spektrometre (Şekil 5.4)

8. Luxmetre (Şekil 5.5)

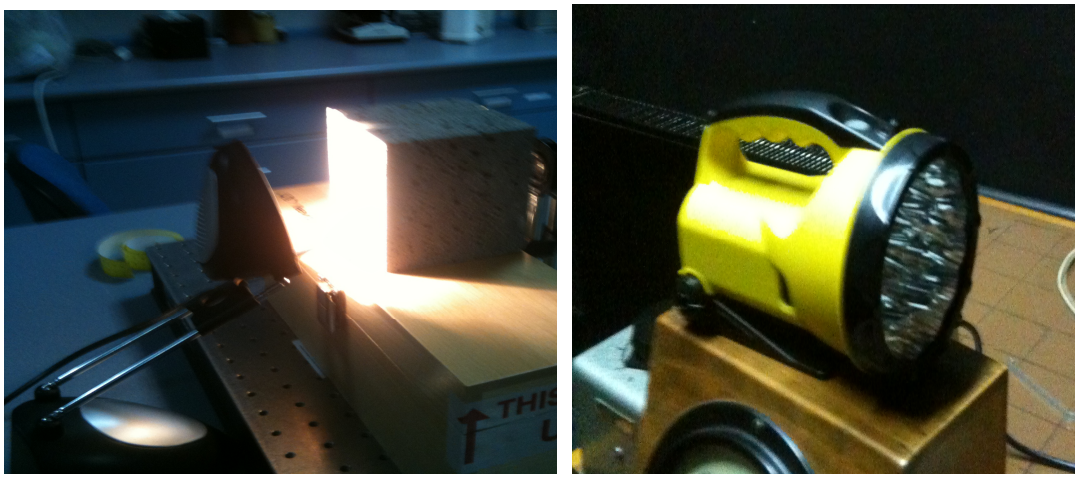
9. Yapay aydınlatma için lamba (Şekil 5.6)



Şekil 5.4. Optik spektrometre düzeneği



Şekil 5.5. Optik spektrometre düzeneği



Şekil 5.6. Yapay aydınlatma için kullanılan lambalar

5.2. Şeffaf Beton Kompozit Üretimde Kullanılan Malzemeler

Yapılan deneysel çalışmada çimento, perlit, kimyasal katkı kullanılarak kendiliğinden yerleşen harç karışımı elde edilmiştir. Beton hacminin %4'ü kadar CK-40 optik lif kulanılmıştır. Bu harçta kullanılan malzemeler ağırlık olarak Tablo 5.1' de verilmiştir.

Tablo 5.1. KYB malzeme ağırlıkları

Kullanılan malzemeler	Ağırlık (gr)
Çimento	440
K.Katkı	6.6
Perlit(674)	13.8
Perlit (126)	47.66
Perlit Atığı	49.59
Su	175

5.2.1. Çimento

Çalışmada Nuh Çimento Sanayi AŞ'den TS EN 197-1'e uygun olarak üretilmiş CEM I 42,5R çimentosu alınarak kullanılmıştır. Tablo 5.2 ve Tablo 5.3'de çimentonun fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri görülmektedir.

Tablo 5.2. Çimentonun kimyasal özellikleri

Kimyasal Bileşim	% Ağırlık
SiO2	20,50
Al2O3	4,65
Fe2O3	3,40
CaO	64,73
MgO	1,02
SO3	2,71
Toplam Alkali	0,59
Klorür	0,0084
Çözünmeyen Kalıntı	0,60
Kızdırma Kaybı	2,15
Serbest Kireç	1,03

Tablo 5.3. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri

Özellikler	Değer	
Özgül Ağırlık (gr/cm3)	3,13	
Donma Süresi	Başlangıç	Son
(Vicat, dakika)	153	188
Özgül Yüzey (cm2/gr)	3596	
90 µ Elek Üstü (%)	0,2	
45 µ Elek Üstü (%)	12,8	
Hacim Sabitliği (mm)	2	
2 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	30,2	
7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	51,1	
28 Günlük Basınç Dayanımı(MPa)	62,2	

5.2.2. Perlit

Çullas Bergama Madencilik Şirketinden temin edilen genleştirilmiş perlit kullanılmıştır. Tablo 5.4 ve Tablo 5.5'de kullanılan genleştirilmiş perlitin genel fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmektedir.

Tablo 5.4. Genleştirilmiş perlitin kimyasal analizi

Kimyasal Bileşim	% Ağırlık
SiO2	60-80
Al2O3	12-16
Na2O	3-10
K2O	2-5
CaO	0-2
MgO	0-1
Fe2O3	0-1

Tablo 5.5. Genleştirilmiş perlitin fiziksel özellikleri

Özellikler	Genleştirilmiş Perlit
Tane Büyüklüğü	0-3 mm
Gevşek Birim Ağırlık (kg/m3)	50-80
Doğal Nem	Mask. % 0,5
pH	6.5-8
Yumuşama Sıcaklığı	890-1100 ˚C
Erime Sıcaklığı	1280-1380 ˚C

Tablo 5.6. Agreganın elek analizi

	Her elekten geçen yığışım(%)		
Elek Boyutu (mm)	Atık perlit	674 nolu ince perlit	126 nolu iri perlit
4	100	100	100
2	100	100	33.75
1	99.8	93.81	6.2
0.5	67.07	57.73	3.1
0.25	40.45	28.87	0.5
0.125	18.5	7.22	0.17
0.063	5.49	1.03	0.12
0	0	0	0

Şeffaf beton üretiminde agrega olarak üç tip perlit kullanılmış olup granülometrik özellikleri Tablo 5.6'da belirtilmiştir.

5.2.3. Kimyasal katkı maddesi

Kendiliğinden yerleşen beton üretimini sağlayabilmek için önemli akışkanlaştıcı madde olarak, Sika firmasına ait % 2 oranında Viscocrete 3080 tercih edilmiştir.

5.2.4. Plastik optik lif

Çalışmada ışık geçişinin sağlanabilmesi için CK-40, Eska ™ 1.0 mm yüksek performanslı plastik fiber optik lif kullanılmıştır (Tablo 5.7, Tablo 5.8).

Tablo 5.7. Kullanılan optik fiberin yapısı

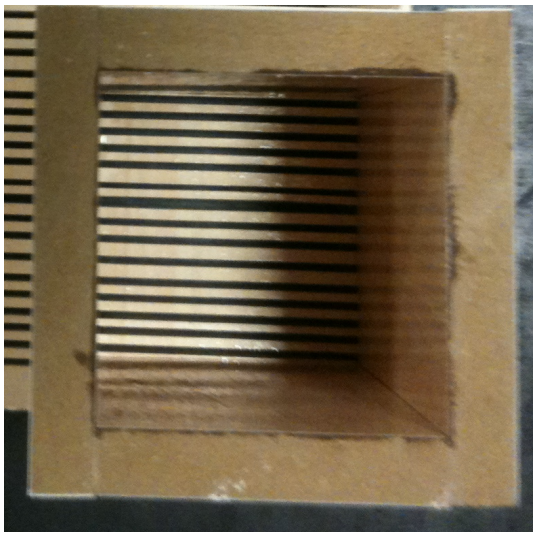
Madde		Özellik			
		Birim	Min.	Tip	Max.
Optik Fiber	Çekirdek Malzeme	-	Polimetil-Metakrilat Reçine		
	Kaplama Malzeme	-	Florlu polimer		
	Çekirdek Kırılma İndeksi	-	1.49		
	Sayısal Açıklık	-	0.5		
	Kırılma İndeks Profili	-	Adım Endeksi		
	Çekirdek Çapı	µm	920	980	1.04
	Kaplama Çapı	µm	940	1	1.06
	Yaklaşık Ağırlık	g/m		1	

Tablo 5.8. Kullanılan optik fiberin performansı

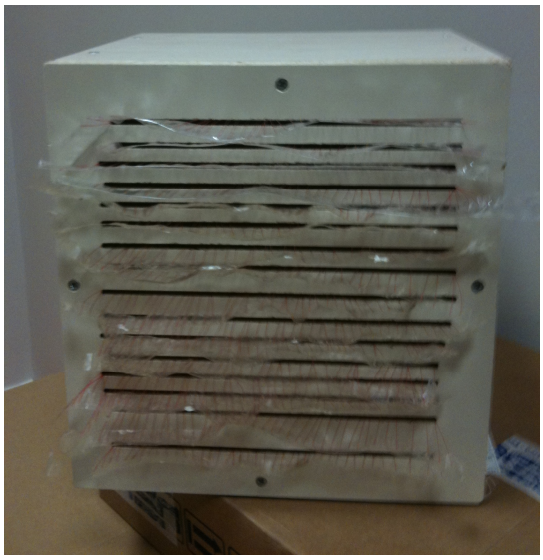
Madde		Kabul Kriteri ve/veya (Test Koşulu)	Özellik		
			Birim	Min.	Max.
Max.Değer	Depolama ve Çalışma Sıcaklığı	Optik Özelliklerde Bozulma Yok	ºC	-55	70
	Yüksek Nem Altında Çalışma Sıcaklığı	Optik ÖzelliklerdeBozulma Yok (%95 RH)	ºC	-	60
Optik Özellikler	İletim Kaybı	650 nm Paralelleştirilmiş ışık (standart koşul) (10 m-1 m azaltma)	dB/km	-	200
Mekanik Özellikler	Min.Bükme Yarıçapı	kayıp artışı =< 0.5 dB (Çeyrek Bükme)	mm	20	-
	Gerilme Direnci	(Verim Noktasında Çekme Alanı)	N	65	-

5.3. Numunelerin Üretilmesi

10x10x10cm'lik şeffaf beton üretimi için iç hacmi 10x10x10cm olan ahşap bir kalıp hazırlanmıştır. Kalıp toplam 5 parça ahşap yüzeyden oluşmaktadır. Ahşap yüzeylerden birine yaklaşık 5 mm eninde 15 adet şerit şeklinde oyuklar açılmıştır. Diğer dört ahşap yüzey ise 10x10 cm boyutlarında eşit parçalardır. Kalıbın alt yüzeyini oyuklu parça oluştururken kalıbın kenarlarını ise diğer 4 kapalı ahşap yüzey oluşturmaktadır. Alt yüzeye 15 şeritli yüzey gelecek şekilde 5 parça ahşap yüzey çivilerle monte edilmiştir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7. Ahşap kalıp üstten görünüş



Şekil 5.8. Lif demetleri-alttan görünüş



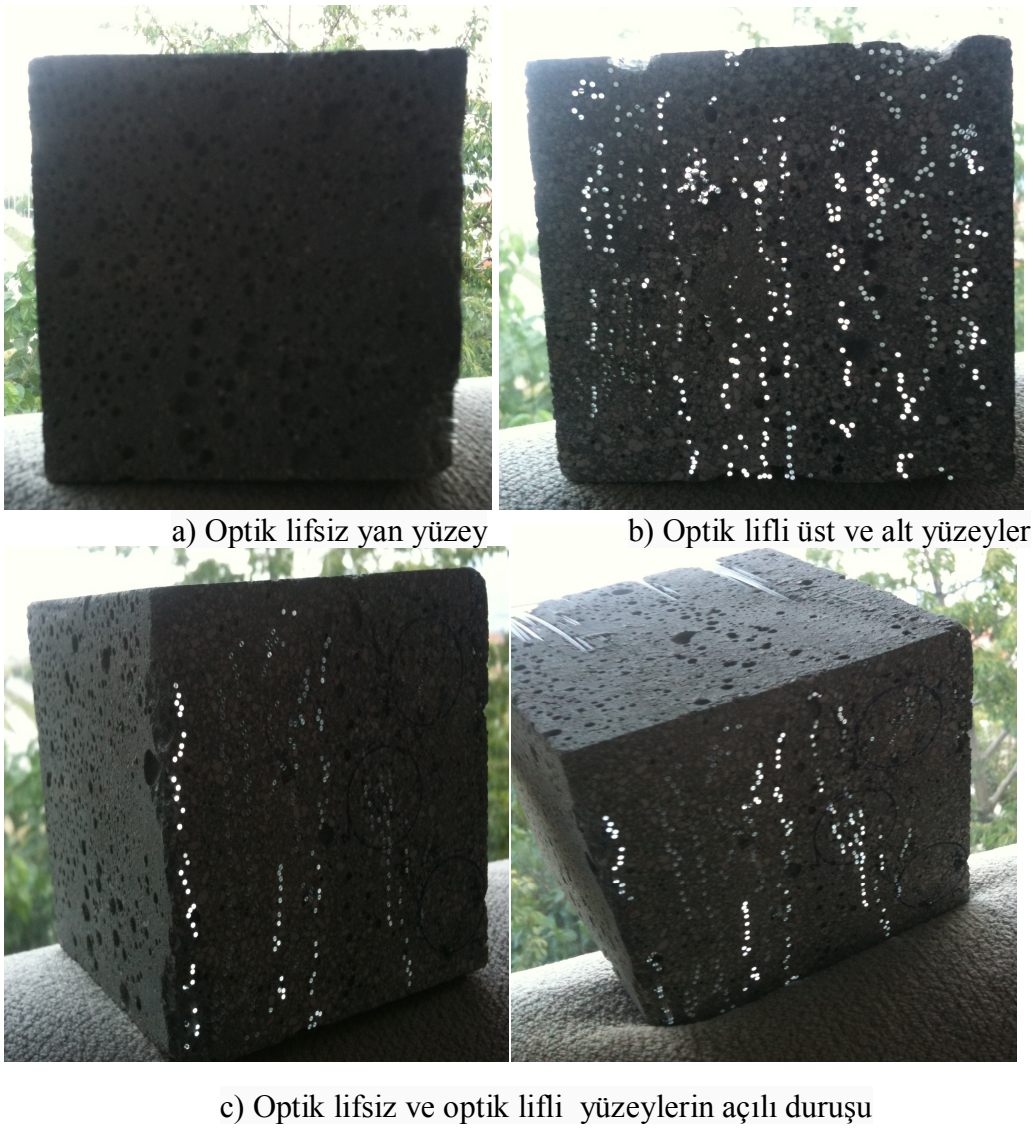
Şekil 5.9. Beton harcının mikser yardımıyla karıştırılması

Hazırlanan ahşap kalıba, beton dökümünden önce sırası ile lifler yerleştirilmiştir (Şekil 5.8). Dökümü yapılacak betonun liflerin arasından rahat bir şekilde geçerek ahşap küpü boşluksuz bir şekilde doldurabilmesi ve düzgün yüzey elde edilebilmesi amacıyla kendiliğinden yerleşen beton hazırlanmıştır. Kendiliğinden yerleşen beton dizaynı için gerekli olan malzemelerin ağırlıkları Tablo 4.1'de belirtilen gramlarda hassas dijital tartıda tartılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan malzemeler beton karıştırma mikserinde beton akışkan bir kıvama gelene kadar karıştırılmıştır (Şekil 5.9). Mikserde karıştırılan betonun bir kısmı ahşap kalıba, diğer kısmı ise basınç ve eğilme testlerini yapmak üzere çelik kalıplara dökülmüştür (Şekil 5.10).



Şekil 5.10. Çelik kalıplarda beton

Ahşap kalıp içindeki ışığı geçiren beton numunesi ise bir gün bekletildikten sonra kalıptan çıkarılmıştır ve beton yüzeylerinin traşlanması yapılmıştır. Traşlanan beton numune ilk bakışta brüt ve opak bir malzeme görüntüsü verirken ışığın geçişi ile yarı geçirgen bir malzeme haline dönüşmektedir. Beton içine yerleştirilen liflerin düzenli dağılmadığı ve dik açılarla yerleşemediği dikkati çekmiştir. Betonun bazı kısımlarında ışık geçişi hiç yokken bazı kısımlarında ise yoğun ışık geçişleri olduğu görülmüştür (Şekil 5.11 – Şekil 5.13).

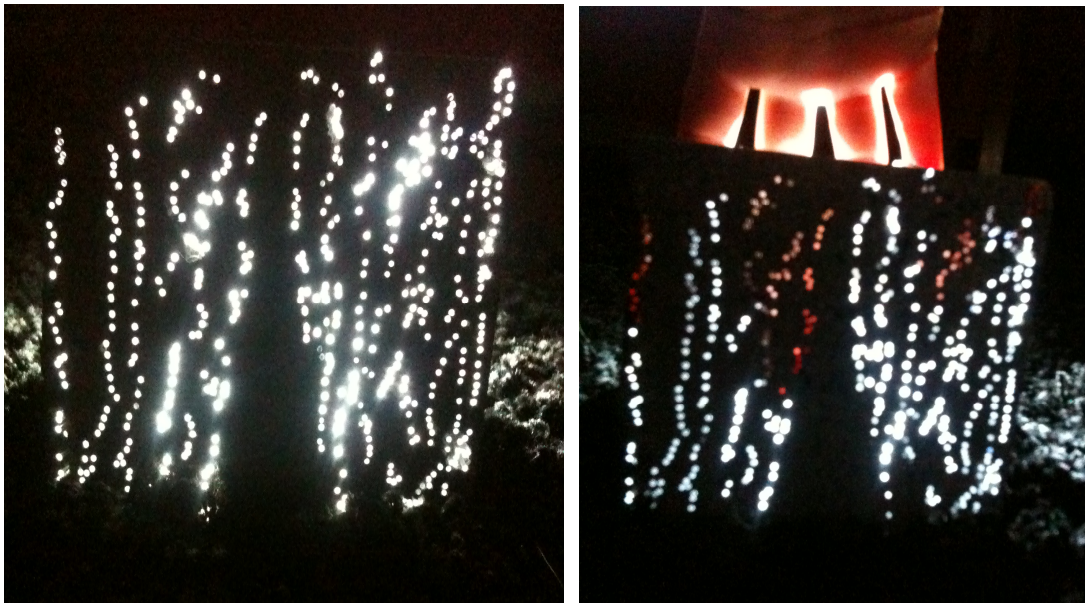


a) Optik lifsiz yan yüzey

b) Optik lifli üst ve alt yüzeyler

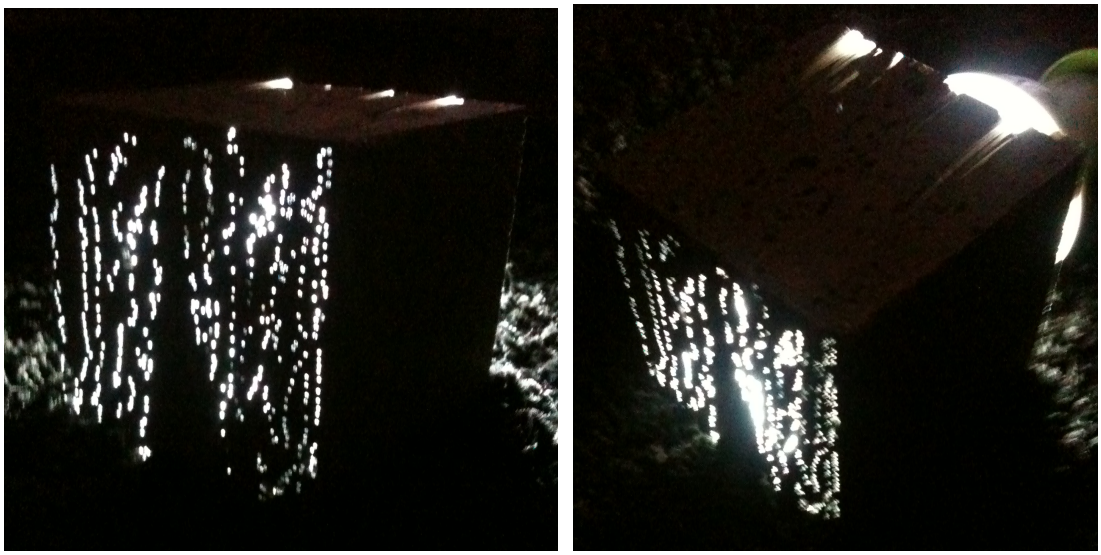
c) Optik lifsiz ve optik lifli yüzeylerin açılı duruşu

Şekil 5.11. Farklı açılarda doğal aydınlanmaya karşı konumlanmış şeffaf beton



Şekil 5.12. Yapay ışıkla aydınlatılan şeffaf beton numunesinin optik lifli alt-üst yüzeyi

Şekil 5.12' de, sağ taraftaki görselde numunenin yapay ışık gönderilen tarafından elimizi tuttuğumuzda, diğer yüzeyden elin varlığı belirsiz bir şekilde renk değişimi ile birlikte görülmektedir.



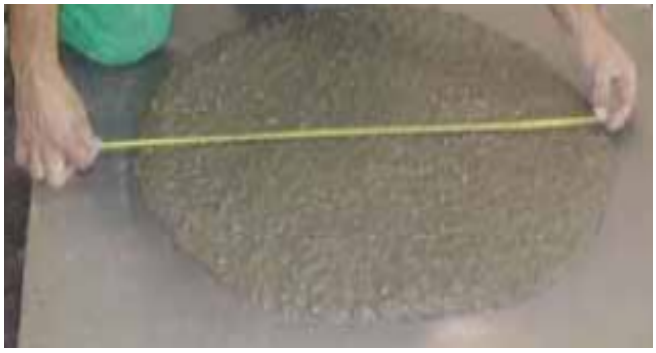
Şekil 5.13. Yapay ışıkla aydınlatılan şeffaf beton numunesinin farklı açılarda duruşu

Lif uçlarının denk gelmediği betondaki iki yüzeyde ışık geçişi olmamaktadır. Lif uçlarından ışık geçişi olduğu için numuneye yerleştirilen lifler doğrultusunda karşılıklı iki yüzeyi ışık geçişini sağlamaktadır (Şekil 5.13).

5.4. Üretilen Betona Uygulanan Deneyler

Üretilen beton numunenin fiziksel deneyleri Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

Öncelikle taze betonun kalıplara iyi yerleşebilmesi için işlenebilme özelliğinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Kıvam kontrolü için farklı yöntemler mevcuttur. Deneyde uygulanan yöntem çökme konisi ile yapılan yayılma deneyidir. Taze karışımın yayılma testi sonucunda yayılması 76 cm ölçülmüştür (Şekil 5.14).



Şekil 5.14. Yayılma miktarının ölçülmesi

28 günlük sertleşmiş beton örneklere kapiler su emme ve su emme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca, sertleşmiş betonun mekanik özelliklerini ölçmek üzere 3., 7. ve 28. günlerde, eğilmede çekme ve basınç deneyleri yapılmıştır. Sertleşmiş beton örneklerinin eğilmede çekme dayanımını belirlemek için orta noktasından yüklenmiş basit kiriş metodu ile "eğilmede çekme tayini deneyi" yapılmıştır (Şekil 5.15).

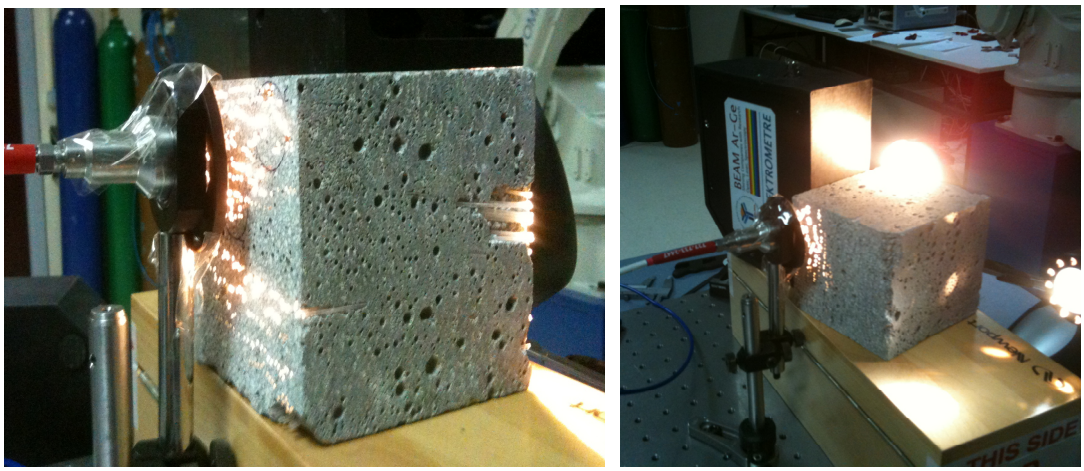


Şekil 5.15. Eğilme ve basınç deneylerinin yapılışı

Eğilmede çekme deneyi ölçümü için 4x4x16 cm boyutlarındaki sertleşmiş beton örnekler, aralarında 100 mm mesafe bulunan ve eksenleri birbirine paralel olan 10 mm çaplı iki destek silindirinden oluşan mesnetler üzerine yerleştirilmiştir. Örneklerin kalıptan çıkmış yan yüzlerinden birinin üzerine ve uzunluğuna, destek silindirler eksenine dik gelecek şekilde yerleştirilmesine dikkat edilmiştir (Şekil 5.15). İki mesnet silindirinin tam orta noktasında bulunan ve ekseni bu silindirlere paralel olan üçüncü bir yükleme silindiri ile deney örneğine kuvvet uygulanmıştır. İşleme prizmatik numune kırılana kadar devam edilmiştir. Kırılmanın olduğu andaki basınç yükü presin göstergesinden okunmuştur. Deney, her üretim serisi için üç ayrı örnek üzerinde tekrarlanmıştır. Gerekli hesaplamalardan sonra eğilme dayanımları bulunmuştur.

Yapılan çalışmada eğilmede çekme deneyi sonucunda 4x4x16 cm boyutundaki sertleşmiş beton örneklerin ikiye bölünmesiyle elde edilen küçük numunelerin yeniden kullanılmasıyla basınç dayanımları aynı ekipman kullanılarak tayin edilmiştir (Şekil 5.15). Her yarım numune, 40mmx40mm boyutlarındaki kırma başlıklarının arasına yanal yüzeyleri temas edecek şekilde yerleştirildikten sonra numuneye kırılana kadar güç yüklenmiştir. Deney sırasında yükleme hızının sabit kalması sağlanmıştır.

Bir yandan bu deneyler yapılırken diğer yandan da 10x10x10 cm'lik şeffaf beton numunenin ışık şiddeti ve dalga boyu ölçümü Kocaeli Üniversitesi Teknopark Lazer Merkezinde optik spektrometre ile yapılmıştır (Şekil 5.16).



Şekil 5.16. Spektrometre ile ışık şiddeti ve dalga boyu ölçümü

Deney şeffaf beton numunenin lifli yüzeyine yapay ışık tutularak yapılmıştır. Lifli yüzeyin bulunduğu iki kenardan birine yapay ışık ve karşısındaki diğer lifli yüzeye ise 18 mm' lik çapında spektrometre merceği yerleştirilmiştir (Şekil 5.16). Numunedeki lif yoğunlukları farklı olduğundan liflerin yoğun bulunduğu üç farklı noktadan ölçüm yapılmıştır.

Şeffaf beton numunenin luxmetre ile ölçümü ise İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Aydınlatma ve İç Tesisat Laboratuvarı'ndaki karanlık odada yapılmıştır (Şekil 5.17).



Şekil 5.17. Şeffaf betonun luxmetre ile ölçümü

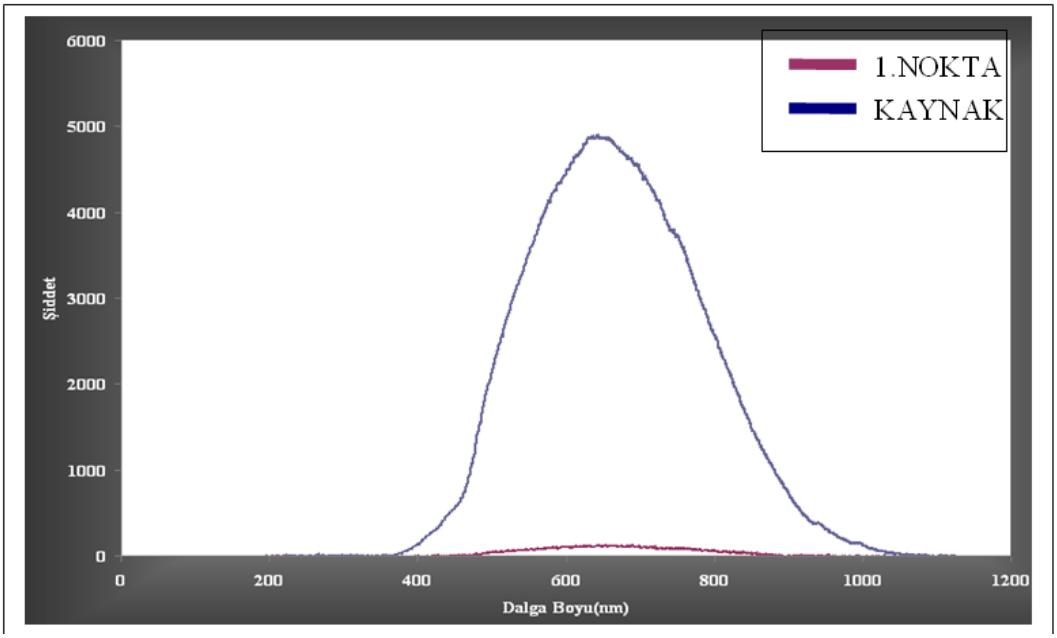
Bir ışık kaynağı ancak yeter derecede büyük bir uzaklıktan, yani sınır uzaklığı veya kritik uzaklık adı verilen bir uzaklıktan veya bundan daha büyük bir uzaklıktan bakıldığı zaman noktasal kabul edilebilir. Sınır uzaklığı, %1'den küçük hata ile ışık kaynağının en büyük boyutunun yaklaşık 10 katı ve %1 ila %2 arasındaki bir hata ile de 5 katı mertebesindedir [50]. Bundan yola çıkılarak numune ölçümü, 110 cm uzaklıktan ve 11cm çapında yapay aydınlatma elemanı ile yapılmıştır.

5.5. Deney Sonuçları

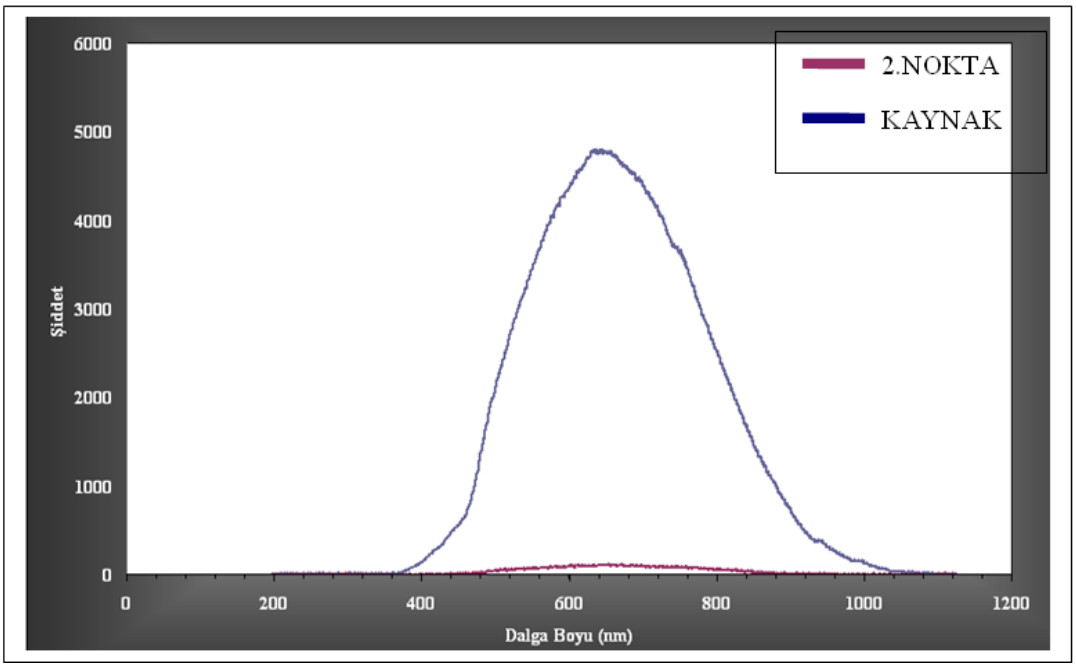
Şeffaf beton numunenin lifli yüzeyinden seçilen üç farklı noktadan (Şekil 5.18) 18 mm' lik çapında spektrometre merceği ile elde edilen ışık şiddeti ve dalga boyu ölçümü değerleri, deney sonuçları aynı gözükmesine rağmen düzensiz lif dağılımı ve liflerin dik konumlanmamasından dolayı sonuçlar birbirine çok yakın da olsa farklı çıkmıştır. Değerler grafiksel olarak Şekil 5.19 - Şekil 5.21 arasında gösterilmiştir.



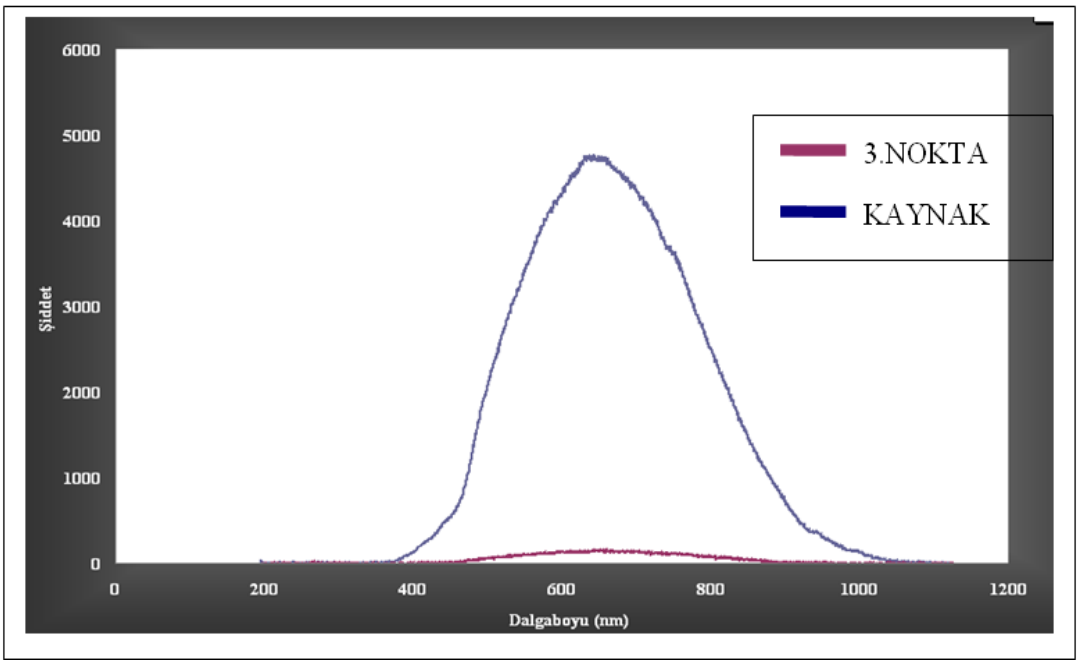
Şekil 5.18. Ölçüm için şeffaf betondan seçilen üç nokta



Şekil 5.19. 1.noktadan ve kaynaktan elde edilen ölçümler



Şekil 5.20. 2.noktadan ve kaynaktan elde edilen ölçümler



Şekil 5.21. 3.noktadan ve kaynaktan elde edilen ölçümler

Ayrıca numune luxmetre ile ölçülmüştür. Luxmetre ile yapılan ölçümlerde şeffaf beton deneyinde kullanılan yapay aydınlatma elemanının aydınlık düzeyi[1] (lux) ölçülmüştür. Aydınlatma elemanı 11 cm çapındadır ve 110 cm uzaklıktaki mesafeden

[1] Aydınlanan bir yüzeyin 1 m2'sine bu yüzeyi aydınlatan ışık kaynaklarından gelen ışık akılarının toplamıdır. Aydınlık şiddetidir.Birimi lux (lüx)'dür.

90º açı ile 43.18 lux olduğu saptanmıştır. Yapay aydınlatma elemanının 10x10x10 cm'lik numunenin lifli yüzeyine doğru yerleştirilmesi ile betonun diğer lifli yüzeyinden 110 cm uzaklıkta ve 90º açı ile yapılan ölçüm 0.26 lux'dür. Işık şiddetinin bulunması için ters kare kanunu kabul edilmiştir ve formüller kabule göre yapılmıştır.

Yapay aydınlatma elemanın ışık şiddeti[1] [51];

$E = I / r^2.\cos\alpha$ bağıntısından $43.18 = I/1{,}1^2$ I=52.24 cd (ışık şiddeti)

Şeffaf betonun geçirdiği ışık şiddeti;

$E = I / r^2.\cos\alpha$ bağıntısından $0.26 = I/1{,}1^2$ I=0.3146 cd (ışık şiddeti)

Tablo 5.9. Tipik aydınlatma değerleri [52]

Güneş Işığı + Gök Işığı (Açık Hava)	64000 cd
Güneş Işığı + Gök Işığı (Kapalı Hava)	6500 cd
Bina İçi Aydınlatması	650 cd
Çalışma İçin Min. Aydınlatma	65 cd
Mum Işığı	1 cd

Elde edilen sonuçlar Tablo 5.9'daki bilgiler kullanılarak bazı hesaplamalar ile karşılaştırılabilir. Örneğin; açık havada şeffaf betonun geçirdiği ışık şiddeti hesaplanabilir.

Şeffaf betonun ışığı geçirgenliği, 52.24 cd'lik yapay aydınlatma elemanındaki ışık şiddetinde, 0.3146 cd' dır. Açık havadaki geçirgenliği doğru orantı ile hesaplandığında; 64000x0.3146/52.24 bağıntısından şeffaf betonun ışık şiddeti 385.421 cd bulunmaktadır. Bu değer Tablo 5.9'a göre bina içi aydınlatma için harcanan enerjinin yaklaşık yarısına denk gelmektedir.

[1] Bir ışık kaynağının herhangi bir doğrultusundaki ışık akısının miktarıdır. Işık şiddetidir. Birimi cd (kandela)'dir. Bir ışık kaynağının verdiği ışık akısı sabit olduğu hâlde çeşitli doğrultulardaki ışık şiddeti farklı olabilir.

Şeffaf beton için hazırlanan betonun fiziksel ve mekanik deney sonuçları ise Tablo 5.10 ve 5.11'de gösterilmiştir.

Tablo 5.10. Sertleşmiş betonun fiziksel özellikleri

Harç özellikleri	Değer
Su emme (%)	20.26
K.Su emme (%)	8.17
Kuru ağırlık (gr/cm^3)	1.03
DYK ağırlık (gr/cm^3)	1.20

Tablo 5.11. Sertleşmiş betonun mekanik özellikleri

Deney	Eğilme Dayanımı			Basınç Dayanımı		
Süre	3 gün	7 gün	28 gün	3 gün	7 gün	28 gün
Dayanım (MPa)	2.04	2.85	2.87	4.39	5.17	5.92

5.6. Bölüm Sonuçları

Şeffaf beton numunenin aydınlanma deneyleri sonucunda elde edilen grafiklere ve sayısal sonuçlara bakıldığında numunenin yapay aydınlatma ışığını çok az geçirdiği gözlemlenmektedir. Sayısal verilere göre numunede aydınlanma hesabı için kullanılan yapay aydınlatma elemanının cd (kandela) değerinin düşük olmasından dolayı numuneden geçen ışık şiddetinin cd değeri de oldukça düşüktür. Bu sonuçtan şeffaf betonun yapay ışığı geçirmesi ile bir mekânı yeteri kadar aydınlatamayacağı sadece görsellik katabileceği yargısına varılmaktadır.

Tablo 5.9 incelendiğinde ve aydınlanma deney sonuçlarına bakıldığında açık havalardaki gün ışığı şiddetinin yüksek olmasından dolayı şeffaf betondan ışık geçişinin fazla olacağı gözlemlenmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda açık havada şeffaf betonun geçirdiği ışığın bir binanın aydınlatılması için gerekli olan ışık değerinin

yaklaşık yarısına eşit olduğu gözlemlenmekte ve bu yol ile harcanan enerjinin büyük oranda azalacağı bilinmektedir. Bu sonuçlardan üretilen şeffaf betonun doğal ışığı geçirmesi ile iç mekânın aydınlatılmasına yardımcı bir yapı elemanı olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

Numune deney imkânlarının kısıtlılığından dolayı teknik olarak geliştirilememiştir. Numunedeki düzensiz lif dağılımı ve liflerin dik açılarda bulunmaması gibi olumsuzluklara rağmen, numuneden ışık geçişinin sağlandığı ve deney ile ilgili görsellere bakıldığında ışığın geçişi ile numune yüzeyinde farklı etkilerin oluştuğu gözlemlenmektedir. Uygulama yöntemlerinin geliştirilmesi ile şeffaf betonun teknik özelliklerinin iyileştirilmesi ve ışık geçişinin daha fazla sağlanması hedeflenmektedir.

Deney sonuçlarından numunenin fiziksel ve mekanik özelliklerine, Tablo 5.10'a bakıldığında su emme ve kılcal su emme değerleri oldukça yüksek olmakla beraber bu malzemenin; taşıyıcı değil görsel amaçlı kullanılacağı dikkate alındığında özellikle iç dekorasyonda rahatlıkla yer alabileceği düşünülmektedir. Dış ortamla temas edecek yerler için, yüzeyinin sıvanması da ışığı geçirme özelliğini kaybettirebileceğinden, malzemenin yeniden daha düşük su emme oranlarıyla tasarlanması gerekmektedir. Ayrıca birim ağırlığı oldukça düşük olduğundan dekorasyonda kullanımı da kolay olacaktır. Malzemenin sertliğinin ölçülmemesine rağmen perlitten yapılmış hafif bir malzeme olması işlenebilirliğini artırarak duvar bloğu olarak kullanılabilmesine de imkân tanıyacaktır. Tablo 5.11'de elde edilen dayanım seviyeleri malzemenin gerek duvar malzemesi, gerekse dekoratif amaçla kullanılabileceği dikkate alındığında oldukça tatmin edicidir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Şeffaf betonun ana maddesinin beton olması ve opak bir malzeme olan betonun saydamlaştırılması ile mimaride önemli olan birçok kavramın gündeme gelmesi kaçınılmaz olmuştur. Betonun plastik özelliği ve brüt şekilde kullanılması, brütalizm akımının sonuçlarını ve çığır açmış mimari tasarımları akla getirmektedir. Betonun bu özelliklerinin yanında şeffaf beton türü olarak karşımıza çıkan beton türünün, tasarım girdisi olarak önemli olan ışığın en anlamlı hali ile kullanılabilmesini sağlaması ile de önemli tasarım vurgularının yapılabileceği bilinmektedir. Şeffaf beton, gün içinde zamanın değişimi ile değişen gün ışığı renklerinin kullanılmasını sağlayan, doğal ve yapay ışık ile zaman kavramının algılatıcısı olan, iç-dış sürekliliğini kesebilen aynı zamanda devam ettirebilen ve nesne-özne ilişkisini entegre edebilen önemli bir yapı malzemesi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Betona ışığı geçirme özelliğinin de kazandırılması ile mekânlarda doğal aydınlanmanın sağlanabileceği çalışma sonucunda gözlemlenmiştir. Aydınlatma için harcanan enerji tüketiminin azaltılmasında yardımcı bir malzeme olması ile ekolojik tasarımlarda kullanma olanağı sunarak günümüzde önemli olan sürdürülebilir tasarımların yapılmasını sağlayacaktır.

Şeffaf betonun yapımında kullanılan fiber optik kabloların gün ışığını mekânlara taşıyarak karanlıkta ve doğal aydınlanmaya uzak kalan alanların bu yolla doğal yoldan aydınlatılabileceği ve enerji tasarrufunun sağlanabileceği bir doktora tezinde deneysel olarak kanıtlanmıştır [53].

Şeffaf betonun malzeme yapısında kendiliğinden yerleşen betonun kullanılması, betonun, liflerin arasında kolayca ilerlemesini sağlarken aynı zamanda da numune yüzeyinin düzgün olmasını sağlamıştır. Numunede perlitin kullanılması ise ısı yalıtımını ve betonun hafif olmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda betona cam agregaların katılması, renk pigmentleri ile renklendirilmesi ve baskı yöntemlerinin uygulanması ile de betonun görsel olarak çeşitliliğinin artırılmasını sağlamaktadır.

Şeffaf betonun günümüze kadar uygulanmış birçok örneği bulunmaktadır. Yalnız ışık geçirgenliği için beton içerisinde kullanılan liflerin pahalı oluşu nedeniyle şeffaf betonun büyük projelerde az kullanıldığı ve lifsiz şeffaf beton üretimleri ile daha ekonomik bir malzeme oluşturularak kullanılabileceği gözlemlenmiştir. Bu sorunun çözümü için arayışlar devam etmiş ve etmektedir. Yeni teknikler bulunmuş olup hızlı bir şekilde arayışlara devam edilmektedir. Şeffaf beton çok sayıda iç ve dış mekân objesinin yapımında; bank, masa, lamba, tezgah, pano, logo tasarımı gibi alanlarda kullanılmıştır. Bunun yanı sıra taşıyıcı özelliği ve son teknoloji ile de ısı yalıtımlı yapılabilmesi ile yapısal olarak, cephelerde, merdivenlerde, yapı yüzeylerinde, kapı gibi elemanlarda ve bölücü duvarlarda kullanılabildiği de gözlemlenmiştir.

Laboratuvar ortamında üretilen şeffaf beton numunesi ile literatür taramasındaki şeffaf beton örnekleri karşılaştırıldığında numuneden geçen ışık geçişinin diğer örneklere göre daha az olduğu gözlemlenmektedir. Üretilen şeffaf betondaki lif yoğunluğunun beton hacmine oranı literatür taramasındaki örneklerle aynı olmasına rağmen aynı etki alınamamıştır. Bu durumun uygulama yöntemindeki eksiklikten kaynaklandığı düşünülmekte üretilen numunenin uygulama yönteminin geliştirilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda şeffaf betonun panel şeklinde üretildiği bilinmektedir. Uygulama örneklerinde şeffaf betonun taşıyıcı olarak yeterli dayanımda olduğu bilinse bile, üretilen numune taşıyıcı olarak kullanılamaz. Ayrıca incelenen örneklerin çoğunda da şeffaf betonun taşıyıcı olarak kullanılmadığı gözlemlenmiştir.

Modern mimarlık ile cam kullanımının artması bu malzemenin önemini bir kez daha göstermektedir. Işığı geçiren betonun taşıyıcı olarak da kullanılabilirliğinden; büyük cam kullanımının sağlanamayacağı ve camın kullanımı ile yapının mukavemetinin düşürüleceği alanlarda malzeme olarak şeffaf beton tercih edilebilir

Şeffaf betonun merdiven kovaları ve yapı içinde karanlık kalan alanlarda kullanılması, o alanların aydınlatılmasını sağlayabilir ve istenildiği takdirde görüntüyü flulaştırarak mekân içindeki görüntünün tam algılanmasını engelleyebilir. Şeffaf beton kullanımı ile yoğun güneş ışığının rahatsızlaştırıcı özelliği kırılabilir ve aynı zamanda mekâna ışık geçişi de sağlanabilir.

Bu konu ile ilgili olarak ilerde şeffaf betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinin geliştirildiği numunelerin üretilmesi ve şeffaf betonun farklı işlevler için kullanıldığı

durumların değerlendirilmesi hedeflenmektedir. Donatılı ve donatısız şeffaf beton üretimi, farklı çeşitte ve farklı kalınlıklarda liflerin beton içinde kullanılması, liflerin farklı şekillerde beton içine dizilmesi ile şeffaf beton numunelerinin deneysel olarak üretilmesi ve ayrıntılı bir şekilde incelenmesi hedeflenmektedir.

Laboratuvar ortamında üretilen şeffaf betonun, literatür taramasında incelenen kullanım alanları örneklerindeki gibi mekân modellemeleri yapılarak mekânın farklı yüzeylerinde kullanımı ile mekânlardaki aydınlanma seviyesinin analizi yapılmak istenmiştir. Fakat araştırmalar sonucunda, tez süreci içerisinde elde edilen veriler ile gerçeği yansıtabilecek bir program bulunamadığından modelleme yapılamamıştır. Bu konuda ilerde gelişmiş teknikler ile üretilen şeffaf beton numuneleri kullanılarak ve gerekli analiz programların temini ile projeler yapılması hedeflenmektedir.

Şeffaf beton, diğer yapı malzemelerinden ayrılan üstün özelliklerinden ve sürekli geliştirilen tekniğinden dolayı tasarımcıların ilgi odağı olmuştur. Son zamanlarda farklı yöntemler ile geliştirilen şeffaf beton kullanımının büyük bir hızla ilerlediği ve çeşitli türlerinin oluşturulduğu bilinmektedir. Enerji tüketiminin gittikçe arttığı günümüzde sürdürülebilir malzemelerin yapılarda kullanımı, yapıların sürdürülebilir ve ekolojik bir şekilde tasarlanması kaçınılmaz olup bu durum yeni malzeme olan ve enerji tüketimine yardımcı olan şeffaf beton kullanımının artacağının da bir göstergesidir. Aynı zamanda tasarımcılar için vazgeçilmez olan ve tasarımların kimliğini oluşturan ışığı, çeşitli şekillerde kullanım olanağı sunan bu malzeme ile tasarım dünyasında ilerleyen zamanlarda çığır açılacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Özçelik İ., 2007, Varlık felsefesi, http://www.historicalsense.com/Archive/ varlik_ felsefesi. htm (Ziyaret Tarihi: 28 Nisan 2012).

[2] Tuncer B., Mimarlık ve sürdürülebilirlik, Yapı dergisi, 2007, 28.

[3] Bilge C., Sürdürülebilir çevre ve mimari tasarım: mimariye eleştirel bir bakış, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.

[4] Elmalı D., Mimaride saydamlık-opaklık kavramları ve cephelerin algılanmasına etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2004.

[5] Tokyay V., Işık-mimarlığın dayanılmaz hafifliği, http://www.oranmimarlik. com.tr/ dokuman/ isik.pdf (Ziyaret tarihi: 2 Haziran 2012).

[6] Yıldırım Ö. S., Mimarlık ve estetik betonun estetiği, Beykent Üniversitesi, İstanbul, http://www.dogateknik.com.tr/Teknik-Belgeler/Mimarlik-ve-estetik betonu-estetigi.pdf (Ziyaret Tarihi: 15 Şubat 2012).

[7] Türk Dil Kurumu, www.tdk.gov.tr (Ziyaret Tarihi: 18 Mayıs 2012).

[8] İleriye U. M., Mimarlıkta saydamlık düşüncesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.

[9] Salgın B., Brüt beton, brütalizm ve Türkiye örnekleri, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2007.

[10] Dayı M., Doğal ve yapay puzolanların kompoze çimento üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006.

[11] Erdogan T. Y., Beton, ODTÜ geliştirme vakfı yayıncılık ve iletişim a.s. yayını, 2003, 12-13.

[12] Hazır betonun tarihçesi, Belgeler.com, http://www.belgeler.com/blg/2ms2/ hazir-betonun-tarihcesi (Ziyaret tarihi: 4 Eylül 2012).

[13] Melvin J., İzmler mimarlığı anlamak, 2. Baskı, Yem yayın, İstanbul, 2009.

[14] Mimarlık ve beton, Forum.yapısal.net., http://forum.yapisal.net/sektorel-haberler/2165-mimarlik-ve-beton.html (Ziyaret Tarihi: 16 Mayıs 2012).

[15] Lord_k, Concrete and classics: Auguste Perret, Dıeselpunks, http:// www. dieselpunks. org/profiles/blogs/concrete-and-classics-auguste (Ziyaret Tarihi: 10 Mayıs 2012).

[16] Chami C., Le Corbusier and Villa Savoye remembered, aiarchinnovations, http://www.archinnovations.com/featured-projects/houses/le-corbusier-and -villa-savoye/ (Ziyaret Tarihi: 10 Mayıs 2012).

[17] The Classics: Salk institute for biological studies, coolboom, http://coolboom.net/architecture/the-classics-salk-institute-for-biological-studies/ (Ziyaret Tarihi: 11 Mayıs 2012).

[18] Oscar Nıemeyer – Contemporary art museum, Leonardo Finotti architectural photographer, http://leonardofinotti.blogspot.com/2010/08/ oscar-niemeyer-ferryboat-station.html (Ziyaret Tarihi: 10 Mayıs 2012).

[19] Santiago Calatrava, Zevk erbabı, http://zevkerbabi.blogspot.com/2010/05/ santiago-calatrava.html (Ziyaret Tarihi 14 Mayıs 2012).

[20] Zeballos C., Kenzo Tange: St. Mary's Cathedral Tokyo, My Architectural Molekine, http://architecturalmoleskine.blogspot.com/2011/10/kenzo-tange -st- marys-cathedral-tokyo.html (Ziyaret Tarihi: 15 Mayıs 2012).

[21] Akakın T., Engin Y., Yeni yüzyılda beton, Hazır beton, 2005, **71**, 34-40.

[22] Ouchi M., Self-compacting concrete – Development, applications and investigations, Nordic Concrete Research Commitee Publications, 1999, 5.

[23] Sarıdemir H., Mineral ve süper akışkanlaştırıcı katkıların kendiliğinden yerleşen betonun işlenebilme ve basınç dayanımına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2006.

[24] Oymael S., Yapı fiziği ders notları, Ode mühendislik, 1997, 49-56.

[25] Bir Shell meydanı, Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/One_Shell_ Square (Ziyaret tarihi: 20 eylül 2012).

[26] Yıldırım S. T., Cam agregalı beton, basılmış ders notları, 2012.

[27] Aslan M., Baskılı, renkli beton, basılmamış ders notları, 2012.

[28] Engin N., Vural N., Brüt betonun mimaride kullanımı, http://www.dogateknik. com.tr/Teknik-Belgeler/Brut-betonun-mimaride-kullanimi.pdf (Ziyaret Tarihi: 20 Mayıs 2012).

[29] Sungur S., Kendiliğinden yerleşen mimari betonlarda pigment katkısının etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.

[30] Halm J., A new system for translucent concrete-Application Potentials, BetonTage, 2007, **51**, 28-29.

[31] Bittis A., Translucent concrete by Andreas Bittis, dezeen magazine, http://www.dezeen.com/2007/12/17/translucentconcrete-by-andreas-bittis/ (Ziyaret Tarihi: 15 Mayıs 2012).

[32] Roye A., Barle M., Janetzko S., Gries T., Faser- und textilbasierte lichtleitung in betonbauteilen – lichtleitender beton, Beton- und stahlbetonbau, 2009, **2**, 121-126.

[33] Kömürlü R., Yıldırım T. S., Öztekin K., Camın beton içinde lif olarak kullanımı – saydam (şeffaf) beton, *4. Ulusal yapı malzemesi kongresi ve sergisi*, İstanbul, Türkiye, 12-14 Kasım 2008.

[34] Yağmur Z., Fiber optik kablolar, http://www.onlinefizik.com/ content/view/542/ 161/ (Ziyaret Tarihi: 2 Mayıs 2012).

[35] Litracon, Litracon Light-transmitting concrete, Litracon, http://www.litracon.hu /index.php (Ziyaret Tarihi: 2. Şubat 2012).

[36] Gökbayrak P., Işık ve betonun yeni birlikteliği, Betonart, 2005, **5**, 82-85.

[37] Luccon, http://www.luccon.com/en/material.php (Ziyaret Tarihi: 20 Mayıs 2012).

[38] Poli(metil metakrilat), PolimerNedir.com, http://www.polimernedir.com/ kutuphane/polimetil-metakrilat/ (Ziyaret tarihi: 5 Eylül 2012).

[39] Lucem lichtbeton, http://www.lucem.de/index.php?id=5&L=1(Ziyaret tarihi: 1 Eylül 2012).

[40] Fibrobeton, Fibro-transbeton, Fibrobeton, http://www.fibrobeton.com.tr/ (Ziyaret Tarihi: 10 Ocak 2012).

[41] Nozama T., Electronics N., [Shanghai Expo] Italy's pavilion built with 'transparent cement', techon, http://techon.nikkeibp.co.jp/english/ NEWS_EN/20100514/182583/ (Ziyaret Tarihi: 15 Mayıs 2012).

[42] Transparent concrete wall is a huge window, Amazing data, http://amazingdata.com/transparent-concrete-wall-is-a-huge-window/ (Ziyaret Tarihi:15 Mayıs 2012).

[43] See the light: transparent concrete = naturally lit buildings, Gajitz, http://gajitz.com/see-the-light-transparent-concrete-naturally-lit-buildings/ ?ref=search (Ziyaret Tarihi: 15 Mayıs 2012).

[44] Thomas J. R., Transparent concrete, http://jessicarobinthomas. wordpress.com/2011/11/07/transparent-concrete/ (Ziyaret Tarihi:20 Mayıs 2012).

[45] Duvarın arkasını gören şeffaf beton yapılıyor, http://www.emlakal.net/ emlak-haberleri/duvarin-arkasini-goren-seffaf-beton yapiliyor-2-1268.html (Ziyaret Tarihi: 10 Nisan 2012).

[46] Aydınlatılmış yarı saydam beton uygulaması, Yapı dergisi 367, http://www.v2com.biz/data/articles%20recents/Yapi_june-2012/Yapi_june -2012.pdf (Ziyaret Tarihi: 20 Ekim 2012).

[47] Üvegbeton / Litracon, 2010 Mobil yüklemeler, Facebook, http://www. facebook.com/ litracon (Ziyaret Tarihi: 20 Mayıs 2012).

[48] Cool transparent house concrete art flor, momoge, http://momoge.com/cool-transparent-house-concrete-art-floor/ (Ziyaret Tarihi: 19 Mayıs 2012).

[49] Fibro- Transbeton, Fibrobeton, http://www.fibrobeton.com.tr/ ProductDetail. aspx?MainLinkID=2&ProductID=5 (Ziyaret Tarihi: 10 Nisan 2012).

[50] Özkaya M., Aydınlatma Tekniği, 1. Basım, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2004.

[51] MEGEP(Mesleki eğitim ve öğretim sisteminin güçlendirme projesi), Elektrik elektronik teknolojisi dış aydınlatma projeleri, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, http://akmyo.ktu.edu.tr/users/alkanaksoy/pdf/disayproje.pdf (Ziyaret tarihi: 5 Eylül 2012).

[52] Işık nedir?, Dekra elektronik & led sistemleri, http://www.dekralight.com/ ?mainpage =isiknedir2 (Ziyaret tarihi: 7 Eylül 2012).

[53] Ghisi E., The use of fibre optics on energy efficient lighting ın buıldıngs, Doktora Tezi, http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/ teses/ TESE_ Enedir_Ghisi.pdf, (Ziyaret Tarihi: 22 Mayıs 2012).

ÖZGEÇMİŞ

Arzu ÇAKMAK 21 Nisan 1986 yılında Ankara'da doğdu. İlk, orta ve lise öğretimini Bolu'da tamamladı. 2005 yılında girdiği Kocaeli Mimarlık ve Tasarım Fakültesi ve Mimarlık Bölümü'nden 2009 yılında Mimar olarak mezun oldu. 2010 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı.

2008-2009 bahar yarıyılını Erasmus değişim programı kapsamında İtalya Pavia Üniversitesi Mimarlık Bölümünde tamamladı. Erasmus programı süresince birçok Avrupa kentini ve önemli müzeleri inceledi. IAESTE Staj değişim programı ile Slovakya Kosice'de staj yaptı.

Çeşitli mimarlık firmalarında mimari uygulama projeleri, görsel sunumlar gibi çeşitli alanlarda çalıştı. Bunun yanı sıra DS Mimarlık ve İTÜ ortaklığı ile, Doç. Dr. Yegan Kahya Danışmanlığında ve Y.Mimar Sevim Aslan Kontrolünde Karaköy Merkez Bankası Binası rölöve-restitüsyon-restorasyon projesinin hazırlanmasında mimar olarak bulunma, Kocaeli Üniversitesi Yrd. Doç. Dr. Gül Köksal'ın akademik çalışmalarında yardımcı olarak görevlendirilme, yürütücülüğünde yayın hazırlık çalışması ve Gölcük Envanter Dolum Çalışmasında bulunma, Yrd. Doç. Dr. Murat Uluğ yürütücülüğünde Manisa Belediyesi Hizmet Binası ve Çevresi Ulusal Mimari Proje Yarışmasında yardımcı mimar olarak bulunma gibi çeşitli akademik ortamlarda görev alan Arzu Çakmak özel mimari ofiste mesleğine devam etmektedir.