

**FARKLI YÜZEY ASTARLARI İLE KAPLANMIŞ
DRENAJ ÖZELLİĞİ BULUNAN KALIPLARIN
BETONUN BAZI FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

Serkan SUBAŞI

**DOKTORA TEZİ
YAPI EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EKİM 2005

ANKARA

Serkan SUBAŞI tarafından hazırlanan FARKLI YÜZEY ASTARLARI İLE KAPLANMIŞ DRENAJ ÖZELLİĞİ BULUNAN KALIPLARIN BETONUN BAZI FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ adlı bu tezin doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof.Dr.Metin ARSLAN
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Yapı Eğitimi Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Mustafa Yılmaz KILINÇ

Üye : Prof. Dr. Sinan ALTIN

Üye : Prof. Dr. Metin ARSLAN

Üye : Doç. Dr. H.Yılmaz ARUNTAŐ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ali Payidar AKGÜNGÖR

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

**FARKLI YÜZEY ASTARLARI İLE KAPLANMIŞ DRENAJ ÖZELLİĞİ
BULUNAN KALIPLARIN BETONUN BAZI FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ
ÜZERİNE ETKİLERİ
(Doktora Tezi)**

Serkan SUBAŞI

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ekim 2005**

ÖZET

Bu çalışmanın amacı; farklı yüzey astarları ile kaplanmış drenaj özelliği bulunan kalıpların betonun bazı fiziksel özellikleri üzerine etkilerini araştırmaktır.

Kalıpların betonun fiziksel özellikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacıyla, araştırma sürecinde; 2 m yükseklik, 1 m genişlik ve 15 cm kalınlığında üç adet perde duvar kalıbı hazırlanmıştır. Hazırlanan perde duvar kalıplarından 2 adetinin yüzeyinde drenaj kanal ve delikleri açılarak Zembrain ve SB-20 geotekstil kalıp astarları ile kaplanmıştır. Diğer kalıp yüzeyinde ise hiçbir işlem yapılmaksızın referans olarak kullanılmıştır. Hazırlanan kalıplara C20 betonu yerleştirilerek vibratör ile sıkıştırılmıştır.

Kalıptan çıkarılan beton bloklar üzerinde, Schmidt çekici ile yüzey sertliği, radyoaktif yöntemle beton yoğunluğu, yüzeyde kopma dayanımı, doğrudan çekme dayanımı ve yüzeyde hava boşluğu miktarı deneyleri, beton bloklardan alınan karot numuneler üzerinde ise basınç

dayanımı, statik elastisite modülü, poisson oranı, yarmada çekme dayanımı, beton yoğunluğu, görünür boşluk oranı, ultrases geçiş hızı, karbonatlaşma derinliği, kapiler su emme ve aşınma dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Sonuç olarak, beton bloklar ve bunlardan alınan karot numuneler üzerinde ölçülen bütün özellikler bakımından Zemdrain ve SB-20 geotekstil astarla kaplı kalıpların, astarsız kontrplak yüzeyli kalıba göre daha iyi sonuçlar verdiği, astarsız kontrplak yüzeyli kalıbın en düşük performansa sahip olduğu, SB-20 astarlı drenaj özelliği bulunan kalıbın ise en yüksek performansa sahip olduğu görülmüştür.

Bilim Kodu : 2251101
Anahtar Kelimeler : Beton, kalıp, dayanıklılık, astar, drenaj
Sayfa Adedi : 201
Tez Yöneticisi : Prof.Dr.Metin ARSLAN

**THE EFFECTS OF FORMWORKS COATED BY DIFFERENT SURFACE
LINING AND HAVING DRAINAGE PROPERTIES ON THE SOME
PHYSICAL CHARACTERISTICS OF CONCRETE
(PhD Thesis)**

Serkan SUBAŞI

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
October 2005**

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the effects of formworks; covered by different surface lining and having drainage properties; on the some physical characteristics of concrete.

During the investigation period; to determine the effects of formworks on the physical properties of concrete; tree curtain wall formworks; having 2 m height, 1 m width and 15 cm thickness; were prepared. Drainage channels and holes were formed on the surfaces of the two curtain wall formworks. One of them was coated with SB-20 type geotextile and the other one coated with Zemdrain formwork lining. The third formwork was used as reference without any surface coating and drainage holes and channels. C20 concrete was placed to the prepared formworks and compacted with vibration.

On the concrete blocks extracted from the formworks; surface hardness with Schmidt hammer, concrete density with radioactive method, pull out strength, pull off strength and surface blow holes ratio

test were carried out. On the core samples taken from the concrete blocks compressive strength, static elasticity module, Poisson ratio, tensile splitting strength, concrete density, apparent void ratio, pulse velocity, carbonation depth, capillary water absorption and abrasion resistance tests were also performed.

Consequently; according to all measured properties on the concrete blocks and core samples taken from these blocks; formworks coated by Zemdrain and SB-20 lining gave better results with respect to plywood formwork without lining. It was seen that; plywood formwork without lining has the least performance on the contrary formwork coated by SB-20 having drainage properties shown the highest performance.

Science Code	: 2251101
Key Words	: Concrete, formwork, durability, lining, drainage
Page Number	: 201
Adviser	: Prof.Dr.Metin ARSLAN

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince ilgisini ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren değerli hocam Prof.Dr.Metin ARSLAN'a, değerli katkıları ile tezimi yönlendiren ve çalışmalarımı teşvik eden Sayın Prof.Dr.Mustafa Yılmaz KILINÇ ve Prof.Dr.Sinan ALTIN'a, kıymetli tecrübelerinden yararlandığım Yapı Eğitimi Bölümü öğretim üyesi Yrd.Doç.Dr.Osman ŞİMŞEK'e ve Yapı Eğitimi Bölümü'nün değerli öğretim üyelerine, deneysel çalışmalarımda yardımlarından dolayı Arş.Gör.Gökhan DURMUŞ, Arş.Gör.Mürsel ERDAL, Arş.Gör.Nihat Sinan IŞIK, Uzm.Mustafa ÖZER, Arş.Gör.Hayati ULUSU, Arş.Gör.Mustafa DAYI, Arş.Gör.Kürşat YILDIZ ve diğer çalışma arkadaşlarıma, beton ve ekipman yardımları ile çalışmalarımızı her zaman destek veren Baştaş Beton Tesisleri Genel Müdürü Sn. Hulusi DEMİR'e, istatistik analizler konusunda büyük katkılarını gördüğüm Prof.Dr.Fikret GÜRBÜZ ve Arş.Gör.Özgür KOŞKAN'a, ayrıca meslek hayatım ve çalışmalarım boyunca her türlü desteğiyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan eşime ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xvi
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xx
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xxii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Dayanıklı Betonarme Eleman Tasarımı	4
2.2. Betonarme Elemanın Dayanıklılığına Etkileyen Faktörler	8
2.2.1. Beton yüzey kusurları	11
2.2.2. Betonarme çeliği korozyonu	14
2.2.3. Kimyasal tesirler	20
2.2.4. Donma-çözülme	33
2.2.5. Karbonatlaşma	37
2.2.6. Aşınma	40
2.3. Kalıp Tasarımı ve Yüzey İşlemleri	42
2.4. Geçirgen Kalıp Tasarımı	47
2.4.1. Geçirgen kalıp astarlarının davranışı	50

Sayfa

2.4.2. Geçirgen kalıplarda kullanılan astarlar	52
2.4.3. Geçirgen kalıplarda kullanılan beton karışımları ve yerleştirme teknikleri	62
2.4.4. Geçirgen kalıp kullanmanın faydaları	67
2.4.5. Geçirgen kalıpların seçiminde dikkat edilecek hususlar	77
2.4.6. Geçirgen kalıp seçimini etkileyen faktörler	78
2.4.7. Geçirgen kalıplarla dökülmüş beton yüzeylerin dayanıklılığı	83
2.4.8. Geçirgen kalıpların örnek uygulamaları	85
3. MALZEME VE METODLAR	89
3.1. Malzemeler	89
3.1.1. Kalıp	89
3.1.2. Beton	89
3.2. Metodlar	92
3.2.1. Kalıp örneklerinin hazırlanması	92
3.2.2. Kalıp örneklerine beton dökümü	95
3.2.3. Beton bloklar üzerinde gerçekleştirilen deneyler	95
3.2.4. Beton bloklardan alınan karot numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneyler	102
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	114
4.1. Schmidt Çekici ile Yüzey Sertliği	114
4.2. Radyoaktif Yöntemle Beton Yoğunluğu	119
4.3. Yüzeyde Kopma Dayanımı (Pull-out)	129

Sayfa

4.4. Betonun Doğrudan Çekme Dayanımı (Pull-off).....	132
4.5. Yüzeyde Hava Boşluğu Miktarı.....	135
4.6. Basınç Dayanımı	138
4.7. Statik Elastisite Modülü ve Poisson Oranı	141
4.8. Yarmada Çekme Dayanımı.....	148
4.9. Beton Yoğunluğu	151
4.10. Görünür Boşluk Yüzdesi.....	156
4.11. Ultrases Geçiş Hızı	161
4.12. Karbonatlaşma Derinliği	164
4.13. Kapiler Su Emme Miktarı.....	166
4.14. Aşınma Dayanımı.....	174
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	178
KAYNAKLAR	188
ÖZGEÇMİŞ.....	201

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. 250 mm kalınlığında bir perde duvar betonunun S/Ç oranının 0.40'a düşürülebilmesi için uzaklaştırılması gereken su miktarı	64
Çizelge 2.2. Geçirgen olan ve olmayan kalıplarla dökülmüş betonların donma-çözülme dayanımı testi sonuçları.....	69
Çizelge 2.3. Geçirgen kalıplarla yapılmış betonların karbonatlaşma testi sonuçlarının geleneksel kalıpla dökülen betonlarla karşılaştırması	71
Çizelge 2.4. Çeşitli araştırmacıların yaptığı klor iyonu nüfuzu deney sonuçları	73
Çizelge 2.5. Geçirgen kalıplarla dökülen betonlardaki geri tepme değerlerinin geleneksel kalıplarla dökülen betonların karşılaştırılması.....	75
Çizelge 2.6. Kalıp yüzeyindeki kabul edilebilir düzensizlikler	78
Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan betonun özellikleri	90
Çizelge 3.2. Karışımda kullanılan malzemelere ait özellikler	90
Çizelge 3.3. Çimento kimyasal özellikleri	91
Çizelge 3.4. Basınç dayanımı değerleri	91
Çizelge 3.5. Eğilmede çekme dayanımı değerleri.....	92
Çizelge 3.6. Kalıp kodları ve özellikleri.....	94
Çizelge 3.7. Döküm sırasındaki beton ve hava sıcaklıkları	95
Çizelge 4.1. Yüzey sertliği verilerine ait açıklayıcı istatistikler	115
Çizelge 4.2. Yüzey sertliği verilerine ait varyans çözümleme tablosu	115
Çizelge 4.3. Yüzey sertliği verilerine ait Duncan testi sonuçları	116

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.4. Yüzey sertliği-beton yaşı arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon modelleri	118
Çizelge 4.5. Radyoaktif yöntemle yoğunluk verilerine ait açıklayıcı istatistikler	120
Çizelge 4.6. Radyoaktif yöntemle yoğunluk verilerine ait varyans çözümleme tablosu	121
Çizelge 4.7. Radyoaktif yöntemle yoğunluk verilerine ait Duncan testi sonuçları	122
Çizelge 4.8. Bütün zaman aralıklarında kalıp türlerine göre yoğunluk-derinlik arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon modelleri	126
Çizelge 4.9. Yüzey kopma dayanımı değerlerine ait açıklayıcı istatistikler	129
Çizelge 4.10. Yüzeyde kopma dayanımı verilerine ait varyans çözümleme tablosu	130
Çizelge 4.11. Yüzeyde kopma dayanımı verilerinin zamana göre değişimine ait Bonferroni testi sonuçları	130
Çizelge 4.12. Yüzeyde kopma dayanımı verilerinin kalıp türüne göre değişimine ait Bonferroni testi sonuçları	130
Çizelge 4.13. Doğrudan çekme dayanımı verilerine ait açıklayıcı istatistikler	133
Çizelge 4.14. Doğrudan çekme dayanımı verilerine ait varyans çözümleme tablosu	133
Çizelge 4.15. Doğrudan çekme dayanımı verilerinin zamana göre değişimine ait Bonferroni testi sonuçları	134
Çizelge 4.16. Doğrudan çekme dayanımı verilerinin kalıp türüne göre değişimine ait Bonferroni testi sonuçları	134
Çizelge 4.17. Yüzeyde hava boşluğu miktarı verilerine ait açıklayıcı istatistikler	136

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.18. Yüzeyde hava boşluğu miktarı verilerine ait varyans çözümleme tablosu	136
Çizelge 4.19. Yüzeyde hava boşluğu miktarı verilerine ait Bonferroni testi sonuçları.....	137
Çizelge 4.20. Beton basınç dayanımı verilerine ait açıklayıcı istatistikler...	139
Çizelge 4.21. Beton basınç dayanımı verilerine ait varyans çözümleme tablosu	139
Çizelge 4.22. Beton basınç dayanımı verilerinin zamana göre değişimine ait Bonferroni testi sonuçları	140
Çizelge 4.23. Beton basınç dayanımı verilerinin kalıp türüne göre değişimine ait Bonferroni testi sonuçları	140
Çizelge 4.24. Elastisite modülü verilerine ait açıklayıcı istatistikler	142
Çizelge 4.25. Elastisite modülü verilerine ait varyans çözümleme tablosu	142
Çizelge 4.26. Elastisite modülü verilerinin zamana göre değişimine ait Bonferroni testi sonuçları	143
Çizelge 4.27. Elastisite modülü verilerinin kalıp türüne göre değişimine ait Bonferroni testi sonuçları	143
Çizelge 4.28. Poisson oranı verilerine ait açıklayıcı istatistikler	145
Çizelge 4.29. Poisson oranı verilerine ait varyans çözümleme tablosu.....	146
Çizelge 4.30. Poisson oranı verilerinin zamana göre değişimine ait Bonferroni testi sonuçları	146
Çizelge 4.31. Poisson oranı verilerinin kalıp türüne göre değişimine ait Bonferroni testi sonuçları	146
Çizelge 4.32. Yarmada çekme dayanımı verilerine ait açıklayıcı istatistikler	149
Çizelge 4.33. Yarmada çekme dayanımı verilerine ait varyans çözümleme tablosu	149

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.34. Yarmada çekme dayanımı verilerine ait Duncan testi sonuçları	149
Çizelge 4.35. Beton yoğunluğu verilerine ait açıklayıcı istatistikler	152
Çizelge 4.36. Beton yoğunluğu verilerine ait varyans çözümleme tablosu.	153
Çizelge 4.37. Beton yoğunluğu verilerinin numune türüne göre değişimine ait Bonferroni testi sonuçları	153
Çizelge 4.38. Beton yoğunluğu verilerinin kalıp türüne göre değişimine ait Bonferroni testi sonuçları	153
Çizelge 4.39. Görünür boşluk yüzdesi verilerine ait açıklayıcı istatistikler..	157
Çizelge 4.40. Görünür boşluk yüzdesi verilerine ait varyans çözümleme tablosu	158
Çizelge 4.41. Görünür boşluk yüzdesi verilerinin numune türüne göre değişimine ait Bonferroni testi sonuçları	158
Çizelge 4.42. Görünür boşluk yüzdesi verilerinin kalıp türüne göre değişimine ait Bonferroni testi sonuçları	158
Çizelge 4.43. Ultrases geçiş hızı verilerine ait açıklayıcı istatistikler	162
Çizelge 4.44. Ultrases geçiş hızı verilerine ait varyans çözümleme tablosu	162
Çizelge 4.45. Ultrases geçiş hızı verilerinin zamana göre değişimine ait Bonferroni testi sonuçları	162
Çizelge 4.46. Bir yıl sonunda karbonatlaşma derinliği değerlerine ait açıklayıcı istatistikler	164
Çizelge 4.47. Karbonatlaşma derinliği verilerine ait varyans çözümleme tablosu	165
Çizelge 4.48. Karbonatlaşma derinliği verilerine ait Bonferroni testi sonuçları	165
Çizelge 4.49. Kapilarite katsayısı verilerine ait açıklayıcı istatistikler	168

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.50. Kapilarite katsayısı verilerine ait varyans çözümleme tablosu	169
Çizelge 4.51. Kalıp*Zaman interaksiyonunda kapilarite katsayısı verilerine ait Duncan testi sonuçları	169
Çizelge 4.52. Kalıp*Numune interaksiyonunda kapilarite katsayısı verilerine ait Duncan testi sonuçları	170
Çizelge 4.53. Aşınma dayanımı verilerine ait açıklayıcı istatistikler	174
Çizelge 4.54. Aşınma dayanımı verilerine ait varyans çözümleme tablosu	175
Çizelge 4.55. Aşınma dayanımı verilerine ait Duncan testi sonuçları.....	175

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Çeşitli nedenlerden betonun donatıyı korozyondan koruma etkinliğinin kaybolması	15
Şekil 2.2. Betonarme donatısında klorür iyonlarının yol açtığı korozyon mekanizması	18
Şekil 2.3. Betonun kimyasal zararlı etkiler sonucu bozulması	23
Şekil 2.4. Sülfat etkisiyle ağır hasar görmüş beton	24
Şekil 2.5. Deniz suyunun betona etkisi	28
Şekil 2.6. Deniz suyuna maruz kalan betondaki bozulma süreçleri	29
Şekil 2.7. Döşeme, perde duvarı, kolon ve kiriş kalıp yüzeyleri	43
Şekil 2.8. Brüt beton kalıplarında kalıp tahtalarının birleştirilmesine ait bir örnek	44
Şekil 2.9. Tipik bir perde duvarı kalıbı	45
Şekil 2.10. Geçirgen kalıplarda suyun kalıp yüzeyine doğru hareketi	51
Şekil 2.11. Tek tabakada çift örgülü kalıp astarı dokuma diyagramı	57
Şekil 2.12. 48 saat küre tabi tutulmuş beton yüzeyinden kalıbı ayırmak için gerekli olan kuvvet grafiği	60
Şekil 2.13. Geçirgen kalıp ve geleneksel kalıp-beton ilişkisi	63
Şekil 2.14. Geçirgen kalıplarda erken kür görevi	76
Şekil 3.1. Tasarımı yapılan perde duvar kalıbı perspektifi.....	93
Şekil 3.2. Kalıp yüzeyi drenaj kanal ve deliklerinin yerleşim planı.....	93
Şekil 3.3. Beton blok yüzeyinde Schmidt çekici uygulama bölge ve noktaları	96
Şekil 3.4. Radyoaktif yoğunluk ölçümü	98

Şekil	Sayfa
Şekil 3.5. Disklerin kalıp yüzeyine montajı	99
Şekil 3.6. Yüzeyde kopma dayanımı deneyi şematik gösterimi.....	99
Şekil 3.7. Doğrudan çekme dayanımı deneyi şematik görüntüsü.....	100
Şekil 3.8. Beton blok yüzeyinde hava boşluğu ölçüm bölgeleri	102
Şekil 3.9. Deney numunesi üretimi	103
Şekil 4.1. Yüzey sertliği verileri kutu grafiği.....	117
Şekil 4.2. Ortalama yüzey sertliği verileri çubuk grafiği	117
Şekil 4.3. Yüzey sertliği ve beton yaşı arasındaki ilişkiye ait regrasyon grafiği	118
Şekil 4.4. 28. gündeki ortalama yoğunluk değerlerine ait çubuk grafiği....	122
Şekil 4.5. 90. gündeki ortalama yoğunluk değerlerine ait çubuk grafiği....	123
Şekil 4.6. 210. gündeki ortalama yoğunluk değerlerine ait çubuk grafiği..	123
Şekil 4.7. 365. gündeki ortalama yoğunluk değerlerine ait çubuk grafiği..	124
Şekil 4.8. 28 günlük betonlarda derinliğe bağlı olarak yoğunluk değişimi	127
Şekil 4.9. 90 günlük betonlarda derinliğe bağlı olarak yoğunluk değişimi	127
Şekil 4.10. 210 günlük betonlarda derinliğe bağlı olarak yoğunluk değişimi	128
Şekil 4.11. 365 günlük betonlarda derinliğe bağlı olarak yoğunluk değişimi	128
Şekil 4.12. Ortalama yüzeyde kopma dayanımı değerlerine ait çubuk grafiği	131
Şekil 4.13. Doğrudan çekme dayanımı verilerine ait çubuk grafiği.....	134
Şekil 4.14. Şeffaf kağıtlara kopya edilmiş olan yüzeydeki hava boşlukları .	136

Şekil	Sayfa
Şekil 4.15. Ortalama yüzeyde hava boşluğu miktarı değerlerine ait ait çubuk grafiği.....	137
Şekil 4.16. Beton basınç dayanımı verilerine ait çubuk grafiği	140
Şekil 4.17. Elastisite modülü verilerine ait çubuk grafiği.....	143
Şekil 4.18. Poisson oranı verilerine ait çubuk grafiği.....	147
Şekil 4.19. Ortalama yarmada çekme dayanımı verilerine ait çubuk grafiği	150
Şekil 4.20. 28 günlük numunelere ait ortalama beton yoğunluğu verilerine ait çubuk grafiği	154
Şekil 4.21. 90 günlük numunelere ait ortalama beton yoğunluğu verilerine ait çubuk grafiği	154
Şekil 4.22. 365 günlük numunelere ait ortalama beton yoğunluğu verilerine ait çubuk grafiği	155
Şekil 4.23. 28 günlük numunelere ait ortalama görünür boşluk yüzdesi verilerine ait çubuk grafiği	159
Şekil 4.24. 90 günlük numunelere ait ortalama görünür boşluk yüzdesi verilerine ait çubuk grafiği	159
Şekil 4.25. 365 günlük numunelere ait ortalama görünür boşluk yüzdesi verilerine ait çubuk grafiği	160
Şekil 4.26. Ortalama ultrases geçiş hızı verilerine ait çubuk grafiği	163
Şekil 4.27. Ortalama karbonatlaşma derinliği verilerine ait çubuk grafiği ...	165
Şekil 4.28. K0 kalıbına ait ortalama kapilarite katsayısı verileri çubuk grafiği	170
Şekil 4.29. K1 kalıbına ait ortalama kapilarite katsayısı verileri çubuk grafiği	171
Şekil 4.30. K2 kalıbına ait ortalama kapilarite katsayısı verileri çubuk grafiği	171

Şekil 4.31. Ortalama aşınma dayanımı verilerine ait çubuk grafiği..... 177

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Yüzeyine fenolfetalin çözeltisi püskürtülmüş beton.....	40
Resim 2.2. Geçirgen ve çelik kalıplara dökülmüş beton yüzeyleri.....	52
Resim 2.3. Gevşek montajdan kaynaklanan astar katlanmasının beton yüzeyine yansımaları	58
Resim 2.4. Kalıp gergi deliği boşluğu etrafında gevşek astar katlanmasının beton yüzeyine yansımaları	59
Resim 2.5. Geçirgen ve geleneksel kalıpla dökülmüş betonların donma-çözülme deneyi sonrasındaki durumları	69
Resim 2.6. Konfederasyon köprüsü ayağının temeli üzerindeki tekstil atsarlı ahşap kalıp	86
Resim 2.7. Konfederasyon köprüsünde buz kalkanlarında tekstil atsarlı kalıp kullanılarak dökülmüş pürüzsüz beton yüzeyi	86
Resim 2.8. Trafik bariyerlerinin atsarlı kalıplar kullanılarak dökülmesi	88
Resim 2.9. Geleneksel kalıpla (solda) ve atsarlı kalıplarla (sağda) dökülmüş trafik bariyerlerinin yüzey görüntüsü (atsarlı kalıplarla dökülen beton yüzeyinde çok az miktarda hava boşlukları görülmektedir.)	88
Resim 3.1. Kalıp örneklerinin yapım süreci ve tamamlanmış görüntüleri...	94
Resim 3.2. Beton döküm işlemleri.....	95
Resim 3.3. Radyoaktif yoğunluk ölçer ile beton yoğunluğunun tayini deneyi.....	97
Resim 3.4. Kalıp yüzeylerine yerleştirilen diskler	98
Resim 3.5. Beton bloklar üzerinde yüzeyde kopma dayanımı deneyinin yapılışı	99
Resim 3.6. Doğrudan çekme dayanımı deneyi yapılışı	101
Resim 3.7. Deformasyon kontrollü beton basınç dayanımı deneyi	104

Resim	Sayfa
Resim 3.8. Yarmada çekme dayanımı deneyi.....	107
Resim 3.9. Kapiler su emme deneyi	111
Resim 3.10. Aşınma dayanımı deney cihazı ve aşındırma aparatı	113
Resim 4.1. Aşındırma deneyinden sonraki beton numunelerinin görüntüsü.....	176

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
f_c	Beton basınç dayanımı (MPa)
f_{ct}	Beton yarmada çekme dayanımı, MPa
σ	Gerilme (MPa)
ε	Birim deformasyon
μ	Poisson oranı
A	Alan (cm ²)
L	Numune boyu (mm)
R	Geri tepme sayısı
Q	Emilen su miktarı (cm ³)
t	Zaman (sn)
V	Ultrases geçiş hızı (km/sn)
p	Anlamlılık düzeyi
D_{max}	Maksimum dane boyutu
Ø	Numune Çapı(mm)
E	Elastisite modülü (Mpa)
K	Kapilarite katsayısı (cm ² /sn)
B₀	Görünür boşluk oranı (%)
N	Örnek sayısı
F	F testi için değer
r²	Determinasyon katsayısı
C-S-H	Kalsiyum-Silika-Hidrat
C₃A	Trikalsiyum aluminat

Kısaltmalar**Açıklama****C**

Beton sınıfı

PÇ

Portland çimentosu

S/Ç

Su / çimento oranı

TS

Türk Standardı

ASTM

Amerikan Standardı

ACI

Amerikan Beton Enstitüsü

SD

Silis dumanı

UK

Uçucu kül

K0

Referans astarsız kalıp

K1

Zemdrain astarlı kalıp

K2

SB-20 astarlı kalıp

1. GİRİŞ

Betonarme eleman tasarımında iki temel malzeme faktörü, betonarme çeliği ve betondur. Bunlardan betonarme çeliği tanımlanmış standart özelliklerde fabrikasyon olarak üretilmektedir. Buna karşın betonun, fiziksel ve mekanik özellikler bakımından; kendisini oluşturan (agrega, çimento, su ve katkı maddeleri gibi...) malzemelerin özelliklerinin yanı sıra, karışım oranları, hazırlanması, karıştırılması, taşınması, yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve kürü gibi temel işlemlerden, kalıp özellikleri ve ortam şartlarından da büyük ölçüde etkilendiği bilinmektedir (1).

Betonarme yapı üretim sistemi içerisinde önemli bir yere sahip olan kalıp, kendisini taşıyabilecek hale gelinceye kadar betonu desteklemek, betona şekil vermek, betonda istenilen yüzey düzgünlüğünü sağlamak gibi temel fonksiyonlara sahiptir (2). Kalıp bu temel fonksiyonlarının yanı sıra beton yüzeyinin performansı açısından büyük önem taşımaktadır. Betonarme kalıp yüzey malzemesi türü, tasarım hataları ve kalıp yağlarının yanlış kullanımından dolayı, kalıplanan beton yüzeylerinde beton kabuğun (pas payı) fiziksel ve mekanik özelliklerini etkileyen yüzey kusurlarının meydana geldiği bilinmektedir (3). Diğer taraftan betonarme elemanlarda donatıyı ve betonu dış tesirlerden koruyan beton kabuğun, eleman dayanıklılığı üzerinde önemli bir etkinliğe sahip olduğu bilinmekte ve beton kabuğun yeterliliği; çevreden kaynaklanan zararlı aktif maddelerin betona nüfuz etmesini önlemedeki performansı ile değerlendirilmektedir (4, 5).

Genel olarak beton kusurları, betonarme elemanların yüzeyinde ve iç kısımlarında meydana gelebilmektedir. Çoğu zaman beton iç kısımlarında oluşan kusurların görünüşleri beton yüzeyine de yansımaktadır. Beton kusurlarının yüzeyde oluşmaları ve iç kısımlarda olduğu halde yüzeye yansıyanları üzerinde daha çok durulmaktadır. Bu durumda yüzeye görüntü vermeyen kusurlar ihmal edilmektedir (6). Beton yüzeyinde yer yer farklı

görünümlere neden olan yüzey kusurları aynı yüzeyde fiziksel özellikler bakımından farklı yapıların oluştuğunu göstermektedir. Bu oluşum, yapının bulunduğu ortam şartlarından kaynaklanan zararlı tesirlere karşı farklı davranış gösteren beton yüzey alanlarının oluşacağı anlamındadır (7-9). Dolayısı ile ileri yıllarda farklı zamanlarda, farklı seviyelerde yıpranma ve tamir-bakım gereksinimi ortaya çıkacak ve yapı elemanlarının farklı kullanım ömrü problemleri ile karşılaşılacaktır (10). Bu bakımdan yüzey kusurlarının dereceleri ve beton yüzeyinin fiziksel özellikler bakımından üniform olması önem taşımaktadır.

Değerlendirme kriteri olarak; beton yüzeyinin görünümü ve yüzey fiziksel özelliklerinin etkin olduğu betonarme yapının kullanım ömrü, esas alınarak tasarım faktörlerinin organize edilmesiyle daha fonksiyonel ve ekonomik sonuçlar elde edilebilecektir. Yapısal amaçlı olmanın yanı sıra estetik özellik de taşınması beklenen beton yüzeylerinin tasarımında yüzey kusurlarını minimize edecek; yapı, kalıp ve beton tasarımının bir bütünlük içerisinde gerçekleştirilmesi gerekli görülmektedir (1, 11). Beton kabuğunun fiziksel ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesiyle betonarme eleman dayanıklılığı da artırılmış olacaktır. Beton kabuğundaki bu gelişmenin; kalıp yüzeylerinde gerçekleştirilecek farklı tasarımlarla, beton kabuğun fiziksel ve mekanik özelliklerinin geliştirilebileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmanın amacı, farklı yüzey astarları ile kaplanmış drenaj özelliği bulunan kalıpların betonun bazı fiziksel özellikleri üzerine etkilerini araştırmaktır.

Çalışma farklı yüzey astarları ile kaplanmış drenaj özelliği bulunan kalıpların, betonun; Schmidt çekici ile yüzey sertliği, radyoaktif yöntemle beton yoğunluğu, yüzeyde kopma dayanımı, doğrudan çekme dayanımı, yüzeyde hava boşluğu miktarı, basınç dayanımı, statik elastisite modülü, poisson oranı, yarmada çekme dayanımı, beton yoğunluğu, görünür boşluk oranı,

ultrases geçiş hızı, karbonatlaşma derinliği, kapiler su emme ve aşınma dayanımı özellikleri üzerine etkileri belirlemeye ilişkin çalışmaları kapsamaktadır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Dayanıklı Betonarme Eleman Tasarımı

Yapı elemanlarının fonksiyonlarını yerine getirebilmek için gerçekleştirilen yapısal tasarımlar, normal servis yükleri altında gerilmelerin, çatlamların ve eğilmelerin değerlendirilmesini gerektirmektedir. Yapısal tasarımlarda öngörülen bu yaklaşımlar, yapı elemanının dayanıklılığını etkileyen faktörlerin de değerlendirilmesi ile daha ekonomik sonuçlar verecektir (12).

Bir beton tasarlanırken, söz konusu beton yapının hizmet edeceği amaç ve gerçekte maruz kalacağı çevre etkilerine karşı dayanıklılığı ele alınmalıdır. Dayanıklılık için, o çevrede hiç kritik olmayan bir etkiye karşı betonda direnç yerine, betonun göreceği hizmet ve o çevre şartları altında söz konusu olacak en kritik direnç esas olmalıdır. Örneğin, hiç don olayının meydana gelmediği çok sıcak iklimli bir bölgede inşa edilecek bir karayolu tüneli beton kaplaması için tasarlanan betonun donma tesirine karşı dayanıklılığı yerine, aşınma etkileri ve çimento agrega reaksiyonlarına karşı dayanıklılığı ele alınmalıdır. Tasarlanan elemanların kesit boyutları, betonarmeyi oluşturan elemanların yerleştirilmesine ve yapım için piyasada bulunan alet ve ekipmanların kullanımına uygun olmalıdır (1).

Beton karışım tasarımında; agregaların derecelenmesi, tane şekli, tane yapısı ve tane boyutları göz önünde bulundurulmalıdır. Maksimum agrega tane çapı seçimi betonarme donatı aralığından etkilenecektir. Bunun yanı sıra ASTM C33 “Standart Spesification For Concrete Aggregates” de tanımlanan 67 boyut no’lu granülometrik bileşimin ($D_{max}= 19 \text{ mm}$) 57 boyut no’lu dan daha iyi bir vibrasyon imkanı sağladığı göz önünde bulundurulmalıdır (13).

Proje detaylarında beton dökümüne ara verilecek yerler (yapım ek yerleri) gösterilmelidir. Ek yerlerinin iyi seçilmesi;

- ✓ Eski döküm ile yeni döküm arasındaki hatta oluşacak boşlukları ve çizgi görünüm etkisini,
- ✓ İkinci kalıbın yerleştirilmesinden sonra oluşacak sızıntıların çirkin görünümü,
- ✓ Betonun hidrostatik basıncı ve vibratörün santrifüj kuvvetinin kalıbı esnetmesinden kaynaklanacak kusurları, minimize etmesi açısından önem taşımaktadır (14).

Ayrıca yapılan bir araştırmada genel tasarım yaklaşımları ve betonarme yapı elemanlarının dayanıklılığını etkileyen faktörler incelenerek agrega tane dağılımı su/çimento oranı, su emici kalıp yüzeyi, betonun sıkıştırılması, betonun kürü, beton kabuk kalınlığı, beton yüzey tesviyesi zamanlaması, agrega en büyük tane çapı, agrega reaktivitesi, agrega sertliği ve beton yüzey düzgünlüğü dayanıklı yapı elemanı tasarımında temel tasarım faktörleri olarak belirlenmiştir (15).

Beton üretimi düşünülürken hemen dayanıklılık özelliği dikkate alınmayabilir. Dayanıklılık, beton sertleşip hizmete girdikten sonra hatta bazen uzun bir süre geçince kendini gösteren bir nitelik. Oysa dayanıklılık; mukavemet ve ekonomi gibi, iyi beton yapımında beton işçiliği ile ilgili hatırdan tutulması, dikkate alınması gereken bir beton niteliğidir. Gerekli dayanıklılığa sahip olmayan beton iyi bir beton olamaz. Genel kaide, dayanıklı bir beton elde etmek için düşük su/çimento oranı ile beton yapmak, iyi seçilmiş sağlam agrega kullanmak, betonu yerleştirirken iyi işçilik ve uygun inşaat yöntemleri ile kaliteli, yoğun beton elde etmek, dökülen betonu yeterince kür etmektir (16).

Beton kalitesini belirleyici olarak kullanılabilecek parametreler şunlardır;

- ✓ Basınç dayanımı,
- ✓ Çekme dayanımı, eğilmede çekme dayanımı, yarma dayanımı,
- ✓ Aşınmaya dayanıklılık,
- ✓ Su emme,
- ✓ Su geçirgenlik,
- ✓ Donma-Çözölmeye dayanıklılık,
- ✓ Kimyasal maddelere dayanıklılık,
- ✓ Isı yalıtıcılık,
- ✓ Hafiflik,
- ✓ Dış görünüş.

Su tutucu yapı elemanlarda kullanılacak betonlarda geçirgenlik (veya su geçirimsizlik); ısı yalıtıcı elemanlarda kullanılacak betonlarda ısı yalıtıcılık ve hafiflik, sanayi çevrelerinde kullanılacak betonlarda kimyasal maddelere dayanıklılık; aşırı iklim koşullarına açık olan betonlarda su emme, donma-çözölmeye dayanıklılık, trafik etkisiyle karşı karşıya olan elemanlarda aşınmaya dayanıklılık, mimari etki sağlama amaçlı betonlarda dış görünüş ve bütün bunlarla birlikte, taşıyıcı olmayanlarda beton kalitesi açısından en önemli belirleyici parametre olan, başta basınç dayanımı olmak üzere mekanik özellikler değerlendirilir (17, 18).

Betonun niteliğindeki yetersizlik, kılcal boşluk ve betonun işlenebilirliği için konulan gereğinden fazla suya bağlanmaktadır. Bu iki olumsuz faktörün aşağı çekilmesiyle betonun niteliğinde önemli artışlar sağlanabilmektedir. Kılcal boşlukları küçöltmek ve fazla suyu sonradan almak veya çimento tanelerini homojen bir şekilde dağıtan bir takım akışkanlaştırıcılarla su/çimento oranını düşörmek beton niteliğini arttırıcı önlemler olarak görölmektedir (19).

Su/çimento oranının azaltılmasıyla betonun basınç dayanımında artış olacağı 1897 (Feret)'den beri bilinmektedir. Bugün bazı akışkanlaştırıcılar aracılığıyla su/çimento oranını 0,20 değerine indirmek olasıdır. Yapılan çalışmalarda akışkanlaştırıcılarla çimento hamurunun boşluk oranının %5'lere inmesi halinde mukavemetinin 200 MPa mertebesine çıktığı görülmektedir(18).

Elde edilen bu bulgulara göre çimento hamurunun niteliğini artırmak için iki yol karşımıza çıkmaktadır; kılcal boşluk oranını azaltmak ve/veya boyutlarını küçültmek. Çimento hamurunda yukarıda belirtilen özelliklere ek olarak, çimento hamuru ile agrega temas yüzeyindeki bağlantının niteliği betonun niteliğini etkilemektedir (19).

Betonun bazı kimyasal değişmelere uğramasıyla mukavemetinde artmalar ve eksilmeler meydana gelebilmektedir. Kimyasal değişmelere uğrayan betonda dışarıdan bazı maddelerin girmesi sonucunda bir takım bozulmalar ortaya çıkar.

Betonu kimyasal tesirlerden korumak için aşağıdaki önlemler alınabilir (20);

- ✓ Çimentoyu dayanıklı kılmak; kullanılacağı yere göre özel çimentolar hazırlamak bu amaca uygun olabildiği gibi, harcın yapılması esnasında çimentoya bazı maddeler karıştırılması da dayanıklılığı artırır.
- ✓ Dolu, sıkı yapılı bir beton meydana getirmek; gözenekli betonlar dolu sıkı yapılı bir betona nazaran dış tesirlerden daha kolay etkilenmektedirler. Bu yüzden yüksek dozajlı harç hazırlanarak çimentonun mümkün olduğu kadar ince öğütülmesi gerekmektedir.
- ✓ Harç suyuna bazı maddelerin katılması; adi sabunlar, çimentonun kireci ile birleşerek suda çözünmeyen sabunlar oluşur. Bunlar da betonun

gözeneklerini tıkararak onu su geçirmez hale getirirler. Ya da bitüm ve benzerleri maddeler doğrudan doğruya gözenekleri tıkama rolü oynarlar.

- ✓ Beton üzerinde koruyucu bir tabaka meydana getirmek; ya beton üzerinde kimyasal reaksiyonlarla bir koruyucu tabaka meydana getirilir ya da bazı badanalar ve macunlarla bu iş gerçekleştirilir.

Donmaya dayanıklı bir beton elde etmek için hem çimento hamurunun, hem de agreganın donmaya dayanıklı olması gerekir. Çimento hamuru ele alınacak olursa, donmaya dayanım su/çimento oranına ve beton içine sürüklenmiş hava kabarcıkları miktarına bağlı olduğu görülmüştür. Su/çimento oranının değeri çimento hamuru içerisindeki kılcal boşlukları tayin etmekte ve donma dayanımını etkilemektedir. Agregaya ele alınacak olursa, araştırmalar agreganın donmaya dayanımının tane boyutuna, boşluk çapına ve beton içerisinde suya doymun hale gelebilmesine bağlı olduğunu göstermektedir. Doymun hale gelebilmesi agreganın tanelerinin yüzeye yakın olmasına ve üzerlerini örten çimento hamuru tabakasının fazla geçirimli olmasına bağlıdır. Eğer bu şartlar varsa, agreganın donmada zarar görmesi için boşluklardaki suyun buz basınçları ve hidrostatik basınçlar altında kolay boşalamaması gerekir. Bunun içinde boşluk uzunluğunun yani agreganın tane boyutunun büyük ve boşluk çapının küçük olması gerekir. Deneyler agreganın donmada zarar görmemesi için tane çapının 2 cm' den büyük ve içindeki boşluk çaplarının 5 mikron (0,005 mm)'dan küçük olması gerektiğini göstermektedir (17, 18, 21).

2.2. Betonarme Elemanın Dayanıklılığına Etkileyen Faktörler

Betonun bağlayıcılık özelliğinin zaman içerisinde değişmesine bağlı olarak fiziksel ve mekanik özellikleri de değişir. Bundan dolayı sertleşmiş betonun belirli bir özelliğinin hangi güne ait olduğunu daima belirtmek gerekmektedir.

Bununla beraber hidratasyon olayının hızı zamanla azalmakta olduğundan, yaşı ilerlemiş betonların özelliklerinde zamanla az değişme olur ve bu betonlar doğal bir malzemenin iç yapısına ve karakterine sahip olmaya başlar. Beton üretildikten an az 5 ve an çok 10 yıl geçtikten sonra özellikleri aynı kalan bir malzeme durumuna gelir (17).

Betonun muhtelif özelliklerini aşağıdaki nedenlerden dolayı bilmek gerekmektedir;

- ✓ Betondan meydana getirilen yapının öngörülen fonksiyonları sağlayabilmesi ancak betonun belirli özelliklerinin gerekli koşulları yerine getirmesi ile mümkündür.
- ✓ Betonarme ve benzer yapıların statik ve mukavemet hesaplarının yapılabilmesi için bu özelliklerin bilinmesi gerekmektedir.
- ✓ Betonun içinde bulunduğu ortamın fiziksel ve kimyasal etkilerine dayanıklı olup olmadığını bu özelliklerin bilinmesiyle karar verilir (22).

Günümüzde, betonun çok değişik ortamlarda kullanılması sonucu betondan beklenen özellikler de artmıştır. Bu nedenle betonun kullanıldığı ortamda karşılaştığı fiziksel ve kimyasal etkiler göz önüne alındığında betonun dayanıklılık (durability) özelliği sonucu ortaya çıkan “servis ömrü” kavramı oldukça önem kazanmaktadır. Betonun; çevresinin etkisinde ilk şeklini, özelliklerini ve performansını kaybetmeden devam ettirebilme yeteneği olarak tanımlanan servis ömrü; betonun teknik ve ekonomik tasarımı sonucu ortaya çıkmış bir kavramdır. Bu amacın gerçekleşmesi, betonun üretim öncesi, üretim süreci ve üretim sonrasındaki kalite kontrol ve denetimleri ile sağlanabilir. Betona etki ederek tahribata yol açan fiziksel ve kimyasal etkenlerin betona tesiri, ya betonun üretim süreçlerinde ortaya çıkan aksaklıklar sonucu başlangıçta ya da özellikle dış fiziksel etkenler ile sonradan meydana gelmektedir (23). Beton malzemesinin standardı, sistemin tasarım dayanımı ilkesinin en önemli girdisini oluşturmaktadır.

Malzeme faktörü, optimum kesit tayini ile birlikte betonarme eleman dayanımı açısından yeterli olarak görülmekle beraber, dayanım sürekliliği (dayanıklılık) diğer bir değişle servis ömrü, yapı ekonomisi açısından önemli bir faktör olarak görülmektedir (14).

Betonların dayanıklılığı, betonun kullanıldığı yapıların emniyet ve ekonomisi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu etkileşim yapıların etüt, proje ve yapım süreçlerinde göz önüne alınarak yapı, servis ömrü boyunca karşılaştığı fiziksel ve kimyasal etkilere karşı dayanabileceği bir şekilde inşa edilmelidir. Doğadaki her şey gibi yapı malzemeleri de kusursuz değildir. Bununla birlikte özellikle etüt, proje ve yapım sırasında yapılan hata ve eksiklikler sonucu bu malzemeler taşıdıkları zayıf unsurları çoğaltarak varolurlar. Giderek, malzemedeki hasara yol açan etkenler çoğalarak büyür. Bu büyüme sonucu hasar etkeninin kinetiği hızlanır ve beton hizmet görme yeteneğini uzun süre devam ettiremez. Bu süreç sonrasında beton yapının kullanımı güvenli ve ekonomik olmaktan çıkar. Bozulan betonun güvenlik gerilmesi servis gerilmesinin altına düşer ya da onarım ve bakım masrafları yeniden yapım maliyetinin üstüne çıkar. Klasik mühendislik yapılarında bile henüz dayanıklılık problemlerinin çözülmemiş olduğu dikkate alınacak olursa gelişmiş ülkelerin inşaat yatırımlarının %40'ının bakım ve onarıma ayrılması gerçeği pek yadırganmamalıdır (23).

Çevre şartlarına bağlı olarak, beton agregasının karışım ve fiziksel özellikleri, su/çimento oranı ve çimento içeriği gibi faktörler tasarım alt sürecinde ayrıntıları ile belirtilmektedir. Betonarme elemanlar servis yükleri altında meydana gelebilecek gerilmeleri karşılamak durumundadırlar. Tasarımda sağlanması gereken bu olgunun yanı sıra, kalıp yüzey karakteristikleri ve beton döküm işlemlerinden kaynaklanan beton yüzey kusurlarının betonarme elemanların dayanımı ve dayanıklılığı üzerindeki etkileri önemli bir faktör olarak görülmektedir. Diğer taraftan, genelde büyük ölçüde betonarme

elemanın çevre şartlarından kaynaklanan ve betonarme elemanların dayanıklılığını etkileyen faktörler;

- ✓ Betonarme çeliği korozyonu,
 - ✓ Kimyasal tesirler,
 - ✓ Donma-çözünme etkisi,
 - ✓ Alkali-agrega reaksiyonu,
 - ✓ Aşınma yıpranma,
 - ✓ Betonun kılcallığı,
 - ✓ Betonun geçirimliliği,
- olarak görülmektedir (24, 25).

Bu faktörlerin etkinlik dereceleri, yapının bulunduğu çevre ve kullanım şartları, malzeme özellikleri ve karışım oranları, beton kabuğu ve kalıp karakteristiklerinden etkilenmektedir (1).

2.2.1. Beton yüzey kusurları

Beton yüzeyinde yer yer farklı görünümlere neden olan yüzey kusurları aynı yüzeyde fiziksel özellikler bakımından farklı yapıların oluştuğunu göstermektedir. Bu oluşum, yapının bulunduğu ortam şartlarından kaynaklanan zararlı tesirlere karşı farklı direnç gösteren beton yüzey alanlarının oluşacağı anlamındadır. Dolası ile ileri yıllarda farklı zamanlarda, farklı seviyelerde yıpranma ve tamir-bakım gereksinimi ortaya çıkacak ve farklı kullanım ömrü problemleri ile karşılaşılacaktır. Bu bakımdan yüzey kusurlarının dereceleri ve beton yüzeyinin fiziksel özellikler bakımından üniform olması önem taşımaktadır. Değerlendirme kriteri olarak; beton yüzeyinin görünümü ve yüzey fiziksel özelliklerinin etkin olduğu betonarme yapının kullanım ömrü, esas alınarak tasarım faktörlerinin organize edilmesi ile daha fonksiyonel ve ekonomik sonuçlar elde edilebilecektir. Yapısal

amaçlı olmanın yanı sıra estetik özellik de taşıması beklenen beton yüzeylerinin tasarımında yüzey kusurlarını minimize edecek; yapı, kalıp ve beton tasarımının bir bütünlük içerisinde gerçekleştirilmesi gerekli görülmektedir (26).

İstenilen bir beton yüzeyi elde etmek için tasarımcı ve yapımcı; uygun malzeme kullanımının yanında beklenen yüzey kusurlarını kabul edilebilir limitler içerisinde tutacak tasarım ve yapım tecrübelerini de kullanmalıdır. Yüzey kusurları; yetersiz tasarım, uygun olmayan malzeme seçimi yetersiz yerleştirme veya yapım uygulamalarına bağlanabilir (5).

Kusursuz ve renk farklılıkları olamayan üniform tekstürlü kalıplanmış bir yüzey elde etmek çoğu zaman zor olmaktadır. Bozuk bir yüzeyin tamiri ise çok pahalı ve nadiren tatmin edici sonuçlar vermektedir. Beton yüzeyinin görünümü;

- ✓ Beton kompozisyonu,
- ✓ Yerleştirme metodu, sıkıştırma ve katılaşma (ısıtma işlemleri, özel kür şartları),
- ✓ Kalıbın rijitliği,
- ✓ Kalıp yüzey kaplamasının karakteri,
- ✓ Kalıp yüzey malzemesinin su geçirmezliği,
- ✓ Kalıp ayırıcılarının türü ve kullanım miktarları,
- ✓ Kalıp sökme işlemlerinden sonra yüzey korunması ve hava şartları, gibi faktörlere bağlıdır (3).

Betonun karışım suyunu bırakması neticesinde ortaya çıkan su kusması daima kötü sonuçlar doğurmaz, beton su/çimento oranını düşürerek beton yoğunluğunu artırır. Fakat çok hızlı ve uzun süre su kusan betonda birçok olumsuz sonuçlar görünür. Bunlar; duvar yüzeyinde ön plana çıkmış yoğun

agrega görünümü, yatay bileşim yerlerinde soğuk derz teşekkülü, pullanmalar, toz halinde ufalanmalar ve iç yapıda donatı ve agrega taneleri altında boşluklar olarak bilinmektedir (15).

Beton yüzey kusurları renk-görüntü kusurları ve fiziksel kusurlar olmak üzere iki grupta değerlendirilmektedir. Betonun yapısal rengi betonu oluşturan çimento ve agrega gibi iki temel unsurun rengine bağlıdır. Renk bozuklukları terimi genel olarak; betonun yapısal renginde değişimlerden anlaşılan kusurların anlatımı için kullanılır. Beton karışımının homojen olmaması, vibratörün kalıba çok yakın tutulmasıyla beton yüzeyinde kaymağın oluşmaması, vibratörü daldırma noktalarının iyi seçilmemesi, üniform olmayan kalıp absorpsiyonu ve/veya yanlış kalıp ayırıcıların kullanımı, renk bozukluklarına neden olabilmektedir (26).

Betonda meydana gelen fiziksel kusurlar ve sebepleri ise kısaca aşağıdaki şekilde açıklanabilir;

- ✓ Peteklenme (*honeycombing*); Harcın kaba agrega arasındaki boşlukları etkin bir şekilde doldurma yetersizliğinden kaynaklanan beton yüzeyindeki düzensiz boşluklardır (27).
- ✓ Böcek yuvası tipi boşluklar (*bug holes*); Betonun yerleştirilmesi ve sıkıştırılması sürecinde beton ve kalıp yüzeyi arasında tutulan hava kabarcıklarından oluşan küçük düzenli veya düzensiz boşluklardır (27).
- ✓ Kumlu görünüm (*sand streaking*); Beton yüzeyinde çimento kaymak tabakasının bulunmadığı kumlu bir beton yüzey görünümüdür. Kumlu görünümlü beton yüzeyi oluşmasında kalıp ek yerleri boyunca aşırı sızıntı, uygunsuz tane dağılımı, bağlayıcı malzemeye oranla kum miktarının artması, önemli faktörler olarak bilinmektedir (28).
- ✓ Kalıp izleri yansıması (*form offset*); Kalıp birleşim yerlerinin beton yüzeyine yansımasıdır. Kalıbın yetersiz bir şekilde desteklenmesi, beton

döküm yüksekliğinin fazla olması, çok güçlü vibratör kullanılması, kalıp izleri yansımalarına neden olan faktörler olarak bilinmektedir (3).

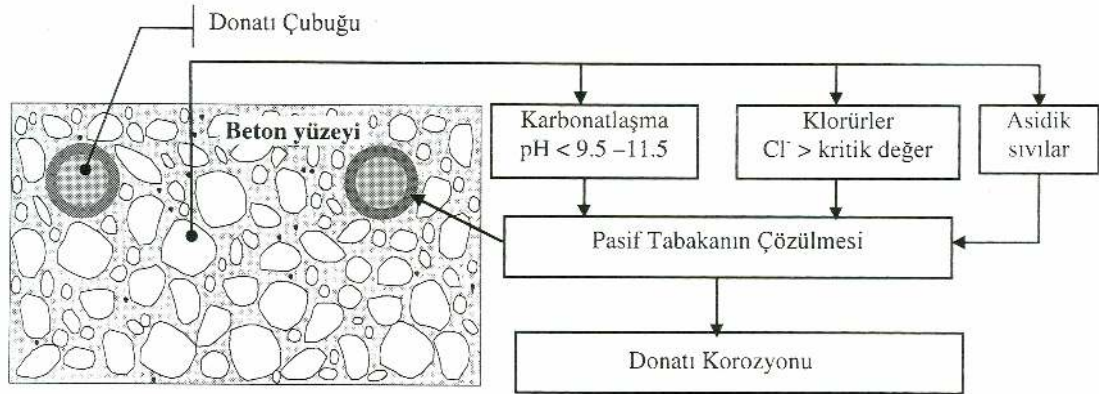
- ✓ Hava boşlukları (*blow holes*); Beton yüzeyinde, normalde 15 mm' yi geçmeyen tek tek düzenli veya düzensiz küçük boşluklardır. Kalıp yüzeyinin geçirimsizliği, uygun olmayan kalıp yağı seçimi, çok fazla kalıp yağı kullanımı, yetersiz vibrasyon betonda hava boşluklarının oluşmasına neden olabilecek önemli faktörler olarak bilinmektedir (28).
- ✓ Kılcal çatlak ağı (*crazing*); Aşırı parlak camsı beton yüzeylerinde, betonun ileri yaşlarında ince yapılı çatlak ağı oluşmasıdır. Kılcal çatlak ağının, çok parlak camsı kalıp yüzeyi kullanımı, karışımın fazla miktarda çimento ve ince malzeme içermesi, yüksek su içeriği, gibi faktörlerden kaynaklandığı bilinmektedir (28).
- ✓ Harç kaybı (*grout loss*); Genellikle hidrotasyon renk bozuklukları ile birlikte çimentodan yoksun yoğun kum yapılı yüzey alanlarıdır. Yeterince sıkı alıştırılmamış kalıp yüzey elemanı aralıkları, harç kaybı oluşumunda önemli faktör olarak görülebilir (28).
- ✓ Yüzeyde pullanma (*scaling*); Beton yüzeyindeki çimentolu derinin yer yer kopması halidir. Uygun olmayan kalıp yüzeyi, yanlış kalıp yağı seçimi, su kusması, beton yüzeyinde pullanma oluşumuna neden olan önemli faktörlerdir (3).

2.2.2. Betonarme çeliği korozyonu

Korozyon; bir metalin çevresi ile verdiği kimyasal ve/veya elektrokimyasal reaksiyonlar sonucunda zarar görmesi olarak tanımlanabilir. Ayrıca, korozyon yapay olarak elde edilen metallerin doğal duruma dönmelerini sağlayan bir tabiat olayı olarak da görülebilir. Bazı özel haller dışında normal sıcaklıkta betonarme çeliğinin korozyona uğrama biçimleri; atmosferik korozyon, elektrolitik korozyon, galvanik korozyon, klorür iyonu korozyonu olarak özetlenebilir (29).

Betonarme yapılar açısından bakıldığında; çelik, beton içine gömülü olarak kullanılmaktadır. Aslında, doğru dizayn edilmiş geçirimsiz, kaliteli bir beton, çelik donatıyı fiziksel ve kimyasal olarak korozyondan korur. Fiziksel koruma zararlı maddelerin donatıya ulaşmasının engellenmesiyle, kimyasal koruma ise yüksek pH'lı bir ortam yaratılması ile gerçekleşir. Betonun bu olumlu özelliğine rağmen, uygulamada yapılan hatalar nedeniyle, korozyon günümüzde betonarme yapıların servis ömürlerini belirleyen en önemli faktör olarak kabul edilmektedir (25).

Betonarme yapılarda oluşan donatı korozyonu yapının stabilitesi açısından çok önemli sonuçlar doğurur. Çelik donatı korozyon sonucu kesit ve düktilite kaybına uğrar. Oluşan reaksiyon ürünleri nedeniyle betonda meydana gelen genleşme etkisi önceleri pas payı tabakasının çatlamasına, ilerleyen aşamalarda ise tamamen dökülmesine yol açar. Bu durumda, hiç bir fiziksel ve kimyasal koruması kalmayan donatının çok daha hızlı şekilde kesit kaybetmesi, zamanla tamamen yok olması mümkündür (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Çeşitli nedenlerden betonun donatıyı korozyondan koruma etkinliğinin kaybolması (25)

Normalde donatılar yüksek alkaliden (Ca(OH)_2) dolayı pasif hale gelir. Eğer çevre alkalitesi belli bir değerin altına düşerse çeliğin pasif hali bozulur. Bu durum altında ortamda klorür iyonları varsa korozyon daha şiddetli olarak görülür (30). Klorür iyonu konsantrasyonu, sıcaklık ve relatif nemin karşılıklı etkileşimi çeliğin korozyonu üzerinde karmaşık bir durum yaratmaktadır (31).

Bu gün çoğu yapının ayakta kalma özelliğini yitirme noktasına gelmesinden dolayı, yıllardan beri sonsuz dayanıklılıkta bilinen betonarme yapılarda, betonarme çeliğin korozyonu ile ilgilenilmesi konusunda ciddi uyarılar gelmektedir. Korozyon mekanizmasının oluşumu konusunda bilgilerin geliştirilmesi ile betonarme yapılarda bozulma başlangıç nedeninin, korozyon yapıcı aktif elementlerin betonarme elemanların içerisine nüfuz etmesi olduğu görülmüştür (32).

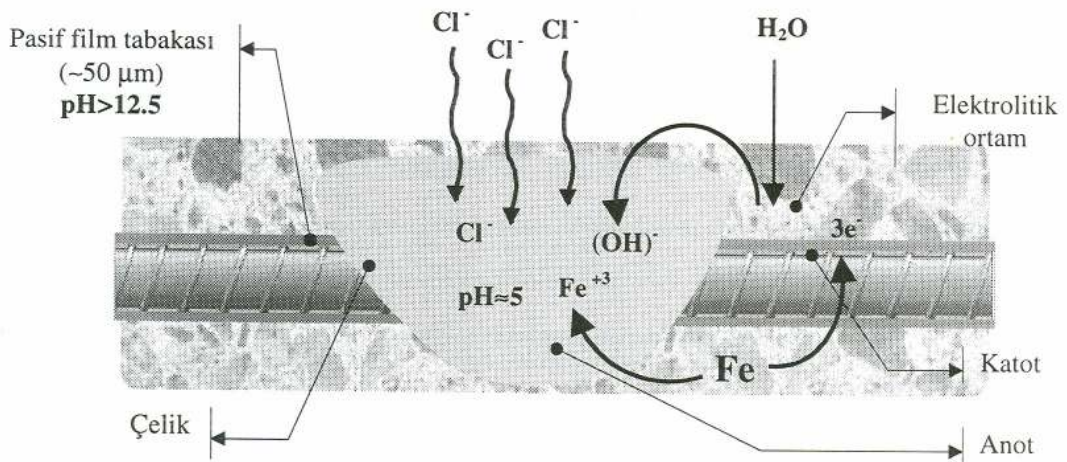
İyi kalite beton, donatı çeliği için kusursuz bir koruma sağlayabilir. Betonarme çeliğinin kimyasal olarak korunması betonun yüksek alkalitesi ile, fiziksel koruma ise aktif maddelerin beton içerisine girmesine karşı beton kabuğunun bir bariyer gibi davranması ile sağlanır (33). Betonun yapısından kaynaklanan bu koruyucu özelliğe rağmen, donatı korozyonunun betonarme yapılarda yıpranmaya yol açan en yaygın faktör olduğu görülmektedir (34). Karayolu yapıları ve araç park yeri yapıları gibi yapılarda buz çözücü tuzların kullanımı ile betonarme sistemde hasarlar daha da artar. Beton yüzeyinin bozulması ve donatının korozyonu şeklinde oluşan bozulmalar, beton servis ömrünü hızlı bir şekilde azaltmaktadır (35).

Betonun doğal pH ortamı betonarme çeliğin korunması için yeterli görülmektedir. Ancak, buz çözücü tuzların kullanımı veya beton karışımına tuz katılması donatı çevresindeki koruyucu ortamda klorür iyonları konsantrasyonunun artmasına ve donatı çevresinde uygun pH dengesinin

bozulmasına neden olduğu bilinmektedir. Donatının korozyona uğraması sonucunda oluşan pas tabakasında hacim artışı görülür. Hacim artışından dolayı meydana gelecek olan iç basınç betonun kabuk kısmında çatlak ve parçalanmalara neden olur. Betonarme yapılarda beton içerisine yerleştirilen donatının korozyon hızının oldukça yavaş olması nedeniyle uzun süreli deneysel araştırmaları gerektirmektedir. Bu nedenle klorür iyonlarının ve oksijenin beton kabuğundan içeriye donatıya doğru difüzyon hızı ve beton kabuk kalınlığı çok önemli iki parametre olarak görülmektedir. Betonarme elemana servis yükleri uygulandığı zaman donatıda mekanik gerilmeler meydana gelir. Çekme bölgesinde korozyona uğramış çelik donatı uzarken paslanmadan dolayı donatıdan ayrı çalışan beton aynı elastikiyeti gösteremez ve kılcal çatlaklar oluşur. Betonda oluşan bu kılcal çatlaklar, klorür iyonlarının penetrasyonunu artırıcı kanallar sağlar ve dolayısıyla donatı korozyonunu etkileyen önemli bir parametre durumuna gelir (36). Klorürlere maruz kalan çatlak betonlarda, kabuğun kalınlığı dayanıklılık üzerine çok az bir etkiye sahiptir. Ayrıca, çatlak genişliğinin korozyonun neden olduğu hasarın hızını anlamlı bir şekilde etkilemediği görülmüştür (37).

Beton çatlamamış bir durumda iken betonarme çeliği üzerindeki kabuk uzun süre koruyucu görev yapabilir. Koruyucu etkinlik sadece çatlakların olmamasına bağlı değildir. Aynı zamanda, zararlı maddelerin betona difüzyon hızına veya betonun porozitesine bağlıdır. Bu nedenle özellikle ulaştırma yapılarında alt yapı çevresinin incelenmesi; tasarım, bakım ve korozyon kontrolü testleri bakımından önemli olmaktadır (38). Geçmişte yapılan araştırmalar göstermiştir ki; çatlak betonarme elemanlarda kaplanmamış donatının korozyonu, buz çözücü tuzların kullanımından hemen sonra başlamaktadır (39). Suyun penetrasyonu ile birlikte klorür iyonlarının betona nüfuz etme imkanı bulacağı açıktır. Kabul edilen genel düşünceye göre; beton içerisindeki klorür miktarının çimento ağırlığının % 0.2 sine ulaşması korozyon başlangıcı için sınır değeri olarak görülmektedir (40). Diğer taraftan

betonarme köprülerde çimento ağırlığının % 0,2'nden daha fazla klorür iyonunun betonarme çeliğine ulaşması durumunda zararlı sonuçlar doğuracağı iddia edilmektedir (Şekil 2.2). Klorür çözeltisi ile yapılan absorpsiyon testlerinde suya nazaran klorür iyonlarının beton içerisine doğru daha yavaş ilerlediği görülmüştür (41).



Şekil 2.2. Betonarme donatısında klorür iyonlarının yol açtığı korozyon mekanizması (25)

Parrott (1992), betonarme elemanların kabuk betonu ile kitleyi oluşturan esas betonu arasında önemli farklılıklar olduğu ve bu farklılıkların betonarme elemanların dayanıklılığı ile doğrudan ilişkili olduğunu ifade etmektedir (42). Herhangi betonarme yapıda beton kabuğun özellikleri, yapının dayanıklılığını tayin etmede en önemli kriter olarak görülmektedir. Betonu oluşturan malzemelerin özellik ve karışım oranlarının beton kitesinin özelliklerini etkilediği bilinmektedir. Diğer taraftan, beton penetrasyon direnci ile doğrudan ilgili olan beton kabuğun performansı; yapım sürecinde kullanılan kalıp yüzeyi karakteristikleri, uygulanan kür türü ve süresinden kuvvetli bir şekilde etkilenmektedir (43). 50 mm'lik bir beton kabuk derinliğinde yapılan su absorpsiyon hızının değişimini belirleyici deneyde; absorpsiyon hızının ilk 20 mm' de etkili olduğu belirlenmiştir (44).

Beton içine gömülü çeliğin açıkta kalan bir çeliğe kıyasla korozyondan çok daha iyi korunması beklenir. Fiziksel koruma, ortamda bulunan zararlı maddelerin, özellikle klorür iyonlarının, oksijen ve nemin çeliğe ulaşmasının engellenmesi veya yavaşlatılması ile sağlanır. Kimyasal koruma ise, betonun çelik donatıya yüksek dereceden alkali (pH 12,5–13,5) bir ortam sunması ile gerçekleşir. Betonun, korozyonun durdurulması açısından çok olumlu olan bu özelliklerine rağmen günümüzde birçok yapıda betonarme donatısının korozyona uğradığı gerçeği de ortadadır. Yetersiz kalınlıkta ve çok geçirimli bir pas payı tabakası, fiziksel ve kimyasal korumanın çok zayıf olması anlamına gelir. Karbonatlaşma olayında atmosferdeki karbondioksit gazı hidrate çimento bileşenleri ile özellikle beton içindeki kireçle reaksiyona girerek betonun pH değerini indirir. Karbonatlaşma cephesinin donatıya ulaşmasıyla donatı çevresindeki alkali ortam yok olur ve kimyasal koruma sona erer. Beton içine gömülü çelik donatının korozyondan korunması için gerekli en düşük pH değeri konusunda farklı görüşler mevcuttur. Bazı kaynaklarda, betonun pH değerinin 9,5'in altına inmesiyle pasif tabakanın kararlılığını kaybettiği belirtilirken, bazı kaynaklarda ise bu durumun pH değerinin 11,5'in altına düşmesiyle görülme olasılığından söz edilmektedir (25).

Donatının çapına bağlı olarak 10-50 µm lik bir korozyon oluşumunun 2-3 cm lik bir beton kabuğunun kırılması için yeterli gerilmeyi oluşturduğu kabul edilmektedir (45).

Klorür iyonlarının betonun içine girmesinin önlenmesi, betonarme yapının dayanıklılığının artırılması için gerekli bir yaklaşım olarak görülmektedir. Bu, daha kalın beton kabuğu (pas payı), daha da önemlisi klorür iyonlarının geçişine daha dayanıklı beton kabuğu yapmakla mümkün olabilir (46).

Betonarme Türkiye’de en fazla kullanılan yapı malzemesi durumundadır. Betonarme yapılarda donatının korozyona uğraması yapının erken yaşta yıpranmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, klorür ve diğer korozyona neden olabilecek aktif maddelerin bulunduğu ortamlarda bulunan betonarme elemanlarda; iyi özelliklere sahip beton kabuğu esas alınmalıdır. Ayrıca, yapılan araştırmalar beton kabuğunun kalınlığının da önemli olduğunu göstermektedir (14, 28). Bu şekilde, betonarme elemanın kabuk (pas payı) kalınlığı ve beton kalitesi; klorür ve karbondioksit gibi aktif maddelerin atmosferden betona nüfuz ederek betonarme çeliği seviyesine ulaşmasını önlemekteki kabuk eforunun yeterliliğini belirlemekte bir ölçü olarak alınabilir.

2.2.3. Kimyasal tesirler

Zararlı kimyasal etki, beton veya donatılı betondan yapı elemanının betonunu kimyasal yönden etkileyecek, bu elemanın başta dayanım olmak üzere diğer özelliklerini olumsuz yönde etkileyerek kalitesini düşüren ve hizmet süresini azaltan kimyasal etkilerdir (47).

Beton çeşitli atmosferik olaylara, zararlı kimyasal maddeler içeren su ve toprağa ve daha birçok kimyasal hasar tiplerine karşı yeterli dayanım sağlayabilir. Ancak bazı durumlarda kaliteli bir betonun bile ömrünü kısaltabilecek kimyasal ortamlar olabilir. Böyle durumlarda özel önlemler alınmalı ve hasara sebep olan etkiler azaltılmalıdır. Beton kuru ve katı kimyasal maddelerden daha çok, çözelti halindeki zararlı kimyasal hasara açıktır. Bunların belirli bir konsantrasyonun üzerinde olduğu durumda hasar ortaya çıkar. Basınç altındaki betonda hasar daha belirgindir. Çünkü zararlı çözeltinin beton içerisinde ilerlemesi daha kolaydır (48). Beton bileşenleri gerek kendi oranlarında ve gerekse maruz kaldıkları çevre koşulları ile özellikle sulu ortamlarda, çeşitli etkileşimlere girerler. Bu etkileşme sonucu malzemede çoğu zaman istenmeyen değişiklikler ortaya çıkar. Bu değişim

sonucunda beton yapı işlevini yerine getirebilmesi için gerekli olan özelliklerin bir kısmını kaybedebilir (23).

Betonarme donatının kimyasal korozyonuna sebep olan sülfat asitleri, deniz suyu ve klorürlerin bulunması ile oluşan tesirler beton kitlenin içerisinde gerçekleşmesi nedeniyle bu aktif maddelerin beton içerisine girmiş olması gerekir. Betonun permeabilitesi bu bakımdan önem arz etmektedir. İç rutubetin yükselmesi, sıcaklığın artması ve ozmoz olayından dolayı aktif maddelerin beton içerisine doğru taşınması kimyasal tesirin gerçekleşmesinde etkin olmaktadır. Beton agregası, tane şekli, yapısı ve tane dağılımı özelliklerinden dolayı taze betonun sıkıştırılması işleminde önemli etkiye sahiptir. Bu nedenle beton agregalarının cinsi ve yapısı, permeabilite bakımından da üzerinde durulması gereken bir tasarım faktörü niteliği taşımaktadır (49).

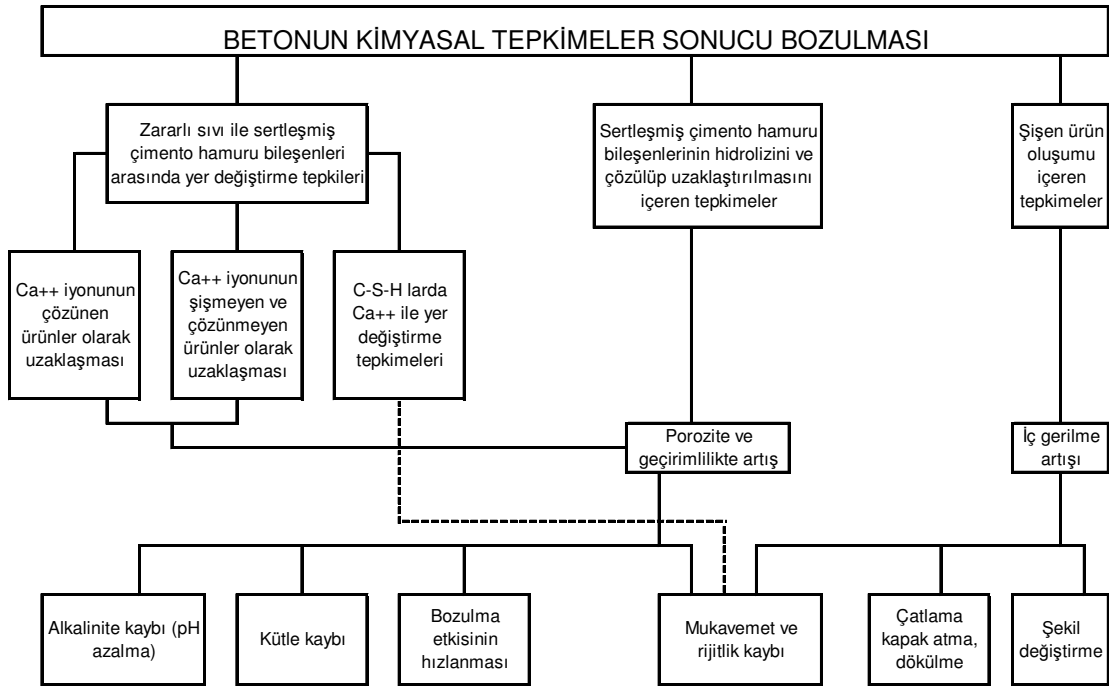
Kapiler porozite, su/çimento oranı ve hidrasyon derecesinden etkilendiği için çimento hamurunun permeabilitesi bu parametrelere bağlıdır. Düşük su/çimento oranına sahip çimento hamuru için permeabilitenin düşük olduğu bilinmektedir. Kapileritenin kesintiye uğramasının permeabilite üzerinde geniş etkiye sahip olması, permeabilitenin porozitenin basit bir fonksiyonu olmadığını gösterir. Boşluklu iki malzeme, porozite bakımından yakın değerlere sahip olduğu halde, permeabilite bakımından farklı değerlere sahip olabilmektedir (16, 50).

Beton yüzeyinin porozitesi ve su penetrasyon derinliği önemli görülmektedir. Özellikle beton elemanının kabuk kalınlığı önem kazanmaktadır. Diğer taraftan beton içerisine doğru su hareketi porozitenin basit bir fonksiyonu olarak görülmemelidir. Suyun beton içerisine doğru ilerleme hareketinde; betonun boşluklarının çapının, dağılımının, devamlılığının ve kıvrıntılı oluşunun önemi büyüktür. Bu nedenle kapiler boşlukların devamlılığının

bozulması dayanıklı beton üretimi için gerekli şart olarak görülmektedir. Beton yapım sürecinde, beton karışım elemanlarında ayrışma ve kasma oluşması durumunda aynı beton yüzeyinin değişik bölgelerinde farklı su emme özellikleri meydana gelmektedir. Aynı zamanda, agrega boyutlarında ve dağılımındaki farklılıklardan dolayı suyun betona penetresyonu farklı derinliklerde olmaktadır (41).

Betonun bileşenleri birbirleriyle ve betonun temas halinde olduğu kimyasal maddelerle, özellikle sulu ortamda, çeşitli etkileşmelere girerler. Bunun sonucu olarak beton yapı elemanı işlevini yerine getirebilmesi için gerekli olan özelliklerini zamanla yitirebilmektedir. Betonun bozulmasına neden olan etkileşmeler 1. yer değiştirme, 2. çözünerek yapıdan uzaklaşma ve 3. şişen ürünler verme tepkimelerini zamanla değişen oranlarda içerirler. Bu üç ana tepkime grubu iç yapının bozulması ile mukavemetin azalmasına, boşluk oranının artmasına, büyük yerel şekil değiştirmeler sonucu kabarma, çatlama ve kapak atmalara veya kısaca betonun korozyonuna yol açarlar (51, 52).

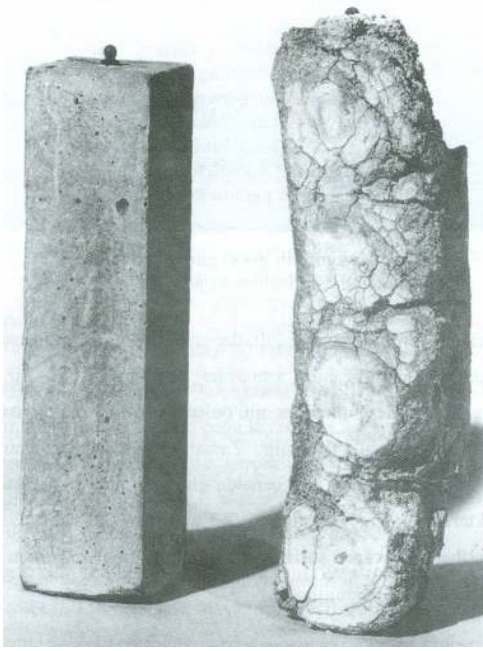
Korozyon, kimyasal bileşimle birlikte fiziksel özelliklere de bağlıdır. Genelde beton yapı elemanının zararlı ortamda niteliğini koruyabilmesi için ince kesit ve sivri köşelerden kaçınılması, beton bileşenlerinin zararlı etki oluşturmayacak veya zararlı ortama dayanıklı türde seçilmesi, betonun geçirimsiz ve kompakt olacak bileşimde ve uygun yöntemlerle üretilmesi zararlı ortamdan yalıtılması ve/veya ortamın zararlı etkinlik derecesinin düşürülmesi olarak sıralanabilir (53). Betonun kimyasal etkileşme sonucu bozulmasına ilişkin süreç Şekil 2.3'de görülmektedir.



Şekil 2.3. Betonun kimyasal zararlı etkiler sonucu bozulması (23)

Sülfat tesiri

Sülfat, çimentonun bazı bileşenleri ile reaksiyona girerek betonun zamanla bozulmasına neden olur. Bu saldırı sülfat iyonlarının, sertleşmiş betondaki alüminli ve kalsiyumlu bileşenlerle kimyasal reaksiyona girmesi, etrenjit ve alçı taşı oluşturması ile gerçekleşir. Reaksiyon ürünleri betonda genleşme yaratarak çatlaklara ve dağılmaya yol açar, agrega çimento aderansının etkilenmesiyle betonun mukavemeti düşer. Sülfat saldırısına uğramış betonun karakteristik görünümü, özellikle köşe ve kenarlardan başlayarak tüm kütleye yayılan beyaz lekeler, çatlaklar ve dökülmelerdir. Betonun kolayca ufalanabildiği ve yumuşadığı görülür (Şekil 2.4) (25, 52).



Şekil 2.4. Sülfat etkisiyle ağır hasar görmüş beton (25)

Sülfat korozyonu betonlarda en sık rastlanan bir hasar tipidir. Bunda en büyük etken sülfat bileşiklerinin betonla çok değişik ortamlarda temas edecek şekilde doğada bulunması gerçeğidir. Doğada sodyum, potasyum ve magnezyum bileşikleri (tuzları) halinde bulunan sülfat; agrega, karışım ve temas suyu yada zeminlerde bulunabilir (51).

Betonarme çeliğini doğrudan paslandırmadığı halde, sülfat çözeltileri betonda sertleşmiş olan çimentoya tesir ederek mevcut sülfatın yapısı ve çimento tipine göre iki tip reaksiyon meydana getirirler:

1. Sülfatlar çimento içerisinde alçı taşı oluşturmak için serbest kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girer.
2. Alçıtaşı ve trikalsiyum alüminat, trikalsiyum sülfoalüminat oluşturmak için birleşir.

Bu reaksiyon ürünleri; paslanmada olduğu gibi, kendilerini oluşturan bileşenlerden daha fazla hacme sahip olurlar (54).

Sülfattan etkilenmiş beton; karakteristik beyaz türü bir görünüşe sahiptir, hasarlar genellikle köşe ve kenarlarda başlar ve betonun çatlama ve pullanmasıyla devam eder. Bu görünüşün oluşmasının nedeni, trikalsiyum sülfalüminatın formasyonu olan sülfat tesirinin varolmasıdır (25).

Alçıtaşı, çimento klinkerine trikalsiyum alüminat hidratasyonu nedeniyle ani sertleşmeyi önlemek amacıyla katılır. Alçı taşı ile trikalsiyum alüminat, trikalsiyum sülfalüminatı üretmek için hızlı reaksiyona girer, bu süreçte beton yarı plastik durumda olduğu için genleşme karşılanabilir. Benzer reaksiyon, beton dış kaynaklardan sülfata maruz kaldığı zaman da gerçekleşir fakat genleşme karşılanamaz. Tipik sülfat çözeltisi; sodyum, kalsiyum veya magnezyum sülfat taşıyan bazı killi zeminlerdeki yer altı sularıdır. Magnezyum sülfat diğer sülfatlardan daha çok tahrip edici etkiye sahiptir. Çünkü hidrate olmuş kalsiyum sülfatların, trikalsiyum alüminatların ve kalsiyum hidroksitlerin de ayrışmasını yönlendirir. Hidrate olmuş magnezyum silikat oluşur ve bağlayıcı özelliği yoktur. Sülfat tesirinin şiddeti onun konsantrasyonuna ve betonun permeabilitesine göre değişir. Zemin içerisinde % 0,1 civarında çözünmüş sülfat konsantrasyonu betona zararlı etki yapacak düzeydedir. % 0,5 civarında bir konsantrasyon ise ciddi boyutlarda zararlı tesir özelliği taşır. Kalsiyum alüminat sülfatlardan etkilendiği için, betona sülfatların tesiri kalsiyum alüminatı düşük çimento kullanmak suretiyle azaltılabilir (14, 52).

Betonda klorürlerle birlikte bulunan sülfat iyonları; klorürleri bağlamada ve korozyon riskinde diğer bir faktör olarak bilinmektedir. Klorürlerden kaynaklanan korozyonu etkilemede sülfatların etkinliği tam olarak açıklığa kavuşturulabilmiş değildir. C_3A 'ın öncelikle sülfat iyonlarını bağlama özelliğinden dolayı, beton içerisinde sülfatların bulunması durumunda C_3A 'ın klorür iyonlarını bağlama kapasitesi düşecektir. Bu durum beton boşluk

çözeltisinde yüksek derecede aktif serbest klorür iyonlarının bulunması sonucunu yaratacaktır (55).

Bazı bölgelerde betonarme yapıların yüksek konsantrasyonda sülfat ve klorür tuzu çözeltilerinin tesiri altında olduğu bilinmektedir. Bu tuzların konsantrasyonu deniz suyundakinden 4 - 6 kat daha fazla olabilmektedir. Yüksek konsantrasyonda klorür ve sülfat tuzu çözeltileri beton ve donatı için aşındırıcı özellik taşımaktadır. Betona nüfuz etmiş yüksek konsantrasyondaki çözelti, beton boşluklarında tuzların kristalleşmesine ve sonuçta betonun parçalanmasına neden olur. Bu, genellikle kristalleşmenin buharlaşma ile güçlendirildiği su seviyesinin üstündeki temel betonlarında gerçekleşir (56, 57). Yapılan deneysel çalışmalarda, silis dumanı ve yüksek fırın curufları kullanılarak üretilen örneklerde, uçucu kül ve sadece Tip-I çimento kullanılanlara nazaran daha fazla yüzey tahribatı görülmüştür (58).

Betonda meydana gelen sülfat reaksiyonunun gelişimini doğrudan etkileyen parametreler şöyle sıralanabilir (52);

1. Etkilenme koşulları (SO_4^{-2} içeriği, ortam koşulları)
2. Betonun geçirimliliği (zararlı madde taşınımı)
3. Betonun yapısı (çimentonun kimyasal yapısı)
4. Suyun varlığı

Diğer tüm dayanıklılık problemlerinde olduğu gibi betonun sülfata dayanıklılığı da büyük oranda betonun geçirimliliğine bağlıdır. Betonun geçirimliliğini etkileyen malzeme özellikleri, karışım oranları, çatlak durumu, taze betonun sıkıştırılması, kürü, vb. tüm parametreler aslında sülfata dayanıklılığını da dolaylı olarak etkilemektedir (25).

Deniz suyu tesiri

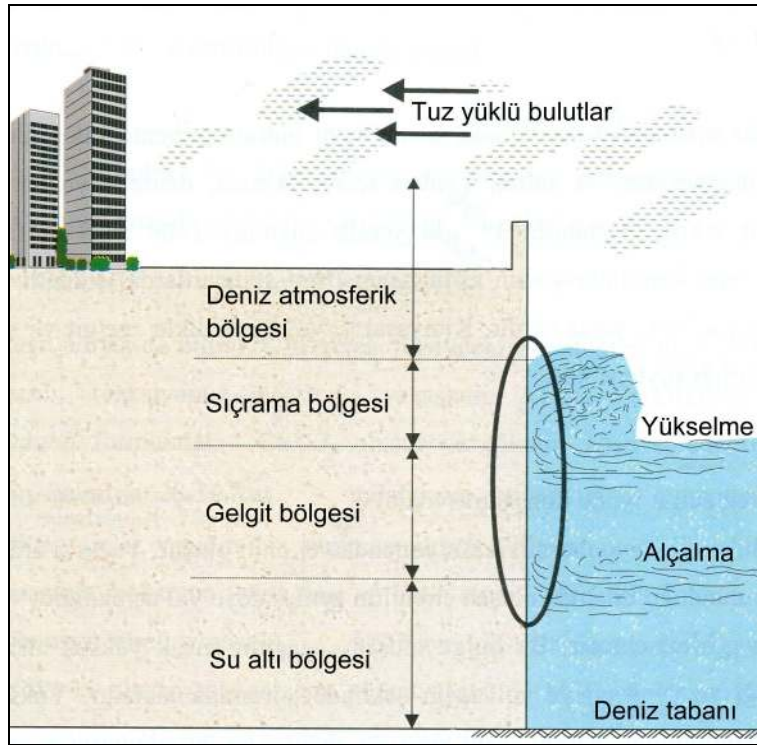
Denizlerde köprü, iskele, rıhtım, fener gibi birçok beton veya betonarme yapılar yapılmaktadır. Bu yapılar deniz suyunda mevcut ve beton için genellikle zararlı olan bir takım tuzların etkisi altındadır. Bu yapıları meydana getiren betonlarda kimyasal mukavemeti bakımından gerekli önlemlerin alınmaması halinde yapı çok kısa bir zamanda hasara uğrayarak işlevini yerine getiremez hale gelir (14). Beton yapı temellerinin sahil alanlarında, tuzlu yer altı suyu seviyesinin altına yapılması, kılcal su emme ve buharlaşma nedeniyle toprak altındaki betonda kristalleşmelere sebep olur. Bunlarda çimento hamurunda kimyasal hasara ve çeliğin korozyonuna sebep olur (25).

Denizlerdeki beton sistemlerinin ömrü betonun geçirgenliği, dolayısıyla çimento hamurunun geçirgenliğine bağlıdır. Bu iş için kullanılan hidrolik çimentolar deniz suyundaki Mg^{2+} iyonlarını bünyesine alarak, betonda kireç kaybına ve beton yüzeyinin tahribatına neden olurlar. Portland çimentosundan imal edilmiş deniz betonlarıyla ilgili yapılan çalışmalarda bu betonların denizdeki Mg^{2+} iyonları ve CO_2 ' ten olumsuz yönde etkilendikleri anlaşılmıştır. Ayrıca çelik içeren beton sistemlerinde çeliğin korozyona uğraması ve betonun çatlaması için beton yapılarda deniz suyunun doğrudan doğruya temas etmeleri diye bir şart olmadığı ortaya çıkmıştır. Hidratasyon sırasında daha az miktarda serbest kireç içerdiklerinden portland, cüruf çimentosu ve puzolanlı çimentolar deniz suyuna karşı daha dirençli oldukları bilinmektedir (18, 51).

Deniz suyunda aşırı oranda çözülmüş CO_2 beton bloklarında önemli incelmelere neden olur. Deniz suyunun beton üzerindeki bir diğer kötü etkisi de portlant çimentosundan yapılmış betondaki bazı potansiyel bozulma

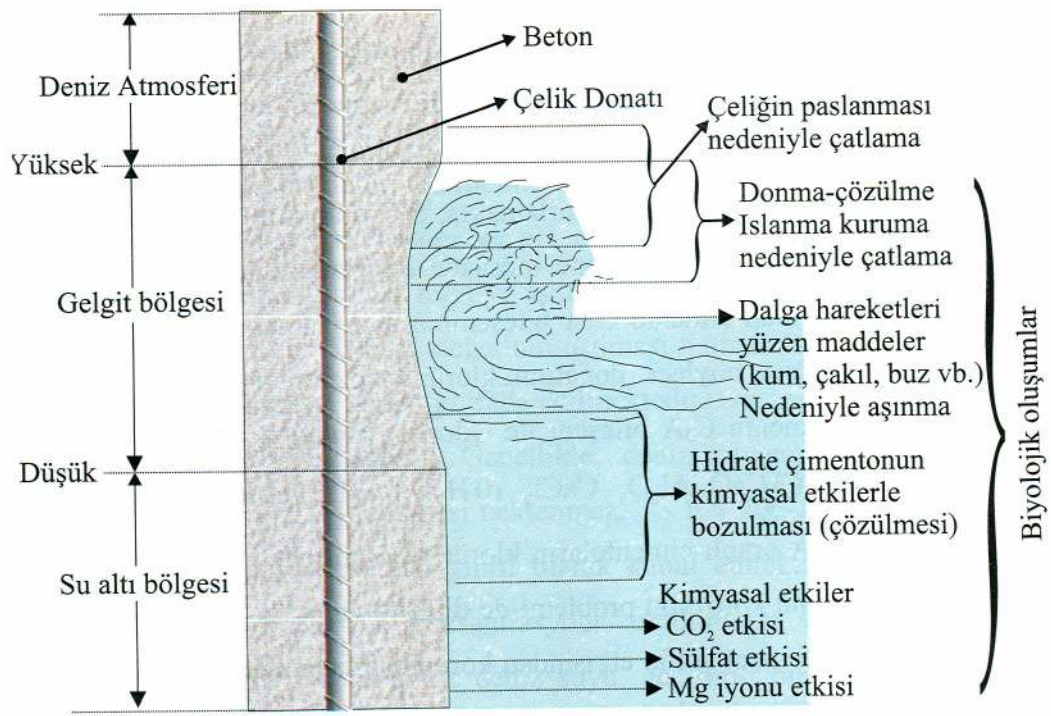
bölgelerinin varlığıdır. Bu bölgelerdeki $\text{Ca}(\text{OH})_2$ deniz suyundaki MgSO_4 , MgCl_2 ve CO_2 gibi bileşiklerle kimyasal reaksiyon verir (20).

Betonda en şiddetli etkinin deniz suyunun yükselme alçalma ve sıçrama bölgesinde gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 2.5). Betonarme yapı elemanlarının erken yapısal bozulmasına neden olan donatı korozyonu yönünden, deniz şartlarının en etkili ortam olduğu anlaşılmaktadır. Bu etkin ortam; yüksek klorür seviyeleri, yüksek sıcaklık, ıslak/kuru dönüşümü ve yüksek permeabiliteye sahip beton kombinasyonunu içermektedir. Bilindiği gibi deniz suları sülfatları içerir ve önceki kısımlarda incelendiği gibi betona tesir etmesi beklenir. Diğer taraftan ortamda klorürlerin bulunmasından dolayı da ayrıca önemli olmaktadır (16).



Şekil 2.5. Deniz suyunun betona etkisi (25)

Suya daldırılmış veya gelgit hareketi ile sürekli doygun durumda bulunan kesitler genellikle dayanıklıdır. Diğer taraftan, betonun boşluklarında tuzların kristalleşmesinden dolayı artan basıncın sonucu olarak genleşme meydana gelebilir. Kristalleşme suyun buharlaşma noktasında, en yüksek su seviyesinin üstünde oluşur. Tuzlu çözelti kapiler hareket nedeni ile betonda yükseldiği için, tesir sadece suyun betona penetre olabildiği zaman söz konusudur. Bazı durumlarda beton içerisindeki deniz suyunun hareketi donmanın, dalga çarpmasının ve aşınmanın tahrip edici etkisi ile birleşir (14). Betondaki bozulma süreçleri (proses) yükselme-alçalma hatlarına bağlı olarak beton yapıların üç farklı bölgesinde oluşur (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Deniz suyuna maruz kalan betondaki bozulma süreçleri (25)

1. Yapının yükselme hattı üstündeki en üst kısmı deniz suyuyla doğrudan temas halinde değildir. Burada hava, deniz tuzlarını taşıyan rüzgârlar ve

don etkileri görülür. Bu bölgede çelik korozyona uğrayarak parçalanır. Betonda donma ve çözölmeler olur.

2. Yükselme-Alçalma hattının arasındaki bölgede sadece çeliğin korozyonu değil, çimentonun hidratasyonundan ileri gelen kimyasal bozulmalar ve dalgaların etkisi sonucu malzeme kaybı olur.
3. Yapının en alt kısmında ise deniz suyu ve çimentonun hidratasyon ürünleri arasındaki kimyasal reaksiyonlar sonucu malzeme kaybı ve kuvvet azalması olur.

Beton yapıların deniz suyundan zarar görmesi, betonun dayanımına, geçirgenliğinin az oluşu, çimentonun türüne, gözeneklerin boyutlarına, su çimento oranına ve betonun boşluksuz bir yapıda olmasına bağlıdır (20).

Asitlerin tesiri

Beton alkali veya bazik ortama genelde dayanıklı olmasına rağmen, bazik yapıli beton bileşenleri zayıf asitlerin düzensiz etkisi dışında asitli ortamdan zarar görürler. Kalsiyum silikat hidrat esaslı bağlayıcılar kullanılarak kuvvetli asit çözeltilerine dayanıklı beton yapılamaz. Bu asitlerin tuzları ise doygunluk derecelerine bağlı olarak etki gösterirler (48).

Rutubetli ortamda, kükürtdioksit (SO_2) ve karbondioksit (CO_2), hatta atmosferde bulunan diğer gazlar; çözülmek suretiyle asitleri oluşturarak ve çimento hamuru ile reaksiyona girerek yumuşak, çok zayıf bir beton kitlesi oluşmasına neden olabilir (14). Sülfürlü gazlar rutubetle birleşerek sülfürik asit oluştururlar. Ayrıca atık sularda asit oluşumuna yol açabilecek maddeler bulunabilmektedir.

Bazen dağlardan çıkan ırmaklar da serbest karbondioksitin çözünmesi sebebiyle fazla keskin olmayan asitler içerebilirler. Genelde bu tür sular eğer

beton iyi bir kalitede ve su emmesi de düşük düzeylerdeyse betona sadece yüzeysel hasarlar verebilir. Buna rağmen yüksek miktarlarda çözünmüş karbondioksit ve hidrojen sülfid içeren mineral suların betonda yapacağı hasarlar çok daha ciddi olabilir. Asitlerin betonda oluşturduğu hasar, hidrate olmuş portland çimentosundaki kalsiyum hidroksitle reaksiyona girmesi sonucu oluşur. Birçok durumda kimyasal reaksiyonlar suda çözünebilen kalsiyum bileşiklerinin oluşmasına yol açar (51).

Organik maddelerin oluşturduğu humik asit, süt endüstrisinde kullanılan laktik asit, bira fabrikalarında kullanılan asetik asit, yüzme havuzlarını temizleme amacıyla kullanılan klorhidrik asit, bakır elde ederken kullanılan sülfirik asit gibi asitler de kullanıldıkları yerlerdeki betonlara zarar verebilirler. Yağmur suları da içerdiği CO_3 , NO_3 , SO_3 ve kireci çözmesi nedeniyle zararlıdır. Bazı kükürt bileşikleri nedeniyle veya bakteri bozuşmaları nedeniyle kanalizasyon suyu hidrojen sülfür içerebilir. Bu gaz, nem ve havadaki oksijenle birleşerek sülfirik aside dönüşürse kanalizasyon borusunun içinde betona zarar verebilir. Sülfirik asit, oluşturduğu kalsiyum sülfatla betondaki hasarı daha ileri aşamalara götürebilir. Fosforik asit ise orta derecede zararlıdır ve sadece beton yüzey tabakasına zarar verebilir (48).

Beton yapı elemanını çevreleyen zemin suyunun asiditesinin az olması halinde betona zararsız olduğu söylenebilir. $\text{pH} = 7$ olan yumuşak veya saf sularda zararlı etkiler ortaya çıkabilir. Çünkü sertleşmiş çimento hamurunda yüksek kireç içerikli silikat ve alüminatların hidratasyonu sonucu ortaya çıkan ve kalsiyum silikat hidrat (C-S-H, tobermorit) jelinin kimyasal kararlılığını sağlayan kireç, Ca(OH)_2 , yumuşak ve saf sularda çözünür. Su zamanla değişiyorsa veya hareketli ise sertleşmiş çimento hamuru boşluklarındaki kireç uzaklaşır ve betonun mukavemetini düşürür (16, 53).

Asitli sular pH değerlerinin 7' den küçük olması ile belirlenirler. İçinde serbest asitler bulunan sular beton bünyesindeki sertleşmiş çimentoya ve agrega içindeki karbonat esaslı taneciklere çözücü ve ayrıştırıcı olarak etki yapar. Asitli suların beton üzerindeki etkileri, pH değerlerinin 6,5 veya daha küçük olması halinde göz önünde bulundurulur (47).

Klorürlerin tesiri

Klorürler sülfatlar kadar tehlikeli olmamakla beraber muhtelif türlerin bazı hallerde beton ve betonarme yapılar üzerinde zararlı etkileri olduğu bilinmektedir. Kalsiyum klorür, sodyum klorür, potasyum klorür, magnezyum klorür betonda zarar meydana getiren belli başlı klorürlerdir (18).

Kalsiyum klorür az miktarda su içinde eriyik halinde bulunduğu takdirde prizi çabuklaştırmak suretiyle mukavemet artışını hızlandırır. Buna karşılık CaCl_2 konsantrasyonu yüksek olan sular çimentolar için belirli derecede zararlıdır. Sodyum klorür (NaCl) ve potasyum klorür (KCl) genellikle çimento üzerinde zararlı etki yapmaz. Ancak bu tür klorürler iyon değiştirme yolu ile zararlı etkiler gösterebilir. Na ve K iyonları çimentodaki silis jelinin yüzeyi tarafından tutulur. Alkali maddelerin konsantrasyonunun zamanla artmasıyla bu jel hidrate halinde çözeltiye karışarak ayrışmanın başlamasına neden olabilir (25).

MgCl_2 , bu maddenin su içinde konsantrasyonu %5-15 civarında olması durumunda, betonları sürekli olarak tahrip eder. MgCl_2 , ayrıca HCl asidini meydana getirmek suretiyle, zararlı etkisini ortaya koyar. Bundan başka MgCl_2 'nin $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile yaptığı reaksiyon sonunda meydana gelen CaCl_2 yukarıda açıklanan zararlı etkileri yapar. Diğer klorürlerden olan baryum klorür çözeltilerinin çimentolar üzerinde zararlı etkileri görülmemiştir. Buna

karşılık amonyum klorür ve demir klorür çimentoların ayrışımına neden olabilir (51, 59).

2.2.4. Donma-çözülme

Boşluklu bir cisimdeki boşluklarda bulunan suyun, sıcaklık derecesinin sıfırın altına düşmesi sonunda, donması cisimlerin mukavemetinin azalmasına ve hatta parçalanmasına yol açabilir. Böyle bir sonuç, suyun donması sonucunda hacmin artmasından ileri gelmektedir (22). Açıktaki su 0 °C de donarken beton içerisindeki su değişik tuzların çözeltisi olması nedeniyle daha düşük sıcaklıklarda donmaktadır. Su donduğu zaman yaklaşık % 9'luk bir hacim artışı olmaktadır. Bunun ötesinde su ile tamamen dolan boşlukların boyutları ne kadar küçük olursa, suyun donduğu sıcaklık derecesi de o kadar düşük olmaktadır. Jel boşluklarının çok küçük olması nedeniyle donmanın büyük bir kısmının kapiler boşluklarda meydana geldiği görülmektedir (14, 61).

Beton içindeki su birden bire değil yavaş yavaş donabilir. Suyun bir kısmının donması sonucunda meydana gelen hacim artışı donmamış suları harekete geçirir, onları boşluklara iterek iç basıncını artırır. Suyun donmasının tamamlanmasında hacim artışı maksimum değerini almıştır. Donmanın tamamlanmaması halinde doğan iç basınç cisim içerisinde çekme gerilmeleri oluşturur. Bu gerilmelerin cismin çekme mukavemetine ulaştığı bölgelerde çatlaklar meydana gelir. Bu genişleme sonunda ise cismin boşluk yapısında önemli değişimler olmakta ve bu arada yüzeyinde çatlaklar ve döküntüler meydana gelmektedir (60).

Donma esnasında cisimde çekme gerilmeleri olurken, buz da basınç gerilmelerinin etkisi altında bulunur. Eğer buzda meydana gelen basınç gerilmesi buzun basınç mukavemetinden küçük ise donma olayının zararlı

etkisi kendini belli edecektir. Bunun aksi yani basınç gerilmesinin buzun basınç mukavemetine eşit olması veya onu geçmesi halinde ise buz kırılarak tekrar su haline geçeceğinden donmadan zarar görme tehlikesi ortadan kalkacaktır. Buzun basınç mukavemeti sıcaklık derecesi düştükçe büyük değerler almaktadır (61).

Beton, içerisinde boşluk içeren bir malzemedir. Bu boşluklarda da ya betonun üretilmesi sırasında kullanılan karma suyu ya da betonun geçirimsizliği nedeniyle dışarıdan içeriye girmiş su bulunmaktadır. Böylelikle beton, boşluklarında önemli miktarda su bulunduran bir malzeme olduğuna göre, donma olayının etkisi altında kalmaya ve bu olay sonucunda hasar görmeye elverişli bir malzemedir. Donma olayı kendini önce büyük boşluklarda gösterir. Suyun donma derecesi boşluk boyutları küçüldükçe azalmaktadır. Bu nedenle iri boşluklarda başlayan donma olayı küçük boşluklara doğru gelişir ve bunun sonunda kılcal boşluklardaki su donmaya başlar. Jel boşluk boyutları küçük olduğundan buralarda buz kristalleri oluşamaz. Bu ince boşluklarda suyun donabilmesi için sıcaklık derecesinin -78°C nin altına düşmesi gerekmektedir. Bu böyle olmakla beraber, jel suyu ile buzun etropilerindeki farklılıklardan dolayı, potansiyel enerjisi artan jel suyu kılcal boşluklara yönelerek donma olayının şiddetlenmesine neden olurlar (51).

Beton içinde suyun donması sonucunda meydana gelen genlik cisimde birtakım çekme gerilmeleri meydana getirir. Bu gerilmelerin çekme mukavemetine ulaştığı bölgelerde çatlaklar oluşur veya var olan çatlaklar biraz daha büyür. Ortamın sıcaklık derecesinin sıfırın üstüne çıkmasıyla boşluklarda meydana gelmiş buz su haline dönüşür. Fakat bu donma ve çözünme olaylarının tekrarlanması halinde çatlaklar gelişerek birbiriyle birleşir ve bir çatlaklar şebekesi meydana gelir. Olayın devam etmesi evvela ufak parçaların betondan ayrılmasına veya dökülmesine neden olur, bunu betonun tamamen parçalanması izler. Bu açıklamalardan betonun donmadan

zarar görmesine yol açan malzeme dışında iki faktörün olduğu anlaşılmaktadır. Bunlar; ortamdaki sıfırın altındaki sıcaklık derecesi ve donma çözünme olaylarının tekrarlama sayısıdır (62).

Sıcaklık derecesinin etkisi buzun basınç mukavemetinin sıcaklık derecesi düştükçe artmasından kaynaklanmaktadır. Ortamın sıcaklık derecesi -6°C nin üzerinde kaldıkça betonlarda donma olayının kayda değer zararlı etkileri oluşmaz. Donma çözünme olaylarının tekrarlanma sayısı betonun donma olayının beton üzerinde yapmış olduğu hasarı artırır. Bundan dolayı betonların donmaya dayanıklı olmasına yörenin iklim koşullarının büyük etkisi vardır. En elverişsiz koşullar geceleri donma olayının meydana gelmesi gündüzleri de sıcaklığın sıfırın üstüne çıkmasıdır. Böyle bir durumda donma çözünme olayları bir sene içinde çok tekrarlanacak ve bunun sonunda birkaç sene içerisinde beton parçalanacaktır (18).

Donma olayı sonunda betonlarda iç gerilmelerin oluşması ve beton hacminde bir artış meydana gelmesinden dolayı bu olay beton fiziksel ve mekanik özelliklerinde bazı değişikliklerin meydana gelmesine yol açar. Betonun fiziksel özelliklerinde aşağıdaki değişimler olur;

- ✓ Numunede meydana gelen döküntülerden, kopmalardan ve tozlanmadan, dolayı betonun ağırlığında azalmalar olur.
- ✓ İç gerilmelerin meydana getirdiği gerilmelerin ve hacim artışının etkisiyle betonda boşluk miktarında bir artış olur.
- ✓ Boşluk yapısında donma olayının etkisiyle büyük değişiklikler meydana gelir. Hacim artması kılcal boru boyutlarının artmasına neden olur. Bundan dolayı kılcal basınç değeri düşer.

Mekanik özelliklerdeki değişiklikler, mekanik mukavemetlerin (basınç, eğilme ve çekme mukavemetleri), elastiklik modülünün büyük ölçüde azalmasıyla kendini gösterir. Böyle bir değişiklik donma etkisine maruz kalmış betonlarda

çatlakların meydana gelmesinden ve porozitenin artmasından kaynaklanır (22).

Donmaya dayanıklı beton elde etmek için hem çimento hamurunun, hem de agreganın donmaya dayanıklı olması gerekir. Yapılan incelemelerde çimento hamurunda, dona dayanımının su/çimento oranına ve beton içine sürüklenmiş kabarcıklarının miktarına bağlı olduğu görülmüştür. Su/çimento oranının değeri hamur içindeki kılcal boşlukları tayin etmekte ve donma dayanımını etkilemektedir. Su/çimento oranı çeşitli yapı tiplerine ve iklim şartlarına bağlı olarak TS 802 standardında kabul edilen sınır değerlerin altında kaldıkça, betonun donmaya karşı dayanıklı olacağı kabul edilir (63). Ayrıca hava sürükleyen katkı maddeleri yardımı ile beton içinde toplam hacmi % 4-6 oranında, ortalama çapı 0,08-1 mm boyuttan küçük, kapalı ve dağınık hava boşlukları oluşturulması ile donma dayanımının önemli ölçüde arttığı araştırma sonuçlarında açıklanmıştır (21).

Agreganın donmaya dayanımı dane boyutuna, boşluk çapına ve beton içinde suya doygun hale gelebilmesine bağlıdır. Doygun hale gelebilmesi agrega danelerinin yüzeye yakın olmasına ve üzerlerini örten çimento hamuru tabakasının fazla geçirimli olmasına bağlıdır. Eğer bu şartlar varsa, agreganın donmada zarar görmesi için boşluklarındaki suyun buz basınçları ve hidrostatik basınçlar altında kolay boşalamaması gerekir. Bunun için de boşluk uzunluğunun, yani agrega dane boyutunun büyük ve boşluk çapının küçük olması gerekir. Agreganın donmada zarar görmemesi için dane çapının 2 cm den büyük ve içindeki boşluk çaplarının 5 mikron dan küçük olması gerekmektedir (18).

2.2.5. Karbonatlaşma

Betonarme elemanlarda, beton içine gömülü olan çelik, betonun alkali ortamı sayesinde korozyondan korunur. Betonun alkalinitesi büyük ölçüde, çimentonun hidratasyonundan kaynaklanan ve gözenek suyu içinde çözünmüş kalsiyum hidroksit (Ca(OH)_2) tarafından sağlanır. Fakat betonun bu olumlu özelliği zaman içinde karbonatlaşma adı verilen kimyasal bir reaksiyon sonucu yok olabilir. Özellikle, Ca(OH)_2 atmosferde bulunan karbondioksit (CO_2)'in betonun gözenek sistemine işlemesiyle kalsiyum karbonat (CaCO_3)'a dönüşür. Betonun pH derecesini düşüren ve donatının paslanmasına yol açan bu olgu betonarme elemanların servis ömürlerini belirleyen önemli faktörlerden biri olarak kabul edilir (25).

Karbonatlaşma olayı sonucunda, betondaki kalsiyum hidroksit miktarı azalmakta, betonun pH değeri düşmektedir. Böyle bir ortamdaki donatıların korozyonu daha kolay gerçekleşebilmektedir. Karbonatlaşma olayı beton yüzeyinde başlamakta, ve yüzeyden biraz içerilerde bulunan bölgede etkili olmaktadır. Betonun geçirimliliği arttıkça, ve betondaki mikro çatlaklar çoğaldıkça, karbonatlaşmanın etki ettiği derinlik daha fazla olmaktadır. S/Ç oranı düşük olan ve iyi kür edilen betonlarda, karbonatlaşmanın etkisi yüzeyden 25 mm'den daha içerideki bölgeyi etkilememektedir (64).

Havadaki CO_2 , rutubetli ortamlarda hidrate olmuş çimentoyla reaksiyona girer. Söz konusu etki, CO_2 konsantrasyonu % 0,03 civarında olan “temiz bir havada” dahi meydana gelebilir. Büyük kentlerde havadaki CO_2 konsantrasyonunun % 0,3-1,0 arasında olduğu göz önünde bulundurulursa, sorunun kentsel alanlarda daha büyük boyutlu olduğu görülür. Teorik olarak, çimento hamurundaki tüm kalsiyumlu bileşenler CO_2 'den etkilenir. Ancak, pratikte sorunun ana nedeni; çimentonun kalsiyum silikat bileşenlerinin hidratasyonu ile ortaya çıkan Ca(OH)_2 'dir (65).

Bu reaksiyon, boşluk suyunda (OH^-) iyonlarının azalmasına ve betonun pH'ının önemli ölçüde düşmesine neden olmakta ve bu olay betonun koruyuculuk niteliğinin kaybolmasına neden olmaktadır (66, 67).

Atmosferde ve doğal sulara bulunan CO_2 gazı, beton pas payının hava boşlukları içine girerek betonun pasifleşme fonksiyonunu sağlayan, alkalın kalsiyum hidroksiti, kalsiyum karbonata dönüştürür ve ortamı nötrleştirir (68, 69).

Karbonatlaşmanın en hızlı olduğu ortam, bağıl nem oranının; % 50-70 arasında olduğu durumlarda sağlanır. Donatı paslanması için karbonatlaşma ve klor etkisi bir arada ele alındığında, klor etkisi için daha fazla rutubet gerektiği, dolayısıyla, hem karbonatlaşma hem de klor etkisinin birlikte en fazla zararı meydana getirdiği durumların, tekrarlı ıslanma kuruma koşullarında olduğu görülür (18, 65).

Karbonatlaşmanın, betona önemli bir olumsuz etkisi yoktur. Karbonatlaşma beton yüzeyinden başlayarak iç kısımlara doğru ilerler. İlerleyiş hızı havadaki CO_2 yoğunluğu ile betonun geçirgenliğine ve rutubet durumuna bağlı olarak değişir. Ancak alkalın bir madde olan betonun pH değerini 12-13'den 8-9'a düşürerek daha asidik bir ortam oluşturur. Böylece beton içindeki donatının paslanmasını kolaylaştırıcı olumsuz bir etki oluşturabilir (70, 71).

Özyıldırım ve Halstead, yaptığı araştırmada; az miktarda SD ilave edilmiş UK'lü betonların, S/Ç oranı % 40-45 arasında değiştiğinde, 28 günlük dayanımları, tatmin edici ve karbonatlaşma etkisine karşı dayanımının iyi olduğunu belirtmişlerdir (72).

Nötr ortam ise agresif klorun donatıya ulaşmasını engelleyemez ve korozyon başlar. Betonun rutubeti arttıkça, CO_2 gazının geçmesini sağlayan boşluklar

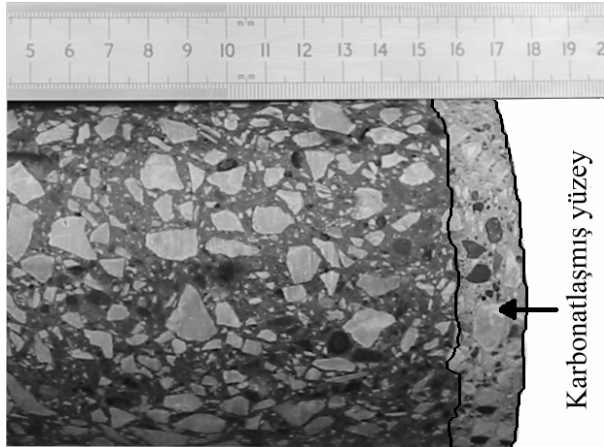
azalır ve beton yapı su altında ise CO₂ gazının geçme ihtimali çok düşük olur. Karbonatlaşma olayının hızı, klor penetrasyonundan daha düşüktür. Beton içine 10 mm nüfuz edebilmesi, belki 10 yıl sürer. Su içindeki klorürler betona, rutubetle birlikte, difüzyon ile veya hidrostatik basınç ile girer. Bu penetrasyon, 10 seneden daha kısa bir sürede yüzeyden 50 mm içerde arzu edilmeyen kritik seviyeye erişebilir (69).

Betonda oluşan reaksiyonları aşağıdaki şekilde göstermek mümkündür (Eş.2.1-2.2) (18, 65);



Betonun içerisindeki kalsiyum hidroksitin, karbon dioksitle reaksiyonu sonucunda, su ve kalsiyum karbonat oluşmaktadır (64).

Betondan alınmış karot numuneler üzerine, baz indikatörü püskürtülmesiyle ortaya çıkan renk değişimi ile karbonatlaşma saptanır. Beton yüzeye sürülen baz indikatörü, pH değeri; 11-12,5 olan karbonatlaşmamış betonu koyu pembe renge dönüştürür. Karbonatlaşma sonucu pH değeri 8-9'a düşmüş betonda renk değişimi göstermez (Resim 2.1). pH değeri 11'den büyük olan betonlarda; donatı, alkalın pasivasyonla korunduğu için, bu değer düşmesi korozyon varlığını belirtir. Baz indikatörü olarak kullanılan çözelti fenolfetalin çözeltisidir (25, 73).



Resim 2.1. Yüzeyine fenolfetalin çözeltisi püskürtülmüş beton

Karbonatlaşma derinliği yaklaşık olarak Eş.2.3 ile hesaplanabilir (74);

$$D = K\sqrt{t} \quad [2.3]$$

Formülde,

D = karbonatlaşma derinliği (mm)

$K \approx 4$ mm / yıl (sabit)

t = karbonatlaşma süresi (yıl)

ifade etmektedir.

Düşük dayanımlı bir beton için K parametresi 3-4 mm/yıl^{0,5} dan büyük bir değerdir. Ancak pratikte dış ortam koşullarının değişken olmasından dolayı bu bağıntıyı kullanmak pek mümkün değildir. En sağlıklı yöntem karbonatlaşma derinliğinin yerinde deneyle belirlenmesidir (25, 64).

2.2.6. Aşınma

Aşınma direnci, aşınmaya maruz kalabilecek bütün yüzeyler için önemli görülmektedir. Aşınma direnci; su/çimento oranına, yüzey işlemleri ve betonun kürüne bağlıdır. Ayrıca çimento hamuru direnci, agrega fiziksel ve karışım özellikleri de betonun aşınma direncinin oluşmasında önemli rol

oynamaktadır. Çoğu durumda beton yüzeyleri yıpranmaya maruzdur. Yıpranma, kayma, kazıma veya vurmadan kaynaklanan sürtünmelerle gerçekleşebilir. Hidrolik yapı durumunda bulunan beton elemanlarda su tarafından taşınan aşındırıcı maddelerin hareketi genellikle erozyona neden olur. Akan suyun neden olduğu beton hasarının diğer bir şekli ise oyulma olarak bilinmektedir. Beton kabuğunun homojen bir yapıda olması gerekmektedir. Aksi takdirde, farklı seviyelerde aşınma ve oyulma meydana gelecektir (1).

Erozyon; akan su ile kontak halinde bulunan betonlarda oluşabilen aşınmanın önemli bir tipi olarak görülmektedir. Erozyon hızı; aşınmakta olan partiküllerin miktarı, şekli, boyutu ve sertliğine, onların hareket hızına, girdap bulunmasına ve betonun kalitesine bağlı olarak değişir. Erozyona karşı direnç, betonun basınç direnci ile değerlendirilebilmektedir. Fakat karışım kompozisyonu da bununla doğrudan ilgilidir. Özellikle aynı dirençli harçlara sahip betonlarda büyük agregalı olanlar daha az aşınır ve sert agregalar aşınma direncini geliştirir. Diğer taraftan aşınmanın bazı şartları altında, daha küçük agregaların daha üniform aşınmaya neden olduğu bilinmektedir (16, 51).

Oyulma hasarına karşı en iyi direnç, yüksek basınç mukavemetli betonun kullanımı ile sağlanabilir. Agregada maksimum boyutunun 20 mm'yi geçmemesi gerekmektedir. Çünkü oyulma daha geniş partikülleri çıkarma eğilimi gösterir. Erozyonda olduğu gibi agregada sertliği önemli bir faktör oluşturmaz. Fakat agregada ile harç arasındaki yapışma özelliği hayati önem taşımaktadır. Uygun beton kullanımı, oyulmadan kaynaklanabilecek hasarı azaltabilirken sonsuz olarak oyulmaya dayanabilecek bir beton elde edilemez. Bu nedenle; oyulma hasarı problemlerinin çözümü, öncelikle oyulmayı oluşturan faktörlerin azaltılmasına bağlıdır. Bu; girinti-çıkıntılar, ekler ve doğrultu kaybı gibi düzensizlikleri bulunmayan ve pürüzsüz, iyi tesviye edilmiş beton yüzeyleri ile

sağlanabilir. Yüzey aşınması ihtimali olan yerlerde hafif agrega oldukça kullanışsızdır. Çok az miktarda kusmuş beton daha güçlü bir yüzey tabakasına sahiptir ve böylece aşınma için daha dirençlidir (1, 62).

2.3. Kalıp Tasarımı ve Yüzey İşlemleri

Genelde kalıp; taze betonu taşımak, istenilen şekil ve boyutlara sokmak ve yeterli bir şekilde betonun kendisini taşıyacak duruma gelmesine kadar onu desteklemek için tasarlanan geçici bir yapı olarak tanımlanabilir. Kalıp terimi, betonla direk temas halinde bulunan esas materyal ve bütün gerekli taşıyıcı-destekleyici sistemi kapsar (75, 76). Kalıp sisteminin tasarımına başlamadan önce tasarımcı bazı temel kararlar vermek durumundadır. Bir kısmı yüzey kalitesi ve diğerleri kalıp tasarımı ile ilgili olan bu kararların çoğu tasarımın gerekleri olarak ortaya çıkmaktadır.

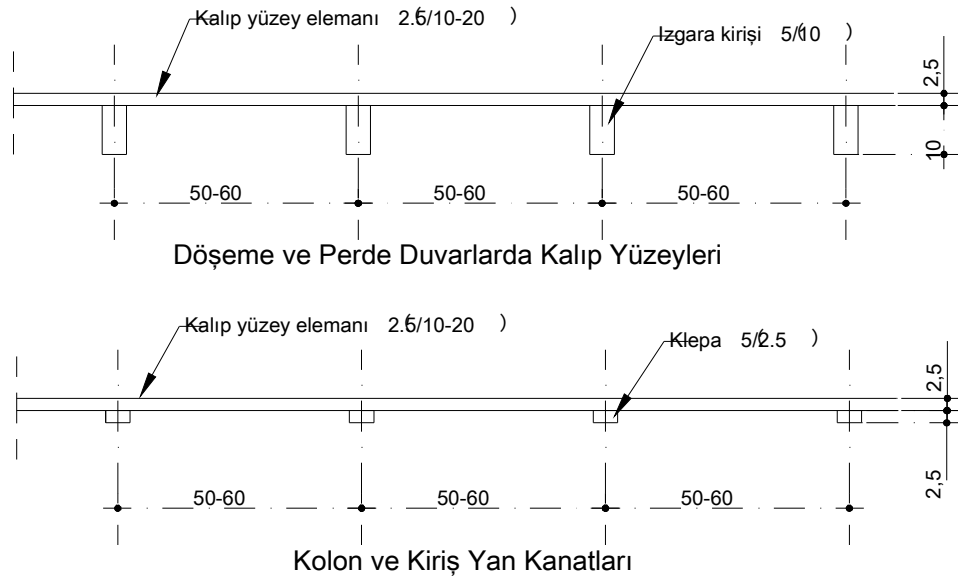
- ✓ kalıp yüzey malzemesi seçimi (arzu edilen yüzey kalitesi kalıp yüzey malzemesinin türünü ve özelliklerini belirleyecektir),
- ✓ kalıp yüzeyini destekleyici sistemin seçimi,
- ✓ kalıp yüzey malzemesinin elde edilebilirliği,
- ✓ kalıp sökme (kalıp sökme gereksinimi kalıp montaj metodunun seçiminde önemli faktördür),

tasarımcının alması gereken temel kararlar olarak özetlenebilir (77, 78).

Taze beton düşey kalıp yüzeylerine yanal basınç uygular, beton hidrostatik basıncı olarak adlandırılan bu basıncın şiddetini birçok faktör etkilemektedir. Bu faktörler genelde betonlama hızı ve betonun kıvamı ile doğrudan ilgili görülmektedir (79). Beton döküm sürecinde sızıntının kontrol edilmesi ve önlenmesi önemlidir. Kalıp elemanlarının (kanat, panel gibi...) bağlanması için bulon deliklerinin delinmesinde dikkatli olunmalı, mümkün olduğu kadar delik delinmesinden kaçınılmalıdır. Ayrıca kalıp yüzey ek yerlerinin

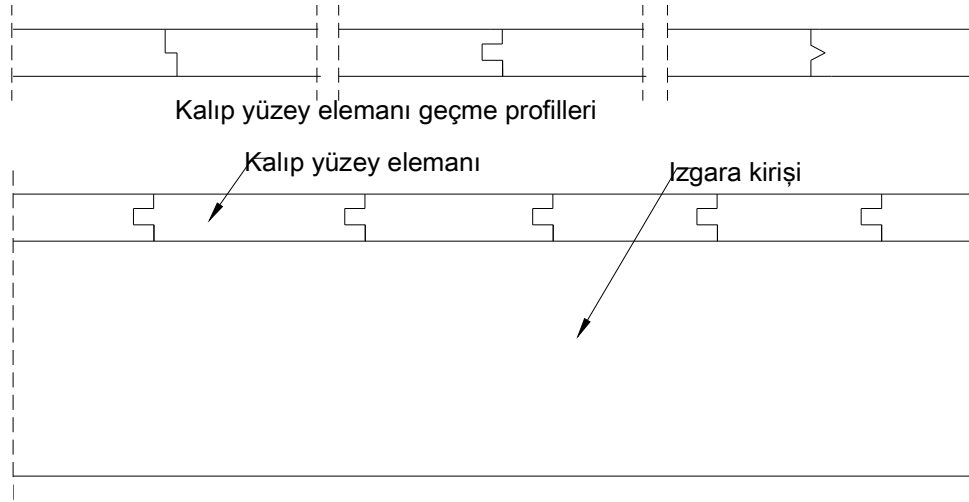
oluşturulmasına özen gösterilmelidir. Ek yerlerinden sızıntıların oluşumu ile değişik beton yüzey kusurları meydana gelir (80, 81).

Betonarme yapı elemanı kalıp yüzeylerinin oluşturulmasında genel olarak; masif kereste (tahta), kontrplak (plywood), metal ve plastik malzemelerin kullanılmakta olduğu bilinmektedir. Tahtaların kalıp yüzey malzemesi olarak kullanılması durumunda; döşeme, perde duvar, kiriş ve kolon kalıp yüzeylerinin oluşturulmasına ait detay örnekleri Şekil 2.7’ de görülmektedir.



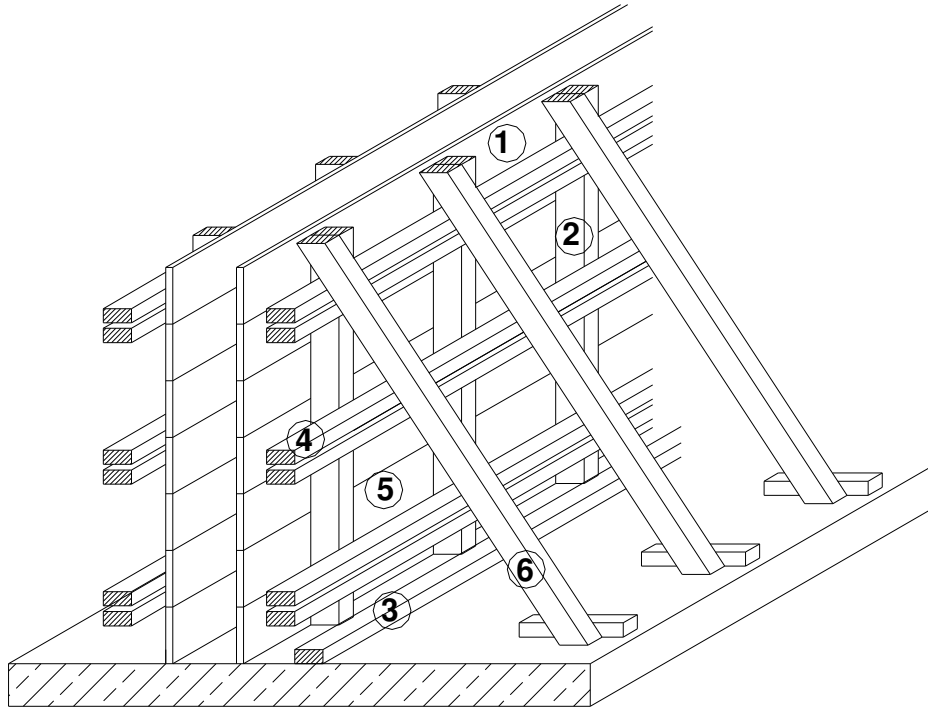
Şekil 2.7. Döşeme, perde duvarı, kolon ve kiriş kalıp yüzeyleri (82)

Kalıp tahtalarının yüzeyde birleştirilmesi tekniklerinin seçimi, tasarlanan beton yüzey kalitesi ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle eğer brüt beton uygulaması yapılacaksa kalıp yüzey tahtalarının yüzey ve boyutlandırma işlemlerinden geçirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, ek yerlerinin özel geçme işlemleri ile gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Brüt beton kalıplarında kalıp tahtalarının birleştirilmesine ait bir örnek

Kontrplak, kalıp yüzey astarı altında ve doğrudan kalıp yüzey malzemesi olarak en fazla kullanılan yüzey malzemesi durumundadır. Pürüzsüz bir brüt beton yüzeyi kaplanmış veya kaplanmamış kontrplak kullanımı ile elde edilebilir. Kaplanmış kontrplak kullanımı durumunda ahşabın dokusunun betona yansması önlenmiş olur. Eğer kontrplak doğrudan yüzey malzemesi olarak kullanılacaksa tam boy kontrplak tabakalarının kullanımı sağlanmaya çalışılmalı ve ek yerleri iyi birleştirilmelidir. Bütün düşey birleşim yerleri ızgara kirişleri üzerinde gerçekleşmeli ve çivilenerek sağlam bir şekilde desteklenmelidir (79). Şekil 2.9' tipik bir perde duvar kalıbı görülmektedir.



Şekil 2.9 Tipik bir perde duvarı kalıbı (83)

1.Kalıp yüzeyi, 2.Dikme, 3.Betona çivilenmiş tespit latası, 4.Kuşak,
5.Kalıp ankraji, 6.Payanda

Özellikle brüt beton kalıbında sızıntının kontrol edilmesi ve önlenmesi önemlidir. Kalıp parçalarının boyutları ve ek yerlerinin doğru planlanması ile oluşması muhtemel potansiyel kusurlar büyük ölçüde önlenabilir.

Ek yerlerinin iyi planlanması:

- ✓ eklenen kalıp parçalarının aynı düzlemde birleşmemesi (bu malzeme boyutsal toleransları ve işçilik hatalarından kaynaklanabilir) ,
- ✓ kalıp kenarları kusursuz bir şekilde düzgün olamaz ve vibrasyon sürecinde aynı tepkiyi gösteremez. Bundan dolayı; harç sızmasından peteklenme (*honey combing*), çimento hamuru sızmasından kumlu yüzey (*sand straking*) görüntüsü, su sızıntısından koyu gölgeler ve su çimento oranını değişmesinden dolayı koyu hatlar oluşması,

- ✓ kalıp kenarları yapıştırılarak veya kaplanarak üretilmiş olsa bile, ayrı kalıp parçaları için aynı problemler oluşması, bakımından önemlidir (84).

Beton yüzeyi ile doğrudan temas halinde olması ve beton yüzeyinin bu yüzeydeki bozuklukları aynı şekilde yansıtması bakımından kalıp yüzey hareketleri önemli görülmektedir. Beton yüzeyinde dalgalanma veya yorgan deseni; kalıp yüzeyinin yüksek rutubet içeriği, yüzey kaplamasının yetersiz kalınlığı, yetersiz desteklenmesi ve çok yüksek beton basıncı gibi birçok nedenden dolayı ortaya çıkabilir (85).

Beton ile doğrudan temas halinde bulunduğu için kalıp yüzeyini oluşturan malzeme çok önemli olmaktadır. Kullanılan malzemelerin çoğu absorbsiyon özelliğine sahip olup, hava su ve hatta bir miktar çimento absorbe edebilirler. Kalıbın absorbsiyonu nedeniyle beton karışım elemanlarından herhangi birisinin beton karışımından uzaklaşması fiziksel özelliklerde değişime neden olacaktır. İlk bakışta renk değişikliği olarak görülen fiziksel değişimde, eğer renk tamamen üniform ise önemli görülmeyebilir. Fakat, bunun gerçekleşmesi çoğu zaman mümkün olmaz. Kalıp yüzeyinin hava absorbe etmesi beton içerisindeki hava boşluklarını (*blow holes*) azaltabilir (86).

Betonun kalıba yapışması beton yüzeyinin kalitesini önemli ölçüde etkiler. Sertleşen betonun kalıp yüzeyine yapışma direnci;

- ✓ kalıp yüzey malzemesi,
- ✓ kalıp ayırıcılar,
- ✓ kalıp yüzey pürüzlülüğü,
- ✓ beton tip ve kalitesi,
- ✓ sıkıştırma şekli-zamanı,
- ✓ kür şartları,

gibi parametrelere bağılıdır (87).

Kalıp ayırıcı maddeler betondan kalıbın kolayca hasarsız bir şekilde alınmasını sağlayan metal ve ahşap yüzeylere uygulanan kimyasallardır. Bu kimyasallar yağların yanı sıra, kürlleme bileşikler, mum ve reçinelerden oluşabilir. Beton ile kontak, güneş ışınlarına maruz kalma ve su ile işleme tabi tutulma durumlarına göre değişik kullanım ömrü gösterirler. Kalıp ayırıcı maddeler sıklıkla ahşap veya metal kalıp yüzeylerinden beton yüzeylerine transfer olarak beton içerisine penetre olurlar. Penetrasyonun derinliği ve genişlemesi penetrasyonu kontrol eden faktörlerin değişik olmasından dolayı önceden kestirilemez (88).

2.4. Geçirgen Kalıp Tasarımı

Betonarme yapı elemanlarında beton dayanıklılığı, kür uygulamalarının değişiminden büyük ölçüde etkilenir. Yetersiz kür uygulamaları beton yüzeyinde zayıf ve boşluklu bir yapının oluşması ile sonuçlanır. Böylece yapı çevresinden kaynaklanan zararlı aktif maddelerin tesirlerine karşı dirençsiz bir yapı elemanı üretilmiş olur. Betonarme elemanlarda, donatı korozyonu ve betonda çatlama ile başlayıp parçalanmaya varan bir yıpranma süreci başlar. Betonun yerleştirilmesinden sonra tasarlanan dayanım ve dayanıklılığı artırmak için uygulanan en yaygın yöntemlerden birisi onu doğru bir şekilde kür işlemine tabi tutmaktır. Bağlayıcı malzemenin yeterli bir şekilde hidratasyon yapmasını sağlamak için tatmin edici bir rutubet ortamı sağlamak gerekmektedir. Kür işlemi, beton yüzeyini nemli tutmak veya rutubet kaybını önlemek için uygulanan değişik metotlarla gerçekleştirilebilir. Diğer taraftan kür işlemleri zaman kaybettirici ve masraflı olabilmektedir. Bu nedenle beton dayanıklılığını artırmaya yönelik alternatif metotların araştırılması çalışmaları devam etmektedir. Son yıllarda üzerinde araştırmalar yapılan yönlerden birisi kalıp yüzeylerinin geçirgen ve astarlı yapılmasıdır. Geçirgen kalıp

yüzeylerinin kullanımının temel amacı, fazla karışım suyunun ve hava kabarcıklarının beton yüzeyinden drene edilmesini sağlamaktır (89). Bunun yanı sıra bir miktar karışım suyunu bünyesine alan kalıp astarı betonu kür etmek gibi önemli bir görevi de yerine getirmektedir.

Kalıp yüzeyleri, beton suyunu emici astarlar ile kaplanması sonucunda geleneksel kalıp yüzeyleri korunarak kullanım adedi artırılmaktadır. Diğer taraftan yüzeye kaplanan astar suyun kalıp yüzey elemanlarına açılan deliklerinden drene edilerek dışarı atılmasına ve dolayısı ile beton yüzeyinde su/çimento oranı düşük bir beton kabuğun oluşmasına neden olmaktadır (90).

Geçirgen kalıplar beton yüzeyinin dayanım ve dayanıklılığını arttırmak amacını güden özel bir tür kaplamalı kalıplardır. Kalıp destekleri ve kaplama malzemesi taze betonun basıncına dayanabilecek şekilde tasarlanır, aynı zamanda kalıp fazla suyun ve havanın geçişine izin vermelidir. Geçirgen kalıp kullanmanın amacı betonda boşlukların (böcek yuvası tipi) oluşmasını önlemek ve kalıp yüzeyinin hemen arkasındaki betonun sağlamlık ve dayanıklılığını arttırmaktır (82).

Kalıba dökülen betonun; fazla suyunun giderilmesi fikri 1930'lardaki John J.Earley'in çalışmasına dayanmaktadır. Earley, suyu emebilen kuru sıvanmış kalıplardan mimari kalıplar yapmış ve klasik kalıplarla elde edilen betondan daha iyi bir beton yüzeyi elde etmiştir. 1938 yılında İyileştirme Bürosu detaylı bir çalışma başlatmış, bu çalışmanın sonucunda ilk geçirgen kalıp üretilmiştir. Bu kalıp "emici kalıp" olarak bilinmektedir (91).

Emici kalıpların ilk türü yer kamışı, tahta yongalar ve benzer maddelerden yapılmış 12 mm kalınlığında sıkıştırılmış plakalardan oluşmaktaydı. Bu basit kalıp türü bile pratik olarak beton yüzeyindeki bütün boşlukları

giderebilmektedir. Kentucky barajında yapılan çalışmalar emici kalıplardan elde edilen beton yüzeylerinin, yağ ile kaplanmış normal ahşap kalıplardan elde edilen beton yüzeylerinden daha az su emdiğini ve donma-çözülme etkisine karşı daha dayanıklı olduğunu göstermiştir. Emici kalıplar ve yağlanmış ahşap kalıplardan elde edilen beton numuneleri kum püskürtme yöntemiyle test edilmiştir. Sıradan ahşap kalıba dökülen numunelerde açığa çıkan agregalar, emici kalıplara dökülen numunelerde ise bir iki boşluk dışında hiçbir yıpranma görülmemiştir. Genel olarak kalıp ne kadar geçirimli ise gözlenen yıpranma da o kadar az olmaktadır. İlk testlerde kütlece su/çimento oranı 0,6 olan portland çimentosu karışımları kullanılmıştır. İlk çalışmalar sırasında 150 mm küp numunelerin tek eksenli basınç dayanımları, normal kalıplardan elde edilen betonlardan daha yüksek çıkmasa da, emici kalıpların daha yoğun, daha dayanıklı, daha az boşluklu yüzeyler ürettiği görülmüştür (91-93).

1949 yılında, ABD ordusu mühendisleri su yolları deney istasyonu 7 tip emici olmayan, 13 tip emici (lifli tahta, emici kağıt, kumaş kaplanmış sunta, yüzeyi örülmüş kumaş ile kaplanmış çelik ve kontrplak) kalıpları karşılaştırmak amacıyla bir çalışma başlatmıştır. Emici kağıt kaplı kalıp hariç bütün kaplamalı kalıplar bütün yüzey bozukluklarını gidermiş, aşınma direncini arttırmış ve su emme kapasitesini düşürmüştür. O dönemde üretilen lifli tahta kalıp kaplamalarının hepsi yüzey boşluklarını önlemede ve aşınma direncini arttırmada başarılı olmuşlardır. Lifli tahta kullanılan kalıplar 48 saat sonra sökülebilmekte ve temiz bir beton yüzeyi elde edilmektedir (91).

1960'lardan 1980'lere kadar geçirgen kalıplar ile ilgili temel olarak yüksek maliyet, yanlış kullanım ve kurma-sökülme zorluklarından dolayı çok az çalışma yapılmıştır. Bununla birlikte, 1985 yılında artan temel kereste maliyetleri ile ilgili teknolojik birikimler yenilenmiştir. Geçirgen kalıplar Japonya'da Aseishi-Gawa Barajı projesinde yaygın olarak kullanılmıştır (94).

Mevcut yayınların büyük çoğunluğu bu teknolojiyi; tekstil kalıp metodu (90, 96), ipek kalıp metodu (97), kontrollü geçirgen kalıp (98, 99) veya kontrollü geçirimli kalıp (100), veya geçirgen kalıp (43) olarak adlandırmışlardır.

Geçirgen kalıp astarları aşağıdaki yapıları da içeren modern yapılarda yaygın olarak kullanılmıştır.

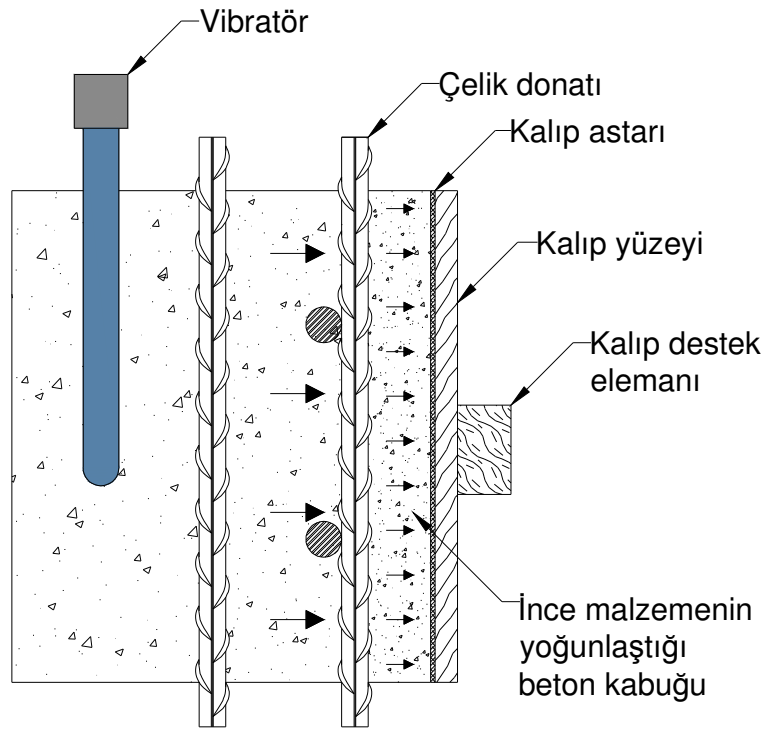
- ✓ Türkiye’de Fırat nehri üzerindeki Karakaya Barajı savaklarında,
- ✓ Avustralya Sidney Limanı tünel projesindeki su altı tüp ünitelerinde (90),
- ✓ İngiltere’de Lothian Gifford’da ki yıkama suyu tanklarında,
- ✓ İngiltere’de Warrington yakınlarındaki Mersey nehri üzerindeki su bendindeki tahliye kanallarında,
- ✓ İngiltere’de Glen Shira ana su kuyusunda (101).

Ayrıca Japonya’da 1985-1987 yılları arasında 135 yapı projesinde geçirgen kalıp astarlar kullanılmıştır (91).

2.4.1. Geçirgen kalıp astarlarının davranışı

Emici astarlı geçirgen kalıplar bir filtre gibi davranarak kalıbın arkasındaki su ve havanın betonu terk etmesine müsaade etmektedir. Bunun yanında, kalıba bitişik durumdaki betondan hava, su, su içinde çözülen malzemeler ve ince serbest malzemeler kalıp yüzeyine doğru hareket etmektedir. Astardan sızan sular çözünmüş ve serbest ince malzemeler içermektedir. Çimento hamurundan çıkan sıvı pH’ı 12,5-13,5 arasında olan tipik bir doygun kalsiyum-hidroksit çözeltisidir. Serbest ince malzeme ortalama büyüklüğü 10 μm olan çimento taneleri ve ortalama büyüklüğü 0,1 μm olan silis dumanı gibi ince mineral katkı maddeleri içerebilir (18, 102).

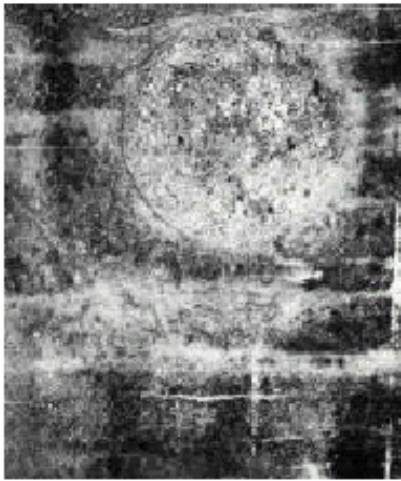
Özellikle beton vibratör ile yerleştirilirken filtre (astar) içerisinde hareket eden sıvı birleşikleri kalıbın arkasındaki hapsolmuş havanın kaçmasına ve kalıbın bitişiğindeki beton içerisindeki suyun bir kısmının dışarı çıkmasına müsaade eder (Şekil 2.10). Geçirgen kalıp kullanmanın amacı, havanın ve fazla suyun uzaklaşmasına imkan sağlamaktır. Çimento tanecikleri ve silis dumanı içeren bir kısım serbest ince malzeme de su ile uzaklaşır. Eğer vibrasyon aşırı değilse ve filtre tabakasındaki boşluklar yeteri kadar küçük ise, çimento bileşenlerinin kaybı da aşırı olmamaktadır (90, 95).



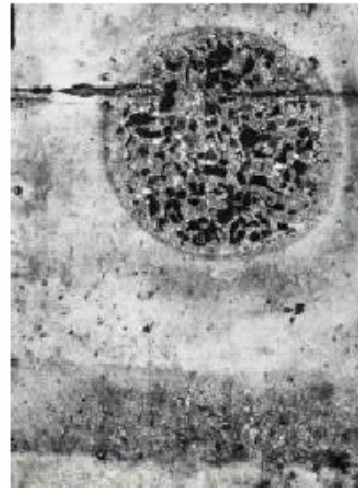
Şekil 2.10. Geçirgen kalıplarda suyun kalıp yüzeyine doğru hareketi (90)

Kalıbın arkasındaki beton incelendiğinde; beton içerisindeki suyun hareketinin sonucunda betonun içerisindeki su miktarının azaldığı (su/çimento oranı azalmaktadır) ve beton kütesinin içerisindeki ince çimento tanelerinin filtre tabakasına doğru taşındığı görülmektedir.

Kalıplarda astar tabakasına doğru ve astar tabakasının içindeki sıvı hareketinin genel sonucu; alışıla gelmiş astarsız kalıplara göre daha yoğun, daha güçlü ve daha boşluksuz yapıya sahip bir beton yüzeyidir (Resim 2.2). Bir çok araştırma astar tabakasının betonun karakteristik özellikleri sadece birkaç cm için etkilediğini göstermiştir. Sonuç olarak, vibrasyonla beton içerisindeki katı tanelerin sıkıştırılması ile su, beton kütleinin yüzeyine doğru hareket etmeye zorlanmaktadır. Beton, geleneksel kalıbın arkasına sıkıca yerleştirildiğinde; kalıba temas eden beton daima orta kısımdaki betondan daha fazla suya sahip olacaktır. Yüzeydeki yüksek S/Ç oranı daha zayıf ve daha geçirgen bir beton yüzeyin oluşmasına neden olacaktır. Geçirgen kalıp suyun astar-kalıp yüzeyinden geçip, kalıp dışına çıkmasına izin vererek bu problemi çözmektedir (103).



a.) Geçirgen kalıp



b.) Çelik kalıp

Resim 2.2. Geçirgen ve çelik kalıplara dökülmüş beton yüzeyleri

2.4.2. Geçirgen kalıplarda kullanılan astarlar

Astarların geliştirilmesindeki amaç: ince çimento tanelerinin kaçmasına izin vermeden su ve havanın dışarı çıkmasına izin veren bir malzeme elde etmektir. Dokuma astar; kalıp üzerine düzgünce serilebilecek veya kırışmasını engelleyecek kadar sert olmalıdır. Aynı zamanda suyun kalıptan

dışarı çıkmasını sağlayacak bir destek malzemesi ile birlikte tefriş edilmelidir. Ayrıca astar beton yüzeyini nemli tutacak ve kürünü sağlayacak kadar suyu da alıkoymalıdır. Astar yüzeyi, astarın betona yapışma eğilimini minimum düzeyde tutacak şekilde üretilmelidir. İdeal astar malzemesi yırtılmadan önce birçok defa kullanılabilir. Çok tekrarlı kullanılacak astar yapmaya yönelik çeşitli yaklaşımlar başarı derecesindeki farklılıkları da beraberinde getirmiştir (91).

Emici kalıp astarları

İlk filtre malzemeleri ağaç liflerinden yapılmış preslenmiş levhalardır. Preslenmiş lifli levhalar çoğunlukla tek kullanımlık astarlar olarak varsayırlar ve astarlar betona yapışmasını engellemek için kaplamaya ihtiyaç duyarlar. Genellikle, emici levhalar bezir yağı gibi serbest bırakıcı bileşiklerle kaplanırlar ki bu da kalıbın sökülmesi esnasında kolaylık sağlar ve beton yüzeyinin zarar görmemesini sağlar (82).

Emici astarların ilk büyük ölçekli arazi testleri Ekim 1939'da Grand Coulee Barajının akıntı yönündeki yüzeyi üzerinde yapılmıştır. Dört üretici tarafından üretilen toplam 22 astar malzemesi değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Testler, astar ürünlerinde iyileştirmelere (gelişmelere) ve daha iyi tanımlamalara öncülük etmiştir. Kalifornia'daki Friant Barajı da emici astarların denendiği yerlerden biridir. Bu proje geçirgen astar levhaların üretimi için hem pratik kullanım ve hem de yerleştirme tekniklerini de içeren bir şartname geliştirmiştir (91).

Arazi Islah Bürosu (*Bureau of Reclamation*)'nin çalışmaları sonucunda birçok üretici, emici kalıp için uygun levhalar üretmişlerdir. 1941'de Kentucky Barajında 20,000 m²'nin üzerinde emici astar kullanılmıştır. Bu tarih itibarıyla Arazi Islah Bürosu kalıp astarları için fiziksel özellikleri (mukavemet, emme

ve arazi kullanımı için adaptasyonu) ve arazi testlerini esas alan bir grup şartname geliştirmiştir. Yüzen bir 100x100 mm'lik astar kesitini esas alan ve kütledeki zamana bağlı artışı ölçen bir standart su emme testi geliştirilmiştir. Bu teste göre astar malzemeler su emme kabiliyetlerine göre sınıflandırılmıştır (91).

Su emme Eş.2.4'de verilen bir eğri denklemiyle açıklanmaktadır.

$$W = C \cdot \log_e T \quad [2.4]$$

burada;

W = test numunesi tarafından emilen suyun kütlesi (gr)

C = emme sabiti (emme katsayısı)

T = zaman (dak.)

Emme sabiti (emme katsayısı) 3,83-5,50 arasında olan malzemeler kabul edilebilir. C , değeri 3,83'ün altında olanlar yeterince su uzaklaştıramaz, 5,50'nin üzerinde olanlar ise gereğinden fazla su uzaklaştırlar ve bazı durumlarda zararlı etki üretebilirler (82).

Emici kalıplar üzerindeki ilk deneylerle, çok çeşitli malzemeler değerlendirilmiştir. uvallık bez, tlbent, kumaş kaplı elek, ızgara, kurutma kağıdı, odun hamuru test edilen ilk malzemeler arasındadır. En iyi performansı yalıtıcı duvar panelleri (prenslenmiş ahşap, saman ve kamıştan yapılmış paneller) göstermiştir. Astar malzemesinde kullanılan malzemelerin şeker veya renk değişikliğine veya beton içerisindeki çimentonun kimyasal reaksiyonuna engel olacak diğer maddeleri bulundurmamasına dikkat edilmelidir. Duvar panellerinin içindeki liflerin beton yüzeyine yapışmasını engellemek için kullanılan bezir yağı, kullanımdan en az 48 saat önce uygulanmalıdır(91).

Emici astarların kalıp içerisinde tutturulmasında ve yerleştirilmesinde kullanılan çivi veya vidaların büyüklüklerini ve aralıklarını da kapsayan detaylı bir yerleştirme talimatı geliştirilmiştir. Kullanıcılar için yerleştirme esnasında bitişik tabakalar arasında düzenli boşluk bırakabilmek için açıklığı ayarlayan madeni levhalar geliştirilmiştir ki, bu da betonun içindeki nemden dolayı parçalarda meydana gelen genleşmelerin birleşim yerlerinde şişkinlik (çıkıntı) oluşmasını engellemektedir (82).

Astar levhaları standart büyüklüklerde üretilir. Levhalar tipik olarak 12 mm kalınlığında, 1,3 m genişliğinde ve 2,6 m uzunluğundadır. Bununla birlikte 5,2 m uzunluğa kadar levhalar mevcuttur. Astar levhaları inşaat sahasında depolamak yatay ve düşey taşımak için teknikler ve sudan ve nemden korumak için özel paketler geliştirilmiştir. Yapım teknikleri şartnamesinde ıslak panellerin kurutulması için ve çok kuru panellerin ıslatılması için öneriler vardır (91, 101).

Emici astarlar, “Tennessee Valley Authority”, “U.S. Army Corps of Engineers” ve “Wyoming State Highway Department”ı kapsayan büyük yapı kuruluşları tarafından araştırılmış veya kullanılmış olmasına rağmen emici astar levha kullanımına Arazi Islah Bürosu öncülük etmiştir. Astar levhalar hidrolik yapıların (Friant ve Kentucky barajları) yanısıra Los Angeles Demiryolu Terminal Binası gibi diğer yapılarda da kullanılmıştır (91).

Kumaş kaplı emici kalıp astarları

1943 yılında iyileştirilmiş bir emici panel geliştirilmiştir. Yeni emici kalıp astarı lateks çimentosu kullanılan bir lif levha veya levhaya tutturulmuş tek bir dokuma-kumaştan veya preslenmiş kağıt liflerinden oluşmaktadır. Filtre tabakası pamuk, keten, kendir, jüt veya kağıt lifi gibi lifli su emicilerden meydana gelmektedir. Emici arka levha su emme kapasitesinin metrekaresi

0,48-1,92 litre olan malzemeler olduğu düşünülmektedir. Emici panel ve filtre tabakası bir birine, ince ve sürekli olmayan (tamamına sürülmemiş) bir lateks çimentosu ile birleştirilmelidir (8).

Emici astarlar üzerinde yapılan çalışmalar astarların 3 saatin sonunda maksimum miktarda (yaklaşık $2,01 \text{ L/m}^2$) su emdiğini göstermektedir. 3 saatten sonra beton yüzeyindeki astarın su muhtevası $0,96 \text{ L/m}^2$ 'ye düşmekte ve 72 saatin sonunda astarın su muhtevası $0,68 \text{ L/m}^2$ 'ye düşmektedir. Kumaş kaplı emici astarlar ile hazırlanan test küplerinin dayanımları araştırılarak bu astarların yüzey aşınmasına ve beton tarafından emilen su miktarına etkisi incelenmiştir. Kumaş kaplı emici astara bitişik dökülen kalıpların aşınma dayanımları daha yüksek su emmeleri daha düşüktür. Su emme deneyleri esas alındığında emici astarların etkisinin yüzeyden itibaren 50 mm derinliğe kadar fark edildiği görülmüştür (91).

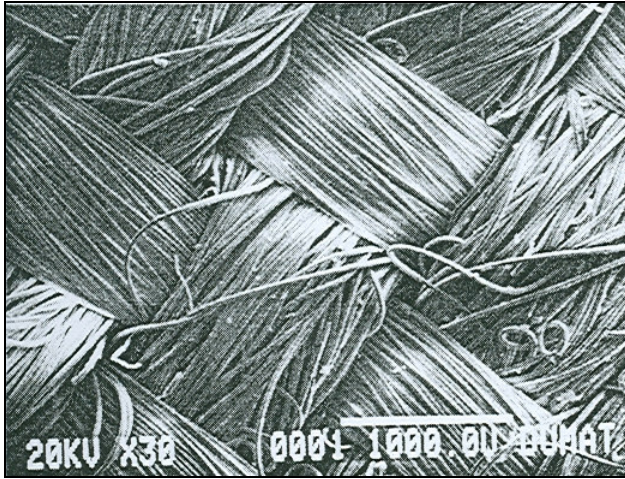
Kumaş dokuma (woven) kalıp astarları

Kumaş dokuma kalıp astarları en erken 1960'lı yıllarda Hollanda'da su altında ayakların ve kazıkların yerleştirilmesinde kullanılmıştır. Japonlar 1985 li yıllarda kumaş dokuma astarların düz ve dikey kalıplarda kullanılmasına öncülük etmişlerdir. İlk denemeler, kumaş dokumayı delinmiş metal kalıplara tutturmayı içermektedir. Gelişmeleri iki tabakalı yüzeyi giydirilmiş kalıplar takip etmiş (104) ve 1989 yılında iki kat kumaş dokumalı kalıplar ortaya çıkmıştır (105).

Kalıpları saran dokumalar genellikle polyamit, polyester veya polipropilen lifler gibi beton içerisindeki alkali çözeltisinden etkilenmeyen dokumalardır. Bu kumaş dokumalar, çimento taneciklerini tutmak ve beton yüzeyindeki mukavemetin azalmasını engellemek için yeterince ince yapılmaktadır. Bu

ince dokuma ile bile astarlar $9,5 \times 10^{-3}$ cm/sn veya daha büyük bir su geçirgenlik katsayısına sahiptir (106).

Çerçeveye monte edilmiş tek kat kumaş dokunabilmekte ancak suyun drenajı için yeterli olmamaktadır. Başlangıçta su, dokuma içerisinden kalıp dışına çıkabilmek için bir yol bulamamaktadır. Suyun drenajını sağlayabilmek amacıyla kalıp panellerinde delikler açılabilir fakat kalıbı zayıflatmamak için bu delikler birbirlerine çok yakın olmamalıdır. Daha pratik bir yaklaşım olarak bir filtre gibi çalışan ince kumaş dokumanın arkasına drenajı teşvik edecek daha kaba bir kumaş dokuma tabakası koymaktır. Bu iki tabakalı yapı iki ayrı dokuma tabakası da olabilir veya çift örgülü tek tabakada olabilir (Şekil 2.11). İki ayrı dokuma tabakası kullanılan yerlerde, tabakalar tipik olarak 2 mm aralıklarla dikey olarak dikilmektedir. Japonların geliştirdikleri bir kalıp astarında dokuma polyester filtre malzemesi dokuma olmayan polyester bir drenaj malzemesine yapıştırılmıştır (105).



Şekil 2.11. Tek tabakada çift örgülü kalıp astarı dokuma diyagramı (107)

Japon şartnamelerine göre iki katlı bir dokuma kalıp astarının malzemesi; kalınlığı 0,74 mm veya daha fazla olan, birim ağırlığı en az 440 g/m^2 olan ve su geçirgenliği $9,5 \times 10^{-3}$ cm/sn veya daha büyük olan polyester veya polipropilen olmalıdır. Astar malzemesinin ince dokuma tarafı beton

yüzeyine, kalın dokuma tarafı kalıp yüzeyine gelmelidir (103). Astar malzemesindeki iplik sayısı 700-1000 iplik/m olmalıdır. Dokumada kullanılan bir iplik 5-10 kg'lık bir kütleyi kopmadan taşıyabilmelidir.

Dokuma kumaş astarlar genellikle suyun kalıptan dışarı çıkabilmesi için kalıpta delik açılmasını gerektirirler. Astarlar tipik olarak 100 mm merkez aralıkları ile açılmış 3 mm çaplı delikli çelik veya ahşap çerçevelere monte edilirler. Dokuma kumaş astarlar, çelik kalıplara tutkal veya bant ile ahşap kalıplara ise tel raptiye veya diğer bağlayıcılarla gergin şekilde tutturulurlar. Astarların kalıba monte edildikten sonra kendi ağırlığı ile esnememesine dikkat edilmelidir. Germe, astardaki kırışıklıkları giderirken astarın beton yüzeyinde bozukluklar oluşturmasını engeller. Eğer astar beton dökümünden önce ıslanır veya ısınır; deforme olabilir ve beton yüzeyinde yiv, oluk oluşturabilir (Resim 2.3-2.4) (91).

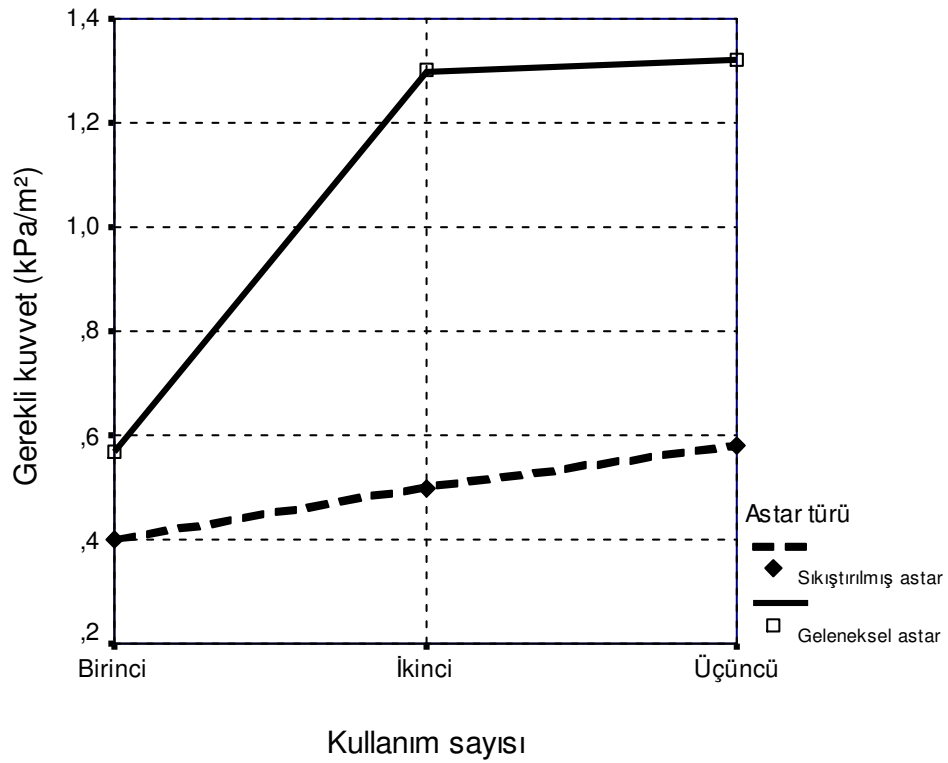


Resim 2.3. Gevşek montajdan kaynaklanan astar katlanmasının beton yüzeyine yansıması



Resim 2.4. Kalıp gergi deliği boşluğu etrafında gevşek astar katlanmasının beton yüzeyine yansması

Dokuma kumaş astarlı kalıpların bir kereden fazla kullanılması problem çıkarabilir. Astarlı kalıplar sertleşmiş betona yapışabilir. Kalıbı sertleşmiş betondan ayırmak için kullanılan kuvvet astarı kalıptan söküp alabilir. Astara yapışan beton tanecikleri her bir kullanımda kalıbı sökmek için gereken kuvveti artıracaktır. Bu sorunu çözmek için; bazı astar malzemeleri daha düz ve daha pürüzsüz bir astar yüzeyi elde edebilmek için sıcak silindirle sıkıştırılırlar. Şekil 2.12’de sıcak silindirle sıkıştırılmış ve sıkıştırmamış kalıp astarlarının kullanılması durumunda kalıbı betondan ayırmak için gerekli olan kuvvetler karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Sıkıştırma, astarın betona yapışma eğilimini azaltmaktadır ve astar üzerinde daha iyi bir filtre tabakası oluşturduğu görülmektedir.



Şekil 2.12. 48 saat küre tabi tutulmuş beton yüzeyinden kalıbı ayırmak için gerekli olan kuvvet grafiği

Farklı dokuma astar tabakaları için nispi bir değer biçmek oldukça zordur. Peter ve Chitharanjan (1995) aralarında polipropilen, naylon ve polyesterinde bulunduğu 9 tip astar malzemesini test etmişlerdir. Dokuma filtre tabakaları ile elde edilmiş beton yüzeyleri alışıla gelmiş düşük permeabiliteli kalıplarla elde edilmiş beton yüzeylerine göre daha yüksek mukavemet ve daha düşük su geçirgenliği göstermiştir (100).

Dokuma olmayan (*nonwoven*) kalıp astar malzemeleri

Isıl yapıştırırmalı polietilen veya polipropilen gibi dokuma olmayan malzemeler filtre malzemesi olarak çok yararlı olduklarını ispatlamışlardır. Üretim işlerindeki esneklik malzemenin boşluk ebatlarının düzenlenmesinde büyük avantajlar sunmaktadır. Bu tip astarlar ince filtre tabakalı bir yüzey ve suyun

drenajına müsaade edecek daha kalın (boşlukları daha büyük) bir alt tabakadan oluşmaktadır. Dokuma olmayan astar malzeme ön yüzünde çapı 0,2-20 mikron olan arka yüzünde ise çapı 10-250µm olan boşluklara sahip olmalıdır. Astar malzemesi etilen vinil asetat veya etilen vinil klorid köpük ile yüzeyi çok üniform boşluklu olarak üretilmelidir. Solventler kaybolduğunda köpükler çöker ve köpük tabakası üniform büyüklüklü boşluklar oluşturur. Poroz yüzeyin üzerine uygulanacak ince bir yağ tabakası astarın beton yüzeyinden minimum bir yapışmayla ayrılmasına imkan sağlayacaktır (108, 109).

Bazı dokuma olmayan astarlar polietilenden yapılmış bir file veya ızgara ile desteklenirler. Izgara 0,25 mm veya daha büyük çaplı boşluklu olarak üretilir ve yüzeyi ızgaranın sadece bir kısmının kalıp yüzeyine temas etmesine imkan verecek şekilde biçimlendirmektedir. Izgara destekli astar malzemesinin amacı betondan gelen suyun ızgara içinden geçerek kalıp tabanına ulaşmasına imkan veren katı ve kırışmayan bir astar malzemesi elde etmektir. Izgara astarın arkasındaki kalıpta birbirine yakın delikler bulunmaksızın kalıptan suyun hızlı bir şekilde drene edilmesini mümkün kılar (109, 110).

Birleştirilmiş liflerden yapılan astarlar dokuma malzemelerden daha serttir ve kırılma ve sarkmalara karşı daha etkili direnç gösterirler. Dokuma olmayan astarlar (ızgara ile desteklenmiş olanlar da dahil) gerilmeli ve yapışkanlı bant veya tel raptiyelerle kalıba tutturulmalıdır. Dokuma olmayan bir astar, betonun alkaliliğinden etkilenmemeli ve boşluk büyüklüğü suyun drene olmasına müsaade etmeli fakat çimento taneciklerini tutmalıdır. Filtre yüzeyindeki 0,2-20 µm arasında değişen boşluklar kabul edilebilir boşluklardır (110).

2.4.3. Geçirgen kalıplarda kullanılan beton karışımları ve yerleştirme teknikleri

Testler; geçirgen kalıpların çeşitli beton karışımları ile kullanıldığında iyileştirilmiş yüzey karakteristikleri (artan yoğunluk ve artan mukavemet) meydana getirdiğini göstermektedir. S/Ç oranı 0,40-0,65 arasında değişen betonlarda iyileşmeler göstermiştir. Portland çimentosu, yüksek fırın cürufu ve uçucu kül kullanımı; portland çimentosunun %75'inin ince yüksek fırın cürufuyla yer değiştirdiği hava sürüklenmiş yüksek fırın cürufu çimento betonuna kıyasla; daha iyi bir donma-çözülme dayanımı ve kimyasal bozulmaya karşı daha büyük bir direnç meydana getirmiştir (111, 112). Su azaltıcı veya hava sürükleyici katkıların yüksek oranda kullanımı ve betonunun farklı slamplarda (50-210 mm) yerleştirilmesi geçirgen kalıpların etkilerini değiştirmez (113). Üretici teknik rehberleri geçirgen kalıplarda slampı 50 mm veya daha düşük beton kullanılması önermektedir. Yüksek spamlı betonlar bitmiş beton yüzeyinde renk lekelerinin oluşmasına neden olmaktadır (106).

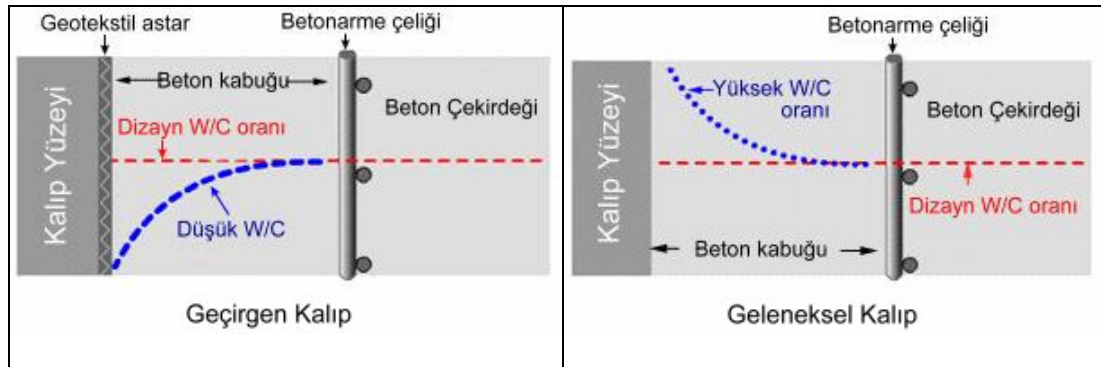
Betonda silis dumanı kullanımı geçirgen kalıpla birlikte kullanılan astarı kısmi olarak tıkayabilir böylece filtre görevini yapamaz ve silis dumanının geçiş yüzey alanı betondan dışarı çıkacak su miktarını azaltabilir (91). Skjolsvold (1991); portland çimentosunun %5'inin silis dumanı ile yer değiştirdiği S/Ç oranının 0,4 olduğu hava sürüklenmiş betonun geçirgen kalıplarla birlikte kullanıldığında bile sertleşmiş beton yüzeyinde iyileşmeler gözlemlendiğini belirtmiştir (114). Nolan, Basheer, ve Long (1995) %5 silis dumanını içeren ve S/Ç oranı 0,55 veya 0,65 olan betonları test etmişlerdir. Onlar silis dumanının astardaki küçük gözenekleri tıkadığı ve geçirgen kalıpların etkisini azalttığı sonucuna varmışlardır. Test sonuçları arasındaki farklılık S/Ç oranındaki değişimle veya iki testte kullanılan silis dumanı tipiyle ilişkili olabilir. Geçirgen kalıba yerleştirilen betonda silis dumanı veya diğer ince

puzolanların (metakaolin gibi) kullanılması durumunda, kullanılan puzolanın geçirgen kalıbın fonksiyonlarını engelleyip engellemediğinin test edilmesi gerekebilir (11).

Yerleştirilme süresince geçirgen astarlı kalıp ve betonun etkileşimi

Suyun çekilmesi

Geçirgen kalıp kullanmanın amaçlarından biri kalıbın hemen arkasındaki betonda optimum miktarda suyun bulunmasını sağlamaktır. 0,40 veya daha düşük bir S/Ç oranı genellikle beton üretimi için optimum olarak kabul edilir (102). Su azaltıcı katkıları kullanılmadıkça 0,40 S/Ç oranının gerektirdiğinden fazla su betonun daha düzgün yerleştirilmesi ve konsolide edilmesi için faydalı olabilir. Geçirgen kalıp kullanmanın diğer bir amacı S/Ç oranını 0,45 veya 0,60'tan 0,40'a yada daha aşağıya düşürmektir (Şekil 2.13).



Şekil 2.13. Geçirgen kalıp ve geleneksel kalıp-beton ilişkisi

Çizelge 2.1'de 250 mm kalınlığında olan bir duvarın teorik olarak yerleştirildiğinde 0,45-0,60 arasında olan S/Ç oranını 0,40'a düşürebilmesi için tüm duvardan uzaklaştırılması gereken su miktarının verilerini göstermektedir. Suyun büyük bir kısmı 90 saniyelik vibrasyon boyunca betondan ayrılmaktadır. Vibrasyon süresi agreganın çimento hamurundan ayrılma eğiliminde olması nedeni ile sınırlı tutulmaktadır. S/Ç oranı 0,50 olan

betonlar üzerinde yapılan testlerde; iyi dizayn edilmiş geçirgen kalıplar, 90sn'lik vibrasyon boyunca $2,0 \text{ L/m}^2$ 'lik su drenajına imkan sağlamışlardır (110, 116); $1-2,5 \text{ L/m}^2$ 'lik su kaybını rapor etmiştir. Kalıp astarları betondan uzaklaşan suyu $0,5 \text{ L/m}^2$ 'ye kadar indirmişlerdir. Betonun metreküpünün 340 kg su içerdiğini; $2,0 \text{ L/m}^2$ 'lik su kaybının sadece yüzeyden itibaren 20-30 mm derinliğe kadar olduğu varsayılırsa, yüzeyin S/Ç oranı 0,2-0,3 olacaktır. Farahmandpour (1992); geçirgen kalıp astarı altındaki betonun S/Ç oranının 0,35-0,40 iken, aynı betonun alışıla gelmiş ahşap kalıp altındaki S/Ç oranının 0,40-0,50 olduğunu tahmin etmiştir. Yapılan ölçümlere göre geçirgen kalıplar betonunun S/Ç oranını daha güçlü ve daha yoğun bir yüzey elde edecek kadar azaltmıştır (117).

Çizelge 2.1. 250 mm kalınlığında bir perde duvar betonunun S/Ç oranının 0.40'a düşürülebilmesi için uzaklaştırılması gereken su miktarı

Çimento Miktarı (kg/m^3)	Fazla Su (L/m^2)		
	S/Ç=0.45	S/Ç=0.50	S/Ç=0.60
300	4	8	15
400	5	10	20
500	6	13	25
U.S. Patent Office (1994)			

Beton yüzeyinde yoğunlaşma

Betonun sıkıştırılması süresince meydana gelen sıvı hareketi serbest çimento taneciklerini ve diğer ince taneleri kalıp ve betonun temas yüzeyine doğru taşır. Bu kütle transferinin sonucu olarak beton yüzeyindeki “çimento miktarı/ince agrega” oranı artar. Cron (1970); kalıp yüzeyine bitişik beton yüzeylerden kesilen parçalar üzerinde yapılan X-ray analizlerinde geçirgen kalıplara dökülen betonların, geleneksel kalıplara dökülen betonlara göre

gözle görülebilecek kadar yoğunluk farklılığı olduğunu açıklamıştır. Beddoe (1993); geçirgen kalıbın hemen arkasındaki beton yüzeyinin “çimento miktarı/ince agrega” oranı aynı olan betonun 5 cm içindeki kısmına kıyasla %10 arttığını belirtmiştir (116).

Reeves (1993); sertleşmiş betonu beton yüzeyine dik olarak kesip hazırladığı, ince parçaları kullanarak yaptığı değerlendirmelerde yoğunluktaki benzer bir artışı belirtmiştir. Geçirgen kalıplara dökülen beton numuneler, büyük agregalar arasında daha az boşluk göstermiş ve geçirgen kalıp yüzeyindeki betondaki hidrate olmuş çimento taneciklerinin birbirine daha yakın olduğu görülmüştür. Reeves ayrıca, betonun yüzey alanındaki kapiler boşlukların boyutlarında ve sayılarında da azalma olduğuna dikkat çekmiştir. Kontrol numuneleri aynı betondan çelik kalıplara dökülerek hazırlanmıştır. Kontrol numunesindeki gözeneklerin alanları geçirgen kalıplardaki gözenek alanlarının yaklaşık iki katıdır. Işık mikroskobu kullanılarak yapılan gözlemler, civa boşluk ölçer kullanılarak yapılan gözenek ölçümleriyle doğrulanmıştır. Boşluk ölçer verileri geçirimsiz kalıp kullanarak dökülen numunelerin gözenek alanlarının geçirgen kalıplar kullanarak dökülen numunelerin gözenek alanlarından 1,6 katı daha büyük olduğunu göstermiştir. Tabakanın arkasında artan çimento içeriği geçirgen kalıplarda daha yoğun ve daha sağlam bir yüzey oluşturmuştur (118).

Yüzey hava kabarcıklarında azalma

Betonun dökülmesi esnasında karışım içinde hapsolan hava, beton yüzeyine doğru giderken beton ve kalıp arasında tutulabilir. Bir çok durumda; beton yüzeyindeki boşlukların varlığı tipik olarak kusura işaret eder ve betonun mukavemetini, dayanıklılığını ve hizmet süresini etkileyen bir problem olarak algılanmalıdır. Hidrolik yapılarda; beton yüzeyindeki çukurluklar beton

yüzeyindeki akımın türbülansını (dalgalanmasını) artırır ki buda aşınma oranını arttırabilir (25, 91).

Reeves (1993); geçirgen kalıp kullanılarak gözeneklerin sayılarının azaltılabileceğine fakat, mikroskopik ölçüde geçirgen kalıplarla elde edilen yüzeylerin astarı oluşturan lif tanelerinin izlerinden dolayı daha pürüzlü olacağına dikkat çekmiştir. Lifler beton yüzeyi üzerinde çıplak gözle fark edilemeyecek kanallar oluşturur. Beton yüzeyinde bulunan mikroskopik pürüzlülük yüzeyde bakteri gelişimini etkileyen önemli bir faktör değildir. Ancak sabit nemin varlığı önemli bir faktördür. Yüzeydeki nem, yüzeyin nem emme kabiliyeti ve emilen suyun beton yüzeyine kılcal taşınımından dolayı nemin muhafazasıyla ilişkilidir. Beton yüzeyin porozitesi, yüzey mikro yapısında meydana gelen bakteri gelişiminden daha kritiktir. Geçirgen kalıplarla hazırlanan beton numunelerin yüzeyleri daha düşük poroziteye sahiptirler ve ıslatıldıktan sonra daha az nem tutarlar (90-93).

Geçirgen kalıplara betonun yerleştirilmesinde vibrasyon ve basıncın etkileri

Geçirgen kalıp; S/Ç oranını değiştirmesi, kalıplanmış yüzeye çimento transferini gerçekleştirmesi ve hapsolmuş hava kabarcıklarını uzaklaştırması gibi etkilerini, ancak beton vibrasyonlarla sıkıştırılırsa gösterebilir. Geçirgen kalıplara dökülmüş betonlara vibrasyon uygulanırken dikkatli olunmalı ve kullanılan dahili (genellikle dalgıç tipi) vibratör kalıp yüzeyinden 50-100 mm uzağından uygulanmalıdır. Kalıp vibratörleri ve harici vibratörler genellikle beton dahili vibratörle konsolide edildikten sonra uygulanırlar. Eğer vibrasyon uygulanmış alanın üzerindeki beton, alttaki betona basınç uyguluyorsa vibrasyon yüksek kaliteli beton yüzeyi elde etmekte çok etkilidir. Geçirgen kalıplar kalıbın en üst kısmındaki betonu iyileştirmede çok az etkilidir. Çoğunlukla, üsten 50-100 mm'lik beton tekrar vibrasyona tabi tutulmadıkça,

sıkıştırılmadıkça ve düzeltilmedikçe, beton gözeneklerini muhafaza edecek ve düşük yoğunluklu olacaklardır (91, 119, 120).

Çok kalın taze beton kütlesi geçirimli astarlar üzerinde düzleştirme etkisi gösterebilir. Drenaj tabakalı astarlar (file veya ızgara gibi) beton yüzeyi üzerinde drenaj deliklerinin şeklini yansıtan bir desen oluşturabilir. Bundan dolayı taze beton tabakasının kalınlığı kalıba 2MPa'lı aşmayacak bir basınç uygulayacak kadar olmalıdır (106).

2.4.4. Geçirgen kalıp kullanmanın faydaları

Geçirgen kalıp kullanılarak dökülen betonlarda geleneksel kalıp kullanılarak elde edilen betonlara kıyasla daha yoğun ve daha güçlü bir yüzey elde edilmektedir. En önemli faydaları daha az kusurlu, daha düzgün, daha yoğun ve daha iyi aşınma özelliklerine sahip bir yüzey oluşturması gibi görülmektedir. Geçirgen kalıplar beton yapılar için daha uzun bir hizmet süresi sağlamakta ve tamir ve yenileme için gerekli harcamaları azaltmaktadır (93, 121).

Beton yüzey kusurları

Beton yüzeyindeki gözeneklerin genellikle dayanıklılıktan ziyade estetik bir problem olduğu düşünülmektedir. Ancak, gözenekler gibi yüzey düzensizlikleri yağmurlu bölgelerdeki yapılarda yağmur taneleri içerisindeki serbest malzemelerin yüzeydeki boşluklara girerek burada aşınma ve bozulmalara sebep olarak yapı performansını etkilemesine sebep olabilir (122). Geçirgen kalıplar gözenek sayısını azaltmaktadır. Morasszeky ve diğerleri (1993); geçirgen kalıp ve geçirgen olmayan kalıplarla dökülen beton bloklarda gözenek alanlarını ve düzgün yüzey alanlarını ölçmüşlerdir. Geleneksel kalıplarla dökülen blokların; yüzey alanları %0,59-1,5 arasında

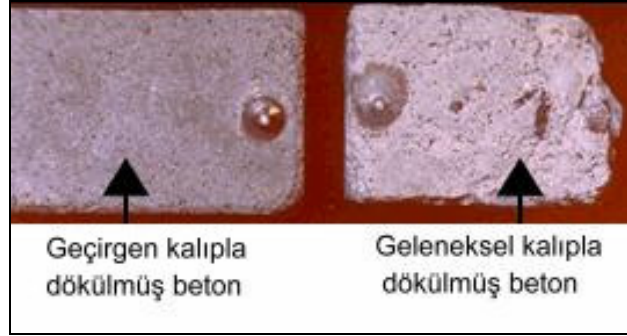
gözenek içermektedirler. Geçirgen kalıplarla dökülen blokların içerdikleri gözenekler yüzey alanının %0,1'den daha azdır (90). Richardson (1994); eğimli yüzeylere beton dökülürken geçirgen kalıp kullanılmasının gözenek sayısını azaltmada yararlı olduğunu ve aynı zamanda beton yüzeyinin hemen altındaki boşlukların sayısını da azalttığını belirtmiştir (123).

Los Angeles Union Terminali üzerindeki çalışmalarında (terminal inşa edildikten 3 yıl sonra) geçirgen kalıplara dökülen beton yüzeydeki kılcal çatlakların tamamen kaybolduğunu bildirilmiştir. Terminalin bitişiğindeki ve terminalle aynı zamanda geleneksel kalıplara dökülmüş beton yüzeylerde oldukça fazla kılcal çatlaklar bulunmaktadır. Kılcal çatlaklar kür döneminin başlarında su kaybına neden olmuşlardır ve karbonatlaşma hızlanmıştır (18, 91). Price ve Widdows (1992); geçirgen kalıplar kullanıldığında ilk dönemlerdeki su kaybı ve karbonatlaşma oranının azaltıldığını göstermişlerdir (124).

Donma ve çözülme dayanımı

Geçirgen kalıplarla dökülen betonların yüzeylerinin daha yoğun olması betonu donma-çözülme hasarına karşı daha dayanıklı hale getirmektedir (125). Resim 2.5'te sodyum sülfat don dayanımı deneyine tabi tutulmuş geleneksel ve geçirgen kalıplara dökülmüş beton numunelerinin deney sonundaki hasarları görülmektedir. Çizelge 2.2'de bir grup araştırmacı tarafından geçirgen kalıplar ile hazırlanan betonların donma ve çözülmenin verdiği zararlara karşı dayanıklılığını belirlemek için yapılan testlerin sonuçları özetlenmektedir. Test malzemeleri ve test metotları değişmektedir fakat sonuçlar geçirgen kalıpların donma ve çözülmenin verdiği zararı azalttığını göstermektedir. Deney numuneleri üzerindeki hasarın; geleneksel kalıplarla hazırlanan kontrol numunesi üzerindeki hasarların %19 ile %1'inden daha azı arasında değiştiği tahmin edilmektedir. Sonuçlar test

edilen beton tipleri ve test şartlarından etkilenmektedir. Bununla birlikte; geçirgen kalıpla dökülen betonlarda oluşan hasarın; geleneksel kalıplarla dökülen betonlarda oluşan hasarın beşte birinden daha az olduğu sonucuna varılabilmektedir (60, 95, 114, 116, 117).



Resim 2.5. Geçirgen ve geleneksel kalıpla dökülmüş betonların donma-çözülme deneyi sonrasındaki durumları (115)

Çizelge 2.2. Geçirgen olan ve olmayan kalıplarla dökülmüş betonların donma-çözülme dayanımı testi sonuçları (60, 95, 114, 116, 117)

Referans	Çimento İçeriği (kg/m ³)	S/Ç	Mineral katkı	Test Türü	Kayıp Miktarı		
					Geçirgen Kalıp Numunesi	Kontrol Numunesi	Kontrolde Yüzde Kayıp
Skjolsvold (1991)	384	0.42	28 saykıldan sonra kütle değişimi (kg/m ³)				
			%4.7	İsviçre			
			Uçucu kül	SS137244	0.02	2.54	0.01
Farrahmandpour (1992)	-	-	306 saykıldan sonra kütle değişimi				
			-	-	+%96	-%63	-
Beddoe (1993)	355	0.55	28. saykıldan sonra kütle kaybı (kg/m ²)				
			-	-	0.10	6.2	2
			50. saykıldan sonra kütle kaybı (kg/m ²)				
			-	-	0.17	7.87	2
Wilson (1994)	325	0.57	28. saykıldan sonra kütle kaybı (kg/m ²)				
			-	-	0.06	1.12	5
	375	0.44	-	-	0.01	0.79	1
Arslan ve ark.(2003)	400	0.47	5. saykıldan sonra kütle kaybı (gr)				
			-	TS4045	239	501	2

Yüzeyde karbonatlaşma

Geçirgen kalıplara dökülen betonlarda gözlenen yüzey yoğunluğu artışı betonu karbonatlaşmaya karşı daha dayanıklı yapabilir. Karbonatlaşmayı azaltabilecek üç etki oluşmaktadır;

1. Geçirgen kalıplar tarafından betonda oluşturulan daha pürüzsüz yüzey, atmosfer ile temasta olan alanı azaltır,
2. Yoğunluktaki artış karbondioksitin beton içerisine difüzyon oranını azaltır,
3. Yüzey tabakasında artan çimento miktarı, ilave kalsiyum hidroksit meydana getirebilir ki bu da yüzeylerin alkalinitesini devam ettirir.

Çizelge 2.3'te bir grup araştırmacı tarafından geçirgen kalıplarla hazırlanan betonların içindeki karbonatlaşma oranı ile ilgili yapılan testlerin sonuçlarını özetlenmektedir. Sonuçlar test edilen beton tipi ve test şartları ile değişebilir. Fakat sonuçlar geçirgen kalıpların karbonatlaşma oranını azalttığını göstermektedir. Deney numunelerindeki karbonatlaşma derinliği; geleneksel kalıplarla dökülen kontrol numunelerinde ölçülen karbonatlaşma derinliğinin %64 ile %5'i arasında değişmektedir. Bununla birlikte geçirgen kalıplarla dökülen betonlarda gözlenen karbonatlaşmanın benzer şartlarda geleneksel kalıplarla dökülmüş betonlarda gözlenen karbonatlaşmanın %50'sinden daha az olduğu sonucuna varılabilir (95, 114, 117, 126).

Çizelge 2.3. Geçirgen kalıplarla yapılmış betonların karbonatlaşma testi sonuçlarının geleneksel kalıpla dökülen betonlarla karşılaştırması (95, 114, 117, 126)

Referans	Çimento İçeriği (kg/m ³)	S/Ç	Mineral katkı	Test Türü	Karbonatlaşma Derinliği (mm)		
					Geçirgen Kalıp Numunesi	Kontrol Numunesi	Yüzde Fark
Skjolsvold (1991)	-	-	-	22 hafta sonra	4	12	33
				%3 CO ₂			
				%60 RH ¹			
Farrahmandpour (1992)	-	-	-	CO ₂ etkisinde 60 gün sonra	1.3	25.4	5
Karl ve Solacolu (1993)	285	0.65	-	-	3.1	4.8	64
	300	0.49	%13 Uçucu kül	180 gün sonra %3 CO ₂	3.3	9.5	29
Wilson (1994)	250	0.76	-	11 ay sonra doğal karbonatlaşma	5	9.9	50
	285	0.65	-		4.2	8.1	52
	400	0.48	-		1.9	7.0	27

¹Bağıl nem oranı

Klor iyonu nüfuz oranı

Klor iyonu nüfuzuna karşı gösterilen direnç özellikle çelikte güçlendirilmiş betonların hizmet süreleri için çok önemlidir. Çünkü klor iyonu çelik donatılarda korozyon oluşumunu hızlandırmaktadır. Oluşan korozyon çeliğin orijinal hacmini 2-3 kat arttırmaktadır (64).

Meydana gelen bu ilave hacmin neden olduğu gerilme, beton yüzeyinde çatlaklara ve dökülmelere neden olacaktır. Betonda karbonatlaşmadan dolayı çelikte meydana gelebilecek korozyon; klor tarafından meydana getirilebilecek korozyonla kıyaslandığında daha yavaş bir bozulma meydana getirecektir (klor tarafından oluşturulan korozyon atmosferik korozyondan çok daha hızlı bir bozulma meydana getirir). Betonun pH'ı 9,0 veya daha aşağıya düştüğünde ve çeliğe bitişik betonun klor iyonu konsantrasyonu 0,77 kg

klor iyonu/m³ olduğunda çelikte bozulma en hızlı şekilde meydana gelmektedir (127).

Çizelge 2.4'te geçirgen kalıplarla hazırlanmış beton içerisine, klor iyonu nüfuz oranını belirlemek için bir grup araştırmacı tarafından yapılmış test sonuçlarını özetlemektedir. Test sonuçları klor iyonu nüfuzunu ölçmek için kullanılan yöntemlere, test edilen beton tipine ve test koşullarına göre değişmektedir. Fakat sonuçlar geçirgen kalıpların klor iyonu nüfuz oranını azalttığını göstermektedir. Klor konsantrasyonu olarak veya deney numunelerindeki elektrik iletkenliğinin artışı olarak ölçülen klor iyonu nüfuzu derinliğinin; geleneksel kalıplarla dökülen kontrol numunelerinde ölçülen klor iyonu nüfuzu derinliğinin yaklaşık %45'i ile %67'si arasında olduğu tahmin edilmektedir. Bununla birlikte; geçirgen kalıplarla hazırlanmış ve benzer klor zenginliğine sahip şartlara maruz kalan betonlarda gözlenen klor iyonu nüfuzunun genellikle %60'ından az olduğu sonucuna varılabilir (114, 126, 128, 129).

Çizelge 2.4. Çeşitli araştırmacıların yaptığı klor iyonu nüfuzu deney sonuçları (114, 126, 128, 129)

Referans	Çimento İçeriği (kg/m ³)	S/Ç	Mineral katkı	Test Türü	Geçirgen Kalıp Numunesi	Kontrol Numunesi	Yüzde Fark
Klor difüzyon katsayısı							
Widdows ve Price (1990)	288	0.66	-	TEL ¹ Precedure A9	3,5.10 ⁻⁹	7,68.10 ⁻⁹	45
Etkin difüzyon sabiti 10 ⁻⁷ cm ² /s							
Skjolsvold (1991)	-	-	-	AASHTO ² T227-831 ²	5.79	9.41	62
Çimento miktarına bağlı klor % si (0-2 cm derinliğinde)							
Karl ve Solacolu (1993)	285	0.65	-	90 gün %5 NaCl	1.95	2.90	67
	300	0.49	%13 Silis Dumanı	90 gün %5 NaCl	2.09	3.47	60
Arslan (1999)	400	0.47	-	120 hafta %5 NaCl	1.66	4.63	64
¹ TEL Procedure A9 : Taywood Engineering, Middlesex, England.							
² American Association of State Highway and Transportation Officials.							

Yüzey dayanımında (sertliği) artma

Schmidt çekici ve pin penetrasyon testi gibi yüzey mukavemeti ölçen metotların tümü kür edilmiş betonların mukavemetlerindeki değişiklikler hakkında bilgi edinilmesini sağlamaktadır.

Yüzey test sonuçları; yüzey düzgünlüğünü, kullanılan agrega tipi ve kullanılan kalıp tipini de içeren bir çok faktörden etkilenmektedir (130). Kolek (1958); betondan yapılan Schmidt çekici okumaları ile Brinell sertlik metodu kullanılarak ölçülen sertlik arasında bir korelasyon olduğunu göstermiştir (91).

Çizelge 2.5'te bir grup araştırmacının Schmidt çekici tekniğini kullanarak hazırladıkları beton numuneleri karşılaştırmak için yaptıkları test sonuçları

özetlenmektedir. Sonuçlar kullanılan test metodu ve test edilen beton tipine göre değişiklik göstermektedir. Bununla birlikte; geçirgen kalıpların geri tepme okuma değerlerini artırdığını yani geçirgen kalıpların daha sert yüzeyleri ürettiğini göstermektedir. Geçirgen kalıplarla hazırlanan betonların Schmidt çekici okumaları geleneksel kalıplarla hazırlanan betonlardan elde edilen okumalardan %10-18 arasında daha fazla olduğu sonucuna varılmaktadır (51, 117, 126, 128). Marosszeky ve diğerleri (1993); geçirgen kalıplarla hazırlanan betonların geleneksel kalıplarla dökülen betonlara kıyasla yüzey mukavemetini yaklaşık %20 artırdığını belirtmektedir (90).

Geleneksel kalıba dökülen betonların geri tepme değerindeki %10'luk bir artış betonun basınç dayanımında yaklaşık 6 MPa'lık bir artışa karşılık gelmektedir (18).

Geçirgen kalıplarla dökülen betonlardaki daha yoğun yüzey tabakası sadece birkaç 10 milimetre derinliğe kadar uzanır. Schmidt çekici ile elde edilen veriler üzerinde yapılacak en mantıklı yorum; geçirgen kalıplarla dökülmüş betonun kazandığı mukavemet Schmidt çekici değerleri ile serbest basınç mukavemeti eğrileri betonun mukavemetini olduğundan %10 veya daha fazla hata ile tahmin edilmesine neden olacaktır (91).

Çizelge 2.5. Geçirgen kalıplarla dökülen betonlardaki geri tepme değerlerinin geleneksel kalıplarla dökülen betonların karşılaştırılması (51, 117, 126, 128)

Referans	Çimento İçeriği (kg/m ³)	S/Ç	Test Türü	Schmidt Çekici Verileri		
				Geçirgen Kalıp Numuneleri	Kontrol Numuneleri	Yüzde Fark
Widdows ve Price (1990)	250	0.76	Schmidt Çekici	39	34	114
	400	0.48		47	40	118
Farrahmandpour (1992)	-	-	Schmidt Çekici	35.5	32.4	110
Karl ve Solacolu (1993)	285	0.65	DIN 1048	32	29	110
			Part 2	34	31	110
Subaşı (2001)	400	0.48	TS	34.2	30.9	110

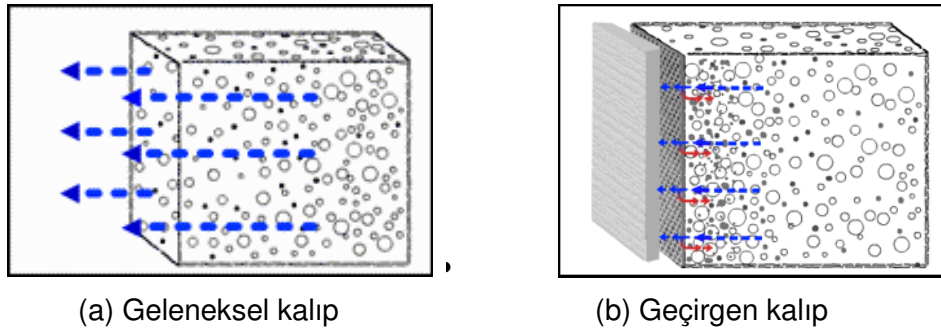
Kalıp kaplama (koruma) gereksiniminde azalma

Astar malzemelerinin dokuma gözeneklerini tıkaması veya malzemedeki liflerin genişlemesine neden olduğundan dolayı kalıp ayırıcı bileşikler genellikle kullanılmazlar. Bazı deneysel çalışmalar kumaş astarların (*fabric liner*) kaplanması için bazı parçaların kullanılabileceğini göstermektedir (108). Fakat kalıpların hazırlanması ile ilgili teknik prosedürler genellikle kalıp ayırıcı bileşiklerin uygulamalarını gerekli bir prosedür olarak kapsamamaktadır.

Kür için harcanan çabada azalma

Genelde geçirgen kalıplar astar malzemesinin her metre karesinden yaklaşık 0,5 L su emer. Beton döküldükten hemen sonra beton yüzeyinde mevcut olan bu su, beton kürüne katkıda bulunur. Brooks ve arkadaşlarının yaptığı araştırmada; astarların kür süresince suyun beton tarafından tekrar emilmesine imkan sağladığı belirtilmiştir (Şekil 2.14) (108). Kalıp ve astar söküldükten sonra kür gereksinimi geleneksel kalıpla dökülen betonlardakine benzerdir. Arslan (2001); emici kalıplarla dökülen betonların yetersiz kürden

daha az etkilendiğini bildirmiştir. Geçirgen kalıpların sertleşme durumuna etkisi; havada kür edilen numunelerde daha az nem kaybına; nem kürüne tabi tutulan numunelerde daha az nem emmesine neden olmaktadır. Şekil 2.14'te görüldüğü gibi (a) geleneksel kalıpla dökülen beton fazlalık suyu hızlıca dışarı atarak nemini kaybetmekte ancak (b) astar kaplanmış kalıp yüzeyi fazlalık suyu bünyesinde tutarak beton prizini aldıktan sonra tekrar geri vererek erken kür görevi görmektedir (122).



Şekil 2.14. Geçirgen kalıplarda erken kür görevi

Long, Shaat ve Basheer (1995); geçirgen kalıplara dökülen ve geleneksel kimyasallarla kür edilen beton numuneleri teste tabi tutmuşlardır. Kalıplar 24 saat sonra sökülmüştür ve numuneler 20°C sıcaklık ve %55 nisbi nemde muhafaza edilmiştir. Geçirgen kalıp kullanılması nedeniyle karbonatlaşma ve klor iyonu girişindeki azalmada sağlanan başarı her kür metodunda geçirgen kalıpların geleneksel kalıplardan daha iyi sonuç verdiğini ortaya çıkarmıştır (131). Diğer bazı araştırmacılar da benzer sonuçları açıklamışlardır (124, 132-134).

Kaplama için yüzey hazırlığında azalma

Yüzey kaplamaları yeni beton yüzeyindeki yumuşak tozlu malzemelerden dolayı bu yüzeylere iyi yapışmazlar. Yüzey kaplama uygulaması için yapılan hazırlık; kaplama için daha sert bir yüzey sağlamak için tel fırça kullanımını

veya kum püskürtmeyi kapsamaktadır. Tipik kusur gözenekleri kaplamadan önce doldurulur. Geçirimli kalıp astarlarıyla elde edilen beton yüzeyler daha sağlam ve gözeneksizdirler ve kaplamalar; kaplama öncesi hazırlığa gerek kalmadan direk uygulanabilirler (91).

2.4.5. Geçirgen kalıpların seçiminde dikkat edilecek hususlar

Geçirgen kalıplara dökülen beton yüzeylerde elde edilen gözle görülür en büyük iyileşme, yüzeydeki hava dolu gözenek kusurlarındaki azalmadır. Standart uygulamaları özetleyen dökümanlar (135) geçirgen kalıpların kullanılmasının kusur gözeneklerini azalttığını onaylamaktadır. Fakat, gözeneklere sebep olan havanın düzgün kalıp ve doğru kalıp ayırıcı bileşimler kullanılarak giderilebileceğini belirtmektedir.

Betonun hidrolik uygulamalarında, betonun oyulma erozyonunu minimize etmek için çok düzgün bir kalıp yüzeyine ihtiyaç duyulmaktadır. Beton yüzey düzgünlüğü sınıfı Çizelge 2.6'da verilmiştir. Dolusavaklar, tüneller ve su hızının 12 m/sn veya daha büyük olduğu su geçitleri için AHV denilen özel bir beton sınıfı tavsiye edilmektedir (136). AHV sınıfında A sınıfı ile aynı düzensizliklere müsaade etmektedir. AHV sınıfını oluşturmak için gerekli malzeme ve işçilik A sınıfının gereksinimleri ile aynıdır. A sınıfı yüzeyler elde edilirken kalıp yapımı için genellikle playwood veya düzgün yüzeyli ve zıvanalı keresteye ihtiyaç duyulurken, AHV sınıfı yüzeylerin elde edilmesinde çelik kalıp kullanılmasına da müsaade edilmektedir (137).

Yüzey düzgünlüğü ile ilgili şartnamelerin tümü geleneksel kalıpların kullanımına müsaade etmekle birlikte; durabilitesi ve aşınma dayanımı daha yüksek bir beton yüzeyi elde edinilebilmesi için geçirgen veya emici kalıpların kullanılması önerilmektedir (138).

Çizelge 2.6. Kalıp yüzeyindeki kabul edilebilir düzensizlikler

Düzensizlik	Yüzey sınıfı			
Tipi	A	B	C	D
Aşamalı	3 mm	6 mm	13 mm	25 mm
Ani	3 mm	6 mm	6 mm	25 mm
ACI (1997) 'den sonra				

Daha dayanıklı bir beton yüzeyine ve yüzey düzensizliklerinin azaltılmasına ihtiyaç duyulduğunun fark edilmesi beton dökümü için geçirimli kalıp astarların seçilmesini zorunlu kılmaktadır. Bazı yüzey düzensizlikleri tekstildeki kıvrımlardan kaynaklanabilir. Dokuma olmayan sentetiklerde 0,1-0,2mm'ye kadar yada daha büyük olan gevşeklikler kıvrım oluşturabilir ve bu kıvrımların beton yüzeyi üzerindeki izleri gözle görülebilir. Dokuma olmayan sentetikler eğer 20 dakikadan fazla güneş ışığına maruz kalırlarsa maksimum %15 kalıcı genleşmeye maruz kalabilirler. Böyle malzemeler normal olarak kıvrım oluşmaması için kalıba monte edilirken %0,3-%0,5 oranında gerilirler (136). Tüm kalıp astarları (geçirimli ve geçirimsiz) eğer ısıtılır veya beton dökümünden önce ısınmasına müsaade edilirse harekete maruz kalır. Astarlar gerilir ve tel raptiye, bant, yapıştırıcılar veya vidalarla tutturulursa oluşabilecek kıvrımlar minimize edilebilir. Kıvrımlardan kaçınmak için gerekli özen gösterildiği zaman, geçirgen kalıplarla yoğun yüzeyli ve yüzey sınıfı A veya AHV olan beton yüzeyleri elde edilebilir.

2.4.6. Geçirgen kalıp seçimini etkileyen faktörler

Geçirgen kalıpların geleneksel kalıplara tercih edilmesinin ana sebepleri maliyet farkı, uygun olmayan kullanım riski ve kullanım zorluklarıdır (montaj ve sökme) (137). Maliyetlerdeki tasarruf özel kullanım ve betonun hizmet

verdiği ortam ile yakından ilişkilidir. Geçirgen kalıpların tekrar kullanımı kritik bir faktör olarak kabul edilebilir (121).

Geçirgen kalıp kullanımının maliyete etkileri

Ayrı tip yapılar inşa etmek için geçirgen kalıpların tekrar kullanılma kabiliyeti kullanılan geçirgen kalıbın türüne, malzemelerin montaj ve sökümünde gösterilen itinaya bağlıdır. Emici kalıp panelleri kullanıcılar tarafından daima tek kullanımlık olarak düşünülürler (92). Emici kalıp astarlarının modern bir versiyonu olan ve süper emici polimer tabaka kullanan sistemlerde tek kullanımlık olarak geliştirilmişlerdir (139).

Filtre ve drenaj tabakasını birlikte içeren ve tek tabakadan oluşan tekstil kalıplar düşey yüzeylerde 5 defaya, eğimli yüzeylerde 15 defaya kadar başarıyla kullanılabilirler. Kalıp panelleri her kullanımdan sonra yüksek basınçlı su ile temizlenmelidir. Polyester filtre malzemesi ve polietilen drenaj malzemesinden oluşan iki tabakalı dokuma kalıp astarlarının tekrar kullanımı astarın tekrar gerilme gereksinimi ile ilişkilidir. Astarın tekrar gerilmesi astarın köşelerinde yıpranmaya neden olur ve tipik olarak sadece bir kez yapılabilir (139).

Karl ve Solacolu (1993); dokuma olmayan geçirimli kalıp astarlarının üzerinde yaptıkları denemelerde; bu malzemelerin ikinci veya üçüncü defa kullanılmasının beton yüzeylerin özelliklerini zayıflattığını belirlemişlerdir. Üçüncü kullanımda, klor penetrasyonu ve karbonatlaşma derinliği birinci kullanımdakine oranla en az iki kat artmaktadır. Onlar bunu kalıp panellerindeki ince (küçük) gözeneklerin sertleşmiş çimento macunu ile tıkanmasına bağlamaktadır. Kalıp panellerinin söküldükten hemen sonra temizlenmesi girişimi de başarısız olmuştur (126).

Japon inşaat firmaları astarlı kalıp kullanmanın maliyetinin geleneksel kalıp maliyetinin 3,5-4,5 katı arasında değiştiğini tahmin etmektedir (103). Bazı araştırmacılar tarafından hazırlanan analizler astarlı kalıp maliyetinin geleneksel kalıp maliyetinin 1,78-1,96 katı arasında değiştiğini göstermiştir (90). Reeves (1993)'e göre; kullanılan astarın maliyeti, kalıpta kullanılan kontrplak (*plywood*) maliyetine eşit olduğu farz edilebilmekte ve bu da kalıbın maliyetini yaklaşık ikiye katlamaktadır (118).

Ahşap, beton yüzeyi ile direk temas etmediğinden, kalıpta daha düşük kalitede ucuz ahşap kullanılarak biraz tasarruf gerçekleştirilebilir (118). Geçirgen kalıplarla kullanılan tüm ahşaplar; ahşap içindeki doğal şekerin etkilerini engellemek için detaylı olarak incelenmelidir. Eğer daha ucuz ahşabın kullanılmadan önce kaplanması gerekiyorsa; bu yapılan tasarrufu ortadan kaldırabilir. Cron (1970); emici astarlar kullanıldığı zaman maliyetten tasarruf edileceğine dikkat çekmiştir. Çünkü, masif kalıplar hasar görmekten korunacaktır ve ihmal edilebilir bir maliyetle tekrar kullanılabilir. Kalıp astarları kullanıldığında yüksek kaliteli ahşaplar daha uzun ömürlü olacaktır (91).

Sonuçta, maliyetten tasarrufla ilgili herhangi bir tartışma, geçirgen kalıp kullanmanın betonun dayanıklılığında meydana getirdiği artışa bağlı olacaktır. Geçirgen kalıplar özellikle tuzlanan yollar (111, 112), deniz çevresi (131) ve yüksek tuz içeriğinin betonarme yapıların hizmet ömrünü kısaltmak için birleştiği alanlar gibi betonun sert şartlara maruz kaldığı alanlarda en büyük maliyet tasarrufunu sunmaktadır (133). Geçirgen kalıplar tamiratın zor ve pahalı olduğu durumlarda çok yararlı bir seçenek olmaktadır. Örneğin Kanada'daki Konfederasyon köprüsünde, ayakları korumak için kullanılan buz kalkanlarında geçirgen tekstil kalıplar kullanılmıştır. Ayrıca nükleer güç santrallerindeki kritik depolama yapılarında ve prefabrike beton tünel kesitlerinde geçirgen tekstil kalıplar kullanılmıştır. Kanal kaplamaları ve su yolu gibi hidrolik yapılarda geçirgen kalıplardan başka betonun sağlam,

pürüzsüz eğimli yüzeye sahip ve kusur gözenekleri olmaksızın dökülmesine imkan sağlayacak metot bulunmamaktadır (91).

Geçirgen kalıp kullanmanın maliyet analizi, dayanıklılığı daha iyi ve hizmet ömrü daha uzun beton geliştirilmesi için alternatif stratejilere de adres göstermelidir. Nolan, Basheer ve Long (1995); silis dumanı katkısının etkileri, geçirgen kalıp kullanımı ve silo kaplama uygulaması üzerinde çalışmışlardır (11). Durabilite; beton test numunesinin hava geçirgenliği, su emmesi ve yüzey mukavemeti esas alınarak tahmin edilmiştir. Geçirgen kalıp kullanılması hava geçirgenliği ve su emmede önemli azalmalar meydana getirmiştir. Geçirgen kalıplar kalıcı yüzey değişiklikleri üretme avantajına sahiptir ki, kaplamalar bunu üretemez. Silis dumanı, durabilite ile ilişkili kritik faktörleri artırmaktadır fakat tek başına kullanıldığında yüzeyleri geçirgen kalıplar kadar iyileştiremez. Tüm geçirgen kalıplar durabiliteyi iyileştirmek için en etkili prosedürü sağlamıştır. Marosszeky ve diğerleri (1993); dayanıklı bir yapı elde etmek için geçirgen kalıp kullanmanın maliyeti ile geleneksel kalıp kullanırken betonun mukavemetini artırarak diğerine eşdeğer durabilite özellikleri elde etmenin maliyetini karşılaştırmışlardır (90). Yazarlar geleneksel kalıplarla dökülmüş ve 50 MPa serbest basınç dayanımına sahip bir betonun 30 MPa serbest basınç dayanımına sahip ve geçirgen kalıplarla dökülmüş beton ile aynı yüzey dayanıklılığına sahip olduğu sonucunu çıkarmışlardır. Ayrıca üzerinde çalışılan örnek yapı için; yapının dış yüzeylerindeki betonlarda geçirgen kalıp kullanmanın maliyette yaklaşık %4 tasarruf sağlanabileceği sonucunu da çıkarmışlardır (82).

Kalıp astarlarının yerleştirilmesi

Astarı kalıbın iç yüzeyine tutturmak için gerekli olan ilave malzemeler kalıbın montajı için gereken işçiliği artırır. Emici panellerin yerleştirilmesi kalıp kenarlarının veya yalıtım plakalarının yerleştirilmesine kıyasla ustalık ve ilave

efor gerektirir. Tekstil astarlarının yerleştirilmesi hemen hemen duvar kağıdı kaplaması için gereken ustalık ve eforun aynısını gerektirir. Tekstil astarların yerleştirilmesi için gerekli işçilik $0,08 \text{ adam-saat/m}^2$ tahmin edilmektedir (140). Emici panellerde muhtemelen aynı eforu gerektirmektedir.

Emici panel astarları kalıba direk vidalarla tutturulurlar ve emici panellerin su emdiklerinde genişleyebilmeleri için montajları aralarında bir miktar boşluk bırakılarak yapılır. Boşluklar dikkatlice ayarlandığında genişleyen paneller uç uca temas eder ve düzgün bir yüzey elde edilir. Tekstil astarlar kullanıldığı zaman kırışıklıkların ve yırtılmaların olmaması için gerilmeleri esnasında gerekli itina gösterilmelidir. Germe işleminde astar kenarlarından çekilerek kalıp yanlarına veya arkasına tel raptiye ile tutturulur (raptiyeleme işi kalıbın ön yüzeyine yapılmamalıdır). Astarlar metresi 3-5 mm uzayacak kadar gerilmelidir. Arka yüzeyi sert (katı) olarak üretilen tekstil astarların gerilmesi gerekmez kalıbın ön yüzeyine direk tutturulurlar. Tekstil astarlar metal kalıplarla kullanılırken; metal kalıbın etrafına ahşap malzeme vida ile tutturulur ve tekstil astarlar bu ahşap malzemelere tel raptiyelerle monte edilir. Sert arka yüzeyli tekstil astarlar metal kalıplara yapıştırıcılar veya bantlarla direk tutturulabilirler. Düzgün yüzey elde etmenin kritik olduğu astarların birleşim (ek) yerleri bantla kapatılabilir (140, 141).

Astar kalıba monte edildikten sonra, ıslanmasına veya ısıya maruz kalmasına izin verilirse gerilebilir, sehim yapabilir veya tahrif olabilir. Astarlar kuru tutulmalı ve astarların montajı beton dökümünden önce 10°C 'den fazla ısınmasına imkan vermeyecek şekilde programlanmalıdır.

Eğer tekstil astarlı kalıp tekrar kullanılacaksa; paslanmayı önleyerek beton yüzeyi elde edebilmek için tel raptiyelerin ve metal kalıp malzemelerinin geleneksel kaplamasız çelikten yapılmamış olmasına özen gösterilmelidir. Çünkü astarı sökmeden geleneksel çelik kalıptan kaynaklanan pası

temizlemek mümkün değildir ve pas astardan içeri sızarak betonu lekeleyecektir. Benzer şekilde tel raptiyeler gibi metal bağlayıcılar taze betonla temas ettiklerinde betonda lekeler oluşturacaklardır. Kalıplarda paslanmaz çelikten yapılmış tel raptiyeler ve vidalar gibi pas tutmayan bağlayıcılar tercih edilmektedir (91).

2.4.7. Geçirgen kalıplarla dökülmüş beton yüzeylerin dayanıklılığı

Geçirgen kalıpların tamamı; üzerinde kusur gözenekleri bulunmayan düzgün yüzeyli betonların dökülmesinde, şantiye uygulamalarında başarıyla kullanılmışlardır. Japonya, Avrupa, Kanada ve Birleşik Devletlerde yüzlerce yapı projesinde beton dökmek için geçirgen kalıplar kullanılmıştır. Çok sayıda uygulama ve dökülen yüklü miktardaki beton dikkate alındığında, geçirgen kalıpların uzun vadedeki etkileri (donma ve çözülmenin yüzeye verdiği zararın ve karbonatlaşmanın azalması açısından) ile ilgili arazi dökümanının azlığı şaşırtıcıdır.

Cron(1970); Arazi Islah Bürosu'nun Denver'daki test alanında 1944 yılında tekstil astar kaplanmış emici panellerle numune dökünceye kadar playwoodla ve 1940'lı yıllarda yaygın olarak kullanılan iki emici panel ile döktüğü numuneleri muhafaza ettiğini belirtmektedir. Test panellerini ve binlerce m² yüzey alanına sahip tam ölçekli arazi uygulamalarının hiç biri araştırılmamıştır. Çünkü beton döküldükten sonraki 26 yıl boyunca anlaşılabilir bir hizmet değerlendirilmesi yapılmadığından bu numunelerin (panellerin) geleneksel ahşap kalıplarla dökülen betonlara kıyasla hava şartlarına karşı dayanımının üstünlüğü bilinmemektedir. 1970 yılında test programlarına ilgi yoktu, çünkü Birleşik Devletlerde emici kalıpları kullanan yoktu ve piyasada hala sadece bir tane astar markası vardı (91).

Basheer ve diğ erleri (1995); Kuzey İ rlanda'da inşa edilen üç köprü ayağı üzerinde yürütölen bir çalışmanın sonuçlarını rapor etmişlerdir (101). Bu köprü ayaklarından her birinin yarısı geçirgen kalıplarla, diğ er yarısı geleneksel kalıplarla dökölmüş tür. Ayaklar dököldükten altı ay sonra; geçirgen kalıplarla dökölen betonun yüzey çekme mukavemeti (Pull-off testi ile) ölçölmüş tür. Geleneksel kontrplak kalıpla dökölen aynı betonunkinden yaklaşık %27 daha büyük çıkmış tır.Geçirgen kalıplarla dökölen betonda çok daha düşük hava geçirgenliğı göstermiştir. Ölçömlerde Queen Üniversitesi Hava Permeabilite test cihazı kullanılmış tır (141). Basheer 1993'te özetlenen method kullanılarak yürütölen su emme deneylerinde geçirgen kalıplara dökölmüş beton yüzeylerde çok daha düşük değ erler elde edilmiş tir. Geçirgen kalıplarla dökölen betonların ortalama elektrik iletkenlikleri geleneksel kalıplarla dökölen betonların ortalama elektrik iletkenliğ inden sadece bir miktar daha yüksektir. Betonun yerleş tirilmesinden 3 yıl sonra yapılan ölçömlere göre muhtemel yüksek korozyon oranı belirleyici olarak esas alan sınıflandırmaya göre her üç köprü ayağı da elektriksel dirence sahiptir.

Wilson ve Serafani (1996)' da; Birleş ik Arap Emirlikleri' ndeki Port Rashid' de sulu (göl-deniz) bölgelerde geçirgen kalıplarla dökölen betonlarda, geleneksel kalıplarla dökölen betonların tersine klor iyonu içeriğ inde uzun vadede önemli azalmalar olduğ unu bildirmiş lerdir. Tuzlu su ve ısıya maruz betonlarda üç yıl sonra numuneler alınmış tır. Analizler geçirgen kalıplarla dökölen betonlarda 5 mm derinlikteki klor iyonu konsantrasyonunun %35 daha az olduğ unu göstermiş tir. 17,5 mm derinlikten alınan numuneler klor iyonu içeriğ inde %65' lik bir azalma olduğ unu göstermiş tir (113).

Geçirgen kalıplarla dökölen betonlar üzerinde yapılan az sayıdaki arazi ölçöümünün laboratuvar testlerinde gözlenen etkileri doğruladığı görölmektedir. Geçirgen kalıpların betonun hizmet süresini artırmadaki

etkisini gösterebilmek için üç yıl sonra alınan numunelerin ötesinde ilave arazi çalışmalarının yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

2.4.8. Geçirgen kalıpların örnek uygulamaları

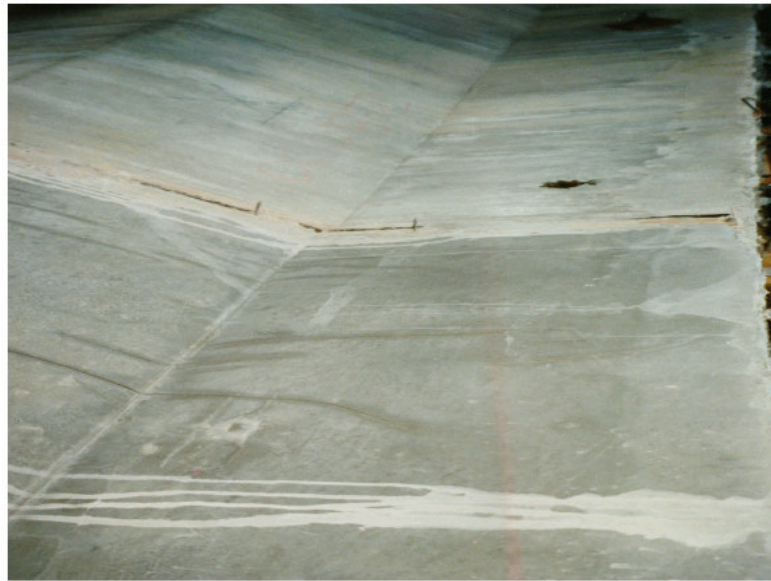
Geçirgen kalıplar dünya üzerinde yüzlerce beton yapıda kullanılmıştır. İyileştirilmiş yüzey özellikleri; özellikle denizcilik yapılarında ve buz çözücü tuzların kullanıldığı alanlarda önemlidir. İyileştirilmiş yüzeyler betonun minimum hazırlık ile kaplandığı içme suyu tankları veya atık tesislerinde de çok faydalıdır.

Kanada'daki Konfederasyon köprüsü için buz kalkanları

Kanada'daki New Brunswick ve Prens Edward adası arasındaki 13 km açıklığındaki Konfederasyon Köprüsünün destek ayağının etrafına inşa edilen konik beton eteklerde dokuma olmayan tekstil kalıp astarları kullanılmıştır. Yuvarlak köprü ayaklarını kanaldan geçen buz kütlelerinden korumak için ayaklar beton yaka veya eteklerle çevrelenmiştir. Orjinal planda çelik yaka veya koniler düşünülmekteydi ancak yekpare betonarmenin daha etkili olacağına karar verilmiştir. Koruyucu koniler 20 m çapında ve 13,6 m yüksekliğindedir. Koni su seviyesinin 10 m üzerine ve 6,4 m aşağısına kadar uzanmaktadır. Dış yüzey eğimi içeriye doğru 52°'lik açıya sahiptir. Sürüklenen buz kütleleri eğimli beton yüzeyi üzerine çıkmakta ve kendi ağırlığı altında kırılmaktadır (140). Resim 2.5'te köprü ayağının temeli üzerindeki tekstil astarlı ahşap kalıbı görülmektedir. Resim 2.6'da kalıp söküldükten sonraki beton kalkanı görülmektedir. Tekstil astarlı dökülmüş yüzeye yakından bakıldığında, geçirimli tekstil astarları kalıpların geleneksel astarsız ahşap kalıpların tersine pürüzsüz bir yüzey oluşturduğu görülmektedir.



Resim 2.6. Konfederasyon köprüsü ayağının temeli üzerindeki tekstil atsarlı ahşap kalıp (140)



Resim 2.7. Konfederasyon köprüsünde buz kalkanlarında tekstil astarlı kalıp kullanılarak dökülmüş pürüzsüz beton yüzeyi (140)

Su altında yüzen prefabrik tünel parçaları

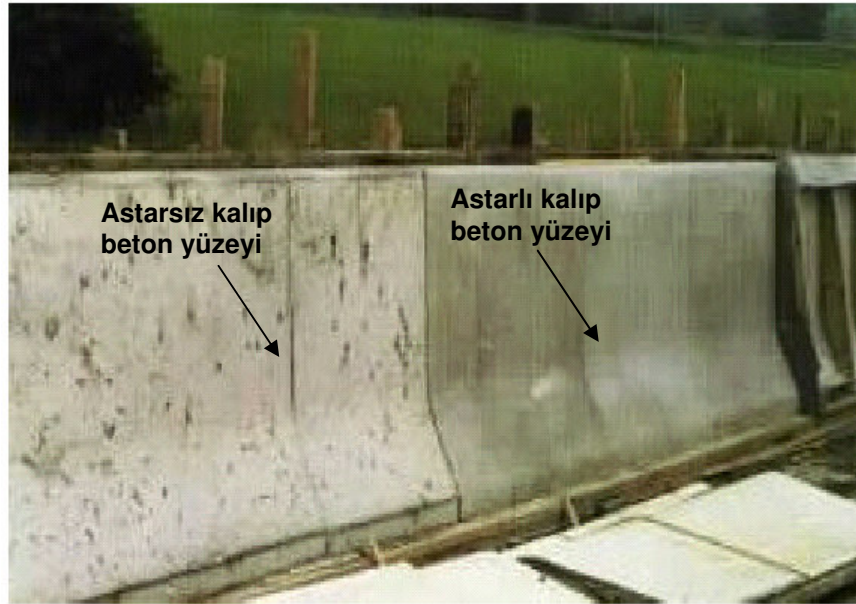
Su altındaki ve yüzen tünelleri oluşturmak için dökülen betonarme tünel kesitlerinde dokuma tekstil kalıp astarları kullanılmaktadır. Daha yoğun bir beton yüzeyi elde etmek ve deniz suyundan kaynaklanabilecek korozyon riskini azaltmak için Japon tekstil kalıp metodu kullanılmaktadır. Hong Kong'daki Western Limanı geçidi ve Sydney Liman Tüneli bu teknik kullanılarak inşa edilmiştir (91).

Kanada'daki Champlain Köprüsü için beton bariyerler

Montreal'daki Champlain Köprüsü için New-Jersey tipi trafik bariyerleri hazırlanırken dokuma olmayan tekstil kalıp astarları kullanılmıştır. Yeni bariyerler yol tuzlama çalışmalarından dolayı önemli ölçüde zarar görmüş mevcut bariyerlerle yer değiştirilmiştir (tahmini kullanılan tuz, 3000 ton/yıl'ın üzerindedir). 6 metre uzunluğundaki yeni bariyer parçaları tekstil astarlı çelik kalıplar kullanılarak dökülmüştür (Resim 2.8). 1559 m³ beton kullanılarak toplam 2600 m'lik bariyer dökülmüştür. Astar, çelik kalıplara cıvata ile tutturulmuş ahşap plakalara tel raptiye ile tutturularak elde edilmiştir. Astarlar sadece bir döküm için kullanılmıştır. Mühendis grubu yüksek-mukavemetli beton karışımı, (35 MPa serbest basınç dayanımına sahip) epoksi ile kaplanmış çelik donatı ve minimum 25 yıl hizmet ömrüne sahip düzgün (pürüzsüz) yüzey elde etmek amacı ile tekstil astarlı geçirgen kalıp kullanmıştır (Resim 2.9) (106).



Resim 2.8. Trafik bariyerlerinin astarlı kalıplar kullanılarak dökülmesi



Resim 2.9. Geleneksel kalıpla (solda) ve astarlı kalıplarla (sağda) dökülmüş trafik bariyerlerinin yüzey görüntüsü (astarlı kalıplarla dökülen beton yüzeyinde çok az miktarda hava boşlukları görülmektedir.)

3. MALZEME VE METODLAR

3.1. Malzemeler

3.1.1. Kalıp

Kalıp örneklerinin üretiminde kalıp yüzey malzemesi olarak;

- ✓ Kontrplak; suya dayanıklı, 23 mm kalınlığında, %10,9 rutubette ve 672 kg/m³ yoğunluğunda,

kalıp destek ve gergi elemanları olarak;

- ✓ II.sınıf çam kerestesi
- ✓ I çelik profilleri

kalıp astarı olarak;

- ✓ Zembrain MD Tip-III kalıp astarı; %100 polypropylene liflerden oluşan, ısı yapıştırmalı, dokuma olmayan (*nonwoven*), 3 L/m² suyu drene edebilen, 0,35 L/m² suyu bünyesinde tutabilen, 35 µm'den az ortalama göz açıklığı olan, 20 kPa yük altında %10 boy uzaması olan, 4 mm açıklığında ızgara destekli, 0,5-1.10⁻⁴ m²/s geçirimsizliğe sahip,
- ✓ SB 20 geotekstil astar; ağırlık 200 gr/m², çekme dayanımı 286 N, kopma uzaması %29, delinme dayanımı 225 N, kullanılmıştır.

3.1.2. Beton

Araştırmada hazır beton tesisinden temin edilen C 20 akıcı kıvamlı hazır beton kullanılmıştır. Kullanılan betona ait özellikler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan betonun özellikleri

Beton sınıfı	C20
Dmak	25 mm
S/Ç oranı	0,60
Hava içeriği	%1,5
Çökme	16 cm
Hedef Dayanım (15x15x15) Küp	29 MPa

Karışımında mineral katkı olarak çimento ağırlığının %20'si oranında uçucu kül kullanılmıştır. 1 m³ beton karışımında kullanılan malzemelere ait özellikler Çizelge 3.2'de, PÇ 42,5 çimentosuna ait özellikleri ise Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.2. 1 m³ karışımında kullanılan malzemelere ait özellikler

Malzeme Adı	Tip	Özgül Ağ. (gr/cm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (m ³)	Agrega Oranı (%)
Kırma Kum	0-5	2.60	920	0.354	48.7
Mıcır 1	5-15	2.71	400	0.148	21.2
Mıcır 2	15-25	2.74	570	0.208	30.2
TOPLAM AGREGA (Kg)			1890	0.710	100.0
Çimento	PÇ 42.5	3.09	240	0.078	Teorik Birim Ağırlık 2.355
M.Katkı	Uçucu Kül	2.15	50	0.023	
K.Katkı (%)	Akışkanlaştırıcı	1.18	2 (% 0.5)	0.001	
Su	Kuyu	1.00	173	0.173	
TOPLAM MALZEME (Kg)			2.355	1.000	

Çizelge 3.3. PÇ 42,5 çimentosuna ait özellikler

Kimyasal kompozisyon	
SiO ₂ (%)	20.32
Al ₂ O ₃ (%)	5.59
Fe ₂ O ₃ (%)	3.09
CaO (%)	62.50
MgO (%)	1.74
SO ₃ (%)	3.29
Na ₂ O (%)	0.34
K ₂ O (%)	0.91
Kızdırma kaybı (%)	2.73
Çözünmeyen kalıntı (%)	0.61
S.CaO (%)	0.93
Fiziksel özellikler	
Priz başlangıcı (sa/dk)	01:58
Priz sonu (sa/dk)	02:57
Hacim sabitliği (mm Toplam)	1
Özgül yüzey (cm ² /g)	3642
Mekanik özellikler	
Basınç dayanımı (MPa)	
2. Gün	27
7. Gün	38.5
28.Gün	48

Kalıplara dökülen betonun 7, 14, 28 günlük basınç ve eğilmede çekme dayanımını değerleri Çizelge 3.4 ve 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Basınç dayanımı değerleri

Numune No	Basınç Dayanımları (MPa)		
	7 günlük	14 günlük	28 günlük
1	18,38	22,03	25,19
2	16,15	21,88	24,17
3	19,57	21,06	24,27
4	18,95	20,07	25,06
5	19,98	21,48	24,70
6	19,09	22,28	26,36
Ortalama	18,69	21,47	24,96

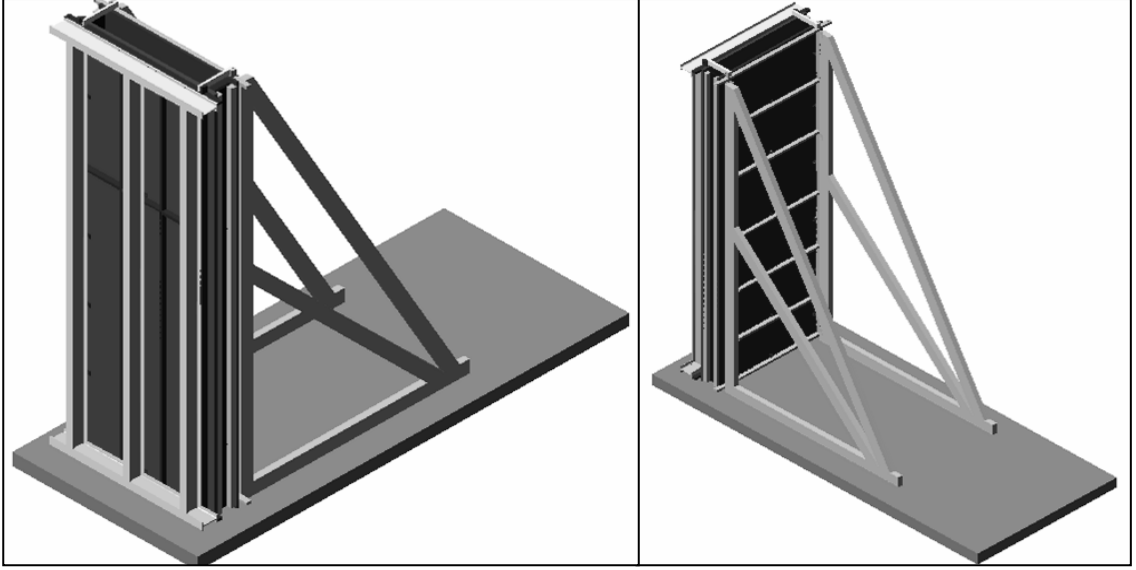
Çizelge 3.5. Eğilmede çekme dayanımı değerleri

Numune No	Eğilmede Çekme Dayanımları (MPa)		
	7 günlük	14 günlük	28 günlük
1	1,51	1,71	1,77
2	1,59	1,85	1,92
Ortalama	1,55	1,78	1,85

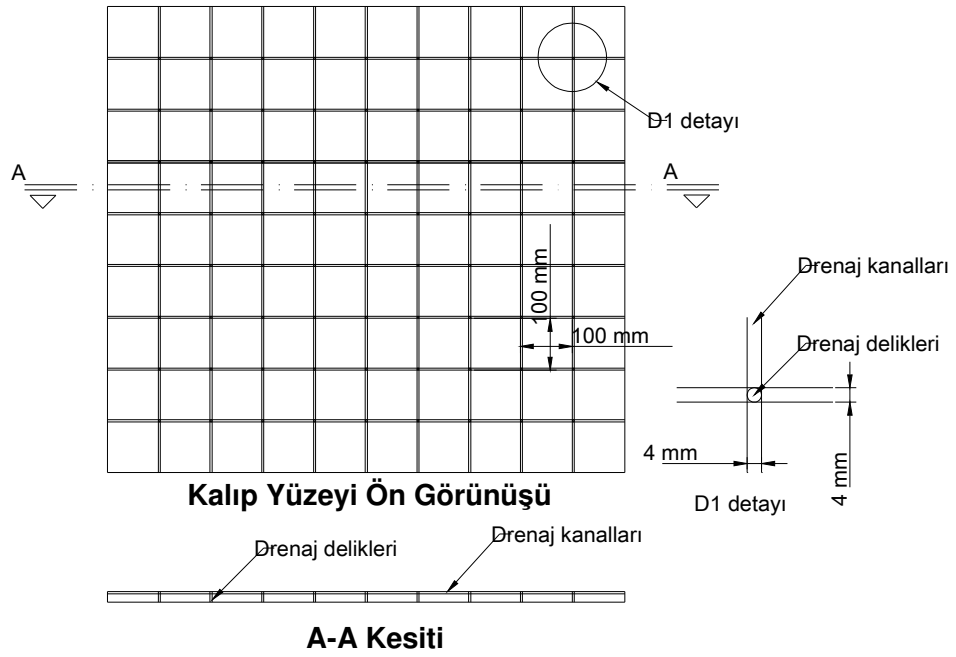
3.2. Metotlar

3.2.1. Kalıp örneklerinin hazırlanması

1 m genişlik ve 2 m yükseklikte beton dökümüne olanak sağlayacak şekilde 3 adet kontrplak yüzeyli perde duvar kalıbı üretilmiştir (Şekil 3.1). Kalıplardan 2 adetinin yüzeyinde drenaj kanal ve delikleri açılmıştır. Drenaj kanalları, kalıp yüzeyinin betona temas eden kısmında 100 mm aralıklarla 4 mm genişlik ve 4 mm derinlikte yatay ve düşey kanallardan oluşmaktadır. Diğer taraftan, drenaj kanallarının birleşim noktasında 4 mm çapında drenaj delikleri açılmıştır (Şekil 3.2). Bu şekilde drenaj kanal ve delikleri açılan iki kalıptan birinin yüzeyine SB 20 diğerine Zemdrain kalıp astarı kaplanmıştır. Astarlar, kalıp yüzeyine tel zımba kullanılarak sabitlenmiştir. Geriye kalan bir adet kontrplak kalıp yüzeyinde işlem yapılmaksızın referans olarak kullanılmıştır (Resim 3.1). Kalıp örneklerine ait bilgiler Çizelge 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.1. Tasarımı yapılan perde duvar kalıbı perspektifi

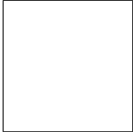
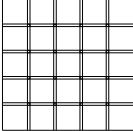
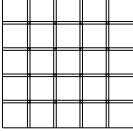


Şekil 3.2. Kalıp yüzeyi drenaj kanal ve deliklerinin yerleşim planı



Resim 3.1. Kalıp örneklerinin yapım süreci ve tamamlanmış görüntüleri

Çizelge 3.6. Kalıp kodları ve özellikleri

Kalıp Kodu	Yüzey Şekli	Kalıp Yüzey Malzemesi	Yüzey Astarı	Yüzey Özellikleri
K0 (Referans)		Kontrplak	Yok	Drenajsız
K1		Kontrplak	Zemdrain	Drenajlı
K2		Kontrplak	SB-20	Drenajlı

3.2.2. Kalıp örneklerine beton dökümü

Transmikser ile getirilen beton, pompa ile iki tabaka halinde dökülmüştür (Resim 3.2). Her tabaka, üç noktadan iç poker tipi vibratör kullanarak sıkıştırılmıştır. Vibratör her tabakaya eşit aralık ve hızda üç noktadan 15 sn süre ile daldırılmıştır. Beton döküm hızı 2 m/sa olarak gerçekleştirilmiştir. Beton dökümü sırasında ve döküm işlemleri tamamlandıktan sonra, beton iç sıcaklığı, hava sıcaklıkları ve havanın nemi ölçülmüştür (Çizelge 3.7).



Resim 3.2. Beton döküm işlemleri

Çizelge 3.7. Döküm sırasındaki beton ve hava sıcaklıkları

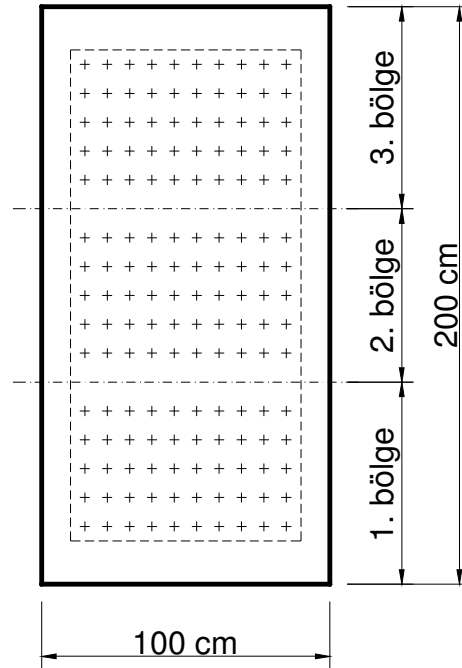
Ölçüm zamanı	Hava sıcaklıkları (°C)	Nisbi Nem (%)	Beton sıcaklığı (°C)
Döküm öncesi	27,3	46	18,1
Döküm sonrası	22,8	50	18,9

3.2.3. Beton bloklar üzerinde gerçekleştirilen deneyler

Schmidt çekici ile yüzey sertliği tayini

Beton bloklar üzerinde 28., 90., 210. ve 365. günlerde düşey pozisyonda Schmidt yüzey sertliği okumaları yapılmıştır. Bütün betonlarda her bir zaman aralığı için 150 adet olmak üzere toplam 450 adet yüzey sertliği okuması

gerçekleştirilmiştir. Schmidt çekici ile yüzey sertliği deneyinde, beton bloklar Şekil 3.3'te görüldüğü gibi üç bölgeye ayrılmış ve her bölgede 50 ayrı noktaya uygulama yapılmıştır.



Şekil 3.3. Beton blok yüzeyinde Schmidt çekici uygulama bölge ve noktaları

Schmidt yüzey sertliği deneyi, 28 günlük kür işleminden sonra ASTM C805-97 “Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete” standardında belirtilen esaslara uygun olarak düşey pozisyonda uygulanmıştır. Her uygulama bölgesinden elde edilen Schmidt yüzey sertliği değerlerinin aritmetik ortalaması düzeltme işlemi yapılmaksızın doğrudan düşey Schmidt yüzey sertliği değerleri olarak istatistik işlemlere alınmıştır (142).

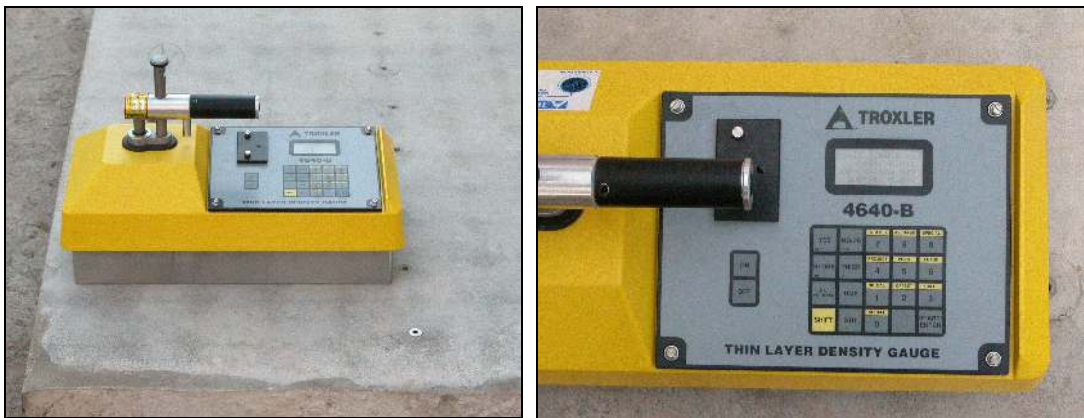
Deney sonucunda elde edilen Schmidt çekici ile yüzey sertliği değerleri iki faktörlü tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniği ile değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizinde zaman faktörünün dört seviyesi (28., 90., 210. ve 365. gün), kalıp faktörünün ise üç seviyesi (K0, K1, K2)

bulunmaktadır. Tekrarlanan ölçümler her iki faktörün seviyelerinde de yapılmaktadır (143).

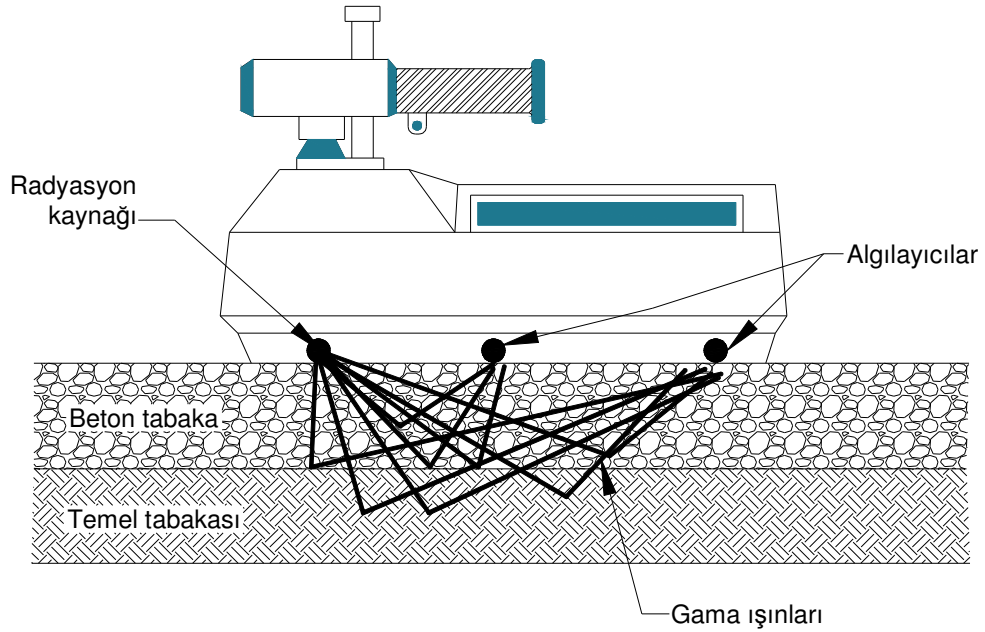
Radyoaktif yöntemle beton yoğunluğu tayini

Beton bloklar üzerinde 6 farklı bölge üzerinde 2,5 cm, 5 cm ve 7,5 cm derinliklerinde 'Radyoaktif Yoğunluk Ölçer' cihazı yardımı ile 28., 90., 210. ve 365. günlerde yoğunluk ölçümleri yapılmıştır (Resim 3.3). Cihaz Sezyum-137 radyoaktif elementinden yayılan gama ışınları aracılığı ile yoğunluk ölçümü yapmaktadır (Şekil 3.4). Deney ASTM C1040-93 "Standard Test Methods for Density of Unhardened and Hardened Concrete In Place By Nuclear Methods" standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir (144).

Deney sonucunda elde edilen radyoaktif yöntemle beton yoğunluğu değerleri üç faktörlü tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniği ile değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizinde zaman faktörünün dört seviyesi (28., 90., 210. ve 365. gün), derinlik faktörünün üç seviyesi (2,5, 5 ve 7,5 cm), kalıp faktörünün ise üç seviyesi (K0, K1, K2) bulunmaktadır. Tekrarlanan ölçümler her üç faktörün seviyelerinde de yapılmaktadır (143).



Resim 3.3. Radyoaktif yoğunluk ölçer ile beton yoğunluğunun tayini deneyi



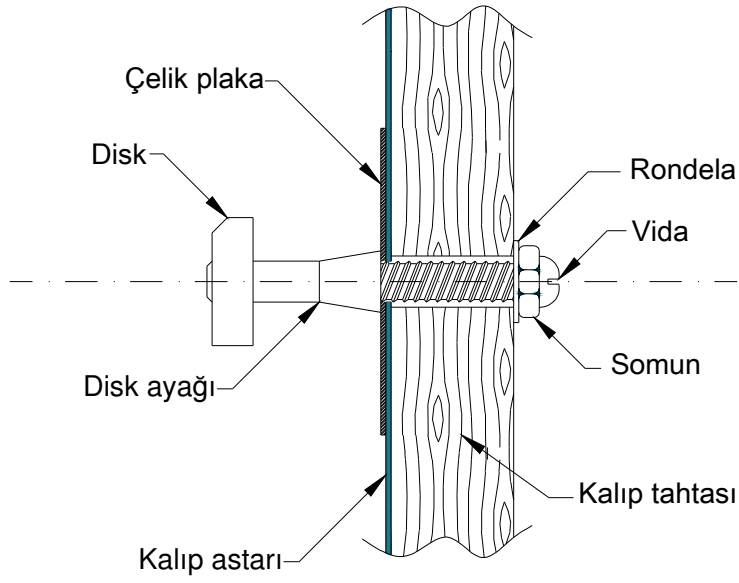
Şekil 3.4. Radyoaktif yoğunluk ölçümü

Yüzeyde kopma dayanımı tayini (Pull-out)

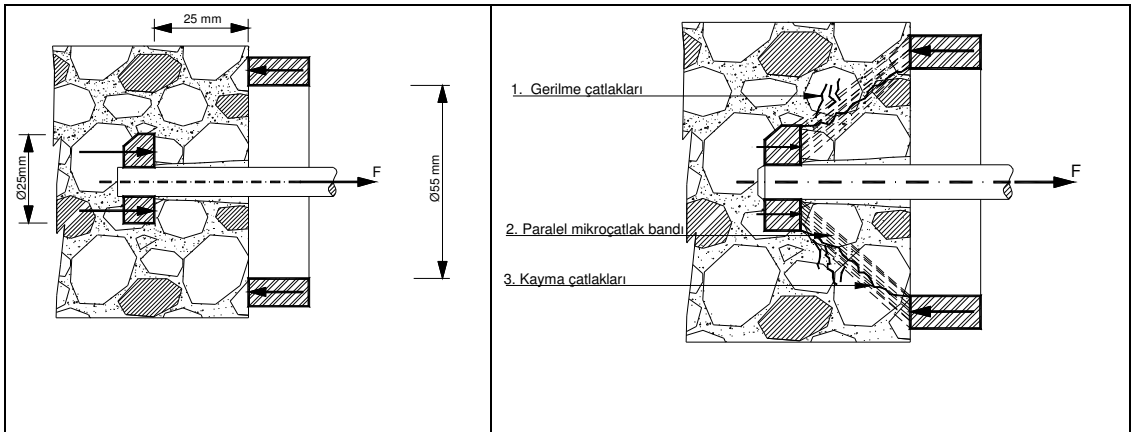
Beton dökülmeden önce kalıp yüzeylerine yerleştirilen diskler (Resim 3.4, Şekil 3.5) beton döküm işleminden sonra 28. ve 90. günlerde beton bloklar üzerinde 6 farklı noktadan çekilerek çıkartılmış ve betonun yüzeyde kopma dayanımı değerleri belirlenmiştir. Deney ASTM C900-99 “Standart Test Method for Pullout Strength of Hardened Concrete” standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.6, Resim 3.5) (145).



Resim 3.4. Kalıp yüzeylerine yerleştirilen diskler



Şekil 3.5. Disklerin kalıp yüzeyine montajı



Şekil 3.6. Yüzeyde kopma dayanımı deneyi şematik gösterimi

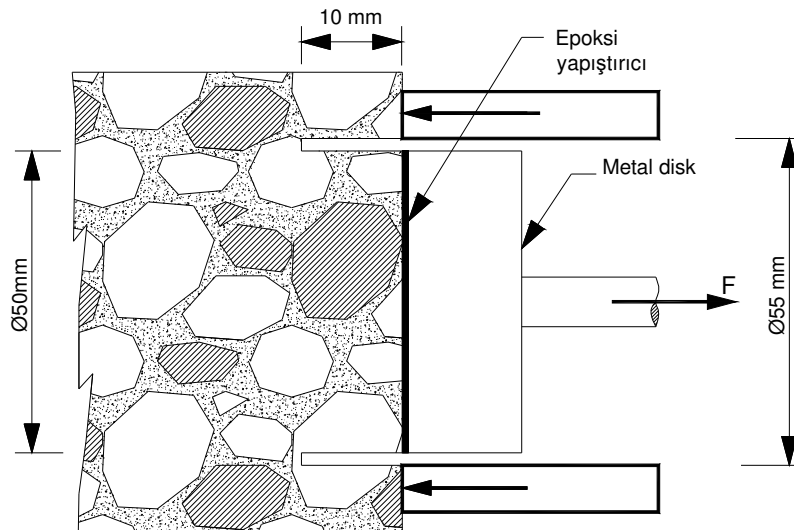


Resim 3.5. Beton bloklar üzerinde yüzeyde kopma dayanımı deneyinin yapılışı

Deney sonucunda elde edilen yüzeyde kopma dayanımı (pull-out) değerleri iki faktörlü tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniği ile değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizinde, zaman faktörünün iki seviyesi (28. ve 90. gün), kalıp faktörünün ise üç seviyesi (K0, K1, K2) bulunmaktadır. Tekrarlanan ölçümler her iki faktörün seviyelerinde de gerçekleştirilmiştir (143).

Betonun doğrudan çekme dayanımı tayini (Pull-off)

Betonun doğrudan çekme dayanımı Şekil 3.7'deki gibi beton yüzeyine yaklaşık 2 mm kalınlığında sürülen çift komponentli epoksi ile yapıştırılan metal diskin çekilmesi ile belirlenmiştir. Deney beton döküm işleminden sonra 28., 90., 210. ve 365. günlerde beton bloklar üzerinde 6 farklı noktadan ASTM C1583-04 "Standard Test Method for Tensile Strength of Concrete Surfaces and the Bond Strength or Tensile Strength of Concrete Repair and Overlay Materials by Direct Tension (Pull-off Method)" standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır (Resim 3.6) (146).



Şekil 3.7. Doğrudan çekme dayanımı deneyi şematik görüntüsü

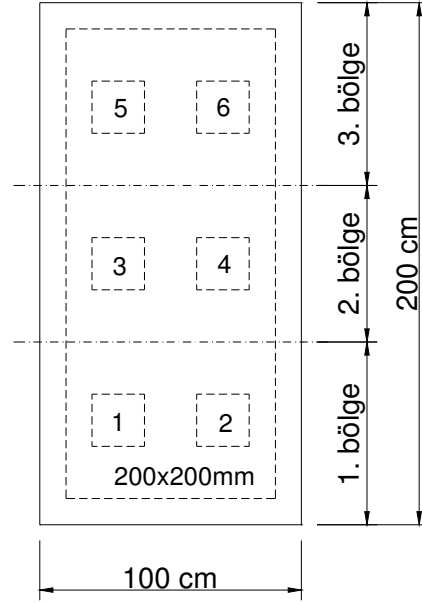


Resim 3.6. Doğrudan çekme dayanımı deneyi yapılışı

Deney sonucunda elde edilen betonun doğrudan çekme dayanımı (pull-off) değerleri iki faktörlü tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniği ile değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizinde zaman faktörünün dört seviyesi (28., 90., 210. ve 365. gün), kalıp faktörünün ise üç seviyesi (K0, K1, K2) bulunmaktadır. Tekrarlanan ölçümler her iki faktörün seviyelerinde de gerçekleştirilmiştir (143).

Yüzeyde hava boşluğu miktarı tayini deneyi

28 günlük kür işleminden sonra beton blok yüzeyinde 6 bölgede 200x200 mm'lik alanda uygulanmıştır (Şekil 3.8). Beton yüzeyinde bulunan hava boşlukları şeffaf kağıtlar üzerine kopya edilmiştir (90). Kopya edilen şeffaf kağıtlar tarayıcı yardımı ile taranarak dijitalleştirilmiştir. Corel Photo Paint programı kullanılarak "Raster Image Analizi" yapılmıştır. Analiz sonucunda beton yüzeyindeki boşluk miktarı % olarak hesaplanmış ve istatistiki değerlendirmeler bu veriler üzerinden gerçekleştirilmiştir.

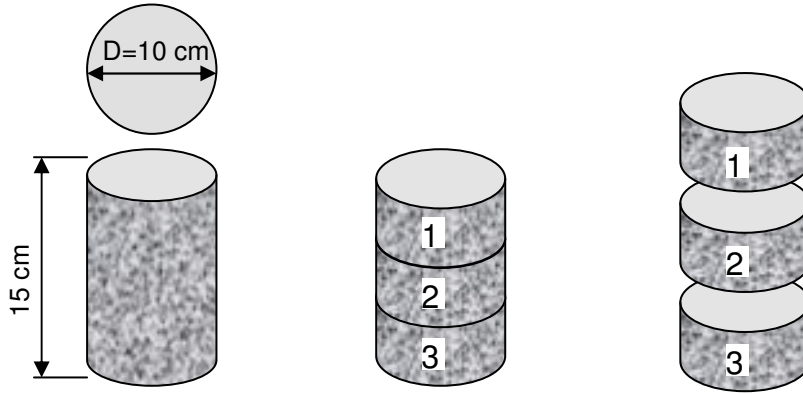


Şekil 3.8. Beton blok yüzeyinde hava boşluğu ölçüm bölgeleri

Analiz sonuçunda elde edilen yüzeyde hava boşluk miktarı değeri tek faktörlü tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniğı ile değeriendirilmiştir. Gerçekleştirilen tek faktörlü tekrarlanan ölçümlü varyans analizinde kalıp faktörünün üç seviyesi (K0, K1, K2) bulunmaktadır (143).

3.2.4. Beton bloklardan alınan karot numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneyler

Alınan karot numuneler; 15 cm kalınlığındaki beton bloklarda, pas payı derinliğindeki beton ile beton bloğun gövdesini oluşturan orta kısmı arasındaki fiziksel özelliklerin farklılıklarının gözlenebilmesi için sulu taş kesme makinesi ile kesilerek 10 cm çap ve 5 cm derinlikte karot numuneler elde edilmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Deney numunesi üretimi (1: üst numune, 2: orta numune, 3: alt numune)

Beton bloklardan alınan 10 cm çap ve 15 cm boyundaki karot numuneler üzerinde;

- ✓ Basınç dayanımı tayini,
 - ✓ Statik elastisite modülü ve poisson oranı tayini,
 - ✓ Ultrases geçiş hızı tayini,
 - ✓ Karbonatlaşma derinliği tayini
- deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Karot numunelerden üretilen 10 cm çap ve 5 cm boyundaki diğer numuneler üzerinde ise;

- ✓ Yarmada çekme dayanımı tayini,
 - ✓ Birim hacim kütlesi tayini,
 - ✓ Görünür boşluk oranı tayini,
 - ✓ Kapiler su emme miktarı tayini,
 - ✓ Aşınma dayanımı tayini
- deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Basınç dayanımı tayini

Beton bloklar üzerinden 28., 90. ve 365. günlerde üç bölgede ikişer adet olmak üzere her beton bloktan 6 adet ve toplamda 54 adet karot numune alınmıştır. Basınç dayanımı deneyi, karot numuneler üzerinde TS EN 12390-3 “Sertleşmiş beton numunelerinde basınç dayanımı tayini” standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir (147). Deneyde, 3000 kN yükleme kapasiteli, dijital kumanda üniteli ve yükleme hızı ayarlanabilen tek eksenli beton basınç test cihazı kullanılmıştır. Beton numunelerin yük altındaki boyuna ve enine deformasyonlarını belirlemek için komparatör düzeneği takılarak data logger ile 1 saniye aralıklarla yük, boyuna deformasyon ve enine deformasyon değerleri eş zamanlı olarak kayıt edilmiştir. Yük okumaları 200 ton kapasiteli yük hücresi kullanılarak ölçülmüştür (Resim 3.7). Kırılan karot numunelerin basınç dayanımlarının hesaplanmasında Eş. 3.1 kullanılmıştır.

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad [3.1]$$

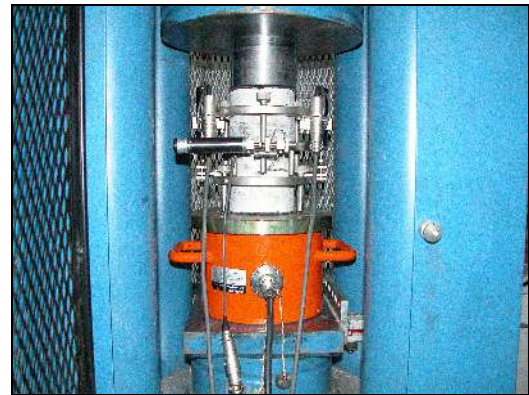
Formülde;

f_c = Basınç dayanımı, MPa

F = Kırılma anında ulaşılan en büyük yük, N

A_c = Numunenin en kesit alanı, mm²

ifade etmektedir.



Resim 3.7. Deformasyon kontrollü beton basınç dayanımı deneyi

Deney sonucunda elde edilen beton basınç dayanımı değerleri iki faktörlü tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniği ile değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizinde zaman faktörünün üç seviyesi (28., 90., ve 365. gün), kalıp faktörünün de üç seviyesi (K0, K1, K2) bulunmaktadır. Tekrarlanan ölçümler her iki faktörün seviyelerinde de gerçekleştirilmiştir (143).

Statik elastisite modülü ve poisson oranı tayini

Beton basınç dayanımı tayin edilirken kaydedilen boyuna ve enine deformasyon değerlerinden yararlanılarak TS 3502 “Betonda Statik Elastisite Modülü ve Poisson Oranı Tayini” Standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir (148). Statik elastisite modülünün hesaplanmasında Sekant yöntemi kullanılmıştır. Gerilme-birim deformasyon ($\sigma - \epsilon$) grafiği üzerinde bir ucu 0 noktasında olan diğer ucu ise betonun maksimum gerilme değerinin %50’sine karşılık gelen gerilme değerinde olan doğrunun oluşturduğu eğim elastisite modülünün hesaplanmasında kullanılmıştır (18).

Elastisite modülünün hesaplanmasında Eş 3.2 kullanılmıştır.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad [3.2]$$

Formülde;

E= Elastisite modülü, MPa

σ = Gerilme, MPa

ϵ = Birim deformasyonu

ifade etmektedir.

Poisson oranının hesaplanmasında ise Eş.3.3 kullanılmıştır.

$$\mu = \frac{\epsilon_y}{\epsilon_x} \quad [3.3]$$

Formülde;

μ = Poisson oranı,

ε_y = Eksenel yük nedeniyle oluşan yanal birim deformasyonu,

ε_e = Eksenel yük nedeniyle oluşan eksenel birim deformasyonu

ifade etmektedir.

Deney sonucunda elde edilen statik elastisite modülü ve poisson oranı değerleri iki faktörlü tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniği ile değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizinde zaman faktörünün üç seviyesi (28., 90., ve 365. gün), kalıp faktörünün de üç seviyesi (K0, K1, K2) bulunmaktadır. Tekrarlanan ölçümler her iki faktörün seviyelerinde de yapılmaktadır (143).

Yarmada çekme dayanımı tayini

Yarmada çekme dayanımı deneyi, beton bloklardan 365. gün sonunda alınan karot numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Her beton bloktan 6 adet karot numune alınmıştır. Alınan karotlar üçe bölünmüş ve Şekil 3.10'da gösterilen 1 (üst) ve 2 (orta) nolu numuneler üzerinde deney gerçekleştirilmiştir. Deney TS EN 12390-6 "Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini" standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır (Resim 3.9) (149).

Yarmada çekme dayanımının hesaplanmasında Eş.3.4 kullanılmıştır.

$$f_{ct} = \frac{2.F}{\pi.L.d} \quad [3.4]$$

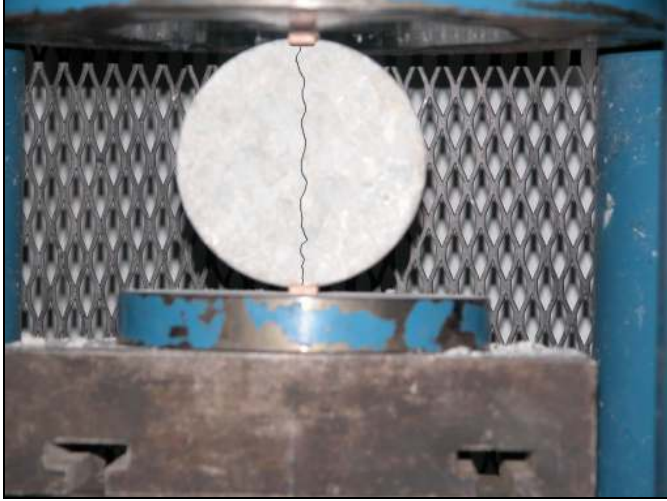
Formülde;

f_{ct} = Yarmada çekme dayanımı, MPa

F = En büyük yük, N

L = Numunenin yükleme parçasına temas çizgisi uzunluğu, mm

d= Numunenin seçilen en kesit boyutlarını, mm ifade etmektedir.



Resim 3.8. Yarmada çekme dayanımı deneyi

Deney sonucunda elde edilen yarmada çekme dayanımı değerleri iki faktörlü tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniği ile değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizinde numune faktörünün iki seviyesi (üst-orta), kalıp faktörünün ise üç seviyesi (K0, K1, K2) bulunmaktadır. Tekrarlanan ölçümler her iki faktörün seviyelerinde de yapılmaktadır (143).

Beton yoğunluğunun tayini

Beton yoğunluğunun tayini deneyi, alınan karot numunelerden üretilen 10 cm çaplı ve 5 cm kalınlığında

Şekil 3.9'da gösterilen 1 (üst) ve 2 (orta) nolu numuneler üzerinde TS 12390-7 "Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini" standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Betonların yoğunluk değerlerinin hesaplanmasında Eş. 3.5 kullanılmıştır (150).

$$D = \frac{m}{V}$$

[3.5]

Formülde;

D = Numunenin yoğunluğu, gr/cm³,

m = Numunenin, deney esnasındaki durumuna bağlı kütlesi, gr,

V = Numunenin özel metotla tayin edilen hacmi, cm³

ifade etmektedir.

Deney sonucunda elde edilen beton yoğunluğu değerleri üç faktörlü tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniği ile değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizinde zaman faktörünün üç seviyesi (28., 90., ve 365. gün), numune faktörünün iki seviyesi (üst, orta), kalıp faktörünün ise üç seviyesi (K0, K1, K2) bulunmaktadır. Tekrarlanan ölçümler her üç faktörün seviyelerinde de yapılmaktadır (143).

Görünür boşluk oranı tayini

Görünür boşluk oranı tayini deneyi beton bloklardan alınan karot numunelerden üretilen

Şekil 3.9'da gösterilen 1 (üst) ve 2 (orta) nolu numuneler üzerinde TS 3624 "Sertleşmiş Betonda Özgül Ağırlık Su Emme ve Boşluk Oranı Tayin Metodu" standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Boşluk oranının hesaplanmasında Eş. 3.6 kullanılmıştır (151).

$$B_0 = \frac{C - A}{C - D} \cdot 100 \quad [3.6]$$

Formülde;

B_0 = Görünür boşluk oranı, %

C = Kaynatmadan sonraki doymuş kuru yüzey ağırlığı, gr

A = Etüv kurusu ağırlığı, gr

D = Kaynatmadan sonraki sudaki ağırlığı, gr

ifade etmektedir.

Deney sonucunda elde edilen görünür boşluk yüzdesi değerleri üç faktörlü tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniği ile değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizinde zaman faktörünün üç seviyesi (28., 90., ve 365. gün), numune faktörünün iki seviyesi (üst, orta), kalıp faktörünün ise üç seviyesi (K0, K1, K2) bulunmaktadır. Tekrarlanan ölçümler her üç faktörün seviyelerinde de yapılmaktadır (143).

Ultrases geçiş hızı tayini

Beton numunelerde ultrases geçiş hızı ölçümü; numunelerin kalıpla temas eden yüzeylerine dik doğrultuda yapılmıştır. Numune, verici ve alıcı uçların arasına yerleştirilmiş ve örnek boyunca ultrases geçiş süresi mikro saniye cinsinden ölçülmüştür. Deney her bir kalıp içi 6 adet olmak üzere, 28., 90. ve 365. günlerde beton presinde kırılacak olan numuneler üzerinde ASTM C597-83 “Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete”, standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır (152).

Beton örneklerinden ultrases geçiş hızı (V) hesaplanmasında Eş. 3.7 kullanılmıştır.

$$V = \frac{L}{t} \quad [3.7]$$

Formülde;

V= Ultrases geçiş hızı, km/sn

L= Numune boyu, km

t= Numune boyunca ultrases geçiş süresini, sn

ifade etmektedir.

Deney sonucunda elde edilen ultrases geçiş hızı değerleri iki faktörlü tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniği ile değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizinde zaman faktörünün üç seviyesi (28., 90. ve 365.gün), kalıp faktörünün de üç seviyesi (K0, K1, K2) bulunmaktadır. Tekrarlanan ölçümler her iki faktörün seviyelerinde de yapılmaktadır (143).

Karbonatlaşma derinliği tayini

Beton bloklardan 365. günde her bir kalıp için 6 adet alınan karot numuneler üzerinde karbonatlaşma derinliğini tayin edebilmek için basınç deneyine tabi tutulmadan önce karbonatlaşma derinliği ölçümleri yapılmıştır. Karbonatlaşma derinliği ölçümünde bir litre etil alkol içerisinde 1 gr Pheneolphtaleyn'in çözünmesiyle elde edilen çözeltisi kullanılmıştır. Hazırlanan çözelti beton karotlar üzerine püskürtölerek beton yüzeyinden itibaren her bir karot örnek çevresinden 12 adet derinlik ölçümü yapılmıştır. Bu değerlerin ortalaması alınarak her bir karot numune için karbonatlaşma derinliği değerleri belirlenmiştir (153).

Karbonatlaşma derinliği değerleri tek faktörlü tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniği ile değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen tek faktörlü tekrarlanan ölçümlü varyans analizinde kalıp faktörünün üç seviyesi (K0, K1, K2) bulunmaktadır (143).

Kapiler su emme miktarı tayini

Kapiler su emme deneyi

şekil 3.9'da verilen plana uygun olarak 10 cm çapında 15 cm boyunda karot numunelerden kesilerek elde edilmiş olan 10 cm çap ve 5 cm boyundaki şekil 3.9'da gösterilen 1 (üst) ve 2 (orta) nolu numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Numuneler sabit ağırlığa gelinceye kadar 105 °C ±5'de hava sirkülasyonlu etüvde bekletilmiştir. Daha sonra numuneler 5 mm batacak şekilde saf su içerisine yerleştirilmiş ve 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420 dk lık sürelerde, numunelerin yüzeylerindeki serbest su nemli bir bez ile alınarak, 0,01 gr hassasiyetle tartılarak kütle artışları belirlenmiştir. Numunelerin başlangıçtaki ağırlıklarına göre, ağırlık farkları hesaplanarak kapiler su emme değerleri belirlenmiştir. Kapilarite katsayılarının hesaplanmasında Eş. 3.8 kullanılmıştır. Deneyin gerçekleştirilmesinde TS 4045, “Yapı Malzemelerinde Kapiler Su Emme Tayini” standardında belirtilen esaslara uyulmuştur (Resim 3.9) (154).

$$K = \frac{Q^2}{A^2 \cdot t} \quad [3.8]$$

Formülde;

K= Kapilarite katsayısı, cm²/sn

Q= Kılcallık yoluyla emilen su miktarı, cm³

A= Suyla temas eden alan, cm²

t = Kılcal su emmenin tamamlandığı zamanı, sn

ifade etmektedir.



Resim 3.9. Kapiler su emme deneyi

Deney sonucunda elde edilen kapilarite katsayısı değerleri üç faktörlü tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniği ile değerlendirilmiştir. Analizi gerçekleştirilen datalar 10^{-6} sabit değerine bölünerek matematiksel işlemler kolaylaştırılmıştır. Gerçekleştirilen varyans analizinde zaman faktörünün üç seviyesi (28., 90., ve 365. gün), numune faktörünün iki seviyesi (üst, orta), kalıp faktörünün ise üç seviyesi (K0, K1, K2) bulunmaktadır. Tekrarlanan ölçümler her üç faktörün seviyelerinde de yapılmaktadır (143).

Aşınma dayanımı tayini deneyi

Aşınma dayanımı deneyi 365. günde beton bloklardan alınan karot numunelerden elde edilen

Şekil 3.9'da gösterilen 1 (üst) ve 2 (orta) nolu numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Herbir kalıp için 6 adet üst ve 6 adet orta olmak üzere 12 adet numune kullanılmıştır. Deney ASTM C 944-99 "Standard test method for abrasion resistance of concrete or mortar surfaces by the rotating-cutter method" standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir (155). Numuneler 197 N'luk kuvvet oluşacak şekilde ağırlık altında 200 devir/dakika hızında dönen aşındırıcılara 6 dakika boyunca maruz bırakılmıştır (Resim 3.10). Deney sonunda numunelerdeki kütlece ağırlık kayıpları ölçülerek sonuçlar "% ağırlık kaybı" olarak hesaplanmıştır.



Resim 3.10. Aşınma dayanımı deney cihazı ve aşındırma aparatı

Deney sonucunda elde edilen aşınma dayanımı değerleri iki faktörlü tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniği ile değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizinde numune faktörünün iki seviyesi (üst, orta), kalıp faktörünün ise üç seviyesi (K0, K1, K2) bulunmaktadır. Tekrarlanan ölçümler her iki faktörün seviyelerinde de yapılmaktadır (143).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Schmidt Çekici ile Yüzey Sertliği

Schmidt çekici ile yüzey sertliği deneyi sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.1'de verilmiştir. Analize tabi tutulan verilerin dağılımını gösteren kutu grafik ise Şekil 4.1'de görülmektedir.

Zaman faktörünün dört seviyesi (28., 90., 210. ve 365. gün), kalıp faktörünün ise üç seviyesinde (K0, K1, K2) gerçekleştirilen tekrarlanan ölçümlü varyans analizi sonucunda, Zaman*Kalıp interaksiyonu istatistik olarak önemli bulunmuştur ($P<0,01$) (Çizelge 4.2). Yüzey sertliği değerlerinde kalıplar arasında gözlenen farkların deneyin yapıldığı zamana yani betonun yaşına bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Bundan dolayı kalıp faktörünün seviyeleri karşılaştırılırken, zaman faktörünün herbir seviyesinde ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Benzer şekilde zaman faktörünün seviyeleri karşılaştırılırken, kalıp faktörünün herbir seviyesinde ayrı ayrı karşılaştırmalar gerçekleştirilmiştir.

Ortalamalar arasındaki farkın belirlenmesinde çoklu karşılaştırma yöntemlerinden Duncan testi kullanılmıştır (Çizelge 4.3). Ayrıca ortalama yüzey sertliği değerlerine ait grafik Şekil 4.2'de görülmektedir.

Çizelge 4.1. Yüzey sertliği verilerine ait açıklayıcı istatistikler

Beton Yaşı	Kalıp kodu	N	Ortalama (R)	Std.Hata	Minimum	Maksimum
28. gün	K0 (Referans)	150	26,63	0,23	22	34
	K1 (Zemdrain)	150	33,71	0,17	28	39
	K2 (SB-20)	150	33,51	0,17	29	38
90. gün	K0 (Referans)	150	30,06	0,16	25	36
	K1 (Zemdrain)	150	35,19	0,22	30	42
	K2 (SB-20)	150	33,81	0,20	30	39
210. gün	K0 (Referans)	150	34,71	0,11	32	38
	K1 (Zemdrain)	150	36,60	0,21	32	42
	K2 (SB-20)	150	36,17	0,17	32	42
365. gün	K0 (Referans)	150	36,69	0,14	34	40
	K1 (Zemdrain)	150	39,67	0,29	33	48
	K2 (SB-20)	150	38,01	0,24	32	45

Çizelge 4.2. Yüzey sertliği verilerine ait varyans çözümleme tablosu

Varyansın Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-testi	Anlamlılık düzeyi (p)
Genel	1799	60728,364	~	~	~
Gruplar arası	149	953,698	6,401	~	~
Gruplar içi	1650	29887,333	~	~	~
Zaman'lar arası	3	12337,258	4112,419	751,101	0,000
Hata (Zaman)	447	2447,409	5,475	~	~
Kalıp'lar arası	2	6055,281	3027,641	415,672	0,000
Hata (Kalıp)	298	2170,552	7,284	~	~
Zaman*Kalıp İnteraksiyonu	6	1894,879	315,813	56,672	0,000
Hata (Zaman*Kalıp)	894	4981,954	5,573	~	~

Çizelge 4.3. Yüzey sertliği verilerine ait Duncan testi sonuçları

Kalıp kodu	Beton Yaşı (gün)			
	28.	90.	210.	365.
K0 (Referans)	26,63 Bd	30,06 Cc	34,71 Bb	36,69 Ca
K1 (Zemdrain)	33,71 Ad	35,19 Ac	36,60 Ab	39,67 Aa
K2 (SB 20)	33,51 Ac	33,81 Bc	36,17 Ab	38,01 Ba

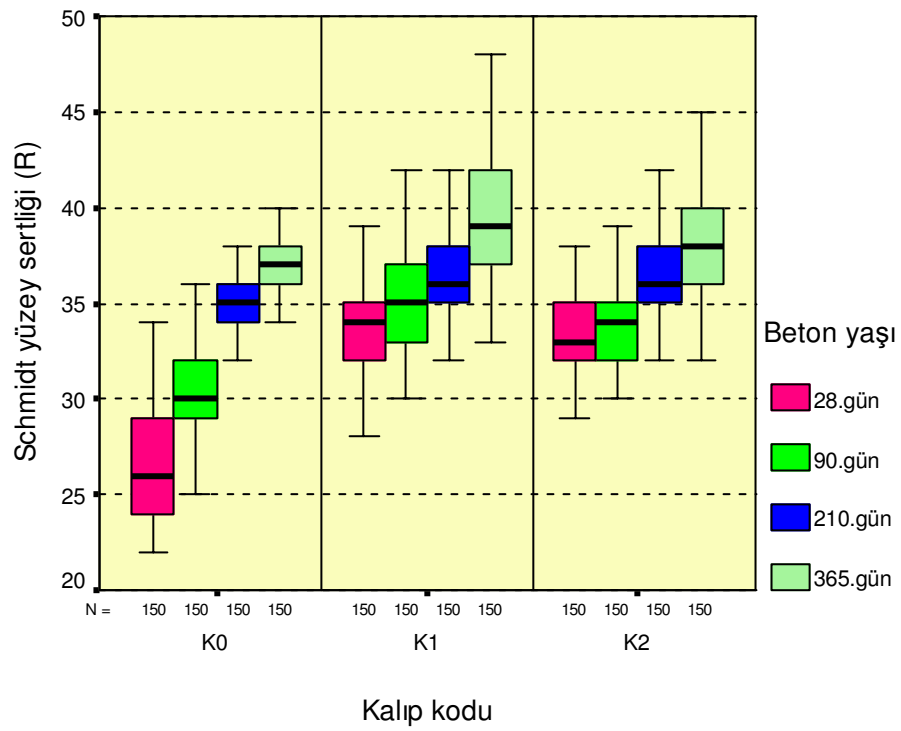
Not : 1. Her bir zamanda farklı büyük harflerle gösterilen grup ortalamaları arasındaki farklar istatistik olarak önemlidir.

2. Her bir kalıpta farklı küçük harflerle gösterilen grup ortalamaları arasındaki farklar istatistik olarak önemlidir.

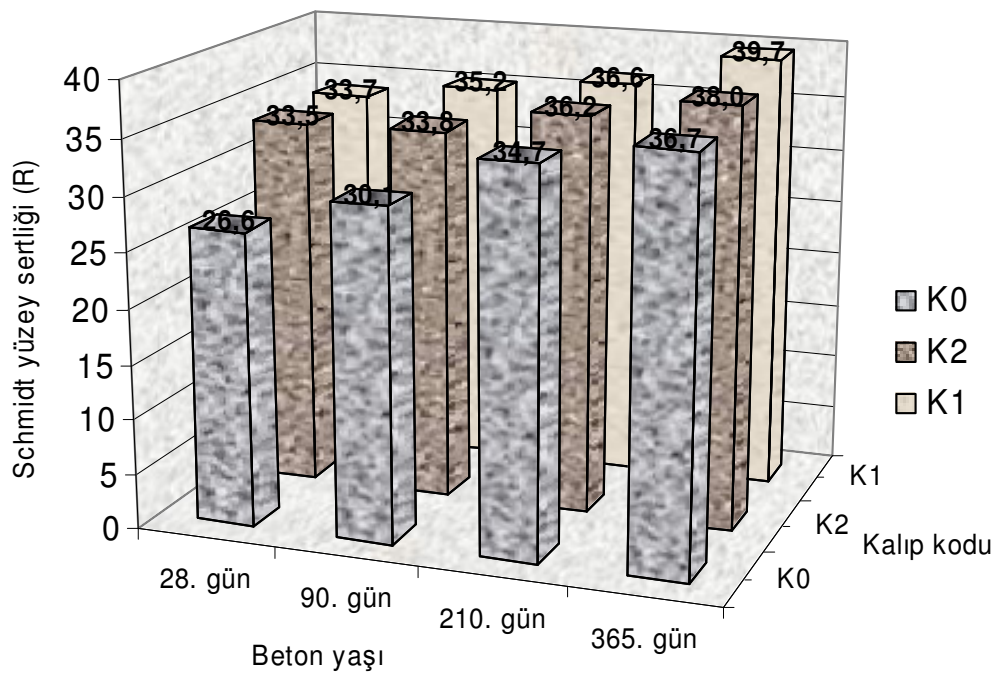
Gerçekleştirilen Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre Schmidt yüzey sertliği değerleri bakımından;

- ✓ 28. ve 210. günlerde astarlı K1 ve K2 kalıbının birbirinden farksız, astarsız K0 kalıbından ise farklı olduğu,
- ✓ 90. ve 365. günlerde bütün kalıpların birbirinden farklı olduğu,
- ✓ Deneyin gerçekleştirildiği bütün zaman aralıklarında astarsız K0 kalıbının en küçük ortalama yüzey sertliğine sahip olduğu,
- ✓ Bütün zaman aralıklarında astarlı K1 kalıbının en büyük ortalama yüzey sertliğine sahip olduğu,
- ✓ Astarlı K1 kalıbı astarsız K0 kalıbından, 28.günde %21, 90. günde %15, 210. günde %5, 365. günde ise %8 daha büyük ortalama yüzey sertliği değerlerine sahip olduğu,
- ✓ Bütün kalıplarda yüzey sertliği değerlerinin zamana bağlı olarak arttığı,
- ✓ Farklı zaman aralıklarında gerçekleştirilen yüzey sertliği okumalarına ait ortalamaların birbirinden farklı olduğu,
- ✓ 365. gün sonunda yüzey sertliği değerlerinin 28. güne göre, astarsız K0 kalıbında %37, astarlı K1 kalıbında %17, astarlı K2 kalıbında ise %13 oranında arttığı

görülmüştür.



Şekil 4.1. Yüzey sertliği verileri kutu grafiği

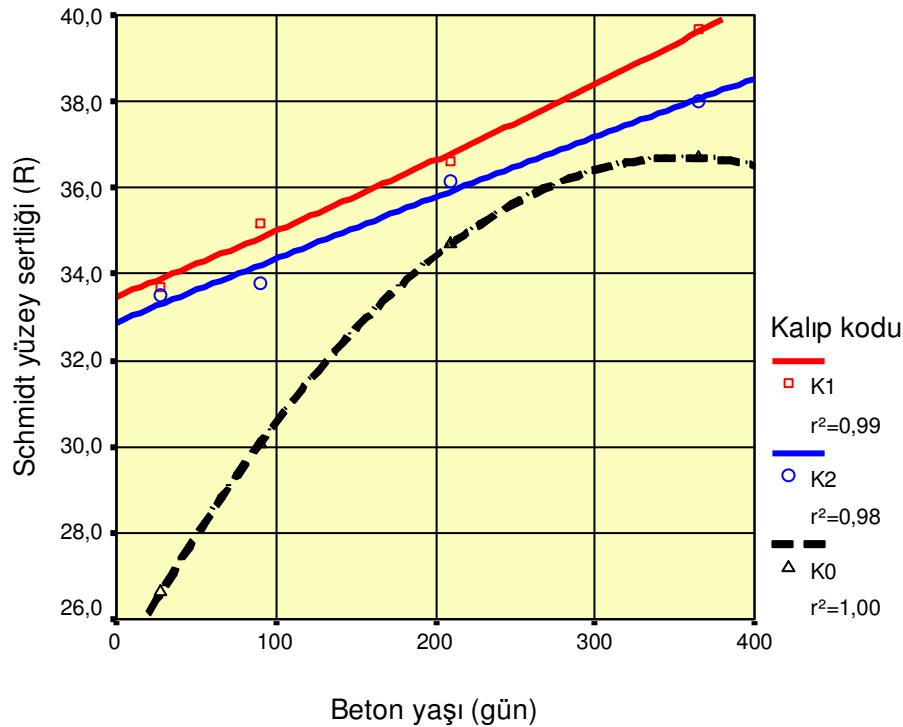


Şekil 4.2. Ortalama yüzey sertliği verileri çubuk grafiği

Yüzey sertliği değerlerinin zamana bağlı olarak değişimini belirlemek amacıyla yüzey sertliği ile beton yaşı arasında regrasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen regrasyon analizi sonucunda yüzey sertliği-beton yaşı arasındaki ilişki ikinci dereceden $Y = b_0 + b_1X + b_2X^2$ model denklemi ile açıklanabilmektedir. Kalıp türlerine göre oluşturulan regrasyon modellerine ilişkin istatistikler Çizelge 4.4’de, regrasyon eğrilerini gösteren grafik ise Şekil 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Yüzey sertliği-beton yaşı arasındaki ilişkiyi gösteren regrasyon modelleri

Kalıp kodu	Regrasyon katsayısı (r^2)	Regrasyon denklemi	Anlamlılık düzeyi (p)
K0 (Referans)	1,00	$Y = 24,8298 + (0,0667)X - 9,10^{-5} X^2$	0,01
K1 (Zemdrain)	0,99	$Y = 33,4859 + (0,0145)X + 6,3 \cdot 10^{-6} X^2$	0,01
K2 (SB-20)	0,98	$Y = 32,8788 + (0,0150)X - 2 \cdot 10^{-6} X^2$	0,01



Şekil 4.3. Yüzey sertliği ve beton yaşı arasındaki ilişkiye ait regrasyon grafiği

4.2. Radyoaktif Yöntemle Beton Yoğunluğu

Radyoaktif yöntemle beton yoğunluğu deneyi sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.5'te verilmiştir. Zaman faktörünün dört seviyesi (28., 90., 210. ve 365. gün), derinlik faktörünün üç seviyesi (2,5, 5 ve 7,5 cm), kalıp faktörünün ise üç seviyesinde (K0, K1, K2) gerçekleştirilen tekrarlanan ölçümlü varyans analizi sonucunda Zaman*Derinlik*Kalıp interaksiyonunun istatistik olarak önemli olduğu bulunmuştur ($P < 0,01$) (Çizelge 4.6). Radyoaktif yöntemle beton yoğunluğu değerleri bakımından kalıplar arasında gözlenen farkların deneyin yapıldığı zamana ve derinliğe bağlı olarak değiştiği sonucuna varılır. Benzer şekilde, derinlikler arasında gözlenen farkların deneyin yapıldığı zamana ve kalıp türüne, zamanlar arasında gözlenen farklarda denetin yapıldığı derinlik ve kalıp türüne bağlı olarak değişmektedir. Bu durumda çoklu karşılaştırmalar, kalıp faktörünün seviyeleri karşılaştırılırken her bir Zaman*Derinlik kombinasyonunda, zaman faktörünün seviyeleri karşılaştırılırken her bir Derinlik*Kalıp kombinasyonunda, derinlik faktörünün seviyeleri karşılaştırılırken de her bir Zaman*Kalıp kombinasyonunda ayrı ayrı yapılmıştır.

Ortalamalar arasındaki farkın belirlenmesinde çoklu karşılaştırma yöntemlerinden Duncan testi kullanılmıştır (Çizelge 4.7). Ayrıca 28. gündeki ortalama yoğunluk değerlerine ait grafik Şekil 4.4'de, 90. gündeki Şekil 4.5'te, 210. gündeki Şekil 4.6'da ve 365. gündeki ise Şekil 4.7'de görülmektedir.

Çizelge 4.5. Radyoaktif yöntemle yoğunluk verilerine ait açıklayıcı istatistikler

Kalıp Kodu	Beton Yaşı (gün)	Derilik (cm)	N	Ortalama (gr/cm ³)	Std.Hata	Minimum	Maksimum
K0 (Referans)	28.	2,5	6	2,710	0,0162	2,66	2,76
		5	6	2,712	0,0151	2,66	2,77
		7,5	6	2,789	0,0136	2,74	2,84
	90.	2,5	6	2,326	0,0132	2,29	2,38
		5	6	2,331	0,0085	2,30	2,36
		7,5	6	2,347	0,0064	2,32	2,37
	210.	2,5	6	2,333	0,0175	2,26	2,37
		5	6	2,333	0,0151	2,27	2,38
		7,5	6	2,338	0,0138	2,28	2,37
	365.	2,5	6	2,341	0,0086	2,31	2,37
		5	6	2,346	0,0055	2,33	2,36
		7,5	6	2,361	0,0084	2,34	2,40
K1 (Zemdrain)	28.	2,5	6	2,862	0,0110	2,83	2,90
		5	6	2,782	0,0054	2,77	2,80
		7,5	6	2,759	0,0083	2,73	2,78
	90.	2,5	6	2,394	0,0051	2,37	2,41
		5	6	2,389	0,0062	2,37	2,42
		7,5	6	2,382	0,0053	2,36	2,40
	210.	2,5	6	2,364	0,0051	2,35	2,39
		5	6	2,360	0,0066	2,34	2,38
		7,5	6	2,358	0,0062	2,34	2,37
	365.	2,5	6	2,389	0,0089	2,35	2,42
		5	6	2,372	0,0093	2,34	2,40
		7,5	6	2,363	0,0067	2,33	2,38
K2 (SB-20)	28.	2,5	6	2,790	0,0126	2,75	2,83
		5	6	2,724	0,0138	2,66	2,75
		7,5	6	2,698	0,0101	2,66	2,72
	90.	2,5	6	2,351	0,0157	2,29	2,39
		5	6	2,339	0,0162	2,28	2,38
		7,5	6	2,333	0,0144	2,29	2,37
	210.	2,5	6	2,348	0,0147	2,30	2,39
		5	6	2,346	0,0108	2,31	2,38
		7,5	6	2,339	0,0084	2,31	2,37
	365.	2,5	6	2,353	0,0171	2,30	2,40
		5	6	2,346	0,0105	2,31	2,38
		7,5	6	2,344	0,0140	2,29	2,39

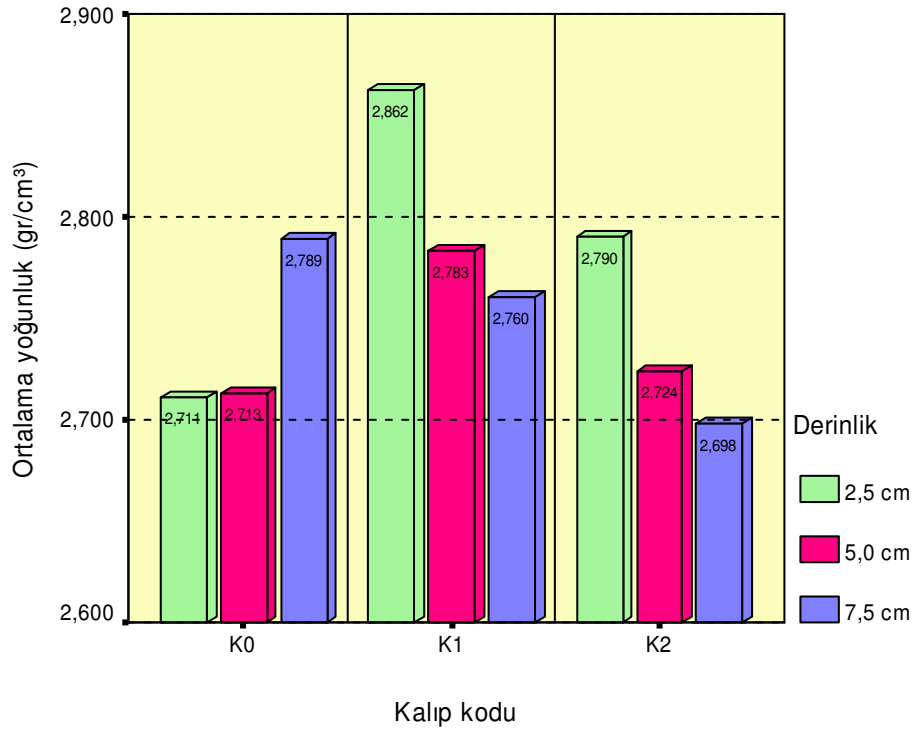
Çizelge 4.6. Radyoaktif yöntemle yoğunluk verilerine ait varyans çözümleme tablosu

Varyansın Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-testi	Anlamlılık düzeyi (p)
Genel	215	6,99092	~	~	~
Gruplar arası	5	0,00669	0,00133	~	~
Gruplar içi	210	6,98395	~	~	~
Zaman'lar arası	3	6,66400	2,22100	1464,709	0,000
Hata (Zaman)	15	0,02275	0,00152	~	
Derinlik'ler arası	2	0,00933	0,00467	35,154	0,000
Hata (Derinlik)	10	0,00133	0,00013	~	~
Kalıp'lar arası	2	0,07864	0,03932	7,454	0,010
Hata (Kalıp)	10	0,05275	0,00528	~	~
Zaman*Derinlik İnteraksiyonu	6	0,01466	0,00244	12,639	0,000
Hata (Zaman*Derinlik)	30	0,00580	0,00019	~	~
Zaman*Kalıp İnteraksiyonu	6	0,01551	0,00259	2,028	0,093
Hata (Zaman*Kalıp)	30	0,03823	0,00127	~	~
Derinlik*Kalıp İnteraksiyonu	4	0,03473	0,00868	44,161	0,000
Hata (Derinlik*Kalıp)	20	0,00393	0,00020	~	~
Zaman*Derinlik*Kalıp İnteraks.	12	0,03409	0,00284	20,792	0,000
Hata (Zaman*Derinlik*Kalıp)	60	0,00820	0,00014	~	~

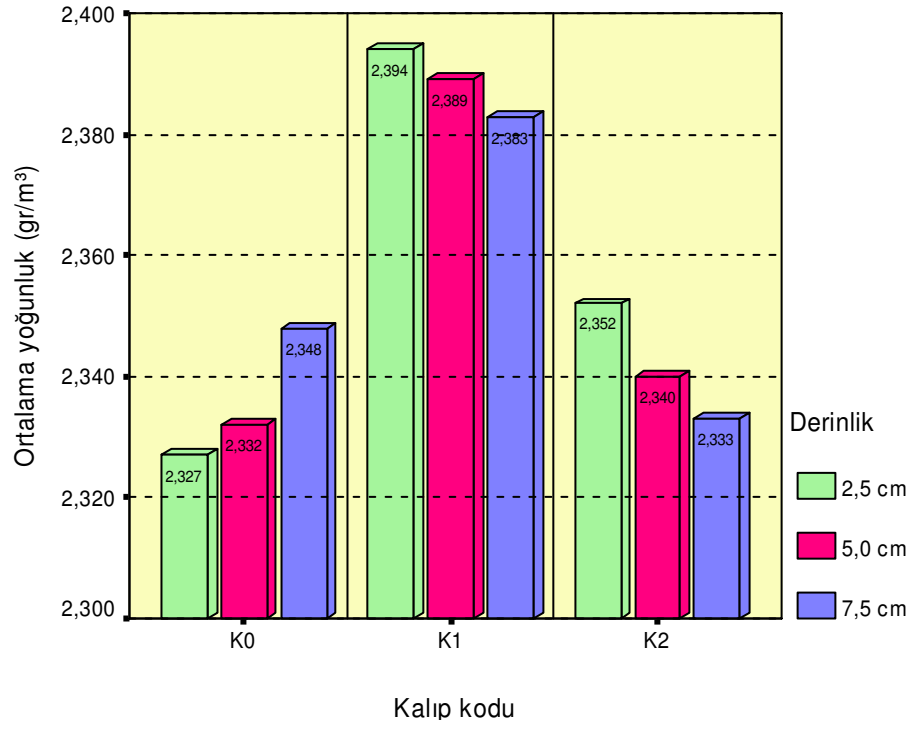
Çizelge 4.7. Radyoaktif yöntemle yoğunluk verilerine ait Duncan testi sonuçları

Kalıp Kodu	Yüzeyden olan derinlik (cm)	Beton Yaşı (gün)			
		28.	90.	210.	365.
K0 (Referans)	2,5	2,710 Ba II	2,326 Bb I	2,333 Ab I	2,341 Bb I
	5	2,712 Ba I	2,331 Bb I	2,333 Ab I	2,346 Bb I
	7,5	2,789 Aa I	2,347 Ab I	2,338 Ab I	2,361 Ab I
K1 (Zemdrain)	2,5	2,862 Aa I	2,394 Ab I	2,364 Ab I	2,389 Ab I
	5	2,782 Ba I	2,389 Ab I	2,360 Ab I	2,372 Bb I
	7,5	2,759 Ca I	2,382 Ab I	2,358 Ab I	2,363 Bb I
K2 (SB-20)	2,5	2,790 Aa I-II	2,351 Ab I	2,348 Ab I	2,353 Ab I
	5	2,724 Ba I	2,339 ABb I	2,346 Ab I	2,346 Ab I
	7,5	2,698 Ca I	2,333 Bb I	2,339 Ab I	2,344 Ab I

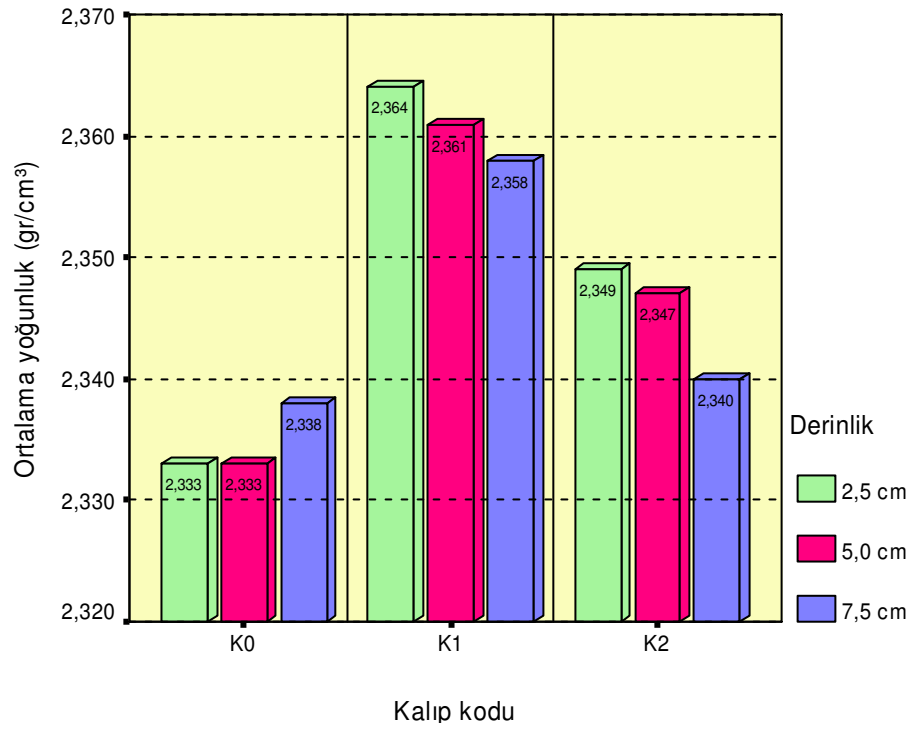
Not : 1. Her bir zaman ve kalıpta farklı büyük harflerle gösterilen grup ortalamaları arasındaki farklar istatistik olarak önemlidir.
 2. Her bir derinlik ve zamanda farklı küçük harflerle gösterilen grup ortalamaları arasındaki farklar istatistik olarak önemlidir.
 3. Her bir kalıp ve derinlikte farklı roma rakamı ile gösterilen grup ortalamaları arasındaki farklar istatistik olarak önemlidir.



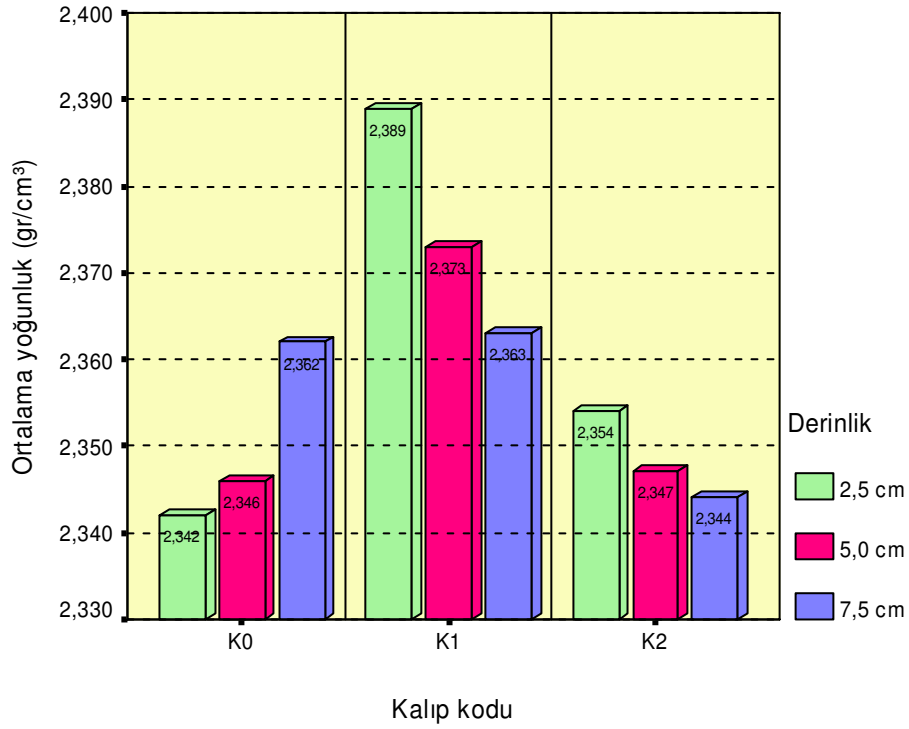
Şekil 4.4. 28. günde ortalama yoğunluk değerlerine ait çubuk grafiği



Şekil 4.5. 90. günde ortalama yoğunluk değerlerine ait çubuk grafiği



Şekil 4.6. 210. günde ortalama yoğunluk değerlerine ait çubuk grafiği



Şekil 4.7. 365. gündeki ortalama yoğunluk değerlerine ait çubuk grafiği

Gerçekleştirilen çoklu karşılaştırma testleri sonucuna göre radyoaktif yöntemle yoğunluk değerleri bakımından;

- ✓ Astarsız K0 kalıbında, 28., 90. ve 365. günlerde derinlikler arasındaki farkın istatistik olarak önemli olduğu,
- ✓ Astarsız K0 kalıbında, deneyin yapıldığı bütün zaman seviyelerinde 7,5 cm derinliğinde en büyük, 2,5 cm derinlikte ise en küçük yoğunluk değerlerine sahip olduğu,
- ✓ Astarsız K0 kalıbına dökülen betonların yoğunluk değerlerinin beton kabuğunda beton iç bölgesine göre daha küçük olduğu,
- ✓ Astarsız K0 kalıbında 28.,90.,210. ve 365. günlerde ölçülen yoğunlukların 7,5 cm derinlikte ölçülen yoğunluk değerlerinin 2,5 cm derinlikte ölçülenlere göre sırasıyla %3,%1,%1 ve %1 oranında daha büyük olduğu,

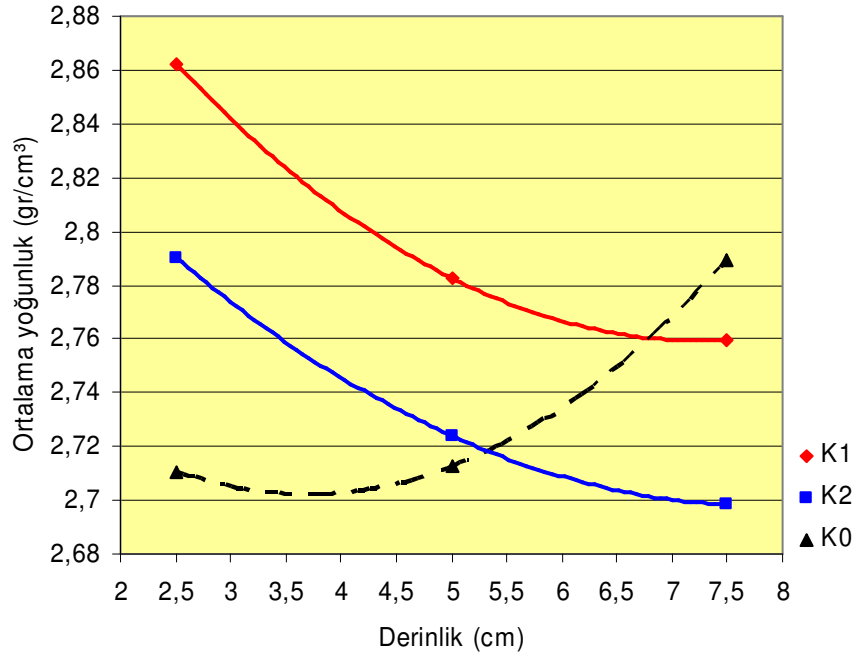
- ✓ Astarlı K1 kalıbında, 28. ve 365. günlerde derinlikler arasındaki farkın istatistik olarak önemli olduğu,
 - ✓ Astarlı K1 kalıbında deneyin yapıldığı bütün zaman seviyelerinde astarsız K0 kalıbının tersine 2,5 cm derinliğinde en büyük, 7,5 cm derinlikte ise en küçük yoğunluk değerlerine sahip olduğu,
 - ✓ Astarlı K2 kalıbında, 28. ve 90. günlerde derinlikler arasındaki farkın istatistik olarak önemli olduğu,
 - ✓ Astarlı K2 kalıbında da deneyin yapıldığı bütün zaman seviyelerinde astarsız K0 kalıbının tersine 2,5 cm derinliğinde en büyük 7,5 cm derinliğinde ise en küçük yoğunluk değerlerine sahip olduğu,
 - ✓ Derinlik faktörünün seviyelerinde kalıplar arasında gerçekleştirilen karşılaştırmalarda 28. günde yoğunluk değerleri arasındaki farkın istatistik olarak önemli olduğu,
 - ✓ Diğer zamanlarda, derinlik faktörünün seviyelerinde kalıplar arasında gerçekleştirilen karşılaştırmalarda istatistik olarak önemli bir fark çıkmasa da astarlı K1 ve K2 kalıplarının astarsız K0 kalıbına göre daha büyük yoğunluk değerlerine sahip olduğu,
 - ✓ Astarlı K1 kalıbının, bütün derinlik seviyelerinde kalıplar arasında en büyük yoğunluk değerlerine sahip olduğu,
 - ✓ Astarlı K1 kalıbının, 28., 90., 210. ve 365. günlerde 2,5 cm derinlikteki yoğunluk değerlerinin, astarsız K0 kalıbına göre sırasıyla %6, %3, %2, %3 oranında daha büyük olduğu,
 - ✓ Astarlı K2 Kalıbının ise 28., 90., 210. ve 365. günlerde 2,5 cm derinlikteki yoğunluk değerlerinin, astarsız K0 kalıbına göre sırasıyla %3, %2, %1, %1 oranında daha büyük olduğu,
- görülmüştür.

Ayrıca her bir zaman aralığında beton yoğunluk değerlerinin beton yüzeyinden olan 2,5, 5 ve 7,5 cm derinliklerdeki değişimini ve bu değişimi temsil eden modeli ortaya koyabilmek için regrasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen regrasyon analizi sonucunda yoğunluk ile derinlik arasındaki ilişki ikinci dereceden $Y = b_0 + b_1X + b_2X^2$ model denklemi ile açıklanabilmektedir.

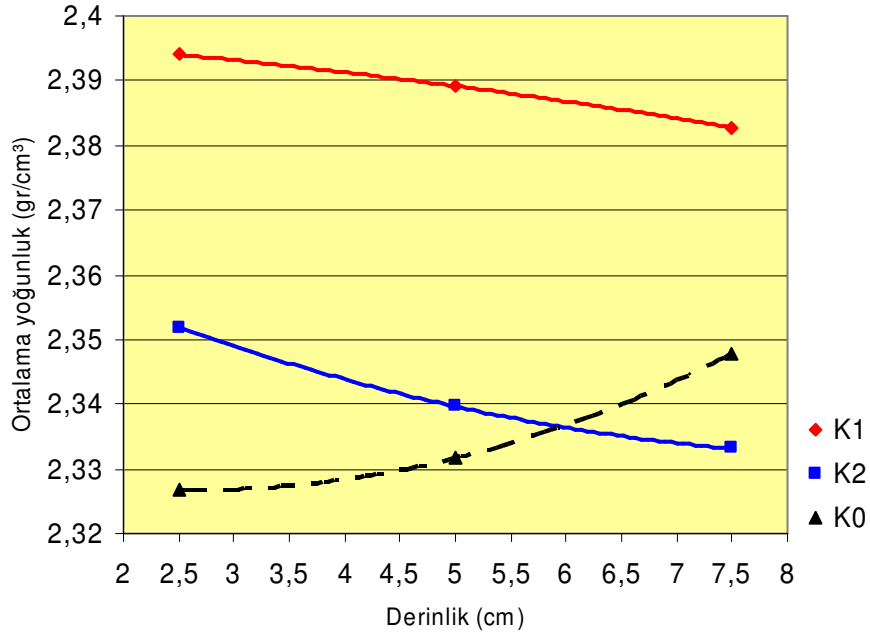
Bütün zaman aralıklarında kalıp türlerine göre oluşturulan regrasyon modellerine ilişkin istatistikler Çizelge 4.9'da, regrasyon eğrilerini gösteren grafikler ise Şekil 4.8 - 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Bütün zaman aralıklarında kalıp türlerine göre yoğunluk-derinlik arasındaki ilişkiyi gösteren regrasyon modelleri

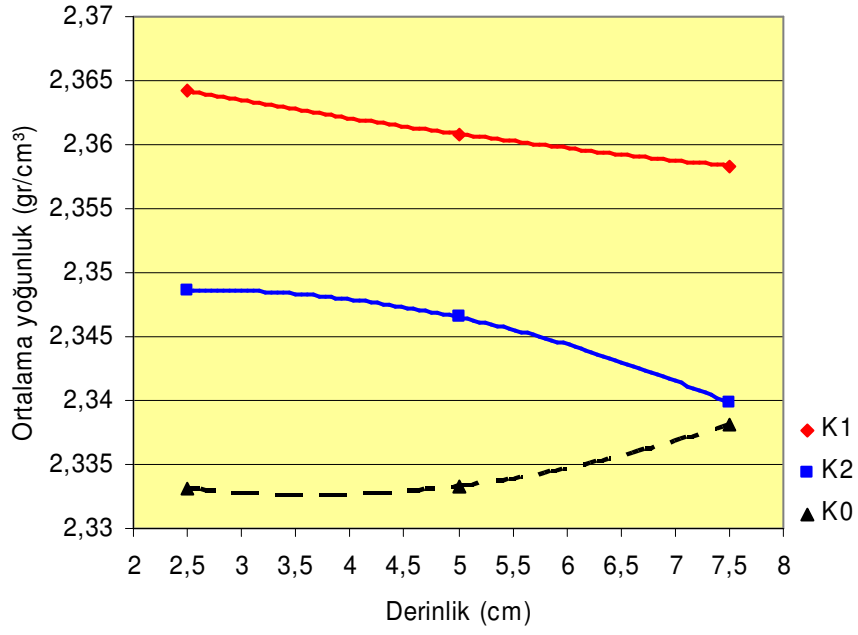
Beton Yaşı (gün)	Kalıp kodu	Regrasyon katsayısı (r^2)	Regrasyon denklemi	Anlamlılık düzeyi (p)
28.	K0 (Referans)	1,00	$Y = 2,7842 - 0,0443X + 0,006X^2$	0,01
	K1 (Zemdrain)	1,00	$Y = 2,9980 - 0,0656X + 0,0045X^2$	0,01
	K2 (SB-20)	1,00	$Y = 2,9408 - 0,0757X + 0,006X^2$	0,01
90.	K0 (Referans)	1,00	$Y = 2,3332 - 0,0048X + 0,0009X^2$	0,01
	K1 (Zemdrain)	1,00	$Y = 2,3973 - 0,001X + 0,0001X^2$	0,01
	K2 (SB-20)	1,00	$Y = 2,3697 - 0,0083X + 0,0005X^2$	0,01
210.	K0 (Referans)	1,00	$Y = 2,3377 - 0,0027X + 0,0004X^2$	0,01
	K1 (Zemdrain)	1,00	$Y = 2,3683 - 0,0018X + 0,00007X^2$	0,01
	K2 (SB-20)	1,00	$Y = 2,3463 + 0,0018X - 0,0004X^2$	0,01
365.	K0 (Referans)	1,00	$Y = 2,3477 - 0,0046X + 0,0009X^2$	0,01
	K1 (Zemdrain)	1,00	$Y = 2,4127 - 0,0108X + 0,0006X^2$	0,01
	K2 (SB-20)	1,00	$Y = 2,3880 - 0,0127X + 0,0009X^2$	0,01



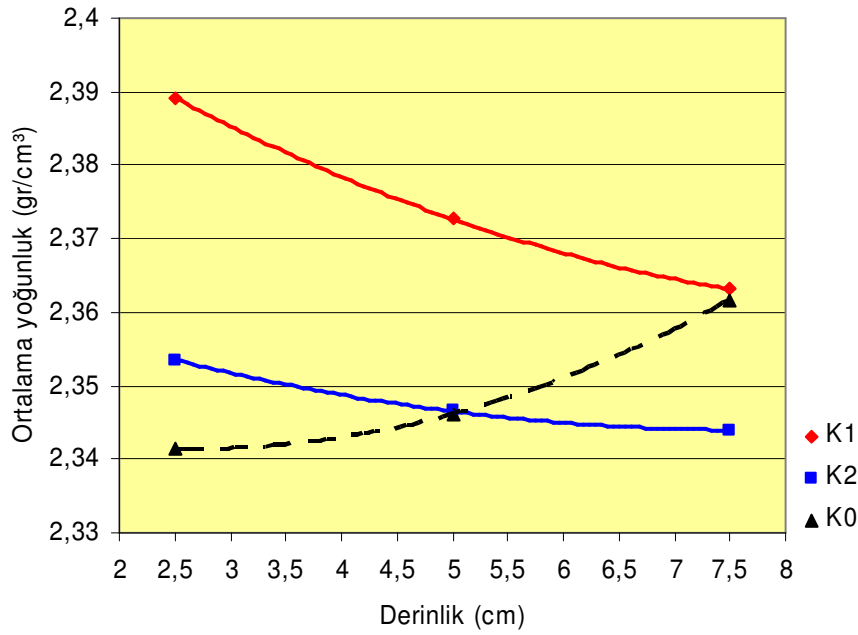
Şekil 4.8. 28 günlük betonlarda derinliğe bağlı olarak yoğunluk değişimi



Şekil 4.9. 90 günlük betonlarda derinliğe bağlı olarak yoğunluk değişimi



Şekil 4.10. 210 günlük betonlarda derinliğe bağlı olarak yoğunluk değişimi



Şekil 4.11. 365 günlük betonlarda derinliğe bağlı olarak yoğunluk değişimi

4.3. Yüzeyde Kopma Dayanımı (Pull-out)

Yüzeyde kopma dayanımı deneyi sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.9'da verilmiştir. Zaman faktörünün iki seviyesi (28. ve 90. gün), kalıp faktörünün ise üç seviyesinde (K0, K1, K2) gerçekleştirilen tekrarlanan ölçümlü varyans analizi sonucunda zaman ve kalıp faktörlerinin yüzeyde kopma dayanımı değerleri üzerinde ayrı ayrı etkilerinin olduğu ve bu etkinin istatistik olarak önemli olduğu görülmüştür ($P<0,01$).

Diğer taraftan Zaman*Kalıp interaksiyonunun istatistik olarak önemli olmadığı görülmüştür ($P<0,05$) (Çizelge 4.10). Zaman ve kalıp faktörlerinin seviyeleri karşılaştırılırken ortalamalar arasındaki farkın belirlenmesinde çoklu karşılaştırma yöntemlerinden Bonferroni testi kullanılmıştır (Çizelge 4.11, 4.12). Ayrıca ortalama yüzeyde kopma dayanımı değerlerine ait grafik Şekil 4.12'de görülmektedir.

Çizelge 4.9. Yüzey kopma dayanımı değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Kalıp kodu	Zaman	Ortalama				
	(Gün)	N	(kN)	Std.Hata	Minimum	Maksimum
K0 (Referans)	28.	6	12,00	0,7638	9,00	14,00
	90.	6	13,71	0,9267	11,00	16,50
K1 (Zemdrain)	28.	6	22,70	1,6361	18,75	28,50
	90.	6	26,36	1,7502	20,00	30,80
K2 (SB-20)	28.	6	24,91	0,6760	22,50	27,50
	90.	6	25,98	1,2281	22,20	29,00

Çizelge 4.10. Yüzeyde kopma dayanımı verilerine ait varyans çözümleme tablosu

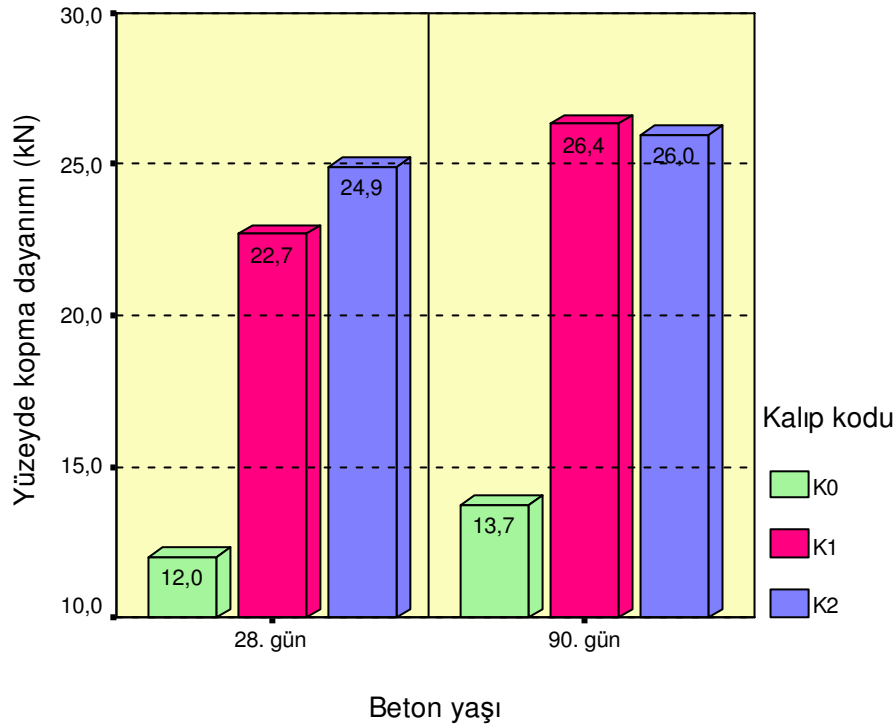
Varyansın Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-testi	Anlamlılık düzeyi (p)
Genel	35	1509,815	~	~	~
Gruplar arası	5	41,990	8,398	~	~
Gruplar içi	30	1467,825	~	~	~
Zaman'lar arası	1	41,366	41,366	8,208	0,035
Hata (Zaman)	5	25,199	5,040	~	~
Kalıp'lar arası	2	1183,179	591,590	42,770	0,000
Hata (Kalıp)	10	138,317	13,832	~	~
Zaman*Kalıp İnteraksiyonu	2	10,858	5,429	0,788	0,481
Hata (Zaman*Kalıp)	10	68,906	6,891	~	~

Çizelge 4.11. Yüzeyde kopma dayanımı verilerinin zamana göre değişimine ait Bonferroni testi sonuçları

Zaman (Gün)	Farklı olan gruplar	
	1	2
90.	22,019	~
28.	~	19,875

Çizelge 4.12. Yüzeyde kopma dayanımı verilerinin kalıp türüne göre değişimine ait Bonferroni testi sonuçları

Kalıp kodu	Farklı olan gruplar	
	1	2
K2 (SB-20)	25,450	~
K1 (Zemdrain)	24,534	~
K0 (Referans)	~	12,857



Şekil 4.12. Ortalama yüzeyde kopma dayanımı değerlerine ait çubuk grafiği

Zaman ve kalıplar arasında gerçekleştirilen Bonferroni çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre yüzeyde kopma dayanımı değerleri bakımından;

- ✓ Zamanlar arasında istatistik olarak önemli bir farklılık olduğu,
- ✓ 28. günde 19,87 kN ortalama ile en küçük yüzeyde kopma dayanımına sahip olduğu,
- ✓ 90. günde 22,02 kN ortalama ile en büyük yüzeyde kopma dayanımına sahip olduğu,
- ✓ 90. günde betonun kopma dayanımının 28. güne göre %10 oranında arttığı,
- ✓ Kalıplar arasında astarlı K2 kalıbının 25,45 kN ortalama ile en büyük kopma dayanımına sahip olduğu,
- ✓ Astarlı kalıpların ortalama kopma dayanımlarının birbirinden farklı olmadığı,

- ✓ Astarsız K0 referans kalıbın 12,85 kN ortalama ile en küçük kopma dayanımına sahip olduğu,
- ✓ Astarlı K2 kalıbının astarsız K0 kalıbına göre %49 daha büyük kopma dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

4.4. Betonun Doğrudan Çekme Dayanımı (Pull-off)

Betonun doğrudan çekme dayanımı deneyi sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.13'te verilmiştir. Zaman faktörünün dört seviyesi (28., 90., 210. ve 365. gün), kalıp faktörünün ise üç seviyesinde (K0, K1, K2) gerçekleştirilen tekrarlanan ölçümlü varyans analizi sonucunda, zaman ve kalıp faktörlerinin doğrudan çekme dayanımı değerleri üzerinde ayrı ayrı etkilerinin olduğu ve bu etkinin istatistik olarak önemli olduğu görülmüştür ($P<0,01$).

Diğer taraftan Zaman*Kalıp interaksiyonunun istatistik olarak önemli olmadığı görülmüştür ($P<0,05$) (Çizelge 4.14). Zaman ve kalıp faktörlerinin seviyeleri karşılaştırılırken ortalamalar arasındaki farkın belirlenmesinde çoklu karşılaştırma yöntemlerinden Bonferroni testi kullanılmıştır (Çizelge 4.15, 4.16). Ayrıca ortalama doğrudan çekme dayanımı değerlerine ait grafik Şekil 4.13'te görülmektedir.

Çizelge 4.13. Doğrudan çekme dayanımı verilerine ait açıklayıcı istatistikler

Kalıp kodu	Zaman	Ortalama				
	(Gün)	N	(MPa)	Std.Hata	Minimum	Maksimum
K0 (Referans)	28.	6	2,996	0,1376	2,65	3,46
	90.	6	3,084	0,0291	2,95	3,16
	210.	6	3,132	0,0451	2,95	3,26
	365.	6	2,360	0,1024	2,09	2,75
K1 (Zemdrain)	28.	6	3,472	0,1278	3,16	3,97
	90.	6	3,497	0,0839	3,31	3,82
	210.	6	3,531	0,1619	3,11	4,18
	365.	6	3,073	0,1792	2,55	3,57
K2 (SB-20)	28.	6	3,463	0,1154	3,11	3,82
	90.	6	3,600	0,1384	3,06	3,87
	210.	6	3,760	0,2202	3,31	4,53
	365.	6	3,107	0,1261	2,65	3,57

Çizelge 4.14. Doğrudan çekme dayanımı verilerine ait varyans çözümleme tablosu

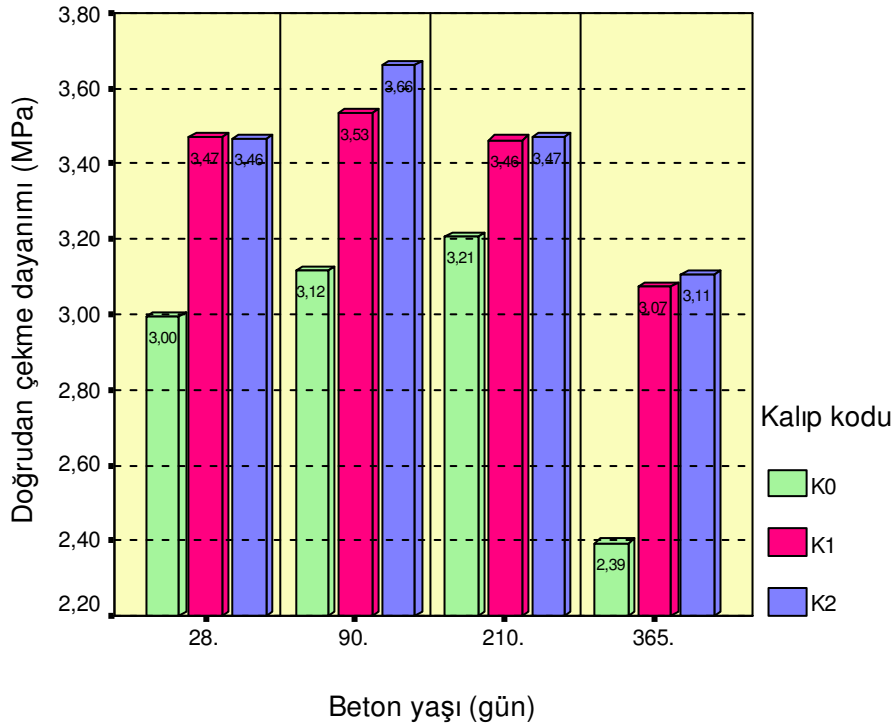
Varyansın Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-testi	Anlamlılık düzeyi (p)
Genel	71	15,731	~	~	~
Gruplar arası	5	0,495	0,0989	~	~
Gruplar içi	66	15,236	~	~	~
Zaman'lar arası	3	4,273	1,424	28,557	0,000
Hata (Zaman)	15	0,748	0,0498	~	~
Kalıp'lar arası	2	4,847	2,424	13,037	0,002
Hata (Kalıp)	10	1,859	0,186	~	~
Zaman*Kalıp İnteraksiyonu	6	0,285	0,0475	0,443	0,844
Hata (Zaman*Kalıp)	30	3,224	0,107	~	~

Çizelge 4.15. Doğrudan çekme dayanımı verilerinin zamana göre değişimine ait Bonferroni testi sonuçları

Zaman (Gün)	Farklı olan gruplar	
	1	2
365.	~	2,846
28.	3,310	~
90.	3,394	~
210.	3,475	~

Çizelge 4.16. Doğrudan çekme dayanımı verilerinin kalıp türüne göre değişimine ait Bonferroni testi sonuçları

Kalıp kodu	Farklı olan gruplar	
	1	2
K2 (SB-20)	3,483	~
K1 (Zemdrain)	3,393	~
K0 (Referans)	~	2,893



Şekil 4.13. Doğrudan çekme dayanımı verilerine ait çubuk grafiği

Zaman ve kalıplar arasında gerçekleştirilen Bonferroni çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre doğrudan çekme dayanımı değerleri bakımından;

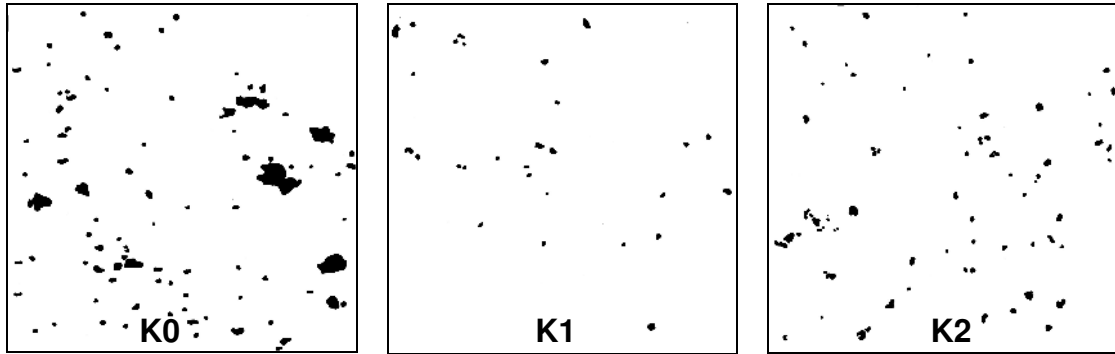
- ✓ Zamanlar arasında istatistik olarak önemli bir farklılık olduğu,
- ✓ 365. günde 2,846 MPa ortalama ile en küçük doğrudan çekme dayanımına sahip olduğu,
- ✓ 365. güne kadar doğrudan çekme dayanımı verilerinin beton başınç dayanımına paralel bir artış gösterdiği,
- ✓ Ancak 365. günde beton yüzeyinde meydana gelen karbonatlaşmadan dolayı doğrudan çekme dayanımı değerlerinin düştüğü,
- ✓ Kalıplar arasında astarlı K2 kalıbının 3,483 MPa ortalama ile en büyük doğrudan çekme dayanımına sahip olduğu,
- ✓ Astarlı kalıpların ortalama doğrudan çekme dayanımlarının istatistik olarak birbirinden farklı olmadığı,
- ✓ Ancak astarlı K2 kalıbının K1 kalıbına göre %3 daha büyük doğrudan çekme dayanımına sahip olduğu,
- ✓ Astarsız K0 referans kalıbın 2,893 MPa ortalama ile en küçük doğrudan çekme dayanımına sahip olduğu,
- ✓ Astarlı K1 ve K2 kalıbının astarsız K0 kalıbına göre sırasıyla %15 ve %17 daha büyük doğrudan çekme dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

4.5. Yüzeyde Hava Boşluğu Miktarı

Yüzeyde hava boşluğu miktarını ölçmek için beton yüzeyinden şeffaf kağıtlara kopya edilen hava boşluk miktarları Şekil 4.14'de görülmektedir. Deney sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.17'de verilmiştir.

Kalıp faktörünün üç seviyesinde (K0, K1, K2) gerçekleştirilen tekrarlanan ölçümlü varyans analizi sonucunda kalıp faktörünün yüzeyde hava boşluğu miktarı değerleri üzerinde istatistik olarak önemli bir etkiye sahip olduğu

görülmüştür ($P<0,01$) (Çizelge 4.18). Diğer bir ifadeyle yüzeyde hava boşluğu miktarının kalıp farklılığına bağlı olarak değişmekte olduğu görülmüştür. Ortalamalar arasındaki farkın belirlenmesinde çoklu karşılaştırma testlerinden Bonferroni testi kullanılmıştır (Çizelge 4.19). Ayrıca ortalama yüzeyde hava boşluğu miktarı değerlerine ait grafik Şekil 4.15'te görülmektedir.



Şekil 4.14. Şeffaf kağıtlara kopya edilmiş olan yüzeydeki hava boşlukları

Çizelge 4.17. Yüzeyde hava boşluğu miktarı verilerine ait açıklayıcı istatistikler

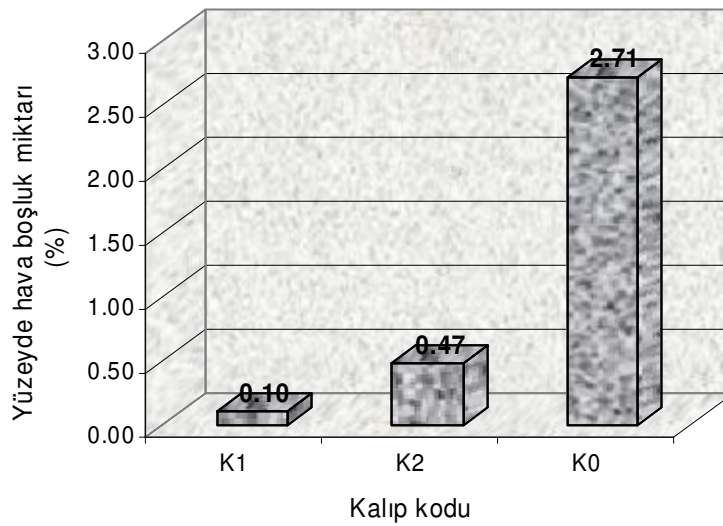
Kalıp kodu	N	Ortalama (%)	Std.Hata	Minimum	Maksimum
K0 (Referans)	6	2,71	0,5056	1,49	4,59
K1 (Zemdrain)	6	0,10	0,0198	0,03	0,16
K2 (SB-20)	6	0,47	0,1408	0,16	0,97

Çizelge 4.18. Yüzeyde hava boşluğu miktarı verilerine ait varyans çözümleme tablosu

Varyansın Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-testi	Anlamlılık düzeyi (p)
Genel	17	32,218	~	~	~
Gruplar Arası	5	2,394	0,479	~	~
Gruplar İçi	12	29,824	~	~	~
Kalıp'lar Arası	2	23,941	11,970	20,349	0,000
Hata (Kalıp)	10	5,883	0,588	~	~

Çizelge 4.19. Yüzeyde hava boşluğu miktarı verilerine ait Bonferroni testi sonuçları

Kalıp kodu	N	Farklı Gruplar	
		1	2
K1 (Zemdrain)	6	0,10	~
K2 (SB-20)	6	0,47	~
K0 (Referans)	6	~	2,71



Şekil 4.15. Ortalama yüzeyde hava boşluğu miktarı değerlerine ait çubuk grafiği

Gerçekleştirilen Bonferroni çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre yüzeyde hava boşluğu miktarı değerleri bakımından;

- ✓ Kalıplar arasında istatistik olarak önemli bir fark olduğu,
- ✓ Astarlı K1 ve K2 kalıplarının birbirinden farksız, astarsız K0 kalıbından farklı olduğu,
- ✓ Astarlı K1 kalıbın %0,10 ile en küçük yüzeyde hava boşluğu değerine sahip olduğu,

- ✓ Astarsız K0 referans kalıbın ise %2,71 ile en büyük yüzeyde hava boşluğu değerine sahip olduğu,
- ✓ Astarsız K0 kalıbının astarlı K1 kalıbına göre 27 kat daha büyük yüzeyde hava boşluğuna sahip olduğu,
- ✓ Diğer bir ifadeyle, astarlı K1 kalıbında gözlenen yüzeyde hava boşluğu miktarının astarsız K0 kalıbındakinin %3'ü kadar olduğu görülmüştür.

4.6. Basınç Dayanımı

Beton basınç dayanımı deneyi sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.20'de verilmiştir. Zaman faktörünün üç seviyesi (28., 90., ve 365. gün), kalıp faktörünün de üç seviyesinde (K0, K1, K2) gerçekleştirilen tekrarlanan ölçümlü varyans analizi sonucunda zaman ve kalıp faktörlerinin beton basınç dayanımı değerleri üzerinde ayrı ayrı etkisinin olduğu ve bu etkilerin istatistik olarak önemli olduğu görülmüştür ($P < 0,01$).

Diğer taraftan Zaman*Kalıp interaksiyonunun istatistik olarak önemli olmadığı görülmüştür ($P < 0,05$) (Çizelge 4.21). Zaman ve kalıp faktörünün seviyeleri karşılaştırılırken ortalamalar arasındaki farkın belirlenmesinde çoklu karşılaştırma yöntemlerinden Bonferroni testi kullanılmıştır (Çizelge 4.22, 4.23). Ayrıca ortalama beton basınç dayanımı değerlerine ait grafik Şekil 4.16'da görülmektedir.

Çizelge 4.20. Beton basınç dayanımı verilerine ait açıklayıcı istatistikler

Kalıp kodu	Zaman	N	Ortalama			
	(Gün)		(MPa)	Std.Hata	Minimum	Maksimum
K0 (Referans)	28.	6	25,395	0,4843	23,14	26,63
	90.	6	27,671	0,3182	26,24	28,39
	365.	6	31,972	1,134	29,63	36,91
K1 (Zemdrain)	28.	6	28,337	1,158	24,11	32,49
	90.	6	32,463	1,484	26,89	36,06
	365.	6	33,788	1,686	28,59	38,88
K2 (SB-20)	28.	6	30,664	1,635	27,16	36,06
	90.	6	34,055	1,248	30,71	39,43
	365.	6	35,718	1,963	27,84	41,11

Çizelge 4.21. Beton basınç dayanımı verilerine ait varyans çözümleme tablosu

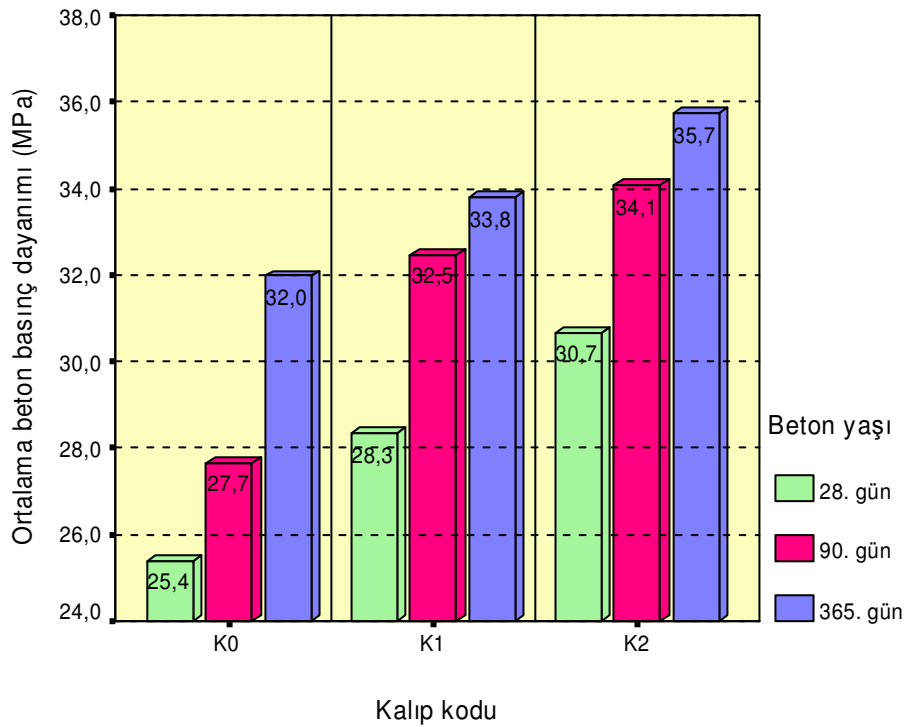
Varyansın Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-testi	Anlamlılık düzeyi (p)
Genel	53	1858,048	~	~	~
Gruplar arası	5	211,566	42,31	~	~
Gruplar içi	48	823,241	~	~	~
Zaman'lar arası	2	293,877	146,938	23,865	0,000
Hata (Zaman)	10	61,572	6,157	~	~
Kalıp'lar arası	2	241,734	120,867	9,751	0,004
Hata (Kalıp)	10	123,953	12,395	~	~
Zaman*Kalıp İnteraksiyonu	4	16,579	4,145	0,969	0,446
Hata (Zaman*Kalıp)	20	85,526	4,276	~	~

Çizelge 4.22. Beton basınç dayanımı verilerinin zamana göre değişimine ait Bonferroni testi sonuçları

Zaman (Gün)	Farklı olan gruplar		
	1	2	3
28.	28,132	~	~
90.		31,396	~
365.	~	~	33,826

Çizelge 4.23. Beton basınç dayanımı verilerinin kalıp türüne göre değişimine ait Bonferroni testi sonuçları

Kalıp kodu	Farklı olan gruplar	
	1	2
K2 (SB-20)	33,479	~
K1 (Zemdrain)	31,529	31,529
K0 (Referans)	~	28,346



Şekil 4.16. Beton basınç dayanımı verilerine ait çubuk grafiği

Zaman ve kalıplar arasında gerçekleştirilen Bonferroni çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre beton basınç dayanımı değerleri bakımından;

- ✓ Zaman faktörünün bütün seviyeleri arasında istatistik olarak önemli bir fark olduğu,
 - ✓ 28. günde 28,132 MPa ortalama ile en küçük beton basınç dayanımına sahip olduğu,
 - ✓ 365. günde 33,826 MPa ortalama ile en büyük beton basınç dayanımına sahip olduğu,
 - ✓ 365. günde beton basınç dayanımının 28. güne göre %17 oranında arttığı,
 - ✓ Kalıplar arasında astarlı K2 kalıbının 33,479 MPa ortalama ile en büyük beton basınç dayanımına sahip olduğu,
 - ✓ Astarlı kalıpların ortalama basınç dayanımlarının birbirinden farklı olmadığı,
 - ✓ Astarsız K0 referans kalıbın 28,346 MPa ortalama ile en küçük beton basınç dayanımına sahip olduğu,
 - ✓ Astarlı K1 kalıbı ile astarsız K0 kalıbının basınç dayanımı değerleri bakımından birbirinden farklı olmadığı,
 - ✓ Astarlı K2 kalıbının astarsız K0 kalıbına göre %15 daha büyük beton basınç dayanımına sahip olduğu
- görülmüştür.

4.7. Statik Elastisite Modülü ve Poisson Oranı

Statik elastisite modülü deneyi sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.24'te verilmiştir. Zaman faktörünün üç seviyesi (28., 90., ve 365. gün), kalıp faktörünün de üç seviyesinde (K0, K1, K2) gerçekleştirilen tekrarlanan ölçümlü varyans analizi sonucunda, zaman ve kalıp faktörlerinin beton elastisite modülü değerleri üzerinde ayrı ayrı etkisinin olduğu ve bu etkilerin istatistik olarak önemli olduğu görülmüştür ($P < 0,01$).

Diğer taraftan Zaman*Kalıp interaksiyonunun istatistik olarak önemli olmadığı görülmüştür ($P<0,05$) (Çizelge 4.25). Zaman ve kalıp faktörünün seviyeleri karşılaştırılırken ortalamalar arasındaki farkın belirlenmesinde çoklu karşılaştırma yöntemlerinden Bonferroni testi kullanılmıştır (Çizelge 4.26, 4.27). Ayrıca ortalama elastisite modülü değerlerine ait grafik Şekil 4.17’de görülmektedir.

Çizelge 4.24. Elastisite modülü verilerine ait açıklayıcı istatistikler

Kalıp kodu	Zaman (Gün)	N	Ortalama (MPa)	Std.Hata	Minimum	Maksimum
K0 (Referans)	28.	6	24868,90	294,97	23825,81	25889,44
	90.	6	26187,15	748,86	24011,09	28339,47
	365.	6	29439,79	597,96	27878,93	31490,43
K1 (Zemdrain)	28.	6	25553,99	832,51	22222,88	27735,85
	90.	6	27009,11	385,96	25961,03	28402,00
	365.	6	32215,65	783,55	29882,32	34988,01
K2 (SB-20)	28.	6	26718,26	664,96	24674,84	28431,68
	90.	6	28280,57	913,73	24639,68	30900,63
	365.	6	31282,64	650,15	29374,74	33716,59

Çizelge 4.25. Elastisite modülü verilerine ait varyans çözümleme tablosu

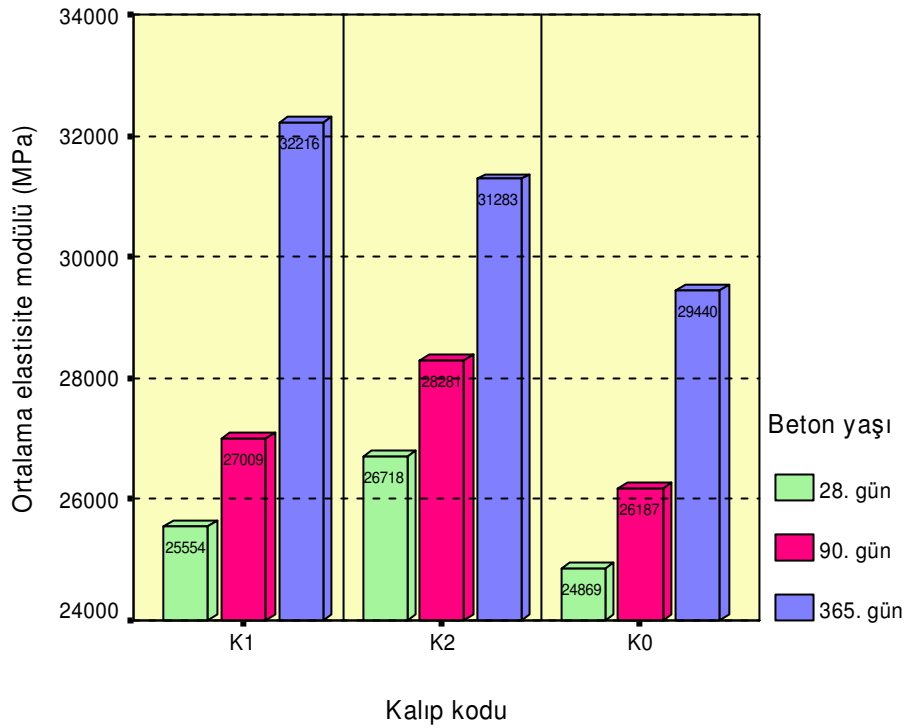
Varyansın Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-testi	Anlamlılık düzeyi (p)
Genel	53	439084115,802	~	~	~
Gruplar arası	5	32594311,27	6518862,25	~	~
Gruplar içi	48	406489804,532	~	~	~
Zaman’lar arası	2	266467761,944	133233880,972	61,494	0,000
Hata (Zaman)	10	21666140,598	2166614,060	~	~
Kalıp’lar arası	2	36050021,449	18025010,725	7,221	0,011
Hata (Kalıp)	10	24961275,431	2496127,543	~	~
Zaman*Kalıp İnteraksiyonu	4	11733299,540	2933324,885	1,286	0,309
Hata (Zaman*Kalıp)	20	45611305,570	2280565,279	~	~

Çizelge 4.26. Elastisite modülü verilerinin zamana göre değişimine ait Bonferroni testi sonuçları

Zaman (Gün)	Farklı olan gruplar	
	1	2
28.	25713,718	~
90.	27158,946	~
365.	~	30979,363

Çizelge 4.27. Elastisite modülü verilerinin kalıp türüne göre değişimine ait Bonferroni testi sonuçları

Kalıp kodu	Farklı olan gruplar	
	1	2
K2 (SB-20)	28760,494	~
K1 (Zemdrain)	28259,584	~
K0 (Referans)	~	26831,949



Şekil 4.17. Elastisite modülü verilerine ait çubuk grafiği

Zaman ve kalıplar arasında gerçekleştirilen Bonferroni çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre beton statik elastisite modülü değerleri bakımından;

- ✓ 28. ve 90. günlerdeki elastisite modülü değerlerinin istatistiki anlamda birbirinden farklı olmadığı ancak 365. gündeki elastisite modülünün diğer günlerden farklı olduğu,
 - ✓ 28. günde 25713,718 MPa ortalama ile en küçük elastisite modülüne sahip olduğu,
 - ✓ 365. günde 30979,363 MPa ortalama ile en büyük elastisite modülüne sahip olduğu,
 - ✓ 365. günde elastisite modülü değerinin 28. güne göre %17 oranında arttığı,
 - ✓ Elastisite modülü değerlerinin beton basınç dayanımına paralel olarak artış gösterdiği,
 - ✓ Kalıplar arasında astarlı K1 ve K2 kalıplarının istatistiki anlamda birbirinden farklı olmadığı ancak astarsız K0 kalıbının diğer astarlı kalıplardan farklı olduğu,
 - ✓ Kalıplar arasında astarlı K2 kalıbının 28760,494 MPa ortalama ile en büyük elastisite modülüne sahip olduğu,
 - ✓ Astarsız K0 referans kalıbın 26831,949 MPa ortalama ile en küçük elastisite modülüne sahip olduğu,
 - ✓ Astarlı K2 kalıbının astarsız K0 kalıbına göre %7 daha büyük elastisite modülüne sahip olduğu
- görülmüştür.

Yanal birim deformasyonun eksenel birim deformasyona oranı olan “Poisson oranı” değerlerine ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.28’de verilmiştir. Zaman faktörünün üç seviyesi (28., 90., ve 365. gün), kalıp faktörünün de üç seviyesinde (K0, K1, K2) gerçekleştirilen tekrarlanan ölçümlü varyans analizi sonucunda, zaman ve kalıp faktörlerinin Poisson oranı değerleri üzerinde ayrı

ayrı etkisinin olduğu ve bu etkilerin istatistik olarak önemli olduğu görülmüştür ($P<0,01$).

Diğer taraftan Zaman*Kalıp interaksiyonunun istatistik olarak önemli olmadığı görülmüştür ($P<0,05$) (Çizelge 4.29). Zaman ve kalıp faktörünün seviyeleri karşılaştırılırken ortalamalar arasındaki farkın belirlenmesinde çoklu karşılaştırma yöntemlerinden Bonferroni testi kullanılmıştır (Çizelge 4.30, 4.31). Ayrıca ortalama Poisson oranı değerlerine ait grafik Şekil 4.18’de görülmektedir.

Çizelge 4.28. Poisson oranı verilerine ait açıklayıcı istatistikler

Kalıp kodu	Zaman (Gün)	N	Ortalama	Std.Hata	Minimum	Maksimum
K0 (Referans)	28.	6	0,2216	0,00820	0,20	0,24
	90.	6	0,2109	0,00603	0,19	0,23
	365.	6	0,2073	0,00636	0,18	0,23
K1 (Zemdrain)	28.	6	0,2670	0,01784	0,22	0,32
	90.	6	0,2412	0,00542	0,23	0,26
	365.	6	0,2373	0,00942	0,21	0,26
K2 (SB-20)	28.	6	0,2414	0,00919	0,21	0,26
	90.	6	0,2327	0,00852	0,20	0,25
	365.	6	0,2215	0,01193	0,19	0,27

Çizelge 4.29. Poisson oranı verilerine ait varyans çözümleme tablosu

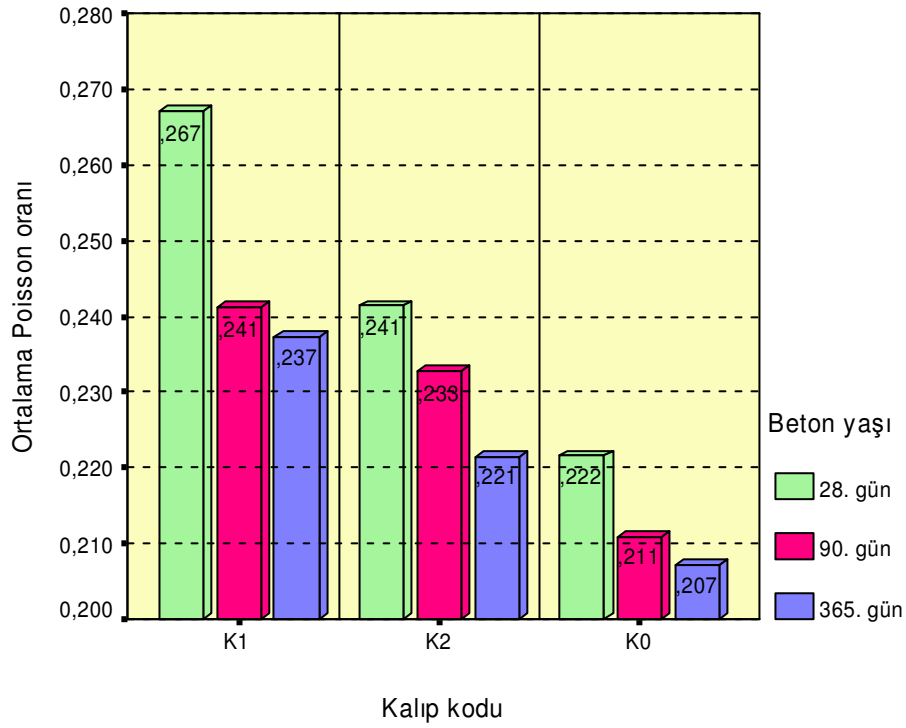
Varyansın Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-testi	Anlamlılık düzeyi (p)
Genel	53	0,042561	~	~	~
Gruplar arası	5	0,001310	0,000262	~	~
Gruplar içi	48	0,041251	~	~	~
Zaman'lar arası	2	0,004314	0,002157	8,630	0,007
Hata (Zaman)	10	0,002500	0,000250	~	~
Kalıp'lar arası	2	0,01118	0,005591	10,611	0,003
Hata (Kalıp)	10	0,005269	0,000527	~	~
Zaman*Kalıp İnteraksiyonu	4	0,000668	0,000167	0,193	0,939
Hata (Zaman*Kalıp)	20	0,01732	0,000866	~	~

Çizelge 4.30. Poisson oranı verilerinin zamana göre değişimine ait Bonferroni testi sonuçları

Zaman (Gün)	Farklı olan gruplar	
	1	2
28.	0,243	~
90.	~	0,228
365.	~	0,222

Çizelge 4.31. Poisson oranı verilerinin kalıp türüne göre değişimine ait Bonferroni testi sonuçları

Kalıp kodu	Farklı olan gruplar	
	1	2
K1 (Zemdrain)	0,248	~
K2 (SB-20)	0,232	0,232
K0 (Referans)	~	0,213



Şekil 4.18. Poisson oranı verilerine ait çubuk grafiği

Zaman ve kalıplar arasında gerçekleştirilen Bonferroni çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre Poisson oranı değerleri bakımından;

- ✓ 90. ve 365. günlerdeki Poisson oranı değerlerinin istatistiki anlamda birbirinden farklı olmadığı ancak 28. günde Poisson oranının diğer günlerden farklı olduğu,
- ✓ 365. günde 0,222 ortalama ile en küçük Poisson oranına sahip olduğu,
- ✓ 28. günde 0,243 ortalama ile en büyük Poisson oranına sahip olduğu,
- ✓ 28. günde Poisson oranı değerinin 365. gündeğine göre %9 oranında daha büyük olduğu,
- ✓ Poisson oranı değerlerinin elastisite modülü ile ters yönde ilişkili olduğu,
- ✓ Kalıplar arasında astarlı K1 ve K2 kalıplarının istatistiki anlamda birbirinden farklı olmadığı ancak astarsız K0 kalıbının astarlı K1 kalıbından farklı olduğu,

- ✓ Kalıplar arasında astarlı K1 kalıbının 0,248 ortalama ile en büyük Poisson oranına sahip olduğu,
 - ✓ Astarsız K0 referans kalıbın 0,213 ortalama ile en küçük Poisson oranına sahip olduğu,
 - ✓ Astarlı K1 kalıbının astarsız K0 kalıbına göre %14 daha büyük Poisson oranına sahip olduğu
- görülmüştür.

4.8. Yarmada Çekme Dayanımı

Yarmada çekme dayanımı deneyi sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.32'de verilmiştir. Numune faktörünün iki seviyesi (üst-orta), kalıp faktörünün ise üç seviyesinde (K0, K1, K2) gerçekleştirilen tekrarlanan ölçümlü varyans analizi sonucunda, Numune*Kalıp interaksiyonu istatistik olarak önemli olduğu görülmüştür ($P<0,01$) (Çizelge 4.33). Yarmada çekme dayanımı değerlerinde, kalıplar arasında gözlenen farkların numunenin alındığı yere bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Bundan dolayı kalıp faktörünün seviyeleri, numune faktörünün herbir seviyesinde ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Benzer şekilde numune faktörünün seviyeleride ki karşılaştırmalar, kalıp faktörünün herbir seviyesinde ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Ortalamalar arasındaki farkın belirlenmesinde çoklu karşılaştırma yöntemlerinden Duncan testi kullanılmıştır (Çizelge 4.34). Ayrıca ortalama yarmada çekme dayanımı değerlerine ait grafik Şekil 4.19'da görülmektedir.

Çizelge 4.32. Yarmada çekme dayanımı verilerine ait açıklayıcı istatistikler

Kalıp kodu	Numune	N	Ortalama			
			(MPa)	Std.Hata	Minimum	Maksimum
K0 (Referans)	Üst	6	2,6083	0,1221	2,22	2,89
	Orta	6	2,8250	0,0947	2,58	3,16
K1 (Zemdrain)	Üst	6	3,4283	0,1269	3,05	3,73
	Orta	6	2,2350	0,2427	1,52	2,97
K2 (SB-20)	Üst	6	3,7033	0,2575	3,27	4,88
	Orta	6	2,5800	0,2044	2,00	3,37

Çizelge 4.33. Yarmada çekme dayanımı verilerine ait varyans çözümleme tablosu

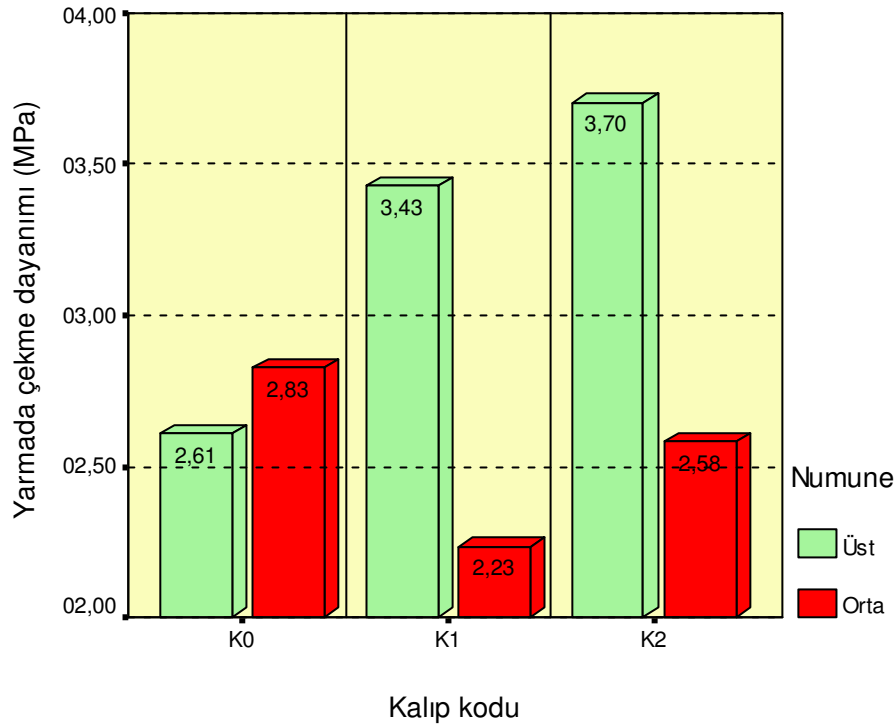
Varyansın Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-testi	Anlamlılık düzeyi (p)
Genel	35	13,286	~	~	~
Gruplar arası	5	1,177	0,235	~	~
Gruplar içi	30	12,109	~	~	~
Numune'ler arası	1	4,410	4,410	102,146	0,000
Hata (Numune)	5	0,216	0,043		
Kalıp'lar arası	2	1,160	0,580	2,289	0,152
Hata (Kalıp)	10	2,534	0,253		
(Numune*Kalıp) İnteraksiyonu	2	3,789	1,894	8,302	0,008
Hata (Numune*Kalıp)	10	2,282	0,228		

Çizelge 4.34. Yarmada çekme dayanımı verilerine ait Duncan testi sonuçları

Kalıp kodu	Numune türü	
	Üst	Orta
K0 (Referans)	2,60 Aa	2,82 Aa
K1 (Zemdrain)	3,42 Ba	2,23 Ab
K2 (SB 20)	3,70 Ba	2,58 Ab

Not : 1. Her bir numunede farklı büyük harflerle gösterilen grup ortalamaları arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir.

2. Her bir kalıpta farklı küçük harflerle gösterilen grup ortalamaları arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir.



Şekil 4.19. Ortalama yarmada çekme dayanımı verilerine ait çubuk grafiği

Gerçekleştirilen Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre yarmada çekme dayanımı değerleri bakımından;

- ✓ Üst numunelerde kalıplar arasında istatistik olarak önemli bir fark olduğu,
- ✓ Üst numunelerde, astarlı K1 ve K2 kalıplarının istatistik olarak birbirinden farksız, ancak astarsız K0 referans kalıbından farklı olduğu,
- ✓ Üst numunelerde astarsız K0 kalıbının 2,60 MPa ile en küçük, astarlı K2 kalıbının ise 3,70 MPa ile en büyük yarmada çekme dayanımı değerine sahip olduğu,
- ✓ K1 ve K2 astarlı kalıplarında üst numuneye ait yarmada çekme dayanımı değerlerinin K0 astarsız kalıba göre sırasıyla %24 ve %30 daha büyük olduğu,
- ✓ Orta numunelerde ise kalıplar arasında istatistik olarak önemli bir fark bulunmadığı,

- ✓ K1 ve K2 astarlı kalıplarında üst ve orta numunelere ait yarmada çekme dayanımı değerlerinin birbirinden farklı, K0 astarsız kalıpta ise farksız olduğu,
- ✓ Astarlı K1 ve K2 kalıplarında üst numunelere ait yarmada çekme dayanımı değerlerinin orta numunelere göre sırasıyla %35 ve %30 daha büyük olduğu,
- ✓ Astarsız K0 kalıbında ise tam tersine üst numunenin yarmada çekme dayanımı değerlerinin orta numuneye göre %9 daha küçük olduğu, görülmüştür.

4.9. Beton Yoğunluğu

Beton yoğunluğu deneyi sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.35'te verilmiştir. Zaman faktörünün üç seviyesi (28., 90., ve 365. gün), numune faktörünün iki seviyesi (üst, orta), kalıp faktörünün ise üç seviyesinde (K0, K1, K2) gerçekleştirilen tekrarlanan ölçümlü varyans analizi sonucunda numune ve kalıp faktörlerinin beton yoğunluğu değerleri üzerinde ayrı ayrı etkisinin olduğu ve bu etkilerin istatistik olarak önemli olduğu görülmüştür ($P<0,01$). Diğer taraftan zaman faktörünün ve her üç faktör interaksiyonlarının istatistik olarak önemli olmadığı görülmüştür ($P<0,05$) (Çizelge 4.36). Numune ve kalıp faktörünün seviyeleri karşılaştırılırken ortalamalar arasındaki farkın belirlenmesinde çoklu karşılaştırma yöntemlerinden Bonferroni testi kullanılmıştır (Çizelge 4.37, 4.38). Ayrıca 28 günlük ortalama beton yoğunluğu değerlerine ait grafik Şekil 4.20'de, 90 günlük Şekil 4.21'de, 365 günlük ise Şekil 4.22'de görülmektedir.

Çizelge 4.35. Beton yoğunluğu verilerine ait açıklayıcı istatistikler

Kalıp Kodu	Beton Yaşı (gün)	Numune	N	Ortalama (gr/cm ³)	Std.Hata	Minimum	Maksimum
K0 (Referans)	28.	Üst	6	2,215	0,010	2,192	2,248
		Orta	6	2,199	0,012	2,161	2,250
	90.	Üst	6	2,214	0,005	2,202	2,227
		Orta	6	2,195	0,003	2,186	2,207
	365.	Üst	6	2,217	0,010	2,183	2,251
		Orta	6	2,213	0,011	2,185	2,262
K1 (Zemdrain)	28.	Üst	6	2,238	0,006	2,218	2,253
		Orta	6	2,213	0,008	2,188	2,230
	90.	Üst	6	2,245	0,008	2,218	2,270
		Orta	6	2,233	0,008	2,204	2,253
	365.	Üst	6	2,249	0,008	2,216	2,269
		Orta	6	2,226	0,004	2,210	2,236
K2 (SB-20)	28.	Üst	6	2,232	0,009	2,213	2,262
		Orta	6	2,208	0,008	2,191	2,238
	90.	Üst	6	2,245	0,011	2,207	2,280
		Orta	6	2,228	0,010	2,196	2,267
	365.	Üst	6	2,249	0,006	2,236	2,272
		Orta	6	2,221	0,007	2,198	2,242

Çizelge 4.36. Beton yoğunluğu verilerine ait varyans çözümleme tablosu

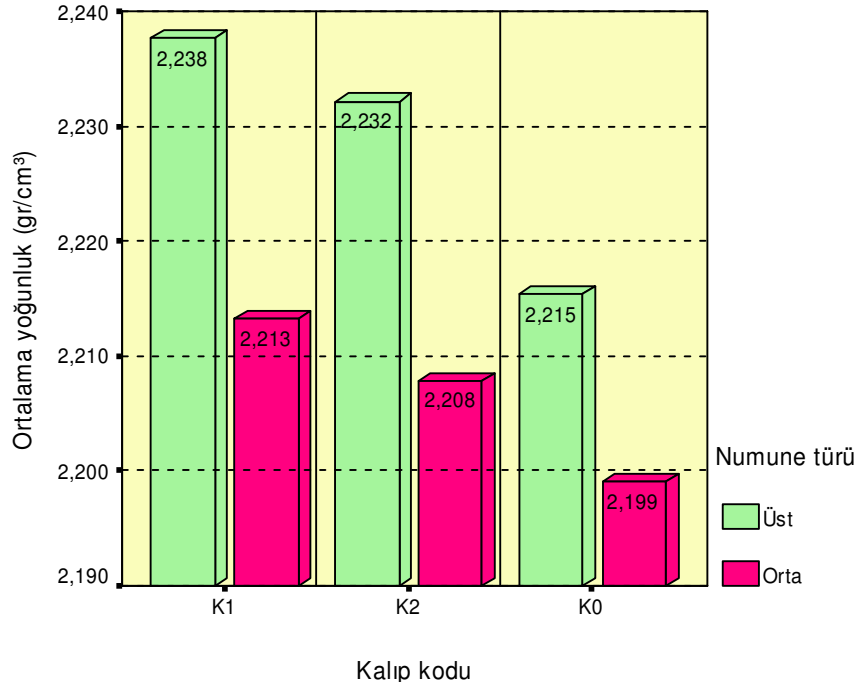
Varyansın Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-testi	Anlamlılık düzeyi (p)
Genel	107	0,065907	~	~	~
Gruplar arası	5	0,003117	0,000623	~	~
Gruplar içi	102	0,062790	~	~	~
Zaman'lar arası	2	0,002655	0,001328	2,385	0,142
Hata (Zaman)	10	0,005568	0,000557	~	~
Numune'ler arası	1	0,009422	0,009422	246,888	0,000
Hata (Numune)	5	0,000191	0,000038	~	~
Kalıp'lar arası	2	0,013180	0,006590	4,260	0,046
Hata (Kalıp)	10	0,015470	0,001547	~	~
Zaman*Numune İnteraksiyonu	2	0,000126	0,000063	0,369	0,701
Hata (Zaman*Numune)	10	0,001717	0,000172	~	~
Zaman*Kalıp İnteraksiyonu	4	0,001377	0,000344	0,913	0,476
Hata (Zaman*Kalıp)	20	0,007541	0,000377	~	~
Derinlik*Kalıp İnteraksiyonu	2	0,000458	0,000229	1,315	0,311
Hata (Numune*Kalıp)	10	0,001739	0,000174	~	~
Zaman*Numune*Kalıp İnteraks.	4	0,000709	0,000177	1,345	0,288
Hata (Zaman*Numune*Kalıp)	20	0,002637	0,000132	~	~

Çizelge 4.37. Beton yoğunluğu verilerinin numune türüne göre değişimine ait Bonferroni testi sonuçları

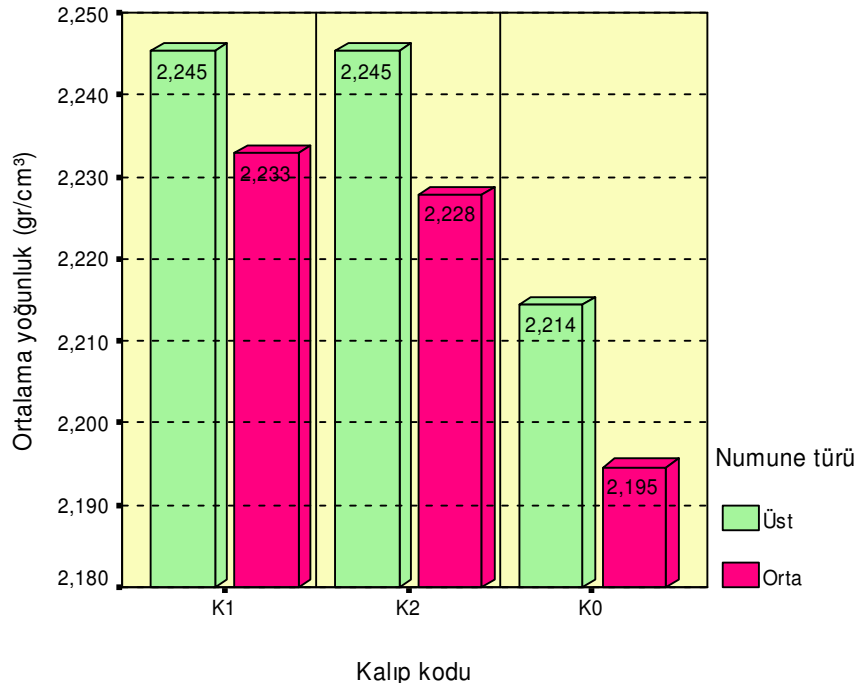
Numune türü	Farklı olan gruplar	
	1	2
Üst	2,234	~
Orta	~	2,215

Çizelge 4.38. Beton yoğunluğu verilerinin kalıp türüne göre değişimine ait Bonferroni testi sonuçları

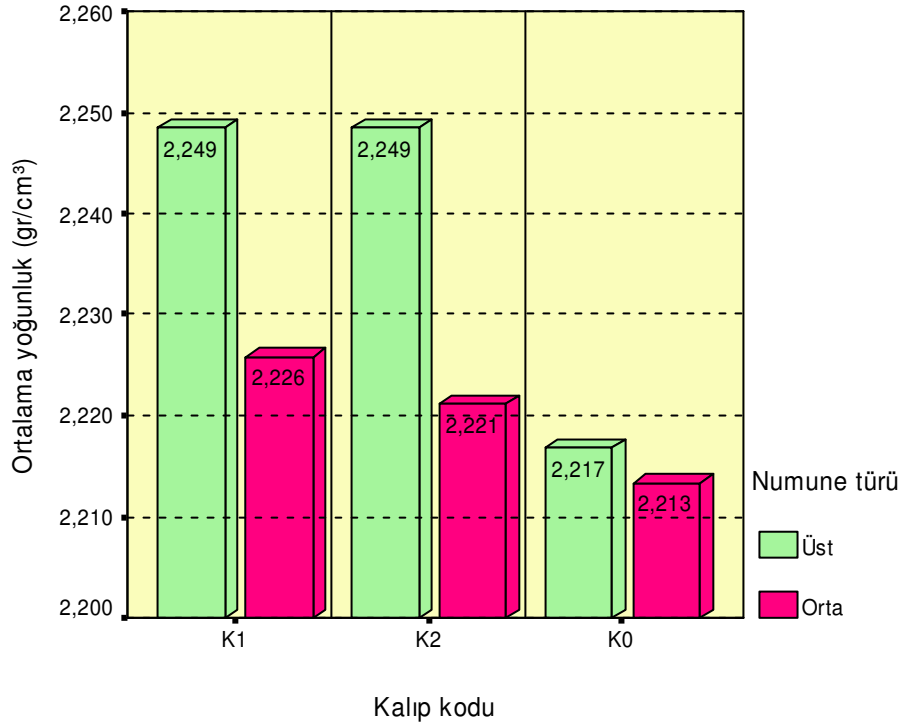
Kalıp kodu	Farklı olan gruplar	
	1	2
K1 (Zemdrain)	2,234	~
K2 (SB-20)	2,230	2,230
K0 (Referans)	~	2,209



Şekil 4.20. 28 günlük numunelere ait ortalama beton yoğunluğu verilerine ait çubuk grafiği



Şekil 4.21. 90 günlük numunelere ait ortalama beton yoğunluğu verilerine ait çubuk grafiği



Şekil 4.22. 365 günlük numunelere ait ortalama beton yoğunluğu verilerine ait çubuk grafiği

Numune ve kalıplar arasında gerçekleştirilen Bonferroni çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre beton yoğunluğu değerleri bakımından;

- ✓ Numune faktörünün seviyeleri arasında istatistik anlamda önemli fark olduğu,
- ✓ Üst numunelerin ortalama 2,234 gr/cm³ ile en büyük yoğunluk değerine sahip olduğu,
- ✓ Orta numunelerin ise ortalama 2,215 gr/cm³ ile en küçük yoğunluk değerine sahip olduğu,
- ✓ Üst numunenin ortalama beton yoğunluğu değerinin orta numuneye göre %2 daha büyük olduğu,
- ✓ Kalıplar arasında astarlı K1 ve K2 kalıplarının istatistiki anlamda birbirinden farklı olmadığı ancak astarsız K0 kalıbının astarlı K1 kalıbından farklı olduğu,

- ✓ Kalıplar arasında astarlı K1 kalıbının 2,234 gr/cm³ ortalama ile en büyük beton yoğunluğu değerine sahip olduğu,
- ✓ Astarsız K0 referans kalıbın 2,209 gr/cm³ ortalama ile en küçük beton yoğunluğu değerine sahip olduğu,
- ✓ Astarlı K1 kalıbının astarsız K0 kalıbına göre %2 daha büyük beton yoğunluğu değerine sahip olduğu görülmüştür.

4.10. Görünür Boşluk Yüzdesi

Görünür boşluk yüzdesi deneyi sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.39'da verilmiştir. Zaman faktörünün üç seviyesi (28., 90., ve 365. gün), numune faktörünün iki seviyesi (üst, orta), kalıp faktörünün ise üç seviyesinde (K0, K1, K2) gerçekleştirilen tekrarlanan ölçümlü varyans analizi sonucunda numune ve kalıp faktörlerinin görünür boşluk yüzdesi değerleri üzerinde ayrı ayrı etkisinin olduğu ve bu etkilerin istatistik olarak önemli olduğu görülmüştür ($P < 0,05$).

Diğer taraftan zaman faktörünün ve her üç faktör interaksiyonlarının istatistik olarak önemli olmadığı görülmüştür ($P < 0,05$) (Çizelge 4.40). Numune ve kalıp faktörünün seviyeleri karşılaştırılırken ortalamalar arasındaki farkın belirlenmesinde çoklu karşılaştırma yöntemlerinden Bonferroni testi kullanılmıştır (Çizelge 4.41, 4.42). Ayrıca 28 günlük ortalama görünür boşluk yüzdesi değerlerine ait grafik Şekil 4.23'te, 90 günlük Şekil 4.24'de, 365 günlük ise Şekil 4.25'te görülmektedir.

Çizelge 4.39. Görünür boşluk yüzdesi verilerine ait açıklayıcı istatistikler

Kalıp Kodu	Beton Yaşı (gün)	Numune	N	Ortalama (%)	Std.Hata	Minimum	Maksimum
K0 (Referans)	28.	Üst	6	15,026	0,649	12,713	16,679
		Orta	6	16,378	0,591	13,886	18,023
	90.	Üst	6	15,551	0,302	14,772	16,508
		Orta	6	16,679	0,082	16,402	17,011
	365.	Üst	6	16,060	0,342	15,029	17,337
		Orta	6	16,707	0,324	15,309	17,481
K1 (Zemdrain)	28.	Üst	6	15,002	0,541	13,300	16,803
		Orta	6	15,822	0,593	14,380	17,414
	90.	Üst	6	14,707	0,453	13,273	16,429
		Orta	6	15,024	0,404	14,041	16,486
	365.	Üst	6	13,733	0,851	11,532	16,548
		Orta	6	15,366	0,380	14,347	16,702
K2 (SB-20)	28.	Üst	6	14,380	0,642	12,525	16,170
		Orta	6	15,105	0,476	13,216	16,261
	90.	Üst	6	14,224	0,536	11,848	15,485
		Orta	6	14,894	0,377	13,247	15,898
	365.	Üst	6	13,686	0,692	11,382	16,043
		Orta	6	15,492	0,398	14,581	17,323

Çizelge 4.40. Görünür boşluk yüzdesi verilerine ait varyans çözümleme tablosu

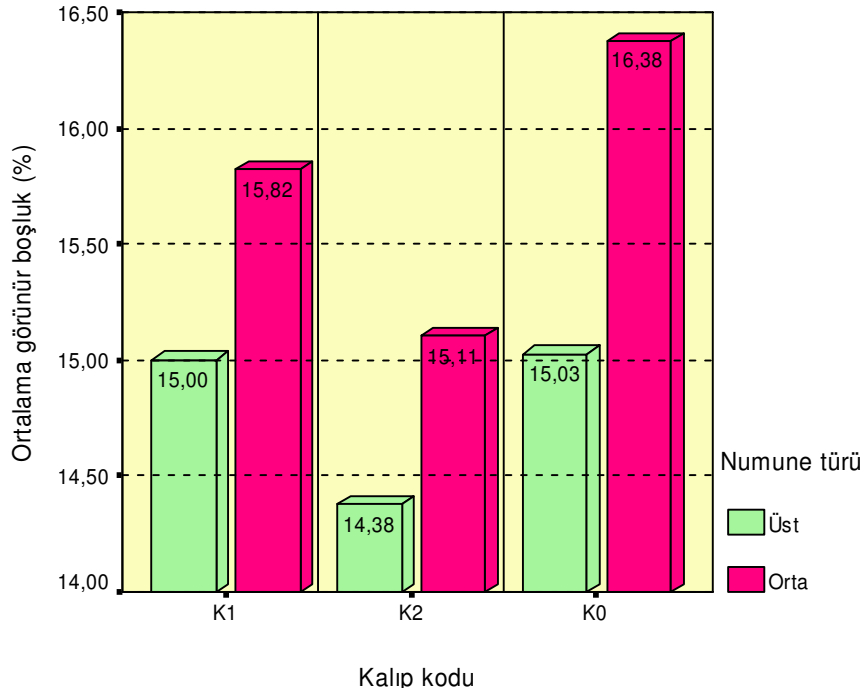
Varyansın Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-testi	Anlamlılık düzeyi (p)
Genel	107	222,659	~	~	~
Gruplar arası	5	40,033	8,007	~	~
Gruplar içi	102	182,626	~	~	~
Zaman'lar arası	2	0,283	0,142	0,091	0,914
Hata (Zaman)	10	15,646	1,565	~	~
Numune'ler arası	1	27,599	27,599	25,852	0,004
Hata (Numune)	5	5,338	1,068	~	~
Kalıp'lar arası	2	41,101	20,550	4,292	0,045
Hata (Kalıp)	10	47,876	4,788	~	~
Zaman*Numune İnteraksiyonu	2	1,972	0,986	3,099	0,090
Hata (Zaman*Numune)	10	3,181	0,318	~	~
Zaman*Kalıp İnteraksiyonu	4	7,347	1,837	1,774	0,174
Hata (Zaman*Kalıp)	20	20,711	1,036	~	~
Numune*Kalıp İnteraksiyonu	2	0,106	0,053	0,293	0,753
Hata (Numune*Kalıp)	10	1,812	0,181	~	~
Zaman*Numune*Kalıp İnteraks.	4	3,911	0,978	3,405	0,058
Hata (Zaman*Numune*Kalıp)	20	5,743	0,287	~	~

Çizelge 4.41. Görünür boşluk yüzdesi verilerinin numune türüne göre değişimine ait Bonferroni testi sonuçları

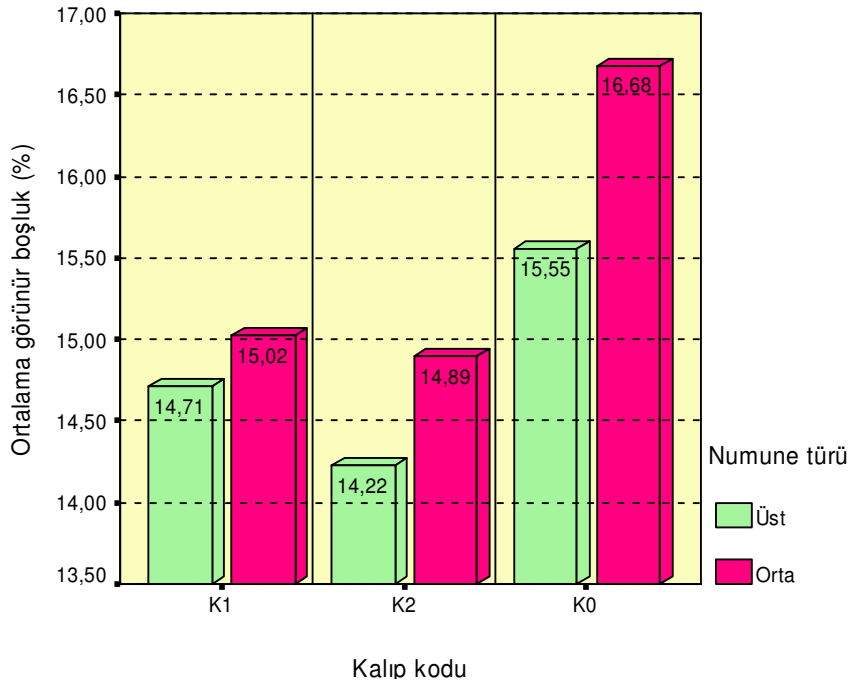
Numune türü	Farklı olan gruplar	
	1	2
Üst	14,70	~
Orta	~	15,72

Çizelge 4.42. Görünür boşluk yüzdesi verilerinin kalıp türüne göre değişimine ait Bonferroni testi sonuçları

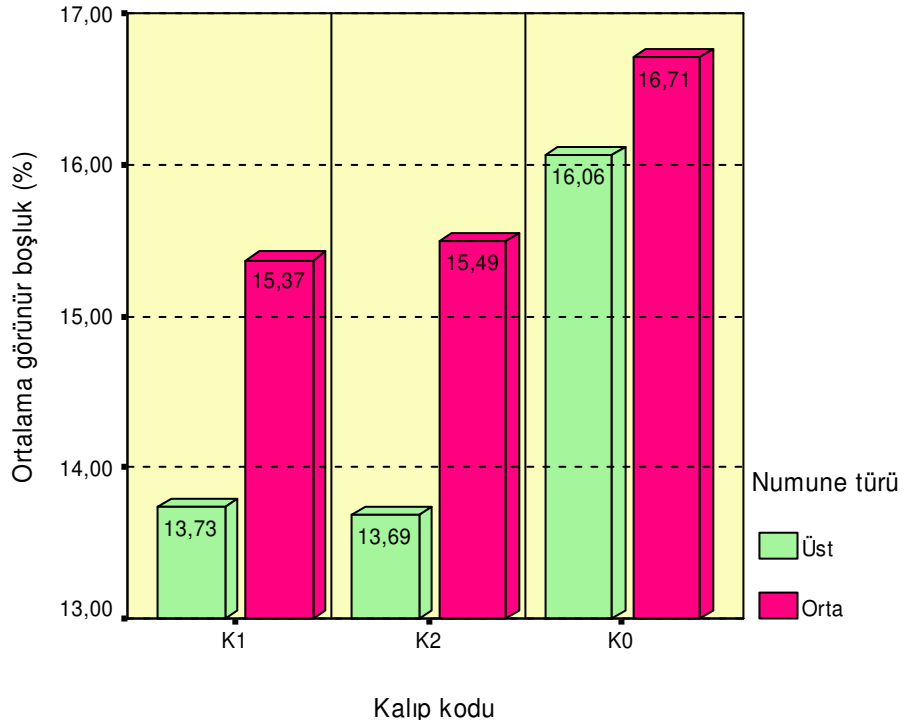
Kalıp kodu	Farklı olan gruplar	
	1	2
K1 (Zemdrain)	14,94	~
K2 (SB-20)	14,63	~
K0 (Referans)	~	16,07



Şekil 4.23. 28 günlük numunelere ait ortalama görünür boşluk yüzdesi verilerine ait çubuk grafiği



Şekil 4.24. 90 günlük numunelere ait ortalama görünür boşluk yüzdesi verilerine ait çubuk grafiği



Şekil 4.25. 365 günlük numunelere ait ortalama görünür boşluk yüzdesi verilerine ait çubuk grafiği

Numune ve kalıplar arasında gerçekleştirilen Bonferroni çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre görünür boşluk yüzdesi değerleri bakımından;

- ✓ Numune faktörünün seviyeleri arasında istatistik olarak önemli bir fark olduğu,
- ✓ Üst numunelerin ortalama %14,70 ile en küçük görünür boşluk yüzdesi değerine sahip olduğu,
- ✓ Orta numunelerin ise ortalama %15,72 ile en büyük görünür boşluk yüzdesi değerine sahip olduğu,
- ✓ Üst numunenin görünür boşluk yüzdesi değerinin orta numuneye göre %7 daha küçük olduğu,
- ✓ Kalıplar arasında astarlı K1 ve K2 kalıplarının istatistiki anlamda birbirinden farklı olmadığı ancak astarsız K0 kalıbının astarlı kalıplardan farklı olduğu,

- ✓ Kalıplar arasında astarlı K1 kalıbının %14,94 ortalama ile en küçük görünür boşluk yüzdesi değerine sahip olduğu,
- ✓ Astarsız K0 referans kalıbın %16,07 ortalama ile en büyük görünür boşluk yüzdesi değerine sahip olduğu,
- ✓ Astarlı K1 kalıbının astarsız K0 kalıbına göre %8 daha küçük görünür boşluk yüzdesi değerine sahip olduğu görülmüştür.

4.11. Ultrases Geçiş Hızı

Ultrases geçiş hızı deneyi sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.43'te verilmiştir. Zaman faktörünün üç seviyesi (28., 90. ve 365.gün), kalıp faktörünün de üç seviyesinde (K0, K1, K2) gerçekleştirilen tekrarlanan ölçümlü varyans analizi sonucunda zaman faktörünün ultrases geçiş hızı değerleri üzerinde istatistik olarak önemli bir etkiye sahip olduğu, kalıp faktörü ve Zaman*Kalıp interaksiyonunun ise önemli bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür ($P < 0,05$) (Çizelge 4.44).

Zaman faktörünün seviyeleri karşılaştırılırken ortalamalar arasındaki farkın belirlenmesinde çoklu karşılaştırma yöntemlerinden Bonferroni testi kullanılmıştır (Çizelge 4.45). Deneyden elde edilen ortalama ultrases geçiş hızı değerlerine ait grafik Şekil 4.26'da görülmektedir.

Çizelge 4.43. Ultrases geçiş hızı verilerine ait açıklayıcı istatistikler

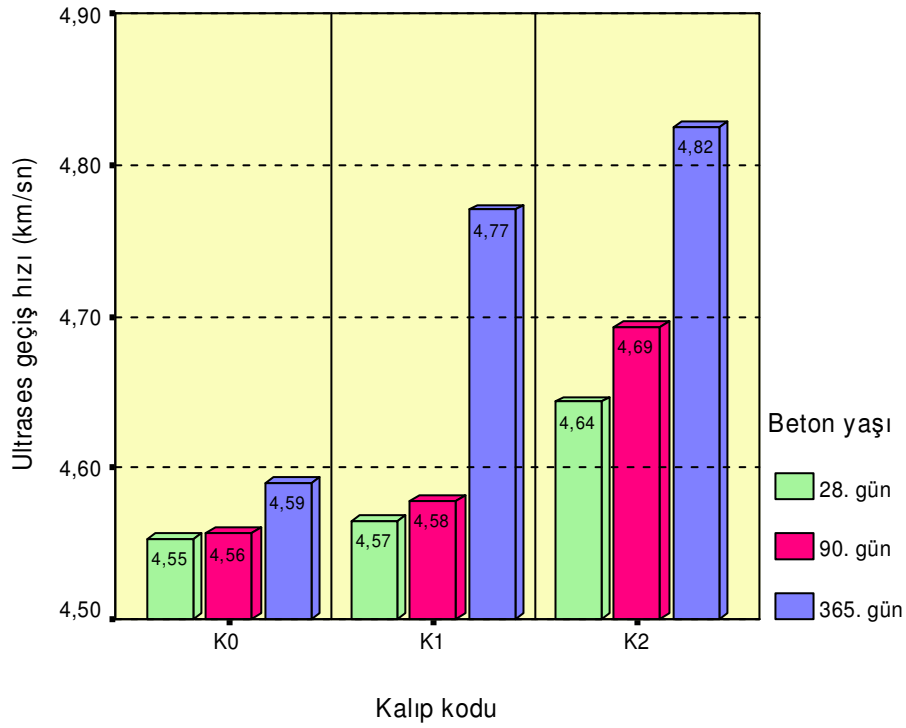
Kalıp kodu	Beton yaşı (gün)	N	Ortalama (km/sn)	Std.hata	Minimum	Maksimum
K0	28.	6	4,55	0,141	3,86	4,76
	90.	6	4,56	0,026	4,46	4,62
	365	6	4,59	0,065	4,43	4,89
K1	28.	6	4,57	0,065	4,33	4,74
	90.	6	4,58	0,087	4,30	4,81
	365	6	4,77	0,054	4,58	4,90
K2	28.	6	4,64	0,049	4,50	4,79
	90.	6	4,69	0,043	4,55	4,82
	365	6	4,83	0,046	4,72	5,00

Çizelge 4.44. Ultrases geçiş hızı verilerine ait varyans çözümleme tablosu

Varyansın Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-testi	Anlamlılık düzeyi (p)
Genel	54	13,286	~	~	~
Gruplar arası	5	0,201	0,0402	~	~
Gruplar içi	48	1,657	~	~	~
Zaman'lar arası	2	0,207	0,1040	4,667	0,037
Hata (Zaman)	10	0,222	0,0222		
Kalıp'lar arası	2	0,214	0,1070	1,831	0,210
Hata (Kalıp)	10	0,583	0,0583		
(Zaman*Kalıp) İnteraksiyonu	4	0,061	0,0153	0,831	0,521
Hata (Zaman*Kalıp)	20	0,368	0,0184		

Çizelge 4.45. Ultrases geçiş hızı verilerinin zamana göre değişimine ait Bonferroni testi sonuçları

Zaman (gün)	Farklı olan gruplar	
	1	2
28.	4,58	~
90.	4,61	4,61
365.	~	4,72



Şekil 4.26. Ortalama ultrases geçiş hızı verilerine ait çubuk grafiği

Zaman faktörünün seviyeleri arasında gerçekleştirilen Bonferroni çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre ultrases geçiş hızı değerleri bakımından;

- ✓ Zaman faktörünün seviyeleri arasında istatistik olarak önemli bir fark olduğu,
- ✓ 28. günde 4,58 km/sn ortalama ile en küçük, 365. günde ise 4,72 km/sn ile en büyük ultrases geçiş hızı değerine sahip olduğu,
- ✓ 365. günde ultrases geçiş hızı değerlerinin 28. güne göre %3 oranında arttığı,
- ✓ Zamana bağlı olarak ultrases geçiş hızı değerlerindeki artışın, basınç dayanımı değerlerindeki artışa paralel olduğu,
- ✓ Kalıp faktörü bakımından ultrases geçiş hızı değerleri arasındaki farkın istatistik olarak önemli olmadığı, ancak buna rağmen Astarlı K1 ve K2

kalıbının ultrases geçiş hızı değerlerinin astarsız K0 kalıbına göre daha büyük olduğu,

- ✓ 365. gün sonunda, astarsız K0 kalıbının 4,55 km/sn ile en küçük ultrases geçiş hızına sahip olduğu,
- ✓ Astarlı K2 kalıbının ise 4,82 km/sn ile en büyük ultrases geçiş hızına sahip olduğu,
- ✓ Astarlı K2 kalıbının ultrases geçiş hızı değerinin astarsız K0 kalıbına göre %6 oranında daha büyük olduğu görülmektedir.

4.12. Karbonatlaşma Derinliği

Karbonatlaşma derinliği deneyi sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.46'da verilmiştir. Kalıp faktörünün üç seviyesinde (K0, K1, K2) gerçekleştirilen tekrarlanan ölçümlü varyans analizi sonucunda, kalıp faktörünün karbonatlaşma derinliği değerleri üzerinde istatistik olarak önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür ($P < 0,01$) (Çizelge 4.47). Diğer bir ifadeyle karbonatlaşma derinliği değerlerinin kalıp farklılığına bağlı olarak değişmekte olduğu görülmüştür. Ortalamalar arasındaki farkın belirlenmesinde çoklu karşılaştırma testlerinden Bonferroni testi kullanılmıştır (Çizelge 4.48). Ayrıca ortalama karbonatlaşma derinliği değerlerine ait grafik Şekil 4.27'de görülmektedir.

Çizelge 4.46. Bir yıl sonunda karbonatlaşma derinliği değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

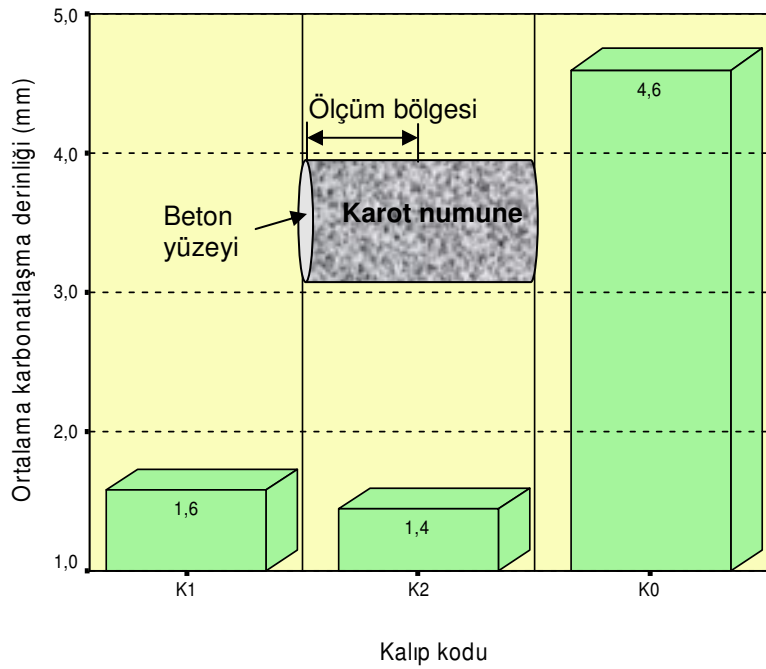
Kalıp kodu	N	Ortalama (mm)	Std.Hata	Minimum	Maksimum
K0	6	4,59	0,5843	2,17	6,50
K1	6	1,57	0,1140	1,20	1,86
K2	6	1,44	0,0904	1,17	1,75

Çizelge 4.47. Karbonatlaşma derinliği verilerine ait varyans çözümleme tablosu

Varyansın Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-testi	Anlamlılık düzeyi (p)
Genel	17	49,036	~	~	~
Gruplar Arası	5	4,716	0,943	~	~
Gruplar İçi	12	44,320	~	~	~
Kalıp'lar Arası	2	38,159	19,079	30,968	0,000
Hata (Kalıp)	10	6,161	0,616	~	~

Çizelge 4.48. Karbonatlaşma derinliği verilerine ait Bonferroni testi sonuçları

Kalıp kodu	N	Farklı Gruplar	
		1	2
K2 (SB-20)	6	1,44	~
K1 (Zemdrain)	6	1,57	~
K0 (Referans)	6	~	4,59



Şekil 4.27. Ortalama karbonatlaşma derinliği verilerine ait çubuk grafiği

Gerçekleştirilen Bonferroni çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre karbonatlaşma derinliği değerleri bakımından;

- ✓ Astarlı K1 ve K2 kalıplarının birbirinden istatistiki anlamda farklı olmadığı,
- ✓ Astarlı K1 ve K2 kalıplarının astarsız K3 kalıbından istatistik olarak farklı olduğu,
- ✓ Astarlı K2 kalıbına dökülen betonların en küçük karbonatlaşma derinliği değerine sahip olduğu,
- ✓ Astarlı K2 kalıbının, astarlı K1 ve astarsız K0 kalıbına göre sırasıyla %12 ve %69 daha küçük karbonatlaşma derinliğine sahip olduğu,
- ✓ Karbonatlaşma derinliği bakımından 1,4 mm ile astarlı K2 kalıbının en küçük, 4,6 mm ile ise astarsız K0 kalıbının ise en büyük değere sahip olduğu görülmüştür.

4.13. Kapiler Su Emme Miktarı

Kapiler su emme miktarı deneyi sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.49'de verilmiştir. Zaman faktörünün üç seviyesi (28., 90., ve 365. gün), numune faktörünün iki seviyesi (üst, orta), kalıp faktörünün ise üç seviyesinde (K0, K1, K2) gerçekleştirilen tekrarlanan ölçümlü varyans analizi sonucunda Kalıp*Zaman ve Kalıp*Numune interaksiyonlarının istatistik olarak önemli olduğu bulunmuştur ($P < 0,01$) (Çizelge 4.50). Ayrıca Zaman*Numune ve Kalıp*Zaman*Numune interaksiyonlarının istatistik olarak önemli olmadığı görülmüştür.

Kalıp*Zaman interaksiyonunda; kapilarite katsayısı değerlerinde kalıplar arasında gözlenen farkların deneyin yapıldığı zamana yani betonun yaşına bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Bundan dolayı kalıp faktörünün seviyeleri karşılaştırılırken, zaman faktörünün herbir seviyesinde ayrı ayrı

karşılaştırılmıştır. Benzer şekilde zaman faktörünün seviyeleri karşılaştırılırken, kalıp faktörünün her bir seviyesinde ayrı ayrı karşılaştırmalar gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.51).

Kalıp*Numune interaksiyonunda; kapilarite katsayısı değerlerinde kalıplar arasında gözlenen farkların numune türüne bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Bundan dolayı numune faktörünün seviyeleri karşılaştırılırken, kalıp faktörünün her bir seviyesinde ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Benzer şekilde kalıp faktörünün seviyeleri karşılaştırılırken, numune faktörünün her bir seviyesinde ayrı ayrı karşılaştırmalar gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.52).

Ortalamalar arasındaki farkın belirlenmesinde çoklu karşılaştırma yöntemlerinden Duncan testi kullanılmıştır. Ayrıca K0 kalıbına ait ortalama kapilarite katsayıları Şekil 4.28’de, K1 kalıbına ait Şekil 4.29’da, K2 kalıbına ait olan ise Şekil 4.30’daki grafikte görülmektedir.

Çizelge 4.49. Kapilarite katsayısı verilerine ait açıklayıcı istatistikler

Kalıp Kodu	Beton		Ortalama				
	Yaşı (gün)	Numune	N	$\times 10^{-6}$ (cm ² /sn)	Std.Hata $\times 10^{-6}$	Minimum $\times 10^{-6}$	Maksimum $\times 10^{-6}$
K0 (Referans)	28.	Üst	6	12,231	1,5720	8,00	16,84
		Orta	6	9,590	0,4347	8,58	11,20
	90.	Üst	6	15,890	0,6582	14,52	18,97
		Orta	6	12,153	0,8670	10,15	16,00
	365.	Üst	6	16,641	1,6318	9,52	20,73
		Orta	6	15,134	1,3932	9,41	18,51
K1 (Zemdrain)	28.	Üst	6	5,563	0,6788	3,61	7,88
		Orta	6	14,351	2,3533	8,78	24,10
	90.	Üst	6	5,953	0,5730	4,28	8,04
		Orta	6	11,125	0,9146	8,72	15,29
	365.	Üst	6	7,548	1,2586	3,67	12,22
		Orta	6	13,475	1,7142	7,76	19,14
K2 (SB-20)	28.	Üst	6	5,286	0,6595	2,23	6,66
		Orta	6	9,533	2,5351	4,43	19,26
	90.	Üst	6	7,680	0,6083	4,90	9,03
		Orta	6	8,914	0,9993	5,52	12,14
	365.	Üst	6	9,883	0,9381	7,96	13,39
		Orta	6	11,845	0,6960	10,15	15,08

Çizelge 4.50. Kapilarite katsayısı verilerine ait varyans çözümleme tablosu

Varyansın Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-testi	Anlamlılık düzeyi (α)
Genel	107		~	~	~
Gruplar arası	5	74,051	14,810	~	~
Gruplar içi	102		~	~	~
Kalıp'lar arası	2	464,647	232,324	12,283	0,002
Hata (Kalıp)	10	189,137	18,914	~	~
Zaman'lar arası	2	171,21	85,605	5,066	0,030
Hata (Zaman)	10	168,971	16,897	~	~
Numune'ler arası	1	126,038	126,038	6,385	0,053
Hata (Numune)	5	98,691	19,738	~	~
Kalıp*Zaman İnteraksiyonu	4	82,539	20,635	4,452	0,010
Hata (Kalıp*Zaman)	20	92,69	4,634	~	~
Kalıp*Numune İnteraksiyonu	2	387,045	193,522	35,382	0,000
Hata (Kalıp*Numune)	10	54,695	5,47	~	~
Zaman*Numune İnteraksiyonu	2	29,857	14,929	1,995	0,187
Hata (Zaman*Numune)	10	74,813	7,481	~	~
Kalıp*Zaman*Numune İnteraks.	4	14,264	3,566	0,514	0,726
Hata (Kalıp*Zaman*Numune)	20	138,843	6,942	~	~

Çizelge 4.51. Kalıp*Zaman interaksiyonunda kapilarite katsayısı verilerine ait Duncan testi sonuçları

Kalıp kodu	Beton Yaşı (gün)		
	28.	90.	365.
K1 (Zemdrain)	9,957.10 ⁻⁶ ABa	8,539.10 ⁻⁶ Ba	10,512.10 ⁻⁶ Ba
K2 (SB 20)	7,410.10 ⁻⁶ Bb	8,297.10 ⁻⁶ Bab	10,864.10 ⁻⁶ Ba
K0 (Referans)	10,911.10 ⁻⁶ Ab	14,022.10 ⁻⁶ Aa	15,887.10 ⁻⁶ Aa

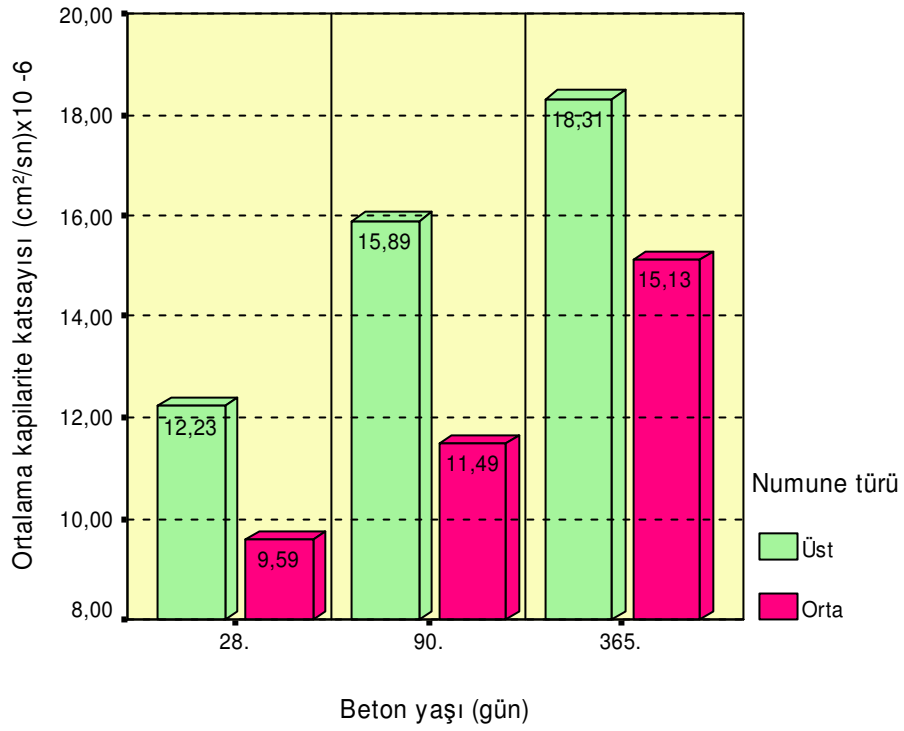
Not : 1. Her bir zamanda farklı büyük harflerle gösterilen grup ortalamaları arasındaki farklar istatistik olarak önemlidir.

2. Her bir kalıpta farklı küçük harflerle gösterilen grup ortalamaları arasındaki farklar istatistik olarak önemlidir.

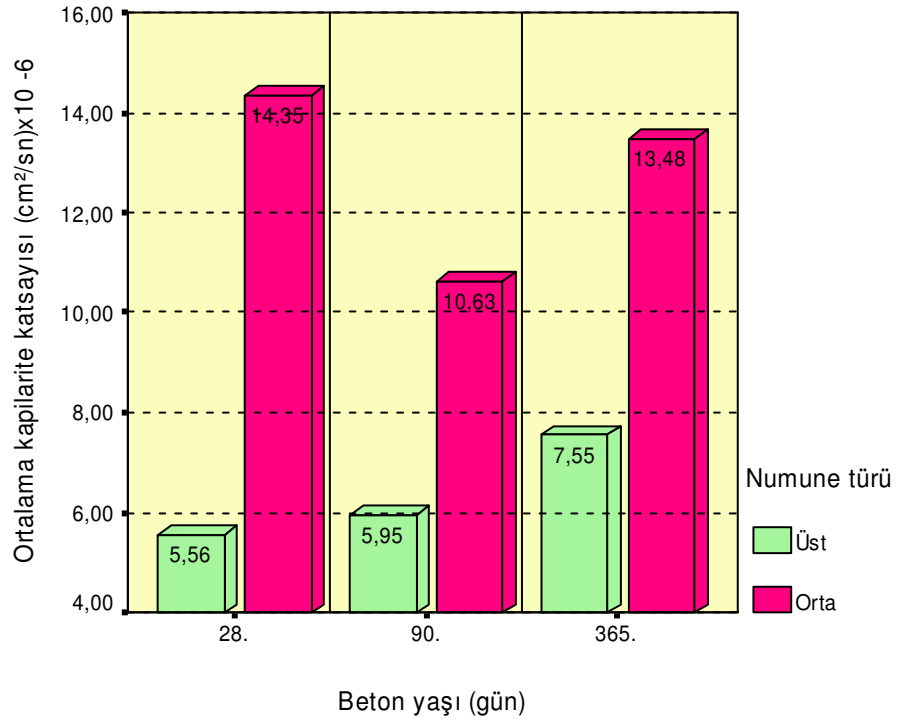
Çizelge 4.52. Kalıp*Numune interaksiyonunda kapilarite katsayısı verilerine ait Duncan testi sonuçları

Kalıp kodu	Numune türü	
	Üst	Orta
K1 (Zemdrain)	$6,355 \cdot 10^{-6}$ Bb	$12,984 \cdot 10^{-6}$ Aa
K2 (SB 20)	$7,167 \cdot 10^{-6}$ Bb	$10,097 \cdot 10^{-6}$ Ba
K0 (Referans)	$14,921 \cdot 10^{-6}$ Aa	$12,293 \cdot 10^{-6}$ ABb

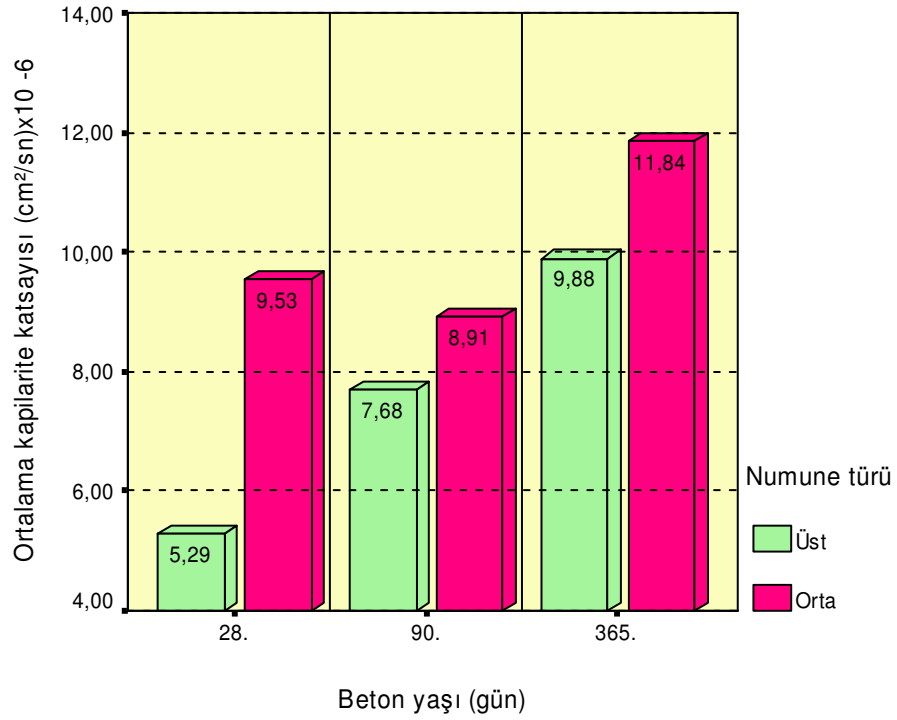
Not : 1. Her bir numunede farklı büyük harflerle gösterilen grup ortalamaları arasındaki farklar istatistik olarak önemlidir.
 2. Her bir kalıpta farklı küçük harflerle gösterilen grup ortalamaları arasındaki farklar istatistik olarak önemlidir.



Şekil 4.28. K0 kalıbına ait ortalama kapilarite katsayısı verileri çubuk grafiği



Şekil 4.29. K1 kalıbına ait ortalama kapilarite katsayısı verileri çubuk grafiği



Şekil 4.30. K2 kalıbına ait ortalama kapilarite katsayısı verileri çubuk grafiği

Gerçekleştirilen Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre kapilarite katsayısı değerleri bakımından;

- ✓ Kapilarite katsayısı değerlerinde kalıplar arasında gözlenen farkların deneyin yapıldığı zamana bağlı olarak değiştiği (Çizelge 4.51),
- ✓ 28. günde kalıplar arasında ortalama kapilarite katsayısı değerleri bakımından istatistik olarak önemli bir farkın olduğu,
- ✓ Astarlı K1 kalıbının, astarlı K2 ve astarsız K0 kalıplarından istatistik olarak farklı olmadığı,
- ✓ Ancak astarlı K2 kalıbının, astarsız K0 referans kalıbından istatistik olarak farklı olduğu,
- ✓ Astarlı K2 kalıbının $7,41 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{sn}$ ile en küçük kapilarite katsayısına, astarsız K0 kalıbının ise $10,91 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{sn}$ ile en büyük kapilarite katsayısına sahip olduğu,
- ✓ 90. günde kalıplar arasında ortalama kapilarite katsayısı değerleri bakımından istatistik olarak önemli bir farkın olduğu,
- ✓ Astarlı K1 ve K2 kalıplarının istatistik olarak birbirinden farksız, astarsız K0 kalıbından farklı olduğu,
- ✓ Astarlı K2 kalıbının $8,29 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{sn}$ ile en küçük kapilarite katsayısına, astarsız K0 kalıbının ise $14,02 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{sn}$ ile en büyük kapilarite katsayısına sahip olduğu,
- ✓ 365. günde kalıplar arasında ortalama kapilarite katsayısı değerleri bakımından istatistik olarak önemli bir farkın olduğu,
- ✓ Astarlı K1 ve K2 kalıplarının istatistik olarak birbirinden farksız, astarsız K0 kalıbından farklı olduğu,
- ✓ Astarlı K2 kalıbının $10,09 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{sn}$ ile en küçük kapilarite katsayısına, astarsız K0 kalıbının ise $12,29 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{sn}$ ile en büyük kapilarite katsayısına sahip olduğu,

- ✓ Zaman faktörünün bütün seviyelerinde astarlı K2 kalıbının astarsız K0 kalıbına göre 28.,90. ve 365. günlerde sırasıyla %32, %41, %31 oranında daha küçük kapilarite katsayısına sahip olduğu,
- ✓ Astarlı K1 kalıbında ortalama kapilarite katsayısı değerlerinin zamana bağlı olarak değişmediği, astarlı K2 ve Astarsız K0 kalıplarında ise değiştiği ve bu değişimin istatistik olarak önemli olduğu,
- ✓ Bütün kalıplarda ortalama kapilarite katsayılarının 365. günde 28. güne göre arttığı,
- ✓ Astarlı K1 ve K2 kalıbı ile astarsız K0 kalıbında ortalama kapilarite katsayılarının 365. günde 28 güne göre sırasıyla %5, %31, %32 oranında arttığı,
- ✓ Kapilarite katsayısı değerlerinde kalıplar arasında gözlenen farkların numune türüne bağlı olarak değiştiği (Çizelge 4.52),
- ✓ Üst numunelerde, kalıplar arasında ortalama kapilarite katsayıları bakımından istatistik olarak önemli bir farkın olduğu,
- ✓ Üst numunelerde astarlı K1 ve K2 kalıplarının istatistik olarak birbirinden farksız, astarsız K0 kalıbından farklı olduğu,
- ✓ Astarlı K1 kalıbının $6,35 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{sn}$ ile en küçük kapilarite katsayısına, astarsız K0 kalıbının ise $14,92 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{sn}$ ile en büyük kapilarite katsayısına sahip olduğu,
- ✓ Orta numunelerde astarlı K1 ve K2 kalıplarının birbirinden farklı, astarsız K0 kalıbından ise farklı olmadığı,
- ✓ Bütün kalıplarda kapilarite katsayısının numune faktörüne bağlı olarak değiştiği ve bu değişimin istatistik olarak önemli olduğu,
- ✓ Astarlı K1 ve K2 kalıplarında üst numunede kapilarite katsayılarının küçük, orta numunede ise büyük olduğu,
- ✓ Astarlı K1 ve K2 kalıplarında üst numunelerin kapilarite katsayısının orta numuneye göre sırasıyla %51, %30 oranında küçük olduğu,
- ✓ Astarsız K0 kalıbında ise astarlı kalıpların tersine orta numunenin kapilarite katsayısı üst numuneye göre %18 oranında daha küçük olduğu,

- ✓ Astarlı kalıplarda drenaj özelliğinden dolayı üst numunelerde kapiler boşlukların astarsız K0 kalıbına göre daha az oluştuğu görülmüştür.

4.14. Aşınma Dayanımı

Aşınma dayanımı deneyi sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.53'te verilmiştir. Numune faktörünün iki seviyesi (üst, orta), kalıp faktörünün ise üç seviyesinde (K0, K1, K2) gerçekleştirilen tekrarlanan ölçümlü varyans analizi sonucunda, Numune*Kalıp interaksiyonu istatistik olarak önemli bulunmuştur ($P<0,01$) (Çizelge 4.54). Aşınma dayanımı değerlerinde kalıplar arasında gözlenen farkların numunenin alındığı yere bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Bundan dolayı kalıp faktörünün seviyeleri karşılaştırılırken, numune faktörünün herbir seviyesinde ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Benzer şekilde numune faktörünün seviyeleri karşılaştırılırken, kalıp faktörünün herbir seviyesinde ayrı ayrı karşılaştırmalar gerçekleştirilmiştir.

Ortalamalar arasındaki farkın belirlenmesinde çoklu karşılaştırma yöntemlerinden Duncan testi kullanılmıştır (Çizelge 4.55). Ayrıca betonların aşınmadan sonraki durumu Resim 4.1'de, ortalama aşınma değerlerine ait grafik Şekil 4.31'de görülmektedir.

Çizelge 4.53. Aşınma dayanımı verilerine ait açıklayıcı istatistikler

Kalıp kodu	Numune	N	Ortalama (%)	Std.Hata	Minimum	Maksimum
K0 (Referans)	Üst	6	0,85	0,121	0,50	1,37
	Orta	6	0,40	0,0162	0,34	0,45
K1 (Zemdrain)	Üst	6	0,19	0,0189	0,12	0,24
	Orta	6	0,42	0,0283	0,36	0,55
K2 (SB-20)	Üst	6	0,21	0,0207	0,12	0,28
	Orta	6	0,37	0,0231	0,31	0,47

Çizelge 4.54. Aşınma dayanımı verilerine ait varyans çözümleme tablosu

Varyansın Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-testi	Anlamlılık düzeyi (p)
Genel	35	4,399	~	~	~
Gruplar arası	5	0,052	0,011	~	~
Gruplar içi	30	2,173	~	~	~
Numune'ler arası	1	0,004	0,004	0,217	0,661
Hata (Numune)	5	0,110	0,022	~	~
Kalıp'lar arası	2	0,873	0,437	20,429	0,000
Hata (Kalıp)	10	0,214	0,021	~	~
(Numune*Kalıp) İnteraksiyonu	2	0,838	0,419	31,267	0,000
Hata (Numune*Kalıp)	10	0,134	0,013	~	~

Çizelge 4.55. Aşınma dayanımı verilerine ait Duncan testi sonuçları

Kalıp kodu	Numune türü	
	Üst	Orta
K1 (Zemdrain)	0,19 Bb	0,42 Aa
K2 (SB 20)	0,21 Bb	0,37 Aa
K0 (Referans)	0,85 Aa	0,40 Ab

Not : 1. Her bir numunede farklı büyük harflerle gösterilen grup ortalamaları arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir.

2. Her bir kalıpta farklı küçük harflerle gösterilen grup ortalamaları arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir.

Gerçekleştirilen Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre aşınma dayanımı değerleri bakımından;

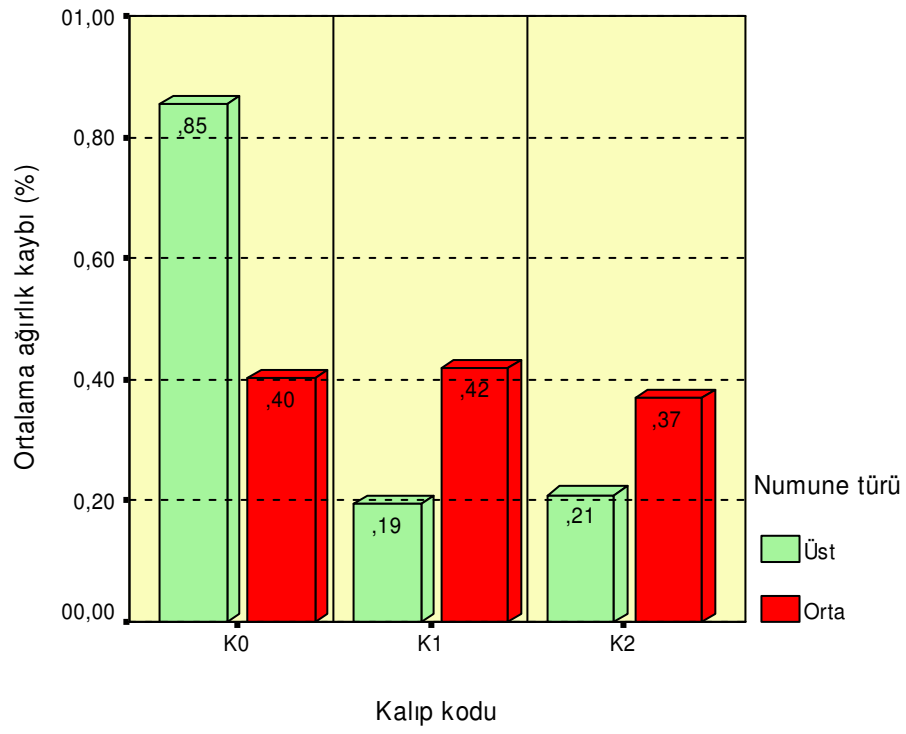
- ✓ Üst numunelerde astarlı K1 ve K2 kalıplarının birbirinden farklı olmadığı,
- ✓ Astarsız K0 kalıbının ise astarlı K1 ve K2 kalıplarından farklı olduğu,
- ✓ Astarlı K1 kalıbının astarsız K0 kalıbına göre %77 daha az aşınma dayanımına sahip olduğu,
- ✓ Orta numunelerde ise kalıplar arasında istatistik olarak önemli bir fark bulunmadığı,

- ✓ Astarlı K1 ve K2 kalıplarında üst ve orta numunelerin aşınma dayanımı değerlerinin istatistik olarak birbirinden farklı olduğu,
- ✓ Astarlı K1 ve K2 kalıplarında üst numuneye ait aşınma dayanımı değerlerinin orta numuneye göre sırasıyla %55 ve %43 daha küçük olduğu, yani aşınmadan dolayı üst numunelerin orta numunelere göre daha az ağırlık kaybına uğradığı,
- ✓ Astarsız K0 kalıbında ise üst ve orta numunelerine ait aşınma dayanımı değerlerinin birbirinden istatistik olarak farklı olduğu,
- ✓ Ancak orta numuneye ait aşınma dayanımı değerinin üst numuneye göre %53 daha küçük olduğu, yani beton kabuğunun aşınma dayanımının daha küçük olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak; astarlı kalıplarda dökülen betonların kabuğunu temsil eden üst numunelerin beton iç bünyesini temsil eden orta numunelerden daha büyük aşınma dayanımına sahip olduğu, astarsız kalıba dökülen betonda ise üst numunenin orta numuneye göre daha küçük aşınma dayanımına sahip olduğu görülmüştür.



Resim 4.1. Aşınma deneyinden sonraki beton numunelerinin görüntüsü



Şekil 4.31. Ortalama aşınma dayanımı verilerine ait çubuk grafiği

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Farklı yüzey özelliklerine sahip üç adet perde duvar kalıbına dökülerek üretilen beton bloklar üzerinde; Schmidt çekici ile yüzey sertliği, radyoaktif yöntemle beton yoğunluğu, yüzeyde kopma dayanımı, doğrudan çekme dayanımı, yüzeyde hava boşluğu miktarı deneyleri ve bu beton bloklardan alınan karot numuneler üzerinde ise; basınç dayanımı, statik elastisite modülü ve poisson oranı, yarmada çekme dayanımı, beton yoğunluğu, görünür boşluk oranı, ultrases geçiş hızı, karbonatlaşma derinliği, kapiler su emme ve aşınma dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Deneylerden elde edilen veriler üzerinde yapılan istatistik değerlendirmeler sonucunda aşağıda belirtilen sonuçlara ulaşılmıştır.

Schmidt çekici ile yüzey sertliği değerlerinin;

- ✓ kalıp türüne ve beton yaşına bağlı olarak değiştiği,
- ✓ bütün zaman aralıklarında astarsız K0 kalıbının en küçük ortalama yüzey sertliğine sahip olduğu,
- ✓ bütün zaman aralıklarında Zemdrain astarlı K1 kalıbının en büyük ortalama yüzey sertliğine sahip olduğu,
- ✓ Zemdrain astarlı K1 kalıbının astarsız K0 kalıbından, 28.günde %21, 90. günde %15, 210. günde %5, 365. günde ise %8 olmak üzere bütün zaman aralıklarında ortalama %12 daha büyük yüzey sertliği değerlerine sahip olduğu,
- ✓ farklı zaman aralıklarında gerçekleştirilen yüzey sertliği okumalarına ait ortalamaların birbirinden farklı olduğu,
- ✓ 365. gün sonunda yüzey sertliği değerlerinin 28. güne göre, astarsız K0 kalıbında %37, Zemdrain astarlı K1 kalıbında %17, SB-20 astarlı K2 kalıbında ise %13 oranında arttığı,

- ✓ Zemdren astarlı K1 kalıbının Schmidt çekici yüzey sertliği değerleri bakımından en iyi sonucu verdiği görülmüştür.

Radyoaktif yöntemle beton yoğunluğu değerlerinin;

- ✓ kalıp türüne bağılı olarak değıştiğı ve bu değışikliğın deneyin yapıldığı zamandan ve derinlikten etkilendiğı,
- ✓ arasında gözlenen farkların deneyin yapıldığı zamana ve derinliğe bağılı olarak değıştiğı sonucuna
- ✓ astarsız K0 kalıbında, deneyin yapıldığı bütün zaman seviyelerinde 7,5 cm derinliğinde en büyük, 2,5 cm derinlikte ise en küçük yoğunluk değerlerine sahip olduğı,
- ✓ Zemdren astarlı K1 kalıbında deneyin yapıldığı bütün zaman seviyelerinde astarsız K0 kalıbının tersine 2,5 cm derinliğinde en büyük, 7,5 cm derinlikte ise en küçük yoğunluk değerlerine sahip olduğı,
- ✓ Zemdren astarlı K1 kalıbının, bütün derinlik seviyelerinde kalıplar arasında en büyük yoğunluk değerlerine sahip olduğı,
- ✓ Zemdren astarlı K1 kalıbının bütün zaman aralıklarında 2,5 cm derinlikdeki yoğunluk değerlerinin, astarsız K0 kalıbına göre ortalama %4 oranında daha büyük olduğı görülmüştür.

Yüzeyde kopma dayanımı değerlerinin;

- ✓ kalıp türüne ve zamana bağılı olarak değıştiğı,
- ✓ 90. günde betonun kopma dayanımının 28. güne göre beton basınç dayanımındaki artışa paralel olarak %10 oranında arttığı,
- ✓ astarsız K0 referans kalıbın 12,85 kN ortalama ile en küçük kopma dayanımına sahip olduğı,
- ✓ SB-20 astarlı K2 kalıbının 25,45 kN ortalama ile en büyük kopma dayanımına sahip olduğı,

- ✓ SB-20 astarlı K2 kalıbının astarsız K0 kalıbına göre %49 daha büyük kopma dayanımına sahip olduğu, görülmüştür.

Doğrudan çekme dayanımı değerlerinin;

- ✓ kalıp türüne ve zamana bağlı olarak değiştiği,
- ✓ 365. günde 2,846 MPa ortalama ile en küçük doğrudan çekme dayanımına sahip olduğu,
- ✓ 365. güne kadar doğrudan çekme dayanımı verilerinin beton başınc dayanımına paralel bir artış gösterdiği,
- ✓ Ancak 365. günde beton yüzeyinde meydana gelen karbonatlaşmadan kopmaların beton yüzeyinde olduğu ve bundan dolayı doğrudan çekme dayanımı değerlerinin düştüğü,
- ✓ SB-20 astarlı K2 kalıbının 3,483 MPa ortalama ile en büyük, astarsız K0 referans kalıbın 2,893 MPa ortalama ile en küçük doğrudan çekme dayanımına sahip olduğu,
- ✓ SB-20 astarlı K2 kalıbının astarsız K0 kalıbına göre %17 daha büyük doğrudan çekme dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

Yüzeyde hava boşluğu değerlerinin;

- ✓ kalıp türüne bağlı olarak değiştiği,
- ✓ Zedrain astarlı K1 kalıbın %0,10 ile en küçük yüzeyde hava boşluğu değerine sahip olduğu,
- ✓ astarsız K0 referans kalıbın ise %2,71 ile en büyük yüzeyde hava boşluğu değerine sahip olduğu,
- ✓ Zedrain astarlı K1 kalıbında gözlenen yüzeyde hava boşluğu miktarının astarsız K0 kalıbındakinin %3'ü kadar olduğu görülmüştür.

Basınç dayanımı değerlerinin;

- ✓ kalıp türüne ve zamana bağlı olarak değiştiği,
- ✓ 28. günde 28,13 MPa ortalama ile en küçük beton basınç dayanımına sahip olduğu,
- ✓ 365. günde 33,83 MPa ortalama ile en büyük beton basınç dayanımına sahip olduğu,
- ✓ 365. günde beton basınç dayanımının 28. güne göre %17 oranında arttığı,
- ✓ SB-20 astarlı K2 kalıbının 33,48 MPa ortalama ile en büyük beton basınç dayanımına sahip olduğu,
- ✓ astarsız K0 referans kalıbın 28,35 MPa ortalama ile en küçük beton basınç dayanımına sahip olduğu,
- ✓ SB-20 astarlı K2 kalıbının astarsız K0 kalıbına göre %15 daha büyük beton basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

Statik elastisite modülü ve poisson oranı değerlerinin;

- ✓ kalıp türüne ve zamana bağlı olarak değiştiği,
- ✓ 28. günde 25713,718 MPa ortalama ile en küçük elastisite modülüne sahip olduğu,
- ✓ 365. günde 30979,363 MPa ortalama ile en büyük elastisite modülüne sahip olduğu,
- ✓ 365. günde elastisite modülü değerinin 28. güne göre %17 oranında arttığı,
- ✓ elastisite modülü değerlerinin beton basınç dayanımına paralel olarak artış gösterdiği,
- ✓ astarsız K0 referans kalıbın 26831,949 MPa ortalama ile en küçük elastisite modülüne sahip olduğu,
- ✓ kalıplar arasında SB-20 astarlı K2 kalıbının 28760,494 MPa ortalama ile en büyük elastisite modülüne sahip olduğu,

- ✓ SB-20 astarlı K2 kalıbının astarsız K0 kalıbına göre %7 daha büyük elastisite modülüne sahip olduğu,
 - ✓ Poisson oranının kalıp türüne ve zamana göre değiştiği,
 - ✓ 28. gündeki Poisson oranı değerinin 365. gündeğine göre %9 oranında daha büyük olduğu,
 - ✓ Poisson oranı değerlerinin elastisite modülü ile ters yönde ilişkili olduğu,
 - ✓ Kalıplar arasında Zedrain astarlı K1 kalıbının 0,248 ortalama ile en büyük Poisson oranına sahip olduğu,
 - ✓ astarsız K0 referans kalıbın 0,213 ortalama ile en küçük Poisson oranına sahip olduğu,
 - ✓ Zedrain astarlı K1 kalıbının astarsız K0 kalıbına göre %14 daha büyük Poisson oranına sahip olduğu
- görülmüştür.

Yarmada çekme dayanımı değerlerinin;

- ✓ kalıp ve numune türüne bağlı olarak değiştiği,
- ✓ üst numunelerde kalıplar arasında istatistik olarak önemli bir fark olduğu,
- ✓ üst numunelerde astarsız K0 kalıbının 2,60 MPa ile en küçük, SB-20 astarlı K2 kalıbının ise 3,70 MPa ile en büyük yarmada çekme dayanımı değerine sahip olduğu,
- ✓ SB-20 astarlı K2 kalıbında üst numuneye ait yarmada çekme dayanımı değerinin astarsız K0 referans kalıbına göre %30 daha büyük olduğu,
- ✓ orta numunelerde ise kalıplar arasında istatistik olarak önemli bir fark bulunmadığı,
- ✓ astarlı kalıplardaki drenaj uygulamasının beton yüzeyinden 5 cm'lik derinliğe kadar etkili olduğu,
- ✓ Zedrain astarlı K1 kalıbında üst numunelere ait yarmada çekme dayanımı değerinin orta numuneye göre sırasıyla %35 daha büyük olduğu,

- ✓ astarsız K0 referans kalıbında ise tam tersine üst numunenin yarmada çekme dayanımı değerlerinin orta numuneye göre %9 daha küçük olduğu görülmüştür.

Yoğunluk değerlerinin;

- ✓ kalıp ve numune türüne bağlı olarak değiştiği,
- ✓ üst numunenin ortalama beton yoğunluğu değerinin orta numuneye göre %2 daha büyük olduğu,
- ✓ kalıplar arasında Zemdrain astarlı K1 kalıbının 2,234 gr/cm³ ortalama ile en büyük beton yoğunluğu değerine sahip olduğu,
- ✓ astarsız K0 referans kalıbın 2,209 gr/cm³ ortalama ile en küçük beton yoğunluğu değerine sahip olduğu,
- ✓ Zemdrain astarlı K1 kalıbının astarsız K0 kalıbına göre %2 daha büyük beton yoğunluğu değerine sahip olduğu görülmüştür.

Görünür boşluk yüzdesi değerlerinin;

- ✓ kalıp ve numune türüne bağlı olarak değiştiği,
- ✓ üst numunenin görünür boşluk yüzdesi değerinin orta numuneye göre %7 daha küçük olduğu,
- ✓ Zemdrain astarlı K1 kalıbının %14,94 ortalama ile en küçük görünür boşluk yüzdesi değerine sahip olduğu,
- ✓ astarsız K0 referans kalıbın %16,07 ortalama ile en büyük görünür boşluk yüzdesi değerine sahip olduğu,
- ✓ Zemdrain astarlı K1 kalıbının astarsız K0 kalıbına göre %8 daha küçük görünür boşluk yüzdesi değerine sahip olduğu görülmüştür.

Ultrases geçiş hızı değerlerinin;

- ✓ zamana bağlı olarak değiştiği,

- ✓ zamana göre ultrases geçiş hızı değerlerindeki artışın, basınç dayanımı değerlerindeki artışa paralel olduğu,
- ✓ kalıp türüne bağlı olarak ultrases geçiş hızı değerlerindeki değişimin istatistik olarak önemli olmadığı, ancak buna rağmen Zemdrain astarlı K1 ve SB-20 astarlı K2 kalıbının ultrases geçiş hızı değerlerinin astarsız K0 referans kalıbına göre daha büyük olduğu,
- ✓ SB-20 astarlı K2 kalıbının ultrases geçiş hızı değerinin astarsız K0 referans kalıbına göre %6 oranında daha büyük olduğu görülmüştür.

Karbonatlaşma derinliği değerlerinin;

- ✓ kalıp türüne bağlı olarak değiştiği,
- ✓ SB-20 astarlı K2 kalıbı 1,4 mm ile en küçük, astarsız K0 referans kalıbı ise 4,6 mm ile en büyük karbonatlaşma derinliğine sahip olduğu,
- ✓ SB-20 astarlı K2 kalıbının, astarsız K0 referans kalıbına göre %69 daha küçük karbonatlaşma derinliğine sahip olduğu, görülmüştür.

Kapiler su emme miktarı değerlerinin;

- ✓ Kalıp türü, numune türü ve zamana bağlı olarak değiştiği,
- ✓ zaman faktörünün bütün seviyelerinde SB-20 astarlı K2 kalıbının astarsız K0 kalıbına göre 28.,90. ve 365. günlerde sırasıyla %32, %41, %31 oranında daha küçük kapilarite katsayısına sahip olduğu,
- ✓ bütün kalıplarda ortalama kapilarite katsayılarının 365. günde 28. güne göre arttığı,
- ✓ Zemdrain astarlı K1 kalıbının $6,35 \cdot 10^{-6}$ cm²/sn ile en küçük kapilarite katsayısına, astarsız K0 kalıbının ise $14,92 \cdot 10^{-6}$ cm²/sn ile en büyük kapilarite katsayısına sahip olduğu,
- ✓ Zemdrain Astarlı K1 kalıbında üst numunelerin kapilarite katsayısının orta numuneye göre sırasıyla %51 oranında küçük olduğu,

- ✓ astarsız K0 referans kalıbında ise astarlı kalıpların tersine orta numunenin kapilarite katsayısı üst numuneye göre %18 oranında daha küçük olduğu,
- ✓ astarlı kalıplarda drenaj özelliğinden dolayı üst numunelerde kapiler boşlukların astarsız K0 kalıbına göre daha az olduğu görülmüştür.

Aşınma dayanımı değerlerinin;

- ✓ kalıp ve numune türüne bağlı olarak değiştiği,
- ✓ üst numunelerde astarsız K0 kalıbının Zembrain astarlı K1 ve SB-20 astarlı K2 kalıplarından farklı olduğu,
- ✓ Zembrain astarlı K1 kalıbının astarsız K0 kalıbına göre %77 daha az aşınma dayanımına sahip olduğu,
- ✓ orta numunelerde ise kalıplar arasında istatistik olarak önemli bir fark bulunmadığı,
- ✓ Zembrain astarlı K1 kalıbında üst numuneye ait aşınma dayanımı değerlerinin orta numuneye göre %55 oranında daha küçük olduğu, yani aşınmadan dolayı üst numunelerin orta numunelere göre daha az ağırlık kaybına uğradığı,
- ✓ astarsız K0 referans kalıbında üst ve orta numuneye ait aşınma dayanımının birbirinden farklı olduğu,
- ✓ ancak orta numuneye ait aşınma dayanımı değerinin üst numuneye göre %53 daha küçük olduğu, yani beton kabuğunun aşınma dayanımının daha küçük olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak;

- ✓ Zembrain astarlı kalıp astarsız referans kalıptan bütün zaman aralıklarında ortalama %12 daha büyük yüzey sertliği değerlerine sahip olduğu,

- ✓ Zemdren astarlı kalıbın bütün zaman aralıklarında 2,5 cm derinlikdeki yoğunluk değerlerinin, astarsız referans kalıba göre ortalama %4 oranında daha büyük olduğu,
- ✓ SB-20 astarlı kalıbın astarsız referans kalıba göre %49 daha büyük kopma dayanımına sahip olduğu,
- ✓ SB-20 astarlı kalıbın astarsız referans kalıba göre %17 daha büyük doğrudan çekme dayanımına sahip olduğu,
- ✓ Zemdren astarlı kalıpta gözlenen yüzeyde hava boşluğu miktarının astarsız referans kalıbın %3'ü kadar olduğu,
- ✓ SB-20 astarlı kalıbın astarsız referans kalıba göre %15 daha büyük beton basınç dayanımına sahip olduğu,
- ✓ SB-20 astarlı kalıbın astarsız referans kalıba göre %7 daha büyük elastisite modülüne sahip olduğu,
- ✓ Zemdren astarlı kalıbın astarsız referans kalıba göre %14 daha büyük Poisson oranına sahip olduğu,
- ✓ SB-20 astarlı kalıpta üst numuneye ait yarmada çekme dayanımı değerinin astarsız referans kalıba göre %30 daha büyük olduğu,
- ✓ Zemdren astarlı kalıbın astarsız referans kalıba göre %2 daha büyük beton yoğunluğu değerine sahip olduğu,
- ✓ Zemdren astarlı kalıbın astarsız referans kalıba göre %8 daha küçük görünür boşluk yüzdesi değerine sahip olduğu,
- ✓ SB-20 astarlı kalıbın ultrases geçiş hızı değerinin astarsız referans kalıba göre %6 oranında daha büyük olduğu,
- ✓ SB-20 astarlı K2 kalıbının, astarsız referans kalıba göre %69 daha küçük karbonatlaşma derinliğine sahip olduğu,
- ✓ SB-20 astarlı kalıbın astarsız referans kalıba göre bütün zaman aralıklarında ortalama %35 oranında daha küçük kapilarite katsayısına sahip olduğu,
- ✓ Zemdren astarlı kalıbın astarsız referans kalıba göre %77 daha az aşınma dayanımına sahip olduğu

görülmüştür.

Zemdrain ve SB-20 astarla kaplanmış olan drenaj özelliği bulunan kalıplar beton dökülüp vibratörle sıkıştırıldıktan sonra kalıbın hemen arkasındaki betonun S/Ç oranını azaltmakta ve S/Ç oranındaki bu azalma 25-50 mm derinliğe kadarki betonu etkilemektedir. Astarlı kalıba dökülen beton içerisindeki su drene olurken beraberinde çimento ve ince taneler yüzeye doğru taşınarak kalıbın filtre tabakası tarafından kalıba bitişik beton hacmi içerisinde tutulmaktadır. Bu sayede yüzey betonunda S/Ç oranı azalmakta daha yoğun ve daha sağlam bir yüzey oluşmaktadır.

Bu çalışmada astarlı kalıplara dökülen betonlar üzerinde gerçekleştirilen bütün deneyler sonucunda astarsız referans kalıba dökülen betona göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Astarlı kalıplara dökülen betonlarda; Zemdrain astarlı kalıp betonu, Schmidt çekici ile yüzey sertliği, radyoaktif yöntemiyle beton yoğunluğu, yüzeyde hava boşluğu miktarı, Poisson oranı, beton yoğunluğu ve aşınma dayanımı değerleri bakımından SB-20 astarlı kalıba dökülen betona göre daha iyi sonuçlar vermiştir. SB-20 astarlı kalıp betonu ise, yüzeyde kopma dayanımı, doğrudan çekme dayanımı, basınç dayanımı, elastisite modülü, yarmada çekme dayanımı, ultrases geçiş hızı, karbonatlaşma derinliği ve kapilarite katsayısı değerleri bakımından Zemdrain astarlı kalıp betonuna göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Drenajlı astarlı kalıpların beton kabuğunun mikro yapısı üzerindeki etkilerinin başta donatı korozyonu olmak üzere betonarme eleman dayanıklılığı üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Bu nedenle beton kabuğu mikro yapısı üzerinde detaylı araştırmalar yapılması öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Arslan M., "Betonarme elemanların dayanıklılığı üzerine araştırmalar", **T.C. Başbakanlık DPT, Proje Kodu: 96K120750**, Ankara, 1-29 (1997).
2. Anthony, W.R., Stainer, D.J., "Concrete high rises offer many cost advantages", **Concrete Construction**, USA, 33: 452-456 (1988).
3. ACI Committee 397 2R-02, "Identification and control of consolidation related surface defects in formed concrete", **American Concrete Institute**, Detroit, 5-8 (2002).
4. Arslan, M., "The effects of drainer formworks with sucker lining on the concrete surface properties", **Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences**, 23(2): 121-133 (1999).
5. CIB Report, "Tolerances on blemishes of concrete", **CIB, Rp No: 24**, Rotterdam, 1-5 (1985).
6. ACI Committee 303 R-04, "Guide to cast-in-place architectural concrete practice", **American Concrete Institute**, Detroit, 1-21 (2004).
7. Long , A.E. , Hendersen , G.D. , Montgomery, F.R. , "Why ases the prcproperties of near surface concrete", **Construction and Building Materials**, 15: 65-79 (2001).
8. Cairns, J. "Enhancements in surface quality of concrete trough use of contralled permeability formwork liners", **Magazine of Concrate Research**, England, 51(2): 73-86 (1999).
9. Shaat, A., "Assesments of Methods of improving the durability of surface concrete", Phd Thesis, **Queen's University of Belfast**, Ireland, 1-35 (1995).
10. McCarthy, M.J., "In-situ performance of CPF concrete in a coastal environment", **Cement and Concrete Research**, 32: 451-457 (2002).
11. Nolan, E., Basheer, P. A. M., and Long, A. E., "Effects of three durability enhancing products on some physical properties of near-surface concrete", **Construction and Building Materials**, England, 9(5):267-272 (1995).
12. Somerville, G., "Service life prediction-an overview", **Concrete International**, 45-49 (1992).

13. ASTM C33, "Standart specification for concrete aggregates", **American Society For Testing And Materials**, 04.03:1-5 (2001).
14. Arslan, M., "Betonarme yapı elemanı tasarımında dayanıklılık faktörlerini belirlemeye yönelik bir araştırma", **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, Ankara, 9(4): 615-630 (1995).
15. Arslan, M. "Betonarme yapı tasarımında dikkate alınması gereken beton yüzey kusurları", **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, Ankara, Temmuz, 9(3): 503-516 (1996).
16. Kropp, J., Hilsdorf, H.K., "Performans criteria for concrete durability", **E & FN span and Chapman & Hall**, New York, USA, 5-13 (1995).
17. Popovics, S. "Strength and related properties of concrete", **John Wiley & Sons, Inc.**, New York, USA, 38-82 (1998).
18. Neville, A. M., "Properties of concrete", Fourth and Final Edition, **Pearson Prentice Hall**, England, 303-306, 391-394, 504-505, 581-585, 605-609, 610-624 (2003).
19. Akyüz, S., "Boşluk oranı ve geometrisinin betonun basınç dayanımına etkisi ve yüksek dayanımlı betonda boşluk yapısı", **2.Ulusal Beton Kongresi (Yüksek Dayanımlı Beton)**, 27-30 Mayıs, İstanbul (1991).
20. Mutluay, H., Demirak, A., "Malzeme Bilgisi", **Beta Basım Yayım**, İstanbul, 32-50 (1996).
21. Kocataşkın, F., "Betonun donmaya dayanımı", **Beton Semineri, DSI Araştırma Sitesi**, 6-10 Şubat, Ankara, (1984).
22. Postacıoğlu, B., "Beton, 2.cilt", **Teknik Kitaplar Yayınevi**, İstanbul, 241-245 (1987).
23. Uğurlu, A., 1997, "Zararlı kimyasal etkilere dayanıklı beton yapım kuralları", **DSİ Teknik Bülteni**, Ankara, 86: 13-15 (1997).
24. Newman, Choo, B.S., "Advanced concrete technology-processes", **Elsevier Butterworth Heinemann**, London, England, 1-16 (2003).
25. Baradan, B., Yazıcı, H. ve Ün, H., "Betonarme yapılarda kalıcılık (Durabilite)", **D.E.Ü. Müh. Fak. Yayınları, I.Basım, Yayın No:298**, İzmir, 67-73, 152-153, 158-170, 176-198 (2002).
26. Arslan, M., "Su Emici astarlı-geçirgen kalıpların beton yüzeyi fiziksel özelliklerine etkileri", **Niğde Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi**, Niğde, 2(1):124-132 (1998).

27. Reading, T.J., "Deleterious effect of wood forms on concrete surface" ***Concrete International***, 1:57-62 (1985).
28. ACI Committee ACI 303 R-04, "Guide to cast-in-place architectural concrete practice", ***American Concrete Institute***, Detroit, 5-15 (2004).
29. Schiessl, P. and Raupach, M., "Monitoring system for the corrosion risk of steel in concrete structure", ***Concrete International***, 2:52-55 (1992).
30. Chatterji, S., "Simultaneous chloride removal and realkalinization of old concrete structure", ***Cement and Concrete Research***, 24(6): 1051-1054 (1994).
31. Thompson, N.G. et al "Environment factors in the deterioration of reinforced concrete", ***Material Performance***, 8:25-32 (1995).
32. Wilson, D., "Controlled Permeability Formwork", ***Concrete***, 2: 456-461 (1994).
33. Rosenberg, A. et al., "Mechanism of corrosion of steel in concrete", ***Material Science of Concrete***, Westerville, 1: 285-313 (1989).
34. Masuda, M. et al., "Cathodic protection of reinforcing steel in concrete" corrosion control", ***7th Asian-Pacific Corrosion Control Conference***, Beijing, 2: 921-926 (1991).
35. Johnston, C.D., "Deicer salt scaling resistance and chloride permeability", ***Concrete International***, 8: 48-55 (1994).
36. Philipose, K.E. et al., "Degradation of normal portland and slag cement concrete under load due to reinforcement corrosion", ***Forth CANMENT/ACI International Conference Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete***, İstanbul, Türkiye, SP: 132-80: 1490-1508 (1992).
37. Corley, W.G., "Designing corrosion resistance into reinforced concrete", ***Material Performance***, 9: 54-58 (1995).
38. Menzies, T., R. "National cost of motor vehicle corrosion from deicing salts in automotive", Houston TX, ***Corrosion and Protection***, 213-216 (1992).
39. Thornton, H.T., "Tensile crack exposure tests", ***Report 4. of a Series, US Army Engineer Waterways Experiment Station***, USA, 50-68 (1984).

40. Hime, W., "The corrosion of steel random thoughts and wishful thinking", **Concrete International**, 10: 54-57 (1993).
41. Carter, W.J. et al, "Absorbtion of water and chloride into concrete", **Magazine of Concrete Research**, 44(158): 117-122 (1992).
42. Parrott, L.J., "Variations of water absorption rate and porosity with depth from an exposed concrete surface; effects of exposure conditions and cement type", **Cement and Concrete Research**, 22: 1077-1088 (1992).
43. Price, W.F. and Widdows, S.J., "The effects of permeable formwork on the surface properties of concrete", **Magazine of Concrete Research**, 43(155): 93-104 (1991).
44. Senbetta, E., "Development of laboratory technique to quantify curing quality", **Purdue University Report, Joint Highway Research Project**, 81-16 (1981).
45. Gonzalez, J.A. et al., "Comparison of rates of general corrosion and maximum pitting penetration on concrete embedded steel reinforcement", **Cement and Concrete Research**, 25(2): 257-264 (1995).
46. Rolf, F., et al., "Investigation of the rapid chloride permeability test", **ACI Material Journal**, 3: 246-250 (1994).
47. TS 3440, "Zararlı kimyasal etkileri olan su, zemin ve gazların etkisinde kalacak betonlar için yapım kuralları", **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 1-20 (1982).
48. Akkaya, Y., "Zararlı bir ortamda betonun uğradığı hasarın hasar mekaniği ile incelenmesi", **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul (1994).
49. Shilstone, J.,M.,Sr and Shilstone J.,R., "High performance concrete in severe environments", **ACI Special Publication**, 140-4:281-305 (1994).
50. Neville, A., M.and Brooks J.J., "Concrete Technology", **Longman Scientific and Technical**, Essex CM 20 JE, England, 285-290 (1987).
51. Subaşı, S. (2001) "Kalıp yüzey farklılıklarının betonun bazı fiziksel özelliklerine etkileri", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara 5-24 (2001).
52. Skalny, J. and Marchand, J., Odler, I., "Sulfate attack on cancerete", **Spon Press**, London, 31-43 (2002).

53. Güner, A., "Kimyasal zararlı ortamda beton üretim, bakım ve önlemler", **Beton Semineri, DSİ Araştırma Sitesi**, 6-10 Şubat, Ankara, (1984).
54. Fookes, P., "Concrete in hot dry salt environment", **Concrete**, 1: 34-39, (1995).
55. Hussain, E.S. et al., "Influence of sulfates on chloride binding in cements", **Cement and Concrete Research**, 24: 28-24 (1994).
56. Lawrence, C.D., "Sulfate attack on concrete", **Magazine of Concrete Research**, 153: 249-264 (1990).
57. Stark, D., "Longtime study of concrete durability in sulfate soils", **George Verbeck Symposium on Sulfate Resistance of Concrete**, ACI Sp: 77, 21-40 (1982).
58. Al-Amoudi, O.S.B., "Effect of chloride-sulfate ions on reinforcement corrosion and sulfate deterioration in blended cements", **Forth CANMENT/ACI International Conferance Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete**, İstanbul, Türkiye, SP 132-60:1106-1123, (1992).
59. Nawy, E.G., "Fundamentals of High-Performance Concrete, Second Edition, **John Wiley&Sons, Inc.**, New York, 204-245 (2001).
60. Subaşı, S., Arslan, M., Durmuş, G., "Kalıp yüzeylerinin beton kabuğunun kapilaritesi ve dona dayanıklılığı üzerine etkileri", **Hazır Beton Dergisi**, 9(50): 60-68 (2002).
61. Johnston, D.W., "Design and construction of concrete formwork", **Concrete Construction Engineering Handbook**, Nawy, E.G., **CRC Press**, NewYork, 5-40 (1997).
62. Mindess, S., Joung, J.F., Darwin, D., "Concrete", Second Edition **Prentice Hall**, London, 499-504 (2002).
63. TS 802, "Beton karışımı hesap esasları", **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 2-11 (1985).
64. Erdoğan, T. Y., "Beton", **METU Press**, I. Baskı, Ankara, 66-67, 191-198, 652-677 (2003).
65. Tokyay, M., "Agresif ortamlarda çimentolu sistemler", **Çimento ve Beton Dünyası Dergisi**, 2(8):13-19 (1997).

66. Maslehuddin, M., Page, C.L. and Rasheeduzzafar, "Effect of temperature and salt contamination on carbonation of cements", ***Journal of Materials in Civil Engineering***, 8 (2): 63-69 (1996).
67. Güneyisi, E., Özturan T. ve Gesoğlu M., "Çimento tipinin havada kür edilen betonda basınç dayanımı ve karbonatlaşmaya etkileri", ***Hazır Beton Dergisi***, 58: 68-73 (2003).
68. Cilason, N., Kocagil, F. ve Aksöz, B., "Betonda korozyon", ***XIII. TMMOB İnşaat Müh. Teknik Kongresi***, Ankara, 123-134 (1995).
69. Cilason, N. ve Aksoy N., "Beton yapı hasarları onarımı, korunması ve sıcak iklimlerde beton", ***Birsen Yayınevi***, İstanbul, 15-20, 91-93 (2000).
70. Soroushian, P. and Ravanbakhsh, S., "Caused and troubleshooting of concrete problems", *Diagnosis and Cure of Concrete Problems: State of the Art*, Concrete Technology Seminar VI, Edited by: Soroushian, P. and Ravanbakhsh, S., ***Michigan State University***, Michigan, 1-33 (1992).
71. Yeğınobalı, A., "Betonda çelik donatı korozyonu", ***T.H.B.B. Hazır Beton Dergisi***, 41: 54-57 (2000).
72. Ozyildirim, C. and Halstead, W., J., "Improved concrete quality with combination of fly ash and silica fume", ***ACI Materials Journal***, 91 (6):587-594 (1994).
73. Sancak, E. ve Şimşek, O., "The effect of the use of silica fume in concrete on steel reinforcement corrosion", ***IV. ICCP 2004 International Corrosion and Concrete Protection Symposium***, Ankara, Türkiye, 441-452 (2004).
74. Ramachandron, V.S., Beaudoin, J.J., "Handbook of analytical techniques in concrete science and technology", ***Noyes Publications***, New Jersey, USA, 460-462 (2001).
75. Koel, L., "Concrete formwork", Second Edition, ***American Technical Publishers, Inc.***, USA, 19-49 (1997).
76. Brett, P., "Requirements and materials for formwork", ***Heinemann Professional Publishing Ltd.***, London, 232-241 (1992).
77. Altan, M., "Betonarme elemanlarda kalıp", ***İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası***, İstanbul, 40-65 (1992).
78. Allen , E., "Fundamentals of building construction, materials and methods", ***John Wiley & Sons. Inc.***, New York, 447-448 (1999).

79. Hurd, M.K., 1989, "Formwork for concrete", Fifth Edition, , **ACI Special Publication**, Nort Sydney, 2-4, 6-9, 11-17 (1989).
80. Peurifoy, R.L., "Formwork for concrete structures", Third edition, **McGraw-Hill**, New York, 9-15, 23-31, 181-188 (1996).
81. James, M. Shilstone, S, "Architectural Concrete Contract Documents" **Concrete International**, 11: 48-55 (1985).
82. Arslan M., Subaşı, S., Durmuş, G., Can, Ö., "Alternatif kalıp yüzeylerinin taze beton hidrostatik basınç üzerine etkileri", **Gazi Üniversitesi B.A.P. Projesi Kesin Rapor**, Proje Kodu: 07/2001-13, Ankara, 15-25 (2004).
83. Arslan M., Durmuş, G., Subaşı, S., "Betonarme perde kalıplarının bilgisayar destekli parametrik tasarımı ve deneysel uygulaması", **DPT Proje Kesin Raporu** , 2002 K 120250-17, Ankara, 14-15 (2004).
84. James, M., Shilstone, S, "Architectural concrete contract documents" **Concrete International**, 11: 48-55 (1985).
85. Hurst, P. M., "Formwork", **Construction Press**, London, 85-110 (1983).
86. Whilshire, C.J., "Formwork", **Thomas Telford House&Heron Quay**, London, 45-47 (1989).
87. Mazkewitch, A. and Jawaski, A. "Adhesion between concrete and formwork", **Institute of Civil Engineering**, Conference Paper, No:11125, Gorki USSR, 67-72 (1986).
88. Thomas, C.G., "Improving bonding to concrete surface", **Concrete International**, 4: 55-59 (1989).
89. Sha'at, A. et al., "The influence of controlled permeability formwork liner on the quality of the cover concrete", Durable Concrete in Hot Climates, **ACI Special Publications**, No:139-6, 91-105 (1986).
90. Marosszeky, M., Chew, M., Arioka, M., and Peck, P., "Textile form method to improve concrete durability," **Concrete International**, 15(11): 37-41 (1993).
91. Malone G., Philip, "Use of permeable formwork in placing and curing concrete", **U.S Army Corps of Engineers, Technical Report SL-99-12**, Washington D.C., 1-3, 6-8, 19-26, 33-37 (1999).
92. Suryavanski, A.K., "Swamy formwork for long-term durability of structural concrete elements", **Cement and Concrete Research**, 27: 1047-1060 (1997).

93. Arslan, M., "The effects of permeable formworks with sucker liners on the physical properties of concrete surfaces", **Construction and Building Materials**, 15: 149-156 (2001).
94. Tanaka, K., and Ikeda, H., "Improvement of surface quality of concrete structures by unique formwork," **IABSE Reports, 55. International Association of Bridge and Structural Engineering**, Zurich, Switzerland, 20-25 (1987).
95. Wilson, D., "Controlled permeability formwork concrete", **Concrete**, 28(2): 20-22 (1994).
96. Marosszeky, M., and Chew, M.Y.L., "Textile form method to improve concrete durability", **Report 1/90, Building Research Centre**, Sydney, Australia, 14-26 (1990).
97. Price, W. F., "Recent developments in the use of controlled permeability formwork", **Concrete**, 32(3): 8-10 (1998).
98. Long, A., Sháat, A., Montgomery, F., and Basheer, P., "A controlled permeability formwork—its influence on chloride ingress in concrete under various environment conditions", **Structural materials in marine environments, The Royal Society**, London, 288-309 (1994).
99. Long, A. E., and Basheer, P., "The influence of controlled permeability formwork liners on the durability related characteristics of concrete," ACI Fall Convention, **American Concrete Institute**, Farmington Hills, 32-37 (1997).
100. Peter, J., and Chitharanjan, N., "Evaluation of indigenous filter fabrics for use in controlled-permeable formwork", **The Indian Concrete Journal**, 69: 215-19 (1995).
101. Basheer, P., Sháat, A., Long, A., and Montgomery, F., "Influence of controlled permeability formwork on durability of concrete", **Concrete 2000**, 425-472 (1993).
102. Kosmatka, S.H., and Panarese, W.C., "Design and control of concrete mixtures", 13th ed., **Portland Cement Association**, Skokie, 74-82 (1990).
103. Reddi, S. A., "Permeable formwork for impermeable concrete", **The Indian Concrete Journal**, 66: 31-35 (1992).
104. U.S. Patent Office, "Cloth faced form for forming concrete", **U.S. Patent No. 4**, Washington, DC, 597, 787 (1988).

105. U.S. Patent Office, "Concrete form shuttering having double woven fabric covering", **U.S. Patent No.4**, Washington, DC., 754, 856 (1989).
106. DuPont Corporation, "General guidelines for using Zemdrain," Mississauga, Ontario, Canada, 5-15 (1997).
107. Koerner R.M., "Designing with geosynthetics", **Prentice Hall**, New Jersey, 28-31 (1994).
108. U.S. Patent Office, "Fabric useful as a concrete form liner", **U.S. Patent No. 5**, Washington, DC., 102, 124 (1992).
109. Çoruh, T., "Jeosentetikler", **T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Yayınları**, 9-12 (1993).
110. U.S. Patent Office, "Laminated fabric useful as a concrete form liner", **U.S. Patent No. 5**, Washington, DC., 99, 302 (1994).
111. Stark, J., and Knaack, U., "Effect of draining formwork material Zemdrain on the resistance of portland cement and blast furnace cement concrete to frost and de-icing chemical attack", **F.A.Finger-Institut für Baustoffunde der Bauhaus-Universität Weimar**, Germany, 42-48 (1997).
112. Stark, J., and Ludwig, H.M., "Freeze-thaw and freeze-deicing salt resistance of concretes containing cement rich in granulated blast furnace slag", **American Concrete Institute Materials Journal**, 94(1): 47-55 (1997).
113. Wilson, D., and Serafini, F.L., "Controlled permeability formwork", **Radical concrete technology**, R. Dhir, and P. C. Hewlitt, ed., 90-218 (1996).
114. Skjolsvold, O., "Testing of concrete cast with and without Zemdrain liner on the formwork", Report STF 65A91049, Scientific and Industrial Research, **Norwegian Institute of Technology**, Oslo 15-26 (1991).
115. DuPont Corporation, "Zemdrain MD2-controlled permeability form liner", **User Technical Guidelines**, DuPont Nonwovens, Luxembourg, 1-8 (1997).
116. Beddoe, R.E., "The effect of formwork linings on surface concrete", **28th Research Colloquium Datsb. University of Technology**, Munich, Germany, 282-294 (1993).

117. Farahmandpour, K., "Evaluation of Zemdrain", Report No. 260392, **Construction Technology Laboratories, Inc.**, Skokie, 4-12 (1992).
118. Reeves, S.J., "The effect of formwork permeability on algae growth on concrete surfaces", Undergraduate thesis, **University of Bath**, Bath, UK. 45-53 (1993).
119. Arslan, M., "Effects of drainer formworks on concrete lateral pressure", **Construction and Building Materials**, England, 16: 253-259 (2002).
120. Arslan, M., Şimşek, O., Subaşı, S., "Effects of formwork surface materials on concrete lateral pressure", **Construction and Building Materials**, England, Article in press ,20 July, 2004, England.
121. Subaşı, S., Arslan, M., Durmuş, G., "Kalıp teknolojilerindeki gelişmelerin betonarme elemanların dayanıklılığına etkileri", **3. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu**, Ankara, 4: 355-370 (2003).
122. Arslan, M., "Beton", **Atlas Yayınevi**, İstanbul, 105-127 (2001)
123. Richardson, M., "CPF is good for inclined surfaces", **Institute of Concrete Technology**, Dublin, Ireland, 24: 4 (1994).
124. Price, W. F., and Widdows, S. J., "Durability of concrete in hot climates: benefits from permeable formwork", Concrete in hot climates, M. Walker, ed., **E&FN Spon**, London, 207-218 (1992).
125. Mather, B., "How to make concrete that will be immune to the effects of freezing and thawing", ACI SP-122, Paul Klieger Symposium on Performance of Concrete, D. Whiting, ed., **American Concrete Institute**, Detroit, MI, 1-18 (1990).
126. Karl, J.H. and Solacolu, C., "Verbesserung der Betonrandzone: Wirkung und Ein satzgrenden der saugenden", **Schlunzbahn Beton**, 43(5): 222-25 (1993).
127. Perenchio, W. F., "Corrosion of reinforcing steel", Significance of tests and properties of concrete and concrete-making materials, Special Technical Publication 169C. P. Klieger and J. F. Lamond, ed., **American Society for Testing and Materials**, Philadelphia, PA, 164182 (1994).
128. Widdows, S.J., Price, W.F., "The effects of DuPont Zemdrain formwork liner on the near surface properties of concrete," Report 1303N/90/4921, **Taywood Engineering Ltd., Research Laboratories**, England, 3-14 (1990).

129. Arslan, M., "The effects of vertical formwork surfaces with sucker lining-drainage on the concrete cover physical properties and reinforcement corrosion", ***Technical Journal of Turkish Chamber of Civil Engineers***, 10(2): 1909-1925 (1999).
130. Malhotra, V.M., "Nondestructive tests", Significance of tests and properties of concrete and concrete-making materials, Klieger P., Lamond, J.F., ed., ***American Society for Testing and Materials***, Special Technical Publication 169C., USA, 320-340 (1994).
131. Long, A., Sháat, A., and Basheer, P., "The influence of controlled permeability formwork on the durability and transport properties of near surface concrete", Advances in concrete technology, Special Publication 154. V.M. Malhotra, ed., ***American Concrete Institute***, USA, 41-54 (1995).
132. Price, W.F., and Widdows, S.J., "The effects of permeable formwork on surface properties of concrete", ***Magazine of Concrete Research***, 43(1455): 93-104 (1991).
133. Price, W.F., "Durability benefits from using controlled permeability formwork in hot climates", Special Report-Technical Review Middle East., ***Taywood Engineering, Ltd.***, Middlesex, England, 13-17 (1992).
134. Price, W.F., "The improvement of concrete durability using controlled permeability formwork," Proceedings, ***5th international conference on structural faults and repairs***, 233-255 (1993).
135. American Concrete Institute 309.2R-90, "Identification and control of consolidation-related surface defects in formed concrete", ***ACI manual of concrete practice***, Detroit, MI, 1-9 (1990).
136. Department of the Army., "Standard practice for concrete for civil works structures", Engineer Manual 1110-2-2000, ***U.S. Army Corps of Engineers***, Washington, DC., 2-18 (1994).
137. Department of the Army., "Civil works construction guide specification for formwork for concrete", ***U.S. Army Corps of Engineers***, Washington, DC., 7-16 (1991).
138. Hurd, M.K., "Formwork for concrete", Special Publication No.4, ***American Concrete Institute***, Detroit, MI., 25-38 (1995).
139. Harrison, T., "Introducing controlled permeability formwork", ***Concrete Construction***, 36(2): 198-200 (1991).

140. DuPont Corporation, "Champlain bridge, Montreal, Quebec, Canada: Precast concrete New Jersey barriers", **DuPont Nonwovens**, Old Hickory, TN., 1-5 (1995).
141. Basheer, P., "A brief review of methods for measuring the permeation properties of concrete in-situ", **Buildings and Structures**, Institute of Civil Engineers, 99(1): 74-83 (1993).
142. ASTM C805-97, "Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete", **American Society For Testing And Materials**, USA, (1997).
143. Gürbüz, F., Başpınar, E. ve ark., "Tekrarlanan ölçümlü deneme düzenlerinin analizi", **Van Yüzüncü Yıl Üniv. Yayınları**, Van, 7-91 (2003).
144. ASTM C1040-93, "Standard Test Methods for Density of Unhardened and Hardened Concrete In Place By Nuclear Methods", **American Society For Testing And Materials**, USA, (1993).
145. ASTM C900-99, "Standart Test Method for Pullout Strength of Hardened Concrete", **American Society For Testing And Materials**, USA (1999).
146. ASTM C1583-04, "Standard Test Method for Tensile Strength of Concrete Surfaces and the Bond Strength or Tensile Strength of Concrete Repair and Overlay Materials by Direct Tension (Pull-off Method)", **American Society For Testing And Materials**, USA, (2004).
147. TS EN 12390-3, "Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini", **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara (2002).
148. TS 3502, "Betonda Statik Elastisite Modülü ve Poisson Oranı Tayini", **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, (1981).
149. TS EN 12390-6, "Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini", **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, (2002).
150. TS 12390-7, "Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini", **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, (2002).
151. TS 3624, "Sertleşmiş Betonda Özgül Ağırlık,Su Emme ve Boşluk Oranı Tayin Metodu", **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, (1981).

152. ASTM C597-97, "Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete", **American Society For Testing And Materials**, USA, (1997).
153. Malhotra, V.M., "Significance of test and properties of concrete and concrete making materials", Editors: Klieger P. and Lamond, J.F., **ASTM Publication**, ASTM-STP 169C, 326-327, USA (1994).
154. TS 4045, "Yapı Malzemelerinde Kapiler Su Emme Tayini", **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara (1984).
155. ASTM C944-99, "Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method", **American Society For Testing And Materials**, USA (1999).

ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Bursa'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Bursa'da tamamladı. 1993 yılında Abant İzzet Baysal Üniversitesi Düzce Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü'nde lisans öğrenimine başladı. 1997 yılında lisans öğrenimini başarı ile tamamlayarak Yapı Öğretmenliği Bölümü Teknik Öğretmeni olarak mezun oldu. Aynı yıl Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitime başladı. 1998 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. 2001 yılında Yüksek Lisans eğitimini başarıyla tamamladı. Aynı yıl Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı'nda Doktora eğitime başladı. Halen doktora eğitimine Yapı Eğitimi Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak devam etmektedir.