

I

T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPI YERALTI KABUĞUNDA SU VE NEM SORUNLARININ GEÇİRİMSİZ  
MALZEME İLE GİDERİLMESİNİN ARAŞTIRILMASI

ZUHAL ŞİMŞEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MİMARLIK ANA BİLİM DALI

BURSA 2005

**ÖZET**

Su, insan yaşamının sürekliliği açısından zorunlu gereksinim duyulan bir maddedir. İnsan hayatında biyolojik eylemlerin yanı sıra yapısal etkinliklerinde gerçekleştirilmesinde etkin rol üstlenir ve bu rolü ile de vazgeçilmez bir olgu durumundadır.

Yaşamın devamı olgusunun dışında su, insan eylemlerine yanıt veren ve yapay ortamları oluşturan yapı açısından da önem taşır. Mimari tasarımların yapıya dönüşmesinde, mühendisler tarafından hayata geçirilmesinde yatay kuvvetler yanı sıra önlem alınması gereken tek madde olması nedeni ile su ve etkileri, her yönü ile ayrıntılı araştırılmaktadır.

Yapıların hizmet ömrü boyunca sudan etkilenmemeleri doğrultusunda çalışan insan, yapı üzerindeki her noktanın su etkisine direnç gösterecek ayrıntılar ve malzemeler üretmeye çalışmaktadır. Günümüzde bu çalışmaların yalnız yapı üzerinde yeterli olmadığı, zeminin de yapı kadar etkili olduğu ve özellikle, yapı – zemin etkileşimde su etmeninin ön plana çıkarak yapıyı kullanılmaz duruma getirdiği görülmüştür.

Su, yeryüzü ve yeraltı olmak üzere her ortamda bulunan bir maddedir. Çalışmada, özellikle yeraltı yapı kabuğu üzerindeki etkileri araştırıldığından zemin suyu- yapı arasında inceleme ve değerlendirme söz konusu edilmiş ve kapsam sınırları çizilmiştir.

Su, zemini sıvılaştırarak deprem karşısında taşıma gücü açısından yapıyı zayıflatmakta ve yapıyı olumsuz etkilemektedir. Deprem olgusu dışında su yapıyı oluşturan tüm malzeme ve bileşenlere etki ve nüfuz ederek yapı taşıyıcılığını, sağlığını, ömrünü azaltmaktadır. Yapı evrimi sürecinde insan sağlığı, hijyeni açısından her türlü olumsuz etmenin yapı içinde barınmasına, rahatsız edici, konfor bozucu etkileri ile de suya karşı bir dizi önlemler alınması gündemde tutulmuştur.

Drenaj gibi yapı dışında ön çözümler ile su, yapıdan uzaklaştırılmaya çalışılmış ve sırası ile her türlü yapısal yalıtımlar ile çözümler aranmıştır. Tüm bu önlemlere karşı gelişen ve karmaşıklaşan yapı ve taşıyıcı öğelerinin kesişen ara kesitlerinde yalıtım malzemeleri ile istenilen performans ortaya koyulamamıştır. Bu arada, her türlü yalıtımın bünyelerinde taşıdıkları zayıf noktaları ile bu yalıtımların yapı-su geçirimsizliği açısından ömürleri sorgulanmaya başlanmıştır. Özellikle yapı yüklerini karşılayarak zemine ileten bölümlerinin sürekli zemin suyu ile teması göz önüne alınarak yapılan değerlendirmede gerekli önlemlerin alınmaması nedeni ile oluşan su sorunu yüzünden çok fazla yapıda hasar olduğu gözlemlenmiş, saptanmıştır. 1999 Marmara depremi sonrasında yaklaşık 60000 konutu üzerinde yapılan inceleme bu görüşü desteklemektedir.

Çalışma, suya karşı her türlü önlemin yapıda oluşturduğu olumlu, olumsuz etkilerini değerlendirmiş ve sonuçta günümüz geleneksel yapı malzemesi olan beton ile dış etmenlere karşı dirençli, suya karşı ise geçirimsiz bir konumda üretilmesi yöntemini araştırmıştır.

Bu kapsamda, tüm etkilere karşı alınabilecek önlemlerin betonarme yapı yeraltı kabuklarında ana malzeme beton ile sağlanması konunun önemini destekleyen bir çözüm önerisi olarak getirilmeye çalışılmıştır. İstenilen performans olan dirençli ve geçirimsizliği sağlanmış beton malzeme oluşturmayı hedefleyen çözüm; Laboratuvar ortamında, farklı oranlarda mineral katkıları ile oluşturulan çok sayıda numune üzerinde deneler yaparak sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Zemin, Temeller, Su Yalıtımı, Geçirimsiz Beton.

#### **Abstract**

Water is a substance vitally needed for continuity of the human living. In addition to biologic activities of the human life water plays an active role in structural activities and, playing such a great role, is an indispensable element. Apart from being an element of survival, water is important for its interaction with human activities and structures constituting artificial media. Being the only substance taken into account apart from horizontal forces in implementation of an architectural design by engineers and its eventually becoming a building, water, as well as its effects, is being thoroughly researched.

Trying to produce structures that will be unaffected by water throughout their service life, human s are trying to work out details and devices that will ensure that each point on a structure is resistant to the effects of water. Nowadays it has been understood that it is insufficient to conduct such works on structures only, ground being as important as the structure itself, and especially that the water is dominant in the interaction between the structure and the ground, rendering the structure unusable.

Water is an ever-present substance found both under and above ground. Especially when its effects on the underground structure shell have been researched in the study, observation and estimation of the interaction between ground water and the structure have become relevant and framework scope was determined.

By liquefying the ground, water renders the structure weaker by decreasing its bearing capacity in case of a possible earthquake, which negatively affects the structure. Apart from the risk of a possible earthquake, water affects and penetrates all materials and components constituting a structure, decreasing the bearing capacity, healthiness and life of that structure. All through the structure evolution process adoption of series of means has been on the agenda to prevent inclusion in structures of all kinds of negative factors in terms of human health and hygiene as well as means against water with its disturbing and discomforting effects.

Efforts to keep the water away from structures using extra-structural means such as draining have been tried, solutions also being sought in various types of structural insulation. Despite all these measures, structures that have been developing and becoming more complex, and insulation devices on intersections of bearing elements have not yielded the desired performance. In the meanwhile, lives of insulation types have come into question in the sense of structural water resistance and weak points such insulation structures have. Especially the evaluation with consideration of continuous water contact of parts that transmit the weight of a structure to the ground led to the observation and conclusion that a lot of structures suffer great damage from water accumulated as a result of failure to take necessary measures. Examination of around 60000 homes after the Marmara earthquake in 1999 supports this suggestion. Positive and negative effects on structures of all kinds of measures taken against water penetration have been evaluated in the study, researching methods to produce concrete, which has nowadays become a traditional building material, in a way to make it more resistant to external impacts and less permeable to water.

In this framework, using concrete in underground shells under structures of reinforced concrete has been suggested as a solution that would support the importance of the issue from among measures available against all impacts. Solution aiming to work out a type of concrete that would be resistant and non-permeable, which is the desired performance, has been obtained in laboratory conditions by testing numerous samples composed with various mineral additions.

**Keywords:** Ground, Fundament, Water Insulation, Non-Permeable Concrete

**İÇİNDEKİLER**

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>SİMGELER DİZİNİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>xi</b>
<b>1- GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Araştırmanın Amacı .....	3
1.2. Araştırmanın Kapsamı .....	3
1.3. Araştırmanın Yöntemi .....	5
<b>2- SU-ZEMİN YERALTI KABUĞU ETKİLEŞİMDE DRENAJ VE YALITIM ÇÖZÜMLERİ</b> .....	<b>6</b>
2.1 Yapı Yeraltı Kabuğu Sistemlerinde Su-Zemin-Kabuk Etkileşimi .....	6
2.1.1. Zemin Türlerinin Yapı Açısından İncelenmesi .....	7
2.1.1.1. Elverişli Zemin Türleri .....	13
2.1.1.2. Elverişsiz Zemin Türleri .....	15
2.1.2. Temeller .....	17
2.1.2.1. Yüzeysel Temeller .....	18
2.1.2.2. Derin Temeller .....	23
2.2. Su ve Nemin Yeraltı Kabuğu Üzerindeki Etkileri .....	26
2.2.1. Yeraltı Kabuğunu Etkileyen Su Hareket Türleri .....	27
2.2.2. Zemin Suyunun Kabuğa Etkisi .....	33
2.2.2.1. Fiziksel Etkiler .....	35
2.2.2.2. Kimyasal Etkiler.....	39
2.3. Suyun Yeraltı Kabuğundan Uzaklaştırılmasında Kullanılacak Teknikler .....	42
2.3.1. Drenaj .....	42
2.3.1.1. Geçici Drenaj .....	44
2.3.1.2. Kalıcı Drenaj.....	46
2.3.1.3. Drenaj Sistemi Elemanları.....	47
2.3.1.4. Drenaj Sistemi Uygulama İlkeleri .....	52

2.4. Su Geçirimsizliğinin Yalıtım Malzemeleri ve Uygulama Teknikleri ile Sağlanması .....	54
2.4.1. Başlangıcından Bugüne Yalıtım ve Malzemeleri .....	55
2.4.1.1. Harç ve Betonlara Yapım Aşamasında Eklenen Katkılar ...	56
2.4.1.2. Beton Çatlak ve Boşluklarının Doldurulmasında Kullanılan Kimyasallar .....	66
2.4.1.3. Dış Kabuk Sistemine Doğrudan Uygulanan Malzemeler ...	67
2.4.2. Yalıtım Uygulama Teknikleri .....	83
2.4.2.1. Pozitif Su Yalıtımı .....	85
2.4.2.2. Negatif Su Yalıtımı .....	91
<b>3. SUYA KARŞI GEÇİRİMSİZLİĞİ SAĞLANAN BETON MALZEME İLE YAPI YERALTI KABUĞUNDA YALITIMIN SAĞLANMASI .....</b>	<b>93</b>
3.1. Betonu Oluşturan Malzemeler ve Geçirimsizliğe Olan Etkileri .....	94
3.1.1. Agrega .....	94
3.1.2. Çimento .....	98
3.1.3. Su .....	104
3.2. Betonun Mekanik Özellikleri .....	107
3.2.1. Betonun Basınç Dayanımı .....	108
3.3. Betonun Fiziksel Özellikleri .....	114
3.3.1. Birim ağırlık .....	115
3.3.2. Birim Porozite .....	115
3.3.3. Betonun geçirimsizlik özelliği .....	117
3.4. Suyun Betona Nüfuz Etmesi .....	118
3.5. Suyun Beton Üzerindeki Etkileri .....	120
3.5.1. Olumlu Etkileri .....	120
3.5.2. Olumsuz Etkileri .....	122
3.6. Betonarme Malzeme Donatılarında Su ve Nem Etkileri .....	131
<b>4. DENEYSEL ÇALIŞMA .....</b>	<b>135</b>
4.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler .....	135
4.2. Beton Karışım Hesabı .....	138

4.3. Numunelerin Üretimi .....	139
4.4. Taze Betona Yapılan Deneyler.....	141
4.4.1. Birim ağırlık deneyi .....	141
4.4.2. Çökme Deneyi .....	142
4.4.3. Taze Betonda Hava Boşluk Yüzdesinin Belirlenmesi .....	143
4.5. Sertleşmiş Betona Yapılan Deneyler .....	144
4.5.1. Basınç Deneyi .....	144
4.5.2. Su İşleme Derinliği (İmpermeabilite) Deneyi .....	146
4.5.3. Kılcallık Deneyi .....	148
<b>5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI .....</b>	<b>151</b>
5.1. Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları .....	151
5.2. Su İşleme Derinliği (İmpermeabilite) Deneyi Sonuçları .....	152
5.3. Kılcal Su Emme Deneyi Sonuçları .....	152
<b>6. TARTIŞMA .....</b>	<b>153</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>163</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>169</b>
<b>EK 1 .....</b>	<b>169</b>
<b>EK 2.....</b>	<b>170</b>
<b>TEŞEKKÜR .....</b>	<b>170</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>171</b>

**SİMGELER DİZİNİ**

$\mu$	Mikron
MPa	Mega paskal
$\epsilon$	Şekil değiştirme katsayısı
$\Delta$	Taze beton birim hacim ağırlığı ( gr/cm <sup>3</sup> )
W	Taze beton ağırlığı,
V	Hacim
$f_{cb}$	Betonun t günlük basınç dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )
$P_k$	Kırma kuvveti (N)
$F_o$	Beton kesit alanı (mm <sup>2</sup> )
W <sub>k</sub>	Numunenin kuru ağırlığı (gr)
K	Kılcal su emme katsayısının ortalama değeri
Q	Numunenin Su ile temas eden yüzeyinden kılcallıkla emdiği su miktarları
F	Numunenin kılcal su emme yüzeyi (mm <sup>2</sup> )
t	Numunenin kılcal su emme zamanı (sn)
h	Taze betonda bulunana hava hacmi

**ŞEKİLLER DİZİNİ**

Şekil 2.1. Yeraltı suyunun zemin tanecikleri arasına dolarak birbirleri ile olan ilişkilerinin yok olması .....	8
Şekil 2.2. a. Sıvılaşmayla yapının zemine batmasını gösteren şematik kesit .....	9
Şekil 2.2. b. Yapının zemine batması .....	9
Şekil 2.3. Kil minerallerinin su karşısındaki şekil değiştirmesi .....	16
Şekil 2.4. Geleneksel ve beton malzeme ile oluşturulan temeller.....	19
Şekil 2.5. Tekil temel şematik çizimleri.....	20
Şekil 2.6. Tekil temel yapım aşaması .....	21
Şekil 2.7. Tek ve çift yöne sürekli temel şematik çizimleri .....	22
Şekil 2.8. Tek ve çift yöne sürekli temel planları .....	22
Şekil 2.9. Radye temel şematik çizimi.....	23
Şekil 2.10. Kazık temel türleri .....	24
Şekil 2.11. Kohezyonlu zeminlerde derin temel uygulamaları.....	25
Şekil 2.12. Derin temel yapı ilişkisi .....	25
Şekil 2.13. Derin temel zemin ilişkisi.....	25
Şekil 2.14. Yapıya etki eden su türleri .....	26
Şekil 2.15. Yerkabuğu yapı elemanlarına etki eden kuvvetler.....	27
Şekil 2.16. Hidrolik döngü.....	28
Şekil 2.17. Suyun yerçekimi kuvveti ile hareketi.....	28
Şekil 2.18. Kapiler çekme gerilmelerinin zemin taneciklerine olan etkisi.....	31
Şekil 2.19. Yeraltı suyunun zemindeki konumu.....	31
Şekil 2.20. Yeraltı su seviyesinin düşürülmesi.....	32
Şekil 2.21. Zemin suyunun bodrum kat iç mekânında ve donanımlarında oluşturduğu hasarlar.....	33
Şekil 2.22. Suyun bodrum iç mekânında oluşturduğu hasarlar.....	35
Şekil 2.23. Temel pabuçlarını etkileyen kuvvetler.....	36
Şekil 2.24. Zeminlerde don olayı.....	37
Şekil 2.25. Zemin suyunun bodrum kat duvarlarında oluşturduğu hasarlar .....	38



Şekil 2.26. Suyun kapiler yolla ilerleyerek taşıyıcı sistemde neden olduğu hasarlar.....	39
Şekil 2.27. Zemin suyunun bodrumsuz bir yapıda kapiler yolla yapı bünyesinde ilerleyerek oluşturduğu hasarlar. ....	39
Şekil 2.28. Kimyasal iyonların beton yüzeyinde oluşturduğu etkiler. ....	40
Şekil 2.29. Korozyona uğramış donatı.....	41
Şekil 2.30. İlkel drenaj strüktürler .....	43
Şekil 2.31. Düşey bant dren uygulama örnekleri-1 .....	45
Şekil 2.32. Düşey bant dren uygulama örnekleri-2 .....	45
Şekil 2.33. Temel etrafında oluşturulan drenaj ağı .....	46
Şekil 2.34. Kum-çakıl gibi mineral malzemeler ile oluşturulan drenaj tabakası ...	47
Şekil 2.35. Plastik malzemeler ile oluşturulan sızdırma malzemeleri drenaj örtüleridir.....	48
Şekil 2.36. Drenaj plakası, şematik kesit .....	48
Şekil 2.37. Drenaj örtüleri, şematik kesit .....	49
Şekil 2.38. Geotekstil fitre .....	49
Şekil 2.39. Drenaj sistemi .....	50
Şekil 2.40. Drenaj boruları .....	50
Şekil 2.41. Beton büzlerin birleşimi .....	50
Şekil 2.42 a).Büzlerin bağlantı noktaları, delikli büzleri .....	51
Şekil 2.42 b).Büzlerin bağlantı noktaları, delikli büzleri .....	51
Şekil 2.43. Şematik rögar çizimleri .....	51
Şekil 2.44. Drenaj borusu etrafında oluşturulan filtre tabakaları örnekleri .....	52
Şekil 2.45. Alansal drenaj .....	53
Şekil 2.46. İç Drenaj .....	54
Şekil 2.47. Akışkanlaştırıcı katkı maddesinin tartımı ve karışım suyuna ilave edilmesi .....	59
Şekil 2.48. Normal ve hava sürüklenmiş betonda oluşan kılcal kanallar ve hava boşlukları .....	61
Şekil 2.49. Basınç dayanım zaman grafiği .....	62
Şekil 2.50. Fırça, mala ve sprey ile yalıtım uygulamaları.....	68
Şekil 2.51. Çift komponentli polimerik asfalt su yalıtım strüktürü .....	72

Şekil 2.52 a). Fırça ve spreyle uygulanan bitüm esaslı yalıtım malzemeleri .....	72
Şekil 2.52 b). Fırça ve spreyle uygulanan bitüm esaslı yalıtım malzemeleri .....	72
Şekil 2.53. Bitümlü su yalıtım örtüsü katmanları .....	75
Şekil 2.54. Bitümlü su yalıtım örtüsü katmanları.....	76
Şekil 2.55. Yalıtım örtülerinin astar kat üzerine yapıştırılması .....	76
Şekil 2.56. Şalümo alevi ile bitümlü örtülerin bindirmeli olarak yüzeye yapıştırılması.....	78
Şekil 2.57. Şalümo alevi ile bitümlü örtülerin yüzeye yapıştırılması .....	78
Şekil 2.58. Basınçlı su etkisinde bulunan yerkabuğu yapı elemanlarının bitümlü örtülerle suya karşı yalıtımı .....	84
Şekil 2.59. Yalıtımın zemin basıncı ve yapı yükleri altında dengede kalması .....	86
Şekil 2.60. Yatay yalıtım uygulamaları .....	87
Şekil 2.61. Düşey yalıtım uygulaması.....	88
Şekil 2.62. Yatay ve düşey yalıtımın birleştirilmesi .....	89
Şekil 2.63. Düşey yalıtımın koruma altına alınması .....	90
Şekil 3.1 a). Farklı tane çaplarına sahip agrega çeşitleri .....	96
Şekil 3.1 b). Farklı tane çaplarına sahip agrega çeşitleri .....	96
Şekil 3.2. Agrega aşınma dayanım aleti .....	97
Şekil 3.3. Akıcı kıvamlı beton .....	106
Şekil 3.4 a). Taze beton kıvam deneyleri –plastik kıvam .....	106
Şekil 3.4 b). Taze beton kıvam deneyleri –kuru kıvam .....	106
Şekil 3.5. Betonun bünye suyunu kaybetmesi.....	107
Şekil 3.6. Su-çimento ilişkisini ve oranının belirleyen beton iç yapısının şematik çizimleri .....	110
Şekil 3.7. Yükleme hızı ile basınç dayanım ilişkisi .....	114
Şekil 3.8. Beton içinde oluşan boşlukların karışım suyuna bağlı olarak değişimi..	116
Şekil 3.9. Bodrum katta suyu kapiler yükselerek perde duvarı üzerinde oluşturulduğu hasarlar .....	119
Şekil 3.10. Suyun neden oluşu hasar mekanizmalarının neden-sonuç grafiği .....	122
Şekil 3.11. Betonun kalitesini etkileyen faktörler .....	124
Şekil 3.12. Zeminden nemlenme sonucunda çiçeklenme olayı gözlenen yapı elemanı .....	125

Şekil 3.13. Sülfat etkisine maruz kalmış beton numunesi .....	127
Şekil 3.14. Donatısı korozyona uğramış betonarme yapı .....	132
Şekil 3.15. Kalite betonarme kabuğu hazırlama ilkeleri .....	134
Şekil 4.1 a). Agregaların tartılması, dairesel kare gözlü elekler .....	139
Şekil 4.1b). Agregaların tartılması, dairesel kare gözlü elekler .....	139
Şekil 4.2. Beton bileşenlerinin karıştırılmasında kullanılan betonyer .....	140
Şekil 4.3. Harcın sıkıştırılarak kalıba yerleştirilmesi .....	140
Şekil 4.4 a). Birim ağırlığın bulunması için taze betonun ölçme kabına doldurulması.....	141
Şekil 4.4 b). Birim ağırlığın bulunması için taze betonun ölçme kabına doldurulması .....	141
Şekil 4.5. Slump deneyi .....	142
Şekil 4.6 a). Taze betonda hava boşluğunun belirlenmesi .....	143
Şekil 4.6 b). Taze betonda hava boşluğunun belirlenmesi .....	143
Şekil 4.7 a). Beton numunelerinin kür koşulları .....	143
Şekil 4.7 b). Beton numunelerinin kür koşulları .....	143
Şekil 4.8. 35 ton kapasiteli Üniuersal Pres .....	144
Şekil 4.9. Günlere bağlı, bağıl (%) grafiği .....	145
Şekil 4.10. Basınçlı su geçirimsizlik deney aleti .....	146
Şekil 4.11. Numuneye nüfuz eden su miktarının ölçülmesi .....	148
Şekil 4.12. Basınçlı su geçirimsizlik deney aleti .....	148
Şekil 4.13. Su işleme derinliği zaman grafiği .....	147
Şekil 4.14. Numunenin etüvde neminin alınması .....	149
Şekil 4.15. Kılcallık deneyi düzeneğinin kurulması .....	149
Şekil 4.16. Numunelerin suda bekletilmesi .....	149
Şekil 4.17. Numunelerin tartılması .....	149
Şekil 4.18. Kılcal su emme deneyi sonuçları .....	150

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Tane çaplarına göre sınıflandırma türleri .....	11
Çizelge 2.2 Deprem yönetmeliğine göre zemin türleri ve özellikleri.....	12
Çizelge 2.3. Yapıya elverişli zemin .....	14
Çizelge 2.4. Elverişsiz zemin türleri .....	15
Çizelge 2.5. Zeminlerin tane çaplarına bağlı geçirimsizlikleri.....	29
Çizelge 2.6. Hava sürükleyici katkılar ve kaynakları .....	60
Çizelge 2.7. Mineral katkı maddeleri ve üretim yöntemleri .....	63
Çizelge 2.8. Çimento esaslı yalıtım malzemelerinin olumlu ve olumsuz özellikleri .....	69
Çizelge 2.9. Likit yalıtım malzemelerinin olumlu ve olumsuz özellikleri.....	73
Çizelge 2.10. Bitümlü örtülerin olumlu ve olumsuz özellikleri.....	79
Çizelge 2.11. Plastik esaslı örtülerin olumlu ve olumsuz özellikleri.....	81
Çizelge 2.12. Killi su yalıtım örtülerinin olumlu ve olumsuz özellikleri.....	82
Çizelge 3.1. Agrega tane boyutunun kullanım yeri .....	97
Çizelge 3.2. Su çimento oranına bağlı olarak değişkenlik gösteren boşluk oranları .....	110
Çizelge 3.3. Beton içine giren su oranının mukavemete etkisi.....	111
Çizelge 3.4. Su/çimento oranının betonun özelliklerine etkisi .....	112
Çizelge 3.5. Buzun basınç mukavemeti buzun basınç mukavemeti ilişkisi .....	129
Çizelge 4.1. 1 m <sup>3</sup> taze beton için gerçek malzeme miktarları .....	136
Çizelge 4.2. Agreganın fiziksel ve mekanik özellikleri .....	137
Çizelge 4.3. Çimento ve diğer mineral katkıların kimyasal analizi ve mineralojik bileşenleri .....	137
Çizelge 4.4. Glenium 5' e ait teknik özellikler .....	138
Çizelge 4.5. Karışım kompozisyonu detayları .....	139
Çizelge 4.6. Basınç dayanımları (N/mm <sup>2</sup> ) ve bağıl (%)değerleri .....	145
Çizelge 4.7. Su işleme derinliği .....	147
Çizelge 4.8. Kılcal su emme deneyi için gerekli bağıntılar .....	150
Çizelge 4.9. Kılcal su emme deneyi sonuçları .....	150

## 1- GİRİŞ

Su, insan hayatının sürdürülebilmesini sağlayan temel bir ihtiyaçtır. Bu maddenin insan biyolojisinin dışındaki yaşam gereksinimlerini tamamlayan öge oluşu önemini daha da arttırmaktadır.

Yaşamın temel bir maddesi olan su, insan yerleşmelerinin odak noktası olurken, bu yerleşmelere zemin hazırlayan her eyleme biçim vermesi ile de güçlü ve etkili oluşunu hissettirmiştir. İnsan evrimi süresinde, tüm gelişmelerin grafiğinde, hava kadar katkılı ve nitelikleri arttıran hayati bir önem taşıyan su, yapısal her türlü eylemin ileri götürülmesini de sağlamıştır. Bazı bileşikler arasında oluşabilecek kimyasal reaksiyonların yeni malzeme ve maddelere dönüştürülmesini sağlayan, bu nedenle de ortamda bulunan gerekli ana bir maddedir. Yapı söz konusu olduğunda ise; insanoğlunun toprakla başlayan serüvenine betonla devam edilmesinde kullanıla gelen ve bugünün yapılarında geleneksel kullanımda harç ve betonların yapımında rol oynayan bir etken yaratmıştır. Dünya nüfusunda kişi başına 2,8 ton beton döküldüğü varsayımında yapılarda suyun nedenli yaygın olarak kullanıldığı anlaşılmaktadır. İleri jenerasyonda bu gereksinin kullanım süreci içinde yer alacağından kesin bir yargı ile bakılmaktadır.

Su, yalnızca yapıyı oluşturan bölümlerdeki beton gerece üretim aşamasında eklenen sıvı bir madde değildir. Süreç içerisinde su ile beton arasında oluşan çok yönlü etkileşimler istenen olguyu sağlarken bir yandan da suyun dış ve iç etkenler yolu ile bazen de doğrudan betona olan etkileri söz konusu olmaktadır. Konu gereği yapılan çalışmada, suyun betonu oluşturduğu kadar, betonu bozan niteliklerini tartışılır duruma getiren olumsuz etkilerinin de incelendiği ve su ile betonu birbirini tamamlayan bir duruma getirebilmenin koşulları aranacaktır.

Yapıların zeminde, özellikle, suyun sürekli bulunduğu yer alan yeraltı kabuğunda yüksek dayanıma sahip olması özelliklerini taşıması istenir. Bu özelliklere yapının tüm hizmet ömrü boyunca, kullanıcı isteklerine konforlu, sağlıklı ve güvenli yanıtını

beraberinde getirecektir. Özetle, yapıların sağlıklı ve güvenli yaşama alanı olarak oluşturabilmelerinin ön koşulu, suyun yapılara nüfuz etmesini engellemektir.

Suyun yapıdan uzak tutulabilmesinin çözümlerini de ele alan çalışma, daha sonra doğrudan su ile baş başa, olan yapı öge ve elemanlarına suyun verebileceği olumsuz etkileri gideren yöntemleri de inceleyecektir.

Beton yüzeylerden beton bünyesine suyun uzaklaştırılmasını engelleyen pek çok çözümün günümüz koşullarında ele alındığı bilinmektedir. Beton yüzeylerin yalıtılması ile güçlendirilmesi yerine beton gercin su ile temasta hiçbir biçimde etkilenmemesi için beton oluşturmada kullanılabilir uygulama ilke ve esasları laboratuvarize edilerek sonuç alınacaktır. Böylelikle, yalıtım yapmadan kullanılabilir beton malzemeler ile olumlu sonuçlara gidilmesi sağlanacaktır.

Suyun zemin üzeri ve zeminden yapıya ulaştığı düşünüldüğünde; yeraltı kabuğu açısından zemin, zemin suyu ve hareketleri de inceleme kapsamına alınmıştır.

Tüm bu önlemlerin, yapı açısından ele alınması, sonradan oluşabilecek ve onarımlar yolu ile de istenen sonucun alınmayacağı her türlü sorunun başlangıçta çözülmesi anlamına gelmektedir. Böylelikle yapının yer kabuğu içerisinde yer alan bölümlerinin zemin ile temas eden nokta ve yüzeylerinin zeminden gelebilecek her türlü olumsuzluğa direnmeleri de sağlanmış olacaktır.

Özellikle ülkemiz açısından bu araştırma çok önem taşımaktadır. Çünkü denetimsiz ve gelişmiş güzel oluşturulan belirli bilgi katkısı ve koyulacak kurallar yolu ile insan yaşamını konforlu ve sağlıklı kılarken, insan yaşamına yerleşik ve kültürlü biçimini veren yapıları da dayanımlı ve daha ömürlü hizmet veren olguya getirecektir. Yapı, yorulmalarına, bozulmalarına ve yapısal dirence olumsuz etki oluşturan önlemlerin betonarme yapılardaki ana malzeme beton ile sağlanması konunun önemi ile eşdeğer kalacaktır.

Dün ile bugün süreci arasındaki yapı evrimi ile geçmişten günümüze oluşturulan malzeme teknoloji ve sistemlerine dayalı konu içeriği, yapı yer kabuğu içerisinde incelenmesi sonucu önerilecek çözümlerin karşılaştırmalı değerlendirilmesini kolaylaştıracaktır.

## 1.1. Amaç

Tezin amacı, suyun yapı yerkabuğundaki beton elemanlarına olan etkilerinin belirlenip, bu etkilerin en aza indirilmesinde kullanılacak uygun malzeme ve tekniklerin saptanmasıdır. Ayrıca endüstriyel atıklar olan puzolan katkı maddelerinden üçlü ve dörtlü bileşen olarak belirlenen cüruf, silis dumanı, uçucu kül, kireç ve kalker fillerinin katılımı ile oluşturulan beton yapı malzemesi ile suya karşı maksimum geçirimsizliği ve dayanımı sağlamasında kullanılacak bir model oluşturmaktır. Bu modeli oluştururken de suyun uzaklaştırılmasında ve nüfuz etmesinin engellenmesinde kullanılacak malzeme, teknoloji ve yapı sistemlerinin incelenerek neden bu yöntemin seçildiğinin ortaya sunulmasıdır.

## 1.2. Kapsam

Çalışmanın temel amacının yapı yerkabuğunun su ve nemin olumsuz etkilerine karşı korunabilmesi için gerekli önlemlerin belirlenmesi olmasının yanı sıra asıl problemin kaynağına inebilmek amacıyla çalışmaya, yapı yeraltı kabuğu sistemleri ile zemin-kabuk etkileşiminin incelenmesiyle başlamıştır.

Kabuk zemin ilişkisinin iyi sorgulanması, yapının yüklerini sağlam bir şekilde zemine aktarıp buna bağlı olarak zaman içinde oluşabilecek çatlakların engellenmesi açısından önem taşımaktadır. Her zemin yapı yapmaya elverişli değildir. Bu ilişkinin irdelenmesi sonucunda yapılaşmaya elverişli ve elverişsiz zemin türleri ve bu zeminlerin yapıyı sağlam bir şekilde taşımasına yardımcı olacak temel türleri belirlenir. Eğer belirtilen iyi niteliklere sahip olmayan bir zemin katmanı ile karşılaşılacak olunursa, zemin iyileştirme yöntemlerine ve sağlam zemine kadar yüklerini aktaran veya sürtünme kuvvetleri ile yükleri karşılayan özel temel sistemlerinin uygulamasına başvurulur.

Yeraltı suyunun neden olduğu zemin hareketleri sonucunda oturmalar yapıda çatlakların oluşmasına neden olur ve bu olay dolaylı olarak da olsa suyun yapıya nüfuz etmesini kolaylaştırır. Ayrıca yüzeysel olarak uygulanmış yalıtım tabakaları da yüklerin eşit dağılmadığı durumlarda kopabilir. Tüm bu olumsuz durumlar bizim amaçladığımız suya

karşı korunumlu yapı modelini çürütür. Yapı yeraltı kabuğu sistemleri ile zemin-kabuk etkileşimi başlığı altında açıklanan bu bölümde tüm bu olumsuzlarının kaynağının yanı sıra, zemin türlerinin yapı açısından incelenmesi ve zemin türlerine bağlı olarak uygun temel seçimi ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Zemin kabuk ilişkisinin irdelenmesinden sonra ikinci aşamada uygun yalıtım malzemelerinin ve sistemlerinin seçilmesinde etkili olacak yeraltı kabuğunu etkileyen su hareket türleri ve bu suların kabuğa olan fiziksel ve kimyasal etkileri belirlenmiştir. Bu bilgiler ışığında suyun yeraltı kabuğundan uzaklaştırılmasında kullanılacak teknikler açıklanmıştır.

Tüm yöntemler incelenerek her sistemin ve malzemenin olumlu ve olumsuz yanları ortaya koyulmuştur. **Elde edilen bu bilgiler ışığında çözümün betonun kendisinde aranmasının gerekliliği belirlenmiştir.** Betonun bu nitelikte üretilebileceği için öncelikle beton malzemenin bileşiminin, mekanik ve fiziksel özelliklerinin belirlenmiş, bu özelliklerinin geçirimsiz bir beton üretmek için hangi nitelikleri taşıması gerektiği saptanarak maksimum dolu özelliğine sahip olan bir betonun üretimindeki bu özellikler seçilmiştir.

Öngörülen puzolan katkı maddeleri ile hazırlanmış geçirimsiz beton malzemenin suya karşı davranışında istenilen fiziksel ve mekanik özelliklerin sağlanabilmesi için her üretimde aynı koşulların sağlandığı laboratuvar ortamında beş farklı puzolan madde kullanarak hazırlanmış **105 numune** üzerinde basınç, kılcal su emme ve geçirimsizlik deneyleri yapılmış ve en iyi sonuç veren katkılı beton belirlenmiştir.

### 1.3. Yöntem

Çalışmanın ilk aşamalarında literatür araştırması yapılarak gerekli bilgiler toplanmıştır. Yalıtım malzemeleri ve uygulama teknikleri hakkında detaylı bilgilerin elde edilebilmesi için öncelikle birden çok firma yetkilisi ile görüşülmüş ve yalıtım aşamasındaki şantiyelerde de konunun uygulaması hakkında gözlemler yapılmıştır. Bu sayede doğru ve kaliteli bir uygulamanın getirileri en yakın açıdan incelenebilmiştir.



Çalışmanın ikinci aşamasında ise, **İstanbul Kültür Üniversitesi Arge Laboratuvarlarında**, betonun geçirimsizliğini sağlamak ve dayanımın arttırmak amacıyla ana madde çimentoya, puzolan olarak silis dumanı, cüruf, uçucu kül, kireç tozu ve kalker fillerinin katılmasıyla farklı beton numuneleri elde edilmiştir. En iyi performans verebilecek betonun bulunabilmesi için oluşturulan 105 adet numune üzerinde deneyler yapılmış ve sonuçları irdelenmiştir.

## 2- SU-ZEMİN-YERALTI KABUĞU ETKİLEŞİMDE DRENAJ VE YALITIM ÇÖZÜMLERİ

Yapıların sağlıklı ve güvenli yaşama alanı olarak oluşturabilmelerinin ön koşulu, suyun yapılara nüfuz etmesini engellemektir. Bu nedenle, 2. bölümde zemin türüne bağlı olarak yapıya etki eden su ve bu suların zemin ile temas eden yerkabuğu yapı elemanlarının yüzeylerinden uzaklaştırılması için uygulanacak drenaj ve yalıtım çözümlerine yer verilmiştir.

### 2.1. YAPI YERALTI KABUĞU SİSTEMLERİNDE SU-ZEMİN-KABUK ETKİLEŞİMİ

Yapı, insanların dış etkenlerin etkisi sonucunda korunma ve barınma isteği ile ortaya çıkmış, süreçteki evrime bağlı gereksinimler altında biçimlenmiş yapay bir ortamdır. İnsanlara sağlıklı güvenli ve huzurlu mekânlar sunabilmek için tasarlanan yapı, tüm fiziksel performansları sağlayacak şekilde yapılmalıdır. Konfor ölçütlerini sağlayacak yapılar yapabilmek için, yapının sağlığı olan ve dayanıklılığını dolayısı ile de ömrünü etkileyen taşıyıcılık özelliğinin sürekliliğini belirleyen etmenlerin saptanarak, olumsuzluklara karşı önlemlerin alınması gerekir. Bu konuda çevresel dış etkenler altında yapıyı iki bölgede inceleyerek, dış kabuk yüzeylerine etki eden etmenleri saptamak verimi arttıracaktır.

Yapının üzerinde yer aldığı zemini sınır olarak kabul edecek olursak, bu sınır üzerinde kalan bölümlerini **üst kabuk**, sınırın altında kalan bölümlerini ise **alt veya yerkabuğu** yapı elemanları olarak tanımlayabiliriz.

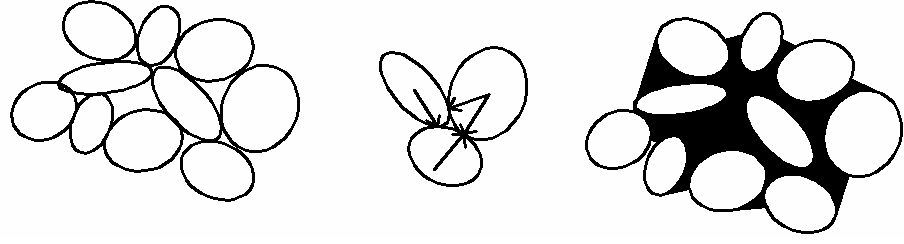
Yapı yerkabuğu elemanları, yapının zemin ile temas eden ve toprak altında kalan, zeminle yapı arasında bir sınırı belirleyen bölümlerini oluşturur. Yerkabuğu yapı elemanlarının temel özellikleri; dış katman olarak tanımlanan kabuğunun zeminle temas etmesidir. Bu doğrultuda yapı temelleri; bodrum duvarı, bodrum ve zemin kat döşemesi yerkabuğu elemanlarını oluştururlar.

Yapının bulunduğu topografyanın getirdiği zorunluluklardan dolayı toprak altında da bazı mekânlara ihtiyaç duyulur. Bodrum katların oluşumunda çeşitli nedenler bulunmaktadır. Bodrum katlar ile zemin arasında bir sınır oluşturan perde duvarlar ve döşemeler de zemin içinde konumlandığı için yerkabuğu yapı elemanları sınıflandırmasında tanımlanırlar. Her üst kabukta olduğu gibi bodrum kabuklarının da fiziksel konfor koşullarını sağlaması gerekmektedir.

### **2.1.1. Zemin Türlerinin Yapı Açısından İncelenmesi**

Yeryüzü üzerinde oluşmuş kayaların, yüksek basınç ve ağır iklimsel etkenler tarafından fiziksel olarak parçalanması veya kimyasal olarak ayrışması sonucunda zeminler oluşur. Ayrışmanın oluşması için gerekli fiziksel şartların sağlandığı ortamlarda, kayaları oluşturan mineraller birbirleri ile tepkimeye girerek farklı kimyasal mineralleri oluşturabilirler. İkincil minerallerden oluşan bu kayalar kimyasal reaksiyonlardan sonra tekrar fiziksel olarak ayrışarak zeminleri oluştururlar. Kimyasal ve fiziksel olaylar sonucunda parçalanarak oluşmaları zeminlerin farklı tane çaplarına sahip olmalarına neden olur. Ayrıca zemin yapısında bulunan minerallerin çeşitliliği ile yeraltı suyunun varlığı da zemin yapısının farklı özelliklere sahip olmasına olanak verir (Atmaca 2003).

Zeminleri oluşturan farklı boyutlardaki tanelerin birbirleri ile tüm yüzey olarak ilişki kuramamalarından dolayı taneler arasında bir miktar boşluk bulunur. Bu boşluklar çoğunlukla havaya, yeraltı su seviyelerine ve zeminin su tutma kapasitelerine bağlı olarak su ile dolar. Boşlukların arasında suyun bulunmadığı durumlarda tanecikler Şekil 2.1'deki gibi birbirleri ile iletişim halinde bulunur. Bu tür zeminler yüklerin sağlam bir şekilde aktarılabilirdiği zeminlerdir. Fakat zemin içindeki suyun var olan boşluklara dolması, Şekil 2.1'deki gibi tanecikleri arasındaki ilişkinin yok olmasına neden olur. Birbirleri ile olan ilişkileri kesilen zemin tanecikleri gevşek bir zemin tabakası haline gelir. Dış taraftan gelebilecek herhangi bir yükleme tarafından gevşek zemin taneleri, su ile birlikte harekete geçerek yapının da zeminle birlikte hareket ederek oturmasına, kaymasına neden olur.



**Şekil 2.1.** Yeraltı suyunun zemin tanecikleri arasına dolarak birbirleri ile olan ilişkilerinin yok olması (Z.Şimşek).

Zemin tanecikleri arasındaki su, belirli bir düzeyde basınç kuvveti de oluşturur. Oluşan bu su basıncı zemine gelen yüklerin temas ettiği tanecikler aracılığı ile aktarılmasına neden olur. Zemin özelliklerine ve etki eden kuvvetlerin miktarına bağlı olarak, zemin yapısında hacimsel olarak genişleme veya daralmalar oluşur. Bu deformasyonlar,

- Yeraltı su seviyelerinde oluşan değişimler,
- Yeraltı suyunun basınç etkisi,
- Zeminin aşırı yüklenmesi,
- Isı etkileri,
- Zeminin yanal basıncı,
- Zemin içinde oluşan titreşimler ve deprem kuvvetleri,
- Zemin yapısında oluşabilecek çökmeler sonucu oluşur. Bu maddelerden önemlilerine değinilecek olursa,

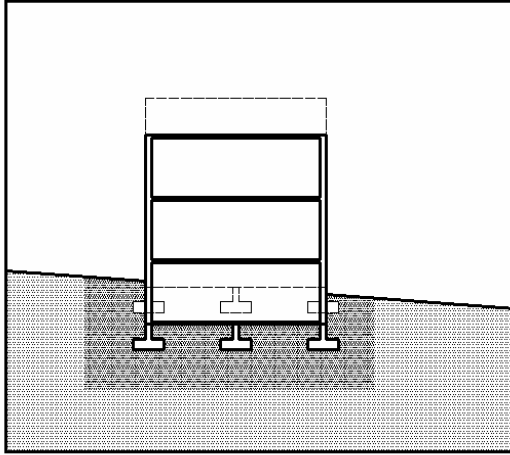
#### **Yeraltı su seviyelerinde oluşan değişimler:**

Yeraltı su seviyesi birtakım dış etmenlere bağlı olarak alçalabilir veya yükselebilir. Aşırı derecede yağın yağmur ve kar suları zemin sularının yükselmesine neden olurken; yapı alanının yakınlarında bulunan kökleri çok su çeken ağaçlar da su seviyelerinin düşmesine neden olur. Zemin suyunun normalin altına çekilmesi durumunda zemin yapısında ani boşluklar oluşur. Suların yükselmesi ve bazı zemin katmanlarının suda erimesi durumunda da zeminde boşluklar oluşur ve yapı bu boşluklara doğru kayar. Bu durumlarda zeminin aşırı yüklendiği durumlardaki gibi temellerde kayma ve çökmeler oluşur. Zemin boşlukları her ne şekilde oluşursa oluşsun çökmelerinin en büyük nedenidir (Türkçü 2000).

### Yeraltı suyunun basınç etkisi:

Zemin taneciklerinin arasına giren yeraltı suyunun uyguladığı basınç kuvveti, bu tanecikler arasındaki çekim (kohezyon) kuvvetinin azalmasına ve hatta zemin özelliklerine bağlı olarak birbirleri ile olan ilişkilerinin tamamen yok olmasına neden olur. Birbirleri ile ilişkisi kesilen zeminler gevşek bir zemin yapısı oluşturduğu için yapı için elverişsiz bir zemin oluştururlar. Tanecikler arasına girip sıklık niteliğini değiştiren bu zemin suları, belirli hızlarla hareket edebildikleri gibi zemin içinde durağan olarak da kalabilir. Durgun bir su kütlesi içinde suyun ağırlığı nedeniyle herhangi bir noktaya uyguladığı basınca '**hidrostatik basınç**' denir. Bu durumda yeraltı suları yerkabuğuna hidrostatik basınç uygular. Yeraltı suyunun uyguladığı basınç kuvveti bodrum duvar ve döşemelerine dik yönde olup derinlere inildikçe yatayla  $45^\circ$  lik bir açı yapan bir doğru boyunca artar.

Hareketli suların zemin tanecikleri arasına girmesi sonucu tanelerin birbirleri ile olan ilişkileri azalır ve ayrışma başlar. Zemini etkileyen basınç yükleri altında taşıyıcılığını yitiren zemin, üzerindeki yapıyı taşıyamaz hale gelir. Yapı Şekil 2.2a ve 2.2b'deki gibi zemin içine doğru çekilir. Özellikle deprem kuvvetlerinin tetikleme ile oluşan zemindeki bu hareketliliğe '**zemin sıvılaşması**' adı verilir.



**Şekil 2.2. a.** Sıvılaşmayla yapının zemine batmasını gösteren şematik kesit  
(Z. Şimşek)

**Şekil 2.2. b.** Yapının zemine batması  
([www.deprem.gov.tr](http://www.deprem.gov.tr))

Yapının düşey yüzeylerine etki eden hidrostatik basınç, zemin yanal basıncında olduğu gibi betonda sehim ve çatlakların oluşmasına neden olur. Bu çatlaklar, duvarın köşelerinden başlayarak çapraz olarak yukarı doğru ilerlediği gibi, duvarın uzunluğu boyunca da ilerleyebilir (Şahal 2001). Yeraltı suyu etkisi altında bulunan yerkabuğunun çatlaması durumunda yapı su geçirimsizliğine açık bir hale gelir.

#### **Zeminin aşırı yüklenmesi:**

Temel zeminine, zeminin taşıyabileceği kuvvetten daha fazlası etki ederse zemin aşırı yüklenmiş olur. Zeminin aşırı yüklenmesi durumunda su basıncı artar ve artan basınç da taneciklerin birbirlerine doğru itilmesini sağlar. Aşırı yüklenen zemin çöker veya sıkışarak yukarıya doğru itilir. Bunun sonucunda plastik deformasyonlara uğrayan zemindeki temeller sağlıklı taşıyıcılık görevlerini sürdüremezler.

#### **Zeminin yanal basıncı:**

Yapının yerkabuğunda bulunan kısımlarını çevreleyen zeminin veya bu bölgeye yapılan dolgunun, kayma eğiliminden dolayı duvara uyguladığı basınca '**zemin yanal**' basıncı denir. Zemin yanal basıncı, zeminin türüne, sıklık derecesine, doyumluğuna bağlı olarak derinlere gidildikçe artarak yapının düşey kısımlarına yatay olarak etki eder. Eğer yerkabuğu yapı elemanları, zeminin oluşturduğu bu yanal basınca karşı koyacak nitelikte değilse, yapı yüzeyinde çatlaklar ve sehimler oluşur. Zemin içinde bulunan elemanların bünyesinde çatlakların oluşması, yeraltı sularının ve zeminde bulunan kimyasalların su ile yapı içine kolayca girmesi demektir (Şahal 2001).

Yapılar doğrudan zemine otururlar. Bu nedenle zemin-kabuk ikileminin dengede kalması ve birbirlerini tölere edebilmeleri yapı sağlığı açısından önemlidir. Zeminin taşıyıcılığının bozulması ve yapı elemanlarının doğru çözümlerle oluşturulmamları yapıya zarar verir. Yapı ağırlıklarının zemin tarafından doğru tepki ile alınması gerekmektedir.

Yapı yapılacak zemin özellikleri nasıl olursa olsun, uygun sistem seçimi ile her türlü zemine yapı yapılabilir. Önemli olan, zemin özelliklerinin yapı bünyesinde oluşturacağı etkileri tespit ederek bu konularda önlemler almaktır. Zeminleri değişik yöntemleri kullanarak sınıflandırabiliriz. Kullanılan sınıflandırmalarda,

- Zemin emniyet katsayıları ve basınç dayanımları,
- Zeminin sıkışabilme özellikleri,
- Zemini oluşturan tane boyutlarının, biçim, yoğunluk ve kimyasal özellikleri,
- Tanecikleri arasındaki kohezyon özellikleri,
- Zemini oluşturan katı, sıvı, gaz halde bulunan taneciklerin birbirlerine göre hacim ve ağırlık oranları, kıvamları ve dokuları, göz önünde bulundurulur (Türkçü 2000).

Deprem yönetmeliğine göre zeminler, A-B-C-D grubu olmak üzere dört grupta toplanır. Yapılan sınıflandırmada zemin emniyet gerilemeleri, zeminlerde özellikle deprem sırasında önemli bir yer tutan kayma dalgası hızına ve rölatif sıkılık değerlerine yer verilmiştir.

Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2 de belirtilen zemin sınıflandırma tablosuna bakılacak olursa, A grubu ince taneli zeminlerle D grubu ince taneli zeminler arasında kayma dalga hızı ve zemin emniyet gerilmeleri bakımından 4 kat fark vardır. Bu tür zeminlerin su etkisi altında mukavemetleri çok düşer üzerlerindeki yapıların yüklerini karşılayamaz hale gelebilirler (Atmaca 2003).

**Çizelge 2.1.** Tane çaplarına göre sınıflandırma

İri Taneli Zeminler		İnce Taneli Zeminler	
Zemin Cinsi	Granül Büyüklüğü (mm)	Zemin Cinsi	Granül Büyüklüğü (mm)
Taş	200-60	Silt	0,06-0,002
Çakıl	60-2	İri silt	0,06-0,02
İri Çakıl	60-20	Orta silt	0,02-0,006
Orta Çakıl	20-6	İnce silt	0,006-0,002
İnce Çakıl	6-2	Kil	<0,002
Kum	2-0,06		
İri kum	2-0,6		
Orta kum	0,6-0,2		
İnce kum	0,2-0,06		

**Çizelge 2.2.** Deprem yönetmeliğine göre zemin türleri ve özellikleri

Zemin Sınıfı	Zemin Türü	Relatif Sıklık %	Zemin Emniyet Gerilmesi kgf/cm <sup>2</sup>	Kayma Dalga Hızı m/sn
A	Masif volkanik kayalar, sağlam metamorfik kayalar, sert tortul kayalar granitler (Yüksek dayanımlı sert ve sıkı yapı zeminler)		>10	>1000
	Çok sıkı kum ve çakıllar	85-100	>4	>700
	Çok sert kil ve siltli kil			
B	Gevşek volkanik kayalar(tüf ve aglomera), ayrılmış çimentolu tortul kayalar. Taneler arasındaki çekim kuvveti çok kuvvetli olmayan zeminler		5-10	700-1000
	Sıkı kum ve çakıllar	65-85	2-4	400-700
	Çok katı kil ve siltli kil			300-700
C	Çok ayrılmış ve yumuşak süreksizlik düzlemi olan metamorfik kayalar çimentolu tortul kayalar		<5	400-700
	Orta sıkı kum ve çakıllar	35-65	1-2	200-400
	Katı kil ve siltli kil			200-300
D	Yeraltı su seviyeleri yüksek olan yumuşak ve kalın alüvyon tabakaları		<1	<200
	Bataklık, çamur dipli dolgu zeminler			
	Gevşek kumlar	<35		
	Yumuşak kil ve siltli kil			

Yapı yüklerinin güvenli bir şekilde zemine aktarılması ve zemin bölgesinde oluşturulan yaşama alanlarının gerekli fiziksel performansları sağlayabilmesi için, zemin özelliklerinin ve su karşısındaki davranışının iyi bilinmesi bu sonuçlar doğrultusunda uygun sistemlerin seçilmesi gerekir.

Zeminlerin çıplak göz ile algılanmayan tüm özelliklerinin bilinmesi, yapı konusunda ön görülen kaygıları giderilecektir. Yapıların ne tür zeminlerde hangi aranan özelliklere oturacağı varsayımları yapılacak inceleme yöntemleri ile kesinlik kazanır.



Zeminleri inceleme yöntemlerinin yapılaş amaçları,

- Zemin tabakası hakkında bilgi sahibi olmak,
- Tabaka derinliklerini saptamak,
- Tabaka özelliklerine bağlı olarak taşıyıcılığı aramak,
- Yeraltı su seviyesi hakkında bilgi toplamaktır.

Tüm bu deneysel metotlar;

- Açık muayene çubukları,
- Sondaj kazıkları,
- Sondaj ve benzeri metotlarla konu uzmanı kuruluşlarca yapılır. Böylelikle yapı yapılacak zemin hakkındaki bilinmezler çözülür ve uygulamada bu hesaplar baz alınır.

Tüm yapılan çalışmalar sonucunda çıkan özellikler de göz önüne alınarak zeminleri yapı yapmaya elverişli veya elverişsiz olan zeminler olmak üzere iki grupta inceleyebiliriz.

#### **2.1.1.1. Elverişli Zemin Türleri**

Taneciklerin birbirleri ile olan ilişkileri maksimum düzeyde, dona karşı dirençli, yüksek basınç dayanımına sahip ve bünye suyu yok denecek yüzde olan dolayısıyla da suyun neden olduğu şekil değişikliklerine karşı dirençli, nispeten sıkışmış, kayalık zeminler yapı yapmaya en uygun zemin türlerindedir. Ayrıca iri taneli zemin yapısına sahip olan ve mil dışında bağlayıcı bir madde içermeyen zeminler ile taneler arasındaki ilişkiyi kurmayı sağlayan çakıllı, kumlu zeminler de maksimum direnç sağlayarak yapılaşmaya uygun zemin türlerini oluşturur. Çizelge 2.3'de zemin emniyet gerilmelerine göre yapıya elverişli zemin türleri verilmiştir.

Su karşısında şişerek şekil değiştirme özelliğine sahip bir zemin türü olan killer aslında suyun olmadığı ortamlarda içeriğindeki kum oranına bağlı olarak sert bir tabaka oluşturarak yapı için elverişli zeminleri oluşturur. Şist olarak tanımlanan bu tür zeminler, temel alanına iyice yerleştikleri zaman taşıma kapasitelerinin oldukça yüksek olduğu görülür. Ayrıca şist zeminlerde, kuru sert kilin yanında kum da karışık olabilir. Bu durum zeminin daha sert bir kıvamının olmasına neden olur (Çelebi 2004).

**Çizelge 2.3.** Yapıya elverişli zemin türleri

Yapı İçin Elverişli Zeminler	Zemin Emniyet Gerilmesi kgf/cm <sup>2</sup>
Sağlam Kayalar: Granit, siyanit, gabro, porfir, thanit, bazalt, kuvarzit,	~ 30 kgf/cm <sup>2</sup>
Az Sağlam Kayalar: Konglomeralar, gre, sertleşmiş killer	~ 10 kgf/cm <sup>2</sup>
Sağlam Kumtaşı, Killi Şist	~ 15 kgf/cm <sup>2</sup>
Gravye Zeminler: Kum - çakıl karışımı	~ 3-5 kgf/cm <sup>2</sup>
Çakıllı Zeminler	~ 2 – 2,5 kgf/cm <sup>2</sup>

Bu tür zeminlerde kohezyon kuvveti oluşmadığı için, suyun kolay drene edilerek üst tabakalarda birikmesi engellenir. Bununla birlikte suyun geçirimsiz alt tabakadan yükselerek yapıya ulaşmasını sağlayan kılcallık kapasiteleri oldukça düşüktür.

Kum, çakıl, taş ve kayalar ise her koşulda aynı davranışı sergilerler. Bu sınıflamaya giren bir zemin tanesi parçalandığında veya su ile karşılaştığında yoğunluğu ilk haline göre aynı kalır; fakat tanecik yüzeylerinde artış gözlenir. Çeşitli dış etkenler sonunda artan bölünmede yüzey sayısı belirli oranlarda artış gösterirken, zemin hacmi ve ağırlığı daima sabit kalır. Killi zeminlerde ise her parçalanmada zemin hacmi artar, parçacık yüzeyi arttığı için su ile temas edecek olan yüzey sayısında da doğrudan bir artış gözlenir. Bu sebeple parçalanmış killi zeminler daha çok su alarak daha fazla oranda şişer ve yapıya bu oranda etki ederler (Schroeder ve Dickenson 1996).

**Kısaca zemin içi boşlukları az ve sıkı, farklı oturmalara olanak vermeyen tane dağılımı iyi derecelendirilmiş zeminler, yapı için en elverişli zeminlerdir.**

### 2.1.1.2. Elverişsiz Zemin Türleri

Zemin suyu karşısında hacim değişikliğine uğrayan ve zamanla bünyesinde boşluklar oluşan, basınca karşı dirençleri çok düşük sıkıştırılabilir gevşek zeminler, yapı yapmaya uygun olmayan zeminlerdir. Suyun veya havanın zemin boşluklarına dolması ile veya taneciklerin dış etkenlerden gelecek kuvvetler tarafından yüklenmesi nedeniyle zeminler sıkışır. Kohezyonlu zeminler tek başlarına sıkışamazken suyun boşluklara dolduğu durumlarda sıkışma özelliğine kavuşurlar. Bu durum zemin tanelerinin yapışarak çökmesine neden olur. Çizelge 2.4 de zemin emniyet gerilmelerine göre yapıya elverişsiz zemin türleri verilmiştir.

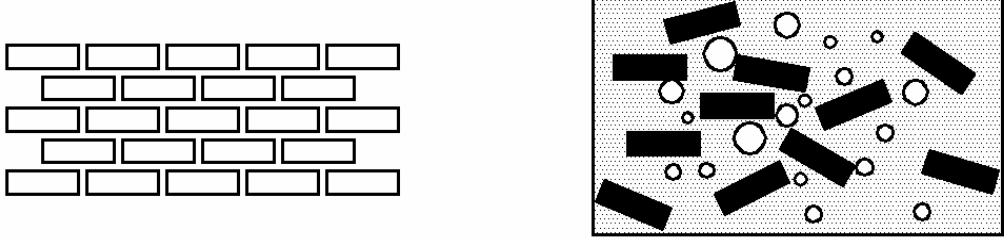
Yeraltı suyunun yapısındaki kireci çözüp boşluklar oluşturduğu marnlı, kolay donup çok düşük dayanıma sahip olan milli ve içerisinde organik maddeler bulunduran zeminlerle dolgu ve alüvyonlu zeminler de yapı yapmaya elverişsiz zemin türlerindedir (Çelebi 2004).

**Çizelge 2.4.** Elverişsiz zemin türleri

Yapı İçin Elverişli Zeminler	Zemin Emniyet Gerilmesi kgf/cm <sup>2</sup>
Marn	<1 (D grubu zayıf zeminler)
Mil	
Lös	
Lem	
Organik maddeler içeren	
Şist	
Dolgu zeminler	0-1/2

Sıkışan zeminler büzülüp çöker, dolayısıyla üzerinde bulundurdukları yapıya da bu hareketleri iletirler. Bu sebeple en çok sıkışma özelliği olan zeminler yapı temelleri için en istenmeyen zemin türleridir.

Ülkemiz topraklarının büyük bir yüzdesinin kilden oluşması, kilin özelliklerinin iyi bilinmesi gereğini ortaya koymaktadır. Killi zeminlerin, yapılaşmaya elverişli olma koşulları kadar elverişsiz olma koşullarını da taşıması, zemin türü olarak ayrıntılı incelenmesini gerektirmektedir.



**Şekil 2.3.** Kil minerallerinin su karşısındaki şekil değişimi (Z. Şimşek).

Su moleküllerinin pozitif yüklü olmasından dolayı, kilin yapısını oluşturan moleküller ile bu moleküller arasında elektriksel bir çekim oluşur. Bu çekimden dolayı killi zeminler çok yüksek dozda su emebilir. Emilen su, kilin şişmesine ve hacimce genişlemesine neden olur (şekil 2.3). Killi zeminlerin su tutma kapasitelerinin yüksek olmasının en önemli sebebi, tanecikleri arasındaki bu çekim kuvvetidir. Kil tanecikleri arasında oluşan bu çekim kuvveti kohezyon kuvveti olarak tanımlanır. Suyu alan kil şişer şiştikçe hacimsel olarak genişlemeye başlar ve yapı temellerine basınç kuvveti uygular. Eğer killin şişme basıncı yapı yükünü aşarsa yapı temelleri ciddi boyutlarda hasar görür (Atmaca 2003).

Siltli ve killi zemin tanecikleri arasında oluşan kohezyon, suyun geçmesine olanak vermez veya suyun bu tür toprağa etki edebilmesi uzun zaman gerektirir. Ayrıca bünyelerinde depolanan suyu atmaları da oldukça zordur. Bununla birlikte kohezyonlu toprağın bünyesinde tutulan su ve rutubet bodrum duvarlarının ve temel sisteminin yalıtımını da zorlaştırır (Türkçü 2000).

Zemin suyunun fazla olduğu elverişli zeminlerde yapının zarar görmesinin engellenmesi için;

- Temelin bastığı zemin tabakasının, su emme kapasitesi düşük zemin ile yer değiştirilmesi,
- Temellerin mevsimlik su değişimlerinden etkilenmeyeceği derinliğe kadar indirilmesi,
- “Tekil sömel yapılacaksa temellerin altına ve çevresine en az bir metre kalınlıkta serilip sıkıştırılmış stabilize malzeme uygulamasıyla yapıma başlanması,”
- “Şişme basıncını karşılayacak dar ve sürekli sömeller yaparak taban basıncının artırılması, gibi değişik yöntemler uygulanmaktadır.” (Atmaca 2003).

Bu yöntemlerin üst sınırı olarak bilinen ve zemin mekaniği ölçütlerinde uygulanagelmekte bulunan çeşitli kazık türleri ile zeminin sıkıştırılması yoluna gidilebilmektedir. Konu, derin temel bölümünde ayrıntılı incelenecektir.

### **2.1.2. Temeller**

Temeller, yapıyı oluşturan yükleri zemine ileten taşıyıcı görev yüklenmiş yapı elemanlarıdır. Bir başka anlamda temel; yapının duvar, kolon ve toprak altında kalan diğer bölümlerini oluşturan tabandır.

Bir temel sistemi genel olarak pabuçlar üzerine basan kolon, duvar ve perde duvarlardan oluşur. Pabuçlar, temelin zemine oturan genişletilmiş kısımlarını tanımlar. Temel pabuçları, üzerindeki yapı yüklerini zeminin taşıma kapasitesini aşmayacak biçimde geniş bir alana yayarak yapı-zemin dengesini sağlar. Su içeriği fazla, organik yapıda, kireçli, vb. zeminlerde yapı yapma zorunluluğu nedeniyle, zemin sıkıştırma yöntemleri veya yapı için elverişli zemine inen özel elemanlar kullanılır. Kazık adı verilen bu elemanlar yardımı ile yapı zemine taşıtılır.

Yukarıda bahsedilen tüm temel türlerinin yapının güvenli bir şekilde ayakta kalmasını sağlamaları için, taşımaları gereken 4 ana prensip vardır:

- Toplam yüklerin güvenli bir şekilde sağlam tabakaya iletilmesini sağlamak,
- Temelleri uygun derinliğe indirerek zeminde oluşabilecek şişme, büzülme ve donma gibi etkilerden korumak,
- Temellerin zemin yapısında bulunan sülfatlar ve diğer zararlı iyonlara karşı dayanıklı oluşturmak,
- Özellikle, bodrum katları nedeniyle derin açılan yapı çukurlarında yeraltı suyu etkisinin önlemlerini almaktır.

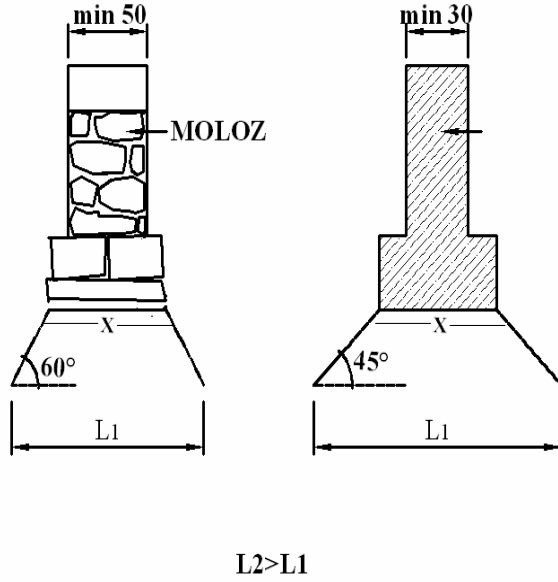
Yapının zemin üzerine bastığı her durumda yukarıda sayılan sebeplerden dolayı oturmaların oluşması kaçınılmazdır. Uygun temel seçimi bu olumsuz etkileri azaltabilir veya zararsız hale getirebilir. Oturmanın oluş şekli nasıl olursa olsun, yapının her bölgesinde eşit olmak zorundadır. Aksi durumlarda temellerde ve yapı elemanlarının birleşim noktalarında çatlaklar oluşur ve yapı yan yatar hatta devrilir. (Ching 1997).

Özellikle ülkemizin içinde bulunduğu toprak özelliği, deprem olgusu, zemin hareketleri ve yeraltı suları ile gelişmiş güzel yapı yapma alışkanlıkları, insan konforunu sağlaması yanında ekonomik değer taşıyan yapıların, sağlık ve uzun süreç hizmette kalması niteliklerine zarar vermektedir.

Uygun özelliklerin sağlanabilmesi için zemin özelliklerine ve yapı yüklerine uygun temel sistemi seçilmelidir. Bu durumda temeller; **yüzeysel temeller ve derin temeller** olmak üzere 2 şekilde tasarlanmaktadır.

#### **2.1.2.1. Yüzeysel Temeller**

Yüklerin aktarıldığı zemininin yeterince kalın, zemin emniyet gerilmesinin orta veya iyi olduğu taşlı, sert kayalı, çakıllı ve sıkı killi ve şistli zeminler olarak tanımlanan A-B ve C grubu zeminlerde, yüzeysel temelleri uygulanır. Yüzeysel temeller; yapı yüklerinin temel pabuçları ile veya bir plak yüzey ile zemine aktarıldığı derinliği fazla olmayan doğal zemine yakın olarak konumlanan temellerdir. Bu tür temellerin derinliği, temel sisteminin zeminle temas ettiği noktadan zemin üst yüzeyine dik doğrultuyu veren ölçüdür (Türkçü 2000).



**Şekil 2.4.** Geleneksel ve beton malzeme ile oluşturulan temeller (Z. Şimşek)

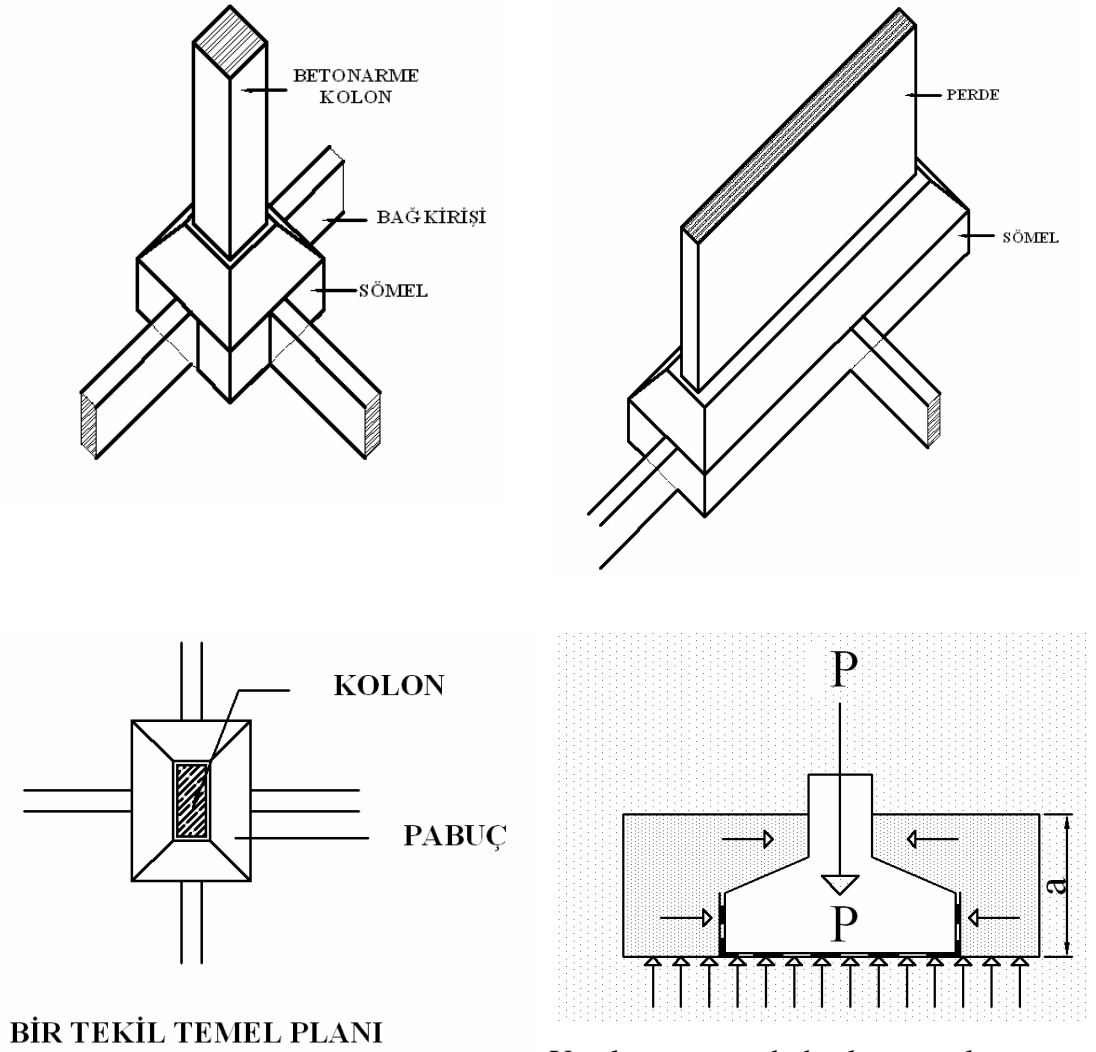
Zemin taşıyıcı gücüne bakmaksızın derinliğinin saptanmasında o bölgenin iklimsel verilerinin oluşturduğu don etkisinde değerlendirilir. Günümüzde zorunlu olmadıkça geleneksel, teknik ve yöresel malzemelerden kaçınarak, gerek homojen taşıma ve yayma özelliği taşıması açısından güçlü, deprem olgusunda yapısal bütünlüğü sağlaması açısından, betonarme malzeme seçilmelidir (Şekil 2.4).

Betonarme yüzeysel temeller; yükledikleri yüklere, zemin içimdeki konumlarına, zemin taşıma özelliklerine bağlı olarak,

- Tekil temel,
- Bir veya iki yöne sürekli temel,
- Radye temel, olmak üzere üç ana grupta incelenir.

#### **Tekil Temeller:**

Her kolonun altında bir temel ayağının geldiği sistemlerdir. Perde duvarlar ise uzunlukları boyunca devam eden bir temel ayağının üzerinde yer alır. Yapı yüklerinin zemine aktarılmasında en ucuz ve basit sistemdir (Şekil 2.5 ve 2.6).



Yapılması zor bohçalama yalıtım, üst bölümlerde bütünlüğü sağlanamaz. Birleşme noktalarında yalıtım yapılamaz.

**Şekil 2.5:** Tekil temel şematik çizimleri (Z. Şimşek)

Tekil temellerin tek başlarına zemin ile doğrudan temasları, bu temellerin suya karşı yalıtımlarında sorun çıkarır. Oturmaların dengeli olmayışı yalıtımların yırtılma ve bozulmalarına sebep olur.



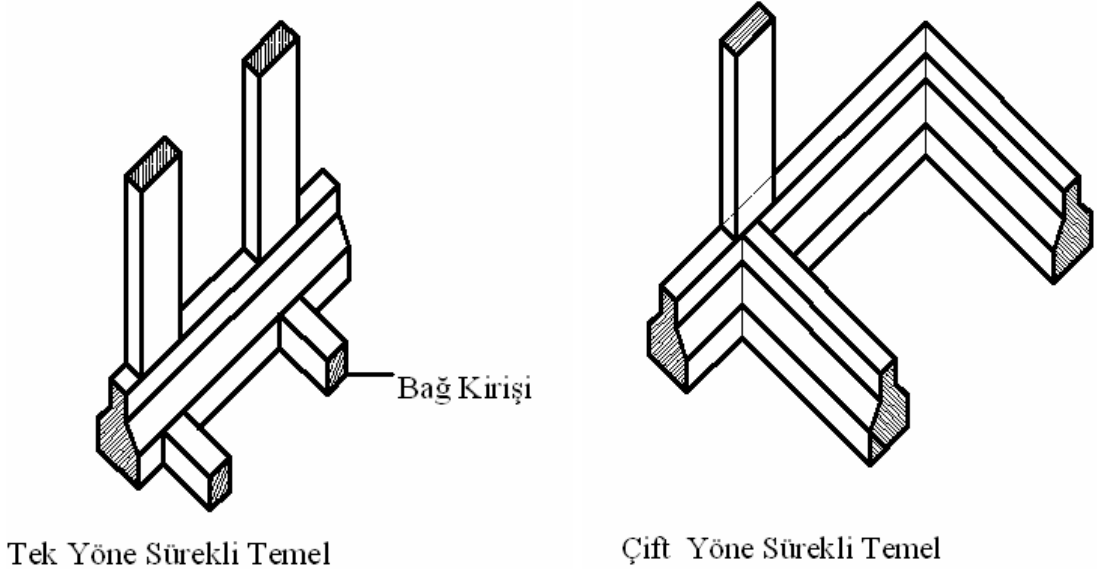


**Şekil 2.6.** Tekil temel yapım aşaması (Z. Şimşek arşivi 2004)

Temele etki eden dış kuvvetlerden olan zemin yanal basıncının en az olduğunda ve hidrostatik basıncın hemen hemen hiç olmadığı durumlarda kullanılan sistemlerdir. Tek noktaya etki eden basınç, zayıf zeminlerde bu noktalarda zeminin aşırı yüklenmesine neden olur. Ayrıca bu noktalarda var olan yeraltı suyu, tek başına hareket eden temel ayağına etki ederek yapının dengesinin bozulmasına da neden olur. Tüm bu olumsuzluklarla karşılaşmamak için tekil temellerin belirtilen derinliklerde ve boyutlarda yapılması zorunluluğu oluşmaktadır (Manning 1961).

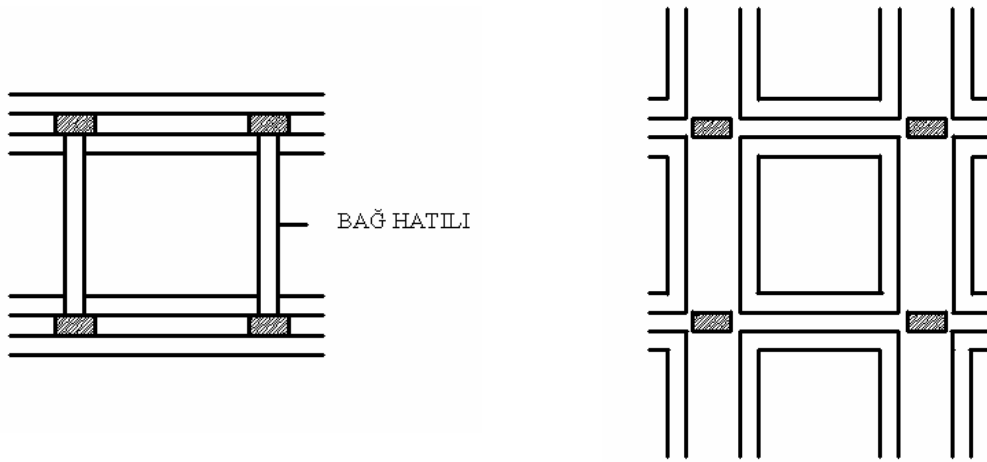
#### **Sürekli / mütemadi temeller:**

Bazı durumlarda uygun boyutlarda yapılan ve istenilen derinlikte konumlanan tekil temellerin zeminden gelen basınç kuvvetlerine karşı koyamadığı, kolon sayısının artıp aralarındaki mesafenin azaldığı durumlarda, temel ayakları birleşerek, zemin özelliklerinden bağımsız olarak, taşıyıcı **sürekli temelleri** oluştururlar (Şekil 2.7 ve 2.8). Burada amaç, yapı yüklerinin daha geniş bir yapı zeminine dağıtılabilmesidir. Sürekli temeller birbirlerine bir şerit gibi uzanan kirişlerle bağlanırlar (Türkçü 2000).



Şekil 2.7. Tek ve çift yöne sürekli temel şematik çizimleri (Z. Şimşek)

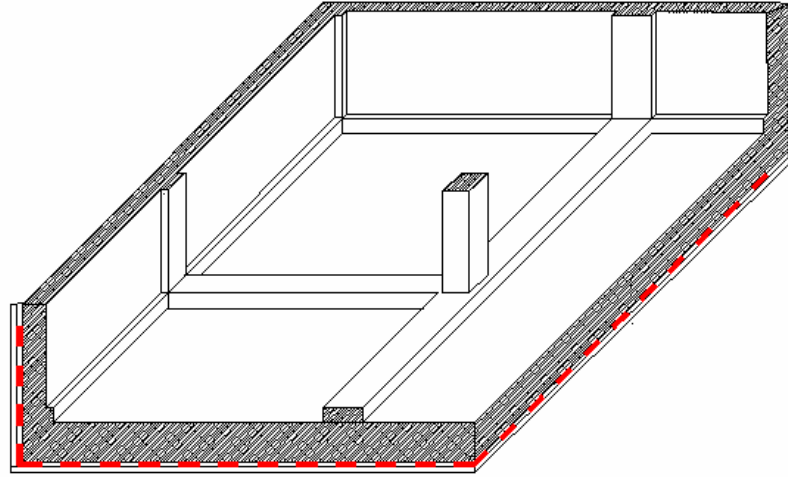
Tek yönlü olarak uygulanmalarına karşın, zemin taşıma kapasitesinin düşük olduğu bölgelerde Şekil 2.8'deki gibi çift yönlü uygulanırlar. Sürekli temellerin, bu özellikleri dışında derinlik ve boyutlandırılmaları tekil temellerle aynı niteliktedir. Bir bakıma biçimsel nedenleri ile de benzerlik göstermeleri yönünden yalıtım açısından olumsuz davranış gösterirler.



Şekil 2.8. Tek ve çift yöne sürekli temel planları (Z. Şimşek)

### **Radye temeller:**

Tekil veya sürekli temellerin aksine yapının zemin ile temas eden yüzeylerinin tamamen plak tabakası ile kaplanması ile oluşan sistemlerdir (Şekil 2.9). Bu plak yapı yüklerinin dağılacağı alanı büyütür ve yapının çökme tehlikesini ve zeminden gelen basınç etkisini en aza indirir. Radye temeller genellikle, zemin emniyet gerilmesinin çok düşük olduğu, zemin üst tabakasında kalitesiz toprak, sulu balçıklı, organik ve çürümüş maddelerin çoğunlukla bulunduğu ve sıkışabilme özelliği fazla olan zemin türlerinde uygulanır. Radye temellerde kolonlar direk betonarme plağa oturabilir. Su yalıtımı açısından en elverişli ve olumlu çözüm sağlayan bir temel biçimidir (Türkçü 2000).



**Şekil 2.9.** Radye temel şematik çizimi (Z. Şimşek)

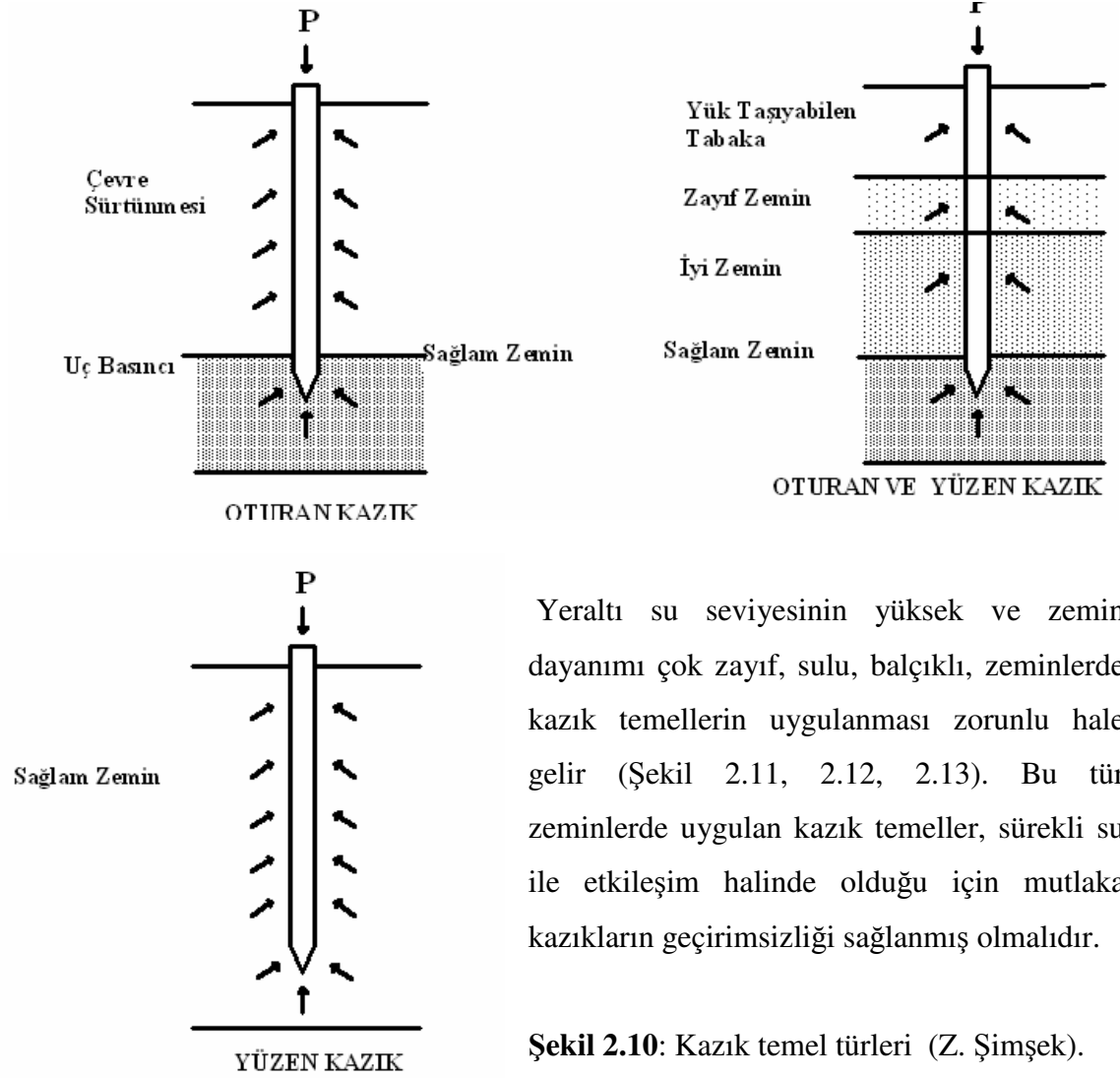
### **2.1.2.2. Derin Temeller**

Zemin emniyet katsayısının en kötü zemin sınıfına girdiği durumlarda derin temel uygulamasına gidilir. Derin temeller, yüklerin sağlam olmayan zemini aşarak sağlam zemine ulaştırılmasını sağlayan veya sağlam zemini sıkıştırarak yüklerin yayılmasına olanak veren derin temeller olarak nitelendirilen tekniklerdir (Türkçü 2000).

Kazık temeller, sağlam zeminin çok derinlerde olduğu durumlarda sıkıştırılmış zemin ile kazıklar arasında oluşan sürtünme kuvvetleri sayesinde yükleri iletirler (Şekil 2.9 ve 2.10). Kazık temeller, yük iletim şekillerine göre;

- a. Oturan kazıklar,
- b. Yüzen kazıklar,
  - Çekme,
  - Sürtünme,
  - Sıkıştırma, olmak üzere 2 ana grupta sınıflandırılırlar.

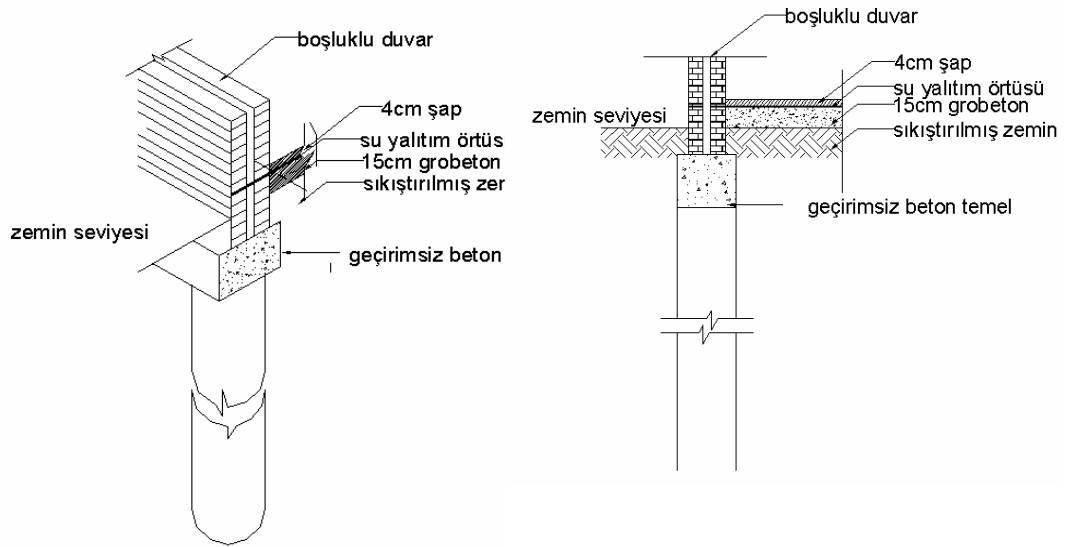
Şekil 2.10. 'daki bu tür kazık sistemlerde kum veya prefabrik betonarme, çelik, ahşap, mix. vb. malzemeler kullanılır.



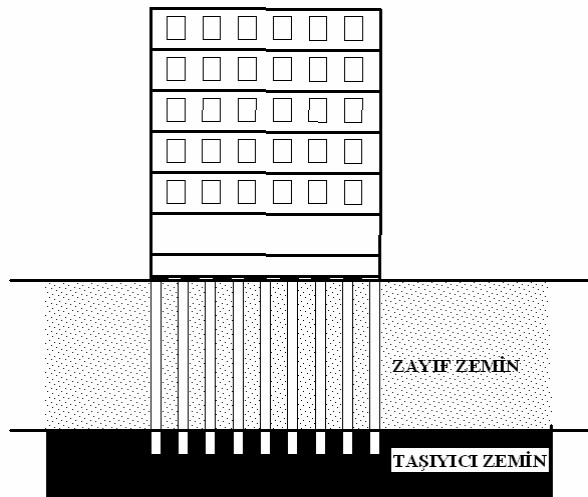
Yeraltı su seviyesinin yüksek ve zemin dayanımı çok zayıf, sulu, balçıklı, zeminlerde kazık temellerin uygulanması zorunlu hale gelir (Şekil 2.11, 2.12, 2.13). Bu tür zeminlerde uygulanan kazık temeller, sürekli su ile etkileşim halinde olduğu için mutlaka kazıkların geçirimsizliği sağlanmış olmalıdır.

Şekil 2.10: Kazık temel türleri (Z. Şimşek).

Derin temelleri yüzey temellerinden ayıran en önemli özellik, kullanılan kazıkların zeminleri sıkıştırarak özelliklerinin iyileşmesine yardımcı olmasıdır. Derin temelleri oluşturan kazık sistemler ile yapı temellerinin birbirine bağlanmaması gereği ilke olarak kabul edilmelidir.



**Şekil 2.11.** Kohezyonlu zeminlerde derin temel uygulamaları (Z. Şimşek).



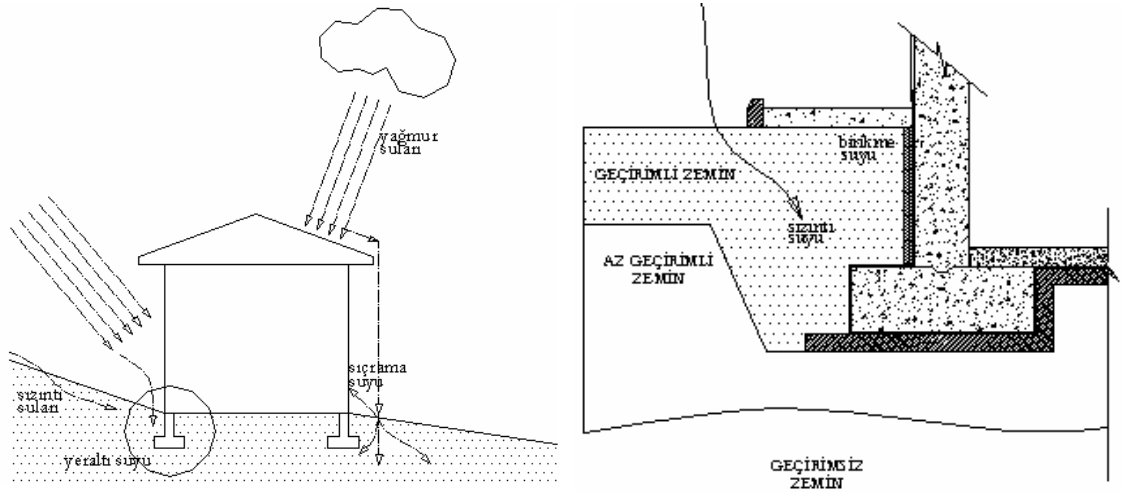
**Şekil 2.12.** Derin temel yapı ilişkisi (Z. Şimşek).



**Şekil 2.13.** Derin temel zemin ilişkisi (www.cen.bris.ac.uk/civil/students)

## 2.2. Su ve Nemin Yeraltı Kabuğu Üzerindeki Etkileri

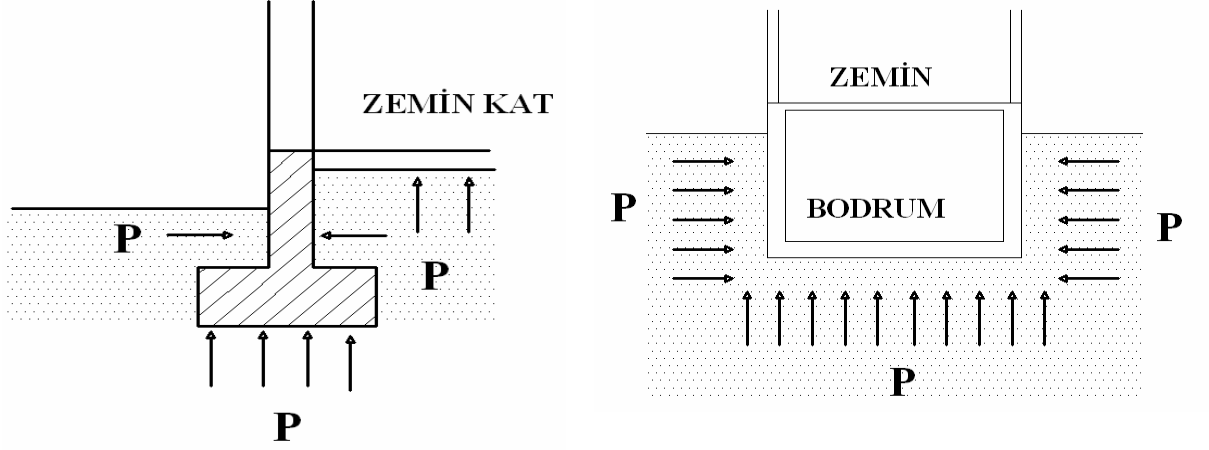
Yapının dayanım ve dayanıklılığının sürdürülebilmesi için, onu dıştan saran ortamdaki suyun geliş şeklinin ve etki biçiminin saptanması gerekir. Bu etkenler yerkabuğunda oluşturulacak yaşama mekânındaki iç iklim koşullarını da belirleyen etmenlerdir. Temel ve bodrum dış kabuğuna etki eden zemin nemi, kabuğu ıslatarak sınırladıkları iç ortamın havasındaki bağıl nem düzeyinin yükselmesine neden olur. Bunun sonucunda bodrum iç mekânında, nemli havadan dolayı sağlıklı bir ortam oluşur (Sağlam 1994).



Şekil 2.14. Yapıya etki eden su türleri (Z. Şimşek).

Yapıların etrafı atmosfer ile çevrilidir. Dolayısıyla atmosferik koşullar sonucu oluşan suyun da etkisi altındadırlar. Yapı yerkabuğu elemanlarının atmosfer yerine zeminle çevrili olmalarından dolayı, zemin ve zemin içindeki su ile olumlu veya olumsuz bir etkileşim halindedirler. Üst kabuğa su; yağmur, kar ve rüzgâr gibi atmosferik koşullar ile ulaşırken yerkabuğu yapı elemanlarına zemin içine sızarak, tanecikleri arasındaki boşluklara depolanarak veya boşluklar arasında basınç oluşturarak Şekil 2.14 'deki gibi etki eder. Tüm bunlarla birlikte yerkabuğu yapı elemanları,

- Zeminin yanal basıncı
- Buz basıncı (don etkisi)
- Yeraltı su basıncı etkisine maruz kalır (Şekil 2.15).



**Şekil 2.15.** Yerkabuğu yapı elemanlarına etki eden kuvvetler (Z. Şimşek).

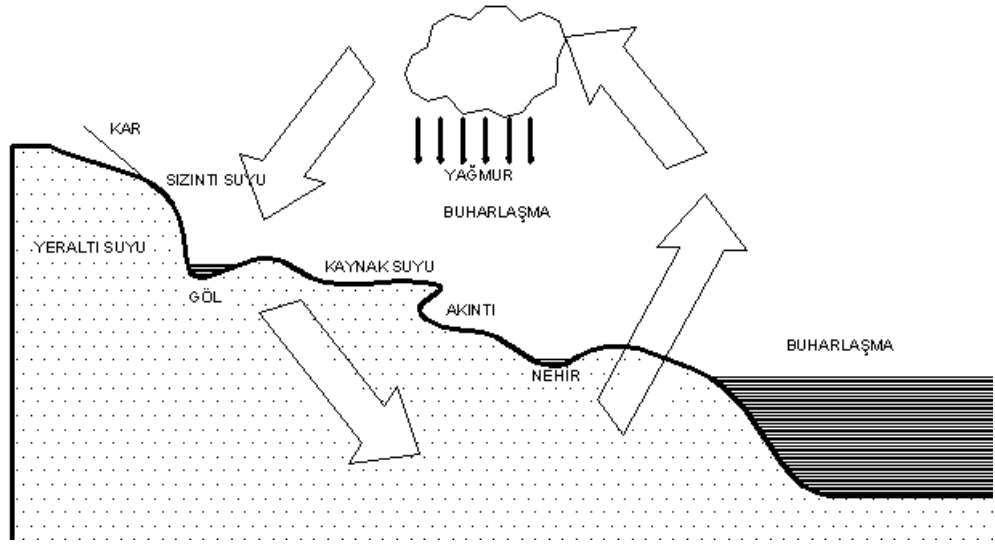
Yapıyı çevreleyen doğal zemin suları bazı durumlarda yerkabuğunu oluşturan malzeme için kimyasal tepkimeler sonucunda yıpratıcı iyonlar içerir. Bu iyonlar, özellikle beton malzemenin ve onu saran yalıtım malzemelerinin yüzeylerinin aşınmasına ve özelliklerinin kaybolmasına neden olur.

Yeryüzü suları yapıya farklı şekillerde ulaştıkları için etkileri de farklı olur. Bu sebeple, suyun yapı üzerindeki etkilerin saptanması yerkabuğunu etkileyen su türlerinin belirlenmesi gerekir.

### 2.2.1. Yeraltı Kabuğunu Etkileyen Su Hareket Türleri

Yağış suları yapı zeminine temas ettikten sonra arazinin cinsine, zeminin sıklık derecesine ve su tutma kapasitesine bağlı olarak yerkabuğunda farklı etkileri olan suları oluşturur ( Şekil 2.16). Yağış suları;

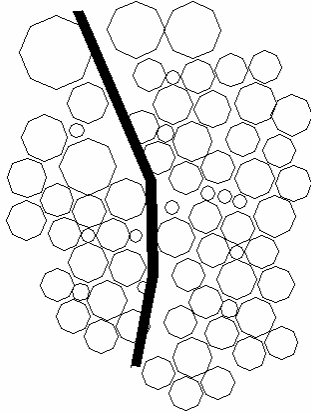
- İri taneli boşluklu zeminler arasından sızıp geçirimsiz zemin tabakalarına kadar ilerleyerek **sızıntı sularını**,
- İnce taneli zeminlerde yerçekimine ters bir kuvvetle kılcal kanallardan yükselerek hareket eden **kapiler suyu**,
- Zemin taneciklerine tutunarak **zemin nemini (absorbsiyon suyu)**,
- Taneler arasındaki boşlukları doldurup, geçirimsiz bir tabaka üzerinde birikerek; **yeraltı sularını** oluşturur.



Şekil 2.16. Hidrolik döngü (Z. Şimşek).

**Sızıntı Suları ve Zemin Nemi:** Zemin tanecikleri arasında çekim kuvvetleri oluşmadığı için aralarında boşluk bulunan kum-çakıl karışımlı gravye gibi kohezyonsuz zeminler yüksek geçirimsizliği olan zeminlerdir.

#### Akım İzi



Su, bu tür zeminlerin tanelerinin arasında oluşan boşluklar sonucu gelişmiş kanallarda, yerçekimi kuvveti sayesinde Şekil 2.17'deki gibi akım izi doğrultusunda hareket ederek sızıntı sularını oluşturur. Sızıntının miktarı zemin cinsine, zeminin nem içeriğine, donma kapasitesine ve mevsimlik yağış miktarına göre değişkenlik gösterir.

Şekil 2.17. Suyun yerçekimi kuvveti ile hareketi (Z. Şimşek).

Suyun hareket ettiği bu kılcal boşlukların yönleri ve genişlikleri sabit değildir. Kılcal kanallar bazı bölgelerde genişleyip daralır, dolayısıyla suyun hareket hızı da bu değişkenler doğrultusunda artıp azalmaktadır. Suyun kanallar içinden akıp gitmesini



sağlayan geçirgenlik özelliği, zemini oluşturan tanelerin boyutları ile suyun birim zamanda zemin içinde katettiği uzaklık ile doğrudan ilişkilidir (Gönül 2000). Zeminleri oluşturan tane çaplarının geçirimsizliğe olan etkileri Çizelge 2.5’de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Sızıntı suları yapı temel ve bodrum duvarlarına basınçsız olarak etki ettikleri gibi, aşırı yağışlarla zemindeki su içeriğinin artmasından dolayı döşeme ve temel duvarlarında geçici basınç etkisi de oluştururlar.

Yapı üzerinde oluşan bu basınç etkisi ile su yapının bünyesinde bulunan boşluk ve çatlaklardan içeriye girer.

**Çizelge 2.5.** Zeminlerin tane çaplarına bağlı geçirimsizlikleri

Zemin Cinsi	Granül Büyüklüğü (mm)	Geçirgenlik Katsayısı(cm/sn)	Geçirimsizlik
İri Taneli Zeminler	Taş	200-60	Geçirimsiz
	Çakıl	60-2	
	İri Çakıl	60-20	
	Orta Çakıl	20-6	
	İnce Çakıl	6-2	
	Kum	2-0,06	
	İri kum	2-0,6	
	Orta kum	0,6-0,2	
	İnce kum	0,2-0,06	
İnce Taneli Zeminler	Silt	0,06-0,002	Az geçirimsiz
	İri silt	0,06-0,02	
	Orta silt	0,02-0,006	
	İnce silt	0,006-0,002	
	Kil	<0,002	Geçirimsiz

**Zemin Nemi (absorbsiyon su):** Zemin tanelerinde bulunan elektriksel çekim kuvvetleri, su moleküllerini kendilerine doğru çekerek yüzeylerinin ince bir su tabakası ile kaplanmasına neden olur. Tane yüzeylerine asılı kalan bu su molekülleri absorbe su olarak nitelendirilir ve zemin nemini oluşturur. Zemin nemi gevşek veya sıkı her türlü zeminde oluşabilir. Tanecikler üzerine tutunan absorbe su, yağış sularının zemine sızması veya yeraltı sularının yerçekimine ters bir kuvvetle ilerlemesi sonucu zemin tanelerinin yüzeylerine yaklaşır. Zemin taneleri ancak belirli bir uzaklıktaki su moleküllerini yaklaştıracak elektriksel çekim kuvvetine sahiptir. Bu sebeple uzakta kalan su molekülleri zemin tanelerine tutunamayarak sızıntı sularını oluşturur ve alt tabakalara doğru hareket eder (Gönül 2000).

Temel ve bodrum duvarlarının zemin nemi ile ıslanması nedeniyle belirli bir süre sonra durağan su, yapıya kılcal emme kuvveti ile girerek ilerler. Ayrıca, uzun süre nemli kalan beton yüzeylerde bozulmalar gözlenir.

**Kapiler Su:** Zemin suları sadece yağışların zemin içine yerçekimi kuvvetleri ile sızması sonucu oluşmazlar; aynı zamanda yeraltı sularının kılcal boşluklardan yerçekimine ters yönde ilerlemesi ile de oluşur.

Zemin tanelerinin farklı büyüklüklerde olmasından dolayı aralarında birbirlerine bağlı birçok küçük çaplı kılcal kanallar oluşur. Suyun bu kanallar boyunca yukarı yönde ilerlemesine **kapilarite** denir (Atmaca 2003). Geçirimsiz tabakanın üst bölgesinde ve bu tabakanın orta ve ince genişlikteki kılcal gözenekleri içerisinde oluşan yüzey gerilim kuvvetleri tarafından emilen suya **kapiler su**, yükselerek tutulduğu bir bölgeye ise **kapiler saçak** adı verilir.(Şahal 2001).

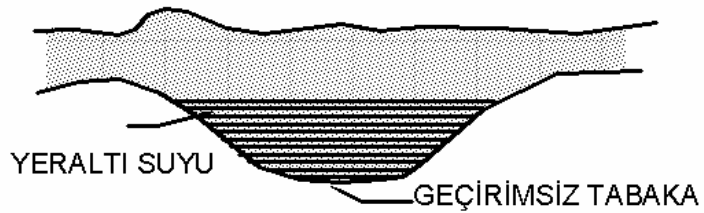
Suyun kapiler kuvvetlerle ilerlediği zeminlerde, üst tabakaya kapiler yolla ilerleyen yeraltı suları, doygun hale gelerek toplam bu bölgenin zemin basıncının dolayısı ile yer kabuğu elemanlarına uygulanan zemin yanal basıncının artmasına neden olur. Artan zemin yanal basıncı, temel duvarında uygulanmış yalıtım örtülerinin direncinin azalmasına ve hatta beton malzemenin zorlanarak dağılmasına neden olur. Kapiler kuvvetler zemin tanelerinin de birbirlerine doğru çekilmesine neden olur (Şekil 2.18). Bunun sonucunda zemin büzülerek yapıda oturmalara neden olur.



**Şekil 2.18.** Kapiler çekme gerilmelerinin zemin taneciklerine olan etkisi (Z. Şimşek).

Kumlar kohezyon kuvvetlerine sahip olmamasına rağmen su ile karşılaştıklarında kil ve silt gibi birbirlerine tutunmaya başlarlar. Bu olay kapileritenin artmasına neden olur ve bu etki ortadan kalkınca da yapıda oturmalar gözlenir (Atmaca 2003).

**Yeraltı Suları:** Sızıntı suları geçirimsiz bir tabakaya rastlayıncaya kadar zemindeki boşluklar boyunca alt tabakalara doğru ilerler. Zemin taneciklerinin aralarında bulunan boşlukların tamamen bu sularla dolarak hidrostatik basıncı oluşması ile yeraltı suları oluşur (Şekil 2.19).

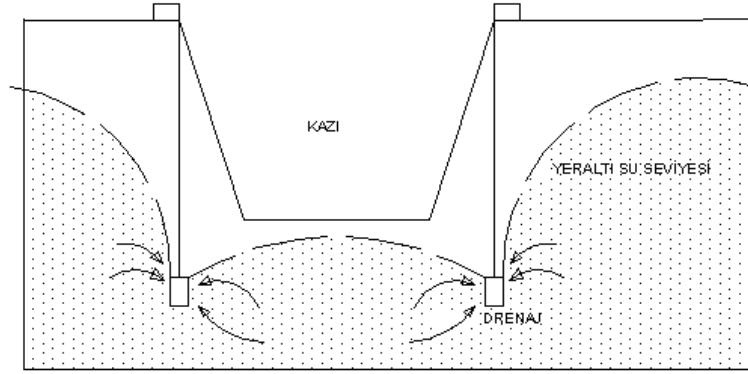


**Şekil 2.19.** Yeraltı suyunun zemindeki konumu (Z. Şimşek)

Yeraltı su kütleleri düşey ve yatay yönde hareket eden dinamik su kütleleridir. Yeraltı suyunun bu dinamik yapısı, hidrolojik döngünün bir parçası olmasından kaynaklanır. Yeraltı suları geçirimsizliği yüzeye doğru artan tabakalar arasında ilerliyorsa hareketli, geçirimsiz tabakalar arasında sıkışmışsa durağan haldedir (Legget, <http://irc.nrc-cnrc.ca/>).

Sızıntı suları geçirimsiz tabakanın üst bölgesindeki geçirimli tabakanın da boşluklarının su ile dolarak bu bölgede geçici hidrostatik basıncın oluşmasına olanak verir. Biriken bu su kütesinin üst yüzeyi yeraltı su tablasını, aynı zamanda yeraltı su seviyesini belirler. Yeraltı su seviyesi, suya doymun bölgenin başlangıç noktasını belirler. Yeraltı su tablası yapının konumlandığı topografyaya paraleldir. Hafriyat yapıldığı zaman çukur yeraltı su seviyesine kadar su ile dolar. Yeraltı suyu kazı alanından Şekil 2.20'deki gibi drene edildikten sonra yapı temelleri yapılmaya başlanabilir. Fakat yapı, yeraltı su seviyesinin alt bölgesinde konumlanıyor ise devamlı olarak yeraltı suyunun etkisi altında kalabilir. Ayrıca karşılaşılan bu suya doymun tabakanın kalınlığı arttıkça yapıya etki eden basınç kuvveti de artar. Bu durumda sürekli olarak kullanılacak bir drenaj sistemi uygulanmalıdır.

Ayrıca yağışların çok olduğu dönemlerde yeraltı su seviyeleri artarak daha yüksek oranlarda basınç kuvveti oluştururken, daha kurak mevsimlerde su seviyeleri daha alt kotlara inerek basınç oranında düşmelere neden olur (Gönül 2000).



**Şekil 2.20.** Yeraltı su seviyesinin düşürülmesi (Z. Şimşek).

İki geçirimsiz katman arasında kalan sular ise **hapis sular** olarak adlandırılır. Bu sular hareket edemedikleri için hareket enerjilerini yüksek basınç kuvvetlerine çevirirler. Geçirimsiz katmanların yapı çukuru açılması sırasında veya dışarıdan gelecek herhangi bir kuvvetin etkisiyle delinmesi sonucunda sahip oldukları basınç kuvvetleriyle yerkabuğundan fışkırarak yüzeye çıkarlar. Açığa çıkan bu basınçlı su yapının yukarıya doğru itilerek dengesinin bozulmasına neden olur (Ertem 2002).

### 2.2.2. Zemin Suyunun Kabuğa Etkisi

Yapının taşıyıcı bölümlerini oluşturan temel ve perde duvarları, sürekli veya yeraltı su seviyesinin yükselmesine bağlı olarak, aralıklarla zemin nemi ve suyunun etkisi altında kalırlar. Suyun; katı, sıvı veya gaz hali, beton malzeme ile etkileşimi, içinde taşıdığı iyonları ve suda çözünen kimyasalların yapı elemanına taşınması, miktarı, basınç şiddeti meydana gelebilecek hasarın şeklini ve şiddetini belirleyen etkenlerdir. Beton malzemedен oluşturulan yerkabuğu elemanları, betonun içindeki boşluklardaki çekme kuvveti ve kimyasal bileşiminden dolayı, zamanla suyla fiziksel veya kimyasal olarak etkileşime girerek yapı bünyesinde bozulmaların oluşmasına neden olur. Yalnızca yapı bünyesinde değil aynı zamanda zeminle çevrili mekânlarda bulunan iç donanımların Şekil 2.21'deki gibi nemden etkilenerek bozulmasına ve hatta insan sağlığının tehlikeye girmesine neden olur.



**Şekil 2.21.** Zemin suyunun bodrum kat iç mekânında ve donanımlarında oluşturduğu hasarlar (Z. Şimşek arşivi 2005)

Zemin türlerine bağılı olarak suyun yapıya etkisi de farklılık gösterir. Bu etkileri belirlenmesi için;

- Zemin özelliklerini oluşturan farklı katman kalınlıkları,
- Zemin türleri ve özellikleri,
- Zeminin su içeriğı,
- Porozite, boşluk oranı, sıkılık ve kıvamlılık özelliğı,
- Zemindeki yeraltı suyunun özellikleri,
- Zemin sularının fiziksel ve kimyasal özellikleri,
- İklimsel verilere bağılı olarak suyun hareketi,
- Betona zarar verici maddeleri içerip içermediğı,
- Ne tür yalıtımın uygulanacağı, ayrıntılı biçimde incelenmelidir (Atmaca 2003).

Su, zeminlerin tane boyutlarına ve tanecikleri arasındaki kohezyon kuvvetine bağılı olarak yapıyı farklı şekillerde etkilemektedir; kısaca suyun yapıya etkisi zemin özelliklerine bağılı olarak değışkenlik göstermektedir.

Yeraltı suyu, temeller ve varsa bodrum duvarı üzerinde basınç etkisi yaratır. Bodrum katlarını sınırlayan temel duvarı, sistemin taşıyıcılık özelliğinin devam ettirmek için mutlaka suya karşı korunmalıdır. Aksi takdirde Şekil 2.22’de ki gibi insan sağığı için olumsuz mekanlar oluşacaktır.

Su, zeminde bulunan zararlı kimyasallarla birlikte, betonda sülfat etkisi ve alkali reaksiyonları, donatı korozyonu, küflenme ve çiçeklenme gibi temel sistemine zarar verici etkiler oluşturur. Tüm bu oluşumları, fiziksel ve kimyasal etkiler başlığı altında iki ana grupta toplayabiliriz.



**Şekil 2.22.** Suyun bodrum iç mekânında oluşturduğu hasarlar  
(Z.Şimşek Arşivi 2003).

#### 2.2.2.1. Fiziksel Etkiler

Sızıntı suları, gerekli önlemler alınmadığı takdirde, yapıya dış kabuktan iç mekâna doğru sızarak burada birikebilmektedir. Yeraltı suları ise iç ortamda çok daha büyük miktarlarda suyun birikmesine neden olmaktadır. Yeraltı suları yapıya derinlere inildikçe artan bir basınçla etki eder. Ancak yatay düzlemde bu basınç değeri sabittir. Basınç değeri arttıkça yapının drenajı azalacak ve belirli limitlerden sonra yapıda kaymalar oluşabilecektir. Ayrıca bodrum duvarlarının termal etkilere karşı yalıtımında kullanılan malzemelerin zeminden gelen sularla ıslanması sonucunda malzeme ısı tutuculuk özelliğini tamamen kaybeder. Zemin suların oluşturduğu bu fiziksel olayları ve etkilerini aşağıdaki başlıklar altında toplayabiliriz.

- **Suyun Don Etkisi:** Suyun don etkisi, zemin içindeki don ve yapı malzemesi içindeki don olayı olmak üzere yapıya iki farklı şekilde hasar verir.

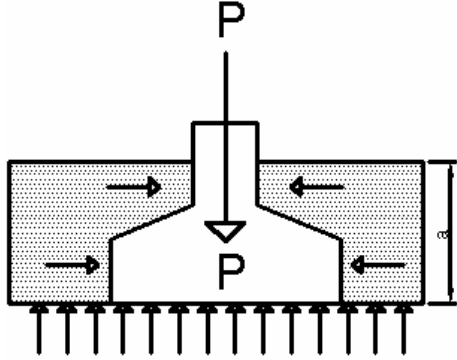
#### **Zemin içindeki don etkisi:**

Düşük sıcaklıklarda zemin tanecikleri arasında hapsolmuş su zerrecikleri donar. Donan su hacimsel olarak genişler ve zemini oluşturan taneciklere basınç uygular. Sıkışan

zemin de temel pabuç ve duvarlarını sıkıştırır. Oluşan basınç düzeylerine bağlı olarak temeller oturduğu yüzeyden kayabilir ve yer değiştirir. Bu durum zemin üzerinde taşınan yapıya ve yapının taşıyıcı sistemi ile bu sisteme uygulanan yalıtıma zarar verir. Zemin içinde oluşan don seviyeleri meteorolojik gözlemler sonucu saptanır. Yapı temelleri don etkisinden hasar görmemek için bu seviyenin altına oturtulmalıdır.

Suyun zemin içinde donarak oluşturduğu hasarlar zemin içindeki suyun, direk değil dolaylı bir etkisidir. Su zemin yüzeyinden donmaya başlar ve don derinliğine kadar bu etkisini devam ettirir. Zemin üst yüzeyi ile don derinliği arasında kalan bölgeye donmuş zemin bölgesi denir. Zemin tanecikleri arasındaki boşluklarda bulunan su donunca don bölgesindeki tanecikler birbirlerine yapışarak bir bütün olarak hareket etmeye başlar (Şekil 2.24) (Şahal 2001).

Zemin yapısındaki sular,  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  don etkisini minimize etmek için temeller don seviyesinin alt noktasına kadar indirilmelidir. Bu don derinliği zemin yapısına ve iklim koşullarına bağlı olarak bölgeden bölgeye farklılık gösterir.

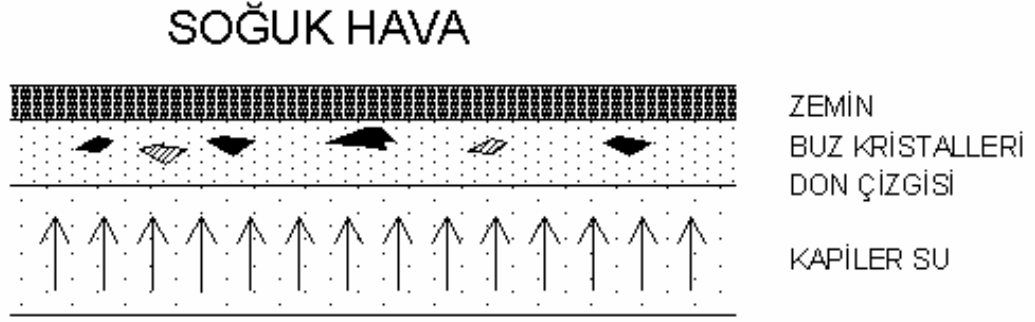


Hiçbir temel türü donmuş zemin üzerine yapılmamalıdır. Zemin boşluklarının içine dolan su donarak hacmin genişlemesine neden olur. Genişleyen zemin Şekil 2.23 deki gibi temeller üzerinde basınç oluşturur. Yüksek basınç altındaki sistem taşıma gücünü kaybetmeye başlar. Ayrıca, temel derinliğinin belirlenmesindeki en önemli etmen don derinliğidir (Ching 1997).

**Şekil 2.23.** Temel pabuçlarını etkileyen kuvvetler (Z. Şimşek )

Yapısındaki boşluk miktarı az olan killi, siltli zeminlerde bu kuvvet maksimum düzeye ulaşırken, kumlu, çakıllı zeminlerde bu kuvvet yok denecek kadar az düzeyde oluşmaktadır (Şahal 2001).





**Şekil 2.24.** Zeminlerde don olayı (Z.Şimşek).

**Yapı malzemesi içindeki don etkisi:** Kapilarite veya basınç farklılıkları sonucu ile su, beton yapı malzemesinin içine sızarak yapısındaki boşlukları doldurur. Ani sıcaklık düşüşlerinde don olayı gözlenmeden önce, beton karışımının yapısında bulunan malzemeler farklı genleşmelere uğrayarak büzülür (Dağ 2001). Zemin sıcaklığı  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altına düştüğü zaman ise su donarak hacminin %10'unu kadar genişlemeye çalışır. Eğer su hacminin genişlemesinin gerçekleşebilmesi için beton içinde fazla boşluk kalmamışsa malzemenin içinde aşırı gerilmeler oluşur (Ertem 2002). Bu gerilmeler, beton malzemenin parçalanmasına, yüzeyinden parça atmasına neden olur. Deformasyon miktarı betonun dayanımına ve suyun donma miktarına bağlı olarak değişir. Ayrıca görülen deformasyon miktarı, malzemenin boşluk yapısı ile doğru orantılı olarak artar. Boşluk sayısı arttıkça don miktarı da artar ve betonun dayanımı da bir o kadar azalır.

- **Kir, Çiçeklenme ve Küf Mantar Oluşumu:** Geçirimsizliği sağlanmamış ve etrafı su ile çevrili yapı elemanları belirli bir süre sonra suya tamamen doygun hale gelir ve iç kabukta ıslaklık oluşturur. Sürekli ıslak kalan yüzeylere mekânda bulunan tozlar yapışarak kirliliğe neden olur. Ayrıca bu ıslak yüzeylerin bağlı nem oranı yüksek iç ortam havası ile temas etmesi sonucu küf-mantar dediğimiz olumsuzluklar insan sağlığı için son derece zararlı organizmalar oluştururlar (Şekil 2.25).



**Şekil 2.25.** Zemin suyunun bodrum kat duvarlarında oluşturduğu hasarlar  
(Z.Şimşek Arşivi 2005).

Yeraltı suları zemin yapısında bulunan zararlı kimyasalları da beraberinde yerkaşu elemanlarına taşır. Malzeme içindeki su iç ortam sıcaklığına ve bağıl nem oranına bağılı olarak buharlaşabilir. Buharlaşma elemanın iç yüzeyinden başladığı zaman mevcut bulunan tuzları çözerek elemanın dış yüzeyine doğru sürükler (Şekil 2.26, 2.27). Dış yüzeyde tamamen buharlaşan su içinde bulundurduğu tuzların kristalleşerek bu noktalarda birikmesine ve çiçeklenme dediğimiz yüzeysel olarak oluşan bir olayın oluşmasına neden olur (Şahal 2001).

Çiçeklenme olayının devam etmesi durumunda suyun yüzeye sürüklediği tuzlar buharlaşarak kristal hale geçer. Bu kristaller hacimce genişleyerek malzemede iç gerilmeleri oluşturur. Bu gerilmeleri karşılayamayacak nitelikte olan malzemelerin bünyesinde çatlaklar oluşur, dayanımı çok düşük olanlarda ise yüzeyden parça atmalar gözlenir (Dağ 2001).



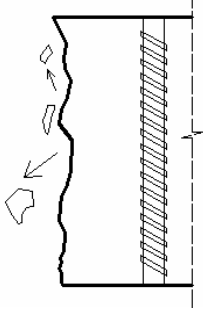


**Şekil 2.26.** Suyun kapiler yolla ilerleyerek taşıyıcı sistemde neden olduğu hasarlar (Z.Şimşek Arşivi 2003).



**Şekil 2.27.** Zemin suyunun bodrumsuz bir yapıda kapiler yolla yapı bünyesinde ilerleyerek oluşturduğu hasarlar. (Z.Şimşek Arşivi 2003).

#### 2.2.2.2. Kimyasal Etkiler

Zemin içindeki sular, beton yapı elemanlarının içine girerken betonu oluşturan bileşenlerle kimyasal reaksiyona girecek iyon ve molekülleri de beraberlerinde getirirler. Aynı zararlı moleküllerin suyun varlığı olmadığı zaman beton ile kimyasal reaksiyona girmediği, dolayısıyla da malzemede deformasyonların oluşmadığı görülmüştür. Zararlı kimyasallar içeren yeraltı sularının betonarme yerkabuğu elemanları üzerindeki etkileri, birden fazla kimyasal reaksiyonun ardı ardına gerçekleşmesi ile oluşan bir süreci de içerebilir. Bu süreç içinde, yerkabuğu elemanlarının niteliklerinin kaybolmasında betonun niteliği ve yeraltı suyunun yapıya tesirini engelleyecek uygulamaların etkisi büyük önem kazanmaktadır. Kaliteli geçirimsiz bir beton ile birlikte uygulanan yüzeysel su yalıtımı, suyun yapıya etkisini oldukça zorlaştırır. Su betona giremeyince etrafını çeviren zeminde bulunan kimyasallarda betona etki edemezler. Suyun etki şiddetine ve süresine bağlı olarak beton yapı elemanlarında oluşan kimyasal reaksiyonlarda çeşitlilik gösterecektir. Ayrıca ortam ısısının artması, reaksiyonun daha hızlı gerçekleşmesine ve tepkimeye giren molekül sayısının da artmasına neden olur. Şekil 2.28 de kimyasal iyonların beton ve içindeki donatı üzerinde oluşturduğu etkiler açıklanmaktadır.

 <p>1.</p>	<p><b>Suyun hidroliz ve çözücülük reaksiyonları</b> ile beton yüzeyler aşınır. Beton kalitesine bağlı olarak parça atmalar gözlenebilir.</p>
 <p>2.</p>	<p><b>Kalsiyum klorid, kalsiyum oksalad, magnezyum ve kalsiyum içeren suların</b> etkisi ile sertleşmiş çimento hamuru arasında yer değiştirmeler gözlenir. Daha büyük parçalar yüzeyden ayrılır ve kesitleri azalır.</p>
 <p>3.</p>	<p><b>Beton yüzeyinde oluşan sülfat saldırısı, alkali reaksiyonları ve donatı yüzeyinde oluşan korozyon</b> etkisinin oluşması.</p> <p>Beton içi stresler artar ve betonun bozularak çatlar, parça atar. Mukavemeti azalır ve rijitliğini kaybeder. Suyun donatıya ulaşması ile birlikte donatı korozyona uğrar. Bunun sonucunda taşıyıcı sistemin dayanımı büyük ölçüde düşer. Beton üzerinde en büyük hasarı veren kimyasal reaksiyon sülfat saldırısıdır.</p>

**Şekil 2.28.** Kimyasal iyonların beton yüzeyinde oluşturduğu etkiler (Z.Şimşek)

Zemin yapısında bulunan asitler, yağlar, kalsiyum, magnezyum ve klor iyonları yerkabuğu yüzeyinin aşınmasında etkili olan kimyasallardandır. Sodyum sülfat, kalsiyum sülfat gibi sülfat içeren kimyasallar ile alkali reaksiyonları özellikle beton elemanlarda çok daha büyük etkilerin oluşmasına neden olur. Bu gibi durumlarda sülfata dayanıklı çimentoların kullanılarak en uygun önemlerin alınması gerekir.

Eğer yerkabuğunda konumlanan elemanlar düşük kalitede yapılmışsa ve suyu bünyelerine rahatça alabiliyorsa, uygulanan bünyesel yalıtımlar elemanı yeraltı suyu ile birlikte gelen kimyasalların oluşturduğu tepkimelerden korumaya yeterli olmaz. Yapıyı sudan korumak için uygulanan yalıtım örtüleri de yeraltı suyunda bulunan kimyasallar ile tepkimeye girebilir, bunun sonucunda da yalıtım malzemesi özelliğini yitirir. Bu sebeple yeraltı suyunda bulunan kimyasalların analizi yapıldıktan sonra yerkabuğuna uygulanacak sistemin seçilmesi, yapının bu etkilerden hasar görmemesi için en uygun yöntem olacaktır (Ertem 2002).

**Korozyon:** Yeraltı suları sadece yerkabuğunu oluşturan beton üzerinde kimyasal tepkimelerin oluşmasına neden olmaz, aynı zamanda kapilarite ile betonun içinde bulunan donatıya kadar ilerleyerek donatı yüzeylerinde bir dizi reaksiyonların **korozyonu** oluşturmasına neden olur. Konu ilerideki bölümlerde ayrıntılı ele alınacaktır.

Korozyon olarak tanımlanan donatı yüzeyinde oluşan pas, hacimce genişlemeye çalışarak beton da iç gerilmelerin oluşmasına neden olur. Genişlemeye yeri olmaya beton yüzeylerinden parça atar ve artan pas kitlesi donatının kesitini azaltarak sürecin sonunda taşıyıcılık görevini yitirmesine olanak verir (Şekil 2.29).



**Şekil 2.29.** Korozyona uğramış donatı (Z.Şimşek Arşivi 2003)

### **2.3. Suyun Yeraltı Kabuğundan Uzaklaştırılmasında Kullanılacak Teknikler**

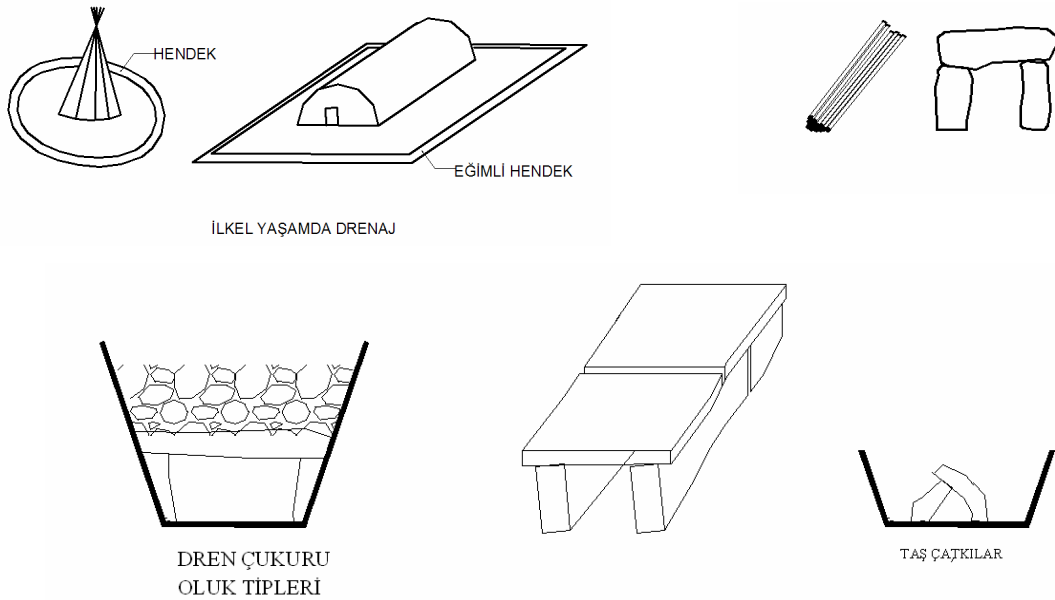
Yerkabuğu yapı elemanları ile zemin arasında gerçekleşen nem transferi sonucu oluşan bozulmaları önlemek için birbirini tamamlayan iki yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler, yapıyı etkileyen su türleri ve etki şekillerine bağlı olarak, yapının zemin ile temas eden bölümlerinin çeşitli yöntemler ile suya karşı geçirimsiz olarak tasarlanması ve yapı alanına gelen suyun bu alanda oluşturulacak drenaj sistemi ile yapı yüzeyine ulaşmadan uzaklaştırılmasıdır. Böylelikle yapı zemin bünye suyu dışında yağış ve suyun zemin içi hareketi ile yapıya ulaşmadan uzaklaştırılır. Etkin bir uygulama ile yapı daha az su ile baş başa bırakılır. Temelleri su etmeninden koruyacak yalıtım veya geçirimsizliklerden önce drenaj sistemi ile korumak başlangıç önlemlerinden en önemlisidir.

#### **2.3.1. Drenaj**

Drenaj, yapıya etki etmesi düşünülen kar, yağmur gibi yerüstü sularının ve zemin tanecikleri arasında hareket eden veya asılı kalan sularının kontrol altına alınması, toplanması, yapıdan uzaklaştırılması ve gerekli durumlarda yeraltı su seviyelerinin düşürülmesi amacı ile düzenlen sistemlerdir (Avlar, 1995). Suyun yapı etrafından uzaklaştırılması, yapı ile zeminin dengede kalması, zeminin stabilitesi ve yapı etrafındaki nem seviyesinin düşürülmesine olanak verir.

İyi yapılmış bir drenaj, bodrum katlardaki nem sorununu, don etkisinin oluşturduğu olumsuzlukları ve yerkabuğuna etki eden hidrostatik basıncın azalmasını ve hatta yok olmasını sağlar. Drenaj sistemi sadece suyun yapı elemanları üzerinde oluşturduğu olumsuz etkileri önlemek amacı ile yapılmaz, aynı zamanda yapı yakınlarında oluşabilecek toprak kaymaları ve sel sonucu oluşabilecek hasarları engellemek amacı ile de yapılır. Tüm bu olumlu sonuçlara karşın, planlama aşamasında detaylandırmada gerekli önem verilmediğinden birçok yapı zemin neminin olumsuz etkilerine maruz kalır. Drenaj sistemi, yapının tüm hizmet ömrü boyunca aktif bir şekilde görevini sürdürmelidir. Bu sebeple drenaja başlamadan önce, sürekliliği sağlayacak ölçütlerin belirlenip bu doğrultuda bir tasarımın yapılması gerekir. (Williams. G. P. Drainage Around Buildings, <http://irc.nrc-cnrc.ca>)

Yapı evrimi başlangıcında ilk aşama olarak suyu yapıdan uzaklaştırmak için Şekil 2.30'daki gibi ilkel drenaj strüktürleri geliştirilmiş, bu sayede yerel malzeme ile oluşturulan mekânlara suyun gelmesi engellenmeye çalışılmıştır. Bünyelerine su alınca şişen ve geçirimsiz bir yapıya ulaşan kil vb. malzemeler veya suyun kendisine yol bularak doğrudan akıp gitmesine olanak veren malzemeler kullanarak oluklar yapılmış, bu sayede suyun zararlı etkilerini azaltmak için çözümler bulmaya çalışılmıştır. Tasarım ilkeleri ve kullanılan teknikler açısından uygulanan bu drenaj sistemleri, zemin cinsine ve topografik koşullara bağlı olarak uygulama açısından farklılık gösterir (Şekil 2.30).



Şekil 2.30. İlkel drenaj strüktürler (Z.Şimşek).

#### Drenajı etkileyen zemin ve topografik özellikler:

Su geçirgenliği yüksek, yeraltı su seviyesinin temel tabanından düşük olduğu durumlarda drenaj sistemine gerek duyulmaz. İri tane çaplarına sahip geçirimli zeminlerde yüzeye gelen sular taneler arasında oluşan boşluklardan alt tabakaya doğru ilerleyerek yeraltı kuvvetleri ile yapıdan uzaklaşmış olurlar.

Yapının konumlandığı arazinin şekli de drenajın uygulanması bakımından önemlidir. Eğimli ve temel tabanının alt bölgesine kadar geçirimli alt katmanların ise geçirimsiz

olduğu bölgelerde eğim ile akıp yerkabuğu elamanlarına ulaşan sular, geçirimsiz tabakanın da üstünde konumlanmasından dolayı bu bölgede basınç etkisi yaratır. Bu koşullarda yapı çevresine drenaj sisteminin oluşturması zorunluluğu doğmaktadır.

Zemin taneleri arasından akıp alt tabakalara doğru ilerleyen sızıntı suları, yağışların artması durumunda geçici olarak bu tabakada birikir. Bu birikme sonucunda yerkabuğu yüzeyinde geçici olarak basınç etkisi oluşturur.

Kil ve silt gibi kohezyon kuvveti yüksek zeminlerin su tutma kapasiteleri fazla olduğu için iyi drene edilmedikleri takdirde yapı yüzeyine yüksek basınç uygularlar. Fakat kohezyon kuvvetinden dolayı çoğu zaman bu tür zeminlerde drenaj sistemi tek başına yeterli olmaz. Bu sebeple, basınçlı suya karşı önlemlerin alınması gerekir (Şahal 1992).

Yeraltı su seviyesinin çok yüksek olduğu, yerkabuğunun tamamen su içinde kaldığı durumlarda yapı çevresine drenaj sisteminin uygulanması yeterli sonucu vermez. Bu nedenle, çevresel drenaja ek olarak, yapı çukurundaki suyu tamamen boşaltıp yapı tabanına drenaj sistemi uygulanır. Drenaj sistemi zemin suyu seviyesine bağlı olarak geçici ve sürekli olmak üzere iki şekilde uygulanır.

### **2.3.1.1. Geçici Drenaj**

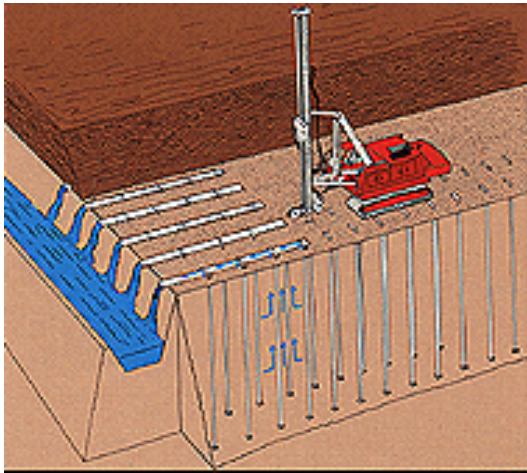
Zemin özellikleri belirlenen yapı alanında ilk aşama olarak yapı çukuru açılır. Yapı temelinin ve bodrum katlarının yeraltı ve yağmur sularından etkilenmemesi için yapım aşamasında geçici drenaj uygulanır. Yapı çukurunun açılmasından sonra dökülecek olan taban betonu için kuru bir zemin hazırlanmaya başlanır. İnşaat başlangıcından yaklaşık bir sene öncesinde başlanan sondaj çalışmaları ile belirlenen yeraltı su seviyesi, temel tabanının yaklaşık 50 cm altına kadar düşürülmelidir. (Nam1997).

Uygulanan geçici drenaj, yerkabuğu elemanlarının yalnızca yapım aşamasında değil, suya karşı yapılacak her türlü önlem tamamlanıp hidrostatik basınç ile yukarı yönde hareket etmeye çalışan yapı dengede kalıncaya kadar uygulanmaya devam edilir (Ertem 2002). Geçici drenaj farklı yöntemler ile uygulanır.



**Elektro-Osmos Yöntemi İle Geçici Drenaj:** Geçirimsizliği çok düşük killi ve siltli zeminler tarafından emilerek hapis edilen zemin suyunun bir kısmı yerçekimine ters yönde etki ederek sürtünme ve kapiler kuvvetler ile bu noktalara tutunarak asılı kalır. Killi zemin içinde asılı kalan su zerreciklerine zemin içine yerleştirilen elektrotlar ile elektrik akımı vererek (-) elektrotların bulunduğu drenaj kuyularına doğru harekete geçirilir (Erten 2002).

**Düşey Bant Drenler İle Geçici Drenaj:** Düşey bant drenlerinin ana özelliği, fazla boşluk suyu için çok geçirgen bir drenaj yolu sağlayarak zemin oturmasını hızlandırmasıdır. Oturmanın hızlanması izleyen inşaat aşamalarının gecikmesini azaltır (Şekil 2.31, Şekil 2.32) (<http://www.imtek.com.tr/webtr/zeminkons.htm>).



**Şekil 2.31.** Düşey Bant Dren uygulama örnekleri-1

<http://www.americanwick.com>

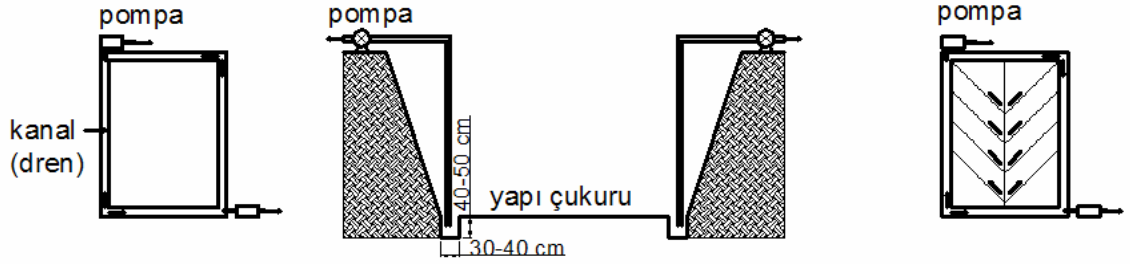
**Şekil 2.32.** Düşey Bant Dren uygulama örnekleri-2

<http://www.cofra.com/uk>

**Açık Drenlerle ve Hendeklerle Oluşturulan Geçici Drenaj:** Zemin yapısının geçirimsiz ve sıkı olduğu ve dolayısıyla sıkıştırılmaya ihtiyaç duyulmadığı durumlarda kuyu ve açık drenlerle-hendeklerle yapı etrafındaki su alandan uzaklaştırılır.

Suyun alandan uzaklaştırılması için yapı temellerinden 50–100 cm uzaklıkta ve temel tabanının yaklaşık 40 cm alt bölgesinde konumlanan bir dren ağı oluşturulur (Şekil 2.33).

Bu drenlerde toplanan yeraltı ve zemin üstü suları belirli noktalarda kurulan ve dren kanallarına indirilen pompalar ile yapı dışına alınır. Suyun pompaların bulunduğu noktaya doğru akışının sağlanabilmesi için bu noktalara doğru %2-5 eğim verilir (Ertem 2002).



**Şekil 2.33.** Temel etrafında oluşturulan drenaj ağı (Z.Şimşek).

**Kuyu Drenlerle Oluşturulan Geçici Drenaj:** Geçirimli-sıkı zeminlerde uygulanan bu yöntemde yapı etrafına 15 cm aralıklarla açılan derin veya ufak çaplı nokta kuyular, bu noktalarda biriken yerüstü veya yeraltı sularının, pompalarla toplanarak yakın bölgede bulunan dere veya kanallara atılmasını sağlar. 3 cm ile 5 cm çapında açılan bu kuyuların derinliği 45-150 cm. derinliğe kadar ulaşır (Machmeier, R. E, <http://www.extension> ).

### 2.3.1.2. Kalıcı Drenaj

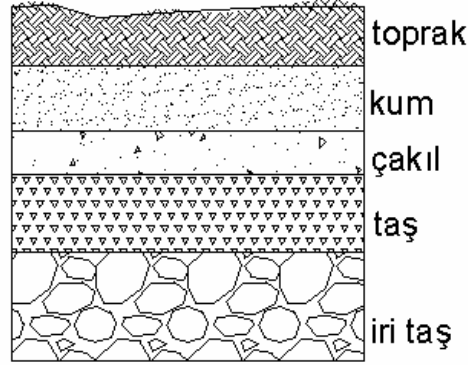
Temel tabanının geçirimsiz bir tabaka üzerine bastığı yeraltı su seviyesinin aşırı yükseldiği ve yağış performansının yüksek olduğu bölge zeminleri için suyun yapının tüm hizmet ömrü boyunca inşaat alanından uzaklaştırılması istenir.

Su, drenaj sistemi ile toprakaltı ve toprak üzerine yerleştirilen yatay-düşey elemanlar yardımıyla uzaklaştırılır. Sistemin sürekliliği için drenajı oluşturan elemanların ve kuruluş ilkelerinin daha tasarım aşamasında iken iyi bilinmesi ve detaylandırılması gerekir.

### 2.3.1.3 Drenaj Sistemi Elemanları

Drenaj sistemi; drenaj tabakası, drenaj boruları, kontrol ve bakım rögarlarından oluşur.

**Drenaj Tabakası:** Drenaj tabakası, suyu sızdırmak ayrıca bir filtre tabakası oluşturmak üzere iki ayrı görevi gerçekleştirir. Bu tabaka, yerkabuğu elemanlarına etki eden suyu tüm yüzey boyunca bünyesine alarak drenaj borusuna iletir. Drenaj borusunun ve sızdırma tabakasının, suyun birlikte sürüklediği toprak tanecikler tarafından tıkanmasını engellemek amacı ile oluşturulan bir tabakadır. Drenaj tabakası Şekil 2.34 deki gibi kum çakıl gibi geçirgenliği sağlayan mineral malzemelerin yanı sıra çimento esaslı bileşenler ile plastik esaslı drenaj örtüleri ile oluşturulur.



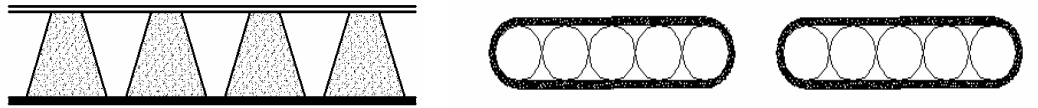
**Şekil 2.34:** Kum-çakıl gibi mineral malzemeler ile oluşturulan drenaj tabakası  
(Z.Şimşek)

Plastik ve çimento esaslı drenaj tabakaları sızdırma işlevini görürken, geotekstil ürünler ile oluşturulan tabakalar filtre işlevini görürler (Şekil 2.35). Uygulanan doğru drenaj ve sızdırma tabakaları, yalıtımının sağlıklı bir şekilde performansını yerine getirmesini sağlar ve oluşabilecek mekanik hasarlardan yapının etkilenmesini engeller. Ayrıca yapıya gelen suyun sürekli olarak yön değiştirmesini sağlayarak yalıtım tabakaları üzerine gelen kuvvetlerin azalmasını sağlar. Yatay ve dikey sızma tabakalarında suyun yönlendirilmesi bu tabakaların yükseklikleri ile değişkenlik gösterir (Çolak 1992).



**Şekil 2.35.** Plastik malzemeler ile oluşturulan sızdırma malzemeleri drenaj örtüleridir (izonur Firması su yalıtım uygulamaları).

- **Drenaj plakası**, sytropor küreciklerin birbirlerine özel yapıştırıcılar ile yapışarak meydana gelen plakalardan oluşur (Şekil 2.36).



**Şekil 2.36.** Drenaj plakası, şematik kesit (Z.Şimşek)

Yüksek basınç dayanımına sahip plastik bir çekirdek ve üzerine sarılmış geotekstil bir filtre tabakasından meydana gelir. Yüksek oranda polietilen (HDPE) içerir ve gerilmelere, kimyasallara ve kopmaya ( $200 \text{ kN/m}^2$ ) karşı yüksek direnç sağlar. Bitümlü membranların, perde duvarların ve temellerin korunması için kullanılır. Membranın zarar görmesine ihtimal olmayan durumlarda da, özel yapısı sayesinde suyun temelin en alt noktasında toplanmasını sağlayarak, topraktaki suya karşı özel bir koruma sağlar (<http://www.yalteks.com.tr/>).

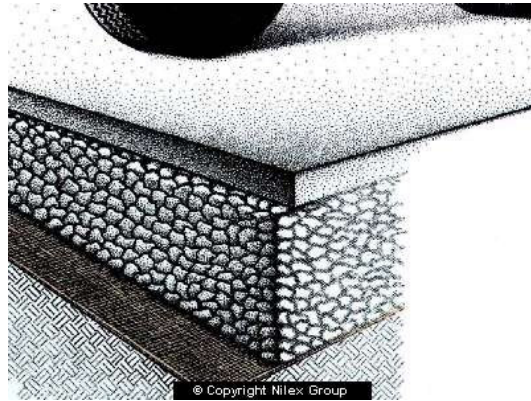
- **Drenaj örtüleri**, polietilenden yapılan sert plastik noppren örtülerdir. Örtünün bünyesinde bulunan kabarcıklar yardımıyla suyu, yüzeyleri boyunca sızdırarak drenaj borusuna iletirler. Noppren örtülerin (kabarcıklı örtüler) üzerindeki kaynaklı sıva taşıyıcı katman, yüzeyine yapılacak püskürtme sıva veya harç için taşıyıcılık görevi üstlenir (Şekil 2.37).



Şekil 2.37. Drenaj örtüleri, şematik kesit (Z.Şimşek).

**Çimento esaslı malzemeler ile oluşturulan drenaj tabakası:** Delikli drenaj taşlarından ve plakalarından oluşan sistemlerdir. Diğer malzemelerde olduğu gibi delikli yapısı ile suyu alarak drenaj borularına iletirler (Gönül 2000).

**Geotekstil malzemeler ile oluşturulan drenaj tabakası:** Geotekstil keçe, yapı veya sistemin bir parçası olarak temel elemanı veya geoteknik mühendisliği ile ilgili herhangi bir malzeme ile birlikte kullanılan polyester ve polipropilen elyaflardan imal edilen geçirimli bir tekstil ürünüdür (Şekil 2.38) (<http://www.heris.com.tr/diger.html>).



Şekil 2.38. Geotekstil filtre (<http://www.nilex.com/pdf/broch/drainage.pdf>)

**Drenaj Boruları:** Drenaj tabakası tarafından filtre edilip toplanan suyun atım noktalarına iletilmesini sağlayan kanallardır. Drenaj boruları suyun akışının sağlanması açısından arazi eğimini, eğer arazi düz ise %2–5 arasında verilecek eğimi takip etmelidir. Direkt zemin üzerine yerleştirilen drenaj boruları, kendi ağırlıkları altında çökmeler oluşturabilir ve verilen eğimi bozarak suyun akışını engelleyebilir. Bu nedenle drenaj boruları çakıl veya kum serilmiş bir zemin üzerine veya belirtilen eğimi verilmiş 5–10 cm tesviye betonunun üzerinde konumlanabilirler (Şekil 2.39, 2.40, 2.42) (Avlar 2000).

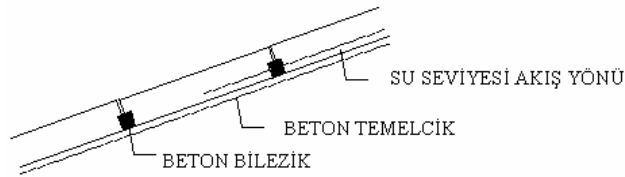


**Şekil 2.39.** Drenaj sistemi  
<http://www.nilex.com>



**Şekil 2.40.** Drenaj boruları  
<http://www.boomenviro.com>

Drenaj boruları malzemelerine göre seramik, plastik kıvrımlı veya kıvrımsız veya beton büzlerden oluşturulabilir. Kullanım amacına delikli, deliksiz veya yarı delikli olmak üzere çeşitli biçimler kullanılırlar. Delikli drenaj boruları suyu tüm yüzeyleri boyunca absorbe eder, buna karşın zemin taneciklerini içine almayacak büyüklükte tasarlanırlar (Chudley 1997).

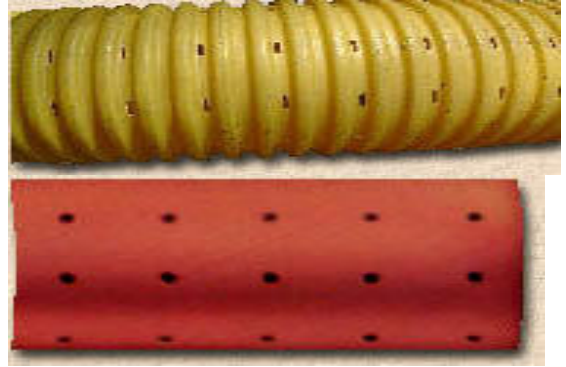


**Şekil 2.41.** Beton büzlerin birleşimi (Z.Şimşek).

Malzemesi her ne olursa olsun her türlü drenaj borusu su sızdırmayacak şekilde birbirine monte edilmelidir. Büzler birleşim yerlerine bağlı olarak 1cm aralıklı veya aralıksız yapılabilir. Aralıksız yapılan birleşimlerde çimento harçlı bilezikler ile birleşim sağlanır. Büzlerin üst noktaları içine zemin taneciklerinin girmesini engellenmesi amacı ile metal tel ile monte edilmiş bitümlü karton ile kapatılır (Şekil 2.41).



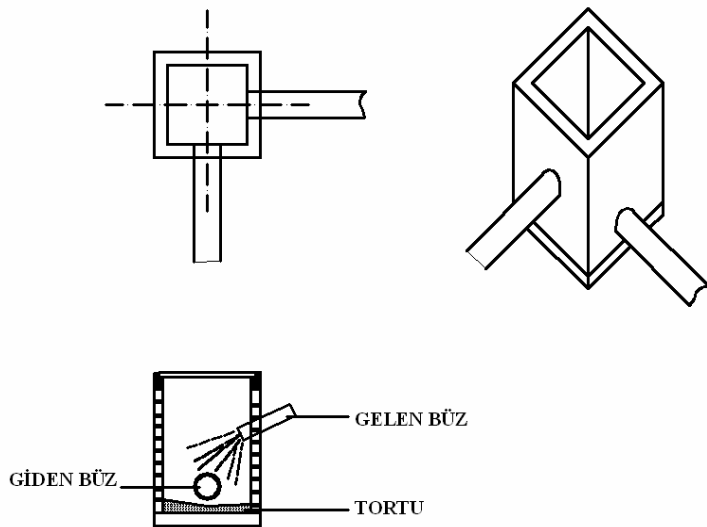
a)



b)

Şekil 2.42. Büzlerin bağlantı noktaları, delikli büzleri <http://www.pavingexpert.com>

**Kontrol Bakım ve Rögarları:** Drenaj borularının yön değiştirdiği noktalarda bakımlarının yapılmasına olanak veren, bu nedenle 20–25 m aralıklar ile rögarlar yapılır (Şekil 2.43) (Avlar, 1995).

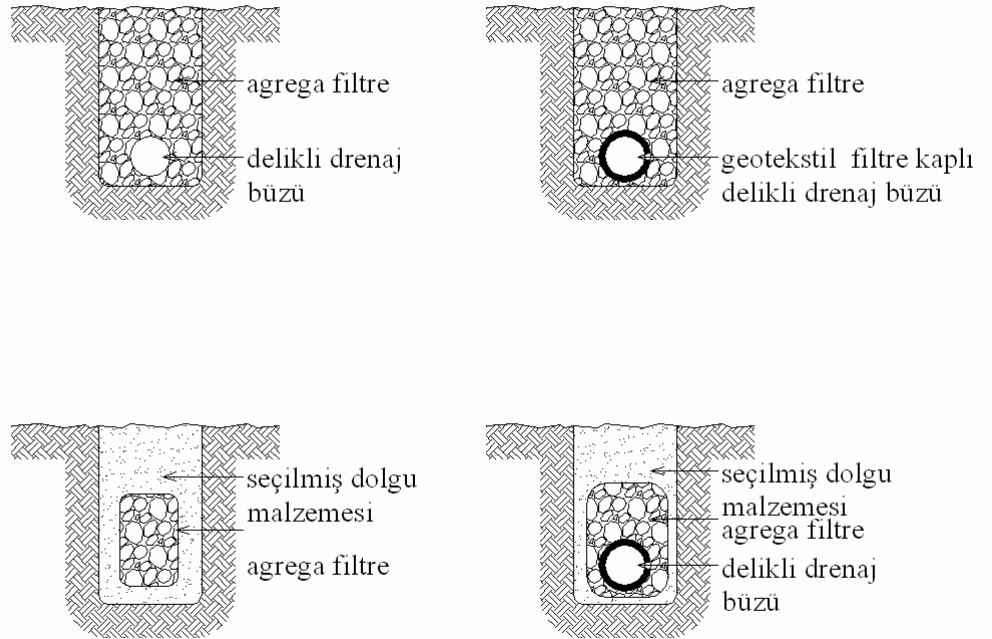


Şekil 2.43. Şematik rögar çizimleri (Z.Şimşek).

### 2.3.1.4 Drenaj Sistemi Uygulama İlkeleri

Drenaj sistemi yeraltı suyunun ve zemin yapısının durumuna bağlı olarak, uygulama yerine göre, çevresel ve alansal olmak üzere iki şekilde düzenlenir.

**Çevresel Drenaj:** Yeraltı suyunun bodrum duvarlarına hidrostatik basınç uyguladığı durumlarda, yalıtımın etkin bir şekilde uygulanıp korunması amacı ile oluşturulur. Bodrum ve temel duvarının önünde konumlanır ve yapının tüm çevresini dolaşır. Sızdırma katmanları boyunca akan sular, bu katmanın 50 cm alt noktasında bulunan drenaj borularına iletilirler. Drenaj borularının ince zemin taneleri tarafından tıkanmasının engellenmesi için kanalın etrafı 20 cm kalınlığındaki geçirgen çakıl tabakası ile sarılmalıdır (Avlar 2000) (Şekil. 2.44).



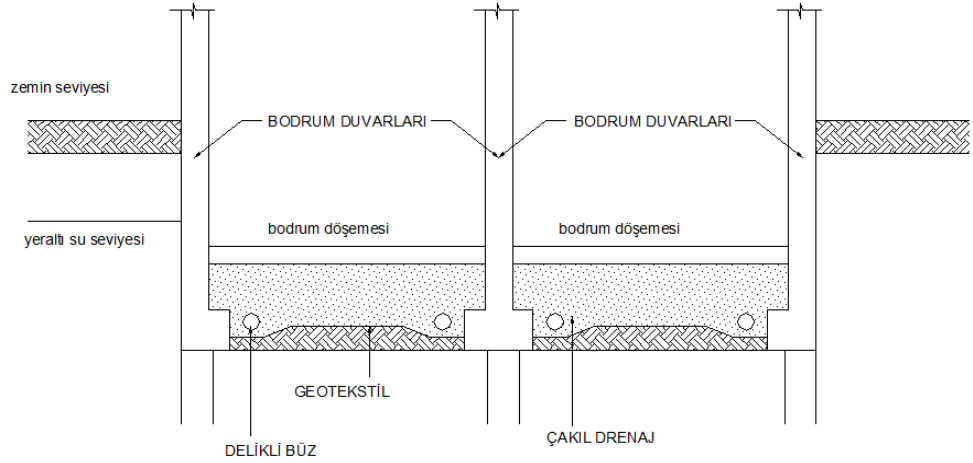
**Şekil 2.44.** Drenaj borusu etrafında oluşturulan filtre tabakaları örnekleri (Ertem 2002)



### Alansal Drenaj:

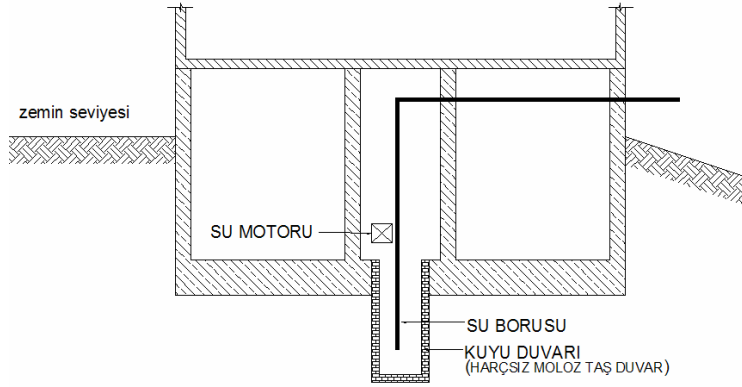
Binanın altında konumlanan sistemde amaç, tamamen yeraltı suyu altında kalan temel ve zemin döşemesinin suyun kaldırma etkisinden korunması ve uygulanan yalıtımın suyun basınç kuvvetinden dolayı deforme olmasının engellenmesidir (Ertem 2002).

Drenaj yapılacak yapının iki yapı arasında konumlandığı veya drenajı yapılmadığı fakat kullanım aşamasında oluşan su sorunlarından dolayı yapılmasına ihtiyaç duyulduğu durumlarda, bodrum katına kurulacak olan bir pompa yardımı ile drenaj işlevi gerçekleştirilir (Şekil 2.45).



**Şekil 2.45.** Alansal drenaj (Ekinci 2003).

Genellikle binanın merkezinde, bodrum döşemesinin en az 2 m derinliğinde ve 50x50 cm boyunda, harçsız moloz taş duvardan örülen ve üzeri sac veya beton bir kapakla kapatılan bir kuyu açılarak drenaja başlanır. Kuyu üzerine yerleştirilen otomatik olarak çalışan bir su motoru, suyu toplayarak drenaj boruları yardımı ile atılacağı noktaya iletilir (Şekil 2.46) (Ekinci 2003).



**Şekil 2.46.** İç Drenaj (Ekinci 2003)

#### **2.4. Su Geçirimsizliğinin Yalıtım Malzemeleri ve Uygulama Teknikleri ile Sağlanması**

Yapının zemin ile sınırlı kısımlarının su ile temasının engellenmesinde, pasif ve aktif sistemlerle olmak üzere iki şekilde önlem alınabilmektedir. Pasif sistemler, Bölüm 2.3 de açıklanan drenaj sistemleri ile suyun yapı çukuruna gelmesinin engellendiği sistemlerdir. Aktif sistemler ise, yapının zemin ve yeraltı suyu ile temas ettiği yüzeylerinde tamamen geçirimsiz bir tabakanın oluşturulduğu sistemlerdir. Birçok uygulamada, yapıyı zorlayan suyun şiddetine bağlı olarak, drenaj sistemleri ile yalıtım sistemlerinin bir arada uygulanma zorunluluğu doğmaktadır.

Bu geçirimsiz tabakaların oluşturulmasında zemin içindeki kimyasalların yalıtım malzemeleri üzerindeki etkileri ve yeraltı suyunun uyguladığı basınç kuvvetine karşı koyabilme yeteneğinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Aksi takdirde seçilen malzemeden ve uygulanan teknikten istenilen verim alınamaz ve başlangıçta belirlenen maliyetin çok daha büyük değerlere ulaşması söz konusu olur. Bu sebeple geçirimsizliği sağlamak için uygulanacak teknik ve kullanılan malzemelerin seçiminde mutlaka ön etütler yapılmalı, elde edilen veriler doğrultusunda uygulamaya geçilmelidir.

#### 2.4.1. Başlangıcından Bugüne Yalıtım ve Malzemeleri

Yapılarda su sorunu, insanların kendilerini dış etkenlerden korumak için barınaklar inşa etmeleri ile ortaya çıkmıştır. Bu sorunları gidermek için birçok malzeme bulunmuş ve dönemin imkânları doğrultusunda yalıtım teknikleri geliştirilmeye çalışılmıştır. Teknolojinin gelişmesi ile yapılan yalıtımdan daha iyi verim alabilmek için buldukları bu yöntem ve malzemeleri geliştirmeye ve daha mükemmel başka malzemeleri bulmaya yönelik çalışmalar başlamıştır ([www.matsel.mase.utnc.edu/](http://www.matsel.mase.utnc.edu/)).

Su yalıtımı sadece malzemenin yapısının iyileştirilmesi ile sağlanmamış, aynı zamanda yapıyı, geçirimsizliğin sağlandığı bitüm, katran gibi malzemelerle sararak suyun ilerlemesini engellenmeye çalışılmıştır. 3000 yıl boyunca kullanılan bitümün taşıyıcı niteliğinde organik liflerle şekildeki gibi modifiye edilmesi ile kullanımının zamanla geliştirilmesi sonucunda, günümüzde basınçlı suya karşı oldukça yoğun olarak kullanılan, modifiye polimer bitümlü su yalıtım malzemeleri elde edilmiştir (Nam 1997).

İlerleyen teknoloji ile birlikte su yalıtımında kullanılan malzemelerden ve tekniklerinden oldukça iyi sonuçlar elde edilmeye başlanmıştır. Günümüzde yüzey ve kütle hidrofujleri olarak nitelendirilen bu maddeleri beton yapı elemanlarına uygulayarak geçirimsizlik elde edilebilmektedir.

Kütle hidrofujları, betona üretim aşamasında eklenen ve bütün beton kütlelerini geçirimsiz hale getiren maddelerdir. Yüzey hidrofujleri ise, beton malzeme ile oluşturulmuş yapı elemanlarının yüzeyine çeşitli yöntemler ile temas ederek yüzeyde geçirimsiz bir tabaka oluşturmak suretiyle betonu geçirimsiz hale sokar (Ünal 2004).

#### 2.4.1.1. Harç ve Betonlara Yapım Aşamasında Eklenen Katkılar

Bu bölümde tez konusu kapsamında laboratuvar ortamında yapılan deneylerimizde kullanılan beton katkı maddelerine diğerlerine oranla daha ayrıntılı yer verilecektir.

Beton katkı maddeleri, betonun sürdürülebilirliği için taze veya sertleşmiş halindeki bazı özelliklerini iyileştirmek, bunun sonucunda da beton ve sıvalara geçirimsizlik özelliği kazandırmak amacıyla karışım öncesi veya anında karma suyu ile birlikte ilave edilen organik veya inorganik kimyasal maddelerdir. Beton içine geçirimsizliği sağlamak amacıyla eklenen arapsabunu, kireç veya alüminyum gibi maddelerin yanı sıra günümüzde bu amaç için, **igol**, **sika** gibi maddelerde kullanılmaktadır. Bunun dışında sıklıkla kullanılan diğer kimyasal katkıları ise betonun su çimento oranını düşürerek yüksek işlenebilirlik özelliğine ulaşmasını sağlayan dolayısıyla da betonun geçirimsizliğini azaltan akışkanlaştırıcı maddelerdir.

Uygun karışım hesaplarına göre hesaplanmamış ve hatalı üretilmiş bir betona katkı maddesi ilave ederek bu eksik niteliklerini geri kazandırmak imkânsızdır. Uygun şartlarda ve titizlikle yapılan bir uygulama ile beton yüzeylerde oluşabilecek kılcal ve rötre çatlaklarının oluşma riski en aza indirilir ve daha yüksek performansta bir beton elde edilir (Çelebi 2004).

Beton içine eklenen kimyasal katkıları çimentonun ağırlığının % 5'inden daha az miktarlarda karışıma ilave edilirler. Bu oranlar %5 değerini geçtiği zaman artık katkı madde olmaktan çıkarak agrega, su, çimento gibi betonun bir bileşeni olmaya başlarlar. Fakat mineral katkıları çimento ağırlığının % 10–50 oranının da karışıma girdikleri için bu tanımın dışında bırakılırlar. Bazı maddelerin karışım içindeki oranlarının artması betonu olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu sebeple betona ilave edilecek olan katkılardan hangi oranlarda en iyi verimlerinin alındığı laboratuvar ortamında yapılan deneylerin sonucunda belirlenmeli ve bu oranlarda karışıma ilave edilmelidir. Ayrıca seçilen katkıların beton bileşenleri ile olan ilişkilerinin beton üzerinde olumlu sonuçlar doğurabilmesi için bu bileşenlerin malzeme ile olan uyumunun hatta birden fazla katkı

kullanılıyorsa, bu katkılarında birbirleriyle olan ilişkilerinin önceden araştırılması bu doğrultuda en uygun seçimin yapılması gerekmektedir.

Unutulmamalıdır ki, hiçbir katkı maddesi iyi hazırlanmamış niteliksiz bir betonun özelliklerini iyileştiremez, ancak eksik yönlerinin tamamlamasını ve ortam koşullarına uygunluğunu sağlar. Bu katkılar daha çok, suya karşı geçirimsizliğin sağlanmasında, yüksek dayanımlı betonların üretilmesinde, yaş betonun prizini olması gereken zaman diliminden erken veya geç almasında ve su/çimento oranı düşük işlenebilirliği yüksek betonların elde edilmesinde kullanılmaktadır.

Geçirimsizliğin sağlanması için boşluksuz yapıya sahip bir beton üretilmelidir. İşte katkı maddeleri bu noktada devreye girerek, beton içinde oluşabilecek birbirleri ile ilişkili boşlukların tıkanmasını ve tüm bileşenlerinin birbirleri ile kuvvetli bağlar kurarak sıkı bir yapı oluşturmasını sağlar. Kimyasal yapıları itibariyle beton üzerinde farklı etkiler yaratarak geçirimsizlik sağlayan katkıları kimyasal katkılar, hava sürükleyici katkılar ve ince taneli mineral katkılar olmak üzere üç grupta sınıflandırabiliriz. Ayrıca polipropilen ve çelik lifler de beton özelliklerini iyileştirerek çatlak oluşumunu dolayısıyla da suyun betona bu yolla girişini engeller.

### **1. Kimyasal katkılar**

Kimyasal katkılar taze betonun işlenebilirliği gibi reolojik özelliklerini arttıran katkılardır. Bu katkı maddelerini,

- Akışkanlaştırıcı plastifiyanlar ve
- Su tutucu plastifiyanlar olmak üzere iki grupta inceleyebiliriz.

Bu maddeler betonun su ihtiyacını azaltarak yüksek dayanım kazanmasını aynı zamanda kolay işlenebilir ve yerleşebilir bir yapıya sahip olmasını sağlamak için kullanılırlar ve hidrasyon süreci sonunda suda çözünmeyen jellerin ve tuzların oluşmasını sağlayarak suyun ilerleyebileceği kılcal boşlukları doldururlar (Ertem 2002).

Akışkanlaştırıcı katkılar olarak da bilinen su azaltıcı katkıların bileşimde bulunan aktif maddeler genel yapılarına göre,

- Linyosülfonatlı tuzlar ve linyosülfonat türevleri,
- Hidroksil ve karboksil türevleri
- Polimerik malzemeler olmak üzere üç grupta toplanmıştır.

Piyasada en çok kullanılan akışkanlaştırıcılar linyosülfonatlı tuzlar ve linyosülfonat türevleridir. Bu maddeler kraft yöntemi adı verilen işlemle ligninin odundan ayrılması sonucu oluşan lignin likörünü  $SO_1$  ile işlenerek sülfitleştirilmesi sonucu oluşurlar. Linyosülfonat ve türevleri yüzey gerilimini düşürücü özelliklere sahip olduklarından dolayı çimento taneleri üzerine kolayca adsorbe olabilirler. Aynı statik elektrik yüklerine sahip olan çimento taneleri, birbirlerini iterek beton içinde daha iyi dağılmalarını sağlar ve topaklar oluşturmalarını önler. Ayrıca yüzey geriliminin düşmesinin hava sürüklenmesine de yol açar. Oluşan kararlı sayılabilecek bu hava kabarcıkları işlenebilmeyi artırırken bir miktar dayanım düşüklüğüne yol açabilirler. Ayrıca naftalin bazlı süper akışkanlaştırıcılarda çimento tanelerinin reaksiyona hidrasyon oranını önemli ölçüde düşürmeye yardımcı olurlar (Özkul ve diğerleri 2003).

Bu maddeler çimento ağırlığının %1–2 arasında sıvı olarak karışım suyuna Şekil 2.47'deki gibi karıştırıldıktan sonra beton harcına ilave edilir. Bunun sonucunda aynı işlenebilirliğin sağlanacağı beton karışım hesaplarında belirlenen su miktarında, yaklaşık %5–15 arasında bir azalma gözlenir. Karışıma ilave edilen su miktarının azalması su/çimento oranını azaltarak yüksek mukavemetli betonların elde edilmesine olanak verir. Ancak bu şekilde daha az miktarda su kullanarak yüksek işlenebilirlikte ve dayanımda beton elde edilebilir. Eğer betonda daha yüksek dayanım elde etmek amaçlanmamış ise, katkısız beton için kullanılan su/çimento oranı sabit tutularak, katkı maddesinin yol açtığı su azalmasına uygun olarak, çimento miktarında da azaltma yapılabilir. Üretiminde en pahalı malzeme olan çimentonun daha az miktarda kullanılmasıyla ekonomik yönden yararlar sağlanabilmektedir. Ayrıca çimento miktarının azalması, hidrasyon ısısının düşmesini ve yüksek ısı ile oluşan buharlaşma sonucunda meydana gelen büzülme oranının da azalmasını sağlar (Erdoğan 2002) .



**Şekil 2.47.** Akışkanlaştırıcı katkı maddesinin tartımı ve karışım suyuna ilave edilmesi (Z.Şimşek arşivi 2004).

İşlenebilirliği yüksek beton daha iyi sıkılabileceğinden, katkı kullanarak üretilen sertleşmiş betonda taneciklerin iyi yerleşmesinden dolayı, geçirimsizliği azaltacak daha az boşluk oluşmaktadır.

Bu katkılarla üretilen beton daha dayanıklı, işlenebilirliği yüksek ve ekonomiktir. Ayrıca kimyasal katkı kullanımını sonucunda,

- Betonyerde kolay karıştırılır ve betonyerine yüzeylerine yapışmadığı için malzeme sarfiyatı oluşmaz.
- Segregasyon minimum düzeydedir. Homojen bir beton elde edilir.
- Taşıma ve yerleştirilme aşamalarında kolaylık sağlar.
- Çimento ve agrega arasındaki kohezyonu artırır. Boşluksuz bir ara yüzeyin oluşmasını sağlar.
- Basınçlı su geçirimsizliği artırır.
- Bileşimindeki stearat maddesinin kılcal kanalları kapamasından dolayı kapiler su emme miktarı azalır (Akman 1990).

Su azaltıcı-akışkanlaştırıcı katkıların tüm bu olumlu etkilerinin yanında, taze betondaki terlemenin artışı, çökme değerinin artması veya priz alma süresinin uzaması gibi bazı durumlarda olumsuz sayılabilecek özellikleri de bulunmaktadır (Erdoğan 2002).

## 2. Hava Sürükleyici Katkı Maddeleri

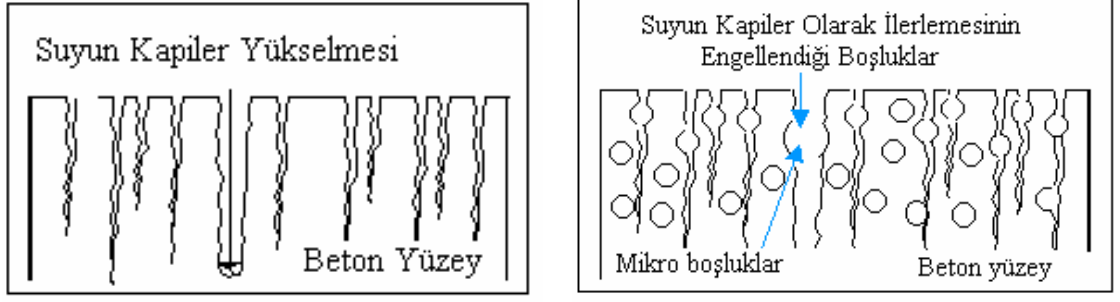
Çimento hamurunun içerisinde birbirinden bağımsız fakat birbirine çok yakın aralıklarla düzenli dağılım gösteren çok sayıda küçük hava boşluklarının oluşmasını sağlayan kokusuz esmer renkli katkılardır. Betonun karıştırılma ve yerleştirilme aşamalarında çoğunlukla gelişi güzel dağılım gösteren boşluklar oluşabilmektedir. Fakat bu hava boşluklarının birbirleri ile ilişkili olmaları onları hem suya karşı geçirimli hem de düşük mukavemet değerlerine sahip olmalarına neden olmaktadır. Hava sürükleyici katkıları ile oluşturulan hava boşlukları ise taze beton içerisinde belirli bir düzenle, birbirinden bağımsız fakat aralarında en fazla 0,2 mm mesafe bulunan boşluklardır (Şekil 2.48). Bu boşluklar beton prizini aldıktan sonrada aynı düzeni ve mesafeyi korurlar. Günümüzde bu amaçla kullanılan maddeler ve kaynakları Çizelge 2.6 da belirtilmiştir (Erdoğan 2003).

**Çizelge 2.6.** Hava sürükleyici katkıları ve kaynakları (Erdoğan 2003).

Hava Sürükleyici Katkılar	Kaynağı
Ağaç reçinelerinin tuzları	Çam kütüklerinden
Sentetik deterjanlar	Petrol ürünlerinden
Linyosülfonatlar	Kağıt endüstrisinden
Petrol asitleri tuzları	Petrol arıtmadan
Proteinli malzemelerin tuzları	Hayvan derisinden
Yağlı reçineli asitler ve tuzları	Kağıt endüstrisi ve hayvan derisinden
Sülfonatlaştırılmış hidrokarbonların organik tuzları	Petrol arıtmadan

Bu katkıları çimento ağırlığının %0,5–0,2 oranında karma suyuna iyice karıştırıldıktan sonra kuru olarak karıştırılmış agrega - çimento bileşimine ilave edilirler. Hava sürükleyici katkıların ilave edilmesiyle, daha karıştırma işlemi tamamlanmadan taze betonda hava boşlukları oluşmaya başlar. Hava sürükleyici katkıları dışında, Hava sürükleyici çimentoların kullanılmasıyla da taze betonda hava boşluğu oluşturmak mümkündür. Fakat katkı kullanımının daha ekonomik olması ve miktarında yapılacak değişikliklerle, hava boşluklarının kontrol edilebilmesi bu yöntemi çok daha yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır.





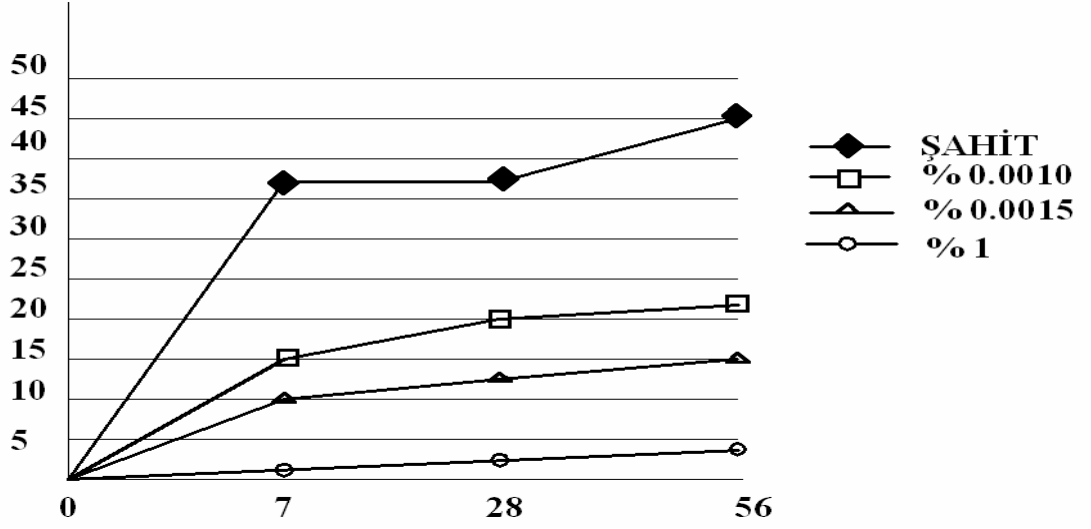
**Şekil 2.48.** Normal ve hava sürüklenmiş betonda oluşan kılcal kanallar ve hava boşlukları (<http://www.renolith.com/waterpenetrationprotection>)

Hava sürükleyici katkılar, daha çok donma çözülme mekanizmasının sık olduğu bölgelerde, özellikle yeraltı kabuğunda bulunan yapı elemanların oluşturulmasında kullanılan betonların, don etkisine karşı dayanımını arttırmak amacıyla kullanılır.

Bu arada gözlem olarak İstanbul Kültür Üniversitesinin ARGE laboratuvarlarında H. BİRİCİK ile birlikte farklı dozajlarda hava sürükleyici katkılar kullanarak yapılan deneylerin sonucunda; Şekil 2.49’da belirtildiği gibi katkı oranının artması ile betonun basınç dayanımında ciddi oranlarda düşme gözlenmiştir. Bu tür betonların hacminde bulunan hava kabarcıklarının yaklaşık %4–5 oranında beton dayanımında bir azalma gözlenir. Örneğin % 1 oranında hacminde hava boşluğu oluşmuş bir betonun dayanımında katkısız betona oranla % 16–20 oranında bir azalma gözlenir.

Betonun diğer özelliklerini iyileştirmek amacı ile hava sürükleyicilerle birlikte puzolanik özelliklere sahip mineral katkıların kullanılması, betonun var olan özelliklerini artırırken daha az havanın sürüklenmesine neden olur. Buna karşın; su azaltıcı ve priz geciktirici kimyasal katkıların kullanımı da hava sürüklenmesine yol açmaktadır.

Şekil 2.49. Basınç dayanım zaman grafiği (Ünal 2004).



### 3.İnce Taneli Mineral Katkılar

Elde edildikleri gibi veya öğütülerek beton katkı maddesi olarak kullanılan, çok ince tane çapına sahip, su ile temas ettiğinde şişerek betondaki boşluk hacimlerini azaltan veya dolduran katkı maddeleridir.

İnce taneli mineral katkıları betonun,

- İşlenebilirliğini arttırmak,
- Terlemeyi ve segregasyonu azaltmak,
- Hidratasyon ısısını azaltmak,
- Alkali-silika reaksiyonu sonucunda oluşabilecek genleşmeyi azaltmak,
- Basınçlı su geçirgenliğini azaltmak,
- Kılcal su emmeyi azaltmak,
- Mukavemeti arttırmak,
- Sülfatlara karşı dayanım sağlamak amacı ile beton harcına çimento ağırlığının %10–50 oranında ilave edilir. Mineral katkı maddeleri ve üretim yöntemleri Çizelge 2.7 de belirtilmiştir (Erdoğan 2003).

**Çizelge 2.7.** Mineral katkı maddeleri ve üretim yöntemleri

Mineral Katkılar	Üretim Yöntemleri
Volkanik küller, traslar, diatomlu topraklar ve taş unu	Doğal malzemeler
Uçucu kül, silis dumanı, granüle yüksek fırın cürufu	Yan endüstri ürünleri
Piştirilmiş kil	Isıl işleme tabi tutulmuş toprak malzemeler

Taş unu dışında yukarıda belirtilen tüm mineral katkıları puzolanik özelliğe sahiptirler. Puzolanlar milattan yaklaşık 100 yıl önce İtalya'da Pozzuoli kasabası yakınlarında bulunan kendi başlarına bağlayıcılık özellikleri olmayan; fakat bünyelerinde bulunan volkanik tüflerle camlaşmış aktif silisin kireçle sulu ortamda birleşerek bağlayıcılık özelliği kazandığı ve bu reaksiyonlar sonucunda suda erimeyen kalsiyum silikat tuzuna dönüşen maddelerdir. Çimentonun hidratasyonu sonucu oluşan ve suda eriyerek harcın içinde boşlukların oluşmasına olanak veren kalsiyum hidroksit ile birleşerek suda erimeyen silikat tuzlarını oluşturarak harcın dayanımı ve suya karşı dayanıklılığını arttırlar (Biricik 1995).

Puzolan malzemeleri doğal ve yapay puzolanlar olmak üzere iki grupta incelemek mümkündür. Deneylerimizde yapay puzolan maddeler kullanıldığından doğal puzolanlar konusunda ayrıntıya girilmemiştir.

**a. Doğal Puzolanlar:** Özgül ağırlıkları 2000–2200 kg/m<sup>3</sup> arasında değişen, dünyanın belirli bölgelerinde doğada hazır olarak bulunan, kimyasal yapısı ve aktivitesi buldukları bölgeden bölgeye değişiklik gösteren puzolanlardır. Volkanik tüfler, volkanik camlar, traslar diatomlu toprak, küller ve şehl, sünger taşları v.b doğal puzolan sınıfına girmektedirler .

**b. Yapay Puzolanlar:** Kil veya şist gibi doğal maddelerin ısıtılmasıyla veya endüstriyel maddelerin çok yaygın olmamakla birlikte tarım atıklarının değerlendirilmesi yöntemiyle üretilirler. Yapay puzolanlar da doğallarda olduğu gibi bünyelerinde silis bulundururlar. Fakat doğada hazır olarak bulunmayıp yan ürün

olarak elde edildikleri için yapay sınıflandırılmasına dahil olurlar. Betonun içinde aktif bir şekilde etkili olmaları bünyelerinde %40–90 oranında barındırdıkları silisden kaynaklanmaktadır (Biricik 1995) .

**Yüksek Fırın Cürufu:** Kok körü ve kalker taşı ile birlikte ısıtılan yüksek fırın olarak bilinen fırınlarda yaklaşık 1600 C<sup>0</sup> ye kadar ısıtılan demir filizi, bir dizi reaksiyon sonucunda eriyik durumunda oluşan demirin yansira başka yan ürünlerde oluşturur. Ham demirin üretilmesi sonucunda atık madde olarak açığa çıkan bu yan ürün cüruftur. Sıcak olarak üretilen cüruf, üzerine basınçlı su püskürtülerek hızlı bir şekilde soğutulur. Hızlı soğutmaya uğramayan cüruf, puzolanik özelliğe kavuşamaz. Soğuyan bu madde yeterince ince tanelere sahip değildir. Bu sebeple, tek başına veya portland çimentosu klinkeriyle birlikte çimento fabrikalarında, değirmende öğütülmelidir (Erdoğan 2003) .

Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu su ile karşılaştığı zaman kimyasal reaksiyona girerek bir miktar bağlayıcılık özelliği kazanır. Fakat bu özellik çimentoda olduğu gibi kuvvetli değildir. Cürufun kimyasal yapısı, alkali konsantrasyonu, yapısının amorfluk düzeyi, inceliği ve hidrasyon ısısı gerek bağlayıcılık özelliğini gerekse betona kazandırdığı ek özellikleri etkileyen özellikleridir. Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu tek başına betonun mukavemeti arttırıp, basınçlı su geçirimliliğini azalttığı gibi diğer kimyasal katkılarla ve puzolanlarla da birlikte kullanılarak verimli sonuçlara ulaşılmasını sağlamıştır (Şengül ve diğerleri 2003). Bu nedenle laboratuvar ortamında yapılan deneylerde öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu ile birlikte farklı oralarda diğer yapay puzolan katkıları kullanılmıştır.

**Uçucu Kül:** Termal güç santrallerinde, kömür %80'ni 75 µm elekten geçebilecek inceliğe sahip olana kadar öğütülür. Daha sonraki aşamada elektrik enerjisi üretmek için havayla birlikte kazanlara püskürtülür. Yanma işlemini takiben soğumaya başlayan küller çok ince taneli küresel veya amorf şekilli camsı parçacıklara dönüşürler. Yanma gazları ile birlikte bacadan kolayca dışarıya çıkabilen bu ince taneli küller, uçucu kül olarak nitelendirilir. Endüstri atığı olarak nitelendirilen bu küller doğal puzolanik özellikler gösterdiklerinden daha sonraları çimento ağırlığının %10–50 arasında beton harcına ilave edilerek betonun özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılmaya

başlanmıştır. Uçucu küller betona katkı olarak ilave edildiği gibi çimentoya da ilave edilebilirler. Çimentodan daha ucuz olmasından dolayı ekonomiklik sağlamaktadır. Ayrıca beton katkısı olarak kullanılan uçucu küller betondaki su ihtiyacını düşürdüğü için dayanımını da büyük ölçüde arttırmaktadır (Çelik 2004).

Diğer puzolanik özelliklere sahip ince taneli mineral katkılarda olduğu gibi erken yaşlardaki dayanımları şahit betona göre düşük olurken nihai dayanımları oldukça yüksek değerlere ulaşmaktadır. Uçucu küllerin su ihtiyacını azaltmalarına rağmen taze betonun işlenebilirliğini şahit betona göre arttırdığı belirlenmiştir. Ayrıca uçucu kül kullanılan betonların hidratasyon ısısı daha düşük, priz süreleri daha uzun, sülfatlara karşı daha dayanıklı, basınçlı su geçirimsizlikleri ve kılcal su emmeleri daha düşüktür. Bu özellikleri deneylerde beton katkısı olarak seçilmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

**Silis Dumanı:** Metal silislerinin veya değişik silis alaşımlarının elektrik fırınlarında üretimi sırasında açığa çıkan SiO gazları, fırının soğuk bölgelerine kaçarak bu noktalarda yoğunlaşır ve amorf yapıya sahip olan silis dumanını oluşturur. Silis dumanı %85–98 oranında silis içeren puzolanik özelliklere sahip kalsiyum hidroksitle nemli ortamda karşılaştığı zaman bağlayıcılık özelliğine kavuşan füme renkli ince taneli minerallerdir. Çok ince taneli yapıya sahip olması ve yüksek dozlarda silis iyonlarını içermesi, betonun içindeki boşlukları doldurup geçirimsiz bir beton elde edilmesini ve betonun erken ve geç yaşlarındaki dayanımının önemli ölçüde artmasını sağlamaktadır. Sisli dumanı iki farklı şekilde davranış sergileyerek betonu özelliklerini iyileştirmeye yardımcı olur.

**1. Dolgu özelliği:** Silis taneleri, çimento hamurundaki boşlukların içine yerleşerek, boşluk oranını azaltır. Bununla birlikte, silisli katkı malzemeleri agrega üzerinde bir duvar etkisi yaratır. Bu duvar agrega ile çimentonun birleşimi sırasında aralarında boşlukların oluşmasını engeller.

**2. Kimyasal tepkimeleri başlatması:** Silis, çimento hamuru ile değil ama içinde bulunan kimyasallar ile birleşerek kristal bir yapının oluşmasını dolayısıyla da oluşabilecek boşlukların tıkanmasını sağlar (Abdul-Moghni ve diğerleri 2000).

Silis dumanının çok ince taneli yapıya sahip olmasından dolayı taze beton, karışım hesaplarında belirlenen su miktarından daha çok suya ihtiyaç duyar. Su/çimento oranının artması dayanımı düşüreceğinden su oranını arttırmak yerine su azaltıcı katkıların kullanılması daha doğru bir çözümdür (Çalışkan 2003). Bu sebeple silis dumanının kullanıldığı deneylerde süper akışkanlaştırıcı katkı maddeleri kullanılmıştır.

Silis dumanının ince yapısından dolayı betonu oluşturan bileşenlerin aralarını tamamen doldurmaları ve bu bileşenlere sıkıca yapışmaları sonucu oldukça boşluksuz bir beton elde edilebilmektedir. Bu sayede elde edilen betonun suya karşı geçirimsizliği normal betona oranla olabildiğince düşüktür. Dayanımı da çok yüksek değerlere ulaşmaktadır. Tüm bu özelliklere silis dumanının geçirimsiz ve yüksek dayanımlı beton elde etmek için yapılan deneylerde kullanılma sebepleridir.

#### **2.4.1.2. Beton Çatlak ve Boşluklarının Doldurulmasında Kullanılan Kimyasallar**

Boşluklara sahip olan bir betonun yüzeyine temas eden su molekülleri boşluklar içinde oluşan çekim kuvvetleri ile iç kısımlara doğru çekilir ve kılcal kanalların çizdiği bir hat boyunca beton yapı elemanları içinde ilerler. Suyun bu ilerleyişini durdurabilmek amacıyla boşluklu yapıya sahip beton yüzeylere iki farklı özelliğe sahip kimyasal maddeler uygulanır. Bunlar, sıvı ile buluşunca kristal küreciklere dönüşen **kristalize penetrantlar** ve beton içinde oluşmuş boşluk veya çatlakları doldurmak amacıyla kristalleşmeyen; fakat boşluklara enjekte edildikten sonra genişleyip tüm boşluğu dolduran **jellerdir**.

Su karşısında genişleme özelliğine sahip olan bu maddeler daha çok organik kökenlidir. Jelatin, yapışkanlar, bitki kökleri, yün, insan ve bitki lifleri bu amaçla kullanılırken ilerleyen teknoloji sayesinde birtakım kimyasal maddeleri ile iyileştirilmiş ve daha nitelikli yüzeysel dolgu maddeleri kullanılmaya başlanmıştır.

Beton içindeki boşlukların dolmasından dolayı her bölgeden gelebilecek suya, sızıntıya karşı etkili bir önlem alınmış olur. Dış yüzeyde bir tabaka oluşturan yalıtım malzemeleri zamanla çürüyerek etkinliğini kaybederler fakat kristalize yalıtım harçları suyla her

temas ettiğinde, koruyucu çözülmez kristal oluşumu yeniden başlar ve böylece yıllar boyunca su geçirimsizlik sağlar. Ayrıca, yapıyı tamamen sararak bir örtü görevi görmediği için delinme, açılma, yırtılma ve birleşme gibi yalıtımı boşa çıkaracak sorunlarla karşılaşmaz (<http://www.emulzer.com.tr>).

#### **Beton onarımında kullanılan epoksiler:**

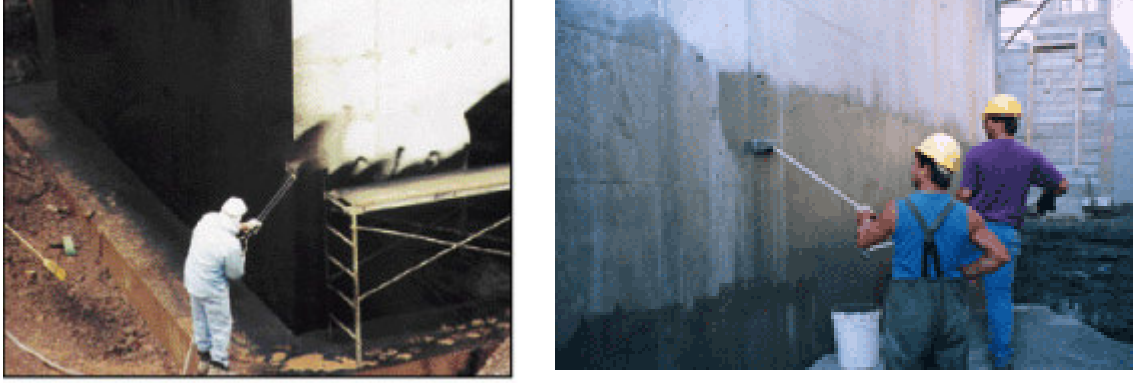
Beton yüzeylerde plastik oturma, rötne, erken kuruma, büzülme, buruşma, korozyon ve alkali reaksiyonu gibi nedenlerle oluşan çatlakların tamirinde etkin olarak kullanılan malzemelerdir. Ayrıca bu malzeme sayesinde su sızıntıları giderilebilmekte fayans ve seramikler kolayca tamir edilebilmektedir. En yaygın olarak kullanılan epoksi reçineleridir. Solvent gibi zararlı kimyasalları içermeyen düşük viskoziteli bileşiklerdir. Beton boşluklarına özel pompalarla 2–5 bar basınçla enjekte edilerek, dolu yüzeylerin oluşması sağlanır (Anonim 1 Duratek).

#### **2.4.1.3. Dış Kabuk Sistemine Doğrudan Uygulanan Malzemeler**

Zemin ile sürekli temas halinde bulunan ve zemin içindeki su ve nemden etkilenmemek için bünyesine geçirimsizliği sağlayacak katkıların eklenmediği beton/betonarme yapı elemanlarının yüzeylerine tam geçirimsizliği sağlayacak ikincil bir katman uygulanır. Bu katmanın hangi su yalıtım malzemesinden oluşturulacağı, yapı elemanına etki eden suyun geliş şekline ve şiddetine bağlı olarak belirlenir. Bu sebeple yalıtım malzemelerinin uygulama ilkelerine göre sınıflandırarak, özelliklerinin belirlenip doğru yerlerde, düzgün işçilikle uygulanmasına olanak verilmelidir.

##### **1. Çimento esaslı sürme yalıtım malzemeleri**

Çimento, ince agrega, su ve özel katkıların bir araya gelmesi ile oluşan, hem pozitif hem de negatif uygulamalarda kullanılabilen çimento esaslı membranlardır. Toz halde üretilirler fakat sulandırıldıklarında sıvılaşıp fırça ile sürülebilecek bir kıvama erişirler (Şekil 2.50).



**Şekil 2.50.** Fırça, mala ve sprej ile yalıtım uygulamaları. (<http://www.permaquik.com>)

Çimento esaslı yalıtımlarda bir koruyucu tabakaya ihtiyaç duyulmaz fakat metal iyonlarını içeren malzemelerde 6-16 mm'lik sıva ile yüzeyler sıvanarak koruma altına alınmalıdır (Ertem 2002).

Tam geçirimsiz bir tabakanın oluşturulabilmesi için toz karışımın şerbet kıvamına gelmesini sağlayan karışım suyu içilebilir nitelikte olmalı ve belirlenen miktarlarda ilave edilmelidir. Fazla ilave edilen su, zaman içinde çatlamaların ve dökülmelerin oluşmasına yol açar ([www.emulser.com](http://www.emulser.com)).

Kristalleşerek betonun bünyesinde bulunan boşlukları ve çatlakları dolduran bir özelliğe sahip değildirler. Bunun yanı sıra rijit bir yapıya sahip olmalarından dolayı, yapı kabuğu ile birlikte hareket edemeyip bünyesel çatlakların oluşmasına neden olur. Yalıtımın yapısında oluşabilecek en küçük hasar malzemenin görevinin sona ermesine neden olur. Bu sebeple çimento esaslı su yalıtım malzemelerinin uzun dönem performansları düşüktür (Ertem 2002).

Çimento esaslı yalıtım malzemeleri rijit yapılarından dolayı yapıyı çepeçevre sarmamakta yatay yalıtım ile düşey yalıtım aralarına su sızmayacak biçimde kesintisiz



olarak birleştirilememektedir. Ayrı bu malzemeler esnek olmadıkları için yeraltı suyu basıncı ve aşırı yükleme karşısında yüksek performans gösteremeyerek çatlamaktadır.

Bu sebeple bu malzemeler basınçsız suyun olduğu durumlarda etkin olarak kullanılmaktadır. Basıncılı suyun etkili olduğu durumlarda basınç etkisi altında daha esnek davranış sergileyecek olan yalıtım malzemelerinin seçilmesi gerekmektedir. Çimento esaslı yalıtım malzemelerinin diğer malzemelere göre olumlu ve olumsuz yanları Çizelge 2.8’de belirtilmiştir.

**Çizelge 2.8.** Çimento esaslı yalıtım malzemelerinin olumlu ve olumsuz özellikleri

<b>Olumlu Özellikleri</b>	<b>Olumsuz Özellikleri</b>
Ekonomiktir.	Elastik kabiliyeti zayıftır.
Uygulaması ve kontrolü kolaydır.	Kendini onarabilme kabiliyeti yoktur.
Pozitif ve negatif uygulamaya olanak verir.	Fazla yükün karşılandığı yapı elemanlarında uygulanması doğru sonuçlar vermez.
Yatay ve düşey yüzeylerde uygulanabilir.	Hareket yeteneği zayıftır.
Basıncılı ve basınçsız su yalıtımlarında kullanılır.	Toz karışım, şantiye ortamında açılarak, uygun kıvama getirilir.
Kullanım aşamasında uygulama kolaylığı verir.	Yapı elemanlarının mukavemetini arttırıcı yönde etkileri yoktur.
Derzsiz, sürekli bir yalıtım sağlar.	
Koruyucu bir katman gerektirmez.	
Uzun dönem performansı iyidir.	
Darbeye karşı direnci yüksektir.	
Katkı cinsine bağlı olarak kimyasallara karşı direnci arttırılabilir.	
Katkı cinsine bağlı olarak donma çözülme mekanizmasına karşı direnci arttırılabilir.	
Yanmaya karşı dirençlidir.	

## 2. Likit sürülerek uygulanan yalıtım malzemeleri

Likit olarak sürülerek uygulanan, esneklik kabiliyeti yüksek yalıtım malzemeleridir. Uv ışınlarına, rüzgâra ve don etkisine karşı dirençlerinin düşük olmasından dolayı, uygulamadan sonra üzerileri bir tabaka ile korunmalıdır. Pozitif taraftan uygulanırlar.

Likit, sürülerek uygulanan yalıtım malzemeleri uygulama şekillerine göre soğuk uygulanan ve sıcak uygulanan olmak üzere sınıflandırılabilirler.

### a. Soğuk uygulanan likit yalıtım malzemeleri

#### **Solvent esash yalıtım malzemeleri:**

Polivinil akrilik, silikon, poliüretan, epoksi reçineleri, likit kauçuklar ile tek ve iki bileşenli polimerik yalıtım malzemeleridir. Isıtılmaya gereksinim duymadan fırça, rulo veya sprey ile uygulanabilirler. Isıtılmadığı için daha ekonomiktir; fakat kürünü çok uzun sürede aldığı için uygulama ve bakım süreleri oldukça uzundur.

Bu malzemelerin bileşiminde bulunan su veya organik solvent gibi uçucu maddeler, uygulamadan sonra malzemeyi terk ederek geçirimsiz bir yalıtım tabakası oluştururlar. Uygulamadan sonra düşük sıcaklıklarda kürünü alması sağlanır; fakat bu olay don hasarları açısından tehlikelidir.

Likit kauçuk türleri, tek ve çift komponentli likit poliüretan malzemeler, asfalt modifiye üretan, likit kauçuklar ve çift komponentli kopolimer asfaltlarda solvent içeren sıvı yalıtım malzemeleridir.

***Poliüretan likit yalıtım malzemeleri***, rutubetli ve ıslak ortalarda yüksek dayanım gösteren malzemelerdir. Sürülerek uygulanan malzemelerden en elastik özelliğe sahip olan malzemedir. Özellikle yerkabuğu yapı elemanlarının su ve neme karşı korunmasında uzun dönem performansları yüksektir. Tek ve çift komponentli olmak üzere iki farklı bileşimi bulunur. Minimum 1 mm kalınlığında en az iki kat uygulanır ([www.pecora.com](http://www.pecora.com)).

***Çift komponentli likit yalıtım malzemeleri*** iki bileşenden oluşan esnek yalıtım malzemeleridir. Gerekli miktarlarda karıştırıldıkları zaman önce yapışkan sıvı bir özelliğe kavuşan, daha sonra sertleşerek direnç kazanan malzemelerdir. Yapışkanlık özelliği sayesinde yüzeye sürüldükleri anda mevcut bulunan kılcal boşlukları doldurarak yapı elemanlarının onanırımı da gerçekleştirirler (www. polycoatusa.com).

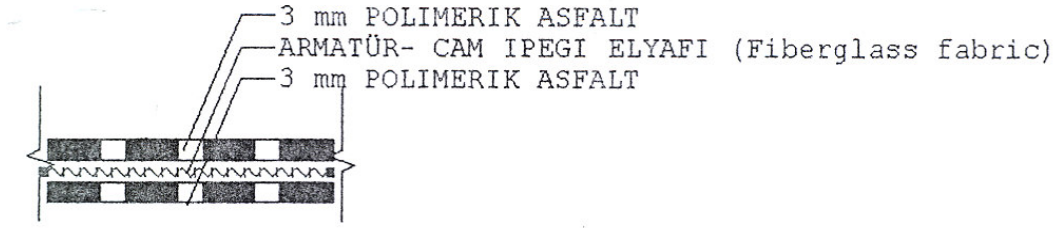
***Tek komponentli asfalt modifiye üretan yalıtım malzemeleri*** ise diğer malzemelerden farklı olarak yüzeye 0.65 mm kalınlığında uygulanır ve 1–2 saat gibi çok kısa bir zaman dilimin içerisinde kürü tamamlanır (Ertem 2002).

***Likit kauçuk yalıtım malzemeler***, en kısa sürede kürünü tamamlayan solvent içeren likit yalıtım malzemesidir. Uygulama sırasında hasar gören kısımlarının kolay tamir edilebilir olması olumlu bir özelliğidir. En az iki kat olmak üzere 1mm kalınlığında yüzeylere fırça ile sürülürler. İşlem tamamlandıktan sonra diğer sürme tipi yalıtımlara olduğu gibi PE polyo veya yalıtım levhaları ile koruma altına alınırlar.

***Bitüm esash soğuk uygulanan sürme yalıtım malzemeleri***, bitümlü solüsyonlar ve emülsiyonlar bu gruba giren yalıtım malzemeleridir. Bu malzemeler çeşitli asbest, kömür katranı ve asfalt ile oluşturulurlar. Özellikle ham petrolün damıtılması sonucunda atık ürün olarak açığa çıkan ürünlerin kullanılması ile elde edilirler (Çelebi 2004). Kuru ve nemli yüzeylere dökme veya sürme yöntemleri ile uygulanabildikleri gibi, keçe, kaneviçe, veya jüt üzerine dökülerek tabakalı olarak da uygulanabilir. Çift bileşenli kopolimer asfalt bitümlü solüsyonlar da bu gruba girerler.

Asfalt bitümler, basınçlı su yalıtımına karşı çift bileşenli kopolimerlerle güçlendirilmiş yalıtım malzemeleridir. Birinci bileşik yarı sıvı özelliğe sahip asfalt, ikinci bileşen ise uygulama esnasında asfaltın zayıf olan fiziksel özelliklerini geliştirmek amacıyla eklenen toz polimerlerdir.

Basınçlı su etkisinden yerkağu yapı elemanlarını korumak için ilk kat yalıtım yüzeye sürüldükten sonra düşey ve yatay yüzeylerde 5 mm kalınlığında örgülü fibercam takviyesi yapılır. Suya karşı kesintisiz bir zar oluşturan armatür takviyeli asfalt modifiye yalıtımının toplam kalınlığı 6 mm'yi bulur (Şekil 2.51).



**Şekil 2.51.** Çift komponentli polimerik asfalt su yalıtım strüktürü (Ertem, 2002).

Malzeme Şekil 2.52 'deki gibi yüzeylere kıl fırça ile sürüldüğü gibi içine ilave edilen sıvı kimyasallarla düşük basınçlı spreyle yatay ve düşey yüzeylere 2.5 mm kalınlığında bir kat olarak uygulanır ve 48 saat boyunca kürünü alması beklenir. Bu uygulamada malzemenin yapısındaki özel kimyasallar nedeniyle armatürlerle takviyesi gerekmez. Fakat diğer sürülerek uygulanan yalıtım malzemelerinin kimyasallara karşı gösterdiği direnci gösteremezler (<http://www.permaquik.com/>).



**a)**



**b)**

**Şekil 2.52.** Fırça ve spreyle uygulanan bitüm esaslı yalıtım malzemeleri (<http://www.permaquik.com/>).

### **b. Sıcak uygulanan likit yalıtım malzemeleri:**

Asfalt içerisinde dağılım gösteren kauçuk, mineral dolgular, elastomerler ve temoplastik reçinelerin 177-230C<sup>0</sup> de ve 6 saati geçmeyen bir sürede kazanda eritilmesi ile oluşan bir malzemelerdir. Bu sıcaklık dereceleri bitümün kolaylıkla yapışmasını ve ince bir tabaka halinde yüzeye yayılmasını sağlar. İnce katmanlar halinde sürülen bitüm soğuk

havalarda çatlamaya, sıcak havalarda da akmaya karşı daha çok direnç gösterir. Bitümlü malzemelerin sıcak uygulanması örtünün bitim noktalarının rahatlıkla kıvrılmasına ve yüzeye çok iyi yapışmasına olanak verir. Bitüm, bir sefer ve kapalı bir kazanda ısıtılmalıdır. Birden çok kez ısıtılan bitüm kömürleşerek su geçirimsizlik özelliğini kaybeder. Uygulamada verilecek aralar düşünülerek kullanılacak kadar bitüm ısıtılmalıdır (Anonim 3 İyem).

Karışım içindeki kauçuk malzemeye, düşük sıcaklıklarda esneklik kabiliyeti, yüksek sıcaklıklarda da akışkanlığının ve sürülebilirliğinin kontrolüne olanak verir. Ayrıca mekanik özelliklerin ve malzemenin ömrünün artmasını sağlar. Bunun yansıya plastik etki oluşturan yağ, dolgu görevi gören kil veya kireç taşı da elde edilen toz karışımını daha uzun ömürlü olmasını ve dış etkenlere karşı daha büyük direnç gösterebilmesini sağlar (Laaly ve Dutt, <http://irc.nrc-cnrc.ca/cbd/cbd082e>). Likit sürülerek uygulanan su yalıtım malzemelerin kullanımdaki olumlu ve olumsuz özellikler çizelge 2.9 da belirtilmiştir.

**Çizelge 2.9.** Likit yalıtım malzemelerinin olumlu ve olumsuz özellikleri

<b>Olumlu Özellikleri</b>	<b>Olumsuz Özellikleri</b>
Pozitif taraftan uygulanırlar.	Negatif yalıtım sistemine uygun değildir.
Elastik kabiliyeti yüksektir.	Koruyucu bir katman gerektirir.
Uygulaması kolaydır.	Uygulama kalınlığının kontrolü zordur.
Derzsiz, sürekli bir yalıtım sağlar.	Sağlık için zararlı kimyasallar içerirler.
Boru vb. gibi elemanların delip geçtiği noktaların yalıtımında iyi sonuçlar verir.	Uygulama ve bakım süresi uzundur.
Beton, ahşap, metal vb. elemanların yüzeylerine rahatlıkla uygulanabilir.	Basınç su geçirimsizliğine karşı gösterdiği performans orta düzeydedir.
Zemin nemine karşı iyi yalıtım sağlar.	Uzun dönem performansı orta düzeydedir.
Kauçuk ve çift bileşenli kopolimer asfaltın kendi kendini onarabilme yeteneği vardır.	Çimento esaslı yalıtım malzemeleri kadar ekonomik değildirler.
Kimyasallara karşı dirençlidirler.	
Donma çözülme mekanizmasına karşı direnci yüksektir.	
Suda bozulma göstermez.	
Düzensiz yüzeylerde de iyi sonuçlar verirler.	

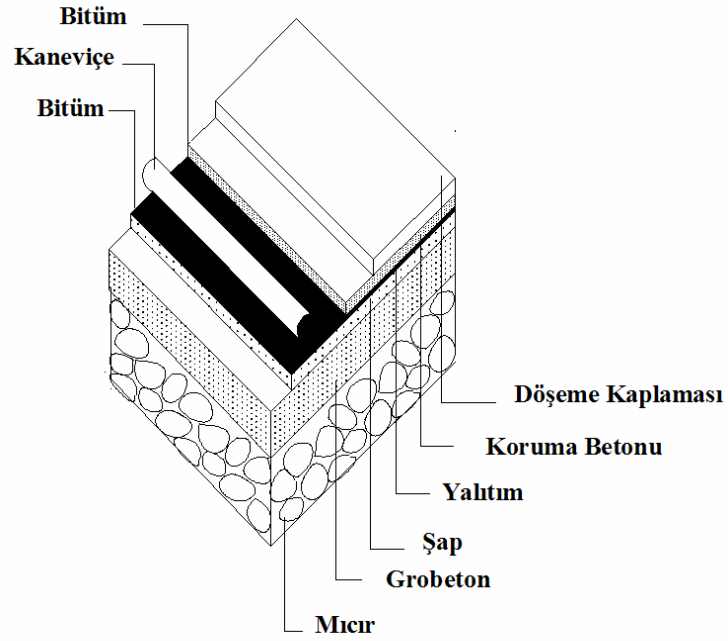
### 3. Su Yalıtım Örtüleri

Özellikle basınçlı yeraltı suyunun etkisi altında olan yerkaşu yapı elemanlarının yalıtımında kullanılan çeşitli armatürlerle modifiye edilmiş, birbirleri üzerine bindirmeli olarak yapıştırılarak uygulanan, bitümlü veya plastik esaslı yalıtım örtüleridir. Malzemenin özelliklerini iyileştirmek amacıyla birden çok malzeme ile modifiye edilerek kullanılırlar. Tüm malzemelerin fabrika ortamında bir araya getirilerek yalıtım örtülerinin kontrollü bir şekilde oluşturulması, yalıtım katlarının suyun etkisine bağlı olarak istenilen kalınlıkta ve her noktada eşit olarak uygulanabilmesine olanak verir. Buna karşın belirli genişliklerde rulolar halinde şantiye alanına getirilmesi ve çeşitli yöntemlerle yalıtılacak yüzeylere birbirleri üzerine bindirmeli olara yapıştırılması, aşırı yük altında örülerin bu noktalardan açılmasına neden olur. Bununla birlikte dış etkenlerden özellikle yüzeydeki girinti ve çıkıntılardan dolayı hemen hasar görmesi uygulamadan hemen sonraya bir koruyucu katmana gereksinim duymasına neden olur.

Su yalıtım örtülerini bitüm ve plastik esaslı olmak üzere iki grup altında toplayabiliriz

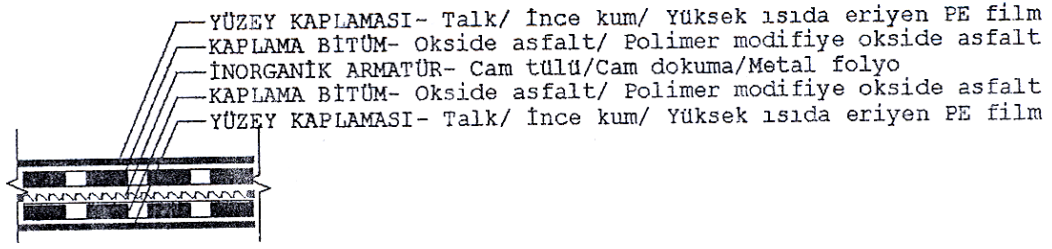
#### a. Bitümlü su yalıtım örtüleri

Bitümlü örtülerde taşıyıcı armatür olarak jüt, kanaviçe, karton, plastik folyo veya lifler gibi organik ve cüruf yünü, asbest, cam tülü, alüminyum folyo, polyester keçe gibi inorganik malzemeler kullanılmaktadır. Bitümlü örtülerde kullanılan bu taşıyıcı armatürlerin bitümü kolay emebilme, güneş, su ve mikroorganizmalar karşı direnç gösterebilme, kullanılan diğer malzemelerle ortak özelliklere sahip olma, ısısal genleşmelerin yakın değerlere sahip olma, yüksek sıcaklıktan etkilenmeme, ekonomik ve yüksek çekme mukavemeti ve hafiflik gibi özelliklere sahip olması beklenmektedir (Eriç, 2002). Fakat organik taşıyıcılar bu özelliklerin tümüne sahip değildirler. Özellikle su ve nem etkisi altında çürüyerek etkisiz hale gelirler. Bunun dışında düşük çekme dayanımına sahip olmaları ve bünyelerinde suyu toplayıp membran içinde kabarcıklar oluşmalarından dolayı, organik yerine inorganik kökenli armatürler daha yaygın olarak kullanılmaktadır (Ertem 2002).



**Şekil 2.53.** Bitümlü su yalıtım örtüsü katmaları (Z.Şimşek)

Yerkabuğu yapı elemanlarında yalıtım tabakası olarak sürülen bitüm tek başına yapıyı sadece zemin nemine karşı koruyabilmekte, fakat basınçlı suya karşı yeterli düzeyde koruyamamaktadır. Ayrıca termoplastik özelliğe sahip olmasından dolayı sıcaklık etkisiyle katı halden sıvı hale dönüşerek mekanik ve fiziksel özelliklerini kaybederler. Özellikle düşey uygulamalarda 2 mm'nin üzerindeki kalınlıkta sürüldükleri zaman kendilerini taşıyamazlar. Buna karşın yerinde ve doğru uygulandıkları zaman suya karşı yüksek geçirimsizlik sağlarlar. Bu yüzeyden, bitümlü malzemelerden basınçlı su etkisi altında da yüksek performansın elde edilebilmek için bitüm, çeşitli armatürlere ve yardımcılarına doyurulduktan sonra koruyucu bir katman ile kaplanarak üç tabaka şeklinde kullanılmaktadır. Bu şekilde bitüm, taşıyıcı nitelikte armatürlere desteklenerek yetersiz nitelikleri iyileştirilir. (Şahal 1992). Bitümlü örtüleri oluşturan bu katmanlar Şekil 2.53 ve 2.54'de verilmiştir.



**Şekil 2.54.** Bitümlü su yalıtım örtüsü bitümlü su yalıtım örtüsü katmaları (Ertem 2002)

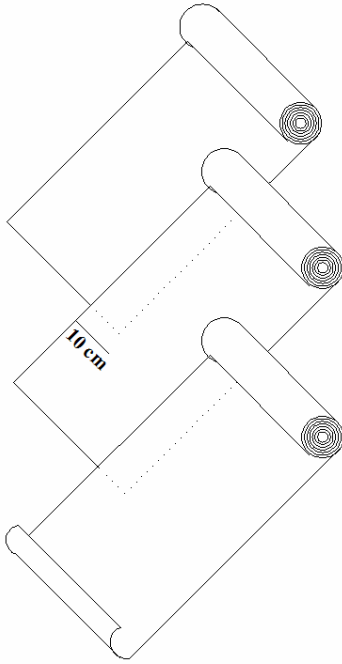
Bitümlü örtüler, yalıtılacak yüzlere en az en az iki kat uygulanırlar. Basınçlı suyun 2.0 kgf/m<sup>2</sup> yi geçtiği durumlarda ise yalıtım katlarının ayısı artar (Nam, 1997). Bu katman sayısı su, nem, basınç miktarlarına bağlı en iyi performansı elde edecek şekilde artış gösterir. Uygulamaya başlamadan önce, yalıtım yapılacak yüzeyler ilk aşamada tamamen temizlenir ve kir, toz ve nemden tamamen arındırılır, sivri yüzeyler pahalanarak yalıtıma zarar verecek çıkıntılar yok edilir ve beton yüzeylerde oluşan çatlaklara uygun katkı maddeleri ile doldurularak suyun betonarme yapı elemanların bünyesine geçişi engellenir ve tüm bu işlemlerin sonucunda su yalıtımı uygulamaları için uygun yüzeyler hazırlanmış olur (Lufsky 1980) .



**Şekil 2.55.** Yalıtım örtülerinin astar kat üzerine yapıştırılması  
(İzonur Firması su yalıtımı uygulamaları)



Hiçbir alet kullanmadan örtünün kendi kendine yalıtılacak yüzeyler yapıştığı uygulamalarda mevcuttur. Bu uygulamalarda, bitümlü örtülerin her iki tarafı kendi kendine yapışma özelliğine sahip polyester film kaplı kauçuk modifiye asfaltla kaplıdır. Yapıştırılma anında yalıtım örtüsü üzerindeki polyester film soyularak astar kat üzerine elle bir merdane yardımıyla veya ayakla basınç uygulayarak Şekil 2.55'deki gibi yapıştırılır. Fakat bu yöntem, basınçlı yeraltı suyunun etkisindeki yüzeylerin yalıtımında iyi sonuçlar vermemektedir (Ertem 2002).



Bu örtülerin basınç karşısında ayrılmadan birbirleri ile ilişkilerini korumalarının sağlanması için uygulanacak en iyi yapışma şekli şamölümo alevi ile yapıştırma tekniğidir. Propan gazı ile şalümo aletinin kullanıldığı bu teknikte birbirleri üzerine Şekil 2.56 'deki gibi 10'ar cm bindirmeli olarak serilen örtüler alevin sıcaklığı ile bir alt tabakaya yapışırlar (Şekil 2.56). Yapışmanın tamamlanıp tamamlanmadığını anlamak için birleşim yerleri kontrol edilir. Fakat aletin çok dikkatli kullanılmalıdır. Alevin bitümlü örtü üzerinde çok uzun tutulması durumunda çok fazla incelen örtü delinerek etkinliğini kaybedebilir. (Şekil 2.56, 2.57)

**Şekil 2.55.** Yalıtım örtülerinin bindirmeli olarak yapıştırılması

Bitümlü örtülerin zemin tanelerinden ve diğer dış etkenlerden hasar görüp delinmesini engellemek için yapıştırma işleminin hemen ardından yalıtım, 5 cm lik koruma betonu veya yarım tuğla duvar ile koruma altına alınır.

Basınçlı su yalıtımında kullanılan bu su yalıtım örtüleri, okside bitümlü ve modifiye bitümlü su yalıtım örtüleri olarak sınıflandırılmaktadır



**Şekil 2.56.** Şalümo alevi ile bitümlü örtülerin bindirmeli olarak yüzeye yapıştırılması (İzonur Firması su yalıtımı uygulamaları)

**Şekil 2.57.** Şalümo alevi ile bitümlü örtülerin yüzeye yapıştırılması ([www.emulzer.com.tr](http://www.emulzer.com.tr))

Plastomerik ve elastomerik polimer bitümlü su yalıtımları olmak üzere iki grupta incelenirler.

**Okside bitümlü su yalıtım örtüleri:** Sürekli ısı değişimine maruz kalan bitümlü örtülerde, oluşan kırılmaları ve çatlakları ve yapısındaki sıvıların buharlaşması sonucu oluşan büzülmelemleri en aza indirmek amacıyla, asfalt bitümün içine havanın üflenmesiyle oluşturulan bitümlü örtülerdir. Bu örtüler genelde 3–5 mm kalınlığında ve 1m eninde 10 m boyunda rulolar halinde üretilmekte olup pozitif ve negatif yalıtım uygulamalarında kullanılırlar.

**Modifiye bitümlü su yalıtım örtüleri:** Bu örtüler, özellikle basınç etkisindeki yapı elemanlarının yalıtımında yüksek performans elde edilebilmesi için, bitümlü malzemenin ısı değişimlerine karşı dayanıklılık, viskozite, yumuşama noktası, penetrasyon değeri, yük altındaki deformasyon kabiliyeti, elastiklik özelliği ve aderansı ve kimyasallara karşı direncinin artırılması amacıyla, polimerlerle geliştirilmesi sonucu oluşmuşlardır (Dağ 2001).



**Şekil 2.58.** Basınçlı su etkisinde bulunan yerkabuğu yapı elemanlarının bitümlü örtülerle suya karşı yalıtımı (İzonur Firması su yalıtımı uygulamaları)

Bitümlü yalıtım örtülerinin olumlu ve olumsuz özellikleri Çizelge 2.10 verilmiştir.

**Çizelge 2.10.** Bitümlü örtülerin olumlu ve olumsuz özellikleri

Olumlu Özellikleri	Olumsuz Özellikleri
Pozitif ve negatif taraftan uygulanırlar.	Koruyucu bir katman gerektirir.
Elastik kabiliyeti orta düzeydedir.	Birleşim yerleri kritik noktalardır.
Basınçlı suya karşı etkin bir yalıtım sağlar.	Basınçlı su etkisinde, negatif yalıtımda çok iyi sonuç vermezler.
Uygulaması ve uygulama kalınlığının kontrolü kolaydır.	Düşey uygulama diğerlerine göre daha zordur.
Kimyasallara ve neme karşı yüksek direnç sağlarlar.	Boru vb elemanlarının yapıyı delip geçtiği noktaların yalıtımında zorluk çıkar.
Yapısındaki cam tülü, polyester gibi taşıyıcılar sayesinde yüksek çekme mukavemetine sahiptirler.	+4C <sup>0</sup> 'nin altında ve çok nemli havalarda uygulanamazlar.
Yüksek mekanik dayanıma sahiptir. Darbelere karşı dayanıklıdır.	Buhar kesici özelliğe sahiptir.
Tüm iklim koşullarında rahatlıkla uygulanırlar.	
Bina hareketlerine uyum sağlar.	
Hizmet ömürleri sürülerek uygulanan yalıtım sistemlerine göre daha uzundur.	
Yüksek ısıda erimez soğukta çatlamazlar.	
Her türlü yüzeye uygulanabilirler.	
Zehirli kimyasallar içermezler.	
Toprak üstü yalıtımlarda kullanılan örtülerin onarım kolay ve hızlıdır.	
Donma çözülme etkine karşı dirençlidir.	

**b. Plastik esaslı su yalıtım örtüleri**

Toz veya granül haldeki termoplastik polimerlerden uygun ısıda, kalınlık ayarlı merdanelerde, taşıyıcı veya taşıyıcısız olarak kalınlık verilmesiyle elde edilen termoplastik kökenli, gri, siyah veya beyaz renkli hafif, sentetik su yalıtım örtüleridir. Kullanımı polimer bitümlü su yalıtım örtülerine oranla çok azdır fakat son 10 yılda daha yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Polivinilklorür (pvc), sentetik kauçuk, polietilen (pe) ve poliüzobütülen (POIB) gibi farklı sınıfları bulunmaktadır ([www.izoder.org.tr](http://www.izoder.org.tr)).

Çekme, kayma, mukavemetlerini termik, biyolojik ve ultra viole özelliklerini daha da arttırmak amacı ile geotekstil ve geosentetiklerle güçlendirilmişlerdir. Bu üstün nitelikleri ve çok uzun ömürlü olmaları nedeniyle yeraltında bulunan yapı elemanlarının ve zehirli, çöp ve katı atık depolarında, sulama kanallarında, metro, otoyol, tünel gibi suyun etkin olarak yalıtılmasına ihtiyaç duyulan her noktada etkili çözümler vermektedirler.

Bu örtüler 1mm ile 2.5 mm arasında kalınlıklarda rulo halinde üretilirler. Fakat basınçlı su etkisi altındaki yüzeylerin yalıtımında bu kalınlık artar ve özel imalatlarla 16 mm ye kadar çıkarılabilir. İstenilen kalınlığın verilebilmesinden dolayı tek kat olarak uygulanırlar. Yalıtım tabakasının kalınlığı ne kadar çok olursa örtüye gelen basınç kuvvetlerine karşı direncide o kadar çok olur ve darbelere karşı dayanımı artar. Genişliklerinin fazla olmasından dolayı 800 m<sup>2</sup> gibi geniş yüzeylerde tek bir parça ile yalıtımı sağlanabilir. Daha büyük yüzeylerin yalıtımında bindirmeli olarak ve ek yerlerine kaynaklar yapılarak uygulanırlar.

Uygulanan plastik esaslı örtülerin olumlu ve olumsuz özellikleri Çizelge 2.11 de verilmiştir.

**Özel kimyasal yapıştırıcılarla yapıştırma yönteminde,** yüzey hazırlığı yapılan yalıtılacak yapı elemanına fırça ile sürülen kimyasal bileşim kurumaya bırakılır. Karışım tam kurumadan önce üzerine örtü bastırılarak ve birebirlerinin üzerine yaklaşık 5 cm binecek şekilde yapıştırılır bu şekilde yüzeyle örtünün kuvvetli bir aderans yapması sağlanır. Aksi takdirde düşey uygulamalarda örtü ağırlığıyla aşağıya doğru kayar ve yapı suya karşı korumasız kalır. Örtülerin birleşim yerleri de su geçirmez macunlara kaplanır ve bu şekilde tam geçirimsiz bir tabaka oluşturulur.

**Çizelge 2.11.** Plastik esaslı örtülerin olumlu ve olumsuz özellikleri

<b>Olumlu Özellikleri</b>	<b>Olumsuz Özellikleri</b>
Pozitif uygulanırlar.	Negatif taraftan uygulanmazlar. .
Bitümlü örtülere göre daha iyi su yalıtımı sağlar.	Ekonomik değildirler.
Büyük yüzeylere tek parça olarak uygulanabilir.	Su buharı geçimliliğine karşı etkili değildir.
Elastik kabiliyeti yüksektir.	
Hafiftir.	
Basınçlı suya karşı etkin bir yalıtım sağlar.	
Uygulaması ve uygulama kalınlığının kontrolü kolaydır.	
Kimyasallara karşı dayanım gösterirler.	
Ultraviyole ve ozonunda etkilenmezler.	.
Isı etkilerine karşı dirençlidir. 0 derecenin altında bile yüksek performans gösterirler.	
Yüksek mekanik dayanıma sahiptir. Darbelere karşı dayanıklıdır.	
Tüm iklim koşullarında rahatlıkla uygulanırlar.	
Buhar kesici özelliğe sahiptir.	
Bina hareketlerine uyum sağlar.	
Hizmet ömürleri oldukça uzundur.	
Yüksek ısıda erimez soğukta çatlamazlar.	

### c. Killi su yalıtım örtüleri

Kil ve volkanik tüflerin belirli oranlarda karıştırılmaları sonucu oluşan malzemelerdir. Killi su yalıtım örtüleri, sulu ortamlarda bünyelerine suyu alıp normal hacimlerinin yaklaşık 15 katına ulaştıkları böylelikle çok sıkı su geçirmez bir yapıya kavuştukları için, ilkel çağlardan beri su geçirimsizliğin sağlanacağı birçok yerde kullanılmaktadır. Uygulaması kolay ve hızlıdır. Zehirli maddeler içermediği için sağlıklı ve temiz bir çalışma imkânı sağlar (<http://www.concretenetwork.com/concrete/waterproofing>).

Killilerin etkin bir su yalıtım malzemesi olarak kullanılması için mutlaka su ile hidrasyona girip şişmesi gerekmektedir. Zamanında önce ıslanan kil tabakası erken hidrasyona uğrayabilir. Bu durumda yalıtım tabakası aktif bir şekilde koruyuculuk görevini sürdüremez. Bu sebeple uygulama esnasında iklim koşulları büyük önem kazanmaktadır. Toprak altı uygulamalarında zeminde bulunan kimyasallara karşı direnç gösteremezler. Yüzeğe uygulanan kil tabakası mutlaka polietilen kaplamalar ile koruma altına alınmalıdır.

Killi su yalıtım örtüleri ile su yalıtım uygulamasına geçilmeden önce yüzeyler tamamen temizlenir. Çıkmışlar pahlılarak düzeleştirilir. Beton yüzeylerin yapısında bulunan boşluklar kil içeren karışımlarla nemli ortamda doldurulur ve kilin şişmesi ile boşluklar tamamen dolar. Bu aşamadan sonra çivilerle veya özel yapıştırıcılar yapıyla killi tabaka üste gelecek şekilde uygulama yüzeyine tespit edilirler. Bu aşamalar gerçekleştirilirken yeraltı suyun yapıda uzaklaştırılmış olmasına ve kuru kava koşullarında gerçekleştiriliyor olmasına özen gösterilmelidir.

**Çizelge 2.12.** Killi su yalıtım örtülerinin olumlu ve olumsuz özellikleri

Olumlu Özellikleri	Olumsuz Özellikleri
Pozitif uygulanırlar.	Negatif taraftan uygulanmazlar.
Elastik kabiliyeti yüksektir. Bina hareketlerine uyum sağlar.	Yağmurlu ve nemli havalarda uygulanmaları sakıncalıdır.
Uygulaması ve uygulama kalınlığının kontrolü kolaydır.	Kimyasallara karşı dayanım göstermezler.
UV ışınlarından, radyasyon, vb. etkilenmezler.	
Isı etkilerine karşı dirençlidir.	

#### 2.4.2. Yalıtım Uygulama Teknikleri

Yapının toprak altında bulunan bölümleri, sürekli veya geçici olarak zemin nemi ve yeraltı sularının etkisi altında kalırlar. Bu etkileşim yapı üzerinde hasarların oluşmasına neden olurken aynı zamanda bodrum iç mekânında istenilen konfor koşullarının sağlanmasını zorlaştırır. Bu nedenle; **temeller ve bodrum duvarları su ve neme karşı kesinlikle korunmalıdır.**

Drenaj sistemi, yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu veya mevsimlik yağışların fazla olup yükseldiği durumlarda, sadece suyun yapıdan uzaklaştırılmasında kullanılır. Bu sistemler basınçsız durgun suyun mevcut bulunduğu durumlarda etkili olur. Suyun yapıya uyguladığı basınç kuvveti karşısında yapıyı korumakta etkisiz kalır. Başka hiçbir önlem alınmadığı durumlarda da zemin bünyesinde bulunan kimyasallara karşı yapı korumasız kalır. Bu gibi durumlarda drenaj dışında, farklı yalıtım malzemeleri ile yapılan uygulamalarla suyun yapı elemanı üzerinde oluşturacağı olumsuz etkiler ve uygulanan kuvvetlerin etkisi azaltılabilir. Bu olumsuzlukları azaltmak için kullanılan en etkili yol, yapının yalıtım örtüleri ile kesintisiz bir şekilde sarılmasından oluşan bohçalama sistemidir. Yalıtımın çepeçevre yapıyı sarabilmesi için, seçilen temel sisteminin de tüm yalıtım tabakasına eşit miktarda basınç uygulayabilecek şekilde tasarlanması ve yapı alanında aynı yalıtım gibi süreli bir plak oluşturması gerekir. Bu nedenlerden dolayı, uygulanacak olan bohçalama sistemi en iyi radye temellerde sonuç verir. Kesintisiz bir düzlem oluşturmayan tekil/sürekli temellerin ancak yüzeylerine sıvı olarak uygulanan yalıtımlar sürülebilir. Fakat bu sistem tam bir örtü oluşturamaz (Şekil 2.58). Bazı durumlarda bu temel tiplerinde bohçalama uygulanmaya çalışılır. Taban betonunun üzerine yapıştırılan yalıtım örtülerinin üzerine temel ayakları yapılır ve her pabuç arasında kalan boşluk dolgu malzemeleri ile doldurulur. Ancak, bu şekilde uygulanan teknikte yalıtım malzemelerine temel pabuçlarının olduğu noktalar aşırı yük gelir ve zımbalama etkisi yaratarak bu noktalardaki yalıtım tabakaları hasar görür. Ayrıca her temel pabucunun sarılmasında yalıtımın birçok kez katlanması söz konusu olur. Bu noktalara da kritik noktalar olduğu için kat yerleri aşırı bir yüklemenin olduğu durumda açılarak yalıtımın boşa gitmesine neden olur. Ne kadar kat yeri bulunursa yalıtım o kadar çok hasara açık hale gelir.



**Şekil 2.58.** Tekil temelde likit uygulanan yüzeysel su yalıtımı (Z.Şimşek arşivi 2004)

Tüm bu nedenlerden dolayı, basınçlı suya karşı etkili bir çözüme ulaşmak için, bu çalışmada radye temeller üzerine yapılan yalıtım uygulamalarına da yer verilmiştir. Yalıtım uygulamalarına başlanmadan önce hangi malzeme uygulanacak olursa olsun yapılması gereken bazı işlemler vardır.

İlk aşamada, mevsimlik yağışlar göz önünde bulundurularak, belirli aralıklarla yapı alanında yeraltı su seviyesi ölçümleri yapılır. Zeminden ve yeraltı suyundan alınan örnekler laboratuvarlarda incelenerek, zemin bünyesinde bulunan kimyasallar ve yeraltı suyunun basınç kuvveti de bu şekilde saptanır. Tüm bu aşamalar bina yapımına başlanmadan önce mutlaka yapılmalıdır. Bu sayede hangi yalıtım malzemesinin, kaç kat ve nasıl bir yöntemle uygulanması gerektiği belirlenir.

Su yalıtım malzemeleri ve teknikleri hakkında tüm kararlar verildikten sonra yalıtımın, temellerin ve bodrum duvarlarının yapımında çalışma kolaylığının sağlanabilmesi amacıyla, yapı sınırlarından 1'er metre genişliğinde şevli olarak yapı çukuru açılır. Toprak kaymasının şevli bölgeyi zorlayıp, yapı alanına dolmasının engellenmesi amacıyla bu noktalara ahşap veya çelik levhaların yan yana çakılmasıyla oluşan iksa yapılır.



Fakat açılan yapı çukuruna su seviyelerine bağlı olarak yeraltı suyu dolar. Temel ve bodrum katı yapıldıktan sonrada betonun bakım suyu ve yağış suları yapı içinde birikmeye başlar. Biriken suların kendi kendilerine kurumaları da beklenemez. Bu sebeple öncelikle kurulacak uygun drenaj sistemi ile yeraltı suyu, temel tabanının yaklaşık 50 cm alt tabakasına kadar düşürülür. Daha sonra taban betonun homojen ve düzgün bir şekilde dökülebilmesi için zemindeki çukurluklar doldurulur, çukıntılar düzleştirilir.

Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu veya yapı temellerinin tamamen zemin suyu altında kaldığı ve taşıyıcı sistem olarak radye temellerin ön görüldüğü durumlarda, uygulamaya geçilmeden önce uygun yalıtım malzemesi ve tekniği seçilir. Basınçlı suya karşı yapılan uygulamalarda seçilen malzeme, uzun ömürlü, zemin kimyasallarına ve çürümeye karşı dirençli, basınç kuvvetlerini ve yapı yüklerini karşılayacak yüksek dayanım ve elastik özelliğe sahip olmalıdır.

Basınçlı suya karşı yapılan uygulamalar yapının **pozitif ve negatif** tarafından olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilir. Bu yalıtım sistemleri, uygulama kolaylığı açısından genellikle radye temellere yapılırlar.

#### **2.4.2.1. Pozitif Su Yalıtımı**

Basınçlı yeraltı suyunun yerkaşu yapı elemanlarına ve yalıtım malzemelerine doğrudan etki ettiği durumlarda yapılan yalıtım tekniğidir. Bu teknikle yapı elemanları hiçbir şekilde su almayacak şekilde kesintisiz olarak yalıtım malzemeleri ile sarılır. Pozitif su yalıtımı binanın yan parselde bulunan yapının konumuna göre içten ve dıştan olmak üzere iki farklı şekilde uygulanır.

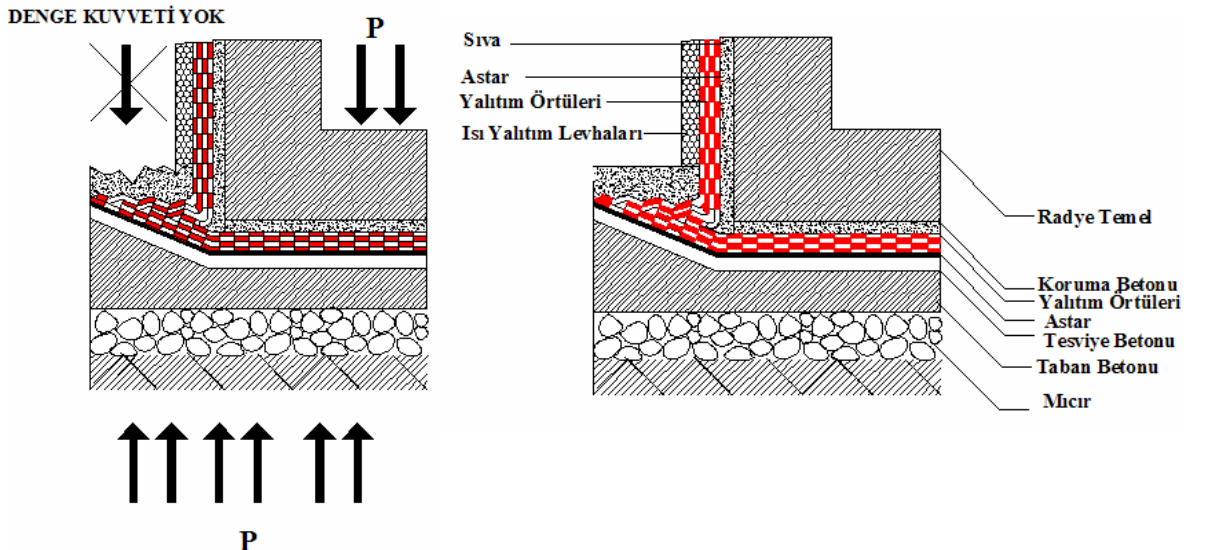
*Dıştan uygulanan pozitif su yalıtımı*, temelin dış tarafında çalışma olanağının bulunduğu ayrıklı nizamlı yapılarda uygulanan tekniktir.

Yeraltı suyu drene edilmiş ve zemin türleri belirlenip gerekli iyileştirmeler yapılmış yapı alanında, ilk olarak, zemin suyunun kapilarite ile yükselerek taban betonuna ulaşmasını minimuma indirmek için, temel tabanına iri çakıl tabakası mıcır serilir. Çakıl tabakasının üzerine, 8–10 cm kalınlığında taban betonu dökülür. Taban betonu,

yalıtımın yapı etrafında sarılmasını, zemin suyunun yapıya etki etmesinin engellenmesini, zeminden gelen yükleri yalıtım tabakasına iletilmesini sağlar.

Taban betonu yatay yalıtımın düşey yönde uygulanan malzeme ile birleşimine olanak verme amacıyla, yapı oturma alanından 50–100 cm daha geniş mesafede dökülür. Fakat bu bölüme yapı yükleri etki etmediği için zemin yükü karşı bir yüklenemez ve kırılır. Temel sınırından taşan bu kısımlarına birleşim kolaylığı için Şekildeki 2.59'deki gibi yaklaşık % 20 eğim verilir. Taban betonunun düzgün ve pürüzsüz olmadığı ve nemli olduğu durumlarda üzerine gelebilecek olan su yalıtım örtüleri delinip zedelenebilir veya ek yerlerinden birbirine tam olarak yapışamayabilir. Bu nedenle düzgün, pürüzsüz ve kuru bir taban betonu hazırlanır. Sivri köşelerden dolayı yalıtımın zarar görmemesi için tüm köşeler 50 mm çaplı olarak yuvarlatılırlar.

Taban betonu tamamen zemin nemi ve kapiler su ile karşı karşıya kalmaktadır. Zemin kat döşemeleri, temel ve bodrum kat duvarları her ne kadar kesintisiz olarak su yalıtım malzemeleri ile sarılsalar da, taban betonu bohçalama sisteminin dışında kalmaktadır. Beton malzemenin yapısında bulunan boşluklar, yapı oturmalar ve zemine gelen yüklerden dolayı oluşan çatlaklar ve zemin yapısında bulunan kimyasalların beton yüzeylerini aşındırmaları sonucunda oluşan çatlaklardan su kapiler yolla ilerleyerek, üst katmanlarında konumlanan yalıtım örtülerinin yapısında oluşabilecek herhangi bir zayıf noktadan yapıyı üst noktalarına doğru ilerler.



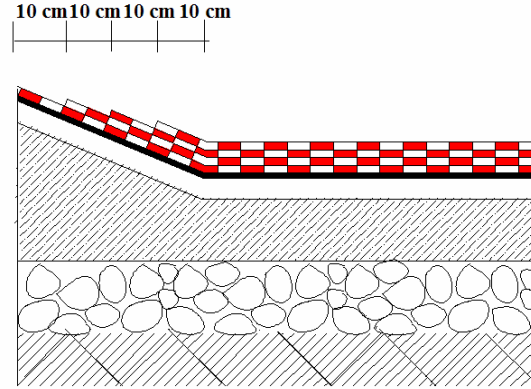
**Şekil 2.59.** Yalıtımın zemin basıncı ve yapı yükleri altında dengede kalması (Z.Şimşek).

### Yatay yalıtımın uygulanması:

Bakımı yapılan taban betonunun üzerine seçilen yalıtım malzemesi uygulama prensiplerine göre yapıştırılır. Her malzemenin kendine özgü uygulama biçimleri bölüm 2.4.1.3 de belirtilmiştir.

Yalıtım örtüleri taban betonun üzerine hiç boşluk bırakmadan yapıştırılırlar. Bitümlü örtüler en az iki kat uygulandıkları gibi suyun basınç kuvvetine bağlı olarak 3–4 kat da uygulanabilir. Birinci kat uygulamada örtüler birbirleri üzerine 10'ar cm indirme yapacak şekilde uygulanır. Üste gelen diğer katlar, alt tabakadaki örtülere aynı yönde ve 50 cm şaşırtmalı olarak uygulanır.

Plastik yalıtım örtüleri ise, 5–10 cm bndirmelerle yüzeye serilirler. Genellikle tek kat uygulanırlar. Fakat basınç kuvvetlerinin miktarına bağlı olarak kalınlıkları arttırılır. Tüm örtü kenarları ve vida başları sızdırmalık mastiği ile kaplanır. Birleşim yerleri sıcak mala veya şalümo alevi ile iyice yapıştırılır.



**Şekil 2.60.** Yatay yalıtım uygulamaları (Z.Şimşek)

Uygulanan her yalıtım katı temel alanından bir miktar dışarıya taşırılır. Üste gelecek olan diğer katmanlar ise alttaki yalıtım tabakası ile aralarında 10 cm kalacak şekilde daha kısa bırakılır (Şekil 2.60). Bırakılan bu paylar yatay yalıtımın düşey yalıtım ile birleşmesine olanak verir. Yalıtıma ara verildiği durumlarda ek yerlerinin mutlaka bir yalıtım tabakası ile koruma altına alınması gerekmektedir. Yatay yalıtım uygulamaları

boyunca da yalıtım takasının üzerinde gezinilmemesine özen gösterilmeli biten yerlerin mutlaka bir tabaka ile koruma altına alınması gerekir. Yalıtım tabakasının korunması için önce 0.15 mm'lik bir ayırıcı tabaka serilir. Bu tabakanın üzerine de 4-5 cm kalınlığında düşük dozajlı bir koruma betonu dökülür. Plastik örtülerin uygulanmasında sonra ise üzerilerine örgülü bir geotekstil tabaka serilerek koruma altına alınırlar (Ertem 2002).

### **Düşey yalıtımın uygulanması:**

Su yapıya sadece taban bölgesinden etki etmez aynı zaman temel ve bodrum duvarlarına basınçlı veya basınçsız olarak etki eder. Bu durumda, yatay olarak uygulanan yalıtımın düşey olarak temel duvarlarına da uygulanma zorunluluğu doğmaktadır. Bu yüzden yalıtım örtüleri yapının düşey taşıyıcı kısımlarında da devam ettirilir (Şekil 2.61).

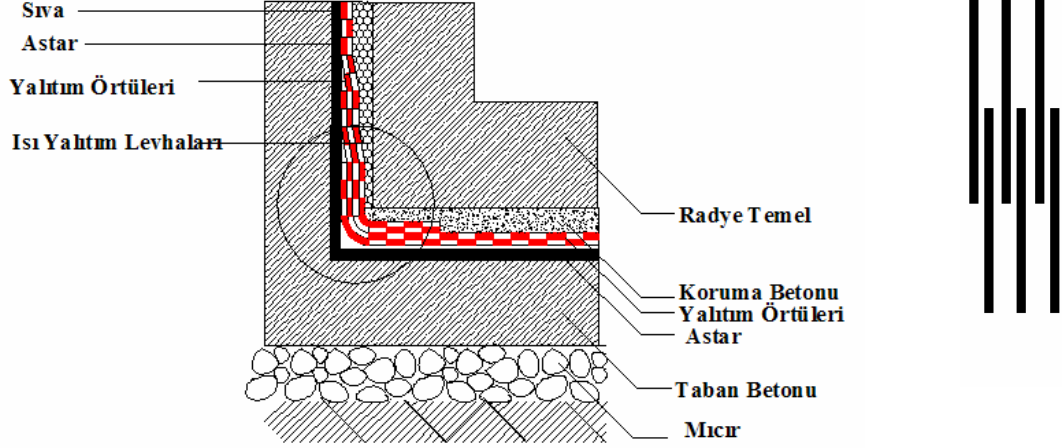


**Şekil 2.61.** Düşey yalıtım uygulaması (İzonur Firması su yalıtımı uygulamaları)

Tüm düşey yüzeylere düzgünlüğü ve geçirimsizliği sağlaması açısından gerekiyorsa 3 cm kalınlıklı geçirimsiz sıva uygulanabilir. Fakat yapılan laboratuvar deneylerinde geçirimsiz sıvaların yeterli yalıtımın sağlanmadığı belirlenmiştir.

Yatayda uygulanan yalıtım kat sayısı kadar düşeyde de aynı miktarda uygulanır (Şekil 2.62). Bu işlemden, yatayda ve düşeyde uygulanan yalıtım tabakalarının birleşim noktaları kritik noktalardır. Eğer birbirlerine iyi yapıştırılmazlarsa veya yalıtılacak

yüzeyler ile kuvvetli bir aderans sağlamazlarsa, bu noktalardan su girer ve uygulanan yalıtım, etkinliğini kaybeder.



**Şekil 2.62.** Yatay ve düşey yalıtımın birleştirilmesi (Z.Şimşek)

Düşey yalıtım suyun kapiler olarak yükselebileceği ne yüksek su seviyesinden 50 cm yukarıya kadar devam ettirilir. Yalıtımın bitiş noktası zemin tanelerinden hasar görmeden bitiş elemanları ile koruma altına alınır. Bazı durumlarda düşey yalıtım tabakası sırt duvarının üzerine döndürülerek yapıştırılır.

Dıştan uygulanan pozitif yalıtımda düşey olarak temel duvarlarında devam edilen yalıtım örtüleri, zemin tanelerinden zarar görmemesi için tuğla duvar, ısı yalıtım levhaları ve drenaj kompozitleri ile koruma altına alınır. Basınçlı su yalıtımında kullanılan bitümlü malzemeler, basınç etkine dayanmak ve kendi ağırlığı ile aşağı yönde akmamak için, iki sert yüzey arasında konumlanmalıdır. Bu durumda koruma betonu yalıtımı sadece dış etkenlerden korumaz aynı zamanda gelen basınç kuvvetlerinin eşit olarak yatay tabakasına iletilmesini olanak verir. Hem düşey hem de yatay yalıtım uygulamalarında etki eden bu basınç kuvvetlerinin, yalıtım tabakasına dik ve yüklerin homojen bir şekilde geldiği varsayılır. Ancak bu şekilde bitümlü tabakaların yüksek basınçlı olan bölgeden düşük basıncın uygulandığı bölgeye doğru hareketi engellenir (Sağlam 1994).



**Şekil 2.63.** Düşey yatlımın koruma altına alınması (İzonur Firması su yalıtımı uygulamaları)

Sırt duvarının, yatay zemin kuvvetlerini ve su basıncını yalıtıma iletebilecek rijitlikte olması için yarım dolu tuğla veya 10 cm kalınlığındaki beton malzeme ile oluşturması gerekir. Yatayda düşey yalıtımlarla birleşimleri yapılan yalıtım tabakaları da tekrar 8–10 cm kalınlığındaki beton ile koruma altına alınır. Düşeyde uygulanan sırt duvarı da yatay koruma betonunun üzerine oturturur (Şekil 2.63).

***İçten uygulanan pozitif su yalıtımında ise***, yapı inşaat alanında toprak şev ile temel arasında yeterli çalışma payının olmadığı durumlarda, betonarme bir çanak oluşturulur ve temellerde bu çanak içine oturtulur. Bu çanağın asıl yapım amacı ise, sürekli ve kesintisiz olarak oluşturulacak su yalıtımı uygulaması için yapı sınırları içinde bir çalışma alanı ve bu sınırlar içerisinde yalıtımın yapışmasını sağlayacak sert bir yüzey oluşturmaktır.

Suyu iyice drene edilmiş yapı çukuru 25–30 cm kalınlığında betonarme bir çanak ile kaplanır. Çanağın tüm keskin köşeleri pahlanır ve düzgün bir yalıtım yüzeyinin sağlanması için yüzey temizlenerek pürüzlü yüzeyler mala ile düzeltilir ve sivri köşeler pahlanır. Yüzey hazırlığı tamamlanmış iç çanağa, yatay yalıtım uygulandıktan sonra koruma altına alınarak düşey yalıtım da uygulanır ve her iki yalıtım tabakası birbirine eklenir.

İçten uygulanan pozitif yalıtım sisteminde kullanılan yalıtım yapıştırırmalı yalıtım örtülerinde suyun basınç kuvveti ile şişliklerin ve yırtılmaların oluşması sonucunda ciddi hasarlar oluşmaktadır. Bu hasarların en büyük nedeni çanağın kuru tutulmamasından kaynaklanmaktadır. Yerkabuğu elemanlarına uygulanacak sürekli bir yalıtım sistemi bu durumlarda tek başına yeterli olamaz. Kesinlikle yapı çanağının, yerkabuğu yapı elemanlarının ve taban betonunun kısacası, yeraltı suyu ile temas edebilecek tüm yapı elemanlarının, geçirimsizliği sağlanmış beton malzeme ile oluşturulması zorunludur.

#### **2.4.2.2.Negatif Su Yalıtımı**

Temel alanının dıştan yalıtım yapmak için yeterli alana sahip olunmadığı veya yapı ömrü boyunca eksik ve hatalı uygulama sonucunda yalıtımın hasar görmesi durumunda veya hiç yalıtımın yapılmadığı fakat kullanım sürecinde suyun olumsuz etkilerine maruz kaldığı durumlarda, negatif su yalıtımı uygulanır.

Negatif su yalıtımı yapının içinden uygulanır. Bu teknikte yalıtım örtülerinin yanı sıra kristalize penetranlar, çimento esaslı sürme malzemeler veya likit yalıtım malzemeleri kullanılabilir. Bu malzemeler, beton malzeme ile oluşturulmuş yapı elemanlarının içinde bulunan boşlukları yüzeysel olarak doldurarak suya karşı yalıtım sağlar.

***Çimento esaslı yalıtım malzemeleri***, temizlenmiş ve kurutulmuş yapı yüzeylerine fırça, mala veya spreyle uygulanır. Çimento esaslı yalıtım malzemeleri uygulama alanında toz halde getirilirler. Uygulama şekli bağlı olarak firmanın önerdiği miktarda su ilave edilerek yatay ve düşey yüzeylere uygulanır ve kürünü almaları beklenir. Bu malzemeler esnek bir yapıya sahip olmadıkları için yapı ile birlikte hareket edemezler. **Ayrıca yapı düşeyde ve yatayda kesintisiz olarak sarma kabiliyetine sahip değildirler bu sebeple zaman içinde oluşabilecek yapı hareketleri altında yeterli esnekliği gösteremeyerek çatlak ve etkinliklerini yitirirler.**

***Likit uygulanan yalıtım malzemeleri de*** sıvı olarak temizlenmiş yüzeylere uygulanırlar. Kullanılan malzemenin özelliklerine uygun bir kat astar sürüldükten sonra fırça, rulo,

sprey veya mala ile yüzeye uygulanırlar. Kürü talanlandıktan sonra gerekiyorsa bir kat daha sürülebilir. İşlem tamamlandıktan sonra yalıtım düşük dozlu bir beton ile koruma altına alınır ve kaplam malzemelerinin uygulamasına geçilir.

***Su yalıtım örtüleri***, yapı içinde yatayda ve düşeyde kesintisiz olarak taşıyıcı sistemi saracak şekilde yapıştırılır. Yapının taşıyıcı sistemi yalıtım örtülerini ayakta tutacak bir sert zemin oluşturur. Faka yüklerin yalıtım tabakası üzerinde eşit olarak yayılmasının sağlanması amacıyla yalıtım örtülerinin ikinci bir tabak ile sıkıştırılması gerekir. Bu sebeple yalıtımın üzerine ikinci bir beton iç çanak yapılır. Bu sayede hem yalıtım koruma altına alınmış olur, hem de yükler eşit olarak yalıtım tabakasına iletilir.

**Negatif su yalıtımının yapının içinden uygulanması, zaman içinde yatay veya düşeyde yapılacak herhangi bir tadilat sırasında yalıtım tabakalarının hasar görme riskini oldukça yükseltir.** Bunun dışında yapı zemin ve yeraltı suyuna karşı tamamen korunmasız kalır. Yalıtımın dıştan uygulandığı durumlarda su öncelikle koruyu tabakaya sonrada yalıtım tabaksına ulaşır ve beton ile teması engellenir. Fakat negatif uygulamalarda su direkt olarak yapı ile etkileşim halindedir.



### **3- SUYA KARŞI GEÇİRİMSİZLİĞİ SAĞLANAN BETON MALZEME İLE YAPI YERALTI KABUĞUNDA YALITIMIN SAĞLANMASI**

Yeraltı suyunun yapıdan uzaklaştırılmasında kullanılan teknikler bazı durumlarda yetersiz kalır. Özellikle sistemin yanlış seçilmesi ve hatalı uygulanması durumunda beton malzeme tek başına su ile etkileşime girmek zorunda kalır.

Suyun yapıdan uzaklaştırılmasında kullanılan drenaj borularının etrafında filtre görevini görmesi amacıyla çok küçük çaplı çakılların kullanılması, boruların tıkanmasına neden olur. Bu nedenden dolayı yapı etrafında biriken suyun bulunduğu zayıf noktalardan yapıya girmesi kaçınılmazdır. Eğer yalıtım kuralına uygun olarak uygulanmamış ise suyun basınçlı etkisi yalıtım tabakasının zayıflamasına ve ek yerlerinin açılmasına neden olur. Bu durumda, sırt duvarının zeminle temas ettiği noktadan ve hasarlı bölgelerden yapı içine su girebilir. Ayrıca yalıtımın uygulandığı yüzeylerin pürüzlü olduğu durumlarda da yalıtım yüzeylere iyi yapışamaz, bu yüzden suyun basınç etkisine karşı koyamaz. Dolayısıyla yalıtım zarar görür. Zarar gören yalıtım da işlevini yerine getiremez ve beton malzeme tekrar su ile karşı karşıya kalır. Bu sebeplerden dolayı öncelikle beton gerecin kendisinin suya karşı geçirimsiz olarak üretilmesi gerekir. Fakat boşluklu bir yapıya sahip olan beton tek başına suya karşı koyamaz. Özellikle, bileşenlerinin karışım oranlarının sabit granülometriye uygun olmadığı ve istenilen niteliklere sahip olmadığı durumlarda ve taşıma, döküm, bakım aşamalarında oluşan hata ve aksaklıklardan dolayı, beton sürekli veya aralıklı olarak suya maruz kalarak kalıcı hasar görür. Ayrıca, boşluk sayısına bağlı olarak betonun bünyesinde ilerleyen su, yapı elemanı içinde bulunan çelik donatıyı korozyona uğratarak yapının taşıyıcılık özelliğini kaybetmesine neden olur. Yeraltı suyu ile birlikte yapıya ulaşan sülfat vb. kimyasallar da yalıtım örtülerinin hasar görmesine yol açarak beton üzerinde de büyük hasarlar yaratırlar. Bu nedenle betonun sudan ve onunla birlikte etki eden zararlı iyonlardan korunması için kusursuz uygulanmış bir yalıtım sistemine ek olarak, iyi hazırlanmış, yetersiz özelliklerini iyileştirici yönde etkili katkı maddeleri ve geçirimsizliği sağlayacak nitelikteki bileşenlerle üretilmesi gerekir.

### 3.1. Betonun Oluşturan Malzemeler ve Geçirimsizliğe Olan Etkileri

Beton, agrega olarak tanımlanan taş, çakıl veya mıcır gibi mineral malzemelerin, çimento ve suyun birleşmesi ile oluşan, kendi başına taşıyıcı bir kompozit malzemedir. Harcın içine giren çimento, kum ve iri agregaların birbirine bağlanmasını sağlar. Kum ise, betonun asıl iskeletini oluşturan iri agregaların aralarını doldurarak betonun kompositesinin artmasını sağlar. Betonun birden çok bileşenden oluşmasına rağmen, gerecin karşı karşıya kalabileceği etkilere karşı tüm bu bileşenler bir bütün olarak davranırlar.

Betonu oluşturan tüm bu bileşenlerin birbirlerine sıkı bir şekilde bağlanarak dolu bir yapıyı oluşturması gerekir. Aksi durumda, su oluşabilecek boşluklardan ilerler. Bu nedenle bileşime giren her gerecin karışım miktarı detaylı hesaplar sonucunda belirlenir. Herhangi bir malzemenin eksilmesi veya hesaplanan oranların dışında bir oranda kullanılması, doluluk oranının düşmesine ve dolayısıyla istenilen performansın düşmesine neden olur. Dayanıklı, dirençli ve dolayısıyla geçirimsiz bir beton elde edebilmek için beton;

- Yüksek dayanıma sahip,
- İşlenebilir,
- Dış etkilere karşı dayanıklı (durabilitesi yüksek) olmalıdır.

Dayanım, betonun diğer tüm özelliklerini etkileyen bir etkidir. Dayanımı yüksek bir beton aynı zamanda geçirimsiz, durabilitesi yüksek ve minimum poroziteye sahiptir. Bu koşulları sağlayabilmek için mutlaka beton **maksimum dolulukta** üretilmeli ve bunu sağlayacak iyi nitelikte agrega, çimento ve su kullanılmalıdır.

### 3.1. Agrega

Agregalar betona dayanım ve sertlik özelliği kazandıran bileşenlerdir. Bu yüzden beton yapımında kullanılacak olan agregaların kaliteli aynı zamanda basınca ve diğer dış etkenlere karşı dayanıklı seçilmesi gerekir. Agregaların dayanıklı seçilmesi durabilite ile birlikte, yeraltı suyunun sürekli oluşturduğu basınç etkisine karşı, betonun dayanıklı olmasını da sağlar. Düşük dayanıma sahip agregalar, zemin suları ile birlikte betona

gelen sülfat ve asitlere karşı dayanım gösteremez. Yüzeyinde aşınmalar oluşan betonunun geçirimsizlik özelliği de azalır ve istenilen performansı sergileyemez. Ayrıca bu olay, betonun donmaya karşı direncini de azaltarak genleşme ve büzülmelere uğramasına ve deforme olarak çatlamasına neden olur.

Agrega yüzeylerine yapışan kil, silt, organik maddeler, kömür taneleri vb. gibi hiçbir şekilde taşıyıcılık ve aderans özelliğine sahip olmayan maddeler, karışım içerisindeki teorik agrega miktarını arttırdığı için betonun dayanımının düşmesine neden olurlar. Bu ince ve dayanıksız maddeler, agregalar ve onların bir araya getiren bağlayıcı madde ile oluşturdukları arakesite yerleşerek aralarındaki aderansın zayıflamasına neden olur. Birbirine tutunamayan agregalar boşluklu dolayısıyla da geçirimli betonun oluşmasına neden olur. Ayrıca iri tane gibi gözüken kil, silt gibi maddeler, basınca maruz kaldığı zaman ufalanarak dayanımsız çok ince bir madde haline dönüşür. Madde boyutlarında oluşan bu değişim de betonun mikro yapısında boşlukların gözlemlenmesine yol açar. Bu yüzden hazırlanacak karışımda, istenmeyen bu yabancı maddelerden arınmış temiz ve dayanıklı agregalar seçilmesi daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Eğer ocaklardan veya dere yataklarından elde edilen agregalar çimento ile aralarında oluşan aderansı zayıflatacak ve betonun dayanımını düşürecek kil, organik maddeler, sülfat gibi yabancı elementleri içeriyorsa mutlaka iyice yıkanmalıdır.

Dayanımı yüksek bir beton elde etmek için agregaların taşınması gereken bir diğer özellik, şekillerinin yuvarlak ve köşesiz olmasıdır. Bu sayede iri tanelerin arasındaki boşluklara daha ince taneli agregalar girer ve daha dolu bir karışımın oluşması sağlanır. Ayrıca iri tanelerin kırılması ile oluşan agregalar da köşeli özelliğe sahip olabilir. Köşeli ve yassı formdaki tanelerin arasına ince agreganın girmesi zorlaşır ve boşluklu bir beton elde edilir. Elde edilen bu boşluklu beton hem suyun kolayca ilerlemesine olanak verir hem de malzemenin mukavemetinin düşmesine yol açar. Bu özellikteki agregaların ağırlıkça oranının %15'i geçmemesi gerekir. Bununla birlikte iyi nitelikteki agregalarında karışım içinde normal şartlarda ortalama ağırlıkça %75 civarında bulunması maksimum doluluk oranı için istenilen bir değerdir (Akman 1990).

Agreganın betonun taşıyıcı özelliğini kazanmasında önemli bir rolü vardır. İnce taneli agrega da bu iri tanelerin aralarında oluşan boşluklara girerek malzemenin daha dolu bir

hale gelmesini sağlar. Betonun oluşturan her malzemenin betona kazandırdığı ayrı bir niteliği vardır. Malzemelerin kendi özelliklerini karışım içerisinde etkin bir şekilde gösterebilmesi ve maksimum doluluğunun sağlanması için hangi oranlarda karışıma ilave edileceklerinin de saptanması gerekmektedir. Bu oranlar boyutları TS'larına göre hazırlanmış 0,25–31,5 mm arasında değişen değerlere sahip elek boyutları ile belirlenir. Kare gözlü eleklerden elenerek elde edilen farklı tane çaplarına sahip agregalar Şekil 3.1'de gösterilmektedir. 4 mm'lik elekten geçen taneler kum, 4 mm'lik eleğin üzerinde kalanlar ise iri taneli olarak nitelendirilir. Özellikle, granülometrisi hesaplanırken 4mm'lik elekten geçebilen kilin çimento ile agreganın aderansının neredeyse sıfıra indirmesinden dolayı ince agrega olarak kullanılmaması gerekir. Buna bağlı olarak beton agregası olarak kullanılacak agrega çeşitleri ve boyutları Çizelge 3.1'de belirtilmiştir (Akman 1990).

Standart granülometri eğrisine uygun, yüksek yoğunluğa sahip agregalarla hazırlanmış beton, diğer örneklere göre daha ekonomik ve yüksek dayanıma sahiptir. Granülometri hesaplarının sonunda varılmak istenilen nokta, en az 28. gün olmak üzere istenilen günde istenilen dayanıma erişmesi ve taze betonun uygun işlenebilirlik kıvamını sağlamasıdır (Erdoğan 2003).



**a)** **b)**  
**Şekil 3.1.** Farklı tane çaplarına sahip agrega çeşitleri (Z.Şimşek arşivi 2005)

Betonda olduğu gibi agregaların da içinde boşluklar bulunabilir. Bu boşluklarda depolanan suyun, betonun sertleşmesi sürecinde oluşan hacim değişiklikleri üzerinde büyük etkileri vardır. Hidratasyon sonucu oluşan bileşiğin kurumması sonucunda, doymuş hale gelmiş agrega tanelerinden çimento hamuruna doğru bir su akışı gerçekleşir. Bunun sonucunda ise karışımın bağıl nem oranı nedeniyle boşluk oranı artar.

**Çizelge 3.1.** Agrega tane boyutunun kullanım yeri

Tane Boyutu	0 - 2 $\mu$	2 $\mu$ - 60 $\mu$	60 $\mu$ - 4mm	4-31,5mm	31,5mm - 70 mm
Tane türü	kil	silt	İnce ag.	İri ag.	Balast
Kullanım yeri	Beton agregası için uygun nitelikte değil		Beton agregası		Özel kütle agregası (baraj, yol)

Beton içindeki agregaların suya ve etkilerine karşı dayanıklılığı sağlayabilmeleri için,

- Basınç dayanımının yüksek olması, dağılmaması için yeterli mekanik dayanıma sahip olması,
- Basınç dayanımını düşürecek yabancı tanelere sahip olmaması,
- Don etkisine karşı dayanabilmesi,
- Suya karşı kararlı olması, su ile karşılaştığında şişmemesi,
- Sülfat etkisine yol açmaması,
- İstenmeyen kimyasal reaksiyonların oluşmasına yardımcı olmaması,
- Çimento hamuru ile aderansını bozan yabancı maddelerden arınması,
- Sert, dayanıklı ve boşluksuz olmaları,
- Yassı ve uzun taneler içermemeleri, gerekmektedir.



Agregaların tüm bu etkilere karşı dayanıklılığını belirlemek amacıyla beton laboratuvarlarında şekil 3.2'deki gibi içinde agrega yüzeylerine çarparak parçalamaya çalışan bilyeler bulunan bir aletle, aşınma deneyleri yapılmaktadır. Bu deney sonunda elde edilen değerler doğrultusunda beton agregaları seçilir.

**Şekil 3.2.** Agrega aşınma dayanım aleti (Sinta Beton Laboratuvarları Z.Şimşek arşivi 2005)

### 3.1.2. Çimento

Çimento belli oranlarda karıştırılan kil ve kalker (% 23 kil, % 77 kalker) karışımının 1200–1450 °C dereceleri arasında pişirilmesinden sonra % 3 oranında alçı taşı ilave edilerek 1mm'lik tane çaplarına sahip olana kadar öğütülmesi sonucu elde edilen, havada ve suda katılaşma özelliği gösteren, gri veya beyaz renkli, inorganik esaslı bir bağlayıcı türüdür.

Agreganın beton malzemeyi oluştururken bir bütün olarak davranması için, bütün tanelerinin birbiri ile iletişim halinde olması gerekir. Çimento bu durumda önemli bir görev üstlenir. Tanelerin bir bütün olarak davranmasını sağlayarak, tanecikler arasında fiziksel ve mekanik bir bağ oluşmasını sağlar. Çimentonun bu bağlayıcılık özelliğini kazanabilmesi için mutlaka bir kimyasal reaksiyonun başlaması gerekir. Bunun için, kullanılan çimento ağırlığının %20 oranında su karışıma ilave edilir. Bu kimyasal reaksiyon sırasında hidrasyon ısı açığa çıkar. Bu süreç boyunca çimento katılarak plastik deformasyon kabiliyetini kaybeder. Priz süresi boyunca maksimum mukavemete erişir. Betonun yüksek basınç dayanımına ve geçirimsizliğe sahip olmasında çimentonun,

- İnceliğinin,
- Prizin ve
- Hidrasyon ısısının da etkisi vardır.

#### Çimentonun İnceliği

Çimento, fırından çıkan klinkerin öğütülmesi sonunda boyutları genel olarak 90 mikrondan küçük olan tanelerden oluşur. Genel olarak çimentolarda boyutları 90 mikrondan büyük tanelerin miktarının % 14'den fazla olmaması istenir. Çimentoda boyutları 90 µ'dan çok küçük tanelerde yer almaktadır. Klinker tanelerinin boyutları ne kadar küçültülüyorsa yani taneler ne kadar inceltilyorsa, çimentonun inceliği o kadar fazlaşıyor veya yükseliyor demektir. Bu sebeple, inceliği yüksek olan bir çimentoyu meydana getiren taneler çok küçük boyutlara sahip bulunmaktadır. Çimentonun incelik miktarı bağlayıcılık kapasitesinin artması bakımından önem kazanmaktadır. İnceliği fazla olan çimento aynı ağırlığa fakat daha çok taneciğe sahip olduğu için agrega tanelerinin yüzeylerini daha iyi sararak aderansın daha kuvvetli oluşmasını sağlar.

Aderansın kuvvetli olması da betonun mukavemetini büyük ölçüde artırır ve betonun yapısındaki boşluk miktarının olabildiğince azalmasında etkili olur (Akman 1990).

Çimentonu inceliğinin beton üzerindeki ikinci önemli rolü ise incelik miktarı yüksek olan harcın, hidratasyon sürecinde çimentonun özelliklerinin kazanması olarak bilinen hidratasyon sinetiğinin hızlanmasıdır (Ünal 2004).

Gerçekten incelik arttıkça su ile temasa geçen çimento tanelerinin toplam yüzeyinde önemli bir artış olur. Aynı ağırlıktaki daha fazla yüzey ile temas eden su, hidratasyon hızını da artırır. Çimento taneciklerinin boyutları 0,1 mm/den veya 100  $\mu$ 'dan büyük olanları hidratasyona olayına girmezler. Boyutları 10–24  $\mu$  arasında bulunan taneler arasında ise hidratasyon hızlı bir şekilde gelişebilir ve bağlayıcı madde mukavemeti büyük değerler alabilir. Fakat 10  $\mu$ 'dan küçük tanelerin çimento içinde belirli oranlarda bulunması bağlayıcılığın ve mukavemetin önemli ölçüde artmasını ve taze betonun plastik kıvama sahip olmasını ve *yeterli derecede bir geçirimsizliğin* elde edilmesini sağlar. Ayrıca çimentonun çok miktarda ince taneciğe sahip olması, daha karıştırılırken çimentonun bağlayıcılık özelliğini kazanmasını sağladığından, düşünüldüğünün aksine betona olumsuz özellikler kazandırır. Özellikle 2,5  $\mu$ 'dan küçük tanelere sahip çimentonun kullanılması yeterli bağlayıcılığın dolayısıyla aderansın gerçekleşmesine olanak vermeyeceğinden mukavemeti yüksek ve geçirimsiz betonların elde edilmesinde kullanımı uygun görülmemektedir.

Çimentonun incelik oranı dayanımın düşmesi dışında başka etkilere de yol açar.

- İnce tanelere sahip çimento yüzeylerini ıslatmak için daha çok suya ihtiyaç duyulur. Su çimento oranının artması dayanımı düşüren bir etkidir.
- İnce taneli çimento beton içinde daha homojen dağılır ve agrega yüzeylerine daha iyi tutunarak agrega–çimento ara yüzeyini olabildiğince dolu olmasını sağlar.
- Tane çapı inceldikçe ilk ıslanma ile başlayan fiziko-kimyasal olay sonucu daha çok ısı açığa çıkar (Akman 1990).

### **Çimentonun Prizi**

Plastik kıvama sahip olan bir bağlayıcı maddenin belirli bir süre sonra sertleşerek şekil verilmeye direnç göstermesi ve plastik deformasyon yapma kabiliyetini kaybetmesi olayı *priz* olarak tanımlanır. Priz olayı bağlayıcı maddenin sertleşmesi ile başlar. Çimentonun priz süresini sıcaklık, karışım suyu ve bekleme süresini etkiler.

Sıcaklık derecesinin artması, kimyasal bir reaksiyon olan hidrasyon olayının hızlanmasına, azalması ise hidrasyon olayının kısılmasına neden olur. Harcın içine giren karışım suyunun miktarındaki artış da priz sürelerinin artmasına sebep olur. Ayrıca çimentonun uzun süreli beklemesinden dolayı taneciklerin nemlenmesi prizin daha geç başlamasına neden olur. Harcın dayanımı, betonun dayanımını ve geçirimsizliğini de doğrudan etkilediğinden, betondan istenilen niteliğin elde edilebilmesi için priz süresinin bir saati geçmemesi gerekir. Bu sebeple çimentonun harcın hazırlanmasından sonra, betonyerden çıkan betonun döküleceği yere taşınması, kalıbına dökülmesi ve yerleştirilmesi için geçen toplam süre yaklaşık bir saat olmalıdır. Aksi takdirde, priz süresi başlayan harç sertleşerek bağlayıcılık özelliğinin kaybeder ve dayanımında ciddi ölçüde düşme gözlenir. Ancak bu süre betona karışım anında çimento ağırlığının en fazla % 2 oranında ilave edilen özel katkıları ile uzatılabilir (Ünal 2004).

### **Hidrasyon ısı**

Bağlayıcı maddeler, priz esnasında, karmaşık bileşimlerin su ile yapmış olduğu kimyasal reaksiyon sonucu bir miktar ısı açığa çıkarırlar ki; buna hidrasyon ısı denir. Hidrasyon olayının uzun sürmesi durumunda açığa çıkan ısı miktarı da sürekli olmakta ve açığa çıkan ısının toplam miktarı senelerce artmaya devam etmektedir.

Bu süreç sonucunda açığa çıkan ısının fazla olması durumunda beton, bünyesine gerekli olan suyu buharlaşma etkisi ile kaybeder. Özellikle kuru ortamda çimento hamurunun suyunu kaybetmesi ile oluşabilecek rötre değeri, jel suyunun fazla olması durumunda ağırlıkça artması sonucu meydana gelen şişme değerinden çok daha yüksek olmasından dolayı, beton çatlayarak dış etkilere açık bir yapıya sahip olur. Görüldüğü gibi; betona suyun dıştan etki etmesinin zararlı olmasının yanı sıra, bünye suyunun azalması da bu olumsuzlukları tetikler. Bu nedenle maksimum mukavemete erişince kaybedeceği



bünye suyunu geri kazandırmak ve hidratasyon ısısını düşürmek amacıyla, çimento hamurunu mümkün olduğunca nemli ortamda muhafaza etmek gerekir. Bunun dışında hidratasyon ısısını düşürmek için,

- Hidratasyon ısısı düşük olan bir çimento kullanmak,
- Beton üretiminde düşük sıcaklıklarda bileşenlerin kullanılması, (su yerine buz katılması ve bileşenlerin gölgede depolanması, v.b )
- Ortam sıcaklığının yüksek olduğu durumlarda beton dökülmemesi gerekiyorsa hidratasyon ısısını düşüren katkıları kullanılması gerekir.

Ayrıca yüksek hidratasyon ısısı sonucunda rötre etkisiyle oluşabilecek çatlakları engellemek için, çimentonun hacimce genişlemesini sağlayan sülfö-alümin ve yüksek fırın cürufu gibi katkı malzemeleriyle hazırlanması, suyun beton içine geçmesini sağlayacak çatlakların oluşmasını engellemede yardımcı olur (Eriç 2002).

#### **Çimentonun dayanıma etkisi**

Hidratasyon hızının yavaş veya hızlı olması çimentonun özelliklerinin dayanım üzerindeki etkilerini belirleyen en önemli etkenlerdendir. Hidratasyon hızının artmasıyla çimento özelliklerine daha kısa bir süreç içerisinde kazanacak ve betona kazandıracığı mukavemet değerleri oldukça yüksek olacaktır.

Çimento inceliğinin veya özgül alanın artması ile bağlayıcı madde daha hızlı mukavemet kazanır. Bunun sonucunda 7, 28 ve 90 günlük mukavemetlerinde büyük artışlar elde edilir. Fakat inceliğin artması hidratasyon hızını arttırırken belirgin bir ölçüde çimentoların en son mukavemetlerinde bir artış meydana getirmez (Ünal 2004).

Çimentonun yapısını oluşturan kimyasal bileşenlerin bağlayıcı maddeyi oluşturduğu oranları da mukavemetin aldığı değerler açısından önemlidir. Buna bağlı olarak bir portland çimentosunda  $C_3S$ 'in deneylerle belirlenen optimum miktarlardan daha fazla miktarda bulunması kısa süre içerisinde çimentonun çok daha fazla miktarda hidratasyon yapmasına yol açar. Buna karşın, portland çimentosunu oluşturan diğer bir önemli bileşen olan  $SiO_2$ ,  $CaO$  veya  $C_2S$ ' in hidratasyonu oldukça yavaşlattığı için bu bileşimin çimento içinde fazla miktarda bulunması mukavemetin daha yavaş bir şekilde artmasına ve daha düşük değerlere ulaşmasına neden olur.

Çimentonun dayanım üzerindeki bir diğer etkisi ise hidratasyon sonucu oluşan kimyasal bileşiklerinin oluşturduğu etkidir. Hidratasyon sonucunda  $C_3A'$  ın  $C_3S$  bileşiklerinin oluşturması sonucunda oluşan boşluklar betonun mukavemetini önemli ölçüde düşürür (Ünal 2004).

### **Çimentonun geçirimsizliğe olan etkisi**

Betonun permeabilitesi yapısında oluşabilecek çatlaklar dışında mikro yapısında oluşan boşluklarla da ilişkilidir. Bu boşluklar, çimento hamurunda oluşan kapiler ve jel boşluklardan ibarettir.

- Çimentonun içinde oluşan ***jel boşlukları***, hidratasyon ürünlerinin yapısında bulun boşluklardan ibarettir. Hidratasyon sonucu açığa çıkan ürünler arttıkça jel boşlukların sayısı da bu oranda artmaktadır. Fakat su, bu boşluklarda kapiler boşluklarda olduğu gibi rahatlıkla hareket edememekte; bu yüzden boşluklara hapis olmaktadır. Ayrıca bu boşluklardaki su serbest sular gibi donamadığı için hacim genişlemesine de yol açamaz. Bu yüzden jel boşluklarının geçirimsizliğe sanıldığı gibi fazla bir etkisi yoktur. Esas etkili olan kapiler boşluklardır.
- Çimentonun su ile tepkimeye girmesi sonucu oluşan hamuru, ***su dolu küçük boşluklardan ve çimento tanelerinden*** oluşur. Bu su dolu boşlukların birbirleri ile iletişim kurmasını sağlayan kapiler kanallar bulunur. Hidratasyon sonucu ortaya çıkan ürünü de kapsayan çimento jelinin daha büyük hacme sahip olmasından dolayı genişleyen tanecikler bu boşlukları doldurmaya başlar. Çimento jeli ne kadar çok olursa, suyun geçmesine olanak veren çimento hamurundaki kapiler boşluk oranında da o kadar azalır. Ayrıca çimento hamurunun yapısında başlangıçta yer alan boşlukların miktarı çimento hamurunu oluşturan su/çimento oranına bağlı olarak da değişkenlik gösterir. Su/çimento oranı arttıkça çimento hamuru içinde yer alan kapiler boşluklarda artar. Kapiler boşluk oranı artınca, sertleşmiş çimento hamurunun dayanımı daha az olmakta, su geçirgenliği daha çok olmakta ve dayanıklılığı azalmaktadır (Erdoğan 2003).

Ayrıca çimento hamurunun yapısının kimyasal etkenler ile bozulmaya uğraması sonucunda da boşluklu bir yapısı oluşabilir. Özellikle yerkabuğuna etki eden  $ph < 7$  olan sular veya bünyesinde asit etkisi meydana getiren karbondioksit gazı bulunan sular, çimentonun erimesine yol açarlar. Amonyum, potasyum ve kalsiyum sülfat gibi maddeler de su ile birlikte karışıma girerek kimyasal reaksiyonların oluşmasını ve bunun sonucunda da çimentonun zarar görmesine neden olur. Ayrıca deniz suyu ile etkileşim halinde bulunan yapılarda, suyun içinde bulunan magnezyum klorürün de çimento üzerinde zararlı etkileri vardır.

Agregalarla çimentonun sıkı bir şekilde birleşmesi için aralarında oluşan boşlukları dolduran çok ince granüllü, çimento kütlesi ile yer değiştiren ve betonun geçirimsizliğini ve dayanımını artırıcı yönde nitelik sağlayan katkı maddelerinin kullanılması gerekmektedir. Uçucu kül ve silis dumanı ilave edilmiş çimentolar, istenilen inceliği ve performansın sağlanmasına yardımcı, etkili katkılardır. Örneğin, Massazza'nın bu konu ile ilgili yaptığı deneylere bakılacak olunursa, portland çimentosunun ağırlığının % 40'ı yerine öğütülmüş silis katılması sonucunda 20 °C'de kür edilmiş çimento hamurunun 28 günlük dayanımı azalırken, 180 °C'de buhar kürü uygulanması durumunda ise dayanım artmaktadır. Ayrıca çimentonun dayanımını arttırmak için 50 MPa basınç veya 400 °C sıcaklık uygulaması da yeterli olabilir. Tüm bu uygulamalar sonucunda basınç dayanımlarını 680 MPa değerine çıkarmak mümkündür (Massazza 2001).

Çimento ve agrega arasında oluşan ara yüzeylerin güçlendirilmesinde uçucu küllerin kullanımı, diğer katkılara oranla çok daha ekonomiktir. Çimento ağırlığının yaklaşık % 75 oranında uçucu kül kullanımı ile betonun basınç değerini 100 MPa değerine çıktığı Massazza'nın deneylerinde açık bir şekilde görülmektedir. Ayrıca yeraltı suları ile betona etki eden sülfatlara karşı dayanıklılık sağlayan "sülfata dayanıklı çimentoların" kullanımı yerkabuğu elemanlarının uzun dönem performansı için önemli bir etkidir.

### 3.1.3. Su

Su, betonun plastik özelliğini kazanmasını sağlayan, çimentoya bağlayıcılık özelliği kazandıran, dayanımını önemli şekilde etkileyen ayrıca özgür tasarımlarda esnek formların oluşturulmasında gerekli olan, işlenebilirliğin sağlanması için son derece önemli bir bileşendir. Tüm bu olumlu özelliklerinin yanı sıra; etki şekline ve miktarına bağlı olarak betonun zarar görüp niteliğini yitirmesine neden olur. Beton için gerekli olan su, yapım esnasında '*karışım suyu*' olarak betonun içine girerken betonun sertleşme evresinde hidrasyon ısısını düşürmek, çatlamasını engellemek, kimyasal reaksiyonların devamlılığını sağlamak ve bünye suyunun buharlaşıp azalmasını engellemek için '*kür suyu*' olarak betonla buluşur. Her iki durumda su; içilebilir nitelikte, kısacası yabancı maddelerden özellikle sülfat ve asitlerden arınmış olmalıdır. Ancak bu şekilde betondan istenilen performansı elde edebiliriz.

- **Karışım suyu:** Betonun diğer bileşenleri olan agrega ve çimento gibi betonun oluşturulmasını sağlar. Betonun karıştırılmasında kullanılan karışım suyunun iki önemli görevi bulunur.

1. Çimento ile birleşerek çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonların (hidrasyonun) başlamasını sağlamak,
2. Betonun karıştırılma evresinde agrega ve çimento tanelerinin yüzeyini ıslatarak, taze beton karışımında, homojen bir yapı oluşturarak istenilen işlenebilmeyi, betonun kolayca yerleştirilebilirliğini, sıkıştırılabilirliğini ve yüzeyinin düzeltililebilirliğini sağlamak (Erdoğan 2003).

Beton üretiminde kullanılacak karışım suyunun kalitesi ve miktarı da betonun dayanımını ve geçirimsizliğini önemli ölçüde etkiler. Kaliteli karışım suyu, betonun içinde boşlukların oluşumuna olanak verecek ve çimento ile su arasındaki kimyasal reaksiyonların hızını ve hidrasyonunu olumsuz derecede etkileyecek yabancı maddeleri barındırmamalıdır. Aksi takdirde taze betonun priz süresi, sertleşmiş betonun dayanımını ve dayanıklılığı önemli ölçüde etkilenir. Ayrıca betonarme yapılarıdaki betonun içerisinde yer alan demir donatılar daha kolay ve daha çok miktarda korozyona uğrayarak yapının taşıyıcılık özelliğini yitirmesine neden olur.

Beton üretiminde kullanılacak karışım suyu beton karışımının içerisindeki çimentonun hidrasyonunu ve taze betonun istenildiği gibi işlenebilmesini sağlayabilecek miktarda karışıma eklenmelidir. Hesaplanandan daha az miktarda su kullanılması sonucunda yeterli hidrasyon ve işlenebilme elde edilememekte, gerekenden daha çok miktarda su kullanıldığı takdirde ise betonun içerisindeki boşluklar artmakta, sertleşmiş betonun dayanımı ve dayanıklılığı azalmaktadır. Bu nedenle karışım suyunun betona girme oranı, dayanıma ve geçirimsizliğe direkt olarak etki etmektedir (Erdoğan 2003).

Betonun tasarım özgürlüğü sağlayan esnek birçok formun hayata geçirilmesine olanak veren bir malzeme olması, onun neden bu kadar yaygın olarak kullanılıyor olmasını en iyi açıklayan özelliğidir. Betona bu esnekliği veren özelliği hiç şüphesiz ki oluşumunu sağlayan karışım suyudur. Su/çimento oranının sabit kalmasını sağlayarak harca ilave edilen akışkanlaştırıcı katkı maddeleri, daha sıvı ve homojen bir harcın oluşturulmasına olanak vererek yapımında zor ve özel tasarlanmış her formun hayata geçirilmesini sağlar. Bu durumda, betonun kullanım yerine bağlı olarak karışım suyunun miktarında yapılacak düzenlemeler ile kuru, plastik veya akıcı kıvamlara ulaşmak mümkün olacaktır.

Karışım suyunun miktarına bağlı olarak değişkenlik gösteren bu kıvamlar hazır beton tesislerinin laboratuvarlarında yapılan yayılma deneyleri (slump vb.) sonucunda elde edilen değerlere bağlı olarak belirlenir. Abraham Hunisine doldurulan betonun serbest çökme miktarının 0 – 5 cm arasında olduğu durumlarda kuru kıvam, 5 – 10 cm. arasında olduğu durumlarda plastik kıvam, 10 – 15 cm. arasında olduğu durumlarda ise akıcı kıvamlar elde edilir (Şekil 3.3 ve 3.4).

Bu kıvamlar beton yapı elemanının formuna ve donatı sıklığına göre de şekillenir. Donatısı sık olan bir kalıp içine dökülen betonun homojen bir şekilde kalıba dağılması ve yapısındaki agregaların donatıların arasına rahat bir şekilde yerleşebilmesi için, bu tasarımlarda akıcı kıvamda betonun kullanılması zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.



**Şekil 3.3.** Akıcı kıvamlı beton (Z.Şimşek arşivi 2005)

Özellikle beton işçiliğinde, bilinç ve eğitim düzeyinin düşük olmasından dolayı taşıma, yerleştirme ve mastarlama işlemlerinin kolaylığı açısından 18–22 cm çökmenin elde edilmesi gerekmektedir. Fakat betonun bünyesindeki su/çimento oranının artmasının mukavemet azaltıcı yönde bir etki yaratacağı için akıcı kıvamın elde edilmesi, karışım suyunun oranının artırılmasının yerine akışkanlaştırıcı katkı maddelerinin kullanımı ile gerçekleştirilebilir.



a) Plastik kıvam



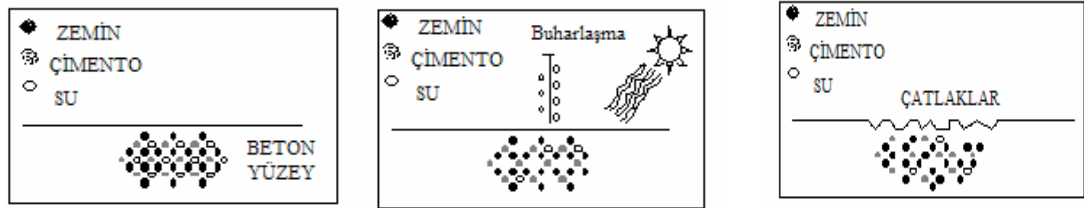
b) Kuru kıvam

**Şekil 3.4.** Taze beton kıvam deneyleri (Z.Şimşek arşivi 2005)

Ne yazık ki, şantiye ortamında elle hazırlanan betonlarda bu kıvam deneylerinin yapılması oldukça zordur. Karışıma ilave edilen su ancak ustanın göz kararı belirleyebileceği oranlarda olmakta, dayanıklı ve stabil beton sınıflarını elde

edilememektedir. Ancak, bilgisayar kontrolüyle istenilen oranlarda bir araya getirilen malzemelerin beton santrallerinde veya mikserde karıştırılması sonucu oluşturulan hazır beton, daha kontrollü ve hızlı, her türlü iklim koşullarında üretilebilir, standartlara uygun ve homojen özelliklere sahiptir.

- **Kür Suyu:** Hazırlanmış olan taze betonun içerisindeki suyun buharlaşarak azalmaması için, taze betona ilk bir-iki hafta süreyle bünye suyunun sabit kalmasını sağlayacak, çeşitli kür önlemleri uygulanır. Özellikle betondan istenilen dayanımın ve dayanıklılığın elde edilebilmesi için betonun içerisinde yer alan su ile çimento arasındaki reaksiyonların sürekliliğinin sağlanması gerekir (Şekil 3.5). Bu nedenle betonda zararlı kimyasal olaylara yol açacak veya beton yüzeyinin lekelenmesine neden olabilecek yabancı maddeleri barındırmayan kür suyu ile beton sulanır veya ıslak bezlerle örtülür (Erdoğan 2003).



**Şekil 3.5.** Betonun bünye suyunu kaybetmesi

(<http://www.renolith.com/waterpenetrationprotection.html>)

### 3.2. Betonun Mekanik Özellikleri

Yapı sürekli olarak statik ve dinamik yüklerin etkisi altındadır. Servis ömrü boyunca bu yükleri sağlam bir şekilde karşı koyabilecek dayanıma sahip olmaları gerekmektedir. Fakat betona karşı koyma kapasitesinden daha büyük boyutlarda yüklerin etki ettiği durumlarda, çok büyük şekil değişiklikleri oluşur ve hatta beton kırılabilir. Betonun, üzerine farklı yönlerde etki eden bu yükler değişik etkiler oluşturabilir. Betonun, üzerine gelen yükler sonucu basınç, çekme, eğilme ve kayma etkisi altında şekil değiştirmeye ve kırılmaya karşı göstereceği direnme kabiliyeti, sırasıyla basınç dayanımı, çekme dayanımı, eğilme

dayanımı ve kayma dayanımı olarak tanımlanır. Betonun bu yükler karşısında göstereceği davranışı onun mekanik özelliklerinden ileri gelmektedir (Erdoğan 2003).

Betonun basınç dayanım özelliği ile diğer özellikleri arasında doğrudan bir ilişki kurulabilmektedir. Basınç dayanımı yüksek bir beton daima yüksek geçirimsizliğe sahip ve dış etkenlere karşı dayanıklıdır. Bu nedenle betonun mekanik özellikleri arasında en çok aranan ve kullanılan dayanım özelliğidir.

### 3.2.1. Betonun Basınç Dayanımı

Eksenel basınç kuvveti altında betonun kırılmamak için göstereceği direnç kuvveti betonun basınç dayanımı olarak tanımlanır.

Beton esnek olmayıp gevrek bir yapıya sahip olduğu için, çekme gerilmelerine direnemeyip hemen çatlaklar, fakat bu yapısı sayesinde basınca karşı oldukça dayanım gösterir. **Ayrıca yüksek dayanımlı bir beton dolu, sert, su geçirmez, durabilitesi yüksek ve aşınmaya karşı dirençlidir.** Bu sebeple betonun mekanik dayanımları söz konusu olduğunda en önemli yere sahip olan özelliği basınç dayanımıdır.

Her üretilen beton yüksek dayanıma sahip değildir. Betonun basınç dayanımının değeri su, çimento miktarları ile betonun kompozitesi, kür koşulları ve üretim uygulama tekniklerine bağlı olarak değişkenlik gösterir.

#### **Basınç dayanımını etkileyen çimento ile ilgili faktörler**

Çimentonun cinsi ve miktarı basınç dayanımında etkilidir. Betonun daha yüksek dayanımlı olmasında, çimentonun yüksek dayanımlı olmasının etkisi büyüktür. Yapılan deneyler sonucunda aynı dozajda PÇ 500 ile üretilen bir betonun dayanımı, PÇ 32,5 ile üretilen betonunkinden yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunun sonucunda çimento dozajının artması ile mukavemetin de arttığı belirlenmiş olur. Bununla birlikte sadece çimento dozajı değil aynı zamanda su/çimento oranı da basınç dayanımını etkileyen etmenlerdendir.



Çimentonun agrega yüzeyleri ile kurdukları ilişki de basınç dayanımına etki eder. Bu ara yüzeylerde yeterli aderansın sağlanamadığı durumlarda bu noktalarda boşluklar oluşarak betonun dayanımı ve geçirimsizliği büyük ölçüde artar (Akman1990).

### **Basınç dayanımını etkileyen su miktarı ile ilgili faktörler**

Beton dayanımının yüksek veya düşük olması büyük ölçüde karma suyunun miktarına dolayısıyla da su /çimento oranına bağlıdır. Betonun bir diğer önemli özelliği olan işlenebilirlik için de suyun önemli bir yeri vardır. Fakat su işlenebilirliği artırırken dayanımı düşürmektedir. Ayrıca çimentonun hidratasyonu içinde mutlaka suya ihtiyaç vardır. Bu tepkimenin oluşabilmesi için çimento ağırlığının % 14'ü, hidratasyon ve jel yapısı için %25'i oranında karışım suyu gerekmektedir.

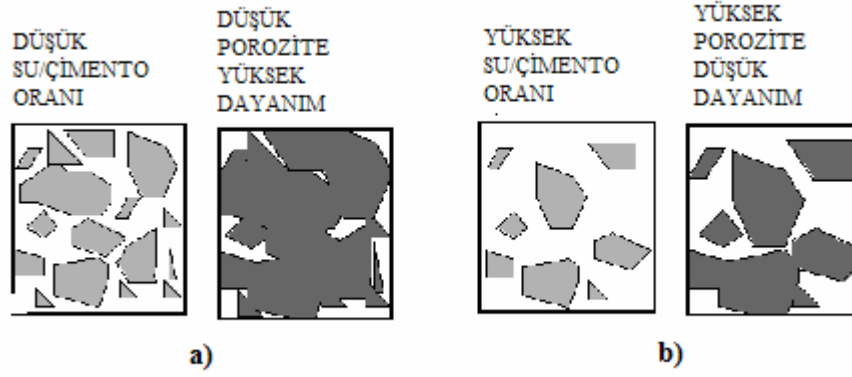
İyi bir işlenebilirliğin sağlanabilmesi için su/çimento oranının % 40 değerine ulaşması gerekir. Katılan fazla suyun bir kısmı buharlaşıp beton içinde kılcal boşlukların oluşmasına bunun sonucunda da dayanımın düşmesine neden olur. Bu sebeple son zamanlarda geliştirilen özel çimentolar ve yeni nesil süper akışkanlaştırıcı katkı maddeleri kullanılarak beton üretiminde suyun bağlayıcıya oranı % 16 olan çok yüksek mukavemetli betonlar üretilebilmektedir (Akman 1990).

### **Su/Çimento Oranının Betonun Dayanıklılığına ve Geçirimsizliğine Etkisi**

Su ve çimentonun özellikleri, betonun geçirimsizliğini belirleyen birer etken olmasına rağmen, bunların içinde betonu oluşturan su ve çimento oranı en önemli rolü üstlenen faktördür. Su-Çimento oranı (S/Ç) betondaki karışım suyu ile agrega yüzeylerinde bulunan su miktarının çimento miktarına bölünmesiyle elde edilen orandır. S/Ç oranı betonun,

- Geçirimsizlik,
- Dayanım,
- Sülfat direnci,
- Donma-çözülme,
- Rötire ve
- Aşınma direnci, özelliklerini etkiler.

Kimyasal olarak çimento hamurunun oluşmasında rol alan su, Şekil 3.6'daki gibi çimento hamur hacminin gözenekliliği ile beton dayanımı arasındaki ilişkiyi gösterir. Bu ilişki su-çimento oranı kuralının temelini oluşturan gerçektir.



**Şekil 3.6.** Su-çimento ilişkisini ve oranının belirleyen beton iç yapısının şematik çizimleri (Z.Şimşek)

Hidrate çimento hamuru gözenekliliğinin geçirimliliğin yanı sıra, dayanım üzerindeki etkisi, hidrasyon ilerledikçe dayanımın artması ile de anlaşılmaktadır. Gözenek sayısı, hidrasyon ürünleri daha büyük hacim işgal ederek hidrate olmamış çimentonun yerini aldıkça azalır.

Havanın betona sürüklenmesiyle de gözenekliliğin, dayanım üzerindeki etkisi ortaya çıkar. Su/çimento oranının sabit tutulması durumunda, betona sürüklenen her % 1 hava dayanımı yaklaşık %5 azaltmaktadır. Su çimento oranına bağlı olarak değişkenlik gösteren boşluk yapısı Çizelge 3.2' de belirtilmiştir (Aıtcın ve diğerleri 2003).

**Çizelge 3.2.** Su çimento oranına bağlı olarak değişkenlik gösteren boşluk oranları

Su/Çimento		0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Boşluk Hacmi %	Jel Boşluğu	7.2	6.3	5.6	5.0	4.6
	Kılcal Boşluğu	1.3	4.3	6.5	8.3	9.8
	Hava Boşluğu	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	Toplam Boşluk	10.0	12.1	13.6	14.8	15.9

Tüm bu araştırmaların sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda optimum miktardan daha az su kullanılması;

- Hidratasyonun tamamlanması için gerekli suyun bulunmamasından dolayı bir miktar çimento tanesi hidrate olamayarak gerekli çimento hamurunu oluşturamayacaktır.
- Agrega tanelerinin yüzleri tamamen ıslanmayacak ve bu yüzden tane ile çimento arasındaki aderans zayıflayacaktır.
- Betonun işlenebilme özelliği yeterli bir düzeyde bulunmayacaktır.

Bütün bu gelişmelerin sonunda boşlukları tamamen doldurulmamış ve hidratasyonu tamamlanmış dolayısıyla da düşük mukavemetli bir beton elde edilecektir.

Betona ilave edilen suyun optimum miktardan çok olması halinde ise, çimento hamurunun mukavemeti azalır. Fazla su, beton bileşenlerinin aderansını etkileyerek aralarında boşlukların oluşmasına neden olur. Oluşan bu boşluklar suyun ilerlemesine olanak verir ve düşük mukavemetli betonun oluşmasına neden olur. Beton üretiminde en uygun su miktarından daha fazla veya daha az oranlarda su kullanılması, daima mukavemetin azalmasıyla sonuç bulacaktır. Çizelge 3.3 de su/çimento oranı ile mukavemet ve dayanıma etki eden diğer etkenlerin arasındaki ilişki gösterilmektedir. Çizelge 3.4’de de su/çimento oranının betonun özelliklerine etkisi belirtilmektedir.

**Çizelge 3.3.** Beton içine giren su oranının mukavemete etkisi  
(Ünal 2004).

<b>Su miktarın optimum değeri</b>	<b>Mukavemet oranı</b>
% 10eksik olması	% 10 azalmaya
%20 eksik olması	%60 azalmaya
%20 fazla olması	%30 azalmaya
%30 fazla olması	%50 azalmaya
%100 fazla olması	%80 azalmaya neden olur.

**Çizelge 3.4.** Su/çimento oranının betonun özelliklerine etkisi (Anonim 4)

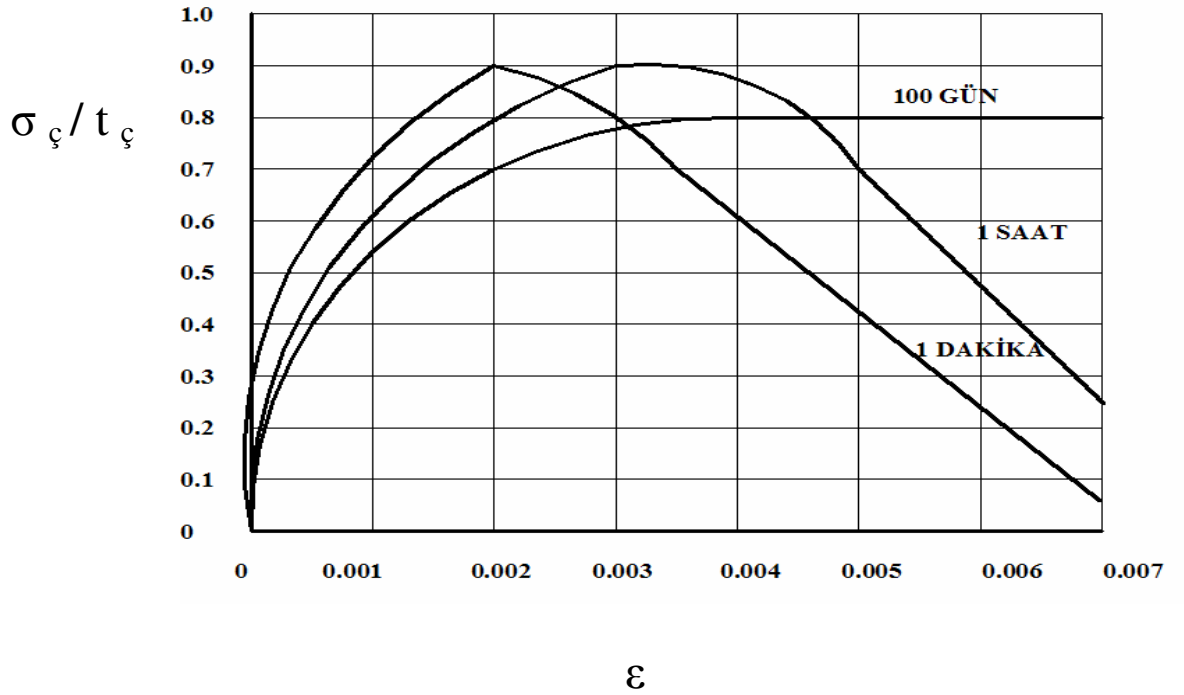
<p><b>GEÇİRİMLİLİK</b></p> <p>Su-çimento oranı, özellikle 0.5'in üstündeki değerlerde betonun geçirimliliğini önemli ölçüde artırır.</p>	
<p><b>DAYANIM</b></p> <p>Betonun su çimento oranı azaldıkça dayanımı artar. Betonun dayanımının artması onun diğer özelliklerinin de iyileşmesine yardımcı olur.</p>	
<p><b>SÜLFAT DİRENCİ</b></p> <p>Betonun sülfatlara karşı direnci kullanılan çimentonun içerdiği C<sub>3</sub>A miktarı ile doğrudan ilişkilidir. Çimentodaki C<sub>3</sub>A miktarı arttıkça sülfat direnci azalır. Ayrıca, kullanılan çimento miktarı arttıkça sülfat direnci artar. Su-çimento oranının betonun sülfat direncine etkisi betonun yoğunluğuna ve geçirimliliğine etkisi ile ilişkilidir. Su-çimento oranı azaldıkça, betonun yoğunluğu artar, geçirimliliği azalır. Dolayısıyla sülfat direnci artar.</p>	
<p><b>DONMA-ÇÖZÜLME DİRENCİ</b></p> <p>Su-çimento oranı betonların donma-çözülme direncini doğrudan etkiler. Bu etki S/Ç&gt;0.5 olan betonlarda daha az hissedilirken, daha düşük S/Ç oranlarında daha fazla hissedilir.</p>	
<p><b>RÖTRE</b></p> <p>28 günlük betonda, su-çimento oranının rötreye önemli bir etkisi yoktur. Ancak, daha geç yaşlarda S/Ç oranıyla artmasıyla rötre de artar.</p>	
<p><b>AŞINMA DİRENCİ</b></p> <p>Yüksek basınç etkisinde veya dış etkenlerden dolayı betonun aşınabilir. Şekilde görüldüğü gibi, betonun su-çimento oranı arttıkça aşınma direnci azalır.</p>	

### **Basınç dayanımını etkileyen kür koşulları**

Beton katılma esnasında sıcaklık ve nem gibi çevre koşullarından oldukça büyük ölçüde etkilenir. Beton prizini alırken bulunduğu ortamın rutubet oranının %100 olması ve sıcaklığın da 60 C°'yi bulması durumunda mukavemet artışının hızlandığı görülmüştür. Bu yöntem daha çok prefabrike beton yapı elemanlarının üretiminde kullanılır. Bağlı nemin %50'nin altına düşmesi durumunda ise betonun bünyesinde depolanmış su miktarı buharlaşır ve hidrasyonun devam etmesi için gerekli olacak su miktarı yok olur. Özellikle sertleşmenin ilk günlerinde hidrasyon daha çok ve hızlı olduğundan sıcaklık artışı ve rüzgâr hızının etkisi ile su kaybı daha da önem kazanır. Bu nedenle bu dönemde betonun mukavemetinde azalma gözlenir (Ünal 2004).

Suyun, beton/betonarme yapı elemanlarının dayanımı düşüren en önemli etkenlerden biri olmasından dolayı, sürekli basınçlı su altında bulunan yer kabuğu yapı elemanlarının dayanımlarının ne ölçüde değişeceğini tespit etmek amacıyla, basınçlı su geçirimsizliğine tabi tutulan örneklerin üzerinde basınç dayanım deneyleri yapılır.

Örnekler üzerinde uygulanacak yükleme hızı, beton elemanların üzerinde zaman bağlı olarak oluşan şekil değiştirmelerin sonucunda ortaya çıkan deformasyonlar nedeniyle bu noktada önemli bir yere sahiptir. Yapılan deneyler sonucunda, yavaş yüklenen bir numune dayanımının, hızlı yüklenen bir numuneye oranla daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bundan dolayı ilgili şartname ve yönetmeliklerde standart basınç deneyi tanımlanırken, uygun yükleme hızı da  $\text{kg/cm}^2/\text{saniye}$  olarak belirlenmiştir. Yapılan deneylerde deformasyon hızının sabit tutulabilmesi için Türk yönetmeliklerinde bu hız, genellikle  $1,0 \text{ kg/cm}^2/\text{saniye}$  olarak belirtilmektedir. Şekil 3.7 de sabit deformasyon hızı altında yapılan deneylerden elde edilen bazı gerilme şekil değiştirme eğrileri gösterilmiştir. Şekilden görüleceği gibi, yükleme hızı azaldıkça dayanım düşmekte, buna karşılık süneklik önemli ölçüde artmaktadır. Bu nedenle betonun sabit ölü yükler altındaki davranışı ile deprem gibi ani gelen yüklemeler altındaki davranışı farklıdır (Ünal 2004).



Şekil 3.7. Yükleme hızı ile basınç dayanım ilişkisi (Ünal 2004).

Uygun yüklemeye hızı ile basınç kuvveti verilen küp numuneler maksimum mukavemet değerlerine kadar bünyelerinde çatlak oluşmadan dayanır. Presin uyguladığı artan basınç kuvvetine dayanamayıp betonu kırıldığı basınç değerinde o numunenin kırılma yükünü belirlenmiştir. Böylelikle numunenin ne kadar yükü sağlıklı bir şekilde taşıyabileceği belirlenmiş olur.

### 3.3 Betonun Fiziksel Özellikleri

Betonun özellikleri ortam şartlarına bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Özellikle sıcak havalarda buharlaşma ile bünye suyunu kaybetmesi sonucunda gevrek bir yapıya sahip olan beton %2–4 oranlarında büzülme (rötre) gösterir. Buna karşın, yapısına su aldığı veya bünyesindeki suyun donduğu durumlarda rötre olayından daha az oranlarda genişleme gösterir. Tüm bu şişme, büzülme ve donma mekanizması betonun fiziksel özellikleridir. Ayrıca betonun birim hacimdeki ağırlığı, boşluk durumu ve birim hacimdeki boşluk miktarı onun fiziksel özellikleri olmakla beraber aynı zamanda bu özelliklerini etkileyen faktörlerdir.

### 3.3.1 Birim ağırlık

Birim hacim içerisinde yer alan taze betonun ağırlığı *birim ağırlık* olarak nitelendirilir. Gerekli koşullara uyularak üretilmiş betonun birim ağırlığı  $2,2 - 2,4 \text{ kg/dm}^3$  arasında değişmesine karşın taze betonun birim ağırlığı kuru betonunkinden az da olsa daha büyük bir değere sahiptir. Bu durum beton içindeki suyun buharlaşma yolu ile betondan ayrılmasından ileri gelmektedir. Betonun birim ağırlığının düşük veya yüksek olması, betonu oluşturan malzemelerin özelliklerine ve beton içerisinde yer alan boşluklara bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca betonu oluşturan agregaların özgül ağırlıkları yüksek olursa betonun birim ağırlığı da aynı şekilde yüksek olmaktadır. Buna karşın hava boşluk miktarı fazla olan betonların birim ağırlığı daha düşük olmaktadır.

Beton içerisindeki boşlukların miktarını artıran granülometrinin iyi olmaması, maksimum agrega tane boyutunun küçük olması, taze betonun iyi sıkıştırılmamış olması ve beton içerisine sürüklenen hava miktarının çok olması gibi etkenler taze betonun birim ağırlığının düşük olmasına neden olan başlıca faktörlerdir (Erdoğan 2003).

Beton karışım hesaplarının yapılabilmesi için taze betonun birim ağırlığının bilinmesi gereklidir. Ayrıca üretilen betonun kalitesini ölçülebilmesi için taze betonun, birim ağırlığı testinin yapılması gerekir.

### 3.3.2. Birim Porozite

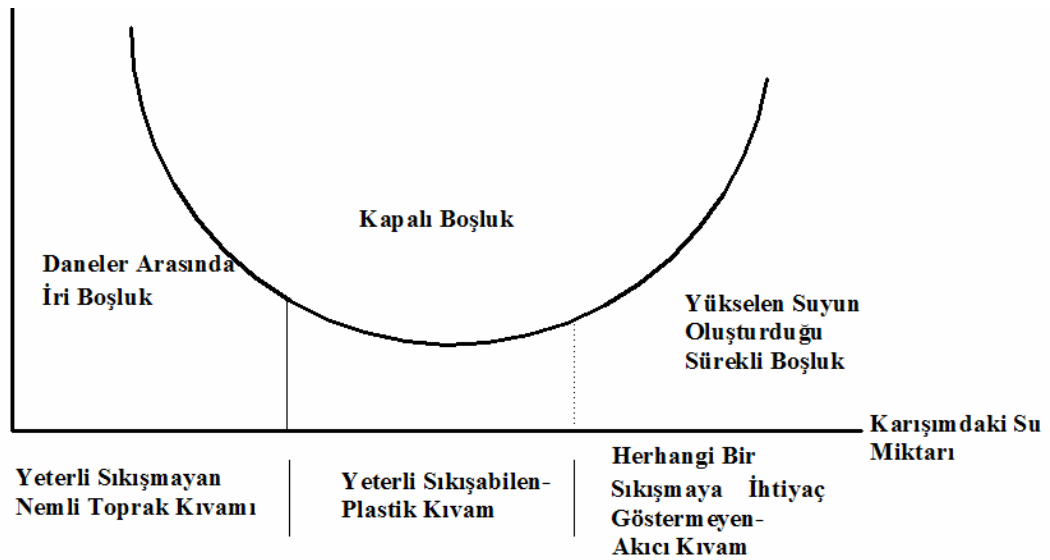
Betonun birim hacmindeki boşluk hacmine birim porozite denir. Betonun içerisinde %19,2 oranında büyük bir kısmı su ile ve geri kalan kısmı hava tarafından doldurulmuş boşluklar vardır. Bu boşluklar:

- Sertleşmiş çimento hamurunun içinde hidrasyon sırasında oluşan jel ve kapiler boşluklar, (Kapiler boşluklar jel boşluklara oranla 1000 kat daha büyük çapa sahiptirler. Bu sebeple sıvı iletiminde jel boşluklara oranla çok daha büyük bir role sahiptirler.)
- Betonun karılması sırasında içinde bulunan hava miktarının fazla olması veya hava sürüklenmiş betonlardaki sertleşmiş çimento hamurunun içerisinde yer alan sürüklenmiş hava kabarcıklarının oluşturduğu boşluklar,

- Betondan istenilen işlenebilirliğin sağlanması için, su/çimento oranının artırılması sonucunda, çimento hamurunun yapısında oluşan boşluklar,
- Yüksek hidrasyon ıslığından ve ortamdaki sıcaklığın artmasıyla taze betonda oluşan terleme nedeniyle çimento hamuru ile agrega arasında oluşan boşluklar
- Betonun hazırlanmasından sonra yerine iyi yerleştirilmemesinden kaynaklanan boşluklar, (bu boşlukların birbirleri ile ilişkili kanallar oluşturmalarında dolayı geçirimsizliği de buldukları orana bağlı olarak arttırırlar. )
- Agrega tanelerinin yapısında oluşabilecek boşluklardır. Bu boşluklar çok küçük çaplı olduklarından sıvı akımına olanak verecek sürekli bir kanal oluşturmayacağından geçirimsizlik için önemli bir rol oynamaz (Erdoğan 2003).

Betonun yapında bulunan bu boşluklar, yapısına suyun ve su ile birlikte girebilen kimyasalların nüfuz ederek önemli ölçüde mukavemetin ve durabilitesinin düşmesine neden olur.

Beton içinde oluşan bu boşlukların geçirimsizliğe olan etkileri ve hazırlanan betonun su miktarına bağlı olarak belirlenen kıvamları ile ilişkileri Şekil 3.8' de açık olarak belirtilmiştir.



**Şekil 3.8.** Beton içinde oluşan boşlukların karışım suyuna bağlı olarak değişimi (Sümer 1989).



### 3.3.3. Betonun Geçirimsizlik Özelliği

Dış ortamdaki suyun basınçla birlikte betonun içindeki boşluklara dolması veya betonun içinde bulunan kılcal kanalların yarattığı içsel gerilmelerle suyun bu kanallara doğru çekilmesi betonun geçirimliliği olarak tanımlanır.

Yüksek geçirimliliğe sahip olan betonda su çimento hidratasyonu sonunda meydana gelen serbest kireci çözerek gerecin zamanla porozitesini artırır ve mukavemetini azaltır. Ayrıca zararlı kimyasal etkilerinin artmasına, donma olayı sonucu oluşan hasarların artmasına ve betonarme yapılarda donatıların korozyona uğramasına yol açar. Tüm bu etkilerin ışığında geçirimlilik betonun dayanımını önemli ölçüde düşürmektedir. Bu sebeple geçirimliliği çok az olan betona malzeme kullanılarak yapılar inşa edilmelidir.

Betonun dayanımını etkileyen çimento ve agrega özellikleri karışım suyunun kalitesi ve miktarı su/çimento oranı, ortamdaki kimyasallar gibi tüm faktörler aslında geçirimliliği de aynı düzeyde etkilerler. Betonlardaki porozite boşluklarının iç boyutlarının değişkenlik göstermesi, boşluk iç yüzeylerinin pürüzlülüğu, düz bir hat üzerinde olmaması geçirimliliği önemli ölçüde etkileyen diğer faktörlerdir. Betonun birim porozitesinin fazla ve birbirleriyle ilişkili olması geçirimliliğin büyük değerler almasına olanak sağlar. Ancak birbirinden ilişkisiz olarak konumlanan boşluklar geçirimliliğe sanıldığı kadar büyük ölçüde etki etmez. Betonun içinde bir su hareketinin oluşabilmesi için yapısındaki boşlukların birbirleriyle mutlaka ilişkili olması gerekir. Boşlukların birbiri ile olan ilişkilerinin kesilmesi iyi bir granülometri ile sağlanabilir. Bu sebeple 0,25 mm. den küçük ince tanelerin miktarını % 3 – 5 arasında artırmak da yarar vardır. Bu ince taneler boşlukları tıkayarak boşluk hacminde bir azalma meydana getirecek ve geçirimliliğin azalmasını sağlayacaktır.

Korunma ve bakım koşullarının da betonların geçirimliliği üzerine oldukça önemli etkileri vardır. En iyi korunma, betonun maksimum mukavemete erişinceye kadar su içinde tutmaktır. Eğer beton su içinde tutulamıyorsa nem yüzdesi fazla ortamda veya ıslak bir örtü ile örtülerek dayanımının kazanması sağlanır. Ancak bu yöntemle, beton yüzeylerinde oluşabilecek çatlaklar engellenerek yapısına suyun girmesi önlenir.

Geçirimsizliğin sağlanabilmesi için suyun betona giriş mekanizmasını ve oluşturduğu hasarların iyi olarak bilinmesi bu doğrultuda beton bileşenlerin geçirimsizliği sağlayacak nitelikte seçilerek ve gerekli katkılarında ilave edilerek betonun üretilmesi gerekmektedir.

### 3.4. Suyun Betona Nüfuz Etmesi

Geçirimsizlik olayı malzemenin boşluklarının tamamen suya doymuş olduğu durumlarda, mevcut bir su basıncı ile oluşan doymuş akımın meydana gelmesi veya kılcal kanalların oluşturduğu su emme özellikleri ile başlar. Basınç altındaki su boşluklu ortamda oluşan bir akım yardımıyla ilerler. Aslında suyun beton içinde ilerlemesi onun ne ölçüde geçirimsiz bir malzeme olması ile yakından ilişkilidir. Betonun su emme kapasitesi ve geçirimsizliği ise sertleşmiş betonun içerisinde yer alan boşlukların toplam miktarına ve boşlukların birbirleri ile olan ilişkilerine bağlıdır (Sümer 1989).

Betonun içinde oluşan bu boşluklara suyun dolması için, dış ortamdan suyu boşluklara doğru iten veya malzemenin içsel gerilmelerinden dolayı meydana gelen kuvvetlerin oluşması gerekir. Bu durumda suyun boşluklara dolması için;

- Hava veya su basıncı farklılıkları (Geçirimsizlik),
- Kılcal su emme,
- Difüzyon, olaylarının gerçekleşmesi gerekir.

Kılcal su emme olayı, betonun boşluklarının kısmen su ile dolduğu durumlarda yüzey gerilim kuvvetlerinin etkisiyle oluşan doymamış akım ile gerçekleşir. Su emme olayının gerçekleşebilmesi için betonun içinde birbirleri ile bağlantılı kalınlıkları değişen kapiler kanalların bulunması gerekir. Bu kanallar içinde oluşan içsel gerilmeler tarafında iç kısımlara doğru çekilen su, önce betonun büyük boyutlu kapiler boşluklarını ve daha sonra da küçük boyutlu kapiler boşluklarını doldurur. Geniş kanalların su ile dolması daha uzun süreceği için, betondaki "su emme" ilk zamanlarda büyük bir hızla, zaman ilerledikçe giderek daha düşük bir hızla devam eder. Ayrıca betonun su emme hızı ve emilen suyun miktarı betonun ne ölçüde kuru olduğuyla da yakından ilişkilidir.

Sertleşmiş betonun su emme kapasitesi aynı zamanda betonun hizmet süresi boyunca karşılaşabileceği kimyasal ve fiziksel olaylar karşısındaki dayanıklılığını ve dayanımını etkiler. Özellikle kapiler boşlukların suya doymun olduğu durumlarda bu boşluklardaki suyun donması betonun içerisinde büyük gerilmelerin oluşmasına yol açar. Ayrıca sülfat, asit, klor ve benzeri zararlı maddeleri içeren suların beton tarafından emilmesi, betonun içyapısında bulunan iyonlarla kimyasal reaksiyona girerek betonda hasarlara yol açar. Bu nedenle betonun su emme kapasitesi arttıkça dayanımı ve dayanıklılığı da bu oranda düşer (Erdoğan 2003).

Su emme olayı, betonun alt noktasında bulunan suyun kılcal kanallar ile yerçekimine ters bir kuvvetle çekilip ilerlemesi ile oluşur. Bu ilke göz önünde bulundurularak hazırlanan bir düzenek sayesinde betonun ne kadar suyu emdiği ve malzeme içinde suyun ne kadar yükseldiğini tespit etmek mümkündür.

Betonun geçirimsizlik özelliği tüm bu etkenlerin yanı sıra, su/çimento oranı, kullanılan su ve çimento ve agrega özellikleri, katkı maddelerinin etkisine bağlı olarak artıp azalabilir.



**Şekil 3.9.** Bodrum katta suyu kapiler yükselerek perde duvarı üzerinde oluşturulduğu hasarlar (Z.Şimşek arşivi 2005).

### 3.5. Suyun Beton Üzerindeki Etkileri

Yapının her türlü elemanında kullanılan beton yapımında ve hizmet süresi boyunca sürekli veya aralıklarla mutlaka su ile etkileşime girmiştir. Su betonun içine girip betonun oluşmasını sağlarken, diğer yandan dış ortamdan çoğu zaman bu ortamda bulunan zararlı kimyasalları da beraberinde getirerek betonun korozyona uğramasına (tahrip olmasına) neden olur.

Su etkisinde kimyasal ve fiziksel olayların beton üzerinde oluşturduğu hasarlar sonucunda beton daha boşluklu ve dayanımsız bir malzeme durumuna gelir, bunun sonucunda içerisindeki donatılar paslanır, yüzeyleri aşınır ve içerisinde çok büyük gerilmelere dayalı çatlaklar oluşur. Bütün bu olaylar, betonun hasar görmesine, hizmet edemez duruma gelmesine yol açar. Hasara yol açan bu etmenler betonun hizmet dışı kalmasına yol açar.

Sonuç olarak; su, betonun oluşmasını sağlayan, etki biçimine bağlı olumlu, olumsuz dayanım oluşturan ana bir malzemedir.

#### 3.5.1. Olumlu Etkileri

Su her zaman betona bünyesinde oluşan boşluklardan ve yapısında oluşan çatlaklardan girmez. Betonu oluşturabilmek için suyu yapılan hesaplar doğrultusunda kendimiz karışım evresinde de ilave ederiz. Betonu oluşturan tüm bileşenler bir bütünü oluştururlar. Bunun için de her bileşenin birbiriyle sıkıca bağlanmalıdır. İşte su, betonda bu aşamada devreye girer. Eğer betonu hazırlarken karışıma su eklenemezse toz halindeki çimentonun agregaları bağlayacak kıvama erişmesi için gerekli kimyasal reaksiyonu başlatamayacaktır. Doğal olarak beton bir bütün olarak davranışını sergileyemeyecektir. Ayrıca suyun betona faydalı olabilmesi için, karışıma gerekli oranlarda ilave edilmesi gerekir. Aksi takdirde betonu oluşturan bu bileşen malzemeye zarar vermeye başlar.

Çimento hidratasyonu başlatılmasında kullanılan su, işlem tamamlandıktan sonra betonun istenilen mukavemete ulaşabilmesi ve yapısında oluşabilecek çatlakların önlenmesi için betonun içyapısında başlayan kimyasal reaksiyonlar sonucu açığa

çıkan hidrasyon ısısını düşürmek için de kullanılır. Kimyasal reaksiyonlar sonunda, sıcaklığın artması beton için gerekli olan su miktarını buharlaştırıp, istenilen oranların altına düşmesini sağlar. Bünye suyu azalan beton büzülerek çatlar. Bu durumda da beton suya ihtiyaç duyar. Betonun bünye suyunu geri kazanıp, mukavemetini arttırabilmesi için betonun yüzeyi ıslatır veya ıslak bir örtü ile kaplanır. Bu bakımından, kür işleminde kullanılan suyun betonun gerekli mukavemeti kazanması açısından önemi vardır.

Su, betonun yapımında kullanıldığı gibi, çok nadir de olsa yerkabuğu yapı elemanlarının bünyelerinde çeşitli nedenlerden dolayı oluşan çatlakların, betonun kendi kendini iyileştirmesi sonucunda kapanmasına da olanak verir. Betonun kendiliğinden iyileşmesi, rötre ile veya o bölgede betonun çekme deformasyonu kapasitesinden daha büyük deformasyon oluşması sonucu meydana gelen ince bir çatlağın karşılıklı iki yüzeyi arasında oluşur.

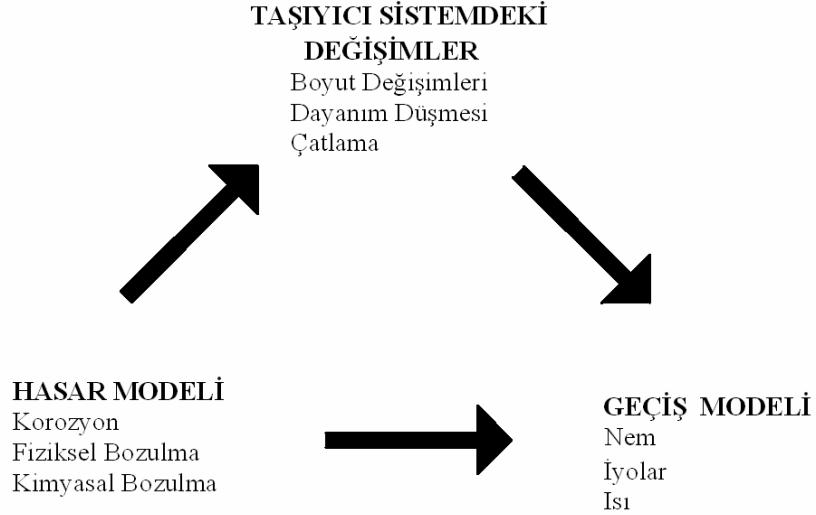
Betonda oluşan çatlakların kendi başına kapanabilmesi için yüzeylerdeki bileşenlerin mutlaka su ile reaksiyona girebilmesi gerekir. Ancak, bu durumda çatlağın etrafında bulunan kimyasallar reaksiyona girebilir. Bu reaksiyonlar sonucunda oluşan yeni hidratlar ve mineraller çatlağın iki zıt yüzeyinde oluşarak büyür ve birbirleri ile birleşerek çatlak yüzeyleri arasında bir köprü ve süreklilik meydana getirir.

Rötreden veya aşırı çekme deformasyonunun sonucunda oluşan çatlaklar, çimento hamurunun iç yapısını açığa çıkarmış olur. Bu bileşenler su ile temas etmediği sürece hiçbir şekilde iyileşme gösteremez. Ancak, su havanın yerini aldığı zaman yarım kalan hidrasyon tekrar başlar. Fakat bu konu üzerinde yapılan araştırmalar sonucunda çatlağın kapanmasında etkili olan maddenin ne olduğuna dair kesin bir sonuç elde edilememiştir. Eğer çatlak rötre sonucu oluşmuşsa, betonun o bölgesi kurumaya maruz kalmıştır. Dolayısıyla kurumanın devam etmesi ve gerekli suyun sağlanmadığı durumda, çatlak olduğu gibi kalacak hatta büyüyecektir. Çatlağın su kaybı sadece ıslanma veya nemlenme ile giderilebilir. Durgun veya akan su reaksiyonu başlatmak yerine betona daha çok zarar verir. Çatlak yüzeyin ıslaklık değeri de iyileşme için oldukça önemli bir yer teşkil eder. Suyun miktarı az olursa da gerekli iyileşme tamamlanamaz (Neville 2003).

Sonuç olarak diyebiliriz ki; su olmadan betonun oluşturulması imkansızdır. Önemli olan betonun içine giren suyun zararlı bileşiklerden arınmış içilebilir nitelikte olması ve yapılan hesaplar doğrultusunda karışıma eklenmesidir. Bu nitelikleri sağlamayan karışım suyu betona verdiği yararların yanında olumsuz etkilerin de oluşmasına olanak verecektir.

### 3.5.2 Olumsuz Etkileri

Sertleşmiş beton içerisindeki hidratasyon ürünlerinin kimyası, betonun boşluk yapısı, bulunduğu ortamın özellikleri, betonun üretim aşaması ve bunu izleyen süreç içerisinde betonun maruz kaldığı çevre koşullarından önemli derecede etkilenmektedir. Beton malzemeye oluşturulmuş yapı elemanları hizmet ömürleri boyunca kendilerini fiziksel veya kimyasal olarak yıpratıp birden fazla hasar mekanizmasına maruz kalırlar. Oluşan bu hasar mekanizmasının nedenleri ve sonuçları Şekil 3.10 şematik olarak aktarılmıştır. (Atahan ve diğerleri 2003)

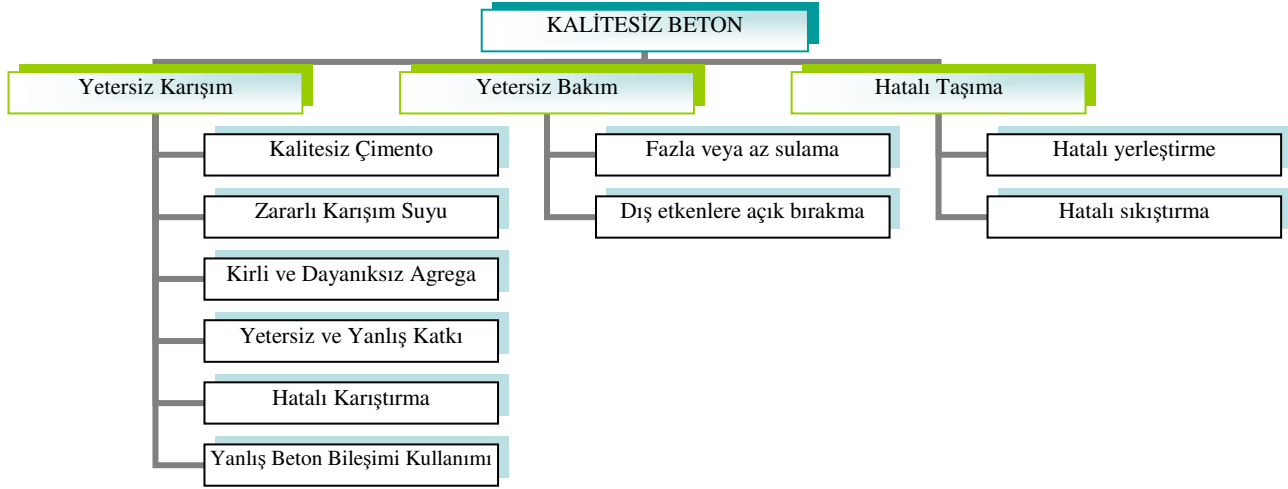


Şekil 3.10. Suyun neden olduğu hasar mekanizmalarının neden-sonuç grafiği

Bu etkiler, doğa koşulları sonucu oluşan ıslanma - kuruma, donma - çözölme, ısınma-soğuma, yanma ve aşınma olayları gibi betonun yıpranmasına yol açacak fiziksel olaylar ile, betonun kullanıldığı yerkabuğunda bulunan karbon dioksit, oksijen, sülfat, asit ve klor gibi maddelerin, sular ile betonun bünyesine taşınması ile oluşan kimyasal olaylardan kaynaklanmaktadır. Doğal etkenler sonucu etki şekline ve şiddetine bağlı olarak beton yüzeylerinde yavaş veya hızlı bozulmalar gözlenir. Kimyasal etkiler ise, betonun içyapısının kimyasal özelliğinin değişerek betonun bozulmasına yola açar. Bu fiziksel ve kimyasal etkenler betonun hedeflenen dayanımından daha düşük dayanıma sahip olmasına yol açar. Tüm bu etkilerin betona zarar vermesinin temelinde, Şekil 3.11'de belirtildiği gibi uygun karışımın elde edilememesi, eksik ve yetersiz bakım ve hatalı taşıma bulunmaktadır.

Betonun dayanıklılığını olumsuz olarak etkileyerek bozulmasına neden olan bazı önemli kimyasal ve fiziksel etkenler,

- Betondaki kalsiyum hidroksitin çözölmesi ve beton yüzeyinde "çiçeklenme" oluşması,
- Sülfat etkisi (sülfat hücumu)
- Deniz suyunun etkisi,
- Asit etkisi (asit hücumu),
- Alkali-agrega reaksiyonu,
- Donma-çözölme etkisi,
- Beton yüzeyinin pullanması ve aşınmasıdır (Erdoğan 2003).



**Şekil 3.11.** Betonun kalitesini etkileyen faktörler

**Beton yüzeyinde "çiçeklenme" oluşması:** Çimentonun hidratasyonu sonucunda oluşmuş olan ve sertleşmiş çimento hamurunun yapısında bulunan kalsiyum hidroksit, betonun yapısında bulunan boşluklardan ve çatlaklardan sızan suların etkisiyle çözünerek yüzeye çıkar. Ayrıca agrega tarafından emilip agrega boşlukları arasında depolanan tuzlar da betonun içine suyun sızması ile birlikte erir. Yüzeye çıkan kalsiyum hidroksitli ve tuzlu suyun buharlaşmasıyla beton yüzeyinde beyaz lekeler halinde kalsiyum karbonat ve tuz birikintileri yer alır. Beton yüzeyinde Şekil 3.12'deki gibi 3–15 mm kalınlığında oluşan bu tabaka **çiçeklenme** olarak tanımlanır. Bazı durumlarda tuz ve kalsiyum hidroksitler betonun yüzeyine kadar ulaşmadan kristal yapıya dönüşürler.

Fakat ortamda oluşabilecek herhangi bir nemlilikte reaksiyon tekrar başlayarak tuzların yüzeye çıkmasına olanak verir ve yüzeyde çiçeklenme olayı gözlenir. Çiçeklenme olayını başlatan kalsiyum hidroksitin çözünme oranı betona sızan suyun sertliği, sıcaklığı ve taşıdığı kimyasallara bağlı olarak değişkenlik gösterir.





**Şekil 3.12.** Zeminden nemlenme sonucunda çiçeklenme olayı gözlenen yapı elemanı (Z. Şimşek arşivi 2005)

Çiçeklenme, beton yüzeylerinde beyaz bir tabaka oluşturarak görüntünün bozulmasına neden olur. Betonun içinde bulunan kalsiyum hidroksitlerin az miktarda çözünmesi betonun dayanımını önemli bir ölçüde etkilemekle birlikte çözünmenin fazla olmasıyla beton boşluklu bir yapıya sahip olur. Betonun yapısında boşlukların artması geçirimsizliğin de doğru orantılı olarak artmasına ve bunun sonucunda dayanımının da önemli ölçüde düşmesine neden olur. Özellikle toprakla temas eden bodrum duvarını oluşturan beton yüzeylerde çiçeklenme olayı sıklıkla gözlenir.

**Sülfat etkisi:** Betonarme yapı elemanlarına ortamda bulunan sülfat bileşiklerinin temas etmesi ile yapı bünyesinde ciddi boyutlarda bozulmalar oluşur. Beton ve betonarme yapıların sülfat içeren zeminle çevrili olması yapının durabilitesini olumsuz yönde etkileyen en önemli dış etkenlerden biridir. Sülfatlar yer kabuğu elemanlarını çevreleyen zeminin yapısında yeraltı suyunun bünyesinde çözülmüş olarak, karışım suyunun bünyesinde ve agrega yüzeylerinde bulunarak betonun yapısına girerler. Beton içinde oluşturdukları hacim artışı sonucu iç yapısında ortaya çıkan içsel gerilmelerin çatlakları oluşturması, bazı durumlarda tamamen parçalanması, beton ile temas eden su ve zemin içerisinde bulunan sülfatın konsantrasyonunun önemini açığa çıkartır (Atahan ve diğerleri 2003).

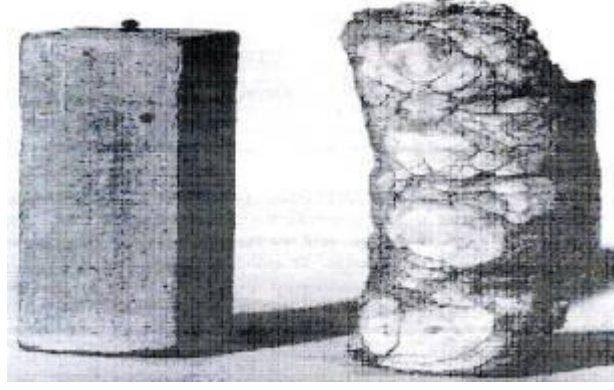
Sülfat etkisi sadece beton yüzeyinde çatlaklar oluşturarak yapının dayanımını düşürmez, aynı zamanda, hidrate olmuş çimento pastasında iç kohezyon kaybına, agrega çimento arasındaki aderansın azalmasına da neden olur (Erdoğan 1998).

Sülfat etkisi, sülfat iyonları ile çimento hidratasyon ürünleri arasında meydana gelen kimyasal reaksiyonlar sonucu beton içerisinde hacim genişmesine neden olarak betonun stabilitesinin bozulup, sertleşmiş çimento hamurunun yumuşamasına neden olan kimyasal etken olarak da tanımlanabilir.

Betonun geçirgenliği nedeniyle, seviyesi yüksek yeraltı suyunda çözünen sülfatların beton içerisine diffüzyonu, kapilarite ve kütle transferi yoluyla gerçekleşir. Sürekli olarak sülfat içeren sularla temas halinde bulunan ve sürekli ıslanıp kuruyan yerkabuğu yapı elemanlarını oluşturan betonun boşluklarında, sülfat konsantrasyonu giderek yükselir ve oluşturduğu hasarlar en üst düzeye çıkar.

Sülfat iyonlarının hasar verici kimyasal reaksiyonların gelişimi ortamdaki sülfat oranına, betonunu geçirimsizliğine, kullanılan çimentonun kimyasal bileşimine ve ortam suyunun varlığına bağlı olarak etkilenir.

Sülfat konsantrasyonunun belirli değerlerin üzerine çıkması, betonu çok şiddetli olarak korozyona uğratarak yüzeyinden parçaların dökülmesini sağlar. Sülfat etkisine uğrayan beton Şekil 3.13'deki gibi açık gri renge sahip olup yapısı hafif dokunuşlarla bile dağılacak kadar dayanıksız bir hale dönüşür. Beton yüzeyinde beyaz bir çökelti ile kaplanmasıyla sülfat etkisinin beton yüzeylerinde oluşturduğu ilk değişimler oluşmaya başlar. Reaksiyonun tekrarlanması neticesinde beton boşluklarında oluşan iç basınç sonucu gerçekleşen çekme gerilmeleri betonu yavaş yavaş çatlattır. Sülfat etkisinin devam etmesi durumunda kabarma ve parçalanmalar gözlenir. Sülfatların yıpratıcı etkisi ilk olarak betonun kenar köşelerinin yıpranmasına neden olur. Zaman içinde de betonun içine nüfuz ederek iç yapısında daha büyük hasarlara yol açar (Uğurlu 2003).



**Şekil 3.13.** Sülfat etkisine maruz kalmış beton numunesi (Öner ve Yıldız 2004)

Sülfat iyonlarını betona hasar vermesi aslınsa bu iyonların betonun içine su ile birlikte girmesiyle, dolayısıyla betonun geçirgenliğiyle doğru orantılıdır. Betonun geçirimsiz olarak üretilmesi onun sülfat saldırılarına karşı daha dayanıklı olmasını sağlar.

**Deniz suyunun etkisi:** Sürekli olarak deniz suyuna maruz kalan ve deniz kenarında gelgit olayının sonucunda ıslanıp kuruyan betonarme yerkabuğu yapı elemanlarının bünyesinde, sülfat iyonlarının yol açtığı hasarların benzeri gözlenir. Fakat bu hasarların şiddeti sülfat iyonlarındaki kadar ciddi düzeye ulaşmaz. Deniz suyu sülfat etkisinin yanı sıra, boşluklara biriken tuz kristallerinin basınç oluşturmasıyla malzemenin içinde gerilmelere ve parça atmalara neden olur. Ayrıca deniz suyundaki klor iyonları betonun içinde bulunan donatı yüzeyleri ile kimyasal etkileşime girerek çeliğin korozyonunu başlatır. Korozyon sonucunda demir donatıların kesitleri küçülür. Ayrıca, donatıların üzerinde yer alan korozyon ürünleri, betonun içerisinde genleşmeler yaratır (Erdoğan 2003).

**Asit etkisi (asit hücumu):** Betonun içine çeşitli yollarla nüfuz eden asitlerde diğer kimyasal bileşikler gibi, malzemenin içyapısında genleşmeler yaratarak hasarlar oluşturur. Yeraltında bulunan ince kesitli beton elemanlar ile asitli su basıncı etkisinde kalan beton elemanlar asit etkisinden en çok etkilenen yapı elemanlarıdır. Bu tür yapılarda betonun geçirimsizliğini arttıracak ve ortamdaki asit miktarını azaltacak her türlü önlem yapının asitli ortamdaki direncini olumlu yönde arttıracaktır (Erdoğdu 1998).

Ortamda bulunan asitler,

- Havadaki bazı gazların kar ve yağmur suları ile çözünerek sızıntı suları olarak zemine ve yerkabuğuna etki etmesiyle,
- Organik atıkların zemin suları ile birleşerek yapı etrafında depolanarak kapilerite yoluyla ilerlemesi ve
- Yeraltı sularının bünyesinde toplanan asitlerin basınç etkisiyle yapıya girmesi sonucu hasar oluşmaları başlar.

Asitler, sülfat etkisinde olduğu gibi kompleks kimyasal tepkimelerle oluşan ürünler sonucunda genleşme ve çatlaklara yol açmak yerine, çimentonun iç yapısını bozarak aderans özelliğini yok eder. Ayrıca beton yüzeylerinde yumuşak bir doku oluşturarak, yapının dayanımını ve dayanıklılığını düşürür (Erdoğan 2003).

**Alkali-agrega reaksiyonu:** Betonun oluşturan aktif silika içeren agregalar ile ortamda daha çok çimentonun içerisinde bulunan alkaliler arasında oluşan kimyasal tepkimedir. Bu reaksiyonlar agrega yüzeylerinden başlar. Bu sebeple karışım içerisinde bulunan agregaların tane bütünlüğü bozulur. Bu reaksiyonlar sonucu oluşan jeller, betonu su emme kabiliyetini arttır ve bünyesine çok yüksek dozlarda su almasını sağlar. Bu kimyasal reaksiyonların sonucunda, agrega tanelerini yüzeylerinde ve silika içeren bölgelerinde ve tepkime yan ürünlerinin doldurduğu beton çatlaklarında genleşmeler meydana gelir (Erdoğan 2003).

Betonda alkali-agrega reaksiyonunun oluşmaması için mutlaka beton içinde bulunan alkali miktarı çok düşük düzeylerde olmalıdır. Ayrıca reaksiyonu başlatacak su miktarının az olması da önemli bir etkidir. Bunun için gerek su/çimento oranının düşük tutmak gerekse dış ortamdan gelen suyun girmesinin önlenmesi gerekecektir. Bu olayda geçirimsiz bir betonun üretilmesi doğrultusunda gerçekleşecek bir üründür.

**Donma-çözülme etkisi:** Betonun birden fazla yüzeyinin havaya maruz kaldığı ve düzgün olmayan yüzeylerin uzun süre ıslak kaldığı yerkabuğu elemanlarında donma çözülme etkisi çok daha fazla hasar oluşturur. Betonun içindeki boşluklar ve bu boşlukları dolduran suyun yanı sıra, donma-çözülme olayının sayısı da donma olayı sonucunda oluşan hasarın boyutunu etkiler.

Betonun içinde hidratasyona girmeyip depolanan veya dış ortamdan boşluk ve çatlaklardan malzemeye giren su, sıcaklığın  $0^{\circ}\text{C}$  'nin altına düşmesi durumunda betonun yapısındaki boşlukların içinde donar. Çok küçük kapiler boşluklar içinde bulunan su ise  $-15^{\circ}\text{C}$ ,  $-20^{\circ}\text{C}$  değerinde donar. Görüldüğü gibi boşluk çapı azaldıkça don sıcaklığı da düşmektedir. Boşlukların tamamen su ile dolması halinde, katı hale geçen suyun hacmi % 9 oranında artar. Gevrek yapısından dolayı genişleyemeyen beton, oluşan basınçtan dolayı parçalanır. Kapiler boşluklarda bulunan suyun tümünü aynı anda donması halinde ise, katı fazdaki su genişlemeye çalışarak donmayan sıvılar üzerinde basınç oluşturur. Buzun beton ve diğer sıvılar üzerinde oluşturduğu basınç kuvveti sıcaklığın düşmesiyle artış gösterir. Sıcaklığın buz basıncı ile ilişkisi Çizelge 3.5'de belirtilmiştir. Bunun sonucunda da su, betondan dışarıya doğru fışkırır. Sıcaklıkların artması ile eriyen buzlar, ortam koşullarının eskiye dönmesiyle aynı donma-çözülme mekanizmasının tekrarlanmasına yol açar.

**Çizelge 3.5.** Buzun basınç mukavemeti buzun basınç mukavemeti ilişkisi

Sıcaklık Derecesi $C^{\circ}$	—5	—10	—15	—20
Buzun Basınç Mukavemeti	590	1090	1640	1940

Belirtildiği gibi donma mekanizması sonucunda zararlı etkilerin doğması cismin içindeki boşluklarda bulunan sudan kaynaklanmaktadır. Suyun bu şekilde zararlı bir etki meydana getirebilmesi için boşlukları doldurduğu miktarının, donduktan sonra meydana gelecek hacim artışını karşılayamayacak büyüklükte olması gerekir. Eğer betonda suyun dolduramadığı hacim, suyun donması sonunda meydana gelecek hacim artışından daha büyük ise donma olayı herhangi bir iç gerilme meydana getirmeyecek ve donma mekanizması sonucunda oluşabilecek hasarlarda meydana gelmeyecektir. A.B.D. Standartlar bürosu (American Bureau of Standarts) bu konu hakkında yaptığı deneysel çalışmalarına dayanarak şu sonuca varmıştır. Ortamın sıcaklık derecesi  $-6^{\circ}\text{C}$  nin üstünde kaldıkça betonlarda donma olayının zararlı etkileri yoktur. (Neville 1990).

Donma olayı sonunda cisimlerde iç gerilmelerin oluşması ve betonun hacminde bir artış meydana gelmesinden dolayı bu olay betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinde aşağıdaki değişikliklerin meydana gelmesine yol açar.

- Numunede meydana gelen döküntülerden, kopmalardan, tozlaşmadan dolayı betonun ağırlığında azalmalar olur.
- İç gerilmeler ve hacim artmasının etkisiyle betonda boşluk miktarında bir artış olur.
- Mekanik özelliklerindeki değişiklikler de mukavemetin ve elastiklik modülünün büyük ölçüde azalmasıyla kendini gösterir. Böyle bir değişiklik donma olayının gerçekleştiği betonlarda çatlakların meydana gelmesinden ve porozitenin artmasından kaynaklanmaktadır.

Bir betonun donmaya dayanıklı olabilmesi için aşağıdaki koşulları sağlaması gerekmektedir.

- Normal bir şekilde hidrasyon yapması, hidrasyon ısısının önceden belirlenen değerlerden yüksek olmayan, rötre olayının olabildiğince az görüldüğü ve tane çapı ince daha çok deniz yapılarının üretiminde yer alan çimentoların donmaya dayanıklı betonların üretiminde kullanılması uygun görülmektedir. Bu olumsuz etkilerle karşılaşmamak için çimentonun en fazla 350 doz kullanılması gerekmektedir. Aksi takdirde yüksek hidrasyon ısısından dolayı çatlaklar ve rötre olayı gözlenir.
- Betonun bileşimde kullanılacak olan agregalarında donmaya karşı dayanıklı seçilmesi gerekir.
- **Betonun bünyesine suyu almaması için geçirimsiz olarak üretilmesi gerekir.**
- Çimento hamurunun içinde bulunan boşlukların donma için elverişli bir ortam yaratmalarından dolayı, bu kılcal boşlukların oluşmalarının engellenmesi gerekir. Bunun için su/çimento oranının minimum değerlerde tutulması gerekli işlenebilirliğin sağlanabilmesi için ilave katkıların kullanılması gerekmektedir.
- Sıcaklık farklarının çok fazla olduğu veya sıcaklıkların  $-5\text{ C}^{\circ}$ 'nin altında bulunduğu bölgelerdeki betonların üretiminde donmaya karşı direnç göstermelerini sağlayacak katkıların kullanılması uygun görülmektedir. Çimento miktarının belirli bir yüzdesi ile betona ilave edilen hava sürükleyici katkıların betonun içinde 150–200 mikron çapında küresel biçimde 'boşluklar meydana getirerek bu boşluklarda suyun donması sonunda meydana gelen hacmi artışının

karşılanarak iç gerilmelerin oluşması büyük ölçüde önlemek, donmanın zararlı etkilerini ortadan kaldırılmaktadır. Geçirimsizliği sağlayacak ve betonun içindeki boşluk miktarını yok eden katkıların kullanılması boşluk miktarını azaltacağından suyun betonun içinde depolanıp donmasını engelleyecektir (Ünal 2004).

**Beton yüzeyinin pullanması ve aşınması:** Don etkisini azaltmak için, beton yüzeylerine serilen buz-çözücü tuzlar, beton yüzeyindeki buzların çözülmesi için harcanan yüksek reaksiyon ısısı, beton tabakasının sıcaklığının bu oranda düşmesine neden olur ve sıcaklığında ani düşüş gösteren beton tabakası donar. Sıcaklıkların yükselmesiyle buzları çözülen beton yüzeyde biriken serbest su, betonda buz mercekleri oluşmasına neden olur. Oluşan buz mercekleri, ince-iri agregaların gevşeyip doldurdukları yüzeyden çıkarak, yer yer boşluklar, patlaklar oluşturur. Bunun sonucunda, beton yüzeyinden ince bir tabakanın sıyrılıp ayrılması "pullanma" olarak nitelendirilir. Beton yüzeyine serilen tuzlar, yüzeyde pullanma yarattığı gibi, betonun içerisindeki donatıya kadar ulaşarak donatı yüzeylerinde korozyonun oluşmasına neden olurlar. (Erdoğan 2003).

Yerkabuğunda oluşan aşınma etkisi ise, daha çok hızlı akan suların v.b akış yönlerindeki ani değişik sonucunda yüksek basınçlı bir bölgeye gelerek bu noktada patlayarak beton-betonarme elemanların yüzeyinde çok büyük bir gerilme yaratması sonucunda yol açtığı hasarlardan ibarettir. Yüksek dayanımlı betonlar aşınmaya karşı direnç gösterirler. Bunun için betonun içine ilave edilen silis v.b katkıları betona yüksek dayanım kazandırmakla birlikte malzemenin altında suya karşı geçirimsiz olmasını da sağlar.

### **3.6. Betonarme Yapı Elemanlarında Su ve Nem Etkileri**

Su ve zemin suyu ile birlikte beton malzeme içine nüfuz eden kimyasallar yalnızca betonun bünyesinde değil aynı zamanda içindeki çelik üzerinde de hasar yaratarak, yapının hizmet ömrünü azaltır. Yapının yerkabuğunda bulunan esas taşıyıcı bölümlerinin betonarme kabuk olduğu düşünülecek olursa, suyun bu kabuk üzerinde

oluşturabileceği yüzeysel bozulma ve dayanım düşüklüğünün ne derece önemli etkiler doğurabileceği çok daha büyük önem kazanmaktadır. (Şekil 3.14)



**Şekil 3.14.** Donatısı korozyona uğramış betonarme yapı ([www.izomas.com.tr](http://www.izomas.com.tr))

Betona su ile birlikte girerek yapısının bozulmasına ve dayanım düşüklüğüne neden olabilecek kimyasal maddelerin başında sülfatlar ve klor iyonları gelir. Sülfat etkisi betonun yüzeysel olarak bozularak boşluklu ve geçirimli bir yapıya sahip olmasına neden olur. Klor iyonları ise geçirimsizliğin sağlanmadığı durumlarda, beton içindeki boşluklardaki kılcal kanallar doğrultusunda ilerleyerek betonun bir örtü gibi sardığı donatı ile buluşur. Bu birleşme ile başlayan kimyasal tepkime sonucunda, donatının elektrokimyasal özellikleri ve buldukları ortamın etkisiyle kemirilip tahrip olması sonucunda korozyon olayı oluşur (Akıncıtürk 2001).

Korozyon mekanizması çeliği koruyan bir tabakanın klor iyonları tarafından aktive olup zedelenmesi sonucunda başlar. Beton içindeki çeliğin de etrafında, yüksek kalsiyum hidroksit iyonlarının çimento hamurunun içindeki boşluklara dolarak ph derecesi 12,4 değerine ulaşması durumunda onu koruyan bir oksit tabakası bulunur. Bu koruyucu katmanın zayıflaması, kalkması veya betonun ph değerinin 11'in altına düşmesi durumunda betonun içine giren ve donatı yüzeyi ile buluşan klor iyonları, bu koruyucu katmanın kalkarak donatı yüzeyinde korozyon oluşumunun, dolayısıyla hacim genişlemeleri sonucunda çatlamların ve beton yüzeyinde kopmaların oluşmasına neden olur.



Klor, betona içten ve dıştan kaynaklı olmak üzere iki şekilde nüfuz eder. Klor, karışımda kullanılan agrega, çimento, su ve katkı malzemelerinin yapısında bulunarak içten kaynaklı olarak ve deniz suyu, yeraltı suyu, beton yüzeyine uygulanan buz çözücü tuzlarla veya klorlu suların rüzgârlarla yapı elemanına taşınması yolu ile dıştan kaynaklı olarak betona girer.

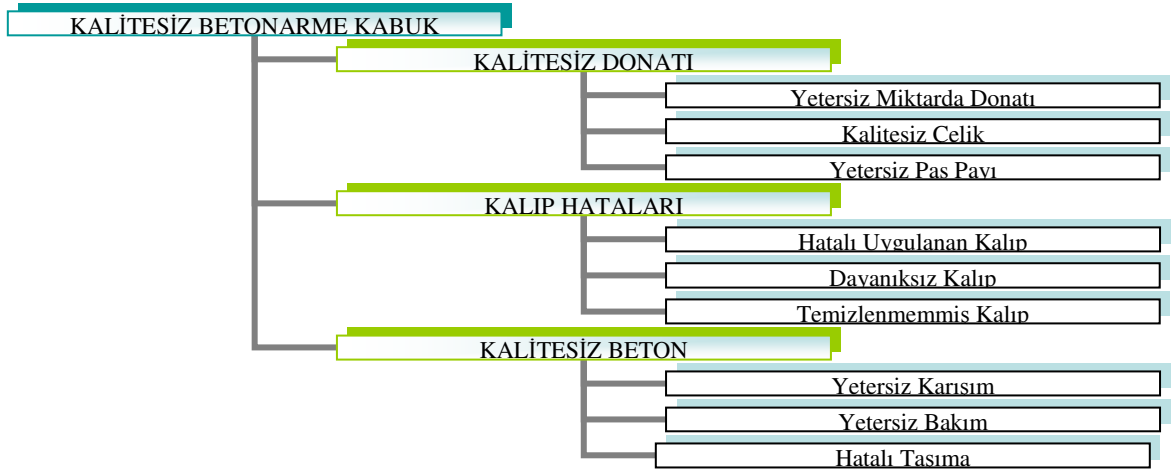
Korozyon olayı, klor iyonlarının teması ile metal bileşiklerin dış yüzeyinden başlayarak iç kısımlara doğru ilerler ve belirli bir değerden sonra çeliğin kopmasına neden olur. Özellikle, deprem sonrası oluşan büyük hasarların temelinde korozyon nedeniyle taşıyıcılık özelliğinin yitirmiş betonarme yapı elemanları bulunmaktadır. Genellikle bir metalin korozyondan tahrip olma şekli yüzeysel aşınma, noktasal çiçeklenme ve derinlemesine çatlamlar olmak üzere üç biçimde gerçekleşmektedir. Beton içindeki çeliğin korozyona uğraması durumunda beton ile aderansı da azalmaktadır. (Erdoğan 1998 )

Korozyonun azaltılıp bu olumsuz etkilerin önlenmesi için birçok çalışma yapılmıştır. Monfore ve Verbeck tarafından, iki yıl boyunca içerisinde kalsiyum klorür bulunan donatılı bir beton numunesi ve normal koşullarda portland çimentosu ile hazırlanan bir donatılı beton numunesi üzerinde yapılan çalışma sonunda betonda %3-4 veya daha fazla kalsiyum klorür kullanıldığında çelik çubuk üzerinde önemli derecede korozyonun olduğu ve korozyona uğrayan çubukların kırıldığı tespit edilmiştir.

Griffin'in yaptığı deneylerde ise klor konsantrasyonunun yanı sıra su/çimento oranının, beton kalınlığının ve çimento dozajının korozyon üzerine etkisini incelenmiş ve

- Çimento dozajı arttıkça korozyonun azaldığı,
- Beton geçirgenliği azaldıkça korozyonun azaldığı,
- Donatının etrafını saran beton tabakasının 25–100 mm olması gerektiği, ancak iyi hazırlanmamış bir betonun 150 mm pas payının bile donatıyı korozyondan korumak için yeterli olmadığı ileri sürülmüştür (Griffin 1967).

Tüm bu sonuçlar doğrultusunda, su ve kimyasalların donatıya etki edebilmeleri ancak beton harcının içinden donatılara ulaşmalarına bağlıdır. Ancak betonun su ve içinde bulunan kimyasal maddelerin yarattığı etkilere dayanıklı üretilmesi durumunda donatı üzerinde oluşan hasarlar önlenabilir veya azaltılabilir. Tüm bu olumsuzlukları engelleyebilmek için beton gercin kaliteli, durabilitesi yüksek ve dolu dolayısıyla da geçirimsiz olarak hazırlanması gerekir. Kaliteli beton hazırlanmam ilkeleri Şekil 3.15’de açıklanmaktadır.



**Şekil 3.15.** Kalite betonarme kabuğu hazırlama ilkeleri

Geçirimsizliği sağlamak için kullanılan uçucu küller, serbest kalsiyum oksidin oluşmasını sağlar. Uçucu küller, sülfat etkisinde olduğu kadar karbonlaşma etkisinde de etkili bir koruma sağlar. Ayrıca, granül yüksek fırın cürufu, uçucu kül ve mikro silis gibi puzolanik katkıların uygun karışım oranlarında kullanılmasıyla, betona klor girebilirliği azalır ve dolayısıyla donatı korozyonu azalır.

#### 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu deneysel çalışma; betonda dayanıklılık ve sürdürülebilirlik, dolayısı ile yüksek performans sağlamak için betonda yüksek kompasiteli, geçirimsiz bir gözenek yapısının sağlanması yanında, endüstriyel atık olan puzolanların değerlendirilmesi, ekonomi sağlanması, çoklu bileşimin betonun dayanıklılığına ve sürdürülebilirliğine etkisinin araştırılması için yapılmıştır. Deneyler İstanbul Kültür Üniversitesinin ARGE laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada, karışım kompozisyonu detayları Çizelge 4.3’de verilen, dolomitik kalker agregası, deniz kumu ve portland çimentosu 42,5 kullanılmıştır. Su / bağlayıcı oranı 0.33 olarak sabit tutulmuş, işlenebilirliği sağlamak için bağlayıcı oranının %0,9’u oranında Glenium kullanılmıştır. Üretilen her grupta taze betonda birim ağırlık ve çökme deneyleri, sertleşmiş betonda basınç dayanımı, basınçlı su geçirimsizliği ve kılcal su emme deneyleri yapılmıştır. Deneyler üçer adet numuneler üzerinde yapılmış aritmetik ortalamalarından bağıl değerleri hesaplanarak grafikleri çizilmiştir. İmpermeabilite (TS EN 12390–8 su işleme derinliği standardına göre yapılmış maksimum derinlik ölçülmüştür) ve basınç deneyleri 15 cm’lik küp numunelerde, kılcal su emme deneyleri ise 7/7 cm’lik silindir numunelerde yapılmıştır. Basınç deneyi için 7., 28. ve 90. günlerde, su işleme derinliği için 28. ve 90. günlerde kılcal su emme deneyleri 28. ve 90. günlerde olmak üzere, basınç deneyi için 45 adet, su işleme derinliği için 30, kılcal su emme için 30 adet olmak üzere toplam 105 adet numune üretilmiştir.

##### 4.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada, beton üretiminde kum, I ve II nolu kırma taş dane boyutlarına göre elenerek gruplandırılmış ve karışım her gruptan belirli oranlarda alınarak sağlanmıştır. Çimento ve puzolan olarak silis dumanı, cüruf, uçucu kül, kireç tozu ve kalker filleri katılmıştır. Puzolan katkılara kullanarak üretilen betonlarda aynı işlenebilirliğini sağlayabilmek amacı ile puzolan oranına bağlı olarak % 0.9 oranında süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Kullanılan tüm bileşenlerin gerçek miktarları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** 1 m<sup>3</sup> taze beton için gerçek malzeme miktarları

Numune Kodu	Şahit	1.Seri	2.Seri	3.Seri	4.Seri
Çimento (kg/m <sup>3</sup> )	397	195	192	198,5	198,5
Su (kg/m <sup>3</sup> )	131	129	127	131	131
Kum (kg/m <sup>3</sup> )	919	903	889	919	919
Kırma Taş No:I (kg/m <sup>3</sup> )	443	435	428	443	443
Kırma Taş No:II (kg/m <sup>3</sup> )	644	633	623	644	644
Silika Fume (kg/m <sup>3</sup> )	-	31,2	31	32	-
Curuf (kg/m <sup>3</sup> )	-	163,8	146	151	151
Ucucu kül (kg/m <sup>3</sup> )	-	-	-	-	32
Kireç (kg/m <sup>3</sup> )	-	-	15	-	-
K.Fil (kg/m <sup>3</sup> )	-	-	-	16	16
Gleny.27 (kg/m <sup>3</sup> )	3,2	3,5	3,5	3,6	3,6
%H	0,6	2,3	3,8	0,6	0,5

Deneyde kullanılmak üzere seçilen agregaların istenilen niteliklere sahip olup olmadığının belirlemek için agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Bu özellikleri kapsayan agrega basınç dayanımı ve elastisite modülleri, elde edildikleri kayalardan çıkartılan silindir şeklindeki numuneler üzerinde yapılan değerler alınmıştır. Elde edilen bu değerler Çizelge 4.2’de belirtilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Agreganın fiziksel ve mekanik özellikleri

Beyaz Kalker	Kum	Kırma Taş No I	Kırma Taş No II
Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	2.63	2.63	2.63
Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Elastisite Modülü	BS 812’ ye Göre Ufalanma Miktarı	
78.2	21500	18.1	

**Çizelge 4.3.** Çimento ve diğer mineral katkıların kimyasal analizi ve mineralojik bileşenleri

KİMYASAL ANALİZ:	Çimento	Silis Dumanı	Cüruf	Uçucu Kül	FİZİKSEL ÖZELLİKLER	
	(%)	(%)	(%)	(%)	Priz Başlangıcı (dakika)	155
SiO <sub>2</sub>	19.86	83.84	35.80	51.50	Priz Sonu (dakika)	190
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.50	0.46	13.78	23.08	Hacim Sabitliği (mm)	1.0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.55	1.32	1.17	6.07	Özgül Yüzey (Blaine) (cm <sup>2</sup> /gr)	3670
CaO	64.27	1.35	39.06	10.53		
MgO	1.19	4.84	5.95	2.42	<b>MEKANİK ÖZELLİKLER</b>	
SO <sub>3</sub>	2.66	1.30	1.31	1.32	Günler	Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )
Na <sub>2</sub> O	0.23	0.53	-	0.77	7	40.8
K <sub>2</sub> O	0.76	3.63	-	2.54	28	51.0
CaCO <sub>3</sub> +MgCO <sub>3</sub>	-	0.75	-	-	Not: Silis dumanının özgül yüzey alanı 14,400 cm <sup>2</sup> /gr'dır.	
Klorür (Cl)	-	0.14	-	0.0028	Cürufun özgül yüzey alanı 5500 blaine	
Kızdırma Kaybı	1.81	2.47	0.71	1.06	Uçucu külün tane dağılımı 0.5-30µm	
Çözünmeyen Kalıntı	0.31	-	-	-		
<b>MİNERALOJİK BİLEŞENLER:</b>	(%)	-	-	-		
C <sub>3</sub> S	54.23	-	-	-		
C <sub>2</sub> S	16.11	-	-	-		
C <sub>3</sub> A	8.58	-	-	-		
C <sub>4</sub> AF	10.80	-	-	-		

#### Mineral Katkı Maddeleri:

Üretimde, Antalya Ferrokrom Tesislerinden temin edilen silis dumanı, AkçanSA Çimento fabrikasından temin edilen cüruf, Yatağan Termik Santralinden uçucu kül, Çimsa çimento fabrikasından kalker filleri ve Labor firmasından kireç (CaCO<sub>3</sub>) temin edilmiştir. Deneyde kullanılan mineral katkıların kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 4.3'de verilmiştir.

#### Kimyasal Katkı maddeleri:

Yapılan deneylerde, modifiye edilmiş polikarboksilik eter esaslı, erken ve yüksek mukavemet ve dayanıklılığı elde edebilmek için yüksek oranda su ihtiyacını azaltan, yeni nesil bir katkı maddesi olan YKS Glenium 51 kullanılmıştır. Glenium 51 kullanarak düşük su/çimento oranı ile reoplastik beton elde edilebilir, ayrışma ve kasma engellenebilir. Ayrıca vibrasyon süresi kısalmır, buhar kürü ortadan kalkar, yüzey

görünümü olumlu yönde etkilenir. Erken ve son mukavemet, elastise modülü, çeliğe aderans, büzülme, sünme ve agresif kimyasallara karşı dayanım artar. Glenium 51'in teknik özellikleri Çizelge 4.4 de belirtilmiştir.

**Çizelge 4.4.** Glenium 5' e ait teknik özellikler

Yoğunluk(g/cm <sup>3</sup> ) (20°C)	1.07-1.012
Klor % (EN 480-10)	<0.1
Toplam Alkali Miktar (Na <sub>2</sub> O eqv) (EN 480-12)	Max 1
Renk	Amber
Homojenite	Homojen
Kimyasal içeriği	Polikarboksilik Eter Zincirleri

#### 4.2. Beton Karışım Hesabı

1m<sup>3</sup> yerine yerleşmiş taze beton üretiminde teorik malzeme miktarlarının hesabında kullanılan bağıntılar aşağıda verilmiştir. Üretimde su/çimento oranı 0.33, dozaj 400 kg/m<sup>3</sup> olarak alınmıştır.

Numunelerin hazırlanmasında katkısız olarak üretilen beton kontrol amaçla üretilen şahit beton olarak adlandırılmıştır. Diğer tüm serilerde % 50 çimento oranı sabit tutulmuş ve diğer % 50'lik dilimde farklı puzolan katkıları kullanılmıştır. 1. seride % 42 oranında cüruf, % 8 oranında silis dumanı ilave edilmiştir. 2. 3. ve 4. serilerde % 38 cüruf oranı sabit tutulmuştur. 2. seride buna ek olarak % 8 oranında silis dumanı ve % 4 oranında kireç ilave edilmiştir. 3. seride silis oranı da sabit tutularak kireç yerine aynı oranlarda kalker filleri ilave edilmiştir. 4. seride de 3. seriden farklı olarak silis dumanı yerine aynı oranlarda uçucu kül ilave edilmiştir. Hazırlanan karışım kompozisyonunun detayları Çizelge 4.5'de belirtilmiştir. Beton karışım hesapları Ek 1 de belirtilen bağıntılardan yararlanarak elde edilmiştir.

**Çizelge 4.5.** Karışım kompozisyonu detayları

Karışım Kodu	Çimento (%)	Curuf (%)	Silis Dumanı (%)	Ucucu kül (%)	Kireç (%)	K.Fil (%)
Şahit	100	-	-	-	-	-
1.seri	50	42	8	-	-	-
2.seri	50	38	8	-	4	-
3.seri	50	38	8	-	-	4
4.seri	50	38	-	8	-	4

### 4.3. Numunelerin Üretimi

Üretimde Çizelge 4.5’de karışım oranları verilen malzemeler kullanılarak tüm seriler aynı işlenebilirlikte üretilmiştir.

Üretime başlamadan önce, agregalar 0.25 ile 32 mm arasında değişen kare gözlere sahip dairesel eleklerden elenerek gruplanmıştır (Şekil 4.1). Yapılan elek analizini sonuçları Ek 2 de belirtilmiştir. Tane çaplarına göre gruplanan agregalar, karışım hesapları sonucu elde edilen veriler doğrultusunda darası alınmış metal kaplarda, Şekil 4.1’deki gibi elektronik hassas kantar ile tartılarak karışım için hazırlanmıştır.



a)



b)

**Şekil 4.1.** Agregaların tartılması, dairesel kare gözlü elekler (Z.Şimşek arşivi 2005)

Tüm bileşenler Şekil 4.2’de görülen düşey eksenli cebri karıştırıcılı 50 litrelik laboratuvar tipi betonyer de karıştırılmıştır. İç yüzeyi ıslatılmış olan betonyerde ilk aşamada kum, çakıl, çimento ve mineral katkıları bir dakika boyunca karıştırılmış sonra karma suyu ilave edilerek ve üç dakika daha karıştırılmıştır. Karışım işlemi tamamlandıktan sonra taze beton üzerinde birim ağırlık ve kıvam deneyleri yapılmış daha sonra da elde edilen harç 15 cm kenar boyutlarına sahip yağlı küp kalıplara, içinde boşluk kalamayacak biçimde Şekil 4.3’deki gibi şişlenerek yerleştirilmiş; kalıpların üst yüzleri master ile düzeltilmiş ve ıslatılmış polimer malzemeler ile örtülerek düz bir yerde 24 saat muhafaza edilmiştir.



**Şekil 4.2.** Beton bileşenlerinin **Şekil 4.3.** Harcın sıkıştırılarak kalıba karıştırılmasında kullanılan betonyer yerleştirilmesi. (Z.Şimşek arşivi 2005)  
(Z.Şimşek arşivi 2005)

Üretimden 24 saat sonra numuneler kalıptan çıkarılarak deneyin yapılacağı güne kadar  $20\text{ C}^0$  sıcaklıkta kirece doymuş su havuzlarında bırakılmıştır. Üretimin 7., 28. ve 90. günlerde yapılacak olan basınç ve impermeabilite deneyinden 24 saat önce, kılcallık deneyinden ise 48 saat önce kür havuzundan çıkartılarak  $18 \pm 4\text{ C}^0$  sıcaklıkta ve %47.66 bağıl nem değerlerine sahip laboratuvar ortamında kurumaya bırakılmıştır.



#### 4.4.Taze Betonda Yapılan Deneyler

Hazırlanan her numunedan eşit işlenebilirliği elde edebilmek için, karışım işlemi tamamlandıktan sonra, birim ağırlık, çökme (slump) ve boşluk miktarı ile ilgili deneyler yapılmıştır.

##### 4.4.1. Birim Ağırlık Deneyi

Birim ağırlık deneyinde, hacmi ve darası belirlenen 1 litrelik kap kullanıldı. Birim hacim kabı standarda uygun olarak Şekil 4.4’de görüldüğü gibi şişlenerek dolduruldu ve yüzeyi spatül ile düzeltildikten sonra kabın etrafı temizlenerek, ağırlığı elektronik %1 hassaslıklı terazide tartımı yapıldı. Taze betona ait birim hacim ağırlığı (1) bağıntısından hesaplandı. Bu verilerden yararlanılarak üretilen betona giren gerçek malzeme miktarları hesaplandı ve sonuçlar Çizelge 4.1’de verildi.

$$\Delta = \frac{W}{V} (gr / cm^3) \quad 1$$

$\Delta$  = taze beton birim hacim ağırlığı,

W = Taze beton ağırlığı,

V = hacim



a)



b)

**Şekil 4.4.** Birim ağırlığın bulunması için taze betonun ölçme kabına doldurulması

(Z.Şimşek arşivi 2005)

#### 4.4.2. Çökme Deneyi

Hazırlanan beton serilerinin eşit işlenebilirliğe sahip olması için, üretilen her seri taze beton çökme deneyi yöntemi ile kontrol edilmiştir. Deneyde üst çapı 10 cm, alt çapı 20 cm. ve yüksekliği 30 cm. olan kesik koni biçimindeki bir kalıptan oluşan Abrams Konisi kullanılmıştır. Abrams Konisi düz bir zemin üzerine yerleştirilerek taze beton ile üç aşamada doldurulmuştur. Betonun minimum boşluk miktarına sahip olması için üç eşit kademede doldurulan harç, her kademede 25 kez standart şişleme çubuğuyla şişlenerek malzemenin sıkışması sağlanmıştır. Aynı işlem huni tamamen dolana kadar tekrarlanmıştır. Huni tamamen dolunca üst yüzeyi mala ile düzlenerek huninin tam olarak dolması sağlanmıştır. Betonun dolumu tamamlandıktan sonra ani bir şekilde slump hunisi yukarı yönde dik olarak kaldırılmıştır. Bunun sonucunda yerçekimi etkisi altında kendi ağırlığı ile çöken yaş beton, yapısındaki potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüşmesiyle denge durumuna erişinceye kadar çökmeye devam etmiştir. Şekil üzerinden ifade edecek olursak,  $h_0$  yüksekliğine sahip yaş beton yerçekimi etkisi ile ve barındırdığı su miktarına bağlı olarak  $h_1$  seviyesine iner (Şekil 4.5).



Şişleme çubuğu huninin üzerine koyularak çöken betonun üst seviyesinden çubuğun altına kadar olan mesafe ölçülmüştür. Bu uzunluk, taze betonun çökme (slump) değeri olarak adlandırılır.

Şekil 4.5. Slump deneyi (Z.Şimşek arşivi 2005)

#### 4.4.3 Taze Betonda Hava İçeriğinin Belirlenmesi

Hazırlanan taze betondaki hava miktarını tespit edebilmek için gazlara ait Mariotte kanunundan faydalanarak çalışan Şekil 4.6'da belirtilen air-mater cihazı kullanılmıştır. Hacmi belirli olan cihazın kabına taze beton şişlenerek doldurulduktan sonra üst yüzeyi

düzeltilerek kenarları temizlendi ve kapağı sıkıca kapatıldı. Gerekli işlemler yapıldıktan sonra cihaz üzerindeki skaladan beton içerisindeki hava miktarı %'de olarak okundu. Her seriye ait hava içeriği Çizelge 4.3'de verilmiştir.



a)



b)

**Şekil 4.6.** Taze betonda hava boşluğunun belirlenmesi (Z.Şimşek arşivi 2005)

#### **Kontrol Deneyleri:**

Taze beton deneylerinden sonra 150x150x150 mm lik küp numunelere doldurularak Şekil 4.7'deki gibi üzerleri ıslak kâğıtla örtülerek, 24 saat laboratuvar koşullarında saklandıktan sonra deneyin yapılacağı güne kadar kür havuzlarında bekletilen numuneler, sudan çıkartılarak sertleşmiş beton deneylerine tabi tutulmuştur.



a)



b)

**Şekil 4.7.** Beton numunelerinin kür koşulları (Z.Şimşek arşivi 2005)

#### 4.5. Sertleşmiş Betona Yapılan Deneyler

Betonun geçirimsizliğine olan etkilerinin araştırılması için puzolan maddeleri ile hazırlanmış numunelerin 28. ve 90. günlerinde sırasıyla impermeabilite (su işleme derinliği), basınç ve kılcallık deneyleri uygulanmıştır. İmpermeabilite ve basınç deneyleri arka arkaya aynı numuneler üzerinde yapılırken, kılcallık deneyi bu deney için özel olarak hazırlanan numuneler üzerinde gerçekleştirildi. Geçirimsizlik ve basınç deneylerinin aynı numunelerde arka arkaya yapılması, basınçlı su etkisi altındaki yerkabuğu yapı elemanlarının bünyelerine giren suyun basınç dayanımlarına olan etkilerini dolayısıyla da yapının uzun zaman dayanımı üzerindeki etkilerini belirleyen değerler hakkında bize bilgiler verir. Bu değer bize aslında geçirimsizliğin beton dayanımı üzerine ne kadar etkili olduğunun bir kanıtı olacaktır.

##### 4.5.1. Basınç Deneyi

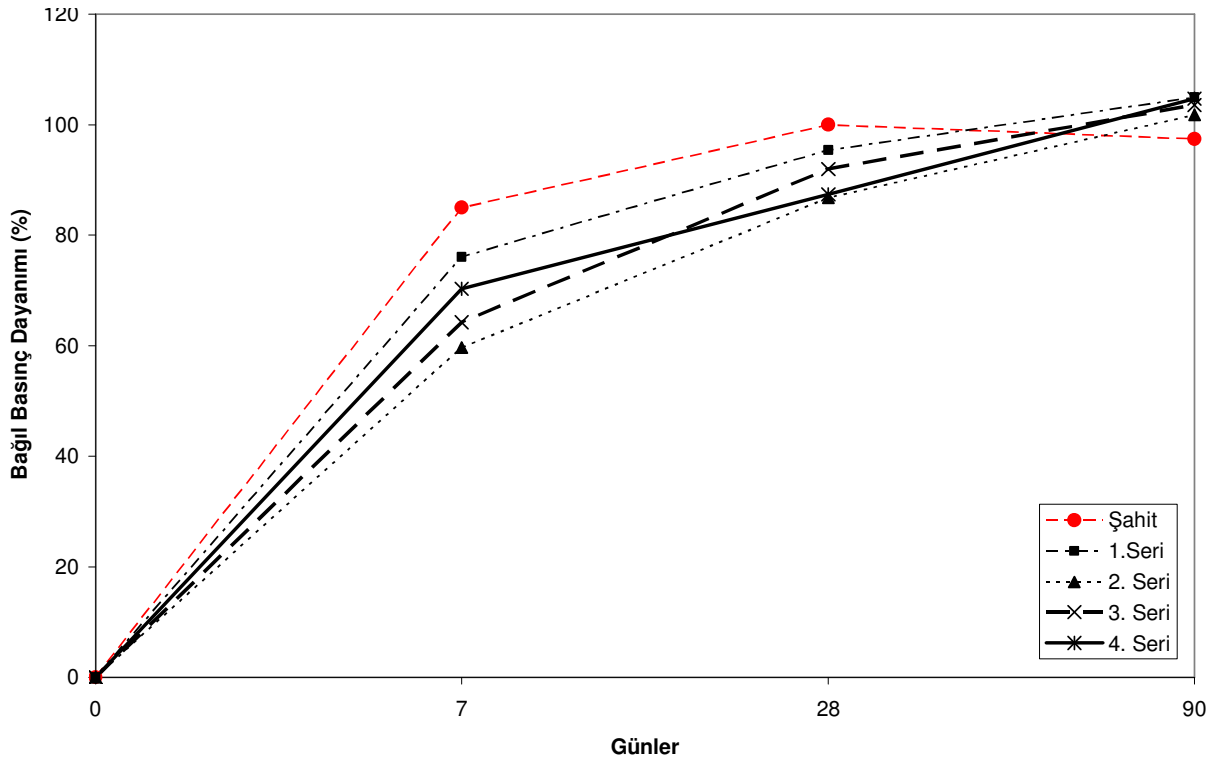
Üretimin 7., 28. ve 90. günlerinde her seride 3'er numunede tek eksenli basınç deneyi yapılmış, PK kırma yükü belirlenmiştir. Deneyde Şekil 4.8'de görülen 2000 KN kapasiteli bilgisayar kontrollü Üniversal pres kullanarak, 150x150x150 mm lik numunelerde 2.50 kg/cm<sup>2</sup>/sn yükleme hızı ile gerçekleştirilmiştir. Basınç dayanımları belirlenmiş aritmetik ortalamaları 28 günlük şahit betonun ortalama değerine ortalanması ile bağlı değerleri bulunmuş sonuçlar çizelge 4.6'da belirtilmiştir. Basınç dayanımına ait grafik Şekil 4.9'da belirtilmiş ve sonuçlar aşağıdaki bağıntılar kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.8. 35 ton kapasiteli Üniversal Pres (Z.Şimşek arşivi 2005)

**Çizelge 4.6.** Basınç dayanımları ( $N/mm^2$ ) ve bağıl (%) değerleri

Günler	Şahit	1. Seri	2. Seri	3. Seri	4. Seri
0	0	0	0	0	0
7	63,6	56,9	44,6	48,1	52,6
28	74,8	71,4	64,9	68,8	65,4
90	78,5	78,5	76,1	77,5	78,3
Günler	Şahit %	1. Seri %	2. Seri %	3. Seri %	4. Seri %
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	85,0	76,0	59,6	64,2	70,3
28	100,0	95,4	86,8	92,0	87,4
90	97,4	104,9	101,7	103,5	104,7



**Şekil 4.9.** Günlere bağlı, bağıl (%) grafiği

$f_{cb} = P_k / F_o$	$I$
----------------------	-----

$f_{cb}$  = Betonun t günlük basınç dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)

$P_k$  = Kırma kuvveti (N)

$F_o$  = Beton kesit alanı (mm<sup>2</sup>)

#### 4.5.2. Su İşleme Derinliği (İmpermeabilite) Deneyi



Üretimin 28. ve 90. günlerinde yapılacak deneylerde kullanılacak olan 30 numune, deneyin yapılacağı günden 15 gün önce sudan çıkartılarak laboratuvar koşullarında kurumaya bırakılmıştır.

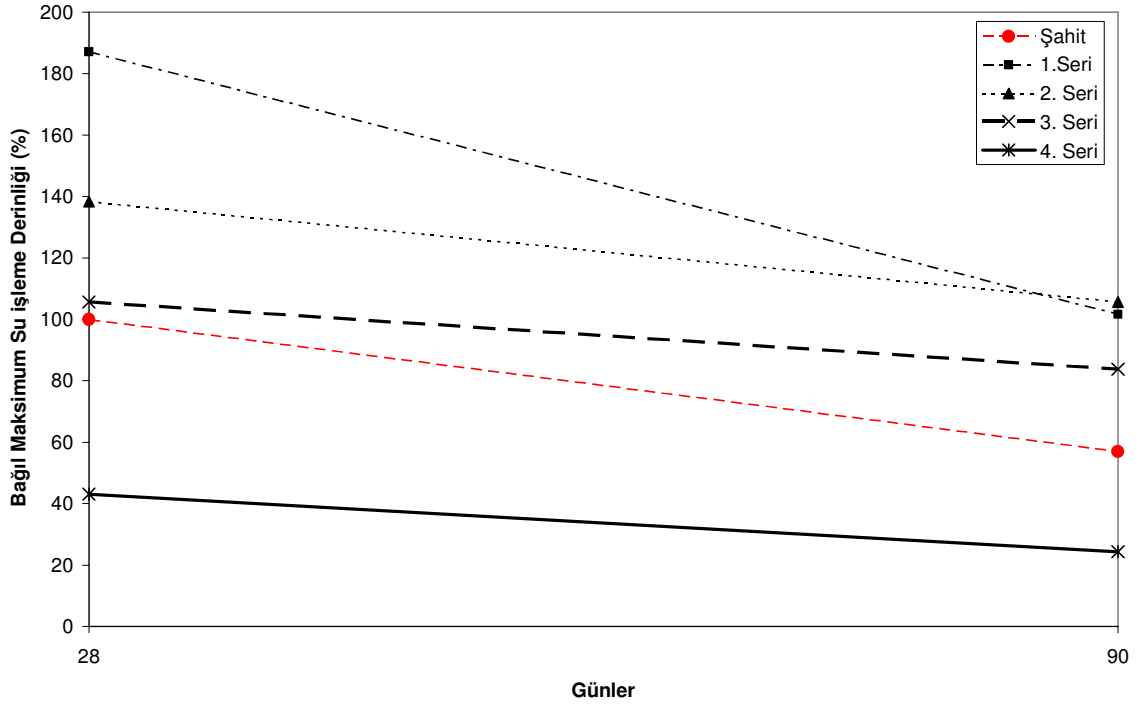
Deney gününde kuru ağılıkları tartılan numunelere 72 saat boyunca 5KB basınç altında Şekil 4.10 ve 4.12' deki impermeabilite aleti ile geçirimsizlik deneyi yapıldı. 72 saatin sonunda impermeabilite aletine bağlanmış olan numune çıkartılarak tekrar hassas kantarda tartılarak bünyesindeki ağırlık değişimi gözlenmiştir.

**Şekil 4.10.** İmpermeabilite aleti (Z.Şimşek Arşivi 2005)

Basınçlı su geçirimsizliğine tabi tutulan numunelerde suyun ne kadar derinliğe işlediğinin tespiti için, 35 ton kapasiteli Üiversal Pres aleti ile beton, üzerine uygulanan basınçla kırılmıştır. Bunun sonucunda beton içine işleyen suyun derinliğinin ortalama değerleri Şekil 4.13'deki gibi tespit edilmiş ve bu değerler Çizelge 4.7 ve Şekil 4.11'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.7. Su işleme derinliği

Su İşleme Derinliği(mm)					
Grup	Şahit	1. Seri	2. Seri	3. Seri	4. Seri
28	12,3	23	17	13	5,3
90	7,0	12,5	13,0	10,3	3,0
Grup	Şahit (%)	1. Seri (%)	2. Seri (%)	3. Seri (%)	4. Seri (%)
28	100	187	138	106	43
90	57	102	106	84	24



Şekil 4.11. Su işleme derinliği zaman grafiği



**Şekil 4.12.** Basınçlı su geçirimsizlik deney aleti (Z.Şimşek arşivi 2005)



**Şekil 4.13.** Numuneye nüfuz eden su miktarının ölçülmesi (Z.Şimşek arşivi 2005)

#### 4.5.3 Kılcallık Deneyi

Kılcal su emme deneyi, birim ağırlıkların ve hacimce su emmelerin belirlendiği 70 mm çaplı silindir numunelerde 28 ve 90. günlerde tüm gruplar için yapılmıştır. Etüvde  $105 \pm 5$  C° 48 saat boyunca değişmez ağırlığa kadar kurutulup, desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulan numunelerin kuru ağırlığı (Wk) belirlenmiştir. Çapı 70 mm olan su ile temas edecek olan yüzeyleri 1/20 verniyer taksimatlı kumpasla ölçülmüş ortalamaları alınarak yüzeylerin gerçek değerleri hesaplanmıştır. Şekil 4.14'deki etüvde kurutulan numunelerin su ile temas edecek olan yüzeyleri kılcal kanalların yabancı maddeler ile dolmasının engellenmesi için fırçalanarak silikonlandıktan sonra, çelik tepsiler içindeki cam bagetler üzerine, fırçalanmış yüzeyi üste gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Tepsinin içi Şekil 4.15'deki gibi cam bagetlerin üzerini 3 mm geçecek şekilde su ile doldurulmuştur. Bu şekilde deney sırasında numunelerin su ile teması sağlanmıştır (Şekil 4.16).





**Şekil 4.14.** Numunenin etüvde neminin alınması (Z.Şimşek arşivi 2005)



**Şekil 4.15.** Kılcallık deneyi düzeneğinin kurulması (Z.Şimşek arşivi 2005)

Numuneler, başlangıçtan itibaren 1.,4.,9., 16., 25., 36.,49. ve 64. dakikalarda tartılarak su ile temas eden yüzeyinden kılcallıkla emdiği su miktarları  $Q$  belirlenmiştir (Şekil 4.17). Bu deney tüm gruplar için aynı şekilde tekrarlanmıştır. Kılcallık katsayısını belirlemek için  $Q/F$  ile  $\sqrt{t}$  arasındaki lineer bağıntıdan yararlanılmıştır. Kılcallık katsayısını bulmak için kullanılan bağıntılar Çizelge 4.8’de verilmiştir. Bu bağıntıdan bulunan kılcal su emme katsayısının ( $K$ ) ortalama değeri Çizelge 4.9’da ve Şekil 4.18’de verilmiştir. Bağlı değerlerinin zamana bağlı değişim değerleri de aynı çizelgenin altında verilmiştir.



**Şekil 4.16.** Numunelerin suda bekletilmesi (Z.Şimşek arşivi 2005)



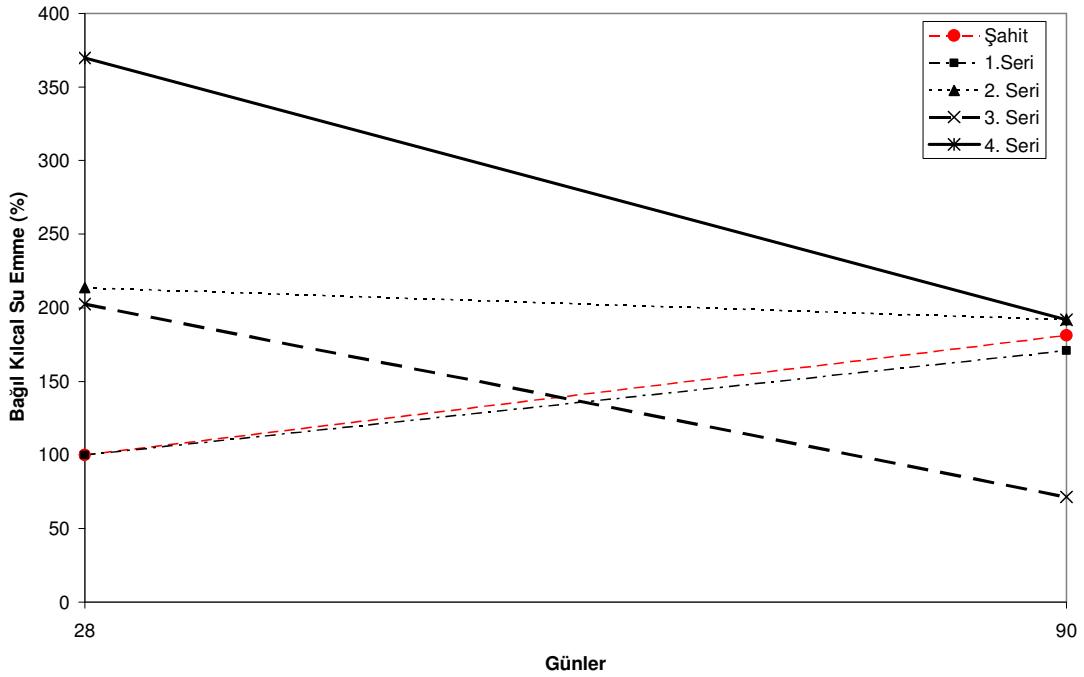
**Şekil 4.17.** Numunelerin tartılması (Z.Şimşek arşivi 2005)

Çizelge 4.8. Kılcal su emme deneyi için gerekli bağıntılar

K =	$(Q/F) / \sqrt{t}$
K:	Kılcallık katsayısı ( $\text{cm}^2/\text{sn}$ )
Q:	Numunelerin emdiği su miktarı ( $\text{cm}^3$ )
F:	Numunelerin su emme yüzeyi ( $\text{mm}^2$ )
t:	Numunelerin kılcal su emme zamanı (8sn)

Çizelge 4.9. Kılcal su emme deneyi sonuçları

Grup	Şahit	1. Seri	2. Seri	3. Seri	4. Seri
28	1,88E-09	1,88E-09	4,01E-09	3,8E-09	6,94E-09
90	3,4E-09	3,21E-09	3,60E-09	1,34E-09	3,60E-09
Grup (%)	Şahit(%)	1. Seri (%)	2. Seri (%)	3. Seri(%)	4. Seri(%)
28	100,0	100,0	213,6	202,5	369,8
90	181,2	170,9	191,7	71,4	191,7



Şekil 4.18. Kılcal su emme deneyi sonuçları

## 5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

Bu bölümde, deneysel çalışma verilerinin değerlendirilmesinden elde edilen sonuçlar aşağıda özet olarak verilmiştir.

### 5.1. Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları

Su içerisinde bekletilen numunelerin 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımlarında (Çizelge 4.6) 28. güne kadar tüm serilerin basınç dayanımında artış görülmüştür. Şahit grup 90. günde %3 oranında bir düşüş göstermesine karşın, 1.seri %9, 2. seri %5, 3. seri %11 ve 4. seri %7 oranında artış göstermiştir. 7. ve 28. günde tüm seriler şahit gruba göre düşük dayanım değerlerine sahipken, 90. günde daha yüksek basınç dayanımlarına ulaşmışlardır. Bu durum kullanılan katkı oranlarında puzolanik özellik bulunduğunu göstermiştir. Puzolan katkılı her beton numunesin basınç dayanımları ilk 28 gün boyunca düşük değerlere sahip iken 90. güne ulaştığında dayanımları maksimum değerleri ulaşır. Sonuç olarak, 1. seriyi oluşturan %42 cüruf ve % 8 silis katkı oranlı betonların en uygun performansı sağladığı söylenebilir. 4. seri ile 1. seri arasında bağıl basınç dayanımı açısından % 0.3 fark olmasından dolayı bu seriden de yüksek performans elde etmek mümkündür. Tek kireç katkılı numune olan 3. serinin bağıl basınç değeri ise 90. günde en düşük değeri almıştır.

Katkı oranı olarak cüruf miktarının artırılması basınç değerini arttırmıştır. Buna karşın puzolan olarak kirecin betona ilave edilmesi durumunda ise bağıl basınç değerinde düşme gözlenmiştir. % 38 oranında cürufun ve % 4 oranında kalker fillerin ilave edildiği 3. ve 4. serilerde 4. seriye 3. serden farklı olarak % 4 oranında silis dumanı yerine uçucu kül ilave edilmiştir. 3. serinin 7. ve 28. günlerdeki dayanımları yüksek olurken 4. serinin 90. gündeki dayanımları daha yüksektir.

## 5.2 Su İşleme Derinliği (İmpermeabilite) Deneyi Sonuçları

Çizelge 4.7’de görülen ortalama değerlere bakıldığında tüm serilerin su işleme derinliği 90. günde 28. güne oranla azalma göstermektedir. 4. seri dışındaki tüm seriler şahit gruba göre hem 28 hem de 90. günde daha yüksek değerlere ulaşmışlardır. 3. seri şahit grup ile benzer değerlere sahipken 1. seri ve 2. seri 28. günde sırasıyla %87 ve %38, 90. günde ise yine sırasıyla %45 ve %49 oranında yüksek su işleme derinliğine sahiptir. 4. seri ise şahit gruba göre 28. günde %57, 90. günde %33 oranında daha düşük değerlere sahiptir. Bu veriler doğrultusunda su işleme derinliği göz önüne alındığında 1. ve 2. seriler düşük 4. seri ise yüksek bir performans ortaya koymuştur.

## 5.3 Kılcal Su Emme Deneyi Sonuçları

Çizelge 4.9’da görülen değerler incelendiğinde 1. serinin kılcallık katsayısı şahit grup ile benzerlik göstererek 90. günde, 28. güne oranla yaklaşık %70 oranında artmıştır. Buna karşın diğer serilerin tamamı çok daha yüksek 28. gün değerlerine sahipken 90. gün kılcallık değerleri düşüş göstermiştir. 28. günde  $6,94E-09$  değeriyle en yüksek kılcallığa sahip 4. seri 90. günde %48 oranında bir düşüş göstermesine rağmen 2. seri ile beraber 90. gün sonundaki en yüksek kılcallık katsayısı olan  $3,60E-09$  değerine ulaşmıştır.

$1,34E-09$  kılcallık değeri ile 90. gün sonunda en düşük değere ulaşan 3. seriyi oluşturan katkı oranlı grup bu deney sonucunda tavsiye edilebilir.

## 6. TARTIŞMA

Yapı, sürekli olarak su ile etkileşim halindedir. Bu etkileşim sonucunda su, yapı üzerinde olumlu ve olumsuz birçok reaksiyonun oluşmasını sağlar. Su, yapının bulunduğu her ortamda bulunur ve gerek yağış suları gerekse zemin suları olarak yapıya etki eder. Suyun yapı ortamında bulunması doğal olarak önlenemez, fakat beton yapı malzemesi ve beton kabuğun içindeki çelik donatı üzerinde oluşturduğu tahribat nedeniyle, yapı ile olan teması kesinlikle engellenmelidir. Bununla birlikte tüm dış çevresel etkenler altında güvenli ve sağlıklı bir bodrum iç mekânının oluşmasını sağlayan aynı zamanda yüksek dayanımlı ve dayanıklı bir yerkabuğunun oluşturulması gerekmektedir. Bunun için öncelikle yerkabuğu elemanlarını çevreleyen zemin ile olan etkileşimleri tespit edilmiştir. Bu etkileşim sonunda zemin türlerine ve bünyelerindeki su durumuna bağlı olarak uygun temel sistemleri belirlenmiştir.

Yerkabuğu elemanlarını etkileyen su ve nemin yeraltı kabuğu üzerindeki etkilerinin ve betonarme kabuğa nasıl etki ettiğinin belirlenmesi, sorunun en doğru çözümü için bize yol gösterir. Tasarıma başlamadan önce uygun çözüme ulaşabilmek için tüm bu dış etkenler belirlenerek gerekli tespitlerin yapılması gerekmektedir. Kullanım koşulları altında yerkabuğu için belirlenen bu fiziksel koşulların sağlanmadığı veya uygulandığı durumlarda betonarme yerkabuğu üzerinde hasarlar oluşur.

Tüm bu hasar mekanizmasının oluşmasının engellemesi için suyun yapı ile temas etmesinin engelleyecek sistemler ve uygulamada kullanılan malzemeler belirtilmiştir. Yapılan bu çalışmada, zemin yerkabuğu etkileşimi göze alınarak yapılaşmaya elverişli ve elverişsiz zeminler tespit edilip, bu zeminlere uygun temel seçimi, yalıtım malzemesi ve teknikleri hakkında gerekli tespitler yapılmış, bu sistemlerin seçilme nedenleri ve olumlu-olumsuz yönleri ortaya koyulmuştur.

Yeraltı suyunun mevcut bulunduğu zeminlerde uygulanan yerkabuğu yapı elemanları için belirlenen kriterler aşağıda verilmiştir.

- Zemin suları, beton malzeme ve içindeki donatı üzerinde son derece yıpratıcı etkiler oluşturur.
- Betonarme yerkabuğu elemanlarına her ne şekilde olursa olsun su ve nemin girmesi engellenmelidir.
- Yeraltı kabuğu, yeraltı suyunun oluşturduğu basınç kuvveti, zemin yanal basıncı ve zemin içinde oluşan bu basıncına karşı dayanıklı ve dengede olmalıdır.

Yerkabuğu yapı elemanları sürekli olarak kendilerini çevreleyen zemin ve mevcut yeraltı suyu ile etkileşim halindedirler. Yapının yüklerini sağlam bir şekilde zemine aktarıp kendi dayanımının koruması da bu etkileşime bağlıdır. Yerkabuğu yapı elemanlarının zemin ve yeraltı suyu ile etkileşimi sonucunda elde edilen veriler aşağıda verilmektedir.

- Zemin hareketleri ve konsolidasyon sonucunda yapı bünyesinde oluşan çatlaklar da suyun girişine olanak verir. Betonun bünyesinde oluşan bu çatlaklar suyun bu kanallardan yapı bünyesine girerek olumsuz etkilerini oluşturmasına neden olur. Ayrıca yüzeysel yalıtım malzemelerinin de zemin hareketlerine dayanamayıp hasar görmesine neden olabilir. Bu nedenle zemin etütleri yapılmadan asla inşaata başlanmamalıdır. Eğer yapı ince taneli ve suyun etkisiyle şişip yapı üzerinde basınç uygulayan ve yapı oturmalarına olanak veren, zemin emniyet gerilmesi  $1 \text{ kgf/cm}^2$  den küçük olan killi, siltli vb. zeminler üzerine inşa edilecekse mutlaka zemin iyileştirme metotlarına başvurulmalıdır. Yumuşak zemin tabakası özel sıkıştırma yöntemleri ile basınç uygulayarak sıkıştırılabilir bundan sonra suyu yapısına alıp şişmeyen ve alt tabakalara kadar kolayca drene edebilen iri taneli zemin emniyet kat sayısı yüksek yeni bir zemin tabakası ile yer değiştirerek sağlam bir zemin tabakası oluşturulabilir.
- Zemin türüne uygun bir temel sisteminin seçilmesi de konsolidasyon riskini ve suyun girişine açık çatlakların oluşumuna engel olacak bir etkidir. Bu durum özellikle geçirimsizliği sağlanmış betonun özelliğini koruyabilmesi için gereklidir. A, B ve C grubu zeminlerde yüzeysel temellerin kullanılması

gerekmektedir. Temele etki eden dış kuvvetlerden olan zemin yanal basıncının en az olduğu ve hidrostatik basıncın hemen hemen hiç olmadığı durumlarda tekil temeller, tekil temellerin zeminden gelen basınç kuvvetlerine karşı koyamadığı, kolon sayısının artıp aralarındaki mesafenin azaldığı durumlarda mütemadi temeller, zemin emniyet gerilmesinin çok düşük olduğu, zemin üst tabakasında kalitesiz toprak, sulu balçıklı, organik ve çürümüş maddelerin çoğunlukla bulunduğu ve sıkışabilme özelliği fazla olan zemin türlerinde ve basınçlı yeraltı suyunun bulunduğu, yüklerin eşit ve homojen olarak zemine aktarılması gerektiği durumlarda radye temeller kullanılmalıdır. Zemin taşıma kat sayısı düşük D grubu zeminlerde ise derin temel uygulamalarına gidilmelidir. Bu sayede yapı zemin, hidrostatik basınç ve deprem yüklerine karşı dengede kalabilmektedir.

- Yerkağının yeraltı suyunun basınç etkisine karşı dayanıklı ve dengeli olması için bodrum duvarlarının betonarme perde duvar temel sisteminin de radye temel olması gerekir.
- İnce taneli zemin üzerine inşa edilmiş yapı alanında drenaj sisteminin kurulmadığı ve suyun yapıdan uzaklaştırılmadığı durumlarda deprem kuvvetlerinin zemini tetiklemesi sonucunda zemin tanelerinin arasına giren su yapı zeminin hızla hareket etmesine ve batmasına olanak verir. Zemine uygun temel sisteminin seçilmediği ve suyun da bu alandan uzaklaştırılmadığı durumlarda oluşabilecek hasarlar özellikle deprem sonrası ortaya çıkar. Bu tür zeminlerde radye temel uygulamalarına gidilmelidir.
- Kimyasal bozulma sonucunda beton, hem fiziksel olarak hasara uğrar hem de basınç dayanım değeri düşer. Bu nedenle betonarme yapı elemanlarının sülfatlara karşı dayanım gösterecek şekilde tasarlanması, ayrıca bu kimyasal reaksiyonlardan etkilenmeyecek yüzeysel yalıtım malzemelerinin seçilmesi gerekmektedir. Bu nedenle zeminde bulunan sülfatlara karşı dayanım sağlayan çimento ve puzolan katkı maddeleri ile oluşturulmuş beton ile oluşturulmaları ön görülmektedir.

Betonarme yerkabuğu yapı elemanlarının suyun zararlı etkisinden korunması için geliştirilen sistem ve bileşenlerinin incelenmesi sonucu elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Zemin nemine ve basınçsız olarak yerkabuğuna etki eden suyun etkisinin azaltılması için drenaj sistemi ile basınca karşı dayanımı olmayan fakat basınçsız suyun girişini engelleyen malzemeler kullanılabilir. Drenaj sistemine ek olarak, çimento esaslı yüzeysel yalıtım malzemeleri ile beton bünyesine katılan kimyasal ve puzolan katkı maddeleri bu gibi durumlarda yeterli yalıtım sağlayabilirler.
- Basınçsız su yalıtımında kullanılan çimento esaslı su yalıtım malzemelerinin rijit bir yapıya sahip olmalarından dolayı yapı hareketlerini karşılayamayarak gerek düşey ve yatay yüzeylerin birleşim noktalarından gerekse yüklenmenin fazla olduğu noktalardan çatırlar. Çatlama riski yüksek olan yalıtım malzemelerinin ömürleri de uzun olamaz.
- Zaman içinde yeraltı su seviyesinin yükseleceği de göz önünde tutularak uygulanan sistemin sürekliliği sağlanmalıdır. Drenaj sisteminin uygulanması sonucunda yapıya gelen suyun sürekli olarak yön değiştirmesini sağlanarak yalıtım tabakaları üzerine gelen kuvvetler azaltılmalıdır. Ayrıca drenaj sisteminin uygulanması, olası toprak kaymaları ve sel sonucu oluşabilecek hasarları da oluşmasını engelleyici rol üstlenir.
- Uygulanan drenaj sisteminin devamlılığının sağlanabilmesi için sistemin içine giren suyun rögarlara iletilmesi sağlayan boruların tıkanmasına olanak veren zemin taneciklerinin sistemin içine girmesinin engellenmesi gerekir. Bu nedenle, drenaj borularının etrafına bir filtre tabakası yerleştirilir.
- Belirli bir basınç altındaki suyun betonarme yerkabuğunun bünyesine nüfuz etmesinin engellenmesi için yalıtılacak yüzeyleri kesintisiz bir şekilde sarılması



veya beton malzemenin bünyesinde boşluk kalmayacak şekilde yüksek dayanımlı olarak üretilmesi gerekir.

- Lateks emülsiyonlar, asfalt emülsiyonları ve solüsyonları, okside asfalt çimento harçları gibi malzemelerin hidrostatik su basıncı etkisine karşı koyamamalarından ve zeminde bulunan sülfat iyonları gibi kimyasallara karşı dayanım gösteremediklerinden dolayı yerkabuğu elemanlarının suya karşı korunumunda kullanılmaları uygun değildir.
- Basınçlı yeraltı suyunun etkili olduğu durumlarda ise en iyi verim, bitümlü su yalıtım örtüleri ile onu izleyen plastik su yalıtım örtülerinden alınmaktadır.
- Basınçlı su yalıtımında kullanılacak olan tüm yüzeysel su yalıtım malzemelerinin sürekli değişim gösteren ısıl davranışlara karşı yüksek elastikiyet değerlerine sahip olması gerekir.
- Kimyasallara karşı genellikle dayanım gösteren likit su yalıtım malzemeleri ile su yalıtım örtüleri elastik yapıya sahiptirler. Fakat yapıya etki eden basınç kuvvetlerinin her noktada eşit olmamasından dolayı yalıtım tabakaları da belirli noktalarda aşırı yüklenebilir. Bu yüklenmenin ek yerlerinde olduğu söz konusu olursa, aşırı yüklenen yalıtım tabakalarının bu bölgelerinde açılmalar ve kopmalar gözlenebilecektir. Çimento esaslı yalıtım malzemelerinin ise elastikiyet özelliğine sahip olamadıklarından dolayı bu tür yalıtımlar yapı hareketlerini karşılayamayarak hemen çatlarlar bu sebeple hizmet ömürleri uzun değildir.
- Uygulanan yalıtım sistemlerinden verimli bir sonucun elde edilebilmesi için etki eden su şekline bağlı olarak ve zemin yapısında bulunan ve su ile birlikte yapıya nüfuz edebilecek olan kimyasalların yapısına uygun yalıtım malzemeleri ve tekniklerinin seçilmesi gerekmektedir.

- Tasarım aşamasında alınan kararlar uygulama anında doğru detaylandırılmalıdır.
- Uygulamada sistem hakkında yeterli bilgiye sahip işçi ile birlikte çalışılmalıdır.
- Uygulanan malzeme kadar uygulanan yüzeyin kalitesi de yalıtımın performansı açısından önem taşır.
- Hem pozitif hem de negatif su yalıtımı uygulamalarında yüzeysel yalıtım tabakalarının yapmayı kesintisiz bir şekilde sarması sağlanmalıdır.
- Yalıtım malzemelerinin ek yerlerinin açılmaması için bu noktaların birbirlerine iyi yapıştırılması sağlanmalıdır.
- Basınçlı suya karşı uygulanan su yalıtım örtüleri suyun basınç etkisine karşı direnebilmesi ve düşey yalıtımın yüzeye tam olarak yapışıp kaymaması için belirli bir basınçla sıkıştırılmalıdır.
- **Uygulamanın negatif taraftan yapılması suya karşı tam bir korunum sağlayamaz. Yalıtımın çok iyi yapılması durumunda bile su yapıya ulaşabilecektir. Bu nedenle beton yapı malzemesini suya karşı dayanıklı ve yapı yüklerine bağlı oluşabilecek çatlak ve deformasyonlara karşı dayanımlı olması sağlanmalıdır. Bu sebeple beton malzeme ile oluşturulan yerkabuğu yapı elemanlarının zamana bağlı deformasyonlara ve zemin kimyasallarına karşı dayanıklı, yüksek basınç dayanımına ve geçirimsizliğe sahip beton malzeme ile oluşturulması ön görülmektedir.**

Basınçlı yeraltı suyu ve zemin nemi beton yerkabuğu yapı yüzeylerinde ve içindeki çelik donatı üzerinde onarımı olanaksız hasarlar oluşturur. Ayrıca dışarıda gelecek deprem kuvvetleri gibi ani bir yüklenme sonucunda yapı tamamen işlevini kaybedebilir. Özellikle yalıtım uygulamalarında yapılan hatalar ve yanlış malzeme seçimi ve malzemelerin ömrünün kısa olması yüzeysel yalıtımın yapılması halinde bile zaman içinde çürüyerek suyun beton yüzeylerle bulaşmasına neden olur. Ayrıca

betonarme perde yüzeyleri ile yalıtım örtülerinin farklı genleşme katsayılarına sahip olmalarından dolayı oluşan gerilmeleri karşılayamayan yalıtım malzemeleri koparak beton yüzeyleri açıkta bırakırlar. Hangi yüzeysel yalıtım malzemesi uygulanacak olursa olsun su, uzun veya kısa bir zaman dilimi içinde beton yüzeyler ile buluşacaktır. Ayrıca beton kendisini zorlayan birçok dış kuvvetlere direnmeye çalışır. Bu neden betonun performansını arttırabilmek için bunun dışında yapay puzolan katkı maddeleri çimento oranı ile ağırlıkça yer değiştirerek karışıma ilave edilmiştir. Kullanılan katkı oranları değiştirilerek taze beton üzerinde birim ağırlık, çökme ve hava içeriği deneyleri, sertleşmiş beton üzerinde ise basınç, impermeabilite ve kılcallık deneyleri yapılmış ve aralarında en iyi sonuç veren beton karışım tespit edilmiştir. Betonun incelenmesi sonucunda geçirimsizlik ve dayanım hakkında elde edilen veriler aşağıda verilmiştir.

- Yerkabuğu elemanlarının iyi performans sergileyebilmeleri için onu oluşturan beton malzemenin maksimum dolulukta ve iyi bir işçilikle üretilmesi gerekmektedir.
- Beton bileşimini oluşturan her malzemenin karışım miktarı detaylı hesaplar sonucunda belirlenir. Doluluk oranı yüksek bir beton elde edebilmek için belirlenen malzemeler eksiltip arttırılmamalı veya hesaplanan miktarların dışında bir oranda kullanılmamalıdır.
- Seçilen agregalar, kaliteli aynı zamanda basınca ve diğer dış etkenlere karşı dayanıklı seçilmelidir. Ayrıca agregaya yüzeylerine yapışan kil, silt, organik maddeler, kömür taneleri vb. gibi hiçbir şekilde taşıyıcılık özelliğine sahip olmayan maddelerden arındırılmalıdırlar. Maksimum doluluğun sağlanması için şekilleri yuvarlak ve köşesiz olmalıdır.
- Çimento ile agregaya arasında oluşacak aderansın kuvvetli olması için inceliği fazla olan çimento kullanılmalıdır.

- Çimento sertleşerek bağlayıcılık özelliğinin kaybetmeden önce kalıba dökülmelidir. Bunun için hazırlanmasından döküleceği ana kadar geçen zamanın en fazla bir saat olması gerekir. Bu durum beton karışımına ilave edilecek özel kimyasal katkılarla uzatılabilir.
- Çimento ile su arasında oluşan kimyasal reaksiyon sonucundan açığa çıkan hidrasyon ısısının çatlakların oluşmasına olanak vermemesi için düşürülmesi gerekir. Bu sebeple, hidrasyon ısısı düşük olan bir çimento kullanılması, beton üretiminde düşük sıcaklıklarda bileşenlerin kullanılması, (su yerine buz katılması ve bileşenlerin gölgede depolanması, v.b ), ortam sıcaklığının yüksek olduğu durumlarda beton dökülmemesi gerekiyorsa hidrasyon ısısını düşüren katkıları kullanılması gerekir.
- Karışım suyunun içilebilir nitelikte olası ve yabancı kimyasalları içermemesi gerekir.
- Taze betonun kolay yerleşebilmesi için, yüksek işlenebilir özelliğine ve düşük su/çimento oranlarına sahip olması gerekir. Su miktarı işlenebilirliği arttıran bir özelliktir. Fakat suyun artması aynı zamanda dayanımında azalmasına neden olur. Düşük su/çimento oranı ile yüksek işlenebilirliğin sağlanabilmesi için betona %1–5 oranında akışkanlaştırıcı kimyasal katkıları ilave edilebilir.
- Taze betonun kalıba döküldükten sonra iyi yapında boşluk kalmayacak şekilde iyi sıkışması gerekir.
- Kalıbına yerleştirilen betonun suyunu kaybederek çatlamaması için bakımına özen gösterilmelidir. Dayanımını kazanana kadar sulanmalı, ıslak bir çuvala üzerleri örtülmelidir.

Yukarıdaki niteliklere sahip, değişik katkı maddeleri ile iyi hazırlanmış beton örnekler üzerinde yapılan deneylerin sonunda elde edilen veriler ve öneriler aşağıda verilmiştir.

- Yapılan deneyde, aynı oranlarda puzolan katkılarıyla oluşturulmuş beton örneklerinin birincisi kalıba yerleştirilirken iyi sıkıştırılmamıştır. İmpermeabilite aletine bağlanıp basınçlı suya maruz kalan bu örnek yapısındaki boşluklardan su akmaya başlamıştır. Özelliklerini iyileştirilen katkılarla oluşturulmasına rağmen kötü işçilik nedeniyle elde edilen bu örneğin performansı çok düşük çıkmıştır. Bu nedenle bu örnekler iptal edilerek yerine aynı oranlarda katkılarla hazırlanmış iyi sıkıştırılmış beton numuneleri kullanılmıştır. İyi bir işçilikle üretilen aynı numunelerden ilkinde göre çok daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Betonun iyi yerleşmesinin geçirimsizliğe olan önemi bu örnek sayesinde iyice açıklanmaktadır.
- Puzolanlar ile oluşturulan bütün serilerde basınç dayanımı zamanla artmıştır.
- Yapılan tüm deneylerden elde edilen veriler doğrultusunda puzolan malzemeler kullanılarak üretilen betonların normal betonlara göre ilk zamanlardaki dayanımının düşük olduğu, fakat ilerleyen zamanlarda daha yüksek dayanım değerlerine ulaştığı görülmüştür.
- Şahit grubun basınç dayanımına göre diğer katkılı serilerin 90. gündeki basınç dayanımları daha yüksektir. Ancak 1. seri performans açısından en uygun grup olarak tavsiye edilebilir.
- Kılcal su emme deneyinde serilerin günlere göre farklılık gösterdiği görülmüştür. 1. seri ve şahit betonda kılcal su emme oranları artarken diğer serişlerde bu oranlarda azalma gözlenmiştir. Bu deneyde en düşük kılcallık kat sayısı 3. seride gözlenmiştir. Bu suyun kılcal kanallardan en az yükseldiği seri olduğunu göstermektedir.
- Su işleme derinliği sonuçlarına göre, tüm serilerin su işleme derinliğinde 90. günde 28. güne oranla azalma görülmüştür. 4. seri dışındaki tüm gruplarda şahit gruba göre değerlerin arttığı görülmektedir. Bu deneyde 1. ve 2. serilerde 90. günde 28. güne oranla su işleme derinliğinde azalma görülmüştür. 4. seriye ise en az derinlikte suyun işlediği görülmüştür.

Deney sonuçlarından da anlaşılacağı gibi beton ne kadar kaliteli üretilirse üretilsin azda olsa basınç altında içine su işleyebilmektedir. Önemli olan, bu miktarı azaltarak betonun zaman içinde oluşabilecek çatlak vb. etkilere karşı dayanımının ve dayanıklılığının arttırılabilmesi ve yüzeysel yalıtım malzemelerinin hasar görmesi durumunda su ile baş başa kalan malzemenin hasar riskinin azaltılmasıdır. Uygulamanın toprak altında gerçekleşiyor olmasından dolayı hasar gören yalıtım tabakaları onarılamayacaktır. Bu nedenle, beton malzemenin performansı yapay puzolan katkı maddeleri sayesinde oldukça arttırılmaya çalışılmıştır.

Yerkabuğu elemanlarının istenilen niteliklerde bir performans sergileyebilmeleri için belirlenen sistemlerin bir arada kullanılması önerilmektedir. Dayanımı ve geçirimsizliği arttırılmış beton ile yüzeysel yalıtım malzemelerinin bir arada kullanılması oluşabilecek tüm hasar mekanizmalarının engellenmesi için en iyi çözüm olarak görülmektedir.

**KAYNAKLAR**

ABDUL-MOGHNI,H.S., AL-HADITHY,A. I., AL-MISHHADANI,S.A. 2000. The Permability of Admixture Concrete To Oil Products. Cement and Concrete Tecnology in 2000s. Ankara, 6–10 Eylül 2000, sayfa 312–32. Cement Manufacturares' Association. Ankara. 582 p.

AKMAN,S. 1990. Yapı Malzemeleri. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, sayfa 1–104, İstanbul. 162 s.

ANONİM 1. 1995. Concrete a Material for the New Stone Age, a Mast Module Materials Science and Technology. www.matsel.mase.utnc.edu

ANONİM 2. İyem Su Yalıtımı Eğitim Programı, 78 s.

ANONİM 3. Beton Elemanların Onarımında Epoksi Sistemleri ve Uygulamaları. Durateks Koruyucu Malzemeler San. ve Tic. A.Ş, s. 10–14

ANONİM 4. 1998. Betonda Suyun İşlevi. Çimento ve Beton Dünyası, (2)16:45

AITCIN,P.C ve A. NEVILLE. 2003. Su-Çimento Orantısı Beton Dayanımını Nasıl Etkiliyor. Çimento ve Beton Dünyası, (8)45: 45–53.

AKALIN,Ö.A ve E. TANDIRLI. 2003. Farklı Kimyasal Kökenli Süper Akışkanlaştırıcı Katkıların Beton Dayanıklılığı Üzerine Etkileri. 5. Ulusal Beton Kongresi, Betonun Dayanıklılığı (Dürabilite). İstanbul, 1–3 Ekim 2003, sayfa 99–109. Maya Basın Yayın, İstanbul. 603 s.

AKINCITÜRK, N. 2001. Yapı Temellerinde Su Sorunu ve Yalıtım Uygulamaları. Yalıtım 2001 Kongresi Bildiriler Kitabı. Eskişehir, 23-25 Mart 2001, sayfa 157-162. TMMOB Odası. Eskişehir

ATAHAN,H.N., B.Y. PEKMEZCİ, M. UYAN, H. YILDIRIM. 2003. Sülfatların Portland Çimentolu ve Sülfata Dayanıklı Çimentolu Betonların Dürabilitesine Etkisi. 5. Ulusal Beton Kongresi, Betonun Dayanıklılığı (Dürabilite). İstanbul, 1–3 Ekim 2003, sayfa 411–419. Maya Basın Yayın, İstanbul. 603 s.

ATMACA,M. 2003. Yapı Temelleri ve Zeminler. Mühendislik Yayıncılık, Ankara. 132 s.

AVLAR,E. 1995. Binalarda Nem ve Önlemleri. Yıldız Teknik Üniversitesi Basım-Yayın Merkezi, İstanbul. s.20–29

AVLAR,E. 2000. Yapılarda Su Ve Nem Korunumu. Yıldız Teknik Üniversitesi Basım-Yayın Merkezi, İstanbul. s.79–93

- BİRİCİK,H. 1999. Su Geçirimsizliğinin Puzzolan Malzeme ile Azaltılması. Yapıda Yalıtım Konferansı Bildirileri. İstanbul, tarih, sayfa 91–103. TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayınları, İstanbul, ? s.
- BİRİCİK,H. 1995. Buğday Sapı Külünün Puzolonik Özellikleri ve Kilin Çimento Harcının Dayanıklılığına Etkisi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul. s. 20–29
- CHING,F. 1997. Building Construction Illustrated. Van Nostrand Reinhold, New York. P. 53–58
- CHUDLEY,R.1996. Construction Technology 4. Longman, England. p. 84–90
- CHUDLEY,R.1997. Construction Technology 1. Longman, England. p. 15–19. p. 25–28
- ÇALIŞKAN,S. 2003. Agreganın Cinsi ve Tane Boyutunun Arayüzey Aderans Dayanımına Etkisi. Çimento ve Beton Dünyası, (7)41: 65
- ÇELEBİ, M.R. 2004. Yapı Elemanları I-II, Repar Matbaacılık, İstanbul, s. 1–29.
- ÇELİK,Ö. 2004. Uçucu Kül Silis Dumanı ve Atık Çamur Katkıların Çimento Dayanımına Etkileri. Beton 2004 Kongresi Bildirileri. İstanbul, 10–12 Haziran 2004, sayfa 657–663. Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul. 742 s.
- ÇOLAK,Ç. 1992. Zeminde Sızma ve Drenaj. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon. s. 66–75
- DAĞ,F.E. 2001. Suyun Yapıdaki Etkileri ve Yapıların Suya Karşı Yalıtımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul. 72 s.
- DUTT,O. Properties and Performance of Membranes. <http://irc.nrc-nrc.ca/cbd/cbd030e.html>, Canada.
- EKİNCİ,C.E. 2003. Yalıtım Teknikleri. Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul. s. 229–230
- ERDOĞAN,T.E. 2003. Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara. 729 s.
- ERDOĞDU,K. 1998. Su Yapılarındaki Betonlarda Bağlayıcı Malzeme Seçimi. Çimento ve Beton Dünyası, (2)12:17–23
- ERİÇ, M. 2002. Yapı Fiziği ve Malzemesi. Literatür Yayınları, İstanbul. s. 334–344
- ERTEM, E. 2002, Yeraltı Su Seviyesi Altında Kalan Bodrum Kabuklarında Karşılaşılan Yalıtım Problemleri; Çözümüne Uygun Uygulama Teknikleri ve Yalıtım Malzemelerinin İrdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir. 244 s.



GÖNÜL,İ. 2000. Yapılarda Zeminden Kaynaklanan Nemlenmeyi Önleme Yöntemlerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.

GRATWICK,R.T. 1966. Dampness in Buildings, Crosby Lockwood & Son Ltd, London. s. 112–164

GRİFFİN,D.E. 1967. Test on Reinforced Concrete, Salt Gain Accelerates Corrosion of Steel, Materials Protection, 6, 39-41

JOHNSON, M.S. ve KAVANAGH, T.C 1968, The Design of Foundations for Buildings, McGraw-Hill Book Company, Newyork, s 53-54,

JONES, P.M., Bituminous Materials, <http://irc.nrc-cnrc.ca/cbd/cbd038e.html>

KARAMAN E. Yerleşim Alanlarında Deprem Hasarlarını Arttırıcı Yönde Rol Oynayan Risk Faktörleri, <http://www.atso.org.tr/dergi/agust7.htm>

LAALY, H.O., DUTT, O. Single-ply roofing membranes, <http://irc.nrc-cnrc.ca/cbd/cbd082e>.

LEGGET, R.F. Ground Water, <http://irc.nrc-cnrc.ca/cbd/cbd082e.html>

LUFISKY K, 1980, Yapılarda Su İzolasyonu, Seyaş Yayınları, İstanbul, 221 s.

MACHMEIER, R. E, Driving A Well Point, <http://www.extension.umn.edu/distribution/naturalresources/DD0951.html>

MANNİNG, G.P,1961, Foundations, Concrete Publications Limited, London, 62 p.

MASSAZZA, F. 2001. Çimentolu Sistemlerin Gelişimi:Geçmiş ve Gelecek, Çimento ve Beton Dünyası, (6)31:39-47

MONFORE, G.E, Verbeck, G.J, 1960, Corrosion of Prestressed Wire in Concrete, ACI Journal, 32, 491–515

NAM, E. 1997, Yeraltı Su Seviyesi Altında Bulunan Yapı Elemanlarında Su Yalıtım Uygulama Yöntemleri ve Kullanılan Malzemeler, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, s 96

NEVİLLE, A. 2003. Betonun Kendiliğinden İyileşmesi Bir Mucizemi, Çimento ve Beton Dünyası, 43:49-53

NEVİLLE, A.M., 1990, Properties of Concrete, Third Edition, Longman Scientific and Technical, Newyork,

OYMAEL, S. 1997, Yapı Fiziği Ders Notları, Ode Mühendislik, İstanbul

- ÖNER A., Yıldız R., 2004, Betonun İç ve Dış Ortam Etkilerine Dayanıklılığı Üzerine Genel Bir Bakış, [http://www.imokocaeli.org.tr/ content.asp? Main= 2&Menu= 7&Cat](http://www.imokocaeli.org.tr/content.asp?Main=2&Menu=7&Cat)
- ÖZAYDIN, K. 1989, Zemin Mekaniği, Meva Matbaacılık ve Yayıncılık, Ltd.Şti. İstanbul, 89 s.
- ÖZKUL, M.H, Şahin, Y.E., Sağlam, A.R, Parlak, N. 2003, Farklı Kimyasal Kökenli Lingnosülfonatların Betonun Dayanıklılık Özelliklerine Etkileri, 5.Ulusal Beton Kongresi 'Betonun Dayanıklılığı (Dürabilite)', 1-3 Ekim 2003, sayfa 87-98. Maya Basın Yayın, İstanbul. 603 s.
- SAĞLAM, Ş. 1994. Trabzon'daki Kent İçindeki Yapılarda Zeminle Temas Eden Yapı Elemanlarının Su ve Neme Karşı Korunumlarında Alınan Önlemler ve Sorunları. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 84 s.
- SCHROEDER, W.L ve S.E. DICKENSON, 1996. Soils in Construction. 4th edition, Prentice Hall, Inc. New Jersey, p.317, 210,211
- ŞAHAL,A.N. 2001. Bina Toprak Altı Dış Kabuk Sistemlerinde Yer Alan Bitümlü Örtülerin Basınçlı Su Etkisi Altında Geçirimsizlik Performanslarının İncelenmesi İçin Bir Yöntem. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul 204 s.
- ŞAHAL,A.N. 1992. Temellerde Su Yalıtımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 73 s.
- ŞENGÜL,Ö., M.A.TAŞDEMİR, Z.YÜCEER, T.ERENOĞLU, 2003. Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufunun Betonun Klor Geçirimsizliğine ve Basınç Dayanımına Etkisi. 5. Ulusal Beton Kongresi, Betonun Dayanıklılığı (Dürabilite), 1-3 Ekim 2003, sayfa 483-492. Maya Basın Yayın, İstanbul. 603 s.
- SİDERİS, K.K., A.E.SAVVA, 2000. Dürability of Blended Cements. Cement and Concrete Tecnology in 2000s. Turkish, Ankara, 6-10 Eylül 2000, p.283-291. Cement Manufacturares' Association, Ankara, 582 p.
- SÜMER,M. 1989. Betonda Sıvı Hareketinin Kompozit Malzeme Kuralları ile İncelenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 104 s.
- TÜRKÇÜ, Ç. 2000. Yapım. Mimarlar Odası İzmir Şubesi Yayınları, İzmir, s. 61-91
- UĞURLU,A. 2003. Sulama Kanallarında Sülfat Problemleri ve Çözüm Önerileri. 5. Ulusal Beton Kongresi, Betonun Dayanıklılığı (Dürabilite), 1-3 Ekim 2003, sayfa 570-573. Maya Basın Yayın, İstanbul, 603 s.
- ÜNAL,A. 2004. Hava Sürükleyici Katkı Maddesini Beton Basınç Dayanımına Etkisi. Bitirme Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul, 72 s.
- ÜNAL,B., F.Köksal, C.Eyyubov, 2003. Polipropilen ve Çelik Liflerin Betonun Donma-Çözülme ve Aşınma Direncine Ortak Etkisi. 5. Ulusal Beton Kongresi, Betonun

Dayanıklılığı (Dürabilite), 1–3 Ekim 2003, sayfa 345-355. Maya Basın Yayın, İstanbul, 603 s.

YİĞİTER, H., S.AYDIN, H.YAZICI, B.BARADAN, 2004. Uçucu Kül Katkılı Betonların Bazı Fiziksel Mekanik ve Dürabilite Özelliklerinin Araştırılması. Beton 2004 Kongresi Bildirileri. İstanbul, 10–12 Haziran 2004, sayfa 58-65. Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul. 742 s.

YÜCESOY, L. 2001. Temeller-Duvarlar-Döşemeler. 2.Basım, Yem Yayınları, İstanbul, s. 25–42

WILLIAMS. G. P. Drainage Around Buildings. <http://irc.nrc-cnrc.ca/cbd/cbd156e.html>

<http://www.americanwick.com/residential/basement.shtml>

<http://www.boomenviro.com/geotextiles.htm>

<http://www.cetco.com/CETCObrochure1104.pdf>

[www.civilturk.com](http://www.civilturk.com)

<http://www.cofra.com/uk/cofra/index-uk.htm>

<http://www.concretenetwork.com/concrete/waterproofing>

[www.emulser.com.tr](http://www.emulser.com.tr)

<http://www.heris.com.tr/diger.html>

<http://www.imtek.com.tr/webtr/zeminkons.htm>

<http://www.izomas.com.tr>

<http://www.mse.berkeley.edu/faculty/cooper/Electro-OsmosisBB.html>

[http://www.ndspro.com/drainage\\_materials\\_appl.html](http://www.ndspro.com/drainage_materials_appl.html)

<http://www.nilex.com/pdf/broch/drainage.pdf>

[www.ornl.gov/sci/roofs+walls/insulations/ins\\_07.html](http://www.ornl.gov/sci/roofs+walls/insulations/ins_07.html)

<http://www.pavingexpert.com/drain03.htm#type>

[www.pecora.com](http://www.pecora.com)

<http://www.parchem.com>

<http://www.permaquik.com/>

[www.polycoatusa.com](http://www.polycoatusa.com)

<http://www.renolith.com/waterpenetrationprotection.html>

[http://www.tpub.com/content/aviation/14018/css/14018\\_255.htm](http://www.tpub.com/content/aviation/14018/css/14018_255.htm)

<http://www.terrasystems-inc.com/wick.htm>

[www.vandex.com](http://www.vandex.com)

[www.ce.washington.edu/~liquefaction](http://www.ce.washington.edu/~liquefaction)

[http://www.yalteks.com.tr/Urunler\\_Tamamla\\_Drenaj.htm](http://www.yalteks.com.tr/Urunler_Tamamla_Drenaj.htm)

**Ek 1: Beton karışım hesapları**

$v = v_{\check{c}} + v_s + v_{ag} + h$	1
$f_b = \frac{f_b}{axw^2}$	2

1 m<sup>3</sup> teorik taze beton içim malzeme miktarı

$1000 = \frac{W_c}{\delta_c} + \frac{W_s}{1} + \frac{W_u}{\delta_u} + \frac{W_v}{\delta_v} + H$	3
---	---

$$1000 = \frac{400}{3.1} + 132 + V_{ag} + 0 = 739$$

$$W_{iri\ 8-16} = 739 \times 0.32 \times 2.8 = 662$$

$$W_{ince\ 4-8} = 739 \times 0.22 \times 2.28 = 455$$

$$W_{2-4} = 739 \times 0.15 \times 2.65 = 294$$

$$W_{1-2} = 739 \times 0.99 \times 2.65 = 177$$

$$W_{0.5-1} = 739 \times 0.1 \times 2.65 = 196$$

$$W_{0-0.5} = 739 \times 0.12 \times 2.65 = 235$$

24 litrelik teorik taze beton içim malzeme miktarı

$$W_{iri\ 8-16} = 15577$$

$$W_{ince\ 4-8} = 10704$$

$$W_{2-4} = 7038$$

$$W_{1-2} = 4150$$

$$W_{0-1} = 11100$$

$$W_{su} = 3168$$

$$W_{\check{c}imento} = 4800$$

$$W_{curuf} = 3648$$

$$W_{silis\ dumani} = 768$$

$$W_{ca} = 384$$

$$W_{glenium} = 86.6$$

**Ek 2: Elek analizi sonuçları**

	Elek göz boyutu	31,5	16	8	4	2	1	0.5	0.25
K1 1000 gr	Elek üzerinde kalan	0	0	0	51,5	339,5	200,5	229,5	94,5
	Elek altına geçen	1000	1000	1000	948,5	609	408,5	179	84,5
	Elek altına geçen %	100	100	100	95	61	41	18	85
K2 1000 gr	Elek üzerinde kalan	0	0	0	0	0,5	1,5	25,5	810,5
	Elek altına geçen	1000	1000	1000	1000	999,5	998	972,5	162
	Elek altına geçen %	100	100	100	100	100	100	98	16
K3 3000 gr	Elek üzerinde kalan	0	0	1670	1222	27	1	1	3,5
	Elek altına geçen	3000	3000	1330	108	81	80	79	75,5
	Elek altına geçen %	100	100	44	3,6	2,7	2,6	2,6	2,5
K4 3000 gr	Elek üzerinde kalan	0	0	1149	1837	13	0	0	0
	Elek altına geçen	3000	3000	1851	14	1	0	0	0
	Elek altına geçen %	100	100	62	0,5	0,3	0	0	0

**TEŞEKKÜR**

Yüksek lisans tez çalışmama süresince değerli bilgi ve deneyimleri ile çalışmamı yönlendiren ve benden manevi hiçbir desteği esirgemeyen, hem bir akademisyen hem de bir insan olarak pek yönüyle örnek aldığım saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Nilüfer AKINCITÜRK' e ve Prof. Dr. Rıfat ÇELEBİ' ye, çalışmam sırasında değerli görüşlerini ve hiçbir yardımını benden esirgemeyen sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Hasan BİRİCİK'e ve Öğr.Gör.Dr. Filiz ŞENKAL SEZER'e, laboratuvar çalışmalarında bana yardımcı olan tüm Kültür Üniversitesi Malzeme Laboratuvarı çalışanlarına, Bursa Beton ve Sinta yetkililerine teşekkürler ederim.

Ayrıca, hayatım boyunca kendileri ile gurur duyduğum, çalışmalarım ve tüm yaşamım boyunca maddi ve manevi destekleri benden esirgemeyip bana hep destek olan eşim Yusuf ŞİMŞEK'e, babam Prof. Dr. Osman MANAVOĞLU'na, annem Feride MANAVOĞLU'na ve kardeşlerim Zeynep ve Ömer MANAVOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Zuhal ŞİMŞEK, 1978 Antalya doğumlu olup, 2002 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü Lisans Programını tamamlamıştır. 2002 yılında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Ana Bilim Dalı Yapı Programı'nda Yüksek Lisans eğitimine başlayan Zuhal ŞİMŞEK, 2003 yılından bu yana Uludağ Üniversitesi Mühendislik - Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.