

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

BETON KAPLAMALI KANALLARDA MALZEME DAYANIKLILIĞINI
ARTIRMA OLANAKLARI

120952

Hasbi YAPRAK

120952

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

ANKARA

2002

Her hakkı saklıdır

13 0123

Prof. Dr. Aydın ÖNEŞ danışmanlığında, Hasbi YAPRAK tarafından hazırlanan bu çalışma 26 / 09 / 2002 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA Anabilim Dalı'nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Aydın ÖNEŞ



Prof. Dr. Fazlı ÖZTÜRK



Doç. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ



TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

Yukarıdaki sonucu onaylarım



Prof. Dr. Metin OLGUN
Enstitü Müdürü

ÖZET

Doktora Tezi

BETON KAPLAMALI KANALLARDA MALZEME DAYANIKLILIĞINI ARTIRMA OLANAKLARI

Hasbi YAPRAK

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Aydın ÖNEŞ

Ülkemizde; beton kaplamalı sulama kanallarının planlanan servis ömürlerinin kısa oluşu, önemli sayılabilecek bakım ve onarım giderleri oluşturmaktadır. Kanal kaplama betonunun performansını artırarak, servis ömrünü uzatabilmek amacıyla; betonda lif katkı maddeleri ve betonun olgunlaştırılması için de farklı kür yöntemleri araştırma kapsamına alınmıştır.

Laboratuvar ortamında; polipropilen lif, cam lif, doğal (sızal) lif, çelik lif kullanılarak ve lif katkısız (kontrol) beton örnekler üretilmiştir.

Beton örnekler; açıkta sulanmadan, dış yüzeylerine kür malzemesi sürülerek, günde iki kez sulanarak (bir hafta süreyle), ıslak örtü altında ve havuzda kür işlemi uygulanarak olgunlaştırılmıştır.

Taze betona; çökme, birim ağırlık ve hava içeriği, sertleşmiş beton örneklerine; basınç, yarmada-çekme, beton test çekici, donma-çözülme, geçirimsizlik, su emme, kapiler su emme ve sülfata dayanıklılık testleri uygulanmıştır.

Test sonuçlarının varyans analizi yapılmış, Duncan testi uygulanmıştır. Araştırmada kullanılan liflerin betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirdiği saptanmıştır.

Havuz kürü; betonun olgunlaştırılmasında, beklendiği gibi etkin bulunmuştur. Islak örtü altı uygulamasıyla da beton özelliklerinde önemli iyileşmeler sağlanmıştır. Reçine esaslı kür malzemesi sürülerek yapılan alternatif kür uygulamasının yeterli etkiyi oluşturmadığı saptanmıştır.

Islak örtü altı kürü uygulanan cam lifli betonun basınç dayanımı; aynı koşuldaki polipropilen lifli betona göre % 3 yüksek, çelik lifli betona göre de % 7 düşük bulunmuştur. Çekme dayanımı; polipropilen lifli betondan % 10 fazla, çelik lifli betonla eşdeğer sonuç vermiştir. Su işleme derinliğinin; polipropilen lifli betondan % 9, çelik lifli betondan % 7 oranında düşük gerçekleştiği saptanmıştır.

Araştırmada elde edilen test sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde; en uygun lif katkısının cam lifi olduğu, pratikte uygulanabilirliği dikkate alındığında da; ıslak örtü altı kür uygulamasının en etkili kür yöntemi olduğu kanısına varılmıştır.

2002, 96 sayfa

ANAHTAR KELİMELER: Sulama kanalı, beton, polipropilen lif, cam lif, doğal (sızal) lif, çelik lif, kür.

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

Improvement of Material Durability of Concrete Canals

Hasbi YAPRAK

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Construction and Irrigation

Supervisor: Prof. Dr. Aydın ÖNEŞ

In our country, the short-lived service of concrete-coated irrigation canals constitute significant unkeep and repair expenses. This study deals with different course methods using fibre additives in concrete and for the maturation of concrete aimed at lengthening the span of service by improving the performance of concrete-coated canals.

In a laboratory environment, samples of concrete were produced with polypropylene fibre, glass fibre, natural fibre, steel fibre; and also without fibre (control).

The concrete samples were matured by means of five different course methods exposed without watering; spreading the course materials on the surface; watering twice a day; keeping underneath a wet cover; keeping in a pool.

The fresh concrete was subjected to slump; unit weight and air content resistance tests, while compressive; splitting-tensile; Schmidt hammer; freezing-thawing; permeability; water absorption; capillary water absorption; and sulfate resistance tests were applied to the hardened concrete samples.

Variance analysis was applied to the test results, and the Duncan test was carried out. The study showed that the fibres used improved the physical and mechanical properties of the concrete.

The pool course used in the maturation of the concrete was effective as expected. Keeping the concrete under a wet cover also brought about significant improvements in the properties of the concrete. It was observed that spreading resin-based material did not result in a sufficient effect.

It was found that the compression resistance of concrete samples with glass fibres kept under a wet cover was 3 % higher than the sample with polypropylene fibres, but 7 % lower than the sample with steel fibres. Its tensile resistance was 10 % more than that of the sample with polypropylene fibres, and equal to that of the sample with steel fibres. It was seen that the depth of water treatment was 9 % lower than that of the sample with polypropylene fibres, and 7 % lower than that of the sample with steel fibres.

When the results of the tests applied during the study are evaluated in general, the opinion was reached that glass fibre was the most suitable fibre additive; while the wet cover course was considered to be the most effective course from the aspect of practical application.

2002, 96 pages

Key Words: Irrigation canal, concrete, polypropylene fibre, glass fibre, natural (sisal) fibre, steel fibre, cure.

TEŐEKKÖR

Bu alıŐma; uzun sayılabilecek bir sűrete tamamlanmıŐtır. Laboratuvar olanaklarının sınırlı olması, materyal ve deney yűntemlerinde karŐılaŐılan sorunlar, sűrecin uzamasında önemli lűde etken olmuŐtur. Bu uzun sűrete çalıŐmalarımın sonuçlanmasını sabırla izleyen ve bana gerçekten danıŐmanlık yapan Sayın Prof. Dr. Aydın neŐ'e, gerek ders gerekse tez aŐamasında ilgilerini benden esirgemeyen Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı BaŐkanı Sayın Prof. Dr. Cengiz Okman baŐta olmak űzere tűm ğretim űyesi, araŐtırma görevlisi ve elemanlarına, akademik çalıŐmamı destekleyen Ankara Ŭniversitesi Kastamonu Meslek Yűksekokulu Műdűrű Sayın Prof. Dr. Bahri Gökçebay'a, özellikle ders aŐamamdaki katkılarından dolayı Fen Bilimleri Enstitűsű Műdűrű Sayın Prof. Dr. Metin Olgun'a, çalıŐmada bana her zaman yardımcı olan Sayın Yrd. Doç. Dr. Osman ŐimŐek'e, laboratuvar çalıŐmalarımdaki katkılarından dolayı Hazır Beton Teknolojisi programı öğrencilerime ve aileme teŐekkűr ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	4
2.1. Beton Kaplamalı Kanallar.....	4
2.2. Beton Kaplamalı Kanallarda Karşılaşılan Sorunlar	6
2.2.1. Zeminden kaynaklanan problemler	6
2.2.2. Betondan kaynaklanan problemler	7
2.3. Kanal Kaplama Betonundan Beklenen Özellikler.....	11
2.3.1. Taze betonun işlenebilme özelliği	11
2.3.2. Basınç dayanımı özelliği	12
2.3.3. Dayanıklılık özelliği	13
2.3.3.1. Beton hasarlarının nedenleri.....	15
2.3.4. Geçirimlilik özelliği.....	21
2.4. Beton Karışım Malzemeleri, Özellikleri ve Etkileri.....	23
2.4.1. Çimento.....	23
2.4.2. Agregası	26
2.4.3. Su.....	31
2.5. Beton Performansını Artırmak Amacı ile Kullanılan Katkılar	31
2.5.1. Kimyasal katkı maddeleri	31
2.5.2. Lifler	35
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	42
3.1. Materyal	42
3.1.1. Agregası	42
3.1.2. Çimento.....	42
3.1.3. Karışım ve kür suyu.....	43
3.1.4. Polipropilen, cam, doğal ve çelik lifler	43

3.1.5. Kimyasal katkı maddesi	43
3.2. Yöntem.....	44
3.2.1. Agrega deneyleri.....	44
3.2.2. Taze beton deneyleri.....	47
3.2.3. Sertleşmiş beton örneklerine uygulanan metotlar	48
3.2.4. Beton üretimi, karıştırma, yerleştirme ve kür koşulları	51
3.2.5. Test sonuçlarının istatistiki değerlendirilmesi.....	52
3.2.6. Beton örneklerin kodlanması	54
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	55
4.1. Beton Üretiminde Kullanılan Agrega Özellikleri	55
4.2. Taze Beton Deney Sonuçları.....	56
4.3. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları	58
4.3.1. Basınç dayanımı	59
4.3.2. Yarmada-çekme dayanımı	62
4.3.3. Beton test çekici	65
4.3.4. Bağıl dinamik elastisite modülü (donma-çözülme).....	69
4.3.5. Su işleme derinliği (geçirimsizlik).....	72
4.3.6. Kapiler su emme miktarı.....	76
4.3.7. Su emme oranı.....	78
4.3.8. Bağıl dinamik elastisite modülü (sülfata dayanıklılık).....	81
5. SONUÇLARIN TARTIŞILMASI.....	84
KAYNAKLAR	88
ÖZGEÇMİŞ	96

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Polipropilen lif, cam lif, doğal lif, çelik lif	44
Şekil 4.1. Agreganın granülometri eğrisi.....	56
Şekil 4.2. Basınç dayanımı testi	60
Şekil 4.3. Katkısız ve lif katkılı betonların basınç dayanımı-kür ilişkisi	61
Şekil 4.4. Yarmada-çekme dayanımı testi	63
Şekil 4.5. Katkısız ve lif katkılı betonların yarmada-çekme dayanımı-kür ilişkisi.....	64
Şekil 4.6. Beton test çekici uygulaması.....	66
Şekil 4.7. Katkısız ve lif katkılı betonların test çekici “N” değerleri-kür ilişkisi	67
Şekil 4.8. Ultrasonik test cihazı ve deneyin yapılışı	69
Şekil 4.9. Katkısız ve lif katkılı betonların dinamik elastisite modülü-kür ilişkisi.....	71
Şekil 4.10. Geçirimsizlik testi deney düzeneği.....	73
Şekil 4.11. Katkısız ve lif katkılı betonların su işleme derinliği-kür ilişkisi	74
Şekil 4.12. Kapilerite deneyi.....	76
Şekil 4.13. Katkısız ve lif katkılı betonların kapiler su emme miktarı-kür ilişkisi.....	77
Şekil 4.14. Etüvde kurutulan beton örnekleri.....	79
Şekil 4.15. Katkısız ve lif katkılı betonların su emme oranı-kür ilişkisi.....	80

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1.	Türk standartlarındaki çimento tipleri.....	27
Çizelge 3.1.	CÇ 42.5 çimentosu özellikleri.....	42
Çizelge 3.2.	Liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri	43
Çizelge 3.3.	Araştırma deneme planı.....	53
Çizelge 4.1.	Agrega elek analizi değerleri	55
Çizelge 4.2.	Agrega özellikleri.....	56
Çizelge 4.3.	Beton bileşimine giren malzeme miktarları.....	57
Çizelge 4.4.	Taze beton özellikleri	58
Çizelge 4.5.	Basınç dayanımı varyans analizi	60
Çizelge 4.6.	Basınç dayanımı aritmetik ortalama, standart sapma ve Duncan testi sonuçları	62
Çizelge 4.7.	Yarmada-çekme dayanımı varyans analizi.....	63
Çizelge 4.8.	Yarmada-çekme dayanımı aritmetik ortalama, standart sapma ve Duncan testi sonuçları.....	66
Çizelge 4.9.	Beton test çekici “N” değerleri varyans analizi	68
Çizelge 4.10.	Beton test çekici “N” değeri aritmetik ortalama, standart sapma ve Duncan testi sonuçları	68
Çizelge 4.11.	Dinamik elastisite modülü varyans analizi	70
Çizelge 4.12.	Dinamik elastisite modülü aritmetik ortalama, standart sapma ve Duncan testi sonuçları.....	72
Çizelge 4.13.	Su işleme derinliği varyans analizi	73
Çizelge 4.14.	Su işleme derinliği aritmetik ortalama standart sapma ve Duncan testi sonuçları	75
Çizelge 4.15.	Kapiler su emme miktarı varyans analizi	78
Çizelge 4.16.	Kapiler su emme miktarı aritmetik ortalama, standart sapma ve Duncan testi sonuçları.....	78
Çizelge 4.17.	Su emme oranı varyans analizi tablosu	79
Çizelge 4.18.	Su emme oranı aritmetik ortalama, standart sapma ve Duncan testi sonuçları	81

1. GİRİŞ

Ülkemizde havzaların su olanakları göz önüne alındığında, teknik ve ekonomik olarak sulanabilecek arazi miktarı 8.5 milyon hektardır. Yerüstü ve yer altı su kaynakları ile sulamaya açılan alan miktarı ise 4.2 milyon hektardır.

Ülkemizdeki toprak, beton kaplamalı kanal, kanalet ve borulu sistemlerden oluşan yüzey sulama sistemlerinin toplam uzunluğu, yaklaşık 51 500 km'dir. Beton kaplamalı kanalların miktarı ise 24 000 km'dir. Rakamlardan da görüleceği gibi kapalı sistemlerin avantajlarına karşın, sulama sistemlerinin yarısına yakın bir bölümünü (% 47) beton kaplamalı kanallar oluşturmaktadır.

Sulama projelerinde, tarım alanlarına sulama suyunun iletiminde sulama suyunda olası kayıpların önlenmesi veya en düşük düzeyde tutulması, önemli bir proje kriteridir. Ancak yapılan araştırmalarda, gerek sızma kayıplarından gerekse kaplama betonunda oluşan hasarlardan dolayı önemli su kayıpları oluşmaktadır.

Kanallarda oluşan sızma kayıplarının yüksek düzeyde olması; sulamada verimin düşmesine ve ürün kaybına neden olduğu gibi, taban suyunun yükselmesine, ileriki dönemlerde de çözümü oldukça zor sayılabilecek tuzluluk problemlerine neden olur.

Kanallarda oluşan sızma olayının temelinde; zemin ve betonla ilgili olgular olmasına karşın, hasarların genellikle beton yapı üzerinde yoğunlaştığı görülür. Yanlış malzeme seçimi ve karışım tasarımı, düşük dozaj, kür koşullarının yeterince sağlanamaması, kaplama kalınlığının yeterli olmaması gibi nedenler başlıca etkenlerdir.

Genellikle kür: ya önemslenmemekte veya eksik, yanlış uygulanmaktadır. Islanma-kuruma problemleri açısından tercih edilmemesi gereken; ancak alışılmış uygulama biçimi, betonun bir hafta süreyle günde iki kez sulanmasıdır. Etkin bir kür uygulaması için en az 15 gün süre ile ortamda yaklaşık % 15 oranında bağıl nem sürekliliği sağlanmalıdır. Uygulanan kür işlemi, hidrasyon süresince beton yüzey tabakasının

doğunluk derecesine kontrol ederek, betonun boşluk yapısı, geçirimsizlik, difüzyon ve su emme özelliklerinin iyileştirilmesinde etkili olur.

Dransfield (1986)' ya göre, betona yeterli düzeyde kür uygulanmadığında; 30-50 mm kalınlıktaki yüzeyde, yetersiz hidrasyon sonucu poroz, geçirimli ve zayıf bir tabaka oluşmaktadır. Bu da 10 cm kalınlığındaki kanal kaplama betonunda önemli sakıncalar oluşturur.

1992 yılı verilerine göre, 500 635 ha'lık sulama alanında 12 000 km'lik beton kaplamalı kanalda, toplam kanal uzunluğunun yarısı, 81 000 m³ beton kullanılarak yaklaşık 30x10⁹ TL tutarında onarım yapılmıştır (Uğurlu 1998a).

Ülkemizde ki bu durumun aksine gelişmiş ülkelerde kanal inşaatlarından sonraki ilk 20-30 yıl beton onarımı hiç yapılmamakta, kanal kaplama betonlarında da çatlaklara rastlanmamaktadır (Bekişoğlu 1993 b).

Yukarıda tanımlanan sorunların çözülebilmesi; betonun, ortam koşullarının etkisinde ilk formunu, niteliklerini ve hizmet görme yeteneğini uzun süre kaybetmeden sürdürebilme yeteneği olarak tanımlanan, servis ömrünün uzatılması ile olasıdır.

Kanal kaplama betonlarının özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik önceki araştırmalarda; farklı kimyasal katkı malzemeleri ve mineral katkı maddelerinin kullanımını öngören çalışmalar yapılmıştır.

Yine yapılan araştırmalarda; liflerin betonda büzülme, sünme veya yükleme sonucunda oluşan çatlakları önlediği kanıtlanmıştır. Pigeon et al. (1996), çelik ve karbon mikroliflerin, donma-çözülme çatlaklarına karşı, betonun direncini artırdığını, Huang (2001) ise, polipropilen liflerin ıslanma-kuruma ve sülfat çatlaklarını azalttığını kanıtlamıştır.

Bu araştırmada; ülkemizde yapılacak sulama kanallarının servis ömrünün artırılmasına yönelik önlemleri içeren bir çalışma yapılmıştır.

Yapılan çalışmada, katkı malzemesi olarak; polipropilen, cam, doğal (sızal) ve çelik lifler kullanılarak, kanal kaplama betonunun;

- Su emme, kılcallık ve su işleme derinliğinin azaltılması,
- Donma-çözülme ve sülfat etkilerine karşı dayanıklılığın geliştirilmesi,
- Basınç ve çekme dayanımının artırılması, amaçlanmıştır.

Çalışma, dört bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde konu ile ilgili daha önce yapılan çalışmalar özetlenmiş, Materyal ve Yöntem bölümünde, çalışmada kullanılan materyaller tanıtılmış ve yöntemler açıklanmıştır. Daha sonra araştırmada elde edilen bulgular özetlenmiş, son bölümde de sonuçlar tartışılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

Klasik sulama şebekeleri, fonksiyonları açısından; ana kanal, yedek kanal, tersiyer, kuarter ve tarla içi arkları olmak üzere beş üniteden oluşur. Sulama şebekeleri, yapım sistemlerine göre ise, beton kaplamalı açık kanal, kanalet ve borulu sistemler olarak üç tipe ayrılır (Sungur 1989).

2.1. Beton Kaplamalı Kanallar

Sulama kanalları; cumhuriyet öncesi ve sonrası genelde toprak olarak yapılmıştır. Ancak aşırı sızmanın taban suyunu yükseltmesi ve su kayıplarının fazla olması nedeniyle, 1960'lı yıllardan sonra kanallarda beton kaplama çalışmalarına hız verilmiştir (Bekişoğlu 1993b).

1993 yılı verilerine göre ülkemizdeki beton kaplamalı kanalların uzunluğu 24 020 km olup diğer sulama kanalları içerisindeki payı % 47'dir (Bekişoğlu vd 1993).

Proje gereği, büyük kapasiteli iletim, ana ve yedek kanallar, zorunlu olarak beton kaplamalı (trapez kesit) olarak yapılmaktadır. Ayrıca kanal debisinin $1.6 \text{ m}^3/\text{s}$ 'yi geçmesi durumunda, 5 bin hektardan küçük sulama alanlarında ve derin drenaj sorunu olan yerlerde de tercih edilmektedir (Uğurlu 1998a).

Güngör (1991)'e göre beton kaplamalı kanallar;

- Diğer dağıtım sistemlerine göre daha ekonomik oluşu,
- Sistemde ortaya çıkacak olumsuzlukların kolayca gözlemlenmesi,
- Bakım ve onarımının kolayca yapılabilmesi,
- Ülkenin sosyal yapısına uygunluk göstermesi gibi nedenlerden dolayı tercih edilmektedir.

Beton kaplamalı kanallarda, çatlama, çökme ve kırılma gibi dış etkilere oluşan hasarların giderilmesi, önemli harcamalara neden olmaktadır. Bir örnek olmak üzere bir yılda (1992 yılı verilerine göre); 500 635 hektarlık sulama alanında yaklaşık 12 050

km'lik kanal uzunluğunda 81 477 m³ beton kullanılarak yaklaşık 30x10⁹ TL tutarında onarım yapılmıştır (Uğurlu 1998a). Beton kaplamalı kanallarda gözlenen bir diğer önemli sorun ise sızma kayıplarıdır. Ülkemizde ölçülen sızma kayıplarının, ABD'de ölçülen değerlerden çok fazla olduğu, bazı sulamalarda kabul edilen standardının 130 katına kadar çıktığı gözlenmiştir (Bekişoğlu 1993a).

Kanallarda oluşan sızma; sulama suyunun gereksiz harcanmasının yanında, çevrede drenaj sorunları da yaratır (Öneş ve Balaban1980).

Öneş ve Balaban (1980), Aşağı Seyhan ovası sulama alanında yaptıkları çalışmada, sızma yoluyla oluşan toplam su kaybının % 97'sinin kaplamalı kanallarda oluştuğunu saptamışlardır.

Beton kaplamalı kanallar için beton sınıfı seçilirken, DSİ Sulama İnşaatları Teknik Şartnamesi (Anonim 1994a) gereği BS14 betonu seçilmekte ve minimum 250 kg/m³ çimento dozajı tanımı yapılmaktadır. Ayrıca şartname, beton kaplamalı kanallar için farklı sınırlamalar da getirmiştir. Şartnameye göre;

- Kanallarda su hızının 2.5 m/s'den büyük olması durumunda BS 16 sınıfı beton kullanılmalı,
- Su-çimento oranı 0.55'i aşmamalı,
- Taze beton çökme değeri en fazla 8 cm olmalı,
- En büyük agrega tane çapı 32 mm olmalı,
- Beton, döküldükten sonra kullanılan çimento türüne bağlı olarak en az 7-14 gün süre ile korunmalıdır.

Uğurlu (1998a)'ya göre ise; minimum çimento dozajı 330 kg/m³ alınmalı, betonun su-çimento oranı hiçbir zaman 0.55'i geçmeyecek şekilde tasarlanmalı, şiddetli donma-çözülme etkisinde kalan bölgeler için bu oran en fazla 0.45, orta derecedeki bölgelerde ise 0.50 olmalıdır.

Bekişođlu (1993b), 1981 yılında yaptıđı deđerlendirmede, 10 cm beton kaplama kalınlıđının yeterli olmadıđını, ana kanal, yedek ve tersiyerlerde artırılması gerektiđini ifade etmiřtir. Geliřmiř űlkelerde, kanal inřaatlarından sonraki ilk 20-30 yıl beton onarımı hemen hiç yapılmamakta, betonlarda da çatlıklara rastlanmamaktadır. Bűyűk kapasiteli iletim ve ana kanallarda, beton kaplama kalınlıđı 15 cm olarak uygulanmakta, zemin şartlarına gűre űzel projeler geliřtirildiđinden beton onarımı minimum dűzeyde olmakta, kaplama yapıldıktan ancak 40-50 yıl sonra onarım gűndeme gelebilmektedir.

řimřek (1993), řanlıurfa ana sulama kanalı beton kaplamasından alınan blok űrnekler űzerinde yaptıđı çalıřmada, beton űrneklerin dayanım ve dayanıklılık űzelliđi açısından yeterli olmadıđını saptamıřtır.

2.2. Beton Kaplamalı Kanallarda Karşılaşılan Sorunlar

Sulama kanallarında oluřan hasarların temelinde; zemin ve betonla ilgili yanlıř ve/veya yetersiz uygulamalar gűzlenmekle birlikte, hasarın genellikle beton yapı űzerinde yođunlařtıđı saptanmıřtır.

2.2.1. Zeminden kaynaklanan problemler

Kanal yapımında, dolgu ve sıkıştırma işlemlerinde uyulması zorunlu esaslar, DSİ Sulama İnşaatları Teknik şartnamesinde belirtilmiştir. Buna karşın uygulamada ortaya çıkan sorunları Uđurlu (1992), aşağıda gibi űzetlemiřtir:

- i. Derin ve geniş kazı yapılması sonucu, proje űlűmlerinin sağlanabilmesi amacıyla kazıdan çıkan malzeme sıkıştırılmadan serilmekte, kaplama betonu altında gevşek bir zemin tabakası oluşmaktadır.
- ii. Kanal kaplaması altında balık, şişme potansiyeli yűksek killi zeminler bulunduğunda, zeminin en az 0.3 m, en çok 1 m kazılarak seçilmiş dolgu malzemesi ile doldurulup sıkıştırılması gerekirken bu işlem yapılmamakta, kilin

şişme basıncı değeri göz önüne alınmadan rasgele bir derinliğe kadar kazı işlemi yapılmaktadır.

iii. Dolgularda; kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde farklı sıkıştırma teknikleri ve kalınlıkları seçilmesi gerekirken, bunlara dikkat edilmeden bir sıkıştırma yapılabilmektedir.

iv. Zemin sıklığı; kohezyonlu zeminlerde % 95, kohezyonsuz zeminlerde ise % 80 olması gerekirken, hasarlı kanallarda sıkışma oranları bu değerlerin çok altında saptanmıştır.

Ayrıca, Bekişoğlu (1993b), yaptığı araştırmalarda; kanal güzergahının marnlı, killi ve jipsli arazilerden geçirilmesi, zemin incelemesinin yeterli düzeyde yapılmaması, kanal taban ve çevresinin iyi sıkıştırılmaması sonucu kanal zemininde oturma ve çökmelerin oluştuğunu ifade etmektedir.

2.2.2. Betondan kaynaklanan problemler

Kocabeyler (1998)'e göre, beton yapılarda sıklıkla karşılaşılan en önemli problem, çatlak oluşumudur. Betonda çatlak oluşumu, yalnız estetik görünümü olumsuz yönde etkilemekle kalmaz, dayanım ve dayanıklılığı da önemli ölçüde düşürebilir. Çatlaklar, yapının karşı karşıya kaldığı toplam hasarı yansıtabileceği gibi daha büyük problemlerin de habercisi olabilir. Önem derecesi ise; yapı tipinin yanı sıra çatlak oluşum nedenlerine de bağlıdır.

Çatlaklar; taze ve sertleşmiş betondaki kimyasal reaksiyonlar (alkali-agrega reaksiyonu, sülfat reaksiyonu, vb.) sonucu oluşabileceği gibi, yanlış yerleştirme, sıkıştırma ve kür uygulamasından da kaynaklanabilmektedir. Ayrıca ısıl gerilmeler, hava koşulları, yanlış tasarım, donatı korozyonu, proje hataları ve dış yükler gibi nedenlere bağlı olarak da oluşabilmektedir (Kocabeyler 1998).

Rötre denilince, sertleşmiş betonun suyunu kaybetmesi sonucu oluşan büzülme anlaşılır. Akman (2000)'a göre; betonda oluşan rötre türleri beş grupta toplanır. Bunlar; hidrolik rötre, klasik rötre, çevreye bağlı (ekolojik) rötre olarak tanımlanabilir. Ayrıca, beton henüz yarı katı haldeyken oluşan rötreler vardır ki, bunların birine bünyesel rötre diğerine de plastik rötre adını verebiliriz. Hidratasyon sırasında kazanılan sıcaklığın azalması sonucu oluşan termik rötre ve betonun ortamdaki CO₂'i alması sonucu oluşan karbonatlaşma rötresi de vardır.

Plastik rötre, taze betonda gözlenen oturma, terleme ve yüzeysel kurumaya bağlı olarak gelişir. Kalıbına yerleştirilmiş taze betonun homojenliği, yer çekimi etkisiyle bozulur, iri agrega tanelerini belirli bir uzaklıkta tutan hamur fazının elektrostatik itme kuvvetleri ve suyun ayırıcı adsorpsiyon gücü yerçekimi kuvvetini karşılayamaz ve iri taneler çökelmeye başlar. Daha hafif yoğunlukta olan su ise üst bölgeye yükselir. Oturma sonucu katı fazın kapladığı hacim küçülür ve sertleşmiş betonun hacmi taze haldeki hacminden az olur. Oturma sonucu yüzeyde suyun birikmesine, terleme adı verilir. Yüzeyde biriken suyun tekrar bünye tarafından absorblanması ideal bir çözümdür; ancak atmosferik etkenler bu suyun buharlaşmasına yol açabilir (Akman 1998).

ACI 305'e göre plastik rötre, genellikle sıcak hava koşullarına bağlı olarak gelişir ve buharlaşma hızının beton su salma (terleme) hızından daha fazla olması durumunda ortaya çıkar. Yüksek hava ve beton sıcaklığı, etkin rüzgar veya bunların bileşimleri, buharlaşmayı, buna bağlı olarak da plastik rötre çatlaklarının oluşma olasılığını artırır. Buharlaşma hızının 1 kg/m²/saat'e erişmesinin beklendiği durumlarda önlem alınması gerekir (Anonim 1991b). Özkul ve Uyan (1989)'ın tanımlamalarına göre de, plastik rötre çatlakları, beton kalıplarına yerleştirildikten sonraki 0.5-4 saatleri arasında, özellikle geniş döşeme vb. yüzeylerde, yüzeydeki suyun buharlaşma hızının beton içindeki suyun yüzeye yükselme (terleme) hızından daha büyük olması durumunda görülür. Sertleşme sürecinde olan taze haldeki betonun dayanımı oldukça düşük olduğundan genelde her yöne dağılan yüzeysel, kısa çatlaklar meydana gelir. Bu çatlakların derinlikleri 10 cm'yi bulabilir. Uzunlukları birkaç cm ile 1-2 m arasındadır.

Çatlak genişlikleri 0.10 mm ile 3 mm arasında değişebilir. Çatlaklar sonucu betonun durabilitesi bozulabilir, korozyona açık, geçirgen bir durum alır.

Neville and Brooks (1987)'a göre, beton yüzeyinden buharlaşan su miktarı, $0.5 \text{ kg/m}^2/\text{h}$ değerini aşınca plastik rötre çatlaklarının oluşma olasılığı vardır ve önlem alınmalıdır.

Yüzeysel plastik rötre ve oturma ile şiddeti artmış plastik rötreye karşı alınacak önlemler dış ve iç etkenler olarak sınıflandırılabilir. Önlemlerin en önemlisi, dış etkenleri ortadan kaldırmaktır. Rüzgarı kesecek perdeler oluşturmak, havanın kuruluşunu su jetleri ile gidermek, direkt güneş radyasyonunu beton yüzeyinden uzaklaştırmak önemli yararlar sağlar. Dış önlem almadan yalnızca beton karışımını dizayn ederek plastik rötreyi önlemek oldukça güç, hatta olanaksızdır. Beton terlememeli, suyunu kaybetmemeli, yüksek oturma göstermemelidir (Akman 1998).

Özkul ve Uyan (1994), plastik rötre çatlaklarının, betonun geçirimliliğini arttıracığı için betonun dayanaklılığını azaltacağını ve donatının korozyona uğrama olasılığını artıracığını belirtmektedirler.

Yine Neville (2000)'ye göre; eğer terleme suyu yukarıya doğru çıkarken iri agregata tanelerinin altında sıkışıp kalırsa, ileride zararlı maddelerin beton içine kolayca sızabilecekleri bir yol oluşturarak betonun dayanaklılığını olumsuz yönde etkileyecektir.

Arıoğlu vd (1999), **kuruma büzülmesini** hidrasyon olayı için gerekmeyen suyun zamanla kapiler boşluklardan buharlaşarak ayrılması sonucunda yapı elemanlarında gözlenen "hacimsel küçülme" olarak tanımlamaktadır. Arıoğlu'na göre kuruma büzülmesi;

- Su/çimento oranına,
- İri agreganın hacimsel konsantrasyonuna,
- Beton üretiminde kullanılan agreganın türüne (mekanik büyüklüklerine özellikle elastiklik modülüne),
- Elemanın eşdeğer kalınlık boyutuna,

- Ortamın kür koşullarına (sıcaklık, özellikle bağıl nem) bağlıdır.

Kuruma rötresi, çimento pastasındaki rutubet kaybı sonucu meydana gelir. Çimento pastasında kuruma rötresi sonucu oluşan büzülme miktarı, birim uzunlukta % 1 düzeyine kadar oluşabilir. Betonda agrega kullanılmasından dolayı birim uzunluktaki büzülme yaklaşık % 0.5'e kadar düşmektedir (Kocabeyler 1998).

Alexander (1996)'a göre; betonun dayanıklılığını belirli ölçüde denetleyen büzülme çatlaklarının oluşumu, elastik modülü yüksek agrega kullanımı ve kür uygulaması sonucu en aza indirilebilir.

Neville (2000), kuruma rötresinin, su ile sertleşmiş beton ve betonun deformasyonu ile yıpranması arasında çok önemli bir ilişkiyi temsil ettiğini ifade etmektedir.

Öneş (2001), rötre çatlaklarının önüne geçmek için, betonun dökümünden 8-14 gün sonrasına kadar sulanmasını önermektedir.

Çimentoyu oluşturan ana bileşenlerin su ile birleşerek başlattıkları kimyasal reaksiyonlar, ekzotermik türdendir. Hidratasyon sürdükçe hidratasyon ısıyı yayınmaya devam eder. İlk 1-3 gün arasında toplam ısının yarısı, 7 gün sonra yaklaşık dörtte üçü, altı ay içerisinde ise toplam ısının % 83-91'i açığa çıkar (Erdoğan 1995b). Termik rötre; sertleşme sonunda hidratasyondaki sıcaklığının azalması, sıcaklık nedeniyle genişmiş betonun büzülmeğe başlaması ile ortaya çıkar. Soğumanın yüzeyde daha hızlı olması, kütle betonun sıcaklığını koruması büzülmenin zorlanmasına ve çatlakların oluşmasına neden olur. Rötre ve termik rötrenin oluşturduğu çatlaklar ileride oluşacak termik genişleme ve daralmalarla aktifleşirler (Akman 2000).

Sıcaklık farklılıkları sonucu oluşan çatlakların azaltılması için beton iç sıcaklığının düşürülmesi, betonun soğuma hızının yavaşlatılması ve betonun çekme birim deformasyon kapasitesinin artırılması gereklidir (Kocabeyler 1998).

Termik r tme çatlakları, geniş ve derin olur, zamanla derinleŐir, bir yılda 1.5 m derinliğe ulaŐabilir (Akman 1990).

2.3. Kanal Kaplama Betonundan Beklenen  zellikler

Betondan beklenen ana nitelikler; dayanım ve dayanıklılığının yeterli, ayrıca ekonomik ve estetik olmasıdır. Betonun tasarımı yapan, uygulamayı gerçekleŐtiren, servisteki betonun bakımı ve tasarımı yüklenen mühendis, bu ana nitelikleri birleŐtirmek ve en uygun  z m  bulmak zorundadır (Taşdemir ve Akyüz 1999).

2.3.1. Taze betonun işlenebilme özelliği

Postacıoğlu (1987), işlenebilme özelliğini; betonyerden çıkan taze betonun taşıma ve kalıba yerleştirme sırasında kohezyon ve homojenliğini kaybetmeme, kalıpta kolaylıkla yayılarak mümkün olduğu kadar az boşluk bırakacak Şekilde, kalıbı doldurma özellikleri olarak tanımlamaktadır.

Tanımlanması çok g    ve karmaşık bir teknolojik özellik olan iŐlenebilmenin malzemeye özgü, uygulamada önem taŐıyan iki niteliği akıcılığı ve stabilitesidir. Akıcılık, betonun kolay ve az enerji ile karılması, yerleştirilmesi, kalıbına boŐluksuz doldurulmasıdır. Stabilit  ise betonun bu işlemler sırasında suyunu ve iri agregasını kaybetmeden homojen kalabilmesidir. Birbiriyle çeliŐen bu iki özelliği optimum bir noktada birleŐtirmek ama  lanan üzümdür. Taze betonda kohezyon ve kararlılığı etkileyen birleŐim parametreleri ise; su-  imento oranı, agrega-  imento oranı ve su miktarıdır (Akman 1996).

Yine Akman (1990)'a göre; işlenebilme kavramı i  inde minimum enerji, homojenliğin korunması, boŐluksuz yerleŐme ve kıvam kavramları yatmaktadır. İŞlenebilmeyi bir viskoz sıvı özelliği olan kıvama bağlamak pratik yönden yararlı olmakla beraber, olduk  a yetersizdir.

2.3.2. Basınç dayanımı özelliği

Betonun basınç dayanımı; harcın elastik mdlne, hacimsel konsantrasyonuna, iri agreganın hacimsel konsantrasyonuna ve iri agreganın basınç dayanımına bağlıdır. Normal dayanımlı betonlarda (<40 MPa) genellikle harç fazının rijitliği, agreganın rijitliğinden daha küçüktür. Bu nedenle betonun kırılması harç fazının kırılması sonucu gerçekteşir. Diğer bir ifade ile betonun kırılmasında “agrega dayanımı” ön plana çıkmaz. Agregada dayanımının ön plana çıktığı beton dayanım düzeyleri kabaca $f/100$ MPa olmaktadır. Bu betonlarda harcın rijitliği \leq agregada rijitliğidir. Bu nedenle yüksek beton dayanımlarında iri agreganın seçimi (maksimum agregada boyutu, yüzey drm ve basınç dayanımı) çok önemli mühendislik konusu olmaktadır (Arıoğlu vd 1999).

zmeri ve zden (1991), betonun hemen tüm mühendislik özelliklerinin tek eksenli basınç dayanımı cinsinden tanımlandığı, beton örneğinin ölçülen basınç dayanımının;

- Kr koşullarına,
- Betonun deney anındaki yaşına,
- Yükleme hızına,
- Geometrisine,
- Boyutlarına ve beton örneğinin peklilik derecesine bağlı olduğunu ifade etmektedir.

Mindess (1989)'in tanımına göre de; betonun dayanımı, porozitesi ile ters orantılıdır. Betonda boşluk sisteminin genel kalitesi ise; hidrate trnlerin yapısına, akışkanlığı artıran suyun ve sürüklenmiş/hapsedilmiş havanın miktarına, sıkılaşmanın derecesine ve son olarak hidrasyon trnlerinde meydana gelecek hacim artışına bağlıdır.

Neville (1995), su-çimento oranının betonun bilinen bütün özelliklerini doğrudan etkileyen en önemli parametre olduğunu ifade etmektedir. Neville'ye göre; su-çimento oranı, çimento hamuru yapısını ve agregada-çimento hamuru ara yüzeyini doğrudan etkilemekte, oranının büyümesi ile beton içerisinde boşluklu zayıf bir yapı olmaktadır.

Ayrıca Mindess (1989), su-çimento oranının beton dayanımında en önemli faktör olmasına karşın, agrega özellikleri katkısının görmezlikten gelinemeyeceği tanımını yapmaktadır.

2.3.3. Dayanıklılık özelliği

Grattan (1996)'a göre; betonun dayanıklılığındaki azalmanın sonucu olarak oluşan hasarlar; fiziksel, kimyasal veya fiziksel-kimyasal olayların bileşimi şeklindedir. Betonda hasar oluşturan etkenler, aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Fiziksel etkenler:

- i. Don etkisi,
- ii. Agrega ve çimento arasındaki ısıl uyumsuzluk,
- iii. Betonda rötreye duyarlı agregaların kullanılması,
- iv. Plastik rötreye veya kuruma rötresi çatlağı,
- v. Don etkisine duyarlı agregaların kullanılması,
- vi. Yangın hasarı.

2. Kimyasal etkenler:

- i. Klor etkisi,
- ii. Deniz suyu etkisi,
- iii. Asit etkisi,
- iv. Yeraltı suyundaki veya yerel ortamdaki sülfat etkisi,
- v. Alkali-silika reaksiyonu,
- vi. Betonda ikincil etrengit oluşumu,
- vii. Mikroorganizmaların neden olduğu biyolojik korozyon.

3. Fiziksel-kimyasal etkenler:

- i. Betonda çelik donatımın korozyonuna bağlı çatlama,

ii. Alkali-silika reaksiyona bağlı hasar.

Betonun dayanıklılığı, beton yapıların servis ömrünün saptanmasında önemli bir işleve sahiptir. Endüstriyel işlemlerin yoğun olduğu bölgeler ile deniz atmosferi, deniz suyu etkisindeki ve soğuk iklim yörelerinde ki beton yapıların dayanıklılığının yetersiz oluşu önemli bir sorundur (Taşdemir ve Akyüz 1999).

Taşdemir ve Akyüz (1999)'e göre beton; serviste bulunduğu süreç içerisinde dış etkenlerden etkilenmeden kalıcılığını (dayanıklılığını) sürdürmelidir. Söz konusu çevresel etkiler; kıyı veya açık deniz yapılarındaki dalga hareketi, akıntı sırasında askıdaki maddelerin çarpması, donma-çözülme, ıslanma-kuruma gibi fiziksel nedenlerden ileri gelebilir. Ayrıca asit, klor ve sülfat etkisi, alkali-silika reaksiyonu gibi kimyasal nedenlerle de oluşabilir. Bunların dışında, betona gömülmü çeliğin korozyonu gibi fiziksel-kimyasal nedenler de söz konusudur.

Betonun akışkan geçirimsizliği ise; basınçlı su geçirimsizliği, kılcal su emme ve buhar geçirimsizliğinden oluşur. Yeterli önlem alınmaması durumunda betonda bu üç geçirimsizlik aynı yönde ve olumsuz biçimde yüksek değerlere erişir. Sonuçta dayanıklılık bakımından da sorunlarla karşılaşılır (Taşdemir ve Akyüz 1999).

Taşdemir (1998)'e göre; betonun çevre etkilerine karşı kalıcılığını sürdürebilmesi için en etkin önlem geçirimsizliği sağlamaktır. Betonun geçirimsizliğinde en büyük etken olan dışa açık boşluk ve çatlaklar, betonda en zayıf halka olarak bilinen agrega-çimento hamuru ara yüzeyinde daha belirgindir. Su-çimento oranındaki artış kılcal boşlukların artmasını ve dayanıklılığın olumsuz yönde gelişimini etkileyen en önemli etkenlerden biridir. İlk 7 günlük sürede bakım ve küre özen gösterilmemesi geçirimsizlik açısından önemli sakıncalar ortaya çıkarmaktadır. Puzolanlı çimentoların kullanılması durumunda bakım ve kür işlemine özen gösterilmeli, kür süresi normal çimento ile üretilen betonlara göre de uzatılmalıdır.

Beton teknolojisinde ultra incelikteki mineral katkıların ve süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkıların birlikte kullanılması su-çimento oranının düşmesini, boşlukların

doldurularak daha yoğun bir malzemenin oluşmasını sağlamıştır. Böylece betonun dayanımı ve dayanıklılığında önemli iyileşmeler gerçekleştirilmiştir (Taşdemir ve Akyüz 1999).

2.3.3.1. Beton hasarlarının nedenleri

Taşdemir vd (1997)'ne göre; betonun donmaya dayanıklılığı pek çok etkene bağlıdır. Çimento hamurunun dayanımı ve betonun deformasyon yeteneği bunların başında gelir. Betonun dayanımı arttıkça deformasyon yeteneği de artmaktadır. Ayrıca donma derecesi ile çimento hamuru boşluk yapısı da **donma-çözülme**de etkilidir.

Donma-çözülme tekrarları sonucunda betonun hasar görmesi, boşluklarındaki suyun donma öncesi ve donma sürecinde gelişen hareketi, bu hareketin de kinetiği ile doğrudan ilgilidir (Uğurlu 1999). Betonun oluşturan agrega ve bağlayıcı faz ve çimento hamuru-agrega ara yüzey özellikleri betonun donma çözülme dayanıklılığında önem taşır. Çimento hamuru fazında bulunan kılcal boşluklardaki suyun bir kısmı donunca genişler ve kılcal boşluk çeperlerine hidrolik bir basınç uygular. Donma sonucu boşluk suyundaki tuz ve kireç konsantrasyonu farklılaşır, boşluklar arasında osmotik basınç oluşur. Bu sırada donamayan adsorbe su (birkaç molekül kalınlığında, çimento tanecikleri yüzeyinde elektrostatik olarak tutulan, -74 °C donma derecesinde ki su) ile buz arasında buhar basınç farkı da meydana gelir. Basınç nedeniyle çimento hamurunda yerel genişlemeler ve kurumalar sonucu yerel büzülmeler oluşur. Genleşme ve büzülmelerin yan yana oluşu, kayma gerilmeleri dolayısıyla da çekme gerilmelerinin belirmesine yol açar, betonda çatlaklar gözlenir. Hamurun geçirimsizliği, donan yüzeye bünyedeki suyun ilerleme hızı, hasar derecesini etkiler (Akman 1992). Değişik kayaçların donma-çözülme davranışı üzerinde yapılan çalışmalarda, çoğu kayaçtaki don etkisinin çimento hamurunun davranışı ile paralellik gösterdiğini ortaya çıkarmıştır (Tosun 1989).

Powers et al. (1959), yaptıkları çalışmalarda betonun donmasında kılcal boşlukların, agrega boşluklarının ve çimento hamuru-agrega ara yüzeyindeki geçişlerin etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Mehta (1996)'ya göre de, değişik kayaçların donma-çözölme davranışı çimento hamurunun davranışı ile benzeşim göstermektedir.

Litvan (1972) ise, ince boşluklar içeren ve adsorbe su miktarı yüksek agregta tanelerinin, donma-çözölmede betona zararlı olduklarını, bu nedenle hidrolik basıncın zararlı değerlere ulaşmaması için kritik boy tanımının yapılmasının gerekli olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Mineralojik yapının, agregta geçirgenlik katsayısının ve doygunluk derecesinin bir fonksiyonu olan kritik boy Neville (1995)'ye göre 6.5 mm, Akman (1976)'a göre de 12.5 mm' den küçüktür.

Taşdemir vd (1998)'ne göre hem doğal hem de yapay puzolanların betonun kimyasal dayanıklılığını arttırmada önemli işlevleri vardır. Zararlı sularda kirecin yıkanmasını karşı koyarak, daha yoğun bir kalsiyum silikat hidratı oluşturur ve beton dayanıklılığının artmasını sağlar.

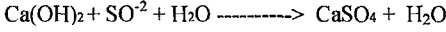
Uğurlu (1995)'ya göre; sülfat korozyonu betonlarda en sık karşılaşılan korozyon tipidir. Burada en büyük etken bileşiklerinin betonla çok değişik ortamlarda temas edecek şekilde doğada bulunması gerçeğidir. Doğada sodyum, potasyum ve magnezyum bileşikleri (tuzları) şeklinde bulunan sülfat; agregta, karışım ve temas suyu ya da zeminde bulunabilir.

Uğurlu (1995) aynı zamanda, agregta içerisinde sülfat olarak alçıtaşı, anhidrit, barit, pirit, markasit gibi mineralojik kökene sahip taneler bulunabileceğini, SO₃ eşdeğeri olarak bir litre betonda toplam 1.2 g'dan fazla bu tip minerallerin bulunması durumunda agregtanın beton için zararlı olacağını ifade etmektedir.

Sülfat etkisi gerçekte oldukça karmaşık işlemler sonucunda gelişen bir olaydır. Portland çimentosundaki C₃A bileşeninin yüzdesi ile yakından ilgili olduğu kesinlikle bilinmektedir (Sağlık 1993).

Betona sülfat etkisi iki ayrı reaksiyon sonucunda meydana gelir;

- i. Çimento hidratasyonu sırasında ortaya çıkan Ca(OH)_2 ile sülfat anyonlarının birleşmesi sonucunda kalsiyum sülfat (alçı) meydana gelir.



Alçı, Ca(OH)_2 kristalleri üzerinde iyon değişimi yoluyla oluşursa % 124'lük bir hacim artışına neden olur (Uğurlu 1995).

- ii. Sülfatların asıl önemli etkisi alçıtaşı ve/veya suda erimiş halde bulunan kalsiyum sülfatla trikalsiyum alüminatın reaksiyona girmesi sonucu ortaya çıkar. Oluşan yüksek sülfatlı sülfö-alüminat tuzun (etrenjit) yüksek oranda kristal suyu içermesi, büyük hacim artışı (% 227) oluşturur. Kristalleşen katı haldeki tuz, betonun boşluk çeperlerinde büyük basınç gerilmelerine neden olur, çatlak şeklinde olan hasar ileri yıllarda ayrışmaya ve yumuşamaya dönlür (Akman 1992).

Ortamda MgSO_4 bulunması etkiyi artırır. MgSO_4 ve etkidiği kalsiyum silikatın çözünürlüklerinin düşük olması, maddelerden birinin bitimine kadar reaksiyonun devamına neden olur (Uğurlu 1995).

ACI Committee 201'de, sülfat etkisinin azaltılması için iki önlem geliştirmiştir. Birincisi çimentodaki C_3A miktarının minimize edilmesi, ikincisi ise hidratasyon sonucunda oluşan CH miktarının çeşitli mineral katkıları içeren çimentolar kullanılarak azaltılmasıdır (Anonim 1977a).

Alkali-agrega reaktivitesi, betona çevreden etkileyen diğer kimyasal hasarlardan farklı olarak, betonun iç kimyasal yapısından kaynaklanır. Agregada içinde opal, kalsedon, çakmak taşı gibi aktif silis minerallerinin bulunması veya agreganın aktif silikatlar içeren riyolit, dasit, andezit v.b. kayalardan oluşması durumunda bu hasarla karşılaşılabılır. Reaksiyonun oluşması için ayrıca çimentodaki alkali (Na, K) oranının

yüksek ve kalsiyum iyonunun da bulunması gerekli iki ek koşuldur. Aktif silis tanımı kireçle kimyasal reaksiyona girebilen silis türleri için kullanılır. Alkali-agrega reaksiyonunda önce Na, K, Ca silikat jeli oluşur, jel zamanla su emer ve hacmi artar. Bu artış beton kütlelerini çatlatır, olay sürerse çatlaklardan dışarı jel akışı başlar. Reaksiyonu hızlandıran faktörler; sıcaklık, nem, ortamın yüksek alkalinitesi, agregata tane boyutlarının küçüklüğüdür. Hasar agregata tanelerinde ve daha çok tanelerin çevrelerinde gözlenir. Alkali-agrega reaktivitesi beton üretimini izleyen yıllar içinde meydana gelir, reaksiyonun 25 yıl sonra dahi olduğu gözlenmiştir (Akman 2000).

Türker ve Erdoğan (1998)'a göre çimentodaki alkaliler ve agregata arasındaki reaksiyonun başlıca iki tipi vardır.

- i. Alkali-Silika Reaksiyonu,
- ii. Alkali-Karbonat Reaksiyonu.

Neville (1995) ortamda aynı anda;

- Yeterli nem,
- Yeterince yüksek miktarda alkali-hidroksit,
- Agregada kritik miktarda reaktif silika bulunması koşullarının oluşması durumunda betonda ASR'den kaynaklanan hasarın kaçınılmaz olacağını tanımlar.

Akman (1999), betonun kütleli olarak çatlamasına ve ileri düzeydeki oluşumlarda kullanılamaz duruma gelmesine yol açan ASR'nin;

- Reaktif karakterli silisin (SiO_2) veya silikatlı kayaların çözünmesi,
- Kalsiyum, sodyum, potasyumlu silikat jelinin oluşması ve
- Silikat jelinin su absorplayarak genişmesi şeklinde geliştiğini tanımlamaktadır.

Türker (1998)'e göre, jel, sınırsız genişleme yeteneğine sahiptir, ortamdaki suyu emer ve sürekli olarak artmaya çalışır. Jel, betonda hidrate çimento pastası ile sınırlandırıldığından genişleme alanı bulamaz, reaksiyon sonucu oluşan iç basınçlar betonu parçalayıcı

niteliktedir ve sertleşmiş betonda çatlak şeklinde kendini gösterir. Neville (1995), çatlak genişliğinin 0.1 mm ile 10 mm arasında değiştiğini, bazen 25 mm'den daha geniş olabileceğini açıklamaktadır.

Alkali-silika reaksiyonunun hangi kayalarda olduğu konusunda yapılan çalışmalarda agregalar (Akman 1999);

i. Reaktif agregalar: Kumtaşı, kataklastik kayalar, volkanik asit kayalar, killi taşlar, grovak, mikrokristalli kuvarz içeren kayalar.

ii. Olası reaktif agregalar: İnce taneli kuvarz ve kuvarzitler.

iii. Zararsız agregalar: İri taneli ve/veya az miktarda kuvarz içeren taşlar şeklinde sıralanır.

Hasarın önlenmesinde öncelikle betonun ağırlıklı ve ucuz bileşeni olan agreganın alkali ortamda çözülmeden türden olması üzerinde durulmuştur. Alkali ortamı oluşturan çimentoyu düşük alkalili çimento olarak kullanmak bir başka çözüm ise de pahalıdır ve şartnamelere konulması pek kolay değildir.

Massazza (1997)'ya göre; çimento Na_2O eşdeğeri alkali % 0.6'dan az ise genleşme önlenir. Ancak alkaliler, dışarıdan geliyorsa bu sınır artık geçerli değildir. Ayrıca puzolanik aktivite deneyini sağlamaları koşulu ile çimentoya % 30-40 oranlarında katılacak doğal puzolan veya uçucu kül de genleşmeyi önleyebilir.

Suda çözülmüş klor hem betonun hem de çelik donatının dayanıklılığı için zararlıdır. Bu nedenle betonun Cl^- içeriği düşük tutulmalı ve dışarıdan iyon girişi önlenmeli veya en aza indirilmelidir. Suda çözülmüş klor, portlanditin yıkanmasını hızlandırarak harç ve betonda gözenekliliği artırır. Bu etki sonucu beton şişerek sertlik ve dayanım kaybına uğrar (Massazza 1997).

Geçirgenliği az bir beton ve yeterli kalınlıkta bir pas payı ile klorun içeriye sızma riski minimuma indirilebilir. Ayrıca klor iyonlarının betonun içine giriş hızları ve işledikleri derinlik, iyon yayınma katsayısına bağlı olarak ;

- i. Su-çimento oranının azalması,
- ii. Çimento dozajının artması,
- iii. Kür süresinin uzatılması ile azaltılabilir (Massazza 1997).

Taşdemir vd (1999)'ne göre, çelik ve betona gömülü çelik elemanlarda çeliğin korozyonunda klor iyonlarının işlevi önemlidir. Klor iyonları elektrolitliği yükselterek anot ile katot arasındaki iyon alışverişini kolaylaştırdığından korozyonu artırır. Klor iyonları çok tahrip edicidir, buna özellikle kış aylarında buz çözücü olarak kullanılan tuzlar neden olur. Öğütölmüş yüksek fırın cürufu kullanımını klor difüzyonu riskini önemli ölçüde azaltır.

Deniz suyu yüksek tuz içeriğinden dolayı beton ve betonarme için zararlıdır. Zararlı etki kendisini genleşme, çatlama, aşınma veya ağırlık kayıpları oluşturarak kendini gösterir (Mehta 1996).

Deniz suyu etkisi, genleşme ve patlamadan daha çok yumuşama ve çözünme şeklindedir. Ayrıca sülfat, magnezyum ve karbonik asit etkilerinin yanında NaCl'in kristalleşmesi sırasında oluşan çok yüksek basınç olayı da önemlidir (Akkaya 1994).

Akkaya (1994)'ya göre, deniz suyunun betonda oluşturduğu hasar 5 bölgede incelenebilebilir. Deniz suyu ile temasta olan en dış yüzeyde karbonatlaşmış bir beton tabakası bulunur. Arkasında Mg'nin sebep olduğu korozyon bölgesi mevcuttur. Onun da arkasındaki bölgenin dış yüze yakın bölgesinde brüsit katı faz olarak oluşur. Kalsiyum sülfat ve kalsiyum klorür ise sıvı fazdadır. Bu bölgenin iç taraflarına doğru sülfat korozyonu bölgesi görülür. Daha iç bölgelerde sızan suyun agresifliği kaybolduğu için ancak yıkama türünde hasar oluşabilir. Bu bölgenin arkasında ise henüz korozyona uğramamış bölge bulunur.

Deniz suyunun pH değeri 7.5–8.5 civarındadır. Dolayısıyla, deniz suyu beton içine nüfuz ettiğinde gözeneklerindeki alkanin eriyiminin pH'ını önemli ölçüde etkilemez (Neville 1995).

Deniz suyunun korozyonuna karşı alınması gereken önlemlerin başında uygun çimento seçimi gelir. Kısmen portland çimentosunun yerine puzolanik maddeler katılması SO_4 'ın içeriye işlenmesini azaltacağı için harç ve betonlarda şişme de az olur. Ancak, puzolan yüzdesi, puzolanik çimentolarda olduğu gibi, yeterince büyük olmalıdır (Massazza 1997).

2.3.4. Geçirimsizlik özelliği

Özellikle su yapılarında beton dayanıklılığını etkileyen en önemli faktör betonun geçirgenliğidir. Betonun geçirgenliği, beton içerisindeki kılcal boşluklar ve çimento hamuru-agrega ara yüzeyindeki mikro çatlakların bir fonksiyonudur (Uğurlu 1999).

Neville (1995)'ye göre betonun geçirimsizliği, yalnızca beton gözenekliliğinin bir fonksiyonu olmayıp, gözeneklerin boyutlarına, dağılımına ve şekillerine de bağlıdır. Genel olarak kılcal boşluklar büyük boyutları nedeniyle, daha küçük ve daha çok sayıda ki jel boşluklarından daha geçirgen olup, tam olarak sertleşmiş çimento pastasının yalnızca jele göre 100 kat daha geçirgen olduğu saptanmıştır.

Çimento pastası ve harçtaki geçirimsizlik ile boşluk dağılımı arasındaki ilişkiyi kanıtlamak için yapılan araştırmalarda; beton içerisinden sıvı akımının, geniş ölçüde, toplam poroziteden çok, kılcal boşluklar ile bağıntılı olduğu ve 880-1500 Å° boyutundaki boşluk hacminin geçirimsizlik ile çok yakın ilişkisi olduğu sonucuna varılmıştır (Goto and Roy 1981).

Powers (1956), sertleşmiş beton içerisindeki boşlukları şu şekilde sınıflandırmaktadır.

- i. Agrega taneleri içerisinde bulunan boşluklar: Normal agregalarda ki çapları genel olarak son derece küçüktür. Sürekli olmadıkları için sıvı akımında önemli bir etki oluşturmazlar.
- ii. Sertleşmiş çimento hamuru içerisindeki boşluklar: Jel ve kılcal boşluklar olup, jel boşluklarının boyutları $1-10 \times 10^{-6}$ mm arasında değişir. Çapları çok küçük olduğundan sıvı akımında önemli bir etkinlikleri olmamaktadır. Kılcal boşlukların boyutları ise mikron boyutunda olduğundan, sıvı akımında ki etkileri önemlidir.
- iii. Hava boşlukları: Çimento hamurunun agrega tanelerinin arasını tam olarak dolduramamaları sonucu oluşan iri boşluklardır. Boyutları 0.1-1 mm arasında değişebilir, kapalı olduklarından sıvı akımına etkileri azdır.
- iv. Kalıbın tam doldurulmaması sonucu oluşan boşluklar: Özellikle betonarme yapılarda betonun iyi yerleştirilmemesi veya betonun yerleşmesinin herhangi bir şekilde engellenmesi, bu yerleşmeyi de iri agrega tanelerinin izleyememesi sonucu oluşabilen iri boşluklardır. Birbirleriyle bağıntılı olduklarından sıvı akımını çok artırır.

Malier (1992), kılcal boşluk miktarının, betonun su-çimento oranı ve hidrasyon derecesinin bir fonksiyonu olduğunu ifade etmektedir. Boyutları yaklaşık 1-3 μ m olan bu boşluklar, değişik biçimlerde, çimento hamuru içinde rasgele dağılmış ve genelde de birbirlerine bağlıdır. Başlangıçta içi su ile dolu olan kılcal boşlukların, hidrasyonunun gelişimi ile boyutları ve miktarı azalır, süreklilikleri kaybolabilir. Kılcal boşluk miktarının azaltılması, betonun performansını olumlu yönde etkiler. Çimento içeriğindeki artış ve su-çimento oranındaki düşüşe bağlı olarak kılcal geçirimsizlik azalır.

Sıvıların beton boşlukları içinden geçişi ile ilgili olarak da Powers (1956), üç tanım yapmaktadır.

- i. Geçirimsizlik (Permeabilite): Sıvının beton boşlukları içinde bir hidrostatik basınç farkı sonucu bir yüzeyden diğer yüzeye ilerlemesi,
- ii. Kılcal su emme: Betonun kılcal boşlukları içerisine suyun yüzey gerilimi etkisiyle emilmesi,
- iii. Difüzyon: Sıvı buharının betonun boşlukları içinde bir buhar basıncı farkı sonucu bir yüzeyden diğer yüzeye iletilmesi.

2.4. Beton Karışım Malzemeleri, Özellikleri ve Etkileri

2.4.1. Çimento

Portland çimentosu, uygun oranlarda birleştirilen killi ve kalkerli hammadde karışımının, döner fırınlarda yaklaşık 1450 °C'de pişirilmesiyle elde edilen klinkerin, az miktarda (% 3-% 6) alçıtaşı ile birlikte öğütülmesi sonucunda elde edilen, su ile birleştiğinde bağlayıcı özellik kazanan üründür (Erdoğan 1995a).

Çimento hammaddelerinin kompozisyonları ve miktarları, çimento kompozisyonunu önemli derecede etkilemektedir. Ana bileşenlerin oranları da, çimento ve betonun hidratasyon hızını, ısısını, dayanım kazanma hızını, dayanım değerini ve dayanıklılığını etkilerken, yan ürünlerin istenilen miktardan fazla olmasının ise çimento ve betonun dayanıklılığı üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır (Erdoğan 1995a).

Silikatlar, C_3S ve C_2S , sertleşmiş çimentoya dayanım kazandıran önemli bileşiklerdir. Silikatlar saf bileşikler değildir, katı eriyik içinde ikinci derecede oksitler içerirler. Bu oksitler, silikatların atomik bağ yapıları, kristal form ve hidrolitik özellikleri üzerinde önemli etkilere sahiptir. C_3S ve C_2S hidratasyon sonunda benzer ürünler meydana getirirler. Bu ürünler kalsiyum silikat hidrate jeli (C-S-H) ve sönmüş kireç ($Ca(OH)_2$)'tir (Neville and Brooks 1987).

Diğer önemli iki karma oksit C_3A ve C_4AF benzer davranış gösterir. C_3A 'nın etkileri çok daha belirgindir. Çimentonun kimyasal etkilere dayanıklılığını bu bileşen yönlendirir (Baradan 2000).

Çimento kompozisyonu dışında çok önemli bir fiziksel özellik de çimento tanelerinin boyutu ve dağılım oranlarıdır. Çimento inceliği, hidrasyon hızını ve miktarını etkilediğinden, hidrasyon ısısının açığa çıkma hızı ve hidrasyon ürünlerinin oluşması da çimento inceliği tarafından önemli ölçüde etkilenmektedir (Erdoğan 1995a).

Taze betonun işlenebilme, terleme özellikleri ile, çimento-su arasındaki reaksiyonların gelişim hızı ve miktarı, hem çimento inceliği hem de çimento kompozisyonu tarafından etkilenen önemli özellikler olmaktadır (Erdoğan 1995a).

Sertleşmiş betonun dayanım kazanma hızı ve miktarı ile çimento hamurunun gözenekliliği ve dayanıklılığı da, yine, çimentonun ne ölçüde ve hızda hidrasyon yaptığına bağlı özelliklerdir (Erdoğan 1995a).

Çimentonun suyla yaptığı bir seri reaksiyonların tümüne hidrasyon denir. Çimento bileşenleri su içermediklerinden dolayı, suyla temas eder etmez dekompoze olmaya başlayarak çeşitli hidratlar oluştururlar. Ancak, bu proses su moleküllerinin veya hidroksil iyonlarının çimento taneciklerine bağlanması gibi basit bir işlem değildir. Çok genel hatlarıyla ele alındığında, çimento-su reaksiyonu başlangıçta her bir bileşenin tek başına suyla reaksiyonu olarak tanımlanabilir. Bu reaksiyonlar ilk aşamada, C_3A , C_4AF , C_3S ve C_2S sırasıyla oluşur. Hidrasyon sırasında açığa çıkan ısı miktarı, çimentonun kimyasal kompozisyonu ve inceliği ile doğrudan ilişkilidir (Popovics 1992).

Portland çimentolarında toplam hidrasyon ısısının yaklaşık yarısı 1-3 günde, dörtte üçü 7 gün içinde açığa çıkar. Altı aylık sürede bu oran % 91'e ulaşır. Hidrasyonun ekzotermik davranışı sakıncalara neden olur, özellikle büyük kütle betonlarında önlem alınmadığında termal çatlaklar oluşturabilir. (Neville 1995).

Portland çimentolarında priz başlangıcının 1 saatten az, 10 saatten fazla olmaması gerektiği, Neville and Brooks (1987) tarafından ifade edilmektedir.

Puzolanik özellikli malzeme katılması amacıyla portland çimentosu klinkerinde bir miktar azalma yapılması, bu tür çimentoların ilk zamanlardaki hidratasyon hızının, hidratasyon ısısının ve dayanım kazanma hızının, portland çimentolarındaki bu özelliklerden daha düşük olmasına neden olmaktadır. Ancak, portland çimentosu klinkerindeki kalsiyum silikatlı bileşenlerin hidratasyon yaparak ürettiği kalsiyum hidroksitin, puzolanik özellikli malzemelerle reaksiyona girerek yeni C-S-H jellerini oluşturması, çimentonun bağlayıcılık değerini artırır. Bu olay, puzolanik malzeme katkılı çimentoların ileri yaşlardaki dayanımlarını, portland çimentolarının dayanımına eşit veya daha yüksek değerlere taşır (Erdoğan 1995a).

Türkiye’de PÇ 32.5, PÇ 42.5 ve PÇ 52.5 olmak üzere üç tip portland çimentosu üretilmektedir. Erken Dayanımı Yüksek Çimento (EYÇ 52.5) ve Beyaz Portland Çimentolarının (BPÇ 32.5, BPÇ 42.5) üretim yöntemleri de, portland çimentoları ile oldukça benzerlik gösterir (Tonak 1999).

Portland-puzolan tipi ve cürüflü çimentolar, portland çimentosu üretiminde kullanılan klinkerin bir miktarının azaltılıp, onun yerine mineral katkı olarak genellikle doğal puzolan, uçucu kül ve granüle yüksek fırın cürufu gibi puzolanik özellikte malzemenin konulması, klinker ve puzolanik malzemenin alçıtışı ile birlikte öğütülmeleri sonucunda elde edilen çimentolardır (Tonak 1999).

KÇ 32.5, TÇ 32.5, UKÇ 32.5, CÇ 32.5, CÇ 42.5 VE HÇ 16 tip çimentolar puzolanik özellikli malzeme katılarak elde edilen çimento tipleridir. Ancak, bu çimentoların üretiminde kullanılan puzolanik özellikli malzeme türü ve miktarı değişiklik göstermektedir. KÇ 32.5, TÇ 32.5 ve HÇ 16 üretiminde genellikle doğal puzolanlar kullanılırken, UKÇ 32.5 üretiminde uçucu kül ve CÇ 42.5 üretiminde granüle yüksek fırın cürufu kullanılmaktadır (Tonak 1999).

Cürüflü çimento üretiminde kullanılan cüruf miktarları değişik ülkelerde, çimento tipine de bağlı olarak, önemli farklılıklar göstermektedir. ASTM C 595’de cüruf oranı % 25-65’tir. TS 20’de belirtilen cürüflü çimentolar CÇ 32.5 ve CÇ 42.5’da %20-80’dir. TS 809’da belirtilen süper sülfat çimentosu SSC 32.5’da ise en az % 65 granüle yüksek fırın cürufu bulunur (Tokyay ve Erdoğan 2001).

Türk standartlarındaki çimento tipleri Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

2.4.2. Agregalar

Agregalar betonun toplam hacminin yaklaşık % 75’ini oluştururlar. Başlıca özellikleri granülometri, en büyük agrega boyutu, biçim, yüzey şekli, su emme, dayanım, elastisite modülü, kimyasal ve mineral bileşim, petrografik tanımlama ve özgül ağırlıktır (Taşdemir 2001).

Beton agregaları için en küçük boyut 0.06 mm’dir. Beton literatüründe kabaca 4.75 mm’den küçük ince taneli malzeme ince agregayı, 4.75-40.0 mm aralığındaki taneli malzeme iri agregayı tanımlar. Agregalar, doğadan doğrudan taneli olarak sağlanabildikleri gibi, taş bloklarının kırılıp elenmesi sonucunda “kırmataş” olarak ta elde edilebilirler (Arıoğlu vd 1999).

Arıoğlu vd (1999)’ne göre, agrega, betonda; mekanik etkilere karşı taşıyıcı bir iskelet oluşturmakta, tane boyutu dağılımı, tane geometrisi ve yüzey pürüzlülüğü özellikleri ile de betonun kompasitesini artırmaktadır.

Taşdemir (2001) ise, agreganın; tane boyutu dağılımı, biçimi, fiziksel ve kimyasal özellikleri ile betonun performansı üzerinde etkili olduğunu, maksimum su-çimento oranı ve minimum dozaj gibi temel sınırlamalarda da önemli işlevi bulunduğunu ifade etmektedir.

Çizelge 2.1. Türk standartlarındaki çimento tipleri (Tonak 1999)

TS No	İşareti	Adı	Ana Bileşen										Minör İlaveler		
			Klinker K	Y.Firın Curufu S	Silika Füne S	Doğal Puzolan P	Yapay Puzolan Q	Silissi U.Kül V	Kalkersi U.Kül W	Pişmiş Şist T	Kalker OK ≤ 0,2 O.L.	Minör İlaveler			
TS 19	PC	Portland Çimento	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TS 12139	PC/A	Portland-Curufu Çimento	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
TS 12141	PC/B	Portland-Silika Füne Çimento	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
TS 10156	PSFÇ	Portland-Silika Füne Çimento	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
TS 26	KÇ 32,5	Katkılı Çimento	≥81	-	-	≤ 19	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TS 640	TÇ 32,5	Traslı Çimento	60-80	-	-	20-40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TS 12140	UKÇ 32,5	Uçucu Kallılı Çimento	70-90	-	-	-	-	10-30	-	-	-	-	-	-	-
TS 12143	PLÇ/A	Portland-Kalkerli Çimento	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5	-
TS 12143	PKÇ/A	Portland-Kompoze Çimento	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5	-
TS 20	PKÇ/B	Portland-Kompoze Çimento	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5	-
TS 12144	CC	Curufu Çimento	20-80	20-80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TS 12144	PZÇ/A	Puzolanlı Çimento	65-89	-	-	11-35	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
TS 12142	PZÇ/B	Puzolanlı Çimento	45-64	-	-	36-55	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
TS 21	KZÇ/A	Kompoze Çimento	40-64	18-30	-	-	-	18-30	-	-	-	-	-	-	0-5
TS 21	KZÇ/B	Kompoze Çimento	20-39	31-50	-	-	-	31-50	-	-	-	-	-	-	0-5
TS 3646	BPÇ	Beyaz Çimento	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TS 10157	EYÇ	Erken Dayanım Yüksek Çimento	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TS 809	SDÇ	Sülfürlere Dayanıklı Çimento	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TS 22	SSÇ	Super Sülfürlü Çimento	≤35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TS 22	HÇ	Hıyar Çimentosu	≥40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Agrega karışımının granülometrik özelliği taze betonun kolayca karıştırılabilmesi, iri tanelerin çimento hamurundan ayrışma yapmadan taşınabilmesi ve sıkıştırabilmesi, başka bir anlatımla betonun işlenebilirlik özelliğini de büyük ölçüde denetler. Betonun işlenebilme özelliği beton karışım suyunu belirlediğinden, su-çimento oranını etkileyerek betonun basınç dayanımını da değiştirir (Arıoğlu vd 1999).

Betonda agrega kullanılmasının sağladığı teknik özelliklerin başında, sertleşen betonun hacim değişikliğini önlemesi veya azaltması, sertleşmiş betonun aşınmaya karşı dayanımını artırması, çevre etkilerine karşı dayanıklılığını artırması ve kendi dayanım gücünün yüksekliği nedeniyle betonun taşımakta olduğu yüklere karşı gerekli dayanımı sağlayabilmesi gelir (Erdoğan 1995c).

Erdoğan (1995c), taze betonun, agrega tarafından etkilenen başlıca özelliklerini;

- Beton karışımındaki malzeme oranları,
- İşlenebilme,
- Pompalanabilme,
- Beton içerisindeki hava miktarı,
- Terleme,
- Beton yüzeyinin masterlanıp düzeltilebilmesi (perdahlanma) olarak sıralamaktadır.

Sertleşmiş betonun agrega tarafından etkilenen başlıca özelliklerini ise;

- Dayanıklılık,
- Dayanım,
- Büzülme,
- Birim ağırlık,
- Termik özellik,
- Ekonomi olarak tanımlanmaktadır.

Arıoğlu vd (1999)'ne göre, aşınma etkisinde ki beton üretiminde kullanılan agregaların aşınmaya karşı dayanıklı olmaları gerekmektedir. Agreganın temel fiziksel özellikleri ve mühendislik büyüklükleri; karışım suyu miktarını, betonun işlenebilirliğini, karışımdaki agrega miktarını ve beton karışımının ıslak birim ağırlığını doğrudan doğruya

etkilemektedir. Eğer agreganın kimyasal bileşimi, çimento hamuru kimyasal bileşimine benzerlik gösteriyorsa, mekanik aderansın yanı sıra “kimyasal aderans”da güçlü oluşacaktır

Agreganın biçiminin küp veya küreye yakın olmasının hem taze betonun işlenebilirliğinde ve yerleşmesinde, hem de betonun mekanik özellikleri üzerinde önemli etkisi vardır. Biçim katsayısı, agrega tanesinde en büyük boyutun en küçük boyuta oranı olarak tanımlanır. Küp için biçim katsayısı 1.73, küre için ise 1.00’dir. TS 706’ ya göre biçim katsayısı 2.5’i aşan agregaların miktarı en fazla % 50 olmalıdır (Taşdemir 2001).

Erdoğan (1995c)’a göre, agregaların küre biçiminden uzaklaştığının bir ölçüsü de hacimsel katsayıdır. Hacimsel katsayı, küre biçiminde; bir, küp için 0.37’dir. Katsayı birden küçük değer aldığı ölçüde tanenin biçimsel kusurluluğu artar. Fransız standardına göre katsayının ≥ 0.15 olması istenir.

Durmuş (1995), tüm agregaların az çok zararlı madde içerdiğini ifade eder. Bu zararlı maddelerin ortak özelliği, betonun; dayanım, dayanıklılık ve geçirimsizlik gibi temel özelliklerini olumsuz yönde etkilemeleridir. Bu nedenle agregaların içerdikleri zararlı madde miktarlarının hoşgörü sınırları içerisinde kalması gerekir. Kil toprakları, kuru yaprak, kömür ve odun parçaları veya bunların kalıntıları çok az miktarlarda olsalar bile, sonuçları kabul edilemeyecek derecede değiştirdiğinden kumda bulunmaları kesinlikle yasaklanmıştır. Çok ince ve/veya suda eriyen elemanlar, organik maddeler, sülfat ve sülfür gibi maddeler ise, belirli sınırlar içerisinde sonuçları önemli derecede etkilemediklerinden, söz konusu sınırlara kadar hoş görülebilirler. Bu maddelerin sınır değerleri kumlar için kum eşdeğerliği deneyi ile belirlenmeli, tüm agregalar içinse bu ince ve/veya eriyen elemanların yıkama ve çöktirme ile belirlenen kütsel oranlarının % 5’i geçmemesi gerekmektedir. Sülfatlar ve sülfürler buldukları kısımda hacim artışı oluşturarak betonun bozulmasına neden olurlar. Bunların kabul edilebilir miktarları susuz sülfirik (SO₃) cinsinden ifade edilen, kükürt oranının fonksiyonudur. Bu oran kütle olarak % 1’i geçmemelidir. Bütün ince elemanlar gibi sülfat ve sülfürün

de en az 0.5 cm³'lük taneler şeklinde olmaları ve kütle içinde düzenli dağılımları gerekmektedir.

Ayrıca Durmuş (1995), zararlı maddeler dışında, kumların kirliliğinin, boyutları mikrondan küçük, mineral ve organik kolloidlerden kaynaklandığını ifade etmektedir.

Mineral kolloidler, kayaçların bozulup ayrışması ile oluşur ve kumda en çok bulunan türü, ince taneler halinde dağılmış olan kildir. Kil, kumun çimento hamuruyla aderansını kısmen yada tamamen engelleyerek beton dayanımının azalmasına, su alınca da şişerek betonun çatlamasına neden olabilmektedir (Durmuş 1995).

Organik kolloidler ise; hayvansal ve/veya bitkisel organik maddelerin ayrışması yada bozulması sonucu oluşurlar. En sık rastlanan türleri humuslu kolloidlerdir. Özellikle killi ortamda kil taneciklerinin etrafını sarar, aşırı su emici bir zarf oluşturarak, nem oranına da bağlı olarak, betonda şişme veya rötreye neden olurlar (Durmuş 1995).

Durmuş vd (1988), killi kumların başlıca sakıncalarını üç grupta toplamıştır. Bunlar;

- Kum tanelerinin yüzeyinde ince bir tabaka şeklinde bulunan kil, kumun çimento hamuruyla aderans yapmasını engelleyerek betonun dayanımını önemli derecede azaltır.
- Kumda hidrofil (aşırı su emici) kilin bulunması, betonda istenilen plastisiteyi elde etmek için gerekli karma suyu miktarını artırır ve beton dayanımının düşmesine neden olur.
- Suya karşı duyarlı kil, kuru durumdaki hacminin beş katından fazla bir şişme eğilimi gösterdiğinden, betonun fazla rötre yapmasına neden olabilir.

2.4.3. Su

Su beton yapımında; karışım suyu olarak, beton kürü amacıyla ve yıkama suyu olmak üzere üç farklı amaç için kullanılır. Karışım suyunun; çimento taneciklerinin kimyasal reaksiyonunu başlatma, bir yağlayıcı gibi işlev görerek taze betonun işlenebilirliğine katkıda bulunma ve çimento pastası içindeki hidrasyon ürünlerinin gelişimi için gerekli boşlukları güven altına alma gibi üç temel işlevi vardır (Popovics 1992).

Karışım suyu olabildiğince; temiz, içerisinde taze ve sertleşmiş betonda zararlı kimyasal etki oluşturabilecek miktarda kil, silt, organik madde, asit, klorür, sülfat, madeni yağ ve endüstri atığı gibi yabancı maddeler içermemelidir (Erdoğan 1995d).

Popovics (1992)'e göre, 2000 ppm'den daha az yabancı madde içeren sular, genellikle karışım suyu olarak kullanılabilir. Arıtılmamış evsel atık suların karışım suyu olarak kullanımı engellenmelidir.

2.5. Beton Performansını Artırmak Amacı ile Kullanılan Katkılar

2.5.1. Kimyasal katkı maddeleri

ACI Committee 212'de, kimyasal katkılar, bağlayıcı dozajının % 5'ini aşmadan, betona, harca veya çimento hamuruna katılan inorganik veya organik, sıvı veya katı maddeler olarak tanımlanmaktadır (Anonim 1989).

ASTM C494, katkıları A'dan E'ye kadar harflerle göstermiş, sırası ile su azaltıcılar, geciktiriciler, hızlandırıcılar, su azaltıcı-geciktiriciler ve su azaltıcı-hızlandırıcılar olarak adlandırmıştır (Anonim 1992).

TS 3452, standartında ise katkılar, priz süresini hızlandırıcı (H), geciktirici (G), karışım suyunu azaltıcı (A), karışım suyunu azaltıcı ve hızlandırıcı (AH), azaltıcı ve geciktirici (AG), karışım suyunu yüksek miktarda azaltıcı (YA) ve yüksek miktarda su azaltıcı ve geciktirici (YAG) olmak üzere 7 gruba ayrılmıştır (Anonim 1984a).

EN 934, Avrupa Birliği standardında 9 katkı tipine yer verilmiştir (Anonim 1994b).

- Karışım suyunu yüksek miktarda azaltıcılar/akışkanlaştırıcılar,
- Karışım suyunu yüksek miktarda azaltıcılar/süper akışkanlaştırıcılar,
- Su tutucular,
- Hava sürükleyenler,
- Priz süresini hızlandırıcılar,
- Sertleşmeyi hızlandırıcılar,
- Priz süresini geciktiriciler,
- Suya dayanıklılık sağlayanlar,
- Çok amaçlı katkılar.

Normal akışkanlaştırıcılar uygulamada genelde üç amaçla kullanılmaktadır (Neville and Brooks 1987).

- i. Katkısız betonla aynı işlenebilirlikte olmak koşulu ile su-çimento oranını azaltarak daha yüksek dayanım sağlamak.
- ii. Kütle betonlarında hidrasyon ısısını düşürmek için çimento miktarının azaltılması durumunda aynı işlenebilmeyi kazanmak.
- iii. Ulaşılamayan yerlere kolay yerleşmeyi sağlamak için işlenebilmeyi arttırmak.

Akışkanlaştırıcılar; hava sürükleyerek, çimento tanelerinin topaklanmasını önleyerek ve taneleri beton içinde dağıtarak (dispersiyon etkisi) etkili olurlar. Bu maddelerin topaklanmayı önlemeleri ve aynı zamanda tanelerin birbiri üzerinde kaymalarını kolaylaştırıcı etki göstermeleri betonun iç sürtünmesini azaltmakta, işlenebilmeyi arttırmaktadır (Uyan ve Yıldırım 1991).

Özkul ve Yıldırım (1996), yaptıkları çalışmada; akışkanlaştırıcı kullanımının, betonun basınç dayanımını arttırdığını, karbonatlaşma derinliği ve kılcalık katsayısını azalttığını gözlemişlerdir.

Özkul ve Yıldırım (1996), ayrıca hızlandırıcı ve geciktirici özellik gösteren su azaltıcıların rötreyi arttırdığını, hava sürükleyici ve diğer su azaltıcıların ise rötreyi azalttığını ortaya koymuşlardır.

Topçu (1996), yaptığı çalışmada, akışkanlaştırıcı katkı ilavesinin işlenebilirliği büyük ölçüde arttırdığını, BS 16 betonlarda, % 47, BS 20 betonlarda, % 28'lik dayanım artışı sağladığını belirtmektedir.

ACI Committee 212'de, **süperakışkanlaştırıcıların** aynı çökme değeri ve çimento dozajı için su-çimento oranını azalttığı bunun sonucu betonun her yaştaki dayanımını önemli derecede arttırdığı ifade edilmektedir (Anonim 1989).

Uyan ve Yıldırım (1991) yaptıkları çalışmada, süperakışkanlaştırıcıların; yüksek dayanımlı beton üretmek amacıyla kullanıldığında, istenilen bir işlenebilirlik için su miktarını % 25-35 oranında düşürebildiğini belirtmişlerdir. Yine, 70-80 mm çökmeli bir beton, süperakışkanlaştırıcı kullanımı sonucu kohezyonunu kaybetmeden 200 mm çökmeli bir beton haline getirilebilmiş, özellikle ince agrega miktarının artırılması ayrışmayı önlemede yararlı olmuştur.

Akman (1996), süperakışkanlaştırıcı katkılı taze betonların sorunlarını; işlenebilirlik, işlenebilirlik kaybı, segregasyon ve betonun diğer bileşenleri ile uyumu olarak tanımlamaktadır. Akman, süperakışkanlaştırıcıların çimento ile uyumunun mutlaka araştırılmasını önermektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda; geciktirici içeren süper akışkanlaştırıcıların işlenebilirlik kaybını azalttığı, süper akışkanlaştırıcı katkılı betonlarda segregasyonun aşırı olmadığı bulunmuştur.

Balta (1991), süperakışkanlaştırıcıların, çimento ve mineral katkıların su içinde topraklanmasını engelleyerek taneleri dağıttığını, çok miktarda su ile elde edilebilecek

dispersiyonu az miktarda su ile, betonda yan etki oluşturmaksızın elde etmemizi sağladığını ifade etmektedir.

Massazza (1997)'ya göre, betonun dona dayanıklılığı su-çimento oranı azaltılarak ve don etkisinde kalmadan önceki ıslak kür süresi uzatılarak, geliştirebilir. Gene de tek başına etkili korunma yöntemi, karışımında **hava sürükleyici katkı** kullanarak beton içerisinde mikroskobik hava boşlukları oluşturmaktır.

ACI Committe 201'de, tekrar eden ıslanma ve donma koşullarında kullanılacak betonların hasar görmelerini önleyebilmek için, su-çimento oranının orta şiddetteki hava koşullarında en fazla 0.50, şiddetli hava koşullarında ise en fazla 0.45 olması ve betonun içinde sürüklenmiş hava boşluklarının bulunması gerektiği ifade edilmektedir (Anonim 1977a).

Sürüklenmiş hava boşlukları, çimento hamuru içerisinde istenerek oluşturulmuş hava kabarcıklarıdır. Küresel şekilli olan bu boşluklar çimento içerisinde düzenli bir dağılımla ve birbirleriyle bağlantısı olmaksızın ayrı ayrı oluşmaktadır. Sürüklenmiş hava boşluklarının boyutu 0.05-1.25 mm düzeyindedir ve boşluklar arasında çok yakın (0.13 mm düzeyinde) mesafe bulunmaktadır (Mindess and Young 1981). Neville (1995), yeterli don dayanıklılığı için boşluklar arasındaki mesafenin 0.2 mm'den fazla olmaması gerektiğini önermektedir.

Arıoğlu vd (2000)'ne göre de, çimento hamurunda oluşan hava kabarcıklarının boyutları yaklaşık 0.1-1 mm'dir. Birim cm³ hamur hacminde ki sayıları 0.4-1.5 milyon arasında değişir. Hava kabarcıkları sürtünmeyi azaltan çok ince bir "kum malzemesi" gibi davranış göstererek, taze betonun işlenebilirliğini büyük ölçüde artırır. Bundan yararlanılarak aynı işlenebilirlik için gereksinim duyulan karışım suyu azaltılabilir. İnce agrega miktarında da yapılacak azaltma sonucu, karışım suyu daha da aşağı çekilebilir. Karışım tasarımı yapılan bu düzenlemeler, su-çimento oranını azaltmakta, basınç dayanımı aynı çimento miktarında ki hava katkısız betona oranla daha büyük değerler almaktadır.

Beton içerisine sürüklenen hava boşlukları betonun karıştırılması sırasında oluşmaktadır. Hava sürüklemek için kullanılan katkı maddesinin miktarı, katkı maddesinin cinsine göre farklılık göstermekle birlikte, tipik olarak betondaki çimento ağırlığının % 0.002-% 0.06'sı düzeyindedir (Popovics 1992, Mindess and Young 1981).

Neville (1995), su-çimento oranında azaltma yapılarak, karışım hesaplarının yeniden düzenlenmemesi durumunda, betona hava boşluklarının sürüklenmesinin beton dayanımını azaltacağını, yüksek dozlu betonlarda, hava içeriğindeki her % 1'lik artışın, dayanımda % 5 düzeyinde azalmaya neden olabileceğini belirtmektedir.

Dodson (1990) yaptığı çalışmalarda, hava sürükleyici katkı içeren betonlarda, ayırışma ve terlemenin azaldığını gözlemlemiştir.

2.5.2. Lifler

Betonun gevrek özelliğinin geliştirilerek daha sünek bir yapı kazandırılması için farklı tipte güçlendirme elemanları kullanılmaktadır. Günümüzde rasgele dağılı liflerin betona katılması, betonun çekme dayanımını, düktilitesini, enerji emme kapasitesini ve çatlak gelişim karakteristiklerini iyileştirmek için kullanılan en etkin yöntemlerden biridir (Arslan ve Aydın 1999)

Gani (1997)'ye göre lifler; kırılğan yapı malzemelerinin takviyesinde kullanılmaktadır. Kerpiç için saman, sıva için at kılı ve daha yakın zamanlarda portland çimentosu için asbest lifler, takviye malzemesi olarak kullanılmıştır.

Lif katkılı çimento ve beton hakkındaki ilk çalışmaları içeren kronolojik inceleme ilk kez Naaman (1985) tarafından yapılmıştır. Bu çalışma, betonun çekme dayanımını artırmak için liflerin (çelik, odun vs.) nasıl kullanılacağını açıklayan ve Alfsen (1918) tarafından yapılan Fransız patentini de içermektedir. Patent; liflerin uçlarının bükülerek ve yüzeylerinin pürüzlendirilerek performanslarının artırılabilceğini önermektedir. 1943'te Constantinesco betonun tokluğunu artırmak için, değişik tipteki çelik lifleri tanımlayan bir patent yayınlamıştır. Constantinesco'nun tanımladığı lifler, günümüzde

kullanılanlarla benzerlik göstermektedir. Liflerin çimento ve betonda yaygın olarak kullanımı 1960'tan sonra olmuştur (Gani 1997).

Çeşitli çalışmalarda, liflerin betonda büzülme, sünme veya yükleme sonucunda oluşan çatlakları önlediği kanıtlanmıştır. Lifler dayanıklılık problemlerinin neden olduğu çatlamaya karşı da denenmiştir.

Lifin tanımı, sınıflandırılması

Lifin kesin bir tanımı yapılamamaktadır. ACI Committee 544, bir lifi tanımlayan en uygun sayısal parametrenin “boy-çap oranı” olduğunu ileri sürmektedir. “Boy-çap oranı” lif uzunluğunun eşdeğer lif çapına bölünmesiyle elde edilen orandır. Eşdeğer lif çapı ise; alanı lifin kesit alanına eşit bir dairenin çapı olarak tanımlanır (Anonim 1997).

Çimento ve beton içinde kullanılan lifleri Swamy et al. (1974):

- i. Yüksek modüllü, yüksek dayanımlı lifler. Çimentoyla güçlü kompozitler oluşturan, tokluğu artırmanın yanında, dayanım ve rijitlik kazandıran, çelik, cam, asbest, karbon lifleri içerir.
- ii. Düşük modüllü, yüksek uzamaya sahip lifler. Bu lifler naylon, polipropilen ve polietilen lifleri içerir. Bu liflerin kullanımı ile üretilen kompozitlerin, tokluğu ve darbe direnci (enerji emme karakteristiği) yüksektir.

Lif Çeşitleri

Çelik Lifler

Çelik lifler karbon çeliği ve paslanmaz çelikten yapılırlar. Çekme dayanımları 345-1380 MPa arasında değişir. ASTM'de belirtilen minimum dayanım 345 MPa'dır. Çelik liflerin elastisite modülü 200 GPa'dır (Johnston 1974).

Lifler genel olarak düz, şekillendirilmiş, dalgalandırılmış, özel uçlu (uçları genişletilmiş veya kancalı) ve düzensiz en kesitli olmak üzere sınıflandırılabilirler. Kesitleri; daire, kare, hilal veya düzensiz bir şekildedir. Daha ileri gelişmelerde çelik lifler direkt olarak ergimiş çelikten, melt-extract işlemiyle, sıyrılma direncini artıracak şekilde uçları genişletilerek ya da yüzeyi pürüzlendirilerek, korozyona karşı dirençli olarak üretilmişlerdir (Anonim 1997).

Arslan ve Aydın (1999), çelik lifli betonu; içerisinde aralıklarla dağıtılmış küçük teller bulunan ince veya ince ve iri agrega kullanılarak, çimentolardan yapılmış kompozit malzeme olarak tanımlamaktadır.

Çelik liflerin 30-118 kg/m³ miktarında betona ilave edilmesi, ACI Committee 544'e göre; beton ve harcın mühendislik özelliklerinin bir çoğunu iyileştirmekte, çarpma dayanımı artış göstermekte, eğilme ve yorulma dayanımı, çatlama ve parçalanma direnci artmaktadır (Anonim 1997).

Pigeon et al. (1996) yaptıkları çalışmada, çelik liflerin beton direncini donma-çözülme çatlaklarına karşı artırdığını göstermiştir.

Balaguru and Shah (1992)'a göre; çelik lif ilavesi maksimum yükteki uzamayı artırır. Kırılmadan önce, normal betona göre daha fazla enerji emer. Çelik lifler tarafından düğümlenerek sağlanan artış ise;

- Lif hacmi oranı,
- Lif geometrisi,
- Karışım oranları faktörlerine bağlıdır.

Lifler, betonun basınç dayanımı üzerinde az bir etkiye sahiptir. Çelik liflerin % 1-2 gibi yüksek lif içeriklerinde bile, dayanımı % 25'den daha fazla artırması mümkün değildir (Mindess and Banthia 1994).

Polipropilen lifler

Çimento içerisinde kullanılan en ucuz sentetik lif, ağ yapıdaki liflendirilmiş polipropilen ipliklerdir. Bu yapı, çekme işleminden sonra gerilen polipropilen şeritlerin burularak ip haline getirilmesiyle elde edilir. Çimento ile karıştırılınca lifler açılır, çimento ağ şeklindeki yapının içine girer ve liflerin sıkıca sarıldığı sıkı bir faz oluşturur (Gani 1997).

Polipropilen lif kullanımı ile ilgili ilk problem lif yüzeyinin hidrofobik oluşudur. Bu durum, liflerin çimento içerisinde üniform dağılımını güçleştirir, zayıf çimento-lif bağı oluşumuna neden olur. Bu yüzden liflerin yüzeylerinin ıslanabilme özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla, pek çok yöntem geliştirilmiştir (Gani 1997).

Gani (1997)'ye göre polipropilen lifler çimentoyu takviye etmek amacıyla iki şekilde kullanılır:

- i. Lif takviyeli ince çimento plakların üretiminde asbeste alternatif olarak. Bu durumda lif içeriği normalde % 5'den büyük olmalıdır.
- ii. Çimento ve betonun çatlak yapısının kontrolünde. Bu işlemden lif hacmi daha az (% 3 kadar) kullanılır. Temel fonksiyon ikincil bir takviye sağlamaktır.

Başlangıçta polipropilen lifler kendilerini oluşturan materyalin karakteristiklerine bağlı olarak, çimento hamuruyla adezyonu zayıf, düşük modüllü, üniform kesitli ve yüzeyi pürüzsüz monofilamentler şeklindeydi. Zayıf adezyonel bağa yeterli ölçüde bir kilitleme veya mekanik bağlanma özelliği kazandırmak için, liflendirme olarak bilinen işlem, ağırsı bir yapı kazandırmak için yaygın olarak kullanılır hale gelmiştir (Anonim 1997).

Bu kompozitlerin fiziksel özellikleri; lif hacmi, lif geometrisi, üretim yöntemi ve matris kompozisyonu tarafından çok değiştirilmekte ve etkilenmektedir (Anonim 1997).

Bentur and Mindess (1990)'e göre, polipropilen liflerin temel avantajları; alkali direncinin oldukça yüksek, erime noktası (165 °C) ve hammadde fiyatının düşük olmasıdır. Dezavantajları ise; zayıf yangın direnci, gün ışığına ve oksijene karşı duyarlılık, düşük elastisite modülü ve matrisle oluşturduğu zayıf bağ yapısıdır. Bu dezavantajlar önemli derecede kritik değildir. Matris içine yerleştirilmesi; ateşe ve diğer çevresel etkilere karşı duyarlılığı en aza indirmede yardımcı olarak koruyucu bir örtü sağlar.

Hem tekil, hem de liflendirilmiş polipropilen liflerin elastisite modülleri genellikle 1-8 GPa arasındadır, çekme dayanımı ise yaklaşık olarak 300-400 MPa kadardır (Bentur and Mindess 1990).

Polipropilen lifli taze betonun işlenebilirliği, üç farklı yöntemle; slump, ters çevrilmiş koni ve Ve-be yöntemleriyle saptanır (Anonim 1997).

Zollo et al. (1986), yaptıkları araştırmada; % 0.1 ile % 0.3 arasında değişen oranlarda polipropilen lif içeren karışımların plastik rötre çatlaklarını % 12-25 oranında azalttığını rapor etmişlerdir. Araştırmacılar, test süresince lif ilavesinin yüzeydeki kanama (terleme) miktarını önemli ölçüde azalttığını, plastik betonda; agregata tanelerinin oturmasını engellediğini, böylece kapiler kanama kanallarının oluşumunun engellediğini ve taneler arası gerilme artışını önlediğini belirtmişlerdir.

Lif inceliğinin azaltılması ve lif sayısının artırılması ile rötre çatlaklarının etkisinin azaltılacağı, Padron and Zollo (1990) tarafından ifade edilmektedir.

ACI Committee 544'e göre, % 0.1 ile % 2.0 arasında polipropilen lif içeren lifli betonların basınç dayanımı ile ilgili yayınlanan makalelerde ortak bir görüş sağlanmamıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda önemsiz değişikliklerin meydana geldiğine dikkat çekilmektedir (Anonim 1997).

Mindes and Vondran (1988), tokluk ve çatlama sonrası davranış üzerinde; lif boyu, lif malzemesi, lif geometrisi ve bağ karakteristiklerinin etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Huang (2001) yaptığı çalışmada, polipropilen liflerin ıslanma-kuruma ve sülfat çatlaklarını azalttığını kanıtlamıştır.

Cam lifler

A-cam ve E-cam lifli çimento esaslı matrislerin çok yüksek alkalinite ($\text{pH} \geq 12.5$) nedeniyle oldukça hızlı dayanım kaybına uğraması, bu liflerin uzun süreli davranışları açısından yeterli görülmemiş, alkaliye dirençli AR-cam lifler geliştirilmiştir (Anonim 1997).

Cam lifli kompozitlerin mekanik özellikleri; lif içeriğine, eğer kullanılmışsa polimer içeriğine, su-çimento oranına, boşluk oranına, kum içeriğine, lif dağılımına, lif uzunluğuna ve kür şekline bağlıdır (Anonim 1997).

Cam lifler (Anonim)' göre;

- i. Plastik rötre çatlaklarının oluşumunu önlemek,
- ii. Beton performansını artırmak amacıyla kullanılır.

Cam lifler düşük ilave oranlarında (bir kg/m^3 ün altında) kullanıldığında;

- Taze betonda çatlak oluşumunu engelleyerek, geçirgenliği azaltmakta,
- Bünyeden su atma ve ayrışma özelliklerinde iyileştirme sağlamaktadır.

1-20 kg/m^3 gibi yüksek ilave oranlarında kullanılması durumunda ise;

- Karıştırma ve pompalama sırasındaki hasarlara karşı yüksek direnç sağlamakta,
- Betona eğilme dayanımı ve darbelere karşı direnç kazandırmaktadır.

Doğal Lifler

Geçmişte çok sayıda lif, farklı yapı malzemelerinin güçlendirilmesinde kullanılmıştır. Son zamanlarda sayıları az da olsa, doğal liflerin çimentolu kompozitlerde kullanımını içeren bilimsel çalışmalar yapılmaktadır. Kullanımı yaygın lifler; sıızal, hindistan cevizi, şeker kamışı, muz, palmyedir (Anonim 1997).

Mansur (1981), Avustralya'da sıızal liflerin alçı plakların üretiminde başarılı bir şekilde kullanıldığını ifade etmektedir.

Gram and Skarendahl (1978)'da, İsveç'te sıızal lifler kullanılarak, kaliteli beton üretimi gelişimi için önemli sayılabilecek sayıda uygulamalı araştırmanın yapıldığını belirtmektedir.

Doğal lifli beton özellikleri üzerinde çok sayıda faktör etkilidir. ACI 544'e göre, lif tipi, geometrisi, biçimi ve yüzey özellikleri doğal lifli betonun özelliklerini etkileyen faktörler olarak sıızalanabilir. Ayrıca, karışım oranları, karıştırma yöntemleri, yerleştirme, sıkıştırma teknikleri ve uygulanan kür yöntemi de lifli beton özellikleri üzerinde etkilidir (Anonim 1997).

Racines and Parma (1978), yapılan testlerde, % 3'lük doğal lif katkısının, çimento kompozitlerinin mekanik özellikleri üzerinde bazı iyileşmeler sağladığını ifade etmişlerdir.

İşlenmemiş doğal liflerin yüzeylerindeki artış ve su emme değeri, taze haldeki doğal lifli betonun işlenebilirliğinde azaltıcı bir etki oluşturur. Karışımın işlenebilir olması çok önemlidir. Karışımın çok katı ve kuru kıvamda olması yerleştirilmiş betonun etkili bir biçimde sıkıştırılmasını güçleştirir, boşluklu beton oluşumuna neden olur (Anonim 1997).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Araştırmada, ince agregaya olarak doğal kum, iri agregaya olarak kırmataş kullanılmıştır. Betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla polipropilen lif, cam lif, doğal lif (sızal) ve çelik lif kullanılmıştır. Bağlayıcı malzeme olarak da CÇ 42.5 çürüf çimentosu kullanılmıştır.

3.1.1. Agregaya

Araştırmada ince agregaya olarak, Kastamonu Gökırmak nehrinden sağlanan iki farklı doğal kum, iri agregaya olarak kırmataş tesisinden alınan iki farklı kırmataş kullanılmıştır.

3.1.2. Çimento

DSİ 23. Bölge Müdürlüğü tarafından su yapılarında CÇ 42.5 çürüf çimentosu kullanıldığından, araştırmada CÇ 42.5 kullanılmıştır. Çimento deneyleri, Karçimsa Çimento San. ve Tic. A.Ş.'de yaptırılmıştır. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. CÇ 42.5 çimentosu özellikleri

Fiziksel Özellikler	
Özgül ağırlık (g/cm ³)	2.93
İncelik (cm ² /g)	4.597
Mekanik Özellikler (Basınç Dayanımı) Mpa	
2 gün	13.19
7 gün	25.00
28 gün	45.80

3.1.3. Karışım ve kür suyu

Betonda karışım ve kür suyu olarak Kastamonu şehir şebekesi suyu kullanılmıştır.

3.1.4. Polipropilen, cam, doğal ve çelik lifler

Araştırmada kanal kaplama betonunun bazı fiziksel özelliklerini iyileştirmek amacı ile; polipropilen, cam, doğal (sızal) ve çelik lif kullanılmıştır. Polipropilen, çelik ve cam lifler piyasadan hazır ürün olarak satın alınmıştır. Doğal lif (sızal)'de piyasadan satın alınmış, ancak lif çaplarının yaklaşık aynı boyutlara getirilebilmesi için taranmış, kesilerek kullanıma hazır duruma getirilmiştir. Polipropilen, cam ve çelik liflere ait özellikler üretici firmaların kataloglarından alınmıştır. Doğal lif (sızal) özelliklerinin saptanması Beksa A.Ş.'de yaptırılmıştır. Lif özellikleri Çizelge 3.2' de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri

Lif türü	Çap (µm)	Uzunluk (mm)	Özgül yüzey (m ² /kg)	Bağlı yoğunluk (kg/dm ³)	Elastisite modülü (Mpa)	Çekme dayanımı (Mpa)
Polipropilen	16	20	275	0.91	3 500-3 900	320-400
Cam	14	12	105	2.68	72 000	1 700
Doğal (sızal)	70-100	20	-	1.5	-	75
Çelik	1000	52	-	7.5	200 000	850

3.1.5. Kimyasal katkı malzemesi

Yapılan karışım tasarımı sonucu, 0.55 su-çimento oranı ve 8 cm çökmeli betonu üretebilmek amacıyla % 0.4 oranında saf doğal polimer esaslı, sıvı, su azaltıcı, orta akışkanlaştırıcı bir kimyasal katkı malzemesi kullanılmıştır.



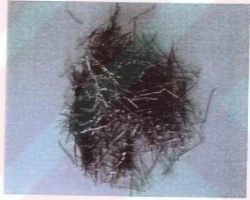
a- Polipropilen lif



b- Cam lif



c- Doğal(sızal) lif



d- Çelik lif

Şekil 3.1. Polipropilen, cam, doğal, çelik lifler

3.2. Yöntem

3.2.1. Agrega deneyleri

Beton yapımında kullanılan agregalar üzerinde yapılan deneyler ve izlenen yöntemler aşağıda belirtilmiştir:

1- Agregada granülometri analizi; “ASTM C33, Standard Specification for Concrete Aggregates” standardına uygun olarak yapılmış, deneyde ASTM E11’e uygun elek serisi kullanılmıştır (Anonim 1990a).

2- Agreganın özgül ağırlık ve su emme oranları; “TS 3526; Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini” standardı esas alınarak saptanmış, değerlerin hesaplanmasında aşağıdaki eşitliklerden yararlanılmıştır (Anonim 1980d).

İnce agregada:

$$g_d = (W_2/W_2+W_4-W_3) \dots\dots\dots 3.1$$
$$m_i = (W_2-W_1/W_1)100 \dots\dots\dots 3.2$$

Eşitlikte:

- g_d : İnce agreganın doymun kuru yüzey (dky) özgül ağırlığı (g/cm^3)
 m_i : İnce agreganın su emme oranı (%)
 W_1 : Örneğin etiv kuru ağırlığı (g)
 W_2 : Örneğin doymun kuru yüzey (dky) durumundaki ağırlığı (g)
 W_3 : Ölçü kabı + su + örneğin ağırlığı (g)
 W_4 : 500 ml (cm^3) çizgisine kadar su ile dolu ölçü kabı ağırlığı (g)

İri agregada ise:

$$g_d = (W_2/W_2-W_3) \dots\dots\dots 3.3$$
$$m = (W_2-W_1/W_1)100 \dots\dots\dots 3.4$$

Eşitlikte:

- g_d : İri agreganın doymun kuru yüzey (dky) özgül ağırlığı (g/cm^3)
 m : İri agreganın su emme oranı (%)
 W_1 : Örneğin etiv kuru ağırlığı (g)
 W_2 : Örneğin doymun kuru yüzey (dky) durumunda havadaki ağırlığı (g)
 W_3 : Örneğin su içindeki ağırlığı (g)

- 3- İnce ve iri agregada ki kil-silt miktarı; “TS 3527; Beton Agregalarında İnce Madde Oranı Tayini” standardına göre saptanmış, deney de 200 nolu (0,075 mm göz açıklıklı) elek kullanılarak, yıkama yöntemi uygulanmıştır. Agregadaki yıkanabilir madde oranı aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır (Anonim 1980e).

$$m_y = (W_1 - W_2 / W_2) 100 \dots\dots\dots 3.5$$

Eşitlikte;

m_y : Yıkanabilir ince madde oranı (%)

W_1 : Örneğin deney öncesi etüv kuru ağırlığı (g)

W_2 : Örneğin deney sonrası etüv kuru ağırlığı (g)

- 4- Agregada içindeki hafif madde miktarı; “TS 3528; Beton Agregalarında Hafif Madde Oranı Tayini” standardına göre saptanmış, deneyde yüzdürme yöntemi uygulanmıştır. Hesaplama aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır (Anonim 1980c).

$$M_h = (W_2 / W_1) 100 \dots\dots\dots 3.6$$

Eşitlikte;

M_h : Hafif madde oranı (%)

W_1 : Örneğin etüv kuru ağırlığı (g)

W_2 : Hafif maddenin etüv kuru ağırlığı (g)

- 5- Donma-çözülmeye dayanıklılık; “TS 3655; Beton Agregalarında Donmaya Dayanıklılık Tayini” standardı esas alınarak, deneyde Sodyum Sülfat çözeltisi kullanılarak saptanmıştır. Agreganın don kaybı oranının hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır (Anonim 1981c).

$$D = ((G_1 - G_2) / G_1) 100 \dots\dots\dots 3.7$$

Eşitlikte;

D : Don kaybı oranı (%)

G_1 : Örneğin deney öncesi etüv kuru ağırlığı (g)

G_2 : Örneğin deney sonrası elek üstünde kalan kısmının etüv kuru ağırlığı (g)

6- Organik madde içeriği; “TS 3673; Beton Agregalarında Organik Kökenli Madde Tayini Deney Metodu” standardı esas alınarak, deneyde Sodyum hidroksit (NaOH) kullanılarak saptanmıştır (Anonim 1982).

7- Agreganın aşınma dayanımı; “TS 3694; Beton Agregalarında Aşınma Dayanıklılık Oranı Tayini Metodu” standardı esas alınarak saptanmıştır. Aşınma oranlarının hesaplanmasında aşağıdaki eşitliklerden yararlanılmıştır (Anonim 1981d).

$$a_1 = ((W_1 - W_2) / W_1) 100 \dots\dots\dots 3.8$$

$$a_2 = ((W_1 - W_3) / W_1) 100 \dots\dots\dots 3.9$$

Eşitlikte;

a_1 : 100 dönüş sonu aşınma oranı (%)

a_2 : 500 dönüş sonu aşınma oranı (%)

W_1 : Örneğin deney öncesi etüv kuru ağırlığı (g)

W_2 : Örneğin 100 dönüş sonrası aşınmayan kısmının ağırlığı (g)

W_3 : Örneğin 500 dönüş sonrası aşınmayan kısmının ağırlığı (g)

3.2.2. Taze beton deneyleri

Taze betondan örnek alma ve kıvam deneylerinde aşağıda belirtilen Türk Standartları esas alınmıştır.

1- Taze betondan örnek alma işlemi; “TS 2940 Taze Betondan Numune Alma Metotları” standardı esas alınarak yapılmıştır (Anonim 1978a).

2- Taze betonda kıvam belirlemesi; “TS 2871 Taze Beton Kıvam Deneyi (çökme hunisi metodu)” standardına göre yapılmıştır (Anonim 1977b).

- 3- Taze beton birim ağırlığı; “TS 2941 Taze Betonda Birim Ağırlık, Verim ve Hava Miktarının Ağırlık Yöntemi ile Tayini” standardı esas alınarak saptanmıştır. Taze betonun birim ağırlığının hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Anonim 1978c).

$$B = (W_n/V_k) \dots\dots\dots 3.10$$

Bu eşitlikte;

B : Taze betonun birim ağırlığı (kg/m^3)

W_n : Ölçme kabındaki betonun net ağırlığı (kg)

V_k : Ölçme kabının kalibre edilmiş hacmi (m^3)

- 4- Taze betonun hava içeriğinin saptanmasında; “TS 2901 Taze Betonda Hava Miktarının Basınç Metodu ile Tayini” standardı esas alınmıştır (Anonim 1977c).

3.2.3. Sertleşmiş beton deneyleri

Lif katkısız (kontrol) ve polipropilen lif, cam lif, doğal lif, çelik lif katkılı olarak laboratuvarıda üretilen beton örnekleri farklı kür ortamlarında olgunlaştırılmıştır. Beton örneklere aşağıda belirtilen testler uygulanmıştır.

- 1- Betonun su emme oranı; “TS 3624; Sertleşmiş Betonda Özgül Ağırlık, Su Emme ve Boşluk Tayini Metodu” standardına göre saptanmıştır (Anonim 1981b). Deney sonucunda elde edilen verilerin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır.

$$m_1 = ((B-A)/A)100 \dots\dots\dots 3.11$$

Eşitlikte;

m_1 : Ağırlıkça su emme oranı (%)

S_d : Doygun kuru yüzey özgül ağırlık (kg/dm^3)

A : Etiv kuru ağırlığı (kg)

B : Su içinde tutulduktan sonra suya doygun yüzey kuru ağırlık (kg)

2- Kapiler su emme miktarı; “TS 4045; Yapı Malzemelerinde Kapiler Su Emme Tayini” standardı esas alınarak saptanmış, 15 cm kenar boyutundaki küp örneklerle kapiler su emme deneyi uygulanmış, kapiler su emme miktarının belirlenmesinde aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Anonim 1984b).

$$m = \Delta m_{24} / 4.9 \dots\dots\dots 3.12$$

Eşitlikte;

m : Kapiler su emme miktarı ($kg/m^2 h^{0.5}$)

Δm_{24} : Birim alandan emilen kapiler su nedeniyle 24 saat sonunda meydana gelen kütle artışı (kg/m^2)

4.9 : $24^{0.5}$ ($h^{0.5}$)

3- Sertleşmiş betonun donma-çözülme direnci; “TS 3449 Çabuk Donma ve Çözülme Koşulları Altında Betonda Dayanıklılık Faktörü Tayini” standardı esas alınarak saptanmış, örneklerle havada donma-çözülme deneyi uygulanmıştır (Anonim 1980b). Donma-çözülme faktörünün hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır.

$$P_c = (n_c^2 / n_0^2) \times 100 \dots\dots\dots 3.13$$

Eşitlikte;

P_c : Herhangi bir *c* devirlik donma-çözülme sonunda numunenin yüzde olarak bağlı dinamik elastisite modüllü

n₀ : Donma-çözülme başlangıç devresinde numunenin enine ses hızı (km/s)

n_c : *c* devirlik donma-çözülme sonunda numunenin enine ses hızı (km/s)

4- Su işleme derinliği; “TS 3455: Beton Geçirimsizlik Katsayısı Tayini Metodu” standardı esas alınarak saptanmıştır (Anonim 1981a). 20 cm çapında 12 cm yüksekliğindeki silindirik beton örneklerin yüzeyine 3 atmosfer değerinde su basıncı

uygulanmış, basınç test süresince (7 gün) sabit tutulmuştur. Test süresi sonunda, silindirik örnekler preste yarılarak su işleme derinliği kumpasla ölçülmüştür.

- 5- Sülfata dayanıklılık; "TS EN 1367-1; Agregaların Termal ve Bozulma Özellikleri için Deneyler" standardında belirtilen esaslara uygun olarak saptanmıştır (Anonim 2001). Beton örnekler "TS 4045" standardında belirtildiği gibi alt yüzeyleri 5 mm batacak şekilde sodyum sülfat çözeltisi içerisine yerleştirilmiş ve 18 saat beklenmiştir. Çözeltiden çıkartılan örnekler yıkanmış, etüv kurusu ağırlığa getirilmiştir. İşlemler 5 tur tekrarlanmıştır. Deney sonunda örnekler, "ASTM C597-83, Standart Test Method for Pulse Velocity Through Concrete" standardında belirtilen esaslara göre ultrases geçiş hızı deneyi uygulanmıştır (Anonim 1991a). Deney sonunda aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak bağıl dinamik elastisite modülü hesaplanmıştır.

$$P_c = (n_c^2/n_0^2) \times 100 \dots\dots\dots 3.14$$

Eşitlikte;

P_c : Sodyum sülfat deneyi sonunda numunenin yüz-de olarak bağıl dinamik elastisite modülü

N_0 : Sodyum sülfat deneyi başlangıç devresinde numunenin enine ses hızı (km/s)

N_c : Sodyum sülfat deneyi sonunda numunenin enine ses hızı (km/s)

- 6- Basınç dayanımının saptanmasında "TS 3114; Beton Basınç Dayanımı Deney Metodu" standardı esas alınmıştır (Anonim 1990b). Hesaplama aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$\sigma_g = (P/A) \dots\dots\dots 3.15$$

Eşitlikte;

σ_g : Deney örneğinin basınç dayanımı (Mpa)

P : Deney örneğinin yüzey alanına uygulanan kuvvet (N)

A : Deney örneğinin yüzey alanı (m^2)

7- Yarmada çekme dayanımı; “TS 3129; Beton Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımı Tayini” standardına göre saptanmıştır (Anonim 1978c). Hesaplama aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$f_{ct} = 2F / \pi \lambda d \dots\dots\dots 3.16$$

Eşitlikte;

f_{ct} : Deney örneğinin çekme dayanımı (Mpa)

F : Deney presinde kırılma anında okunan en büyük yük (N)

λ : Beton örnek temas hattı uzunluğu (m)

d : Örnek kesit boyutu (m)

8- Beton test çekici ile yaklaşık beton dayanımının saptanması; “TS 3260; Beton Yüzey Sertliği Yolu ile Yaklaşık Beton Dayanımının Tayini Kuralı” standardına göre yapılmıştır (Anonim 1978d).

3.2.4. Beton üretimi, karıştırma, yerleştirme ve kür koşulları

Beton üretimi 55 litre kapasiteli, düşey eksenli betonyerde yapılmıştır. Kontrol (lifsiz) betonların üretiminde agrega ve çimento kuru olarak 2 dakika karıştırılmış, karışım suyu yeterli katkı maddesi ile karıştırıldıktan sonra karışıma kontrollü bir biçimde ilave edilmiştir. Karıştırma işlemine 2 dakika devam edilmiş, iki dakikalık bekleme sonrası, karıştırma işlemi 2 dakika süreyle yinelenmiştir. Üretici firmaların önerilerine uyularak, polipropilen ve çelik lifler kuru karışıma, cam lifler taze haldeki karışımına ilave edilmiştir. Doğal lifler ise, kuru karışıma katılmıştır. Lifler, karışıma azar azar elle katılmıştır.

Kontrol (lifsiz) ve lifli beton karışımlarına taze beton deneyleri uygulanmış, deneylerden sonra taze beton, betonyere tekrar konularak 30 saniye süreyle karıştırılmıştır.

Çizelge 3.3'deki deney programında belirtilen sayıda ve boyutta küp, silindirik beton örnek, "TS 3068; Laboratuvarında Beton Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Bakımı" standardında belirlenen koşullara uygun olarak üretilmiştir (Anonim 1978b).

Örnekler, $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklık, % 60±5 bağıl nem ortamında beklemeye alınmış, 1 gün sonra kalıptan çıkartılmıştır.

Kalıptan çıkartılan beton örnekler, açıkta ve laboratuvar ortamında 28 gün süreyle olgunlaştırılmıştır.

Açıkta olgunlaştırılan örnekler dört gruba ayrılmıştır. Birinci grup, dökümden itibaren $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklık, % 60±5 rutubet ortamında sulanmaksızın olgunlaştırılmıştır. İkinci grup, 7 gün süre ile günde iki kez sulanmıştır. Üçüncü grup, kalıptan alındıktan sonra "su bazlı sentetik reçine esaslı" kür malzemesi sürülerek, dördüncü grup, "sürekli ıslak" örtü altında olgunlaştırılmıştır.

Laboratuvar ortamında örnekler, $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ su içinde olgunlaştırılmıştır.

3.2.5. Test sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesi

Olgunlaşan beton örnekler üzerinde gerçekleştirilen fiziksel ve mekanik testler, Minitab for windows R13 bilgisayar paket programı kullanılarak Anova (iki yönlü varyans analizi) modeline göre karşılaştırılmıştır. Bir anlamda beton türleri ile kür koşulları arasındaki etkileşim incelenmiştir. Deney sonuçlarına istatistiksel olarak $P < 0.05$ olasılık düzeyinde Mstat-C bilgisayar paket programı kullanılarak, Duncan testi uygulanmıştır. Duncan testi sonucunda istatistiksel değerler a, b, c, d, e harfleri ile sıralanmıştır. Bu tanımlamaya göre, aynı harf veya harflerle tanımlanan istatistiksel değerler arasında fark görülmemektedir. Duncan testi sıralama sonuçları, aritmetik ortalamaların yan tarafında harflerle gösterilmiştir. Gösterimde, parantez dışı ve parantez içi olmak üzere iki ayrı tanım yapılmıştır. Parantez dışındaki tanımlar, beton türleri arasında yapılan karşılaştırma sonucu elde edilen sıralamayı, parantez içindeki değerlerde kür koşulları arasındaki karşılaştırma sonuçlarının sıralamasını ifade etmektedir.

Çizelge 3.3. Araştırma deneme planı

Kür yöntemi	Katkı maddesi türü	Beton örneklerine uygulanan deney türü ve numune boyutu							
		Su emme 10x10x10	Kapiler su emme 15x15x15	Donma-çözülme 10x10x10	Sodyum Sülfat 15x15x15	Permeabilite 0.20, h.12	Basıncı dayanımı 15x15x15	Yarımda çelme dayanımı Ø15, h.30	Test çabresi 15x15x15
Sulanmayan	Kontrol	3	3	3	3	4	5	5	3
	Polipropilen	3	3	3	3	4	5	5	3
	Cam lifi	3	3	3	3	4	5	5	3
	Doğal(sızal)	3	3	3	3	4	5	5	3
	Çelik lif	3	3	3	3	4	5	5	3
Günde iki kez sulama	Kontrol	3	3	3	3	4	5	5	3
	Polipropilen	3	3	3	3	4	5	5	3
	Cam lifi	3	3	3	3	4	5	5	3
	Doğal(sızal)	3	3	3	3	4	5	5	3
	Çelik lif	3	3	3	3	4	5	5	3
Islak örtü altı	Kontrol	3	3	3	3	4	5	5	3
	Polipropilen	3	3	3	3	4	5	5	3
	Cam lifi	3	3	3	3	4	5	5	3
	Doğal(sızal)	3	3	3	3	4	5	5	3
	Çelik lif	3	3	3	3	4	5	5	3
Kür havuzu (20 ± 2 °C)	Kontrol	3	3	3	3	4	5	5	3
	Polipropilen	3	3	3	3	4	5	5	3
	Cam lifi	3	3	3	3	4	5	5	3
	Doğal(sızal)	3	3	3	3	4	5	5	3
	Çelik lif	3	3	3	3	4	5	5	3
Kür malzemesi sürülen	Kontrol	3	3	3	3	4	5	5	3
	Polipropilen	3	3	3	3	4	5	5	3
	Cam lifi	3	3	3	3	4	5	5	3
	Doğal(sızal)	3	3	3	3	4	5	5	3
	Çelik lif	3	3	3	3	4	5	5	3

3.2.6. Beton örneklerin kodlanması

Beton örneklerin özellikleri ile ilgili tanımlamalarda ve açıklamalarda, aşağıda belirtilen kodlamalar kullanılmıştır:

- S** : Olgunlaşma süresince hiç sulanmayan beton örnekler.
- K** : Sentetik reçine esaslı kür malzemesi sürülerek olgunlaştırılan beton örnekler.
- I** : Olgunlaşma süresince yalnızca ilk yedi gün günde iki kez sulanan beton örnekler.
- O** : Su tutma özellikli, ıslak örtü altında olgunlaştırılan beton örnekler.
- H** : Kirece doymun su içinde olgunlaştırılan beton örnekler.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde, beton üretiminde kullanılan karışım malzemeleri ile, laboratuvar ortamında üretilen, farklı kür koşullarında olgunlaştırılan beton örneklere ilişkin deney sonuçları verilmiştir.

4.1. Beton Üretiminde Kullanılan Agregaların Özellikleri

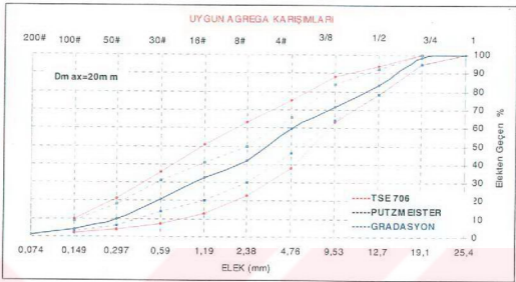
Beton örneklerin üretiminde, dört farklı agrega grubu kullanılmıştır. Granülometrik analiz, ASTM E11 elek serisine göre belirlenmiş ve beton bileşimine giren agregaların elek analizi sonuçları çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Agregaların elek analizi değerleri

Agrega boyutu (mm)	Elekten geçen (%)									İncelik modülü
	No 100	No 50	No 30	No 16	No 8	No 4	3/8"	1/2"	3/4"	
0.149-4.76	8.6	22.6	51.2	79.4	93.2	100	-	-	-	3.3
0.149-9.52	6.0	15.1	30.5	48.9	70.4	97.3	100	-	-	2.5
1.19-9.52	1.9	2.5	3.5	6.4	15.8	67.2	100	-	-	1.2
4.76-19.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	13.9	49.1	100	3.4

Agregaların elek analizi sonuçlarına göre elde edilen granülometri eğrisi şekil 4.1' de verilmiştir.

Agregaların özgül ağırlık, su emme, ince madde oranı, hafif madde oranı, organik kökenli madde, donma-çözülme ve aşınma oranı, yöntem bölümünde verilen Türk Standartlarına göre belirlenmiş, hesaplamalarda yöntem bölümünde ifade edilen eşitlikler kullanılmıştır. Agreganın saptanan fiziksel özellikleri, çizelge 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Agregra granülometri eğrisi

Çizelge 4.2. Agregra özellikleri

Agregra boyutu (mm)	Agregra özellikleri							
	Özgül ağırlık (kg/dm ³)	Su emme (%)	İnce madde oranı (%)	Donma kaybı (%)	Hafif madde oranı (%)	Organik kökenli madde	Aşınma oranı	
							100 devir (%)	500 devir (%)
0.075-4.76	2.63	2.17	2.3	-	-	Açık sarı	-	-
0.149-9.52	2.58	4.34	2.1	-	-	Açık sarı	-	-
1.19-9.52	2.62	1.87	1.0	2.3	-	Renksiz	3.6	17.6
4.76-19.1	2.66	1.10	1.0	2.0	-	Renksiz	2.7	14.6

4.2. Taze Beton Deney Sonuçları

Su-çimento oranı sabit tutularak kontrol (lifsiz), polipropilen, cam, doğal (sızal) ve çelik lifli beton karışımları üretilmiştir. Polipropilen, cam ve çelik liflerin karışım içerisindeki miktarları, üretici firmaların önerilerine uyularak seçilmiştir. Doğal lif (sızal) miktarı ise, polipropilen ve cam lif miktarına eşdeğer alınmıştır. Beton bileşiminde yer alan malzeme miktarları, çizelge 4.3'te belirtilmiştir.

Betonyerde karıştırma işlemi sırasında; cam liflerin karışım içerisinde toplanmadığı, homojen bir dağılım gösterdiği gözlenmiştir. Polipropilen ve çelik liflerin, özellikle de polipropilen liflerin belirgin bir biçimde toplanma eğiliminde olduğu görülmüştür. Ayrıca polipropilen liflerin karıştırıcının paletlerine yapışarak toplandığı gözlenmiştir. Doğal lif, karışım içerisinde cam life yakın bir davranış sergilemiştir. Taze haldeki betonda mala ile yapılan karıştırma işlemlerinde ve örnek kaplarının doldurulması sırasında da cam liflerin daha homojen bir dağılım gösterdiği gözlenmiştir.

Taze betonun perdelanması sırasında en iyi performansı cam lifli karışım göstermiştir. Doğal ve polipropilen lifli karışımlarda da önemli bir sorunla karşılaşılması ancak çelik lifli karışımlarda zaman zaman liflerin beton örneklerin yüzeye çıkması perdelama işlemi az da olsa zorlaştırmıştır.

Çizelge 4.3. Beton bileşimine giren malzeme miktarları

Beton türü	Doğal kum (kg)	Doğal kum (kg)	Kırma taş I (kg)	Kırma taş II (kg)	Çimento (kg)	Su (kg)	Lif miktarı (kg)	Akışkanlaştırıcı (kg)	Teorik birim ağırlık (kg/m ³)
Kontrol (Katksız)	537	283	402	612	325	179	-	1.3	2339
Polipropilen lifli	525	290	399	608	325	179	0.900	1.3	2328
Cam lifli	525	290	399	608	325	179	0.900	1.3	2328
Doğal lifli (sızal)	525	290	399	608	325	179	0.900	1.3	2328
Çelik lifli	523	289	398	606	325	179	20	1.3	2340

Taze betonun çökme, hava içeriği ve birim ağırlık özellikleri saptanmıştır. Test sonuçları, en az üç kez tekrarlanarak ölçülmüş, aritmetik ortalaması alınmıştır. Çizelge 4.4'teki verilerden de görüleceği gibi kontrol (katksız) betona göre polipropilen lifli betonda önemli çökme kayıpları oluşmuştur. Oluşan çökme kaybı işlenebilirliği azaltmış, taze betonun kalıba yerleştirilmesinde ve sıkıştırılmasında daha fazla enerji gereksinimi oluşturmuştur.

Çizelge 4.4. Taze beton özellikleri

Beton türü	Çökme (cm)	Hava içeriği (%)	Birim ağırlık (kg/dm^3)
Kontrol (katkısız)	8.0	2,5	2.31
Polipropilen lifli	4.5	3,4	2.30
Cam lifli	6.5	3,3	2.30
Doğal(sızal) lifli	6.5	3.0	2.31
Çelik lifli	6.5	3.2	2.32

4.3. Sertleşmiş Beton DeneY Sonuçları

Kalıptan çıkartılan beton örnekler, beş farklı kür ortamında olgunlaştırılmıştır. Uygulanan kür yöntemlerinin seçim gerekçelerini aşağıdaki şekilde tanımlamak olasıdır.

- Beton örnekler, hiç sulanmaksızın tamamen açık ortamda bırakılmıştır. Böyle bir uygulama; sıklıkla olmasa da uygulamada karşılaşıldığı için seçilmiştir.
- Beton örnekler, 24 saat sonra kalıptan alınmış, su bazlı sentetik reçine esaslı özel kür malzemesi beton örnek yüzeylerine üç kez fırça ile sürülmüştür. Kimya endüstrisindeki gelişmelere de paralel olarak, su ile kür işleminin uygulanamadığı durumlarda, alternatif bir yöntem olarak uygulama alanı bulmaktadır.
- Islanma-kuruma problemleri açısından önerilmemle birlikte, yaygın bir kür yöntemi de; sabah ve akşam olmak üzere günde iki kez betonun belirli bir süre sulanmasıdır. Bu uygulamada beton örnekler yedi gün süre ile günde iki kez sulanmıştır.
- Uygulama zorluğuna karşın en etkili kür yöntemlerinden birisi, betonun ıslak örtü altında olgunlaştırılmasıdır. Özellikle çatlak kontrolü açısından yarar sağlayan bir yöntem olmasından dolayı bu çalışmada farklı bir yöntem olarak seçilmiştir.

- Havuz kürü betonun olgunlaştırılmasında tamamen kontrollü bir yöntemdir. Ancak laboratuvar koşulları için geçerlidir.

Katkısız ve farklı lifler ile üretilen, üstte tanımlanan kür koşullarında olgunlaştırılan, sertleşmiş beton örnekler fiziksel ve mekanik testler uygulanmıştır. Amaç; liflerin ve kür koşullarının sertleşmiş beton özelliklerine etkilerini ortaya koymaktır.

F test değerlerinin istatistiki olarak **P** olasılık düzeylerinin belirlenmesinde aşağıdaki semboller kullanılmıştır.

- * $P < 0.01$
- ** $P < 0.05$.

Duncan testine göre test sonuçlarının $P < 0.05$ olasılık düzeyine göre sıralaması bilgisayar paket programınca; a, b, c, d, e harfleri ile sembolize edilmiştir.

- a, b, c, d, e: Herhangi bir sütun veya satırda aynı harflerle gösterilen ortalamalar arasında istatistiki olarak fark yoktur anlamı ifade etmektedir.

4.3.1. Basınç dayanımı

Farklı kür ortamında olgunlaştırılan beton örnekler 28 gün sonra basınç testi uygulanmıştır. Test, şekil 4.2'de görülen 2000 kN'luk preste yapılmış, basınç dayanımının saptanmasında 3.15 nolu eşitlikten yararlanılmıştır.

Katkısız ve farklı lifli betonların basınç dayanımlarının lif türü ve kür koşuluna bağlı olarak değiştiği şekil 4.3'de görülmektedir. En büyük basınç dayanımı, havuzda kür işlemi uygulanan çelik ve cam lifli betonlarda elde edilmiştir. Sulanmayan betonlarda en düşük dayanım değerleri elde edilirken, doğal ve çelik lifli betonlarda bu değerler daha da azalmıştır.



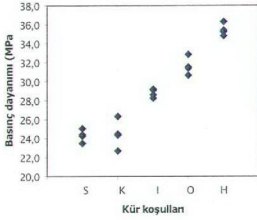
Şekil 4.2. Basınç dayanımı testi

Lifli ve katkısız betonların basınç dayanımı varyans analizleri yapılarak, lif türü ile kür koşulunun etkisi araştırılmıştır. Beton türü ile kür koşulu ortalamaları arasındaki farklılık istatistik olarak $P < 0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. çizelge 4.5'te basınç dayanımı varyans analizi değerleri verilmiştir.

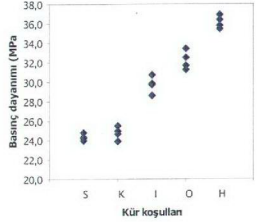
Çizelge 4.5. Basınç dayanımı varyans analizi değerleri

Değişim kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F Test istatistiği	Olasılık düzeyi
Beton türü	4	53.39	13.348	20.53	0.000
Kür koşulu	4	2083.397	520.849	801.05	0.000
Tür*Kür	16	30.821	1.926	2.96	0.001*
Hata	75	48.765	0.65		
Toplam	99	2216.374			

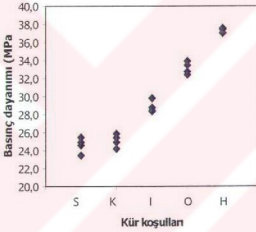
Beton örneklerin basınç dayanımı değerlerinin aritmetik ortalama ve standart sapmaları çizelge 4.6'da verilmiştir. $P < 0.05$ önem düzeyinde istatistiksel farklılıklar Duncan testine göre sonuçlandırılarak, sıralama çizelgede yapılmıştır. Beton türlerine göre yapılan sıralamada en düşük dayanım, sulanmayan doğal ve çelik lifli betonlarda gerçekleşmiş, daha sonraki sırayı sulanmayan kotrol, polipropilen ve cam lifli betonlarla, kür malzemesi uygulanan tüm beton türleri almıştır. Uygulanan kürün



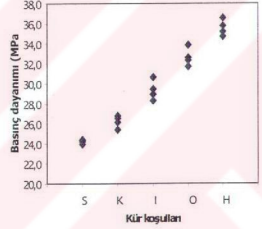
a- Kontrol (katkıstsız) betonu



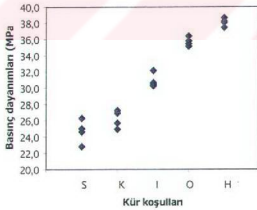
b-Polipropilen lifli beton



c-Cam lifli beton



d-Doğal lifli beton



e-Çelik lifli beton

S: Sulanmayan
 K: Kür malzemesi sürülen
 I : Günde iki kez sulama
 O: Islak örtü altı
 H: Havuz kürü

Şekil 4.3. Basınç dayanımı-kür ilişkisi

etkinliğine bağlı olarak, tüm beton türlerinde dayanım artmaktadır. Sulanmayan örneklerde istatistiki olarak fark görülmemiştir. Beton yüzeyine sürülen kür malzemesinin, çelik, cam ve doğal lifli betonlarda daha etkin olduğu görülmektedir. Çelik lifli beton dışındaki diğer beton türlerinde, günde iki kez sulama, aynı etkiyi oluşturmuştur. Örtü altı kürünün, istatistiki olarak tüm beton türlerinde aynı derecede etkili olduğu görülmüştür. Havuz kürü ise en önemli farklılığı çelik ve cam liflerde oluşturmuştur.

Çizelge 4.6. Basınç dayanımı aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri, Duncan testi sonuçları

Beton türü		Basınç dayanımı (Mpa)				
		Kür koşulları				
		S	K	I	O	H
Kontrol (Katkısız)	X	24.300 d (a)	24.463 d (b)	28.788 c (b)	31.605 b (c)	35.430 a (c)
	$\pm S_x$	0.323	0.744	0.222	0.458	0.316
Polipropilen lifli	X	24.320 d (a)	24.750 d (b)	29.720 c (b)	32.208 b (bc)	36.137 a (bc)
	$\pm S_x$	0.177	0.334	0.435	0.475	0.321
Cam lifli	X	24.610 d (a)	25.095 d (ab)	28.828 c (b)	33.118 b (b)	37.255 a (ab)
	$\pm S_x$	0.427	0.357	0.336	0.342	0.136
Doğal(sızal) lifli	X	24.225 e (a)	26.225 d (a)	29.330 c (b)	32.620 b (bc)	35.560 a (c)
	$\pm S_x$	0.099	0.306	0.495	0.454	0.394
Çelik lifli	X	24.683 e (a)	26.198 d (a)	30.873 c (a)	35.698 b (a)	38.095 a (a)
	$\pm S_x$	0.719	0.534	0.431	0.270	0.249

4.3.2. Yarmada-çekme dayanımı

Lifli ve katkısız 28 günlük beton örneklere şekil 4.4'te verildiği gibi 2000 kN'luk preste, özel bir düzenele basınç kuvveti uygulanmıştır. Beton örnekler, uygulanan basınç kuvveti ile yarılarak dayanımını kaybetmiştir. 3.15 nolu eşitlikten yararlanılarak beton örneklerin yarmada çekme dayanımı belirlenmiştir. Kontrol, polipropilen, cam ve doğal lifli beton örnekler, dayanım kaybı sonucu ikiye ayrılmıştır. Çelik lifli betonlarda bir kırılma düzlemi oluşmasına karşın numune iki parçaya ayrılmamış, çelik lifler iki parçayı bir arada tutmada etkili olmuştur. Deney sırasında özellikle havuz ve örtü altı kürü uygulanan örneklerde ani yarıma etkisi gözlenmiştir.



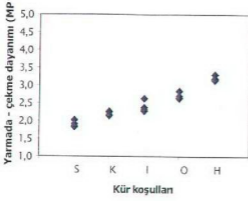
Şekil 4.4. Yarmada-çekme dayanımı testi

Beton örneklerin yarmada-çekme dayanımı kür ilişkisi şekil 4.5'te verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi yarmada-çekme dayanımı değerleri lif türü ve kür koşuluna bağlı olarak değişim göstermektedir. Çekme dayanımı değerleri sulanmayan, kür malzemesi sürülen örneklerde düşük değerler alırken, havuzda kür uygulanan örneklerde önemli artışlar elde edilmiştir. Çelik ve cam lifli beton örneklerde saptanan değerler, diğer beton örneklerinden daha yüksek olmuştur.

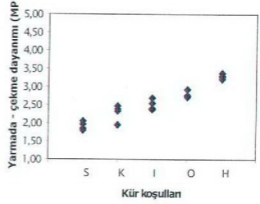
Beton örneklerin yarmada çekme dayanımı varyans analizi yapılmış, lif türü ile kür koşulu etkisi incelenmiştir. Bu etkinin $P < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu görülmüştür. çizelge 4.7'de varyans analizi sonuçları ifade edilmiştir.

Çizelge 4. 7. Yarmada-çekme dayanımı varyans analizi

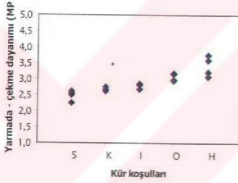
Değişim kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F Test istatistiği	Olasılık düzeyi
Beton türü	4	1.96573	0.49143	27.03	0.000
Kür koşulu	4	16.38663	4.09666	225.33	0.000
Tür*Kür	16	0.72152	0.0451	2.48	0.004*
Hata	75	1.36358	0.01818		
Toplam	99	20.43745			



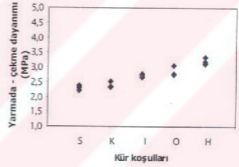
a-Kontrol (katkısız) betonu



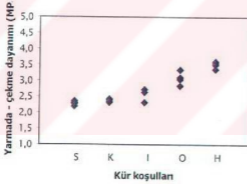
b-Polipropilen lifli beton



c-Cam lifli beton



d- Doğal lifli beton



e-Çelik lifli Beton

S: Sulanmayan
 K: Kür malzemesi sürülen
 I : Günde iki kez sulama
 O: Islak örtü altı
 H: Havuz kürü

Şekil 4.5. Kontrol ve lif katkılı betonların yarmada-çekme dayanımı-kür ilişkisi

Yarmada çekme dayanımı değerlerine ait aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri çizelge 4.8'de verilmiş, $P < 0.05$ olasılık düzeyinde Duncan testi sıralama sonuçları da çizelgede tanımlanmıştır.

Beton türlerine göre yapılan sıralamada havuzda, örtü altında ve günde iki kez sulanan örneklerin kendi aralarında istatistiki olarak farklılık görülmemektedir. Kür malzemesi uygulanan örneklerde cam lifli örnekler diğerlerinden daha büyük değer almıştır. Sulanmayan örneklerde kontrol ve polipropilen lifli betonlar en düşük çekme dayanımını göstermiştir.

Kür koşulları için yapılan karşılaştırmada, tüm kür koşulları için en yüksek çekme dayanımı, cam lifli betonlarda görülmektedir. Havuz kürü uygulanan örneklerde en yüksek dayanım çelik ve cam lifli betonda, örtü altı kürü uygulananlarda ise çelik, doğal ve cam lifli betonlarda elde edilmiştir. Günde iki kez sulanan örneklerde, cam ve doğal lifli betonlarda saptanan değerler diğerlerinden fazla olmuştur. Kür malzemesi sürülen betonlarda, cam lifli beton dışındaki örneklerde dayanım değerleri düşmüştür. Sulanmayan örneklerde en düşük dayanım katkısız ve polipropilen lifli betonlarda bulunmuştur.

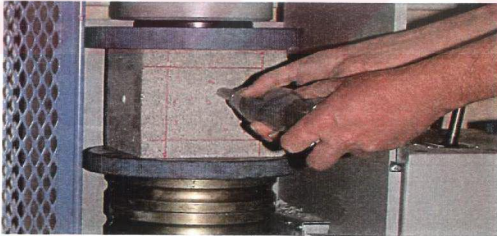
4.4.3. Beton test çekici “N” değeri

Beton örneklere test çekici uygulanarak, “N” geri tepme değerleri elde edilmiştir. Test çekici uygulaması hasarsız bir test yöntemi olduğundan, yerine dökülmüş beton elemanların dayanımlarının yaklaşık olarak belirlenmesine yardımcı olur. Test çekici 15 cm'lik küp numunelere uygulanmıştır (şekil 4.6). Uygulama öncesi tüm örneklerin yüzeyi temizlenerek, yüzey dokusu ortaya çıkartılmış, preste beş tonluk sabit yük altında sıkıştırılmış, yüzeye dik 15 okuma değeri elde edilmiş ve bunların aritmetik ortalaması alınmıştır.

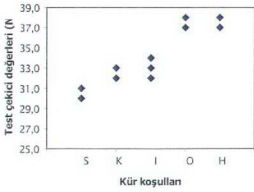
Çizelge 4.8. Yarmada-çekme dayanımı aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri, Duncan testi sonuçları

Beton türü		Yarmada-çekme dayanımı (Mpa)				
		Kür koşulları				
		S	K	I	O	H
Kontrol (Katkısız)	X	1.902 e (c)	2.210 d (b)	2.403 c (b)	2.708 b (c)	3.213 a (bc)
	$\pm S_x$	0.043	0.029	0.079	0.046	0.034
Polipropilen lifli	X	1.918 e (c)	2.285 d (b)	2.505 c (b)	2.793 b (bc)	3.2975 a (bc)
	$\pm S_x$	0.057	0.115	0.072	0.047	0.033
Cam lifli	X	2.478 d (a)	2.678 c (a)	2.793 c (a)	3.068 b (a)	3.41 a (ab)
	$\pm S_x$	0.079	0.027	0.038	0.060	0.156
Doğal(sızal) lifli	X	2.313 d (ab)	2.380 d (b)	2.713 c (a)	2.913 b (ab)	3.200 a (c)
	$\pm S_x$	0.035	0.047	0.028	0.082	0.050
Çelik lifli	X	2.278 d (b)	2.365 cd (b)	2.493 c (b)	3.080 b (a)	3.503 a (a)
	$\pm S_x$	0.034	0.025	0.107	0.103	0.052

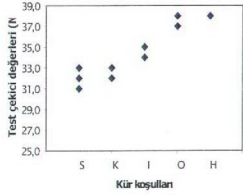
Şekil 4.7’de test çekici “N” değerleri-kür ilişkisi görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi kür koşullarının etkinliğine bağlı olarak değerler büyümektedir. Cam lifli örneklerde kür koşuluna bağlı olarak değerlerde daha farklı bir dağılım göze çarpmaktadır. En yüksek değerler havuz kürü uygulanan çelik ve doğal lifli örneklerde oluşmuştur.



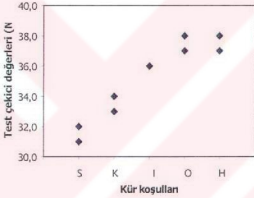
Şekil 4.6. Beton test çekici uygulaması



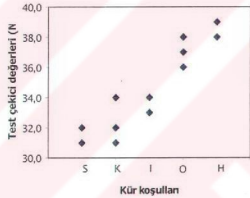
a-Kontrol (katkısız) betonu



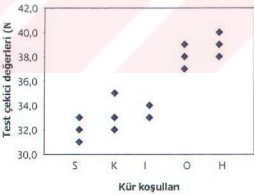
b-Polipropilen lifli beton



c-Cam lifli beton



d-Doğal lifli beton



e-Çelik lifli beton

S: Sulanmayan
 K: Kür malzemesi sürülen
 I : Günde iki kez sulama
 O: Islak örtü altı
 H: Havuz kürü

Şekil 4.7. Kontrol ve lif katkılı betonlarda test çekici "N" değerleri-kür ilişkisi

Beton türü ve kür koşulları için $P < 0.05$ düzeyinde test çekici "N" değerlerinin varyans analizi yapılmış beton türü-kür koşulu etkileşimi $P > 0.05$ olduğundan önemli bulunmamıştır. Ancak beton türleri arasındaki farklılık $P < 0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Çizelge 4.9' da varyans analizi değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.9. Beton test çekici "N" değerleri varyans analizi

Değişim kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F Test istatistiği	Olasılık düzeyi
Beton türü	4	9.147	2.287	3.36	0.016**
Kür koşulu	4	483.413	120.853	177.73	0.000
Tür*Kür	16	19.787	1.237	1.82	0.055
Hata	50	34	0.68		
Toplam	74	546.347			

Test çekici "N" değerlerinin aritmetik ortalama ve standart sapmaları verilmiş, Duncan testi sıralama sonuçları da çizelge 4.10'da tanımlanmıştır.

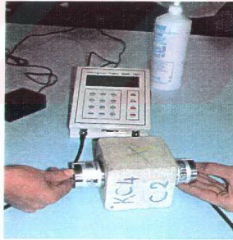
Çizelge 4.10. Beton test çekici "N" değeri aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri, Duncan testi sonuçları

Beton türü		Test çekici N değeri				
		Kür koşulları				
		S	K	I	O	H
Kontrol (Katkısız)	X	30.667 c	32.667 b	33.00 b	37.667 a	37.667 a
	$\pm S_x$	0.333	0.333	0.577	0.333	0.333
Polipropilen lifli	X	32.000 c	32.667 c	34.333 b	37.333 a	38.000 a
	$\pm S_x$	0.577	0.333	0.333	0.333	0.000
Cam lifli	X	31.667 d	33.667 c	36.00 b	37.667 a	37.66 a
	$\pm S_x$	0.33	0.333	0.000	0.333	0.333
Doğal(sızal) lifli	X	32.333 b	32.333 b	33.667 b	37.333 a	38.333 a
	$\pm S_x$	0.333	0.882	0.333	0.882	0.333
Çelik lifli	X	32.000 c	33.333 bc	33.667 b	38.000 a	39.000 a
	$\pm S_x$	0.577	0.882	0.333	0.577	0.577

Beton türlerine göre yapılan Duncan testi sıralama sonuçlarına bakıldığında; havuz ve örtü altı kürü uygulanan örneklerde yüksek değerler oluşmuş ancak değerler arasında farklılık önemli görülmemiştir. Sulanan örneklerde de farklılık görünmemektedir. Kür malzemesi sürülen örneklerde polipropilen ve cam lifli örneklerde değerler daha düşük çıkmış, diğer beton türleri arasında da istatistiki olarak farklılık bulunmamıştır.

4.3.4. Bağlı dinamik elastisite modülü (donma-çözülme)

28 günlük olgunlaşma süreci sonrası 10 cm'lik küp beton örnekler, etüv kurusu ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuş, soğutulduktan sonra şekil 4.8'de görüldüğü gibi Qest 120 ultrasonik test cihazı ile beton örneklerin ultrases hız değerleri ölçülmüştür. Her bir örnek deneyden önce +5°C' ye getirildikten sonra dondurucuya (-20°C soğutma kapasitesinde) konmuştur. Dondurucu iç sıcaklığı -15°C (Kastamonu Meteoroloji Müdürlüğünden alınan son 20 yılın en düşük sıcaklık ortalaması) olduğunda, numuneler dondurucudan çıkartılarak suyun içerisinde çözülmeleri beklenmiş, çözülme suyu sıcaklığı +5°C' ye geldiğinde, örnekler kurularak tekrar dondurucuya konmuştur. İşlem 20 kez tekrarlanmıştır. Donma-çözülme tekrarları sonrası numuneler etüv kurusu ağırlığa getirilerek yeniden ultrases geçiş hızları ölçülmüştür. Eşitlik 3.13'den yararlanılarak "bağlı dinamik elastisite modülü" hesaplanmıştır.



Şekil 4.8. Ultrasonik test cihazı ve deneyin yapılışı

Beton örneklerin bağıl dinamik elastisite modüllerinin kür koşuluna bağlı olarak değişimi şekil 4.9'da görülmektedir. Havuz ve örtü altı kürlerinde yüksek ancak birbirine yakın değerler elde edilmiştir. En düşük değer kür görmeyen doğal lifli, en yüksek değer havuz kürü uygulanan cam lifli beton örneklerde gerçekleşmiştir.

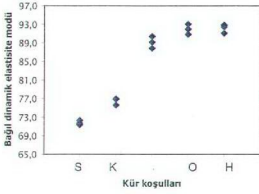
Bağıl dinamik elastisite modülü değerlerinin varyans analizi yapılmış, beton türü ile kür koşulu etkileşimi $P < 0.01$ olasılık düzeyinde önemli bulunmuştur. Varyans analizi sonuçları çizelge 4.11'de sunulmuştur.

Çizelge 4.11. Bağıl dinamik elastisite modülü varyans analizi tablosu

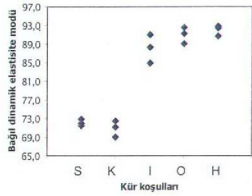
Değişim kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F Test istatistiği	Olasılık düzeyi
Beton türü	4	107.05	26.76	6.95	0.000
Kür koşulu	4	6166.00	1541.5	400.37	0.000
Tür*Kür	16	152.34	9.52	2.47	0.008*
Hata	50	192.51	3.85		
Toplam	74	6617.91			

Beton örneklerine ait aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri çizelge 4.12'de verilmiştir. $P < 0.05$ olasılık düzeyinde yapılan Duncan testi sıralama sonuçları da çizelgede ifade edilmiştir.

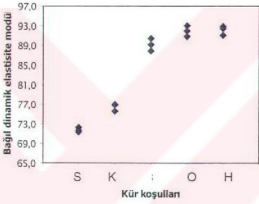
Beton türlerine göre yapılan sıralamada havuz kürü ve örtü altı kürü uygulanan örneklerde istatistiki olarak farklılık görülmemektedir. Bu örneklerde donma çözülme sonrası daha az hasar oluşmuştur. Sulanan ve kür malzemesi uygulanan örneklerde cam lifli betonların bağıl dinamik elastisite modülü değeri, diğer betonların önüne geçmiştir. Sulanmayan örneklerde ise en düşük değerler, katkısız ve doğal lifli betonlarda elde edilmiştir.



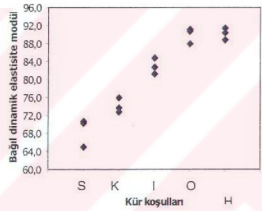
a-Kontrol (katkısız) beton



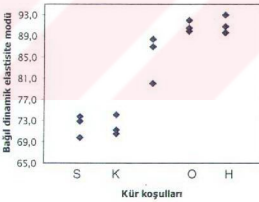
b-Polipropilen lifli beton



c-Cam lifli beton



d-Doğal lifli beton



e-Çelik lifli beton

S: Sulanmayan
 K: Kür malzemesi sürülen
 I: Günde iki kez sulama
 O: Islak örtü altı
 H: Havuz kürü

Şekil 4. 9. Kontrol ve lif katkılı betonlarda bağıl dinamik elastisite modülü-kür ilişkisi

Kür koşullarına göre yapılan sıralamada en yüksek değer, havuz ve örtü altı kürü uygulanan betonlarda elde edilmiştir. Sulanmayanların dışında diğer kür koşullarında cam lifli beton örneklerin elastisite modülleri en yüksek değerleri almıştır. Kür malzemesi uygulanan örneklerde en düşük sonuçları katkısız ve polipropilen lifli betonlar vermiştir. En düşük sonuçlar sulanmayan kontrol ve doğal lifli örneklerde görülmektedir.

Çizelge 4.12. Bağlı dinamik elastisite modülü aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri, Duncan testi sonuçları

Beton türü		Bağlı dinamik elastisite modülü (donma-çözülme)				
		Kür koşulları				
		S	K	I	O	H
Kontrol (Katkısız)	X	65.660 d (c)	70.720 c (b)	87.057 b (ab)	90.627 a (a)	91.363 a (a)
	± Sx	0.942	1.761	1.622	0.394	0.653
Polipropilen lifli	X	72.143 c (a)	70.917 c (b)	88.060 b (ab)	90.957 ab (a)	91.973 a (a)
	± Sx	0.404	0.998	1.788	1.025	0.668
Cam lifli	X	71.783 c (ab)	76.497 b (a)	89.173 a (a)	91.953 a (a)	92.150 a (a)
	± Sx	0.277	0.443	0.728	0.635	0.538
Doğal(sızal) lifli	X	68.637 d (bc)	74.133 c (ab)	82.900 b (c)	89.873 a (a)	90.157 a (a)
	± Sx	1.841	0.940	1.022	0.999	0.752
Çelik lifli	X	72.103 c (a)	71.940 c (b)	85.107 b (bc)	90.747 a (a)	91.087 a (a)
	± Sx	1.206	1.092	2.580	0.614	0.986

4.3.5. Su işleme derinliği (geçirimsizlik)

20 cm çapında 12 cm yüksekliğinde 60 günlük silindirik beton örneklerin dış yüzeyleri parafin esaslı kür malzemesi ile kaplanmış, şekil 4.10'da verilen deney düzeneğinde görüleceği gibi, alt ve üst yüzeylerine conta yerleştirilerek sıkıştırılmıştır. Örnekler yedi gün süreyle üç atmosfer sabit basınç altında su yükü uygulanmıştır. Bu sürenin sonunda örnekler preste ortadan ikiye yarılarak suyun beton örnekler işleme derinliği kumpasla ölçülmüştür.

Su işleme derinliği kür ilişkisi şekil 4.11'de grafik olarak verilmiştir. Şekilden görüleceği gibi kür, su işleme derinliğinin azaltılmasında oldukça etkin görünmektedir. Havuz kürü uygulanan tüm örneklerde beton geçirimsiz bir yapı kazanmıştır. Sulanmayan örneklerle karşılaştırıldığında yüzeye sürülen kür malzemesinin, burada etkili olduğu görülmektedir.

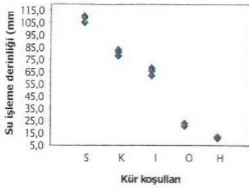


Şekil 4.10. Geçirimsizlik testi deney düzeneği

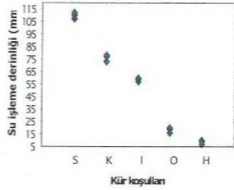
Her bir beton türü ve kür koşulu için elde edilen değerlerin varyans analizi yapılmış sonuçlar çizelge 4.13'te verilmiştir. Beton türü kür koşulu ilişkisi $P < 0.05$ düzeyinde istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Beton türleri kendi arasında kür koşulları da kendi arasında karşılaştırıldığında $P < 0.01$ düzeyinde istatistiki olarak farklılık bulunmuştur.

Çizelge 4.13. Su işleme derinliği varyans analizi tablosu

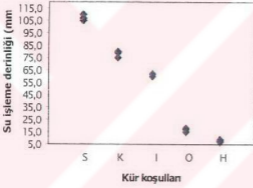
Değişim kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F Test istatistiği	Olasılık düzeyi
Beton türü	4	142.5	35.6	8.87	0.000*
Kür koşulu	4	102337.4	25584.3	6374.84	0.000*
Tür*Kür	16	98.6	6.2	1.54	0.124
Hata	50	200.7	4		
Toplam	74	102779.1			



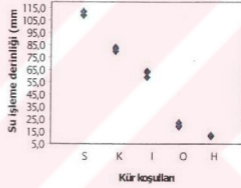
a-Kontrol (katkısız) betonu



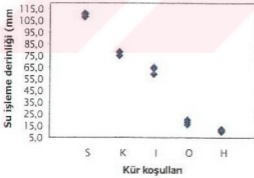
b-Polipropilen lifli beton



c-Cam lifli beton



d-Doğal lifli beton



e-Çelik lifli beton

S: Sulandırılmayan
 K: Kür malzemesi sürülen
 I: Günde iki kez sulama
 O: Islak örtü altı
 H: Havuz kürü

Şekil 4.11. Kontrol ve lif katkılı betonlarda su işleme derinliği-kür ilişkisi

Geçirimsizlik deneyi sonucu saptanan değerlerin aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri ile $P < 0.05$ olasılık düzeyinde Duncan test sonuçları çizelge 4.14'te verilmiştir.

Beton türlerine göre yapılan sıralamada adeta soldan sağa doğru bir sıralama göze çarpmaktadır. Tüm beton türlerinde aynı kür koşulları esas alındığında, beton türleri arasında istatistiki olarak farklılık görülmemektedir. Su işleme derinliği, havuz kürü ve ıslak örtü altı kürü uygulanan cam lifli beton örneklerle, sulanan ve kür malzemesi sürülen, polipropilen lifli beton örneklerde daha düşük sonuçlanmıştır.

Kür koşuluna göre yapılan Duncan testinde, türler arasındaki istatistiki farklılıklar daha belirgin olmuştur. Havuz ve örtü altı kürü uygulanan cam lifli beton örnekler de daha geçirimsiz bir yapı gözlenmiştir. Sulanan polipropilen lifli örneklerle, kür malzemesi sürülen, polipropilen, cam ve çelik lifli örnekler de daha düşük geçirimsizlik değerleri bulunmuştur. Sulanmayan örneklerin tamamında su işleme derinliği maksimum düzeyde gerçekleşmiştir.

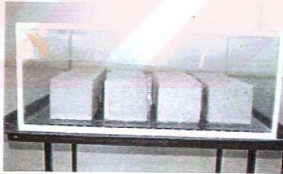
Çizelge 4.14. Su işleme derinliği aritmetik ortalama standart sapma değerleri ve Duncan testi sonuçları

Beton türü		Su işleme derinliği (mm)				
		Kür koşulları				
		S	K	I	O	H
Kontrol (Katkısız)	X	108.000 a (a)	80.667 b (ab)	65.333 c (a)	21.667 d (a)	11.667 e (a)
	$\pm S_x$	1.528	1.453	1.764	0.667	0.333
Polipropilen lifli	X	109.667 a (a)	76.000 b (c)	58.667 c (c)	18.333 d (abc)	8.667 e (ab)
	$\pm S_x$	1.453	1.528	0.882	1.202	0.882
Cam lifli	X	107.333 a (a)	78.000 b (bc)	60.667 c (bc)	16.667 d (c)	8.000 e (b)
	$\pm S_x$	1.453	1.528	0.667	0.882	0.577
Doğal(sızal) lifli	X	110.000 a (a)	81.667 b (a)	62.000 c (abc)	20.333 d (ab)	11.333 e (ab)
	$\pm S_x$	1.000	0.882	1.528	0.882	0.333
Çelik lifli	X	109.667 a (a)	77.000 b (c)	62.667 c (ab)	18.000 d (bc)	11.000 e (ab)
	$\pm S_x$	0.882	1.000	0.856	1.155	0.577

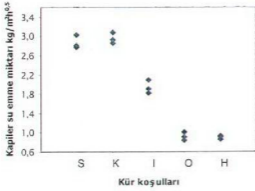
4.3.6. Kapiler su emme miktarı

Kapilerite deneyi, 15 cm kenar boyutundaki 28 günlük küp örneklere uygulanmıştır (şekil 4.12). Deney sonucunda 3.12 nolu eşitlikten yararlanılarak "kapiler su emme miktarı" hesaplanmıştır. Beton türlerinin farklı kür koşulu etkisinde kapiler su emme miktarı değerlerinin değişimi şekil 4.12'de görülmektedir. Sulanmayan ve kür malzemesi uygulanan örneklerde birbirine yakın ve yüksek değerler elde edilirken, örtü altı ve havuz kürü etkisindeki örneklerde yaklaşık aynı düzeyde, en düşük sonuçlar saptanmıştır.

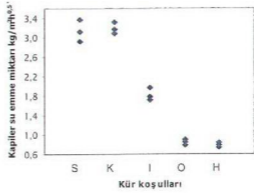
Varyans analizi çizelge 4.15'de sunulmuştur. Beton türü kür koşulu ilişkisinde farklılık $P>0.05$ olarak gerçekleşmiş, istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Beton türleri arasındaki farklılık $P<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Kapiler su emme miktarlarında sıralama beton türüne göre yapılmıştır. Havuz kürü, örtü altı ve sulanan örneklerde doğal lifli beton dışında ki beton türleri arasında istatistiki farklılık görülmemektedir. En büyük kapiler su emme miktarına doğal lifli betonlarda rastlanmaktadır. En düşük değer cam lifli betonlarda gerçekleşmiştir.



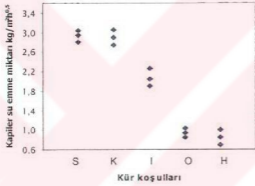
Şekil 4.12. Kapiler su emme deneyi



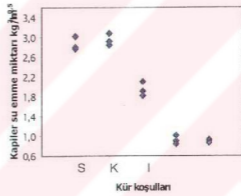
a-Kontrol (katkısız) betonu



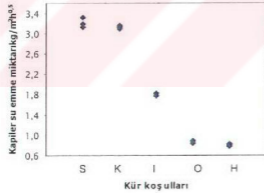
b-Polipropilen lifli beton



c-Cam lifli beton



d-Doğal lifli beton



e-Çelik lifli beton

S: Sulanmayan
 K: Kür malzemesi sürülen
 I: Günde iki kez sulama
 O: Islak örtü altı
 H: Havuz kürü

Şekil 4.13. Kapiler su emme miktarı değerleri-kür ilişkisi

Çizelge 4.15. Kapiler su emme miktarı varyans analizi tablosu

Değişim kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F Test istatistiği	Olasılık düzeyi
Beton türü	4	0.2409	0.0602	4.19	0.005*
Kür koşulu	4	74.4477	18.6119	1294.89	0.000
Tür*Kür	16	0.849	0.0531	3.69	0.000
Hata	50	0.7187	0.0144		
Toplam	74	76.2563			

Çizelge 4.16. Kapiler su emme miktarı aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri, Duncan testi sonuçları

Beton türü		Kapiler su emme miktarı ($\text{kg/m}^2\text{h}^{0.5}$)				
		Kür koşulları				
		S	K	I	O	H
Kontrol (Katkısız)	X	2.863 a	2.950 a	1.943 b	0.917 c	0.893 c
	$\pm S_x$	0.079	0.068	0.083	0.050	0.018
Polipropilen lifli	X	3.137 a	3.187 a	1.827 b	0.843 c	0.780 c
	$\pm S_x$	0.130	0.071	0.074	0.035	0.029
Cam lifli	X	3.210 a	3.123 a	1.797 b	0.873 c	0.803 c
	$\pm S_x$	0.059	0.020	0.017	0.017	0.015
Doğal(sızal) lifli	X	3.457 a	3.163 b	2.017 c	0.903 d	0.847 d
	$\pm S_x$	0.083	0.052	0.038	0.131	0.037
Çelik lifli	X	2.930 a	2.897 a	2.073 b	0.940 c	0.850 c
	$\pm S_x$	0.070	0.089	0.107	0.052	0.092

4.3.7. Su emme oranı

Su emme deneyi, 10 cm kenar boyutunda ki küp örneklere uygulanmıştır. Örnekler şekil 4.14'de görüldüğü gibi $105\pm 5^\circ\text{C}$ sıcaklıkta etüv kurusu ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuş, 0.01 g duyarlıkta tartıldıktan sonra $20\pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki suyun içinde 24 saat süreyle bekletilmiş, sudan çıkartılan örnekler kurularak tekrar 0.01 g duyarlıkta tartılmıştır. 3.11 nolu eşitlikten yararlanılarak "su emme oranı" hesaplanmıştır.

Şekil 4.15'den de görüleceği gibi beton türü ve kür koşuluna bağlı olarak su emme oranları değişiklik göstermektedir.



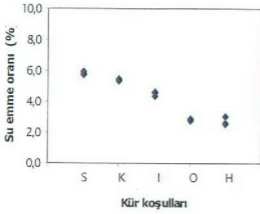
Şekil 4.14. Etüvde kurutulan beton örnekler

Test sonuçlarının varyans analizi çizelge 4.17'de verilmiş, beton türü ile kür koşulu arasındaki ilişki, $P < 0.01$ olasılık düzeyinde önemli bulunmuştur.

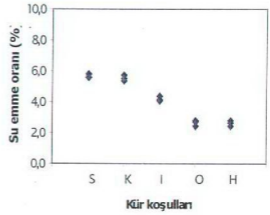
Çizelge 4.17. Su emme oranı varyans analizi tablosu

Değişim kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F Test istatistiği	Olasılık düzeyi
Beton türü	4	0.757	0.189	6.21	0.000
Kür koşulu	4	135.142	33.786	1108.83	0.000
Tür*Kür	16	1.377	0.086	2.82	0.003*
Hata	50	1.524	0.031		
Toplam	74	138.799			

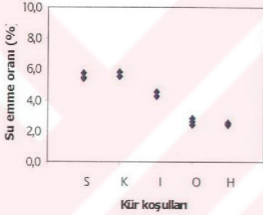
Aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri ile Duncan testi sıralama sonuçları çizelge 4.18'de verilmiştir. En düşük su emme oranları, örtü altı ve havuz kürü uygulanan polipropilen ve cam lifli betonlarda elde edilmiştir. Beton türüne göre yapılan sıralamada; havuz kürü ve ıslak örtü altı kürü uygulanan, polipropilen, cam ve doğal lifli betonlarda istatistiki olarak farklılık görülmemektedir.



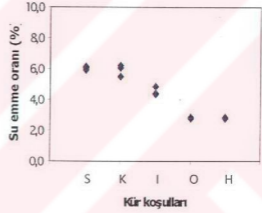
a-Kontrol (katkısız) betonu



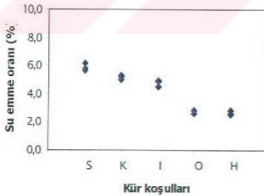
b-Polipropilen lifli beton



c-Cam lifli beton



d-Doğal lifli beton



e-Çelik lifli beton

S: Sulanmayan
 K: Kür malzemesi sürülen
 I: Günde iki kez sulama
 O: Islak örtü altı
 H: Havuz kürü

Şekil 4.15. Kontrol ve lif katkılı betonlarda su emme oranı-kür ilişkisi.

En düşük su emme oranı her iki koşulda da cam liflerde saptanmıştır. Sulanmayan tüm örneklerde istatistiki farklılığa rastlanmıştır. Kür koşuluna göre sıralama yapıldığında havuz kürü uygulanan örneklerde su emme oranı, cam lifli betonda istatistiki olarak diğerlerinden farklıdır. Örtü altı kürü uygulanan beton örneklerde istatistiki olarak farklılık görülmemektedir. Sulanan örneklerde ise, polipropilen lifli beton en düşük su emme oran değeri ile, diğerlerinden istatistiki olarak farklıdır.

Çizelge 4.18. Su emme oranları aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri, Duncan testi sonuçları

Beton türü		Su emme oranı (%)				
		Kür koşulları				
		S	K	I	O	H
Kontrol (Katkısız)	X	5.813 a (abc)	5.403 b (cd)	4.510 c (ab)	2.827 d (a)	2.743 d (ab)
	± S _x	0,066	0,038	0,071	0,032	0,135
Polipropilen lifli	X	5.720 a (bc)	5.530 a (bc)	4.197 b (c)	2.647 c (a)	2.623 c (ab)
	± S _x	0,067	0,102	0,087	0,116	0,118
Cam lifli	X	5.537 a (c)	5.720 a (ab)	4.433 b (bc)	2.607 c (a)	2.493 c (b)
	± S _x	0,093	0,085	0,087	0,130	0,038
Doğal(sızal) lifli	X	6.050 a (a)	5.910 a (a)	4.537 b (ab)	2.817 c (a)	2.810 c (a)
	± S _x	0,068	0,219	0,153	0,023	0,012
Çelik lifli	X	5.870 a (ab)	5.190 b (d)	4.750 c (a)	2.677 d (a)	2.663 d (ab)
	± S _x	0,144	0,086	0,126	0,072	0,080

4.3.8. Bağlı dinamik elastisite modülü (sülfata dayanıklılık)

Beton örneklerin sülfat etkilerine dayanıklılığını test etmek amacı ile kurutulan beton örneklere sodyum sülfat çözeltisi içerisinde kapilerite deneyi uygulanmıştır.

Deney öncesi beton örneklerinin kuru ağırlıkları saptanmış, sodyum sülfat uygulanacak yüzeylerinden karşılıklı olarak ultrases geçiş hızları ölçülmüştür. İlk sırayı 4.50 km/s ile havuz kürü uygulanan cam lifli beton örnekler alırken, ikinci sırayı yine 4.46 km/s ile

örtü altı kürü uygulanan cam lifli beton örnekler almıştır. En düşük değer 3.80 km/s ile sulanmayan polipropilen lifli örneklerde gerçekleşmiştir.

Daha sonra beton örnekler TS 4045 standardında belirtilen esaslara uygun olarak, yüzeyleri 5 mm batacak şekilde sodyum sülfat çözeltisi içerisine yerleştirilmiş, 18 saat süreyle bekletilmiştir. Çözeltiden çıkartılan örnekler yıkanarak, etüvde kurutulmuştur. Örnekler yeniden çözelti içerisine yerleştirilmiş, işlemler 5 tur tekrarlanmıştır.

Deney sonrası beton örneklerde; gözle yapılan kontrolde; sodyum sülfatın kapiler boşluklarda kristalleşme tekrarları sonucu hasarlar oluşturduğu gözlenmiştir. Öncelikli olarak beton örnekler tartılarak ağırlık kayıpları saptanmaya çalışılmıştır. Örtü altı ve havuz kürü uygulanan tüm beton türlerinde ağırlık kaybı oluşurken, sulanan, kür malzemesi sürülen ve sulanmayan örneklerde ise ağırlık kaybının aksine, değişen ağırlık artışları saptanmıştır.

En düşük ağırlık kaybı havuz kürü uygulanan cam lif katkılı örneklerde oluşurken, en yüksek ağırlık kaybı örtü altı ve havuz kürü uygulanan doğal lif katkılı betonlarda gerçekleşmiştir.

Ağırlık artışı gözlenen beton örneklerde, ağırlık kaybı gözlenmesine karşın, bu tartı sonuçlarına yansımamıştır. Bu etkileşimi şu şekilde yorumlamak olasıdır: Sodyum sülfat çözeltisi beton örneğin kapiler boşluklarına dolarak, kurutma işlemi sonrasında boşluklarda kristalleşmiş (yikanmasına rağmen) ve ağırlık artışına neden olmuştur. Saptanan ağırlık kayıpları arasında ilişki kurulamadığından dolayı da sonuçlar sayısal değer olarak verilememiştir.

Beton örneklerin deney sonrası ultrases geçiş hızları da saptanmıştır. Hem sodyum sülfat uygulanan, hem de diğer yüzeylerden, karşılıklı olarak ultrases geçiş hızları ölçülmüştür. Ancak;

- Ağırlık kaybı oluşan örneklerde, ilk ölçülen ultrases hızlarına göre; sonradan ölçülen ultrases değerlerinin düştüğü, iki ultrases hızı arasındaki farkın büyüdüğü gözlenmiştir.
- Ağırlık artışı oluşan örneklerde ise; ikinci ölçülen ultrases hızı değerlerinde ve ultrases hızı farklarında azalma saptanmıştır.

Deney sonucu elde edilen değerlerin bu şekilde oluşmasında sodyum sülfatın kristalleşerek hasar oluşturduğu boşlukları tekrar tıkamasının etken olduğu söylenebilir. Bu durum, hem 3.14 nolu eşitlik yardımı ile dinamik elastisite modülünün doğru olarak hesaplanmasını, hem de ağırlık kayıpları ile dinamik elastisite modülü arasında kurulacak ilişkiyi olanaksızlaştırmıştır.

Yukarıda sıralanan nedenlerden dolayı ağırlık kayıpları ve dinamik elastisite modülü değerleri verilememiştir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışma materyalleri, laboratuar koşullarında denenmiş olup, elde edilen test sonuçlarının dış ortam koşullarındaki kanal kaplama betonlarına uygulanması aşağıdaki sonuçların değerlendirilmesiyle olasıdır:

Sulama sistemlerinin kanal yapımı ve kullanımı uygulamalarında yeterli denetimin yapılmaması kullanım aşamasında bazı sorunlar yaratmaktadır. Özetlenecek olursa:

Sulama kanalının dolgusu yeterince sıkıştırılmadan kaplama betonunun dökümü yapılmakta veya dolgu maddesi olarak uygun malzeme kullanılmamaktadır. Yapılan bu uygulamalar, ileriki dönemlerde kanalda oturma ve çökme oluşturmaktadır. Kaplama betonu dökümü sonrası, kür koşullarının yeterince sağlanamaması da, kaplama betonunda kılcal çatlak oluşumuna neden olmaktadır. Kılcal çatlaklar, sızma ile birlikte, tuzluluk başta olmak üzere zeminde, şişme ve/veya çökme problemleri oluşturmaktadır. Ortaya çıkan şişme ve/veya çökmeler, kaplama betonunun çekme dayanımının yeterli olmayışından dolayı önemli sayılabilecek hasarlara yol açmaktadır.

Sulama kanallarının servis ömürlerinin uzatılması; kanal kaplamasında; kanal kaplama malzemesinin çekme dayanımının artırılarak, çatlak oluşumunun önlenmesine; dolayısı ile de sızmanın engellenerek, donma-çözülme tekrarları sonrası betonun hasar görmemesine bağlıdır.

Araştırmada elde edilen bulguların ışığında şu sonuçlara varılabilir:

1. Katkı malzemesi olarak polipropilen lifin kullanıldığı beton örneklerinde, en yüksek basınç dayanımı havuz kürü yönteminde elde edilmiştir. Havuz kürü basınç dayanımında, günde iki kez sulamaya göre % 22, ıslak örtü altı kürüne göre % 12, kimyasal kür malzemesi sürülerek yapılan uygulamaya göre de % 46'lık bir artış elde edildiği gözlenmektedir. Havuz kürünün kanal kaplamalarında uygulanması, arazi ve uygulama koşulları açısından oldukça zordur. Bu nedenle ıslak örtü altı kürü yöntemi basınç dayanımı için en iyi sonucu vermektedir.

Polipropilen lifli betonda en yüksek çekme dayanımı, yine havuz küründe elde edilmiştir. Havuz kürü uygulanan beton örnekler esas alındığında, çekme dayanımı; ıslak örtü altında % 15, günde iki kez sulanan örneklerde % 24 oranında düşmüştür.

Betonun donma-çözülme etkilerine dayanıklılığı, bağıl dinamik elastisite modülüne göre değerlendirilmektedir. En yüksek bağıl dinamik elastisite modülü havuz kürü yönteminde gerçekleşmiş, havuz kürüne göre, ıslak örtü altında % 1'lik; iki kez sulamada ise % 4'lük bir kayıp gözlenmiştir.

Betonun geçirimsizliğinin test edilmesinde önemli bir kriter sayılan su işleme derinliğinde ise en düşük değer havuz kürü yönteminde elde edilmiştir. ıslak örtü altı küründe % 100, günde iki kez sulamada ise; altı kat düzeyinde artış gözlenmiştir.

Su emme oranında ve kapiler su emme miktarlarında da beton örneklerine uygulanan kürün etkinliği açık biçimde görülmektedir.

Bu sonuçlara göre; polipropilen lif kullanılarak yapılacak kanal kaplamalarında havuz kürü yöntemi en iyi sonuçları vermekle birlikte, pratik uygulanabilirliği nedeniyle ıslak örtü altı kürü yöntemi önerilmektedir. Ancak polipropilen lifler; taze betonda önemli çökme kayıpları oluşturarak işlenebilirliği azaltmakta, topaklanan ve betonyerin paletlerine yapışan lifler, betonun homojenliğinin bozulmasına neden olmaktadır.

2. ıslak örtü altı kür yöntemi uygulanan doğal lifli betonun basınç dayanımı; kontrol betonuna göre % 3 yüksek, cam ve çelik lif katkılı betonlara göre de sırası ile % 2, % 9 düşük gerçekleşmiştir.

ıslak örtü altı kür yönteminde, çekme dayanımı; kontrol betonuna göre % 7 artarken, cam ve çelik lifli betona göre % 5-6 oranında düşmüştür. Su işleme derinliği de, kontrol betonuna göre % 7 artmış, cam ve çelik lifli betonlara göre % 18-10 oranında düşmüştür. Doğal lifler araştırma sonuçlarında da belirtildiği gibi beton özelliklerinde iyileşme sağlamaktadır. Diğer liflerle kıyaslandığında; ekonomik olması, bir avantaj da kazandırmaktadır. Ancak uzun süreçte, özellikle betonun alkali ortamı, sülfat etkisi,

donma-çözülme gibi koşullarda performansının nasıl etkileneceğinin araştırılması gerekmektedir. Bu konularda uzun süreli bir araştırmaya gereksinim duyulmaktadır.

3. Çelik lifli betonlarda çelik liflerin diğer liflere göre maliyetinin yüksekliği, göz önüne alınmalı, optimum lif miktarlarının saptanmasından sonra maliyet analizi yapılmalıdır. Çelik lifli betonun, basınç ve çekme dayanımı ile bağlı dinamik elastisite modülü, su işleme derinliği özelliklerinde iyileşme sağlanmıştır. Islak örtü altı kuru yöntemi uygulanan polipropilen lifli betona göre; basınç dayanımında % 11, çekme dayanımında % 10 artış kaydedilmiş, su işleme derinliği değerleri ise aynı bulunmuştur. Çelik lifli beton uygulamalarında, beton yüzeyinde kalan çelik liflerin, zamanla korozyon nedeniyle, yüzeyde bozulmalar oluşturabileceği unutulmamalıdır.

4. Cam liflerin taze beton karışımı içerisinde daha homojen olarak dağıldığı, karıştırma işlemi sırasında betonun paletlerine yapışmadığı ve topaklanmadığı, yüzey düzeltme işlemlerini ise zorlaştırmadığı gözlenmiştir.

Islak örtü altı kuru yöntemiyle olgunlaştırılan cam lifli betonun basınç dayanımı; kontrol betonuna göre % 5, çekme dayanımı % 13 artmış, su işleme derinliği % 24 azalmıştır. Bağlı dinamik elastisite modülü ise % 1'den fazla bulunmuştur.

Islak örtü altı kuru uygulanan cam lifli beton örneklerde basınç dayanımı, aynı koşuldaki polipropilen lifli betona göre % 3 yüksek; çelik lifli betona göre de % 7 düşük gerçekleşmiştir. Çekme dayanımı, polipropilen lifli betondan % 10 fazla, çelik lifli betonla eşdeğer bulunmuştur. Su işleme derinliklerinin; polipropilen lifli betondan % 9, çelik lif katkılı betondan % 7 oranında düşük gerçekleştiği saptanmıştır.

Bu sonuçlara göre, ülkemizde sulama kanallarının yapımı sırasında dolgularda yeterli sıkıştırma işlemlerinin, yarmalarda kafa hendeklerinin yapılmaması ve dolgu zeminin yeterli nitelikte olmaması çok sık rastlanan sorunlardandır. Yapılan yanlış uygulamalar sonucu kanalların servis ömürleri kısalmakta, yıllık bakım masrafları artmaktadır. Lif katkısız üretilen betonlarda özellikle rötre sırasında olan çatlakların mutlaka önlenmesi gerekmektedir. Geniş alanlarda, yüksek sıcaklık ve düşük nem koşullarında ince

tabakalar halinde dökülen kanal kaplamalarında olgunlaştırmaya yeterli özen gösterilmemektedir. Bu sorunun ıslak örtü altı kürü yöntemi uygulamasıyla büyük ölçüde önlenebileceği olanaklı görünmektedir.

Kanal kaplamalarında, oturma ve özellikle kılcal rötre çatlakları nedeniyle oluşan sızmalar sonucu zeminin taşıma gücünün azalmasıyla oluşacak çökmelerin engellenmesi ancak rötre sırasında kesitte oluşan çekme gerilmelerini karşılayabilecek çekme donatısının kanal kesitine yerleştirilmesiyle olasıdır. Günümüzde birçok ülkede ve ülkemizde de geniş alanlarda yapılan beton kaplamalarında (yol, hava alanı vb.), farklı lifler katkı malzemesi olarak kullanım alanı bulmaktadır. Sulama sistemlerinin yapımının tarım mevsimine rastlaması, kırsal alanda uzun mesafelerde çalışma zorunluluğu, tarım alanları arasında çalışırken çevreye verilen ekonomik zararlar nedeniyle oldukça özel koşullar istemesi ve zorluğu, yapılan sistemlerin daha uzun süre, bakıma gerek duyulmaksızın kullanımını zorunlu kılmaktadır. Bu açıdan kanal kaplamalarında geleneksel yöntemlerin yerine, yeni yapı malzemeleri ve teknolojileri kullanarak, servis ömrü uzun yapıların oluşturulacağı yöntemlere gereksinim duyulmaktadır.

Yapılan araştırma sonucu; kanal kaplamalarında kullanılan betonlar için en uygun lif katkısının cam lif olduğu, betonun olgunlaştırılmasında ise uygulanabilirliği açısından ıslak örtü altı kürü uygulamasının en iyi sonucu vereceği anlaşılmaktadır.

KAYNAKLAR

- Akkaya, Y. 1994. Zararlı bir ortamda betonun uğradığı hasarın hasar mekaniği ile incelenmesi. Yüksek lisans tezi (basılmamış). İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 78 s., İstanbul.
- Akman, M.S. 1990. Yapı malzemeleri. İTÜ Kütüphanesi, 1408, 162s., İstanbul.
- Akman, M.S. 1992. Deniz yapılarında beton teknolojisi. İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları: 1481, 245 s., İstanbul.
- Akman, M.S. 1996. Süperakışkanlaştırıcı katkıların taze beton işlenebilmesindeki sorunları. 4.Ulusal Beton Kongresi. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, 55-71.
- Akman, M.S. 1998. Betonun plastik rötresi. Sika teknik bülten, 2, 7-9.
- Akman, M.S. 1999. Betonlarda alkali- silis reaksiyonunun fiziko-kimyası, hasar düzeyi, önlem ve onarım süreçleri. Sika Teknik Bülten, Yıl:2, Sayı:4, 4-7.
- Akman, M.S. 2000. Yapı hasarları ve onarım ilkeleri. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul Şubesi, 177 s.
- Alexander, M. G. 1996. Aggregates and the deformation properties of concrete. ACI Materials Journal, November-December, 569-577.
- Anonim. 1977a. Guide to durable concrete. ACI Committe 201, ACI Manual of Concrete Practice, Part I.
- Anonim. 1977b. TS 2871, Taze beton kıvam deneyi (çökme hunisi metodu ile). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim. 1977c. TS 2901, Taze betonda hava miktarının basınç metodu ile tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim. 1978a. TS 2940. Taze betondan numune alma metotları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim. 1978b. TS 3068, Laboratuvarında beton deney numunelerinin hazırlanması ve bakımı. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim. 1978c. TS 3129, Betonda yarmada çekme dayanımı tayini deneyi (silindir yarma metodu). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim. 1978d. TS 3260, Beton yüzey sertliği yolu ile yaklaşık beton dayanımı tayini kuralı. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- Anonim. 1978e. TS 2941, Taze betonda birim ağırlık, verim ve hava miktarının ağırlık yöntemi ile tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim. 1979. TS 3323, Beton basınç deney numunelerinin hazırlanması, hızlandırılmış kürü ve basınç dayanım deneyi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim. 1980a. Accelerated curing of concrete of atmospheric pressure. State of Art. Journal of the ACI proceeding, V.77, December, 428-449.
- Anonim. 1980b. TS 3449, Çabuk donma ve çözülme koşulları altında betonda dayanıklılık faktörü tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim. 1980c. TS 3528, Beton agregalarında hafif madde oranı tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim. 1980d. TS 3526, Beton agregalarında özgül ağırlık ve su emme oranı tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim. 1980e. TS 3527, Beton agregalarında ince madde oranı tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim. 1981a. TS 3455, Betonda geçirgenlik katsayısı tayin metodu. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim. 1981b. TS 3624, Sertleşmiş betonda özgül ağırlık, su emme ve boşluk oranı tayin metodu. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim. 1981c. TS 3655, Beton agregalarında dona dayanıklılık tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim. 1981d. TS 3694, Beton agregalarında aşınmaya dayanıklılık (aşınma oranı) tayini metodu. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim. 1982. TS 3673, Beton agregalarında organik kökenli madde tayini deney metodu. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim. 1984a. TS 3452, Beton kimyasal katkı maddeleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim. 1984b. TS 4045, Yapı malzemelerinde kapiler su emme tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim. 1987. ASTM E11, Specification for wire-cloth sieves for testing purposes. Annual Book of ASTM Standards.

- Anonim. 1989. ACI Committee 212, Chemical admixtures for concrete. ACI Materials Journal, May-June.
- Anonim. 1990a. ASTM C33, Standard specification for concrete aggregates. Annual Book of ASTM Standards.
- Anonim. 1990b. TS 3114, Beton basınç mukavemeti tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim. 1991a. ASTM C597, Standard test method for pulse velocity through concrete, Annual Book of ASTM Standards.
- Anonim. 1991b. Hot weather concreting. ACI Committee 305, ACI Materials Journal July-August, 417-436.
- Anonim. 1992. ASTM C494, Standard specification for chemical admixtures for concrete, Annual Book of ASTM Standards.
- Anonim. 1994a. DSİ Sulama inşaatları teknik şartnamesi, DSİ Proje ve İnşaat Dairesi Başkanlığı, 88 s., Anlara.
- Anonim. 1994b. EN-934, Admixtures for concrete, mortar and grout. Comite Europeen de Normalisation.
- Anonim. 1997. State-of-the-art report on fiber reinforced concrete. ACI Committee 544, American Concrete Institute, 66 p.
- Anonim. 2001. TS EN 1367-1, Agregaların termal ve bozulma özellikleri için deneyler. Bölüm 1: Donmaya ve çözölmeye karşı direncin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim. Vetrotex, Cem-FIL International. A Saint Gobain Company, Madrid.
- Arioğlu, E., Arioğlu, N. ve Yılmaz, A. O. 1999. Çözömlü beton agregaları problemleri. Evrim yayınevi, 178 s., İstanbul.
- Arioğlu, E., Arioğlu, N. ve Girgin, C. 2000. Hava sürökleyci katkı betonlarda karışım suyu-basınç dayanımı-hava içeriği ilişkileri. Beton Prefabrikasyon Dergisi, 56, 5-14.
- Arslan, A. ve Aydın, A. C. 1999. Lifli betonların genel özellikleri. Hazır Beton Dergisi, Kasım-Aralık, 67-75.
- Balaguru, P. N. and Shah, S. P. 1992. Fiber-reinforced cement composites. McGraw-Hill, 523 p.

- Balta, İ. 1991. Yüksek mukavemetli betonlar ve bileşenleri. 2.Ulusal Beton Kongresi, 27-30 Mayıs, 246-255, İstanbul.
- Baradan. B. 2000. Yapı malzemesi II. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları: 207, 221 s., İzmir.
- Bekişoğlu, Ş. 1993a. Beton kaplamalı kanallarda sızdırmazlık önlemleri mastik asfalt ve püskürtme beton uygulaması, DSİ, İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı, 51 s., Ankara.
- Bekişoğlu, Ş., 1993b. Sulama şebekelerinde klasik kanalet ve borulu sistemlerin mukayesesi. DSİ, İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı, 44 S., Ankara.
- Bekişoğlu, Ş., Bilgin, N. ve Cantürk, Ş. 1993. Sulama ve drenaj kanalları uzunlukları. DSİ, İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı, 64 s., Ankara.
- Bentur, A. and Mindess, S. 1990. Synthetic fibres. Fibre Reinforced Cementitious Composites, Elsevier Applied Science, 309-377, London.
- Dodson, V. H. 1990. Concrete admixtures. Structural Engineering Series, Van Nostrand Reinhold, New York, p. 211.
- Dransfield, J. M. 1986. Developments in testing concrete durability. One-Day Symposium Exhibition, Sept. 26, 15 p., London
- Durmuş, A. 1995. Beton nitelikleri yönünden optimum kum kirliliğinin belirlenmesi. Beton Prefabrikasyon Dergisi, 36, 29-37.
- Durmuş, A., Doğançün, A. ve Yaylı, A. 1998. Kum kirliliğinin betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisi. Beton Prefabrikasyon Dergisi, 8, 9-13.
- Erdoğan T.Y. 1995a. Türkiye’de üretilen çimentolar, özellikleri ve kullanımları. Çimento Sempozyumu, 16-17 Kasım, 67-80, Ankara.
- Erdoğan, T.Y. 1995b. Betonlu oluşturan malzemeler: çimentolar. Türkiye Hazır Beton Birliği, 120 s., İstanbul.
- Erdoğan, T.Y. 1995c. Betonlu oluşturan malzemeler: agregalar. Türkiye Hazır Beton Birliği, 162 s., İstanbul.
- Erdoğan, T.Y. 1995d. Betonlu oluşturan malzemeler: karışım ve bakım suları. Türkiye Hazır Beton Birliği, 67 s., İstanbul.
- Gani, M. S. J. 1997. Fiber reinforced cement and concrete. Cement and Concrete, Chapman&Hall, 128-145, London.

- Goto, S. and Roy, D. M. 1981. The effect of W/C ratio and curing temperature on the permeability of hardened cement paste. *Cement and Concrete Research*, V.11, n. 4, July, 575-579.
- Gram, H. E. and Skarendahl, A. 1978. A sisal reinforced concrete. Swedish Cement and Concrete Research Institute, R.7822, Stockholm.
- Grattan, B. P. E. 1996. Microstructural investigation of deteriorated portland cement concretes. *Construction and Building Materials*, V.10, N. 1, 3-16.
- Güngör, H. 1991. Değişik su iletim ve dağıtım sistemlerinin teknik kıyaslanması. Sulama Şebekelerinde Su İletim Sistemlerinin Seçimi, Kıyaslanması ve GAP Örneği. Workshop. Ç. Ü. Ziraat Fakültesi ve Kültürteknik Derneği.
- Huang, W. H. 2001. Improving the properties of cement-fly ash grout using fiber and superplasticizer. *Cement and Concrete Research*, 31, 1033-1041.
- Johnston, C. D. 1974. Steel fibre reinforced mortar and concrete-A review of mechanical properties. *Fiber Reinforced Concrete*, SP-44, American Concrete Institute, 127-142.
- Kızılkaya, T. 1988. Sulama ve drenaj. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 390 s., Ankara.
- Kocabayler, M. F. 1998. Beton yapılarda çatlak oluşum nedenleri ve alınması gereken tedbirler. *Beton-Çimento ve Boya Semineri*, DSİ, 119-132, Ankara.
- Litvan, G.G. 1972. Phase transtions of adsorbates: Mechanism of frost action in hardened cement paste. *Journal of the American Ceramic Society*, V. 55, n. 1, 38-42.
- Malier, Y. 1992. High performance concrete from material to structure. E&FN Spon, 542 p, London.
- Mansur, M. A. 1981. Jute fiber reinforced composite building materials. 2nd Australian Conference Engineering Materials, University of New South Wales, 585-596.
- Massazza, F. 1997. Pozzolanas and durability of concrete. 1st International symposium. Mineral admixtures in cement. Turkish Cement Manufacturers Association, 6-9 November, 1-22, İstanbul.
- Mehta, P. K. 1996. *Concrete: microstructure, properties and materials*, McGraw-Hill College Custom Series, 548 p.
- Mindes, S., Young, J. F. 1981. *Concrete*. Prentice-Hall, New Jersey.

- Mindess, S. 1989. Interfaces in concrete. *Materials Science of Concrete*, The American Ceramic Society, 80-163.
- Mindess, S. and Banthia, N. 1994. Fiber reinforced cementitious composites: current practice and future prospects. *Concrete technology: past, present and future*, V. Mohan Malhotra symposium, SP-144-21, 417-446.
- Mindess, S. and Vondran, G. 1988. Properties of concrete reinforced with fibrillated polypropylene fibres under impact loading. *Cement and Concrete Research*, V. 18, 109-115.
- Naaman, A. E. 1985. Fibre reinforcement for concrete. *Concrete International*, 7, 5-21.
- Neville, A. M. 1995. *Properties of concrete*. Longman Scientific&Technical, 779 p. London.
- Neville, A. M. and Brooks, J. J. 1987. *Concrete technology*. Longman Scientific&Technical, 429 p., London.
- Neville, A.M. 2000. Water and concrete: A love-hate relationship. *Concrete International*. V. 22.
- Öneş, A. 2000. İnşaat malzeme bilgisi. 198 s., Ankara.
- Öneş, A. ve Balaban, A. 1980. Aşağı seyhan ovası sulama projesi alanında kanal ve kanalet sistemlerinin karşılaştırılması. *Ankara Üniversitesi Basımevi*, 248-268, Ankara.
- Özkuş, H. M. ve Uyan, M. 1989. Taze beton çatlakları. I. Ulusal beton kongresi, 24-26 Mayıs, 79-89, İstanbul.
- Özkuş, H. M. ve Yıldırım, H. 1996. Kimyasal katkıların uzun süreli davranışları. 4. Ulusal beton kongresi, 133-148, İstanbul.
- Özkuş, M. H. ve Öztekin, E. 1994. Beton bileşiminin ve ortam koşullarının plastik rötreye etkisi. 3. Ulusal beton kongresi, 163-174, İstanbul.
- Padron, I. and Zollo, R. F. 1990. Effect of synthetic fibers on volume stability and cracking of portland cement concrete and mortar. *ACI Materials Journal*, V. 87, N. 4, July-Aug., 327-332.
- Pigeon, M., Pleau, R., Azzabi, M. ve Banthia, N. 1996. Durability of microfiber-reinforced mortar. *Cement and Concrete Research*, 26, 601-609.
- Popovics, S. 1992. *Concrete-making materials*, McGraw-Hill, 370 p., New York.
- Postacıoğlu, B. 1987. *Beton (Agregalar)*. Teknik Kitaplar Yayınevi, C.2. İstanbul.

- Powers, T.C. 1956. The physical structure of cement and concrete. Cement and Lime Manufacture, V. 29, N. 2, 13-24.
- Powers, T.C., Copeland, L. E. and Mann, H. M. 1959. Capillary continuity or discontinuity in cement pastes. Journal of the Portland Cement Association Research and Development Laboratories, V. 1, N. 2, 38-48.
- Racines, P. G. and Pama, R. P. 1978. A study of bagasse fiber-cement composite as low-cost construction materials. Materials for Developing Countries, International Conference, 191-206, Bangkok.
- Sağlık, A. 1993. Betonun dayanıklılığı ve korunma yolları.. Kalite Kontrol Teknik Semineri, DSİ, 259-307, Fethiye.
- Sungur, T. 1989. Su yapıları. C. III, DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Swamy, R. N., Mengat, S. and Rao, C. 1974. The mechanics of fibre reinforcement of cement materials. Fiber reinforced concrete, SP 44-1, American Concrete Institute, 1-28, Detroit.
- Şimşek, O. 1993. Güneydoğu Anadolu projesinde Şanlıurfa-Harran sulamasındaki su dağıtım sistemlerinde beton kaplama sorunları üzerine bir araştırma. Doktora tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 136 s., Adana.
- Taşdemir, C. 1998. Mikrofiller malzemelerin ve kür koşullarının betonun kılcak geçirimsizliğe etkisi. DSİ Çimento-Beton ve Boya Semineri, 47-56, Ankara.
- Taşdemir, C. 2001. Agregatür ve boyutunun betonun mekanik özelliklerine ve dürabilitesine etkisi. Yapı malzemesi ve deprem semineri, TMMOB, 14-16 Mart, 73-87, İstanbul.
- Taşdemir, C., Kara, G., ve Başkoca, A. 1997. Kırmakumun betonda kullanılabilirliği. 3. Endüstriyel atıkların inşaat sektöründe kullanılması sempozyumu, 245-258, Eskişehir.
- Taşdemir, M. A. ve Akyüz, S. 1999. Betonun dürabilitesi üzerine genel bir değerlendirme. Hazır Beton Dergisi, Mart-Nisan, 37-43.
- Toktay, M. ve Erdoğan, K. 2001. Cürüflar ve cürüflü çimentolar. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Ar-Ge yayını : Y 97-2, 34 s. Ankara.
- Tonak, T. 1999. Türkiyedeki çimento tipleri. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Çimento ve Beton Araştırma-Geliştirme Enstitüsü seminer notları, 1-5, Ankara.

- Topçu, İ. B. 1996. Akışkanlaştırıcı ve dona dayanım katkılarının beton özelliklerine etkisi. 4.Ulusal Beton Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul Şubesi, 45-53.
- Tosun, H. 1989. Beton üzerinde don etkisi ve dona dayanıklı beton yapılar. Beton Semineri, DSİ, 131-148.
- Türker, P. ve Erdoğan, B. 1998. Alkali-silika reaksiyonu. Çimento ve Beton Dünyası Dergisi, Yıl:2, Sayı:13, 14-20.
- Uğurlu, A. 1992. Sulama kanalları inşasında görülen aksaklıklar ve bu aksaklıklar sonucu ortaya çıkan hasarlar. DSİ Teknik Bülteni, 77, 3-23.
- Uğurlu, A. 1995. Sülfatlı zeminlerde kanal kaplamalarında jeomembran kullanımı. Kalite Kontrol Teknik Semineri, DSİ, 54-71.
- Uğurlu, A. 1998a. Kanal kaplama betonlarının hazırlanması, yerleştirilmesi ve bakımında dikkat edilmesi gereken hususlar. DSİ Teknik Bülteni, 91, 13-29.
- Uğurlu, A. 1998b. Ön yapımlı betonlarda kür işlemi. Beton Prefabrikasyon Dergisi, 45, 20-27.
- Uğurlu, A. 1999. Donmaya dayanıklı beton üretimi. Hazır Beton Dergisi, Ocak-Şubat, 31-39.
- Uyan, M. ve Yıldırım, H. 1991. Yüksek dayanımlı beton üretiminde süperakışkanlaştırıcı beton katkı maddelerinin etkinliği. 2. Ulusal beton kongresi, 27-30 Mayıs, 262-279, İstanbul.
- Üzümeri, M. Ş., ve Özden, Ş. 1991. Yüksek dayanımlı betonun inşaatı kullanımı konusunda standartlar ve yönetmeliklerdeki gelişmeler. 2. Ulusal beton kongresi, 27-30 Mayıs, 159-182, İstanbul.
- Zollo, R. F., Ilter, J. A. and Bouchacourt, G. B. 1986. Plastik and drying shrinkage in concrete containing collated fibrillated polypropylene fibre. 3rd International Symposium on Developments in Fibre Reinforced Cement and Concrete, RILEM Symposium, FRC 86, V. 1, RILEM Technical Comitee, 49-TFR.

ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta öğrenimini Kahramanmaraş'ta tamamladı. 1977 yılında Adana İnşaat Teknik Lisesi'nden, 1983 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi'nden mezun oldu. Yüksek Lisans çalışmasını Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde tamamladı. Ankara Üniversitesi Kastamonu Meslek Yüksek Okulu'nda öğretim görevlisi olarak görev yapmaktadır.