

1. GİRİŞ

Beton tarihte ilk kullanılmasından, günümüze kadar hala güncelliğini koruyan ve kullanım alanı giderek gelişen bir yapı malzemesidir. Bunun en büyük sebebi ise fiziksel ve kimyasal dış etkilere karşı dayanıklılığı, ekonomik ve kolay üretilmesidir(Şimşek 1997).

Bilindiği gibi, betonun çekme mukavemeti dışındaki mekanik özellikleri oldukça iyidir. Çekme zorlanmalarına karşı dayanım, beton içerisindeki çelik donatıların kullanılması ile iyileştirilir. Donatı, çekme mukavemetini arttırmak dışında başka görevler de üstlenir. Bunlar; eğilme, darbe, kesme ve kayma mukavemetinin artırılması, burulma momentlerinin karşılanması, betonarmede sünekliliğin sağlanması, enerji emme kapasitesinin artırılması ve dayanıklılık özelliklerinin iyileştirilmesi olarak sıralanabilir. Beton ile çeliğin bir arada kullanılması ile ortaya çıkan betonarme malzeme; ısıl genleşme katsayıları birbirine çok yakın ve uyumlu bu iki malzemenin bir araya gelmesi ve hatasız yapıldığında içindeki beton ve çeliğin olumsuzluklarını da bertaraf etmesi sebebiyle inşaatlarda en çok tercih edilen malzeme haline gelmiştir(Yıldırım 2002).

Özellikle 1900'lü yılların ikinci yarısından itibaren beton teknolojisinde büyük gelişmeler yaşanmıştır. Sanayileşmeyle beraber değişik beton yapıların (sanat yapıları, sulama kanalları, viyadükler, beton yol, köprü, baraj yapıları vs.) ortaya çıkmasına neden olarak, öngerilmeli beton, prefabrik beton gibi yeni teknolojilerin ortaya çıkmasının saptanmıştır. Bu gelişmeler sonucunda beton, yeni teknikler ve yeni malzemeler yardımıyla kullanıldığı fiziksel ve kimyasal etkilere karşı güçlendirilerek ondan beklenen klasik niteliklerinin daha çok verimli hizmet verebilecek bir yapı malzemesi olacağı anlaşılmıştır(Şimşek 1997).

Betonarme ile daha yüksek, daha küçük kesitli yapılar yapma ve bu malzemenin yetersiz görülen bazı özelliklerinin daha da iyileştirilmesi ihtiyacı, insanoğlunu beton içinde daha başka malzemelerde kullanma ve hatta bu malzemelere alternatif arama yoluna itmiştir. Beton içerisine katılan tüm malzemeler belirli bir

amaca ve belirli bir özellik ya da özelliklerin iyileştirilmesine yönelik olarak kullanılır. Değişik ortamlarda çeşitli etkilere karşı betonun gösterdiği davranışları ya da bu davranışlardan herhangi birini tek bir matematik modelle açıklamak mümkün değildir. Bu nedenle yapılması gereken, beton hangi etkiye ya da hangi zorlamaya karşı çalışacaksa bu durumun açıkça tanımlanarak betonun bu yönünün güçlendirilmesi gerekmektedir(DSİ 1999).

Bu doğrultuda günümüzde piyasada çok geniş bir ürün yelpazesi bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi ve en önemlisi 1960'larda başlayıp günümüze kadar hızla gelişerek gelen beton içerisine lif katmaktır(Kiper 1996). Beton içerisinde yaygın olarak kullanılan lifler; çelik, polipropilen, karbon ve alkali dirençli cam liflerdir. Lifli betonlarda, bütün lif çeşitlerinde sağlanması gereken en önemli özellik liflerin beton içerisinde homojen olarak dağılması ve bu dağılımın beton karıştırıldıktan sonra da bozulmamasıdır. Üniform bir şekilde dağılan lifler, beton içerisinde de oluşan çatlakları önlemekte ve çatlakların beton içerisinde ilerlemesini yavaşlatarak betonu daha dayanıklı hale getirdiği bilinmektedir. Bu özelliğinden dolayı lifli betonun özellikle çekme ve eğilme dayanımını arttıran faktörler darbe etkisine karşı dayanımını da arttırmaları(Altun ve diğ. 2004).

Lifli betonlar üzerine çeşitli çalışmalar yapılarak betonun mukavemeti üzerine liflerin etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda; beton içerisinde süresiz dağılı bulunan lifler genellikle betonda oluşan çatlak gelişimini en aza indirerek lifli betonun şekil değiştirme özelliğini arttırmakta olduğu görülmüştür. Ayrıca lifli betonların basınç altındaki davranışlarını inceleyen araştırmalar sonucunda lifli betonların sünekliği ve tokluğunda da önemli artışlar elde edildiği belirtilmektedir(Ünal 1994).

2. GENEL BİLGİLER

Gevrek ve çekme dayanımı düşük olan normal betonun çekme gerilmeleri altında çatladığı kabul edilir(Ünal 1994). Bu çekme gerilmeleri, bir çatlaktan pek çok çatlağın yayılmasına sebep olarak betonda göçmeye neden olur. Bu dağılı çatlaklar ise boyut etkisini doğurur. Çatlak gelişimine karşı betonun direncini ve duktilitesini arttırmak için betonun liflerle güçlendirilmesi etkili bir yoldur. (Arslan ve Aydın 1999).

Beton harcı içerisine lif katılması, betonun eğilme mukavemeti, çekme mukavemeti, elastisite modülü, darbe direnci, yorulma dayanımı, parçalanma ve kırılma dayanımında ve tokluğunda artışlar meydana getirir(ACI COMMITTEE 544 1982).

2.1 Lifin ve Lifli Betonun Tanımlanması

Beton özelliklerini değiştirerek iyileştirmek amacı ile taze beton içerisine, çeşitli yöntemler ile değişik miktarlarda lifler katılır. ACI 544'e göre lifin tanımı lif boyunun eşdeğer lif çapına bölünmesiyle elde edilen "boy/çap" (aspect ratio) oranı olarak kabul edilmektedir. Bu orana kısaca "narınlık oranı" da denilmektedir. Eşdeğer lif çapı ise; alanı lifin kesit alanına eşit bir dairenin çapı olarak tanımlanmaktadır. Ancak bazı liflerin uzunluklarının ve çaplarının farklı değerler alması ve cam liflerde olduğu gibi liflerin demet şeklinde olması nedeniyle liflerde, sadece boy/çap oranına göre sınıflandırma yapmak mümkün olmamaktadır.

Lifli beton; hidrolik çimento, agrega ve beton içerisinde çoğunlukla süresiz dağılı liflerin su ile karıştırılması ile meydana gelen bir beton türüdür. Ayrıca hidrolik çimento ve liflerden oluşan bileşime de "lifli beton" denilmektedir. Fakat matris olarak sadece çimento hamurunun kullanılmasının hacim kararsızlığı sebebi ile zararlı olduğu söylenmektedir(Ünal 1994).

Lifli betonların en yaygın olarak kullanılan tipleri şunlardır:

Cam lifli beton

Çelik lifli beton

Polimer betonu

Mika levhalı beton

Plastik lifli beton(Yiğiter 2002).

Lifli beton literatüründe matris olarak tanımlanan yapı, lifin etrafına saran ortam malzemesidir. Kısacası, çimento hamuru matris olarak tanımlanmaktadır. Lifli beton kompozitlerin de matris'in fonksiyonu lifleri bir arada tutmak, onları sarmak ve liflerle veya liflerden gerilme transferini sağlamaktır(Sancak 1998).

2.2 Lifli Betonun Tarihçesi

Lifler eski zamanlardan beri kırılğan malzemeleri güçlendirmek için kullanılmaktadır. İlk olarak güneşte kurutulan toprak briketleri güçlendirmek için saman, daha sonra at kılı kullanıldı ve günümüze yaklaştıkça portland çimentosunu güçlendirmek için asbestli lifler kullanılmaktadır. Daha sonra 1900'lerden sonra çeşitli teller kullanılarak düşük çekme mukavemetine ve kırılğan bir yapıya sahip beton gibi malzemelerin çeşitli özellikleri iyileştirilmiştir(ACI Comitte 544 1982).

Roma Collosium inşaatı sırasında o devrin sıvası olarak adlandırabileceğimiz balçık karışımlarına çeşitli hayvanlara ait kuyruk ve yele kıllarının ilave edildiği bilinmektedir. Türk Mimarisinde Mimar Sinan Usta'nın yapılarında kullandığı Horasan Harcı da içerisinde saman gibi doğal lifler içermektedir.

Basit bir çimento, agrega ve su karışımı olan beton, II Dünya Savaşı yıllarına kadar büyük bir değişim göstermemiştir. Yıllar boyunca betonda görülen çatlaklar ürünün doğasından kaynaklandığı düşünülerek dikkate alınmamışlardır. Ancak

bu çatlakların dayandığı tek neden, çok özel bir dönemde betonun, iç bünyesinde oluşan gerilmeleri taşıyacak dayanımının yeterli olmaması idi(Erbaş 1999).

1960'lı yılların başında Amerikan Silahlı Kuvvetleri Mühendisleri Birliği betonda oluşan çökme ve büzülme çatlamlarına yönelik bir araştırma programı başlatmıştır. Betonda yapısal olmayan çökme ve büzülme çatlaklarının azaltılması için kullanılan geleneksel yöntemler, yüzeyin bir sıvı kür malzemesi ya da bir örtü kullanılarak kapatılmasını kapsamaktadır, ancak bu önlemler çatlakların kılcal olmasını sağlıyor, yine de betona yük bindiğinde çatlakların genişlemesini önlemiyordu. Araştırma programının sonunda “plastik büzülme çatlaklarının, betonun tasarlandığı mukavemet değerine ulaşmaya kadar maruz kaldığı dinamik iç gerilmelerden kaynaklandığı” sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen bir diğer sonuç “beton içerisine konulacak liflerin betonun balistik, enerji sönmeme ve darbe dayanımını arttırdığı” şeklinde olmuştur(Erbaş 1999).

Lifli betonlar üzerindeki çalışmalar, 1963'lü yıllarda beton içerisine cam liflerin katılmasıyla devam etmiştir. Daha sonraları farklı lif tipleri kullanılarak beton mukavemeti üzerine liflerin etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda; beton içerisinde süresiz dağılı bulunan liflerin genellikle betonda oluşan çatlakları en aza indirerek lifli betonun şekil değiştirme özelliğini arttırmakta olduğu görülmüştür(Cimili 1978).

Lifler metallere birlikte bu yüzyılın ortalarına doğru beton katkı maddelerinin en popülerleri oldular. 1950'lerde çelik lif katkı maddesi olarak kullanıldı. Ancak bunlar çatlama azaltıp dayanım arttırırken paslanma ve kirlenmeye de neden oldu. Cam, asbest, karbon ve birçok doğal lifler bambu, hint kenevir gibi diğer lif çeşitleri betonun içinde kullanılarak test edildi. Her bir lif değişik işlev ve üstünlüklere sahip olunca problem ortadan kalktı. Sentetik liflerin gelişimi endüstriye çok faydalı olmuştur. Polipropilen liflerin betona katılması 1960'larda askeri araştırmalarda bu ürünlerin betonu sertleştirdiği, sınırlı çatlaklara izin vererek darbe ve aşınmalara karşı direnç sağladığını ispatlamasıyla başladı. Bu

sadece çatlakların yayılmasını kontrol eden, onları engellemeyen büyük ölçüde işçilik gerektiren kaynaklı tel örgü kullanımını bir alternatif olarak karşımıza çıkardı. Bugün yeni tip sentetik lifler, özellikle poliolefin, polipropilen ve naylon, barınmaya ayrılmış inşaat: projeleri ve karayolları projelerini kapsayan çok geniş bir çeşitlilik gösteren yapı projelerinde kullanılmaktadır. Bu yeni lifler, karışımların geliştirilmiş performansla sonuçlanacak yüksek hacimde lif içermesini sağlarlar(Ural 1999).

2.3 Lifli Betonlarla ilgili Literatür Çalışmaları

Betona lif katılması sonucu betonun özelliklerinde meydana gelecek değişiklikleri araştırmak amacıyla çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda daha çok lifli betonun işlenebilmesi, basınç ve eğilme dayanımlarıyla darbe direnci gibi özellikler araştırılarak elde edilen sonuçlar vurgulanmıştır. Bu konuda belli başlı çalışmalar ve sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Betona lif katılmasının, betonunu işlenebilme özelliği üzerine etkilerini inceleyen çalışmalarda liflerin beton içerisine katılmasıyla taze betonun işlenebilme özelliğinin, kullanılan lif miktarının artmasıyla azalmakta olduğu görülmüştür. Aynı şekilde liflerin narinlik oranları artarken de işlenebilme özelliği azalmaktadır.

Swamy 1975, çelik lifli betonların özelliklerini araştırmak amacıyla yaptığı çalışmada lifli beton kompozitlerinin durabilitesi ve çimento matrisi arasındaki ilişkinin önemini belirtmektedir. Yapılan çalışmada hacim artışından dolayı dışarıda kalan lifler dikkate alınmazsa, liflerin karışım içerisinde gelişi güzel dağıldığını belirtmektedir. Yapı elemanları üretiminde; lifli betonun kullanılması halinde işlenebilmeyi kolaylaştırmak amacıyla karışıma uçucu kül katılması lifli betonun aderans dayanımını artırdığı belirtilmektedir.

Kompozit malzeme olarak çalışan yapı elemanlarının, liflerle takviye edilmesinin sağladığı avantajların en önemlileri, kiriş ve kolonlarda oluşan çatlakları kontrol etmesi ve betonarme elemanlarda kayma direncini artırması gibi faydalar birçok araştırma sonucunda açıklanmıştır.

Betonun çekme dayanımını artırmak amacıyla yapılan ilk çalışmalar ise 1963 yılında Romualdi ve Mandel tarafından başlatılmıştır. Bunlar betonun çekme bölgesinde birbirine paralel olarak yerleştirilmiş ince teller bulunan kirişler üzerinde deneyler yaparak kirişin eğilme dayanımının arttığını ve kırılma yüküne çok yaklaşıncaya kadar çatlakların fazla büyümediğini gözlemişlerdir. Eğilme deneylerinde, maksimum eğilme yükündeki şekil değiştirmelerin artan lif miktarı ve boyutunun bir fonksiyonu olarak önemli bir artış gösterdiği belirtilmektedir. Betonun içine liflerin katılmasının ilk çatlak oluşumunda, gerilme ve deformasyonlar üzerinde önemli etkisi vardır. Fakat bu etki maksimum yüklemeye elde edilen sonuçlara göre daha azdır(Ünal 1994).

Shah ve Rangan, yaptıkları çalışmada betonun basınç ve eğilme dayanımına lif miktarı, lif boyu ve liflerin karışım içerisindeki dağılım gibi faktörlerin etkilerini araştırmışlardır. %0.25–1.25 arasında değişen lif miktarları ile üretilen betonların eğilme dayanımlarının lif miktarının artışıyla doğru orantılı olarak arttığını görmüşlerdir(Shah ve Rangan 1971).

Snyder ve Lankart 1972, lifli beton ve harcın eğilme dayanımına etki eden faktörleri belirtmişlerdir. Bunların başında karışımı oluşturan malzeme bileşenleri ile lif özelliklerinin eğilme dayanımına etkisi incelenmiştir. Lifli harç matrisinin ilk çatlak dayanımı ve maksimum eğilme dayanımına lifin narinlik oranı ve miktarının etkili olduğu görülmüştür. Buna göre ilk çatlak ve eğilme dayanımı arasında lif miktarına göre değişen lineer bir ilişkinin olduğunu belirtmişlerdir. Su/Çimento oranı 0.45 ve lif miktarı %3–4 oranında değişen lifli harç numunelerinin eğilme dayanımının, aynı su/çimento oranı ve %2'lik lif miktarı ile üretilen harç numunelerinin eğilme dayanımından daha az olduğu görülmüştür.

Eğilme dayanımına etki eden diğer bir faktör de lif aralığıdır. Bu konuda yapılan çalışmalarda lif aralığının, lif çapına bağlı olarak değişimi matematiksel olarak ifade edilmektedir. Bu konuda Romualdi ve Mandel karışım içerisinde süreksiz dağılılı liflerin geometrik merkezi arasındaki ortalama aralığı veren bağıntıyı aşağıdaki şekilde ifade etmişlerdir.

$$S = 13.8 d (1/p)^{1/2}$$

Burada;

S: Ortalama lif aralığı (mm)

d: Lif çapı (mm)

p: Hacimsel olarak lif miktarı (%)

Bu bağıntıya göre aralık, lif çapına bağlı olarak değişmekte ve lif miktarı arttıkça da azalmaktadır.

Wubs, lifli betonların eğilme dayanımı üzerine yaptığı araştırmada maksimum agrega tane büyüklüğü 16 mm, su/çimento oranı 0.53 olan karışıma 60/0.80 ebatındaki lifleri katarak deneyler yapmıştır. Bu deney sonuçlarına göre bütün deney numunelerinin ilk çatlaktan sonra bile belli bir yük taşıma kapasitesine sahip olduğunu ve eğilme dayanımının lif miktarıyla arttığını görmüştür.

Harris, Varlow ve Ellis 1972, lifli betonun kırılma davranışını incelemişlerdir. Deneysel sonuçlardan yararlanılarak kırılma mekaniği esaslarını lifli betonlara uygulamayı tasarlamışlardır. Kiriş numuneleri üzerinde yapılan eğilme deneylerinde elde edilen sonuçlara göre kırılma işi; lif miktarına, karışım içerisindeki liflerin dağılımına ve lif tipine bağlı olarak belirlenmiştir. Hacimsel olarak %2 lif miktarında toplam kırılma işinin artmakta olduğu görülmüştür.

Traine ve Mansur 1972, tek ve iki eksenli gerilme hallerinde normal ve lifli betonların basınç dayanımları ile gerilme şekil değiştirme davranışlarını araştırmışlardır. Karışımlarda narinlik oranı 33 ve 60 olan iki tip lif, hacimce %0.5, %1 ve %1.50 oranlarında kullanılmıştır. Elde ettikleri sonuçlara göre; lifli

betonların tek eksenli basınç dayanımlarında, lif miktarı ve tipine bağlı olarak, normal betonla kıyaslandığında artma veya önemli bir değişiklik görülmemiştir. Tek eksenli gerilme halinde narinlik oranı 60 ve lif miktarı %1,5 olan karışımlar da basınç dayanımı %22 oranında artmıştır.

Kısaca beton içerisine katılan liflerin yapısı ve özelliklerine bağlı olarak yüksek dayanımlı beton üretilebilmekte ve bunun sonucunda ekonomik ve teknik yönden önemli avantajlar sağlanabilmektedir.

Daha önce yapılan çalışmalara dayanılarak, lifli betonların mekanik özelliklerine etkileyen en önemli parametrelerin lif miktarı ile narinlik oranının olduğu açık bir şekilde görülmektedir(Ünal 1994).

2.4 Lifli Betonun Özelliklerine Bilişimindeki Parametrelerin Etkisi

2.4.1 Lif Miktarı ve Narinlik Oranının Etkisi

Lifli beton konusunda yapılan çalışmalarda; liflerin beton içerisine katılma oranı hacimsel olarak %0.5–2.5 arasında olabileceğini göstermektedir. Ancak diğer yandan araştırmalar şunu da göstermiştir ki optimum fayda hacimsel oranın %1–2 olması halinde sağlanmaktadır. Bu değerden daha az katılması halinde normal beton özelliği üzerine çok büyük bir olumlu gelişme sağlanamamaktadır. Buna en büyük etken de yüksek oranda katılmış liflerin karışım sırasında topaklaşıp liflerin homojen dağılmamasıdır. Buna paralel olarak da yer yer beton içerisinde zayıf bölgeler ve hava boşlukları oluşmaktadır(Yiğiter 2002).

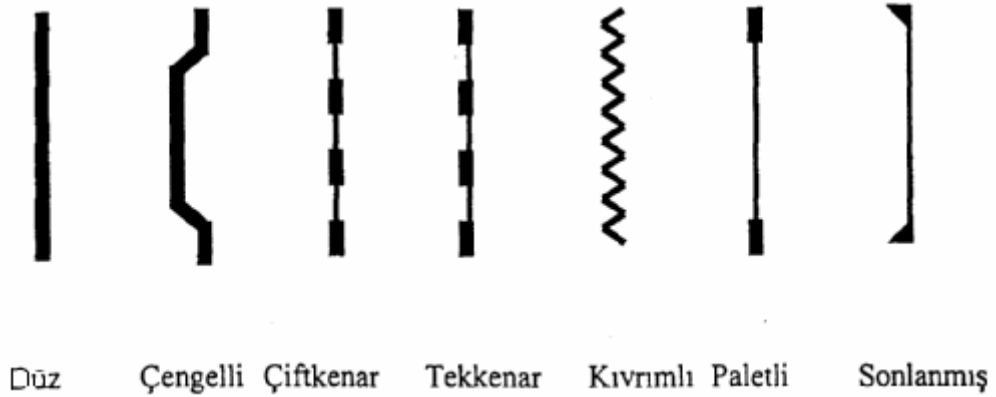
Yerleştirme sırasında kullanılan vibrasyon liflerin dönmesine ve belirli yönlerde dizilmelerine neden olmaktadır. Bu durum lifin narinlik oranıyla beraber vibrasyon tipi ve kalıp boyutuna bağlıdır. Bu sebeple lifli betonların yerleştirilmesinde dış vibrasyon tercih edilmelidir(Ünal 1994).

2.4.2 Lif Tipinin Etkisi

Beton bileşimine katılan çelik lifler, çoğunlukla sert çekilmiş düşük karbonlu (C 1008) den üretilmektedir. Yüksek ve üniform çekme gerilmesine karşılık düşük uzama özelliği gösterir. Çekme gerilmeleri ortalama olarak 1200 MPa olup elastik limitleri %0,2'nin altındadır. Birbirinden farklı değişik yöntemlerle üretilirler. Genellenecek olursa;

- Soğukta çekilmiş tellerin kesilmesi yöntemi,
- Çelik plakaların kesilmesi yöntemi,
- Sıcak çekme yöntemi,
- Çelik tellerin öğütülmesi yöntemi(Şimşek 1997).

Genel olarak uygulama alanlarına göre üretilen lif tipleri Şekil 2.1.'de görülmektedir. Bunlar doğru, uçları bükülü, zig zaglı, çift baskılı, tek baskılı, düzensiz, dişli ve birleştirilmiş hallerde bulunmaktadır.(Sancak 1998).



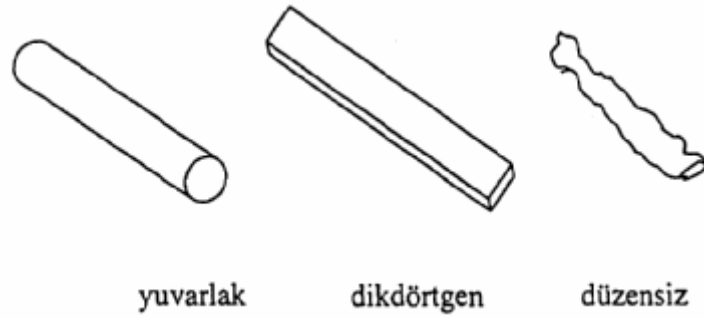
Şekil 2.1 Çelik Lif Tipleri ve Şekilleri

Çelik liflere ait bazı fiziksel özellikler Çizelge 2.1.'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. Değişik Cins Liflere Ait Fiziksel Özellikler

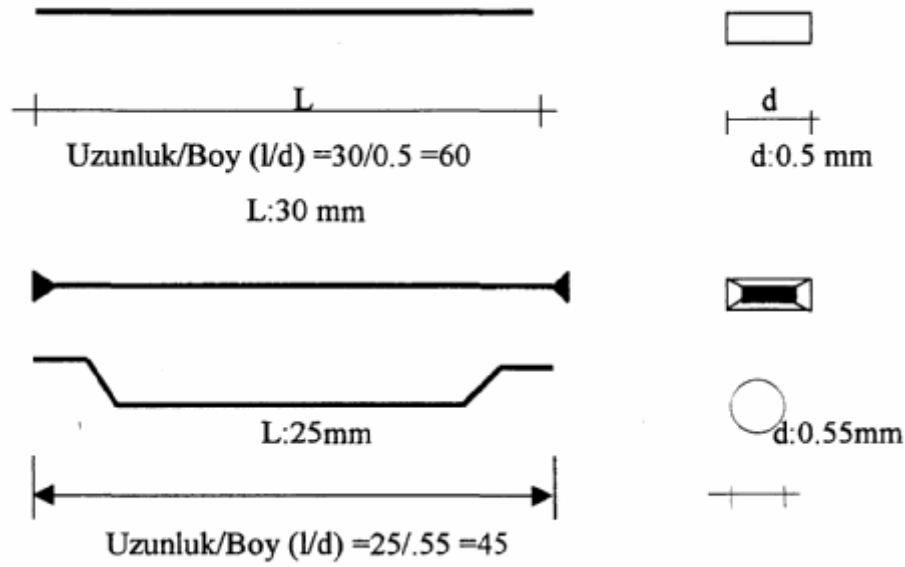
Lif Cinsi	Çekme Dayanımı (kN/mm ²)	Elastisite Modülü (kN/mm ²)	Maximum Uzama (%)	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)
Akrilik	207-414	2.1	25-45	1.1
Asbestler	552-966	83-138	~0.6	3.2
Pamuk	414-690	4.8	3-10	1.5
Cam	1035-3795	69	1.5-3.5	2.5
Naylon	759-828	4.1	16-20	1.1
Polyester	724-863	8.3	11-13	1.4
Polietilen	~690	0.14-0.4	~10	0.95
Polipropilen	552-759	3.5	~25	0.90
Pamuk-Yün	414-621	6.9	10-25	1.5
Mineral Yünü	483-759	69-117	~0.6	2.7
Çelik	276-2760	200	0.5-35	7.8

Bu çelik liflerin en kesit geometrileri Şekil 2.2.'deki gibi farklılıklar görülmektedir.



Şekil 2.2. Çelik Lif En Kesitleri

Bu çelik liflere ait geometrik ölçülerden birkaç örnek Şekil 2.3.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Bazı Çelik Liflere Ait Ölçümlendirme(Sancak 1998)

TS 10513/93'de lif özellikleri ile ilgili iki önemli parametre mevcut olup bunların birincisi her bir lifin çekme dayanımının 310 N/mm^2 den az olmayacağı zorunluluğudur. Diğeri ise $16 \text{ }^\circ\text{C}$ 'nin üzerindeki ortamda 3.18 mm.lik bir iç çap çevresinde eğilme etkisinde liflerin % 90'nının kırılmaksızın 90° eğilme kabiliyeti gösterebilmesi şartıdır.

Bu özellikler betonda kullanılan liflerin daha sünek ve çekme dayanımı yönünden de daha yüksek bir mukavemet ile davranabilmesine imkân sağlayacağı vurgulanmaktadır(TS 10513).

Ayrıca beton bileşimine katılan liflerin çeşidi ne olursa olsun liflerin homojen olarak dağılması ve bu dağılımın beton karıştırıldıktan sonrada bozulmaması gerekmektedir. Lifler, sertleşen betonun her yanına üniform olarak dağılmalıdır. Ayrıca beton yerleştirildikten sonra liflerin dönmemesi ve belirli bölgelerde toplanmalarını istenir. Genellikle cam ve çelik lifli beton karışımında toplanma, bir yönde dizilme görülmektedir. Bu durumun liflerin beton karışımına kuru olarak katılması halinde en aza indirilebileceği söylenmektedir(Ünal 1994).

2.4.3 Çimento ve Agrega Etkisi

Lifli betonların üretiminde, şimdiye kadar yapılan çalışmaların çoğunda portland ya da katkılı portland çimentosu kullanılmıştır. Matriste portland çimentoların kullanılmasında çeşitli yararlar olmasına rağmen önemli bir sakıncası da vardır. Bu da çimento hamurunun kırılma birim uzamasının çoğu liflerinkinden % 0.02 – 0.06 mertebesinde düşük olması sonucu bir yükleme durumunda, elastik limitin ötesinde çimento hamuru matrisinde çatlakların oluşmasıdır.

Diğer yandan, çimento matrisi bilindiği üzere alkali bir ortamdır. Cam ve çelik lifler bu ortamdan kimyasal olarak etkilenip korozyona uğrayabilirler. Bunun sonucunda lifin malzeme içerisindeki etkisi oldukça azalabilir. Bu duruma karşı korozyona dayanıklı kaplanmış çelik lifler kullanılabileceği gibi çimento içerisine puzolanik maddeler de katılabilir (DSİ 1999).

Matriste puzolan kullanılırsa; çimento hidratasyonu sırasında ortaya çıkan Ca(OH)_2 'i ve diğer alkalileri bağlayarak, korozif alkali atıklarını azaltmada önemli rol oynamaktadır (Yıldırım 2002).

Lif geometrisi ve lif miktarından farklı olarak iri agreganın hacmi, biçimi ve boyutunun taze lifli beton karışımının reolojisi üzerinde belirgin bir etkisi vardır. Agrega boyutu artarken lif boyutunu artırmanın genellikle yararlı olacağı belirtilmiştir (Ünal 1994).

2.4.4 Mineral Katkı Etkisi

Beton içerisinde silis dumanı bazlı süper akışkanlaştırıcı içeren toz halde beton katkı malzemesi kullanımı; yoğunluk, dayanıklılık ve en önemlisi kıvamı arttırmak için kullanılır. Katkı; aktif silikon dioksit içermektedir. Bu, betonun sertleşme süreci boyunca, beton içinde hidrate olmuş çimento tanelerinin oranını, işlenebilirlik süresini ve durabiliteyi de artırabilmektedir. Özellikle su, klor ve

zararlı gaz geçirimsizliğini, donma-çözülme etkilerine karşı dayanıklılığı artırmaktadır. Mineral katkıları etkisiyle; karbonasyon azalıp, erken ve nihai mukavemetler artmaktadır. Mineral katkıları korozif maddeler içermemektedir. Mineral katkıları etkisiyle; karbonasyon azalıp, erken ve nihai mukavemetler artmaktadır. Mineral katkıları korozif maddeler içermemektedir(Yıldırım 2002).

2.4.5 Lifli Betonda Matris Etkisi

Lifli beton literatüründe matris diye tanımlanan yapı lifin etrafını saran ortam malzemesidir. Kısacası, çimento hamuru matris diye tanımlanır. Lifli beton kompozitlerin de matrisin fonksiyonu lifleri bir arada tutmak, onları sarmak ve liflerle veya liflerden gerilme transferini sağlamaktır.

Lifli betonların üretiminde, şimdiye kadar yapılan çalışmaların çoğunda portland ya da katkılı portland çimentosu kullanılmıştır. Matrisin nitelikli olmasını sağlamak üzere lifli beton karışımlarının su/çimento oranları 0.55 den küçük olacak şekilde karışımlar hazırlanarak betonun çimento dozajı minimum 300 kg/m³ tutulmuştur. Yine bu amaçla yapılan çalışmalarda matrisi güçlendirmek amacı ile betonda silika kullanılmaktadır(Elmacı 2005).

Matriste portland çimentoların kullanılmasına rağmen önemli bir sakıncada vardır. Bu da çimento hamurunun kırılma birim uzamanın çoğu liflerinkinden %0.2-0.006 mertebesinde düşük olması sonucu bir yükleme durumunda, elastik limitin çimento hamuru matrisin de çatlaklar oluşmasıdır. Diğer yandan, bilindiği üzere alkali bir ortamdır. Cam ve çelik lifler bu ortamdan kimyasal olarak etkilenip korozyona uğrayabilirler. Bunun sonucunda lifin malzeme içerisindeki etkisi oldukça azalabilir. Bu duruma karşı korozyona dayanıklı kaplanmış çelik lifler kullanılabileceği gibi çimento içerisinde puzolanik malzemeler de katılabilir(Uğurlu 1994).

2.5 Lifli Betondaki Gelişmeler

Aşağıda sıralanan değerler ortalama değerlerdir. Bu artışların niceliği üzerinde; agrega cinsi ve dağılımı, çimento cinsi ve miktarı, su/çimenton oranı, liflerin tipi, boyutları, teknik özellikleri, yönelimleri, numunelerin hazırlanması ve boyutları vb. oldukça etkilidir. Bu değişkenlerin ihmali betonun kritik yapılarda kullanılması durumunda oldukça önemli çatlama ve hasarların başlıca nedeni olabilmektedir(DSİ 1999).

Çizelge 2.2. Lifli Betonun Mekanik Özelliklerindeki Yaklaşık Artışlar

Mekanik Özellikler	Artış (%)
Tokluk (Toughness)	100-1200
Darbe Dayanımı (Impact resistance)	100-1200
İlk çatlak dayanımı (First crack resistance)	25-100
Çekme dayanımı (Tensile strength)	25-100
Nihai eğilme dayanımı (Ultimate flexural strength)	50-100
Yorulma dayanımı (fatigue endurance)	50-100
Deformasyon kapasitesi (Strain capacity)	50-100
Basınç dayanımı (Compressive strength)	±25
Kavitasyon-Erozyon dayanımı (Cavitation-Erosion resistance)	300
Elastisite modülü (Modulus of elasticity)	±25

2.6 Liflerle Güçlendirilmiş Betonun Kullanım Alanları

Genellikle, yapısal uygulamalarda çelik lifli beton sadece kırılmayı önlemek için kullanılmaz, aynı zamanda betonun dinamik yükleme veya darbe mukavemetini

arttırmak ve malzemenin dökülme, parçalanma ve dağılmasını önlemek için de betona çelik lif ilave edilmektedir.

Kirişlerde, kolonlarda ve kat döşemelerinde olduğu gibi diğer yapı elemanlarında da eğilme veya çekme kuvvetleri meydana gelir. Bu basınç, eğilme ve çekme kuvvetlerinin birlikte oluşturduğu gerilmelerden dolayı yapı elemanlarının donatı ile birlikte çelik lifler ile kuvvetlendirilmesi mukavemeti oldukça önemli mertebede arttırılabilir(Aslan ve Aydın 1999).

Çelik lifli betonun kullanım alanları şöyle özetlenebilir;

- Endüstri Yapılarında

Çelik lifli beton endüstri yapılarında darbe rijitliğini sağlamak, ısısal ve dinamik etkilere karşı dayanıklılığı arttırmak için kullanılmaktadır(Aslan ve Aydın 1999).

Tatnall ve Kuitenbrouwer (1992), yaptıkları araştırmada çelik liflerin Avrupa'daki endüstriyel yapı inşaatlarının çoğunda geleneksel donatılamanın yerine başarıyla uygulandığını bildirmişlerdir(Ünal 1994).

- Hidrolik Yapılarda

Barajlar, kanallar, dinlendirme havuzları ve dolu savaklarda plak yerine veya aşınmaları engellemek amacıyla, kaplama olarak kullanılır.

- Yol Döşemelerinde

Beton yol uygulamalarında kaplama kalınlığının daha ince olmasının istendiği durumlarda elik lifli betonlar kullanılır. Günümüzde elik lifli betonlar yollarda, otobanlarda, köprülerde ve hava alanlarında başarıyla kullanılmaktadır.

- Püskürtme Beton (Shotcrete) Uygulamalarında

Püskürtme beton karışımları genellikle yüksek imento yüzdesiyle hazırlanan karışımlardır. Bu da çoğunlukla rötne çatlaklarına neden olmaktadır. Üstelik püskürtme beton uygulaması yapılan eğri yüzeyler çatlamaya çok büyük eğilim gösterirler ve bu tür yüzeylerin kür edilmesi çok zor olmaktadır. İşte elik lifler hem ıslak hem de kuru püskürtme beton uygulamalarında çatlak kontrolü için ekonomik ve de pratik bir çözüm sunmaktadır. Bu nedenle elik lifli püskürtme beton uygulaması barajların tamirinde, tünellerde, su kemerlerinde, iskelelerde, kanallarda, dolu savaklarda ve bu tür yapılarda başarıyla kullanılmaktadır.

- Şey Stabilitesinin Sağlanmasında

elik lifli beton ayrıca karayollarını ve demiryollarını kesen, yer üstündeki kaya veya topraktan oluşan dik şeylerin veya toprak setlerin stabilitesinin sağlanmasında kullanılır(Ünal 1994).

- İnce Kabuk Yapılarda

Lifli betonun üstün nitelikleri kesit kalınlıklarının azaltılmasını mümkün hale getirdiğinden, ince kabuk yapılarda. kubbelerde, katlanmış plaklarda ve çeşitli

mimari nedenlerle ince olması gereken yapı elemanlarında kullanılmaktadır(ACI 1984).

- Patlamaya Karşı Dayanıklı Olması Gereken Yapılarda

Genellikle normal donatı çubukları ile birlikte kullanıldığında, güç santralleri ve askeri tesislerin yapımında çok uygun bir kullanım arz etmektedir. Özellikle çok önemli askeri tesislerin yapımında bu özelliğinden dolayı kullanımı tercih edilmektedir. Uzun yıllardan beri Amerikan askeri tesis yapım şartnamelerinde yer almakta ve yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

- Ön Yapımlı Beton Elemanlarda

Ön yapımlı beton üreticileri çatlak oluşmasını ve yayılmasını engellemek, betonun yük altında daha elastik davranmasını sağlamak, betonun dağılıp ufalanmasını azaltmak ve betonun korozyona karşı performansını artırmak için çelik lifli betonları kullanırlar(Düzgün 2001).

- Çok Yüksek Mukavemetli Betonlarda

Günümüzde yüksek mukavemetli betonlara ihtiyaç giderek artmaktadır. Bu betonların normal mukavemetli olanlara göre olumsuz tarafı göçme sırasında bağıl olarak az enerji yutmalarıdır. Böylece gevrek davranış gösteren yüksek mukavemetli betonların yerini sünekliği artırılmış yüksek performansa sahip ultra yüksek mukavemetli betonların [yüksek mukavemetli betonlar; 28 günlük basınç mukavemeti 2000 kg/cm² fazla olan betonlardır.] alması söz konusu olmaktadır. Ultra yüksek mukavemetli çimento esaslı kompozitlerin üretiminde ince agrega ve çimentoya ilave olarak 0.15 mm çapında ve 5 - 10 mm boyunda kısa kesilmiş çelik tel, silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcı katkıları kullanılmaktadır. Bu

kompozitleri üretmekle betonda en zayıf halka olarak bilinen agrega - çimento hamuru arasındaki boşluklar ve harçtaki kusurlar minimum yapılabilmekte ve gevrek davranışa sahip bu çok yüksek mukavemetli betona kısa kesilmiş ince çelik tellerle sünek davranış özelliği kazandırılmaktadır(Taşdemir 1999).

- Depreme Dayanıklı Yapılarda

Çelik lifli betonlarla inşa edilen süneklilik düzeyi yüksek betonarme yapıların deprem kuvvetleri altındaki davranışı olumlu yönde değişecektir. Ülkemizin deprem kuşağında olduğu göz önüne alındığında gevrek bir malzeme olduğu bilinen betonun bu zayıf yönünü iyileştirmenin önemli olduğu açık bir gerçektir. Bu yapıların dinamik etkilere karşı enerji emme yeteneği geleneksel yapılara göre daha yüksek olduğundan bu tür etkiler sonucu meydana gelebilecek yapısal hasarlar en alt düzeye indirilecektir. Çelik liflerin betonda kullanılmasının önemi karşı karşıya bulunduğumuz depremin yapılarda meydana getirdiği hasarlar incelendiğinde daha iyi anlaşılacaktır(Yılmaz ve Cavga 1999).

Vondran (1992), yaptığı çalışmada deprem sırasında normal betonlarda ilk olarak donatı etrafındaki betonların dökülüp, ufalanıp yapısal bütünlüğü ve rijitliği bozmasına rağmen çelik lifli betonun daha düktil olmasından dolayı betonu kırmak için daha fazla enerjiye ihtiyaç olduğunu bildirmiştir(Vondran 1992).

2.7 Lifli Betonun Teknik Özellikleri

Lifli betonların özellikleri genel olarak incelendiğinde lifler farklı dahi olsa, ufak tefek farklılıklar dışında genel olarak betonda benzer etkiler meydana getirmektedir.

2.7.1 Taze Beton Özellikleri

Normal betonlarda olduğu gibi çelik liflerle güçlendirilmiş betonun da davranış ve özelliklerinin istenilen şekilde gerçekleşebilmesi için betonun planlanmasından başlayıp bakımının tamamlanması ile son bulan üretim süreçlerinin doğru tasarlanıp uygulanması gerekmektedir. Başlangıçta karmaşık görünse de zorunluluklar yerine getirildiği takdirde sorun ortaya çıkmamaktadır(Yiğiter 2002).

Taze beton karışımının işlenebilirliği, onun taşınma, karıştırılma ve en önemlisi minimum hava içeriği, minimum homojenlik kaybıyla yerleştirilme ve sıkıştırılmasının bir ölçüsüdür. Bu karakteristiklerin birini yada daha fazlasını değerlendirmek için bir çok test yöntemleri mevcuttur(Yıldırım 2002).

Lifli hafif betonlar üzerine yapılmış olan çalışmalarda; lif kullanım oranının artmasının çökme kaybına, Ve-Be işlenebilme değerinin, su emme değerinin ve aynı zamanda hava miktarının da artmasına sebep olduğu görülmüştür(Sancak ve Ünal 1999).

Schnütgen'e (1992) göre; çelik lifli betonun taze beton özelliklerinden bahsedildiğinde, herkesin aklına öncelikle betonun işlenebilirliği gelir. Beton işlenebilirliği genellikle onun yayılma derecesi ile tanımlanır. Düşük ve orta lif miktarına bağlı olarak azalır. Akışkanlık meydana getiren madde katkıları ile daha düşük su/katkı değerlerinde daha iyi bir işlenebilirlik derecesine ulaşılabilir(Yıldırım 2002).

2.7.1.1 Tasarım

Lifsiz betonlarda olduğu gibi çelik lifli betonun değişik yapılarda doğru kullanımı büyük çapta mühendislik yargı ve deneyimine, ayrıca tasarım yapan kişinin hem

lifli betonu hem de onun kullanılacağı yapıyı ve yapıya gelen yükleri iyi tanıyıp doğru değerlendirmesine dayanır. Lifli beton üretilmeden önce, betonun nerede kullanılacağı, yapının esası ya da bir parçasını olacağı, yapıda hangi etkiler altında kalacağı ve bu betondan beklenen özellikler açıkça belirlenmelidir. Daha sonra bu mevcut ve beklenen koşulların sağlanmasında en yüksek performanssa yönelik uygun malzeme (lif tipi ve boyutları, çimento çeşidi ve dozajı, agrega, vb.) seçilmelidir.

2.7.1.2 Karışım Esasları

Üretimi normal beton üretimi ile benzeşimler gösterse de gerek karışım hesaplarının tasarımı açısından gerekse çelik lifli betonda kullanılması sonucu yeni karıştırma ve taşıma tekniklerini zorunlu kılması açısından oldukça değişiktir. Lifli beton üretiminde lifin davranışını etkileyen önemli parametrelerden biri olan matris özelliklerinin iyileştirilmesi amacı ile bir dizi sınırlamalar getirilmiştir:

- Portland ya da Katkılı Portland Çimentosu kullanılmalı,
- Matrisin kalitesi için maksimum su/çim oranı 0.55 alınmalı,
- Minimum çimento dozajı 320 kg/m^3 olmalı,
- Kum miktarı toplam agrega kütlelerinin en az % 40 – 55'i ($750\text{-}850 \text{ kg/m}^3$) olmalı,
- Karışımlarda doğal kum kullanılmalı,
- Matrisi güçlendirmek için doğal puzolan, uçucu kül ve silis dumanı kullanılmalı.

2.7.1.3 Karışım Sırasında Dikkat Edilecek Hususlar

Çelik lifli taze beton karışımlarının hazırlığı sırasında karışımların homojen olması için ya da işi kolaylaştırmak için bir takım kurallar getirilmiştir. TS

10514/1992 tarafından belirtilen bu kurallar aşağıda maddeler halinde 6zetlenmiştir.

Genel Kurallar:

- Homojen bir beton karışımı elde etmek için temel ilkelere (TS 1247, TS 1248) dikkat edilmelidir.
- Kritik elik tel miktarı aşılmamalıdır.
- elik tel teçhizatlı betonun karışımını kolaylaştırmak ve gerekli olduğunda tel miktarını artırmayı sağlamak amacıyla ince agrega kullanılmalıdır.
- Taze betonda; homojen tel dağılımı g6zle kontrol edilmeli birbirlerine yapışık teller halinde betona karıştırılan tel demetler veya teller beton içinde tamamen dağılıp ayrılıncaya kadar beton karışımı devam etmeli ve 6niform dağılım g6z ile fark edilmelidir.
- Tel takviyeli beton d6k6m yerine kamyon ve transmikser ile nakledilebilir. Transmikser kullanıldığında mikser d6ř6k hızda d6nd6r6lmelidir.

Beton Santralında Karıştırma:

- Kum, akıl ve elik teller bir konvey6r band aracılığıyla karıştırma kazanına verilebildiği gibi, beton santralının tartı kovalarına da konabilir. Her iki durumda da elik teller kum ve çakılın 6zerine d6k6lmelidir.
- Karıştırma imento, su ve gerekli ise uçucu k6l ilave edilmelidir
- B6t6n teller ayrılıp dağılincaya kadar karıştırılmalıdır Gerekli s6re mikser tipine bağlı olup bu s6re 1-2 dakika arasında olmalıdır
- Karıştırma kazanı içinde hazırlanan betona teller en son olarak da ilave edilebilir Bu durumda karıştırmaya teller homojen dağılincaya kadar devam etmelidir.

Transmikserde Bütün Malzemelerin Karıştırılması:

- Agrega ve teller transmiksere konarak karıştırılmalıdır.
- Çimento ve su ilave edilmelidir.
- 2-4 dakika sonra karışım kontrol edilmelidir. Homojen karışım gözle fark edilebilir.

Transmikserde Bulunan Hazır Betona Tellerin İlave Edilmesi:

Diğer karıştırma kuralları mümkün olmadığı zaman uygulanmalıdır

- Transmikse konan beton mikser kapasitesinin %80'ini aşmamalıdır.
- Yüksek su/çimento oranından kaçınmak için akışkanlık verici katkı maddeleri kullanılmalıdır.
- Teller mikse 20-30 kg/dk hız ile konmalı ve bu esnada mikser tamburu en yüksek hız ile çevrilmelidir.
- Karıştırma zamanı mikser tipine bağlıdır. Bütün teller betona karıştırıldıktan sonra mikser kısa müddet durdurulmalı ve tel dağılımı göz ile kontrol edilmelidir. Homojen dağılım elde edilemezse transmiksere bu karışım sistemi için uygun olmadığına karar verilmelidir.

Kontrol:

Kontrolün amacı sürekli bir kalite denetiminin sağlanmasıdır. Bu nedenle lifli betonların kontrolü sırasında şu kurallara dikkat edilmelidir:

- Kontrollüğün seçeceği karışımlardan her kontrol için her 100 m³ betondan 3 adet 10 litrelik beton numunesi alınmalı ve TS 2940 ISO 2736-1:1999'da belirtilen "Taze Betondan Numune Alma Metotları" kullanılmalıdır.

- Alınan 3 adet 10 litrelik numune, su ile yıkandıktan sonra, çelik lifler mıknatıs yardımı ile toplanıp hassas olarak tartılmalıdır.
- 3 numunedeki ortalama çelik tel miktarı olması gerekenden en çok %10, her bir numunedeki miktar ise en çok %15 farklı olabilir.
- İstenen oranlar elde edilinceye kadar beton santralında gerekli tedbirler alınmalıdır.

2.7.1.4 Taşıma

Çelik lifli betonun taşınması iyi tasarlanmış ve yeterince temiz durumda bulunan geleneksel beton ekipmanları ile yapılmalıdır. Beton taşınırken transmikser haznesi tam doldurulmamalıdır. Özellikle karışım transmikserde hazırlanacaksa kapasitenin %85'i kullanılmalıdır. Tambur içerisindeki kanatlar liflerin topaklaşmasını kolaylaştıracak şekilde kirli ve deforme olmuş durumda olmamalıdır.

Lifli betonları karıştırmak için gerekli enerji lifsiz betonlara göre daha fazladır. Transmikserler ve pan mikserler bu ilave gücü kaldırabilecek niteliktedirler. Düşük slump lu betonların mikserden kolayca akmasını sağlamak için de gerekli önlemler alınmalıdır. (Örneğin transmikseri bir yamaca parketmek veya panmikser haznesinin dışına bir vibratör bağlamak).

Lifli beton pompa ile nakil ediliyorsa; kapasitesi yüksek bir pompa, geniş çaplı boru (yaklaşık 155 mm), bükülebilir ve kıvrılabilir bir hortum kullanılmalı, aletin giriş ağzına lif demetlerinin hortuma girmesini önleyecek şekilde 50-75 mm açıklıklı Bir elek konulmalıdır. Çok yüksek slump lu betonlarda, betonun ince kısmının akması ile tanelerin ve liflerin hortumu tıkamamasından kaçınılmalıdır.

2.7.1.5 Yerleştirme

Lifli betonun yerleştirilmesi normal ekipmanlarla yapılabilir. Ancak işçilikte incelikler gereklidir.

Çelik lifli beton yerleştirilirken harici vibrasyon ile sıkıştırma tercih edilmelidir. Çubuk şeklindeki daldırma tipi vibratörlerin kullanılması durumunda, sıkıştırma esnasında lifler dönerek belli yerlerde lif yığılmasına neden olurlar. Homojen olması gereken yapıyı bozarlar. Laboratuvarlardaki araştırma çalışmalarında numune hazırlanırken harici vibrasyon kullanılmalıdır.

Genellikle yüzey tesviyesinde liflerden kaynaklanan bir sorunla karşılaşılmaz. Açık döşeme yüzeyleri düzeltilirken, vibrasyonlu masterlar kullanılmalı veya perdah makinesi ile tesviye edilmelidir. Kullanılacak perdah makineleri, tercihen metal ve kanat uçları yuvarlatılmış olmalıdır. Yüzey yırtıkları ve boşlukları tahta malalarla kapatılabilir. Ancak yüzeyde açıkta lifler varsa bu lifler yüzeyin pürüzlenmesine sebep olabilir.

2.7.1.6 Yüzey Bitirme

Yüzey bitirme işlemleri sırasında yüzeyde fazla çalışılmamalıdır Normal betonlara göre çimento harcı bakımından fazla olan lifli betonun aşırı masterlama yüzeyi hassaslaştırarak çatlamalara neden olabilir.

Terleme sonucu beton yüzeyinde su ve ince şerbet birikirse, bu masterla ya da vakum yolu ile yüzeyden uzaklaştırılmalıdır. Mükemmel bir yüzey isteniyorsa düzgün yüzey elde etmede lifleri gömmede daha başarılı olan magnezyum kanatlı perdah makineleri kullanılmalıdır. Geniş perdah makinelerinin kullanımı zor olmakla birlikte cilalı yüzey elde etmede daha işlevseldir(Yiğiter 2002).

2.7.1.7 İşlenebilirlik

Çelik liflerle güçlendirilmiş kompozitler, taze ve sertleşmiş betonların kalite kontrolü adı altında yapılan deneylerle sınıanır. Taze beton deneylerinden en önemlisi, işlenebilirlik tespitine yönelik deneylerdir. Sertleşmiş beton açısından ise malzemenin tokluk indekslerinin tespiti, eğilmede çekme dayanımı ve darbe dayanımı deneyleridir.

Çelik liflerle güçlendirilmiş karışımların taze beton özelliklerini doğru tespit edebilmek için bu karışımların sağlıklı yöntemlerle test edilmesi gerekir. Normal betonlarda kullanılan yöntemler lifli betonlar için yeniden gözden geçirilmelidir.

Betonda işlenebilirlik olarak ifade edilen, taşıma, yerleştirme, sıkıştırma ve homojenlik, sertleşmiş beton özelliklerini ve performansını önemli derecede etkiler. Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda betona lif ilave edilmesiyle işlenebilirlikte önemli azalmalar tespit edilmiştir.

Lifli betonun;

- Maksimum tane çapı,
- Tane dağılımı,
- Lif hacmi,
- Lif tipi,
- Narinlik oranı,
- Hava miktarı,
- Su/çimento oranı, işlenebilirliği etkileyen faktörlerdir.

İşlenebilirliği azaltan iki parametre ise;

- Karışımdaki lif hacmi,

- Narinlik oranı (uzunluk/çap) olmaktadır.

İşlenebilirliği ölçmek için lifsiz betonlarda uygulanan slump deneyi lifli betonlar için uygun değildir. Göreceli olarak kullanılsa da dikkate alınmamalıdır. Lifli betonlar için en uygun işlenebilirlik deneyi Ve-Be deneyidir. Ancak şantiye koşullarında zor bir yöntemdir. Daha çok laboratuvarlarda kullanılır.

Laboratuvarlarda ve şantiyede lifli betonların işlenebilirliğini ölçmek için kolayca kullanılabilen ve sonuçları açısından sağlıklı veriler ortaya koyan ASTM C 995’de tanımlanan ters çevrilmiş koni deneyidir. Bu deneyde dahili vibratör hareketi ile ters koniden koni ağzı açıklığı boyunca betonun akması için geçen süre ölçülür. Bu deney özellikle lifli betonlar için geliştirilmiştir. Yüksek oranda akışkanlaştırılmış betonlar için uygun değildir, çünkü bu yöntemde beton vibrasyon ile akma eğilimindedir

Düşük çökme değerlerinde bile lifli betonlar vibrasyona iyi cevap vermektedir. Çökme değeri 5.0-7.5 cm olduğu aralıkta bu eğri değişmemektedir(Uyan 1985).

2.7.1.8 Kür

Standart Kür :

Betona çelik lif ilavesinin çimentonun hidrasyon reaksiyonlarına hiçbir etkisinin olmadığı göz önünde bulundurulursa, çelik lifli beton lifsiz betonlar gibi kür edilebilir.

Hızlandırılmış Kür :

Genel olarak inşaat sanayinde betonun dayanımını erken kazanması ve daha kısa sürede servise sunulması amacıyla çeşitli yöntemler uygulanmaktadır.

1. Priz hızlandırıcı ve akışkanlaştırıcı katkıları kullanmak,
2. Kristal çekirdekleri kullanmak,
3. Yüksek basınç altında sıcaklık arttırmak,
4. Isıl işlem uygulamak.

Bu yöntemlerin uygulanması ile sağlanacak olan avantajlar da şöyle sıralanabilir.

- Soğuk havalarda beton üretimi yapabilmek,
- Üretim artışını hızlandırmak,
- Yapılarda kalıp alma süresini kısaltmak,
- Üretilen yapı elemanlarının stoklama sürelerini kısaltarak, depolama alanlarını küçültmek,
- Üretilen elemanların kalite kontrolünün daha kısa sürede yapılmasını sağlamaktır.

Isıl işlemler, çeşitli teknolojilerden yararlanarak betonu ısıtmak suretiyle, betonun daha kısa sürede mukavemet kazanmasını ve hizmete sunulmasını amaçlayan yöntemler olarak tanımlanabilir. Isıl işlem yöntemi, uygulama şekline göre:

1. Betonun yerleştirilmeden önce ısıtılması,
2. Betonun yerleştirilmesinden sonra elemanın ısıtılması

olarak iki grupta sınıflandırılabilir.

Diğer taraftan betona ısı işlem uygulanması, fiziksel prensiplere bağlı olarak şu şekilde sınıflandırılabilir.

1. Isı transferi ile ısı uygulaması
 - a. Doygun buhar ile ısı transferi
 - b. Sıcak hava ile ısı transferi
2. Kondüksiyon yolu ile ısı transferi
3. Işıma yolu ile ısı transferi(Ünal 1994).

2.7.2 Sertleşmiş Beton Özellikleri

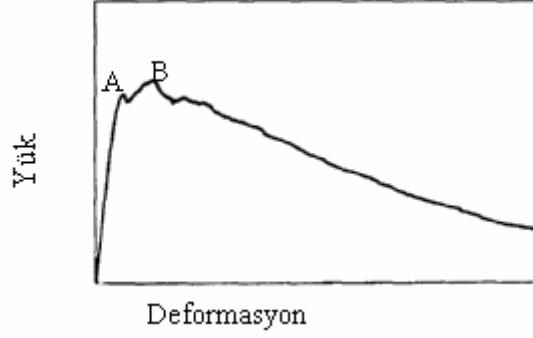
Bilindiği gibi betonun çekme mukavemeti basınç mukavemetine göre oldukça küçüktür. Betona belirli oranda çelik lif ilave edilmesiyle betonun başta çekme mukavemeti olmak üzere birçok teknik özelliklerinde gözle görülebilir bir iyileşme sağlanmaktadır(Düzgün 2001).

2.7.2.1 Basınç Dayanımı

Çelik lifli beton, basınç duktilitesi gösterir. Yani beton taşıma gücüne eriştiği halde yük taşıma özelliği vardır. Ayrıca yapılan çalışmalar çelik lifli betonun kesme, burulma ve yorulmaya karşı mukavemeti fazla, çatlamlar, dökülme, parçalanma ve dağılmalar az olduğunu göstermişlerdir(Aslan ve Aydın 1999).

Sharma (1986), çelik lifli beton kirişlerin kesme kuvvetleri altındaki davranışlarını incelemiştir. Boyları 50 mm ve çapları 0.6 mm olan düşük karbonlu çengelli çelik lifleri kullanarak ve 28 günlük silindir basınç mukavemetini ortalama 450 MPa değerinde tutarak hazırladığı iki grup (etrisiz ve etriyeli) kiriş numune üzerinde yaptığı deneyler sonucunda ilk gruptaki lifsiz numunelerin kesme mukavemetleri ortalama 22 MPa iken lifli numunelerin kesme mukavemetlerinin % 38'lik bir

artışla 30.3 MPa olduğunu, ikinci gruptaki lifsiz numunelerin kesme mukavemetleri ise ortalama 29,7 MPa iken lifli numunelerin kesme mukavemetlerinin % 29'luk bir artışla 38.2 MPa olduğunu belirlemiştir. (Düzgün 2001).

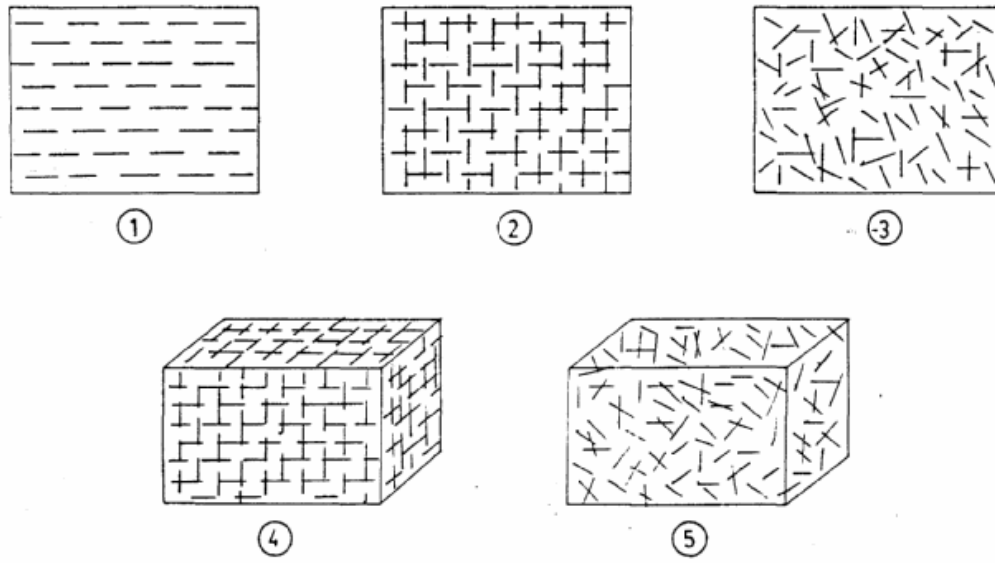


Şekil 2.4. Yükleme deformasyonun şematik diyagramı

Lifli beton numuneler eğilmeye maruz kaldıkları zaman, yükleme-deformasyon eğrisinde genellikle 2 davranış safhası görünür. Yükleme deformasyon eğrisi A noktasına kadar az ya da çok lineer olarak düşünülebilir. A noktasından sonra, eğri artık lineer değildir. Ve eğri B noktasında maksimum bir değere ulaşır. A noktasına tekabül eden yük miktarı “ilk çatlama direnci”, “elastik sınır” ya da “orantı sınırı” olarak adlandırılır. B noktasına tekabül eden yük kopma mukavemeti (dayanım sınırı) olarak adlandırılır. Şekil 2.4’de görülen yükleme-deformasyon eğrisinden önemli derecede farklı şekillerde eğrilerde meydana gelir. Liflerin dağılımına, uzunluğuna ve miktarına bağlı olarak betonun sergileyeceği dayanım, duktilite, deformasyon ve ilk çatlak dayanımı etkileyecektir. İdeal bir karışım için lif miktarı, lif geometrisi ve liflerin dağılımı lifli betonlar için önemlidir. Fakat dayanım, durabilite ve işlenebilirlik (su/çim oranı, hava içeriği, yoğunlu vb.) için önemli olan değişkenler lifli betonun özelliklerinde de önemli bir etkiye sahiptir. Bağlayıcıya (çimento vb.) etki eden değişkenler lifli betonların dayanım özelliklerini etkiler(ACI Comitte 544 1982).

Nanni (1990), çelik lifli betonların burulma mukavemeti üzerine yaptığı çalışmada ise betona çelik lif ilave edilmesinin hem etriyeli hem de etriyesiz kirişlerin burulma mukavemetini normal betona göre yaklaşık %60 oranında artırdığını belirtmekte.

Yapılan araştırmalar betona ilave edilen çelik liflerin basınç ve çekme mukavemetleri üzerinde de etkisi olduğunu bildirmişlerdir. Bu etkinin olumlu veya olumsuz olması liflerin beton içerisindeki dağılımına bağlıdır. Yani yükleme eksenine dik olan lifler mukavemet üzerinde herhangi bir etki etmezken, liflerin yükleme eksenine paralellikleri arttıkça mukavemet üzerindeki olumlu etkileri de artmaktadır(Düzgün 2001).



Şekil 2.5 Matris İçerisindeki Çeşitli Lif Pozisyonları

- 1 Bir doğrultuda liflendirme,
- 2 İki doğrultuda liflendirme,
- 3 Rasgele lif dağılımı,
- 4 Üç boyutlu matriste üç doğrultuda liflendirme,
- 5 Üç boyutlu matriste rasgele liflendirme.

Liflerin matris içerisindeki pozisyonları kırılma oluşumunu ve basınç mukavemetini etkilemektedir(Arslan 1987).

Betonun çekme ve basınç mukavemetinin yanında kırılma enerjisi de oldukça önemli bir malzeme parametresidir. Çelik lifli beton, özellikle maksimum yükten sonra oldukça yüksek bir duktilite gösterir. Bu nedenle lif oranı arttıkça kırılma enerjisi de artış göstermektedir. Çelik lifli betonların bu tür özelliklerini ortaya koymak üzere literatürde bir çok ampirik(deneye dayalı) tanımlama yapılmıştır. Bunlardan en önemlisi Barr'in geliştirdiği tokluk indeksi tanımlamasıdır. Lifli betonun gerilme-birim boy değişimi eğrisinin ilk kırılma yüküne kadar olan kısmının altında kalan alanın, eğri altındaki toplam alana oranı tokluk indeksi olarak tanımlanmıştır(Düzgün 2001).

2.7.2.2 Eğilme Dayanımı

Çelik liflerle güçlendirilmiş betonlarla ilgili standartlarda Rapture Modülü olarak tanımlanan bu özellik betonun yük-deformasyon eğrisi çizilirken maksimum yükte meydana gelen gerilmenin bulunması ile belirlenir.

Çelik lifli betonların nihai dayanımları normal betonlara %50-100 arasında artış göstermektedir. Çimento hamuru matrisinin kırılmasında (ilk çatlaktan) sonra liflerin çatlak sonlarından da gerilme transferi ve dağılımı yapması nedeniyle yük, ilk çatlaktan sonra bir miktar daha artar. Bu durumda maksimum gerilme yükü lifsiz betonlara göre daha fazla olmaktadır.

Eğilme dayanımı da liflerle güçlendirilmiş betonların diğer özellikleri gibi lif hacmine, lif geometrisine, narinlik oranına deney numunesi (kiriş) yüksekliğine ve liflerin beton içerisindeki dağılımına bağlıdır(DSİ 1999).

Lif donatılı sistemlerin ilk çatlak dayanımı ve sınır eğilme dayanımı kompozit malzeme yaklaşımı ile tahmin edilebilir.

$$\sigma_c = A \sigma_m(1-V_f)+B V_f I/d$$

burada;

σ_c : kompozitin dayanımı

σ_m : matrisin dayanımı

V_f : lif hacmi

I/d : lif görünüm oranı

A, B : sabitler

Sheffield Üniversitesinde Swamy ve ekibi sabitlerin değerlerini bulmak için karışım oranlarını ve lif geometrisini çok geniş aralıklarında lifli çimento hamuru, harç ve beton incelemelerinden elde edilen verilerden regrasyon analizi yapmıştır. Kompozitin ilk çatlak dayanımı için A ve B sırayla 0,843 ve 2,93. maksimum dayanımı için 0,97 ve 3,41 olarak bulunmuştur. Regrasyon analizinden bulunan korelasyon katsayısı 0,98 olarak rapor edilmiştir(Yiğiter 2002).

Tokluk, malzemenin yük altında kırılma-şekil değiştirme ilişkisi olarak tanımlanır. Lif miktarı arttıkça tokluk artar.

Barr ve Noor (1983), su/çimento oranını (0.46) sabit tutarak lif miktarının (hacimce %0.03, 0.15, 0.3, 0.6, ve 0.9) çelik lifli betonların tokluk indeksi (betonun enerji emme kapasitesi) üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla yaptıkları çalışmada betonun yük-deformasyon eğrisi altındaki alandan hesap edilen tokluğun çelik lifli betonların en önemli özelliklerinden birisi olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan deneylerde lif miktarının artmasıyla tokluğun arttığı belirlenmiştir. Nitekim lif miktarının hacimce %0.03'den %0.9'a çıkması tokluğu (betonun enerji emme kapasitesini) %100 oranında artırdığı görülmüştür(Aslan ve Aydın 1999).

2.7.2.3 Dinamik Dayanımı

Betonun ani olarak dinamik bir kuvvetle yüklenmesidir. Lifli betonların çeşitli yüklemelerdeki darbe dayanımı lifsiz betonlara göre 10 ila 20 kat daha büyüktür. Çelik lifler matris üzerine gelen dinamik yükleri kendi üzerlerine alarak matrisin çarpma mukavemetinde daha yüksek bir çarpma mukavemeti meydana getirirler. Bu nedenle darbe dayanımı; betonun tokluğu ve kırılmasıyla doğrudan ilgilidir. Liflerin betondan çekip çıkarılması daha büyük enerji ihtiyaç duyduğundan dolayı parçalanmaya karşı direnç sağlamakla beraber darbe dayanımını artırır.

Pratikte Drop-weight deneyi daha çok kullanılır. Bu deneyde, ilk çatlak anındaki darbe sayısı ve malzemenin kırılma anındaki darbe sayısı lifsiz betona göre yorumlanarak değerlendirilir. Ortalama bir lif dozajında (yaklaşık 30 kg/m^3) çelik lifli betonun darbe direnci 10-20 kat lifsiz betondan daha yüksektir(Şimşek 1997).

2.7.2.4 Yorulma Dayanımı

Malzemeyi normal olarak kırmaya yetmeyen (elastiki limitin altındaki) gerilmelerin arka arkaya tekrarlı bir şekilde çok kere uygulanması sonucu meydana gelen ve sonunda malzemenin ani ve gevrek kırılmasına yol açan yorulma olayı da dinamik yüklemelerdeki kırılmanın bir başka örneğidir. Çelik lifli betonlar üzerinde yapılmış çalışmalarda yorulma dayanımının lifsiz betonlara göre %50 ila %100 arasında arttığı gözlenmiştir(Şimşek 1997)

2.7.2.5 Donma Çözülme Dayanımı

Donma çözülme olayı, fiziksel bir etkidir. Islanarak doygun duruma gelen ve donma çözülme devirlerine maruz kalan bütün betonlar kısa sürede hasar görmektedirler. Park alanlarında, hava alanlarında, kaldırımlarda, yollarda kullanılan betonlar, bu tür hasara maruz kalabilecek betonlardır. Tekrar tekrar yer

alan donma çözümler olayları karşısında, betondaki iç gerilmeler nedeniyle, beton yüzeyindeki agregalar gevşeyip kopmakta, betonun içerisinde çatlaklar oluşmakta ve bu çatlaklar giderek daha büyük çatlaklar haline gelmektedirler. Şiddetli ortamda çok sayıda donma çözümler olaylarına maruz kalan en iyi betonlar dahi en çok bir iki yıl içerisinde büyük hasar görebilmektedir(Erdoğan 2003).

Üretilen betonun donma olayı sonucunda parçalanmasında en önemli rol agrega taneleri tarafından oynanmaktadır. Agregaların don etkisi altında parçalanmaları bu malzeme ile üretilen betonların don etkisinden zarar görmesine neden olmaktadır. Böyle bir durumun olmaması için beton üretiminde kullanılacak agregaların donma etkisine karşı dayanıklı olması gerekir. Bir agreganın boşluk oranı ve su emme oranı ne kadar yüksekse, o agreganın donma etkisine karşı dayanıklılığı da o derece düşüktür(Postacıoğlu 1987).

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Kullanılan Malzemeler

3.1.1 Agregalar

Deneilerde kullanılan agrega Kolsan Hazır Beton tesisinden elde edilmiş olup, Çizelge 3.1’de agregaların fiziksel özellikleri verilmiştir. 0-3 mm (doğal kum), 0-6 mm (kırmataş tozu), 6-12 mm 12-22 mm’lik (kırmataş) kullanılmıştır. En büyük tane boyutu 22 mm’dir. Agregaların TS EN 3530 933-1’e göre elek analizleri, TS EN 1097-6’ya göre özgül ve birim ağırlık, TS EN 1097-1’e göre aşınma deneyi yapılmıştır. Sonuçlar aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 3.1 Kullanılan Agregaların Önemli Özellikleri.

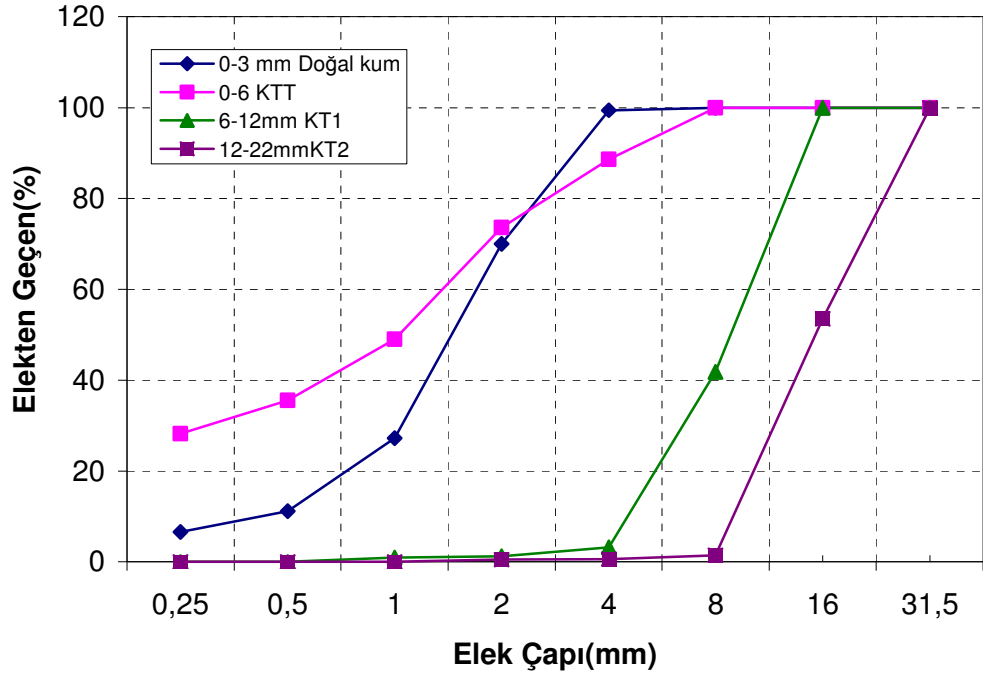
Agrega Cinsi	Su Emme (%)	Özgül Ağırlık (kg/m ³)	Rutubet Miktarı (%)	Birim Ağırlık (kg/m ³)
Doğal kum (0-3)	3,86	2620	3,6	1625
KTT (0-6)	3,62	2650	1,6	1410
KT1 (6-12)	0,26	2710	0,1	1365
KT2 (12-22)	0,26	2700	0,1	1362

Çizelge 3.2 Kullanılan Agreganın Diğer Bazı Özellikleri

Diğer İncelenen Özellikler	Deney sonucu
Aşınma (Los-Angeles) (%)	20.91
Organik madde (renk)	Açık sarı
Çamurlu madde (%)	1.04

Çizelge 3.3 Agregaların Elekten Geçen yüzde değerleri

Numune Cinsi	Elek Çapı								Karışım Oranı (%)
	31,5 (mm)	16 (mm)	8 (mm)	4 (mm)	2 (mm)	1 (mm)	0,5 (mm)	0,25 (mm)	
Doğal kum	100	100	100	99,4	70	27,2	11,8	6,6	21
KTT	100	100	100	88,6	73,6	49	35,6	28,2	38
KT1	100	100	41,8	3,2	1,28	1	0	0	29
KT2	100	53,48	1,48	0,6	0,52	0	0	0	12



Şekil 3.1 Beton Karışımlarında Kullanılan Agregaların Granülometri Eğrileri

3.1.2 Çimento

Beton karışımlarında Afyon SET çimento fabrikasının üretimi olan PKÇ 42.5 tipi portland kompoze çimentosu kullanılmıştır. TS EN 197-1'e göre çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri çimento fabrikası laboratuvarında yapılmış ve sonuçların TS EN 197-1'de belirtilen standart değerlere uygun olduğu görülmüştür. Çimentonun kimyasal özellikleri Çizelge 3.4'de fiziksel ve mekanik özellikleri de Çizelge 3.5'de, verilmiştir.

Çizelge 3.4 Çimentonun Kimyasal Özellikleri

Bileşik Adı	% (TS EN 197-1)
Kızdırma Kaybı	1,92 (4)*
Çözünmeyen Kalıntı	0,67 (1,5)*
MgO (Magnezyum Oksit)	2,33 (5)*
SO ₃ (Kükürt Trioksit)	2,91 (3,5)*
C ₃ A (Trikalsialimünat)	8,37

* TS EN 197-1'deki sınır değerler

Çizelge 3.5 Çimentonun Fiziki ve Mekanik Özellikleri

Dayanım Sınıfı	Basınç Dayanımı N/mm ² (TS EN 197-1)			Priz başlama Süresi (TS EN 197-1)	Priz sonu (TS EN 197-1)	Hacim Genleş. mm (TS EN 197-1)	Özgül Yüzey	Özgül Ağırlık (kg/m ³)
	2 günlük	7 günlük	28 günlük					
42,5	26,5 (21)*	38,7 (34)*	46 (42,5)*	2.52 (1sa)	4,36 (10sa)	3 (10)	3685 (3500)	3070

* TS EN 197-1'deki standart değerler

3.1.3 Beton Katkı Maddesi

Çalışmanın yapıldığı günlerde ortam sıcaklığının yüksek olması nedeniyle karışımlarda MR50 SR priz geciktirici süper akışkanlaştırıcı beton katkı maddesi çimento ağırlığının %1 oranında kullanılmıştır. Karışıma suyla karıştırılarak ilave edilmiştir.

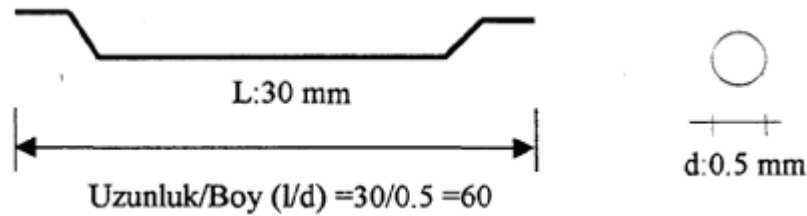
3.1.4 Çelik Lif

Bu çalışmada pilye şeklinde iki ucu bükülü birleştirilmiş lifler kullanılmıştır. Bu liflerin en belirgin özelliği çekme sırasında kopmadan direnç göstermeleridir. Ayrıca beton içerisinde homojen olarak dağılmayı kolaylaştırmak amacıyla özel bir tutkalla (su içerisinde kolayca çözünebilir) birleştirilmiştir. Bu liflerin özellikleri Çizelge 4.6.'da verilmiştir(Bekaert 1988).

Çizelge 3.6 Çelik Lifin Özellikleri

Lif Tipi	Boy (mm)	Çap (mm)	Narinlik Oranı	Çekme Dayanımı (Mpa)	Elastisite Modülü (Mpa)	Özgül Ağırlık (kg/m ³)	Kg.daki Lif Sayısı (Adet)
ZP 30/0,5	30	0,5	60	1250	200000	7480	21770
ZP 80/0,75	80	0,75	106	1250	200000	7480	4774

ZP 30/0,5 tipindeki çelik lifin boyutu şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2 Deneide Kullanılan Çelik Lif Tipi

3.2 Beton Karışımları

3.2.1 Kabul Edilen Esaslar

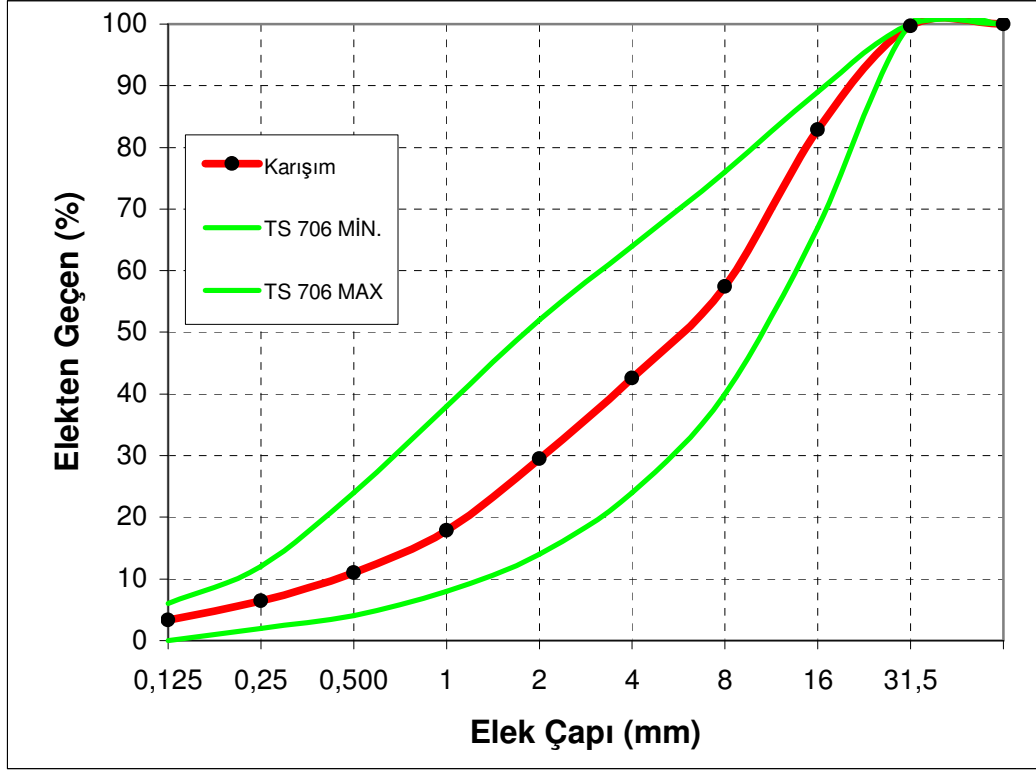
Üretilen betonların 28 günlük karakteristik silindir basınç dayanımlarının 30 MPa'dan az olmaması hedeflenmiştir. Lifli betonların üretiminde maksimum agrega tane boyutu 22 mm olarak seçilmiştir. Agregalar, karışım hesaplarında suya doymun kuru yüzey olarak kabul edilmişlerdir. Karışım agregasının granülometri eğrisi, Şekil 3.3'de hazır beton şartnamesi ve TS 706 EN 12620'da verilen referans eğrileri arasında kalacak şekilde belirlenmiştir. Bütün beton bileşimlerinde çimento dozajı 325 kg/m^3 olarak sabit alınmıştır. Karışıma lif katılması halinde, işlenebilmeyi kolaylaştırmak ve yerleştirme esnasındaki zorlukları aza indirmek amacıyla % 1 oranında katkı kullanılarak etkin su/çimento oranı 0,60 olarak belirlenmiştir. Aynı şekilde karışıma katılacak lif miktarı da işlenebilme özelliği dikkate alınarak 0 ile 60 kg/m^3 arasında seçilmiştir. Beton karışım hesaplarında, karışıma katılacak lif miktarının ağırlıkları da dikkate alınmıştır. Bu bileşimlerde ağırlık olarak ilave edilecek lif miktarları 15, 30, 45 ve 60 kg/m^3 olarak seçilmiştir. 1 m^3 beton karışımında kullanılmış olan malzemelerin kullanılan miktarları Çizelge 3.7.'de verilmiştir.

3.2.2 Beton Üretimi, Karıştırma, Yerleştirme ve Saklama

Bu çalışmada; lif miktarları 0.,15.,30.,45 ve 60 kg/m^3 olan 5 farklı bileşimde beton üretilmiştir. Her seri betona ZP 30/0,5 ve ZP 80/0,75 olmak üzere 2 farklı lif tipi kullanılmıştır. Böylece prizmatik ve silindirik numuneler için toplam 9 seri beton üretilmiştir.

Betonların üretimi, 56 lt. kapasiteli mini betoniyerde karıştırılarak elde edilmiştir. Öncelikle betoniyerde agrega ve çimento 30 sn. karıştırıldıktan sonra lifler bu karışımın üzerine homojen olacak şekilde el ile serpiştirilip 60 sn. daha karıştırılıp 20°C sıcaklığındaki karışım suyu ilave edilmiştir. Karışım suyu edilmiştir.

Karışım suyu ilave edildikten sonra betoniyerde karıştırma işlemine 120 sn. daha devam edilmiştir. Elde edilen taze beton üzerinde birim hacim ağırlık, çökme ve Ve-Be deneyleri yapıp beton sıcaklığı ölçüldükten sonra taze beton tekrar betoniyere konularak 60 sn. daha karıştırılmıştır.



Şekil 3.3 Karışım Agregası Granülometri Eğrisi ve Standart Eğriler

Bu çalışmada 9 seri olduğundan ve betoniyerin hacminin yetersiz olmasından dolayı her bir seri için betoniyerde 100×100×350 mm.'lik prizma ve ø150×300 mm.lik silindirler için 2 karışım yapılmıştır. Kalıplar düzgün yüzeyli metal kalıplar olmalarından dolayı betonun kalıba yapışmasını önlemek için kalıpların yüzeyleri yağlanmıştır. Taze beton kalıba tam doldurulduktan sonra boşluk kalmaması için vibrasyon masasında 20 sn. sarsma işlemine tabi tutulmuştur. Vibrasyondan sonra, kalan boşluk tekrar beton ile doldurulmuş ve yüzeyi mala ve spatula ile düzeltilmiştir.

Kalıplara yerleştirilen betonlar, sıcaklığı 20 ± 2 °C ve nispi (bağıl) rutubeti $\%60\pm 5$ arasında değişen laboratuvar ortamında 24 saat kalıp içinde bekletildikten sonra kalıptan çıkartılarak içerisinde 20 °C su bulunan kür havuzuna yerleştirilmiştir.

1 m^3 betonda bulunan gerçek malzeme miktarları Çizelge 3.7’de verilmektedir. Çizelgede KTT; Kıрма Taş Tozu, KT; Kıрма Taş, Ç; çimento, Lif M; Lif Miktarı, olarak belirtilmiştir.

Çizelge 3.7 1 m^3 Betonda Bulunan Gerçek Malzeme Miktarları

Beton Türü	Ç (kg)	Su (kg)	Katkı (kg)	Lif M. (kg)	Doğal Kum 0-3 mm	KTT 3-6 mm	KT1 6-12 mm	KT2 12-22 mm
LB0	324,74	191,9	3,24	0	377,69	691,44	539,56	222,82
LB15B	324,35	191,6	3,24	14,97	376	688,2	536,92	221,34
LB30B	323,71	191,2	3,23	29,88	374,5	685,25	534,86	220,12
LB 45B	324,03	191,4	3,24	44,86	373,87	683,94	533,4	220,34
LB60 B	323,7	191,2	3,23	59,76	371,51	681,27	530,87	219,12
LB15K	321,78	190,1	3,21	14,85	373,07	682,77	532,67	219,6
LB30K	323,71	191,2	3,23	29,88	374,5	685,26	534,86	220,12
LB45K	322,1	190,3	3,22	44,6	371,65	679,88	530,23	219,03
LB60K	324,35	191,6	3,24	59,88	372,25	686,63	531,93	219,56

Üretilen betonların, sertleşmiş beton deneylerinden olan basınç, ultrases hızı ve eğilme dayanımı gibi mekanik özelliklerini belirlemek için $100\times 100\times 350$ mm.’lik prizma şeklindeki numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Eğilme deneyinden artan parçaların düzgün yüzeyleri üzerine 100×100 mm. ebadında çelik başlıklar konularak presin çeneleri arasına bu şekilde tutturulmak suretiyle basınç dayanımları ölçülmüştür.

Lifli ve liffsiz betonların gerilme-şekil değiştirme grafiklerini çizebilmek için 150 mm. çapında, 300 mm. yüksekliğinde silindirler kullanılmıştır.



Şekil 3.4 Deneylerde Kullanılan kalıplar

3.3 Beton Üzerinde Yapılan Deneyler ve Kullanılan Yöntemler

3.3.1 Taze Beton Deneyleri

Taze betonun vazgeçilmez ve çok önemli özellikleri olan kıvam ve birim ağırlık tespiti yapılmıştır. Birim Hacim Ağırlık (taze beton) TS EN 12350-6'ya göre Kıvam ise TS EN 12350-3'te verilen Ve-Be metodu ile betonlar kalıplara dökülmeden önce, 7 dm^3 lük kalıba doldurularak bulunmuştur. Taze betonun birim ağırlık değerleri yardımıyla üretilen betonların bileşimi içerisine giren malzeme miktarları ve gerçek hava boşluğu hesaplanmıştır. Ayrıca Slump deneyi ile kıvam tayin edilmiştir. Kıvam için kullanılan Ve-Be tespit cihazı ve bir kronometre temin edilmiştir.

Birim ağırlık tespiti için, kalıplar dökümden önce ve beton üç kademedeki sıkıştırılarak doldurulduktan sonra tartılmıştır. Kalıbın tam dolu olmasına ve betonun üstten taşmamasına dikkat edilmiştir. Numune ağırlığı kap hacmine bölünerek birim hacim ağırlıklara ulaşılır. Aşağıda taze beton birim ağırlığının bulunuş formülü verilmiştir.

$$\Delta = \frac{W_{bk} - W_{kap}}{V_{kap}}$$

Δ = Taze betonun birim ağırlığı, kg/m³

W_{bk} = Taze beton + kap ağırlığı

W_{kap} = Kabın ağırlığı

V_{kap} = Kabın hacmi

Ve-Be deneyi için hunisi vasıtasıyla kesik koniye taze beton üç kademeli ve sıkıştırılarak doldurulmuş ve hunisi çekilerek yüzeyi düzeltilmiştir. Daha sonra kesik konisi de çekilerek, saydam disk beton yüzeyine temas edecek şekilde ayarlanmıştır. Vibrasyon masası titreşime başladığı anda kronometre çalıştırılmış ve bitiş anında saniye değeri ile saydam diskin bağlı olduğu çubuk üzerindeki çökme değeri okunmuştur.

Çökme deneyi, hazırlanan beton karışımı, çelik saçtan üretilmiş deney aletine üç eşit tabaka halinde, her tabaka 25 kez şişlenmek suretiyle doldurulmuş yapılmıştır. Kalıp tamamen dolduktan sonra üst yüzey mala ile düzeltilerek, hiç vakit kaybetmeden koni düşey doğrultuda sarsıntıya imkân vermeden yukarıya doğru çekilmiştir. Sonuçta beton kendi ağırlığınca bir miktar çökmesi ile kesik koninin üst yüzeyi ile çöken beton yığınının tepe noktası arasındaki mesafeden betonun çökme değeri okunmuştur.

Ayrıca her karışımda havametre cihazı ile karışımındaki hava miktarı yüzde olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.5 Çökme Deneyi

3.3.2 Sertleşmiş Beton Deneyleri

Sertleşmiş beton numuneleri üzerinde 7., 28. ve 56. günlerde aynı deney programı uygulanmıştır. Numuneler ultrases hızı, eğilme ve basınç dayanımı ve donma-çözülme dayanımı deneylerine tabi tutulmuşlardır.

Deneyin ultrasonik ses cihazı ile uygulanışı Şekil 3.6'da görülmektedir. Cihazda her okumadan önce betonla temas edecek silindir kısımlar gres yağı ile yağlanmıştır. Tüm numuneler ölçüldükten sonra, ölçülen numune kalınlığı, ölçülen ses geçiş süresine bölünerek, ultrasonik ses hızı değeri hesaplanmıştır. Ultrasonik ses hızı değerleri çizelge haline getirilmiştir. Ultrases hızı deneyleri Matess marka 55 khz kapasiteli ultrases cihazı ile yapılmıştır. Tüm numuneler ölçüldükten sonra, ölçülen numune kalınlığı, ölçülen ses geçiş süresine bölünerek ultrases hızı değeri hesaplanmıştır.

$$V = \frac{L}{t} \times 10$$

V : Sesüstü dalga hızı, (km/sn)

L : Beton bloğun sesüstü dalga gönderen yüzeyi ile dalga hızının alındığı yüzeyi arasındaki mesafe, metre

t : Sesüstü dalganın gönderilmiş olduğu beton yüzeyinden alındığı kadar geçen zaman, mikrosaniye

Beton eğilme dayanımı tespiti prizmatik numuneler üzerinde TS EN 12390-5'e uygun olarak orta noktadan yapılmış ve bu numuneler 7, 28 ve 56 günlük dayanımları üç numune ortalaması alınarak tespit edilmiştir. Bilgisayar kontrollü olarak çalışan basınç cihazı üzerine özel olarak yerleştirilmiş ve numunenin oturabileceği mesnet kısmı aparatı deneye başlamadan önce yük tablaları arasına yerleştirilmiştir. Numuneler, üstte orta noktadan yükleme yapabilen aparat ve numunenin oturacağı mesnet kısmı aparatı arasına yan (düzgün) yüzeyleri alt ve üste gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Yüklemeye başlamadan önce ani yükleme durumunu önlemek için, cihazın tablaları arasına numune üzerine tam temas

etmesi sağlanmıştır. Kullanılan sistemde numunelerin mesnet açıklıkları 30 cm. olarak alınmıştır.

Beton basınç dayanımı tespiti eğilme dayanımı deneyinden arta kalan parçalar üzerine 100×100 mm.'lik çelik plakalar arasında 200 ton kapasiteli ALFA marka presin tablaları yarasına erleştirilerek TS EN 12390-3'e uygun olarak yapılmıştır. Yükleme 2,5 kgf/cm²/sn.'lik sabit bir hızda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.6 Deneyde Kullanılan Pres ve Ultrases Hızı Ölçüm Cihazı

Betonların donma çözülme dayanımını tespit etmek için eğilme dayanımı deneyinden arta kalan parçalar donma çözülme çevrimine tabi tutulmuşlardır. Her 3 tane deneye tabi tutulup ortalaması alınmıştır. TS 3449'a uygun olarak bu çevrimde numuneler derecesi -20(±2)°C olan dondurucuda 2 saat donmaya sonra

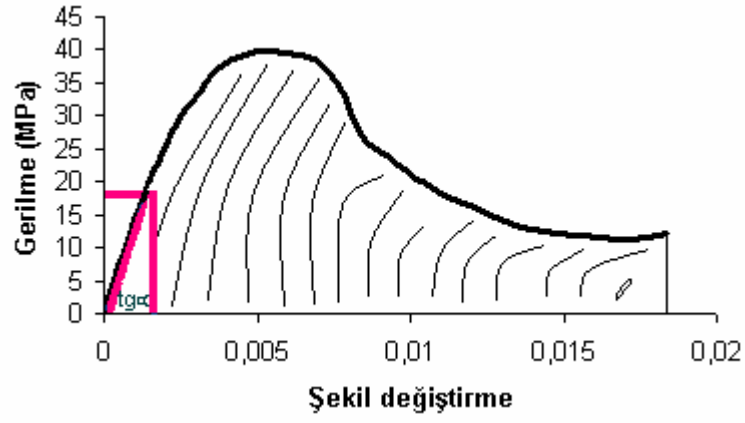
1 saat su içerisinde çözülmeye tabi tutulmuştur. Bu çevrim 30 periyotu tamamlayınca kadar devam ettirilmiştir. Çevrimi biten numuneler 24 saat laboratuvar ortamında bekletildikten sonra basınç dayanımı deneyine tabi tutularak donma çözülme dayanımı sonuçları elde edilmiştir.

Üretilen betonların elastik davranışlarını belirlemek amacıyla TS 3502'ye uygun olarak kısa süreli basınç deneylerinde boyuna şekil değiştirmelerin ölçümlerinde, numune üzerine takılan ve ekseninde 160mm'lik ölçü boyutuna sahip bir aksenal deformasyon çerçevesinden yararlanılmıştır. Çerçeve numunenin üzerine özel vidalarla tutturulmaktadır(Şekil 3.8). Bu çerçeveye takılan stretchgage yardımıyla her 25 N yükte birim kısaltmalar okundu. Numuneler 0,25 N/mm²/sn.'lik sabit yük altında kırılmıştır. Okunan değerler yardımıyla şekil değiştirmeler ($\Delta L/L$) hesaplanarak düşey ekseninde gerilmeler yatay ekseninde şekil değiştirmeler olmak üzere bilgisayar ortamında gerilme şekil değiştirme eğrileri çizilmiştir. Tekrarsız yüklemde numunenin kırılmasına kadar birim hacim başına yapılan işe "Kırılma şekil değiştirme işi" adı verilir. Bunun değeri olağan gerilme-şekil değiştirme eğrisinin altında kalan alana eşittir. Her iki lif tipi için ve lifsiz beton için gerilme şekil değiştirme eğrilerinin altındaki tüm alan Matlab 7.0 programı yardımı ile hesaplanmıştır. Ve böylece enerji yutma kapasiteleri elde edilmiştir. Boyuna şekil değiştirme ölçme düzeni Şekil 3.7'de görülmektedir.



Şekil 3.7 Silindir Numunelerde Yük-Birim Boy Kısalma Ölçümü

Elastisite Modülünün saptanmasında gerilme-şekil değiştirme diyagramında maksimum basınç dayanımının %40'na tekamül eden noktadan orijine çizilen doğrunun eğimi "Secand Modülü Yöntemiyle" hesaplanmıştır(Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Enerji Yutma Kapasitesini Belirten Taralı Alan Kısmı

4. DENEY SONUÇLARI

Bu bölümde; üretilen betonlara ait deney sonuçları taze ve sertleşmiş beton deney sonuçları olarak iki başlık altında incelenmiş ve sonuçlar çizelgeler halinde verilmiştir.

4.1 Taze Beton Deney Sonuçları

Taze beton özellikleri, Çizelge 4.1’de gösterilmiştir. Burada verilen hava boşluğu, taze betonun birim hacim ağırlık sonuçlarına göre hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1. Taze Beton Deney Sonuçları

Beton Türü	TBA (Kg/m ³)	Çökme (cm)	Ve-Be (sn)	Hava Gerçek (%)	Havametre (%)
LB0	2351	17	2,8	1,30	3
LB15B	2356	16	3,2	1,47	3,2
LB30B	2360	14	3,5	1,60	3,5
LB45B	2374	10	4	1,50	3,7
LB60B	2380	8	4,6	1,65	3,8
LB15K	2328	15,5	3	2,25	3,4
LB30K	2350	14,5	3,5	1,62	3,5
LB45K	2360	13	3,9	2,10	3,6
LB60K	2384	10	4,5	1,32	3,8

4.2 Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

Üretilen beton numuneleri iki ayrı grupta incelenerek değerlendirilmiştir. Bunlardan birincisi prizmatik numunelere ait, ikincisi silindirik numuneler üzerinde yapılan sertleşmiş beton deneyleridir.

Prizmatik numuneler üzerinde yapılan 7.,28. ve 56 günlük ultrases hızı, eğilme ve basınç dayanımı deneylerinde elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2, Çizelge 4.3, Çizelge 4.4, Çizelge 4.5, Çizelge 4.6,'de verilmiştir.

Çizelge 4,2 Betonların Ultrases Hızı ve Rölatif Değerleri

Beton Türü		Ultrases Hızı					
Lif Tipi	Lif Miktarı (kg)	7. Gün		28.Gün		56.Gün	
		(km/sn)	(%)	(km/sn)	(%)	(km/sn)	(%)
Şahit	0	4,24	97,47	4,35	100	4,55	104,6
Büyük Lif	15	4,37	100,46	4,57	105,06	4,58	105,29
	30	4,39	100,92	4,59	105,52	4,64	106,67
	45	4,4	101,15	4,63	106,44	4,75	109,2
	60	4,31	99,08	4,53	104,14	4,52	103,91
Küçük Lif	15	4,35	100	4,49	103,22	4,58	105,29
	30	4,38	100,69	4,51	103,68	4,62	106,21
	45	4,45	102,3	4,55	104,60	4,71	108,28
	60	4,29	98,62	4,51	103,68	4,49	103,22

Çizelge 4,3 Betonların Eğilme Mukavemetleri ve Rölatif Değerleri

Beton Türü		Eğilme Mukavemeti					
Lif Tipi	Lif Miktarı (kg)	7. Gün		28.Gün		56.Gün	
		(MPa)	(%)	(MPa)	(%)	(MPa)	(%)
Şahit	0	3,9	56,36	6,92	100	8,1	117,05
Büyük Lif	15	4,62	66,76	8,51	122,98	8,65	125
	30	4,81	69,51	8,74	126,3	9,72	140,46
	45	5,44	78,61	9,12	131,79	10,76	155,49
	60	5,93	85,69	9,63	139,16	12,67	183,09
Küçük Lif	15	4,22	61,13	7,72	111,56	8,56	123,7
	30	4,8	69,36	8,10	117,05	9,63	139,16
	45	5,03	72,69	8,9	128,61	10	144,51
	60	5,5	79,48	9,31	134,54	11,13	160,84

Sonuçları mutlak değerleriyle beraber, şahit numune (lif katkısız)'nin 20°C'de laboratuvar ortamında saklanan 28 günlük deneylerde elde edilen değerlerine oranlanarak yüzde cinsinden rölatif değerleri de verilmiştir. Böylece üretilen betonlara ait sonuçların değerlendirilmesi ve irdelenmesi bu değerlere göre

yapılmıştır. Ultrases hızı, basınç ve eğilme dayanımına ait deney sonuçlarının hesaplanmasında basit mukavemet formüllerinden yararlanılmıştır.

Çizelge 4,4 İlk Çatlak Genişliği

Beton Türü		İlk Çatlak Genişliği (mm.)		
Lif Tipi	Lif Miktarı (kg)	7. Gün	28.Gün	56.Gün
Büyük Lif	15	0,6	0,6	0,6
	30	0,4	0,25	0,4
	45	0,25	0,2	0,1
	60	0,2	0,2	0,09
Küçük Lif	15	0,3	0,2	1
	30	0,2	0,25	0,3
	45	0,2	0,2	0,2
	60	0,2	0,1	0,1

Çizelge 4.5 Betonların Basınç Mukavemetleri ve Rölatif Değerleri

Beton Türü		Basınç Mukavemeti					
Lif Tipi	Lif Miktarı (kg)	7. Gün		28.Gün		56.Gün	
		(MPa)	(%)	(MPa)	(%)	(MPa)	(%)
Şahit	0	28,56	84,75	33,7	100	42,4	125,82
Büyük Lif	15	31,76	94,24	39,84	118,22	47,18	140
	30	33,8	100,3	43,9	130,27	52,22	154,96
	45	35,45	105,19	49,14	145,82	52,97	157,18
	60	33,21	98,55	45,52	135,07	52,43	155,58
Küçük Lif	15	31,45	93,32	37,35	110,83	43,37	128,69
	30	32,39	96,11	38,3	113,65	46,82	138,93
	45	36,4	108,01	46,1	136,8	51,75	153,56
	60	31,19	92,55	42,11	124,96	50,08	148,61

Çizelge 4.6 Elastik Değerler

Lif Tipi	Lif Miktarı (kg/m ³)	Elastise Modülü (MPa)	Enerji Yutma Kapasitesi (MPa)
Şahit	0	20023	0,0788
Büyük Lif	15	18486	0,2877
	30	14261	0,4049
	45	26275	0,3173
	60	27964	0,4818
Küçük Lif	15	40193	0,1415
	30	15837	0,5654
	45	23855	0,3957
	60	29007	0,5151

Çizelge 4.7 Betonların Donma-Çözülme Mukavemetleri ve Rölatif Değerleri

Beton Türü		Basınç Mukavemeti			
Lif Tipi	Lif Miktarı (kg)	7. Gün		28.Gün	
		(Mpa)	(%)	(Mpa)	(%)
	0	31,12	92,34	31,67	93,98
Büyük Lif	15	32,64	96,85	40,71	120,80
	30	35,43	105,13	49,79	147,74
	45	39,18	116,26	43,55	1129,23
	60	43,27	128,40	46,07	136,71
Küçük Lif	15	28,72	85,22	36,04	106,94
	30	27,9	82,79	34,94	103,68
	45	31,9	94,66	38,72	114,90
	60	35,07	104,07	38,75	114,99

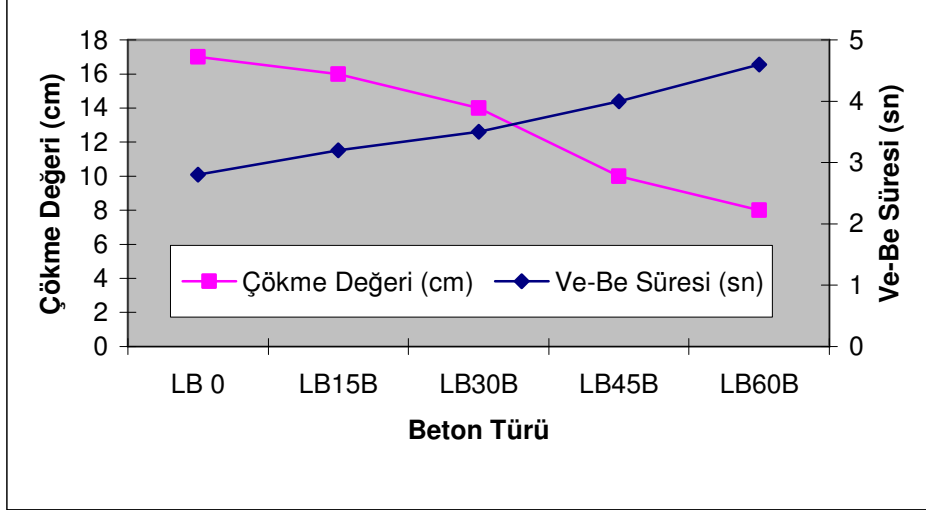
5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde; üretilen beton numunelere ait taze ve sertleşmiş beton deneylerinden elde edilen sonuçlara göre değerlendirilmesi yapılacaktır.

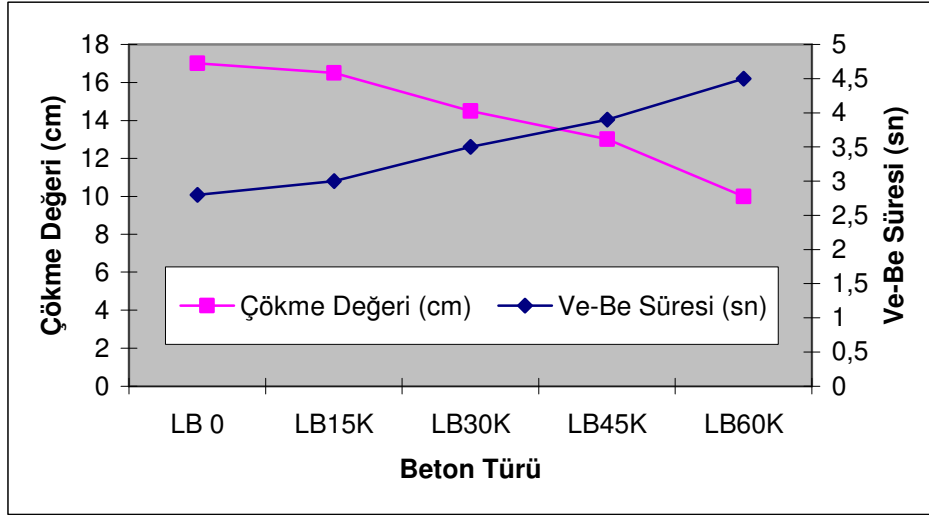
5.1 Taze Beton Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada lifsiz LB0 ve her iki lif tipi için 0, 15, 30, 45 ve 60 kg/m³ lif içeren LB5B, LB30B, LB45B, LB60B, LB15K, LB30K, LB45K, LB60K olarak adlandırılan 5 farklı oranda beton numuneler üretilmiştir.

Taze beton özelliklerinden çökme değeri ile Ve-Be süresini numunenin içerdiği lif miktarının nasıl etkilediği Şekil 5.1 ve 5.2’de gösterilmektedir.



Şekil 5.1 Taze Beton Özellikleri (BL)



Şekil 5.2 Taze Beton Özellikleri (BL)

Şekil 5.1 ve 5.2 incelendiğinde her iki lif tipi içinde lif miktarı arttıkça çökme değeri düşmekte, bununla beraber Ve-Be süresi ise artmaktadır. Örneğin; LB15B'nin çökme değeri 16 cm, Ve-Be süresi 3,2 sn civarında iken LB60B'de çökme değeri 8 cm.'ye düşmüş, Ve-Be süresi ise 4,6 sn.'ye yükselmiştir.

Burada lif miktarının artması ile birlikte lifin narinlik oranını artması da işlenebilirliği olumsuz yönde etkilediği gözlenmiştir.

5.2 Sertleşmiş Beton Özelliklerinin Değerlendirilmesi

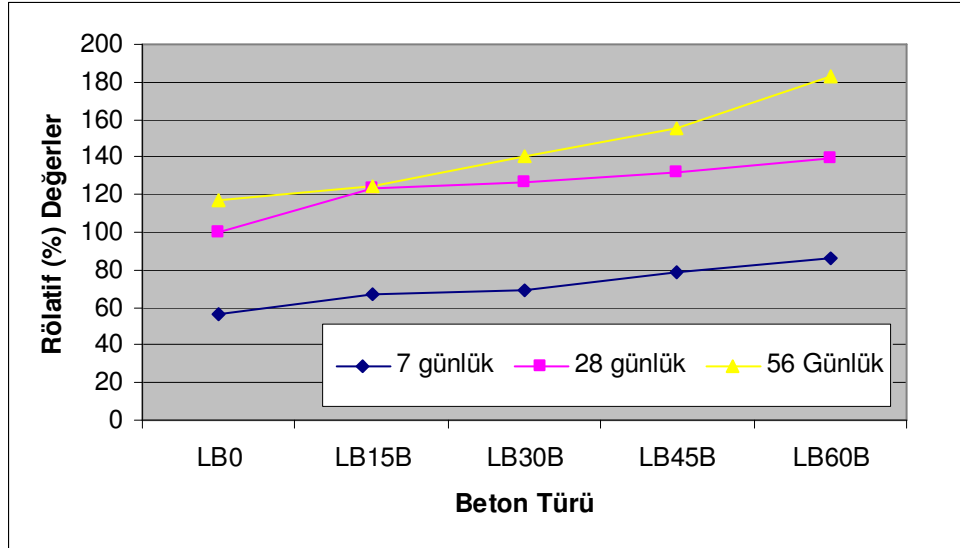
Beton içerisine ilave edilen çelik liflerin betonun hem taze hem de sertleşmiş beton özelliklerine, özellikle eğilme dayanımı üzerinde önemli etkiler yaptığı literatür çalışmalarında belirtilmektedir. Burada farklı lif tipinin betonun bu özelliklerini nasıl etkilediği elde edilen sonuçlara göre açıklanmaya çalışılacaktır.

5.2.1 Eğilme Dayanımı Sonuçlarının Değerlendirilmesi

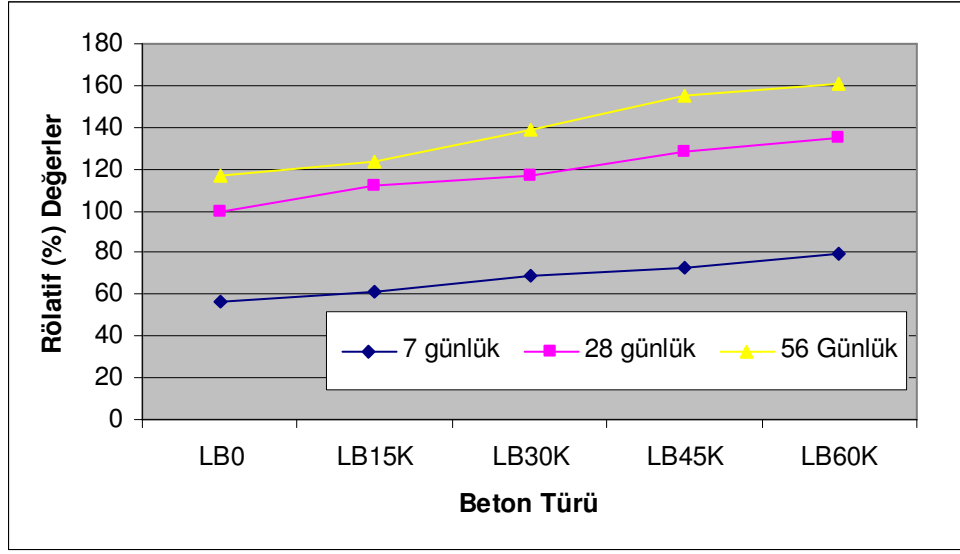
Günümüzde gelişen beton teknolojisinde, dayanıklılık kadar dayanım da önem kazanmaktadır. Betonlar tasarlanan hizmet süreleri boyunca, çeşitli fiziksel ve kimyasal etkilere maruz kalmaktadır. Bu hizmet süresi içinde betonun göstereceği performans, betonun dayanıklılığını göstermektedir. Son 25 yılda kaydedilen ilerleme sonucu lifli betonların kullanım alanları hızla artmıştır. Özellikle prefabrike yapı elemanları üretiminde, titreşim etkisinde kalan saha elemanlarında kullanılması ile beton içerisinde oluşan çatlakların ilerlemesi lifler sayesinde önlenmektedir. Buda dayanımı arttırmaktadır.

Bu açıdan, genellikle eğilme dayanımının önemli olduğu yapı elemanları üretiminde kullanılan lif tipinin betonların eğilme dayanımını ne şekilde değiştirdiğini incelemek bu çalışmanın esas amacını oluşturmaktadır.

Lifsiz ve her iki lif tipindeki betonların 7., 28., ve 56. günlerdeki eğilme dayanımları zamana bağlı olarak artmaktadır.



Şekil 5.3 Eğilme Dayanımı Sonuçları (BL)



Şekil 5.4 Eğilme Dayanımı Sonuçları (KL)

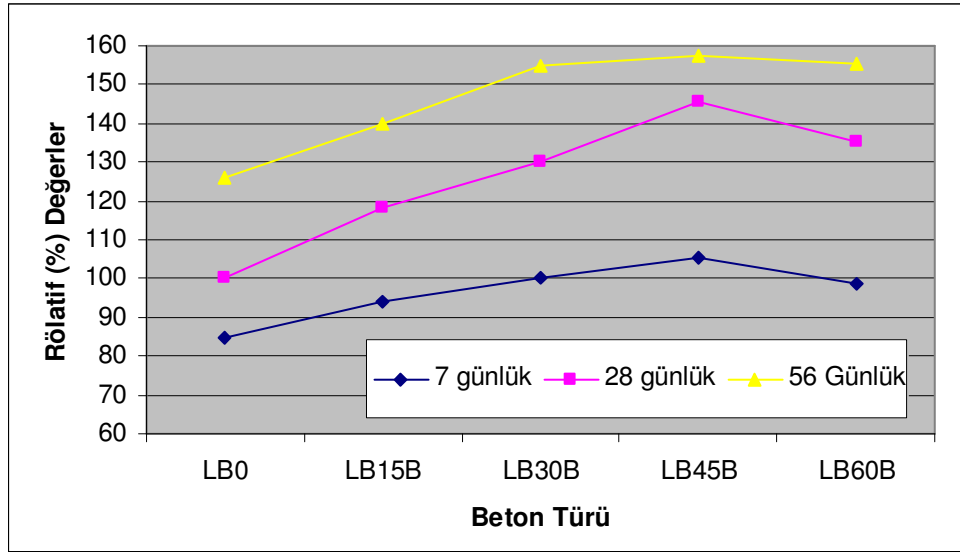
Şekil 5.3 ve 5,4'e bakıldığında eğilme dayanımına her iki lif tipinde de lif miktarının artmasıyla eğilme dayanımı belirgin bir şekilde artış göstermiştir. LB15B'da 28 günlük eğilme dayanımı 8,51 MPa iken LB60B'nin 28 günlük eğilme dayanımı 9,63 MPa'a yani %16,18 artış göstermiştir. LB0'a göre ise yaklaşık olarak %39,16 oranında artış kaydetmiştir. Bu durum LBK içinde geçerlidir. Eğilme dayanımı lif miktarına göre artış gösterdiği gibi zamana bağlı olarak da artış göstermiştir. 7 günlük LB30K'nın eğilme dayanımı 4,80 MPa iken bu değer aynı numunenin 28 günlük eğilme dayanımında 8,10 MPa ve 56 günlük de ise 9,63 MPa'a yükselmiştir. Bu durum LB15B, LB15K, LB45B, LB45K, LB60B ve LB60K içinde aynı olarak gözlemlenmiştir

Yük altında lifsiz beton kırılarak 2 parçaya ayrıldığı halde her iki lif tipindeki betonlarda, numuneler yük altında çatladığı halde yük almaya devam etmiştir. Yani liflerle güçlendirilmiş beton, lifsiz beton gibi iki parçaya ayrılmamıştır. Genel olarak çatlak genişliği 0,2 mm. mertebesinde kalmıştır.

5.2.2 Basınç Dayanımı Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Lifli betonun matrisi bir bütün halinde kalarak kırılmadan sonra dağılmamıştır. Kırılma esnasında, matrisin dağılma miktarının; lif miktarı ve uzunluğuna bağlı olduğu anlaşılmıştır. Lif miktarı ve uzunluğu arttıkça, çatlakların oluşum hızı ve büyümesi yavaşlayarak, dağılma gecikmiştir. Lifsiz betonda çatlaklar oluşuktan sonra bu çatlakların hemen büyüyerek çabuk kırılmaya yol açtığı görülmüştür.

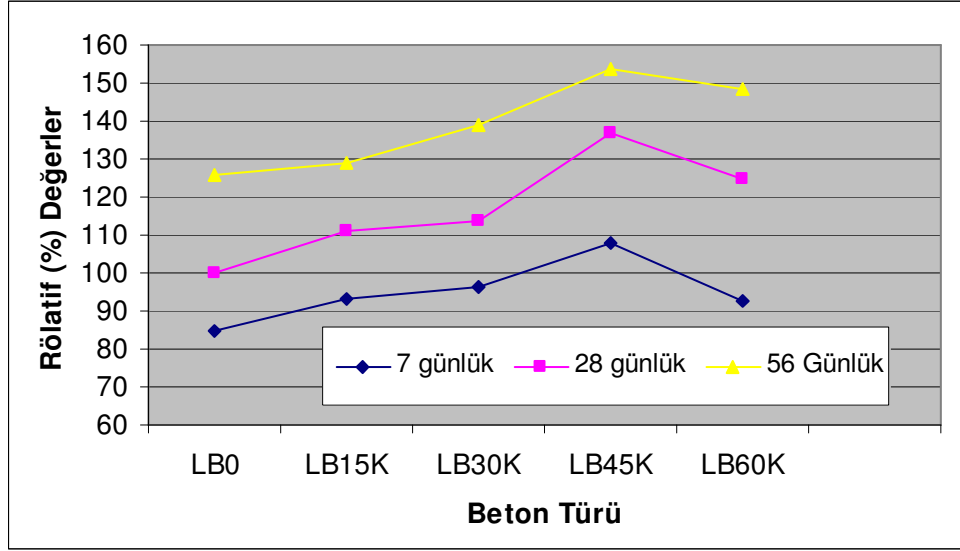
Basınç dayanımı; çelik liflerle güçlendirilmiş betonlar üzerinde yapılmış değişik araştırma sonuçlarına göre, lifler betonun basınç dayanımını her zaman doğrudan etkilememekte, % 25 seviyesinde basınç dayanımı artışı görülebileceği gibi bazen de bu düzeyde kaybı ortaya çıkmaktadır. Hacimsel lif yüzdesinin % 0,5'ten yüksek oluşunun basınç açısından olumlu bir etki yapmadığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 5.5 Basınç Dayanımı Sonuçları (BL)

Her iki lif tipine sahip betonların basınç dayanımları lifsiz betona göre arttığı gözlenmiştir. Ancak belirli bir lif hacminden sonra beton numunenin içerisindeki hava miktarının artışından dolayı numunelerin basınç dayanımlarında bir düşüş meydana geldiği gözlenmiştir. Örneğin her iki lif tipi 45 kg/m^3 lif içeriğine kadar

hem lif miktarına bağılı olarak hem de zamana bağılı olarak artış gösterirken bu lif miktarından sonraki lif içeriğine sahip numunelerin basınç dayanımlarında düşüş meydana gelmiştir. 28 günlük LB45B'nin basınç dayanımı 49,14 Mpa iken LB60B'nin 45,52 MPa'dır. Yaklaşık %10,75'lik bir basınç kaybı oluşmuştur. Bu durum küçük lif içeren numunelerde de gözlenmiştir.

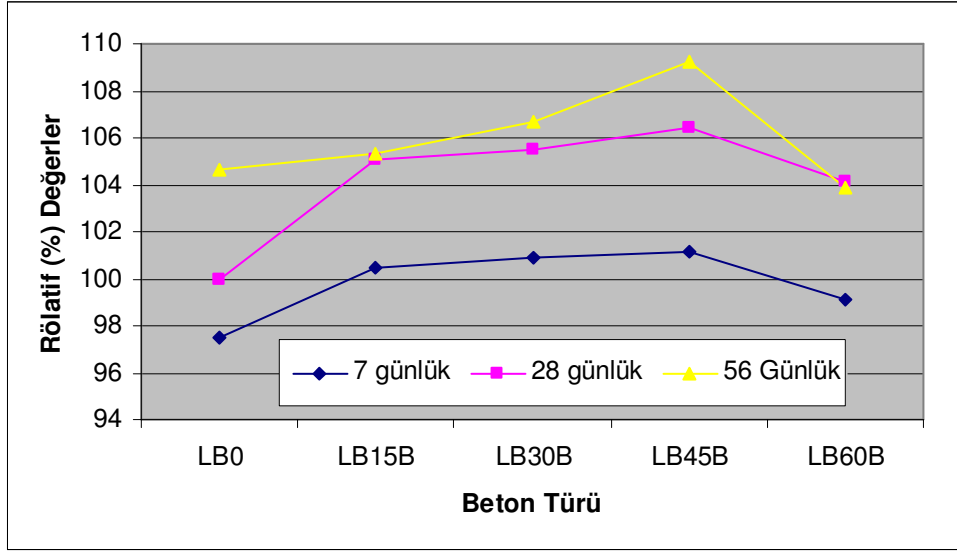


Şekil 5.6 Basınç Dayanımı Sonuçları (KL)

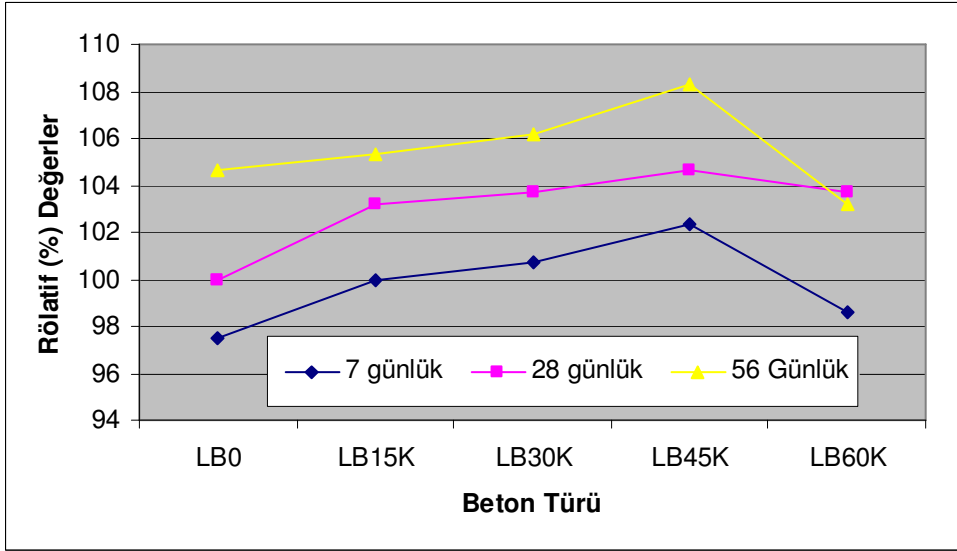
5.2.3 Ultrases Hızı Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu bölümde; lifli beton lif tipinin ultrases hızına lif tipinin ne şekilde etki yaptığı incelenmiştir. Genel olarak normal betonun basınç dayanımı ile ultrases hızı arasında bir ilişki olduğu bilinmektedir. Ultrases hızı betonun boşluk yapısıyla ilgilidir. Betonda boşluk miktarı arttıkça ultrases hızı azalmakta buna bağılı olarak basınç dayanımı azalmaktadır.

Bu çalışmada her iki lif tipi içinde elde edilen sonuçlar Şekil 5.7 ve 5.8 incelendiğinde ultrases hızında çok büyük farklılıklar görülemedi.



Şekil 5.7 Ultrases Geçiş Hızı Sonuçları (BL)

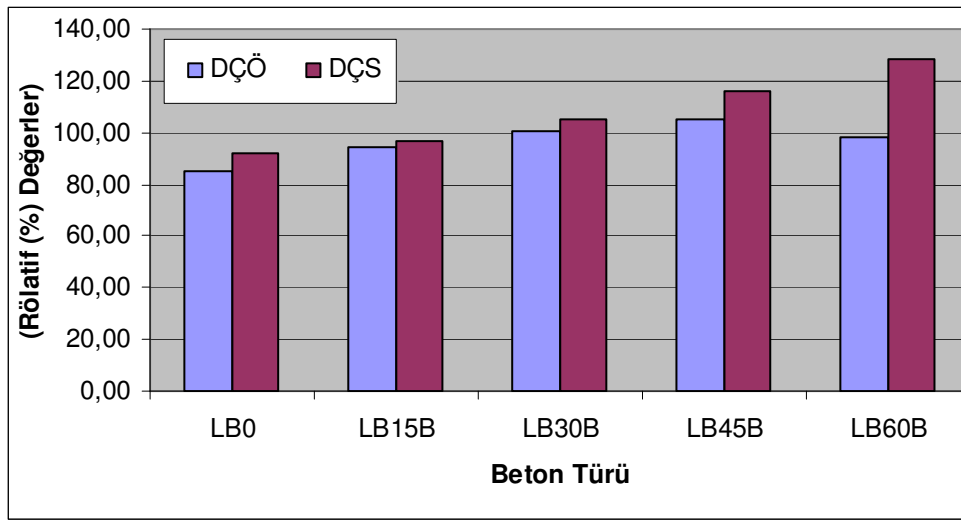


Şekil 5.8 Ultrases Geçiş Hızı Sonuçları (KL)

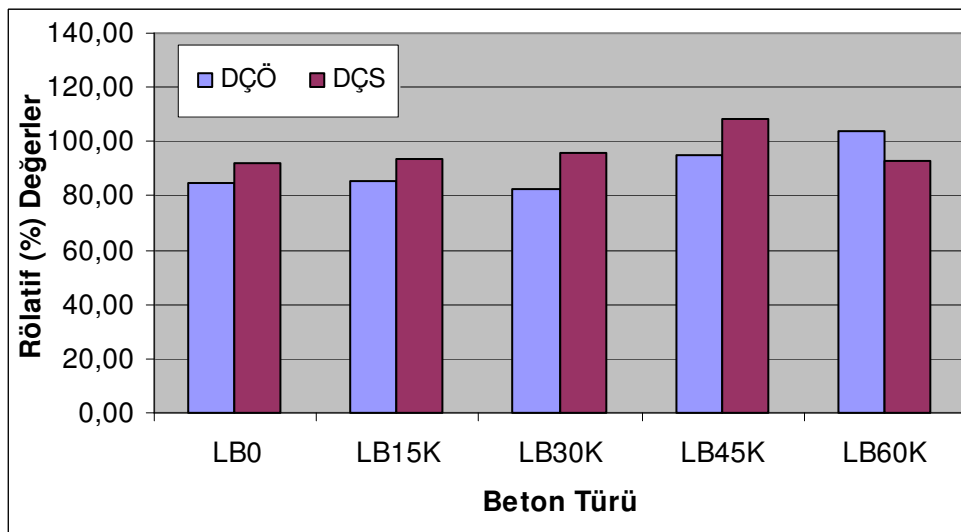
5.2.4 Donma Çözülme Dayanımı Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Donma çözülmeye maruz bırakılan her iki lif tipine sahip numunelerin yüzeylerinde pullanmalar görülmekle beraber bazı numunelerin genellikle köşe kısımlarında parça kopmalar meydana gelmiştir. Buna rağmen Şekil 5.9 ve 5.10'da görülebileceği gibi her iki lif tipine sahip ve donma çözülme etkisine

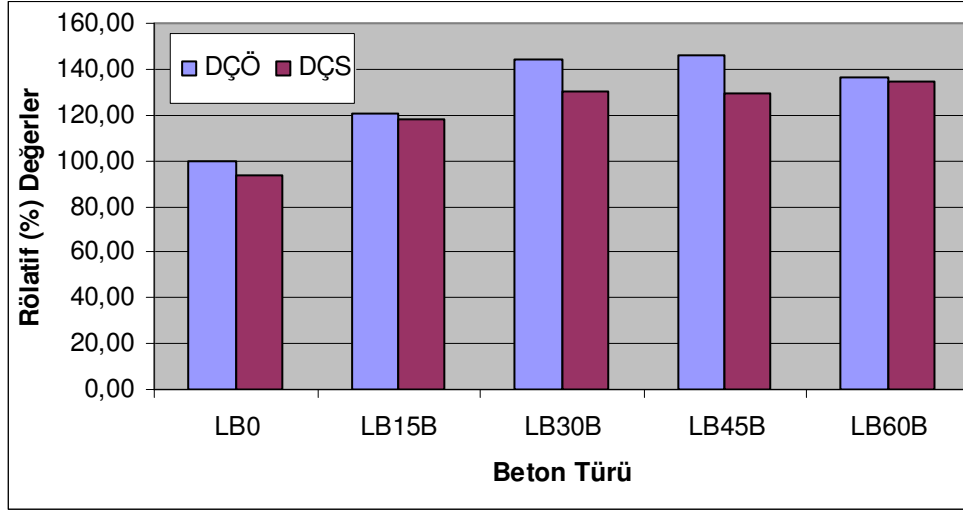
maruz 7 günlük betonların donma çözölmeye maruz kalmayan diğer 7 günlük numunelere kıyasla daha yüksek bir dayanım göstermişlerdir. Bunun nedeni donma çözölmeye maruz betonların donma çözölmeye maruz kalmayanlara göre yaklaşık 6 gün sonra kırılmış olmalarına bağlanabilir. Çünkü bu sürede numuneler donma çözölmeye maruz kalmakla beraber betonun yaşının artması ile betonlar dayanım kazanmaya devam etmişlerdir. Şekil 5.11 ve 5.12'ye baktığımızda 28 günlük numuneler üzerinde donma çözölmeye etkisinin daha fazla olduğunu görülür.



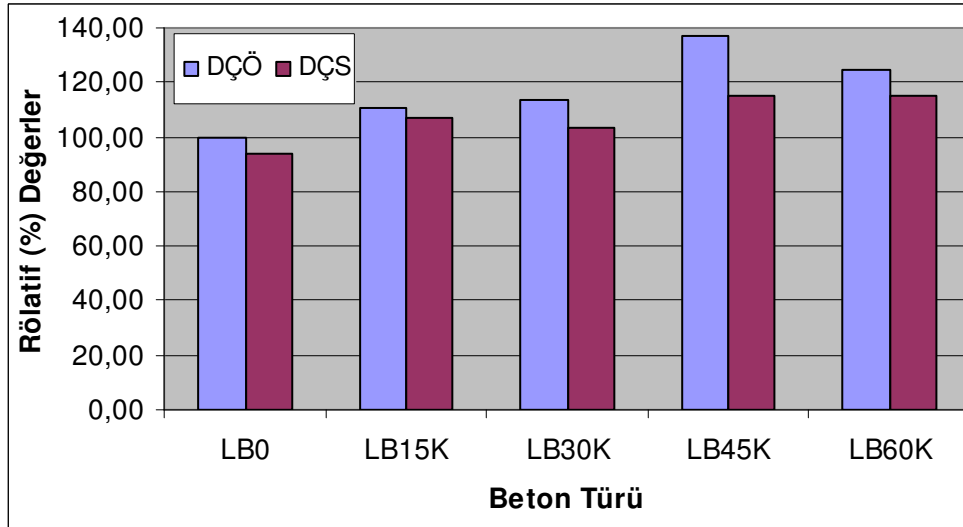
Şekil 5.9 7 Günlük Numunelerin Çevrim Öncesi ve Sonrası Basınç Dayanımları (BL)



Şekil 5.10 7 Günlük Numunelerin Çevrim Öncesi ve Sonrası Basınç Dayanımları (KL)



Şekil 5.11 28 Günlük Numunelerin Çevrim Öncesi ve Sonrası Basınç Dayanımları (BL)



Şekil 5.12 İçin 28 Günlük Numunelerin Çevrim Öncesi ve Sonrası Basınç Dayanımları (KL)

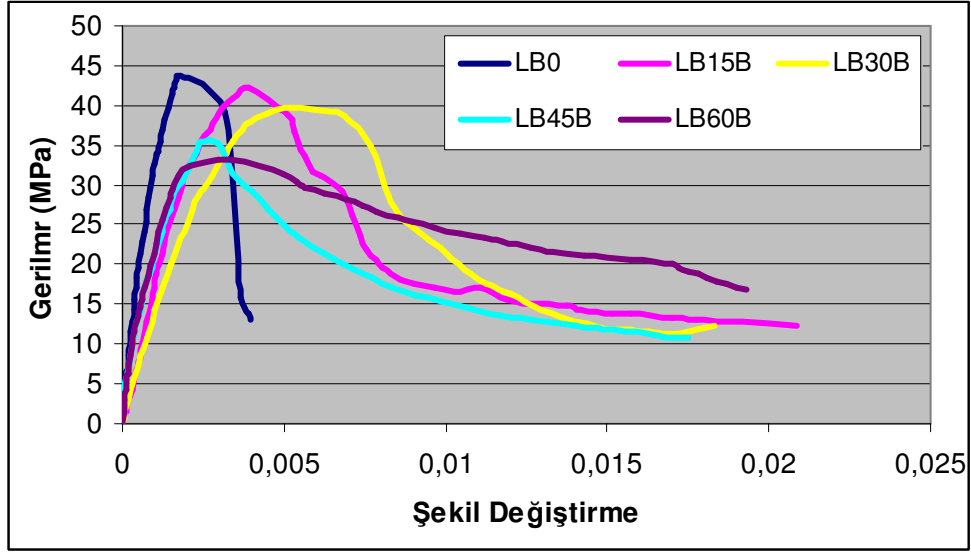
5.2.5 Elastisite Modülüne Ait Sonuçların Değerlendirilmesi

Betona lif katılması betonun boşluk yapısını arttırmakta ve kusurlu bir yapı oluşturmaktadır. Ayrıca betona katılan lif miktarının artmasıyla yeni lif-matris ara yüzeylerinin ortaya çıkması ve bu ara yüzeylerinde oluşan mikro çatlaklar kusur etkisi yaparak ilk çatlak dayanımını azaltmakta olduğu söylenebilir.

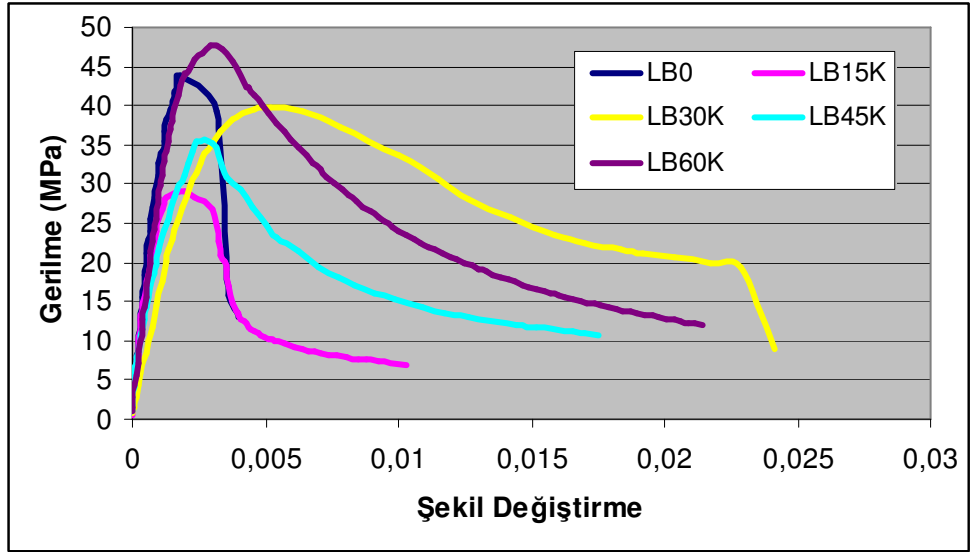
Betona katılan lif miktarı arttıkça şekil değiştirme oranlarının arttığı ortaya çıkmıştır. Betona katılan lifler genellikle ilk çatlak dayanımını azaltmasına karşın, matris fazında ilerlemek isteyen çatlaklar lifler tarafından bağlandığı için betonun maksimum dayanımına ulaşmasını geciktirmektedir. Bu durum betonun sünekleşmesi olarak nitelenmektedir. Bu suretle hem basınç dayanımı hem de bu noktadaki şekil değiştirme daha büyük değerler alabilmektedir. Nitekim, liflerin etkisinin esas olarak çatlamadan sonra daha belirgin olduğunu diğer araştırmacılar da söylemektedir.

Liflerin başlıca rolünün betonda oluşan çatların matris içerisinde ilerlemelerin yavaşlatılması olduğu daha önceki çalışmalarda belirtilmektedir. Bu suretle maksimum yükten sonra, lifli betonlarda, artan şekil değiştirme oranına karşı yükün azalma hızı normal betonlara göre daha yavaştır. Dolayısıyla liflerin matristen ayrılmaları ve uzamaları nedeniyle emilen enerji lifli betonlarda oldukça fazladır. Lifsiz ve lifli betonlara ait gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin alçalan kısımlarının eğimlerinin lifli betonlarda daha düşük olmasıda, liflerin betonun sünekliliğini arttırdığı şeklinde yorumlanmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalarda, beton içerisine katılan liflerin çatlak oluşumunu geciktiren enerji emme kapasitesini artırmakta olduğu ve oluşan çekme gerilmelerinin bir kısmını liflerin taşıdığını söylemektedir.

Şekil 5.13 ve 5.14’da farklı lif tipi ile üretilmiş 28 günlük silindir numuneler üzerinde belirlenmiş olan gerilme-şekil eğrileri görölmektedir. Şekillerden göröldüğü gibi hem küçük hem de büyük lif ile üretilmiş olan numunelerin gerilme-şekil değiştirme oranı LB_0 ’dan daha iyi şekil-değiştirme yeteneğine sahiptirler. Bununla beraber küçük lifinde büyük life göre daha iyi şekil değiştirme yeteneğine sahip olduğu görölmektedir. Özellikle her iki lif tipi içinde 30 kg/m^3 lif içeriğine sahip olan numunelerin en iyi performansı gösterdiği görölmektedir.

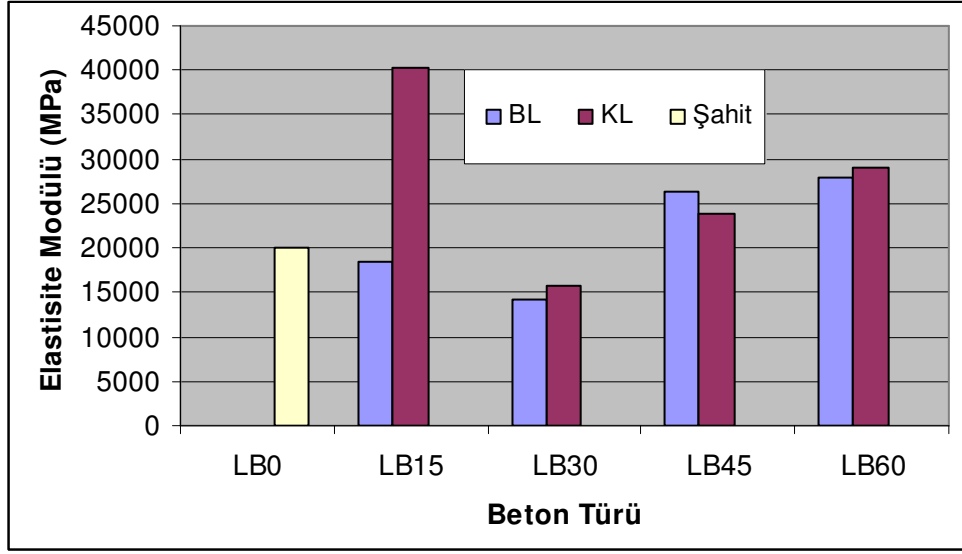


Şekil 5.13 28 Günlük Büyük Lif İçin Gerilme-Şekil Değişirme (BL)

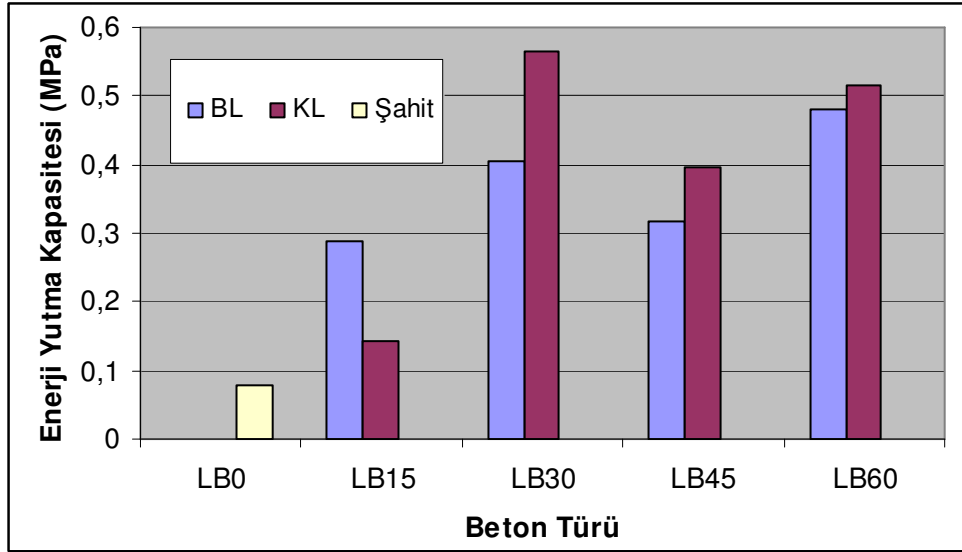


Şekil 5.14 28 Günlük Küçük Lif İçin Gerilme-Şekil Değişirme (KL)

Sonuç olarak her iki lif tipine sahip betonların birbirine oranla çok aşırı bir üstünlüğü olduğu söylenemese de lifsiz betona göre önemli derecede şekil değişirme yeteneğine sahip olduklarını göstermektedirler.



Şekil 5.15 Lifli Betonların Elastisite Modüllerindeki Değişim



Şekil 5.16 Lifli Betonların Enerji Yutma Kapasitelerindeki Değişim

Şekil 5.15 ve şekil 5.16’de görüldüğü gibi büyük ve küçük lif tipi ile üretilmiş lifli betonların enerji yutma kapasitelerindeki değişimler verilmiştir. Şekil incelendiğinde enerji yutma her iki lif tipi ile üretilmiş betonların birbirlerine hem lifsiz betona göre değişim göstermekle beraber (LB15 dikkate alınmadığında) küçük lifin daha iyi enerji absorbe ettiği söylenebilir.

6. SONUÇLAR

Normal betona lif ilave etmek suretiyle şekil değiştirme, eğilme ve basınç dayanımı gibi betonun özelliklerinin artırılması ve bunun yanında deprem etkisi altında deplasmanların artırılması üzerine yapılan bu çalışmada beton içerisine farklı iki lif tipinin beton özelliklerine nasıl bir etki yaptığı araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir.

- Her iki lif tipindeki numunelerin birim hacimdeki lif miktarının artması ile betondaki boşluk miktarı ve Ve-Be süreleri artış gösterir iken çökme değerleri ise bir düşme göstermiştir.
- Eğilme dayanımında her iki lif tipinde de lif miktarının artmasıyla belirgin bir şekilde artış görülmüştür.
- Eğilme dayanımı açısından büyük lif küçük life göre daha iyi sonuçlar vermiştir.
- Her iki lif tipine sahip betonlar lifsiz betonun kırılmasına rağmen deforme olmuş fakat kırılmamıştır. Yani beton numuneler yük almaya devam etmiştir.
- Çatlak genişlikleri lif miktarının artması ile bir azalma göstermiştir.
- Her iki lif tipine sahip betonların basınç dayanımları lifsiz betona göre arttığı gözlenmiştir. Ancak belirli bir lif hacminden sonra beton numunenin içerisindeki hava miktarının artışından dolayı numunelerin basınç dayanımlarında bir düşüş meydana geldiği gözlenmiştir.
- 7 günlük lifsiz ve hem LBB hemde LBB'li numunelerin donma çözülme öncesi (DÇÖ) ve donma çözülme sonrası (DÇS) değerlerine baktığımızda DÇS değerlerin DÇÖ'ne göre yaklaşık %10-15 oranında daha yüksek olduğu görülmüştür.
- 28 günlük numunelerin donma çözülme değerlerinde ise donma çözülme etkisi daha belirgin görülmüştür. Yani DÇÖ numunelerin dayanımları DÇS'na göre daha yüksektir.

- Lifli betonlardaki lif miktarını artması ile lifsiz betona göre gerilme-şekil değiştirme işi genel itibariyle artmaktadır. Buna paralel olarak enerji yutma kapasiteleri de artmaktadır.

Enerji yutma kapasiteleri bakımından küçük lifin büyük life göre daha fazla enerji absorbe etme yeteneğine sahip olduğu söylenebilir. Genel olarak karışıma katılan lif miktarı 30-60 kg/m³ civarında iken betonun elastisite modülü ve enerji yutma kapasitesi açısından iyi sonuçların alınabileceği söylenebilir.

Gelişen teknoloji koşullarında yapı dalında üretim talebi hızla artmakta ve bu artışa ekonomik ve teknik yönden bir çözüm bulabilmek amacıyla yüksek dayanımlı beton elemanlarının seri üretimine gidilmektedir. Bu üretimde son zamanlarda sağladığı teknik avantajlar bakımından lifli betonun kullanım alanı hızla artmaktadır. Ülkemizin yaklaşık %90'ının deprem bölgesinde bulunduğunu da düşünürsek çelik lifli betonun yüksek kırılma enerjisi özelliğinden faydalanmak üzere bu bölgelerde, hiç olmazsa birinci derecedeki önemli yapılarda yapı malzemesi olarak kullanma ile hem ülke ekonomisine hem de insanlarımızın emniyetine göz ardı edilemeyecek kadar fayda sağlayacağını bu çalışma göstermektedir.

KAYNAKLAR

- ACI Committee 544, 1982, "State of The Art Report on Fiber Reinforced Concrete", Concrete International, pp. 9-25, May.
- ACI Committee 544,1988, "Desing Considerations For Steel Fiber Feinforced Concrete" ACI Structural Journal, p 18.
- Altun,F., Özcan,D.M., Vekli,M.,Karahan,O., 2004, "Çelik Lif Katkılı C20 Betonun Mekanik Özelliklerinin Deneysel Araştırılması", Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, Cilt-4, Sayı 1-2, Ekim, Afyon
- Arslan, A., 1987, "Çelik Lif Donatılı Normal Betonlarda Yavaş ve Hızlı Yükleme Durumlarında Gerilme – Gerinim Özellikleri" Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Elazığ
- Aslan, A. ve Aydın, A.C., 1999, "Lifli Betonların Darbe Etkisi Altında Genel Özellikleri", Çelik Tel Donatılı Betonlar Sempozyumu, Sabancı Center, İstanbul
- Bekaert., (Broşür) 1988, "Dramix Steel Fiber for Concrete Reinforced", June.
- Cimilli, T., 1978, "Lif Donatılı Betonlarda Matris – Lif Aderansı", Türkiye İnşaat Müh. 7. Teknik Kongresi, Ankara.
- DS.İ., 1999, "Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton", T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Devlet Sulama İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, Yayın No:MLZ-878 (İkinci Baskı).
- Düzgün, O.A.,2001, "Çelik Liflerin Hafif Betonların Dayanımları Üzerindeki Etkisi" , Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Eylül
- Elmacı, Ö, 2005, "Farklı Oranlardaki Lifli Betonlarda Saklama Koşullarının Beton Özelliklerine Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, AKÜ, Afyon
- Erbaş, M., 1999, "Lif Donatılı Betonlar", Hazır Beton Dergisi, Ocak-Şubat, S 68-78.
- Erdoğan, T. Y., "Beton", O.D.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü 1. Baskı, O.D.T.Ü. Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Mayıs 2003.
- Kiper M., 1996, "Polipropilen liflerin özellikleri ve kullanım olanakları", Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, Sayı 64, Makale. s.21, Şubat
- Postacıoğlu, B., 1987. "Beton (Agregalar, Beton)", Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul, Cilt 2, s 404.

- Sancak, E., 1998, "Hafif Agregalı Beton Blokların Mekanik Özellikleri Üzerine Çelik Lif Kullanımının Etkisi", S.D.Ü., Fen Bil. Ens., Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Sancak, E ve Ünal, O.,1999, "Çelik Tel Donatılı Betonlar Sempozyumu", Sabancı Center, İstanbul.
- Shah, S.P., Rangan.B.V., 1971, "Fiber Reinforced Concrete Properties", ACI Journal,pp. 126-135, Feb.
- Swamy, R.N., 1975, "Fiber Reinforced Cement and Concrete", Rilem, Materiaux et.Cons., V.9, No.53.
- Şimşek, S., 1997, "Lifli Betonlar Üzerine Bir Çalışma", G.Ü., Fen Bil. Enst., Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Taşdemir, M. A., 1999, Çelik tel takviyeli yüksek dayanımlı betonların mekanik davranışı. Çelik Tel Donatılı Betonlar Sempozyumu, İstanbul.
- TS EN 197-1, 2002, Genel Çimentolar, Bileşim, özellikleri ve uygunluk kriterleri
- TS 706 EN 12620, 2003, "Beton Agregaları
- TS 10513, 1992, "Çelik Teller"
- TS 10514, 1992, "Çelik Telleri Betona Karıştırma ve Kontrol Kuralları"
- TS EN 1097, 2002, "Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler"
- TS 3449, "Çabuk Donma ve Çözülme Koşulları Altında Betonda Dayanıklılık Faktörü Yayını", 1980.
- TS 3530 EN 933-1, 1999, "Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler"
- Uğurlu, A., 1994 "Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton",Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı Yayınları, No: 878, Ankara.
- Ural, F., 1999, "Beton Dayanımında Katkı ve Fiberlerin Rolü", Hazır Beton, Ocak-Şubat, s.65-66.
- Uyan, M., 1985 "Lifli Betonların Genel Özellikleri ve Gelişimi ", İ.T.Ü. Malzeme Semineri, Makale, İstanbul.
- Ünal, O., 1994, "Isıl İşlem Uygulamasının Lifli Beton Özelliklerine Etkisi", İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Yıldırım, S.T., 2002, "Lif Takviyeli Betonların Performans Özelliklerinin Araştırılması", F.Ü. Fen. Bil. Enst. Doktora Tezi, Elazığ.

Vondran, L.G., 1992,"Applications of Steel Fiber Reinforced Concrete". ACI Compilation 27, pp: 14-19

Yılmaz, K. ve Cavga, Ş., 1999, "Agrega Granülometrisindeki Değişimin Çelik Tel Takviyeli Betonların Performansı Üzerine Etkileri" Çelik Tel Donatılı Betonlar Sempozyumu, İstanbul.

Yiğiter,H., 2002, "Yüksek Performanslı Betonların Süneklik Özelliklerinin Araştırılması", DEÜ, Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesi esnasında büyük bir sabır göstererek, yardımlarını ve ilgisini esirgemeyen, çok değerli danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr Osman ÜNAL'a

Çalışmalarım boyunca maddi ve manevi olarak tüm gücüyle desteğini gösteren aileme, abim Halil İbrahim GENÇEL ve Dayım Prof. Dr. Mustafa NAZIROĞLU'na

Bu çalışmanın deneysel aşamasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Araş. Gör. Tayfun UYGUNOĞLU'na, Özgür ELMACI'ya, ve çok değerli ve kıymetli Yapı Eğitimi Bölümü Öğretim Üyeleri ve Elemanlarına

Ayrıca çelik liflerin temininde yardımcı olan Beksa Steel Cord A.Ş.'ye teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Osman GENÇEL

ÖZGEÇMİŞ

Osman GENÇEL, 1980 yılında Isparta ili Gelendost ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini burada lise öğrenimini ise Elazığ ilinde tamamladı. 1998 yılında Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitiminde yüksek öğrenimine başladı ve 2002 yılında lisans eğitimini başarı ile tamandı. 2003 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Bölümünde Yüksek Lisans'a başladı ve 2006 yılında Yüksek Lisans eğitimini başarı ile tamamladı.