İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARDA ÇELİK LİF KULLANIMININ İŞLENEBİLİRLİĞE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Volkan BERBERGİL
(501041119)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Mayıs 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Haziran 2006

Tez Danışmanı : Yard.Doç.Dr. Hasan YILDIRIM
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Mehmet UYAN (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Fevziye AKÖZ (Y.T.Ü.)

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ

Bu tezi yöneten ve çalışmalarım sırasında değerli bilgi ve yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Yrd.Doç.Dr.Hasan YILDIRIM'a;
Deneysel çalışmalarımda bana labaratuvar ve malzeme sağlayan Set Beton Italcementi Group'a, kimyasal katkıları sağlayan Yapı Kimyasalları Sanayisi'ne, Draco Yapı Kimyasalları ve Sika Yapı Kimyasalları A.Ş.'ye;
Çalışmalarımdaki ilgi ve yardımlarından dolayı Ar.Gör.Cengiz ŞENGÜL'e, Yapı Malzemesi Ana Bilim Dalı'ndaki tüm hocalarıma, araştırma görevlilerine ve laboratuvar çalışanlarına; deneysel çalışmalarım sırasındaki yardımlarından dolayı arkadaşım Burcu SERTBAŞ'a ve;
Tüm hayatım süresince, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Mayıs 2006 Volkan BERBERGİL

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ v
ŞEKİL LİSTESİ vi
ÖZET vii
SUMMARY viii

1.GİRİŞ 1

2.LİTERATÜR ÇALIŞMASI 3

2.1. Normal Betonlar 3
2.2. Yüksek Dayanımlı Betonlar 4
2.3. Çelik Tel Donatılı Betonlar 4
2.3.1. Beton Takviyesinde Kullanılan Çelik Teller 5
2.3.2. Çelik Tel Donatılı Betonların Kullanım Alanları 7
2.3.3. Çelik Tel Donatılı Betonların Mekanik Davranışları 8
2.4. Kendiliğinden Yerleşen Betonlar 10
2.4.1. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri 12
2.4.1.1. Doldurma Yeteneği 12
2.4.1.2. Ayrışmaya Karşı Direnç 13
2.4.1.3. Geçiş Yeteneği 14
2.4.2. Kendiliğinden Yerleşen Beton Deney Yöntemleri 14
2.4.2.1. Çökme-Yayılma Deneyi 14
2.4.2.2. V Hunisi Akış Deneyi 15
2.4.2.3. L Kutusu Deneyi 16
2.4.2.4. U Kutusu Deneyi 17
2.5. Uçucu Küller 18
2.5.1. Uçucu Küllerin Kullanım Alanları 19
2.5.2. Uçucu Külün Beton Özelliklerine Etkisi 29
2.5.3. Uçucu Küllerin Sınıflandırılması 20
2.5.4. Uçucu Küllerin Morfolojik Özellikleri 21
2.6. Süperakışkanlaştırıcı Katkı Maddeleri 22

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR 27

3.1. Yapılan Deneyler 27
3.2. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri 27
3.2.1. Çimento 27
3.2.2. Uçucu Kül 28
3.2.3. Agregalar 29
3.2.3.1. Kum 29
3.2.3.2. Kırma Taş Tozu 29
3.2.3.3. Kırma Taş 1 29
3.2.4. Çelik Lif 31
3.2.5. Kimyasal Katkılar 31
3.3. Beton Üretimi 32
3.3.1. Numune Kodlarının Verilmesi 33
3.3.2. Beton Üretiminde İzlenen Sıra 34
3.3.3. Üretilen Numunelerin Boyutları ve Şekilleri 34
3.4. Taze Beton Deneyleri 35

3.4.1. Birim Ağırlık 35
3.4.2. Serbest Yayılma 35
3.4.3. V Hunisi Akış Süresi Ölçümü 35
3.4.4. L kutusu Deneyi 35
3.4.5. U Kutusu Deneyi 36
3.5. Sertleşmiş Beton Deneyleri 36
3.5.1. Basınç Deneyi 36
3.5.2. Eğilme Deneyi 36
3.5.3. Ultrases Hızı Deneyi 37
3.5.4. Elastisite Modülü Deneyi 38

4. DENEY SONUÇLARININ İNCELENMESİ 39

4.1. Taze Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi 39
4.1.1. Birim Ağırlık 39
4.1.2. Serbest Yayılma 40
4.1.3. V Hunisi Akış Süresi Ölçümü 40
4.1.4. L kutusu Deneyi 41
4.1.5. U Kutusu Deneyi 43
4.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi 44
4.2.1. Basınç Deneyi 44
4.2.2. Eğilme Deneyi 45
4.2.3. Ultrases Hızı Deneyi 46
4.2.4. Elastisite Modülü Deneyi 47

5. GENEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER 49

KAYNAKLAR 51
ÖZGEÇMİŞ 55

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1.	Çelik Tel Donatılı Betonların Normal Betonlara Kıyasla Genel Özellikleri	9
Tablo 3.1.	Çimentonun Fiziksel Özellikleri	27
Tablo 3.2.	Çimentonun Kimyasal Özellikleri	28
Tablo 3.3.	Çimentonun Basınç Dayanımı	28
Tablo 3.4.	Uçucu Külün Kimyasal Özellikleri	28
Tablo 3.5.	Uçucu Külün Fiziksel Özellikleri	29
Tablo 3.6.	Agregaların ve Karışımın Granülometrik Analizi	30
Tablo 3.7.	Agregaların Fiziksel Özellikleri	30
Tablo 3.8.	Dramix RC 80/60 BN Tipi Çelik Lifin Teknik Özellikleri	31
Tablo 3.9.	Kullanılan Süperakışkanlaştırıcıların Teknik Özellikleri	32
Tablo 3.10.	Kullanılan Viskozite Artırıcının Teknik Özellikleri	32
Tablo 3.11.	Teorik Beton Bileşimleri	33
Tablo 4.1.	Birim Ağırlık Deney Sonuçları	39
Tablo 4.2.	Serbest Yayılma Deneyi Sonuçları	40
Tablo 4.3.	V Hunisi Deney Sonuçları	41
Tablo 4.4.	L Kutusu Deney Sonuçları	42
Tablo 4.5.	U Kutusu Deney Sonuçları	43
Tablo 4.6.	Basınç Deneyi Sonuçları	44
Tablo 4.7.	Eğilme Deneyi Sonuçları	45
Tablo 4.8.	Ultrases Hızı Deneyi Sonuçları	46
Tablo 4.9.	Elastisite Deneyi Sonuçları	47

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1.	Düz, Pürüzsüz Yüzeyli Teller	6
Şekil 2.2.	Üzerinde Girintiler Açılmamış Teller	6
Şekil 2.3.	Uzunluğu Boyunca Dalgalı Teller	6
Şekil 2.4.	Ay Biçimli Dalgalı Teller	7
Şekil 2.5.	İki Ucu Kıvrılmış Teller	7
Şekil 2.6.	Bir Ucu Kıvrılmış Teller	7
Şekil 2.7.	Çökme-Yayılma Testi Deney Düzeneği	15
Şekil 2.8.	V Hunisi Testi Deney Düzeneği	16
Şekil 2.9.	L Kutusu Testi Deney Düzeneği	17
Şekil 2.10.	U Kutusu Testi Deney Düzeneği	18
Şekil 2.11.	Geleneksel Akışkanlaştırıcı Katkıların ve Polikarboksilat Bazlı Katkıların Çimento Taneciklerini Elektrostatik ve Fiziksel İtki Kuvvetleri ile Birbirinden Uzaklaştırması	25
Şekil 3.1.	Agrega Karışımının Granülometresi ve Referans Eğrileri	30
Şekil 3.2.	Üretilen Numunelerin Şekil ve Boyutları	34
Şekil 3.3.	Eğilme Dayanımı Deney Düzeneği	37
Şekil 4.1.	Birim Ağırlık Deney Sonuçları	39
Şekil 4.2.	Serbest Yayılma Deneyi Sonuçları	40
Şekil 4.3.	V Hunisi Deney Sonuçları	41
Şekil 4.4.	L Kutusu Deney Sonuçları	42
Şekil 4.5.	U Kutusu Deney Sonuçları	43
Şekil 4.6.	Basınç Deneyi Sonuçları	45
Şekil 4.7.	Eğilme Deneyi Sonuçları	46
Şekil 4.8.	Ultrases Hızı Deneyi Sonuçları	47
Şekil 4.9.	Elastisite Deneyi Sonuçları	48

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARDA ÇELİK LİF KULLANIMININ İŞLENEBİLİRLİĞE ETKİSİ

ÖZET

Son yıllarda teknolojinin gelişmesi betonun inşaatın çok farklı alanlarında ve çok daha verimli bir şekilde kullanılmasına olanak vermiştir. Betonda kullanılan malzemelerin kalitesinin artması, betona değişik özellikler kazandırmak amacıyla betona katılan yeni katkı maddeleri, lifler bu gelişimi hızlandıran etmenlerdir.
1980'li yıllarda betonun durabilitesini iyileştirmeye yönelik yapılan çalışmalarda Japon bilim adamları tarafından geliştirilen kendiliğinden yerleşen betonlar da beton teknolojisinin gelişimine yönelik verilebilecek en iyi örneklerdendir. Geleneksel betonlara nazaran herhangi bir vibrasyon gerektirmeksizin, kendi ağırlığı altında hareket ederek döküldüğü kalıbı boşluk bırakmadan doldurabilen, aynı zamanda bu yüksek akıcı kıvamına rağmen segregasyona uğramayan bu betonlar günümüzde sıkça kullanılmaya başlamıştır.
Yine 20. yüzyılın son çeyreğinde aslında kullanılması çok eski tarihlere kadar dayanan lifli betonlar üzerine birçok çalışma yapılmaya başlanmıştır. Bundan 3500 yıl kadar önce güneşte fırınlanmış samanla karışık tuğlalar kullanılırken, günümüzde de selüloz, çelik, propilen ve cam lifler çimento ürünlerini kuvvetlendirmek üzere betona katılmaktadır. Yapılan çalışmalarda bu liflerin betonda çatlak oluşumunu önemli ölçüde azalttığı, betonun şekil değiştirme kapasitesini, tokluğunu, çarpma, çekme ve eğilme dayanımını önemli derecede arttırdığı görülmüştür.
Bu tez çalışması kapsamında üç farklı yeni nesil süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılarak kendiliğinden yerleşen betonlar üretilmiştir. 350kg/m^3 çimento ve 150 kg/m^3 uçucu kül oranının ve su miktarının aynı olduğu tüm betonlara değişik oranlarda çelik lif ilave edilmiştir. Her katkı ile 1m^3'de 30kg, 45 kg, 60 kg ve hiç lif içermeyen numuneler olmak üzere toplam 12 beton karışımı hazırlanmıştır. Artan çelik lif oranlarıyla birlikte betona katılan katkı miktarları da arttırılarak tüm betonların 60-75 cm arası bir yayılma vermesi sağlanmıştır. Böylece hazırlanan kendiliğinden yerleşen betonların taze haldeki özelliklerini araştırmak amacıyla betonlara serbest yayılma, V hunisi, U kutusu, L kutusu, setleşmiş haldeki özelliklerini araştırmak üzere ise basınç, eğilme, ultrases ve elastisite modülü deneyleri uygulanmıştır.
Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda kendiliğinden yerleşen betonda artan çelik lif oranının taze beton deneylerinden V hunisinde akış süresini arttırırken, 60 kg/m^3 çelik lif içeren bir betonun huniyi tıkamasıyla deneyden sonuç alınamamıştır. Bunun yanında L kutusu ve U kutusu deneylerinde lifsiz betonların verdiği sonuçlar sınır değerler arasında kalırken, çelik lif içeren betonların deney aparatlarındaki donatılı geçiş bölgelerini tıkaması sebebiyle bu betonlardan sonuç alınamamıştır. Sertleşmiş beton deneylerinde ise betonda artan çelik lif oranının betonun basınç dayanımı ve elastisite modülünü önemli derecede etkilemediği görülürken, eğilme dayanımını önemli derecede arttırdığı ve ultrases hızlarında bir düşüş eğilimi olduğu gözlenmiştir. Lifsiz betona 60 kg/m^3 çelik lif katılmasıyla betonun eğilme dayanımında %130'lara varan artışlar gözlenmiştir.

THE EFFECT OF STEEL FIBER USAGE ON THE WORKABILITY OF SELF - COMPACTING CONCRETES

SUMMARY

The development of technology has provided more effectively usage of concrete in constructions many different areas. The increasing of the quality of the materrials used in concrete, the new compounds which are used to gain different specialities to the concrete and fibers are the factors which accelerated this development.
The self-compacting concretes are the best samples of the development of the concrete technology which has been developed by Japanese scientists during their studies for developing the durability of concrete. In comparison to the traditional concretes, these concretes does not need any vibration to fill the form, it can fill the form with its own weight, at the same time in spite of its flowing structure it does not segregate. Recently these concretes started to be used rather frequently.
From the last quarter of 20th century lots of studies has been made on fibre reinforced concrete. Nearly 3500 years before sun dried straw containing bricks were being used. Nowadays cellulose, steel, prophylen and glass fibers are added to concrete for strengthening the cement products. The studies made on this subject shows us the usage of these fibers decreases formation of cracks on concretes and increases strain capacity, toughness, impact, tensile and bending strength of the concretes with an important degree.
In this study, self-compacting concretes are produced by using three different super plasticizers. To the concretes, which have the same ratio of 350 kg/m^3 cement, 150 kg/m^3 fly ash and water usage, different ratios of steel fibers were added. With all superplasticizers, 0 kg/m^3, 30 kg/m^3, 45 kg/m^3 and 60 kg/m^3 steel fiber were used and 12 different concrete samples were produced. With the increasing of the ratio of steel fiber, 60 – 75 cm of slump flows were provided by increasing the ratio of superplasticizers. In this way to investigate the fresh concrete characteristics slump flow, V funnel, L box and U box tests; to investigate the hardened concrete characteristics pressure, bending strength, elasticity modulus and pulse velocity tests were made.
In conclusion of these tests, the increasing of steel fiber ratio in the self-compacting concrete increased the flowing time of concrete in V funnel test, 60 kg/m^3 steel fiber containing sample clogged the V funnel so the test did not give any conclusion. However in the L box and U box tests, the results for concretes which does not contain steel fiber were in extreme values, but the tests with concretes which contain steel fiber did not give any results because the steel fibers clogged the reinforced passing area of test apparatus. In the hardened concrete tests, the increasing of the steel fiber ratio did not effect the pressure strength and elastisity modulus but it increased the bending strength of the concrete and decreased the pulse velocity. With adding 60 kg/m^3 steel fiber to the concrete the bending strength appeared to increase with a ratio reaching %130.

1. GİRİŞ

Beton, çimento, agrega, su ve gerektiğinde bir katkı maddesini harmanlayarak elde edilmiş ve oranları dikkatle ayarlanmış bir karışımı, istenilen şekil ve boyutta kalıplar içine boşluksuz olarak yerleştirmek ve uygun bakım koşulları altında sertleştirmek yolu ile elde edilen kompozit bir malzemedir [1]. Karışımda çimento, kum ve iri agrega tanelerini birbirine bağlar. Kum ise iri agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurarak betonun kompasitesini artırır [4].

Günümüzde betonun en yaygın kullanımı, 1850' li yıllarda betonarmenin icadı ile başlamıştır. Çelik çubuklarla donatılmış beton konusunda ilk yayın 1855' de yazılmıştır. Avrupa ve Amerika' da betonarmenin gelişmesi bunu hızla izlemiştir. 1900' ü izleyen yıllarda betonarme ile ilgili yönetmelikler, beton karışım hesapları ile ilgili mukavemet ve su formülleri, ideal granülometri eğrileri ve ilk etkili vibrasyon geliştirilmiştir. 1970-80' li ve onları izleyen yıllarda endüstriyel beton üretiminin dünyada ve ülkemizde hızla geliştiği görülmüştür [1]. Günümüz teknolojisinde üretilen betonlar, özellikle dayanımı, rijitliği, tokluğu, sünekliği ile uzun açıklıklı köprülerin, yüksek binaların, yer altı yapılarının ve diğer alt ve üst yapıların inşa edilebilmesine olanak sağlamaktadır [5].

1980' li yıllarda beton yapıların durabilitesini iyileştirmeye yönelik yapılan çalışmalarda Japon bilim adamları Okamura, Ozawa ve Maekawa Tokyo Üniversitesi' nde kendiliğinden yerleşen betonu geliştirdiler [6]. Kendiğinden yerleşen betonlar, herhangi bir vibrasyon gerektirmeksizin, kendi ağırlığı altında hareket ederek döküldüğü kalıbı boşluk bırakmadan doldurabilen, aynı zamanda bu yüksek akıcı kıvamına rağmen segregasyona uğramayan betonlardır [2]. Akıcı kıvamda olan, gürültü kirliliğini engelleyen, daha az işçilik gerektiren, ekonomik ve segregasyon olmaksızın sık donatılar arasından akabilen, her türlü kalıba yerleşebilen bu betonlar, aynı zamanda kendi ağırlığının etkisi ile boşlukları minimuma indirerek yerleşme sağladığı için durabilitesi yüksek olan ve kararlı bir tekniğe sahip betonlardır [3].

20. yüzyılın son çeyreğinde lifli betonlar üzerine birçok çalışma yapılmış ve bu konuda önemli mesafeler kaydedilmiştir. Aslında liflerin gevrek matriks malzemeler içinde kullanılması çok eski tarihlere kadar dayanır. Bundan en az 3500 yıl önce Bağdat yakınlarında 57 m yüksekliğindeki Aqar Quf, güneşte fırınlanmış samanla

karışık tuğlalar ile inşa edilmiştir. Son 100 yıldır asbestli lifler, 50 yıldır selüloz lifler ve son 30 yıldır da çelik, propilen ve cam lifler çimento ürünlerini kuvvetlendirmek üzere kullanılmaktadır. Günümüzde yapılan araştırmalar sonucunda betona katılan çelik liflerin betonda çatlak oluşumunu önemli ölçüde azalttığı, betonun şekil değiştirme kapasitesini, tokluğunu, çarpma, çekme ve eğilme dayanımını arttırdığı görülmüştür [7]. Betona ilave edilen çelik teller, ilk çatlak dayanımını yükselterek ve aşırı yükler altında oluşan çatlakların yayılmasına karşı direnç göstererek, betonun dinamik ve sürekli yükler altındaki dayanımını arttırır. Çatlak kenarlarında bulunan çelik teller, köprü vazifesi görerek üzerlerine gelen gerilmeleri aktarırlar. Böylece çatlamış yapı elemanları, taşıma güçlerini aniden kaybetmezler ve büyük deformasyonlar yapabilirler. Enerji yutma kapasiteleri artar [8].

Bu tez çalışması kapsamında üç farklı süper akışkanlaştıcı katkı kullanılarak, aynı su/çimento oranına sahip 12 kendiliğinden yerleşen beton karışımı üretilmiştir. Her katkı ile 1 m^3' de 30kg, 45kg ve 60kg çelik lif içeren betonlar ve hiç lif içermeyen şahit betonlar üretilmiştir. Üretilen tüm betonlarda minimum 60cm yayılma olması süper akışkanlaştırıcı katkılarla sağlanmıştır. Yürütülen çalışmalarda üretilen tüm betonların taze ve sertleşmiş beton deneyleri yapılmış, böylelikle artan çelik lif miktarı altında betonun hem taze beton özelliklerinde hem de sertleşmiş beton özelliklerindeki değişim incelenmiştir.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Beton günümüzde en çok kullanılan yapı malzemesidir. Beton, çimento, su, doğal veya yapay iri ve ince agregadan oluşan kompozit bir malzemedir. Betona gerektiğinde belirli oranlarda kimyasal ve/veya mineral katkı maddeleri katılır. Betonda çimento ve suyun oluşturduğu hamur fazı sürekli ortamı, agregalar ise dağınık fazı meydana getirirler. Bu anlamda beton aglomera kompozit bir malzemedir. Betonu diğer yapı malzemelerinden üstün kılan en önemli özelliklerinden birisi, istenilen biçimin verilebilmesini sağlayan plastik kıvamıdır. Başlangıçta plastik ya da akıcı kıvamda olup zamanla katılaşıp sertleşerek mukavemet kazanan betondan, işlenebilir olması, mukavemetinin yüksek olması ve dış etkenlere karşı dayanıklı olması gibi bir takım özellikler beklenir. Basınç dayanımı, betonun kalitesi hakkında genel bir fikir verir, ancak bazı durumlarda geçirimsizlik ve dayanıklılık daha önemli özellik olabilmektedir. Hangi amaçla üretilirse üretilsin, beton üç özelliği bünyesinde bulundurmalıdır. Bunlar, taze halde iken işlenebilme, sertleşmiş halde iken mekanik dayanım ve çevre koşullarına dayanıklılık yani durabilitedir [9].

Günümüze kadar olan gelişim sürecinin sonunda, ihtiyaçlara cevap verebilmek amacı ile farklı özelliklerde betonlar üretilmektedir. Özellikle son yıllarda, beton endüstrisindeki gelişmeler sonucunda çok yüksek dayanımlara ve kırılma enerjilerine erişilmiştir. Mekanik, fiziksel ve ekonomik özelliklerinin çeşitliliği dolayısı ile net bir sınıflandırma yapılamamaktadır [10].

2.1. Normal Betonlar

Etüv kurusu durumdaki birim hacim kütlesi (yoğunluğu), 2000 kg/m^3' ten büyük, 2600 kg/m^3' ten küçük olan betonlara normal betonlar denir [11]. Normal betonlar, günümüzde yaygın olarak kullanılan genel amaçlı betonlardır. En önemli özellikleri, malzemesine kolay ulaşılabilmesi, özel nitelikler gerektirmeyen ve kolay elde edilebilen işgücü ile ekonomik ve standartlara göre seri üretim yapılabilmesidir [10].

Normal betonların basınç dayanımları 20 ile 50 MPa arasında değişmektedir. Normal betonlara göre çok daha yüksek çekme, eğilme ve basınç dayanımına sahip özel betonların süneklik özelliği, basınç dayanımının artması ile birlikte önemli ölçüde azalmaktadır.

Günümüzde en yaygın olarak kullanılan betonlar normal betonlardır. Bu betonlar standartlara uygun olmakla birlikte aynı zamanda da ekonomiktir. Bu sebeple normal betonlar inşaat sektöründe bina, köprü, yol, tünel, baraj ve prefabrik yapılar gibi bir çok alanda sıklıkla kullanılırlar.

2.2. Yüksek Dayanımlı Betonlar

Basınç dayanım sınıfı C50/60'dan daha yüksek olan normal beton veya ağır betonlara ve basınç dayanım sınıfı LC50/55'den daha yüksek olan hafif betonlara "Yüksek Dayanımlı Betonlar" denir [11]. Yüksek dayanımlı betonlar bileşimlerimde, 450-550 kg/m^3 kaliteli portland çimento, bağlayıcı maddenin toplam kütlesinin %5-15'i arası silis dumanı, bazen uçucu kül gibi farklı bağlayıcı maddeler ve de süper akışkanlaştırıcıları içerirler. Süper akışkanlaştırıcılar 1m^3 için 5 ile 15 litre arasında kullanılırlar ve betondan 45-75 kg/m^3 su azaltılabilmesini sağlarlar [12].

Yüksek performanslı betonlar, yüksek dayanımlı ve aynı zamanda düşük geçirgenlikli betonlardır. Betonun yüksek dayanıma sahip olabilmesi için içindeki boşluk hacminin çok az olması gerekmektedir. Betonun içindeki boşluk oranını düşürmenin tek yolu ise karışımdaki ince malzeme miktarını arttırmaktır. Bu yüzden çimentodan bile daha ince olan silis dumanı betona ilave edilir. Silis dumanının betondaki görevi çimento parçaları ile agregalar arasındaki boşlukları doldurmaktır. Böylelikle az boşluklu ve yüksek dayanımlı bir beton elde edilebilir [12].

Mekanik özellikleri, iç yapıları ve durabilitesi normal betonlara göre daha üstün olan yüksek dayanımlı betonlar, çok yüksek yapılarda, uzun köprülerde ve öngerilmeli beton elemanlarda kullanılırlar.

2.3. Çelik Tel Donatılı Betonlar

Çelik tel donatılı beton, agrega, çimento ve su gibi temel beton bileşenlerine, mineral ve/veya kimyasal katkıların yanı sıra çelik tel katılmasıyla elde edilen bir kompozit

malzemedir. Çelik teller yalın betonların ve betonarme elemanların performanslarının iyileştirilmesi için kullanılır [5].

Düşük çekme dayanımına sahip olan betonun bu zayıf özelliği, çekme kuvvetlerinin oluşturduğu bölgeye donatı konularak aşılır. Yapı elemanlarında oluşan kesit tesirleri, betonun çekme mukavemetini aştığı zaman, çatlaklar ortaya çıkar. Donatısız beton, bu durumda ilave çekme kuvveti karşılayamaz. Bu bölgede çelik çekme donatılarının olması da, bu çatlamayı önleyemez. Çubuk donatılar ancak çatlakların genişlemesine engel olurlar. Bu çatlaklar, yapı elemanının dayanımını ve durabilitesini azaltırlar. Betona ilave edilen çelik teller, ilk çatlak dayanımını yükselterek ve aşırı yükler altında oluşan çatlakların yayılmasına karşı direnç göstererek, betonun ve donatılı betonun dinamik ve sürekli yükler altındaki dayanımını arttırır. Çatlak kenarlarında bulunan çelik teller, köprü vazifesi görerek, gerilmeleri aktarırlar. Böylece, çatlamış yapı elemanları, taşıma güçlerinin aniden kaybetmezler ve büyük deformasyonlar yapabilirler. Gevrek olan betonun çekme şekil değiştirmesini arttırarak betona yarı-sünek davranış özelliği kazandıran çelik teller, bu özelliğinden dolayı betonun çatlama dayanımı ve tokluk özelliklerini iyileştirirler. Özetle, çelik tel donatılı betonların, yorulma dayanımı, aşınma dayanımı, çekme dayanımı ve çatlak dayanımı sonrası yük taşıma kapasiteleri normal betonlara oranla belirgin iyileşmeler göstermektedir [8,5].

2.3.1. Beton Takviyesinde Kullanılan Çelik Teller

Betonun takviyesinde kullanılan çelik teller ACI 544'e [13] göre tel boyunun eşdeğer tel çapına bölünmesiyle elde edilen boy/çap oranı olarak kabul edilmektedir. Bu oran aynı zamanda telin narinliği anlamına da gelmektedir. Çelik tel techizatlı beton imalinde kullanılan bu çelik teller, düşük karbonlu çelikten soğuk çekme işlemi ile imal edilmelidirler. Bu tellerin çekme-kopma gerilmesi ortalaması en az 345 N/mm^2 olmalı, her bir tel için en az 310 N/mm^2 olmalıdır. TS 10513'e [14] göre çelik teller şekillerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır:

- A Sınıfı: Düz, pürüzsüz yüzeyli teller (Şekil 2.1.)
- B Sınıfı: Bütün uzunluğunca deforme olmuş teller (Şekil 2.2, 2.3, 2.4)
- C Sınıfı: Sonu kancalı teller (Şekil 2.5, 2.6)

Çelik teller TS 10513'te [14] tiplerine göre şu şekilde sınıflandırılır:

A Sınıfı: Düz, pürüzsüz yüzeyli teller (Şekil 2.1)

B Sınıfı: Bütün uzunluğunca deforme olmuş teller:

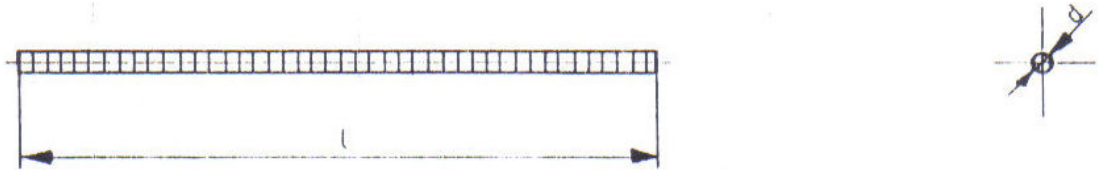
- Üzerinde girintiler (çentikler) açılmamış teller (Şekil 2.2)
- Uzunluğu boyunca dalgalı (kıvrımlı) teller (Şekil 2.3)
- Ay biçimi dalgalı teller (Şekil 2.4)

C Sınıfı: Sonu kancalı teller:

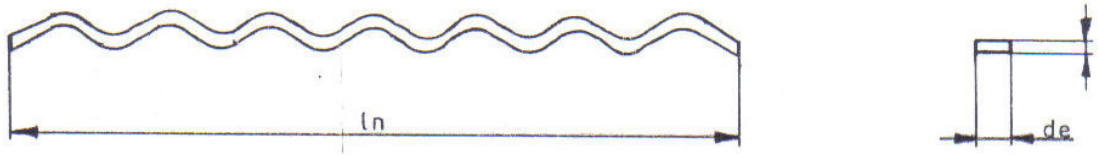
- İki ucu kıvrılmış teller (Şekil 2.5)
- Bir ucu kıvrılmış teller (Şekil 2.6)



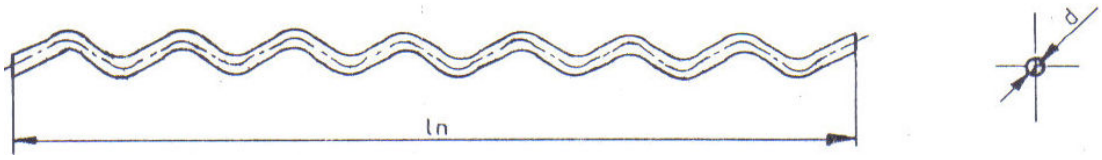
Şekil 2.1: Düz, pürüzsüz yüzeyli teller



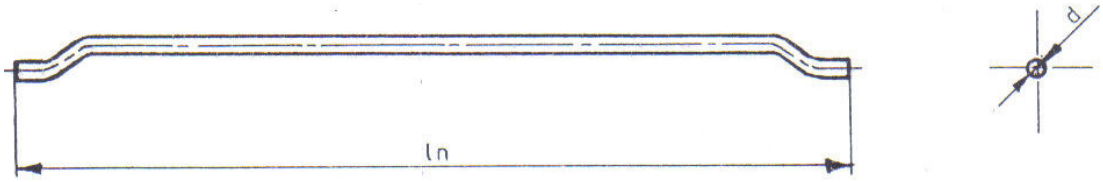
Şekil 2.2: Üzerinde girintiler (çentikler) açılmamış teller



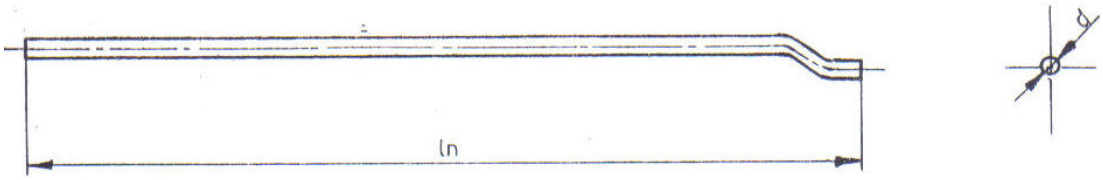
Şekil 2.3: Uzunluğu boyunca dalgalı (kıvrımlı) teller



Şekil 2.4: Ay biçimi dalgalı teller



Şekil 2.5: İki ucu kıvrılmış teller



Şekil 2.6: Bir ucu kıvrılmış teller

2.3.2. Çelik Tel Donatılı Betonların Kullanım Alanları

Çelik tel içeren betonlar normal betonlara oranla sağladıkları belirgin avantajlardan dolayı oldukça geniş kullanım alanına sahiptirler. Bu kullanım alanları şu şekilde özetlenebilir:

- Tünellerin püskürtme beton kaplamalarında; Çekme donatısı kullanılmadan yüksek dayanımlı beton elde edilir. Kaplama kalınlığı, düz ve hasırlı olan beton kaplama kalınlıklarına oranla daha az olmaktadır. Kırılmaya karşı yüksek enerji yutma kapasitesinden dolayı daha büyük bir süneklik sağlarlar.
- Yol kaplamalarında; Havaalanı ve karayolu gibi yol kaplamalarında aşınma ve çekme dayanımının yüksek olmasından dolayı dayanımı ve dayanıklılığı yüksek beton elde edilir. Ayrıca plak kalınlığının daha az olmasına imkan verirler.
- Endüstri yapılarında; Dayanıklılığı ve çarpma rijitliği yüksek olan endüstri yapılarının inşaasına imkan verirler. Ayrıca yük taşıma kapasitelerinin yüksek olması, çatlak kontrolü sağlaması, dinamik ve ani yüklemelere karşı yüksek

direnç göstermesinden dolayı endüstri yapılarının zeminlerinde kullanılmaktadırlar. Ayrıca ambar ve hangar zeminlerinde, iskele ve rıhtım kaplamaları gibi kullanım alanları da bulunmaktadır.

- Su yapılarında; Baraj, kanal, dinlendirme havuzu, dolu savak v.b. hidrolik yapıların plaklarının yerine kullanılabilirler. Ayrıca aşınma direnci yüksek olduğundan kavitasyon hasarlarına karşı kaplama olarak da kullanılabilirler.
- Şevlerin stabilizasyonu ve istinat duvarı yapımında; Yüksek dayanım ve dayanıklılığa sahip olmasından dolayı kaya ve toprak zeminlerin şev stabilizasyonu veya istinat duvarı yapımında kullanılmaktadırlar.
- Kabuk yapılarda; Kesit kalınlıklarının azaltılmasına imkan verdiğinden, ince kabuk yapılarda, kubbelerde ve mimari açıdan kalınlığı sınırlı olan yapı elemanlarında kullanılmaktadırlar.
- Depreme dayanıklı yapılarda; Sünekliğin yüksek olması istenen yapılarda kullanılabilirler. Çelik tel donatılı betonların sünekliği normal betonlara oranla yüksek olduğundan çarpma ve titreşim gibi dinamik yük etkilerine karşı daha dayanıklıdırlar. Bu nedenle depreme dayanıklı her tür yapıda kullanılabilmektedirler [5,29].

2.3.3 Çelik Tel Donatılı Betonların Mekanik Davranışları

Çelik tel donatılı beton hidrolik bağlayıcı, agrega ve çelik telin karışımı ile üretilen betondur. Betona ikamesiyle matriste süreksiz ve rastgele dağılı olarak bulunan çelik teller, yükler ve çevresel değişiklikler altında betonda çatlak gelişimini köprüleme etkisi yapar. Çelik teller, yeteri kadar dayanıma sahip, çelik tel-matris bağı yeterli ve uygun miktarda kullanılırsa çatlak genişliğini küçük düzeyde tutar ve betonun tepe yükü sonrası büyük şekil değiştirme yaparak yük taşımasını sağlar. Böylece yüksek sünekliğe sahip betonlar elde etmek mümkün olur[5].

Çelik tellerin betona katılmasıyla betonun sünekliği ve çatlak direnci büyük ölçüde iyileştirilir. Çelik teller betonun çatlak oluşumundan sonra yük taşımasını sağlar. Ayrıca karışım içerisinde homojen bir şekilde dağılı bulunan çelik teller, betonun sertleşmesi sırasında çekme gerilmeleri ile hamur içerisinde oluşan çok sayıda küçük boşlukları ve çatlaklara karşı köprüleme etkisi yaparak çatlakların oluşumunu ve gelişimini büyük ölçüde azaltır [47,48].

Çelik tel donatılı betonların normal betonlara kıyasla genel özellikleri Tablo 2.1'de verilmektedir.

Tablo 2.1: Çelik tel donatılı betonların normal betonlara kıyasla genel özellikleri

Özellik	**Açıklama**
Aşınma direnci	Kısmi olarak darbe aşınmasının neden olduğu mikro-kırılma çatlaklarını kontrol eder
Yorulma direnci	Düşük tel içeriklerinde bile 1.25-2 kat iyileşme
Donma-Çözünme Direnci	Donma-çözünme çevrimlerinin neden olduğu hasarı azaltabilir. Hava sürükleyici katkıların kullanılması önerilir.
Darbe dayanımı	2-20 kat iyileşme
Kopma modülü	20-50 kg/m^3 çelik tel içeriklerinde ilk çatlak yükünde küçük değişiklik
Önleşmiş rötre	Düşük tel içeriklerinde bile daha iyi gerinme dağılımı ile çatlak genişliklerinde %70'lere ulaşan azalma
Kayma dayanımı	Düşük tel içeriklerinde bile 1.25-2 kat artış
Pullanma-dökülme direnci	Bütün matris içerisinde dağılan çelik tel takviyesi ile öncelikle bağlantı köşelerinin ve kenarlarının korunması
Isı şoku direnci	Düşük çelik tel içerinlerinde bile önemli ölçüde iyileşme
Basınç dayanımı	Küçük değişiklik
Tokluk	Düşük tel içeriklerinde bile en belirgin iyileşme

2.4. Kendiliğinden Yerleşen Betonlar

Kendiliğinden yerleşen betonlar vibrasyon gerekmeden istenilen yere yerleşebilen, işlenebilirliği ve homojenliği yüksek olan, ayrıca terleme ve ayrışma problemlerinin yaşanmadığı betonlardır. Ayrışma olmaksızın sık donatılar arasından geçebilen kendiliğinden yerleşen betonlar aynı zamanda kendi ağırlığının etkisi ile boşlukları minimuma indirerek yerleşme sağladığı ve düşük su/çimento oranlarında üretilebildikleri için geçirimsizlikleri yüksek, dolayısı ile durabilitesi yüksek olan ve kararlı bir yapıya sahip olan betonlardır. Kendiliğinden yerleşen beton kullanımı vibrasyon gerektirmediği için gürültü kirliliğini engeller ve daha az işçilik gereksinimi sağlar [3].

Kendiliğinden yerleşen betonun en yaygın kullanımı donatıların çok yoğun olduğu ve vibratörlerin ulaşamadığı elemanlarda görülmektedir. Yüksek perdelerin üretiminde ve betonarme yapıların onarım ve güçlendirme işlerinde kendiliğinden yerleşen beton kullanılmasına başlanmıştır. Son yıllarda ise kendiğinden yerleşen betonun yeni bir kullanım alanı olarak prefabrik sektörü öne çıkmıştır [15]. Bu son kullanım alanında vibratör gereksinimi ortadan kalktığı için gürültünün zararlı etkilerinden korunmak olanağı da doğmuştur. Aynı nedenle yerleşim bölgelerinde, gece üretim yapılması gereken durumlarda kendiliğinden yerleşen beton kullanılabilir. Kendiliğinden yerleşen betonun bir diğer yararı işçiliği azaltırken yapım hızını artırmasıdır. Bir yapıda döşeme ve düşey elemanların üretiminin geleneksel betonla üretime göre kendiliğinden yerleşen beton kullanılması durumunda 1/5 oranında daha kısa sürede gerçekleşebileceği belirtilmiştir [16]. Ancak kendiliğinden yerleşen betonun tüm inşaatlarda yaygın olarak kullanılmasına henüz geçilememiştir. Bu durumun en önemli nedeni olarak söz konusu betonların maliyetlerinin henüz istenilen düzeylere indirilememiş olması sayılabilir. Ancak durabiliteye verilecek önemle birlikte, kendiliğinden yerleşen betonların kullanımının yapının ömrüne getireceği katkılar, bakım ve onarım harcamalarındaki azalmalar, yapım süresinin kısalması ve işçiliğin azalması, gürültü faktörünün düşürülmesi gibi avantajlar göz önüne alındığında zaman içinde yaygınlaşması beklenir [17].

Kendiliğinden yerleşen betonlarda yüksek akışkanlığın sağlanabilmesi için yeni nesil yüksek akışkanlaştırıcı katkılar kullanılmaktadır. Bu tür kimyasal katkı maddeleri

sayesinde betonda kullanılan su miktarı azaltılıp, yüksek akışkanlıkta betonlar üretilmektedir. Betonun üretiminde kullanılan su miktarının azalması nedeniyle betonun dayanımı da artmaktadır. Kendiliğinden yerleşen betonların üretiminde yüksek akışkanlaştırıcı katkı maddelerinin kullanılarak yüksek çökme değerlerine sahip olmasından dolayı, taşıma ve yerleştirme esnasında ayrışma ve terleme problemleri ortaya çıkabilmektedir. Taşıma, yerleştirme işlemlerinde ayrışma ve terleme tehlikesini ortadan kaldırmak, bu betonların yeterli kohezyona sahip olması ile mümkündür. Bu nedenle kendiliğinden yerleşen betonların karışım hesabı özel dikkat gerektirmektedir. Yüksek akışkanlaştırıcı katkı kullanımıyla ortaya çıkabilecek ayrışma problemini önlemek amacıyla iri agrega miktarını azaltarak, ince agrega miktarını %4-5 civarında arttırmak bugüne kadar yaygın olarak kullanılan bir yöntem olmuştur. Bu amaçla uçucu kül, taş unu, öğütülmüş cüruf, silis dumanı kullanılabilir. Öte yandan ince agrega miktarının arttırılması ve en büyük agrega boyutunun azaltılması ile yeterli kohezyon sağlanırken, çimento miktarının artmasına, dolayısıyla hem maliyetin hem de beton sıcaklığının yükselmesine neden olmaktadır. Gerekli kohezyonu sağlayabilmenin bir başka yöntemi de viskozite düzenleyici kimyasal katkıların kullanılmasıdır. Ancak bu tür katkılar da maliyeti önemli ölçüde arttırmaktadır [12,18].

Kendiliğinden yerleşen betonun bileşimine yönelik farklı kişi ve kurumların değişik yaklaşımları vardır. Örneğin Okamura ve arkadaşlarınca geliştirilen yöntemde 5-20 mm boyutlarında iri ve 5 mm' den küçük ince agrega kullanılmaktadır. İri agrega olarak, kuru halde sıkıştırılmış betona giren malzemelerin toplamının %50' si alınmaktadır. İnce agrega miktarı ise harç hacminin %50' sini oluşturmaktadır. Burada ince agrega 90 mikrondan büyük tanelerden oluşurken, bu değerden küçük taneler toz olarak tanımlanmıştır. Toz malzeme içinde çimento da sayılmıştır. Su/toz oranı ve süperakışkanlaştırıcı miktarı harçlar üzerinde gerçekleştirilen yayılma ve V Huni testleri ile belirlenmektedir. Daha sonra yukarıdaki adımlar izlenerek hazırlanan betonlarda çökme-yayılma değeri 650 mm'ye ulaşacak şekilde süperakışkanlaştırıcı düzeltmesi yapılmaktadır. Betonlar üzerinde V Hunisi testi tekrarlanarak akış zamanı 10-20 saniye arasında kalan betonlar Kendiliğinden yerleşen beton olarak kabul edilmektedir [25].

Daha sonra bu yöntem üzerinde bazı değişiklikler gerçekleştirilmiştir. Edamatsu ve arkadaşları [26] cam küreleri agrega olarak kullanarak agrega-harç oranını

belirlemişlerdir. Ouchi ve arkadaşları [27] ise, su/toz oranı ve süperakışkanlaştırıcı dozajını belirlemeye yönelik daha sağlıklı bir yöntem önermişlerdir. Belirli bir çökme yayılması ve akış süresi için az sayıda deney yapılarak su/toz ve süperakışkanlaştırıcı dozajı elde edilebilmektedir.

Khayat ve arkadaşları [28] ise "ayrışma kontrollü tasarım" olarak adlandırdıkları yöntemde, belirli bir agrega boyut dağılımı ve miktarı için betonda akıcılık ve ayrışma direncini çimento hamuru reolojisi ve yoğunluğunun belirlediği noktasından hareket etmişlerdir. Ayrıca ayrışma direnci sağlayabilmek için, çimento hamurunun belirli bir minimum akma eşiği ve viskozite katsayısının üzerinde değerlere sahip olması gerekir. Buna karşılık betonun akıcı olabilmesi için söz konusu akma eşiği ve viskozitenin tam tersine küçük değerlerde kalması gerekir. İşte hem ayrışmayı önleyen hem de akıcılığı sağlayan çözüm optimum değer olmaktadır.

2.4.1. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri

Kendiliğinden yerleşen betonların performansları ile taze beton özellikleri arasında önemli bir ilişki vardır. Reoloji ve işlenebilirlik parametreleri kendiliğinden yerleşen betonun pratikteki kullanım performansını etkilemektedir. Kendiliğinden yerleşme yeteneği üç parametre ile karakterize edilebilir: doldurma yeteneği, ayrışmaya karşı direnç ve geçiş yeteneği [19].

2.4.1.1. Doldurma Yeteneği

Kendiliğinden yerleşen beton kendi ağırlığı ile şeklini değiştirme ve deforme olma özelliğine sahip olmalıdır. Doldurma yeteneği, betonun boşaltma noktasından ne kadar uzaklığa akabildiği ve bu akışın hızı (deformasyon hızı) kavramlarını içermektedir. Yayılma deneyi ile ölçülen betonun yayılma çapı ve bu çapa ulaşması için geçen süre ile söz konusu özellik değerlendirilebilir. İyi bir doldurma yeteneği için, deformasyon kapasitesi ile deformasyon hızı arasında bir denge olmalıdır.

Betonun iyi deforme olabilmesi için, iri agega, ince agrega ve her türlü bağlayıcı dahil katı tanecikler arasındaki sürtünmenin azaltılması faydalıdır. Ancak bu yeterli değildir, çimento hamuru fazı da iyi deforme olabilmelidir. Yüksek akışkanlıkla birlikte ayrışmaya karşı yüksek direncin sağlanması, kendiliğinden yerleşen betonun engellerin arasından geçerek doldurma kapasitesinin arttırılması açısından önemlidir.

Uygun doldurma yeteneği için aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır:

Çimento hamuru fazının deformasyon yeteneğinin arttırılması:

- Süperakışkanlaştırıcı katkı kullanımı
- Dengelenmiş su/bağlayıcı oranı

Tanecikler arası sürtünmenin azaltılması:

- Düşük kaba agrega hacmi (yüksek çimento hamuru fazı içeriği)
- Kullanılan agrega ve çimentoya göre optimum gradasyon [20]

2.4.1.2. Ayrışmaya Karşı Direnç

Taze betonda ayrışma (segregasyon), bileşen malzemelerin homojen olmaksızın dağılarak yapıdaki özellikleri de dağılıma uğratması olayıdır. Normal akışta ayrışma göstermeyen taze beton, örneğin sık donatıların bulunması durumunda ayrışmaya uğrayabilir.

Kendiliğinden yerleşen beton gerek durağan, gerekse akış halinde aşağıdaki tip ayrışmaları göstermemelidir:

- Terleme,
- Çimento hamuru fazı ve agrega ayrışması,
- Blokaja (kilitlenme) neden olan kaba agrega ayrışması,
- Hava boşluğu dağılımında düzensizlik.

Uygun ayrışma direnci için aşağıdakiler dikkate alınmalıdır:

Katı maddelerin ayrılmasını azaltmak,

- Sınırlı agrega içeriği
- Azaltılmış en büyük agrega tane çapı
- Düşük su/bağlayıcı oranı
- Viskozite arttırıcı

Serbest terlemenin minimize edilmesi,

- Düşük su içeriği

- Düşük su/bağlayıcı oranı
- Yüksek yüzey alana sahip bağlayıcılar
- Viskozite arttırıcı [20]

2.4.1.3. Geçiş Yeteneği

Kendiliğinden yerleşen beton yeterli akıcılığa ve aynı zamanda ayrışmaya karşı dirence sahip olduğunda etkili bir işlev görür. Ancak dar geçişler ve çok sık donatı söz konusu olduğunda, ekstra bir ihtiyaç daha doğmaktadır ki, bu da kaba agregaların blokajlanmasıdır.

Mükemmel doldurma yeteneğine ve ayrışma direncine sahip olan bir kendiliğinden yerleşen betonda bile aşağıdaki durumlarda blokaj riski söz konusudur:

- En büyük agrega dane çapı çok büyükse
- İri agregaların içeriği çok yüksekse

Uygun geçiş yeteneği için aşağıdakiler dikkate alınmalıdır:

Agrega ayrışmasını azaltmak için kohezyonu arttırmak

- Düşük su/bağlayıcı oranı
- Viskozite arttırıcı

Uygun iri agrega kullanımı

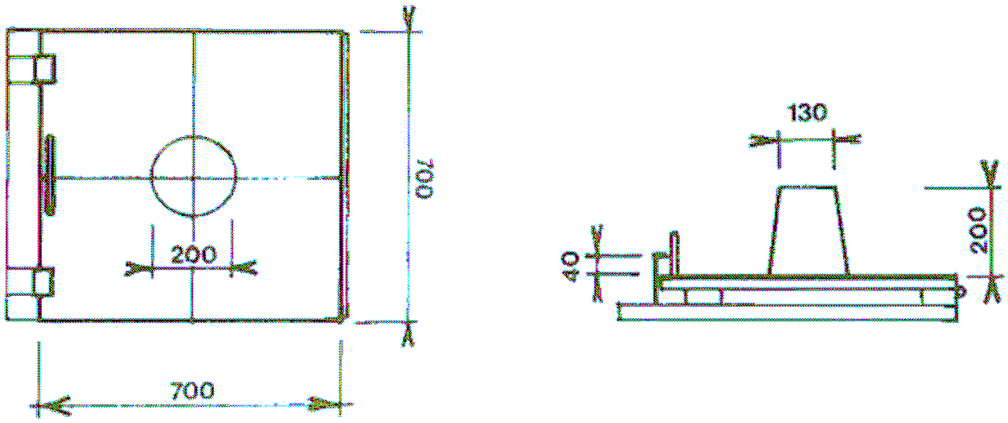
- Düşük kaba agrega hacmi
- Düşük en büyük dane çaplı agrega [20]

2.4.2. Kendiliğinden Yerleşen Beton Deney Yöntemleri

2.4.2.1. Çökme-Yayılma Deneyi

Uygulanması oldukça kolay olmasına rağmen iki kişiye ihtiyaç duyulan bu deney ilk defa Japonya'da su altı betonlarının incelenmesi için geliştirilmiştir. Üretilen betonun akıcılık ve yayılma yeteneklerinin belirlenmesinde kullanılan bu deney yöntemi, kendiliğinden yerleşen betonlar için de uygulanmaktadır. Hiçbir engelin bulunmadığı durumda, betonun kendi ağırlığı altında serbest olarak deforme olabilme yeteneğini incelemek amacı ile kullanılmaktadır. Gerçek durumda ise donatılar mevcut olduğu için beton serbest olarak deforme olamamaktadır [21]. Bu deney taze kendiliğinden

yerleşen betonun deformasyon hızının gözlenmesini ve numunenin kendi ağırlığı ile yayılarak oluşturacağı çapın ölçülmesini kapsar. Deney aparatı olarak çökme (slump) hunisi ve 80cm*80cm boyutlarında bir tabla kullanılır. Çökme hunisi kendiliğinden yerleşen beton ile doldurularak kendi ağırlığı ile seviyelenmesi beklenir. Bu esnada betona şişleme veya sarsma uygulanmaz. Slump hunisi yukarı doğru çekildiğinde dairesel olarak yayılan kendiliğinden yerleşen betonun ortalama çapı ölçülür. Ayrıca bir kronometre ile 50cm yayılma değeri için geçen zaman tutulur [20]. T_{50} süresi ve yayılma çapı betonun akıcılığı hakkında bilgi verirken, gözlem yapılarak segregasyon hakkında bilgi sahibi olmak da mümkündür. İri agregaların çap boyunca dağılmaması ya da çimento hamurunun bir şerit şeklinde agregalardan ayrılması segregasyon olduğuna işaret etmektedir [21]. Şekil 2.1' de çökme-yayılma testi deney düzeneği yer almaktadır.

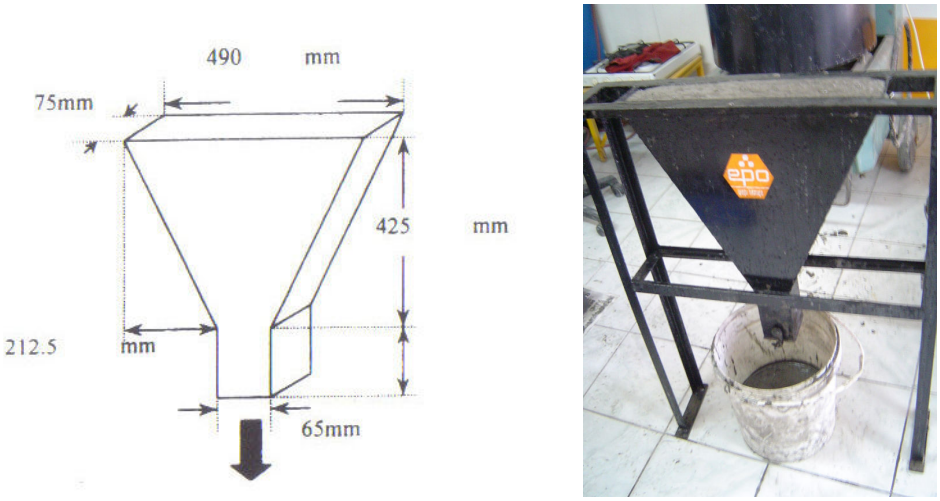


Şekil 2.7: Çökme-Yayılma Testi Deney Düzeneği [21].

2.4.2.2. V-Hunisi Akış Deneyi

İlk olarak Japonya'da geliştirilen ve Ozawa tarafından kullanılan bu test düzeneği, KYB' nin dar bir kesitten kendi ağırlığı altında geçiş yeteneğini incelemek amacı ile oluşturulmuştur. Akış hızının belirlenmesi ve gözlem yapılması sureti ile KYB' nin viskozitesi hakkında bilgi veren bu deney yönteminde, belirli aralıklarla belirlenen akış sürelerinin kullanılması sonucu ayrışma direnci hakkında da bilgi edinilmektedir. Maksimum agrega boyutu 25mm'nin altında olan betonlar için kullanılan bu deney, V şeklinde dikdörtgen kesitli bir huniden oluşmaktadır. Yaklaşık 12 litre hacme sahip bu huninin en alt kesitinde betonun akışına izin vermek üzere kullanılan bir kapak bulunmaktadır. Deney düzeneğinin yüzeyleri nemlendirildikten sonra üst yüzeye kadar beton ile doldurulur. Alt kapağın açılması

ile deney başlar ve süre çalıştırılır. Akış, üstten bakıldığında alt kesitte ışığın görülmesi ile tamamlanır ve geçen süre ölçülür. Deney sırasında sürekli ya da geçici olarak, akışın bloklanma nedeni ile engellenip engellenmediği gözlemlenir ve not edilir [21]. Şekil 2.2' de V hunisi testi deney düzeneği yer almaktadır.

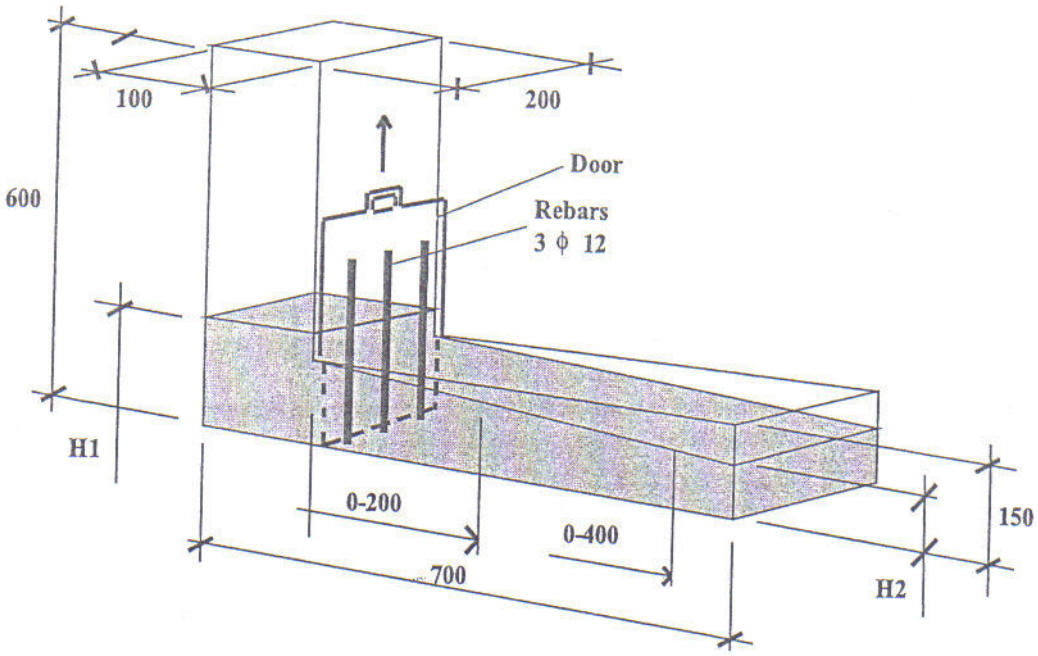


Şekil 2.8: V-Hunisi Testi Deney Düzeneği [20].

2.4.2.3. L Kutusu Deneyi

Bu deney düzeneği, ilk olarak Japonya'da M. Sonebi tarafından su altı betonlarının akış kabiliyetlerini değerlendirmek için tasarlanmış olan L-Flow isimli deney düzeneği esas alınarak oluşturulmuştur. Ö. Petersson tarafından geliştirilen bu sistem ile betonun akıcılığını ve tıkanma riskini değerlendirmek mümkün olmaktadır [21].

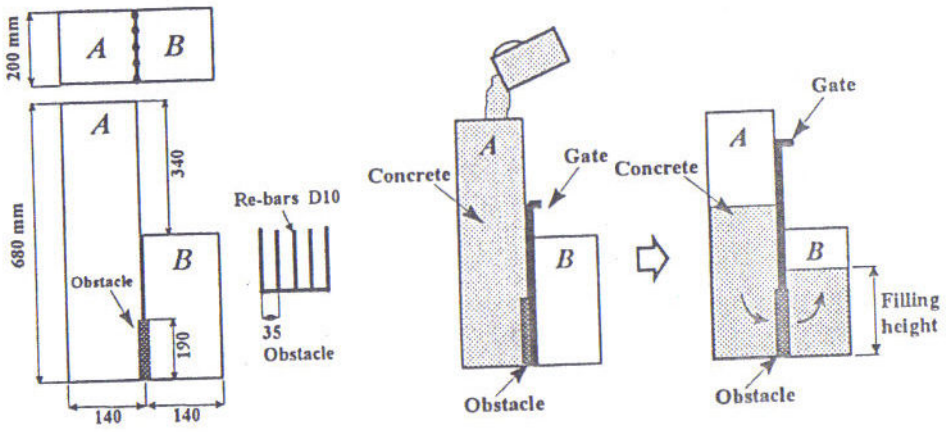
Bu alet kare kesitli kutu şeklinde bir bölüm ile bunun önünde yer alan bir yatay platformdan oluşmaktadır. Kutunun alt kısmında bulunan açıklığa 12 mm çaplı ve 34 mm aralıklı 3 adet çelik donatı yerleştirilmiştir. Başlangıçta açıklık bir kapak ile kapatılmıştır. Kutu taze beton ile doldurulduktan sonra, kapak yukarıya doğru çekilir ve beton donatılar arasından geçerek platform üzerinde akmaya başlar. 200mm ve 400mm 'lik uzaklıklara ulaşma süreleri ayrı ayrı ölçülür. Ayrıca betonun kutu içinde kalan bölümünün ve en uçtaki (platformda) bölümünün yükseklikleri ölçülür. Bu deney, taze kendiliğinden yerleşen betonun kendiliğinden yerleşme yeteneğini, geçiş yeteneğini ve ayrışmaya karşı direncini ölçmek için kullanılır [17,20]. Şekil 2.3' de L kutusu deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 2.9: L Kutusu Testi Deney Düzeneği [22].

2.4.2.4. U Kutusu Deneyi

Bu test düzeneği Japonya'da Taisei şirketinin teknoloji araştırma merkezinde geliştirilmiştir. Bu deney yöntemi, maksimum agrega boyutu 25mm' den küçük olan su altı betonlarına ve kendiliğinden yerleşen betonlara, doldurma kapasitelerini ve akış yeteneklerini tayin etmek amacı ile uygulanmaktadır. U borusu şeklinde iki kutu yan yana yerleştirilmiş ve aralarında alttan 19 cm' lik bölüm açık olacak şekilde ayarlanmıştır (Şek.2.4). Bu açıklığa 10 mm çaplı 5 adet çelik çubuk aralarında 35 mm aralık kalacak şekilde düşey konumda yerleştirilir. Beton doldurulmadan önce bu açıklık hareket edebilen bir kapak ile kapatılır. Büyük olan kutu tamamen kendiliğinden yerleşen beton ile doldurulduktan sonra kapak düşey olarak kaldırılır ve betonun diğer kutuya akması sağlanır. Kendiliğinden yerleşen beton kendi ağırlığı altında bu kutuyu belirli bir yüksekliğe kadar doldurur. Burada betonun hem engellerden geçme yeteneği hemde doldurma yeteneği ölçülmektedir. Deney sırasında iki ölçüm yapılır; hem doldurma işlemi bitene kadar geçen süre ölçülür, hem de ikinci kabinde betonun yükselme değeri kaydedilir [21,23].



Şekil 2.10: U Kutusu Testi Deney Düzeneği [24].

2.5. Uçucu Küller

Uçucu kül kömürle çalışan termik santralarında ortaya çıkan bir atık üründür. Termik santrallarda çok ince öğütülerek yakılan kömürde aşağıda belirtilen üç farklı külün elde edilmesi mümkündür;

- Göreceli olarak iri taneli olup baca gazları ile taşınamayan ve kazan tabanına düşen "taban külü",
- Siklon tipi ocaklarda yakılan kömürün suda soğutularak uzaklaştırılması ile elde edilen "ham kül" ve
- Çok ince taneli olup baca gazları ile taşınan "uçucu kül".

Çevreyi olumsuz olarak etkileyecekleri için, uçucu küllerin santral bacasından çıkarak havaya karışması önlenir.bu amaçla, küller mekanik ve elektrostatik yöntemle toplanarak santral çevresinde veya başka uygun yerlerde depolanır. Zamanla biriken küller geniş alanları kapsamaya başlar ve santral idaresi için problem olur.

Bu gün dünyada ortaya çıkan uçucu kül miktarı yılda 600 milyon ton civarındadır.

Türkiye'de halen Afşin – Elbistan, Çatalağzı, Çayırhan, Kangal, Kemerköy, Orhaneli, Seyitömer, Soma, Tunçbilek, Yatağan ve Yeniköy santralları olmak üzere 11 termik santral faaliyet göstermektedir. Bu santrallardan yıllık uçucu kül üretimi ortalama 13 milyon ton kadar olmakta, ancak doğalgaz santralarının devreye girmesi ile yıldan yıla değişmektedir. Ülkenin enerji üretiminde dışa bağımlılığını azaltmanın

bir yolu da, endüstrinin diğer kesimlerinde yararlanılamayan düşük kalorili linyit kömürlerini termik santralarda kullanmaktan geçmektedir. Dolayısıyla yıllık uçucu kül miktarlarının gelecekte daha fazla artacağı tahmin edilmektedir [49].

2.5.1. Uçucu Külün Kullanım Alanları

Her endüstriyel atık gibi uçucu külden de yararlanma olasılıkları araştırılmıştır. Bunların başında çimento ve betona katkı malzemesi olarak kullanılması gelir. Silindirle sıkıştırılmış betonlarda, beton blok ve boru yapımında kullanım bulur. Çimento hammaddesi olarak kullanılabilir. Özel işlemlerle uçucu külden dayanıklı hafif agrega elde edilebilir. Diğer kullanım alanları arasında: beton ve asfalt yollarda, yol kumtaşı blokların, endüstriyel seramik ve reflakterlerin, boyaların üretiminde, katkı atıklarının stabilizasyonunda ve bitki yetiştirilmesinde kullanımları sayılabilir.

Uçucu külün bilinçli olarak çeşitli alanlarda kullanımı hem kullanıcı, hem de külü üreten için ekonomik avantaj sağlar, atık bir madde ortadan kalktığı için çevre korunmuş olur.

2.5.2. Uçucu Külün Beton Özelliklerine Etkisi

Uçucu külün özellikleri kömürün özelliklerine ve yakılma yöntemine bağlı olarak farklılıklar gösterir. Genellikle silisli ve aluminli olan bileşimi dolayısıyla puzolanik özellik göstererek çimento ve betonda katkı maddesi olarak yararlı olur. İnce ve küresel taneleri dolayısı ile taze betonda işlenebilmeyi artırır; ayrıca hidratasyon ısısını azaltır. Çimento hidratasyonu sonucunda oluşan kireçle reaksiyona girerek ilave bağlayıcı jel oluşturur, çimento hamurundaki boşlukları doldurur ve betona dayanıklılık kazandırır. Linyit kömürü yakılması ile elde edilen uçucu külde genellikle kireç oranı yüksek olup bu tür küller aynı zamanda bağlayıcılık özelliği gösterirler.

Antrasit kömüründen veya iyi yakılmayan diğer kömürlerden elde edilen uçucu küllerde karbon miktarı yüksek olur. Bu da çimento ve betonda su ihtiyacını artırır; puzolanik özelliği ve kaliteyi olumsuz etkiler. Uçucu kül genellikle çimentodan daha ince taneli olarak elde edilir. Dolayısıyla ilave öğütme gerektirmeden kullanılabilir. Gerektiğinde seperatörden geçirilerek inceliği daha da artırılır ve olumlu özellikleri daha da etkin hale getirilir.

2.5.3. Uçucu Küllerin Sınıflandırılması

Uçucu kül, termik santrallerde pulverize kömürün yanması sonucu meydana gelen baca gazları ile taşınarak siklon veya elektrofiltrelerde toplanan önemli bir yan üründür. Kömürün yüksek sıcaklıklarda yanması sonucu meydana gelen ergimiş malzeme soğuyarak, gaz akışı ile kısmen veya tamamen küresel şekilli kül taneciklerine dönüşmektedir. Bu kül tanecikleri çok ince (0.5 – 150 mikron) olup, baca gazları ile sürüklenmeleri nedeniyle, uçucu kül olarak adlandırılmaktadır.

Uçucu külde bulunan başlıca bileşenler SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 ve CaO olup, bunların miktarları uçucu külün tipine göre değişmektedir. Ayrıca MgO, SO_3, alkali oksitler de minör bileşenler olarak bulunmaktadır. Uçucu küllerdeki temel oksitlerden SiO_2 %25 – 60, Al_2O_3 %10 – 30, Fe_2O_3 %1 – 15 ve CaO %1 – 40 oranlarında bulunmaktadır. Bu farklı aralıktaki değerler uçucu külün tipini karakterize etmektedir.

Uçucu küllerin sınıflandırılmasında, kimyasal bileşen yüzdesine göre esas olarak ASTM C 618 ve TS EN 197-1 standartları baz alınmaktadır.

ASTM C 618 standardına göre uçucu küller F ve C sınıflarına ayrılırlar:

- F sınıfına, bitümlü kömürden üretilen ve toplam SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3 yüzdesi %70'den fazla olan uçucu küller girmektedir. Aynı zamanda bu küllerde CaO yüzdesi %10'un altında olduğu için düşük kireçli olarak adlandırılırlar. F sınıfı uçucu küller, puzalonik özelliğe sahiptirler.
- C sınıfı uçucu küller ise, linyit veya yarı bitümlü kömürden üretilen ve toplam SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3 miktarı %50'den fazla olan uçucu küllerdir. Aynı zamanda, C sınıfı uçucu küllerde CaO > %10 olduğu için bu küller yüksek kireçli uçucu küller olarak da adlandırılırlar. C sınıfı uçucu küller, puzalonik özelliğin yanı sıra bağlayıcı özelliğe de sahiptirler.

TS EN 197-1'e göre sınıflandırmada uçucu küller, silissi (V) ve kalkersi (W) olmak üzere iki guruba ayrılırlar:

- V sınıfı uçucu küller, çoğunluğu puzalonik özelliğe sahip küresel taneciklerden meydana gelen ince bir toz olup; esas olarak reaktif silisyum dioksit (SiO_2) ve alüminyum oksitten (Al_2O_3) oluşan; geri kalanı demir oksit

ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde reaktif kireç (CaO), oranının %10'dan az, reaktif silis miktarının %25'den fazla olması gerekmektedir.

- W sınıfı küller ise, hidrolik ve/veya puzolanik özellikleri olan ince bir toz olup; esas olarak reaktif kireç (CaO), reaktif SiO_2 ve Al_2O_3'den oluşan ; geri kalanı demir oksit (Fe_2O_3) ve bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde, reaktif kireç (CaO) oranının %10'dan fazla, reaktif silis miktarının da %25'den fazla olması gerekmektedir [49].

2.5.4. Uçucu Küllerin Morfolojik Özelikleri

Uçucu külde, büyüklükleri 0.5 μm arasında değişen hem camsı küresel, hem de düzensiz şekilli tanecikler bulunmaktadır. Bu taneciklerin şekil ve büyüklük açısından farklılıkları, uçucu külün tipinden (düşük veya yüksek kireçli) kaynaklanmaktadır.

Camsı küresel şekilli tanecikler, içi boşluksuz küresel yapılar, boşluklu küreler; büyük bir küre içinde, küçük küreler kümesi içeren yapılar; yüzeyi düzensiz dağılmış şekilsiz boşluklar içeren yapılar, yüzeyinde sıvı damlacıkları bulunan yapılar, yüzeyi kristal ile kaplanmış yapılar, deforme yapılar; yüzeyinde şekilsiz birikimler olan yapılar gibi çeşitli şekiller halinde bulunabilir.

Küresel olmayan tanecikler, kömürden gelen ve yanma reaksiyonlarına katılmamış mineraller (kuvars, feldispatlar gibi) düzensiz şekilli ve gözenekli yapılardan (kil kalıntıları, yanmamış karbon gibi) oluşmaktadır.

Taneciklerin şekil ve büyüklük dağılımları, taze betonun su ihtiyacı ve işlenebilirlik gibi reolojik özelliklerine etki etmektedir. Bu etki özellikler küresel taneciklerin kayganlaştırıcı nitelik taşıması ve dolgu maddesi özelliğine sahip olma; şekilsiz, pürüzlü yüzeye sahip olanların su ihtiyacını artırma şeklinde olmaktadır. Ayrıca uçucu külün tane büyüklük dağılımının çok değişken olması halinde de su ihtiyacı artmaktadır.

Uçucu külün granülometrik bileşiminin çoğunun 40 μm'nin altında olması (10-20μm) ve şeklinin de genelde küresel olması puzolonik aktiviteye olumlu etki etmektedir. Özellikle yüzeyi pürüzsüz ince küresel tanecikler, büyük yüzey alanına sahip olduğu için kireç-silikat reaksiyonlarına daha hızlı girmektedirler.

Buna bağlı olarak yüksek kireçli külün aktivitesinde kristalize aktif fazlar (anhidrit, kireç) ve az camsı fazı rol oynamakta, düşük kireçlide ise taneciklerin şekli, büyüklük dağılımı ve camsı fazın fazlalığı önem taşımaktadır[49].

2.6. Süper Akışkanlaştırıcı Katkı Maddeleri

Betonun taze ve/veya sertleştirilmiş haldeki özelliklerini değiştirmek için karıştırma işlemi sırasında betona, çimento kütlesinin %5'ini geçmemek üzere eklenen maddelere "kimyasal katkı" denilmektedir [34]. Son yıllarda inşaat sektöründeki hızlı ilerlemeye paralel olarak yapı malzemeleri açısından da önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Önceleri beton; çimento, kum-çakıl ve sudan ibaret olarak görülürken, günümüzde yaşadığımız çeşitli problemler ve artan ihtiyaçlar nedeniyle, beton üretiminde katkı maddelerinin kullanılması kaçınılmaz hale gelmiştir. Katkı maddelerinin sağladığı kolaylıklara (erken kalıp alma, beton basınç dayanımının artırılması, sıcak, soğuk havada veya su içinde beton dökebilme imkanı sağlanması vs.) yanı sıra fazla kullanılması ve/veya doğru uygulanmaması nedeniyle betonda istenmeyen sonuçlara ve geri dönüşü olmayan zararlara sebebiyet verebilmektedir [35].

Akışkanlaştırıcı katkılar taze beton ya da harcın işlenebilirliğini değiştirerek reolojik özelliklerini etkileyen, su/çimento oranını düşürerek boşluk ve ayrışma olmaksızın daha iyi bir yerleşmenin sağlanması ile dayanım ve dayanıklılık özelliklerini etkileyen katkılardır. Etkinlik derecelerine göre normal akışkanlaştırıcılar, orta derecede su azaltıcı akışkanlaştırıcılar ve süper akışkanlaştırıcılar olmak üzere 3 ana grupta toplamak mümkün olmaktadır. Akışkanlaştırıcıların bu etkileri göstermeleri, hava sürüklemeleri, çimento taneleri tarafından absorbe edilmeleri ve prizi geciktirmelerinden kaynaklanmaktadır. Akışkanlaştırıcı kullanılması ile oluşan kapalı hava boşluklarının yüzeysel sürtünme kuvveti bulunmamaktadır. Böylece kararlı olan bu hava boşlukları, betonun içsel sürtünmesini azaltarak daha az su ile benzer işlenebilme yeteneğinin elde edilmesini sağlamaktadır [10].

Katkı maddelerini kullanırken aşağıda belirtilen genel bilgiler hatırlanmalıdır.

- Kurallarına uygun olarak üretilmeyen kötü bir beton, katkı maddeleri kullanılarak iyileştirilemez.

- Katkı malzemelerinin eldeki diğer maddeler ile uygunluğu önceden deneylerle araştırılmalıdır.
- Üretici tarafından önerilen katkı maddelerinin dozajlarının uygunluğu önceden deneylerle araştırılmalıdır.
- Katkı maddelerinin ana fonksiyonları yanında yan etkileri de vardır.
- Bazı durumlarda kullanılacak birden fazla katkı maddesinin birbirleri ile olan uyumları önceden yapılacak deneylerle araştırılmalıdır[38].

Katkılar oluşturdukları etkiler ve fonksiyonları açısından sınıflandırılabilir. RILEM-Uluslar arası Malzeme ve Yapı Laboratuarları Birliği şu sınıflandırmayı yapmıştır:

- Taze betonun reolojik özelliklerini değiştiren katkı maddeleri,
- Priz ve sertleşmeyi etkileyen katkı maddeleri,
- Beton hava içeriğini değiştiren katkı maddeleri,
- Betonların fiziksel ve mekanik niteliklerini arttıran katkı maddeleri,
- Betonun kimyasal etkilere dayanıklılığını etkileyen katkı maddeleri,
- Betona ek nitelikler kazandıran katkı maddeleri [39].

Betonun üç temel özelliği olan dayanım, dayanıklılık ve işlenebilirlik yüksek performanslı betonlarda özellikle geliştirilmelidir. Bundan dolayı yüksek performanslı beton elde etmek için ilk koşul üretim aşamasında su/çimento oranını mümkün olan en düşük seviyeye düşürmektir. İkincil koşul ise betonun boşluk oluşmadan ve ayrışmaksızın kolayca yerleştirilebilmesidir. Bu iki koşul yıllardan beri klasik beton teknolojisi için geçerli olsalar da ancak süperakışkanlaştırıcıların bulunmasıyla uygulanabilmiştir [36].

Yeni kuşak süperakışkanlaştırıcılar, günümüzde geniş kullanım alanına sahip olan naftalin ve melamin esaslı süperakışkanlaştırıcılara göre betonda çok daha yüksek oranda su kesmekte ve yaklaşık 90 dakika süreyle işlenebilirliğini korumaktadır [36].

Bu katkılar, bileşenleri özel olarak seçilmiş bir betona çok akıcı bir kıvam ve kendiliğinden yerleşme özelliği kazandırırlar. Çimentonun beton içindeki dağılımı, bu katkılarla çalışıldığında klasik süperakışkanlaştırıcılarda olduğu gibi yalnızca elektriksel etki ile değil aynı zamanda uzun dallar içeren polimer zincirleri sayesinde

çimento tanecikleri çevresinde birbirini iten fiziksel bir etki ile (sterik etki) ince tanecikleri dağılıp kararlı hale gelir. Bu şekilde betona hem yüksek oranda su kesme özelliği kazandırılır hem de uzun süre kendiliğinden en küçük detaylara dahi ayrışmadan ve titreşim gerektirmeden yerleşebilen betonlar elde etmek mümkün olmaktadır [40].

Yüksek performanslı betonların gelişimi için ilave özellikler veren başkaca kimyasal katkı ve bağlayıcı malzemeler bulunmaktadır. Süperakışkanlaştırıcılar ile birlikte kullanılan kimyasal katkılar; geciktiriciler, hava sürükleyiciler, viskozite artırıcı bileşenler, pompalanabilirlik için yardımcı kimyasallar, su altı betonu üretiminde kullanılan katkılar ve korozyon önleyicilerdir. Ayrıca silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi mineral katkılar da kullanılmaktadır. Süperakışkanlaştırıcılar ile tüm bu mineral ve kimyasal katkıların uyumu, etkileşimleri (taze beton özellikleri üzerinde) halen incelenmektedir [36].

İşlenebilirliği düşürmeden su/çimento oranını ve aynı zamanda kullanılan çimento miktarını azaltan, ayrışma olmaksızın akıcılığı arttırarak ulaşılması en zor yerlere dahi beton dökümüne izin veren akışkanlaştırıcılar, son dönemde yeni kuşak süperakışkanlaştırıcıların da ortaya çıkması ile yüksek performanslı betonların üretilmesine olanak sağlamaktadır. Bu betonların akışkanlıkları kendiliğinden yerleşme sağlayacak derecede yüksek olabilmekte ve kendiliğinden yerleşen betonların gelişmesine olanak sağlamaktadır. Kimyasal bileşimleri göz önüne alındığında süperakışkanlaştırıcıları 3 farklı grupta toplamak mümkün olmaktadır;

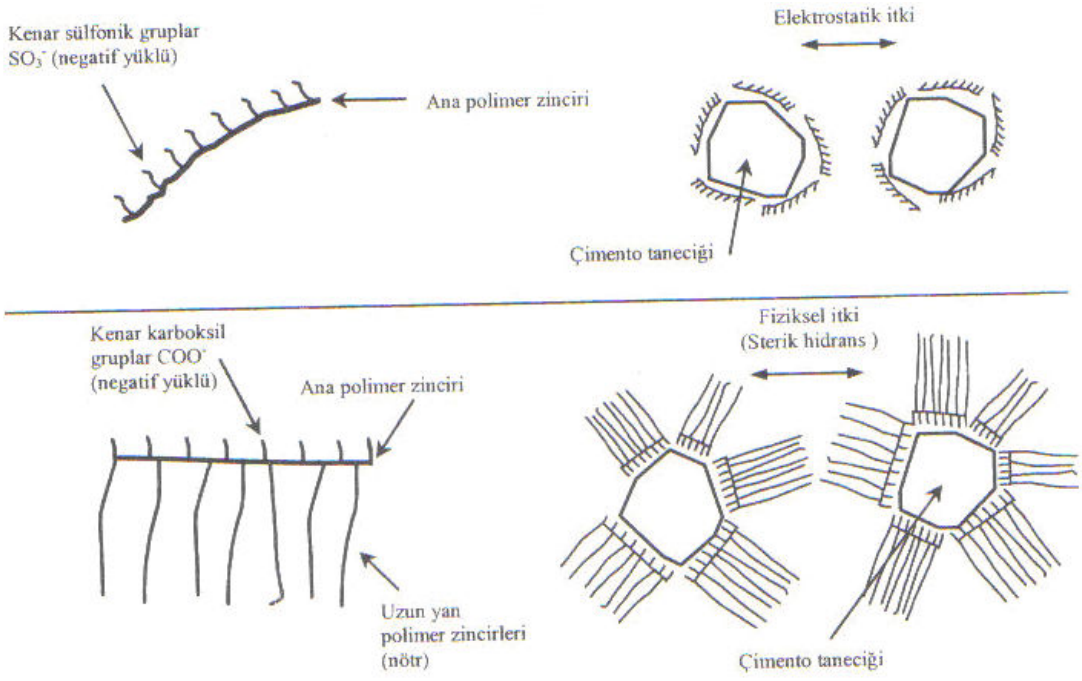
a) Sülfonatlı sentetik polimerler,

b) Karboksilatlı sentetik polimerler,

c) Modifiye linyo sülfonatlar [10].

Polikarboksilat bazlı akışkanlaştırıcılar, geleneksel akışkanlaştırıcılara kıyasla farklı bir kimyasal yapıya sahiptir. Polikarboksilat bazlı katkıları, çeşitli kimyasal proseslerle ve değişik hammaddelerin kullanımı ile, çok farklı özelliğe sahip hale getirmek mümkündür [41,42]. Bu katkılar, Şekil 2.5'de görüldüğü gibi çimento tanecikleri üzerine adsorbe olarak elektrostatik itki kuvvetlerinin yanında fiziksel itki (sterik etkiler) kuvvetleri de oluşturarak betonun akışkanlık özelliğini geliştirir [41]. Geleneksel lignosulfonat ve naftalin – melamin formaldehit sulfonat kökenli

katkılarda sadece elektrostatik itki kuvvetleri çimento dispersiyonunu sağlarken, polikarboksilat kökenli katkılarda, ilave fiziksel kuvvetler (sterik etkiler) de söz konusu olmaktadır. Bu yüzden katkı performansında büyük değişiklik meydana gelmektedir [43]. Şekil 2.5'de üstteki kısım naftalin formaldehit sulfonat kökenli bir katkının, alttaki ise polikarboksilat kökenli bir katkının etki mekanizmasını temsil etmektedir [44].



Şekil 2.11: Geleneksel akışkanlaştırıcı katkıların (üst) ve polikarboksilat bazlı katkıların çimento taneciklerini elektrostatik ve fiziksel itki kuvvetleri ile birbirinden uzaklaştırması

Polikarboksilat bazlı akışkanlaştırıcılar taze betonda farklı etkiler yaratabilirler, örneğin;

- Beton karışım suyunu çok yüksek oranda azaltabilirler, ancak beton hızla işlenebilirlik kaybedebilir,
- Göreceli olarak daha az su kesebilirler, ancak üretilen beton işlenebilirliğini daha uzun süre koruyabilir,
- Hem ilk anda yüksek oranda su azaltan hem de uzun süre işlenebilirliği koruyan beton üretimine olanak sağlayabilirler[45].

Polikarboksilat kökenli akışkanlaştırıcılar kendi aralarında su kesme ve işlenebilirliği zamana bağlı olarak koruma performansı açılarından farklılık gösterirler. Bu farklılığın temel nedenleri, katkı üretiminde kullanılan hammadde farklılıkları, katı

molekül uzunluğu, bir başka deyişle molekül ağırlığı… vb. faktörlerdir. Faktörlerin birkaç tanesi aynı anda değişebildiği için tek bir parametre değişiminin etkisini belirlemek oldukça güçtür. Bu yüzden, üretimi yapılan polikarboksilat bazlı akışkanlaştırıcının su kesme performansı ve işlenebilirliğini zamana bağlı olarak koruma özellikleri, katkı dozajının bir fonksiyonu olarak deneysel çalışmalarla incelenmelidir[46]. Böylece optimum katkı dozajı, hedeflenen özelliğe göre belirlenerek akışkanlaştırıcı katkının verimli kullanımı sağlanabilir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Yapılan Deneyler

Bu bölümde, beton üretiminde kullanılan malzemeler, bu malzemelerin özellikleri, beton karışımları ile üretimi ve deneysel çalışmalarda yapılacak taze ve sertleşmiş beton deneyleri açıklanmıştır.

Bu çalışmada farklı oranlarda çelik lif içeren ve üç farklı yeni nesil süperakışkanlaştırıcı kullanılarak üretilen kendiliğinden yerleşen betonlarda taze beton deneyleri olarak birim ağırlık, yayılma, V-hunisi, L-kutusu ve U-Kutusu deneyleri yapılıp üretilen betonlardan numuneler alınmıştır. Kürünü tamamlayan numuneler üzerinde basınç dayanımı, eğilme dayanımı, utrases geçiş hızı deneyleri yapılarak elastisite modülleri hesaplanmıştır.

3.2.Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

3.2.1 Çimento

Beton numunelerin üretiminde SET Çimento Fabrikasına ait PÇ 42.5 (CEM I) tipinde çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri Tablo 3.1'de, kimyasal özellikleri Tablo 3.2'de ve basınç dayanımları da Tablo 3.3'te gösterilmiştir.

Tablo 3.1: Çimentonun Fiziksel Özellikleri

Fiziksel Özellikler		Analiz Sonuçları	Standart: TSEN 197-1	
			min	max
Blaine Özgül Yüzey	cm^2/gr	3504	2800	-
µ90 elekte kalan	%	1,9	-	-
µ45 elekte kalan	%	18,98	-	-
Priz Başlangıcı	saat	3:51	1	-
Priz Sonu	saat	4:46	-	10
Hacim Genleşmesi	mm	1		
Özgül Ağırlık	gr/cm^3	3,16	-	-

Tablo 3.2 : Çimentonun Kimyasal Özellikleri

Kimyasal Özellikler		Analiz Sonuçları	Standart: TSEN 197-1 max
MgO	%	1,25	5,0
SO_3	%	3,18	3,5
Cl	%	0,01	0,1
Kızdırma Kaybı	%	2,47	5,0
Çözünmeyen Kalıntı	%	0,25	1,5

Tablo 3.3 : Çimentonun Basınç Dayanımı

Basınç Dayanımı	N/mm²	Standart TSEN 197-1 min
2 günlük	26,5	20,0
7 günlük	41,4	31,5
28 günlük	53,3	42,5

3.2.2 Uçucu Kül

Deneylerde bağlayıcı görevindeki çimentonun miktarını azaltmak, kohezyonu sağlamak amacıyla puzolanik özellikte olan uçucu kül kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan uçucu kül Seyitömer Termik Santralinden elde edilmiş olup toplam SiO2+Al2O3+FeO3 yüzdesi %70 den fazla, CaO yüzdesi de %10 dan az olduğundan ASTM C618'e göre F sınıfına (düşük kireçli uçucu kül) girmektedir. TS EN 197-1 göre ise SiO2 yüzdesi %25 den fazla ve CaO yüzdesi %10 dan az olduğundan V sınıfına (silisli uçucu kül) girmektedir. Uçucu külün miktarı bütün numuneler için 150 kg/m³ olarak belirlenmiş olup Tablo 3.4'de kimyasal özellikleri, Tablo 3.5'te ise fiziksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.4 : Uçucu Külün Kimyasal Özellikleri

Kimyasal Özellikler	
SiO_2 (%)	53,22
Al_2O_3 (%)	19,96
Fe_2O_3 (%)	11,44
CaO (%)	3,79
MgO (%)	4,67
SO3 (%)	0,7
K_2O (%)	2,69
Na2O (%)	0,37
SCaO (%)	0,02

Tablo 3.5 : Uçucu Külün Fiziksel Özellikleri

Fiziksel Özellikler	
µ40	28,9
µ90	11,3
µ200	2,73
Özgül ağırlık (gr/cm³)	1,59
Blaine (cm²/gr)	4242,67
Genleşme	4242,67
Kızdırma Kaybı	1,92

3.2.3 Agregalar

Deneysel çalışmalarda, beton üretiminde dört çeşit agrega kullanılmıştır. İri agrega olarak 1 nolu kırmataş , ince agrega olarak da tabii kum ve kırma kum tercih edilmiştir. Bu agregaların özellikleri aşağıda verilmiştir. Üretilen betonlarda kullanılan agregaların granülometri analizi TS 3530'a göre [30] kare delikli eleklerde yapılmıştır.

3.2.3.1. Kum

Beton üretiminde ocak kumu kullanılmıştır. Kumun maksimum dane çapı 4 mm'dir ve granülometri analiz sonuçları Tablo 3.6'da verilmiştir. Kullanılan kum üzerinde TS 3526'ya göre [31] özgül ağırlık deneyi, TS 3529'a göre [32] de birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Bu deneylere ait sonuçlar Tablo 3.7'de verilmiştir.

3.2.3.2. Kırma Taş Tozu

Kırma taş tozunun maksimum dane çapı 4 mm'dir ve granülometri analiz sonuçları Tablo 3.6'da verilmiştir. Kullanılan kırma taş tozu üzerinde TS 3526'ya göre [31] özgül ağırlık deneyi, TS 3529'a göre [32] de birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Bu deneylere ait sonuçlar Tablo 3.7'de verilmiştir.

3.2.3.3. Kırma Taş I

Betonların üretiminde iri agrega olarak kullanılan kırmataş I'in granülometri analiz sonuçları Tablo 3.6'da verilmiştir. Kullanılan kırmataş I üzerinde TS 3526'ya göre [31] özgül ağırlık deneyi, TS 3529'a göre [32] de birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Bu deneylere ait sonuçlar Tablo 3.7'de verilmiştir.

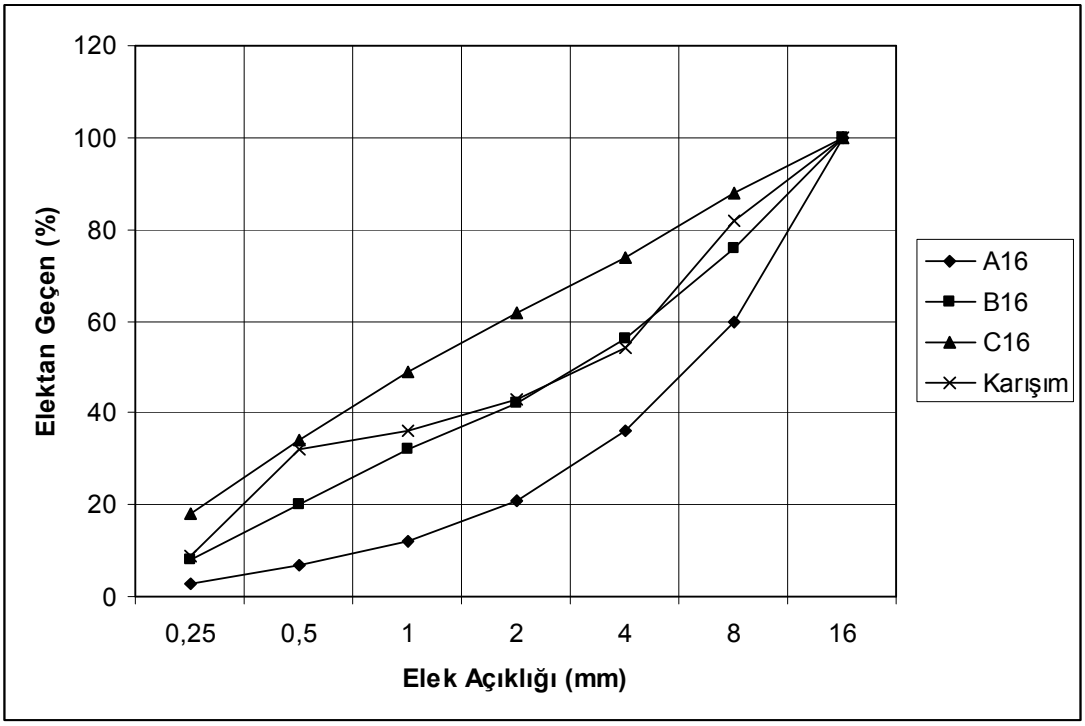
Tablo 3.6: Agregaların ve Karışımın Granülometrik Analizi

Elek açıklığı (mm)	Elekten Geçen (%)			
	Doğal Kum (%25)	Kırma Kum (%25)	Kırma Taş I (%50)	Karışım
16	100	100	100	100
8	100	100	63	82
4	100	98	8	54
2	100	70	1	43
1	100	42	1	36
0,5	99,0	30,0	0,0	32,0
0,25	16	19	0	9

Tablo 3.7: Agregaların Fiziksel Özellikleri

Agrega Türü	Özgül Ağırlık (g/cm³)	Birim Ağırlık(g/cm³)	Su Emme (%)
Doğal Kum	2,64	1,41	1,2
Kırma Kum	2,7	1,41	1,4
Kırma Taş I	2,71	1,42	0,5

Üretilen beton karışımlarında kullanılan agregaların referans eğrileri ile birlikte karışımın granülometri eğrisi Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Agrega karışımının granülometrisi ve referans eğrileri

3.2.4 Çelik Lif

Tez çalışması kapsamında beton takviyesinde kullanılan TS 10513 Standardına [14] uygun, sonu kancalı, iki ucu kıvrılmış, birbirine tutkalla birleştirilmiş, sınıf C, tip A, soğuk çekilmiş, Beksa firmasının ürettiği Dramix RC 80/60 BN cinsi çelik lif kullanılmıştır. Dramix RC 80/60 BN tipi lifin teknik özellikleri Tablo (3.8)'de verilmiştir.

Tablo 3.8: Dramix RC 80/60 BN Tipi Çelik Lifin Teknik Özellikleri

Teknik Özellikler	**Dramix RC 80/60**
Tel uzunluğu (mm)	60
Tel çapı (mm)	0,75
Performans Sınıfı	80
Uzunluk / Çap Oranı (l/d)	80
Çekme dayanımı (N/mm²)	min.1050
Kaplama	Yok

3.2.5 Kimyasal Katkılar

Bu çalışmada üç farklı firmanın "kendiliğinden yerleşen beton" üretiminde kullandıkları su oranını yüksek oranda azaltan üç farklı polikarboksilat esaslı yeni nesil süperakışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Bu katkılar çimento ve kum moleküllerini bağlayıcı pasta içerisinde homojen olarak dağıtır. Bu dağılım, hidratasyonun daha geniş yüzeyde gerçekleşmesini sağlar, çok düşük su/çimento oranlarında çalışmaya imkan verir ve erken ve son dayanımları yükseltir. Bunlarla beraber bütün betonlarda terlemeyi ve segregasyonu önlemesi amacıyla viskozite arttırıcı katkı ilavesi yapılmıştır. Kullanılan süperakışkanlaştırıcılar G, W, V olarak kodlandırılıp teknik özellikleri Tablo (3.10)'de, vizkozite arttırıcı katkının teknik özellikleri ise Tablo (3.11)'da verilmiştir.

Tablo 3.9: Kullanılan Süperakışkanlaştırıcıların Teknik Özellikleri

ÖZELLİK	**G**	**W**	**V**
Yoğunluk (gr/cm³) (20º)	1,08	1,07	1,07
Klor % (EN 480-10)	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Görünüm	Amber, sıvı	Kahverengi, sıvı	Açık kahve, sıvı
Homojenite	Homojen	Homojen	Homojen
Kimyasal içeriği	Modifiye Karboksilat Esaslı Sentetik Polimer		

Tablo 3.10: Kullanılan Viskozite Arttırıcı Katkının Teknik Özelliği

Viskozite Arttırıcı Katkı	
Yoğunluk (gr/cm³) (20º)	1,011
Viskozite (20ºC) (mPas)	700
Görünüm	Şeffaf,sıvı
Homojenite	Homojen

3.3 Beton Üretimi

Bu çalışma kapsamında özel bir beton santralinin AR-GE Labaratuvarında her bir süperakışkanlaştırıcı katkı için biri şahit olmak üzere lif oranı farklı 4 bileşim hazırlanarak toplam 12 seri beton karışımı üretilmiştir. Bütün karışımlarda çimento dozajı 350 kg/m³, uçucu kül dozajı da 150 kg/m³ 'te sabit tutulmuştur. Bütün bileşimler için su miktarı 235 kg/m³ olacak şekilde tasarlanıp su/bağlayıcı oranı 0,47 olarak belirlenmiştir. Kullanılan çelik lif çeşidi bütün bileşimler için aynı olup kullanım oranları 1 m^3 betonda 0 kg, 30 kg, 45 kg ve 60 kg (hacimce 1 m^3 betonda %0,38, %0,57 ve %0,76) olarak belirlenmiştir. Bileşimlerde lif katıldıkça oluşabilecek işlenebilirlik kaybının önlemek amacıyla süperakışkanlaştırıcı katkı miktarı lif oranına bağı olarak arttırılmıştır. Buna ilave olarak kullanılan vizkozite arttırıcı katkının miktarı bütün bileşimler için sabit olup toplam bağlayıcı miktarının ağırlıkça %0,2 si kadardır. Her bir karışım için hava boşluğu oranı üretimden önce % 2 olarak öngörülmüş, üretim yapıldıktan sonra taze betonun birim ağırlığı bulunarak gerçek malzeme ve hava miktarlarına ayrıca ulaşılmıştır. Tablo (3.12)'de teorik beton bileşimleri verilmiştir. Her bir karışım için 50 dm³'lük beton üretilerek

önce çökme - yayılma deneyi yapılmıştır. Yayılma değeri olarak min 60 cm, max 70 cm kabul edilerek istenilen değere ulaşan karışımlarda diğer taze beton deneyleri yapılarak numuneler alınmıştır.

Tablo 3.11: Teorik Beton Bileşimleri ve Özellikleri

BİLEŞENLER		NUMUNE KODU											
		G0	GÇ-30	GÇ-45	GÇ-60	W0	WÇ-30	WÇ-45	WÇ-60	V0	VÇ-30	VÇ-45	VÇ-60
Çimento	kg	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
U.Kül	kg	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Su	lt	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235
Tabii Kum	kg	370	368	366	365	370	368	366	365	370	368	366	365
Kırma Kum	kg	378	376	375	373	378	376	375	373	378	376	375	373
Kırma Taş no:1	kg	760	755	752	749	760	755	752	749	760	755	752	749
Çelik Lif	kg	0	30	45	60	0	30	45	60	0	30	45	60
Akışkan-laştırıcı katkı	kg	3,5	4	4,5	5	3	3,5	3,5	4	6	6,3	6,5	7
	%	0,7	0,8	0,9	1	0,6	0,7	0,7	0,8	1,2	1,25	1,3	1,4
Vizkozite arttırıcı katkı	kg	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	%	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Hava	%	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

3.3.1 Numune Kodlarının Verilmesi

Bu çalışmada 12 farklı beton üretimi gerçekleştirilmiştir. Her bir katkı ile bir tanesi lifsiz şahit numune olmak üzere toplam 4 beton karışımı hazırlanmıştır. Lifli hazırlanan karışımlara ise sırasıyla 30 kg/m^3 , 45 kg/m^3 ve 60 kg/m^3 çelik lif ilave edilmiştir. Numunelerin kodlanması aşamasında ilk hane katkının ismini, ikinci hane karışımın lif içerip içermediğini, son hane ise karışımın 1 metreküpünde kaç kilogram çelik lif bulunduğunu ifade eder. Buna göre G0,W0,V0 kodlu numuneler her üç katkı için lif içermeyen şahit numunelerini tanımlamaktadır. GÇ30; G kodlu katkılı betonda 30 kg/m^3 oranında , GÇ45; 45 kg/m^3 oranında, GÇ60 ise 60 kg/m^3 oranında çelik lif içerdiğini temsil etmektedir. Benzer şekilde W ve V katkıları kullanılan numunelerde de aynı tür kodlama yapılmıştır.

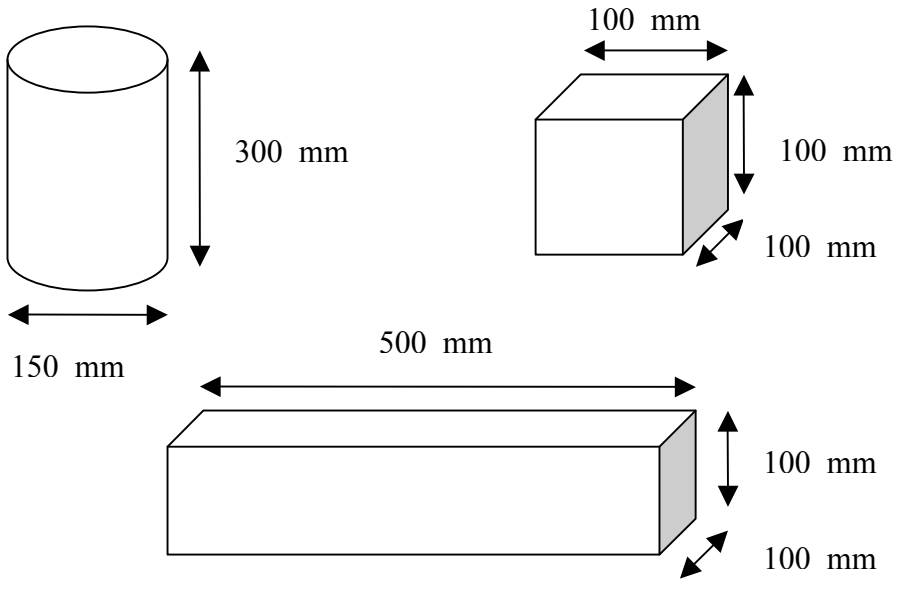
3.3.2 Beton Üretiminde İzlenen Sıra

Bu çalışmada üretilen betonların üretimi sırasında ve üretim sonrasında izlenen yol aşağıdaki gibidir:

- Agregalar , çimento ve uçucu külden oluşan karışımın 60 sn süre ile kuru olarak mikserde karıştırılması
- Karma suyunun yarısının katılarak 60 sn süre ile karıştırmaya devam edilmesi
- Akışkanlaştırıcı ve viskozite arttırıcı katkıların bir miktar suyla karıştırılıp eklenmesi
- Karma suyunun geri kalanının katılması
- Çelik liflerin karışıma ilave edilmesi
- Toplamda 5 dakika süre ile beton karışımının tamamlanması.
- Birim ağırlık, yayılma, V-hunisi, L-kutusu, U-kutusu deneylerinin yapılması
- Betonun kalıplara alınması

3.3.3 Üretilen Numunelerin Boyutları ve Şekilleri

Üretilen her bir beton karışımından 3 adet prizma, 3 adet silindir ve 2 adet küp numune alınmıştır. Numune şekil ve boyutları Şekil 3.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2: Üretilen Numunelerin Şekil ve Boyutları

3.4 Taze Beton Deneyleri

3.4.1. Birim Ağırlık

Üretilen betonların gerçek bileşimlerini hesaplamak üzere taze betonda birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde $200 \times 200 \times 200$ mm boyutlu, 8 lt hacimli bir kap kullanılmıştır. Hazırlanan taze beton herhangi bir vibrasyona tabi tutulmaksızın kabın içine yerleştirilerek tartılmıştır. Bulunan sonuçlara göre betonun gerçek birim ağırlığı hesaplanmıştır.

3.4.2 Serbest Yayılma

Üretilen kendiliğinden yerleşen betonların hiçbir engelin bulunmadığı durumda, kendi ağırlığı altında serbest halde deforme yeteneğini ölçmek amacı ile serbest yayılma deneyi uygulanmıştır. Yayılma deneyi üst çapı 13 cm, alt çapı 20 cm, yüksekliği 20 cm olan yayılma konisi ile düz bir zemin üzerinde yapılmıştır. Birbirine dik yayılma çaplarının ortalaması alınarak çökme - yayılma değeri bulunmuştur. Çalışmada, çökme-yayılma değeri min 60 cm kabul edilerek, bu değerin üstündeki karışımlar KYB olarak tanımlanmıştır.

3.4.3 V-Hunisi Akış Süresi Ölçümü

Kendiliğinden yerleşen betonun dar bir kesitten kendi ağırlığı altında geçiş yeteneğini incelemek amacı ile üretilen taze betonlara V-Hunisi testi uygulanmıştır. 5x5 cm kapak açıklıklı, yaklaşık 12 lt kapasiteli V- hunisi en üst seviyesine kadar herhangi bir şişleme ve vibrasyon yapılmadan doldurulduktan sonra alt kapak açılarak betonun huniden boşalma süresi tespit edilmiştir.

3.4.4 L-Kutusu Deneyi

Kendiliğinden yerleşen betonların akıcılığını ve tıkanma riskini değerlendirmek amacıyla üretilen betonlara L-Kutusu deneyi uygulanmıştır. 60 cm yüksekliğinde ve 80 cm genişliğinde olan L-şeklindeki kutunun dikey haznesinin en üst seviyesine kadar herhangi bir vibrasyon yapılmadan beton doldurulmuştur. Ara kapak açılarak betonun ara bölmedeki 3ø12' lik donatılar arasından geçerek yatay hazneye geçişi sağlanmıştır. İlk olarak , betonun yatay haznede 20 cm ve 40 cm'lik mesafelere ulaşım süreleri tespit edilmiş, beton akışının bitimiyle ise L-Kutusunun her iki ucundaki yükseklikleri ölçülerek yükseklik farkları hesaplanmıştır.

3.4.5 U-Kutusu Deneyi

Kendiliğinden yerleşen betonun doldurma kapasitesini ve akış yeteneğini tayin etmek amacı ile üretilen betonlarda U-Kutusu deneyi uygulanmıştır. 60 cm yüksekliğindeki U-şeklindeki kutunun ilk haznesine herhengi bir şişleme yapılmadan beton doldurulmuştur. İki hazne arasındaki kapak açılarak betonun ara yüzeydeki 4ø12' lik donatı arasından geçerek ikinci hazneye dolması sağlanmıştır. Akış tamamlandıktan sonra her iki haznedeki beton yükseklikleri ölçülerek yükseklik farkları hesaplanmıştır.

3.5 Sertleşmiş Beton Deneyleri

3.5.1 Basınç Deneyi

Üretilen 150x150x150 mm boyutlarındaki küp ve 150 mm çaplı, 300 mm yüksekliğindeki silindir numuneler kür havuzundaki 28. günlerinde havuzdan çıkarılmıştır. Numuneler yüzeylerinin kuruması için 1 gün bekletildikten sonra tartılmıştır. Silindir numunelere başlık yapıldıktan sonra basınç deneyine geçilmiştir. Yükleme hızı sabit olan basınç presinde deneye tabi tutulan numunelerin kırılma yükleri tesbit edildikten sonra kesit alanına bölünerek basınç dayanımları hesaplanmıştır.

3.5.2 Eğilme Deneyi

Üretilen 100x100x500 mm boyutlarındaki prizma numuneler 28.günlerinde kür havuzundan çıkarıldıktan sonra 1 gün süre ile yüzeylerinin kuruması için bekletilmiş ve tartılmıştır. Daha sonra bu numunelere 30-35. gün aralığında 3 noktalı eğilme deneyi uygulanmıştır. Şekil (3.3)'de deney düzeneği görülmektedir. Numunelerin kırılma yükleri bulunarak (3.1) bağıntısı kullanılarak eğilme dayanımları hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{3Pl}{2bh^2} \tag{3.1}$$

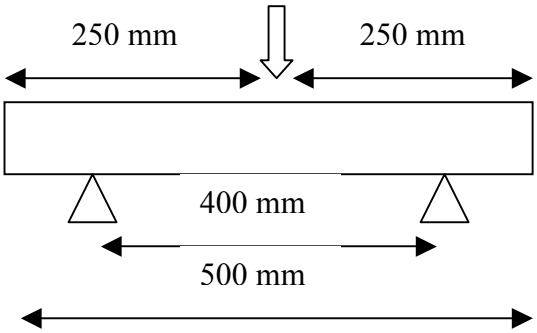
σ: Eğilme dayanımı (N/mm²)

P : Kırılma yükü (N)

l : Mesnetler arası uzaklık (mm)

b : Numune kesitinin genişliği (mm)

h : Numune kesitinin yüksekliği (mm)



Şekil 3.3: Eğilme dayanımı deney düzeneği

3.5.3 Ultrases Hızı Deneyi

Ultrasonik hız metodu beton içerisinden geçen ultrasonik dalganın, geçme hızını ölçmekten ibarettir. Hızın hareket zamanı elektronik olarak ölçülür. Algılayıcılar arasındaki uzaklık hareket zamanına bölündüğünde dalga ilerlemesinin ortalama hızı elde edilir.

Ölçülen bu hız betonun birçok özelliğinin belirlenmesinde kullanılabilir. Bu teknik yerinde ve laboratuvar numunelerine rahatlıkla uygulanabilir. Ultrasonik hız tekniği, betonun mukavemetinin, homojenliğinin, elastisite modülünün, döküm özelliklerinin ve çatlakların varlığının belirlenmesinde kullanılabilir. Eğer çatlaklar tamamıyla suyla dolu ise çatlakların yerinin belirlenmesi oldukça zorlaşmaktadır.

Genel olarak çok yüksek hızların (>4570 m/s) çok kaliteli betonun göstergesi ve çok düşük hızların da (<3050 m/s) kalitesiz betonun göstergesi olduğu bilinmektedir. Hızdaki periyodik ve sistematik değişimler, betonun kalitesinde de aynı şekilde değişimler olduğunu göstermektedir. Bütün bunlara rağmen araştırmacı, hız ölçümünden dayanımı veya diğer özellikleri belirlemeden önce çalıştığı beton hakkında yeterli bilgiye sahip olmalıdır. Bu durum özellikle kullanılan agrega, düşük ağırlıkta agrega ise geçerlidir.

Ultrasonik hız ve mukavemet arasındaki ilişkiler birçok değişkenden etkilenir. Betonun yaşı, su muhtevası, agrega çimento oranı, agrega tipi ve donatı yeri bu değişkenlerden sayılabilir. Bu sebepten dolayı ultrasonik hız metodu sadece betonun kalite kontrolünde kullanılmalıdır. Genel olarak hız datasının mukavemet parametreleriyle korelasyonu başarılı olmamaktadır [33].

Bu çalışmada silindir numuneler üzerinde uygulanan utrases hız ölçümünde önce numunelerin boyları ölçüldü sonra numunenin karşılıklı iki yüzüne gres yağı sürülüp

numune ses verici ve ses alıcı probların arasına yerleştirilerek sesin numune boyunca geçiş süresi mikro saniye cinsinden ölçüldü. Daha sonra bulunan bu değer numunenin boyuna bölünerek utrases hızı km/sn cinsinden hesaplandı.

3.5.4 Elastisite Modülü Deneyi

Bir malzeme yük altında şekil değişimine uğratıldığı ve sonra yük kaldırıldığı zaman ilk şekline dönebilir ya da dönemez. Gerilme kaldırıldığı zaman geri dönebilen şekil değiştirmeye elastik şekil değiştirme adı verilir. Elastik limit sınırı aşıldığında ise, malzemelerin çoğu geri dönmeyen plastik şekil değiştirme yaparlar. Elastik şekil değiştirme yapı malzemelerinin çoğunda gerilmeye orantılı veya lineer olarak bağlıdır. Elastik şekil değiştirmenin zamandan bağımsız olduğu yani gerilme uygulanır uygulanmaz ani olarak yer aldığı kabul edilir. Tek eksenli yükleme halinde bu bağıntı $\sigma = E.\varepsilon$ (Hooke Kanunu) şeklindedir ve elastisitenin temel kanununu teşkil eder. Bu bağıntıdaki E orantı katsayısına malzemenin elastisite modülü adı verilir [37].

Betonun elastiklik modülünün bilinmesi beton, betonarme ve öngermeli beton yapılarının deformasyonlarının hesaplanmasına yarar. Bu deformasyonlar bir çok bakımdan bilinmesi gerektiğinden elastisite modülü tayin edilmesi gerekli olan bir karakteristiktir. Ayrıca elastisite modülünün bilinmesinden faydalanarak deformasyonları ölçmek suretiyle gerilmeleri hesaplayabiliriz. Betonlarda elastisite modülü ile basınç dayanımı arasında bağıntılar vardır. Bu bağıntılar bize malzemeyi tahrip etmeden betonun yaklaşık olarak dayanımının bulunmasını sağlarlar [39].

Betonda statik elastisite modülü(E), beton deney numunelerinde elastik bölgede (beton dayanımının 1/3-1/5 değerlerindeki basınç gerilmelerinde) uygulanan kuvvetin oluşturduğu basınç gerilmelerinin, numunelerde meydana getirdiği boyuna birim kısalmaya (ε) oranıdır. Bu oran elastik bölgede çizilen gerilme (σ), deformasyon (ε) doğrusunun eğiminden belirlnir. Kısacası $E = tg\alpha$ [33].

Bu çalışmada silindir numunelere basınç deneyi uygulanmadan önce numunelerin düşey yerdeğiştirmelerini ölçmek amacıyla her bir silindir numuneye çerçeve takıldı. Çerçeve üzerinde bulunan kompratör yardımıyla her 25 kN luk yüke karşılık gelen eksenel yer değiştirme değeri okundu. Gerilme-şekil değiştirme eğrisinde, yükün 1/3'üne kadar olan grafiğin eğiminden elastisite modülü hesaplandı.

4. DENEY SONUÇLARININ İNCELENMESİ

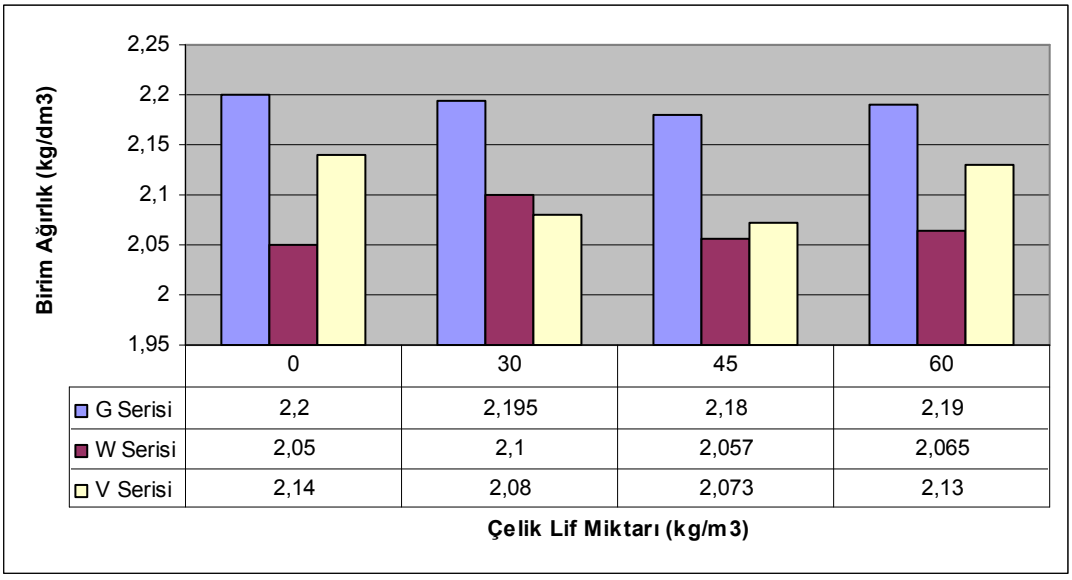
4.1. Taze Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

4.1.1. Birim Ağırlık

Laboratuvar ortamında üretilen betonların gerçek bileşimlerini hesaplamak üzere taze betonda birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. 200 mm çapında ve 200 mm yüksekliğinde 8 lt hacimli silindir şeklinde bir kap yardımı ile betonların birim ağırlıkları bulunmuştur. Sonuçlar Tablo 4.1'de ve Şekil 4.1'de verilmektedir.

Tablo 4.1: Birim Ağırlık Deneyi Sonuçları

Katkı	Lif Miktarı (kg/m3)			
	0	30	45	60
	Birim Ağırlık (kg/dm3)			
G Serisi	2,2	2,195	2,18	2,19
W Serisi	2,05	2,1	2,057	2,065
V Serisi	2,14	2,08	2,073	2,13



Şekil 4.1: Birim Ağırlık Deneyi Sonuçları

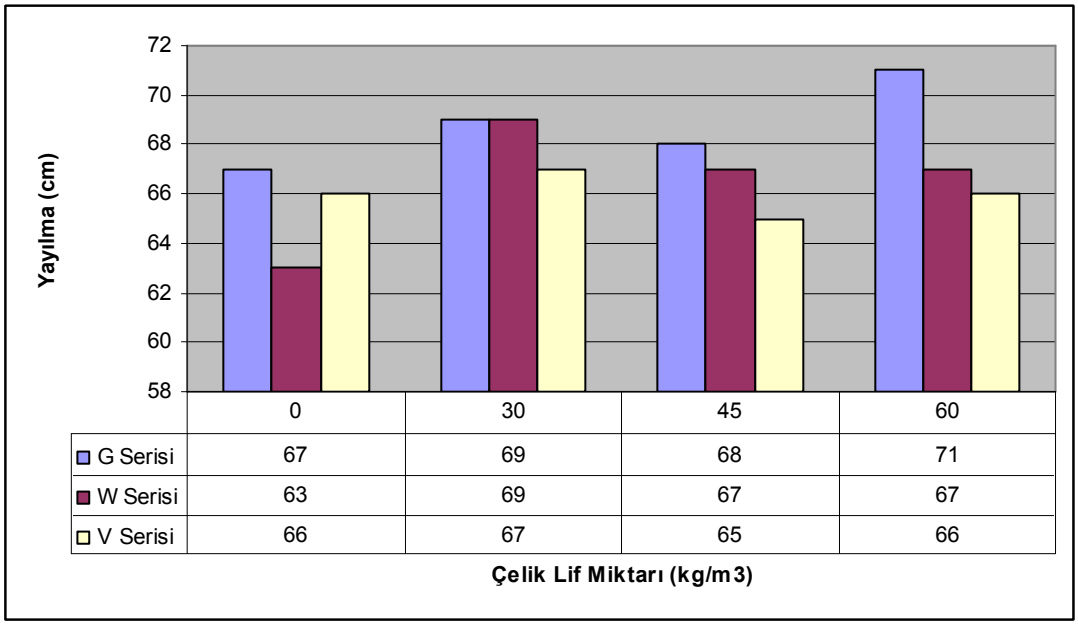
4.1.2. Serbest Yayılma Deneyi

Serbest yayılma deneyi sonuçları Tablo 4.2'de verilmektedir.

Tablo 4.2: Serbest Yayılma Deneyi Sonuçları

Katkı	Lif Miktarı (kg/m3)			
	0	30	45	60
	Serbest Yayılma (cm)			
G Serisi	67	69	68	71
W Serisi	63	69	67	67
V Serisi	66	67	65	66

Üretilen betonların akıcılık ve yayılma yeteneklerinin belirlenmesi için kullanılan bu deneyde sınır değerler olarak 60-75 cm yayılma aralığı seçilmiştir. Bu sınır yayılma değerleri arasında kalan betonlar kendiliğinden yerleşen beton olarak kabul edilmiştir. Elde edilen deney sonuçlarına göre üretilen tüm betonlar kendiliğinden yerleşen beton olarak kabul edilmiştir. Sonuçlar Şekil 4.2'de grafik halinde verilmektedir.



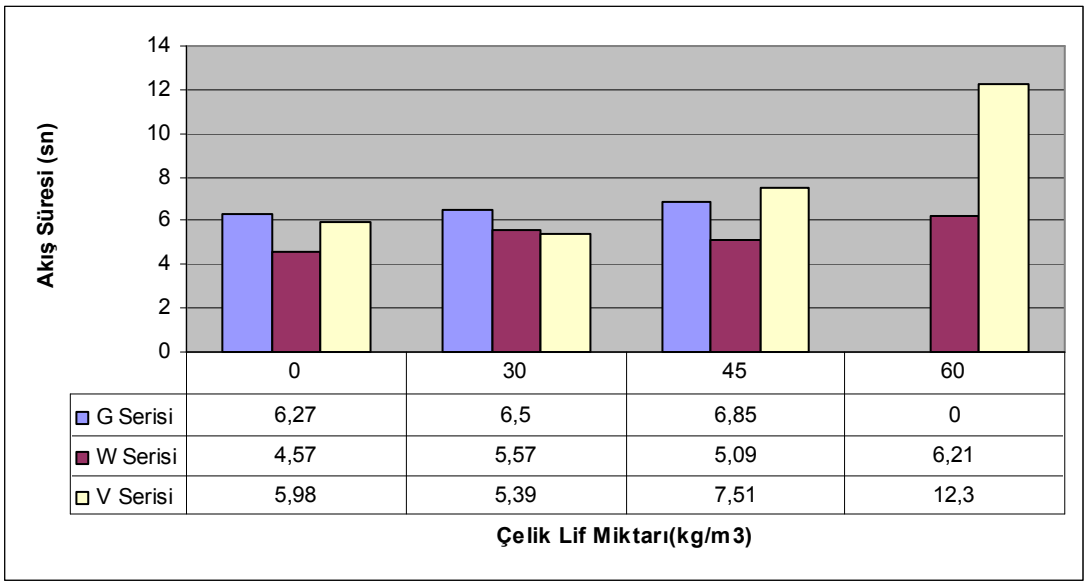
Şekil 4.2: Serbest Yayılma Deneyi Sonuçları

4.1.3. V Hunisi Deneyi

V hunisi deneyi kendiliğinden yerleşen betonların dar bir kesitten kendi ağırlığı altında geçiş yeteneğini incelemek amacıyla kullanılmaktadır. Bu deneyde akış süresinin sınır değerleri olarak 6-12 saniye seçilmiştir. Üretilen tüm betonlara uygulanan V hunisi deneyi sonuçları Tablo 4.3'de ve Şekil 4.3'de verilmektedir.

Tablo 4.3: V Hunisi Deneyi Sonuçları

Katkı	Lif Miktarı (kg/m3)			
	0	30	45	60
	Akış Süresi (sn)			
G Serisi	6,27	6,50	6,85	0
W Serisi	4,57	5,57	5,09	6,21
V Serisi	5,98	5,39	7,51	12,3



Şekil 4.3: V Hunisi Deneyi Sonuçları

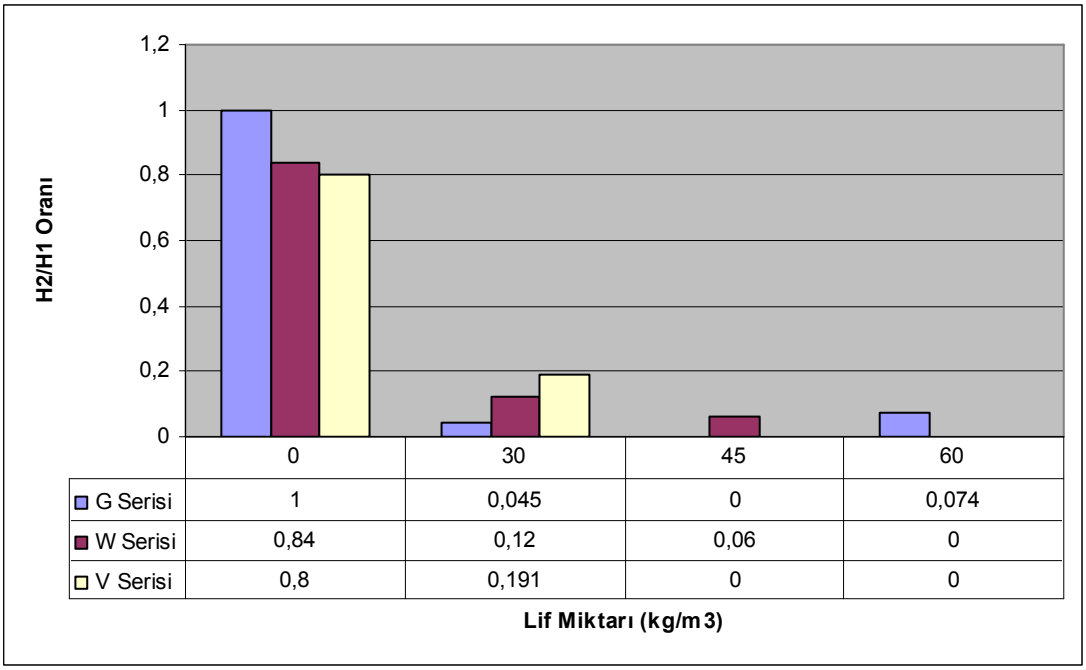
V hunisi deneyi sonunda elde edilen veriler incelendiğinde G serisi katkı kullanılarak üretilen 60 kg/m^3 çelik lifli beton hariç diğer tüm betonlardan sonuç alındığı görülmektedir. Bu verilere göre genelde betonda lif miktarının artması ile birlikte akış sürelerinin de arttığı sonucu ortaya çıkmıştır. Özellikle W serisi katkı ile üretilen betonların akış sürelerinin sınır değerlerinin altında kalması bu betonların viskozitesinin düşük olabileceği sonucunu vermektedir.

4.1.4. L Kutusu Deneyi

L kutusu deneyi kendiliğinden yerleşen betonun akıcılığını ve tıkanma riskini değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu deneyde H_2 / H_1 oranının sınır değeri olarak 0,8-1 değerleri aralığı alınmıştır. Tüm beton numunelere uygulanan L kutusu deneyi sonuçları Tablo 4.4'de ve Şekil 4.4'de verilmektedir.

Tablo 4.4: L Kutusu Deneyi Sonuçları

Numune Kodu	H_2/H_1(cm)	t_{20}(sn)	t_{40}(sn)
G0	1	1,21	2,57
GÇ30	0,045	1,5	2,5
GÇ45	-	-	-
GÇ60	0,07	1	1,25
W0	0,84	0,58	2,05
WÇ30	0,12	2,6	6,54
WÇ45	0,06	1,49	5,65
WÇ60	-	-	-
V0	0,8	1,59	3,73
VÇ30	0,19		
VÇ45	-	-	-
VÇ60	-	-	-



Şekil 4.4: L Kutusu Deneyi Sonuçları

L kutusu deneyi sonunda elde edilen H_2 / H_1 yükseklik oranları incelendiğinde sadece çelik lif içermeyen şahit betonlarda istenilen sonuçlara ulaşıldığı görülmektedir. Her üç katkı ile üretilen şahit betonlar belirlenen sınır değerler arasında kalmıştır. G serisi katkı ile üretilen lifsiz beton H_2 / H_1 yükseklik oranlarına göre incelendiğinde en iyi sonucu verirken t_{20} ve t_{40} sürelerine göre karşılaştırıldığında en iyi sonucu W serisi katkı ile üretilen lifsiz beton vermektedir. Buna göre bu üç betonun akıcılığını ve donatılar arasından geçiş yeteneğini karşılaştırdığımızda G serisi katkı ile üretilen betonun en iyi sonucu verdiği görülmektedir. Buna karşın üretilen çelik lifli betonların tamamında betonun donatılar arasından geçiş yeteneği veya akıcılık özellikleri hakkında fikir sahibi olunabilecek yeterli sonuçlar alınamamıştır. Çelik

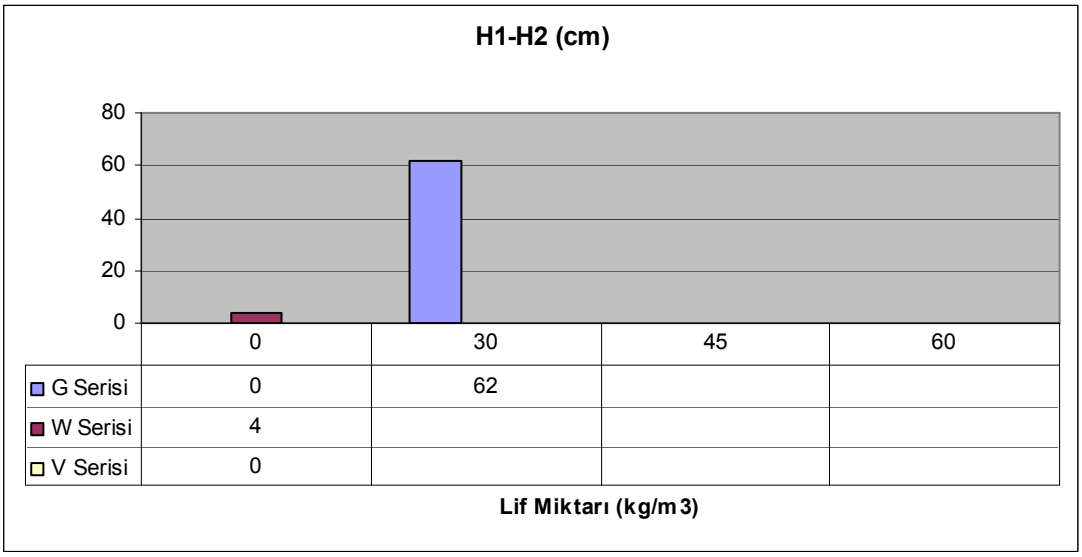
lifli numunelerde l kutusunun donatılı geçiş bölgesinin betondaki çelik liflerden dolayı tıkandığı bu yüzden deneyin sonuçlanamadığı görülmüştür. Buradan çıkan sonuca göre bu çelik lifle üretilen betonların sık donatılı bölgelerde uygulanmasının sakıncalı olacağı anlaşılmaktadır.

4.1.5. U Kutusu Deneyi

U kutusu deneyi kendiliğinden yerleşen betonların doldurma kapasitelerini ve akış yeteneklerini tayin etmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu deneyde $H_1 - H_2$ farklarının sınır değeri olarak 0-30 mm aralığı alınmıştır. Tüm beton numunelere uygulanan U kutusu deneyi sonuçları Tablo 4.5'de ve Şekil 4.5'de verilmektedir.

Tablo 4.5: U Kutusu Deneyi Sonuçları

Numune Kodu	H_2-H_1(cm)
G0	0
GÇ30	62
GÇ45	-
GÇ60	-
W0	4
WÇ30	-
WÇ45	-
WÇ60	-
V0	0
VÇ30	-
VÇ45	-
VÇ60	-



Şekil 4.5: U Kutusu Deneyi Sonuçları

U kutusu deneyi sonunda elde edilen $H_1 - H_2$ yükseklik farkları incelendiğinde sadece çelik lif içermeyen şahit betonlarda istenilen sonuçlara ulaşıldığı görülmektedir. Bu şahit betonlarda ise G ve V serisi katkılar ile üretilen G0 ve V0 kodlu numunelerin $H_1 - H_2$ yükseklik farklarının sınır değer aralığında olduğu, W serisi katkı ile üretilen W0 kodlu numunenin yükseklik farkının ise sınır değeri az da olsa aştığı görülmektedir. Buna göre G0 ve V0 numunesinin doldurma kapasitesi ve akış yeteneğinin W0 numunesinden daha yüksek olduğu söylenebilmektedir. Bunların yanında çelik lif kullanılarak üretilen diğer numunelerde U kutusu deneyinden herhangi bir sonuç alınamadığı görülmektedir. Bunun nedeni U kutusunun donatılı geçiş bölgesinin üretilen betonlarda kullanılan çelik liflerden dolayı tıkanmasıdır. Bu sonuca göre bu çelik lif kullanılarak üretilen betonların sık donatılı bölgelerde kullanılmasının sakıncalı olacağı sonucu ortaya çıkmaktadır.

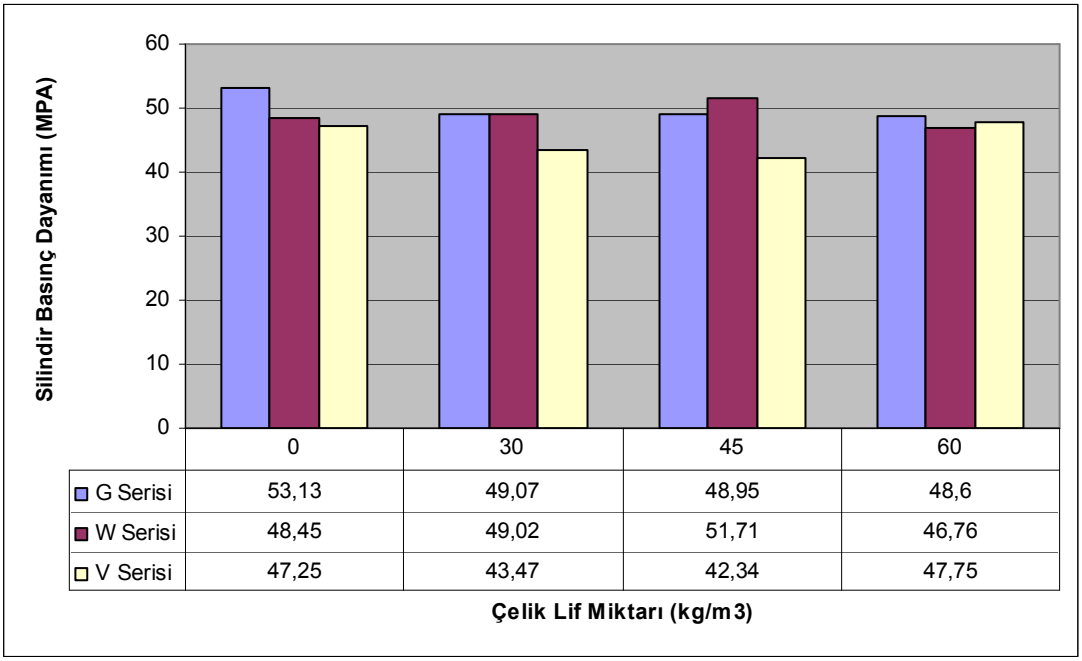
4.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

4.2.1. Basınç Dayanımı

Üretilen betonların basınç deneyleri sonuçları Tablo 4.6'da ve Şekil 4.6'da verilmektedir.

Tablo 4.6: Basınç Deneyi Sonuçları

Numune Kodu	Silindir Basınç Dayanımı (MPa)	Küp Basınç Dayanımı (MPa)
G0	53,13	51,44
GÇ30	49,07	54,11
GÇ45	48,95	53,85
GÇ60	48,6	55,61
W0	48,45	52,83
WÇ30	49,02	49,22
WÇ45	51,71	53,22
WÇ60	46,76	51,28
V0	47,25	60,55
VÇ30	43,47	50,05
VÇ45	42,34	50,55
VÇ60	47,75	53,61



Şekil 4.6: Basınç Deneyi Sonuçları

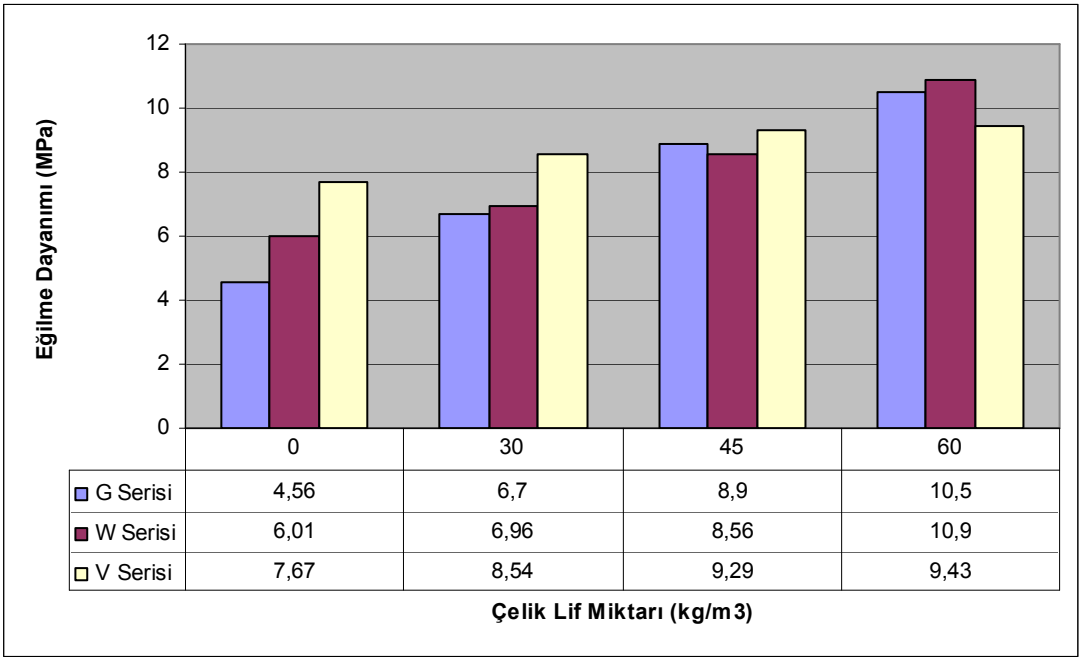
Üretilen betonlara uygulanan basınç deneyi sonuçlarına göre numunelerin basınç dayanımları 42.34 MPa ile 53.13 MPa arasında değişmektedir. Şekil 4.6'dan görüldüğü gibi her üç katkı içinde betonda çelik lif miktarının arttırılması betonun basınç dayanımına önemli bir değişiklik sağlamamıştır. Tüm numunelerde su/çimento oranının aynı olması bu sonucu ortaya çıkarmıştır.

4.2.2. Eğilme Deneyi

Üretilen 100x100x500 mm boyutlarındaki prizma numunelere uygulanan üç noktalı eğilme deneyi sonuçları Tablo 4.7'de ve Şekil 4.7'de verilmektedir.

Tablo 4.7: Eğilme Deneyi Sonuçları

Numune Kodu	Eğilme Dayanımı (Mpa)
G0	4,56
GÇ30	6,7
GÇ45	8,9
GÇ60	10,5
W0	6,01
WÇ30	6,96
WÇ45	8,56
WÇ60	10,9
V0	7,67
VÇ30	8,54
VÇ45	9,29
VÇ60	9,43



Şekil 4.7: Eğilme Deneyi Sonuçları

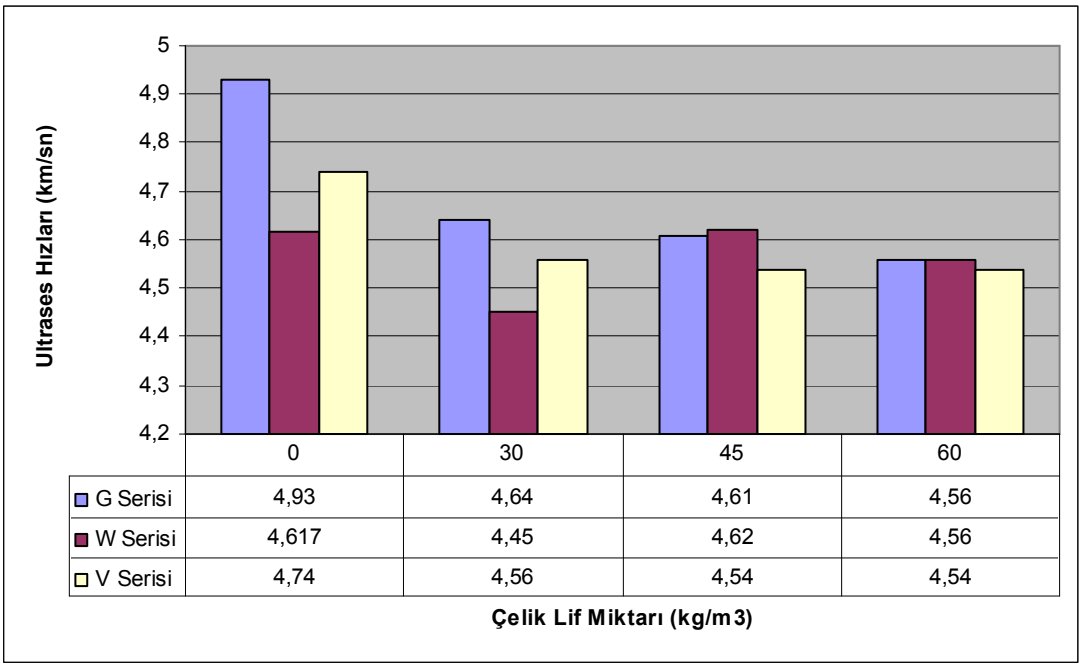
Üç noktalı eğilme deneyi sonucunda numunelerden elde edilen eğilme dayanımlarına göre tüm katkılar için betonda çelik lif miktarının artması ile birlikte eğilme dayanımlarının önemli ölçüde arttığı görülmektedir. Özellikle G serisi katkı kullanılarak üretilen numunelerde şahit betona 60 kg/m^3 çelik lif ilave edilmesi ile birlikte betonun eğilme dayanımının % 130'luk bir artış gösterdiği görülmektedir. Bu oran W katkısı ile üretilen numunelerde %81, V katkısı ile üretilen numunelerde ise %23 olmaktadır.

4.2.3. Ultrases Hızı Deneyi

Üretilen numunelere uygulanan ultrases hızı deneyi sonuçları Tablo 4.8'de ve Şekil 4.8'de verilmektedir.

Tablo 4.8: Ultrases Hızı Deneyi Sonuçları

Katkı	Lif Miktarı (kg/m3)			
	0	30	45	60
	Utrases Hızı(km/sn)			
G Serisi	4,93	4,64	4,61	4,56
W Serisi	4,617	4,45	4,62	4,56
V Serisi	4,74	4,56	4,54	4,54



Şekil 4.8: Ultrases Hızı Deneyi Sonuçları

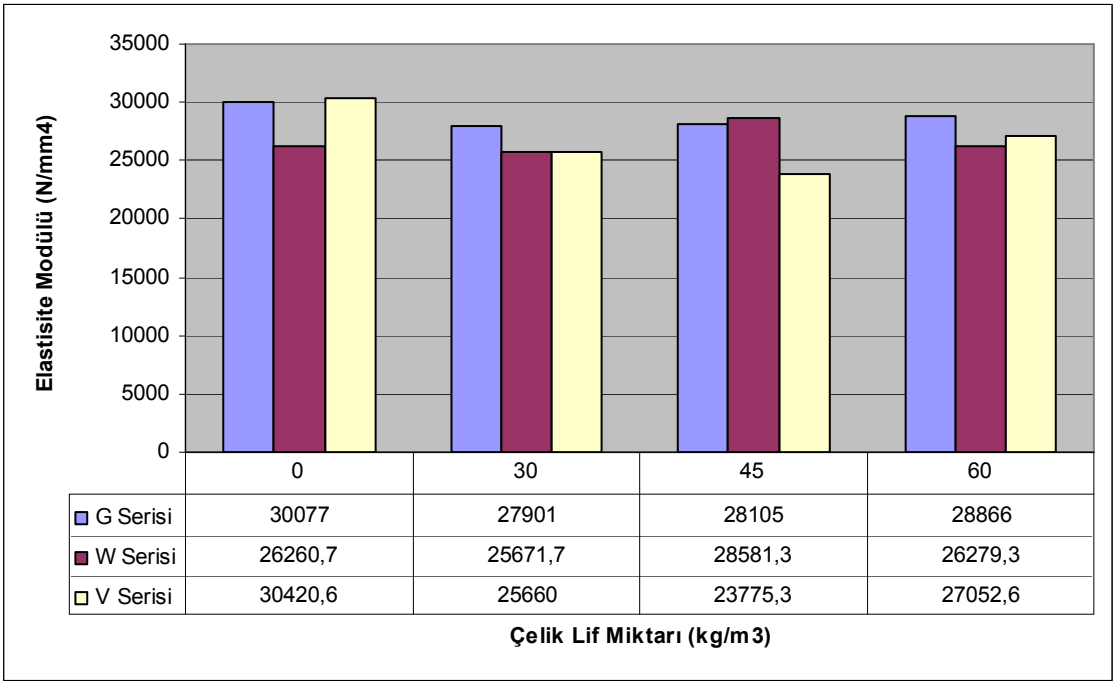
Üretilen tüm numunelere uygulanan ultrases hızı sonuçları Şekil 4.8'de görülmektedir. Bu sonuçlara göre betonda artan çelik lif oranının ultrases hızlarını düşürdüğü görülmektedir. G Serisi katkının betonda artan çelik lif oranına göre ultrases hızını en çok düşüren katkı olduğu şekilden rahatlıkla görülebilmektedir. Buna karşın W serisi katkıda ultrases hızındaki düşüş oranını en az etkileyen katkı olmuştur. Genel olarak çok yüksek hızların (>4570 m/s) çok kaliteli betonun göstergesi ve çok düşük hızların da (<3050 m/s) kalitesiz betonun göstergesi olduğu bilinmektedir [33]. Buna göre üretilen betonların tamamı kaliteli beton sınıfına girebilmektedir.

4.2.4. Elastisite Modülü Deneyi

Üretilen beton numunelere uygulanan deney sonucunda elde edilen elastisite modülü değerleri Tablo 4.9'da ve Şekil 4.9'da verilmektedir.

Tablo 4.9: Elastisite Modülü Deneyi Sonuçları

Katkı	Lif Miktarı (kg/m3)			
	0	30	45	60
	Elastisite Modülü(N/mm4)			
G Serisi	30077	27901	28105	28866
W Serisi	26260,7	25671,7	28581,3	26279,3
V Serisi	30420,6	25660	23775,3	27052,6



Şekil 4.9: Elastisite Modülü Deneyi Sonuçları

Üretilen betonlara uygulanan elastisite modülü deneyi sonuçlarına göre betonda artan çelik lif oranının betonun elastisite modülü üzerinde belirgin bir değişikliğe neden olmadığı görülmüştür. Üretilen tüm numunelerin su/çimento oranının aynı olması, elastisite modülünde artan çelik lif içeriğinin etkili olmamasındaki en önemli nedenlerdendir.

5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Genel Sonuçlar

- Yeni nesil süperakışkanlaştırıcılar kullanılarak üretilen kendiliğinden yerleşen betonlara çelik lif ilave edilmesi ve lif miktarının arttırılmasının betonun basınç dayanımında önemli bir değişikliğe neden olmadığı görülmüştür.
- Kendiliğinden yerleşen betonlarda çelik lif miktarının arttırılmasının V hunisi deneyinde betonun akış süresini arttırdığı, hatta 60 kg/m^3 çelik lif içeren betonun V hunisinde tıkanmaya yol açtığı görülmüştür.
- Kendiliğinden yerleşen betonlara uygulanan taze beton deneylerinden L kutusu ve U kutusu deneylerinde çelik lif kullanılmayan betonlarda istenilen sonuçlara ulaşılırken, lif kullanılan betonlarda deneylerden bir sonuç alınamadığı görülmüştür. Bu deneylerde betonda kullanılan liflerin geometrik özelliklerinin deney sonucunu önemli derecede etkilediği, üretimde kullanılan 60 mm uzunluğundaki çelik liflerin deney aparatlarındaki donatılara takılarak tıkanmalara yol açtığı görülmüştür.
- Betona çelik lif ilave edilmesinin betonun eğilme dayanımını önemli derecede arttırdığı görülmüştür. Çelik lif içermeyen betonlara 60kg/m^3 lif katılmasıyla eğilme dayanımının %130'lara varan artış gösterdiği, dolayısıyla çelik liflerin betonun sünekliğini arttırdığı görülmüştür.
- Beton numunelere uygulanan ultrases deneyinde, tüm beton numunelerden alınan sonuçların 4500 m/s'den yüksek olduğu, bunun yanında betona çelik lif katılmasının ultrases hızını belirgin bir biçimde düşürdüğü görülmüştür.
- Betonun elastisite modülünün betondaki çelik lif oranından çok fazla etkilenmediği, üretilen tüm numunelerin elastisite modüllerinin birbirine yakın değerler aldığı görülmüştür.

5.2. Öneriler

Daha sonraki çalışmalarda;

- Bu çalışmada kullanılan çelik liflerden farklı cins ve geometride liflerin kullanılması,
- Farklı tipte ve dozajda katkıların kullanılması,
- Bu çalışmada kullanılan su/çimento oranından farklı oranlar kullanılması,
- Çimento ve uçucu külde farklı markalar ve oranlar kullanılmasıyla

Lifli betonlar hakkında araştırılan konularlarda daha detaylı bilgi edinilebilir.

KAYNAKLAR

[1] **Kocataşkın, F.,** 1991. Betonun Dünü Bugünü Yarını, 2. Ulusal BetonKongresi, Yüksek Dayanımlı Beton, KardeşlerMatbaası, (TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası) Sf. 23-42.

[2] **Okamura, H.,** Self-Compacting High-Performance Concrete., Concrete International Vol.19, No.5, July 1997, pp.50-54.

[3] **Grünewald, S., Walraven, J. C.,** Parameter-study on the influence of steel fibers and coarse aggregate content on the fresh properties of self-compacting concrete., CEMENT AND CONCRETE RESEARCH 31 (12): 1793-1798 DEC 2001.

[4] **Postacıoğlu, B.,** 1987. Beton Cilt 2, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul

[5] **Köksal, F.,** 2004. Çelik Tel Donatılı Betonların Mekanik Davranışı ve Optimum Tasarımı, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ

[6] **Okamura, H., Ouchi, M.,** Self-Compacting Concrete., Journal of Advanced Concrete Technology Vol.1, No.1, 5-15, April 2003

[7] **Hannant, D.J.,** Fibre-Reinforced Concrete.,

[8] **Yerlikaya, M.,** Çelik Tel Donatılı Endüstriyel Zemin Betonları., Hazır Beton., Sf. 50-51, Ocak-Şubat 2002

[9] **Akman, S.,** 1992. Deniz Yapılarında Beton Teknolojisi, İTÜ Matbaası, İstanbul.

[10] **Şengül, C.,** 2005. Kendiliğinden Yerleşen Çelik Lif Donatılı Betonların Mekanik Davranışına Su/İnce Malzeme Oranı ve Lif Dayanımının Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ

[11] **TSEN206-1.,** 2002. Beton Özellikleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

[12] **Neville, A.M.,** 1996. Properties Of Concrete, Published by John Wiley & Sons, Inc, New York, pp 674-688

[13] **ACI Commitee 544,** 1993.Guide for Specifying, Mixing, Placing and Finishing Steel Fibre Reinforced Concrete, ACI Materials Journal, 90(1), pp 94-101

[14] **TS 10513.,** 1992. Beton Takviyesinde Kullanılan Çelik Teller, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

[15] **Özkul, M. H., Sağlam, A. R., Parlak,N., Doğan, A., Mutlu, M., Manzak, O.,** 2002. The Usage of Self-Compacting Concrete in Precast Industry, 17th Int. Congress of the Precast Concrete Industry, BIBM, Istanbul

[16] **Semioli, W. J.,** 2002. Self Placing Concrete, Concrete International, Vol. 23, No. 12, 69-72.

[17] **Özkul, M. H., Sağlam, A. R., Parlak,N., Doğan, A., 2004.** Kendiliğinden Yerleşen Beton ve Katkı-Çimento Uyumu, Beton 2004 Kongresi Bildirileri, 213-224

[18] **Khayat, K. H., Guizani, Z.,** 1997. Use of Viscosity-Modifying Admixture to Enhance Stability of Fluid Concrete, ACI Mater. J. 94(4), pp. 332-341

[19] **Skarendahl, A., Petersson, Ö.,** 2000. Self Compacting Concrete, State-of-the-Art Report of RILEM Technical Comittee 174-SCC, RILEM Publication

[20] **Gürdal, H., Yüceer, Z.,** 2004. Türkiye ve Dünyada Kendiliğinden Yerleşen Beton Uygulamaları, Beton 2004 Kongresi Bildirileri, 244-254

[21] **Bartos, P.J.M., Sonebi, M., Tamim, A.K.,** Workability and Rheology of Fresh Concrete: Compendium of Tests, RILEM Technical Commitee TC 145-WSM Workability of Special Concrete Mixes.

[22] **EFNARC.,** 2002. Specification and Guidelines of SCC.

[23] **Özkul, M. H.,** Beton Teknolojisinde Bir Devrim: Kendiliğinden Yerleşen-Sıkışan Beton, Hazır Beton, Sf. 64-71, Temmuz-Ağustos 2002

[24] **Edamatsu, Y., Nishida, N., Ouchi, M.,** Compacting Concrete Considering Interaction Between Coarse Aggregate and Mortar Particles, Kochi University of Technology, Kochi, Japan

[25] **Okamura, H., Ouchi, M.,** 1998. Self Compacting High Performance Concrete, Progress in Structural Engineering and Materials, pp 378-83

[26] **Edamatsu, Y., Nisbula, N., Ouchi, A.,**1999. A Rational Mix-Design Method for Self Compacting Concrete, 1st Int. RILEM Symp. On Self-Compacting Concrete, Stockholm, pp 309-320

[27] **Ouchi, M., Hibino, M., Okamura, H.,** 1997. Effect of Superplasticizer on Self-Compactibility of Fresh Concrete, Trans.Res. Rec. pp 37-40

[28] **Khayat, K. H., Ghezal, A., Hadriche, M. S.,** 1999. Factorial Design Models For Proportioning Self-Consolidating Concrete, Materials and Structures, Vol 32, pp 679-686

[29] **Aydöner, T.,** 2002. Çelik Tel Takviyeli Betonların Mekanik Davranışları, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ

[30] **TS 3530,** 1980. Beton Agregalarının Tane Büyüklüğü Dağılımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

[31] **TS 3526,** 1980. Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

[32] **TS 3529,** 1980. Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

[33] **Şimşek, O.,** 2004. Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleri, Türkiye Çimento Müstahsilleri Derneği, Ankara

[34] **TS EN 934-2,** 2002. Kimyasal Katkılar-Beton, Harç ve Şerbet İçin- Bölüm 2: "Beton Katkıları Tariler, Özellikler, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

[35] **Kandemir, G., Mutlu, M., Sağlam, A, R., Parlak, N.,** 2003, Aşırı Dozda Katkı Kullanımının Beton Özelliklerine Etkileri, 5. Ulusal BetonKongresi, Betonun Dayanıklılığı, İstanbul, Sf. 133-142

[36] **Doğan, Ü., A.,** 2000. Yeni Kuşak Süper Akışkanlaştırıcıların Harç ve Beton Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

[37] **Kocataşkın, F.,** 1976 Yapı Mühendislerine Malzeme Bilimi, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul

[38] **Akman, M. S.,** 1990. Yapı Malzemeleri, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

[39] **Türkel, B. E.,** 2002. Betonda Basınç Dayanımı ile Elastisite Modülü Arasındaki İlişkiler, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

[40] **Çavdar, Z., Sağlam, A.R., Parlak, N.,**1998. Sika Deteks Teknik Bülten, Sayı 1

[41] **Sugamata, T., Edamatsu, Y., Ouchi, M.,** 2003. A Study of Particle Retention Effect of Polycarboxlyate-Based Superplasticizers, 3rd International RILEM Symposium on Self Compacting Concrete, Iceland, pp. 420-431

[42] **Felekoğlu, B.,** 2003. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir

[43] **Yamada, K., Takahashi, T., Hanehara, S., Matsuhisa, M.,** 2000. Effects of the Chemical Structures on the Properties of Polycarboxylate-Type Superplasticizer, Cem. Concr. Res. 30(2000) 197-207

[44] **Lim G.-G., Hong S.-S., Kim D.-S., Lee B., J., Rho J.-S.,** 1999. Slump Loss of Cement Paste By Adding Polycarboxlic Type Slump-Releasing Dispersant, Cem. Concr. Res. 29(1999) 223-229

[45] **Taşdemir M, A., Bayramov, F., Ağar, A, Ş., Yerlikaya, M.**, 2005. Çelik Tel Donatılı Betonların Performansa Dayalı Tasarımı, 6. Ulusal Beton Kongresi, İTÜ Süleyman Demirel Kültür Merkezi, İstanbul, Sf.53-62

[46] **Yamada K.,Yanagisawa, T., Hanehara, S.,** 1999. Influence of Temperature on the Dispersibility of Polycarboxylate Type Superplasticizer For Highly Fluid Concrete, Proceedings of the First International RILEM Symposium, Edites by A. Skarendahl and Ö. Petersson, 437-448

[47] **Taşdemir, M.A. ve Bayramov, F.,** 2002. Yüksek Performanslı Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı, İTÜ Dergisi/d cilt 1, sayı 2, Aralık, 125-144.

[48] **Miao, C., Mu, R., Tian,Q. And Sun, W.,** 2002. Effect of Sulfate Solution on the Frost Resistance of Concrete with and without Steel Fibre Reinforcement, Cement and Concrete Research, 32,31-34.

[49] **Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F., Yeğinobalı, A.,** 2004. Türkiyedeki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri, T.Ç.M.B. Ar-ge Enstitüsü, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Düzce'de doğan Volkan BERBERGİL, orta ve lise öğrenimini Düzce Arsal Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2000 yılında başladığı Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2004 yılında mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi Programı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı.