



**HAFIF AGREGALI BETON BLOKLARIN
MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE
ÇELİK LİF KULLANIMININ ETKİSİ**

Emre SANCAK

Yüksek Lisans Tezi
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
ISPARTA – 1998

T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

84658

HAFİF AGREGALI BETON BLOKLARIN MEKANİK
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ÇELİK LİF KULLANIMININ ETKİSİ

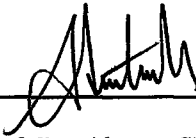
EMRE SANCAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

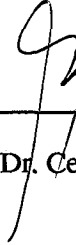
T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ



Yrd. Doç. Dr. Osman ÜNAL
(Danışman)



Prof. Dr. Ahmet ŞENTÜRK



Yrd. Doç. Dr. Celalettin BAŞYİĞİT

ÖZET

Bu çalışmada, Isparta, Gölcük yöresi pomza agregası ve Atabey agregaları kullanılarak üretilen lifli hafif ve yarı hafif beton blokların mekanik özelliklerine, lif tipi ve miktarının etkisi araştırılmıştır.

Deneysel çalışmalarda üretilen, hafif ve yarı hafif betonların karışımlarında su/çimento oranı, çimento dozajı ve maksimum dane boyutu (19,1mm.) ile birlikte agrega granülometrisi sabit tutulmuştur. Betona ilave edilen çelik lif miktarı ise $0-5-10-15\text{dm}^3/\text{m}^3$ arasında değişmektedir. Betonlarda ZP 305 ve ZC 40/60 olmak üzere iki tip lif kullanılmıştır. 21 Seri olarak üretilen, prizmatik numuneler üzerinde 7. ve 28. günlerde ultrases hızı tayini, basınç dayanımı ve birim ağırlık deneyleri ile 28. günde, su emme oranı tayini deneyi yapılmıştır.

Üretilen beton karışımları içerisine katılan lifler, taze betonun işlenebilme özelliğini önemli oranda etkilemektedir. Diğer taraftan sertleşmiş beton numuneleri üzerinde yapılan deney sonuçlarından, yarı hafif ve hafif lif katkılı betonların basınç dayanımlarının lif miktarına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Fakat ultrases hızı ve birim ağırlıkları üzerine liflerin belirgin bir etkisi görülmemiştir. Lif boyutu ve miktarı arttıkça beton içerisinde istenmeyen boşlukların oluşabileceği ve bunun da betonun bazı özelliklerini olumsuz etkileyeceği söylenebile hafif agregalı betonların lif takviyesi ile üretiminde fayda sağlayacağı söylenebilir.

ABSTRACT

In this study, the effect of fibre type and quantity on the mechanical properties of fibrous lightweight and half lightweight concrete which are produced from Gölcük region pumice and Atabey aggregates is investigated.

During the experimental study, the water/cement ratio, cement dosage and the maximum particle size (19.1mm) with the aggregate granulometry are kept constant in the lightweight and half lightweight concrete mixture. The concrete added fibre steel quantity is changing between 0-5-10-15dm³/m³. Two kinds of fibre named as ZP 305 and ZC 40/0.6 were used, in the concrete. The ultrasonic velocity, compressive strength prediction are determined on the 7th and 28th days and unit weight, water absorption ratio experiment are predicted on 28th day on the predicted 21 series prismatic specimen.

The fresh concrete mixture with fibre affects the workability property of the fresh concrete. On the other hand, from the experiment results on the hardened concrete specimens, it is seen that lightweight and half lightweight concrete with fibre compressive strength increases with the quantity amount of fibre; but the fibre effect is not clearly seen on the ultrasonic velocity and unit weight.

Eventhought it is stated that with the increase of fibre dimension and quantity in the concrete, the unwanted voids can be formed and this will affect the some properties of concrete negatively, the fibre supported lightweight aggregate will be useful to the products.

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Yapılarda taşıyıcı olmayan bölme elemanları üretiminde farklı malzemeler kullanılmaktadır. Bunlardan birisi de günümüzde yaygın kullanım alanı ile önem kazanan pomza esaslı beton bloklardır. Pomza madeni ile üretilmesi düşünülen blok elemanların yarı taşıyıcı veya taşıyıcı eleman olması için çelik liflerle takviye edilerek mekanik özelliklerinin artışı sağlanırken, bu yeraltı zenginliğimiz de değerlendirilmiş olacaktır.

Araştırma süresince tezimi yöneten ve çalışmalarımda ilgi ve teşviklerini esirgemeyen, değerli bilgilerinden, istifade ettiğim Sayın Hocam, Y. Doç. Dr. Osman ÜNAL'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca deneysel çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen Araştırma Görevlisi Osman ÇANKIRAN'a,

Çalışmalarımda, malzeme ve teknolojik desteklerini esirgemeyen ISBAŞ'a, çelik lifleri temin eden , Sayın Mehmet YERLİKAYA'ya ve BEKSA Firmasına, bununla birlikte, deneysel çalışmalarımda pomza laboratuvarından istifade etmemi sağlayan Sayın Prof. Dr. Ahmet ŞENTÜRK ve Doç. Dr. Lütfullah GÜNDÜZ'e, ayrıca teşviklerinden dolayı Yapı Eğitimi Bölüm Başkanı Sayın Y. Doç. Dr. Celalettin BAŞYİĞİT'e teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
ÇİZELGELER LİSTESİ	viii
1.GİRİŞ	1
2.KONUyla İLGİLİ GENEL BİLGİLER	2
2.1. Hafif Agregalar ve Özellikleri	2
2.1.1. Doğal hafif agregalar	4
2.1.2. Suni hafif agregalar	5
2.1.3. Dünyada ve ülkemizde hafif agrega durumu	7
2.2. Hafif Agrega Kullanılarak Üretilen Beton ve Bloklar	8
2.2.1. Hafif ve yarı hafif betonlar	8
2.2.1.1. Hafif betonların sınıflandırılması	10
2.2.1.2. Hafif ve yarı hafif betonların özellikleri	11
2.2.1.3. Hafif ve yarı hafif betonların avantajları ve dezavantajları	14
2.2.2. Hafif agregalı beton bloklar	16
2.2.2.1. Hafif agregalı beton blokların özellikleri	16
2.3. Lifli Betonlar	20
2.3.1. Lifli beton	20
2.3.1.1. Liflerin (fiber) tanımı ve çeşitleri	21
2.3.1.2. Matris	24
2.3.1.3. Lifli betonların kullanıldığı yerler	25
2.4. Konuyla İlgili Çalışmalar	26
2.4.1. Lif katkılı normal betonlar üzerine yapılan çalışmalar	29
2.4.2. Lif katkılı hafif betonlar üzerine yapılan çalışmalar	33
2.5. Araştırmanın Konusu	34
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	35
3.1. Kullanılan Malzemeler	35
3.1.1. Agregalar	35
3.1.1.1. Kum	35
3.1.1.2. Çakıl	35
3.1.1.3. Pomza agregası	36
3.1.1.3.1. Birim ağırlığı	37
3.1.1.3.2. Su emme	38
3.1.1.3.3. Kimyasal bileşim	38
3.1.2. Çelik lifler	38
3.1.3. Çimento özellikleri	39
3.2. Beton Karışımları	40
3.2.1. Kabul edilen esaslar	40
3.2.2. Bileşim hesapları	41
3.2.3. Betonun üretimi, karıştırma, yerleştirme ve kür	42
3.2.4. Numune boyutları ve sayıları	43
3.3. Betonlar Üzerinde Yapılan Deneyler	43
3.3.1. Taze beton deneyleri	43

3.3.2. Sertleşmiş beton deneyleri	43
4. DENEY SONUÇLARI	46
5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	50
5.1. Basınç Dayanımı Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	50
5.2. Ultrases Hızı Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	51
5.3. Su Emme Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	52
5.4. Birim Ağırlık Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	52
6. SONUÇLAR	53
KAYNAKLAR	54
EKLER	59
ÖZGEÇMİŞ	79



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Hafif agregalarla üretilen betonların birim ağırlık ve dayanım durumu	3
Şekil 2.2. Normal ve lifli betonların basınç altında gerilme-birim deformasyon eğrileri	21
Şekil 2.3. Çelik lif tipleri ve kesitleri	23
Şekil 2.4. Değişik çelik liflerin en kesitleri	24
Şekil 2.5. İnce tellerle donatılı betonda gerilme-şekil değiştirme diyagramı	29
Şekil 2.6. 7 günlük numunelerin gerilme-birim deformasyon eğrileri	32
Şekil 2.7. 28 günlük numunelerin gerilme-birim deformasyon eğrileri	32
Şekil 3.1. Beton karışımında kullanılan agregaların granülometrik eğrisi	36
Şekil 3.2. Pomza agregasının granülometrik eğrisi	37
Şekil 3.3. Deney numuneleri	44
Şekil 3.4. Ultrases hızının cihazda ölçülmesi	45
Şekil 3.5. Basınç dayanımı deneyi	45
Şekil Ek1. 7 günlük I.tip lifli betonlarda lif oranı-basınç dayanımı ilişkisi	59
Şekil Ek2. 28 günlük I.tip lifli betonlarda lif oranı-basınç dayanımı ilişkisi	59
Şekil Ek3. 7 günlük II.tip lifli betonlarda lif oranı-basınç dayanımı ilişkisi	60
Şekil Ek4. 28 günlük II.tip lifli betonlarda lif oranı-basınç dayanımı ilişkisi	60
Şekil Ek5. 7 günlük I.tip lifli betonlarda beton cinsi-lif oranı ilişkisi	61
Şekil Ek6. 28 günlük I.tip lifli betonlarda beton cinsi-lif oranı ilişkisi	61
Şekil Ek7. 7 günlük II.tip lifli betonlarda beton cinsi-basınç dayanımı ilişkisi	62
Şekil Ek8. 28 günlük II.tip lifli betonlarda beton cinsi-basınç dayanımı ilişkisi	62
Şekil Ek9. I.Tip lifli normal betonlarda lif oranı-basınç dayanımı ilişkisi	63
Şekil Ek10. I.Tip lifli yarı hafif betonlarda lif oranı-basınç dayanımı ilişkisi	63
Şekil Ek11. I.Tip lifli hafif betonlarda lif oranı-basınç dayanımı ilişkisi	64
Şekil Ek12. II.Tip lifli normal betonlarda lif oranı-basınç dayanımı ilişkisi	64
Şekil Ek13. II.Tip lifli yarı hafif betonlarda lif oranı-basınç dayanımı ilişkisi	65
Şekil Ek14. II.Tip lifli hafif betonlarda lif oranı-basınç dayanımı ilişkisi	65
Şekil Ek15. 7 günlük I.tip lifli betonlarda lif oranı-ultrases hızı ilişkisi	66
Şekil Ek16. 28 günlük I.tip lifli betonlarda lif oranı-ultrases hızı ilişkisi	66
Şekil Ek17. 7 günlük II.tip lifli betonlarda lif oranı-ultrases hızı ilişkisi	67
Şekil Ek18. 28 günlük II.tip lifli betonlarda lif oranı-ultrases hızı ilişkisi	67
Şekil Ek19. 7 günlük I.tip lifli betonlarda beton cinsi-ultrases hızı ilişkisi	68

Şekil Ek20. 28 günlük I.tip lifli betonlarda beton cinsi-ultrases hızı ilişkisi	68
Şekil Ek21. 7 günlük II.tip lifli betonlarda beton cinsi-ultrases hızı ilişkisi	69
Şekil Ek22. 28 günlük II.tip lifli betonlarda beton cinsi-ultrases hızı ilişkisi	69
Şekil Ek23. I.Tip lifli normal betonlarda lif oranı- ultrases hızı ilişkisi	70
Şekil Ek24. I.Tip lifli yarı hafif betonlarda lif oranı- ultrases hızı ilişkisi	70
Şekil Ek25. I.Tip lifli hafif betonlarda lif oranı- ultrases hızı ilişkisi	71
Şekil Ek26. II.Tip lifli normal betonlarda lif oranı- ultrases hızı ilişkisi	71
Şekil Ek27. II.Tip lifli yarı hafif betonlarda lif oranı- ultrases hızı ilişkisi	72
Şekil Ek28. II.Tip lifli hafif betonlarda lif oranı- ultrases hızı ilişkisi	72
Şekil Ek29. I.Tip lifli betonlarda beton cinsi-su emme oranı ilişkisi	73
Şekil Ek30. II.Tip lifli betonlarda beton cinsi-su emme oranı ilişkisi	73
Şekil Ek31. Normal betonlarda lif tipine bağlı lif oranı-su emme oranı ilişkisi	74
Şekil Ek32. Yarı hafif betonlarda lif tipine bağlı lif oranı-su emme oranı ilişkisi	74
Şekil Ek33. Hafif betonlarda lif tipine bağlı lif oranı-su emme oranı ilişkisi	75
Şekil Ek34. 7 günlük I.tip lifli betonlarda beton cinsi-birim ağırlık ilişkisi	76
Şekil Ek35. 28 günlük I.tip lifli betonlarda beton cinsi- birim ağırlık ilişkisi	76
Şekil Ek36. 7 günlük II.tip lifli betonlarda beton cinsi-birim ağırlık ilişkisi	77
Şekil Ek37. 28 günlük II.tip lifli betonlarda beton cinsi- birim ağırlık ilişkisi	77
Şekil Ek38. Betonlarda lif oranı-komposite oranı ilişkisi	78

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 2.1. Bazı hafif agregaların karakteristikleri	3
Çizelge 2.2. Değişik tip liflere ait fiziksel özellikler	22
Çizelge 2.3. Basınç ve yarmada çekme dayanımı sonuçları	30
Çizelge 3.1. Atabey kumunun özellikleri	35
Çizelge 3.2. Agregada özellikleri	36
Çizelge 3.3. Pomza agregası birim ağırlık değerleri	37
Çizelge 3.4. Pomza agregası su emme değerleri	38
Çizelge 3.5. Gölcük bölgesi pomza kimyasal bileşimi	38
Çizelge 3.6. Çelik lifin özellikleri	39
Çizelge 3.7. Betona konacak agregada karışımı	41
Çizelge 4.1. I. tip lifli betonların basınç deneyi sonuçları	46
Çizelge 4.2. II tip lifli betonların basınç deneyi sonuçları	47
Çizelge 4.3. II tip lifli betonların ultrases deneyi sonuçları	47
Çizelge 4.4. II tip lifli betonların ultrases deneyi sonuçları	48
Çizelge 4.5. I tip lifli betonların birim ağırlık deneyi sonuçları	48
Çizelge 4.6. II tip lifli betonların birim ağırlık deneyi sonuçları	49
Çizelge 4.7. Betonların su emme oranı değerleri	49

1.GİRİŞ

Ülkemizde, konut açığı, nüfusa paralel olarak hızla artmaktadır. Bununla birlikte konut maliyetleri de olağanca hızıyla yükselmeye devam etmektedir. Konut üretiminde kullanılan malzemelerden beklenen fonksiyonlar da bellidir. Yani, bir yapı elemanından, estetik, mukavemet, yalıtım gibi bir çok özellik aynı anda beklenebilmektedir. Bu da hem ucuz hem de fonksiyonel yapı malzemesi arayışlarını daima teşvik etmiştir.

Günümüzde minimum maliyetle maksimum verim sağlama, üzerinde durulan en önemli konudur. Hafif agregalı betonlar, bugünkü modern yapı endüstrisinde istenen, hafiflik yanında, ısı izolasyonu, ses absorpsiyonu ve yangına karşı direnç gibi en iyi özelliklere sahiptirler. Bu bakımdan hafif agregalı betonlar ve bu betonlarla imal edilen duvar elemanı bloklar tercih edilen yapı malzemeleridirler.

Duvar elemanı olarak hafif agregalı beton blokların yapıda kullanılmaları halinde, normal agregalılara kıyasla, hafiflik dolayısıyla zati yüklerin azalması duvar örüm veriminin ve hızının artması ile birlikte taşıma maliyetlerinde tahmini % 20 civarında bir ekonomi sağlanabilecektir [1].

Bu sayede ısı yalıtımı ve hafiflik aynı anda sağlanırken, üretimleri için ek işlemler gereken suni malzemeler yerine doğal malzemeler kullanılarak hem sıhhiyet sağlanmakta hem de ülkemizin yeraltı zenginlikleri değerlendirilmektedir. Ayrıca ısı yalıtımı bakımından normal betondan üstün olan hafif betonların günümüzdeki enerji sorunu nedeniyle de konut yapımında kullanılması önem kazanmıştır.

Türkiye dünyanın en zengin ve kaliteli hafif agrega yataklarına sahiptir ve yüzölçümünün yaklaşık 1/5'ini volkanik kayalar oluşturmaktadır. Diğer taraftan Türkiye'nin dünyanın en etkin deprem kuşaklarından birinin üzerinde bulunduğu bilinmektedir. Gerçekten deprem haritasına göre, Türkiye topraklarının % 92'si deprem kuşağı içerisinde bulunmakta, nüfusun % 96'sı bu kuşağa giren bölgelerde yaşamaktadır. Mevcut yapıların hemen % 90'ının deprem emniyetlerinin sağlanması gerekmektedir. Bu da söz konusu yapıların taşıyıcı olmayan bölme duvarlarını kaldırıp yerlerine daha hafif malzemedan yapılmış panoların kullanılmasıyla gerçekleştirilebilecek bir çözümdür [2]. Yeni yapılan binalarda da deprem tehdidinin gözünde bulundurulması yönetmeliklere göre zorunlu olarak bazı tedbirlerin alınması gerekmektedir. Bunlardan birisi de hafif agrega kullanılarak üretilen yapı elemanlarının liflerle takviye edilerek beton özelliklerinin iyileştirilmesidir.

2.KONUyla İLGİLİ GENEL BİLGİLER

2.1. Hafif Agregalar ve Özellikleri

Hafif agrega, su çimento ve gerektiğinde katkı maddeleri ile karıştırılarak hafif beton imalinde kullanılan, gevşek birim ağırlığının en büyük değeri $1,2 \text{ kg/dm}^3$ 'ü aşmayan, kırılmış veya kırılmamış gözenekli inorganik agregadır. Bu tanım beton için hafif agreganın tanımıdır [26].

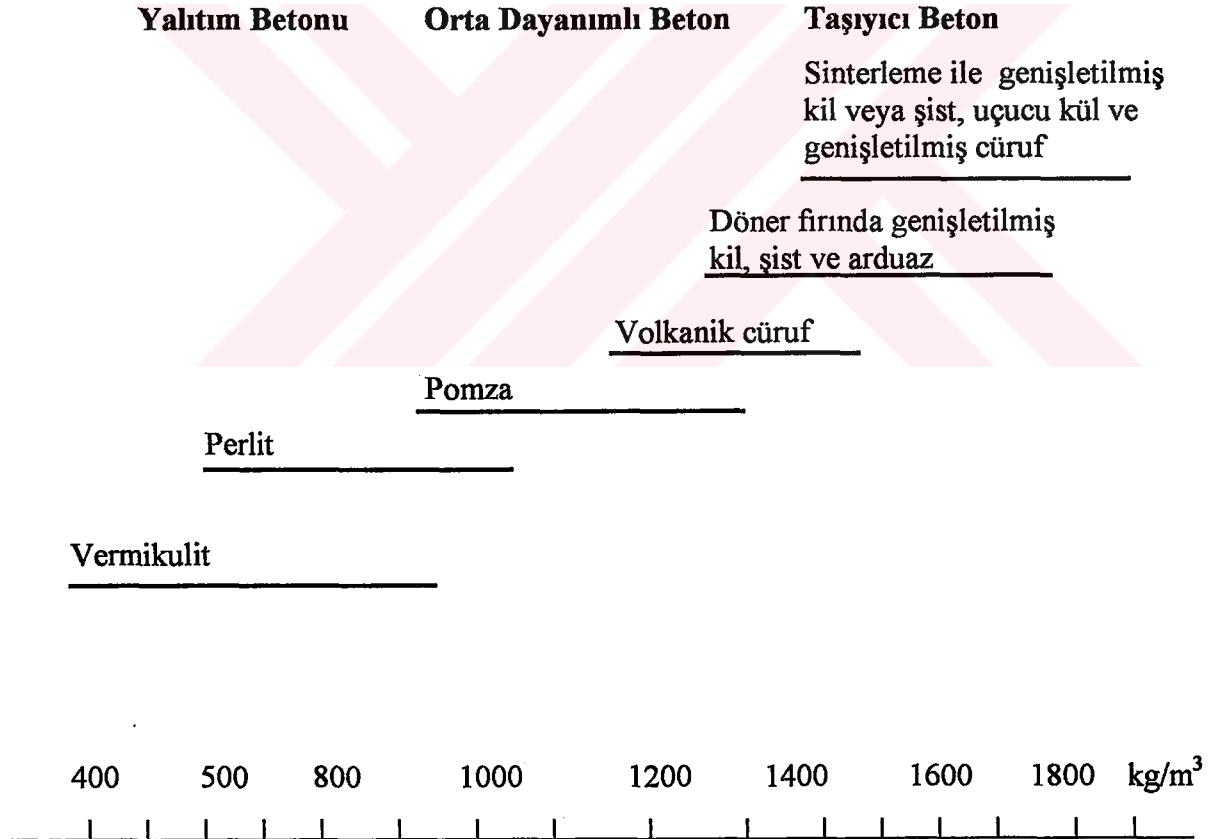
Hafif agregaların aşağıdaki gibi genel bir sınıflandırılması yapılabilir:

- 1- Pomza taşı, volkanik tuf, volkanik cüruf ve diatomit gibi "doğal hafif agregalar",
- 2- Genleştirilmiş kil, şist, perlit, arduvaz ve vermükilit gibi doğal malzemelerden üretilen yapay agregalar,
- 3- Yüksek fırın cürufu ve uçucu kül gibi bir üretim sonucu yan ürün olarak elde edilen hafif agregalar,
- 4- Genleştirilmiş cüruf, genleştirilmiş uçucu kül, sinterlenmiş uçucu kül gibi endüstriyel artıkların işlenmesiyle elde edilen hafif agregalar.
- 5- Hizar talaşı ve ahşap yongası gibi ağaç kökenli, stropor gibi polimer kökenli organik malzemeler [7].

Ayrıca, fonksiyonlarına göre bir sınıflandırma yapılırsa, perlit ve vermükilit ile yalıtım hafif betonu, pomzataşı ve volkanik cüruflar ile hem taşıyıcı hem yalıtım hafif betonları, genleştirilmiş kil, şist, cüruf ve arduvaz ile ise taşıyıcı hafif betonlar üretilmektedir [10]. Bugün dünyada en yaygın olarak kullanılan hafif agrega genleştirilmiş kilden olanıdır [4]. Hafif agreganın en büyük tane boyutu kullanılma amacına bağlı olarak değişirse de beton üretiminde genellikle maksimum tane boyutu 16mm olarak önerilmektedir. Hafif betonun basınç dayanımını yükseltmek için, 8-16 veya 16-25 mm. tane sınıfı daha çok 2-8 mm. arası tane oranı daha az kullanılmalıdır. 2 mm. den daha küçük boyuttaki hafif agrega tane oranı betonun su ihtiyacını artırdığından bunun yerine tabii kum kullanılması daha uygun olacaktır [27].

Çizelge 2.1. Bazı hafif agregaların karakteristikleri

Cinsi	Gevşek Birim Ağırlık kg/m^3	Özgül Ağırlık kg/m^3	Birim Hacim Ağırlık kg/m^3
Tabii Bims	300-500	2500	400-700
Yüksek Fırın Cüruf	400-1300	2900-3000	500-1500
Genleşmiş Kil ve Şist	300-1500	2500-2700	400-1900
Genleşmiş Perlit	100-200	2300-2500	100-200
Vermikülit	100-300	2500-2700	100-300
Odun Talaşı	200-300	1500-1800	400-1000



Şekil 2.1. Hafif agregalarla üretilen betonların birim ağırlık ve dayanım durumu

2.1.1. Doğal hafif agregalar

Genellikle volkanik ve tortul kökenli olan doğal hafif agregalar bims (pomza), tuf, volkanik cüruf, scoria gibi kayalardan elde edilir. Özgül ağırlıkları $0,5-1,5 \text{ kg/dm}^3$ arasında değişir [5]. Diatomit dışındakiler volkanik kökenlidirler.

Ülkemizde hafif beton üretiminde kullanılabilecek nitelikte doğal hafif agrega bol miktarda bulunmaktadır. Özellikle volkanik esaslı sünger taşı (bims, pomza taşı), volkanik tuf ve cüruflar çok yaygındır.

Bu tür agregalarla su emme bakımından gerekli önlemler alınarak yalıtım betonları üretilebileceği gibi, hafif ve yarı hafif betonların üretilebilmesi de mümkündür [28]

Doğal hafif agregalar kırma ve eleme işleminden başka işlemden geçirilmeyen tuf (sedimante, volkanik) sünger taşı (pomzataşı, bims) lav cürufu (scoria) v.b. doğal oluşumlu agregalardır.

a) Pomza

Pomza; birbirine bağlantısız boşluklu, sünger görünümlü silikat esaslı, birim hacim ağırlığı genellikle 1 kg/dm^3 'ten küçük, sertliği Mohs skalasına göre yaklaşık 6 olan ve camsı doku gösteren volkanik bir maddedir. Türkiye'de bol miktarda rastlanan, pomza taşına, bims ve sünger taşı da denilmektedir. Bimsbeton üretiminde kullanılacak agregaların muayene ve deneyleri TS3234'e göre yapılır [29,30]

Pomza veya ponza adı İtalyanca'dan gelir. Yeryüzünde en yaygın olarak bulunan ve kullanılan türü olan pomza, beyaz ve kirli renkte olanıdır. Bazik pomza ise yabancıların Scoria dedikleri Türkçe'deki bazaltik pomza olarak bilinen kahverengimsi siyahımsı renkteki pomza türüdür. Asidik magmanın yoğunluğu bazik olanlara göre daha az olup $0,5-1 \text{ kg/dm}^3$ arasında değişmektedir. Bazik pomzanın yoğunluğu ise daha fazla ve $1-2 \text{ kg/dm}^3$ arasında değişmektedir [31].

Bir başka tanıma göre, pomza volkanizma faaliyetleri sonucunda asidik magmanın püskürmesi sırasında kızgın erimiş lavların havada su ile karşılaşması ve ani olarak soğuması, bunun yanında içerisindeki su buharının genişerek serbest kalması sonucunda oluşan gözenekli ve hafif bir malzeme olarak tanımlanmaktadır. Yurdumuzda pek çok yerde karşılaşılan, Isparta yöresinde de yoğun olarak bulunan süngertaşının porfirik dokulu, hamurunun ise holohiyalin yapıda olduğu ve mikroskopik incelemesi sonucunda;

gözenekli bir cam matriks içerisinde sanidin, piroksen ve biyotit fenokristallerin, ayrıca opak minerallerin bulunduğu gözlenmiştir.

Pomza taşının bağlayıcı maddesi amorf bir silikattır. Isparta pomzataşının birim hacim ağırlığının 0,4-1,0 kg/dm³ arasında değişmesi jeoteknik özelliklerinin çok farklı davranışına sebep olmaktadır. Homojen, izotrop ve küçük gerilmeler dışında elastik olmayan bir davranışa sahiptir [32]. Pomza taşı agregası %75 boşluklu olduğundan dolayı hafif bir doğal agregadır. Boşlukları yassı ve birbirine paralel, bazen de birbirleri ile bağlantılıdır.

Pomza taşının yurdumuzda yaygın olan özel kullanımı daha çok beton duvar blokları ve asmolen blok şeklindedir. Pomza taşı agregası ile üretilen farklı nitelikteki betonlar yapının taşıyıcı sisteminde kullanılabileceği gibi yapı fiziği sorunlarının çözümünü de sağlayabilirler [7].

b) Volkanik cüruf

Pomzaları oluşturan mağmalardan daha bazik bileşimli, viskozitesi daha düşük mağmanın aniden yüzeye çıkıp gazlarını kaybetmesi sonucu oluşurlar. Renkleri daha koyu olup gözenek yapısı da pomza taşınıkinden daha düzensizdir. Mekanik performansları düşük olduğundan kullanımları sınırlıdır.

İtalya ve Fransa'da hafif blok üretiminde kullanılan volkanik cürufun Manisa-Kula civarında geniş rezervleri bulunmakta ve çimento sanayiinde katkılı ve traslı çimento üretiminde kullanılmaktadır [29,33].

c) Diatomit

Su yosunları sınıfından tek hücreli mikroskobik alglerin fosilleşmiş silisli kavkılarında meydana gelmiş bir çökeldir. Uzun zamandan beri inşaat sektöründe bilinen ve kullanılan bir malzemedir. MS 530'lu yıllarda diatomit tuğlasının hafifliğinden dolayı Ayasofya'nın kubbesinin yapımında ve diatomitin, badana işlerinde kullanıldığı bilinmektedir [34].

Çok yüksek poroziteye sahiptir. Açık renkli ve taneli yapısı vardır [25].

2.1.2. Suni hafif agregalar

Suni hafif agregalar, genellikle ticari adlarıyla anılırlar. Fakat en iyi sınıflandırma üretim metoduna göre yapılan sınıflandırmadır.

Birinci grup, ısı uygulamasıyla üretilmiş agregaları içerir. Sırasıyla genleşmiş kil, genleşmiş şist, perlit, vermikülit gibi. İkinci grup yüksek fırın cürufunun özel bir soğutma işlemi ile genişletilmesiyle elde edilir. Endüstriyel kül ve cürufur üçüncü gruptadır [25].

a) Genleştirilmiş kil ve şist

Genleştirilmiş kil, kuru olarak öğütülen kilin nemlendirilmesi ya da su püskürtülerek anglomeralştırılması suretiyle elde edilirler. Homojen hale getirildikten sonra su ilave edilen kil, bükerek yaprak haline getiren aygıtlardan geçilir. Bundan sonra muhtemelen genleştirici bir katalizör ilave edilerek kil parçacıkları yuvarlak haline getirilir ve tamburlardan geçirilerek, dane büyüklüklerine göre sınıflandırılır [4]. Kilin bileşiminde, değişik oranlarda, silis, alüminyum ve demir oksit bulunur. Enerji maliyetindeki artışlar nedeniyle kullanımını azalmıştır [34].

Genleşmiş şist, sinterleme metodu ile $0,65-0,9 \text{ kg/dm}^3$ arasında yoğunluklarda elde edilebilir. Döner fırında ise $0,3-0,65 \text{ kg/dm}^3$ arası yoğunluklarda elde etmek mümkündür. [25]. Bunlar yine kil içermekte birlikte yüksek sıcaklık ve sıkışma sonucunda tabakalı ve kompakt bir yapıya sahip olmuşlardır [34].

b) Genleşmiş yüksek fırın cürufu

Yüksek fırın cürufuruları aniden soğutulmuş, cürufun boşluklu ve hücreli bir yapıya getirilmesiyle elde edilirler. Dünyada, inşaat sektöründe artarak kullanılmaktadır. Bu cürufurularla yapılan betonların hidrasyon ısıları düşük ve sülfat etkilerine karşı dirençleri yüksektir [35].

Bileşiminde kalsiyum oksit (% 40-50), silisyum dioksit (% 25-35), alüminyum oksit (% 10-20) ve magnezyum oksit (2-6) bulunmaktadır [34].

c) Uçucu kül

Uçucu kül (veya pulverize yakıt külü), termal güç santrallerinde havayla karıştırılarak üflenen kömür tozunun yanmasından geriye kalan atıktır. Silis ve alüminyum oksit içerir. Zerreler 1-200 mikron çaplarında ve siyah gri renktedir. Bacalardaki mekanik filtreler veya elektrostatik tutucularla toplanır. Kömürün yanmasıyla $1400 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar ısındıktan sonra hava ile ani olarak soğutulduğu için kurudur ve camsı bir yapıya sahiptir [34].

d) Vermikülit

Volkanik bir kökene sahiptir ve bir miktar kombine suyu beraberinde bulundurmaktadır. Bu doğal malzeme ısıtıldığı zaman içindeki suyun buhara dönüş yapması ile bir genişleme

ve bunun sonunda da fazla miktarda boşluklar elde edilir. Vermikülit böyle bir işlem sonunda, ilk hacminin 30 misli kadar çok büyük bir genişleme yapabilir. Muhtelif büyüklükteki tanelerden meydana gelen genişlemiş vermikülit tanelerinin şu özellikleri mevcuttur. Özgül ağırlığı; $1,35 \text{ kg/dm}^3$, su emme miktarı % 128,5' civarındadır. Vermikülit, $700-800 \text{ }^\circ\text{C}$ de hatta bazen $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de genişlenebilir. Genellikle taşıyıcı hafif beton üretiminde kullanılması mümkündür [36].

e) Perlit

Hafif ve gözenekli bir yapı oluşturan genellikle % 70-%75 SiO_2 , % 12-%20 Al_2O_3 ve az miktarda diğer mineral bileşikleri içeren asidik özellikli püskürük, camsı bir kayadır [37].

Perlit, beyaz agrega veya inci taşı anlamına gelen, grinin tonlarından siyaha kadar değişik renkler alır.

Buna ham perlit de denebilir. Ham perlitin 0-2,5 mm'lik tane boyutuna göre sınıflandırılmasına tasnif edilmiş perlit, bunun da $850-1150 \text{ }^\circ\text{C}$ deki alev şokunda bünye suyunu kaybederek, patlama sonunda 10-30 misli büyümesi haline geliştirilmiş perlit denilmektedir [38]. Nihayetinde, hafif ve gözenekli bir yapıya sahip olmaktadır. Bu özelliğinden dolayı bilhassa yalıtım amacıyla değişik uygulama alanlarında önem kazandığı yapılan çalışmalardan bilinmektedir. [39].

Perlitin inşaat sektöründe kullanımını genel olarak üçe ayrılabilir. Birincisi genişmiş perlitin gevşek halde kullanılması, ikincisi geliştirildikten sonra çeşitli bağlayıcılarla karıştırılarak kullanılması, üçüncüsü de ham olarak kullanılmasıdır [40].

2.1.3. Dünyada ve ülkemizde hafif agrega durumu

Dünya genel yapı malzemeleri üretimi 15×10^9 t/yıl'dır. Hafif yapı malzemeleri üretimi ise 100×10^6 t/yıl civarındadır. Mesela; A.B.D.'de yıllık hafif yapı malzemesi üretimi $20-22 \times 10^6$ ton'dur. (Bunun 12×10^6 ton'u genişlenebilir kil ve şeyl, $3,5-4,5 \times 10^6$ ton'u pomza, $0,75-1 \times 10^6$ ton'u perlit, 350×10^3 ton'u ise vermikülitir.) A.B.D.'de hafif yapı malzemesi üretiminin geleneksel yapı malzemesi üretimine oranı 1/70 civarındadır.

Japonya'da; 20×10^6 t/yıl olan hafif yapı malzemesi üretiminin 6×10^6 ton'u pomza, hafif volkanik tüf ve cüruf, $1,5 \times 10^6$ ton'u geliştirilmiş kil ve perlit, 14×10^6 ton'u uçucu kül ve cüruftur. Bu ülkede hafif yapı malzemesi üretiminin geleneksel yapı malzemesi

üretimine oranı 1/32 civarındadır. Batı Almanya'da ise, bu oran 1/25 civarındadır. Dünya pomza tüketiminin yaklaşık yarısı ($14,5 \times 10^6$ ton/yıl) bu ülkeye aittir. Batı Almanya ayrıca yılda yaklaşık 100×10^6 ton perlit ithal etmektedir.

Ülkemizde, rezervlerin fazla olmasına karşın, lokal olanlar hariç, yeterli ölçüde gelişmiş hafif yapı malzemesi kullanımı söz konusu değildir [24]. Genellikle Orta ve Doğu Anadolu'da yer alan 10 ilde (Amasya, Afyon, Bitlis, Çankırı, Eskişehir, Isparta, Kayseri, Konya, Kütahya, Niğde) toplam 40 adet doğal hafif agrega ocağının bulunduğu tahmin edilmektedir. Ayrıca bu 10 ilde toplam rezerv miktarının $580.000.000 \text{ m}^3$ gibi çok yüksek bir değere ulaştığı saptanmıştır. Bu yaklaşık olarak 200 yıl konut gereksinimi karşılayabilecek agrega miktarı demektir [25].

Türkiye için birkaç hafif agregaya örnek verilecek olursa;

Perlit; Perlit yatakları Türkiye'nin her yöresine dağılmıştır. Ülkemizde 8×10^6 ton perlit potansiyeli bulunmaktadır. Ülkemiz, Amerika ve B.D. Topluluğu'ndan sonra dünyanın en büyük perlit üreticisi konumuna gelmiştir.

Pomza; Doğal olarak volkanik aktivite sırasında genişleyen perlit olan pomza, ülkemizde yaygın maden yataklarına sahiptir.

Genleşmiş kil ve vermikülit: Bugün ülkemizde üretimleri mevcut değildir. Buna karşılık rezervlerin işletme tesisleri kurulmasına imkan verecek düzeyde olduğu bilinmektedir [24].

2.2. Hafif Agregaya Kullanılarak Üretilen Beton ve Bloklar

2.2.1. Hafif ve Yarı Hafif Betonlar

Hafif beton, ağırlığının azlığı, ısı ve ses yalıtım özellikleri nedeniyle önemli bir yapı malzemesidir. Genel olarak küçük prekast yapı elemanlarının ve duvar elemanlarının üretiminde kullanılmaktadır.

Dünyada hafif agregalı beton üretimi bulunduğumuz yüzyılın ilk yıllarında başlamıştır. Daha çok duvar elemanlarının yapıldığı bu üretim II. Dünya Savaşı'ndan sonra taşıyıcı hafif beton üretimini de kapsamıştır. Özellikle temel problemlerinin yaşandığı yerlerde taşıyıcı hafif betonların ekonomik çözümler getirdiği saptandıktan sonra ABD'de Chicago Prudential Life Building (42 katlı) ve Dallas Statler Hilton Hotel (18 katlı) gibi

birçok yapıda hafif beton kullanılmıştır [3]. Bugün Japonya'da büyük köprüler ile kat adedi 8'den fazla olan yapılar hafif betondan yapılmaktadır. Beton yapımında kullanılan agrega genleştirilmiş kil ve perlitten ibarettir [4].

Genleşmiş perlit, vermikülit gibi agregalar düşük yoğunluklu yalıtım betonları için uygun olurken, genleşmiş kil, şeyl, sleyt cüruf ile sinterleşmiş küller taşıyıcı hafif betonlar için kullanılmaktadır. Doğal hafif agregalar ise daha ziyade orta dayanımlı hafif betonların üretimine uygun olduğu bilinmektedir [5].

Hafif beton, bağlayıcı çimento hamurunun genleştirilmesi sureti ile (havalı, hücreli ya da gazbeton) ya da sadece geleneksel iri agrega kullanarak (kumsuz) elde edilebildiği gibi beton bileşiminde, geleneksel agrega yerine, hafif agrega kullanılarak da elde edilebilmektedir. Ancak özellikle yapı betonu için tek başına kullanılan teknik, hafif agrega kullanmaktan ibarettir [2].

Hafif agregaların, doğal agregalar grubu, su emme bakımından yeterli tedbirler alındığında, yalıtım betonlarının ve taşıyıcı hafif betonların üretiminde kullanılabilirliği bilinmektedir.

Konutlarda hafif ve yarı hafif beton kullanmakla, enerji yönünden kazanç sağlanmaktadır. Konutlarda kullanılacak hafif agregalı taşıyıcı betonlar ses yutuculuğu bakımından daha iyi sonuçlar verebilmektedir. Konut yapımı için kurulabilecek prefabrik elemanların üretilmesi ile ısı tasarrufu yönünden büyük yararlar sağlayacağı gibi, yapı ağırlığının azalması dolayısıyla deprem kuşağında kullanılmasında da bir avantaj oluşturacaktır [6]. Hafif betonların kullanılması ile beton prefabrik elemanların vinç ile taşınabileceği uzaklıklar artmakta veya uzaklık sabit kabul edilirse daha küçük kapasiteli vinç ve taşıyıcı vasıtalar kullanabilmek mümkün olmaktadır [7].

Agrega olarak pomza agregasının kullanıldığı betonlarda, betonun dökümünde, karıştırılmasında, taşınmasında ve sıkıştırılmasında dikkat edilebilecek en önemli nokta karışımın harç kısmından iri agregaların ayrışmasını önlemektir. İyi bir beton elde edebilmek için;

-İşlenebilir bir karışımı minimum su kullanarak elde etmek,

-Betonun fazla bekletilmeden döküm ve işlenmesini sağlayabilecek ekipman ve makine,

-Uygun bir sıkıştırma tekniği,

-Üst düzeyde bir işçilik gerektiği bilinmektedir [8].

-Üst düzeyde bir işçilik gerektiği bilinmektedir [8].

2.2.1.1. Hafif betonların sınıflandırılması

Hafif betonlar değişik karakteristiklerine göre sınıflandırabilmektedirler. Bunlardan birim ağırlık ve mukavemet birinci özellik olabilirse kullanım amacı da ikinci özellik olabilir [9].

Hafif betonların birim ağırlık sınırları genellikle $300-1800 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmektedir [10]. Birim ağırlıkları 1840 kg/m^3 geçmeyen ve 28 günlük silindir basınç mukavemeti 17 N/mm^2 'yi aşan betonlar da hafif beton olarak değerlendirilebilirler [11].

Ancak ülkemizde hafif beton birim ağırlığı, üst sınırı 1900 kg/m^3 olarak kabul edilmiştir. [12] Mukavemetleri $7-17 \text{ N/mm}^2$ arasında değişen hafif betonlar yalıtım betonu veya orta dayanımlı beton sınıfına girerler. Taşıyıcı hafif betonlar yalıtım betonların birim ağırlıkları ile çoğunlukla $1600-1700 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmektedir [10,11].

Fonksiyonlarına göre, hafif betonları, üç sınıfa ayırmak mümkündür [10,13].

- a) Yalıtım Betonları
- b) Orta Mukavemetli Hafif Betonlar
- c) Taşıyıcı Hafif Betonlar

Yalıtım Betonları: Birim ağırlıkları, $700-1400 \text{ kg/m}^3$ basınç dayanımları 10 N/mm^2 den küçüktür.

Orta Mukavemetli Hafif Betonlar: Birim ağırlıkları $1400-1600 \text{ kg/m}^3$, basınç dayanımları $10-15 \text{ N/mm}^2$ civarındadır.

Taşıyıcı Hafif Betonlar : Genel olarak birim ağırlıkları 1850 kg/m^3 ve basınç dayanımları 17 N/mm^2 den fazladır.

Hafif ve çok hafif betonlar hafifletme yöntemlerine ve kullanım alanlarına göre de sınıflandırılabilirler :

* **Hafif ve çok hafif agrega dolu betonları:** Bu betonlarda geleneksel kum ve çakılın yerini hafif ve çok hafif agregalar almıştır.

* **İnce betonlar:** Kum ve ince agrega kullanılmadan, iri agregaların çimento ile birbirine yapıştırılması yolu ile elde edilir. Bu tür betonlarda iri agregalar arasında, çapları

bazen santimetre boyutlarına varan boşluklar bulunduğundan, termik ve mekanik performanslar diğer betonlara göre daha düşüktür.

* **Kum betonu:** Hava sürükleyici katkı maddeleri kullanılarak yüksek hızlı beton karıştırıcılar da yapılabilen bol gözenekli bir harçtır. Nadiren kullanılır.

* **Köpük beton:** Çimento harcına dışarıda hazırlanmış köpük katılması yöntemi ile üretilir. Katılan köpük miktarına göre değişik özelliklerde beton üretilebilir.

* **Gazbeton:** Çimento, kireç, öğütülmüş kuvarsit karışımının alüminyum metal tozları katılarak gözeneklendirilmesi yolu ile üretilir. Hafiflendirme çimento ve kirecin alkalileri ile alüminyum tozu arasında oluşan kimyasal tepkime sonucunda ortaya çıkan hidrojen gazının beton yapısını kabartması (pasta gibi) ile sağlanır. Gazbeton teknik özelliklerinin iyileştirilmesi amacı ile yüksek basınçta buhar kürüne (otoklav) tutulduktan sonra piyasaya sürülür.

DIN 1045'e göre ise betonlar birim ağırlıklarına göre;

Hafif Betonlar: Birim Ağırlık $< 2000 \text{ kg/m}^3$

Normal Betonlar : $< 2000 \text{ kg/m}^3 \leq \text{Birim Ağırlık} \leq 2800 \text{ kg/m}^3$

Ağır Betonlar : Birim Ağırlık $> 2800 \text{ kg/m}^3$

şeklinde sınıflandırılmaktadır.

Yukarıdaki sınıflandırmalara göre bu çalışmada üretilen lifli hafif agregalı betonların birim ağırlıkları $1700\text{-}2050\text{kg/m}^3$ arasında kalmaktadır.

2.2.1.2. Hafif ve yarı hafif betonların özellikleri

Bu konuda yapılan çalışmalara göre; hafif ve yarı hafif betonların özellikleri normal betona göre kıyaslandığında aşağıda belirtilen hususlarda farklılıklar görülmektedir.

1- Kullanım amacına göre hafif betonun birim hacim ağırlığı önemli derecede farklılıklar gösterir. Yapı taşıyıcı panolarında bu ağırlık $1000\text{-}1200 \text{ kg/m}^3$ olabilir. Bu betonun dayanımı $10\text{-}15 \text{ N/mm}^2$ civarındadır. Kullanımının en önemli yararı ısı iletkenliğinin düşük ($0,30 \text{ Kcal / m / saat / }^\circ\text{C}$) olmasıdır.

Normal betonarme yapılarda bu betonun birim hacim ağırlığı 1500 kg/m^3 mertebesindedir. Dayanımları ise 30 N/mm^2 ye ulaşabilir. Sanat yapılarında kullanılmak üzere birim hacim ağırlığı $1700\text{-}1900 \text{ kg/m}^3$ ve dayanımları 50 N/mm^2 ye ulaşan hafif betonlarda yapmak mümkündür [4].

2- Bu betonların çekme dayanımı yaklaşık olarak normal betonunki kadardır. Ancak bu dayanım kuru havalarda önemli derecede azalır.

3- Ani elastisite modülü yaklaşık olarak normal betonunkinin yarısı kadardır. Bu da hafif beton kirişlerin normal beton kirişlere göre çok daha fazla sehim yapacağını gösterir.

4- Sıcaklık genleşme katsayısı yaklaşık olarak normal betonunkinden % 25 daha küçüktür. Dolayısıyla da hafif beton sıcaklık değişimine karşı daha dayanıklıdır. Bu da önemli derecede farklı sıcaklıkların etkisinde kalacak olan hiperstatik yapılarda hafif beton kullanmanın yararlı olacağını gösterir.

5- Isı iletkenliği; birim hacim ağırlığı ve su içeriğine göre değişmekle beraber, bu iletkenlik normal betonunkinden çok küçüktür [2].

6- Yalnız yalıtım amacıyla üretilen betonların birim ağırlıkları çok düşüktür. Basınç dayanımları da taşıyıcı olamayacak kadar azdır [14].

7- Rötresi normal betonunkinden yaklaşık % 25 daha fazladır. Öngerilme kayıplarının hesabında bu durumu dikkate almak gerekir. Ancak, agregalar daha fazla şekil değiştirmeye yatkın olduğundan rötrenin etkisiyle çatlama ihtimali normal betona göre daha azdır [2].

8- Sünme şekil değiştirmesi normal betona göre yaklaşık olarak % 40 daha büyüktür.

9- Isı iletkenlikleri ve genleşme katsayıları küçük olduğundan bu betonların yangına karşı dayanımları normal betona göre daha yüksektir. Örneğin, 12 cm kalınlıklı normal betondan bir döşeme plağının belirli bir yangına karşı dayanımı 2 saat olduğu halde hafif betondan aynı kalınlıklı plağın aynı yangına karşı dayanım süresinin 4 saat olduğu görülmüştür. Aynı şekilde $650 \text{ }^{\circ}\text{C}$ de normal betonun dayanımında % 45 mertebesinde bir düşüş olmasına rağmen hafif betonun, aynı sıcaklıkta, dayanımındaki düşüş % 10 mertebesindedir [4].

10- Su Emme Miktarı : Hafif betonun, normal betonunkine kıyasla % 12 ~ 22 oranında daha fazla su emdiği görülmüştür [15].

11- Önemli miktarda su emmesine rağmen donmaya karşı dayanımı yüksektir. Zira suya doygun olmayan çok sayıda gözeneğe sahip olmasından dolayı zarar görmeden buzlanma genişmesine imkan vermektedir. Bu tür betonlar, ısı iletkenlikleri düşük olduğundan, kışın beton dökümü için de uygundur. Çünkü, çimento prizinden doğan ısıyı normal betona göre daha uzun süre muhafaza eder [2].

12- Ses Emme : Hafif betonun ses emme özelliği havadaki ses enerjisinin betonun çok küçük kanallarında ısıya dönüştürülmesi nedeniyle iyi olduğu belirlenmiş, dolayısıyla ses emme katsayısının normal betona oranla yaklaşık daha iyi olduğu belirtilmiştir. Betonun birim ağırlığı azaldıkça ses yutuculuğu değişmektedir [15].

13- Gerçekleştirilen aderans deneyleri hafif beton-donatı aderansının geleneksel beton-donatı aderansından % 40 civarında daha büyük olduğunu dolayısıyla da teknik literatürde belirtilenin aksine, hafif betonlarda aderans boyunun daha küçük olabileceğini göstermektedir.

14- Hafif betonun aşınma dayanımı normal betonunkinden daha azdır.

15- Hafif betonun korozyona karşı dayanımı en az normal betonunki kadardır. Bu betonun özellikle deniz suyuna karşı dayanımı da yüksektir.

16- Dinamik etkiler altındaki davranışı : dalga yayılma hızı normal betonunkinden yaklaşık % 25 daha küçüktür. Titreşimleri daha az iletimi şok etkilerini daha iyi absorbe eder. Titreşim amortisman katsayısı da daha iyidir [2,4].

17- Su/çimento oranı arttıkça hafif betonların dayanımlarındaki düşüş, geleneksel betonunkilerden daha az olmaktadır. Gerçekten hafif betonların ortalama basınç dayanımları geleneksel betonunkilerden su/çimento oranının 0.50, 0.55 ve 0.60 değerleri için sırasıyla % 95, % 80 ve % 73 daha küçüktür.

18- Su-çimento oranına bağlı olarak bir miktar değişmekle beraber hafif betonların ısıl iletkenlik katsayıları geleneksel betonlara göre daima % 80 daha küçüktür. Genel olarak çimento oranının artmış ve toplam su oranının azalmasının betonun bu özelliğini iyileştirdiği belirtilmektedir [15].

19- Gerçekleştirilen deneyler agrega petrografik yapısının betonun basınç ve çekmedeki kırılma mekanizmaları dolayısıyla da dayanımları üzerinde etkili olduğu ve bu suretle teorik incelemeler neticesinde bu konuda elde edilen teorik bağıntıların da oldukça gerçekçi olduklarını göstermektedir.

20- Hafif betonarme kirişlerin deneysel kırılma momentleri, aynı donatı oranına sahip geleneksel betonarme kirişlerinkinden en çok % 13 daha küçüktür. Bu da yapılan hafif betonun en azından betonarme kirişlerde kullanılmasının dayanım yönünden önemli bir sakıncasının olmadığını ortaya koymaktadır [2].

21- Hafif betonlar benzer özellikteki normal betonlardan daha fazla su emme gösterebilmelerine rağmen, geçirgenlikleri bu derece fazla değildir. Çünkü betonda geçirgenlik çimento hamurunun özelliğine bağlı olmaktadır.

Beton içerisine suyun girişi, yayılması ve çıkışı üzerine, taze betona uygulanan başlangıç bakım ve korumasının büyük etkisi olmaktadır. Havada bakım ve koruma uygulanmış hafif betonlar aynı şekilde bakım ve koruma uygulanmış normal betonlardan daha düşük geçirgenliğe sahip olmaktadır. Bu nedenle, aynı dayanım amaçlanarak üretilmiş, uygun bakım ve koruma koşullarında tutulmuş hafif betonlar, normal betonlara göre daha az geçirgenliğe sahip olacağı gibi buna bağlı olarak daha fazla dayanıklılık göstermektedir [16].

2.2.1.3. Hafif ve yarı hafif betonların avantajları ve dezavantajları

Ekonomik olmaları nedeniyle kullanılan hafif ve taşıyıcı hafif betonun, avantajları şunlardır:

1- Birim hacim ağırlığındaki azalma nedeniyle beton kalıbında daha düşük basınç oluşur. Bunun sonucunda üretim ve yerleştirme kolaylaşır.

2- Hafif betonla üretilen elemanların birim ağırlıklarının düşük olması nedeniyle yapıdaki ölü yükler azalır. Kalıp payandası gibi geçici taşıyıcılar ile mesnet ve temeller gibi daima taşıyıcı elemanlarda da ekonomi sağlar [17].

3- Isı yalıtkanlığı ve ses yalıtkanlığı daha iyidir. Örneğin, 2 cm kalınlığındaki bir perlit sıva 15 cm kalınlığında bir tuğla duvarın yalıtkanlığını yapabilmektedir [4].

4- Yangın bakımından da normal betona göre daha elverişlidirler.

5- Ölü yüklerin azalması ve dolayısıyla hesap momentlerinin küçük çıkması dolayısıyla daha az donatıya ihtiyaç gösterir özellikle deprem etkisinde, düşük yükle orantılı olarak oluşan yanal deprem kuvvetlerinin azaltılması taşıyıcı hafif beton kullanımı ile sağlanabilir.

6- Kolay işlenebilmesi sayesinde en ince kalıp detaylarını bile aksettirebilir, güzel görünümlü yüzeyler ortaya konulabilir [17].

7- Prefabrikte yapı elemanlarının imalat koşulları daha iyidir [4].

Özet olarak, konutlarda hafif veya yarı hafif beton kullanmakla enerji yönünden kazanç sağlanır. Konutlarda kullanılacak hafif agregalı taşıyıcı betonlar ses yutuculuğu bakımından da iyi çözümdür. Doğal hafif agregaların iklimi soğuk yöreler olan Orta ve Doğu Anadolu'da çok miktarda bulunması da iyi bir rastlantıdır. Böylece hafif agregalı beton için agreganın yapay yolla üretiminde ayrıca bir enerjiye gerek yoktur.

Söz konusu yörelerde konut yapımı için kurulabilecek prefabrikte elemanların üretilmesiyle ısı tasarrufu yönünden büyük yararlar sağlanabilir. Hafif beton yapı elemanlarının sağlayacağı ekonomi yanında kendi ağırlığının da azalması dolayısıyla deprem kuşağında olan bu yörelerde daha hafif yapıların üretilmesine yarar sağlamıştır [9].

Dezavantajları ise;

1- Boşluklu olmaları yani porozitenin büyük olması dolayısıyla mukavemetleri düşüktür. Bu nedenle, yüksek mukavemetli beton ve öngerilmeli beton uygulamalarında tercih edilen bir yapı malzemesi değildir.

2- Rutubete karşı yalıtım yapılması zorunluluğu vardır.

3- Aşınmaya karşı dayanıksızdır.

4- Özellikle depo gibi yapılarda yoğun faydalı yükün taşınması gerektiği için daha kalın döşemelere lüzum vardır [17].

a) İmalat ve yerine konması daha çok özen ister. Dolayısıyla da normal betona göre ek bir masraf gerektirir.

b) Fiyatı yüksektir. O nedenle, yukarıda belirtilen üstünlükleri de dikkate almak suretiyle ekonomik açıdan ayrıntılı bir karşılaştırma yapmayı gerektirmektedir [8].

5- Dış etkilere maruz donatılarda daha kalın bir beton örtü tabakasına (pas payı) ihtiyaç gösterir.

6- Normal betona göre daha düşük bir kesme mukavemetine sahiptir.

7- Elastisite modülünün düşük olmasından dolayı hafif ve taşıyıcı hafif beton kirişlerde sehimler ve dönmeler daha büyüktür.

8- Tam olarak doğrulanmamasına rağmen, hafif betonların elastisite modüllerinin düşük olması nedeniyle sünme bir dereceye kadar yüksektir [10]. Sabit yük altındaki uzun süreli davranış özellikle kullanılan agreganın rijitliği ile ilgilidir. Agreganın rijitliğinin

azalması (Hafif ve taşıyıcı hafif betonda olduğu gibi) sünmeyi arttırması yanında sabit yükü uygularken oluşan ani şekil değiştirmeyi de arttırır. Bileşimleri aynı olan hafif betonun rötresi normal betona göre daha fazla olmasına karşılık rötre süresince çatlama meydana gelme olasılığı daha düşüktür [17].

Buna göre hafif ve yarı hafif betonlar dezavantajlarının yanı sıra yapılarda normal betona göre önemli üstünlükleri (ısı ve ses izolasyonu) açısından tercih edilmektedirler.

2.2.2. Hafif agregalı beton bloklar

Hafif agregalı beton blokların üretiminde çoğunlukla doğal hafif agregalar kullanılmakla beraber, suni agregaların da kullanıldığı da bilinmektedir. Doğal agregalardan genellikle pomza, volkanik tüf, volkanik cüruf ve diotomit kullanılırken, suni agregalardan da kömür cürufunun kullanıldığı bilinmektedir [1].

Betonda birim ağırlığın düşmesi ısı izolasyon kabiliyetinin artmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle hafif betonlar ısı iletkenliği düşük ve yalıtım gerektirmeyebilen bir malzeme türüdür. Hafif betonlar duvar elemanı olarak kullanıldıkları takdirde tuğlaya nazaran daha az bir duvar kalınlığı kaplarlar. Böylece binanın faydalı alanı artmakta, bina yüklerinde azalma olmaktadır. Aynı duvar kalındığında bile birim ağırlık düşük olduğundan bina zati yükleri azalmakta, yapının ısıtma masrafları düşmektedir [15].

Deprem hesabı yapılmamış ya da yürürlükten kalkmış eski afet yönetmeliklerine göre inşa edilmiş betonarme karkas yapılarda taşıyıcı olmayan bölme duvarların yıkılarak bunların yerine genişleştirilmiş perlitin agrega olarak kullanılmasıyla elde edilen hafif betonlardan imal edilmiş panoların kullanılması deprem tahripkarlığı ihtimalini azaltacaktır [4].

Briketin, hafif agrega kullanılarak yapılmış, türleri vardır. Briket özellikle dış duvarlarda kullanılan bir yapı malzemesi olduğu için ısı ve nemsel özelliklerinin bilinmesi ve bu özelliklerin iyileştirilmesi kullanıcıya konforlu mekanlar oluşturabilmek açısından önem kazanmaktadır [19].

Beton blok imalinde kullanılan hafif agregalar, beton imali, özellikle ayrışmaya engel olunması ve kalıplama gibi hususlarda (örneğin agreganın, çimento ilave edilmeden ıslatılması gibi) normal agregalara nazaran daha fazla kontrol ve ihtimama ihtiyaç göstermektedirler [1].

2.2.2.1. Hafif agregalı beton blokların özellikleri

Genel olarak hafif agregalı beton blok imali ihtiyacı, bir taraftan briket ağırlığının azaltılması ve dolayısıyla bunlarla yapılan inşaatların zati yüklerinin azaltılması ihtiyacından ileri gelmekte, diğer taraftan bu briketlerin kullanılmasına duyulan arzı, sadece ağırlığın azaltılması düşüncesiyle olmayıp, bazen ağırlık faktörüne nazaran daha önemli olan, ısı direnci, ses absorpsiyonu, yangına karşı direnç, çivi tutma kabiliyeti ve renk doku estetiği gibi özelliklere de sahip bulunmalarından doğmaktadır [1]. Aşağıdaki özellikler, hafif agregalı beton blokların davranışlarını belirtmektedir.

a) Birim ağırlık

Tek briketin ağırlığı dikkate alınarak ve boşluklu normal beton briketin ağırlığı ortalama 20 kg olarak kabul edilmek suretiyle bir mukayese yapılacak olursa, tuf beton brikette %28, curuf brikette % 42 ve bims brikette ise % 50 değerlerinde ağırlıktan bir tasarruf sağlanabildiği görülmektedir.

Hafif agregalı beton blokların taşınma ve yerine konma kolaylığı gerekse fazla miktarda işlenebilme özellikleri dolayısıyla da ayrıca inşaat maliyetinin azalabileceği söylenebilir. Bu hususta yapılan incelemeler, normal beton bloka nazaran inşaat maliyetinde % 20 civarında bir tasarruf sağlanabileceğini göstermiştir [1].

b) Dayanım

Hafif agregalı beton blok elemanlardan pomza agregalı olanların büyük çoğunluğu taşıyıcı özellik de gösterir [20].

Özellikle bims bloklarda basınç mukavemet değerleri minimum 2 N/mm², ortalama 2.5 N/mm² veya üzerinde bir değerde olması gerekmektedir. Asmolenlerde kesme yükü değeri minimum 20 N/mm² değerlerinde olması istenmektedir. [8,18,21]

c) Termal özellikler (Isı izolasyonu)

Hafif beton bloklarda kuru birim ağırlık azaldıkça ısı iletkenliği hesap değerleri azalmaktadır. Briket üretiminde kullanılan agrega konsantrasyonunun, pomza, kum, çimento ve sudan oluşması halinde, aynı konsantrasyonda kum yerine mıcır kullanılması ile elde edilen ısı iletkenlik hesap değerlerinden daha büyük bir değere ulaşılmaktadır. Bunun sebebi ise mıcırın kuma oranla daha gözenekli bir malzeme olmasından kaynaklanmaktadır.

d) Ses izolasyonu

Genel anlamda ses; elastik ortamdaki titreşim ve dalgalardır. Boşluklu yapı, ses dalgalarının birbirinden farklı ortamlarda hareket etmelerine yol açar. Birbirinden farklı bu ortamlar, maddeyi oluşturan mineral yapı ve durgun havadır [18].

Ses absorpsiyon kapasiteleri oldukça yüksek olan hafif agregalı beton blok duvarların buna karşılık ses yalıtım kabiliyetleri normal beton blok duvarlara nazaran daha azdır. Yapılan araştırmalarda, havada yayılan seslere karşı duvarların izolasyon yeteneklerinin birinci derecede duvar birim alan ağırlıklarına tabi olduğu sonucuna varılmıştır. Yani duvar birim alan ağırlığı arttıkça ses izolasyon kabiliyeti de artmaktadır[1].

e) Akustik Özellikler

Yapı malzemelerin ses absorpsiyonu özelliklerinin bilinmesi, konferans, konser salonlarının akustik bakımdan düzenlenmesi ve fabrika, ofis konut gibi yerlerde “havada yayılan ses”in kontrolü konusunda önemlidir. Ses absorpsiyonu özelliği, ses enerjisinin çarptığı duvar yüzlerinin gösterdiği “yansıtma” kabiliyetine bağlıdır. Ses absorpsiyonu yüksek yani akustik özelliği iyi olan bir malzeme aynı zamanda ses izolasyonu sağlayamayabilir.

Genellikle yüzleri pürüzlü, gözenekli dokulu bloklarla yapılan beton blok duvarlar ses absorpsiyonu bakımından daha uygundur. Hafif agregalı beton blok duvarlar, gözenekli olduklarından, normal agregalı beton blok duvarlara nazaran daha fazla ses absorpsiyonu kapasitesine sahiptirler. Ancak duvarlara sıva veya boya yapılması, gözenekleri kapatacağından, duvarın ses absorpsiyon kapasitesi önemli derecede azalmış olur. Bu bakımdan iyi bir ses absorpsiyon kapasitesine sahip olan hafif agregalı beton blok duvarlar sıvandıkları bu özelliklerini kaybederler. Ancak püskürtme şeklinde yapılacak boya ve badanalarla buna kısmen mani olunabilir [1].

f) Nemsel özellikler ve buhar difüzyonu

Hafif agrega olarak pomzanın kullanıldığı blok elemanlarla ilgili bilinen sorunlar; yağışmaya neden olma, buhar geçirmeme veya zor nefes alma, ıslanmışında kolay kurumama gibi sorunlardır [20]. Sağlıklı ve konforlu bir kapalı ortam sağlamak, sınırlayıcı yapı bileşimini nemsel olarak erken yapı hasarlarından uzak tutmak, yapı kullanım ve bakım giderlerini en aza indirebilmek amaçlarına hizmet veren önemler “yapısal nem korunumu” olarak tanımlanmaktadır. Nem tüm yapı gereçlerinin büyük düşmanıdır [19].

f) Nemsel özellikler ve buhar difüzyonu

Hafif agrega olarak pomzanın kullanıldığı blok elemanlarla ilgili bilinen sorunlar; yoğuşmaya neden olma, buhar geçirmeme veya zor nefes alma, ıslandığında kolay kurumama gibi sorunlardır [20]. Sağlıklı ve konforlu bir kapalı ortam sağlamak, sınırlayıcı yapı bileşimini nemsel olarak erken yapı hasarlarından uzak tutmak, yapı kullanım ve bakım giderlerini en aza indirebilmek amaçlarına hizmet veren önemler “yapısal nem korunumu” olarak tanımlanmaktadır. Nem tüm yapı gereçlerinin büyük düşmanıdır [19].

Yapılan deneyler sonucunda [19], blok elemanların buhar difüzyon direnç katsayılarının malzemenin birim ağırlığı arttıkça arttığı görülmüştür. Briketlerin nemsel özelliklerini iyileştirebilmek için kolay nem alıp vermesini sağlamak gerekmektedir. Bunun için de hacim ağırlığı düşük briketler üretilmesi önerilmektedir.

Rüzgarla itilen yağış ve yapı nemi pomza agregalı beton bloklarda büyük etkinlik gösterir. Kılcal emiciliği de çok az olan bu yapı taşları ile oluşturulan duvarların dış yüzeyleri bir kaç sene içinde kuruyarak, nemlilik açısından belli bir dengeye kavuşabilir. Ancak pratik nem duvar içinde yıllar boyu kalabilir [23].

g) Yangına karşı dayanım

Betonun ısı akımına karşı gösterdiği direnç yangına karşı dayanımı etkileyen en önemli bir faktördür. Hafif agregalı beton bloklar, normal betona nazaran daha fazla gözenekli olduklarından özellikle radyasyonla iletilen ısı akımına daha fazla bir dayanım gösterirler. Boşlukları kuru hafif agrega ile doldurulan boşluklu hafif agregalı bloklarla örülen duvarlarda yangına karşı dayanım daha da artmaktadır.

Hafif agregalı beton blokların termal genişleme katsayılarının normal betonlara oranla daha düşük oluşları, yangına karşı dayanım bakımından diğer bir üstünlük daha temin etmektedir. Şöyle ki; binalarda rijit kolonlar ve döşeme kirişleri arasına düzenli olarak örülmüş duvarlar, yangın süresince dört taraftan önemli derecede tutulur, sıkışır. Termal genişleme katsayıları, yüksek olan malzemede önemli derecede iç gerilmeler ve bunun sonucu olarak ezilme ve çökmeler meydana gelebilir. Menzele'e göre termal genişleme katsayıları nispeten düşük olan hafif agregalı beton blok ara duvarları (yük taşımayan) yangına karşı, normal beton blok duvarlara göre, daha dayanıklıdır [1].

h) Rötire (Hacim değişimi)

Beton bloklarda hacim değişimi özelliğinin incelenmesi, duvarlarda hacim değişimi dolayısıyla meydana gelen çatlaklar sebebiyle önem kazanmaktadır. Beton blok

duvarlardaki çatlaklar, stabilite faktörü hariç tutulursa, genel olarak ya “kuruma rötresi” veya “termal genişleme” ya da ikisinin bir arada etkileri dolayısıyla meydana gelen gerilmelerin, gerilmeye maruz kesitteki dayanımı aşmasıyla ortaya çıkarlar. Örneğin, ısı farklarının yüksek olduğu iklim bölgelerinde termal hacim değişimi faktörünün daha önemli olmasına karşılık, ısı farkları fazla olmayan ve nisbi rutubeti az iklim bölgelerinde daha çok kuruma rötresi faktörü ön plana geçmektedir.

Hafif agregalı beton blokların termal genişleme katsayıları normal agregalı bloklara oranla daha düşük olduklarından, hafif agregalı beton bloklar termal hacim değişimi bakımından, normal agregalılara göre daha avantajlıdır [1]. TS 2823’e [21] göre bims beton yapı elemanlarının rötre değerleri 0,5 mm/m’den fazla olmamalıdır.

i) Sıva tutma özelliği

Hafif agregalı bloklarda, özellikle, pomzanın hafif agregası olarak kullanıldığı beton blokların, gözenekli yüzey yapısı, agregası bağlayıcı olarak çimento kullanılması ve pomzanın doğal çimentonun hammaddesi (puzolan) olması gibi özellikleri onun iyi sıva tutucu eleman olmasını sağlamaktadır. Elemanların yüzeyine uygulanan sıva prizini attıktan sonra blok elemanlarla kaynaşmış ve bir bütün haline gelmiştir [18].

2.3. Lifli Betonlar

2.3.1. Lifli beton

Lifli beton, hidrolik çimento, ince veya ince ve iri agreganın bir arada kullanıldığı ve beton içerisinde çoğunlukla süreksiz dağılımlı liflerin suyla karıştırılmasından meydana gelen bir beton türüdür [42,43,44].

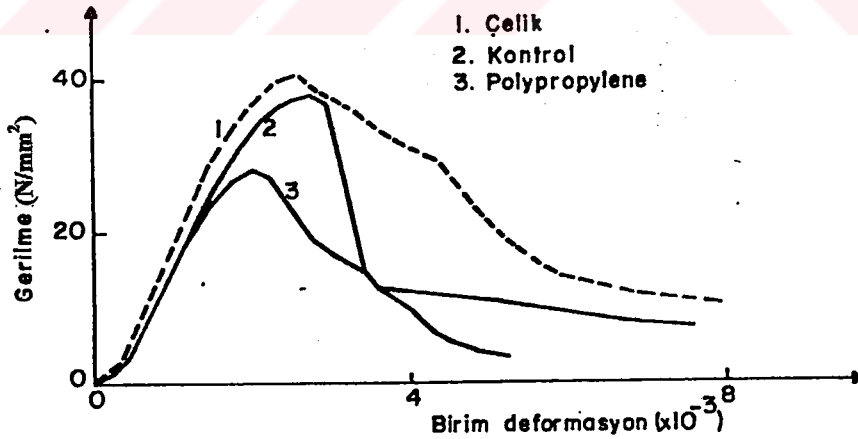
Çelik tel (çelik lif) takviyeli betona bir başka tanımla; “betona çelik tellerin karıştırılması ile elde edilen, 3 boyutta teçhizatlı beton” da denilmektedir [45].

Bilinen normal beton ile birlikte puzolonlar ve katkı maddeleri ile ortak olarak kullanılabilir [43].

İki fazlı bir kompozit olarak kabul edebileceğimiz hafif betonlarda birim ağırlığın düşürülmesi ile beraber mekanik özelliklerde görülen zayıflamaların önlenmesi ve özelliklerinin yükseltilebilmesi için, bu tür malzemelerin liflerle donatılarak, özellikle eğilme ve çarpma mukavemetlerinin artırılması mümkündür [28]

Lifli betonların üretilmesindeki ana amaç malzemenin tokluğunun, darbe yüklerine karşı direncinin, eğilme dayanımının vb. artırılmasına yöneliktir. Günümüzde betonda en yaygın olarak kullanılan lifler çelik, alkali dirençli cam ve polipropilen liflerdir. 1960'lardan bu yana lifli betonlarla ilgili çok sayıda araştırma yapılmış ve yapılmaktadır.

Yapılan çalışmalar sonucunda çimentolu sistemlerin içine konulan liflerin başlıca rolünün betonda oluşan çatlakların matriks içinde ilerlemelerinin yavaşlatılmasıdır. Bu suretle, malzemenin maksimum çatlama deformasyonu herhangi bir lif içermeyen betona oranla önemli bir artış gösterir. Maksimum yükten sonra, lifli betonlarda, artan deformasyon sonucunda yükün azalma hızı normal betonlara göre çok daha yavaştır. Dolayısıyla, liflerin matriksten ayrılması ve uzamaları nedeniyle emilen enerji lifli betonlarda oldukça fazladır. Çelik liflerle donatılı betonda eğilme dayanımı olarak ilk çatlama başlangıcı alınırsa bunun yalın betona kıyasla lif yüzdesine bağlı olarak % 250 kadar arttığı gözlemlenmiştir. Direkt çekme dayanımı tel miktarı ile lineer değişmekte, % 3 tel için artış % 400'e kadar ulaşmaktadır. Yarma dayanımı da tel miktarı ile lineer artmakta, % 3 lif miktarı için yalın betona kıyasla 2.5 katı olmaktadır. Tek eksenli basınç dayanımındaki artış çekme dayanımındaki kadar büyük değildir. Lifli betonların sünekliği ve tokluğunda lifsiz betonlara göre önemli artışlar sağlanmaktadır. Bu davranış özellikleri şekil 2.2.'de gösterilmiştir [46,47].



Şekil 2.2. Normal ve lifli betonların basınç altında gerilme-birim deformasyon eğrileri [48]

Lifli betonlarda, bütün lif çeşitlerinde sağlanması gereken en önemli özellik liflerin beton içerisinde homojen olarak dağılması ve bu dağılımın beton karıştırıldıktan sonra da bozulmamasıdır [49].

2.3.1.1. Liflerin (fiber) tanımı ve çeşitleri

Betonun özelliklerini değiştirerek iyileştirmek amacı ile taze beton içerisine çeşitli yöntemler ile değişik miktarlarda katılan lifler (çelik, plastik, cam gibi) değişik malzemelerden farklı tip ve boyutlarda üretilmişlerdir. Çalışmamıza konu olan çelik lifler değişik yöntemler ile üretilirler. Genellenecek olur ise; soğukta çekilmiş tellerin kesilmesi yöntemi, çelik plakaların kesilmesi yöntemi, sıcak çekme yöntemi, çelik tellerin öğütülmesi yöntemi olmak üzere 4 yöntemle üretilmektedirler.

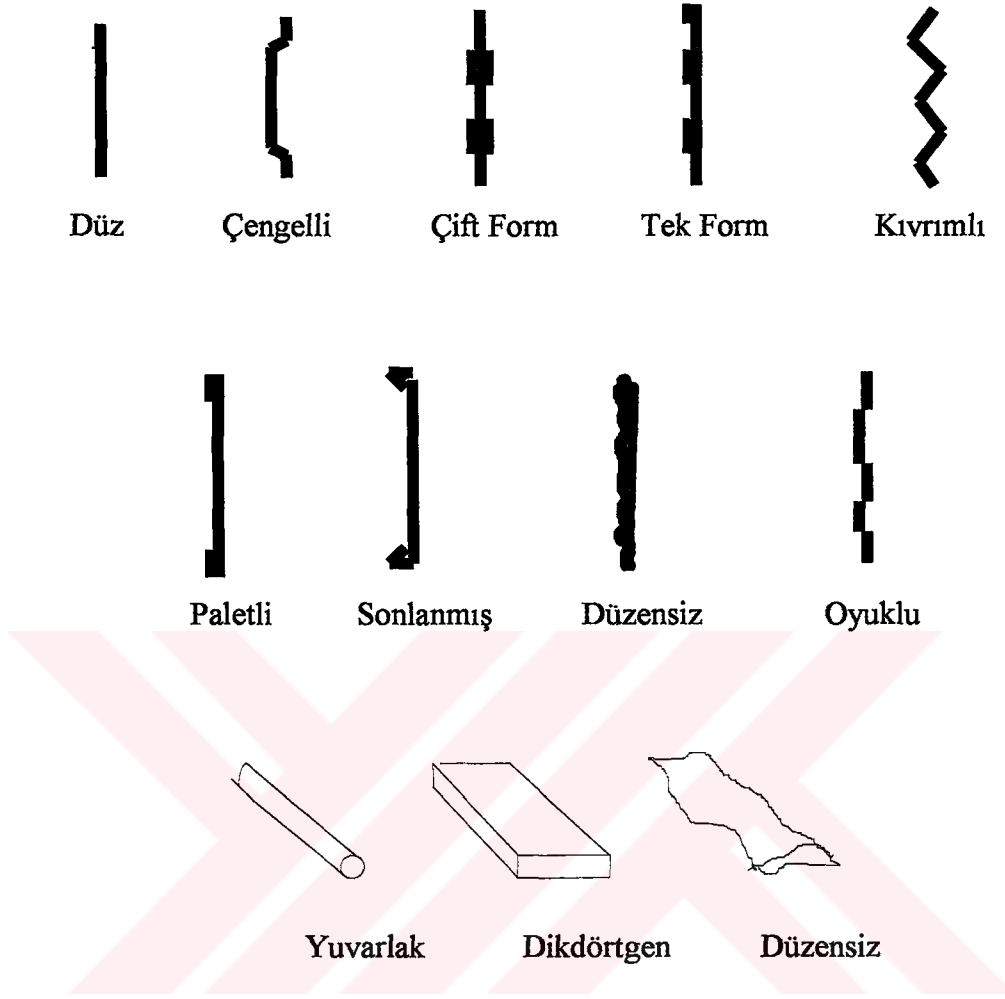
Lifleri tanımlayan en önemli öge lifin sahip olduğu mekanik özellikler ile onun sayısal bir parametre gibi ifade edilmesini sağlayan biçimsel özellikleridir. Lifler; düz, dalgalı veya uçları bükülmüş de olabilirler. (Şekil 2.3.)

Çelik lifler; düşük karbonlu çelik C 1008'den üretilirler. En önemli özellikleri, yüksek ve üniform çekme gerilmesine karşılık düşük uzama özellikleridir. Çekme gerilmeleri ortalama olarak 1200 N/mm^2 'nin üzerinde olup elastik limitleri %0.2'nin altındadır.

Çizelge 2.2. Değişik tip liflere ait fiziksel özellikler

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

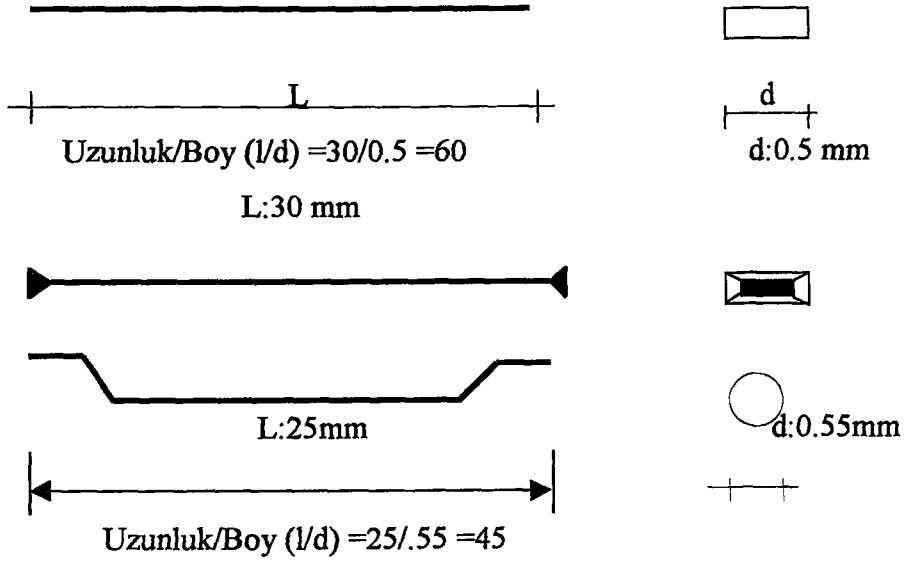
Taşımada ve kullanmada kolaylık olması açısından liflerin 10-30 adedi suda eriyebilen ya da mekanik etkilerle kopabilen bir tutkalla birbirlerine yapıştırılmıştır. Tutkal tipi, kullanıma ve karışıma bağlı olarak iki çeşit olup çözülmesi 2-60 saniye arasında değişir.



Şekil 2.3. Çelik lif tipleri ve kesitleri

Çelik liflerin beton içerisindeki performansı bu malzemelerin uzunluk/çap oranı, beton içerisindeki konsantrasyonu ve liflerin geometrik yapısı ile yakından ilgili olduğundan piyasada değişik lifler bulunmaktadır. (Şekil 2.4)

TS10513/93'de lif özellikleri ile ilgili iki önemli parametre olup bunlardan birincisi her bir lifin çekme dayanımının 3100 kgf/cm^2 'den az olamayacağı zorunluluğudur. Diğeri ise $16 \text{ }^\circ\text{C}$ 'nin üzerindeki ortamda 3.18mm 'lik bir iç çap çerçevesinde yapılan liflerin %90'nı kırılmaksızın 90° eğilme kabiliyeti gösterebilmesi koşuludur. Bu özellikler, betonda kullanılan liflerin daha sünek ve çekme dayanımı yönünden de daha yüksek bir mukavemet ile davranmasına olanak sağlar [50].



Şekil 2.4. Değişik Çelik Liflerin En Kesitleri

2.3.1.2. Matris

Lifli beton literatüründe matris diye tanımlanan yapı lifin etrafını saran ortam malzemesidir. Kısacası, çimento hamuru matriks diye tanımlanır. Lifli beton kompozitlerin de matriksin fonksiyonu lifleri bir arada tutmak, onları sarmak ve liflerle veya liflerden gerilme transferini sağlamaktır [51].

Lifli betonların üretiminde, şimdiye kadar yapılan çalışmaların çoğunda portland ya da katkıli portland çimentosu kullanılmıştır. Matriksin nitelikli olmasını sağlamak üzere lifli beton karışımlarının su/çimento oranları 0.55 den küçük olacak şekilde karışımlar hazırlanarak betonun çimento dozajı minimum 300 kg/m^3 tutulmuştur. Yine bu amaçla, yapılan çalışmalarda matriksi güçlendirmek amacı ile betonda silika tozu da kullanılmaktadır.

Matrikste portland çimentoların kullanılmasına rağmen önemli bir sakıncada vardır. Bu da çimento hamurunun kırılma birim uzamanın çoğu liflerinkinden %0.02-0.06 mertebesinde düşük olması sonucu bir yükleme durumunda, elastik limitin ötesinde çimento hamuru matriksin de çatlaklar oluşmasıdır. Diğer yandan, çimento matriksi bilindiği üzere alkali bir ortamdır. Cam ve çelik lifler bu ortamdan kimyasal olarak

etkilenip korozyona uğrayabilirler. Bunun sonucunda lifin malzeme içerisindeki etkisi oldukça azalabilir. Bu duruma karşı korozyona dayanıklı kaplanmış çelik lifler kullanılabileceği gibi çimento içerisine puzzolanik malzemeler de katılabilir [50].

2.3.1.3. Lifli betonların kullanıldığı yerler

Çelik liflerin beton içerisindeki davranışı ve yapısal özellikleri nedeni ile betonun birçok özeliğini güçlendirmesi sonucu çelik liflerle güçlendirilmiş beton , ağır çalışma koşullarına maruz kalan yapılarda, ince kesitlerin ve yüksek dayanım özelliklerinin (çekme, darbe, kavitasyon, erozyon, yorulma, tokluk, vs.) gerektiği yerlerde ise beton içerisinde donatı ve hasır kullanmamak için ekonomik gerekçelerle kullanılmaktadır[50]. Çelik liflerin patenti 1962'de Amerika'da Romoaldi tarafından alınmıştır. Ramualdi'nin çalışmasından başka 1960'ların başında Batson, Heneger, Lankard, Ramakrishnan, Shrader, Shah, Swamy, Zollo ve diğer birçok araştırmacı çelik lifli betonların birçok uygulamalarda kullanıma uygun olduğunu onaylamışlardır[41]. En yaygın olarak kullanıldığı alanlar;

- Endüstriyel döşemeler
(Çarpma rijitliği ve termal etkilere karşı dayanımı için)
- Su yapıları
- Püskürtme beton uygulamaları
- Şev stabilitesini sağlama ve tünel kaplamaları
- Havaalanı kaplama betonlarında
- Liman kaplama betonlarında
- Çeşitli kaplamalarda
- Depreme dayanıklı yapılarda
- Ateşe dayanıklı betonlarda
- Ön yapımlı beton elemanlarda
- Beton borularda
- Askeri yapılarda ve sığınaklarda[41,50]

2.4. Konuyla İlgili Çalışmalar

Şimşek [54], yaptığı çalışmada Karaman-Maden şehri pomzasının hafif beton üretiminde kullanımını araştırmış, fiziksel özellikler bakımından, pomza taşının hafif beton ve bölme elemanı üretimine uygun olduğunu belirtmiştir.

Ağırdır [55], TS 3234’de belirtilen bimsbeton yapım kurallarına uygun, dört ayrı granülometride bimsbeton üreterek basınç ve çekme mukavemetlerini, birim ağırlıklarını ve ısı iletim katsayılarını tespit etmiştir. Deney sonuçlarına göre dozajın artışına paralel olarak, basınç ve çekme mukavemetleri ile birlikte birim ağırlık ve ısı iletim miktarının da arttığını belirtmiştir.

Tokyay ve Şatana [3], yaptıkları çalışmada Kayseri, Develi yöresinin bimsi ve İskenderun’dan sağlanan skoria hafif agregasını kullanarak yaptıkları, hafif betonlarda, çimento miktarı, uçucu kül ve akışkanlaştırıcı katkı kullanımının birim ağırlık ve dayanıma etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak uygun karışım oranlarıyla normal betonun yarısına yakın ağırlıkta ve yeterli dayanım düzeylerinde, işlenebilir taşıyıcı hafif beton üretilbileceği kanısına varmışlardır.

Aytun, [56] hafif agregalı betonun strüktürlerde kullanımını araştırmıştır. Hafif agregalı strüktürel betonun, hafifliği ve yüksek basınç dayanımı sayesinde, normal betonla düşünülmemeyecek yüksekliklere ve açıklıklara ulaşmayı sağladığı ve kütlelerin büyük ölçüde azalmasıyla deprem bölgeleri için çekici bir malzeme olduğu sonucuna varmıştır. Ancak, kolon-kiriş düğüm noktaları özellikle tehlikeli bölgeler olarak ortaya çıktıklarından buralarda hafif beton kullanılmasını tavsiye etmemektedir.

Çankıran [33], pomza agregası kullanarak yarı taşıyıcı hafif beton üretmiş, bu betonun mekanik özellikleri ve dayanımının kimyasal katkılarla artırılabilirliğini araştırmıştır. Kullanılan katkılardan, hava sürükleyici katkı, düşük dozajlı pomzalı hafif betonlarda basınç dayanımının artma eğiliminde olduğunu tespit etmiştir.

Al-Awowdeh [57], normal betondaki bazı agregalar grublarının pomzataşı agregası ile değiştirilerek ürettiği hafif ve yarı hafif betonların basınç altındaki inelastik davranışı üzerine hafif agregalar boyutlarını ve “hafif agregalar mutlak hacmi/ toplam agregalar mutlak hacmi” oranının etkilerini araştırmıştır. Burada ortalama hafif agregalar boyutunun artışıyla, kritik gerilmeler ile basınç dayanımının bir miktar azaldığını, yine aynı sebeple şekil

agrega boyutunun bir miktar azaldığını belirtmiş, ayrıca ortalama hafif agrega boyutunun 4 mm'den 20 mm'ye yükselmesiyle elastiklik modülünün % 38 azaldığını tespit etmiştir.

Oğuz [17], pomza betonda fiziksel ve mekanik özellikler arasındaki ilişkileri araştırmış, dozajın artmasında, su/çimento oranının düşürülmesinde basınç, dayanımının arttığını, ancak üretilen hafif ve yarı hafif betonların yapıların yük taşıyıcı elemanlarında kullanılamayacağını belirtmiştir.

Taşdemir [9], taşıyıcı hafif agregalı betonların elastik ve elastik olmayan davranışlarının incelemiştir. Yarı hafif betonlarda granülometrilerinin ince bölümü hafif agrega olanlar, hem şekil değiştirme yeteneği hem de basınç mukavemeti bakımından, daha elverişli olduğu sonucuna varmıştır.

Arda [58], yaptığı araştırmada hafif betonlarda agrega hacim konsantrasyonunun betonun kısa süreli elastik ve elastik olmayan davranışına etkisini incelemiş, hafif betonlarda agrega hacim konsantrasyonunun artmasıyla basınç dayanımının, elastisite modülünün ve kırılma işinin azaldığını belirtmiştir.

Kan [19], bimsbloklarda dahil olmak üzere Türkiye briketlerinin buhar difüzyon direnç katsayılarını araştırmıştır. Çalışmasında, briketlerin özellikle dış duvarlarda kullanılan bir yapı malzemesi olması, itibariyle ısı ve nemsel özelliklerinin bilinmesinin ve iyileştirilmesinin gerekliliğinden bahsetmiş ve briketlerin buhar difüzyon direnç katsayılarının malzemenin birim ağırlığı arttıkça arttığını belirtmiştir.

Kars [22], Türkiye briketlerinin ısı davranışlarını araştırmıştır. Sonuç olarak bims (pomza) kullanılarak üretilmiş olan hafif beton blokların ısı iletkenliği hesap değerlerinin standartlarda verilen değerlerden daha küçük olduğunu tespit etmiştir.

Öztütüncü [59], ortalama hafif agrega boyutunun yarı hafif betonların don dayanıklılığı üzerindeki etkilerini araştırmış, don etkilerine karşı en büyük dayanıklılığı hafif agrega boyutu 2/8 mm. olan karışımın gösterdiğini, en kötü mukavemet değerini ise 4/16 mm ve 2/25 mm sınıflı karışımın verdiğini belirtmiştir.

Hüsem [2], yaptığı çalışmada agrega petrografik yapısını da dikkate alarak Doğu Karadeniz Bölgesi doğal hafif agregalarında biriyle yapılan hafif betonun sadece birim kütle yönünde farklı olan agregayla yapılan geleneksel bir betonla, karşılaştırmalı olarak incelemiştir. İncelemeyi beton özellikleri, donatı-beton aderansı ve betonarme kirişlerin davranışları üzerinde gerçekleştirmiştir. Burada bahsolunan agrega ile yapılan hafif betonun yekpare ve prefabrike beton yapılarda kullanılabileceğini ve bu kullanımın bir çok

yönden geleneksel beton kullanımına göre daha uygun olacağını belirtmektedir. Ayrıca, bu sonuçların çalışmaya konu olan betonlar için ve çalışma koşullarında geçerli olduğunu, daha farklı doğal hafif agregalarla ve farklı koşullarda yapılan hafif betonlar için ihtiyatla kullanılmalarını tavsiye etmektedir.

Gököz [47], betonu kırılmaya götürmeyen seviye ve sayıda uygulanan ön görülme tekrarlarının, yalın ve ince tellerle donatılı betonun mekanik özelliklerine etkisini araştırmıştır. Çalışmasında, betona katılan ince tel parçalarının etkisinin çimento hamurundaki tel miktarına bağlı olarak değişmekte ve miktar arttıkça elastik bölge özellikleri üzerindeki zararlı tesirin de büyümekte olduğunu belirtmektedir. Ayrıca tellerin inelastik bölgede elastik bölgedekinin tersine faydalı ve bağlayıcı etki yaparak çatlak gelişimini kontrol altına aldığını, böylece basınç dayanımının arttığını tespit etmiştir.

Ünal [49], betonun erken yaşlardaki mukavemet gelişimini hızlandırmada yararlanılan ısı işlemlerin lifli betonlara uygulanması halinde, lifli betonun erken ve ileriki yaşlardaki elastik ve elastik olmayan özelliklerine etkisini araştırmıştır.

Şimşek [60], beton içerisine lif ilave ederek, beton özelliklerini iyileştirmeyi amaçlamıştır. Sonuç olarak, elastik mukavemette, çatlayama karşı dayanımda, enerji tutma kapasitesinde ve darbe dayanımında, yorulma, kesme dayanımlarında bir artış olduğunu açıklamıştır.

Rossi [61], yaptığı çalışmada lifli betonların mekanik özelliklerini araştırmış ve karışım hesaplarında bir yöntem önermiştir. (Bu öneri kullanılacak lif tipinin, oranının ve matrisin formülünü kapsamaktadır) Çalışmada, endüstriyel uygulamada lifli betona güveninin iyileştirilmesi ve malzeme, yapı ölçeğinde liflerin mekanik davranışlara etkisinin açıkça ayırt edilerek araştırılması gerekliliğini vurgulamıştır.

Burada;

-Hacimce minimum % 1 oranında lif ihtiyacının olduğu

-Matrisin karışımı, tamamen değiştirilip çimento hamurunun miktarının ve su/çimento (W/C) oranının artırılması gerektiği belirtilmektedir.

Falkner, Huang ve Teutsch [62], yaptıkları çalışmada, lifli ve liffsiz betonların davranışlarındaki asıl farkın çelik lifli betonların, çatlaklar meydana geldikten sonra bile yük taşıma özelliğinin devam etmesi olarak belirtmektedirler. Bu davranış hiperstatik yapılarda önemlidir. Çünkü lifler çatlama olayında yüklerin yeniden dağıtılmasını sağlamaktadır.

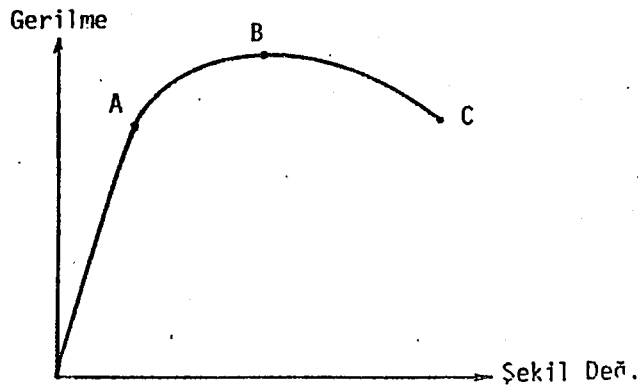
Barr ve Evans [63], yaptıkları çalışmalar sonucu polipropilen liflerin ilâvesinin, kırılma dayanımında ve kesme dayanımında pek fazla bir artış sağlamadığını, ancak, dayanımlardaki büyümelerin, lif konsantrasyonundaki artışlarla birlikte artmakta olduğunu belirtmişlerdir. Bununla beraber, çelik lif ilavesi ile eğilme dayanımında, yüksek oranda artış sağlanırken, ilk çatlak dayanımı ve ani çatlama performansında da artış kaydetmişlerdir.

Craig [52] ise, betona lif ilave etmekle, eğer liflerin aderansı uygunsa, ani gerilmelerin akim bırakılabileceğini, elemanların kesme kapasitelerini, moment kapasitesini, sünekliliği, donatının aderansını arttırdığını, çatlak kontrolünü sağladığını, patlama ve kabarıp dökülmeleri önlediğini ve hafif betonların çarpma dayanımlarını arttırdığı sonucuna varmıştır.

2.4.1. Lif katkılı normal betonlar üzerine yapılan çalışmalar

Betona katılan ince tel parçaları betonun çatlama ve kırılma davranışını etkileyecektir. Bu etkiyi iki ayrı görüş açısından inceleyenler vardır. Bunlardan birincisi, tellerin etkisini kompozit malzeme olarak ele alanlardır. İnce tellerle donatılı betonlar çekme, eğilme veya basınç etkilerine maruz kalacak olursa elde edilecek gerilme-şekil değiştirme diyagramı şekil 2.5' de görülmektedir.

Bu diyagramın OA ile gösterilen kısmında gerilmeler şekil değiştirmelerle lineer olarak değişmektedir.



Şekil 2.5. İnce tellerle donatılı betonda gerilme-şekil değiştirme diyagramı

Bugüne kadar lifli normal betonlar üzerinde çok araştırmalar yapılmış ve lifin, beton üzerinde çok olumlu sonuçlar verdiği deneylerle tespit edilmiştir. Özellikle lifin, beton eğilme mukavemetinde muazzam artış sağladığı deneylerle tespit edilmiştir. Ayrıca çekme mukavemetinde de dikkate değer bir artış sağlanabilmektedir. Bunlara nazaran kullanılan lifin miktarına bağlı olmakla beraber lif betonun basınç mukavemetinde fazla etkili olmadığı gözlenmiştir. Craig [52] yaptığı araştırmada, betona lif ilave etmekle:

- Eğilme momenti kapasitesinin,
- Sünekliğin,
- Malzemenin çekme gerilme dayanımının artabileceği,
- Çatlakların kontrol altına alınabileceği,
- Rijitliğin artabileceğini,
- Kirişin yapısal bütünlüğünü koruyarak normal betonarme betonu ile yapılmış

kirişteki hesaplanan kırılma yüklerinin aşılabileceğini belirtmiştir.

Yapılan başka bir çalışmada [46], araştırmacılar basınç ve yarmada çekme dayanımı deneyleri sonucunda polipropilen liflerin basınç dayanımlarını 7 ve 28 günde, lifsiz yüksek dayanımlı betona göre %0,4-0,5 civarında azalttığını buna karşılık çekme dayanımlarını, sırasıyla, %12 ve %14 arttırdığını belirlemişlerdir.

Öte yandan, çelik liflerin, polipropilen lifler gibi basınç dayanımını, %1 civarında artış sağlayarak, önemli ölçüde etkilemediğini, çekme dayanımlarında ise %35'lik bir artışa neden olduğunu belirtmişlerdir [46].

Çizelge 2.3. Basınç ve yarmada çekme dayanımı sonuçları [46].

Numune Türü	Basınç Dayanımı (N/mm ²)		Çekme Dayanımı (N/mm ²)	
	7Gün	28Gün	7Gün	28Gün
Kontrol Numuneleri	46,3	63,9	3,2	4,1
Polipropilen Lifli Numuneler	46,1	63,6	3,6	4,7
Çelik Lifli Numuneler	46,8	64,7	4,3	5,6

Betonda ilk çatlaklar maksimum gerilmeye ulaşmadan çok önce meydana gelmektedir. Bu durum Şekil 2.6 ve 2.7'de gerilme-birim deformasyon eğrilerinin yükselen kısmındaki doğrusallıktan sapma noktasında gözlenmektedir. 7 günlük numuneler de ilk çatlağın oluşması maksimum gerilmenin %50 'sine karşı gelen gerilmeler civarında iken 28 günlük numuneler de bu değer \cong %75'e yükselmiştir.

İlk çatlağın oluşumu sırasındaki deformasyonlar kontrol ve çelik lifli numunelerde hemen hemen aynı olmakla birlikte polipropilen lifli numunelerde %10-20 civarında daha düşük değerler verdiği belirtilmiştir. İlk çatlak oluşumundan sonra artan gerilmeler, maksimum gerilmeye kadar, gelişen çatlakların birleşmesine, dolayısıyla numunenin rijitliğinin azalmasına neden olmaktadır [29]. Ancak çelik lifli betonlarda, yük eksenine dik olan lifler yanal deformasyonları, yüksek çekme dayanımları ve beton matrisle aralarındaki sürtünme ile oluşan aderans nedeniyle, azaltıklarından tokluk artmaktadır. Ancak aynı durum polipropilen lif içeren betonlarda söz konusu değildir. Kontrol betonları ve polipropilen lifli betonlar hemen hemen aynı davranışları gösterirken, çelik lifli betonlarda yanal deformasyonlar daha düşüktür [46].

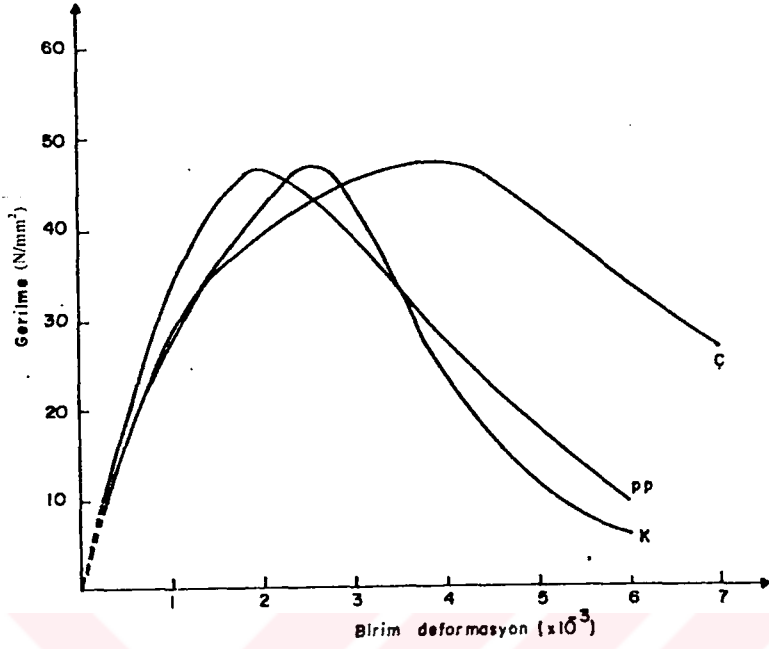
Kontrol numuneleri ve polipropilen lifli numunelerin birbirine çok yakın değerler verdiği buna karşılık çelik lifli numunelerin tokluğunun daha yüksek olduğu Şekil 2.6 ve 2.7.'de görülmektedir. Bu eğrilerin altındaki alanlar hesaplanarak, 7 günde tokluğu polipropilen liflerin \cong % 20 çelik liflerin ise \cong %110 arttırdığı, bu değerlerin 28 günlük betonlarda ise sırasıyla, \cong % 30 ve \cong % 110 olduğu belirlenmiştir. Ayrıca yine aynı şekillerde eğrilerin alçalan kısımlarının eğimlerinin çelik lifli betonlarda daha düşük olması çelik liflerin sünekliliği arttırdığını ortaya koymaktadır.

Bu açıdan ele alındığında polipropilen lifler yüksek dayanımlı betonun tokluğuna önemli bir etki yapmamaktadır. Oysa çelik lifler 7 günde \cong % 90, 28 günde ise \cong % 80 artış sağlamaktadır.

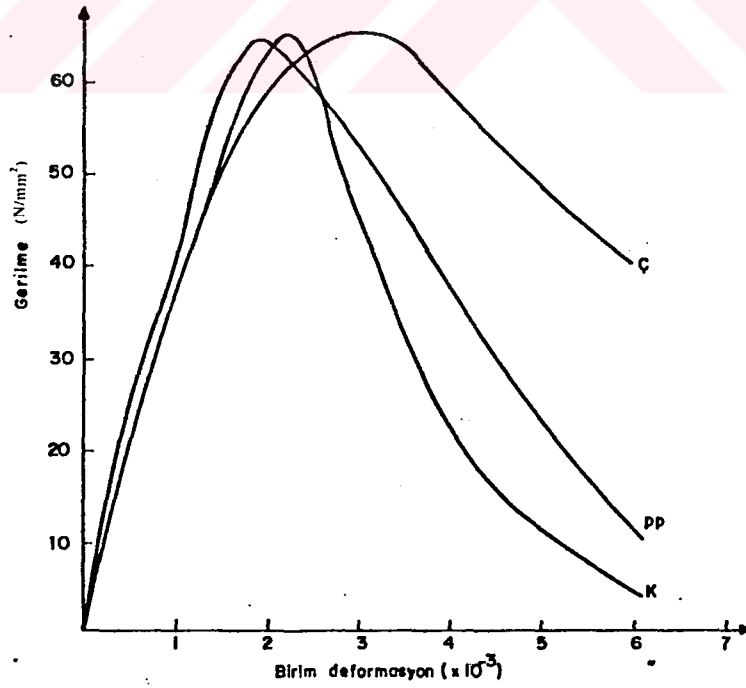
Tokyay ve arkadaşları [46], yaptıkları çalışmalardan şu sonuçlara varmışlardır:

1- Gerek polipropilen gerekse çelik lifler yüksek dayanımlı betonların basınç dayanımlarını önemli ölçüde etkilememektedir.

2- Tokluk elde edilen gerilme-birim deformasyon eğrilerinin altında kalan toplam alan olarak hesap edildiğinde çelik liflerin bu özeliği iki kattan fazla polipropilen liflerin ise %25 mertebesinde arttırdığı belirlenmiştir.



Şekil 2.6. 7 günlük numunelerin gerilme-birim deformasyon eğrileri



Şekil 2.7. 28 günlük numunelerin gerilme-birim deformasyon eğrileri

3- Öte yandan, maksimum gerilmeye karşı gelen tokluk değerleri açısından ele alındığında polipropilen liflerin bu özelliğe herhangi bir etkileri yoktur. Buna karşılık çelik lifler % 80 civarında bir artışa neden olmaktadır.

2.4.2. Lif katkılı hafif betonlar üzerine yapılan çalışmalar

Yapılan bu çalışmada Isparta yöresi pomza agregası kullanılarak yapılan hafif beton blokların, çelik lif takviye edilmek suretiyle beton blok özelliklerinin iyileştirilmesine çalışılmıştır. Başka bir çalışmada[53] ise, Nevşehir yöresi pomza taşı ile üretilmiş hafif ve yarı hafif betonlarda çelik lif kullanımının beton özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Deneysel araştırma için üretilen 11 karışımla standart silindirik numuneler ve prizmalar üretilmiş, 74 gün sonra bu numuneler üzerinde basınç, yarma ve eğilme deneyleri yapılmıştır.

Yapılan deneylere göre; yarı hafif ve hafif betonlarda çelik lif kullanımının bu betonların işlenebilirliğini etkilediği, lif kullanım oranının artırılışının, çökme kaybına ve VeBe işlenebilirlik değerinin yükselmesine neden olduğu, hacimce % 1.5 oranında çelik lif kullanımının bu betonlarda basınç dayanımını sırası ile %16 ve %23 oranında, yine sırasıyla, yarma mukavemetini %175-170 oranında, eğilme dayanımını %300-265 oranında arttırdığı, ultrases hızını değiştirmediği ve birim ağırlığını, lifin hacimsel olarak kullanılış mertebesine göre, arttırdığı belirtilmiştir. Bu betonlarda, çelik lif kullanılarak normal betonların mukavemetine yaklaşıldığı da açıklanmıştır.

Craig [52], lifli hafif betonun mekanik özellikleri ve asıl yapı elemanlarının, lif ilave edilmesi halindeki davranışlarını incelemiş, liflerin kullanılmasıyla, hafif betonların düşük olan eğilme ve çekme gerilmesinin artırılabilceğini tespit etmiştir. Burada sonuç olarak, basınç ve eğilme dayanımında lif tipi ve miktarına bağlı olarak, belirli bir artış sağlanabileceğini belirtmektedir.

Liflerin ilave edilmesiyle mekanik özelliklerden;

-Basınç mukavemetinde önemsiz bir artış (% 10-20)

-Çekme gerilmesinde orta dereceli bir artış,

-Eğilme mukavemetinde çok büyük bir artış, (% 100'ün üzerinde)

-İlk çatlağa karşı dayanımda ve süneklikte artış sağlandığı belirtilmiştir.

Ayrıca, yapılan kiriş deneylerinde, eğilme, kesme, burulma dayanımları ve kolon-döşeme birleşimlerindeki mekanik davranışları ile ilgili,

-Yapısal bütünlükte ve süneklikte artış,

-Kesme mukavemetinde % 160'ın üzerinde bir artış,

-Çatlak kalınlıklarında azalma sağlandığı ve çatlakların kontrol altına alınabildiği sonucuna varılmıştır.

2.5. Araştırmanın Konusu

Günümüzde yapı teknolojisinde en çok kullanılan malzeme normal betondur. Betonun basınç dayanımının yüksek, çekme dayanımının düşük olması nedeniyle her zaman yeni bir malzeme ile kompozit olarak çalıştırılmak zorunda kalmıştır. Hafif agregalarla üretilen betonlarda çelik lif kullanımı ile ilgili çalışmalar henüz yenidir. Pomza ile üretilen duvar blokları ve asmolon bloklar gibi taşıyıcı olmayan elemanların ve betonların taşıma gücü ile diğer davranışlarını geliştirebilmek amacıyla çelik lif kullanımının ne derece etkili olduğunu araştırmakta fayda vardır. Bu nedenle Isparta ve yöresinde rezervinin bol miktarda bulunduğu bilinen pomza agregasının hafif agregası olarak kullanılması ile elde edilen blok elemanların yanı sıra bu elemanların üretimleri esnasında karışımlarına çelik lifler katılarak beton özelliklerinin iyileştirilmesi ile yarı taşıyıcı elemanların üretilmesi düşünülmektedir. Bu nedenle bölgemizde bol miktarda bulunan pomza agregasının değerlendirilmesi ile ekonomik yarar sağlanması ve daha dayanıklı elemanların üretilmesi amaçlanmış olacaktır. Bunun için karışıma katılacak lif tipi ve miktarının hafif beton özelliklerini ne şekilde etkilediğinin araştırılması amaçlanmıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Kullanılan Malzemeler

3.1.1. Agregalar

3.1.1.1. Kum

Beton numunelerin üretiminde, Isparta, Atabey ilçesinin kum ocaklarından sağlanan kum kullanılmıştır. 4 nolu elekten elenen kum üzerinde yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar, Çizelge 3.1.'de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Atabey kumunun özellikleri

	Elekten Geçen (%)					Özgül Ağırlık (kg/m ³)	Su emme (%)	Gevşek Birim Ağırlık(kg/m ³) (TS 3529'a göre)
	Elek boyu (mm)	4,0	2,0	1,0	0,5			
Atabey kumu	96	85	73	54	30	2700	8,49	1420

Kum üzerinde, TS 3526'ya göre su emme ve özgül ağırlık değeri tespit edilmiş ve çizelge 3.1. de gösterilmiştir.

3.1.1.2. Çakıl

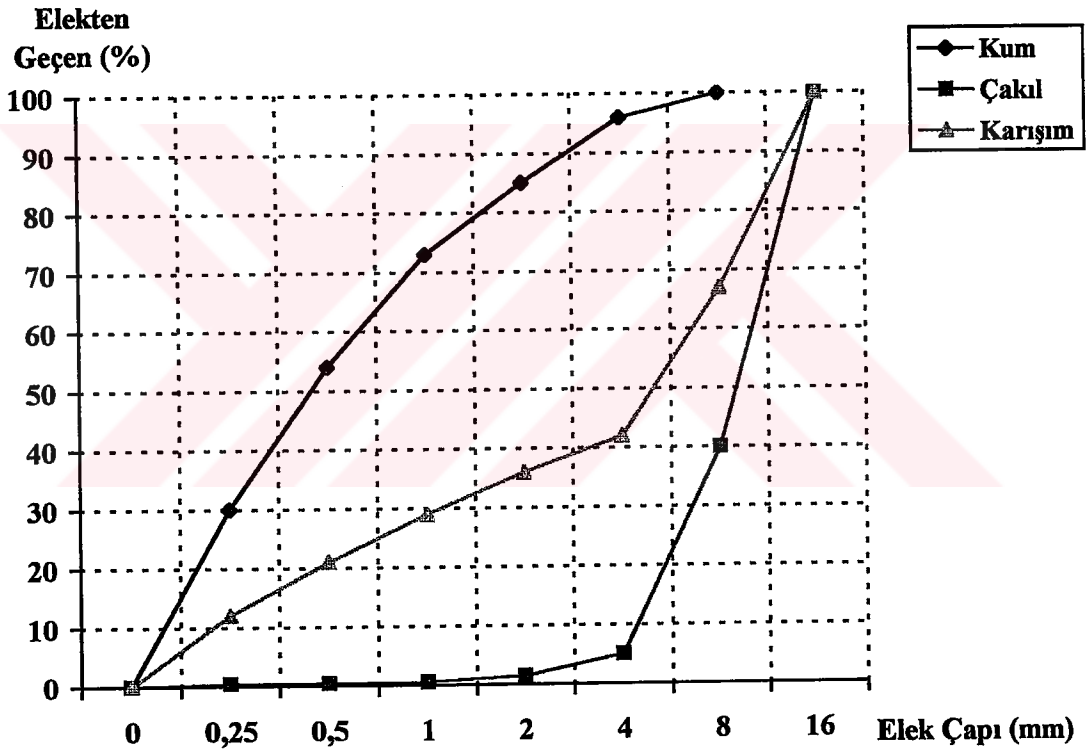
Beton numunelerin üretiminde Atabey'den getirilen çakıl kullanılmıştır. Çakıl, 3mm elek üzerinde yıkanmış olup, kum ile beraber kullanılmak üzere karışımın iri malzeme miktarını oluşturmaktadır. Çakılın ince malzeme oranının daha çok azaltmak üzere, malzeme 4 nolu elekten kuru olarak tekrar elenmiştir. Daha sonra 4,76/9,52-9,52/19,1 mm olacak şekilde iki tane sınıfa ayrılmış ve karışım içerisinde bu şekilde kullanılmıştır.

Beton bileşimine giren agregaların elek analizleri TS 706'ya göre yapılarak gronülemetri değerleri, özgül ağırlıkları ve su emme değeri çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Agregat özellikleri

Agrega Cinsi	Elekten Geçen (%)									Su Emme (%)	Özgül Ağırlık (Kg/m ³)	Gevşek Birim Ağırlık (kg/m ³)
	No: 100	No: 50	No: 30	No: 16	No: 8	No: 4	9,52 mm	12,7 mm	19,1 mm			
Çakıl	0,4	0,44	0,5	1	2	7	55	80	96	2	2740	1497

Şekil 3.1’de karışıma giren agregaların granülometri eğrileri ayrı ayrı gösterilmiştir.

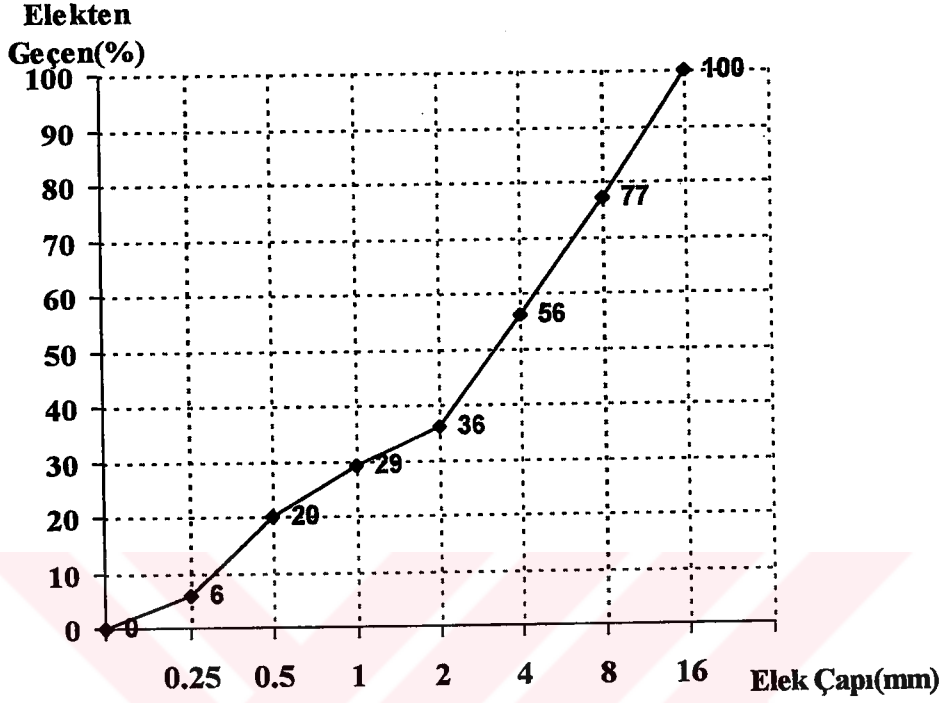


Şekil 3.1. Beton karışımında kullanılan agregaların granülometrik eğrisi

3.1.1.3. Pomza agregası

Isparta, Gölcük mevkisinden temin edilen pomza taşı agregaları 4,76/9,52-9,52/19,1 mm’lik tane sınıflarına ayrılmıştır. Beton üretiminde hava kurusu durumundaki pomzataşı agregası kullanılmıştır. Pomza agregasının hafif ve gözenekli olduğu, su emme

açısından göz önünde bulundurulmuş, dolayısıyla su/çimento oranı da buna göre tespit edilmiştir. Pomza agregasının granülometrik eğrisi şekil 3.2 'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Pomza agregasının granülometrik eğrisi

3.1.1.3.1. Birim ağırlık

Her tane grubu için birim hacim ağırlık değerleri çizelge 3.3.'de verilmiştir. Sonuçlar TS 3529'a göre bulunmuştur.

Çizelge 3.3. Pomza agregası birim ağırlık değerleri

Hafif Agregatane Sınıfı (mm)	Gevşek Birim Ağırlık (kg/m ³)
4.76 / 9.52	834
9.52 / 19.1	706

3.1.1.3.2. Su emme

Hava kurusu durumundaki pomza agregasının, her tane sınıfı için 30 dakika süresindeki su emme oranı tespit edilmiştir, çizelge 3.4'de değerler verilmiştir.

Çizelge 3.4.Pomza agregası su emme değerleri

Hafif Agregatane Sınıfı(mm)	Su Emme (%) (30 dak.)
4.76 / 9.52	3.8
9.52 / 19.1	4.8

3.1.1.3.3. Kimyasal bileşim

Gölcük bölgesi pomza agregasının kimyasal bileşimi çizelge 3.5.'te sunulmuştur [18].

Çizelge 3.5. Gölcük bölgesi pomza kimyasal bileşimi

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SO ₃	Ateş Kaybı
59	16,6	4,6	1,8	5,2	4,8	5,4	0,6	0,4	0,1	0,4	1,6

3.1.2. Çelik lifler

Beton bileşimine katılan lif tipleri 2.3.1.1'de belirtilmiştir. Bu çalışmada iki ucu bükülü birleştirilmiş çelik lifler kullanılmıştır. Uzunlukları 30 mm (ZP305 kodlu) ve 40 mm (ZX40/.60 kodlu), çapları sırasıyla 0,50 ve 0,60 mm olan iki tip lif kullanılarak numune üretimi yapılmıştır. Bu liflerin en belirgin özelliği çekme sırasında kopmadan direnç göstermeleridir. Ayrıca, beton içerisinde homojen olarak dağılmayı kolaylaştırmak amacıyla özel bir tutkalla (su içerisinde kolayca çözünebilen) birleştirilmiştir.

Çelik liflerin mekanik ve fiziksel özellikleri çizelge 3.6.'da belirtilmiştir.

Çizelge 3.6. Çelik lifin özellikleri [64]

Lif tipi	Boy (mm)	Çap (mm)	Narinlik Oranı	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Elastisite Modülü (N/mm ²)	Özgül Ağırlık (kg/m ³)
ZP 305	30	0.5	60	1250	200000	7800
ZX40/.60	40	0,6	67	1250	200000	7800

Deneyde kullanılan çelik lifler, dramix markalı olup Beksa-Bekaert firması tarafından sağlanmıştır.

3.1.3. Çimento özellikleri

Deneylerde Isparta Göltaş Çimento fabrikasının, Şubat 1998'de ürettiği TS 19'a uygun PÇ425, Portland çimentosu kullanılmıştır.

TS 19'a göre fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri aşağıda belirtildiği gibidir.

Kimyasal Özellikler :

Kükürt Trioksit (SO ₃)	: % 2,53
Magnezyum Oksit (MgO)	: % 1,91
Kızdırma Kaybı	: % 1,71
Çözünmeyen Kalıntı	: % 0,27
Klorür (Cl)	: % 0,007

Fiziksel özellikler :

Blaine özgül yüzey (m ² /kg)	: 294
4700 delikli elekte kalan (90 µm)	: 12,5
950 delikli elekte kalan (200 µm)	: 0,1
Özgül ağırlık (kg/dm ³)	: 3,1
Toplam Hacim Genleşmesi (mm)	: 1
Priz başlangıcı	: 2 saat 35 dak.
Priz sonu	: 3 saat 55 dak.

Mekanik özellikler :

	2 gün	7 gün	28 gün
Basınç Mukavemetleri (N/mm ²)	: 25, 2	37,7	49,8
Eğilme-çekme mukavemetleri (N/mm ²)	: 4,0	5,9	7,5

3.2. Beton Karışımları**3.2.1. Kabul edilen esaslar**

Lifli ve lifsiz betonların üretiminde maksimum agrega tane boyutlu 19,1 mm seçilmiştir. Karışım agregasının granülometri eğrisi, TS 706'ya göre referans eğrileri arasında kalacak şekilde saptanmıştır. Kullanılan agregalara ait karışım granülometri eğrileri şekil 3.1. ve 3.2'de gösterilmiştir.

Bütün beton bileşimlerinde çimento dozajı 300 kg/m³ olarak sabit alınmış ve ayrıca granülometri de sabit tutulmuştur. Numunelerin vibrasyon-baskı ünitesinde üretileceği dikkate alınacak Albayrak (1986)'ın [65] belirttiği gibi 0,0-2.0 mm çökme değerine göre su/çimento oranı 0,49 olarak sabit tutulmuştur.

Karışım katılacak maksimum lif miktarı işlenebilme özelliği dikkate alınarak % 0,5-%1,5 arasında seçilmiştir. Betona hacimce % 0,5-%1-%1,5 oranlarında çelik lif ilave edilmiştir.

Üretilen seriler:

- B1 : Normal beton
- B2 : Yarı hafif beton
- B3 : Hafif beton
- B4 : Hacimce % 0,5, I. tip lifli normal beton
- B5 : Hacimce % 0,5, II. tip lifli normal beton
- B6 : Hacimce % 0,5, I. tip lifli yarı hafif beton
- B7 : Hacimce % 0,5, II. tip lifli yarı hafif beton
- B8 : Hacimce % 0,5, I. tip lifli hafif beton
- B9 : Hacimce % 0,5, II. tip lifli hafif beton
- B10 : Hacimce % 1,0, I. tip lifli normal beton
- B11 : Hacimce % 1,0, II. tip lifli normal beton

- B12 : Hacimce % 1,0, I. tip lifli yarı hafif beton
 B13 : Hacimce % 1,0, II. tip lifli yarı hafif beton
 B14 : Hacimce % 1,0, I. tip lifli hafif beton
 B15 : Hacimce % 1,0, II. tip lifli hafif beton
 B16 : Hacimce % 1,5, I. tip lifli normal beton
 B17 : Hacimce % 1,5, II. tip lifli normal beton
 B18 : Hacimce % 1,5, I. tip lifli yarı hafif beton
 B19 : Hacimce % 1,5, II. tip lifli yarı hafif beton
 B20 : Hacimce % 1,5, I. tip lifli hafif beton
 B 21 : Hacimce % 1,5, II. tip lifli hafif beton

Burada I. tip liften, ZP 305, II. tip liften ise ZX 40/60 kastedilmektedir.

3.2.2. Bileşim hesapları

Bütün karışımlarda % 40 oranında kum kullanılmıştır. Pomza agregası, tüm agrega hacminin, yarı hafif betonlarda % 35'ini, hafif betonlarda ise % 45'ini oluşturmaktadır.

Beton bileşim hesaplarında kullanılan agrega oranları çizelge 3.7. 'de verilmiştir. *

Çizelge 3.7. Betona konacak agrega karışımı

Araştırma Betonları	Atabey Kumu (%)	Çakıl 1 (4,76-9,52 mm arası) (%)	Çakıl 2 (9,52-19,1 mm arası) (%)	Pomza (4,76-9,52 mm arası) (%)	Pomza (9,52 -19,1mm arası) (%)
Normal Beton	40	35	25	-	-
Yarı Hafif Beton	40	25	-	15	20
Hafif Betonlar	40	15	-	25	20

Beton bileşim hesaplarında mutlak hacim yöntemi kullanılmıştır. Beton içindeki malzeme miktarlarının hesaplanmasından önce çimento dozajı çimentonun özgül ağırlığına bölünerek çimento hacmi hesaplanmış ve su/çimento oranında su miktarı hesaplanmıştır.

Sonra TS 802'ye göre tavsiye olunan hava boşluğu hacmi tahmin edilmiştir. Lifli betonlarda, lif hacmi de hesaba katıldığında, 1m^3 olarak kabul edilen tüm hacimden çimento, su, hava ve (lif kullanılıyorsa) lif hacimleri çıkartılarak toplam agrega hacmi hesaplanmıştır. Buradan agrega tane sınıflarının özgül ağırlıklarıyla kullanılan agrega cinsinin kullanım oranları çarpılarak her sınıf ve her cins agreganın miktarları ağırlık cinsinden bulunmuştur.

Hafif ve yarı hafif betonların üretiminde, 9,52-19,1 mm tane sınıflarındaki pomza agregası kullanılmıştır.

Yarı hafif betonlarda, 4,76/9,52 mm tane sınıfında % 15, 9,52/19,1 mm tane sınıfından % 20 oranında pomza hafif agregası kullanılmışken, hafif betonlarda % 25 oranında 4,76/9,52 mm, 9,52-19,1 mm tane sınıfından ise % 20 oranında pomza hafif agregası kullanılmıştır. Karışımdaki pomza miktarı, pomzanın birim hacim ağırlığı değeri kullanılarak hesaplanmıştır.

Deneme betonu üretilerek, karışım hesaplarının sonuçları test edilmiştir.

3.2.3. Betonun üretimi, karıştırma, yerleştirme ve kür

Betonlar düşey eksenli zorlamalı karıştırıcılı betoniyerde karıştırılarak üretilmiştir. Agregası ve çimento kuru olarak 60 sn. karıştırıldıktan sonra gerekli miktarda su ilave edilerek, karıştırma işlemine 90 sn. daha devam edilmiştir. Lifli betonların üretiminde betona katılan lifler, kuru agrega-çimento karışımı üzerine elle atılarak homojen olarak dağılması sağlanmıştır.

Beton üretimi 15 dm^3 'lük harmanlar halinde yapılmıştır. Her harmandan laboratuvarında geliştirilen vibrasyon-baskı ünitesinde % 20 sıkıştırma miktarı sağlanacak şekilde dökümler yapılmıştır. Uygulama sonucunda $10\times 10\times 10\text{ cm}$ lik küp numuneler elde edilmiştir.

Numuneler vibrasyon-baskı ünitesinde üretildikten sonra $22\pm 3^\circ\text{C}$ 'de, $\%60\pm 10$ bağıl nemli ortamda kür edildikten sonra 7. ve 28. günlerde deneysel çalışmalar yapılmıştır.

3.2.4. Numune boyutları ve sayıları

Beton numunelerin hepsi 10x10x10 cm boyutlarında kübik formdadır. Her seri için 15-18 arasında numune üretilmiştir. Bu numuneler üzerinde 7. günlük basınç dayanımı deneyi uygulamak üzere her seri için 3'er adet olmak üzere toplam 63 adet, 28. gün basınç dayanımı deneyinde kullanılmak üzere yine her seriden 3'er adet olmak üzere toplam 63 adet ayrıca su emme ve ultrases hızı deneyleri için 126 adet olmak üzere toplam 252 adet numune üretilmiştir.

3.3. Betonlar Üzerinde Yapılan Deneyler

3.3.1. Taze beton deneyleri

Üretilen beton karışımları üzerinde işlenebilme özeliğini tayin edebilmek için slamp (çökme) deneyi yapılmıştır. Beton kıvamı çoğunlukla bu usule göre tespit edilmektedir. Bu deneyde, karışımı en iyi şekilde temsil edebilecek biçimdeki numunenin, üç tabaka halinde kesik koni şeklindeki kalıba yerleştirmek esastır. Her tabaka yaklaşık kalıbın üçte birini dolduracak şekilde yerleştirilerek 16 mm çaplı şişleme çubuğuyla 25 defa şişlenmiştir. Vuruşlar kalıbın kesitine üniform olarak dağıtılmış ve bir önceki tabakaya 2,5 cm nüfuz edecek kadar kuvvetle vurulmasına dikkat edilmiştir. Son tabakada şişlendikten sonra üzeri mala ile düzeltilmiş ve kalıp düşey olarak dikkatlice çekilmiştir. Kalıp, beton yığınının yanına konarak, hizalama yapılmış ve çökme miktarı ölçülmüştür.

3.3.2. Sertleşmiş beton deneyleri

Sertleşmiş beton numuneleri üzerine 7. ve 28 günlerde aynı deney programları uygulanmıştır. Numuneler önce ultrases hızı sonra basınç dayanımı deneylerine tabi tutulmuşlardır. 28. günlük numuneler üzerinde de su emme deneyi yapılmıştır.

Ultrases hızı deneyleri şekil 3.4.'de görülen cihazda yapılmıştır.

Basınç deneyi her seriden 3'er adet olmak üzere 7 gün 63 adet, 28. gün yine 63 adet numune üzerinde yapılmıştır. Deney, 10x10x10 cm boyutlarındaki kübik numunelere

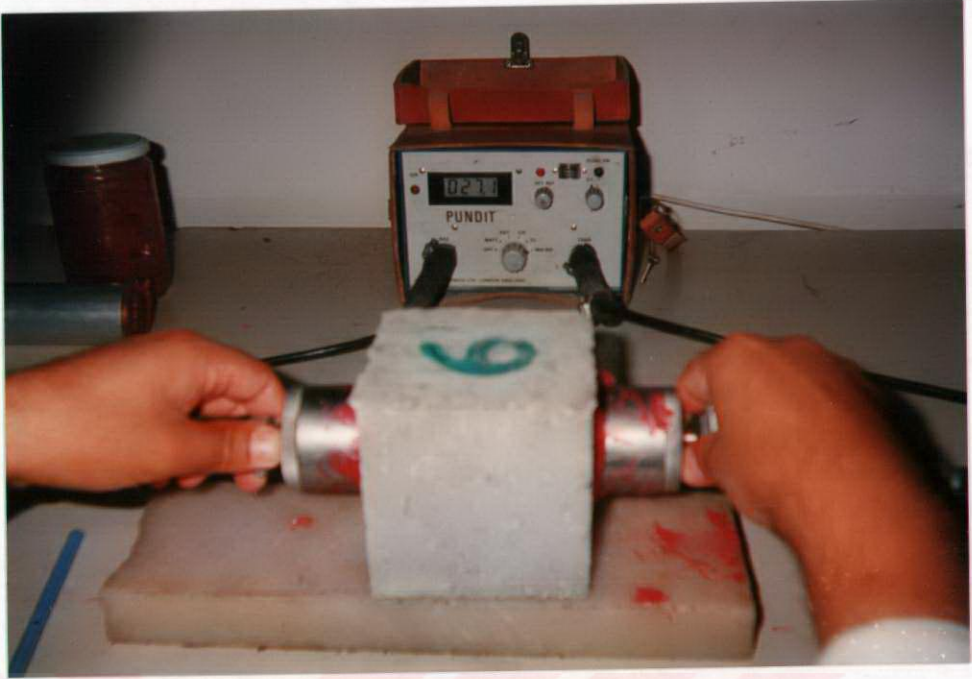
uygulanmıştır. Basınç deneyinin numuneler üzerinde uygulanışı ve pres, şekil 3.5.'de görülmektedir.

Su emme deneyleri yine 10x10x10 cm boyutlarındaki kübik numuneler üzerinde TS 3624'e göre uygulanmıştır. Numuneler deney yüzünden önce 105⁰C sabit sıcaklıktaki etüvde 24 saat bekletilerek sabit ağırlığa ulaşmaları sağlanmıştır. Etüvden alınan numuneler ortam sıcaklığına gelene kadar soğutulmuştur. Numuneler, daha sonra 24 saat su dolu havuzda bekletilmiş, sabit ağırlığa ulaşip ulaşmadığına bakılmış ve 24 saat daha su içerisinde bırakılmışlardır. Sudan çıkarılıp yüzey suyu alınan numuneler hassas terazide tartılarak bulunan değer kaydedilmiştir.

Birim ağırlık deneyi, hava kurusu durumundaki 28 günlük kübik numuneler üzerinde yapılmıştır. Numunelerin boyutları ölçülüp, hassas terazide tartılmış ve sonuçlar karşılaştırılarak birim ağırlık değerleri tespit edilmiştir.



Şekil 3.3. Deney numuneleri



Şekil 3.4. Ultrases hızının cihazda ölçülmesi



Şekil 3.5. Basınç dayanımı deneyi

4. DENEY SONUÇLARI

Üretilen beton numuneler üzerinde yapılan 7 ve 28 günlük ultrases hızı ve basınç dayanımı deneylerinde elde edilen sonuçlar çizelge 4.1, çizelge 4.2 ve ultrases hızı değerleri, çizelge 4.3, çizelge 4.4'te verilmiştir. Çizelgelerdeki değerler ortalama değerlerdir. Ayrıca çizelge 4.5 ve çizelge 4.6. da birim ağırlık değerleri, çizelge 4.7.'de ise su emme oranı tayini deneyinde bulunan sonuçlar gösterilmiştir.

Deney sonuçlarının belirtildiği bütün çizelgelerde Dramix ZP 305, lifleri lif tipi I şeklinde Dramix ZX 40/.60 kodlu çelik lifler de lif tipi II şeklinde anılmıştır.

Basınç dayanımı deneyinde ilk çatlama yüküne kadar, lineer bir artış gözlenirken, ilk çatlamadan sonra matriksin bir süre daha bir arada kaldığı bu sırada dayanımın parabolik bir davranışla düşme eğiliminde olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.1. I. Tip lifli betonların basınç deneyi sonuçları (N/mm²)

Beton Türü	Lif Hacmi (%)	Basınç Dayanımı			
		Lif Tipi I			
		7. Gün		28. Gün	
		(N/mm ²)	(%)	(N/mm ²)	(%)
Normal Beton	0	16,9	(92,9)	18,2	(100)*
	0,5	18,7	(102,7)	22,1	(121,4)
	1	22,3	(122,5)	26,8	(147,3)
	1,5	13,5	(74,2)	15,3	(84,1)
Yarı Hafif Beton	0	7,9	(43,4)	9,4	(51,6)
	0,5	11,7	(64,3)	20,9	(114,8)
	1	11,8	(64,8)	12,4	(68,1)
	1,5	24,3	(133,5)	15,1	(83)
Hafif Beton	0	6,9	(37,9)	11,3	(62,1)
	0,5	13,2	(72,5)	17,2	(94,5)
	1	13,3	(73,1)	13,7	(75,3)
	1,5	12,6	(69,2)	15,1	(83)

* Parantez içindeki değerler basınç dayanımı değerlerinin lifsiz normal beton (Şahit) numunenin 28 günlük basınç dayanımına göre yüzdeleridir.

Çizelge 4.2. II. Tip lifli betonların basınç deneyi sonuçları (N/mm²)

Beton Türü	Basınç Dayanımı				
	Lif Hacmi (%)	Lif Tipi II			
		7. Gün		28. Gün	
		(N/mm ²)	(%)	(N/mm ²)	(%)
Normal Beton	0	16,9	(92,9)	18,2	(100)*
	0,5	15,7	(86,3)	19,8	(108,8)
	1	6,1	(33,5)	12,2	(67)
	1,5	11,9	(65,4)	16,6	(91,2)
Yarı Hafif Beton	0	7,9	(43,4)	9,4	(51,6)
	0,5	8,5	(46,7)	14,4	(79,1)
	1	9,3	(51,1)	9,8	(53,8)
	1,5	10	(55)	14,5	(79,7)
Hafif Beton	0	6,9	(37,9)	11,3	(62,1)
	0,5	7,2	(39,6)	12,4	(68,1)
	1	8,6	(47,3)	12,5	(68,7)
	1,5	14	(76,9)	15,9	(87,4)

*Parantez içindeki değerler, basınç dayanımı değerlerinin liffsiz normal (şahit) beton numunenin 28 günlük basınç dayanımına göre yüzdeleridir.

Çizelge 4.3. I. Tip lifli betonların ultrases deneyi sonuçları (km/sn)

Beton Türü	Ultrases Hızı				
	Lif Hacmi (%)	Lif Tipi I			
		7. Gün		28. Gün	
		(km/sn)	(%)	(km/sn)	(%)
Normal Beton	0	3,72	(90,3)	4,12	(100)*
	0,5	3,96	(96,1)	4,18	(101,4)
	1	3,7	(89,8)	4,08	(99)
	1,5	3,66	(88,3)	3,84	(93,2)
Yarı Hafif Beton	0	3,09	(75)	3,81	(92,5)
	0,5	3,7	(89,8)	3,86	(93,7)
	1	3,45	(83,7)	3,23	(98,4)
	1,5	3,40	(82,5)	3,32	(80,6)
Hafif Beton	0	2,94	(71,4)	3,15	(76,5)
	0,5	3,64	(88,3)	3,41	(82,8)
	1	3,30	(80,1)	3,23	(78,4)
	1,5	3,36	(81,6)	3,27	(79,4)

*Parantez içindeki değerler, basınç dayanımı değerlerinin liffsiz normal (şahit) beton numunenin 28 günlük ultrases hızlarına göre yüzdeleridir.

Çizelge 4.4. II. Tip lifli betonların ultrases deneyi sonuçları (km/sn)

Beton Türü	Ultrases Hızı				
	Lif Hacmi (%)	Lif Tipi II			
		7. Gün		28. Gün	
		(km/sn.)	(%)	(km/sn.)	(%)
Normal Beton	0	3,72	(90,3)	4,12	(100)*
	0,5	3,86	(93,7)	3,50	(85)
	1	3,29	(79,9)	3,13	(76)
	1,5	3,46	(84)	3,63	(88,1)
Yarı Hafif Beton	0	3,09	(75)	3,81	(92,5)
	0,5	3,24	(78,3)	3,19	(77,4)
	1	3,33	(80,8)	3,39	(82,3)
	1,5	3,35	(81,3)	3,31	(80,3)
Hafif Beton	0	2,94	(71,4)	3,15	(76,5)
	0,5	3,42	(83)	3,27	(79,4)
	1	3,07	(74,5)	3,36	(81,6)
	1,5	3,48	(84,5)	3,27	(79,4)

*Parantez içindeki değerler, basınç dayanımı değerlerinin lifsiz normal (şahit) beton numunenin 28 günlük ultrases hızlarına göre yüzdeleridir.

Çizelge 4.5. I. Tip lifli betonların birim ağırlık deneyi sonuçları (kg/m³)

Beton Türü	Birim Ağırlık (Kuru)				
	Lif Hacmi (%)	Lif Tipi I			
		7. Gün		28. Gün	
		(kg/m ³)	(%)	(kg/m ³)	(%)
Normal Beton	0	2140	(100)	2140	(100)*
	0,5	2125	(99,3)	2210	(103,3)
	1	2203	(102,9)	2138	(99,9)
	1,5	2132	(99,6)	2171	(101,4)
Yarı Hafif Beton	0	1776	(83)	1728	(80,7)
	0,5	1999	(93,4)	2054	(96)
	1	1970	(92,1)	1854	(89,6)
	1,5	2057	(96,1)	1918	(89,6)
Hafif Beton	0	1827	(85,4)	1835	(85,7)
	0,5	1874	(87,6)	1860	(86,9)
	1	1910	(89,5)	1742	(81,4)
	1,5	1967	(91,9)	1930	(90,2)

*Parantez içindeki değerler, birim hacim ağırlık değerlerinin lifsiz normal (şahit) beton numunenin 28 günlük birim hacim ağırlıklarına göre yüzdeleridir.

Çizelge 4.6. II. Tip lifli betonların birim ağırlık deneyi sonuçları (kg/m^3)

Beton Türü	Birim Ağırlık (Kuru)				
	Lif Hacmi (%)	Lif Tipi II			
		7. Gün		28. Gün	
		(kg/m^3)	(%)	(kg/m^3)	(%)
Normal Beton	0	2140	(100)	2140	(100)*
	0,5	2125	(99,3)	2210	(103,3)
	1	2203	(102,9)	2138	(99,9)
	1,5	2132	(99,6)	2171	(101,4)
Yarı Hafif Beton	0	1776	(83)	1728	(80,7)
	0,5	1999	(93,4)	2054	(96)
	1	1970	(92,1)	1854	(86,6)
	1,5	2057	(96,1)	1918	(89,6)
Hafif Beton	0	1827	(85,4)	1835	(85,7)
	0,5	1874	(87,6)	1860	(86,9)
	1	1910	(89,3)	1742	(81,4)
	1,5	1967	(91,9)	1930	(90,2)

*Parantez içindeki değerler, birim hacim ağırlık değerlerinin lifsiz normal (şahit) beton numunenin 28 günlük birim hacim ağırlıklarına göre yüzdeleridir.

Çizelge 4.7. Betonların su emme oranı değerleri (%)

Beton Türü	Su Emme oranı (%)				
	Lif Hacmi (%)	Lif Tipi I		Lif Tipi II	
Normal Beton	0	6	(100)	----	----
	0,5	5.5	(91.7)	6.6	(110)
	1	5.7	(95)	10	(166.7)
	1,5	6.2	(103.3)	7.3	(121.7)
Yarı Hafif Beton	0	11.8	(196.7)	----	----
	0,5	6.6	(110)	10.1	(168.3)
	1	10.1	(168.3)	10	(166.7)
	1,5	9.1	(151.7)	9.8	(163.3)
Hafif Beton	0	10.6	(176.7)	----	----
	0,5	9.1	(151.7)	11.8	(196.7)
	1	10.7	(178.3)	12.1	(201.7)
	1,5	8.6	(143.3)	9.4	(156.7)

*Parantez içindeki değerler, su emme oranı değerlerinin lifsiz normal (şahit) beton numunenin 28 günlük su emme oranlarına göre yüzdeleridir.

5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Üretilen beton serileri üzerinde lif miktarının beton özelliklerine etkisi, yapılan deneylere göre bulunan sonuçlar yardımıyla grafikler çizilerek incelenmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmektedir.

5.1. Basınç Dayanımı Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Daha önce yapılan çalışmalarda belirtildiği üzere, betonlarda lif oranının artışı, basınç dayanımlarını bir miktar arttırmaktadır.

Üretilen beton numuneleri üzerinde yapılan 7 günlük basınç deneyi sonuçlarına göre lif ilavesinin basınç dayanımı üzerine olumlu etkisinin olduğu şekil Ek1 ve Ek3'te görülmektedir. Bunun sebebi, lifli betonda yükün ilk çatlağa kadar matris tarafından karşılanırken, ilk çatlaktan sonra çelik liflerin matristen ayrılması ve uzamaları nedeniyle emilen enerjinin oldukça fazla olması olarak açıklanabilir.

Diğer taraftan 28 günlük basınç deneyi sonuçlarına göre şekil Ek2 ve Ek4'te de benzer bir ilişkinin olduğu söylenebilir.

Ancak, şekil Ek 1, Ek 2, Ek 3 ve Ek 4 incelendiğinde, lif oranı arttıkça, basınç dayanımı karakteristiğinin değişik şekillerde etkilendiği görülebilir. Bunun sebebinin ise; lif miktarı arttıkça, karışım içerisinde topaklanmaların meydana gelmesi sonucu, iç yapıda boşluklar meydana gelmekte ve boşluklu bir yapının da dayanımı azalttığı söylenebilir.

Şekil Ek 5 incelendiğinde ise 7. gün basınç dayanımı deneyinde I. tip lifli hafif ve yarı hafif beton için en ideal lif oranının hacimce % 1,5 olduğu bulgusu elde edilmiştir. Şekil Ek 6'da ise aynı betonlar için en ideal lif oranlarının hacimce % 1,5 ve % 0,5 olduğu görülmektedir. Bu bulgu çizelge 4.1. incelendiğine, rakamsal olarak, 28 günlük hacimce % 0.5 lifli yarı hafif betonun basınç dayanım karakteristiğinde normal betona oranla yaklaşık % 15 oranında bir artış sağladığı görülmektedir. Hacimce % 0,5 oranında lif içeren hafif betonda ise şahit betonun (lifsiz normal betonun 28 günlük basınç dayanımı değeri) basınç dayanımı değerine yaklaşmakta olduğu gözlenmektedir.

Çizelge 4.2. de ve şekil Ek 7 ve Ek 8'de görüldüğü üzere lif oranı arttıkça, yarı hafif ve hafif betonun basınç dayanımında düşük trendte bir artış eğilimi vardır. 28 günlük hafif betonda hacimce % 1,5 lif oranı için, lifsiz hafif betona göre % 25 miktarında, yine

aynı şekilde yarı hafif betonda ise % 28 miktarında bir artış olduğu görülmektedir. Bu değerler literatürdeki değerlere yakındır. Literatürde, lif kullanımını genel olarak, betonun basınç dayanımını %10-%20 arttırmaktadır [52]. Diğer bir araştırmada ise, hacimce %1.5 oranında çelik lif kullanıldığı takdirde, hafif ve yarı hafif betonların basınç dayanımında sırasıyla %23 ve %16 oranında bir artış olduğu kaydedilmektedir [53].

Şekil Ek 12, Ek 13 ve Ek 14 ile çizelge 4.2. incelendiğinde II. tip lifli betonların 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri arasında ortalama % 20 oranında bir fark olduğu görülmektedir. Yani, 28 günlük basınç dayanımı değerleri 7. güne nazaran ortalama %20'lik bir artış göstermektedir. Aynı inceleme şekil Ek 9, Ek 10 ve Ek 11 ile çizelge 4.1. için yapıldığında ise % 11 civarında bir değişim söz konusudur. Lif tipleri arasında 7 ve 28. günlerdeki basınç dayanımlarında farklı oranlarda bir artış olmasının sebebi ise II. tip lifin, I. tipe nazaran 1cm daha uzun olması nedeniyle işlenebilirliğin azalması, dolayısıyla beton içerisinde fazla oranda boşluk oluşturması olabilir.

5.2. Ultrases Hızı Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Şekil 15 ve 16 genel olarak incelendiğinde lif kullanımının ve lif oranı artışının ultrases hızı değerlerini I. tip lif için, etkilemediği görülmektedir. II. tip lifli betonlarda da şekil Ek 17 ve Ek 18'de görüldüğü gibi ultrases hızı verileri lif oranı tarafından belirgin olarak etkilenmemektedir.

Şekil Ek 19 ve Ek 20 incelendiğinde lifli betonlar arasında en düşük ultrases değerini hacimce % 1,5 lif içeren betonların sahip olduğu görülmektedir. Bilindiği gibi ultrases hızının düşük olması betonun boşluklu olduğu anlamına gelmektedir. Dolayısıyla, lif oranı fazla olduğundan en düşük ultrases hızı değerini % 1,5 lifli betonlar sağlamaktadır.

Ultrases hızı düşük yani, boşluklu bir yapıya sahip betonun, basınç dayanımı da düşük olacaktır. Bu çalışmada da sonuçlar bunu onaylar şekildedir. Yani ultrases hızı, düşük olan numunelerin, basınç dayanımı değerleri de düşüktür. Bu durum çizelge 4.1, 4.3 ve şekil Ek2, Ek16 ile Ek3, Ek17 karşılaştırıldığında görülebilir.

I. ve II. tip lifli normal, hafif ve yarı hafif betonlarda 7. gün ve 28. gün yapılan ultrases deneylerinin yaklaşık eşit bulgular verme eğiliminde olduğu şekil Ek 23, Ek 24, Ek 25, Ek26, Ek27 ve Ek 28'de görülmektedir.

5.3. Su Emme Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Şekil Ek 29, Ek 30 incelendiğinde lif oranı arttıkça, doğru orantılı olarak su emme oranının arttığına dair bir bulguya rastlanmamaktadır.

Şekil Ek 31’da, normal betonlarda lif tipine bağlı lif oranı su emme oranı ilişkisine bakıldığında, II. tip lifin kullanıldığı betonların su emme oranlarının daha yüksek olduğu görülmesine rağmen yarı hafif betonlarda % 0,5 lif oranı haricinde su emme oranı bulgularının eşit olduğu görülmektedir. Aynı biçimde hafif betonlarda II. tip lifin kullanıldığı betonların su emme oranı değerleri, I. tip lifli betonlara nazaran daha yüksek olduğu şekil Ek 33’de görülmektedir. Bunun sebebinin, II.tip lifin I.tip life göre boyunun uzun olması nedeniyle, matris içinde homojen olarak dağılmayıp, topaklanmalar meydana getirerek boşluklu bir içyapı oluşturması olarak açıklanabilir.

5.4. Birim Ağırlık Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

I. tip ve II. tip betonları, lif oranı-birim ağırlık ilişkisi açısından değerlendirildiklerinde, netice olarak, lif oranının artmasının birim ağırlığı etkilemediği, şekil Ek 34, Ek 35, Ek 36 ve Ek 37’den tespit edilebilir.

Şekil Ek 38 incelendiğinde ise lif oranındaki değişim, komposite oranını belirgin bir şekilde etkilememekte olduğu görülür. Yalnız, tabii olarak beton cinsine bağlı olarak eğriler, normal betonun daha dolu, yarı hafif betonun, hafif betona nazaran daha boşluksuz olduğunu göstermektedir.

6. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada hafif ve yarı hafif beton bloklarda çelik lif kullanımının etkileri ile ilgili olarak elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

1. Hafif ve yarı hafif betonlara ilave edilen lifler, işlenebilirliği ve dolaylı olarak su/çimento oranını etkilemektedir.

2. Hacimce % 1.5 lifin ilave edildiği yarı hafif ve hafif betonun basınç dayanımında, sırasıyla %28 ve %25 oranında artış olmaktadır.

3. Genel olarak çelik lif ilavesi yarı hafif ve hafif betonun ultrases hızını etkilememektedir.

4. Yarı hafif ve hafif beton bloklarda çelik lif kullanılması, bu elemanların su emme oranını etkilememektedir.

5. Yarı hafif ve hafif beton bloklarda kullanılan lif hacmi arttıkça, bu artışa paralel olarak, bu beton blokların birim ağırlıklarında da aynı oranda bir artış olmaktadır.

6. Hafif ve yarı hafif beton blok elemanlarda çelik liflerin belirli oranlarda kullanılması ile bu elemanların yarı taşıyıcı ve taşıyıcı olmaları sağlanabilmektedir. Bu sayede bir yapı elemanında aranan hafiflik, izolasyon(ses-ısı) ve mukavemet özellikleri aynı zamanda karşılanarak, günümüzde istenen yapı elemanlarına ulaşılabilecektir.

Bunlara ilave olarak, üretilen bu elemanlarla giderek artan konut ihtiyacına az da olsa cevap verilirken, pomza madeni açısından zengin bir potansiyele sahip olan ülkemizin, bu yeraltı zenginliği de değerlendirilmiş olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] İhtiyaroğlu, E., "Tabii Hafif Agregalarla İmal Edilen Hafif Beton Blokların Duvar Elemanı Olarak Özelliklerinin Tayini Üzerinde Araştırmalar" İmar ve İskan Bakanlığı yayınları No:5-76, 61s.,Ankara, 1984.
- [2] Hüsem, M., "Doğu Karadeniz Bölgesi Doğal Hafif Agregalarından Biriyle Yapılan Hafif Betonun Geleneksel Bir Betonla Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi". K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi(yayınlanmamış), 170s., Trabzon, Ocak 1995.
- [3] Tokyay, M., Şatana, O. A., "Hafif Beton Özelliklerine Çimento Miktarının Etkileri" Çimento ve Beton Dünyası Dergisi, sayı:8, s:31-39, Ankara, Ağustos 1997.
- [4] Durmuş, A., Aytekin, M., "Betonarme İnşaat Hafif Betonlar", Türkiye İnşaat Mühendisliği 8. Teknik Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, s:263-274, Ankara, 1985.
- [5] Yeğınobalı, A., "Hafif Beton ve Yüksek Dayanımlı Hafif Beton". Çimento ve Beton Dünyası Dergisi, sayı:8, s:20-30, Ankara, Ağustos 1997.
- [6] Davraz, M., Gündüz, L., "İsparta yöresi pomza taşının hafif yapı elemanı olarak değerlendirilmesi üzerine bir analiz". I. Isparta Pomza Sempozyumu, s: 61-65,Isparta, 1997.
- [7] Karagüler, M.E., " Isıl işlem parametrelerinin hafif beton özelliklerine etkisi",İTÜ, Fen bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi,(yayınlanmamış), 162s, İstanbul, 1988.
- [8] TS 3234 "Bimsbeton Yapım Kuralları, Karışım Hesabı ve Deney Metotları", TSE, Ankara, Eylül 1978.
- [9] Taşdemir, M.A.,"Taşıyıcı Hafif Agregalı betonların elastik ve elastik olmayan davranışları",Doktora Tezi, İTÜ, İnşaat Fakültesi,1982
- [10] Neville, A.M., "Properties of concrete",Longman Scientific& Technical, 647s, London, 1993.
- [11] ASTM C 330-69, "Standart specification for lightweight aggregates for structural concrete", American Society for Testing and Materials, 1969.
- [12] TS 2511, "Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesapları Esasları" TSE, Ankara, 1977.
- [13] Akman, M. S., Taşdemir, M. A., "Taşıyıcı Malzeme Olarak Perlit Betonu". I. Ulusal Perlit Kongresi, s:40-48, Ankara, Aralık 1977.
- [14] Oğuz,C., ve Türker,F.," Pomza Betonunda Fiziksel ve Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkiler", I. Isparta Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s:81-82, Isparta, 1997.

- [15] Topçu, İ. B., "Hafif Beton Özelliklerinin Kompozit Malzeme Olarak İncelenmesi". İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi(yayınlanmamış), İstanbul.
- [16] Örüng, İ., "Hafif Betonların Dayanıklılığı". D.S.İ. Teknik Bülteni, sayı: 82, s:29-33, Ankara, 1994.
- [17] Oğuz, C., "Ponza Betonda Fiziksel ve Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkiler" A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi(yayınlanmamış),91s.,Isparta, 1994.
- [18]Gündüz, L., Sarıışık, A., Uğur İ., Çankıran, O., "Pomza Teknolojisi Cilt:II", 203s., Isparta, 1998.
- [19] Kan, Ü., "Türkiye Briketlerinin Nemsel Davranışları" K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi (yayınlanmamış), 84s., Trabzon, 1994.
- [20] Yaşar, Y., Pehlevan, A., "Higrotermik Koşullar Açısından Bimsbeton Bloklu Dış Duvar Konstrüksiyonları ve Havalandırmalarla Yeni Bir Bimsbeton Blok". I.Isparta Pomza Sempozyumu,s: 71-80, Isparta, 1997.
- [21] TS 2823, "Bimsbetondan Mamul Yapı Elemanları", T.S.E., Ankara, Eylül 1986.
- [22] Kars, F., "Türkiye Briketlerinin Isıl Davranışları" K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi (yayınlanmamış), 138s., Trabzon, 1994.
- [23] Ilgaz, T., "Yapı Düşey Dış Kabuklarının Isı Etkilerinden Korunması". T.C. Bayındırlık Bakanlığı ve K.T.Ü., Trabzon, 1979.
- [24] Tuncer, G., "Dünya Pomza Rezervleri ve Üretiminde Türkiye'nin Yeri ve Önemi" I. Isparta Pomza Sempozyumu, s:1-12, Isparta, 1997.
- [25] Aksoy, S., "Hafif Betonların Dayanım Dayanıklılık ve Ekonomik Yönden Analizi". F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans tezi(yayınlanmamış), 55s., Elazığ, 1995.
- [26] TS 1114, "Hafif Agregalar -Beton İçin". T.S.E., Ankara, 1986.
- [27] Kılıç, R., Şimşek, O., "Madensehri (Konya-Karaman) Doğusundaki Ponza Taşının Tarımsal Yapılarda Hafif Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması". TÜBİTAK Tarım ve Ormancılık Araştırma Grubu, Proje No:TOAG-643, 35s., Ankara, 1989.
- [28] Ersoy, H.Y., "Alçı Sünger Taşı Cam Lifi Kompoziti", İ.T.Ü., İnşaat Fakültesi Matbaası, Doktora Tezi, 102 s, İstanbul, 1985.
- [29] Urhan, S., "Hafif ve Çok Hafif Betonların Karekteristik Özellikleri ve Teknik Kapasiteleri", Çimento ve Beton Dünyası Dergisi, cilt 7, s:19-22, TÇMB, Ankara, 1997.

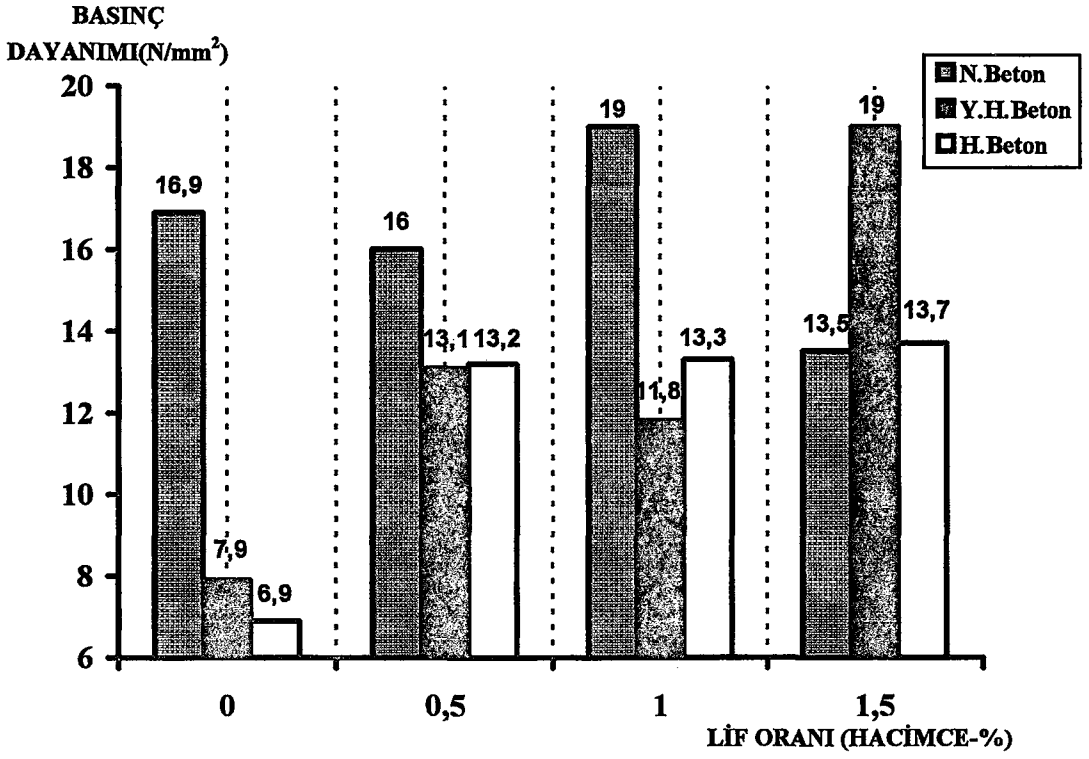
- [30] Demirkol, V., Akbay, K., İçemer, Ö., "Yapı Malzemeleri", Başbakanlık Basımevi, yayın no:4, 248s, Ankara, 1985.
- [31] Anonymous, "Çimento Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri", Başbakanlık D.P.T. Müsteşarlığı, yayın no:DPT:2434-491, 183s, Ankara, 1996.
- [32] Keskin,N., "Sünger Taşının Strüktürel İncelenmesi", sayı:13,s:23-24, Antalya, 1986.
- [33] Çankıran, O., "Pomza Agregalı Hafif Betonun Mekanik Özellikleri ve Kimyasal Katkılarla Dayanımının Arttırılması". S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi(yayınlanmamış), 82s., Isparta,1998.
- [34] Aytun, A., "Hafif Agregalı Betonun Strüktürlerde Kullanımı". TÜBİTAK Yapı Araştırma Enstitüsü Teknik Bülteni, sayı:20, s:3-7,Ankara, 1985.
- [35] Gül, R., "Hafif agregalı betonun kullanılabilirliği" DSİ Teknik Bülteni, sayı:81, ss:31-36,Ankara, 1994.
- [36] Postacıoğlu, B., "Beton"Cilt II, İTÜ İnşaat Fakültesi,404s,İstanbul, 1986.
- [37] TS 3649, "Perlitli Isı Yalıtımı Betonu Yapım-Uygulama Kuralları ve Deney Metotları", T.S.E., Ankara, 1982.
- [38] Ünal, O., "Perlitli Beton Bloklarda Dayanım Optimizasyonu". A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi(yayınlanmamış), 65s., Eskişehir, 1986.
- [39] Yalgın, S., "İnşaat Sektöründe Genleşmiş Perlit Kullanımı". Etibank Matbaası, yayın no :106, 49s., Ankara, 1983.
- [40] Ünal, O., "Perlit Agregalı Hafif Beton Bloklar". Yalıtım 97, S:172-181, Elazığ, 1997.
- [41] Vondran L. G. , "Applications of Steel Fiber Reinforced Concrete". ACI Compilation 27, pp:14-19, Michigan.
- [42] ACI Comite 544, State of The Art Report on Fiber Reinforced Concrete ACI Journal, pp.729-744, November 1973.
- [43] Arslan, A., "Çelik Lifli Betonların Özellikleri ve Kullanım Potansiyeli", Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, sayı 369, s:29, Aralık 1993.
- [44] Rilem Technic Comitte 19-FRC. "Fiber Concrete Materials", RİLEM, V.10, No.56, pp.103-120,1977.
- [45] TS 10515 "Beton-Çelik Tel Takviyeli- Eğilme Mukavemeti Deney Metodu", Ankara, Aralık, 1992.

- [46] Tokyay, M., Ramyar, K., Turanlı L., "Polipropilen ve Çelik Lifli Yüksek Dayanımlı Betonların Basınç ve Çekme Yükleri Altındaki Davranışları" 2. Ulusal Beton Kongresi:Yüksek Dayanımlı Beton, ss.303-320, İstanbul, Mayıs 1991.
- [47] Gököz Ü., "Ön Yorulmanın Yalın ve İnce Tellerle Donatılı Betonların Özelliklerine Etkisi" İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi,128s. İstanbul, 1978.
- [48] Hughes, B.P. ve Fattuhi, N.I., " Stress- Strain Curves for Fiber Reinforced Concrete in Compresion", Cement and Concrete Research, C.7, s.173-184, 1977.
- [49] Ünal, O., " Isıl İşlem Uygulamasının Lifli Beton Özelliklerine Etkisi" , İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (yayınlanmamış), İstanbul, 1994.
- [50] Uğurlu, Ali., "Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton",Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı Yayınları, No:878, Ankara, 1994,
- [51] Uyan, M., "Lifli Betonların Genel Özellikleri ve Gelişimi ", İ.T.Ü. Malzeme Semineri, Makale, İstanbul, 1984.
- [52] Craig, R. J., " Lightweight reinforced fibre concrete behavior and uses", USA,Rilem Technical Committee 49-TFR, 13-17, c.2,s.505-513, 1988.
- [53] Yıldırım, M.A., " Hafif ve yarı hafif betonlarda çelik lif kullanımının etkisi", İTÜ, Fen bilimleri enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (yayınlanmamış), İstanbul, 1994.
- [54] Şimşek, O., "Madeneşhri (Konya-Karaman) Doğusundaki Ponzataşının Hafif Beton Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması". G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Y.Lisans Tezi(yayınlanmamış), 40s., 1987.
- [55] Ağırır, M.L., "Altınapa Bims Agregasından TS 3234'e Uygun Hafif Beton Briket İmali". S.E. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi(yayınlanmamış),73s., Konya, 1989.
- [56] Aytun, A., "Hafif Agregalı Betonun Strüktürlerde Kullanımı" TÜBİTAK Yapı Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten, sayı:22, 1987.
- [57] Al-Awawdeh, M., "Yarı Hafif Betonun İnelastik Davranışının İncelenmesi". Y. Lisans Tezi(yayınlanmamış), 69s., İstanbul, 1994.
- [58] Arda A., "Hafif Betonlarda Agregasın Konsantrasyonunun Mekanik Özelliklere Etkisi". İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Y.Lisans Tezi(yayınlanmamış), 66s., İstanbul, 1994.

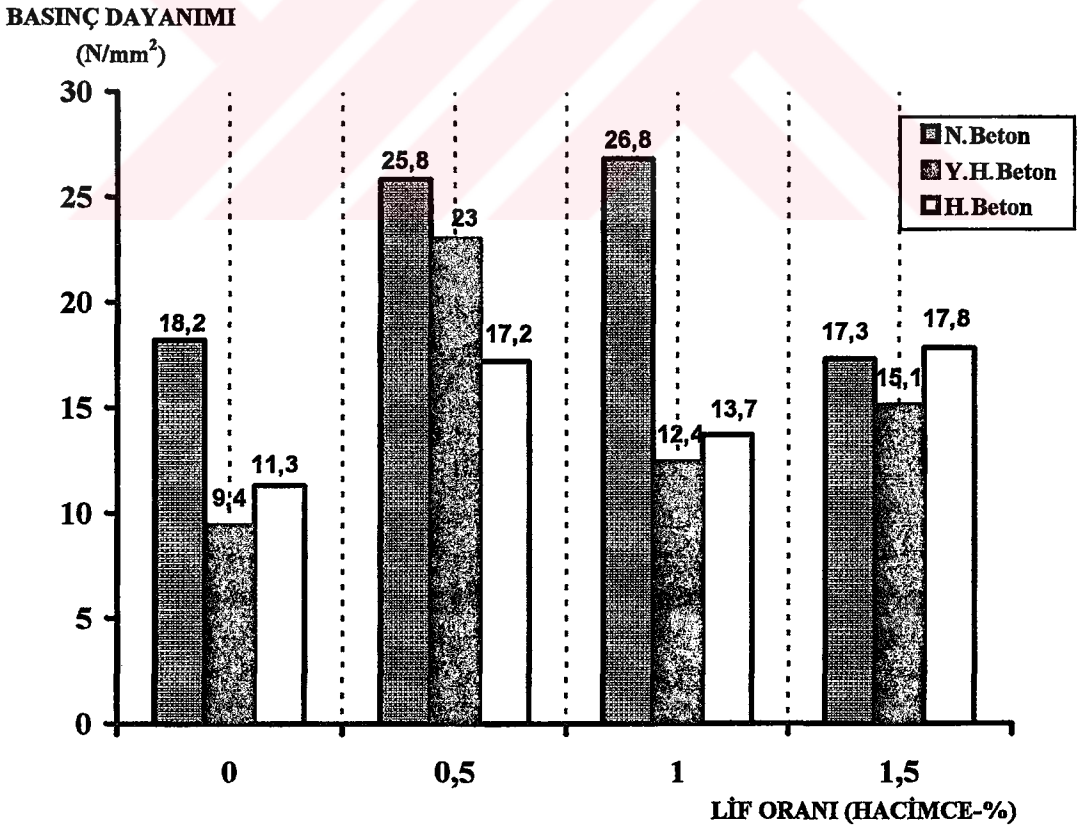
- [59] Öztütüncü, G.H., "Ortalama Hafif Agregaya Boyutunun Yarı Hafif Betonların Donatı Dayanıklılığı Üzerindeki Etkileri" İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Y.Lisans Tezi(yayınlanmamış), 63s., İstanbul, 1992.
- [60] Şimşek, S., "Lifli Beton Üzerine Bir Çalışma" G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Y.Lisans Tezi(yayınlanmamış), 81s., Ankara, 1997.
- [61] Rossi, P., "Steel Fiber Reinforced Concrete (SFRC) An Example of French Research" ACI Materials Journal, V.91, No.3, USA, 1994.
- [62] Falkner, H., Huang, Z., Teutsch, M., "Comparative Study of Plain and Steel Fibre Reinforced Concrete Ground Slabs". Concrete International, pp.45-51, USA, January 1995.
- [63] Barr, B.I.G., Evans, G.J., " Fracture Characteristics of Fibre Reinforced Lightweight Concrete" Rilem Technical Committee 49- TFR 17, pp.401-407, 1986.
- [64] Bekaert "Dramix Steel Fiber for Concrete Reinforced", June 1989.
- [65] Albayrak, H. F., "Beton Yapımı Tekniği" Bayındırlık ve İskan Bakanlığı D.S.İ. Genel Müd., Yayın no:96, 45s., Ankara, 1986.



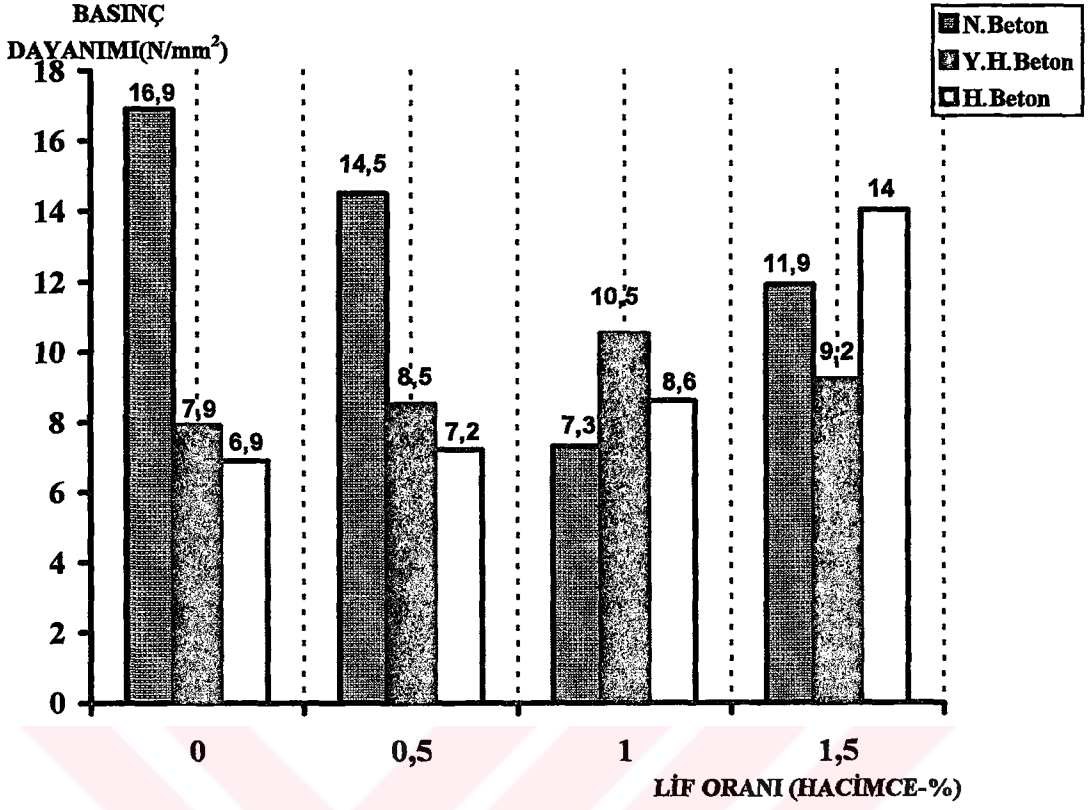
EKLER



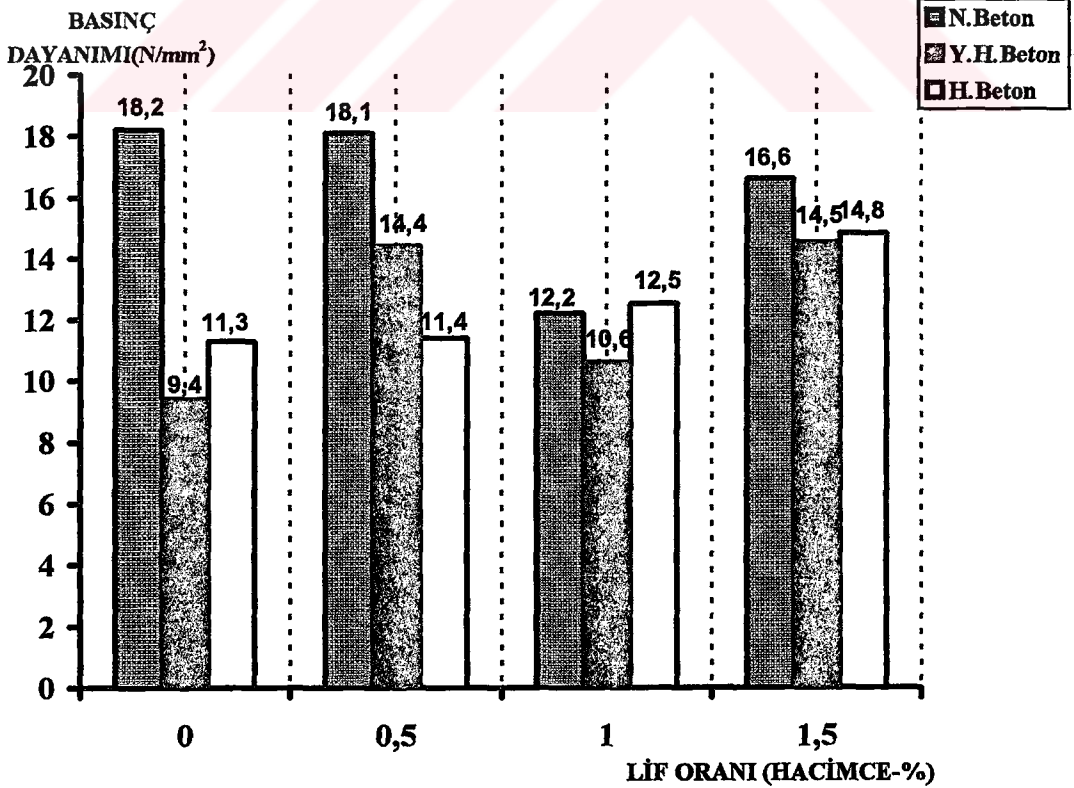
Şekil Ek1.7 günlük I.tip lifli betonlarda lif oranı-basınç dayanımı ilişkisi



Şekil Ek2. 28 günlük I. tip lifli betonlarda lif oranı-basınç dayanımı ilişkisi

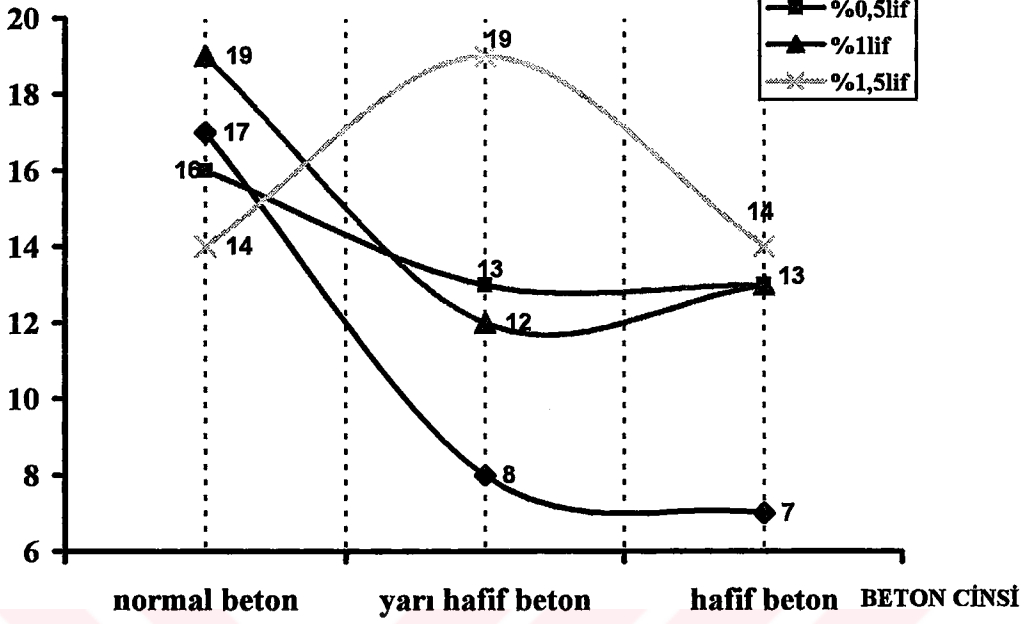


Şekil Ek3. 7günlük II.tip lifli betonlarda lif oranı-basınç dayanımı ilişkisi



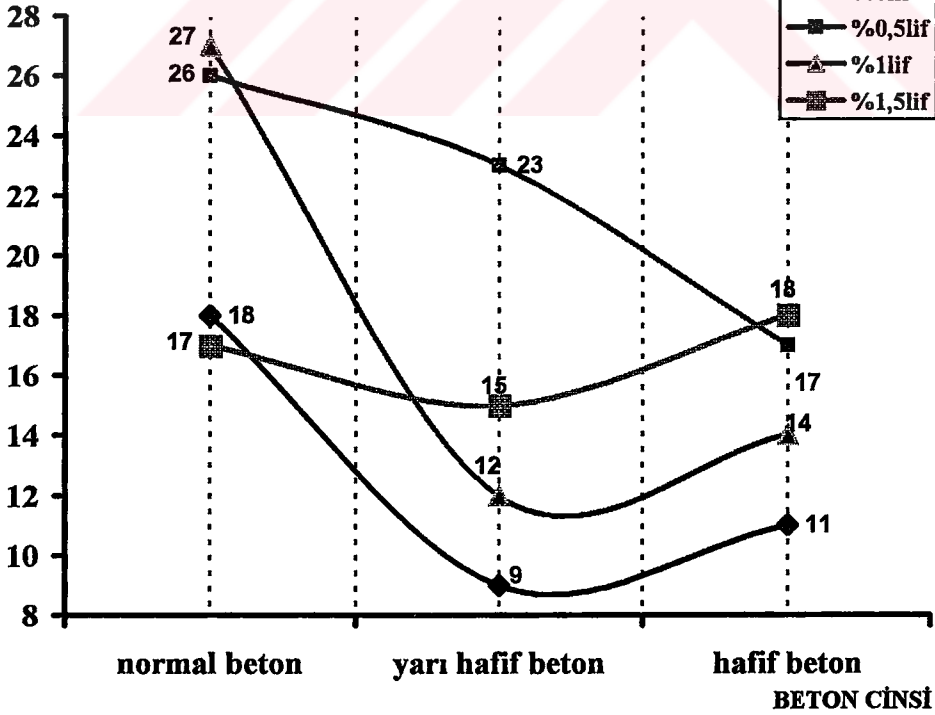
Şekil Ek4. 28 günlük II.tip lifli betonlarda lif oranı-basınç dayanımı ilişkisi

BASINÇ DAYANIMI

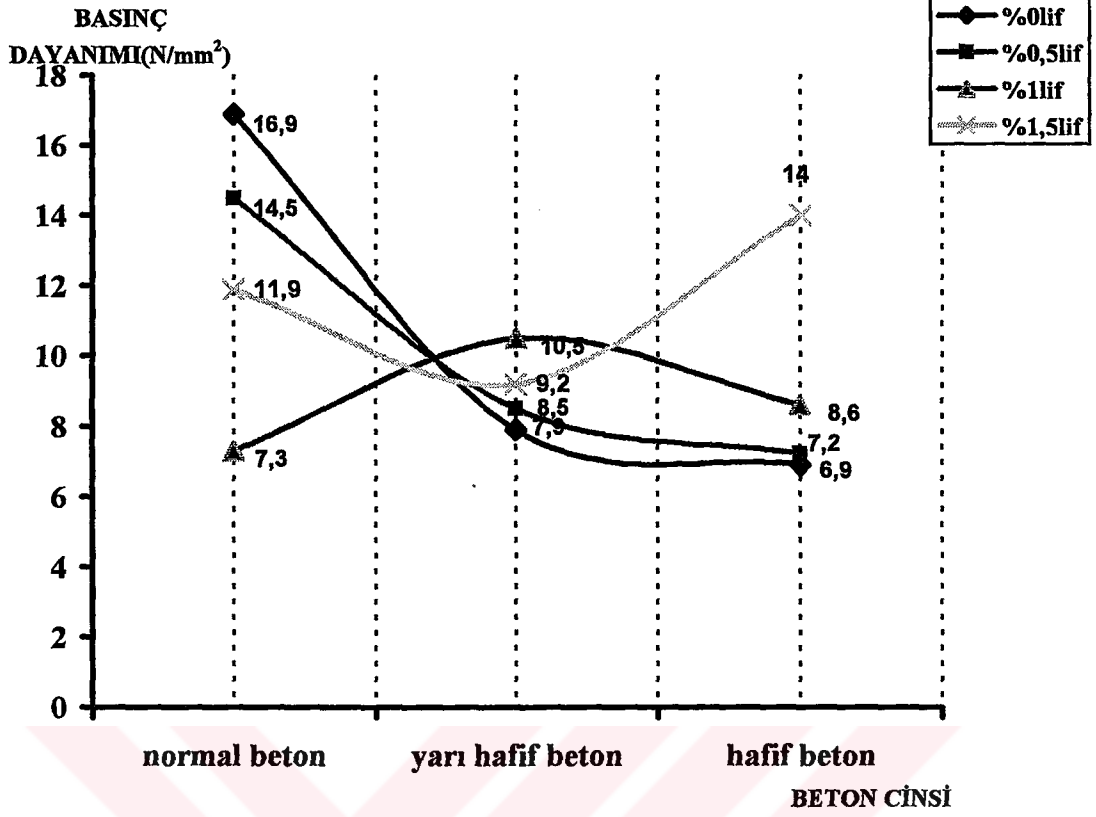
(N/mm²)

Şekil Ek5. 7 günlük I.tip lifli betonlarda beton cinsi-lif oranı ilişkisi

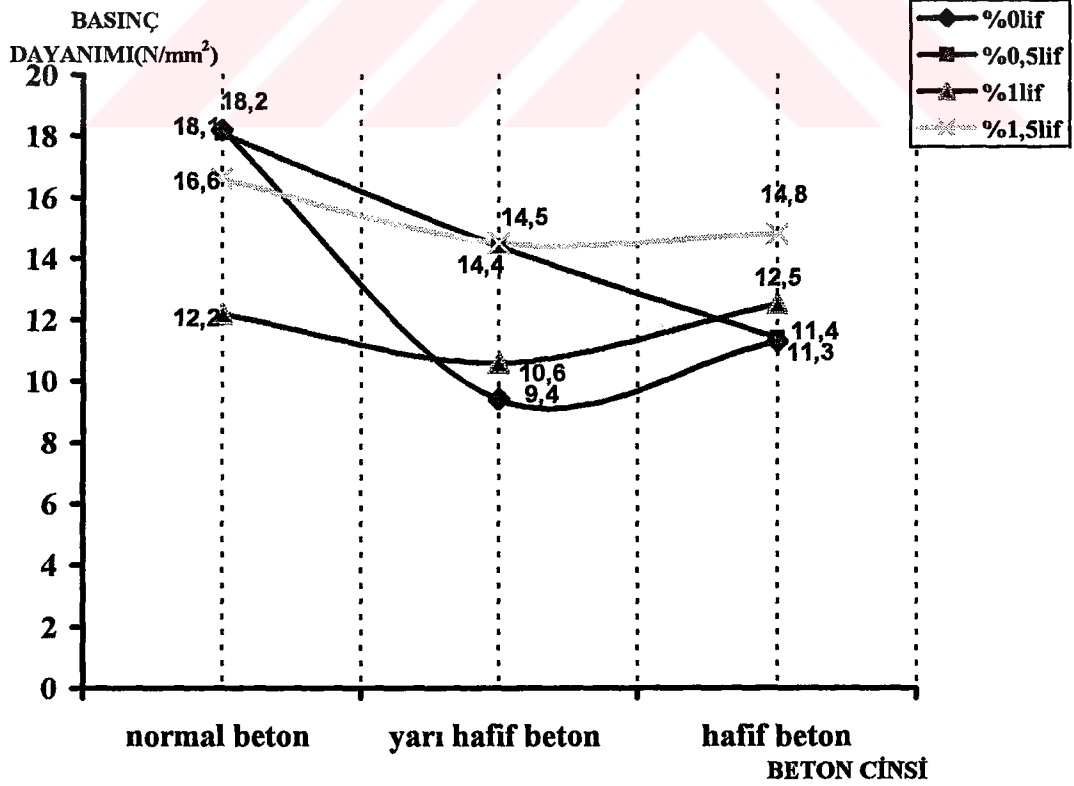
BASINÇ DAYANIMI

(N/mm²)

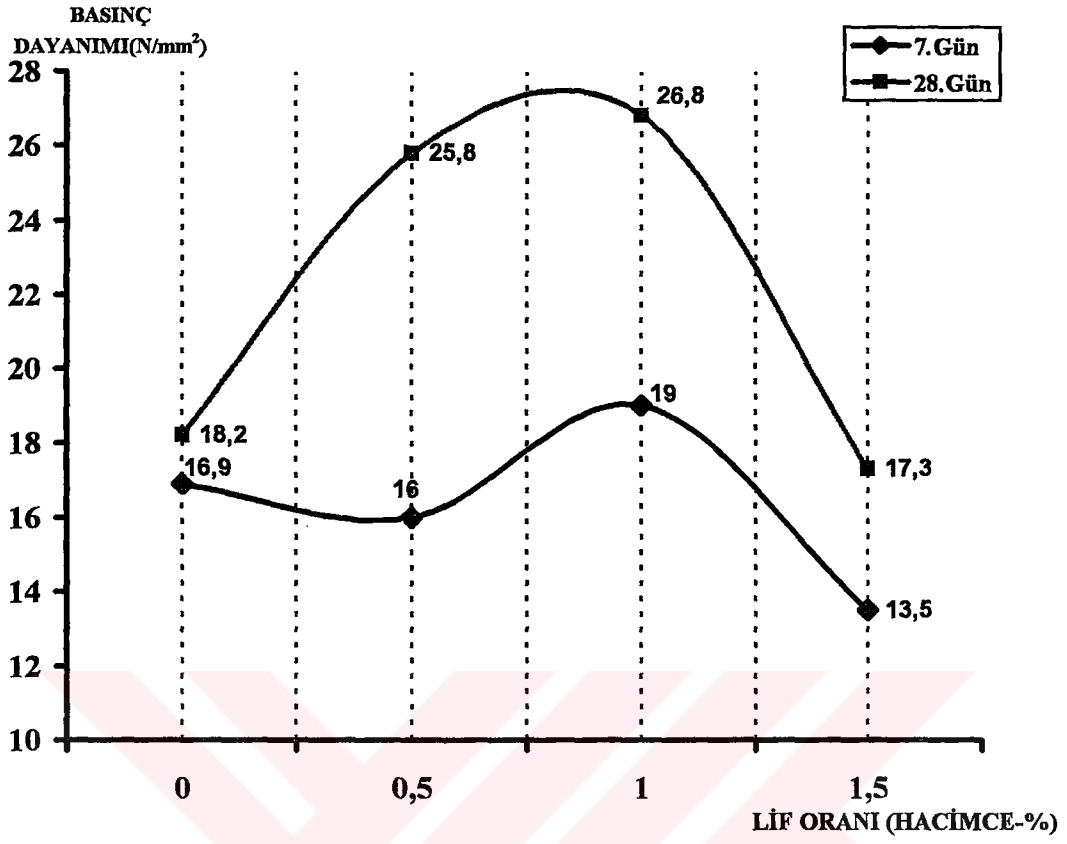
Şekil Ek6. 28günlük I.tip lifli betonlarda beton cinsi-lif oranı ilişkisi



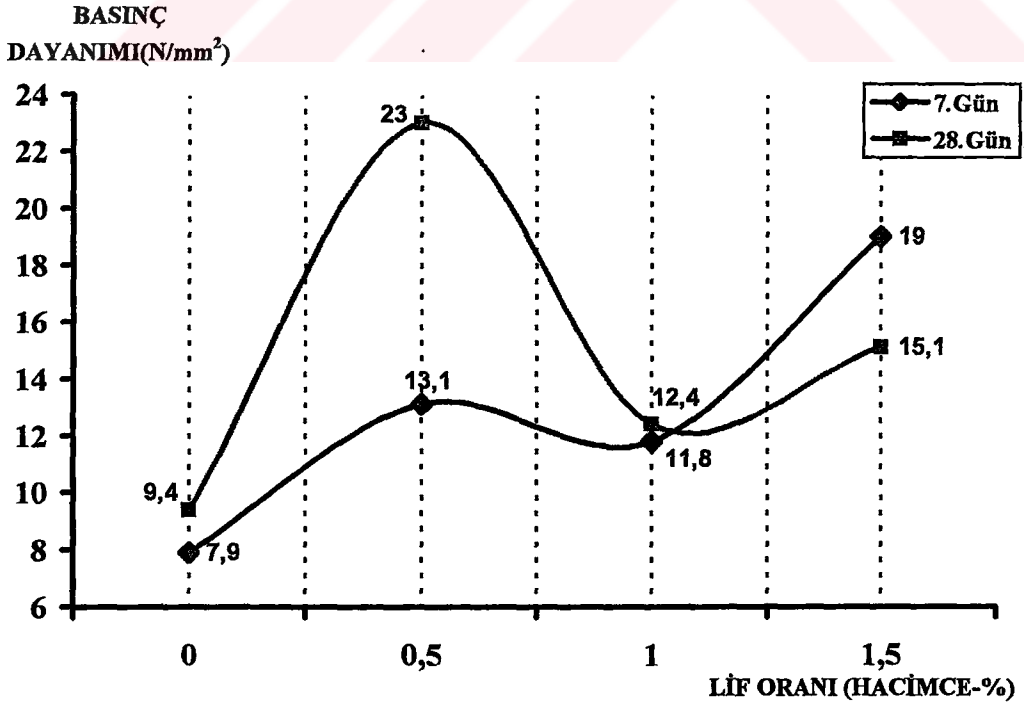
Şekil Ek7. 7günlük II.tip lifli betonlarda beton cinsi-basınç dayanımı ilişkisi



Şekil Ek8. 28 günlük II.tip lifli betonlarda beton cinsi-basınç dayanımı ilişkisi

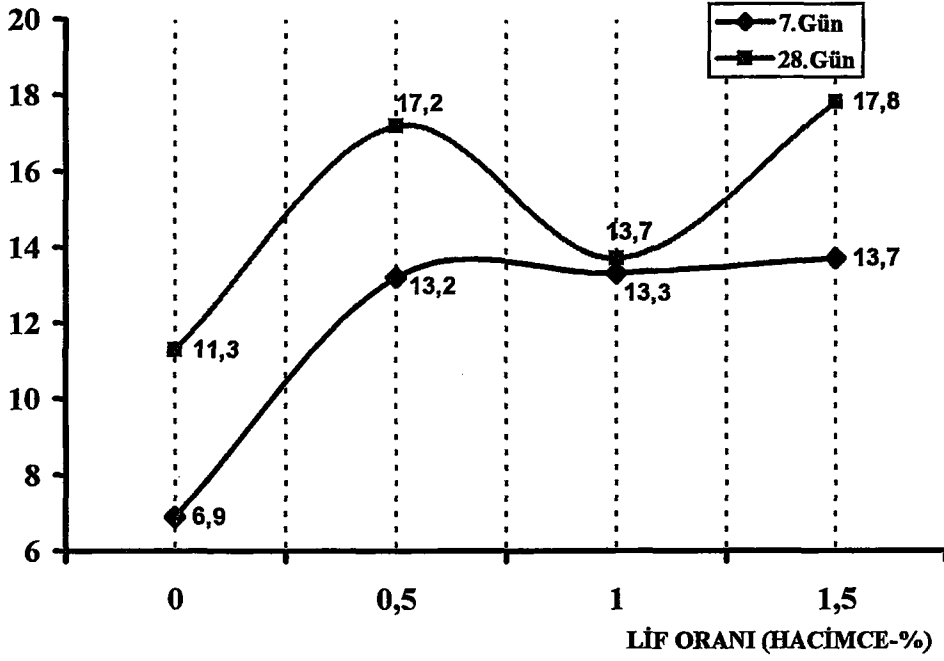


Şekil Ek9. I.Tip lifli normal betonlarda lif oranı-basınç dayanımı ilişkisi



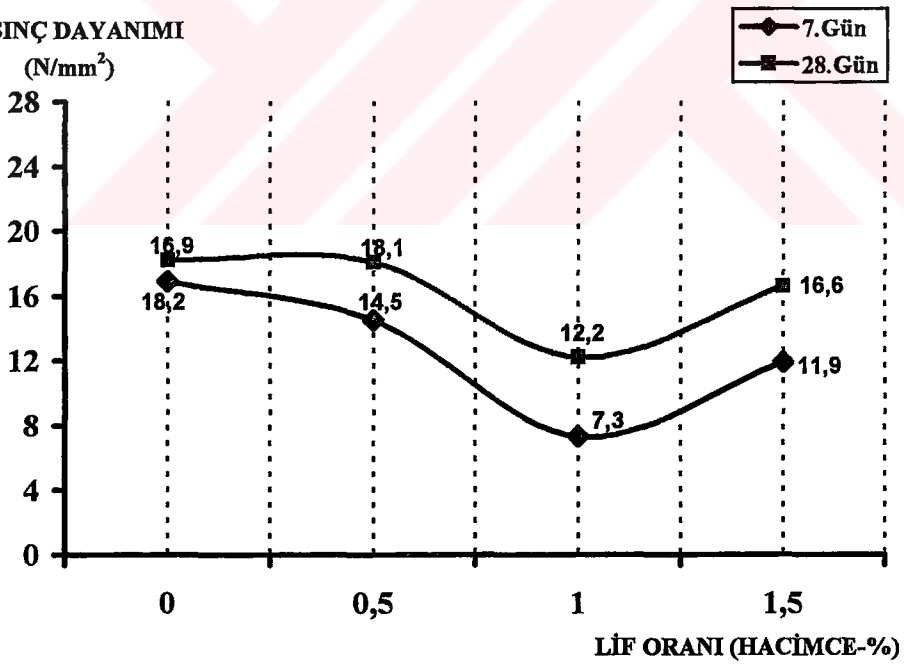
Şekil Ek10. I.tip lifli yarı hafif betonlarda lif oranı-basınç dayanımı ilişkisi

BASINÇ DAYANIMI
(N/mm²)



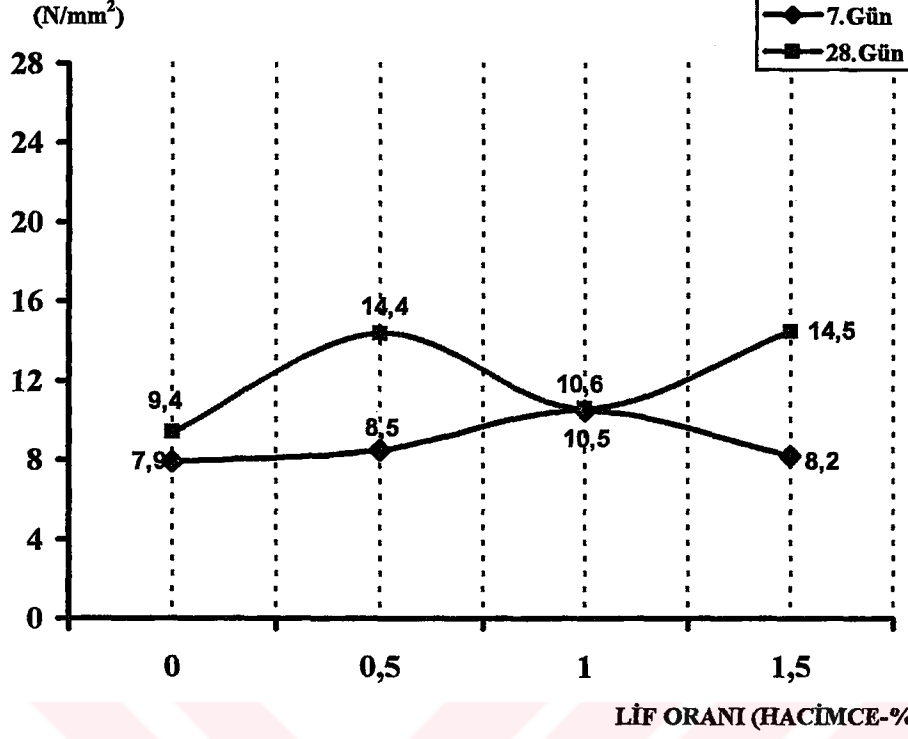
Şekil Ek11.I. Tip lifli hafif betonlarda lif oranı-basınç dayanımı ilişkisi

BASINÇ DAYANIMI
(N/mm²)



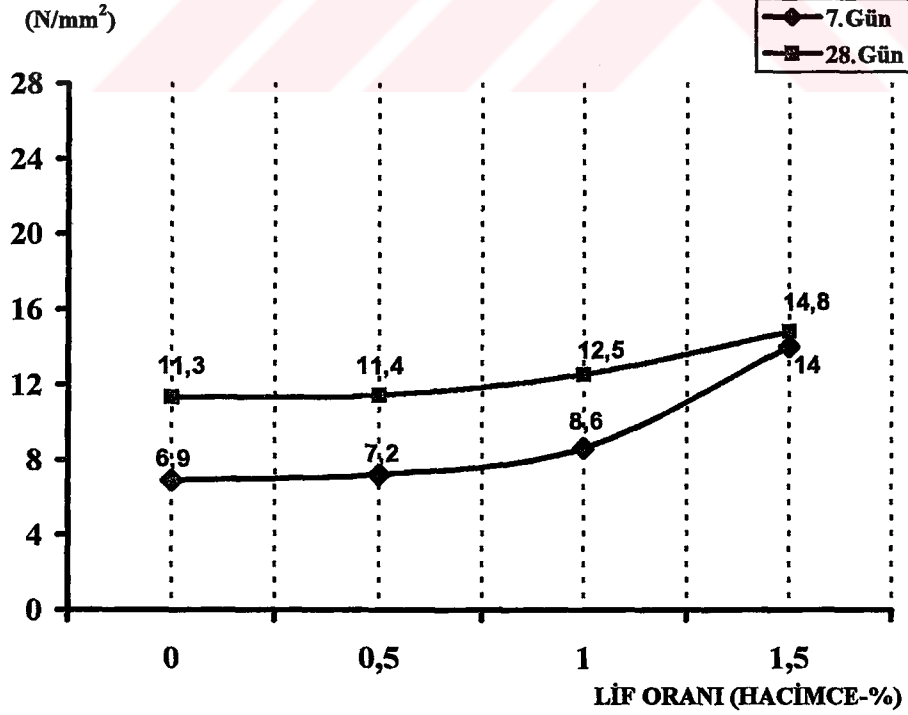
Şekil Ek12.II. Tip lifli normal betonlarda lif oranı-basınç dayanımı ilişkisi

BASINÇ DAYANIMI

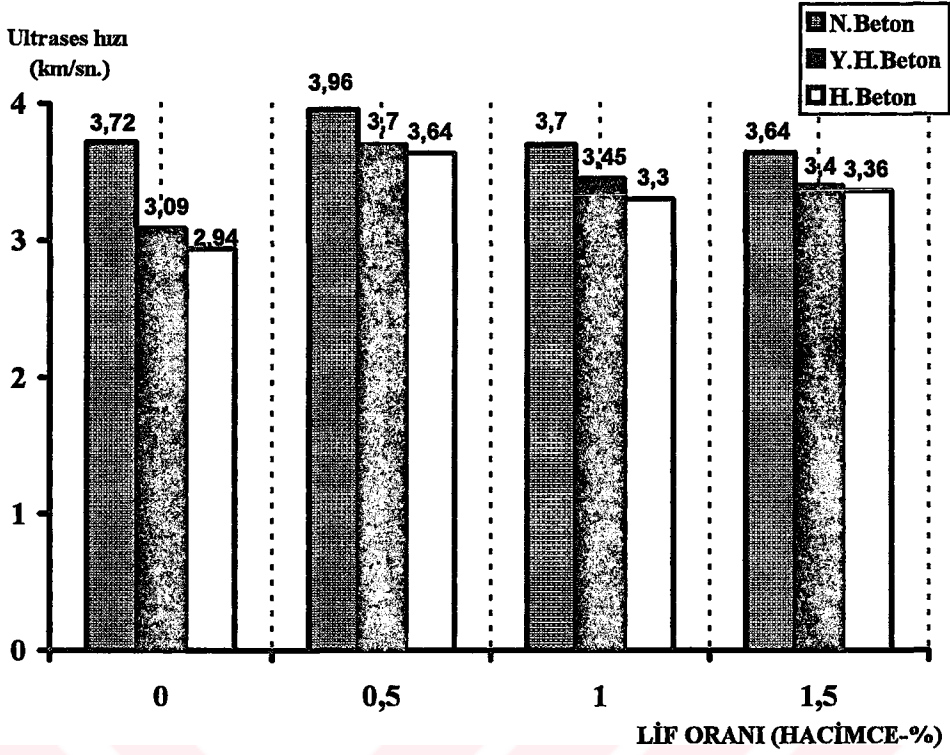


Şekil Ek13. II. Tip lifli yarı hafif betonlarda lif oranı-basınç dayanımı ilişkisi

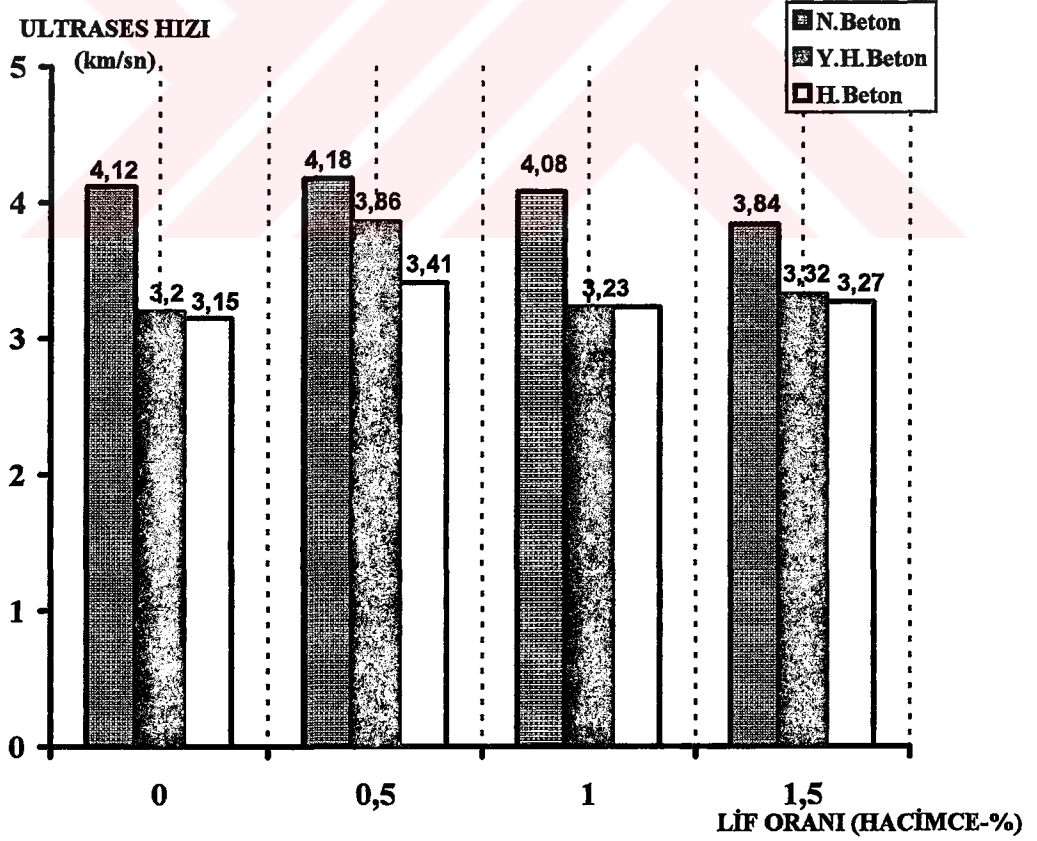
BASINÇ DAYANIMI



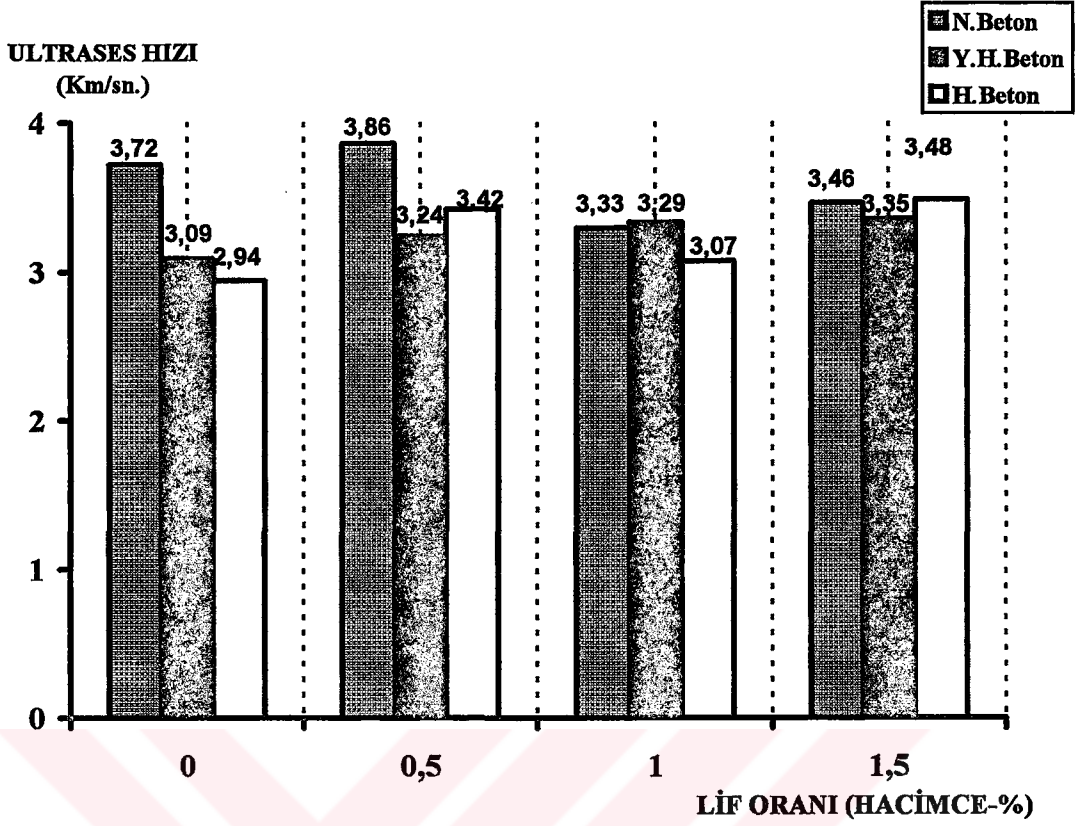
Şekil Ek14. II. Tip lifli hafif betonlarda lif oranı-basınç dayanımı ilişkisi



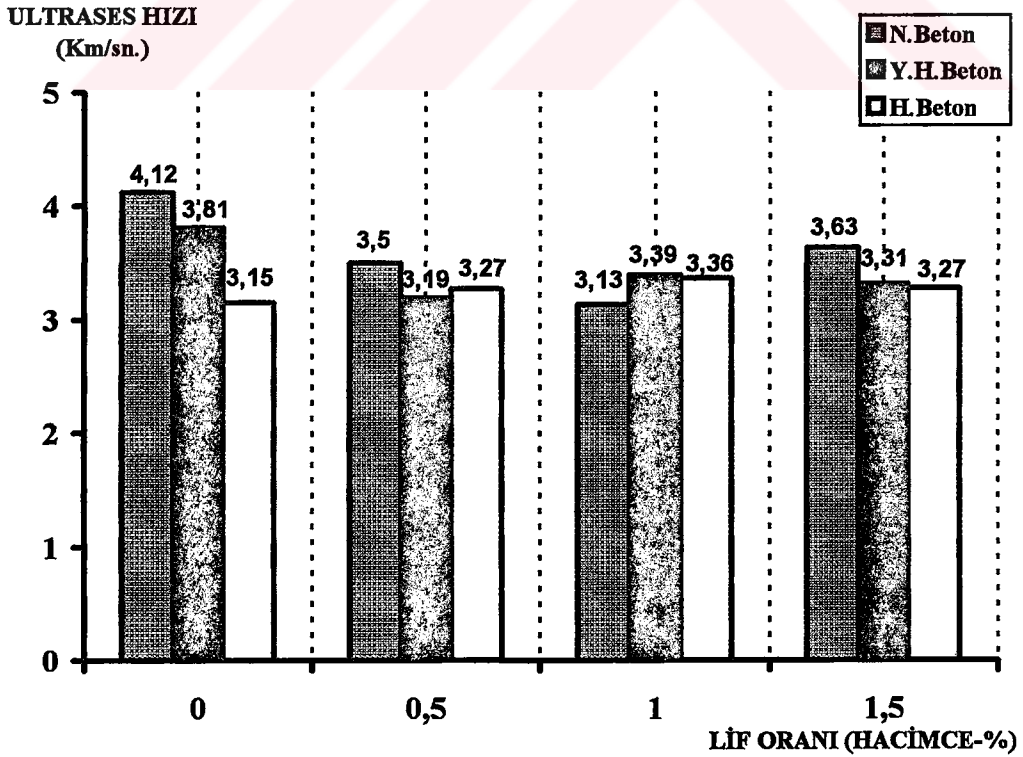
Şekil Ek15.7 günlük I.tip lifli betonlarda lif oranı-ultras hızı ilişkisi



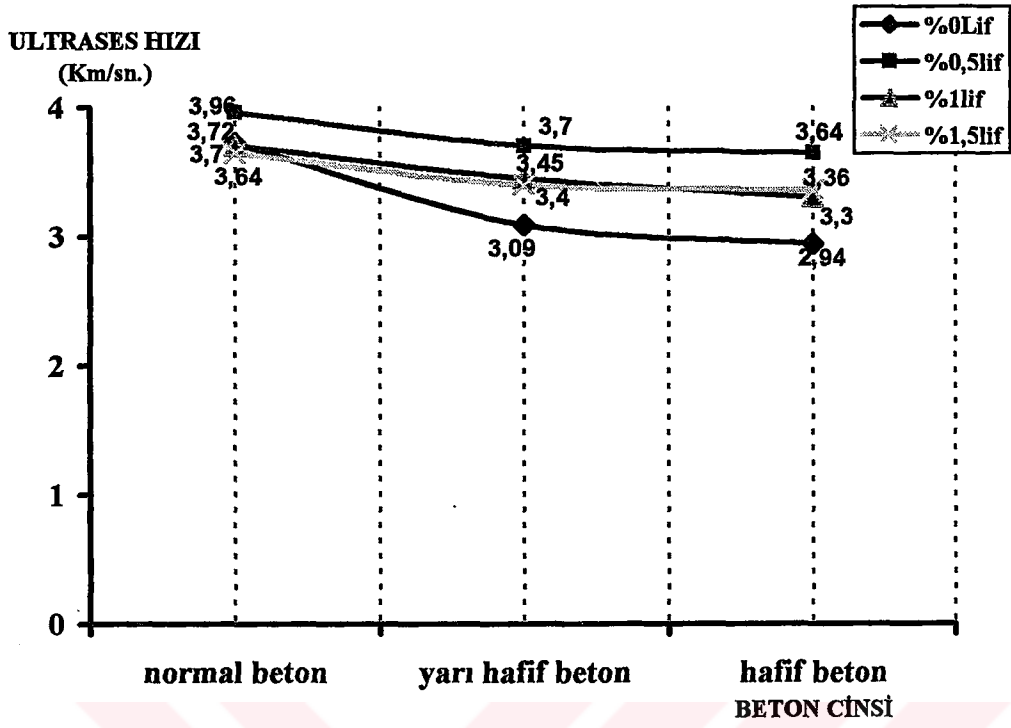
Şekil Ek16. 28 günlük I.tip lifli betonlarda lif oranı-ultras hızı ilişkisi



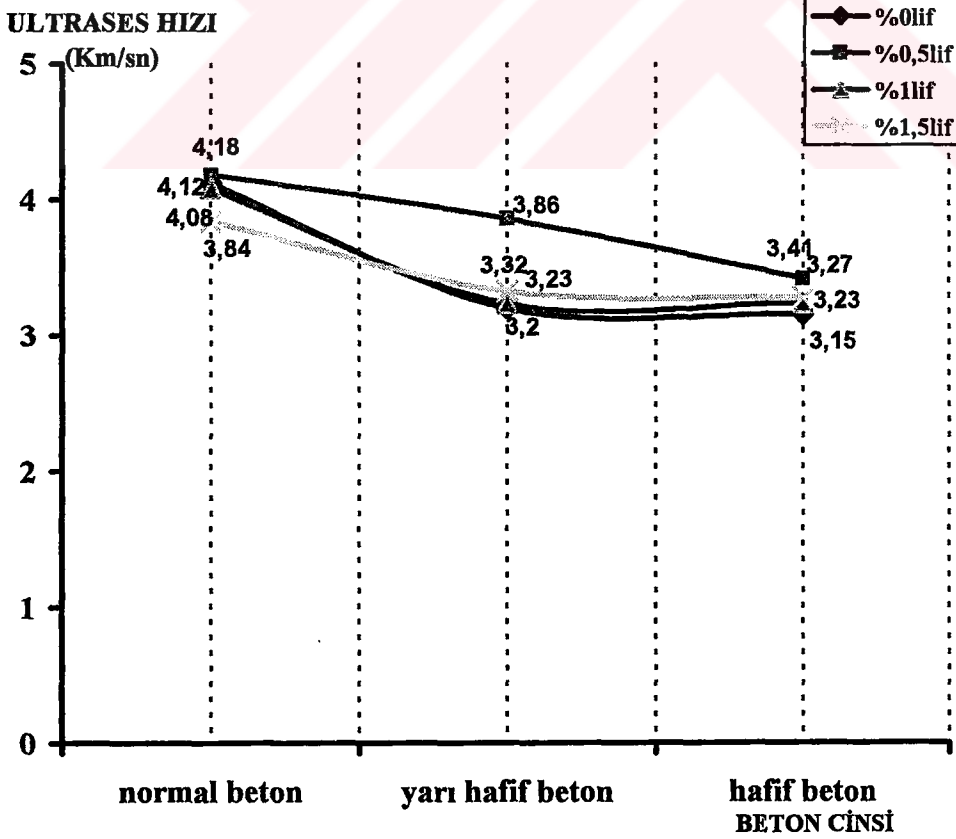
Şekil Ek17. 7 günlük II.tip lifli betonlarda lif oranı-ultrases hızı ilişkisi



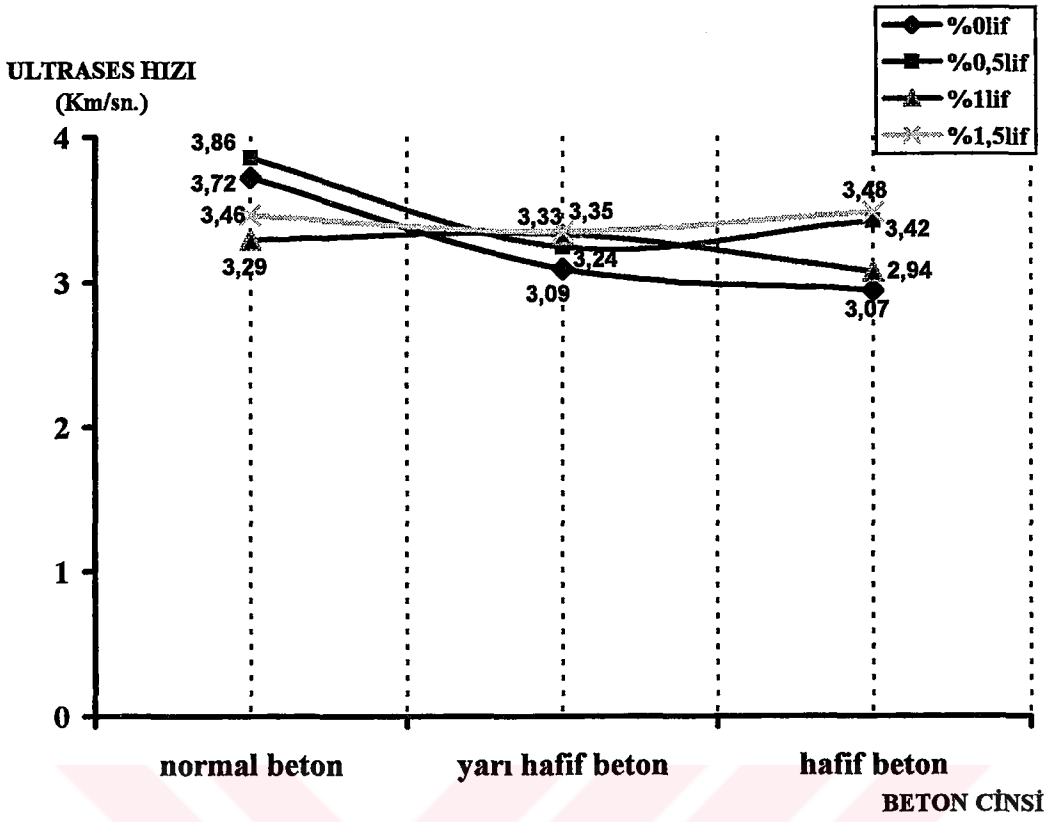
Şekil Ek18. 28 günlük II.tip lifli betonlarda lif oranı-ultrases hızı ilişkisi



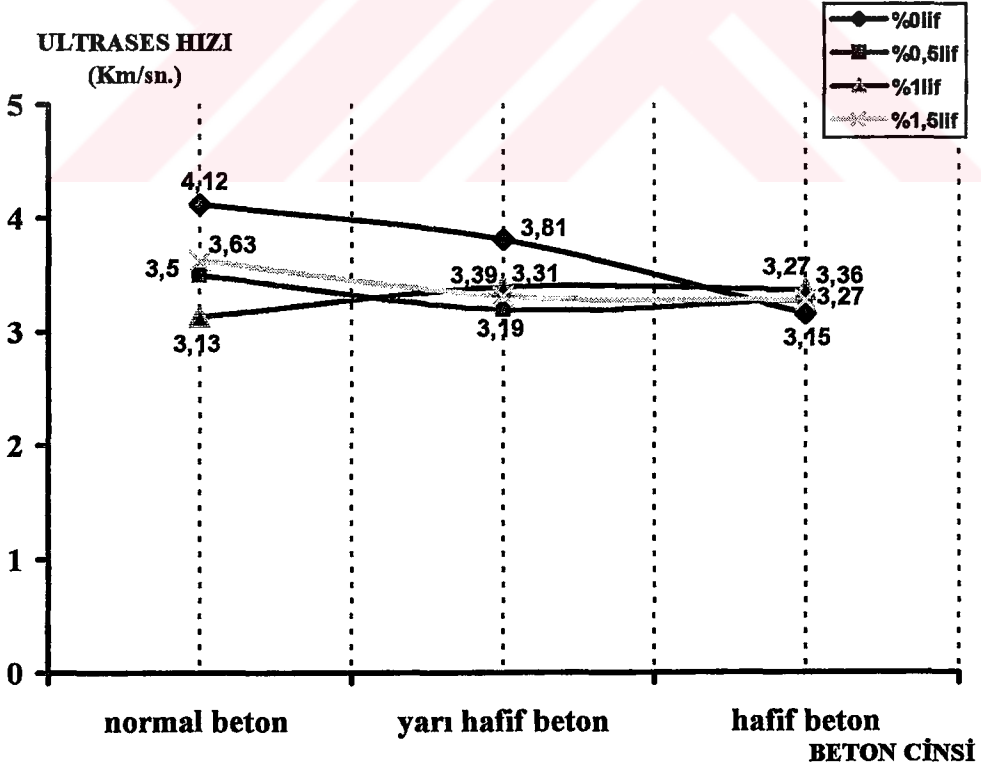
Şekil Ek19. 7 günlük I.tip lifli betonlarda beton cinsi-ultrases hızı ilişkisi



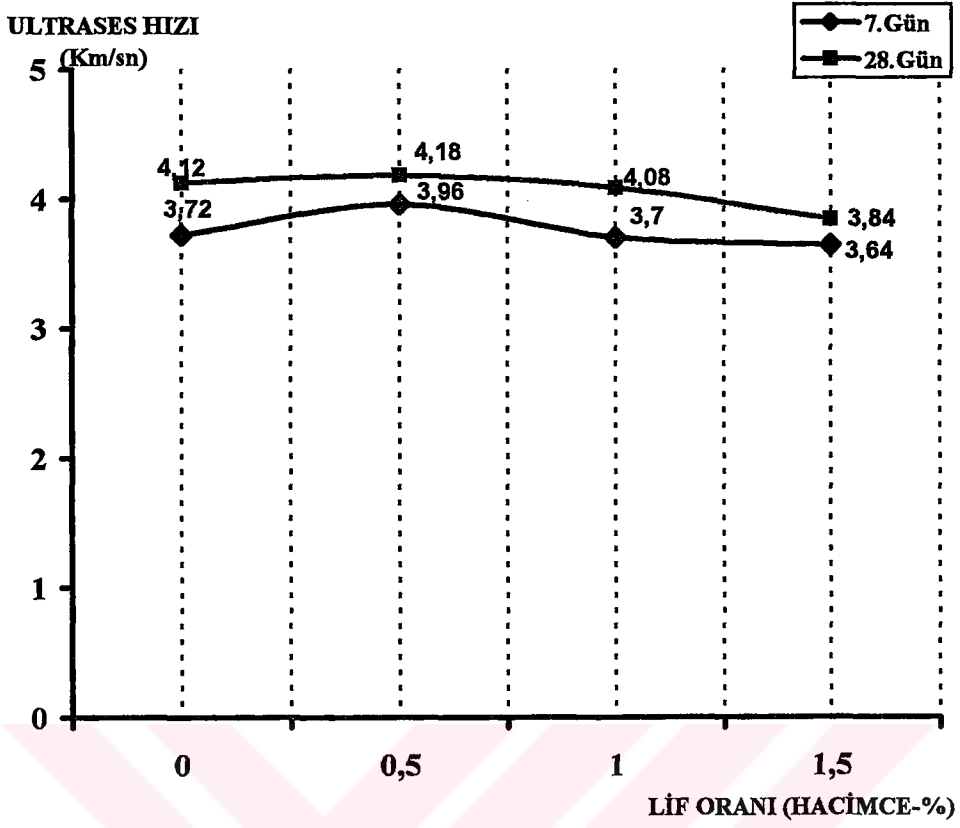
Şekil Ek20. 28 günlük I.tip lifli betonlarda beton cinsi-ultrases hızı ilişkisi



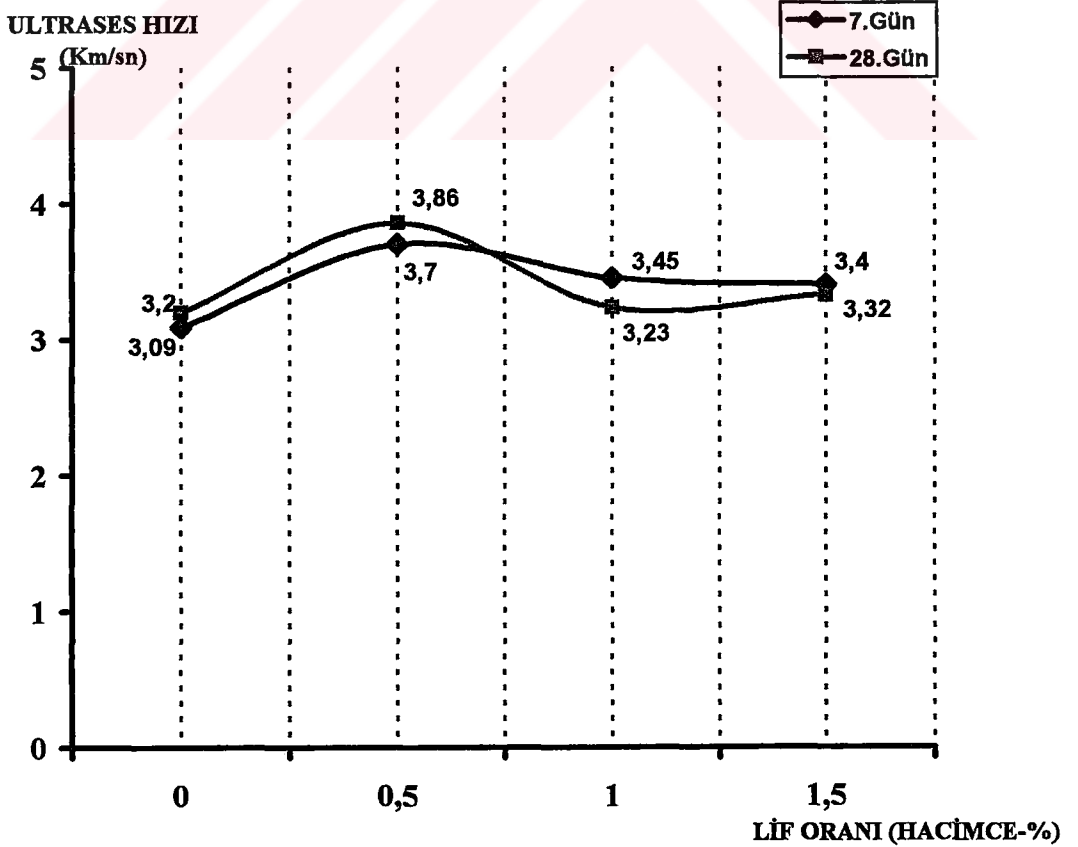
Şekil Ek21. 7 günlük II.tip lifli betonlarda beton cinsi-ultrases hızı ilişkisi



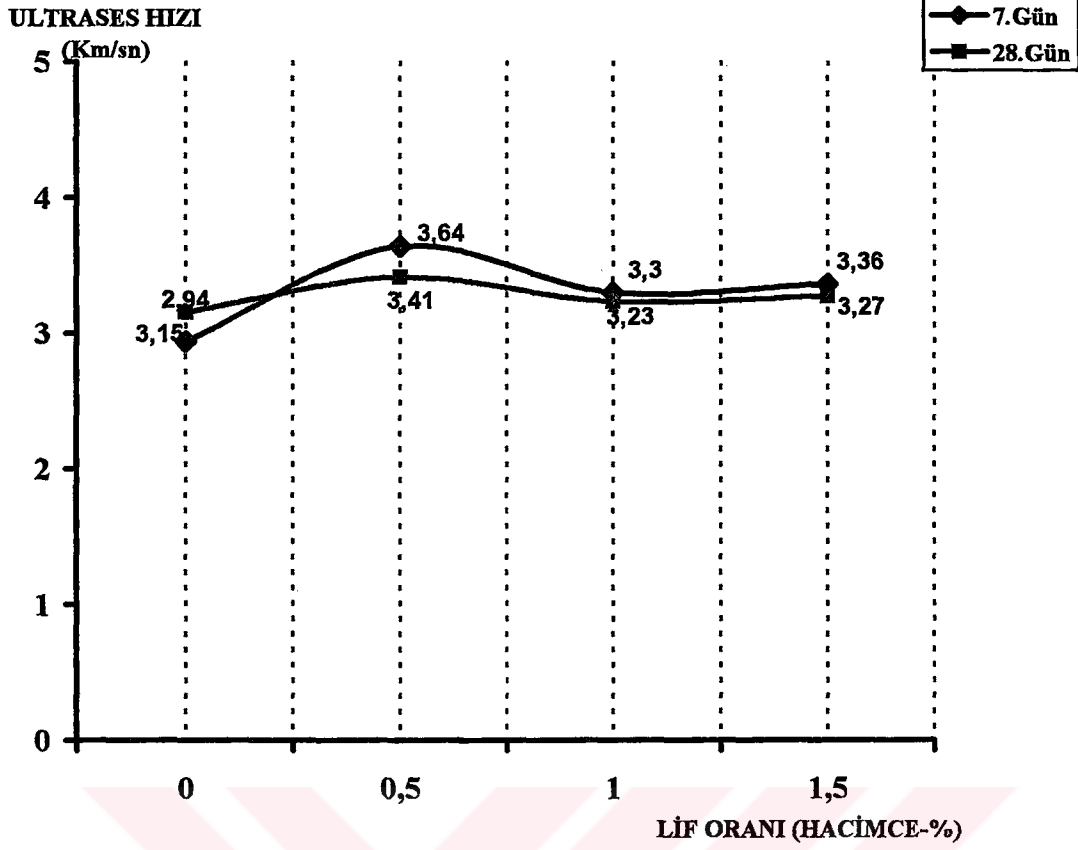
Şekil Ek22. 28 günlük II.tip lifli betonlarda beton cinsi-ultrases hızı ilişkisi



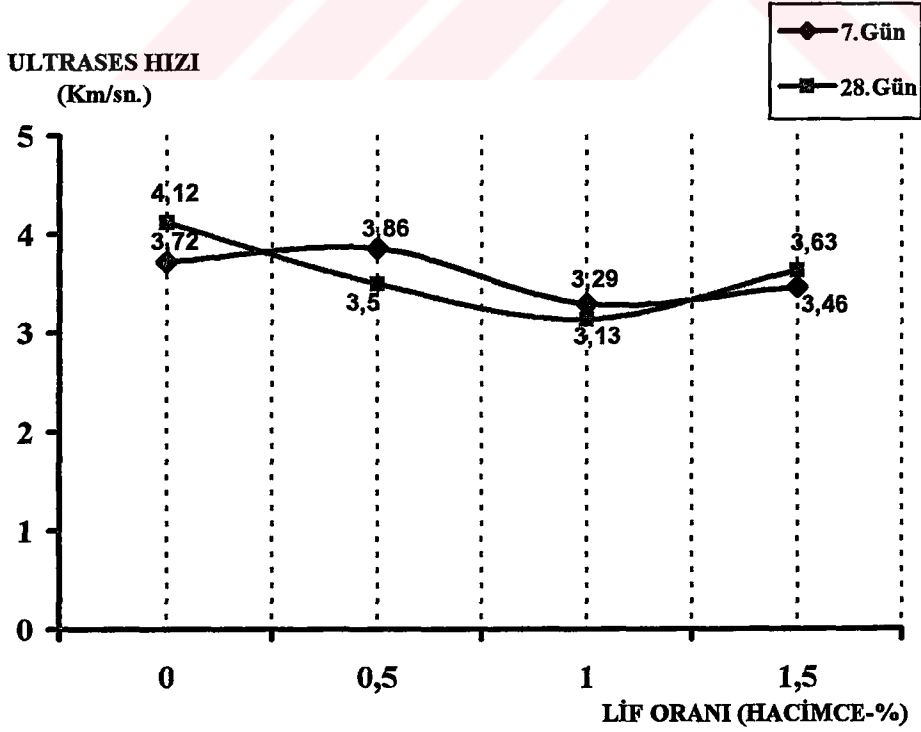
Şekil Ek23. I.Tip lifli normal betonlarda lif oranı-ultrases hızı ilişkisi



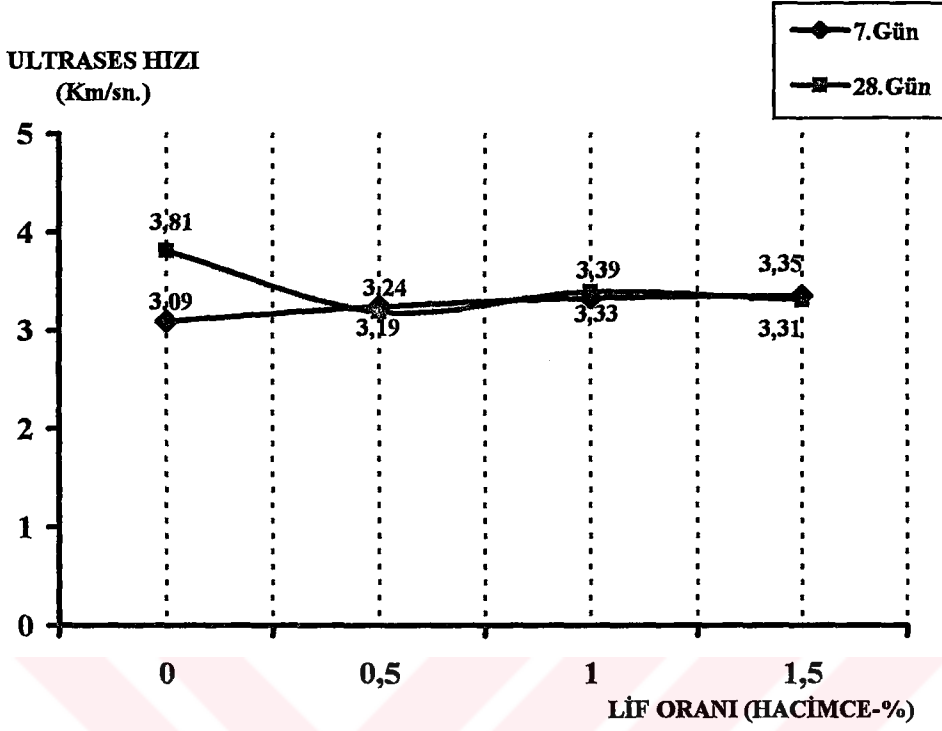
Şekil Ek24. I. Tip lifli yarı hafif betonlarda lif oranı-ultrases hızı ilişkisi



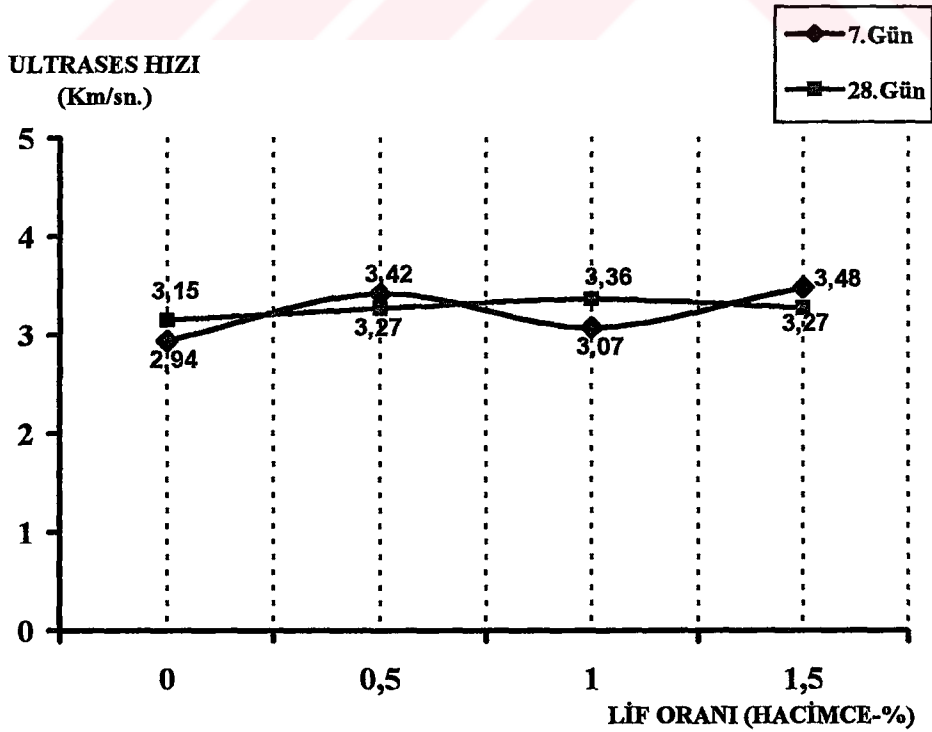
Şekil Ek25. I.Tip lifli hafif betonlarda lif oranı-ultrases hızı ilişkisi



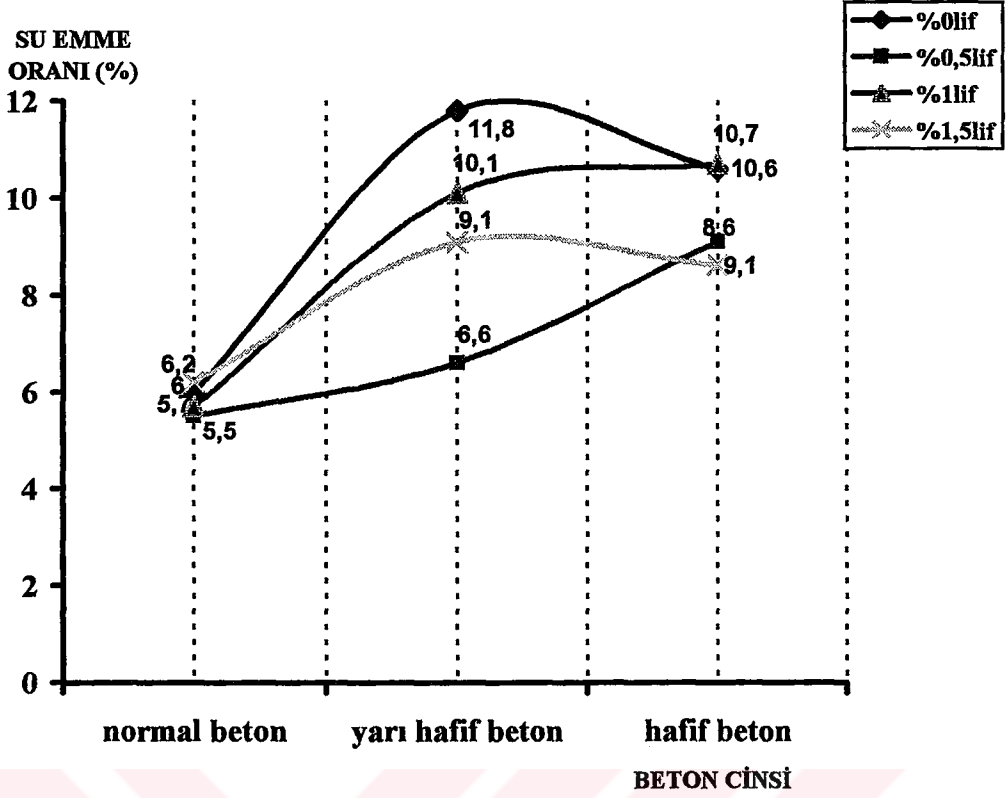
Şekil Ek26. II.Tip lifli normal betonlarda lif oranı-ultrases hızı ilişkisi



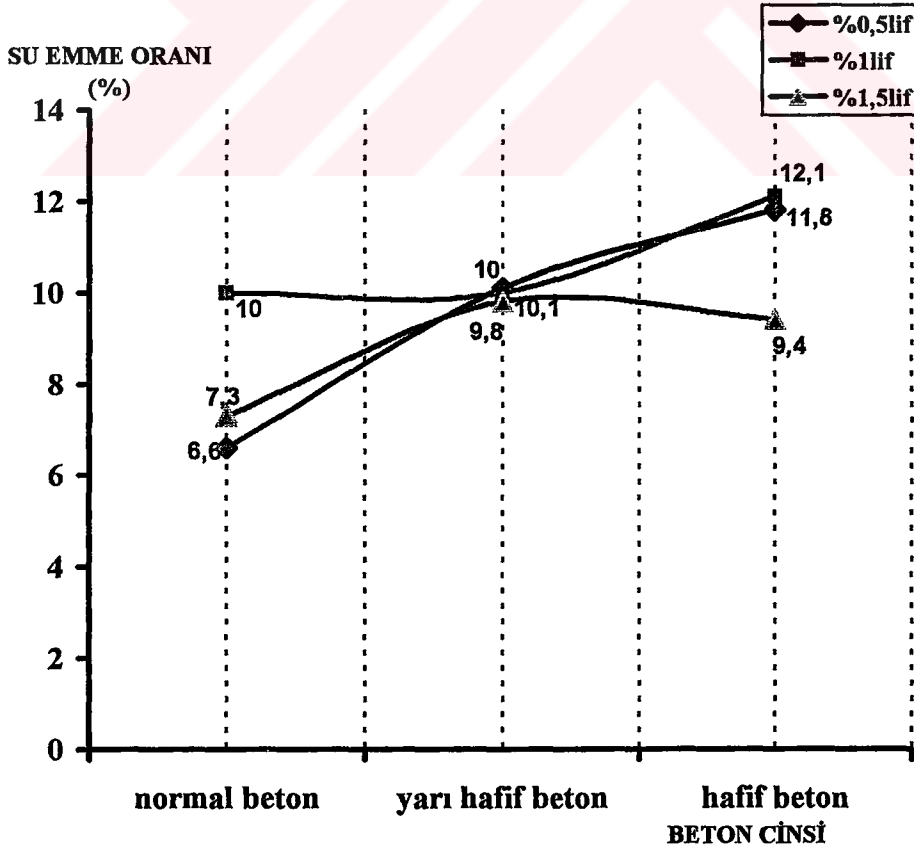
Şekil Ek27. II.Tip lifli yarı hafif betonlarda lif oranı-ultrases hızı ilişkisi



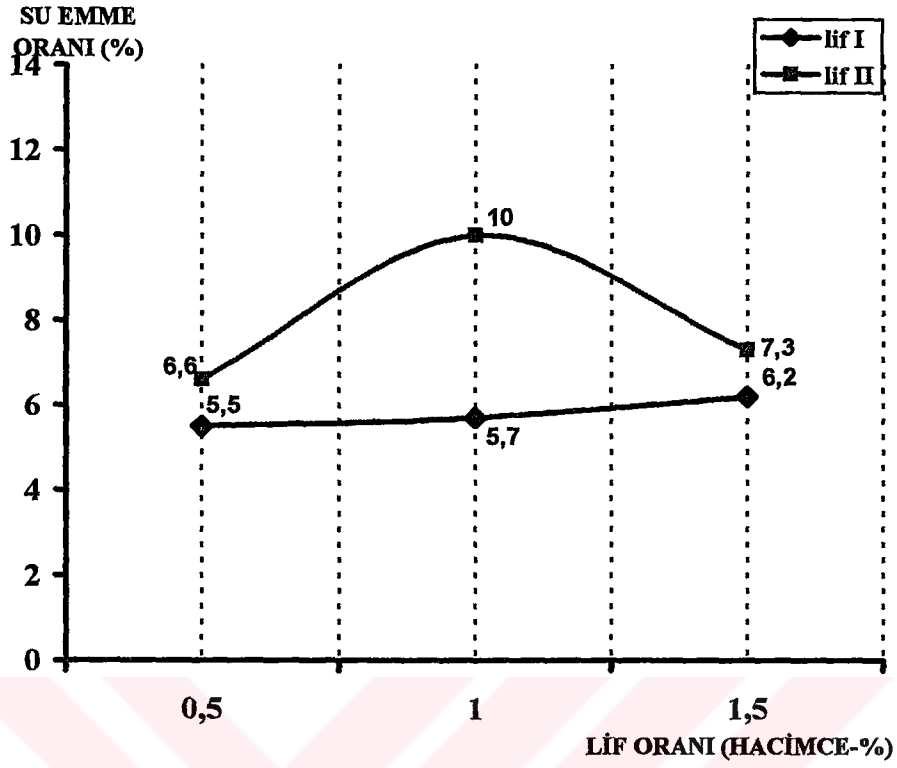
Şekil Ek28. II.Tip lifli hafif betonlarda lif oranı- ultrases hızı ilişkisi



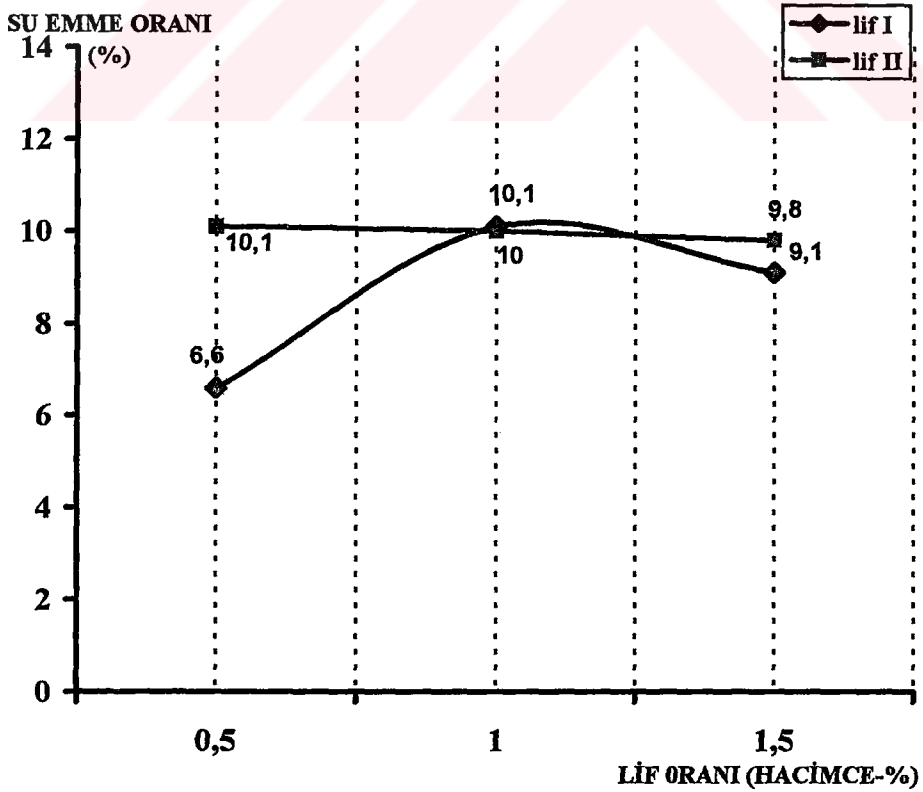
Şekil Ek29. I. Tip lifli betonlarda beton cinsi-su emme oranı ilişkisi



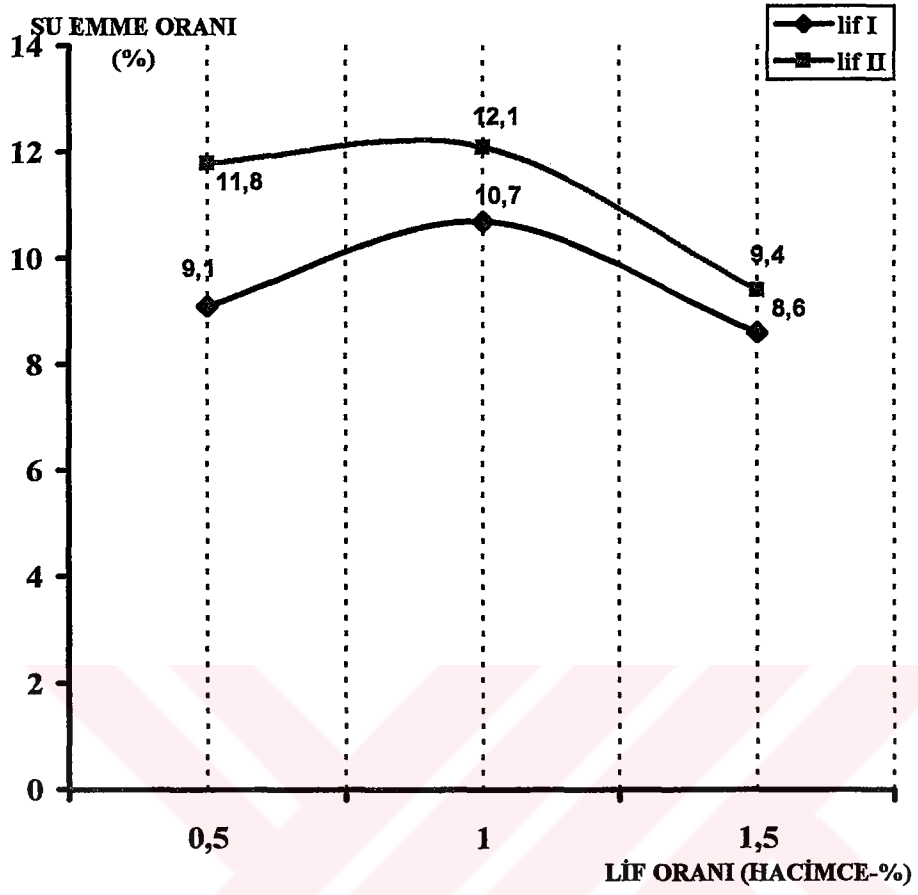
Şekil Ek30. II. Tip lifli betonlarda beton cinsi-su emme oranı ilişkisi



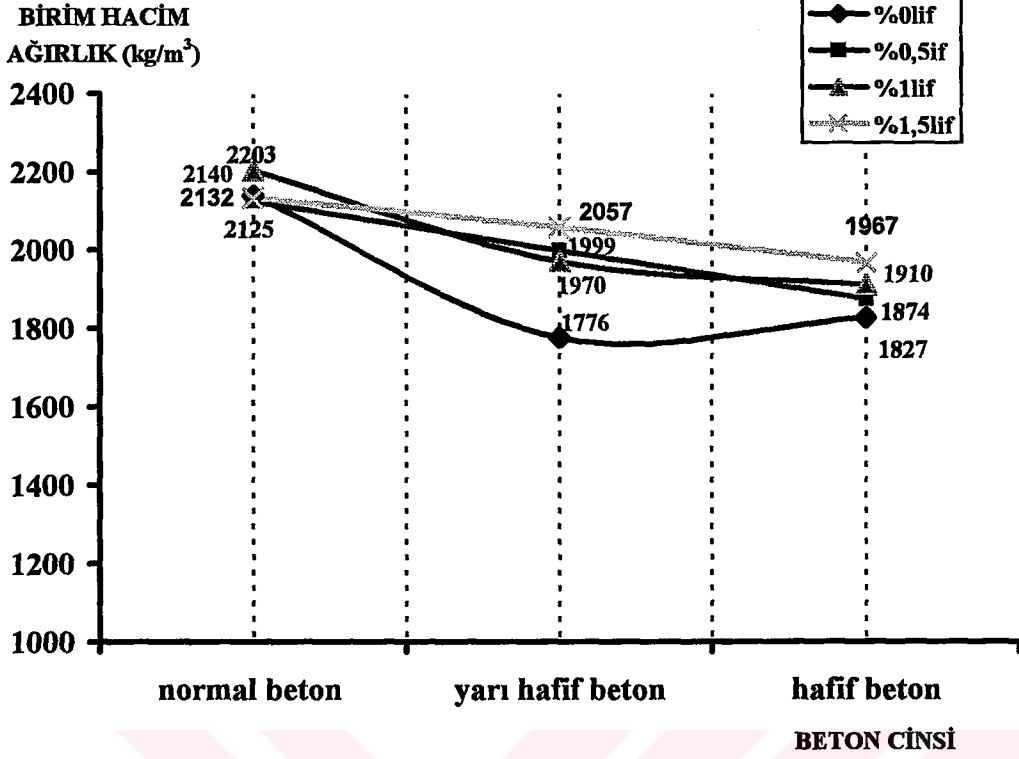
Şekil Ek31. Normal betonlarda lif tipine bağlı lif oranı-su emme oranı ilişkisi



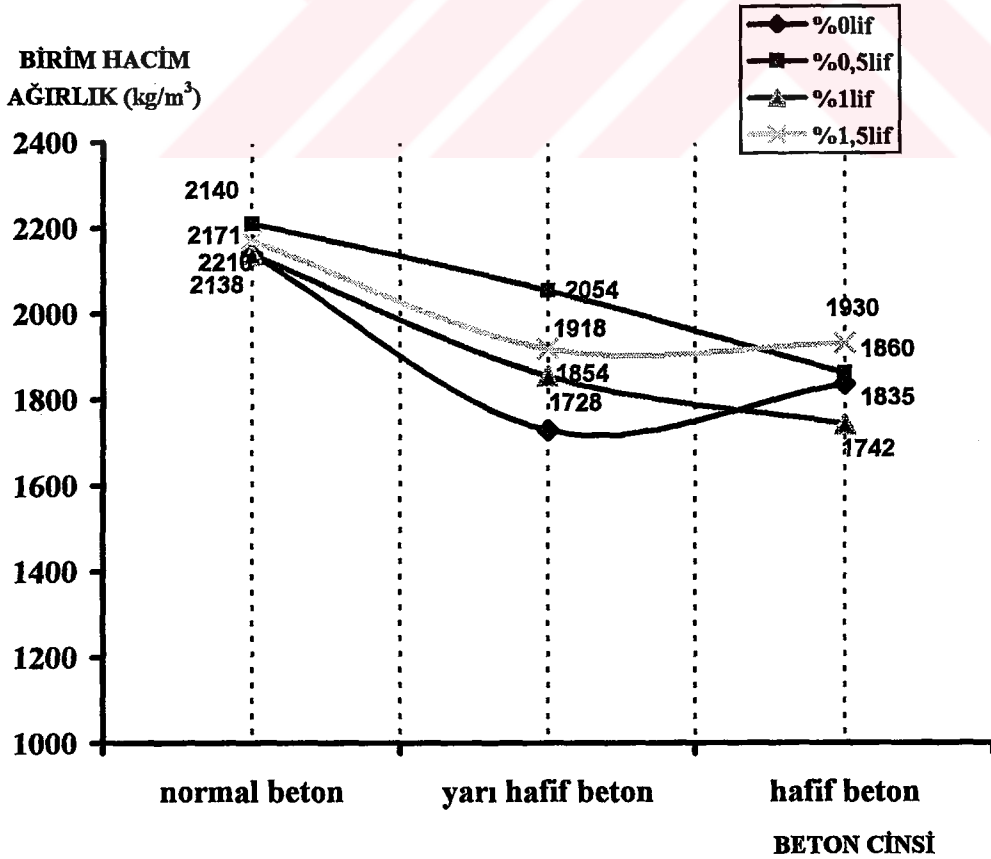
Şekil Ek32. Yarı hafif betonlarda lif tipine bağlı lif oranı-su emme oranı ilişkisi



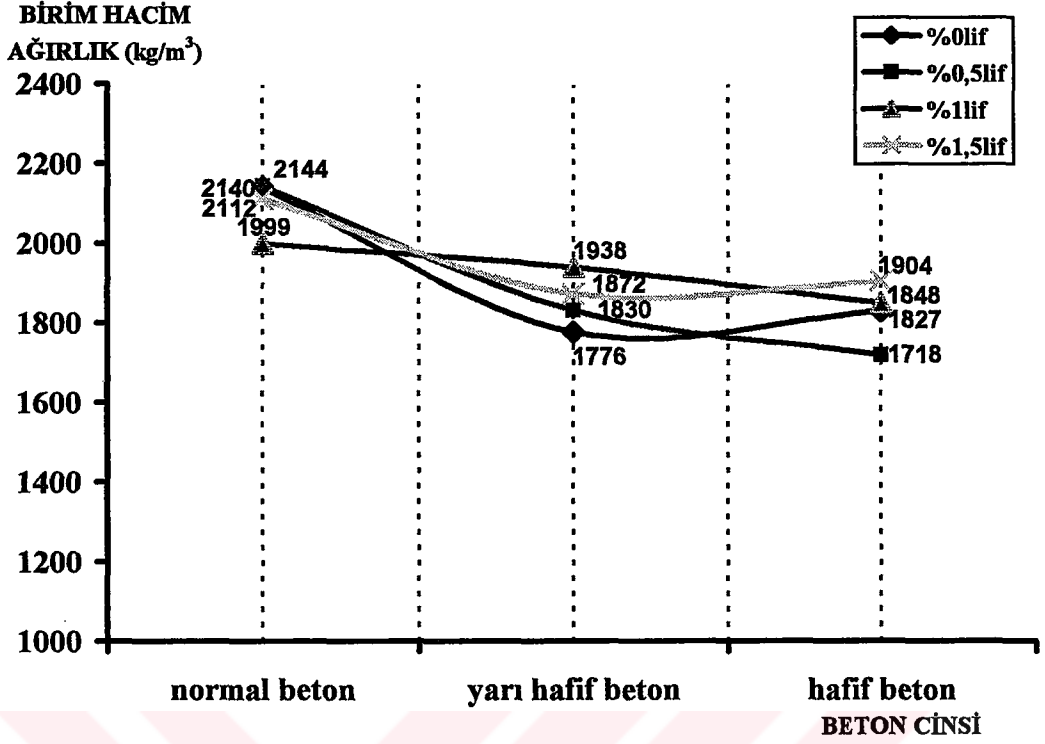
Şekil Ek33.Hafif betonlarda lif tiplerine bağlı lif oranı-su emme oranı ilişkisi



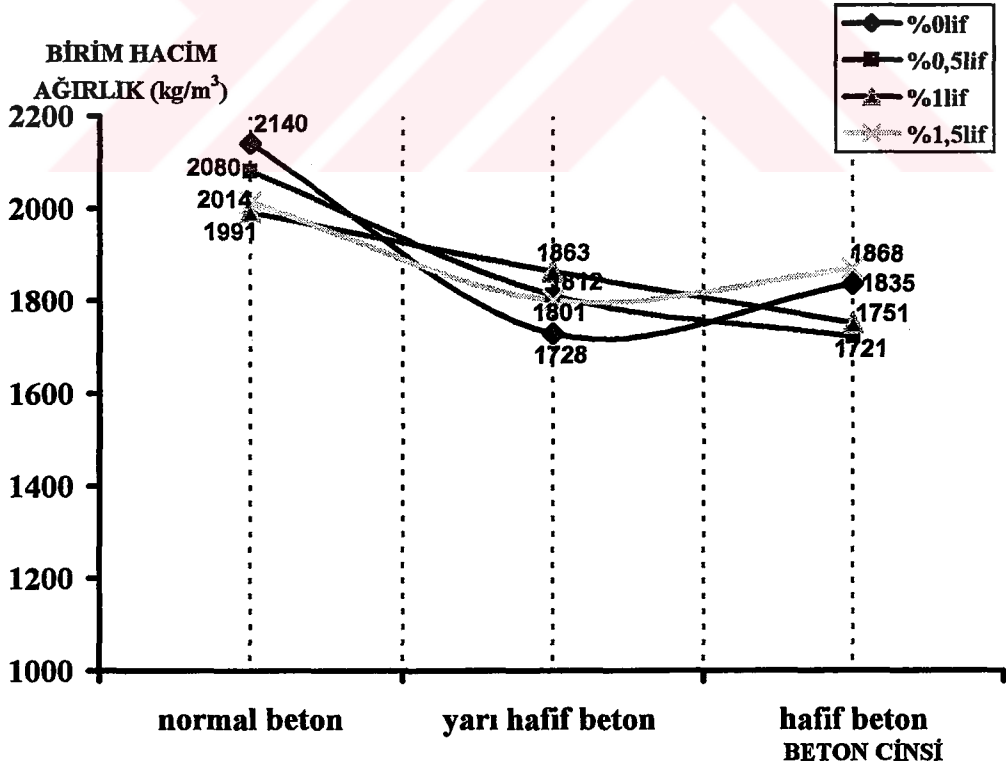
Şekil Ek34. 7 günlük I.tip lifli betonlarda beton cinsi-birim ağırlık ilişkisi



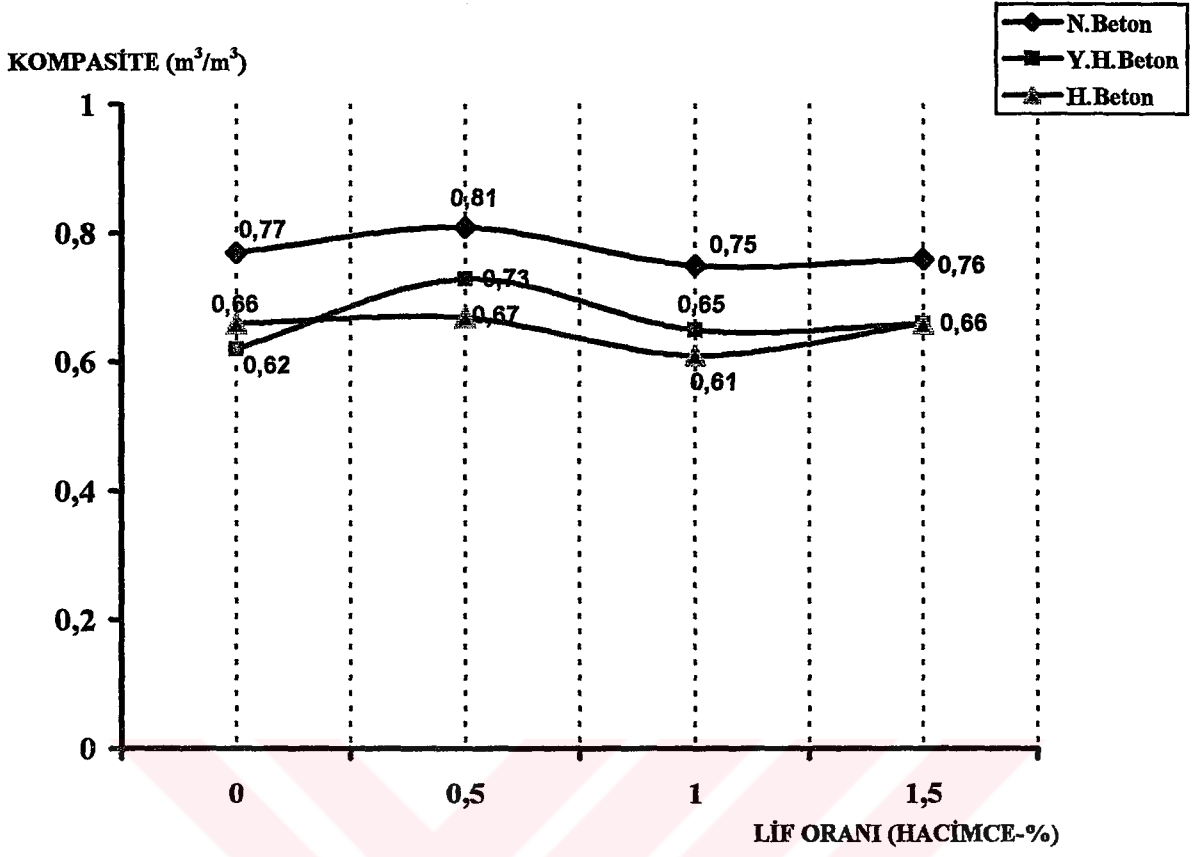
Şekil Ek35. 28 günlük I.tip lifli betonlarda beton cinsi-birim ağırlık ilişkisi



Şekil Ek36.7.günlük II.tip lifli betonlarda beton cinsi-birim ağırlık ilişkisi



Şekil Ek37. 28 günlük II.tip lifli betonlarda beton cinsi -birim ağırlık ilişkisi



Şekil Ek38.Betonlarda lif oranı-kompasite oranı ilişkisi

ÖZGEÇMİŞ

Emre Sancak, 1974 yılında Ankara'nın Sincan İlçesi'nde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Sincan ve Ankara'da tamamladı.

Yüksek öğrenimine, 1991-1992 öğretim yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü'nde başladı. Lisans öğrenimini 1996 yılında tamamladıktan sonra , aynı yıl, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı.

Aralık 1996'da Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü'nde açılan Araştırma Görevliliği imtihanını kazanarak, burada göreve başladı. Şubat 1997 tarihinde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün açmış olduğu sınavı kazanarak, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine devam etmiştir.

Halen, aynı kurumda görevine devam etmektedir.