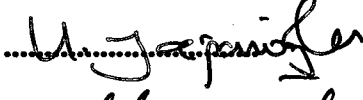
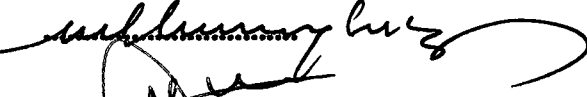


JÜRİ ÜYELERİ

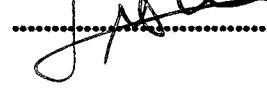
Prof.Dr. A.Vahap YAĞANOĞLU



Prof.Dr. Mustafa OKUROĞLU



Prof.Dr. Mümin FİLİZ



9.11.2000 tarihinde 28 / 321 sayılı kararla kurulan jürimiz iş bu **Doktora** tezini
tarihinde kabul etmiştir.



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA
ANABİLİM DALI

DOĞU ANADOLU BÖLGESİ'NDEKİ DOĞAL HAFİF VE NORMAL
AGREGALARLA ÜRETİLEN BETONLARIN FİZİKSEL, MEKANİK VE
ISI İLETKENLİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ İLE TARIMSAL
YAPILARDA KULLANILMA OLANAKLARI ÜZERİNE BİR
ARAŞTIRMA

Bahar KOCAMAN

Yönetici: Prof. Dr. Mustafa OKUROĞLU

96451

Doktora Tezi

ÖZET

Bu çalışma, Doğu Anadolu Bölgesindeki doğal hafif agregalar ve bunlarla üretilen betonların bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin saptanması, normal agregayla üretilen betonlarla karşılaştırılması ve özellikle tarımsal yapılarda kullanılabilmesi olanaklarını araştırmak amacıyla yapılmıştır. Hafif beton üretiminde Van ili Erciş ilçesi, Kars ili Sarıkamış ilçesi ve Erzurum ili Pasinler ilçesi yöresinde ekonomik potansiyeli bulunan agrega ocaklarından sağlanan hafif agregalar kullanılmıştır. Araştırma konusu olan hafif ve normal agregaya, ilgili standartlardaki deneyler uygulanmış ve agrega özellikleri belirlenmiştir. Özellikleri saptanan agregalar ile çok çeşitli hafif betonlar yapılabileceği düşünülerek, uygulamada kullanılan farklı seçenekler oluşturulmuştur. Elde edilen hafif ve normal taze betonların birim ağırlıkları, içerdikleri hava miktarları ve işlenebilme özellikleri belirlenmiştir. Sertleşmiş beton özellikleri olarak ise hafif ve normal betonlar için 28 günlük basınç dayanımı, birim ağırlık ve ısı iletkenlik, donma-çözülme dayanıklılığı ile su emme değerleri saptanmıştır.

Elde edilen sonuçlar, hafif agregalarla üretilen betonların normal agregalarla üretilen betonlardan daha düşük birim ağırlık ve ısı iletkenlik değerlerine sahip olduğunu, doğal ve granülometrisi ayarlanmış agregalarla üretilen betonlar arasında önemli farklılıklar bulunmadığını, hafif betonların yeterli basınç dayanımlarının ancak yüksek çimento dozajlarında elde edilebildiğini, donma-çözülme etkisinin hafif betonlarda basınç dayanımını arttırdığını ve su emme değerlerinin ise hafif betonlarda yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Hafif beton yapımında kullanılan üç farklı agregadan Van-Erciş yöresi agregası ile üretilen betonlar en düşük birim ağırlık ve ısı iletkenlik değerleri göstermiş, bunları Erzurum-Pasinler ve Kars-Sarıkamış yöresi hafif agregası ile elde edilen betonlar izlemiştir.

Sonuç olarak Doğu Anadolu Bölgesi'nde bol miktarda bulunan araştırma materyali hafif agregaların belirlenen özellikleri dikkate alınarak yöredeki tarımsal yapılarda hafif beton yapımında kullanılmalarının yararlı olabileceği kanısına varılmıştır.

SUMMARY

This research was carried out to determine some physical and mechanical properties of concretes produced with natural lightweight aggregates in Eastern Anatolian Region, to compare with normal concrete, and to investigate usage probabilities especially in agricultural buildings. To produce lightweight concretes, lightweight aggregates were used from different sources with economical potential, located in Van-Erciş province, Kars-Sarıkamış province and Erzurum-Pasinler province. Aggregate tests were done in the related standards of lightweight and normal aggregates and the aggregate properties were determined. Different alternatives used in this study were formed with the consideration that various lightweight aggregate concretes could be produced with aggregates with certain properties. Unit weights, air contents and workability of available lightweight and normal fresh concretes were determined. As for hardened concrete properties, compressive strength of 28 days, unit weight and heat conductivity, freezing and thawing durability and water absorption values for lightweight and normal concretes, were determined.

The results obtained have shown that concretes produced with lightweight aggregates has lower unit weight than that of normal aggregates, no significant differences were found between the concretes produced with natural and adjusted grading aggregates, enough compressive strength of lightweight concretes could be provided in only higher cement contents, the effects of freezing and thawing increased compressive in lightweight concretes and water absorption values was higher in lightweight concretes. Among the three different aggregates used to produce lightweight concrete, lower unit weight and heat conductivity were determined from the concrete produced with Van-Erciş aggregates and followed by Erzurum-Pasinler and Kars-Sarıkamış lightweight aggregates.

In the light of these results, it can be said that lightweight aggregates, commonly found in Eastern Anatolia Region, can be used to construct agricultural buildings.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada katkı ve yardımlarını gördüğüm tez yöneticisi sayın hocam Prof. Dr. Mustafa OKUROĞLU'na, çalışmalarımın her aşamasında büyük ilgi ve destekleriyle yardımcı olan sayın hocam Doç. Dr. İbrahim ÖRÜNG ve eşim Yrd. Doç. Dr. E. Mahmut KOCAMAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca Mühendislik Fakültesinde yapılan çalışmalarda büyük desteğini esirgemeyen sayın Prof. Dr. Avni ÇAKICI'ya teşekkürlerimi sunarım. Laboratuvar çalışmalarında yardımcı olan bölüm çalışanlarından Hasan YAZICI ve tez çalışmalarına katkıda bulunan Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü akademik ve idari personeline teşekkür ederim.

Dr. Yöneticisi
Doç. Dr. İbrahim ÖRÜNG
Yrd. Doç. Dr. E. Mahmut KOCAMAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	I
SUMMARY	II
TEŞEKKÜR.....	III
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	5
2.1. HAFİF AGREGALARIN ÖZELLİKLERİ	5
2.1.1. Granülometri	6
2.1.2. En Büyük Tane Boyutu	7
2.1.3. Tane Şekli ve Yüzey Yapısı.....	7
2.1.4. Birim Ağırlık ve Yoğunluk.....	8
2.1.5. Agrega Tanelerinin Boşluk Oranı ve Su Emmesi	9
2.1.6. Basınç (Ezilme) Dayanımı.....	10
2.1.7. Zararlı Maddeler.....	10
2.2. HAFİF BETONLAR.....	11
2.2.1. Sertleşmiş Beton Özellikleri	11
2.2.1.1. Birim Ağırlık ve Su Emme	12
2.2.1.2. Basınç Dayanımı	12
2.2.1.3. Donma-Çözülme Dayanıklılığı	13
2.2.1.4. Rötire	14
2.2.1.5. Isı İletkenlik	15
2.2.1.6. Ses Emme.....	16
2.2.1.7. Kesilebilme ve Çivilenebilme	17
2.2.1.8. Donatı Çeliğine Bağlanma (Yapışma).....	17
2.2.1.9. Kimyasal Çözücülere Dayanıklılık	17
2.2.2. Taze Beton Özellikleri.....	18
2.2.2.1. Birim Ağırlık.....	18
2.2.2.2. İşlenebilme.....	18
2.2.2.3. Hava Miktarı	19
2.2.3. Karışım Oranları ve Betonun Üretimi	19

2.2.3.1. Karışım Oranları.....	19
2.2.3.1.1. En Büyük Tane Boyutu	20
2.2.3.1.2. Su Oranı	20
2.2.3.1.3. Çimento Oranı (Dozaj)	21
2.2.3.1.4. Agregâ Miktarları ve Oranları.....	21
2.2.3.1.5. Hava Katkısı.....	22
2.2.3.1.6. Birim Ağırlık.....	22
2.2.3.1.7. Karışımındaki Malzeme Oranlarının Saptanması	23
2.2.3.2. Betonun Üretimi	23
2.2.3.2.1. Karıştırma.....	24
2.2.3.2.2. Taşıma ve Yerleştirme.....	24
2.2.3.2.3. Bakım (kür) ve Kontrol.....	25
2.3. HAFİF BETONLAR ÜZERİNDE DAHA ÖNCE YAPILAN BAZI ÇALIŞMALAR	25
3. MATERYAL VE YÖNTEM	32
3.1. MATERYAL	32
3.1.1. Hafif Agregalar	32
3.1.2. Normal Agregâ.....	36
3.1.3. Çimento	37
3.1.4. Beton Karma Suyu	37
3.2. YÖNTEM	38
3.2.1. Agregâ Deneylerinde Uygulanan Yöntemler.....	39
3.2.2. Hafif Agregaların Ocaktan Alınışı	39
3.2.3. Agregalar Üzerinde Yapılan Deneyler	40
3.2.3.1. Tane Büyüklüğü Dağılımı.....	40
3.2.3.2. Birim Ağırlık	40
3.2.3.3. Organik Madde	40
3.2.3.4. İnce Madde	41
3.2.3.5. Sülfat Miktarı	41
3.2.3.6. Çeliğe Zarar Veren Maddeler	42
3.2.3.7. Özgöl Ağırlık ve Su Emme	43
3.3. BETON SEÇENEKLERİNİN SAPTANMASI	44
3.3.1. Karışım Oranlarının Saptanması	47

3.4. TAZE BETON DENEYLERİNDE UYGULANAN YÖNTEMLER	53
3.4.1. Karışımların Üretilmesi	53
3.4.2. Kıvamın Belirlenmesi.....	54
3.4.3. Taze Betonun Birim Ağırlığı	56
3.4.4. Beton Örneklerinin Hazırlanması.....	57
3.4.5. Betonun Kürü.....	57
3.5. SERTLEŞMİŞ BETON DENEYLERİNDE UYGULANAN YÖNTEMLER.....	58
3.5.1. Örneklerin Başlıklanması	58
3.5.2. 28 Günlük Birim Ağırlık	59
3.5.3. Donma-Çözülme Dayanıklılığı	60
3.5.4. Isı İletkenliği	60
3.5.5. Basınç Dayanımı	62
3.5.6. Su Emme.....	62
3.6. VERİLERE UYGULANAN İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER.....	63
4.SONUÇ VE TARTIŞMA.....	64
4.1. AGREGA ÖZELLİKLERİ	64
4.1.1. Elek Analizi ve Granülometri	64
4.1.2. Zararlı Maddeler.....	71
4.1.3. Birim Ağırlık, Özgül Ağırlık ve Su Emme.....	72
4.2. BETON ÖZELLİKLERİ	76
4.2.1. Karışım Oranları.....	77
4.2.2. Birim Ağırlık.....	86
4.2.3. Isı İletkenliği	95
4.2.4. Basınç Dayanımı	104
4.2.5. Donma-Çözülme Dayanıklılığı	114
4.2.6. Su Emme.....	123
5. ÖNERİLER.....	129
KAYNAKLAR.....	133

1. GİRİŞ

Beton, kum, çakıl (veya kırma taş, hafif agrega vb.), çimento ve suyun karıştırılmasından elde edilen bir yapı malzemesidir. Sözü edilen malzemeler belirli oranda karıştırıldığında, kalıplarda istenilen biçimi alabilecek plastik bir malzeme elde edilir. Betonun diğer yapı malzemelerine üstün kılan en önemli özelliklerinden biri, istenilen biçimin verilmesini sağlayan plastik kıvamıdır. Beton karıştırılıp kalıba döküldükten sonra kısa sürede katılaşıp ve zamanla dayanım kazanır (1).

Normal beton, agrega (kum, çakıl, mıcır), çimento ve suyun uygun bir oranda karıştırılmasıyla oluşan ve belirli bir süre sonunda sertleşerek yüksek dayanım kazanan bir yapı malzemesidir (2). Fazla dayanım istenen durumlarda, özellikle yük taşıyan yapı elemanlarında kullanılan önemli bir yapı malzemesidir. Bununla birlikte ağır bir malzemedir. Hafif beton, normal betona göre bazı farklı özellikleri bulunan, genellikle boşluklu, daha düşük birim ağırlığa ve dayanıma sahip, fakat aynı amaçlarla kullanılabilen betondur. Hafif betonlar, farklı yapım tekniği ve değişik maddeler kullanılarak üretilirler. Bu bakımdan hafif betonlar; hafif agregalı betonlar; ince agregasız betonlar ve boşluklu (havalı) betonlar olmak üzere gruplandırılırlar (3). Hafif betonlar, belirli bir dayanım için yoğunluğun az olması istenilen durumlarda yeğlenen malzemelerdir. Yapıda hafif malzeme kullanma gereksinimi tarihte çok eski zamanlarda bile düşünülmüş olup, Romalılar zamanında sünger taşı gibi hafif taşlar yapılarda kullanılmıştır. Hafif malzemenin beton yapımında yaygın olarak kullanılması geçen yüzyılın ortalarına rastlamaktadır. Bu tarihlerde Almanya’da “Bims Beton” diğer bir anlatımla sünger taşı agregası kullanılarak, hafif beton üretilmeye başlanmıştır (4).

Hafif betonların kullanımlarının bazı üstünlükleri; birim kütlelerinin hafifliği, ateşe dayanıklılığı, ses ve ısıya karşı yalıtkan olması, eğilme etkisindeki elemanlarda donatı ekonomisi sağlaması, yapı elemanlarının ve temel boyutlarının küçülmesi, kalıplara normal betonlardan daha az bir basıncın gelmesiyle kalıp giderlerinin azalması şeklinde sıralanabilir. Bununla birlikte, mekanik dayanımlarının normal betona göre düşük, ani

ve geciken şekil değiştirmelerinin büyük oluşu, üretim ve yerleştirilmesinde daha fazla özen istemesi hafif betonların başlıca sakıncalarını oluşturmaktadır (5).

İlk uygulamalarda, hafif betonun birim hacim ağırlığı ve ısı iletkenlik katsayısının küçük oluşu ekonomik yararlarının temelini oluşturmuştur. Bugün yalıtım elemanı olarak kullanılmalarının yanısıra taşıyıcı özelliği olan elemanlarda da hafif beton kullanılmaya başlanmış, dolayısıyla mekanik karakteristiklerinin bilinmesine gerek duyulmuştur (6).

Hafif betonların normal betonlara göre daha düşük ağırlıkları nedeniyle yapılarda donatı miktarında artım sağlaması, temel ve kolon gibi taşıyıcı elemanların kalınlıklarının azaltılabilmesi, dış etkenlere karşı daha fazla dayanıklılık göstermesi ve daha iyi ısı yalıtımı özelliğine sahip olması gibi üstünlükleri bulunmaktadır. Hafif betonun sakıncaları ise, dayanımının normal betonlara göre daha düşük olması, rötre, permeabilite ve su emmelerinin yüksek olması şeklinde sıralanabilir (10). Hafif betonun bileşimini oluşturan malzeme özellikleri, karışım oranları ve sıkışma derecesi kolaylıkla değiştirilebildiğinden özellikleri kontrol altına alınabilmektedir. Böylece hafif beton kullanışlı ve esnek yeteneklere sahip bir malzeme olarak kabul edilebilir (11).

Yurdumuzda kömür cürufu, yüksek fırın cürufu, uçucu kül ve benzeri yapay hafif agrega ile doğal hafif agrega, hafif beton üretiminde kullanılmaktadır. Hafif beton üretiminde daha ekonomik olabilen doğal hafif agregalar başta tuf olmak üzere çeşitli bölgelerimizde bol miktarda bulunmaktadır (4).

Hafif agregalarla yapılacak hafif betonların yapılarda, özellikle tarımsal yapılarda kullanılmasıyla sağlanacak başlıca üstünlükler; ulaşım ve taşıma olanakları sınırlı olan kırsal yerleşimlere aynı amacı gerçekleştirecek diğer malzemelere oranla hafif olması nedeniyle daha ucuz ve kolay götürülebilmesi, hafif ve büyük boyutlardaki elemanların kısa sürede tamamlanabilmesi ve ısı yalıtımı bakımından daha iyi özelliklere sahip olması şeklinde sıralanabilir. Bu bakımdan kırsal yerleşimlerde yakıt sorununun

özmlenmesine dolaylı olarak katkıda bulunabilir. Konut, hayvan barınağı ve ürün depoları gibi kontrollü ısı ve nem koşullarının bulunması gerekli yapıların yapımında ve yalıtımlarında başarıyla kullanılabilir (13).

Standartlarda 28 günlük silindir basınç dayanımı 170 kgf/cm^2 'den küçük olmayan ve birim ağırlığı 1.85 kg/dm^3 'den büyük olmayan betonlar taşıyıcı hafif beton olarak kabul edilmektedir (7). Bu tür betonların yapılarda kullanılmasıyla sağlanan en büyük yarar tüm yapı yüklerinin büyük ölçüde azalmasıdır (7, 8).

Yapı yüklerinin azalmasıyla taşıyıcı sistemi oluşturan yapı elemanlarının kesitleri belirgin ölçüde küçüldüğünden yapının depreme karşı dayanıklılığında önemli bir artış elde edilebilmektedir (7).

Yürürlükteki deprem haritasına göre, Türkiye'nin %92'si deprem kuşağında ve nüfusun da %96'sı bu kuşağa giren bölgelerde yaşamaktadır. Türkiye'deki yapıların ancak %10'u deprem yönetmeliğinin öngördüğü genel ilkelere uygun olarak yapılmıştır. Hafif yapılara deprem sırasında gelecek dinamik kuvvetlerin daha az olmasından dolayı, bunların oluşturacağı gerilmelerin küçülmesiyle depreme karşı dayanım artacaktır. Hafif yapılar depremden daha az etkileneceğinden betonarme yapılarda hafif betonun kullanılması, depremden korunma yönünden de Türkiye için çok önemli bir nlem olacaktır (9).

Hafif betonların birim hacim ağırlıkları düşük olduğundan ısı yalıtımları yüksektir. Bağka bir anlatımla normal betonlara göre %48 oranında daha düşük ve daha iyi yalıtım özelliğine sahip bulunmaktadır. Türkiye'de tüketilen enerjinin %41'inin ısıtmada kullanıldığı göz önüne alınırsa hafif betonun kullanılmasıyla sağlanan ekonomi daha iyi anlaşılabacaktır (9).

Yurdumuzda tarımsal yapılar, malzeme özelliği ve yapım tekniği yönünden beklenen minimum koşulları yerine getirmekten genellikle uzaktır (14). Bu nedenle doğal afetlere ve özellikle depreme karşı yeterli dayanım gösterememektedir. Hafif beton, yapı ağırlığını (kullanılma oranına bağlı olarak) azalttığından depremin yapı üzerindeki etkisi de azaltılabilir (4). Benzer uygulama durumu göz önüne alınırsa hafif beton yapı elemanlarında, normal betona göre daha az donatı çeliğine gereksinme duyulmaktadır. Hafif beton, donatı çeliğini dış etkilere karşı daha iyi koruyabilme özelliğine ve ateşe karşı daha fazla dayanıklılığa sahip bulunmaktadır (12).

Hafif yapı malzemelerinin deprem, yapı ekonomisi, ısı ve ses yalıtımı, ateşe karşı dayanıklılık gibi bir çok soruna çözüm getirmesi ve özellikle bu malzemelerin başında gelen pomzanın Doğu Anadolu Bölgesi'nde yaygın olarak bulunması, hafif betonların araştırılmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Normal betona göre üstünlükleri açıklanan hafif betonun özellikle kırsal yerleşimlerde ve tarımsal yapılarda kullanılması olanaklarının araştırılmasıyla ülke kalkınmasına ve özellikle deprem etkisinde kalan yapılarda birçok sorunun çözümüne katkıda bulunulacağı bir gerçektir.

Bu çalışmada, Doğu Anadolu Bölgesi'nde konuyla ilgili ayrıntılı araştırmaların yapılmamış olması da göz önünde tutularak, Van ili Erciş ilçesi , Kars ili Sarıkamış ilçesi ve Erzurum ili Pasinler ilçesi yörelerinde bulunan hafif agraga ocaklarından sağlanan doğal hafif agregaların ve bunlarla üretilen hafif betonların özellikleri ile bu malzemenin tarımsal yapılarda kullanılabilme olanakları araştırılmıştır.

Araştırmada, üç ayrı hafif agraga ocağından elde edilen hafif agregalar ve normal agraga kullanılarak doğal ve ayarlanmış granülometrili, 150, 250 ve 350 kg/m³ dozajlı, sabit çökme değeri (5 cm) veren betonlar üretilmiştir. Toplam 24 farklı karışım (4x2x3) elde edilmiştir. Bu karışımların her bir özelliği için üç tekerrür düşünülmüş ve aritmetik ortalaması alınmıştır. Üretilen örneklerin kuru birim ağırlığı, su emme, 28 günlük basınç dayanımı, donma-çözülme dayanıklılığı ve ısı iletkenliği değerleri belirlenmiştir.

Araştırmadan elde edilen sonuçlar bu konuda yapılacak benzer araştırmalara ışık tutabileceği gibi hafif agregalar ocaklarının gerçek anlamda değerlendirilmesi konusunda da gerekli verileri sağlayabilecektir. Ayrıca araştırmada izlenen yöntemlerin, bölgede bulunan benzer nitelikli diğer hafif agregalarından elde edilecek hafif agregaların özelliklerinin saptanmasına uygulanmasıyla da bu ocakların hafif beton üretiminde kullanılabilme olanaklarıyla kırsal alanlarda ve tarımsal yapılarda da yararlanılmaları ortaya konabilecek, uygun niteliklere sahip beton üretiminin gerçekleştirilmesine katkıda bulunulabilecektir.

2. GENEL BİLGİLER

Bu bölümde hafif agregalar ve hafif betonların özellikleri hakkında bilgi sunulmaktadır. Çalışmada hafif beton deyimiyle hafif agregalar (pomza) ile üretilen betonlar tanımlanmakta olup hafif betonlarla karşılaştırma amacıyla normal betonlar da aynı koşullarda üretilip araştırılmıştır. Normal agregalar ve normal betonun özellikleri yaygın olarak bilindiğinden burada ayrıca verilmemiştir.

2.1. Hafif Agregaların Özellikleri

Hafif agregalar (pomza), volkanik bir kayalar türü olup asidik ve bazik karakterli volkanik olaylar sonucu oluşmuştur. Volkan camı yapısındadır (15). Oluşumunda volkan bacasının tıkanması ile bacadaki basıncın yükselmesi sonucu magma ve içindeki çözünmüş su ve diğer gazlar püskürtme ile birlikte atmosfere yayılır. Su buharı ve gazları kayıp olmuş olan magma, atmosferle hızlı temas ve soğuma sonucu bol gözenekli ve camsı yapıda, ısı geçirgenliği düşük olan hafif agregayı (pomza) oluşturur (16). Yeryüzünde en yaygın olarak bulunan ve kullanılan türü olan asidik pomza, beyaz, kirli renkte olanıdır. Pomzanın su emmesi %50'den fazladır (15). Pomza oluşum sırasında birden bire soğuma ve gazların bünyeden ayrılması sonucu oldukça gözenekli bir yapı kazanmaktadır. Gözenekler birbiri ile bağlantılı değildir. Asidik magmanın yoğunluğu bazik olanlara göre daha az olup $0.5-1 \text{ g/cm}^3$ arasında değişmektedir. Pomzanın fazla gözenekliliğinden dolayı ısı ve ses geçirgenliği oldukça düşüktür.

Bünyesinde kristal suyu yoktur. Kimyasal olarak %75'e varan silis içeriğine sahiptir (17).

Agregaların özellikleri bunlarla yapılacak betonun özelliklerini etkiler. Agregaların fiziksel dayanımı, tanelerin şekli ve yüzey yapısı, birim ağırlığı ve su emmesi, granülometrisi, nem etkisiyle oluşan boyut değişimleri ve ısı ile ilgili özellikleri beton yapımında önem taşır. Beton özellikleri, agrega özellikleri ile birlikte çimento niteliği, karışım oranları ve sıkıştırma derecesi tarafından da etkilenir (13).

Pomzadan Ülkemizde ve dünyada geniş anlamda yapı alanında yararlanılmaktadır. Ülkemizde üretilen pomzanın %90'ı yurt içindeki yapılarda kullanılmaktadır. Pomza, normal kumun ve çakılın 1/3 ile 2/3'ü kadar yoğunluğa sahiptir. Aynı durum pomza ile yapılan betonlarda da söz konusudur. Pomza betonun, normal betonlardan hafif olması nedeni ile zaman ve işçilikten tasarruf sağlanmaktadır. Ayrıca zemin mekaniği açısından temele iletilen yük azalacağından yaklaşık %17 dolayında yapı çeliğinden de tasarruf sağlanabilmektedir. Pomzanın ısı geçirgenlik katsayısı normal betondan 6 kat daha fazla olduğundan büyük çapta ısı ve enerji tasarrufu sağlamaktadır (17). Hafif beton üretimi bakımından agreganın önemli özellikleri; granülometrisi, en büyük tane boyutu, birim ağırlığı, tane şekli ve yüzey yapısı ile su emmesidir.

2.1.1. Granülometri

Agreganın granülometrisi, boyutları belirli sınırlar arasında bulunan tanelerin agrega içerisindeki dağılım oranını belirler. Agregada granülometrisi üretilen beton özellikleri üzerinde önemli etkilere sahiptir (18).

Agreganın farklı en büyük tane boyutuna göre üretilcek betonlar için değişik granülometrilere gerek duyulur. Hafif agregalar ve bunlarla yapılacak değişik nitelikteki betonlar için gerekli agrega granülometrisi TS 1114 ve ASTM C 330, ASTM C 331 ve ASTM C 332 gibi çeşitli standartlarda verilmiştir (19, 20, 21 ve 22).

Hafif agregalar tane büyüklüklerine göre genel olarak ince agreg, iri agreg ve karışık agreg olarak sınıflandırılmaktadır (19). Agreg granülometrisi; beton birim ağırlığı ve gerekli karışım suyu miktarını değiştirdiğinden, dolaylı olarak betonun basınç dayanımı üzerinde de etkili olmaktadır (18).

Hafif agreganın granülometrisi özellikle beton duvar birimlerinde, birimlerin ağırlığını, dayanımını, dış yüzeylerinin yapısını, ısı yalıtımını ve ses emme gibi fiziksel özelliklerini etkilediğinden, büyük önem taşımaktadır (23).

2.1.2. En Büyük Tane Boyutu

Agreganın en büyük tane büyüklüğünü, çapını ve boyutunu, agreganın %90-100 oranında geçtiğı en küçük elek boyutu belirler. Beton üretiminde olanaklar ölçüsünde en büyük tane büyüklüğü yüksek olan agreganın seçilmesi yararlıdır. Bu şekilde beton için gerekli çimento ve yoğurma suyu miktarları azaltılarak betonun niteliğı yükseltilebilmektedir (24).

Hafif agreganın en büyük tane boyutu kullanılma amacına bağı olarak değişmektedir. Agreganın en büyük tane boyutu; betonun işlenebilirliğini, ince-iri agreg oranını, çimento miktarını, betonun üst dayanım sınırını ve kuruma büzülmesini etkiler (23).

Beton üretiminde genellikle 20 mm, 13 mm ve 10 mm en büyük tane boyutları olarak alınmaktadır (25). Hafif betonlar için 16 mm, en büyük tane boyutu olarak istenilen işlenebilirliğin sağlanmasında uygun bir değerdir (26).

2.1.3. Tane Şekli ve Yüzey Yapısı

Hafif agregaların önemli özelliklerinden birisi de tane dağılımı ile birlikte tanelerin şekli ve yüzey yapısıdır. Agreganın tane şekli ve yüzey yapısı da betonun niteliğı üzerinde önemli etkilere sahiptir. Bu etki özellikle betonun dayanımı üzerinde görülür (27).

Agreganın gevşek durumda boşlukları tane şekli tarafından etkilenir ve tane şekli bozuldukça boşluk miktarı artar (28). Hafif agregalar genellikle normal agregalara oranla yüksek boşluk yüzdelere sahip olduğundan üretilcek betonların su gereksinmesinin fazla ve dayanımlarının düşük olduğu belirtilmektedir (25). Taze betonun iyi bir şekilde işlenebilmesi için yuvarlak ve oldukça düz yüzeyli tanelere gereksinim duyulur. Hafif agregalar çoğunlukla köşeli yapıda ve pürüzlü yüzeylere sahip olduklarından genellikle kolayca sıkıştırılamayan ve yerleştirildiğinde düzgün bir yüzey elde edilemeyen karışımlar oluştururlar (27, 29).

2.1.4. Birim Ağırlık ve Yoğunluk

Belirli bir hacmi dolduran agreganın ağırlığının bu hacme oranı birim ağırlık olarak tanımlanmaktadır. Agreganın birim ağırlığı agreganın granülometrisi, şekil faktörü, yerleştirme şekli ve agreganın yoğunluğuna bağlı olarak değişiklik gösterir (18).

Yoğunluk; agregaların boşluksuz olarak kapladıkları mutlak hacimlerinin ağırlıklarına olan oranlarının belirli bir sıcaklıktaki suyun özgül ağırlığına olan oranı olup boyutsuzdur (2).

Hafif agregaların yoğunluğu boşluklu bünyeleri nedeniyle normal agregalardan düşük olup, tane boyutuna bağlı olarak değişiklik gösterir. Yoğunluk ince tanelerde yüksek ve iri tanelerde düşüktür (23).

Hafif agregalarda sıkı birim ağırlık deneyi, tanelerin kırılıp parçalanmalarına neden olarak derecelenmesini değiştirdiğinden bir anlam taşımayıp, uygulamada sadece gevşek birim ağırlık değerleri saptanmaktadır (19, 20 ve 21).

Hafif agregalar genellikle yüzeye açılan ve kapalı kalan boşluklar içerebildiğinden agreganın yoğunluğu farklı şekillerde tanımlanmaktadır. Agreganın nem ve boşluk durumu göz önünde bulundurularak “fırın-kuru”, “doygun, yüzey-kuru” ve “görünen yoğunluk” gibi yoğunluk tanımlamaları bulunmaktadır (30, 31). Beton karışım oranlarının

saptanmasında doygun, yüzey-kuru koşuldaki agregaya yoğunlukları önem taşımaktadır. Çünkü agreganın tüm iç boşluklarında bulunan su çimentonun hidratasyonunda etkili olamayabilir (27).

Hafif agregaların gevşek (fırın-kuru) birim ağırlıkları ince, iri ve karışık agregalar için sırasıyla 1200 kg/m^3 , 1000 kg/m^3 ve 1100 kg/m^3 'ten (19), yapı betonları (taşıyıcı betonlar), duvar birimleri ve yalıtım betonlarında kullanılacak hafif agregalar için de aynı sırayla 1120 kg/m^3 , 880 kg/m^3 ve 1040 kg/m^3 'ten fazla olmamalıdır (20, 21).

Hafif agregalar normal agregalara oranla önemli derecede düşük birim ağırlıklara sahiptir. Agregaya çeşidi, yoğunluğu, granülometrisi ve tane şekline bağlı olarak bu değer $560\text{-}1120 \text{ kg/m}^3$ arasında değişiklik gösterir. Normal agregaya birim ağırlıkları ise $1440\text{-}1760 \text{ kg/m}^3$ arasındadır. Aynı yoğunluğa sahip olan yuvarlak ve köşeli agregaların boşluk oranları değiştiğinden bunlar önemli derecede farklı birim ağırlıklara sahip olabilir (23).

2.1.5. Agregaya Tanelerinin Boşluk Oranı ve Su Emmesi

Agregaya taneleri içindeki boşluklar agregaya özelliklerini önemli derecede etkiler. Hafif tanelerin boşluk oranı en önemli özelliklerinden birisidir. Boşluk oranı arttıkça agregaya hafifleşir (32). Agreganın su emmesi betonun su emme, büzülme ve donma-çözülme gibi özellikleri üzerinde etkili olduğundan, önemli bir fiziksel özelliğini oluşturur (23).

Hafif agregaların pürüzlü, boşluklu yüzeyleri, farklı büyüklükteki tanelerin su emme özelliklerindeki değişiklikler, belirli agregaların aynı sürede sabit su emme değerlerine sahip olmaması gibi nedenlerle hafif agregaların su emme ve yoğunluk değerlerinin kolayca ve doğrulukla saptanması zordur (33).

Hafif agregalar genellikle 24 saat suda kalmakla kuru agreganın ağırlık olarak %5-20'si oranında su emebilmektedir. Çeşitli agregalarda toplam su emme büyük değişiklikler gösterdiği gibi su emme hızı da geniş değişim aralıklarına sahiptir (23).

Boşluklu agregaların su emme özelliğindeki değişimler nedeniyle beton üretiminde su-çimento oranı olumsuz yönde etkilenebilir. Bu nedenle karışıma çimento konulmadan önce hafif agregaya bir ön ıslatma uygulaması ile agreganın ani su emme gereksinmesi giderilebilir. Böylece pürüzlü yüzeyli tanelerin büyük boşlukları su ile doldurularak, karışımın su-çimento oranındaki değişim önlenebilir (34).

Uygulamaya yönelik işlemlerde kuru ve boşluklu hafif agregaların özellikle kırılmış agregaların farklı su emme özellikleri göz önünde tutularak, karıştırmadan önce ıslatılmaları ile karıştırma sırasında agrega tarafından emilen su miktarı azaltılarak beton kıvamında oluşabilecek hızlı ve büyük değişimler kontrol altına alınabilmekte ve uygun kıvamda karışım elde edilebilmektedir (35).

2.1.6. Basınç (Ezilme) Dayanımı

Karıştırma sırasında agreganın parçalanıp, ufalanma derecesini saptamak amacına yönelik güvenilir bir yöntem yoktur. Bu bakımından hafif agregaların basınç dayanımları, agrega ile ilgili olarak çok genel bir bilgi vermektedir (36).

Hafif agregaların dayanımı tanelerin yoğunluklarına bağlıdır. Aynı yoğunluğa sahip yuvarlak şekilli ve düzgün yüzeyli agregalar kırılmış veya köşeli, pürüzlü yüzeyli agregalardan daha fazla dayanıma sahiptir. Betonda çimento miktarını etkileyen başlıca özelliklerin agrega dayanımı ile taneler arasındaki boşluk hacmi olduğu görülmüştür (37).

2.1.7. Zararlı Maddeler

Agregada bulunabilen zararlı maddeler, bağlayıcı maddenin ayrışmasına ve genişlemesine neden olarak betonun çatlamasına ve kırılmasına, çimento hamuru ile agrega taneleri arasındaki yapışmanın (aderans) zayıflamasına ve yumuşak özellikte sağlam olmayan tanelerde beton dayanımının azalmasına yol açarlar (12).

Hafif agregalar SO_3 olarak %1'den daha fazla suda çözünen sülfat içermemelidir. Yanma kaybı en fazla %4 olmalıdır. Hafif agregada organik madde miktarı standart ölçüt (referans) renkten daha koyu renk verecek derecede bulunmamalı ve kil toprakları agregalar kuru ağırlığının %2'sini geçmemelidir (19, 20 ve 28).

2.2. Hafif Betonlar

Hafif beton normal betona göre bazı farklı özellikleri bulunan genellikle boşluklu, daha düşük birim ağırlığa ve dayanıma, yüksek ısı yalıtımı özelliklerine sahip olan, bununla birlikte aynı amaçlarla kullanılabilen betondur (27).

Doğal hafif agregalı beton; doğal kaynaklardan sağlanan hafif agreganın, katkı maddeleri de içerebilen çimento ile birleşmesinden oluşan normal, ince agregasız ve boşluklu betonlardan farklı özellikleri bulunan beton olarak tanımlanabilir (38).

Hafif betonlar değişik yöntemlerle üretilirler. Bu yöntemler arasında; hafif agregalar kullanımı, kum kullanılmadan boşluklu beton üretimi, köpüklü beton üretimi, gaz beton üretimi sayılabilir (39).

Hafif beton üretiminde daha ekonomik olabilen doğal hafif agregalar başta tuf olmak üzere çeşitli bölgelerimizde bol miktarda bulunmaktadır (13). En çok kullanılan mineral kökenli agregalar, sünger taşı gibi volkanik kökenli veya şist (vermikülit), perlit gibi genişletilmiş yapay agregalardır (39).

2.2.1. Sertleşmiş Beton Özellikleri

Hafif agregalarla yapılan betonun özellikleri agreganın mineralojik yapısı ile birlikte granülometrisine, çimento miktarına, su-çimento oranına ve sıkıştırma derecesine bağlıdır. Sertleşmiş betonların birim ağırlığı, su emmesi, dayanımı ve ısı yalıtımı birbirleriyle

ilişkili olan özellikleridir. Genel olarak beton birim ağırlığı arttıkça ısı yalıtımı azalmakta, buna karşılık dayanımı artmaktadır (40).

2.2.1.1. Birim Ağırlık ve Su Emme

Beton birim ağırlığı birim hacminin ağırlığıdır. Sertleşme süresi ve nem durumuna göre farklı değerler alır. Taze betonun veya 28 günlük sertleşmiş betonun fırın veya hava-kuru birim ağırlıkları olarak belirtilir. Hafif agrega betonu genellikle 1850 kg/m^3 'ten daha az birim ağırlığa sahip betondur. Üretim yöntemine ve agrega çeşidine göre $560\text{-}1850 \text{ kg/m}^3$ arasında değişiklik gösterebilir (41).

Hafif betonların su emmesi normal betonlardan daha fazladır. Bazı hafif betonlar normal betonlardan iki kat daha fazla su emme özelliğine sahip iseler de yüksek su emme betonun yüksek geçirgenliğe sahip olmasını gerektirmemektedir (42).

Betonun gözeneklerinde bulunan su mekanik ve termik özellikleri olumsuz yönde etkilediği için betonların hiç su emmemesi ya da az emmesi istenir. Betonun su emmesi agreganın su emme kapasitesine, agrega/çimento oranına bağlıdır. Normal betonlar %10'dan az, genleşmiş kil ve şist betonları %20'den az, genleşmiş yüksek fırın cürufu betonları %15-25 arasında, sünger taşı betonları %20-35 arasında değişen oranlarda (hacimce) su emmektedir (41).

2.2.1.2. Basınç Dayanımı

Betonun basınç dayanımı standart küp, silindir veya prizma beton örneklerinde belirli süre ve bakım (kür) koşullarına bağlı olarak yapılır ve değerlendirilir. Betonun mekanik dayanımları arasında en büyük öneme sahip olanı basınç dayanımıdır. Betonun diğer özellikleri ile basınç dayanımı arasında sıkı ilişkiler bulunmaktadır. Betonun diğer mekanik özellikleri basınç dayanımı ile aynı yönde değişim gösterir (4).

Hafif beton, basınç dayanımı ölçüt olarak alınarak kullanılma amacına göre sınıflandırılmakta olup bu sınıflandırma 28 günlük basınç dayanımı 170 kgf/cm^2 'den az olmayan, birim ağırlıkları $1400\text{-}1800 \text{ kg/m}^3$ olan yapısal hafif beton; duvar birimleri üretimine uygun, basınç dayanımları $70\text{-}175 \text{ kgf/cm}^2$ olan hafif beton ve dayanımları $7\text{-}70 \text{ kgf/cm}^2$, birim ağırlıkları genellikle 800 kg/m^3 'ten az olan düşük dayanımlı yalıtım veya dolgu beton şeklindedir (27).

Hafif betonun basınç dayanımı agrega özellikleri ve üretim yöntemine bağlı olarak genellikle $35\text{-}420 \text{ kgf/cm}^2$ arasında değişebilmektedir (27).

Basınç dayanımları $210\text{-}350 \text{ kgf/cm}^2$ olan hafif betonlar genellikle kullanılan hafif agregaya bağlı olarak $240\text{-}445 \text{ kg/m}^3$ çimento dozajları ile üretilebilirken, 560 kg/m^3 dozaj ile 500 kgf/cm^2 'den fazla dayanıma sahip betonların üretimi için ise belirli hafif agregaların kullanılması gerekmektedir (23).

Hafif betonlarda uygun agrega çeşidi ve karışım oranlarının seçilmesi ile birlikte iyi bir sıkıştırmanın uygulanması sonucunda yüksek dayanım değerleri elde edilebilir. Hafif betonların birim ağırlığı, çekme dayanımı ve elastikiyet modülü gibi özellikleri bunların basınç dayanımlarına bağlı olarak değişiklik gösterir (11).

Volkan tüfleri ile üretilen betonların en düşük birim ağırlığı 1300 kg/m^3 ve basınç dayanımı en fazla 236 kgf/cm^2 olabilmektedir (18). Tüflerle üretilen betonlar için en az çimento miktarı 100 kg/m^3 'tür. Orta derecede dayanımlı tuf betonları için bu değer $160\text{-}200 \text{ kg/m}^3$ 'e çıkarılması gerekir (32).

2.2.1.3. Donma-Çözülme Dayanıklılığı

Betonun içinde donan suyun oluşturduğu iç basınç betonda çatlaklar veya betonun bütünüyle dağılmasına neden olabilir. Betonun donma-çözölmeye karşı dayanıklılığını arttırmanın en etkili yolu suyun beton içine girmesini önlemektir. Bu her zaman olası olmadığından beton içinde genleşen suyun yerleşebileceği boşluklar (gözenek)

oluşturmak da etkili bir yöntem olabilir. Hafif agregalı betonlar donma-çözölmeye normal betonlardan daha dayanıklıdır (41).

Donma-çözölme olayına karşı hafif betonların dayanıklılığı normal betonlarda olduğu gibi çimento oranı, hava katkısı, toplam su oranı ve agreganın nem durumu gibi özelliklere bağılıdır. Hava katkısı ve özellikle agregaya uygulanan ilk ısılatma hafif agrega betonunun donma-çözölme dayanıklılığını arttırmaktadır. Hava katkılı hafif betonların donma-çözölme dayanıklılığı normal betonların çoğundan fazla veya eşit durumdadır. Genel olarak çimento oranının artması ve toplam su oranının azalması betonun bu özelliğini iyileştirmektedir (23).

Hafif agregalar gibi çok gözenekli agregalar yüksek bir permeabiliteye sahip olduklarından donma-çözölme durumunda örnek içindeki su, örneği kolayca terk ettiğinden agregada büyük hasar oluşmaz (43).

Hafif agregalı betonlar önemli miktarda su emmesine karşı, donma-çözölme karşı dayanıklıdırlar. Bu durum, hafif agreganın doygun olmayan çok sayıda gözeneğe sahip olmasından dolayı, zarar görmeden gözeneklerindeki buzun genişlemesine olanak vermesinden ileri gelmektedir. Bu tür betonların, ısı iletkenlikleri düşük olduğundan kışın beton dökümü için uygundurlar. Çünkü hafif beton prizden doğan ısıyı, normal betona göre daha uzun süre korur (6).

2.2.1.4. Rötire

Betonlar dököldükten sonra sertleşmelerini tamamlayıncaya kadar mm/m düzeyinde boyutları küçölür. Bu olaya büzölme (çekme) ya da rötire denir. Büzölme hızı ve miktarı değışik olan malzemelerin yapıda birlikte kullanılması çatlamalara ve sıva dökölmelerine neden olabilir. Betonlarda büzölmenin büyüklüğü agregaların mekanik dayanımları ve inceliğı ile çimento dozajına bağılıdır. Büzölme miktarı normal betonlarda 0.6 mm/m'den az, genişleşmiş kil ve şist betonlarında 1 mm/m'den az, sünger taşı, genişleşmiş yüksek fırın cürufu betonlarında 0.5-1.5 mm/m dolayındadır (41).

Rötrenin (büzülmenin) hangi faktörlere bağlı olduğu kesin bilinmemekle birlikte genelde betonun büzülmesinin, betondaki çimento hamurunun hacmine bağlı olduğu kabul edilmektedir (44, 45).

Hafif beton rötresinin normal betonunkinden fazla olmasına karşın hafif betonun elastikiyet modülü ve çekme dayanımının yüksekliği, çatlama olmaksızın büzülme yapabilmesini sağlamaktadır (46).

2.2.1.5. Isı İletkenliği

Yapı malzemelerinin ısı iletkenliği; malzemenin gözeneklilik derecesine, gözeneklerin büyüklük ve dağılımı durumuna, malzemenin türüne, yapısına, malzeme içindeki nem miktarına ve birim hacim ağırlığına bağlı olarak değişir (41, 47).

Bir cismin içindeki ısı geçişi moleküllerin ısı aktarımı ile olur. Camsı molekül yapısında ısının kat edeceği yol, kristalin molekül yapısına göre daha uzun ve sonuç olarak da ısı iletkenliği de aynı kimyasal bileşimde kristalin yapıdaki cisimlere göre daha küçüktür. Genleşmiş yüksek fırın cürufu, perlit, cam, kalsine uçucu kül ve sünger taşı agregalarının kimyasal yapıları diğer agregalara göre daha camsıdır ve dolayısıyla bu agregalar ile yapılan betonlar kuru birim hacim ağırlıklarına göre diğer betonlardan daha düşük ısı iletkenliğine sahip olabilmektedir (41).

Hafif betonun en belirgin özelliklerinden biri de kullanıldığı yerlerde diğer normal agregalar ile üretilen betonlara oranla daha iyi ısı yalıtımı sağlamasıdır. Bir malzemenin ısı iletkenliği o malzemenin silikat yapısı ile içindeki boşluklarda bulunan ısı iletkenliklerinin toplamıdır (48).

Hafif agregalarla üretilen betonların özellikleri agreganın mineralojik yapısına, granülometrisine, çimento miktarına ve su çimento oranı gibi bir çok etkene bağlıdır. Sertleşmiş betonların birim ağırlığı, su emmesi, dayanımı ve ısı yalıtımı birbirleri ile

ilişkili olan özelliklerdir. Genel olarak betonun ısı iletkenliği birim ağırlığı ile doğru, ısı yalıtımı ile ters orantılıdır (6).

Hafif betonların birim hacim ağırlıkları düşük olduğundan ısı yalıtımları yüksektir. Beton bünyesindeki nem oranına bağlı olarak ısı yalıtım katsayıları artmaktadır. Sünger taşı (bims, pomza) ile üretilen ve kuru birim ağırlıkları $720-1280 \text{ kg/m}^3$ arasında bulunan betonların ısı iletkenliği $0.12-0.31 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ arasında; 2320 kg/m^3 kuru birim ağırlığa sahip normal betonun ısı iletkenliği ise $0.99-1.49 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ arasında değişmektedir (13). Betonun nem içeriğinin artması betonun ısı iletkenliğini artırır (49, 50, 51).

Hafif betonların ısı iletkenliği normal betona göre yaklaşık %48 oranında daha düşük değerler alabilmekte ve daha iyi ısı yalıtımı özelliklerine sahip bulunmaktadır. Birim ağırlıkları $960-1648 \text{ kg/m}^3$ arasında değişen hafif betonların ısı iletkenlikleri $0.19-0.40 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ arasında değerler alabilir. Birim ağırlıkları $1280-1760 \text{ kg/m}^3$ arasında değişebilen yapısal hafif betonların ısı iletkenliği genellikle fırın-kuru durumunda $0.29-0.52 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ arasındadır. Yalıtım betonları ve boşluklu betonlar için ise bu değer $0.06-0.25 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ arasında değişebilmektedir (23).

Hafif betonun ısı akımına karşı direnci ısıtma ve havalandırma harcamalarını azalttığından, yapılarda hem sıcak ve hem de soğuk iklimlerde büyük yararlar sağlamaktadır (41).

Perlit betonları ısı yalıtımı yönünden en iyi hafif betonlardır. Birim ağırlığı 800 kg/m^3 'ün altında kalan perlit betonlarında ısı iletkenlik katsayısı $0.24-0.34 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ değerlerini almaktadır (48, 52).

2.2.1.6. Ses Emme

Hafif betonun ses emme özelliği, havadaki ses enerjisinin betonun çok küçük kanallarında ısıya dönüştürülmesi nedeniyle iyi bir özellik olup ses emme katsayısı

normal betona oranla yaklaşık iki kat fazladır. Betonun birim ağırlığı azaldıkça ses yalıtımı iyileşmektedir. Boşluklu yüzey yapısına sahip birimlerden yapılan duvarlar ses emme için etkili olarak kullanılabilir (27).

2.2.1.7. Kesilebilme ve Çivilenebilme

Hafif betonunun testere ile kolayca kesilebilmesi, çivilenebilmesi ve delinebilmesi yapı malzemesi olarak kullanılmasında önemli özelliklerini oluşturur. Bu bakımdan normal betonlara göre çok daha iyi durumdadır. Hafif betonların bu özellikleri genellikle beton birim ağırlığı azaldıkça iyileşmektedir (38).

2.2.1.8. Donatı Çeliğine Bağlanma (Yapışma)

Beton ve donatı arasındaki bağlanma dayanımı genel olarak betonun basınç veya çekme dayanımının bir işlevidir. Bazı hafif betonların bağlanma dayanımları aynı basınç dayanımına sahip normal betonlardan %20 oranında daha düşük değerler alabilmektedir (23). Hafif betonların çimento hamuru-agrega bağlantısı üzerine yapılan bir araştırmada, agreg-açimento hamuru bağlantısına ilişkin dayanımın genellikle agreganın çekme dayanımından daha yüksek olduğu ve çimento hamuru dayanımının bu konuda çok az etkiye sahip bulunduğu saptanmıştır (53).

2.2.1.9. Kimyasal Çözücülere Dayanıklılık

Hafif agregalarla üretilen betonlar, hava katılması, düşük su-çimento oranı kullanılması ve yeterli kür uygulamasıyla, çözücü ve kimyasal maddelerin etkilerine dayanıklı duruma getirilebilir (23).

2.2.2. Taze Beton Özellikleri

2.2.2.1. Birim Ağırlık

Taze hafif betonun birim ağırlığı $1520-1920 \text{ kg/m}^3$ arasında değişebilir. Birim ağırlıktaki değişimler agrega granülometrisi, su emme, hava oranı ve hacim yoğunluğundaki farklılıklardan ileri gelebilir. Kuru hafif agrega ile yapılan beton başlangıçta yaş hafif agrega ile yapılan betona oranla daha düşük taze birim ağırlığa sahiptir (23). Normal bir kurumayı izleyen sonraki günlerde birim ağırlıklar birbirine yakın değerler almaktadır (54).

2.2.2.2. İşlenebilme

Betonun işlenebilme özelliği su oranına, agreganın granülometrisine, tanelerin boyutuna, biçimine ve çimento oranı gibi etkenlere bağlı olarak değişiklik gösterir. Benzer kıvamda bulunan normal ve hafif taze betonlar karşılaştırıldığında, hafif betonun çökmesi yaklaşık olarak normal betonun yarısına eşittir (44).

Katı karışım yapmaya eğilimli hafif agregalı betonların işlenebilmesi hava katkısı ile önemli derecede iyileştirilebilmektedir. Hava katkı oranı, agrega en büyük tane boyutu küçüldükçe arttırılmalıdır (27).

Bazı hafif agregaların katı karışım oluşturmaları ve düşük birim ağırlıkları nedeniyle özellikle yüksek işlenebilme düzeyinde, iri hafif agrega karışımdan ayrılarak yukarıya doğru hareket edebilir. Bu durum iri hafif agreganın yüzme özelliği nedeniyle oluşur. Dolayısıyla karışımın yüksek derecede işlenebilirliğine sahip olması gerektiğinde bu durum göz önünde bulundurulmalıdır. Hava katkısı kullanarak (%4-6) karışımın işlenebilmesi artırılırken, harcın yoğunluğu azaltılarak, agreganın yüzme özelliği önlenmektedir (35).

Hafif beton karışımlarında iyi bir yerleştirme sağlayabilmek için 10 cm'den fazla çökmeye gerek duyulmamaktadır. Çökme değeri 10 cm'den fazla olduğunda, iri agregataneleri karışımın üst kısmına doğru yüzme eğilimi göstererek perdahlamada sakıncalar doğurur (23).

2.2.2.3. Hava Miktarı

Hava katkısı normal betonların çoğunda olduğu gibi hafif betonlarda da genellikle istenebilir. Hava katkısı işlenebilmeyi iyileştirmekte, çözücü kimyasal etkenlere ve donma-çözölmeye karşı dayanıklılığı arttırmakta, terlemeyi (bleeding) azaltabilmekte ve granölometriyi olumlu yönde etkilemektedir. Donma-çözölme veya kimyasal çözücü maddelerin etkisinde kalabilecek hafif betonlar en büyük tane boyutlarına bağlı olarak hacimce %4 -%9 oranlarında hava içermelidir (23).

2.2.3. Karışım Oranları ve Betonun Üretimi

2.2.3.1. Karışım Oranları

Normal agregalarla olduğu gibi hafif agregalarla da farklı çimento, su ve katkı maddeleri kullanarak çok değişik özelliklere sahip betonlar üretmek olanağı bulunmaktadır (41).

Karışım oranlarının saptanmasındaki amaç, belirli bir agregat ile istenilen özelliklere sahip beton üretimi için çimento, agregat, su ve katkı maddeleri gibi karışıma giren çeşitli maddelerin en ekonomik oranlarının bulunmasıdır. Karışım oranlarının saptanmasında genellikle betonun basınç dayanımı ve işlenebilirliği göz önünde bulundurulur (18).

Karışım oranları genellikle aşağıda açıklanan özellikler göz önünde bulundurularak saptanır.

2.2.3.1.1. En Büyük Tane Boyutu

Agreganın en büyük tane boyutu betonun kullanılacağı amaca bağlıdır. Bu boyut duvarlarda duvar kalınlığının $1/5$ 'inden fazla olmamalı; kolon, kiriş ve döşemelerde ise elemanın en dar boyutunun $1/3$ 'ü olarak alınmalıdır (23).

Betonda kullanılacak agreganın en büyük tane boyutunun olanaklar ölçüsünde büyük seçilmesi, betonda gerekli çimento oranını azaltması nedeniyle daha ekonomik olup prefabrik elemanların yapımında, elemanların en dar boyutunun agrega en büyük tane boyutundan dört kat daha büyük olması gerekir (28).

Yapısal beton, duvar birimleri ve yalıtım betonları için, ASTM C 330, ASTM C 331, ve ASTM C 332 standartlarında öngörülen en büyük tane boyutu karışık agrega için 19.10 mm ve 12.70 mm'dir (20, 21 ve 22). TS 1114'de ise karışık agrega için bu değerin 16 mm olabileceği belirtilmektedir (19).

2.2.3.1.2. Su Oranı

Beton karışımına giren su agregayı ıslatır, çimentonun hidrasyonunu ve betonun işlenebilmesini sağlar. Gereğinden fazla su taze betonun birim ağırlığını düşürür ve beton dayanımının azalmasına neden olur. Fazla su kullanılması gerekli çimento oranını arttırdığından, ekonomik bakımdan sakıncalı olmaktadır (14).

Hafif agregaların yüksek derecede su emme yetenekleri nedeniyle bir metreküp beton üretimi için genellikle agrega çeşidi, tane boyutu ve çimento oranına bağlı olarak gerekli su miktarı 170-300 kg arasında değişebilmektedir (23). Orta derecede işlenebilirliğe sahip sıkıştırılmış hafif betonlar için $260-380 \text{ kg/m}^3$ ve düşük derecede işlenebilirlik için ise $240-280 \text{ kg/m}^3$ arasında su miktarları gerekli olabilmektedir (28).

2.2.3.1.3. Çimento Oranı (Dozaj)

Çeşitli hafif agregalar aynı çimento dozajı ve çökme değerleri için benzer basınç dayanımları oluşturmazlar. Basınç dayanımı betonun uygulama amacına bağlı olarak saptanır. Genel olarak yapı betonları için gerekli dayanım $210-280 \text{ kgf/cm}^2$ arasında değişir (55).

28 günlük silindir basınç dayanımları 175 kgf/cm^2 'den 350 kgf/cm^2 'ye kadar değişen hafif betonlar için 250 kg/m^3 'ten 560 kg/m^3 'e kadar değişen çimento dozajları kullanılabilir. Birlikte, belirli bir dayanımın elde edilebilmesi için yeterli sayıda değişik çimento dozajları ile gerekli dayanımı da içeren bir dizi deneme karışımlarının yapılması gerekir (23).

Hava katkısı %3'ten % 8'e kadar değişen ve çökmesi 6-7.5 cm arasında olan betonlarda 167 kg/m^3 'ten 500 kg/m^3 'e kadar 56 kg/m^3 'lük artışlarla değişen dozajlı betonların 28 günlük silindir basınç dayanımları sırasıyla 57 kgf/cm^2 , 122 kgf/cm^2 , 190 kgf/cm^2 , 252 kgf/cm^2 , 300 kgf/cm^2 , 336 kgf/cm^2 ve 364 kgf/cm^2 olarak bulunmuştur (56). Bu betonların hava-kuru birim ağırlıkları ise dozaj artışına bağlı olarak 1418 kg/m^3 'ten 1725 kg/m^3 'e kadar çıkmıştır. Donatısız, özellikle yalıtım betonları için gerekli çimento dozajı $90-200 \text{ kg/m}^3$ ve yapı betonlarında ise bu değer $300-500 \text{ kg/m}^3$ arasında değişir (56).

Tarımsal yapılar genellikle tek katlı olduğundan, taşıyıcı elemanlarında diğer yapılara göre daha düşük dayanımlara gerek duyulabilir. Bu bakımdan tarımsal yapılarda uygulanacak hafif beton elemanlarında daha düşük çimento dozajlarının kullanılabilme olanakları bulunmaktadır (13).

2.2.3.1.4. Agregalar Miktarları ve Oranları

İyi bir işlenebilirlik için, hafif beton karışımlarında toplam (boşluklu) agreganın hacminin %40-60'ı oranında ince agreganın yer almasıdır (27). Bir metreküp beton üretimi için

genellikle $1.04-1.19 \text{ m}^3$ arasında kuru gevşek hafif agregaya gerek duyulmakta olup bu miktarın tam olarak saptanması agreganın granülometrisine, tane şekline, tane boyutuna ve agreganın yüzey yapısına bağlıdır. İyi bir granülometri, küresel veya kübik tane şekli ve düzgün yüzey yapısı olan agregaların daha az toplam hacim ve düşük ince agreganın yüzdesine gerek gösterdiği bilinmektedir (23).

TS 2511'e göre, bir metreküp beton için 1.2 m^3 kuru gevşek hafif agregaya gerekmektedir (26). Değişik çimento dozajları için ince agreganın toplam agreganın %25-70'ine kadar değişebilmektedir (57). Çimento dozajları $300-500 \text{ kg/m}^3$ arasında olan karışımlarda, ilk denemeler için ince agreganın oranı ağırlık olarak yaklaşık %50 alınabilir (58).

2.2.3.1.5. Hava Katkısı

Hafif betonlarda hava katkısı betonun birim ağırlığını azaltması ve ısı yalıtımını iyileştirmesi ile birlikte, taze betonun taşınma ve yerleştirilmesini kolaylaştırdığından hava katkı maddesi sık sık kullanılır. Yaklaşık hacim olarak %5 hava katkısı, karışım suyu miktarını 20 kg/m^3 azaltmayı gerektirir (28).

Hafif betonların çoğu genellikle %2-4 arasında hava içerirse de bu oran işlenebilirlik ve sağlamlık üzerinde olumlu yönde yeterli etkiye sahip değildir. İyi bir işlenebilirlik için uygun toplam hava oranı genellikle %4-8 arasındadır (59).

2.2.3.1.6. Birim Ağırlık

Hafif betonların karışım oranlarının saptanmasında birim ağırlık en fazla önem taşıyan bir özelliktir. Birim ağırlık agreganın birim ağırlığına, çimento, su ve hava oranlarına; iri ve ince agreganın oranlarına bağlı olduğundan gerektiğinde hafif betonların birim ağırlıkları, karışım oranlarının ayarlanması ile geniş sınırlar içerisinde değişebilir (13).

2.2.3.1.7. Karışımdaki Malzeme Oranlarının Saptanması

Normal betonların karışım oranlarının saptanmasına ilişkin genel kurallar hafif beton karışımları için geçerli ise de uygulamada izlenen ayrıntılar bakımından farklılıklar bulunmaktadır. Normal betonların karışım oranlarının hesaplanmasında bir ölçüt olarak kullanılan su-çimento oranı hafif agregaların çoğunun yoğunluk, toplam su emme oranındaki farklılık ve kararsızlıklar nedeniyle yeterli derecede doğrulukla saptanamamaktadır (41).

Bu nedenle hafif betonun karışım oranları gerekli işlenebilirlik için değişik çimento dozajlarına göre bir dizi deneme karışımının yapılmasıyla bulunur. Farklı çimento dozajlarına sahip karışımları, çimento oranı-dayanım ilişkisi yardımıyla, uygun bir dayanım için gerekli çimento oranı bulunabilir (27).

Betonun karışım oranları gerekli özelliklere sahip betonu üretebilecek malzemenin en ekonomik olarak kullanımını sağlayacak biçimde saptanmalıdır. Malzemenin uygun karışım oranlarının laboratuvar deneme karışımları ile saptanması ve uygulama amaçlarına göre ayarlanması gerekir (60).

2.2.3.2. Betonun Üretimi

Hafif agrega betonlarının karışım oranlarının saptanması, karıştırma işlemi ve deney yöntemleri; hafif agregaların birim ağırlığı, tane şekli ve yüzey yapısı ile su emme özelliklerindeki değişiklikler nedeniyle normal beton karışımlarından farklılık gösterir. Hafif agregalı betonlarında agreganın birim ağırlığı ve nem oranlarının sürekli kontrol altında bulundurulması, granülometride aynılığın sağlanması, üretilen beton hacmi ve dayanımının istenilen düzeylerde tutulması bakımından gereklidir (13, 26).

2.2.3.2.1. Karıştırma

Hafif betonların karıştırma işlemi çeşitli agregaların kullanılma durumuna göre değişiklik gösterir. Hafif agregaları gerekli karışım suyunun 2/3'ü ile karıştırıcıda bir dakika karıştırdıktan sonra arta kalan karışım suyu ile birlikte çimento ve katkı maddelerini de ekleyerek, kıvamda aynılık sağlanıncaya kadar karıştırma işlemini sürdürmek gerekir. İkinci karıştırma süresi üretilecek betona bağlı olarak genellikle 2-4 dakika arasında olabilir (13, 61).

Agreganın karıştırmadan önce ıslatılması, granülometride aynılığı koruması ve çok farklı boyutlarda taneler içeren agregada tane dağılımının değişmesini azaltması gibi yararlar sağlayabilmektedir. Agregalar karıştırıcıya konulması sırasında kuru iseler hızlı su emerler ve karışımın işlenebilirliğini hemen azaltırlar. Bu nedenle önce agregayı karıştırma suyunun en az yarısı ile karıştırmak ve sonra çimentoyu eklemek yararlı olmaktadır. Bu işlemle çimentonun topaklanması ve çökme kaybı da önlenmektedir (27).

2.2.3.2.2. Taşıma ve Yerleştirme

Karışım oranı iyi yapılmış hafif betonun taşınıp, yerleştirilmesi normal betona göre genellikle daha kolaydır. Hafif beton yerleştirilirken, karışım içinde oluşabilecek büyük boşlukları gidermek için 25-40 cm'lik kalınlıktaki tabakalar şeklinde dökülmelidir (23).

Hafif agregaların taneleri ve çimento hamurunun yoğunlukları arasındaki büyük fark nedeniyle özellikle ıslak kıvamdaki taze betonlarda hafif iri agregaların taneleri yüzeye doğru yükselme eğilimi gösterir. Betonda istenmeyen bu ayrışma olayı taze beton karışımları üzerinde fazla mekanik işlem yapılmaması ile azaltılabilir (28).

Hafif betonda 5-10 cm arasındaki çökmeler taze beton yüzeyinin düzeltilmesinde iyi sonuçlar vermektedir. Daha fazla çökmeler ayrışmaya neden olarak betonda pürüzlü, düz olmayan yüzeyler oluşturduğundan yüzey düzeltme işlemlerini (perdahlama)

güçleştirmektedir. Taze beton yüzeyinin düzeltilmesi beton bünyesinden yüzeye çıkabilecek serbest terleme suyunun, yüzeyden kaybolmasından sonra yapılmalıdır. Perdahlama ve yüzey düzeltme işlemleri en az miktarda uygulanmalı, bu amaçla alüminyum veya magnezyumlu hafif perdah araçları seçilmelidir. Düz yüzeylerde yüksek frekanslı vibrasyon tablaları perdah için uygun olmaktadır (23).

2.2.3.2.3. Bakım (kür) ve Kontrol

Betona, sıcaklık ve nem miktarındaki değişimler nedeniyle bünyede oluşabilecek gerilmeleri azaltmak amacıyla kür uygulanmalıdır. Beton dökümü için en uygun sıcaklık dereceleri 15°C ile 25°C arası ise de soğuk havalarda beton dökümü sıfır derecenin (°C) üzerinde yapılmalıdır. Yeni dökülen beton don etkisinde kaldığında kazanabileceği dayanımın ancak yarısını geliştirebilmektedir. Sıcak havalarda da güneşlenmeden ve aşırı sıcaklık artışlarından korunmalıdır (62, 63).

Hafif betonların kontrolü normal betonlara benzer şekilde olup karışım suyundaki değişimler zaman zaman çökme ölçmeleri yapılarak kontrol edilir. Üretilecek beton hacmini (randımanını) kontrol etmek amacıyla birim ağırlık ölçmeleri yapılmalıdır. Belirlenenden fazla sapma gösteren birim ağırlık değerleri hava ve nem oranlarındaki değişimleri gösterir. Bu durumu önleme için agrega granülometrisi, yoğunluğu, taşıma ve yığılma işlemlerindeki değişimler kontrol edilerek düzeltilmelidir (41).

Taze beton karışımlarının hava oranı ve çökmesindeki değişiklikler ile üretilcek beton hacmindeki azalmalardan sakınmak için taşıma, yerleştirme ve sıkıştırma işlemleri en kısa zamanda tamamlanmalıdır. Bakım için seçilen yöntem betonun zarar görmeden sertleşebilmesini sağlamak için oldukça erken uygulanmaya başlanmalıdır (63).

2.3. Hafif Betonlar Üzerinde Daha Önce Yapılan Bazı Çalışmalar

Sarıkamış yöresi doğal hafif agregasıyla üretilen betonların tarımsal yapılarda kullanılabilirliği üzerine yapılan bir çalışmada; doğal, ayarlanmış ve kısmen ayarlanmış

granülometrilili agregalarla üretilen beton örneklerinin çekme ve basınç dayanımları için hazırlanan örnekler 28 günlük kürden sonra, 50 kez donma-çözülme etkisine bırakılmıştır. Tüm betonların donma-çözülme etkisi sonunda basınç dayanımlarında artış olduğu, bu artışın 100 kg/m^3 dozajlı betonlarda 13 kgf/cm^2 , 500 kg/m^3 dozaj düzeyinde ise $25\text{-}50 \text{ kgf/cm}^2$ arasında değiştiği bildirilmiştir (13).

Donma ve çözülmede betonun dayanıklılığının belirlenmesi başlıklı bir çalışmada, tekrarlı donma-çözülme etkisinde bırakılan betonlarda, donmanın zararlı etkileri ile ilgili geçerli görüşler özetlenmekte ve betonun dayanıklılık potansiyelinin belirlenmesinde testlerin nasıl kullanıldığı açıklanmaktadır (43).

Yapılan bir çalışmada, Sarıkamış yöresinden elde edilen konsolide olmamış doğal pomza ile üretilen hafif betonlardan donma-çözülme deneyi uygulanan örneklerin, uygulanmayanlara göre önemli derecede olumsuz bir etkilenmeye uğramadığı belirlenmiştir (64).

Pomza ile yapısal hafif beton üreterek pomza betonunun donma-çözülme dayanıklılığının belirlendiği bir araştırmada, 90 günlük küp şeklindeki örneklerin dayanımı için 450 kg/m^3 dozajında betonlar dökülmüş ve TS 3944'te belirtilen yöntem izlenerek örnekler 4 saat süresince suya daldırıp çözülmüş, sonra 4 saat süresince -20°C de sabit tutulan dondurucuya yerleştirilmiş, bu işlem 25 kez yinelenmiş ve donma-çözülme sonucunda betonun basınç dayanımının 217 kgf/cm^2 'den 235 kgf/cm^2 'ye yükseldiği görülmüştür (65).

Yüksek dayanımlı betonların çekme özellikleri üzerinde donma-çözülmenin etkileri adlı bir çalışmada, iki değişik örnek kullanılmış, $75 \times 75 \times 350 \text{ mm}$ standart beton prizma ve $20 \times 75 \times 300 \text{ mm}$ ince çekme örnekleri dökülmüş, örnekler ASTM C 666'ya göre 700 donma-çözülme devrine maruz bırakılmıştır. Her devirde 3 standart örneğe kırılma modülü ve iki ince çekme örneğe de normal çekme dayanım testi uygulanmış, yüksek dayanımlı betonlar normal betonlara oranla donma-çözülmeye karşı dayanıklı bulunmuştur (66).

Van-Erciş, Kocapınar yöresinden elde edilen pomzanın, değişik oranlarda normal agrega ile karıştırılmasıyla üretilen betonların donma-çözülme dayanıklılıklarının belirlenmesi üzerine yapılan bir araştırmada, bu betonun normal betona göre donma-çözölmeye karşı daha dayanıklı olduğu ve gece gündüz sıcaklık farklarının yüksek olduğu Doğu Anadolu Bölgesi'nde dona dayanıklılık koşullarının arandığı durumlarda kullanılabileceğı bildirilmiştir (67).

Kompozit malzeme olarak normal ve hafif betonların zamana bağılı davranışları başlıklı bir çalışmada, PÇ 325 çimentosu ile hafif beton ve harçların üretiminde tuğla kırığı agregası kullanılarak 300 ve 400 kg/m³ dozajlı betonlar 10x10x50 cm boyutunda üçer örnek olarak yapılmıştır. Sonuç olarak rötre değerleri bir yılda $(400-2890) \times 10^{-6}$ arasında değerler almıştır (54).

Taze birim ağırlığı 1800 kg/m³ olan betonların iri ve ince litag agregasıyla üretildiğı bir araştırmada, bu betondan 6 adet 50x50x285 mm boyutunda prizma şeklinde dökölen örnekler, rötre için 6 gün sıcaklığı $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ve bağıl nemi $\%50 \pm 4$ olan kontrol odasına alınarak 1., 3., 7., 14., 28. ve 91'inci günlerdeki rötreleri ölçölerek ortalamaları alındığında üç aylık değerin 640 mikron birim kırılma olduğu ve bu değerin normal olarak yüksek olduğu belirtilmiştir (68).

Arazide ve laboratuvar koşullarında kür edilmiş katkılı ve katkısız çimentolu betonların permeabilite ve dış koşullara karşı dayanıklılığı başlıklı bir makalede, katkısız Portland çimentosu ve çimentoya uçucu kül katılarak üretilen betonlar üzerinde permeabilite deneyleri yapılmış, sonuç olarak aynı koşullara tabi tutulan uçucu kül katılan betonlar külsüz olanlara oranla daha geçirimsiz olarak belirlenmiştir (69).

Yüksek fırın cürufunun farklı oranlarda (%15, 30, 40 ve 50) bağlayıcı olarak çimentonun yerine konulması ile üretilen betonların farklı kür koşullarına tabi tutulduğu bir çalışmada, örnekler üzerinde geçirimlilik deneyleri yapılmış, sonuç olarak normal Portland çimentosu ile üretilen örneklerle belli oranlarda çimento yerine cüruf katılan

örnekler su küründe aynı geçirgenlik özelliğini göstermişler, hava kürü uygulanan örnekler cüruf katılan örneklerden daha az geçirgen bir özellik kazanmışlardır (70).

Çatlaklı betonların permeabilitesi başlıklı bir makalede, çatlak özellikleri ve permeabilite arasındaki ilişki incelenmiş, çatlak gelişimi mikroskop altında gözlemlenmiştir. Su deneyleri ile yapılan çalışmada ilk sonuçlar çatlak açılmasının betondaki su akışını arttırdığı yönünde ortaya çıkmıştır (71).

Genleştirilmiş perlitli betonun özelliklerini incelemek için yapılan çalışmada, perlitli betonun dozajı 300 kg/m^3 sabit alınarak üretilen örneklerinin basınç dayanımları pomza gibi hafif agregalarla karşılaştırılmış, sonuç olarak perlitli betonların taşıyıcı beton olarak kullanılamayacağı ancak yalıtım amaçlı taşıyıcı olmayan ısı iletkenliğinin önemli olduğu yerlerde kullanılabileceği belirlenmiştir (72).

Doğal hafif agregalı betonların dayanımları, genellikle agregası çeşidi, karışım oranları ve sıkıştırma gibi etkenlere bağlı olarak 100 kgf/cm^2 'den 300 kgf/cm^2 'ye kadar değişebilmekte ise de bazı özel amaçlı betonlarda 1500 kg/m^3 birim ağırlıkla $400\text{--}450 \text{ kgf/cm}^2$ 'ye kadar basınç dayanımı elde edilebilmektedir (73).

Volkanik cüruf agregasının farklı agregası tane çapı aralığı ve farklı hacimsel agregası oranlarında kullanılarak üretilen betonlar üzerine yapılan testlerde sonuç olarak volkanik cüruf ile BS16, 20 ve 25 niteliğinde, 0.44, 0.38 ve 0.31 cüruf/hacim oranlarında beton elde edilebileceği bildirilmektedir (74).

Kocapınar pomzasının hafif beton üretiminde kullanılabilirliği üzerine yapılan çalışmada, karışımdaki toplam agregası hacmine %25, %50, %75 ve %100 oranlarda normal agregası katılarak, 300 kg/m^3 dozajlı üç farklı çökme değeri ($3\pm 1 \text{ cm}$, $5\pm 1 \text{ cm}$, $7\pm 1 \text{ cm}$) olan betonlar üretilmiş daha sonra %75 normal, %25 hafif agregası karışımlarında dozaj 200, 250, 350 ve 500 kg/m^3 şeklinde değiştirilerek dozajın betona etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak, bu hafif agregasının kullanıldığı betonların hem yalıtım amaçlı hem de taşıyıcı olarak kullanılmasında bir sakınca olmadığı görülmüştür (75).

Tüf ve sünger taşı kullanılarak yapılan bir araştırmada, $900-1200 \text{ kg/m}^3$ birim ağırlığa sahip hafif betonların ısı iletkenliklerinin $0.25-0.60 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ arasında bulunduğu belirtilmektedir (13).

Bims (pomza), volkanik cüruf ve tüf agregalarıyla üretilen beton blokların duvar elemanı olarak kullanılabilirliğinin araştırıldığı bir çalışmada, bu agregalarla üretilen beton örneklerin ısı iletkenlik katsayıları “Plaka Yöntemi” ile, etüvde kurutulmuş $24 \times 24 \times 5 \text{ cm}$ boyutlarında 3 adet örnek üzerinde belirlenmiştir. Betonun kuru birim ağırlığı arttıkça ısı iletkenlik katsayılarının da aynı paralelde arttığı saptanmıştır. Kuru birim ağırlığı $970-1115 \text{ kg/m}^3$ arasında değişen bims (pomza) betonlarının ısı iletkenlik katsayılarının $0.15-0.175 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ arasında değiştiği gözlenmiştir (4).

Başka bir çalışmada, araştırma amacıyla üretilen, hacim yüzdesi olarak yaklaşık % 10-12 arasında değişen nem durumları ve birim ağırlıkları yaklaşık $1200-1510 \text{ kg/m}^3$ arasında değişen sünger taşı agregalı hafif betonların ısı iletkenliklerinin $0.33-0.48 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ arasında değiştiği hesaplanmıştır (13).

Hafif betonla normal betonun özelliklerinin incelendiği bir araştırmada, hafif beton karışımlarında 505 kg/m^3 ve kontrol amacıyla üretilen normal beton için ise 425 kg/m^3 çimento kullanılmıştır. Sonuçta deneme hafif betonun ısı iletkenlik katsayısının %20 azaldığı bildirilmiştir (58).

Doğal yapıdaki pomza agregalarının kullanıldığı bir araştırmada, üretilen betonlarda çimento miktarları belirli oranlarda azaltılarak yerine kireç katılmıştır. Hafif betonların 28 günlük silindir basınç dayanımlarının $25 \text{ kgf/cm}^2-116.5 \text{ kgf/cm}^2$ arasında değiştiği bulunmuştur. Karışımlardaki kireç miktarının artışına bağlı olarak basınç dayanımlarının azaldığı belirlenmiştir. Kireç miktarının artışına bağlı olarak ısı iletkenliklerinin de azaldığı saptanmıştır. Sonuç olarak kirecin çimento ile bağlayıcı olarak hafif betonlara katılmasının dayanım artışına çimento kadar olumlu bir etkide bulunmadığı fakat karışımların yalıtkanlığını arttırdığı belirtilmektedir (64).

Çeşitli hafif agregalar kullanılarak üretilen betonların ölçülmüş ısı iletkenlik katsayılarının betonların kuru birim hacim ağırlıklarının fonksiyonu olduğu yapılan bir çalışmada saptanmıştır. Betonların ısı iletkenlik katsayılarının kuru birim hacim ağırlıkla doğru orantılı olduğu fakat bu ilişkide bir takım farklılıkların bulunduğu da bu çalışmanın bir sonucudur. Aynı çalışmada ısı iletkenlik katsayılarının kurutulmuş örnekler üzerinde belirlendiği fakat uygulamada malzemelerin nem içerdiği belirtilmiştir. Sonuçta gözeneklerde ısı iletkenlik katsayısı düşük olan hava ($0.017 \text{ kcal/mh}^{\circ}\text{C}$) ile ısı iletkenlik katsayısı yüksek suyun ($0.49 \text{ kcal /mh}^{\circ}\text{C}$) yer değiştirmesinin ısı iletkenlik katsayısını etkilediği ve nem miktarına bağlı olarak ısı iletkenlik katsayısının arttığı vurgulanmaktadır (41).

Isı yalıtımı sağlayacak daha ekonomik ve fonksiyonel bir yapı malzemesi üretiminin amaçlandığı bir çalışmada, ambalaj sanayiinde kullanılan styropor granül hale getirilerek üretilen beton karışımlarına farklı oranlarda katılmıştır. Beton örneklerin ısı iletkenlik katsayıları DIN 51046'ya uygun olarak, "Sıcak Tel" yöntemine göre ölçme yapan aygıt (Shoterm-QTM) kullanılarak belirlenmiştir. Karışımlara katılan styropor yüzdesi arttıkça beton örneklerin ısı iletkenlik katsayılarının azaldığı ve $0.47-0.31 \text{ kcal/mh}^{\circ}\text{C}$ arasında değiştiği saptanmıştır (76).

Karadeniz Bölgesi doğal agregalarından biri kullanılarak hafif beton üretilen bir çalışmada, bu betonun özellikleri normal bir betonun özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Karışımlarda granül halde agrega kullanılmış olup 350 kg/m^3 dozajlı, su/çimento oranı 0.5 olan karışımlar hazırlanarak örneklere kür uygulandıktan sonra 28. gün deneye tabi tutulmuş ve hafif agregalarla üretilen betonun birim ağırlığı 1865 kg/m^3 , basınç dayanımı 190 kgf/cm^2 olarak belirlenmiştir. Karşılaştırma amacıyla dökülen normal betonun birim ağırlığı 2400 kg/m^3 ve basınç dayanımı da 370 kgf/cm^2 olarak bulunmuştur. Üretilen betonların ısı iletkenlik katsayıları ise hafif agregalı betonlar için $0.5766 \text{ kcal/mh}^{\circ}\text{C}$, normal agregalı betonlar için $1.0537 \text{ kcal/mh}^{\circ}\text{C}$ olarak saptanmıştır. Sonuç olarak hafif betonun ısı geçirme direncinin normal betona göre çok daha iyi olduğu, yapıların ısı yalıtımı ve yangın dayanımı açısından hafif betonların normal betonlara göre çok daha üstün olduğu belirtilmektedir (5).

Kırsal yörelerdeki tarımsal yapılarda işletme koşullarında kolaylıkla sağlanabilen saman, sap, hızar talaşı ve kömür cürufunun yalıtım özelliklerinin incelendiği bir araştırmada, bu malzemeler çeşitli oranlarda çimento, sönmüş kireç, alçıyla karıştırılarak örnekler hazırlanmış ve bu örneklerin ısı iletkenlikleri araştırılmıştır. Yalıtım amaçlı üretilen bu malzemelerin ısı iletkenliğinin belirlenmesinde, geçici rejim yöntemlerinden “Sıcak Tel” yöntemi kullanılmıştır. Her karışımın üç ayrı örneğinde yapılan ölçümlerin ortalaması alınarak örneklerin ısı iletkenlik katsayıları 0.0473 kcal/mh°C –0.129 kcal/mh°C arasında bulunmuştur (47).

Kocapınar pomzası ile üretilen betonların ısı iletkenliklerinin araştırılması başlıklı çalışmada, Van-Erciş pomzasına farklı oranlarda normal agregası karıştırılarak üretilen farklı çökmeli betonların ısı iletkenlikleri “Sıcak Tel” yöntemine göre ölçülerek %100 normal agregası ile üretilen betonlarla karşılaştırılmıştır. Dozajın, betonun birim ağırlığı ve ısı iletkenliği üzerindeki etkisini incelemek için farklı dozajlı (200, 350, 400 ve 500 kg/m³) betonlar üretilmiştir. Sonuç olarak, pomza kullanılarak üretilen betonların birim ağırlıklarının aynı koşullarda üretilen normal betonlara göre %40 hafif ve %46 oranında daha az ısıyı ilettiği gözlemlenmiştir. Dozajın artmasıyla hem birim ağırlık hem de ısı iletkenliğinin arttığı belirlenmiştir (77).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde araştırmada kullanılan materyal ve uygulanan yöntemler açıklanmıştır.

3.1. Materyal

Araştırmada kullanılan ve betonun bileşenlerini oluşturan hafif agregalar (pomza), normal agregalar, bağlayıcı madde (çimento) ve beton karma suyu ile ilgili bilgi verilmiştir.

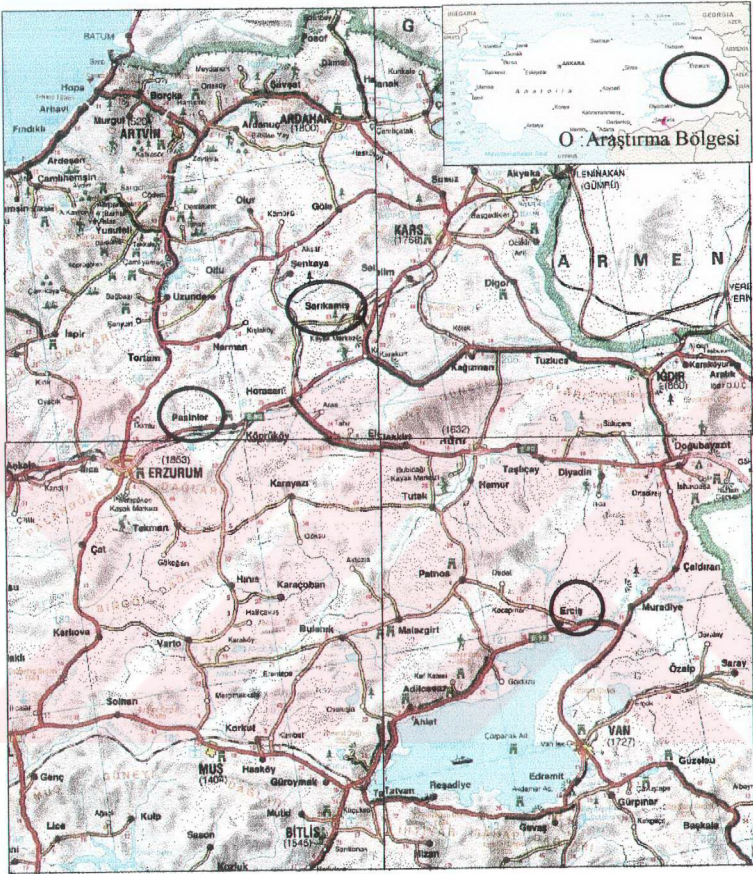
3.1.1. Hafif Agregalar

Pomza; volkanik cam yapısındaki bir kayaç türü olup, asidik ve bazik özelliklere sahiptir. Yeryüzünde yaygın olarak bulunan ve kullanılan türü olan asidik pomza, beyaz, kirli renktedir (17).

Deneylerde hafif agregalar olarak; Van-Erciş, Kars-Sarıkamış ve Erzurum-Pasinler yörelerinden elde edilen agregalar kullanılmıştır.

Van-Erciş yöresinde volkanik curuf ocağından elde edilen hafif agreganın (pomza) rezerv değeri 154.625.000 m³, Kars-Sarıkamış yöresinde sünger taşı ve volkan tüfü ocağından sağlanan hafif agreganın (pomza) rezerv değeri 1.875.000 m³ ve Erzurum-Pasinler yöresinde volkanik curuf ocağından alınan hafif agreganın (pomza) rezerv değeri de 1.100.000 m³ kadardır (17).

Araştırmada kullanılan hafif agregaların elde edildiği yörelerin yer aldığı harita Şekil 3.1' de, agregalar ocaklarının görünüşleri de Şekil 3.2, 3.3 ve 3.4'de görülmektedir.



Şekil 3.1. Araştırmada Kullanılan Hafif Agregaların Alındığı Bölgeler



Şekil 3.2. Van-Erciş Hafif Agregasının Alındığı Ocak



Şekil 3.3. Kars-Sarıkamış Hafif Agregasının Alındığı Ocak



Şekil 3.4. Erzurum-Pasinler Hafif Agregasının Alındığı Ocak

Hafif agregaların kimyasal analizi Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümünde yaptırılmıştır. Kimyasal analiz sonuçları Tablo 3.1, 3.2 ve 3.3'de verilmektedir.

Tablo 3.1. Van-Erciş Yöresinden Elde Edilen Hafif Agreganın Kimyasal Analizi

Kimyasal Bileşenler	% Oran
MgO	0.01
Al ₂ O ₃	13.20
SiO ₂	71.35
CaO	1.84
Fe ₂ O ₃	1.54
SO ₃	0.04
K ₂ O	5.0
Na ₂ O	3.40
TiO ₂	0.25
Kızdırma Kaybı	3.37

Tablo 3.2. Kars-Sarıkamış Yöresinden Sağlanan Hafif Agreganın Kimyasal Analizi

Kimyasal Bileşenler	% Oran
MgO	0.30
Al ₂ O ₃	12.97
SiO ₂	68.05
CaO	1.05
Fe ₂ O ₃	6.78
SO ₃	0.16
K ₂ O	3.49
Na ₂ O	2.43
TiO ₂	0.17
Kızdırma Kaybı	4.60

Tablo 3.3. Erzurum-Pasinler Yöresinden Alınan Hafif Agreganın Kimyasal Analizi

Kimyasal Bileşenler	% Oran
MgO	0.02
Al ₂ O ₃	12.99
SiO ₂	70.33
CaO	1.75
Fe ₂ O ₃	1.51
SO ₃	0.29
K ₂ O	5.8
Na ₂ O	3.9
TiO ₂	0.35
Kızdırma Kaybı	3.06

3.1.2. Normal Agregası

Araştırmada normal agregası olarak Erzurum ili Pasinler ve Horasan ilçeleri yöresinde, Aras nehrinin biriktirdiği kum-çakıl yataklarından sağlanan agregası kullanılmıştır.

3.1.3. Çimento

Beton deney karışımlarında bağlayıcı madde olarak Aşkale Çimento Fabrikası ürünü KÇ 325 çimentosu kullanılmıştır. Aşkale Çimento Fabrikasından alınan çimentonun kimyasal analiz değerleri Tablo 3.4’de, fiziksel ve mekaniksel özellikleri Tablo 3.5’de verilmiştir.

3.1.4. Beton Karma Suyu

Beton karışımlarında kullanılacak suyun, temiz olması ve betona olumsuz bir etki yapmaması gerekmektedir. İçilebilir sular beton üretiminde yoğurma suyu olarak kullanılabilir (24). Beton karma suyu olarak Atatürk Üniversitesi içme ve kullanma suyu kullanılmıştır.

Tablo 3.4. Araştırmada Kullanılan Aşkale Çimento Fabrikası KÇ 325 Çimentosu Kimyasal Analizi

Bileşenler	% Oran
SiO ₂	17.69
Fe ₂ O ₃	3.59
Al ₂ O ₃	5.89
CaO	57.69
MgO	3.39
SO ₃	2.57
Kızdırma Kaybı	2.50
Sülfür (S ⁻²)	0.27
Klor (Cl ⁻)	0.04
Çözünmeyen Kalıntı	4.86
Tayin Edilmeyen	0.55
Serbest CaO	0.96

Tablo 3.5. Araştırmada Kullanılan Çimentonun Fiziksel ve Mekaniksel Özellikleri

Özgöl ağırlık (g/cm^3)	3.03
Litre ağırlığı (g/l)	1130
Özgöl yüzey (cm^2/g)	3613
200 Mikronluk elek üstünde kalan (%)	0.1
90 Mikronluk elek üstünde kalan (%)	3.1
Priz başlangıcı (saat)	2:30
Priz sonu (saat)	3:20
Hacim genişlemesi (Le Chatelier, mm)	3
2 günlük	12.5
Basınç dayanımı (N/mm^2) 7 günlük	24.8
28 günlük	36.5

3.2. YÖNTEM

Hafif agregaların özelliklerinin belirlenmesi ve bu agregalarla üretilen farklı beton karışımlarına ilişkin seçeneklerin hazırlanmasındaki ilkelerle, karışım oranlarının hesaplanması, taze ve sertleşmiş beton özelliklerinin saptanması, üretim işlemlerinde uygulanan yöntemler ve hazırlanan örnekler üzerinde ısı iletkenlik değerlerinin belirlenmesi yöntemleri bu bölümde açıklanmıştır.

Agrega deneylerinin bir kısmı Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü Yapı Malzemesi ve Mukavemet Laboratuvarında, bir kısmı da Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında, taze ve sertleşmiş beton deneyleri de Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü ile Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi ve Tatbiki Mekanik Laboratuvarında yapılmıştır.

3.2.1. Agregada Deneylerinde Uygulanan Yöntemler

Her bir agregada deneyi için yeterli olabilecek miktardaki agregada örneği TS 1114 standardında belirtilen ölçütlere göre alınarak yapılacak deneyler adı geçen standarda uygun olarak üçer kez yinelenmiş ve agregaların fiziksel özellikleri belirlenmiştir (19).

Araştırmaya konu olan hafif agregalar üzerinde TS 1114'te belirtilen tane büyüklüğü dağılımı, birim ağırlık ve yoğunluk, özgül ağırlık ve su emme oranı, organik madde, ince madde, sülfat, çeliğe zarar veren maddelerin belirlenmesi deneyleri; normal agregada üzerinde ise granülometri, birim ağırlık ve yoğunluk, ince madde, özgül ağırlık ve su emme oranı, organik madde ve sülfat miktarının belirlenmesi deneyleri yapılmıştır (19). Hafif ve normal agreganın tane büyüklüğü dağılımı TS 3530'a göre belirlenmiştir (78). Agregaların gevşek birim ağırlıkları TS 3529 (79), zararlı oranda organik madde TS 3673 (80), ince ve iri agregalarda ince madde oranı TS 3527 (81), sülfat miktarı TS 3674 (82), hafif agregada suda çözünen klorür miktarı TS 3732 (83), özgül ağırlık ve su emme oranı da TS 3526'ya göre saptanmıştır (84).

3.2.2. Hafif Agregaların Ocaktan Alınışı

Hafif agregalar üç farklı ocaktan alınmış olup hafif agregaların alındığı her üç ocak için de malzemede büyük oranda aynılık olduğu varsayılarak (19) ocaktan yeteri kadar örnek alınmıştır. Agregaların alındığı yerlerde renk ve yapı değişikliğinin bulunmamasına özen gösterilmiştir.

3.2.3. Agregalar Üzerinde Yapılan Deneyler

3.2.3.1. Tane Büyüklüğü Dağılımı

Hafif agreganın tane büyüklüğü dağılımı TS 3530 (78)'de belirtildiği şekilde belirlenmiştir. Deneylerde TS 1227 (85)'e uygun toplama kabı, 0.25 mm, 0.5 mm, 1 mm, 2 mm, göz açıklıklı kare gözlü tel elekler ile TS 1226 (86)'ya uygun 4 mm, 8 mm ve 16 mm göz açıklıklı, kare delikli tel elekler kullanılmıştır.

3.2.3.2. Birim Ağırlık

Hafif agregaların gevşek birim ağırlığı TS 3529'da belirtildiği şekilde yapılmıştır (79).

Şişleme sırasında tanelerin kırılma olasılığının yüksek olmasından dolayı hafif agregalar üzerinde sıkışık birim ağırlık deneyi yapılmamıştır. Normal agregaya için de hafif agregalar için yapılan deneyler karşılaştırma amacıyla tekrarlanmıştır.

Etüv kurusu durumuna getirilen hafif ve normal agregalar, ağırlığı tartılarak saptanmış olan (W_1) ölçü kabına kürekle taşarcasına doldurulmuştur. Küreğin, ölçü kabı üst yüzeyinden 5 cm den daha yukarı kaldırılmamasına, agregaların sıkışmamasına ve ayrışmamasına özen gösterilmiştir. Fazla agregaya elle sıyrılarak ölçü kabı üst yüzeyi düzeltilmiştir. Ölçü kabı, içindeki agregaya ile birlikte tartılarak ağırlığı (W_2) saptanmıştır. Agreganın net ağırlığı, ölçü kabı hacmine bölünerek agreganın gevşek birim ağırlığı bulunmuştur.

3.2.3.3. Organik Madde

Organik maddenin belirlenmesi her üç hafif agregaya ve normal agregaya örneklerinde TS 3673 (80)'de belirtilen şekilde yapılmıştır. Deney örneği 8 mm göz açıklı, kare gözlü tel elekten elenmiş ve elekten geçen kısmın içinden gelişi güzel alınan agregaya, ölçü

silindirinin 130 ml işaret çizgisine kadar doldurulmuştur. Üzerine 200 ml işaret çizgisine ulaşınca kadar %3'lük sodyum hidroksit çözeltisi eklenerek iyice karıştırılmıştır. 24 saat bekletildikten sonra örnekler üzerindeki sıvının aldığı renge göre agregada zararlı oranda organik madde bulunup bulunmadığına karar verilmiştir (80).

3.2.3.4. İnce Madde

Agreganın içinde bulunan ve tane büyüklüğü 0.063 mm'den küçük olan ince maddelerin oranı, normal agreganın iri kısmı (4/8), hafif agregaların ise hem ince (0/4) hem de iri kısmı için yıkama yöntemi ile tayin edilmiştir (81). Etüv kurusu durumuna getirilen örnek tartılarak kuru ağırlığı (W_1) saptandıktan sonra çalkalama kabına konmuş ve üzeri örtülecek derinlikte su ile doldurulmuştur. 15 saat suda bekletildikten sonra 0.063 mm'den ince tanelerin daha irilerinden ayrılmasını sağlamak amacıyla 5 dakika süre ile çalkalanmıştır. Bu işlemden sonra örnek, suyu ile birlikte sırasıyla dizilmiş olan 8 mm, 1 mm ve 0.063 mm göz açıklıklı eleklerin içine boşaltılmış ve yıkanmıştır. Eleklerin her üçünün üzerinde kalan agregalar bir araya toplanmış ve etüv kurusu durumuna getirilerek ağırlığı (W_2) saptanmıştır. Yıkabilen ince madde oranı $[(W_1 - W_2)/W_1] \times 100$ eşitliği ile saptanmıştır (81).

Normal ince agrega için ince madde oranının belirlenmesi, çökeltme yöntemi ile yapılmıştır (81). Deney örneği etüv kurusu durumuna getirilerek tartılmıştır (W). Yeterli miktarda su ile ölçü silindirinin içine konmuş 20 dakikalık aralarla üç kez 1-2 dakikalık süre ile çalkalanmıştır. 24 saat dinlendirildikten sonra çıplak gözle bakıldığında ölçü silindirinde ince kum olarak ayırt edilen malzemenin üstüne çökelen ince madde yüksekliği belirlenmiştir (81).

3.2.3.5. Sülfat Miktarı

Hafif ve normal agregalarda sülfat miktarının belirlenmesi TS 3674 (82)'de verilen deneye uygun olarak yapılmıştır. Deney örneği etüv kurusu durumuna getirildikten sonra tümü 2 mm göz açıklıklı elekten geçebilecek şekle gelinceye kadar öğütülmüştür.

Elekten geçen malzemeden 100 g kadar alınarak 0.09 mm göz açıklıklı elekten elenmiştir. Elek altında biriken ve çok ince olan bu malzemeden yaklaşık 1 g alınarak tartılmıştır (W_0). Tartılan örnek 250 ml'lik behere alınarak üzerine 10 ml derişik hidroklorik asit eklenmiş, çeker ocak içerisinde ısıtıcı üzerine konarak yaklaşık 110 °C sıcaklıkta asidin tümü buharlaşınca kadar ısıtılmıştır. İşlem, behere yeniden 10 ml derişik hidroklorik asit eklenerek yinelenmiştir.

Eklenen asitin tümü ikinci ısıtma işleminin sonunda buharlaştırıldığında üçüncü kez 10 ml hidroklorik asit eklenip 5 dakika ısıtılmıştır. Beher ocaktan indirildikten sonra 50 ml sıcak saf su eklenerek iki kat beyaz bant süzgeç kağıdından süzölmüştür. Süzgeç kağıdı üzerinde kalmış olan çökelti saf su ile 5 kez yıkandıktan sonra süzöntü 400 ml'lik behere alınmış ve üzerine 5 damla hidroklorik asit eklenerek kaynama noktasına kadar ısıtılmıştır. Daha sonra damla damla 100 g/l'lik 10 ml baryum klorür ($BaCl_2$) çözeltisi eklenerek tüm sülfatın baryum sülfat ($BaSO_4$) şeklinde çöktürölmesi sağlanmıştır. Süzöntü içindeki çökekle birlikte mavi bant süzgeç kağıdından süzdürölümüştür. Süzgeç kağıdı üzerinde kalan baryum sülfat çökeleği sıcak saf su ile iyice yıkandıktan sonra süzgeç kağıdı ile birlikte, ağırlığı önceden belirlenen platin krozeeye konulmuştur. 900 °C'de kızdırılmış ve soğutulduktan sonra tartılarak ilk ağırlık ile arasındaki fark (W_1) bulunmuş olup agreganın sülfat miktarı da TS 3674 (82)'de verilen $(0.3430 \times W_1 / W_0) \times 100$ formölü kullanılarak hesaplanmıştır.

3.2.3.6. Çeliğe Zarar Veren Maddeler

Betonarme betonunda kullanılacak hafif agregalarda donatının korozyondan korunmasını tehlikeye sokan tuzların belirlenmesi için hafif agrega üzerinde TS 3732 (83)'de belirtilen deney uygulanmış ve hafif agregalardaki suda çözölen klorür miktarının ağırlıkça oranı belirlenmiştir.

Deney örneği etöv kurusu durumuna getirildikten sonra 2 mm göz açıklıklı tel elekten geçinceye kadar öğütölümüştür. Elekten geçen malzemenin içinden 100 g alınmış ve 0.09 mm göz açıklıklı elekten elenmiştir. Elek altındaki malzemeden yaklaşık 1 g alınarak

0.0001 duyarlılıkta tartılmıştır (A). İçinde 200 ml damıtık su bulunan behere konarak 1 saat kaynatılmıştır. Daha sonra çökelmeye terkedilmiş ve çökeltme tamamlanincaya kadar bekletilmiştir. Çökelti beyaz bant süzgeç kağıdından süzölmüş ve süzgeç kağıdı üzerinde kalan çökelek 250 ml damıtık su ile beherin içinde yıkanmıştır. Süzöntü 500 ml'lik balon jojeje konularak damıtık su ile 500 ml'ye tamamlanmıştır.

Bundan 50 ml alınarak 2-3 damla potasyum kromat indikatörü eklenmiş, 0.05 molarlık gümüş nitrat çözeltisi ile renk sarıdan pembemsi sarıya dönüşönceye kadar titre edilmiştir.

Harcanan 0.05 molarlık gümüş nitrat hacmi (S) büretten okunmuştur. Aynı şekilde kaynatılıp soğutulmuş olan damıtık sudan 50 ml alınarak 2-3 damla potasyum kromat indikatörü katılıp titre edilmiştir. Bunun için harcanan gümüş nitrat çözeltisi hacmi de büretten okunmuştur (B). Agreganın klorür miktarı (C), % olarak $C=1.772 \times (S-B)/A$ eşitliği ile hesaplanır (83).

3.2.3.7. Özgöl Ağırlık ve Su Emme

Agregaların kuru özgöl ağırlığı, doygun kuru yüzey özgöl ağırlığı ve görünen özgöl ağırlığı ince ve iri agregalarda ayrı ayrı uygulanan ve TS 3526 (84)'de belirtilen deneylerle belirlenmiştir.

İnce agreganın özgöl ağırlığı ve su emme oranının belirlenmesi için deney örneği su içerisinde 24 saat bekletildikten sonra suyu süzölerek akıtılmış ve bir tava içerisinde konarak tablalı ısıtıcı üzerinde kurutulmuştur. Doygun kuru yüzey hali ince agreganın koyu renkten açık renge değışmeye başladığı anın hemen sonrasındır. Örneğin doygun kuru yüzey durumuna gelip gelmediğine göz ile karar verilemediğinden kesme yöntemi uygulanmıştır.

Doygun kuru yüzey duruma geldiği sanılan örnek yaklaşık yarım küre biçiminde bir yığın haline getirilmiştir. Bu yığın, mala ile düşey olarak ikiye bölündüğünde ortaya

çıkan yüzeyin kendini tutamayıp yıkıldığı an örneğin doygun kuru yüzey konuma ulaştığına karar verilmiştir. Örnek doygun kuru yüzey konuma getirildikten sonra tartılarak doygun kuru yüzey ağırlığı belirlenmiştir (W_2). Daha sonra etüv kurusu durumuna getirilmiş ve oda sıcaklığına kadar soğutularak örneğin kuru ağırlığı saptanmıştır (W_1). Etüv kurusu durumundaki örnek ölçü kabına konduktan sonra ölçü kabı yaklaşık 20 °C'deki su ile yarıya kadar doldurulmuştur. Ölçü kabına hafif hafif vurularak hava kabarcıklarının çıkması sağlanmıştır. Bir saat beklendikten sonra yaklaşık 20 °C'deki su ile 1.000 ml işaret çizgisine kadar doldurulmuş ve tartılmıştır (W_3). İnce agreganın görünen özgül ağırlığı; $\gamma_g = W_1/(W_1+W_4-W_3)$ eşitliği ile, su emme oranı da; $\% m = [(W_2-W_1)/W_1] \times 100$ eşitliği ile belirlenmiştir.

İri agreganın özgül ağırlığı ve su emme oranının belirlenmesi için deney örneği, içinde yaklaşık 20 °C sıcaklığında su bulunan bir kap içine konularak 24 saat bekletilmiştir. Daha sonra çıkarılarak suyu süzölmüş ve tanelerin üzerinde gözle görülebilen su tabakası kalmayıncaya kadar taneler teker teker kurulanmıştır. Kurulama işlemi biter bitmez örnek tartılarak doygun kuru yüzey ağırlığı bulunmuştur (W_2). Doygun kuru yüzey halindeki örnek tartıdan sonra kafes örgülü tel sepete konarak su dolu kovanın içine daldırılmıştır. Su yüzeyine çıkarılmadan kovanın içinde 10 kez indirilip kaldırılarak taneler arasında kalabilecek havanın dışarı çıkması sağlanmıştır. Tel sepet özel bir düzeneğe teraziye bağlanarak doygun malzemenin sudaki ağırlığı bulunmuştur (W_3). Örnek sudan çıkarılarak etüv kurusu durumuna getirilmiş ve oda sıcaklığına kadar soğutularak kuru ağırlığı belirlenmiştir (W_1). İri agreganın görünen özgül ağırlığı $\gamma_p = W_1/(W_1-W_3)$ ve su emme oranı da $\% m = (W_2-W_1)/W_1$ eşitlikleriyle belirlenmiştir (84).

3.3. Beton Seçeneklerinin Saptanması

Belirtilen yöntemlerle özellikleri saptanan agregalar ile çok çeşitli hafif betonlar yapılabileceği düşünülerek, çeşitli seçenekler üzerinde durulmuştur. Bu agregalardan yapı betonu (yerinde dökülen) ve duvar birimleri (prefabrik duvar elemanları) üretilmesi şeklinde yararlanılabileceği ve ayrıca özellikle tarımsal yapılarda da kullanılabileceği göz önünde tutularak, denemelerde uygulanacak beton seçenekleri saptanmıştır.

Beton yapımında malzemenin özelliklerine bağlı olarak ekonomik olabilecek bir biçimde değerlendirilebilmesi amacıyla olanaklar ölçüsünde mekanik işlemlerden kaçınılmış, agregaların doğal durumu ile en az işlem yapılarak uygun beton üretimi koşullarının bulunması temel ilke olarak kabul edilmiştir.

Karışık agrega ile üretilen yapısal beton ve duvar birimleri yapımı amacına yönelik betonlar için agrega en büyük tane boyutu, TS 1114 (19) ve ASTM C 331 (21)'de belirtilen değerlere uygun olarak 16 mm kabul edilmiştir.

Bu boyutun seçilmesinde; tarımsal yapılarda büyük tane boyutlarının beton karışımlarında uygulanabilmesi ve en büyük tane boyutu arttıkça gerekli çimento miktarının azaltılabilmesi (87) gibi etkenler de göz önünde bulundurulmuştur.

Agregada en büyük tane boyutu değişiminin, beton özelliklerine etkisi bilindiğinden ve aynı agrega ile üretilen farklı betonların özelliklerine ilişkin değerlerin karşılaştırılabilmesi için kabul edilen 16 mm agrega en büyük tane boyutu, tüm beton karışımlarında uygulanmıştır.

Agrega granülometrisi; üretilecek beton özellikleri, özellikle beton dayanımları bakımından büyük önem taşıyan bir etken olduğundan (18), agregaların farklı granülometri seçenekleri ile beton yapılması kararlaştırılarak, agregaların granülometri eğrilerinin incelenmesinden sonra iki farklı seçenek üzerinde durulmuştur.

Bu seçeneklerden birincisi, agregaların doğal durumundaki granülometrisini içermektedir. İkincisi ise ASTM C 330, ASTM C 331 ve TS 1114 standartlarında ön görülen granülometri sınır eğrilerinin tam ortasını izleyen tane dağılımına ayarlanmalarıdır (19, 20 ve 21).

Doğal ve ayarlanmış granülometrilili agregalarla deneyler için hazırlanan hafif betonların üretiminde uygulanan hava ve çökme miktarları ile çimento dozajları aşağıda belirtildiği şekilde saptanmıştır.

Hafif taze betonların yapılan ön denemelerde % 3-6 arasında hava içerdiği saptanmıştır. Agregaların en büyük tane boyutu (16 mm) için uygun hava oranlarının % 4-8 arasında olabileceği belirtilmektedir (23, 27). Deney betonlarında saptanan hava oranları literatürde önerilen değerlere oldukça uygunluk gösterdiğinden, betonların hava katkısız olarak yapılması kararlaştırılmıştır. Ayrıca bu konuda beton basınç dayanımlarını düşürmemesi ve dayanımın tarımsal yapılarda öncelikle göz önünde tutulması da betonların hava katkısız olarak üretilmesinde etkili olmuştur.

Laboratuarda yapılan ön denemelerde hafif agrega betonu için 3-6 cm arasında değişen çökmelerin, işlenebilme için uygun olduğu saptandığından, tüm deneme karışımlarında çökme bu sınırlar arasında (5 cm) tutulmuştur. Üretilen beton karışımlarında ayrışmanın oluşmaması, uygun işlenebilme özelliği ve beton basınç dayanımını olumsuz yönde etkilemesi gibi betonda istenmeyen durumların ortaya çıkmasını önlemek için üretilen beton karışımlarında 6 cm'den fazla çökmenin olmaması önerilmektedir (14).

Çimento dozajı betonun önemli özelliklerini oluşturan ve ekonomisini büyük çapta etkileyen bir değişkendir. Bu bakımdan farklı çimento dozajlarına göre de seçeneklerin hazırlanması öngörülmüş, değişik çimento dozajlarının ve değişim aralıklarının saptanmasında, hafif agregalarla üretilecek beton dayanımlarına ilişkin alt ve üst sınırlar ölçüt olarak alınmış, değişim aralığı, dozaj-dayanım ilişkisini belirleyebilecek biçimde seçilmiştir. Dayanım düzeylerinin belirlenmesinde tarımsal yapıların durumları da göz önünde bulundurulmuştur. Donatısız, özellikle yalıtım betonları için gerekli çimento dozajı 90-200 kg/m³ ve yapı betonlarında ise bu değer 300-500 kg/m³ arasında değişmektedir (57). Tarımsal yapılar genellikle tek katlı olduğundan, taşıyıcı elemanlarında diğer yapılara göre daha düşük dayanımlara gerek duyulabilir.

Hafif betonların özellikle tarımsal yapılardaki değişik kullanım amaçları da göz önünde tutularak çimento miktarları 150, 250 ve 350 kg/m³ olarak seçilmiştir.

Araştırmaya konu olan beton karışımlarında, granülometrileri farklı üç ayrı hafif agrega kullanılması öngörüldüğünden, belirtilen dozaj dizisinin doğal ve ayarlanmış

granülometride, havasız, 5 cm çökme verebilen beton karışımlarına uygulanarak, taze ve sertleşmiş beton özelliklerinin saptanması bakımından yeterli görülmüştür. Hafif betonlar için öngörülen seçenekler karşılaştırma amacıyla aynen normal beton içinde uygulanmıştır.

3.3.1. Karışım Oranlarının Saptanması

Beton karışım hesabı; istenen kıvam, işlenebilme, dayanım, dayanıklılık, hacim sabitliği ve diğer aranan özelliklere sahip en ekonomik betonu elde etmek amacıyla gerekli agrega, çimento, su, hava ve gerektiğinde katkı maddesi miktarlarını belirlemek için yapılan hesaptır (88). Beton karışım hesaplarının amacı, sonunda elde edilecek , yerine dökülmüş 1 m^3 beton için gerekli bileşenlerin önceden kestirilebilmesidir (24).

Çoğunlukla hafif agregalı betonların net su/çimento oranı, karışım hesabına temel olabilecek yeterli doğrulukta saptanamadığından hafif agregalı beton karışımları önerilen koşuldaki kıvamda, çimento dozuna göre bir seri deney karışımı yapılarak hesaplanmıştır (26).

Betonu oluşturacak agreganın en büyük tane boyutu, kullanılacağı yapı elemanının cins ve en dar kesitinin boyutu ile ilişkilidir (39). Beton üretiminde olanak ölçüsünde en büyük tane büyüklüğünün seçilmesi, gerekli çimento ve yoğurma suyu miktarının azalmasına ve bunun sonucu olarak da betonun niteliğinin yükselmesine neden olur (24). Beton karışımlarında kullanılan agreganın en büyük tane boyutu 16 mm olarak alınmıştır. Agreganın tane dağılımı ise en büyük tane çapına bağlı olarak ASTM C 331 ve TS 1114 (19, 21)'de verilen sınır değerleri tam ortalayacak şekilde ayarlanmıştır. Bu ayarlama sonucu tane sınıflarının oranları hafif agregalarda, 0/2 için % 43, 2/4 için % 14, 4/8 için %21, 8/16 için %17, normal agregada ise 0/2 için % 32, 2/4 için %12, 4/8 için % 19 ve 8/16 içinde %27 olarak belirlenmiştir.

Betonda hafif agregaların etkili olarak kapladıkları hacimler bunların ağırlıkları ve piknometre yoğunluk faktörünün 10 dakikalık değerlerinden yararlanılarak hesaplanmıştır (26).

Hafif agregaların hacim hesabında TS 2511 (26)'ya uygun olarak 10 dakikalık özgül ağırlık faktörü kullanılmıştır. Normal agreganın kullanıldığı betonlar da hafif agregalarla aynı şekilde düşünülüp değerlendirilmiştir.

Hafif agregalarla üretilen betonlar için karışım hesabında TS 2511 (26) temel alınmış olup bu hesaplama aynen normal agreganın için de uygulanmıştır.

Karışımların toplam hacmi, her bir malzemenin kapladığı hacme, deneyle saptanan hava hacmi eklenerek bulunmuştur. Karışımındaki çimentonun mutlak hacim hesabı karışımındaki kuru çimentonun ağırlığı esasına göre yapılır. Agregaların etkili olarak kapladıkları hacimler bunların ağırlıkları ve piknometre yoğunluk faktörünün 10 dakikalık değerlerinden yararlanılarak hesaplanmış, suyun kapladığı hacim ise karışıma konulan su miktarı esasına göre bulunmuştur. Karışımındaki hava boşlukları hacmi deneyle saptanan hava yüzdesinin, karışımın toplam hacmi ile çarpılarak hesaplanmıştır.

Araştırmada üç farklı ocaktan alınan doğal hafif agregalar ve bunlarla karşılaştırmak amacıyla normal agreganın iki farklı granülometrisi ve üç farklı dozaj ile beton üretimi öngörüldüğünden, daha önce açıklanan yöntemlerle farklı karışımlar için hesaplanan malzeme miktarları ağırlık olarak bulunmuş ve deney örneklerine yeterli hacimde betonlar üretilmiştir.

Betonların üretiminde sabit çökme değerinin (5 cm) sağlanması için sadece su miktarları ayarlanmıştır. Daha sonra arttırılan veya eksiltilecek su oranlarına göre karışımlar yeniden hesaplanmıştır (13).

Farklı granülometreleri ve belirtilen değişik çimento dozajları ile 1 m³ beton üretimi için gerekli çimento, iri ve ince agregalar, 0/2, 2/4, 4/8 ve 8/16 tane grupları için gerekli

oranlar, bunların karışımında kapladıkları mutlak hacim olarak ayrı ayrı hesaplanmış, 1 m^3 'ten bu hacim toplamaları çıkarılarak farklı karışımlar için su miktarları bulunmuştur (26).

8 grup beton karışımı üretilmiştir. İlk altı grup için üretilen beton karışımlarında farklı üç ocaktan alınan (Van-Erciş, Kars-Sarıkamış ve Erzurum-Pasinler) hafif agregalar kullanılmıştır.

1., 2. ve 3. gruptaki betonların dozajı $150, 250$ ve 350 kg/m^3 'tür. Çökme değeri her üç grup içinde 5 cm olarak alınmış olup bu gruptaki agregalar doğal granülometrisi ile kullanılmıştır.

4., 5. ve 6. gruptaki beton karışımları ise $150, 250$ ve 350 kg/m^3 'lük dozajlarda yine 5 cm 'lik çökme değeri verecek şekilde ayarlanmış granülometrilik agregalar kullanılarak oluşturulmuştur.

7. ve 8. grup betonlar normal agregalarla oluşturulmuş olup, 7. gruptaki beton karışımları normal agregaların doğal granülometrisi ile 5 cm 'lik çökme değeri verecek şekilde $150, 250$ ve 350 kg/m^3 'lük dozajlarda üretilmiştir. 8. grup beton karışımında ise normal agregalar ayarlanmış granülometrilik olup karışımlar 5 cm 'lik çökme değeri verecek şekilde yine $150, 250$ ve 350 kg/m^3 'lük dozajlı olarak elde edilmiştir.

Gerekli deneylerin yapılması amacıyla; 3 adet hafif agrega ve 1 adet normal agrega olmak üzere 4 agrega kaynağı, doğal ve ayarlanmış granülometri olmak üzere 2 seçenek 3 çimento dozajı ve 3 tekerrür olmak üzere 72' şer karışım örneği hazırlanmıştır.

Betonların üretilmesinde hesap sonucuna göre hazırlanan deneme karışımları üzerinde gerekli ayarlamalar yapılarak, istenen özellikteki asıl karışımlar elde edilmiştir.

Üretilen beton karışımlarının hesaplamalarına örnek oluşturacak şekilde Van-Erciş hafif agregasıyla 150 kg/m^3 dozajlı doğal ve ayarlanmış granülometrilili 5 cm çökme değeri olan beton karışım hesabı aşağıda verilmiştir.

Genellikle 1 m^3 beton için 1.1 m^3 - 1.2 m^3 arasında kuru gevşek hafif agregaya gereklidir (26).

Van-Erciş hafif agregası doğal granülometrisinde özgül ağırlık faktörü piknometre yöntemine göre iri agregaya (4 nolu elek üstü) için 0.98, ince agregaya (4 nolu elek altı) için 1.14; nem miktarları, iri agregaya için % 18.6, ince agregaya için % 24.1; birim ağırlık iri agregaya için 496 kg/m^3 , ince agregaya için 551 kg/m^3 olarak saptanmıştır. Çimento özgül ağırlığı da 3.03 g/cm^3 'tür (Tablo 3.5).

Agregaların ağırlık olarak miktarları; 1 m^3 beton için gerekli kuru gevşek agreganın (1.2 m^3) yarısı iri agregaya, yarısı da ince agregaya olarak alınmıştır.

İri agregaya: $0.6 \times 496 \times 1.186 = 352.95 \text{ kg}$

İnce agregaya: $0.6 \times 551 \times 1.241 = 410.27 \text{ kg}$

Nemli agreganın karışım içinde kapladığı hacim (1 m^3 beton için) :

İri agregaya: $352.95 / 0.98 = 360.15 \text{ dm}^3$

İnce agregaya: $410.27 / 1.14 = 359.88 \text{ dm}^3$

Çimentonun kapladığı hacim:

$150 / 3.03 = 49.5 \text{ dm}^3$

Su miktarı:

$Su = 1000 - (360.15 + 359.88 + 49.5)$

$Su = 230.47 \text{ dm}^3$

$Su = 230.47 \text{ kg}$

Bu hesaplamalara göre beton dökülmüştür. Elde edilen karışımda istenen kıvamı tutturmak için 8 dm^3 'lük karışıma 306 ml su ayrıca katılmıştır. Hesaplamalar yeniden düzenlenerek 1 m^3 'lük beton karışımı için gerekli malzeme miktarları hesaplanmıştır (Tablo 3.6).

Tablo 3.6. 150 kg/m^3 Dozajlı Van-Erciş Hafif Agregası Doğal Granülometrilili 1 m^3 Beton Karışımına Giren Malzeme Miktarı

Bileşenler	Hacim (dm^3)	Ağırlık (kg)
Çimento	49.5	150
Su	268.72	268.72
Hava	50	-
İri Agregası	360.15	352.95
İnce Agregası	359.88	410.27
Toplam	1088.25	1181.94

1 m^3 beton karışımına giren bileşenlerin miktarlarının saptanması için bulunan bu miktarlar $1000/1088.25$ ile çarpılmıştır. 1 m^3 beton karışımına giren malzemelerin miktarları belirlenmiştir (Tablo 3.7).

Tablo 3.7. 1 m^3 Beton Karışımına Giren Ayarlanmış Malzeme Miktarı

Bileşenler	Hacim (dm^3)	Ağırlık (kg)
Çimento	45.5	137.84
Su	246.9	246.9
Hava	45.9	-
İri Agregası	331.0	324.33
İnce Agregası	330.7	376.99
Toplam	1000.0	1086.06

Van-Erciş hafif agregasının ayarlanmış granülometrisinde özgül ağırlık faktörleri;

0/2 tane sınıfı için: 1.23

2/4 tane sınıfı için: 1.11

4/8 tane sınıfı için: 1.05

8/16 tane sınıfı için: 1.01

Nem miktarları:

0/2 tane sınıfı için: 20.3

2/4 tane sınıfı için: 19.8

4/8 tane sınıfı için: 19.7

8/16 tane sınıfı için: 19.2

Agregaların ağırlık olarak miktarları; 1 m³ beton için gerekli kuru gevşek agreganın (1.2 m³); yapılan ayarlanmış granülometri eğrisinden elde edilen tane sınıfları için belirlenen oranları miktarında her tane sınıfı için karışıma malzeme katılmıştır. Bu oranlar 0/2 tane sınıfı için 0.43, 2/4 tane sınıfı için 0.14, 4/8 tane sınıfı için 0.21 ve 8/16 tane sınıfı için de 0.17'dir.

0/2 tane sınıfı için: $0.43 \times 1.20 \times 527 \times 1.203 = 327.13 \text{ kg}$

2/4 tane sınıfı için: $0.14 \times 1.20 \times 458 \times 1.198 = 92.18 \text{ kg}$

4/8 tane sınıfı için: $0.21 \times 1.20 \times 415 \times 1.197 = 125.18 \text{ kg}$

8/16 tane sınıfı için: $0.17 \times 1.20 \times 378 \times 1.192 = 91.92 \text{ kg}$

Agregaların kapladığı etkili hacim: (1 m³ beton için)

0/2 tane sınıfı için: $327.13 / 1.23 = 265.95 \text{ dm}^3$

2/4 tane sınıfı için: $92.18 / 1.11 = 83.05 \text{ dm}^3$

4/8 tane sınıfı için: $125.18 / 1.05 = 119.22 \text{ dm}^3$

8/16 tane sınıfı için: $91.92 / 1.01 = 91.01 \text{ dm}^3$

Çimentonun kapladığı hacim:

$150 / 3.03 = 49.5 \text{ dm}^3$

Su miktarı:

$S_u = 1000 - (265.95 + 83.05 + 119.22 + 91.01 + 49.5)$

$S_u = 391.27 \text{ dm}^3$

$S_u = 391.27 \text{ kg}$

Bu hesaplamalara göre beton dökülmüştür. Elde edilen karışımda istenen kıvam için 8 dm³'lük karışımdan 658 ml su çıkarılmıştır. Hesaplamalar yeniden düzenlenerek 1 m³'lük beton karışımı için gerekli malzeme miktarları belirlenmiştir (Tablo 3.8).

Tablo 3.8. 150 kg/m³ Dozajlı Van-Erciş Hafif Agregası Ayarlanmış Granülometrilik 1 m³ Beton Karışımına Giren Malzeme Miktarları

Bileşenler	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)
Çimento	49.5	150
Su	309.02	309.02
Hava	60.0	-
0/2	265.95	327.13
2/4	83.05	92.18
4/8	119.22	125.18
8/16	91.01	91.92
Toplam	977.75	1095.43

1 m³ beton karışımına giren bileşenlerin miktarlarının belirlenmesi için bulunan bu miktarlar 1000/977.75 ile çarpılmıştır. 1 m³ beton karışımına giren malzemelerin miktarları belirlenmiştir (Tablo 3.9).

Tablo 3.9. 1 m³ Beton Karışımına Giren Ayarlanmış Malzeme Miktarları

Bileşenler	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)
Çimento	50.63	153.41
Su	316.05	316.0
Hava	61.37	-
0/2	272.0	334.56
2/4	84.94	94.27
4/8	121.93	128.02
8/16	93.08	94.01
Toplam	1000.0	1120.27

3.4. Taze Beton Deneylerinde Uygulanan Yöntemler

3.4.1. Karışımların Üretilmesi

Taze betonların karıştırılması metal tavalarda üzerinde elle yapılmış, karıştırılan yığın hacimlerinin 8 dm³'ü geçmemesine özen gösterilmiştir. Yığınlar için hesaplanan

karışım suyunun önce 2/3'ü ile agrega yaklaşık bir dakika karıştırıldıktan sonra çimento ve arta kalan su eklenerek, işlem karışımın kıvamı aynılık kazanıncaya kadar sürdürülmüştür (61). Bu süre yaklaşık üç dakika ve toplam karıştırma süresi de en fazla beş dakika olmuştur. Taze betonun en kısa süre içerisinde birim ağırlığı ve çökmesi saptanmıştır.

3.4.2. Kıvamın Belirlenmesi

Üretilen betonların çökme değerinin belirlenebilmesi için 8 dm³'lük karışımlar hazırlanmıştır. Hazırlanan bu karışım kesik huni içine yaklaşık üç eşit tabaka halinde ve her tabakaya 25 kez şişleme yapılarak yerleştirilmiştir. Kesik huni yüzeyi mala ile düzeltildikten sonra huni düşey doğrultuda yavaşça yukarı çekilerek alınmıştır. Huni beton arasındaki yükseklik farkı ölçülerek değeri saptanmıştır (89). İstenilen çökme değeri elde edilemediği durumlarda 8 dm³'lük karışım üzerinde karışıma yalnızca su ekleyip veya çıkarmakla yeniden ayarlama yapılarak yeni çökmesine bakılmıştır. İstenen çökme değeri elde edildiğinde hesaplamalar yeniden düzenlenmiştir. Şekil 3.5'de çökme deneyi görülmektedir.

Çökme değeri her beton grubu için 5 cm olacak şekilde beton karışım hesapları ayarlanmıştır (23, 27).

Taze hafif betonlardaki hava oranı PCA (1972)'de önerildiği gibi ASTM C 173'e göre agrega ve betondaki toplam hava yüzdesi olarak saptanmıştır (23, 90). Taze betonların havasının ölçülmesinde havametre aleti kullanılmıştır (Şekil 3.6). Hafif betonlar için yapılan işlemler normal beton için de uygulanmıştır.



Şekil 3.5. Çökme Deneyi



Şekil 3.6. Taze Beton Havaşının Ölçülmesinde Kullanılan Havametre

3.4.3. Taze Betonun Birim Ağırlığı

Laboratuarda hazırlanan taze beton, daha önce ağırlığı ve hacmi (V_k) belirlenen birim ağırlık kabına konulmuştur. Şişleme işlemi tamamlandıktan sonra sıkıştırılmış beton yüzeyi, mala ile düzeltilerek tartılmıştır (Şekil 3.7). Kabın boş ağırlığı brüt ağırlıktan çıkarılarak taze betonun net ağırlığı (W_n) bulunmuştur. Bu ağırlık kabın hacmine bölünerek betonun taze birim ağırlığı saptanmıştır (91).

$$B=W_n/V_k$$



Şekil 3.7. Birim Ağırlık Deneyi

3.4.4. Beton Örneklerinin Hazırlanması

Üretilen beton örnekler dikdörtgen prizma ve silindir şeklinde olup, dikdörtgen prizma örnekler ısı iletkenlik katsayısının belirlendiği aygıtın ölçüm yapan kısmının boyutuna uygun olarak 10x12x5 cm boyutunda, silindir örnekler de ASTM C 192 ve TS 3323'e uygun olarak 15x30 cm boyutlarındadır (92, 93). Beton örneklerinden dikdörtgen prizmaların döküldüğü kalıplar tahtadan yapılmıştır. Silindir örnek için standart silindir beton kalıpları kullanılmıştır. Kalıpların içi madeni yağ ile yağlanarak, beton kalıplara yerleştirilmiş ve 75 şişlemeden sonra kalıpların yüzeyi çelik mala ile düzeltilmiştir. Beton örneklerin nem kaybını önlemek için üzerleri naylonla kapatılarak kalıpta 24 saat bekletilmiştir (94).

3.4.5. Betonun Kürü

Laboratuar koşullarında 24 saat bekletilen örneklerin kalıpları söküldükten sonra kür havuzuna konulmuştur. Kür havuzu, örnekler konulmadan önce su ile doldurularak kireç ile doymun duruma getirilmiş ve sıcaklığının 23 ± 2 °C olması sağlanmıştır. Beton örnekler 27. gün sonunda kür havuzundan çıkartılmış, 1 gün dışarıda laboratuar koşullarında bekletilerek deney yapılmıştır (95). Kür havuzundaki örnekler Şekil 3.8'de görölmektedir.



Şekil 3.8. Beton Örneklerin Kür Havuzundaki Görünüşü

3.5. Sertleşmiş Beton Deneylerinde Uygulanan Yöntemler

Sertleşmiş beton örneklerinde 28 günlük birim ağırlık, ısı iletkenliği, basınç dayanımı, donma-çözülme sonrası basınç dayanımı ve su emme deneyleri yapılmıştır.

3.5.1. Örneklerin Başlıklanması

28 günlük basınç dayanımlarına bakılmak üzere kür havuzundan çıkarılan örneklerde noktasal yüklemeyi önlemek ve örnekler yükün düzgün bir şekilde yayılmasını sağlamak için örneklerin yalnızca üst yüzeyleri çimento hamuru ile başlıklanmıştır (94). Şekil 3.9'da çimento hamuruyla başlıklanmış örnekler görülmektedir.



Şekil 3.9. Silindir Beton Örneklerinin Başlıklanması

3.5.2. 28 Günlük Birim Ağırlık

Beton örneklerin 28 günlük birim ağırlığı dökülen örnekler üzerinde TS 3624 (96)'e göre belirlenmiştir. Laboratuvar koşullarında bekletilen örneklerin suyu süzildükten sonra tartılarak ağırlıkları saptanmıştır (W_n). Bu ağırlık örneklerin belirlenen hacmine bölünerek 28 günlük birim ağırlık (B) bulunmuştur (96). Örnekler daha sonra etüve konularak 105 ± 5 °C'de değişmez ağırlığa kadar kurutulup ağırlıkları belirlenmiş (W_k) ve örneklerin hacmine (V) bölünerek 28 günlük kuru birim ağırlıkları (KB) hesaplanmıştır (96).

$$B = W_n / V$$

$$KB = W_k / V$$

3.5.3. Donma-Çözülme Dayanıklılığı

Malzemelerin fiziksel hava koşullarına karşı dayanıklı olması diğer özellikleri yanında aranan en önemli özelliklerinden biridir. Özellikle malzemenin kullanıldığı bölgede gece ve gündüz, yaz ve kış sıcaklık farkları fazla ise ve şiddetli kışlar uzun sürüyorsa malzemenin bu özelliğinin önemi daha da artmış olur. 28 gün kür koşullarında tutulan örnekler Postacioğlu (1975)'de açıklandığı gibi (18) 4 saat -17 ± 2 °C'de derin dondurucuda dondurulduktan sonra 4 saat suda çözündürülmek suretiyle 50 defa yinelenen uygulamadan sonra basınç dayanımları belirlenmiştir (Şekil 3.10).

3.5.4. Isı İletkenliği

Isı iletkenliği, homojen bir malzemenin kararlı koşullar altında, iki yüzey sıcaklığı arasında fark 1 °C olduğunda birim zamanda (1 saat), birim alandan (1 m²), bu alana dik yönde birim kalınlıktan (1 m) geçen ısı miktarıdır (97).

Hazırlanan beton örneklerinin ısı iletkenliklerinin belirlenmesinde geçici rejim yöntemlerinden “Sıcak Tel Yöntemi” kullanılmıştır. Bu yöntem yapı malzemelerinin ısı iletkenlik katsayılarının güvenilir bir şekilde belirlenebilmesi için uygun ve uygulaması kolay yöntemdir. Isı iletkenliği ölçülecek malzemenin yapısının homojen olmaması yöntemin uygulanması açısından bir engel oluşturmaz. Test örneğinin boyutlarının küçük olması da yöntemin diğer bir üstünlüğüdür (98, 99 ve 100). Diğer yöntemlere göre yeğlenen bu yöntemin en önemli üstünlüğü, ölçüm süresinin kısa olması ve ölçüm sırasında malzemenin nem içeriğinde bir değişiklik oluşturmada gerçek ısı iletkenliğinin ölçülebilmesidir (47). Hazırlanan örneklerin ısı iletkenlik değerleri Türk Standartları Enstitüsünde bulunan KYOTO 500 adlı aygıtla belirlenmiştir.

Isı iletkenlik deneyi düzeneği Şekil 3.11'de görülmektedir.

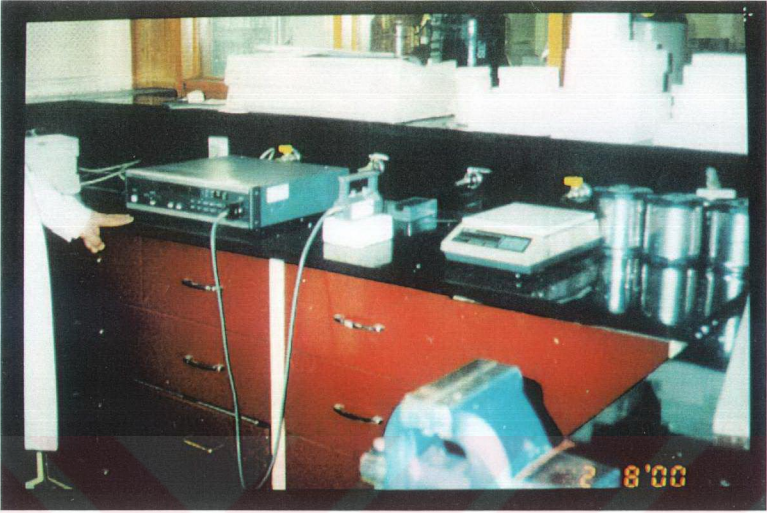


a- Örnekler Dondurucuda



b- Örnekler Çözdürülürken

Şekil 3.10. Donma-Çözülme Deneyi



Şekil 3.11. Isı İletkenlik Deney Düzenegi

3.5.5. Basınç Dayanımı

Örneklerin 28 günlük basınç dayanımları 100 ton kapasiteli ve basınç göstergesinin en küçük bölümü 200 kg olan pres kullanılarak TS 3114 (101)'e göre belirlenmiştir (Şekil 3.12). Örnekler silindirik şeklinde olup 15*30 cm boyutlarındadır. Tüm örnekler üzerinde 200 kg/s sabit yükleme hızı uygulanmıştır.

3.5.6. Su Emme

Beton örnekler etüvde değişmez ağırlığa kadar kurutulduktan sonra tartılarak kuru ağırlığı saptanmıştır (W). Daha sonra bu örnekler 24 saat su içerisinde bekletildikten sonra çıkarılarak kurulandıktan sonra tekrar tartılmıştır (W_n). Beton örneklerin su emme miktarları (S) yüzde olarak aşağıdaki eşitlikle bulunmuştur (96).

$$S = [(W_n - W) / W] \times 100$$



Şekil 3.12. Basınç Dayanımı Ölçülen Bir Örnek

3.6. Verilere Uygulanan İstatistiksel Yöntemler

Deneylerden elde edilen verilerin değerlendirilmesinde özellikler arasındaki ilişkilerin saptanması için varyans analizlerinin yapılmasında Yıldız ve Bircan (1991a), Yıldız ve Bircan (1991b), Sezgin (1980), Snedecor ve Cochran (1971) ve Köksal (1985)'de verilen istatistiksel yöntemlerden yararlanılmıştır (102, 103, 104, 105 ve 106).

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu bölümde, farklı ocaklardan sağlanan hafif ve normal agregalara ilişkin deneylerle saptanan bulgularla, farklı granülometrilili ve değişik dozajlarda üretilen hafif ve normal beton örneklerinin birim ağırlık, 28 günlük basınç dayanımı, ısı iletkenliği, donma-çözülme dayanıklılığı ve su emme gibi önemli özelliklerine ilişkin sonuçlar verilmekte ve hafif agregalar ocaklarının çalışmaya konu olan betonların özellikleri üzerindeki etkileri tartışılmaktadır.

4.1. Agregalar Özellikleri

4.1.1. Elek Analizi ve Granülometri

Hafif ve normal agreganın, fırın-kuru örnekleri üzerinde TS 1227 ve TS 1226'ya uygun kare gözlü elek takımı ile yapılan elek analizi sonucu elde edilen verilere göre granülometri eğrileri çizilmiştir (85 ve 86). Hafif betonlarda ASTM C 332 (22)'de maksimum tane çapı için önerilen yalıtım betonlarına ilişkin eğriler ve normal beton için de TS 706 (107)'de maksimum tane çapı için önerilen eğriler incelendiğinde bulunan eğrilerin standartlar arasında kaldığı görülmüştür. Kullanılan hafif ve normal agregalar için söz konusu standart eğrilerin tam ortasından geçen ayarlanmış granülometri eğrisi de ikinci bir seçenek olarak kullanılmıştır. Agregaların elek analiz sonuçları Tablo 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'de gösterilmiştir. Agregalara ilişkin granülometri eğrileri de Şekil 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'de verilmiştir. Ortalama incelik modülleri ise Van-Erciş hafif agregası için 3.44, Kars-Sarıkamış hafif agregası için 3.61 ve Erzurum-Pasinler hafif agregası için 3.44 olup normal agregada 4.36 olarak belirlenmiştir.

Genellikle beton üretiminde kullanılan agregalar granülometrisinin, standart ideal granülometri eğrisine uyması istenir. Ekonomik koşullar göz önüne alındığında, ideal granülometri eğrisi yerine granülometri alanlarının kullanılması gereklilik gösterir.

TS 1114 (19) ve ASTM C 330 (20)'da hafif beton karışımlarında agreganın iri ve ince kısımlarının toplam agregaya oranlarının sırası ile %35 ve %65 olması önerilmektedir.

TS 3234 (61)'de genel olarak iyi bir işlenebilirlik sağlamak amacıyla ince agreganın oranının arttırılabileceği, TS 2511 (26)'de de 16 mm maksimum tane çapı için, ince agreganın miktarının %40-60 arasında değişebileceği belirtilmektedir.

Deneylerde kullanılan agregaların en büyük tane çapı 16 mm'dir. TS 2511 (26)'e göre 16 mm ile 4 mm tane sınıfları arası iri, 4 mm'nin altındaki agreganın ince olarak seçilmiştir. Çalışmada doğal granülometride %50 iri, %50 ince agreganın oranları kullanılmıştır. Hafif agregalarda ayarlanmış granülometride iri agreganın %17'si 8-16 mm; %21'i 4-8 mm arasındaki agregalardan seçilmiştir. Hafif agregaların ince kısmı ise %14'ü 2-4 mm ve %43'ü 0-2 mm arasında olacak şekilde granülometri düzenlenmiştir. Normal agregalarda iri kısmın %27'si 8-16 mm; %19'u 4-8 mm arasındaki agregalardan seçilmiş olup, ince kısmında bu oranlar %12'si 2-4 mm ve %32'si 0-2 mm arasında olacak şekilde ayarlanmıştır. Hafif agregalar için granülometri eğrisinde 0.15 mm değerinden daha küçük değerler göz önüne alınmadığından malzemenin %5'i bu değerin altında kalmış olup, normal agregada 0.25 mm'nin altı göz önüne alınmadığı için söz konusu değer %10 olmuştur. Düzeltilmiş agreganın granülometrisi eğrileri de Şekil 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'de görülmektedir.

Tablo 4.1. Van-Erciş Yöresinden Elde Edilen Hafif Agreganın Elek Analizi

Elek Göz Açıklığı (mm)	Elek Üstünde Kalan Miktar (g)	Yığılmış Toplam (g)	% Kalan	% Geçen
16	40	40	0	100
8	1154	1194	14	86
4	1620	2814	33	67
2	2047	4861	57	43
1	1108	5969	70	30
0.5	1023	6992	82	18
0.25	512	7504	88	12
Elek Altı	1023	8527	100	0
İncelik Modülü		3.44		

Tablo 4.2. Kars-Sarıkamış Yöresinden Elde Edilen Hafif Agreganın Elek Analizi

Elek Göz Açıklığı (mm)	Elek Üstünde Kalan Miktar (g)	Yığılımlı Toplam (g)	% Kalan	% Geçen
16	263	263	3	97
8	1143	1406	16	84
4	1445	2851	33	67
2	2110	4961	57	43
1	1492	6453	74	26
0.5	1020	7473	85	15
0.25	680	8153	93	7
Elek Altı	598	8751	100	0
		İncelik Modülü	3.61	

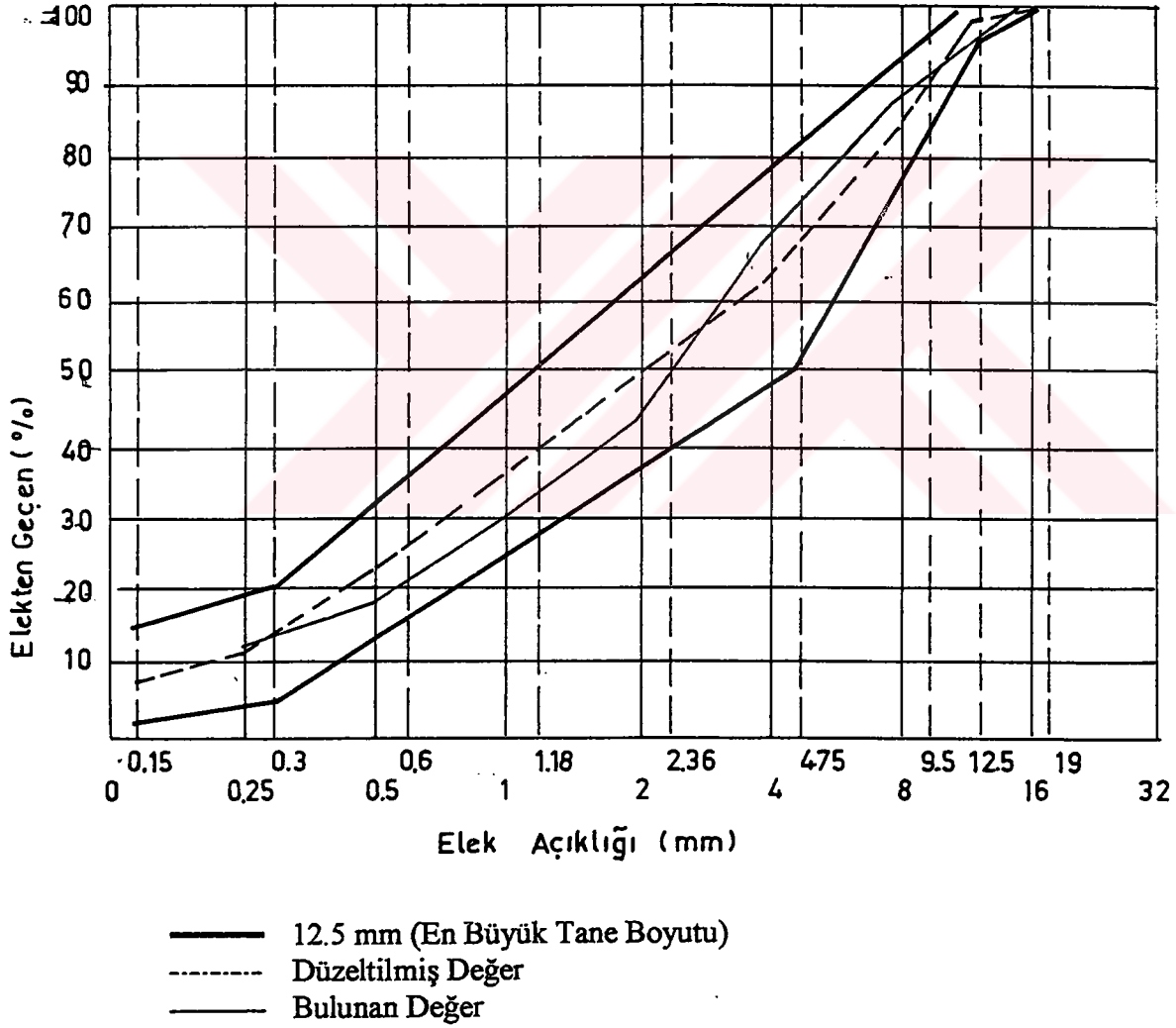
Tablo 4.3. Erzurum-Pasinler Yöresinden Elde Edilen Hafif Agreganın Elek Analizi

Elek Göz Açıklığı (mm)	Elek Üstünde Kalan Miktar (g)	Yığılımlı Toplam (g)	% Kalan	% Geçen
16	50	50	0	100
8	1143	1193	12	88
4	2486	3679	37	63
2	1989	5668	57	43
1	1292	6960	70	30
0.5	995	7955	80	20
0.25	794	8749	88	12
Elek Altı	1194	9943	100	0
		İncelik Modülü	3.44	

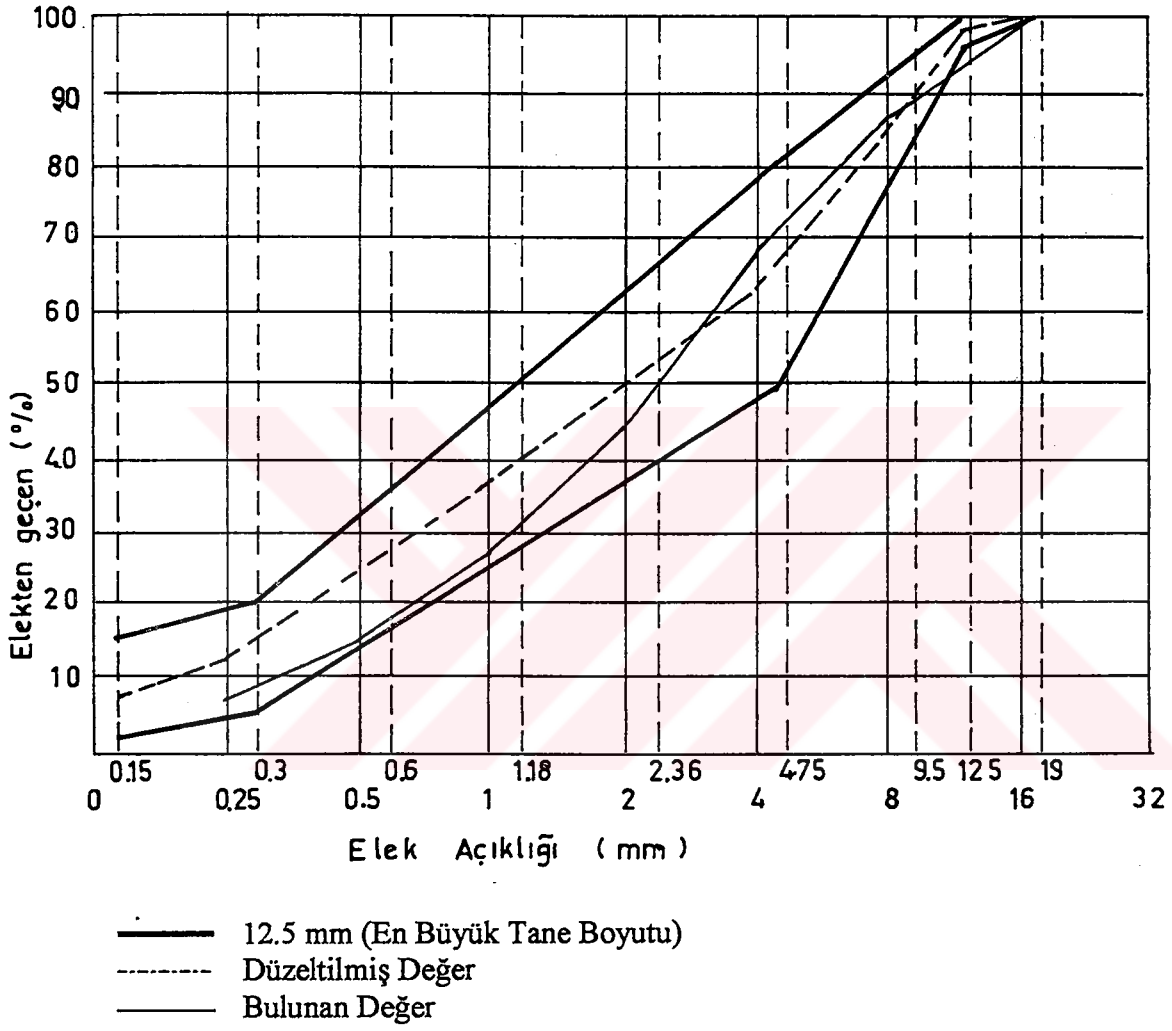
Tablo 4.4. Normal Agrega Elek Analizi

Elek Göz Açıklığı (mm)	Elek Üstünde Kalan Miktar (g)	Yığılmış Toplam (g)	% Kalan	% Geçen
16	1316	1316	13	87
8	2474	3790	38	62
4	1859	5649	56	44
2	1362	7011	70	30
1	697	7708	77	23
0.5	920	8628	86	14
0.25	1080	9708	96	4
Elek Altı	330	10038	100	0

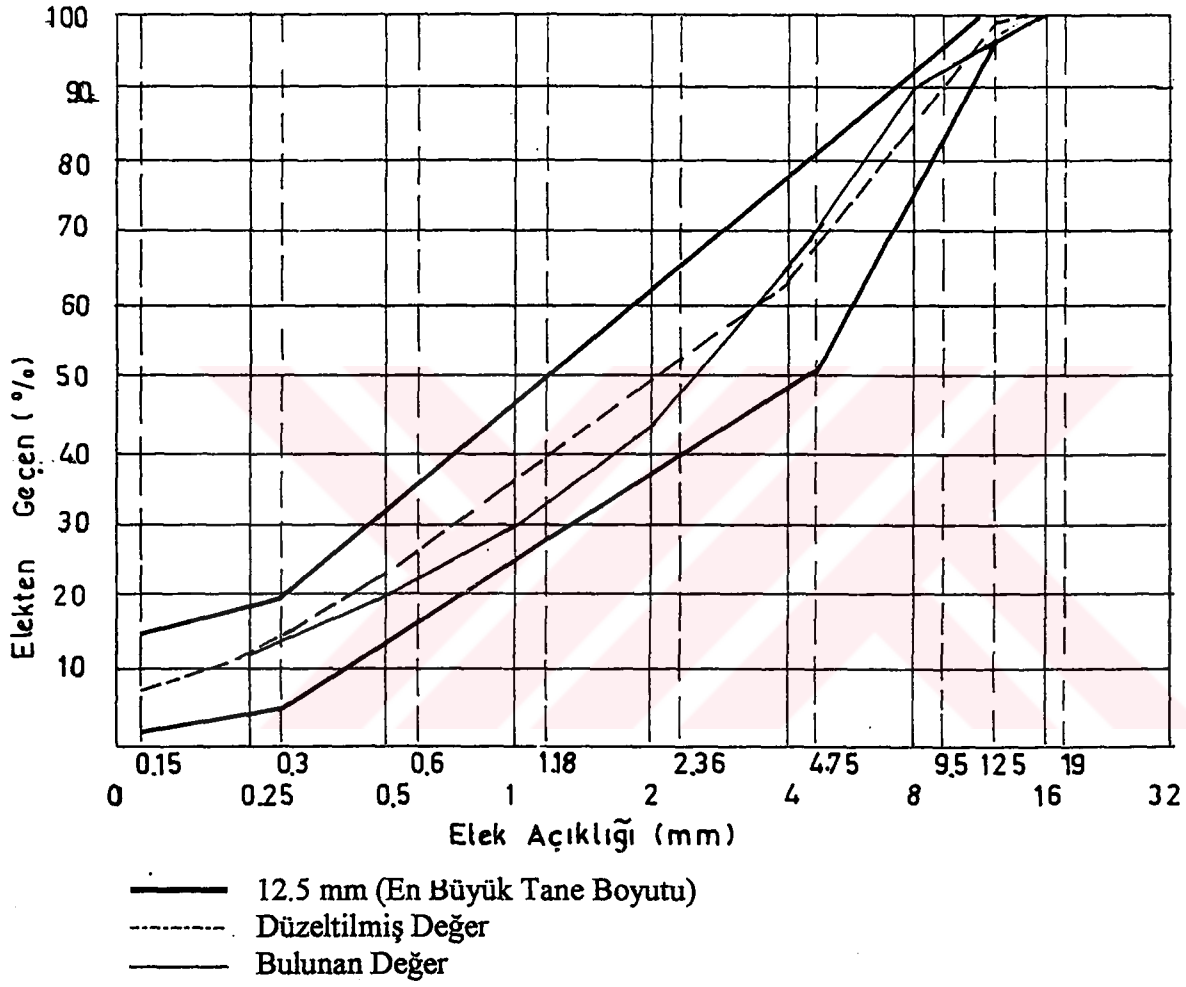
İncelik Modülü 4.36



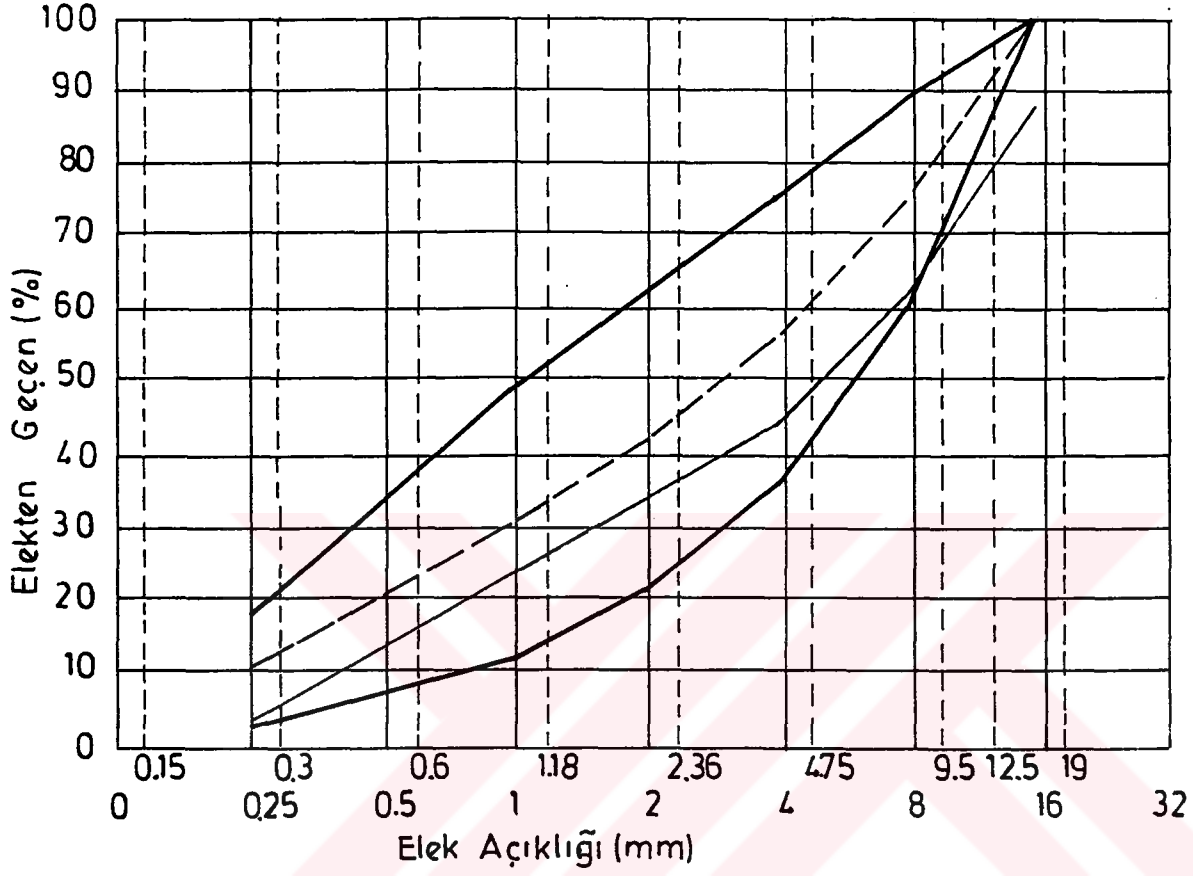
Şekil 4.1. Van-Erciş Hafif Agregasının Granülometri Eğrisi



Şekil 4.2. Kars-Sarıkamış Hafif Agregasının Granülometri Eğrisi



Şekil 4.3. Erzurum-Pasinler Hafif Agregasının Granülometri Eğrisi



- 16.0 mm İçin Sınır Değerler
- - - - - Düzeltilmiş Değer
- Bulunan Değer

Şekil 4.4. Normal Agregat Granülometri Eğrisi

4.1.2. Zararlı Maddeler

Araştırmada kullanılan hafif ve normal agregalarda organik maddenin belirlenmesi TS 3673 (80)'e göre yapılmış ve deney sonucu standart ölçüt (referans) renkle karşılaştırıldığında su renginde bir değişiklik olmadığı görülmüştür. Dolayısıyla hafif ve normal agregaların organik madde içeriği yönünden uygun olduğu belirlenmiştir.

Hafif agregaların iri kısmında yıkanabilir ince madde oranı, agrega ağırlığının Van-Erciş'te %1.4, Kars-Sarıkamış'ta %4.8 ve Erzurum-Pasinler'de %1.82'si ve ince agregalarda ise sırasıyla %2.79, %4.37 ve %3.3'ü olarak saptanmıştır (Tablo 4.5). Yıkanabilir ince madde oranı, iri ve ince agrega için TS 1114 (19)'de sırası ile verilen maksimum limiti olan (%3) ve (%5)'e Kars-Sarıkamış yöresi iri agregası dışında diğer agregaların uyduğu görülmektedir. Kars-Sarıkamış iri agregası için yıkanabilir ince madde oranı, agrega ağırlığının %4.8'i olup, maksimum limit olan %3'den fazladır. Normal agrega için iri ve ince kısmında bulunan ince madde oranları sırasıyla %0.88 ve %1.29 olup (Tablo 4.6), bu değerlerin TS 706 (107)'da sırasıyla % 0.5-2 ile % 3-4 olarak verilen maksimum limit değerlerinin altında olduğu görülmektedir.

Sülfat miktarının belirlenmesi TS 3674 (82)'e göre yapılmıştır. Bulunan sonuçlar Van-Erciş için % 0.139, Kars-Sarıkamış için % 0.163 ve Erzurum-Pasinler için % 0.079 olup (Tablo 4.7), bulunan bu değerlerin hepsinin TS 1114 (19) standardında verilen limitin (%1) altında olduğu belirlenmiştir. Normal agregada ise sülfata rastlanmamıştır.

Çeliğe zarar veren maddelerin belirlenmesi TS 3732 (83)'ye göre yapılmıştır. Deney sonunda agreganın klorür miktarı değerleri Van-Erciş için %0.19, Kars-Sarıkamış için %0.21 ve Erzurum-Pasinler için %0.23 olup TS 1114 (19) standardında verilen maksimum limit (%0.4)'ten daha az olduğu Tablo 4.8'de görülmektedir.

Tablo 4.5. Hafif Agregalar İçin İnce Madde Oranı Değerleri

Yıkanabilen İnce Madde Oranı (%)	Agrega Ocakları	Van-Erciş	Kars-Sarıkamış	Erzurum-Pasinler
	Agrega Özelliği			
	İnce Agregası	2.79	4.37	3.3
	İri Agregası	1.4	4.8	1.82

Tablo 4.6. Normal Agregası İçin İnce Madde Oranı Değerleri

İri Agregası İçin Yıkanabilen İnce Madde Oranı (%)	İnce Agregası İçin Yıkanabilen İnce Madde Oranı (%)
0.88	1.29

Tablo 4.7. Hafif Agregalarda Sülfat Miktarı Değerleri

	Van-Erciş	Kars-Sarıkamış	Erzurum-Pasinler
Etüv kuruşu durumuna getirilmiş ve soğutulmuş deney örneğinin 0.09 mm göz açıklıklı elekten geçen kısmının ağırlığı (g) (W_0)	1.000	1.000	1.000
Krozinin deney sonu ve deney başlangıcındaki ağırlıkları arasındaki fark (g), (W_1)	0.00405	0.00475	0.00230
Agreganın sülfat miktarı (SO_4 olarak %)	0.139	0.163	0.079

Tablo 4.8. Hafif Agregalarda Çeliğe Zarar Veren Madde Miktarı Değerleri

	Van-Erciş	Kars-Sarıkamış	Erzurum-Pasinler
Etüv kuruşu durumuna getirilmiş ve öğütülmüş deney örneğinin 0.09 mm göz açıklıklı elekten geçen yaklaşık 1 g'lık kısmının ağırlığı (A), g	1.016	1.014	1.018
50 ml için harcanan 0.05 molarlık gümüş nitrat hacmi (S), ml	0.76	0.73	0.79
50 ml damıtık su için harcanan 0.05 molarlık gümüş nitrat hacmi (B), ml	0.65	0.61	0.66
Agreganın klorür miktarı (C), (%)	0.19	0.21	0.23

4.1.3. Birim Ağırlık, Özgül Ağırlık ve Su Emme

TS 3529 (79)'da belirtilen şekilde hafif agregaların gevşek birim ağırlığı belirlenmiştir. Sıkışık birim ağırlık deneyi ise şişleme nedeni ile agrega tanelerinin kırılma olasılığının

yüksek olmasından dolayı yapılmamıştır. Normal agregâ için de gevşek birim ağırlık, karşılaştırma amacıyla aynı yöntemle yapılmıştır. Deneyler sonucunda hafif agregânın gevşek birim ağırlıkları, Van-Erciş için 503 kg/m^3 , Kars-Sarıkâmiş için 822 kg/m^3 ve Erzurum-Pasinler için 587 kg/m^3 olarak bulunmuştur (Tablo 4.9). TS 1114 (19)'de karışık hafif agregâ için maksimum kuru gevşek birim ağırlık değeri 1100 kg/m^3 olması gerektiği belirtilmektedir. ASTM C 330 (20) ve ASTM C 331 (21)'de ise; yapı betonu duvar birimleri ve yalıtım betonlarında kullanılacak ince, iri ve karışık hafif agregalar için gevşek birim ağırlıklarının sırası ile, en fazla 1120 kg/m^3 , 880 kg/m^3 ve 1040 kg/m^3 olması gerektiği belirtilmektedir. Elde edilen sonuçlar her üç standartta belirtilen maksimum değerlerin çok altında olduğundan, bu agregalar hafif beton yapımına uygunluk göstermektedir. Normal agregâ için bulunan değer ise 1871 kg/m^3 olup (Tablo 4.10), betonarme betonları için kullanılacak agregaların birim ağırlığı genellikle $1500\text{-}1850 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmektedir (18). Bulunan deney sonucu bu değerlere uygunluk göstermektedir.

Tablo 4.9. Karışık Hafif Agregaların Gevşek Birim Ağırlık Değerleri

	Van-Erciş	Kars-Sarıkâmiş	Erzurum-Pasinler
Ölçü kabı boş ağırlığı (W_1), kg	5.980	5.980	5.980
Ölçü kabı hacmi (V), m^3	0.00276	0.00276	0.00276
Kap+örnek ağırlığı (W_2), kg	7.368	8.250	7.600
Agreganın net ağırlığı (W_2-W_1), kg	1.388	2.270	1.620
Gevşek birim ağırlık kg/m^3	503	822	587

Tablo 4.10. Karışık Normal Agreganın Gevşek Birim Ağırlık Değerleri

Ölçü kabı boş ağırlığı (W_1), kg	5.980
Ölçü kabı hacmi (V), m^3	0.00276
Kap+örnek ağırlığı (W_2), kg	11.145
Agreganın net ağırlığı (W_2-W_1), kg	5.165
Gevşek birim ağırlık kg/m^3	1871

Üretilen betonlarda granülometrisi ayarlanmış agregâ kullanıldığından, 0/2, 2/4, 4/8, 8/16 tane sınıflarındaki agregaların gevşek birim ağırlıkları ayrı ayrı belirlenmiştir. Hafif ve normal agregaların doğal granülometreleri ise 4 nolu elek altı ve üstü, sırasıyla ince ve iri agregâ olarak değerlendirilmiştir. Bu tane sınıflarının hepsi için birim ağırlıklar Tablo 4.11'de görülmektedir

Tablo 4.11. 0/2, 2/4, 4/8, 8/16 İri ve İnce (4 Nolu Eleğin Üstü ve Altı) Tane Sınıflarındaki Hafif ve Normal Agregalar İçin Birim Ağırlık Değerleri (kg/m^3)

Agrega Tane Sınıfı Kullanılan Agregalar	0/2	2/4	4/8	8/16	İri	İnce
Van-Erciş	527	458	415	378	496	551
Kars-Sarıkamış	899	611	533	446	544	859
Erzurum-Pasinler	710	473	475	438	491	618
Normal	1475	1554	1540	1442	1562	1551

Hafif agregaların birim ağırlıklarının, $400\text{-}960 \text{ kg/m}^3$ arasında (108 ve 109) olduğu düşünülürse, araştırma sonucunda bulunan değerler uygunluk göstermektedir. Buna göre, deneme konusu hafif agregalar ile duvar birimleri, briket, dolu blok veya pano şeklinde prefabrik elemanların yapımı olanaklıdır.

Hafif ve normal agregalar için kuru özgül ağırlık (γ_k), doymun kuru yüzey özgül ağırlık (γ_d) ve görünen özgül ağırlık (γ_g) değerleri belirlenmiştir. Bulunan hafif agregaların özgül ağırlık değerleri ayrıca incelendiğinde (Tablo 4.12 ve 4.14) ince agregaların özgül ağırlık değerlerinin, iri agregalardan fazla olduğu görülmektedir. Bu sonuç Teychenne (1968)'nin (110) saptamış olduğu hafif agregada ince tane özgül ağırlığının iri tane özgül ağırlığından daha fazla olabileceği sonucunu doğrulamaktadır.

Hafif ince agregaların, kuru özgül ağırlıkları Van-Erciş için 0.91 g/cm^3 , Kars-Sarıkamış için 0.95 g/cm^3 ve Erzurum-Pasinler için 0.79 g/cm^3 , doymun kuru yüzey ağırlıkları sırasıyla 1.28 g/cm^3 , 1.15 g/cm^3 ve 1.05 g/cm^3 , görünen özgül ağırlıklarının ise sırasıyla 1.44 g/cm^3 , 1.19 g/cm^3 ve 1.06 g/cm^3 olduğu saptanmıştır (Tablo 4.12). Normal ince agreganın kuru özgül ağırlığı 2.24 g/cm^3 , doymun kuru yüzey özgül ağırlığı 2.33 g/cm^3 ve görünen özgül ağırlığının ise 2.46 g/cm^3 olduğu Tablo 4.13'de görülmektedir.

Tablo 4.12. Hafif İnce Agregalar İçin Özgül Ağırlık ve Su Emme Değerleri

Agrega Ocakları	Özgül Ağırlık Değerleri				Su Emme Oranı m (%)
	Kuru Özgül Ağırlık γ_k (g/cm ³)	Doygun Kuru Özgül Ağırlık γ_d (g/cm ³)	Kuru Yüzey Özgül Ağırlık γ_s (g/cm ³)	Görünen Özgül Ağırlık γ_R (g/cm ³)	
Van-Erciş	0.91	1.28		1.44	40.5
Kars-Sarıkamış	0.95	1.15		1.19	21.9
Erzurum-Pasinler	0.79	1.05		1.06	32.0

Tablo 4.13. Normal İnce Agregalar İçin Özgül Ağırlık ve Su Emme Değerleri

Özgül Ağırlık Değerleri				Su Emme Oranı m (%)
Kuru Özgül Ağırlık γ_k (g/cm ³)	Doygun Kuru Yüzey Özgül Ağırlık γ_d (g/cm ³)	Görünen Özgül Ağırlık γ_R (g/cm ³)		
2.24	2.33	2.46		3.9

Hafif iri agregaların, kuru özgül ağırlıkları Van-Erciş için 0.75 g/cm³, Kars-Sarıkamış için 0.82 g/cm³ ve Erzurum-Pasinler için 0.86 g/cm³, doymun kuru yüzey ağırlıkları sırasıyla 1.04 g/cm³, 1.15 g/cm³ ve 1.11 g/cm³, görünen özgül ağırlıklarının ise sırasıyla 1.05 g/cm³, 1.22 g/cm³ ve 1.14 g/cm³ olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.14). Normal iri agreganın kuru özgül ağırlığı 2.24 g/cm³, doymun kuru yüzey özgül ağırlığı 2.31 g/cm³ ve görünen özgül ağırlığının ise 2.42 g/cm³ olduğu Tablo 4.15’de görülmektedir

Tablo 4.14. Hafif İri Agregalar İçin Özgül Ağırlık ve Su Emme Değerleri

Agrega Ocakları	Özgül Ağırlık Değerleri				Su Emme Oranı m (%)
	Kuru Özgül Ağırlık γ_k (g/cm ³)	Doygun Kuru Yüzey Özgül Ağırlık γ_d (g/cm ³)	Kuru Yüzey Özgül Ağırlık γ_s (g/cm ³)	Görünen Özgül Ağırlık γ_R (g/cm ³)	
Van-Erciş	0.75	1.04		1.05	39
Kars-Sarıkamış	0.82	1.15		1.22	41
Erzurum-Pasinler	0.86	1.11		1.14	28

Tablo 4.15. Normal İri Agregalar İçin Özgül Ağırlık ve Su Emme Değerleri

Özgül Ağırlık Değerleri				Su Emme Oranı m (%)
Kuru Özgül Ağırlık γ_k (g/cm ³)	Doygun Kuru Yüzey Özgül Ağırlık γ_d (g/cm ³)	Görünen Özgül Ağırlık γ_R (g/cm ³)		
2.24	2.31	2.42		3.4

Araştırmada elde edilen betonların karışım hesaplarında, agregaların karışıma katıldığı andaki 10 dakikalık piknometre özgül ağırlık faktörleri kullanılmıştır (111).

Hafif agreganın özgül ağırlık faktörü değerleri; 0/2, 2/4, 4/8, 8/16 tane sınıfları ve 4 mm eleğin altı (ince), 4 mm eleğin üstü (iri) için yukarıdaki sıraya göre Van-Erciş hafif agregası için 1.23, 1.11, 1.05, 1.01, 0.98 ve 1.14; Kars-Sarıkamış hafif agregası için 1.86, 1.67, 1.68, 1.59, 1.35 ve 1.58; Erzurum-Pasinler hafif agregası için ise 1.66, 1.43, 1.38, 1.28, 1.19 ve 1.45 olarak bulunmuştur.

İnce ve iri hafif agregaların su emme değerleri (m); Van-Erciş agregasında sırasıyla %40.5 ve %39, Kars-Sarıkamış agregasında %21.9 ve %41, Erzurum-Pasinler agregasında %32 ve %28 olduğu Tablo 4.12 ve 4.14'de görülmektedir.

İnce ve iri normal agregada ise su emme değerleri sırasıyla %3.9 ve %3.4'dür (Tablo 4.13 ve 4.15). TS 3234 (61)'de ince ve iri hafif agregaların su emmelerinin sırası ile %20 ve %30 dolayında olduğu belirtilmektedir. Hafif agregalar için bulunan değerler genelde standartlarda verilen değerlerin üzerinde çıkmıştır. Agreganın su emmesi agregadaki boşluk oranı ile orantılıdır. Hafif agreganın en belirgin özelliği de boşluklu olmasıdır. Araştırmada su emme değeri yüksek olan agregalarda da boşluk oranı fazladır. Bu da agreganın için bir sakıncadır.

Sonuç olarak, bu çalışmaya konu olan hafif agregaların, her hafif agregada olduğu gibi bazı sakıncalı yönleri olmakla birlikte genel özellikleri standartların önerdiği limitler içinde kaldığı ve hafif beton yapımında kullanılabileceği söylenebilir.

4.2. Beton Özellikleri

Bu bölümde araştırmaya konu olan hafif ve normal agreganın ile farklı üç çimento dozajıyla tek bir çökme değeri göz önüne alınarak üretilen taze beton örneklerin birim ağırlığı, işlenebilirliği ve hava miktarı ile sertleşmiş beton örneklerinin birim ağırlık, 28 günlük basınç dayanımları, donma-çözülme dayanıklılığı, ısı iletkenliği, su emme gibi önemli özelliklerine ilişkin elde edilen değerler verilmiştir.

4.2.1. Karışım Oranları

Üretilcek betonların taşıyıcı olup olmayacakları da araştırıldığı için üç farklı dozaj seçilmiştir. Beton örneklerin oluşturulmasında üç farklı ocaktan sağlanan hafif agregası ve normal agregası doğal durumda ve granülometrisi ayarlanmış olarak kullanılmıştır.

Denemede doğal ve ayarlanmış agregası granülometrisi, teorik 150 kg/m^3 , 250 kg/m^3 ve 350 kg/m^3 çimento dozajlı betonlar, bir metreküp beton üretimi için kuru gevşek esasa göre 1.2 m^3 agregası kullanılarak yapılmıştır (26).

İki farklı granülometri ve üç farklı teorik dozajda üretilen tüm betonlarda sabit bir çökme değeri (5 cm) sağlamak ve karışım oranlarının buna göre saptanması amacıyla bulunan su miktarı ayarlandığından, beton karışımlarının teorik hacimleri değişmiştir. Karışım oranları ve taze betonlara ilişkin değerler Tablo 4.16, 4.17, 4.18, 4.19, 4.20, 4.21, 4.22 ve 4.23.'de verilmiştir.

Karışıma girecek agreganın %40-60'ını ince agreganın oluşturması öngörülmektedir (26). Bu amaçla kısım 4.1.1'de açıklandığı gibi karışımlar %50 ince ve %50 iri agregası içerecek şekilde oluşturulmuştur. Ayarlanmış granülometride her tane sınıfı için gerekli miktarlar hesapla belirlenmiş ve tüm hesaplamalarda "10 dakikalık piknometre özgül ağırlık faktörü" değerleri kullanılmıştır.

Saptanan gerçek dozaj değerleri düşük düzeylerde çok az farklılaşmasına karşın yüksek düzeylerde biraz daha fazla olmuştur. Bunun nedeni yüksek çimento dozajlarında sabit çökme değeri için hesaplanandan daha fazla suya gerek duyulmasıdır.

Tablo 4.16. Doğal Granülometrilili Hafif Agregalarla Üretilen 150 kg/m³ Dozajlı Betonlar İçin Karışım Oranları ve Taze Beton Birim Ağırlık Değerleri

	Van-Erçiş Hafif Agregası		Kars-Sarıkamış Hafif Agregası		Erzurum-Pasinler Hafif Agregası	
	Hacim(dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)
Gerçek Çimento Dozajı	45.5	137.8	43.6	132.0	49.5	149.9
Su	246.9	246.9	368.6	368.6	385.6	385.6
Hava	45.9	-	53	-	40	-
Tane Sınıfı						
İri ag. (4.n. elek üstü)	331.0	324.33	230.6	311.24	261.5	311.15
İnce ag. (4.n. elek altı)	330.7	376.99	304.2	480.53	263.4	381.96
Tane sınıfı						
Özgül Ağırlık		0.98		1.35		1.19
Faktör		1.14		1.58		1.45
Tane sınıfı						
Nem İçeriği (%)		18.6		8.36		5.66
İnce agrega		24.1		5.95		3.05
Çökme Değeri (cm)		5		5		5
Taze Beton Teorik Birim Ağırlığı (kg/m ³)		1086		1292		1229
Taze Beton Gerçek Birim Ağırlığı (kg/m ³)		889		1217		1271

Tablo 4.17. Doğal Granülometrilili Hafif Agregalarla Üretilen 250 kg/m³ Dozajlı Betonlar İçin Karışım Oranları ve Taze Beton

Birim Ağırlık Değerleri		Van-Erciş Hafif Agregası		Kars-Sarıkaya Hafif Agregası		Erzurum-Pasinler Hafif Agregası	
		Hacim(dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)
Gerçek Çimento Dozajı		69.11	209.40	82.4	249.65	81.2	246.0
Su		285.85	285.85	280.9	280.9	372.5	372.5
Hava		41.90	-	30	-	30	-
	İri ag. (4.n. elek üstü)	301.70	295.63	261.6	353.18	257.0	306.29
Tane Sınıfı	İnce ag. (4.n. elek altı)	301.44	343.64	345.1	545.29	259.3	375.99
Tane sınıfı							
Özgül Ağırlık	İri agrega	0.98		1.35		1.19	
Faktörü	İnce agrega	1.14		1.58		1.45	
Tane sınıfı							
Nem İçeriği (%)	İri agrega	18.6		8.36		5.66	
	İnce agrega	24.1		5.95		3.05	
Çökme Değeri (cm)		5		5		5	
Taze Beton Teorik Birim Ağırlığı (kg/m ³)		1135		1429		1301	
Taze Beton Gerçek Birim Ağırlığı (kg/m ³)		1056		1350		1342	

Tablo 4.18. Doğal Granülometrilili Hafif Agregalarla Üretilen Üretilen 350 kg/m³ Dozajlı Betonlar İçin Karışım Oranları ve

Taze Beton Birim Ağırlık Değerleri

	Van-Erciş Hafif Agregası		Kars-Sarıkmış Hafif Agregası		Erzurum-Pasinler Hafif Agregası	
	Hacim(dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)
Gerçek Çimento Dozajı	91.13	276.12	104.36	316.23	111.0	336.7
Su	301.3	301.3	301.52	301.52	355.0	355.0
Hava	39.45	-	45.18	-	30.0	-
Tane Sınıfı	İri ag. (4.n. elek üstü)	278.44	236.69	319.55	251.6	299.44
	İnce ag. (4.n. elek altı)	323.66	312.25	493.36	253.0	367.59
Tane sınıfı						
Özgül Ağırlık	İri agrega	0.98	1.35	1.19		
Faktörü	İnce agrega	1.14	1.58	1.45		
Nem İçeriği (%)						
	İri agrega	18.6	8.36	5.66		
	İnce agrega	24.1	5.95	3.05		
Çökmeye Değeri (cm)		5	5	5		
Taze Beton Teorik Birim Ağırlığı (kg/m ³)		1180	1431	1359		
Taze Beton Gerçek Birim Ağırlığı (kg/m ³)		1179	1395	1400		

Tablo 4.19. Granilometrisi Ayarlanmış Hafif Agregası İle Üretilen 150 kg/m³ Dozajlı Betonlar İçin Karışım Oranları ve Taze Beton Birim Ağırlık Değerleri

Gerçek Çimento Dozajı	Van-Erciş Hafif Agregası		Kars-Sankamış Hafif Agregası		Erzurum-Pasinler Hafif Agregası	
	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)
Su	50.6	153.41	54.60	165.46	52.4	158.75
Hava	316.0	316.0	372.4	372.4	423.3	423.3
	61.36	-	44.1	-	31.8	-
0/2	272.0	334.56	292.4	544.05	247.6	410.98
2/4	85.0	94.27	73.0	121.88	63.9	91.32
4/8	122.0	128.02	95.4	160.32	100.0	138.20
8/16	93.04	94.01	68.1	108.25	81.0	85.72
Tane sınıfı						
Özgül Ağırlık	0/2	1.23		1.86		1.66
Faktörü	2/4	1.11		1.67		1.43
	4/8	1.05		1.68		1.38
	8/16	1.01		1.59		1.28
Tane sınıfı						
Nem İçeriği (%)	0/2	20.3		6.32		6.0
	2/4	19.8		7.64		8.6
	4/8	19.7		8.21		9.1
	8/16	19.2		7.86		9.6
Çökme Değeri (cm)						
		5		5		5
Taze Beton Teorik Birim Ağırlığı (kg/m ³)		1120		1472		1308
Taze Beton Gerçek Birim Ağırlığı (kg/m ³)		940		1373		1298

Tablo 4.20. Granülometrisi Ayarlanmış Hafif Agregalar ile Üretilen 250 kg/m³ Dozajlı Betonlar İçin Karışım Oranları ve Taze Beton Birim Ağırlıklık Değerleri

	Van-Erciş Hafif Agregası		Kars-Sarıkamış Hafif Agregası		Erzurum-Pasinler Hafif Agregası	
	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)
Gerçek Çimento Dozajı	78.5	237.75	88.0	266.75	82.4	249.58
Su	332.8	332.8	346.8	346.8	413.0	413.0
Hava	57	-	53.3	-	40	-
Tane Sınıfı	0/2	252.8	283.0	526.24	233.5	387.68
	2/4	79.0	70.60	117.89	60.3	86.14
	4/8	113.4	92.31	155.08	94.5	130.36
	8/16	86.5	65.6	104.71	76.3	97.76
Tane sınıfı						
0/2	1.23		1.86			1.66
2/4	1.11		1.67			1.43
4/8	1.05		1.68			1.38
8/16	1.01		1.59			1.28
Tane sınıfı						
0/2	20.3		6.32			6.0
2/4	19.8		7.64			8.6
4/8	19.7		8.21			9.1
8/16	19.2		7.86			9.6
Çökme Değeri (cm)	5		5			5
Taze Beton Teorik Birim Ağırlığı (kg/m ³)	1175		1540			1365
Taze Beton Gerçek Birim Ağırlığı (kg/m ³)	1084		1419			1376

Tablo 4.21. Granülometrisi Ayarlanmış Hafif Agregata ile Üretilen 350 kg/m³ Dozajlı Betonlar İçin Karışım Oranları ve Taze Beton Birim Ağırlık Değerleri

	Van-Erciş Hafif Agregası		Kars-Sarkamış Hafif Agregası		Erzurum-Pasinler Hafif Agregası	
	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)
Gerçek Çimento Dozajı	106.0	322.0	112.4	340.55	117.6	356.5
Su	333.6	333.6	381.9	381.9	367.4	367.4
Hava	46	-	39.0	-	41	-
0/2	244.6	300.84	258.0	479.88	238.3	395.5
2/4	76.4	84.82	64.4	107.51	61.4	87.88
4/8	109.7	115.18	84.2	141.42	96.4	133.0
8/16	83.7	83.99	60.1	95.49	77.9	99.74
Tane sınıfı						
0/2	1.23		1.86		1.66	
2/4	1.11		1.67		1.43	
4/8	1.05		1.68		1.38	
8/16	1.01		1.59		1.28	
Tane sınıfı						
0/2	20.3		6.32		6.0	
2/4	19.8		7.64		8.6	
4/8	19.7		8.21		9.1	
8/16	19.2		7.86		9.6	
Çökme Değeri (cm)	5		5		5	
Taze Beton Teorik Birim Ağırlığı (kg/m ³)	1240		1547		1440	
Taze Beton Gerçek Birim Ağırlığı (kg/m ³)	1216		1440		1421	

Tablo. 4.22. Doğal Granülometrilili Normal Agregayla Üretilen Betonlar İçin Karışım Oranları ve Taze Beton Birim Ağırlık Değerleri

	Teorik Dozaj 150 kg/m ³		Teorik Dozaj 250 kg/m ³		Teorik Dozaj 350 kg/m ³			
	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)		
Gerçek Çimento Dozajı	48.0	145.8	77.0	234.43	103.0	312.6		
Su	209.0	209	206.0	206.0	214.0	214.0		
Hava	10	-	10	-	10	-		
Tane Sınıfı	Özgül ağırlık faktörü	Nem İçeriği(%)						
İri Agregat (4.n ele üstü)	2.5	0.79	367.0	918.15	354.0	885.75	337.0	843.53
İnce Agregat (4.n ele altı)	2.5	1.26	366.0	915.94	353.0	883.62	336.0	841.5
Çökme Değeri (cm)			5		5		5	
Taze Beton Teorik Birim Ağırlığı (kg/m ³)			2189		2210		2212	
Taze Beton Gerçek Birim Ağırlığı (kg/m ³)			2263		2271		2284	

Tablo. 4.23. Granulometrisi Ayarlanmış Normal Agregayla Üretilen Betonlar İçin Karışım Oranları ve Taze Beton Birim Ağırlık

Değerleri

		Teorik Dozaj 150 kg/m ³			Teorik Dozaj 250 kg/m ³			Teorik Dozaj 350 kg/m ³		
		Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Ağırlık (kg)
Gerçek Çimento Dozajı		55.0	166.99	87.7	265.6	115.0	348.5			
Su		223.0	223.0	223.0	223.0	239.0	239.0			
Hava		11	-	10.6	-	10	-			
Tane sınıfı	Özgül ağırlık faktörü	Nem içeriği (%)								
0/2	2.6	1.3		246.0	638.73	234.4	609.56	219.7	571.3	
2/4	2.6	1.3		97.0	252.35	92.6	240.82	86.8	225.7	
4/8	2.5	1.1		158.0	395.18	151.0	377.13	141.4	353.5	
8/16	2.5	1.		210.0	525.84	200.7	501.82	188.1	470.3	
Çökme Değeri (cm)				5		5		5		
Taze Beton Teorik Birim Ağırlığı (kg/m ³)				2202		2218		2208		
Taze Beton Gerçek Birim Ağırlığı (kg/m ³)				2256		2286		2322		

4.2.2 Birim Ağırlık

Denemede kullanılan farklı granülometrilili, benzer dozajlı hafif betonların teorik taze birim ağırlıkları $1086-1547 \text{ kg/m}^3$, gerçek taze birim ağırlıkları da $889-1440 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmiştir (Tablo 4.16, 4.17, 4.18, 4.19, 4.20 ve 4.21). Normal betonların taze birim ağırlıkları teorik birim ağırlık olarak $2189-2218 \text{ kg/m}^3$, gerçek birim ağırlık olarak da $2256-2322 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmiştir (Tablo 4.22 ve 4.23).

Üretilen taze hafif betonların birim ağırlıklarının, taze normal betonların yarısı dolayında olduğu söylenebilir. Hafif betonlar için elde edilen taze birim ağırlık değerleri yapısal (yerinde dökülen) taşıyıcı beton için $1520-1920 \text{ kg/m}^3$ arasında verilen birim ağırlık değerlerinin ancak alt sınırına yaklaşmaktadır (23). Hafif betonlarla yerinde dökülen elemanlar yapıldığında, etkiyen yüklerin daha az olması nedeniyle kalıpların buna uygun olarak planlanması düşünülmelidir (112). Bu durum gerekli kalıp harcamalarını azaltabileceğinden, yapı maliyetini de önemli derecede azaltan bir etken olabilir.

Taze betonların hava miktarları doğal ve ayarlanmış granülometriye sahip agregalarla üretilen betonlarda farklılık göstermemiş ve ortalama olarak %3-6 arasında değerler almıştır. Hava katkısız betonların çoğunda hava miktarı %2-4 arasında olabilir (23). Deney karışımlarında saptanan değerler bu değerlerle oldukça uyushmaktadır (Tablo 4.16, 4.17, 4.18, 4.19, 4.20 ve 4.21). Hafif betonların içerdiği %2-4 arasındaki hava içeriği işlenebilme ve sağlamlık üzerinde olumlu yönde etkiye sahip değildir. İyi bir işlenebilme için uygun toplam hava oranı genellikle %4-8 arasındadır (23). Araştırmada hazırlanan taze hafif betonların hava içeriği bu değerlere daha uygundur. Doğal ve granülometrisi ayarlanmış normal agregalarla üretilen taze betonların hava içeriği ise %1 olarak bulunmuş olup bu değer standart değerlerle benzerlik göstermektedir (Tablo 4.22 ve 4.23).

Sertleşmiş betonların 28 günlük hava kuru birim ağırlıkları; Van-Erciş, Kars-Sarıkamış ve Erzurum-Pasinler doğal hafif agregasıyla elde edilen betonların 150 kg/m^3 dozajlı

olanlarında 1015 kg/m^3 , 1335 kg/m^3 ve 1308 kg/m^3 ; 250 kg/m^3 dozajlı olanlarında 1201 kg/m^3 , 1531 kg/m^3 ve 1381 kg/m^3 ; 350 kg/m^3 dozajlı olanlarında ise 1283 kg/m^3 , 1571 kg/m^3 ve 1488 kg/m^3 olarak saptanmıştır. Aynı ocaklardan sağlanan ayarlanmış granülometriye sahip hafif agregalarla elde edilen betonların 150 kg/m^3 dozajlı olanlarında sırasıyla 1035 kg/m^3 , 1363 kg/m^3 ve 1390 kg/m^3 ; 250 kg/m^3 dozajlı olanlarında sırasıyla 1153 kg/m^3 , 1466 kg/m^3 ve 1440 kg/m^3 ; 350 kg/m^3 dozajlı olanlarında ise sırasıyla 1367 kg/m^3 , 1542 kg/m^3 ve 1497 kg/m^3 birim ağırlık değerleri bulunmuştur (Tablo 4.24).

Normal betonların 28 günlük birim ağırlıkları 150 kg/m^3 dozajlı doğal ve ayarlanmış granülometriye sahip agregalarla üretilen betonlar için sırasıyla 2350 kg/m^3 ve 2322 kg/m^3 ; 250 kg/m^3 dozajda 2362 kg/m^3 ve 2344 kg/m^3 ; 350 kg/m^3 dozajda da 2377 kg/m^3 ve 2369 kg/m^3 olmuştur (Tablo 4.24).

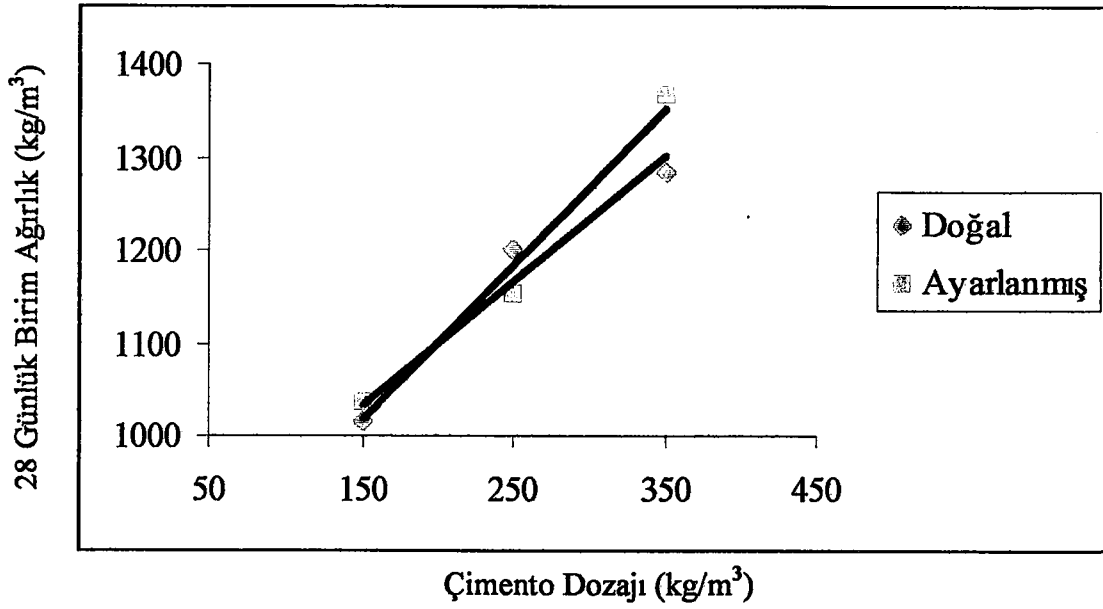
Tablo 4.24. Farklı Ocaklardan Elde Edilen Doğal ve Ayarlanmış Granülometrilili Betonların 28 Günlük Birim Ağırlıkları (kg/m^3)

Kullanılan Agregalar	Agrega Granülometrisi	Çimento Dozajları (kg/m^3)		
		150 kg/m^3	250 kg/m^3	350 kg/m^3
Van-Erciş	Doğal	1015	1201	1283
	Ayarlanmış	1035	1153	1367
Kars-Sarıkamış	Doğal	1335	1531	1571
	Ayarlanmış	1363	1466	1542
Erzurum-Pasinler	Doğal	1308	1381	1488
	Ayarlanmış	1390	1440	1497
Normal	Doğal	2350	2362	2377
	Ayarlanmış	2322	2344	2369

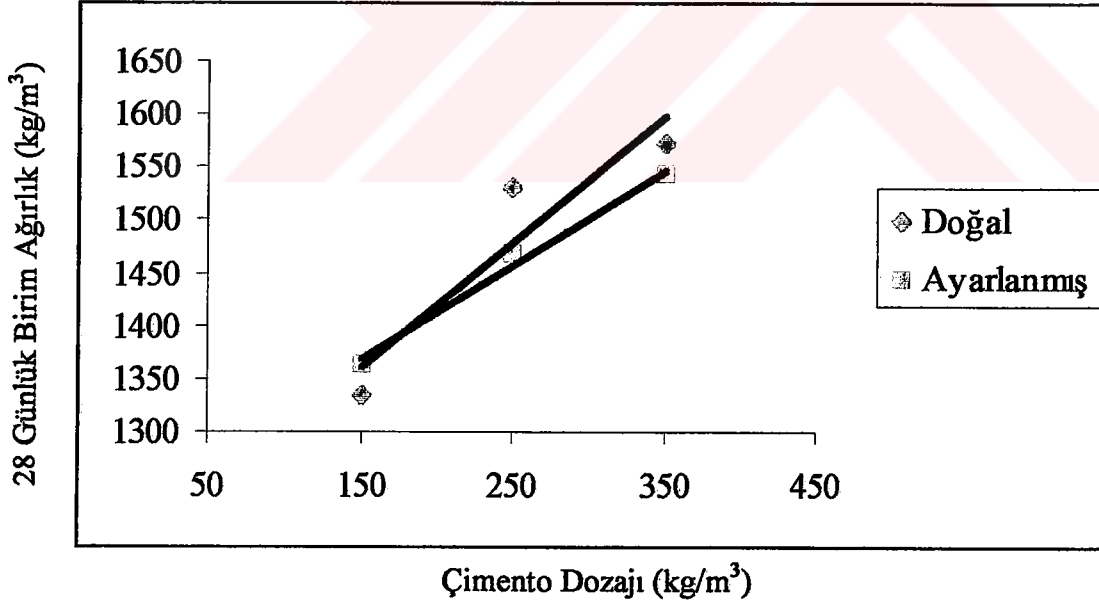
Tablo 4. 24'den de görüldüğü gibi birim ağırlıklar çimento dozajındaki artışla artmaktadır. Hafif ve normal agregalarla üretilen betonlar arasında da birim ağırlıklar karşılaştırıldığında; normal betonların, hafif betonlardan yaklaşık iki kat fazla birim ağırlığa sahip olduğu görülmektedir.

Araştırmada elde edilen hafif betonların hava kuru birim ağırlıkları ocaklar arasında kıyaslandığında Van-Erciş hafif agregasının $1015-1367 \text{ kg/m}^3$, Kars-Sarıkamış hafif agregasının $1335-1571 \text{ kg/m}^3$ ve Erzurum-Pasinler hafif agregasının da $1308-1497 \text{ kg/m}^3$ değerleri arasında olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre Van-Erciş yöresi hafif agregasıyla üretilen betonlar birim ağırlık olarak diğer iki hafif agregadan üretilen betonlardan daha düşük değerler vermiştir. Van-Erciş'i Erzurum-Pasinler izlemiş en fazla değerler ise Kars-Sarıkamış'ta ortaya çıkmıştır.

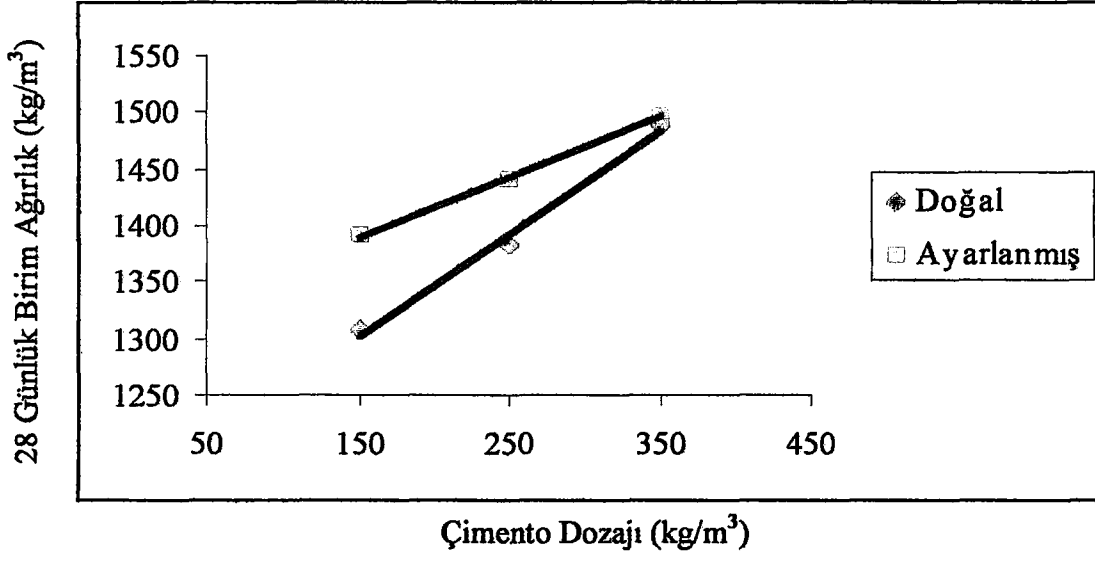
Van-Erciş hafif agregasının doğal ve ayarlanmış granülometrisiyle elde edilen betonların birim ağırlık ve çimento dozajı arasındaki ilişki Şekil 4.5'de gösterilmiştir. Kars-Sarıkamış hafif agregasının doğal ve ayarlanmış granülometrisiyle elde edilen betonların birim ağırlık ve çimento dozajı arasındaki ilişki Şekil 4.6'da ve Erzurum-Pasinler hafif agregasının doğal ve ayarlanmış granülometrisiyle elde edilen betonların birim ağırlık ve çimento dozajı arasındaki ilişki ise Şekil 4.7'de verilmiştir. Van-Erciş, Kars-Sarıkamış ve Erzurum-Pasinler hafif agregalarıyla üretilen betonların birim ağırlık ve çimento dozajları arasındaki ilişkiler doğal granülometri için Şekil 4.8'de, ayarlanmış granülometri için de Şekil 4.9'da birlikte gösterilmiştir. Normal agreganın doğal ve ayarlanmış granülometrisiyle elde edilen betonların birim ağırlık ve çimento dozajı arasındaki ilişki ise Şekil 4.10'da görülmektedir.



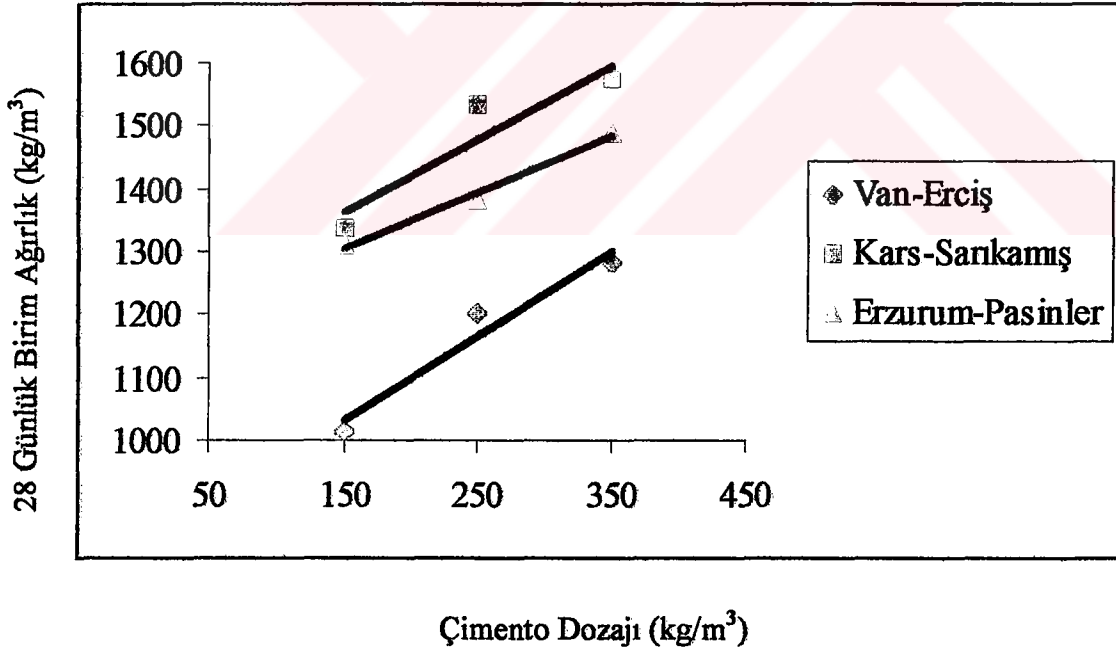
Şekil 4.5. Van-Erciş Hafif Agregasının Doğal ve Ayarlanmış Granülometrisiyle Elde Edilen Betonların Birim Ağırlık ve Çimento Dozajı Arasındaki İlişki



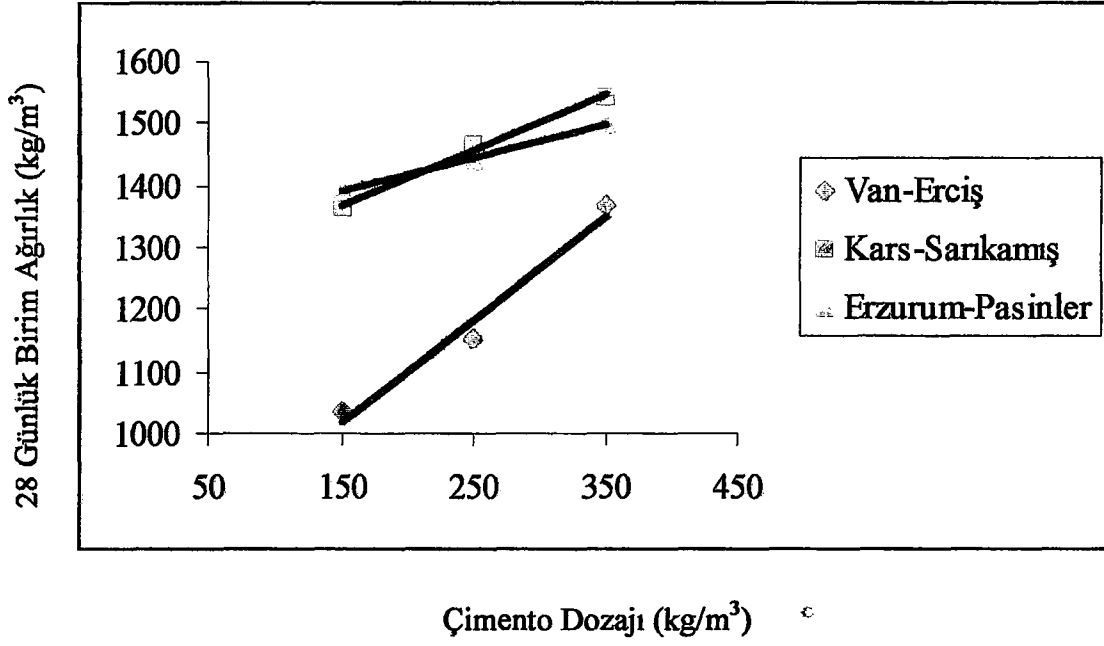
Şekil 4.6. Kars-Sarıkamış Hafif Agregasının Doğal ve Ayarlanmış Granülometrisiyle Elde Edilen Betonların Birim Ağırlık ve Çimento Dozajı Arasındaki İlişki



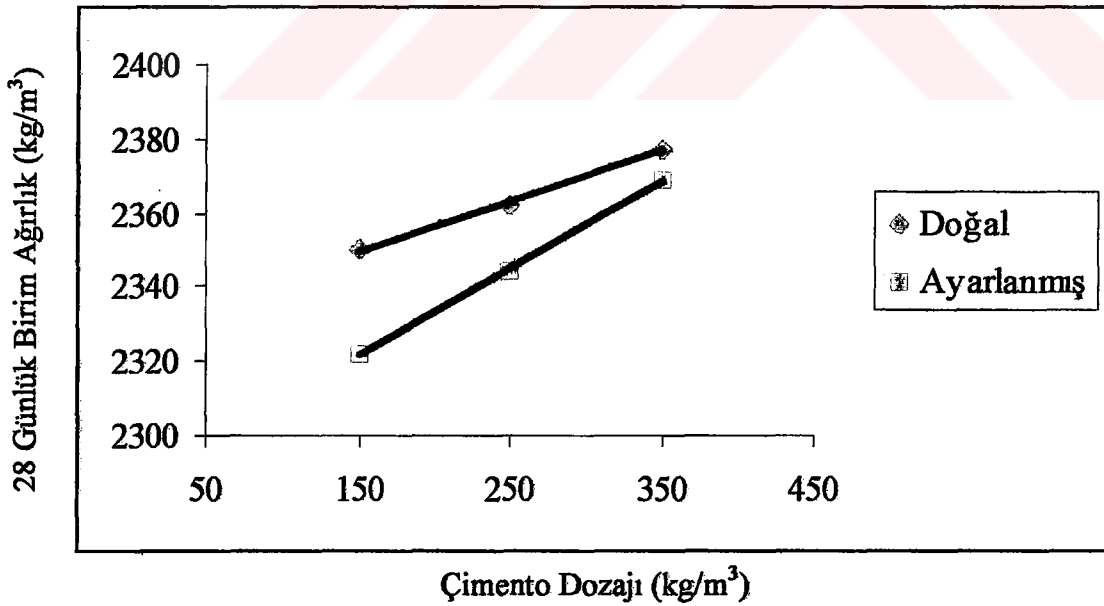
Şekil 4.7. Erzurum-Pasinler Hafif Agregasının Doğal ve Ayarlanmış Granülometrisiyle Elde Edilen Betonların Birim Ağırlık ve Çimento Dozajı Arasındaki İlişki



Şekil 4.8. Van-Erciş, Kars-Sarıkamış ve Erzurum-Pasinler Hafif Agregalarının Doğal Granülometrisiyle Elde Edilen Betonların Birim Ağırlık ve Çimento Dozajı Arasındaki İlişki



Şekil 4.9. Van-Erciş, Kars-Sarıkamış ve Erzurum-Pasinler Hafif Agregalarının Ayarlanmış Granülometrisiyle Elde Edilen Betonların Birim Ağırlık ve Çimento Dozajı Arasındaki İlişki



Şekil 4.10. Normal Agreganın Doğal ve Ayarlanmış Granülometrisiyle Elde Edilen Betonların Birim Ağırlık ve Çimento Dozajı Arasındaki İlişki

Hafif betonların hava kuru birim ağırlıkları ve çimento dozajları arasındaki ilişkilerin gösterildiği şekiller incelendiğinde beton birim ağırlıklarının (y), çimento dozajlarıyla (x) doğrusal bir ilişkisi olduğu görülmektedir. Çimento dozajındaki artışla birim ağırlıklar da artmıştır. Normal betonların da çimento dozajındaki artışa bağlı olarak birim ağırlıkları artmış olup normal betonlar için de birim ağırlıklar (y) ile çimento dozajları (x) arasında ilişki doğrusaldır.

Agregaların ocak, doğal ve ayarlanmış granülometrileri ve çimento dozajlarının betonların 28 günlük hava kuru birim ağırlıklarına olan etkilerinin saptanması amacıyla yapılan varyans analizi Tablo 4.25’de verilmiştir. Tablo 4.25 oluşturulurken normal agregaya hafif agregalarla birlikte değerlendirilmiştir.

Tablo 4.25. Agregaya Ocağı, Granülometri ve Dozajın Beton Birim Ağırlığına Olan Etkilerine İlişkin Varyans Analiz Sonuçları

	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F değeri
Ocak	3	4832101	4127.698**
Granülometri	1	1615	1.380
Dozaj	2	180326	154.038**
OcakXGranülometri	3	4663	3.983*
OcakX Dozaj	6	19073	16.293**
GranülometriXDozaj	2	2464	2.104
OcakXGranülometriXDozaj	6	3270	2.794*
Hata	48	1170.653	

** p<0.01 olasılık düzeyinde önemli

*p< 0.05 olasılık düzeyinde önemli

Varyans analiz tablosu incelendiğinde; farklı agregaya ocaklarının ve çimento dozajının birim ağırlığa olan etkilerinin (p<0.01 olasılık düzeyinde) çok önemli olduğu, granülometrinin birim ağırlığa olan etkilerinin ise önemsiz olduğu görülmektedir. Ocak, granülometri ve çimento dozajının kendi arasındaki interaksyonu incelendiğinde de birim ağırlığa olan etkisi ocak ve granülometri için (p<0.05 olasılık düzeyinde) önemli olduğu, ocak ve çimento dozajının (p<0.01 olasılık düzeyinde) çok önemli olduğu, granülometri ve çimento dozajının önemsiz olduğu; ocak, granülometri ve çimento dozajının üçü bir arada düşünüldüğünde ise (p<0.05 olasılık düzeyinde) önemli olduğu görülmektedir. Nitekim Turgutalp (1978)’in yaptığı çalışmada da hafif betonlar için benzer sonuçlar elde edilmiştir (13).

Hafif betonların üretim yöntemi ve agregâ çeşidine göre genel olarak 560-1850 kg/m³ arasında değerler alabilen hava kuru birim ağırlıkları, yapısal hafif beton için genellikle 1360-1840 kg/m³ arasında ve yalıtım betonları için ise 320-1120 kg/m³ arasında değişebilmektedir. Normal betonların hava kuru birim ağırlıkları ise genellikle 2240-2560 kg/m³ arasındadır (35 ve 113). Sünger taşı agregası ile üretilen betonların birim ağırlıklarına ilişkin olarak çeşitli araştırmacılar 1440-1600 kg/m³ arasında, 320-1120 kg/m³ arasında ve 800-1300 kg/m³ arasında değişen değerler vermektedir (113,114 ve 109).

Araştırmada kullanılan hafif agregalardan elde edilen betonların hava kuru birim ağırlıkları değişen dozajlara bağlı olarak 1015-1571 kg/m³ arasında değerler almıştır (Tablo 4.24). Bu değerler hafif betonlar için öngörülen üst sınırın çok altındadır.

Araştırmada üretilen betonların 1350 kg/m³'ten fazla birim ağırlığa sahip olanları donatılı, ön gerilmeli ve yük taşıyıcı elemanlarda kullanılabilecektir (35). Daha yüksek dozajlı hafif betonlar ile taşıyıcı beton elemanlar oluşturulabilir.

Gerekli dayanımın sağlanması koşuluyla, üretilen hafif betonların birim ağırlıkları normal betona oranla yaklaşık % 50 daha az olduğundan, bu betonların yapılarda kullanılmasıyla yapı öz ağırlıklarında da belirtilen orana yakın bir azalma sağlanabilir. Yapı öz ağırlığının normal betona oranla yaklaşık % 50 dolayında azalışı temel ve duvar boyutlarının küçülmesine, gerekli donatı çeliğinin azaltılabilmesine ve briket, dolu blok gibi prefabrik elemanların oransal olarak daha büyük boyutlu yapılabilmesine ve taşınması gerekli malzemenin azaltılabilmesine olanak sağlayacağı açıktır. Bu durum ise yapı maliyetinin düşürülmesinde yararlı bir etken olarak ortaya çıkar (4 ve 115).

Tarımsal yapılarda genellikle taşıyıcı elemanlarda kullanılan taş, kerpiç, briket ve tuğla gibi malzemenin birim ağırlıkları üretilen hafif betonların birim ağırlıkları ile karşılaştırılırsa, deneme betonlarının 1015-1571 kg/m³ arasında değişen birim ağırlıklarının 2600-2800 kg/m³ arasında değişebilen taşın birim ağırlığından önemli derecede az olduğu görülür (14). Aynı betonlar, en az 1400 kg/m³ birim ağırlığa sahip

olması gereken ve uygulamada $1600-2500 \text{ kg/m}^3$ arasında üretilen harman tuğlalarının (116) birim ağırlıklarından da daha hafiftir.

Saman katkılı kerpiç birim ağırlıklarının genel olarak $1100-1600 \text{ kg/m}^3$ arasında değiştiği bilinmektedir (14). Bu değerler üretilen hafif betonların birim ağırlıklarından daha hafif değildir. TS 537 (117)'de çimentolu kerpiç bloklar için birim ağırlıkların $1700-1950 \text{ kg/m}^3$ arasında olması öngörüldüğünden; üretilen hafif betonların birim ağırlıklarının bu çeşit duvar elemanlarından önemli derecede düşük değerlerde olduğu ve normal agregalarla üretilen briketlerin ise birim ağırlıklarının en az 1600 kg/m^3 olması gerektiğinden (118), elde edilen hafif betonların yoğun briketlerden de düşük birim ağırlıklara sahip olduğu görülmektedir.

Araştırmada elde edilen hafif betonların tarımsal yapılarda çeşitli elemanlarda kullanılmasıyla, birim ağırlık bakımından diğer yapı malzemesine (taş, kerpiç, briket vb.) oranla daha düşük öz ağırlıklar oluşturacağı ve bu yükün kerpiç malzemenin öz ağırlığına yakın değerler gösterdiği sonucuna varılır. Hafif betonların hafifliği yanında, ısı iletkenliği vb. diğer üstün özellikleri de göz önüne alınırsa, diğer malzemeye oranla tarımsal yapılarda kullanılmasının daha önemli yararlar sağlayabileceği söylenebilir.

Deprem kuvvetlerinin yapı üzerine olan etkisinin yapı ağırlığıyla artacağı göz önünde tutulursa (119 ve 120), hafif beton malzeme kullanılmasıyla yapı ağırlıklarından sağlanacak azalmaların, depremin etkisini önemli derecelerde azaltabileceği açıktır. Hafif betonların donatılı olarak bazı yapı elemanlarında kullanılmasıyla birim ağırlığın deprem konusunda sağlayacağı olumlu etkiye ek olarak yeterli dayanımın ve uygun yapı sisteminin elde edilmesiyle de deprem etkisinin büyük oranda azaltılması söz konusu olmaktadır. Bu durum, araştırmada kullanılan agrega ocaklarının bulunduğu ve büyük kısmı birinci sınıf deprem bölgesine giren Doğu Anadolu Bölgesi'nde (121) tarımsal yapılar ve diğer yapılar için özel önem taşımaktadır.

4.2.3. Isı İletkenliği

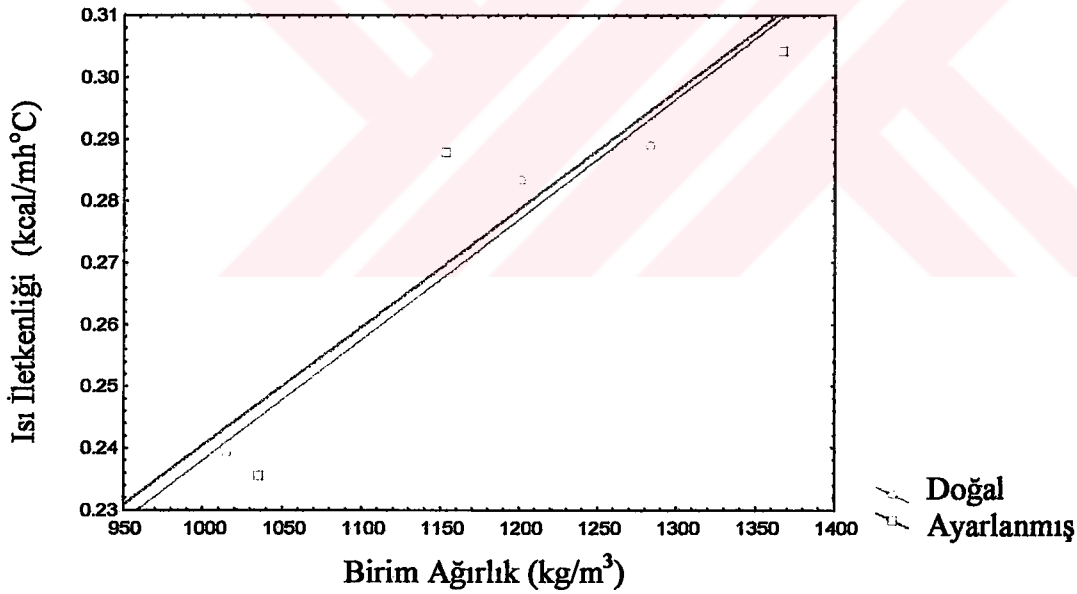
Araştırma malzemesini oluşturan hafif beton örneklerinin ısı iletkenlik katsayıları; Türk Standartları Enstitüsü'nde sıcak tel yöntemine göre ölçüm yapan bir aygıtla belirlenmiş ve 0.2355 ile 0.4099 kcal/mh°C, normal betonlar için ısı iletkenlik katsayıları da 1.0270-1.4276 kcal/mh°C arasında saptanmıştır (Tablo 4.26). Isı iletkenlik katsayıları ölçüldüğü anda örnekler olanaklar ölçüsünde kuru tutulmaya çalışılmıştır.

Van-Erciş, Kars-Sarıkamış ve Erzurum-Pasinler doğal hafif agregasıyla üretilen betonların sırasıyla ısı iletkenlik katsayıları 150 kg/m³ dozajlı olanlarda 0.2391, 0.2913, 0.3343 kcal/mh°C; 250 kg/m³ dozajlı olanlarda 0.2834, 0.3286, 0.3860 kcal/mh°C; 350 kg/m³ dozajlı olanlarda 0.2890, 0.3985, 0.4099 kcal/mh°C olarak elde edilmiştir. Van-Erciş, Kars-Sarıkamış ve Erzurum-Pasinler ayarlanmış granülometrilili hafif agregasıyla üretilen betonlarda sırasıyla ısı iletkenlik katsayıları 150 kg/m³ dozajlı olanlarda 0.2355, 0.2400, 0.2558 kcal/mh°C; 250 kg/m³ dozajlı olanlarda 0.2878, 0.3382, 0.2822 kcal/mh°C ve 350 kg/m³ dozajlı olanlarda ise 0.3042, 0.3435, 0.3085 kcal/mh°C olarak saptanmıştır (Tablo 4.26). Doğal granülometrilili normal agregalar kullanılarak üretilen 150, 250 ve 350 kg/m³ dozajlı betonlar için elde edilen ısı iletkenlik katsayıları sırasıyla 1.1650, 1.2252 ve 1.2963 kcal/mh°C, ayarlanmış granülometrilili normal agregalar kullanılarak üretilen 150, 250 ve 350 kg/m³ dozajlı betonlar için ısı iletkenlik katsayıları sırasıyla 1.027, 1.067 ve 1.4276 kcal/mh°C olarak elde edilmiştir (Tablo 4.26).

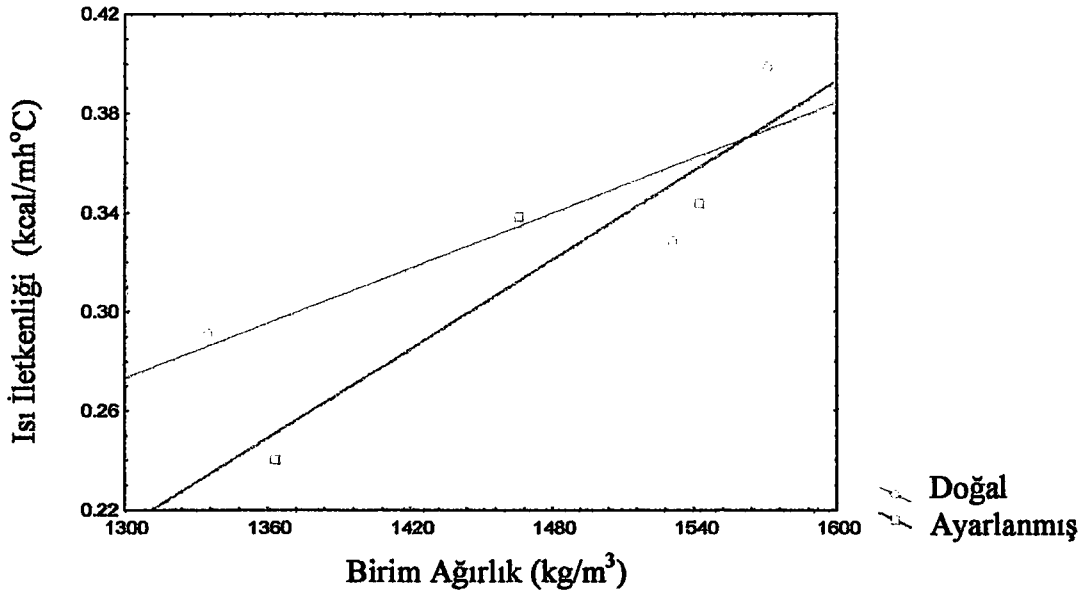
Tablo 4.26. Hafif ve Normal Betonların 28 Günlük Birim Ağırlık Değerleri (kg/m³) ve Isı İletkenlik Katsayıları (kcal/mh°C)

		Van-Erciş		Kars-Sarıkamış		Erzurum-Pasinler		Normal	
Çimento Dozajı (kg/m ³)	Granülometri	Birim Ağırlık	Isı İletkenliği	Birim Ağırlık	Isı İletkenliği	Birim Ağırlık	Isı İletkenliği	Birim Ağırlık	Isı İletkenliği
150	Doğal	1015	0.2391	1335	0.2913	1308	0.3343	2350	1.165
	Ayarlanmış	1035	0.2355	1363	0.2400	1390	0.2558	2322	1.027
	Doğal	1201	0.2834	1531	0.3286	1381	0.3860	2362	1.2252
	Ayarlanmış	1153	0.2878	1466	0.3382	1440	0.2822	2344	1.067
	Doğal	1283	0.2890	1571	0.3985	1488	0.4099	2377	1.2963
	Ayarlanmış	1367	0.3042	1542	0.3435	1497	0.3085	2369	1.4276

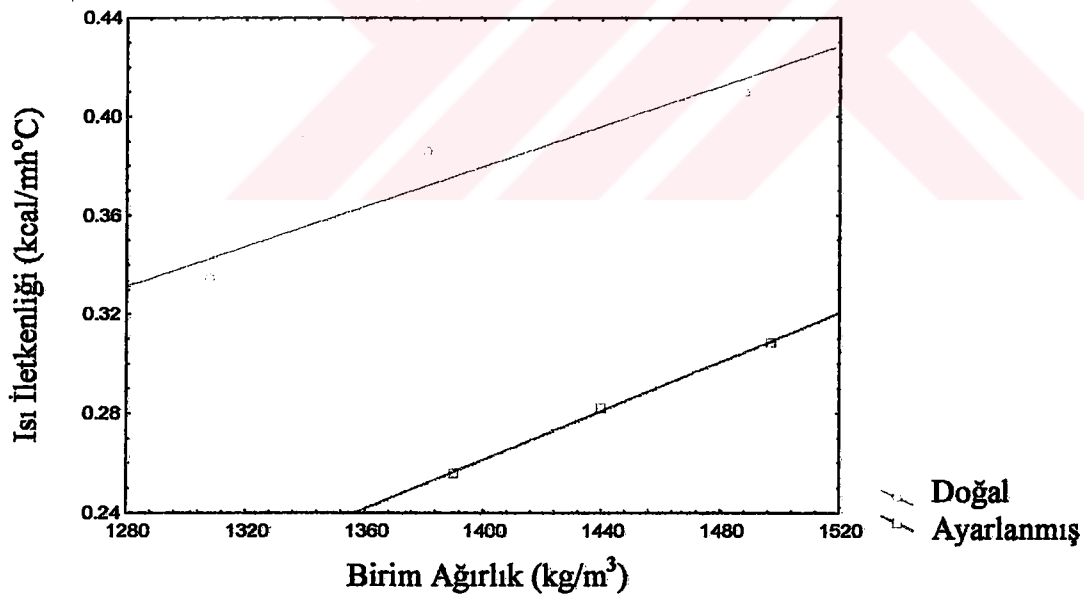
Farklı ocaklardan sağlanan hafif agregalar ve normal agreganın granülometrisi doğal ve ayarlanmış durumuyla değişik dozajlarda üretilen betonların, özelliklerine bağlı olarak ısı iletkenlikleri değişiklik göstermiştir. Isı iletkenliğinin en çok birim ağırlığa bağlı olarak değiştiği bilindiğinden, elde edilen betonların özelliklerine göre birim ağırlık ve ısı iletkenlikleri de Tablo 4.26'da görülmektedir. Elde edilen betonların diğer özelliklerine bağlı olarak ısı iletkenlik katsayılarının birim ağırlık ve çimento dozajlarıyla değişimi ise Şekil 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18, 4.19 ve 4.20'de gösterilmiştir.



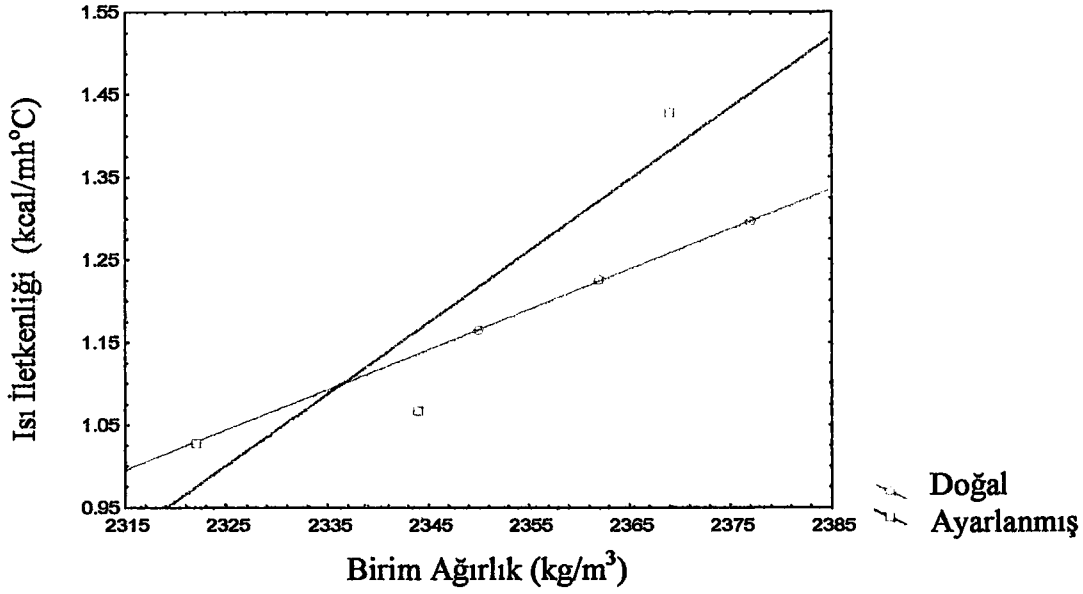
Şekil 4.11. Van-Erciş Hafif Agregasının Doğal ve Ayarlanmış Granülometrisiyle Elde Edilen Betonların Isı İletkenliği ve Birim Ağırlıkları Arasındaki İlişki



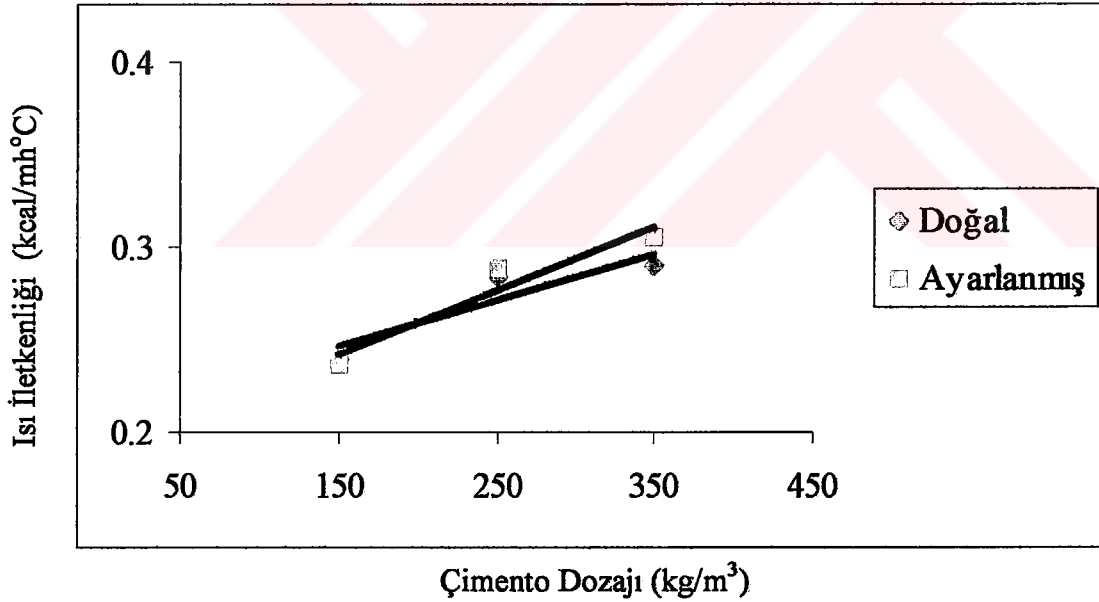
Şekil 4.12. Kars-Sarıkamış Hafif Agregasının Doğal ve Ayarlanmış Granülometrisiyle Elde Edilen Betonların Isı İletkenliği ve Birim Ağırlıkları Arasındaki İlişki



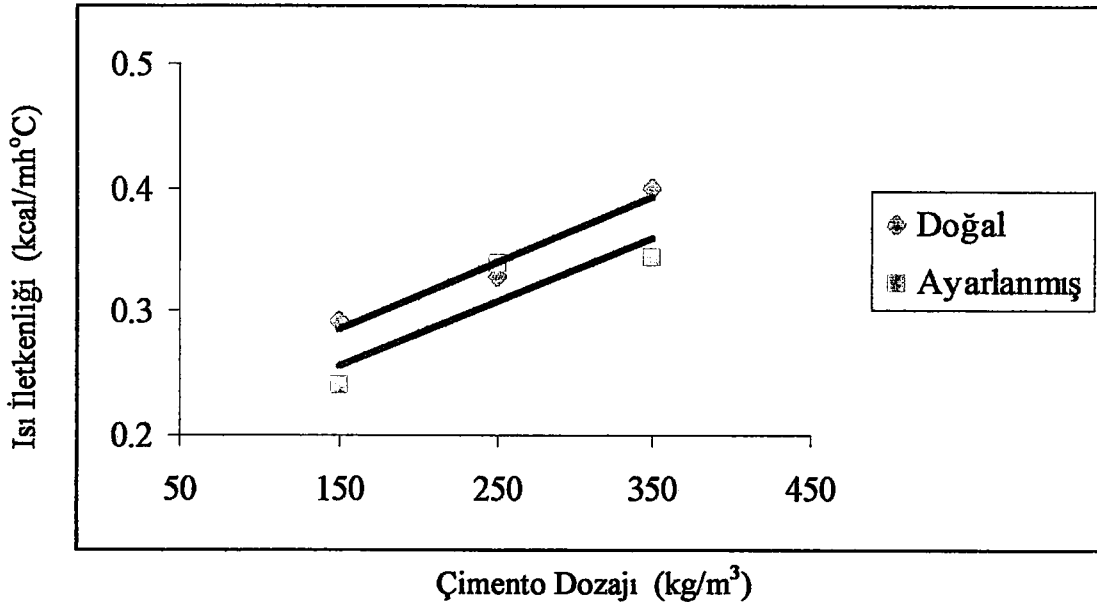
Şekil 4.13. Erzurum-Pasinler Agregasının Doğal ve Ayarlanmış Granülometrisiyle Elde Edilen Betonların Isı İletkenliği ve Birim Ağırlıkları Arasındaki İlişki



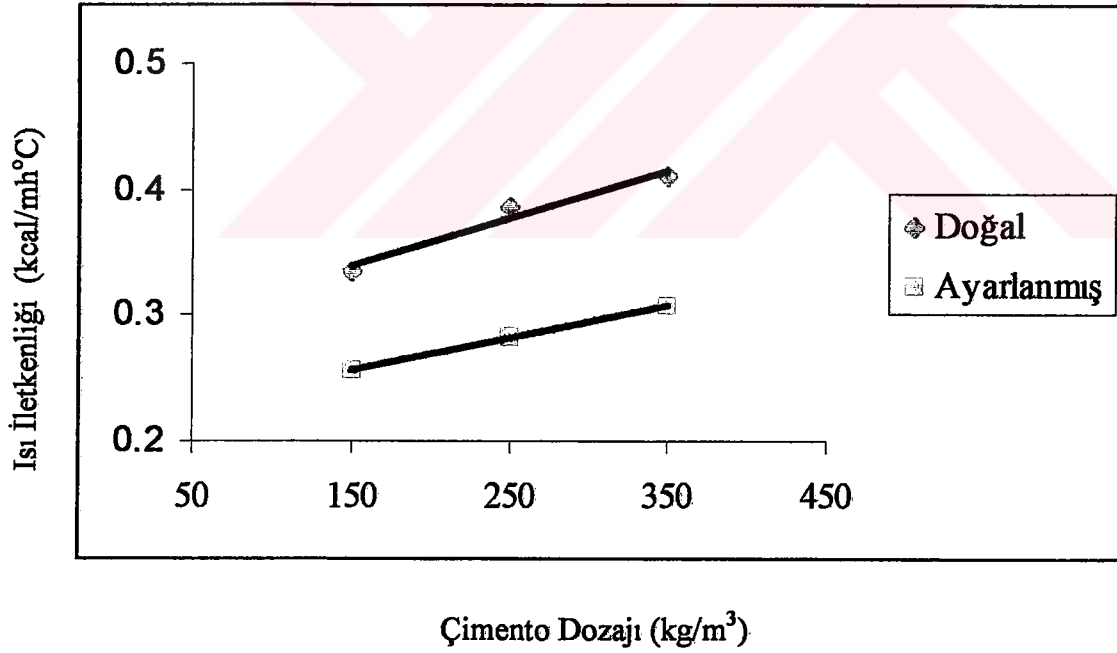
Şekil 4.14. Doğal ve Ayarlanmış Granülometrilili Normal Agrega İle Elde Edilen Betonların Isı İletkenliği ve Birim Ağırlıkları Arasındaki İlişki



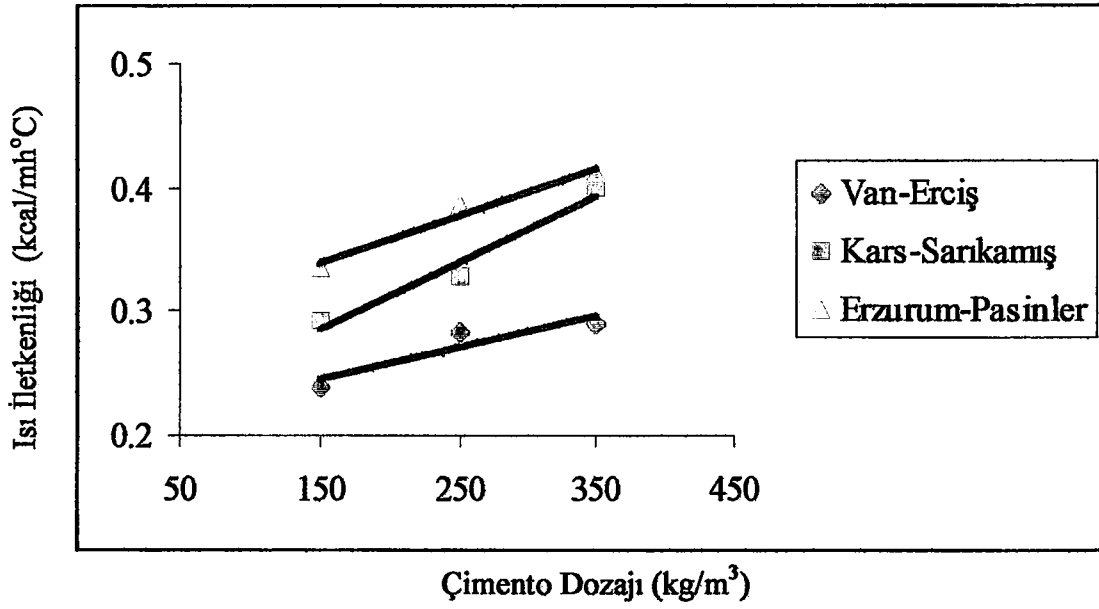
Şekil 4.15. Doğal ve Ayarlanmış Granülometrilili Van-Erciş Hafif Agregasıyla Elde Edilen Betonların Isı İletkenliği ve Çimento Dozajı Arasındaki İlişki



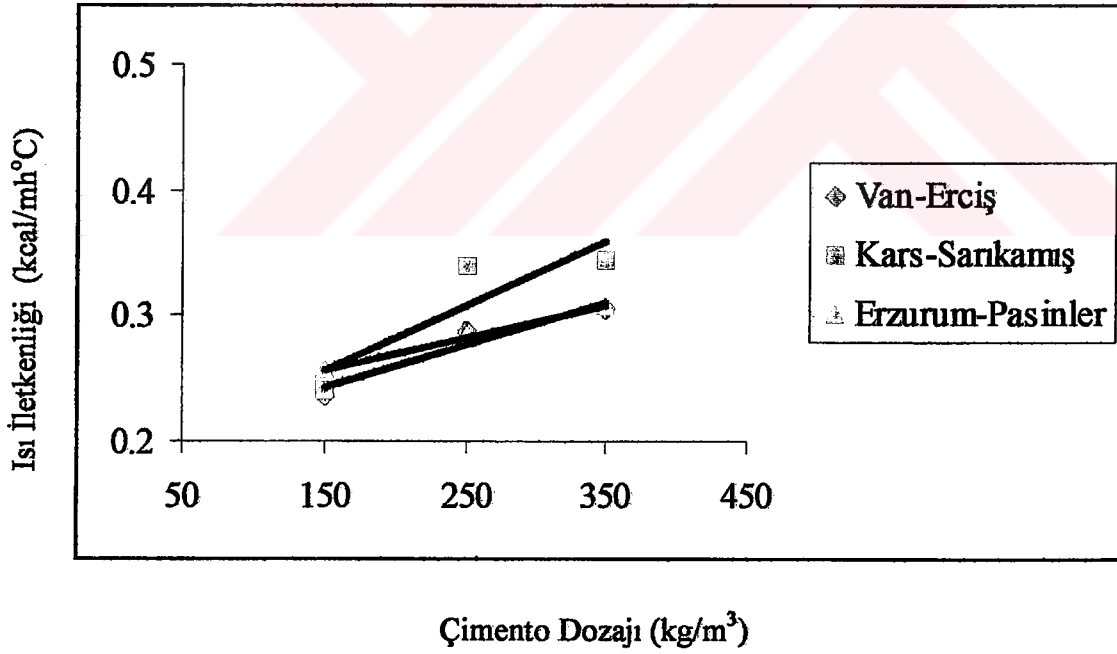
Şekil 4.16. Doğal ve Ayarlanmış Granülometrilı Kars-Sarıkamış Hafif Agregasıyla Elde Edilen Betonların Isı İletkenliği ve Çimento Dozajı Arasındaki İlişki



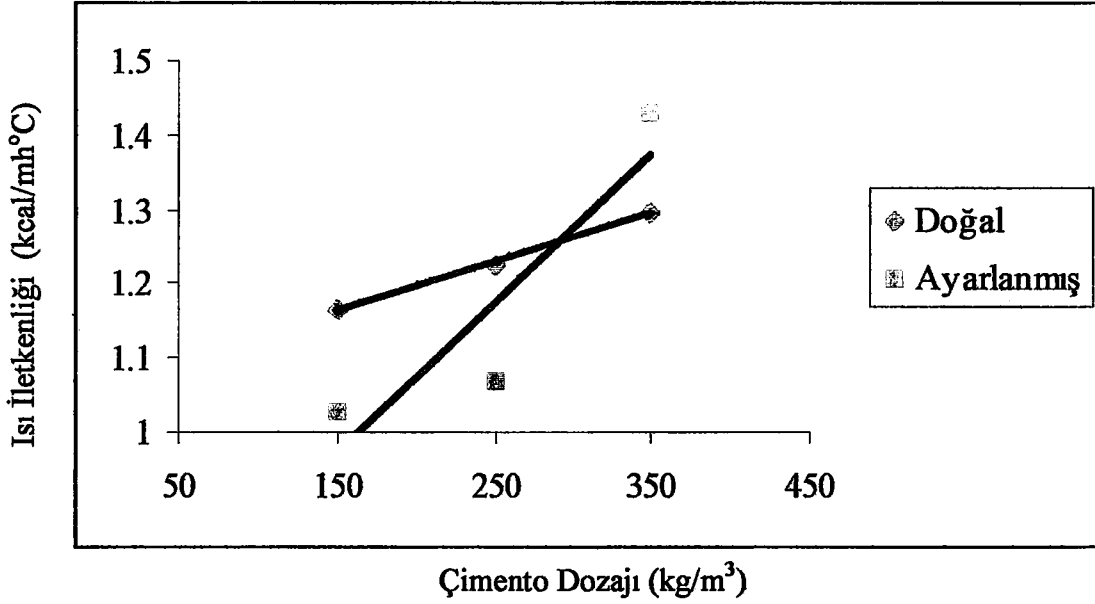
Şekil 4.17. Doğal ve Ayarlanmış Granülometrilı Erzurum-Pasinler Hafif Agregasıyla Elde Edilen Betonların Isı İletkenliği ve Çimento Dozajı Arasındaki İlişki



Şekil 4.18. Doğal Granülometrilili Hafif Agregalar Kullanılarak Elde Edilen Betonların Isı İletkenliği ve Çimento Dozajı Arasındaki İlişki



Şekil 4.19. Granülometrisi Ayarlanmış Hafif Agregalar Kullanılarak Elde Edilen Betonların Isı İletkenliği ve Çimento Dozajı Arasındaki İlişki



Şekil 4.20. Normal Agreganın Doğal ve Ayarlanmış Granülometrisiyle Elde Edilen Betonların Isı İletkenliği ve Çimento Dozajı Arasındaki İlişki

Tablo 4.26 ve Şekil 4.11, 4.12, 4.13 ve 4.14 incelendiğinde ısı iletkenlik katsayılarının birim ağırlıkla artış gösterdiği belirlenmiştir. Şekil 4.11, 4.12, 4.13’de de görüldüğü gibi doğal ve ayarlanmış granülometrilili hafif agregalarla üretilen betonlarda birim ağırlık artışına bağlı olarak ısı iletkenlik katsayıları da artış göstermiştir. Aynı şekilde çimento dozajı-ısı iletkenlik katsayıları arasındaki ilişkilerin gösterildiği Şekil 4.15, 4.16, 4.17, 4.18, 4.19 ve 4.20’de de görülebileceği gibi çimento dozajlarındaki artışa bağlı olarak ısı iletkenlik katsayıları da artmış olup aralarında doğrusal bir ilişki oluşmuştur.

Deneme konusu olan agregalar, granülometri bileşimleri ve çimento dozajı ile ısı iletkenliği arasındaki ilişkilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi yapılarak (Tablo 4.27) sonuçlar irdelenmiştir.

Tablo 4.27. Agrega Ocağı, Granülometri ve Dozajın Isı İletkenliğine Olan Etkilerine İlişkin Varyans Analiz Sonuçları

	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F değeri
Ocak	3	3.597585	398834.5**
Granülometri	1	0.034978	3877.8**
Dozaj	2	0.092659	10272.4**
Ocak x Granülometri	3	0.007863	871.7**
Ocak x Dozaj	6	0.018809	2085.2**
Granülometri x Dozaj	2	0.007853	870.6**
OcakxGranülometrixDozaj	6	0.011227	1244.6**
Hata	48	0.000009	

** $p < 0.01$ Olasılık Düzeyinde Önemli

Tablo 4.27 incelendiğinde farklı agrega ocaklarının, granülometrileri ve çimento dozajının betonun ısı iletkenliğine olan etkilerinin ($p < 0.01$ olasılık düzeyinde) çok önemli olduğu görülmektedir. Araştırmada özellikle betonların ısı iletkenlikleri göz önünde bulundurulmuş olup varyans analizi ile de kanıtlandığı gibi agrega ocakları, granülometrileri ve çimento dozajlarındaki farklılıklar ayrı ve birlikte değerlendirdiklerinde de betonun ısı iletkenliklerine olan etkileri ($p < 0.01$ olasılık düzeyinde) çok önemli çıkmıştır.

Elde edilen betonlar dozajlarına göre değerlendirildiğinde; dozaj artışıyla ısı iletkenlik değerlerinde de artış olduğu belirlenmiştir. Van-Erciş yöresi hafif agregası kullanılarak oluşturulan betonlar 0.2355–0.3042 kcal/mh°C’lik en düşük ısı iletkenlik değerleri göstermişlerdir. Kars-Sarıkamış yöresi hafif agregasıyla yapılan hafif betonlarda 0.2400 – 0.3985 kcal/mh °C, Erzurum-Pasinler yöresi hafif agregalı betonlarda ise 0.2558-0.4099 kcal/mh °C ısı iletkenlik değerleri ölçülmüştür.

Malzemenin ısı iletkenlik katsayısı birim ağırlık ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Birim ağırlık arttıkça ısı iletkenlik katsayısı da artış göstermektedir (108). Camcıoğlu (1963), hava kuru birim ağırlıkları 960-1648 kg/m³ arasında olan hafif betonların ısı iletkenliklerinin 0.19-0.40 kcal/mh°C arasında değiştiğini belirtmektedir (122). Turgutalp (1978), 200 kg/m³ dozajlı ve kuru birim ağırlığı 1300 kg/m³ olan doğal granülometrilili hafif betonların ısı iletkenlik katsayısının 0.33 kcal/mh°C olduğunu

bildirmektedir (13). Pomza ile üretilen ve kuru birim ağırlıkları $720-1280 \text{ kg/m}^3$ arasında bulunan betonların ısı iletkenlik katsayılarının $0.12-0.31 \text{ kcal/mh } ^\circ\text{C}$ olarak değiştiği, 2320 kg/m^3 kuru birim ağırlığa sahip normal betonda ise ısı iletkenlik katsayılarının $0.99-1.49 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ arasında değerler aldığı belirtilmektedir (11).

Araştırma materyali betonların birim ağırlıklarına bağlı olarak, ısı iletkenlik değerlerinin değişimi benzer araştırma sonuçlarına (11, 13 ve 120) yakınlık göstermektedir. Normal betonların ısı iletkenlik katsayılarının da belirlendiği bir çalışmada (11) normal betonlar için elde edilen değerlerin, denemede kullanılan hafif beton örnekleri ısı iletkenlik katsayılarından yaklaşık dört kat daha büyük olduğu görülmüştür.

Araştırmada elde edilen ısı iletkenlik değerleri, hafif agrega olarak perlit kullanılarak 300 kg/m^3 dozajda üretilen perlitli betonların ısı iletkenlik katsayıları olan $0.24-0.43 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ değerlerine (72) benzerlik göstermektedir. Elde edilen hafif betonların $0.2355-0.4099 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ arasında değişen ısı iletkenlik değerleri, tarımsal yapılarda başlıca yapı malzemesi olarak kullanılan taş, tuğla, briket, kerpiç ve ahşabın ısı iletkenlik değerleriyle karşılaştırılırsa; taşın ($1.5-2.5 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$) yaklaşık $1/6$ 'i, sıvasız ve sıvalı tuğlanın (0.75 ve $0.69 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$) yaklaşık $1/2$ 'si, boşluklu beton briketin ($0.60 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$) $1/2$ 'si, ahşabın ($0.20 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$) $3/2$ 'si, kerpicin ($0.60-0.80 \text{ kcal/mh } ^\circ\text{C}$) ise $1/2$ ' sine yakın ve sıvasız delikli tuğlaninkine ($0.40 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$) benzer değerler alabilmektedir (123, 124, 18). Yukarıda açıklanan değerler incelendiğinde, araştırma betonlarının ısı yalıtımı bakımından yapı malzemelerinin çoğundan üstün bir özelliğe sahip olduğu anlaşılır. Tarımsal yapılarda kullanılan benzer ısı iletkenliğine sahip malzemelerin çoğuna oranla, özellikle basınç dayanımının yüksek olması ve diğer üstünlükleri nedeniyle söz konusu hafif betonların daha iyi niteliklerde oldukları söylenebilir (125). Bu bakımdan tarımsal yapılarda hafif betonların kullanımının daha uygun olabileceği ve daha fazla yarar sağlayacağı önerilebilir. Hafif beton için verilen ısı iletkenlik değerleri bu agrega ile üretililecek boşluklu (delikli) beton duvar birimlerinde daha da düşebileceğinden (126) ayrıca önemle üzerinde durulması gereken bir konudur.

Doğu Anadolu kırsal yerleşimlerinde yakıt önemli bir sorun olduğundan (127), çeşitli yapılarda ısı iletkenliği düşük malzeme kullanılması ile yakıttan sağlanabilecek artım küçümsenmemelidir (128). Konut dahil sıcaklık kontrolünün zorunlu olduğu ve ısı kaybının önlenmesi gerektiği hayvan barınakları ve depo yapılarında boşluklu duvar bloklarının diğer yapı malzemelerine göre daha düşük ısı iletkenliğine sahip hafif betonla yapılması durumunda ısı yalıtım özelliği iyileştirilebilir. Kerpicing basınç dayanımının düşük olması ve taşın ısı iletkenliğinin yüksek olması nedenleriyle köy yapılarında çok kalın yapılan duvarlar, gerek düşük ısı iletkenlik değerlerine ve gerek yüksek basınç dayanımına sahip olan uygun karışumlu hafif betonlarla daha ince yapılabilir. Duvarların inceltmesi ile toplam yararlı yapı alanından ve yapı maliyetinden de artım sağlanabilir.

4.2.4.Basınç Dayanımı

Çalışmaya konu olan hafif beton örneklerinin basınç dayanımları Tablo 4.28’de gösterilmiştir. Araştırmada Van-Erciş yöresi doğal granülometriye sahip hafif agregaları kullanılarak üretilen hafif betonlar için 150 kg/m³ dozajlı olanlarında 26.9 kgf/cm², 250 kg/m³ dozajlı olanlarında 67 kgf/cm², 350 kg/m³ dozajlı olanlarında ise 124 kgf/cm² lik basınç dayanımları elde edilmiştir. Kars-Sarıkamış yöresi doğal granülometriye sahip hafif agregalarıyla üretilen betonlar için de 150, 250 ve 350 kg/m³ lük dozajlar için sırasıyla 25.5, 87.7 ve 122.6 kgf/cm² lik basınç dayanımları bulunmuştur. Erzurum-Pasinler yöresi doğal granülometriye sahip hafif agregası kullanılarak elde edilen betonların yukarıdaki dozaj sırasına göre 38.5, 100 ve 133 kgf/cm² lik basınç dayanımları belirlenmiştir. Van-Erciş, Kars-Sarıkamış ve Erzurum-Pasinler yöresi ayarlanmış granülometriye sahip hafif agregalarıyla üretilen 150 kg/m³ dozajlı hafif beton için basınç dayanım değerleri sırasıyla 29.6, 29.0, 44.0 kgf/cm²; 250 kg/m³ dozajlı hafif beton için sırasıyla 69.6, 89.0, 103.2 kgf/cm²; 350 kg/m³ dozajlı hafif beton için de sırasıyla 130.0, 130.0, 136.0 kgf/cm² olarak saptanmıştır (Tablo 4.28).

Tablo 4.28. Hafif ve Normal Betonların 28 Günlük Birim Ağırlık (kg/m^3) ve Basınç Dayanım Değerleri (kgf/cm^2)

Çimento Dozajı (kg/m^3)	Agrega Granülometrisi	Kullanılan Agregalar							
		Van-Erciş		Kars-Sarıkamış		Erzurum-Pasinler		Normal	
		Birim Ağırlık	Basınç Dayanımı	Birim Ağırlık	Basınç Dayanımı	Birim Ağırlık	Basınç Dayanımı	Birim Ağırlık	Basınç Dayanımı
150	Doğal	1015	26.9	1335	25.5	1308	38.5	2350	69.6
	Ayarlanmış	1035	29.6	1363	29.0	1390	44.0	2322	83.6
250	Doğal	1201	67.0	1531	87.7	1381	100.0	2362	189.6
	Ayarlanmış	1153	69.6	1466	89.0	1440	103.2	2344	226.0
350	Doğal	1283	124.0	1571	122.6	1488	133.0	2377	240.0
	Ayarlanmış	1367	130.0	1542	130.0	1497	136.0	2369	257.5

Araştırmada kullanılan doğal granülometriye sahip hafif agregalar ile yapılan betonların basınç dayanımı değerleri 25.5 kgf/cm^2 ile 133.0 kgf/cm^2 , ayarlanmış granülometriye sahip hafif agregalar ile yapılan betonlarda ise 29.0 kgf/cm^2 ile 136.0 kgf/cm^2 arasında değişmektedir. Tablo 4.28'den de görüldüğü gibi aynı agrega ocağı ve çimento dozajı için doğal ve ayarlanmış granülometriye sahip hafif agregalar ile üretilen betonların basınç dayanımları arasında çok farklılık olmamakla birlikte, granülometrisi ayarlanmış hafif agrega ile üretilen betonların basınç dayanımları daha fazla bulunmuştur.

Araştırma konusu olan doğal granülometriye sahip normal agregalar ile oluşturulan 150, 250, 350 kg/m^3 dozajlı betonların basınç dayanımı değerleri sırasıyla 69.6, 189.6, 240.0 kgf/cm^2 bulunmuştur. Ayarlanmış granülometriye sahip normal agrega ile oluşturulan 150, 250, 350 kg/m^3 dozajlı betonların basınç dayanımı değerleri ise 83.6, 226.0, 257.5 kgf/cm^2 olarak saptanmıştır (Tablo 4.28).

Bu çalışmada elde edilen hafif ve normal betonların basınç dayanımları ve çimento dozajları ile birim ağırlıkları arasındaki ilişkiler Şekil 4.21, 4.22, 4.23, 4.24, 4.25, 4.26, 4.27, 4.28, 4.29 ve 4.30'da verilmiştir.

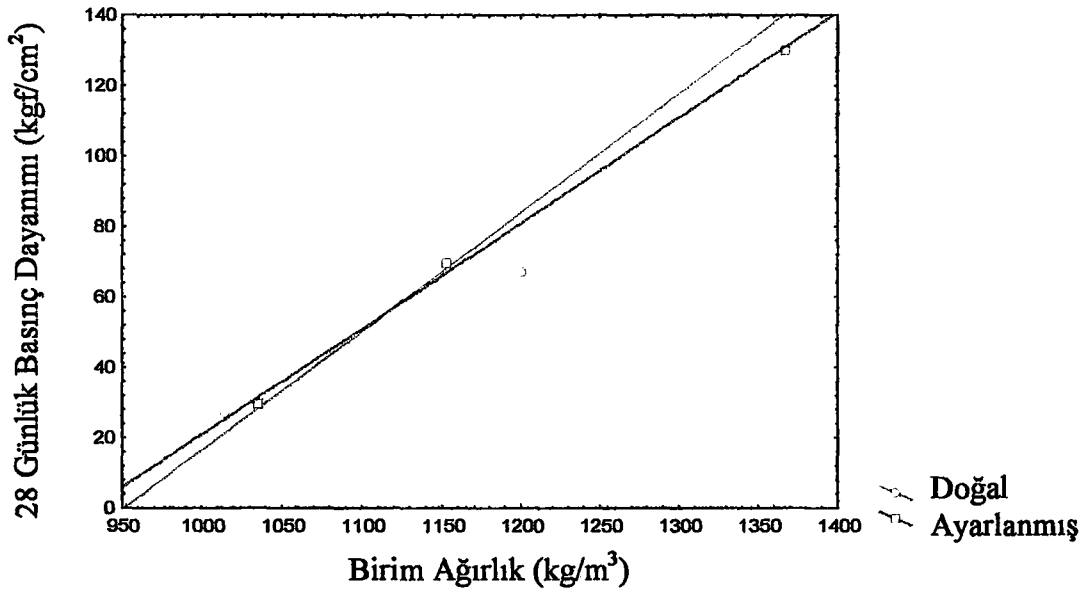
Tablo 4.28. Hafif ve Normal Betonların 28 Günlük Birim Ağırlık (kg/m^3) ve Basınç Dayanım Değerleri (kgf/cm^2)

Çimento Dozajı (kg/m^3)	Agrega Granülometrisi	Kullanılan Agregalar							
		Van-Erciş		Kars-Sarıkamış		Erzurum-Pasinler		Normal	
		Birim Ağırlık	Basınç Dayanımı	Birim Ağırlık	Basınç Dayanımı	Birim Ağırlık	Basınç Dayanımı	Birim Ağırlık	Basınç Dayanımı
150	Doğal	1015	26.9	1335	25.5	1308	38.5	2350	69.6
	Ayarlanmış	1035	29.6	1363	29.0	1390	44.0	2322	83.6
250	Doğal	1201	67.0	1531	87.7	1381	100.0	2362	189.6
	Ayarlanmış	1153	69.6	1466	89.0	1440	103.2	2344	226.0
350	Doğal	1283	124.0	1571	122.6	1488	133.0	2377	240.0
	Ayarlanmış	1367	130.0	1542	130.0	1497	136.0	2369	257.5

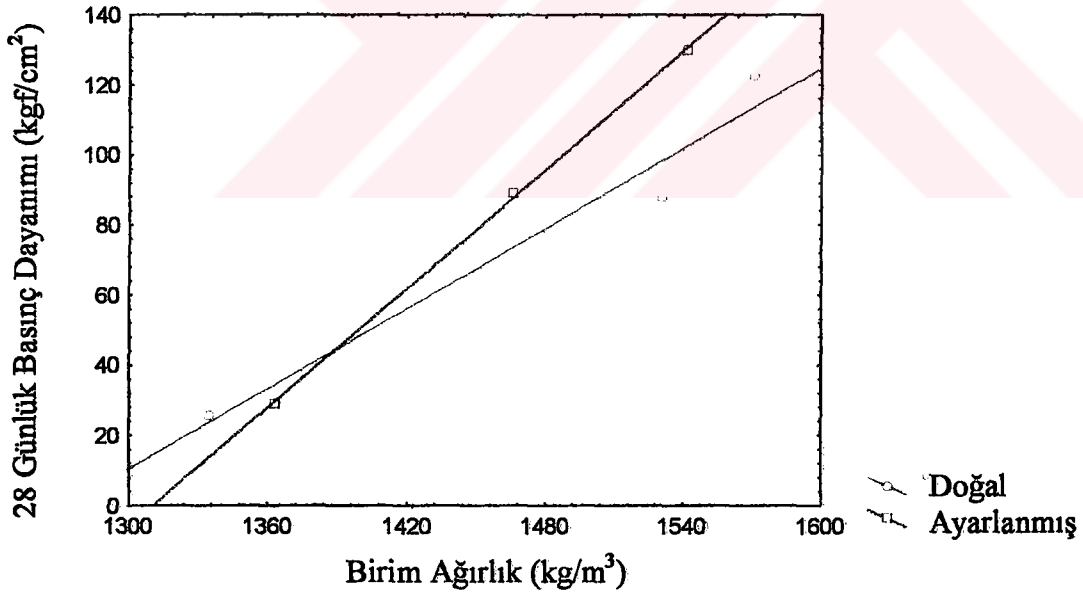
Araştırmada kullanılan doğal granülometriye sahip hafif agregalar ile yapılan betonların basınç dayanımı değerleri 25.5 kgf/cm^2 ile 133.0 kg/cm^2 , ayarlanmış granülometriye sahip hafif agregalar ile yapılan betonlarda ise 29.0 kgf/cm^2 ile 136.0 kgf/cm^2 arasında değişmektedir. Tablo 4.28'den de görüldüğü gibi aynı agrega ocağı ve çimento dozajı için doğal ve ayarlanmış granülometriye sahip hafif agregalar ile üretilen betonların basınç dayanımları arasında çok farklılık olmamakla birlikte, granülometrisi ayarlanmış hafif agrega ile üretilen betonların basınç dayanımları daha fazla bulunmuştur.

Araştırma konusu olan doğal granülometriye sahip normal agregalar ile oluşturulan 150, 250, 350 kg/m^3 dozajlı betonların basınç dayanımı değerleri sırasıyla 69.6, 189.6, 240.0 kgf/cm^2 bulunmuştur. Ayarlanmış granülometriye sahip normal agrega ile oluşturulan 150, 250, 350 kg/m^3 dozajlı betonların basınç dayanımı değerleri ise 83.6, 226.0, 257.5 kgf/cm^2 olarak saptanmıştır (Tablo 4.28).

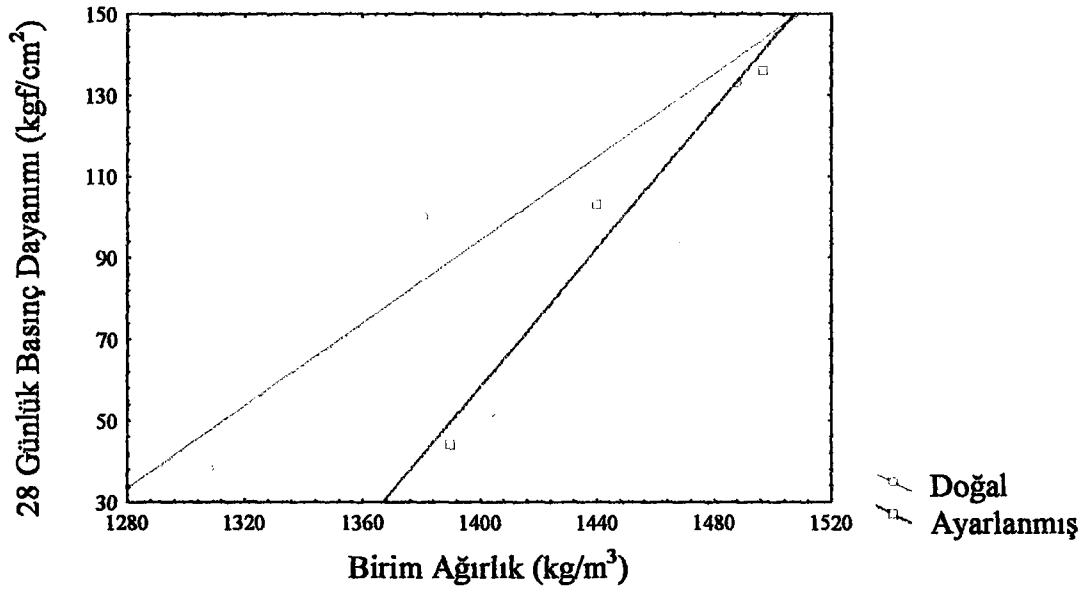
Bu çalışmada elde edilen hafif ve normal betonların basınç dayanımları ve çimento dozajları ile birim ağırlıkları arasındaki ilişkiler Şekil 4.21, 4.22, 4.23, 4.24, 4.25, 4.26, 4.27, 4.28, 4.29 ve 4.30'da verilmiştir.



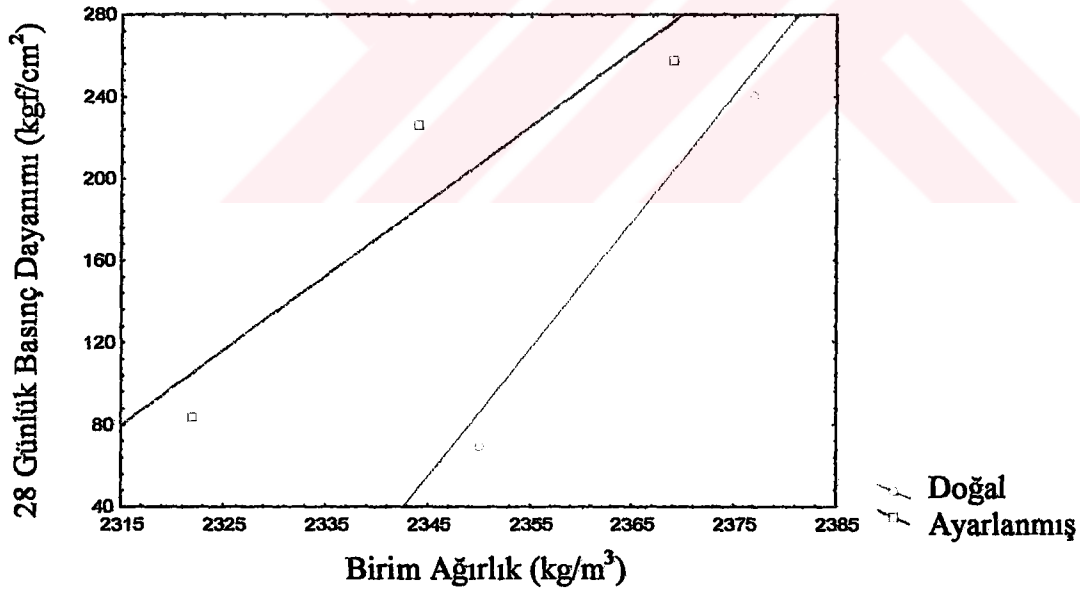
Şekil 4.21. Van-Erciş Hafif Agregasının Doğal ve Ayarlanmış Granülometrisiyle Elde Edilen Betonların 28 Günlük Basınç Dayanımı ve Birim Ağırlıkları Arasındaki İlişki



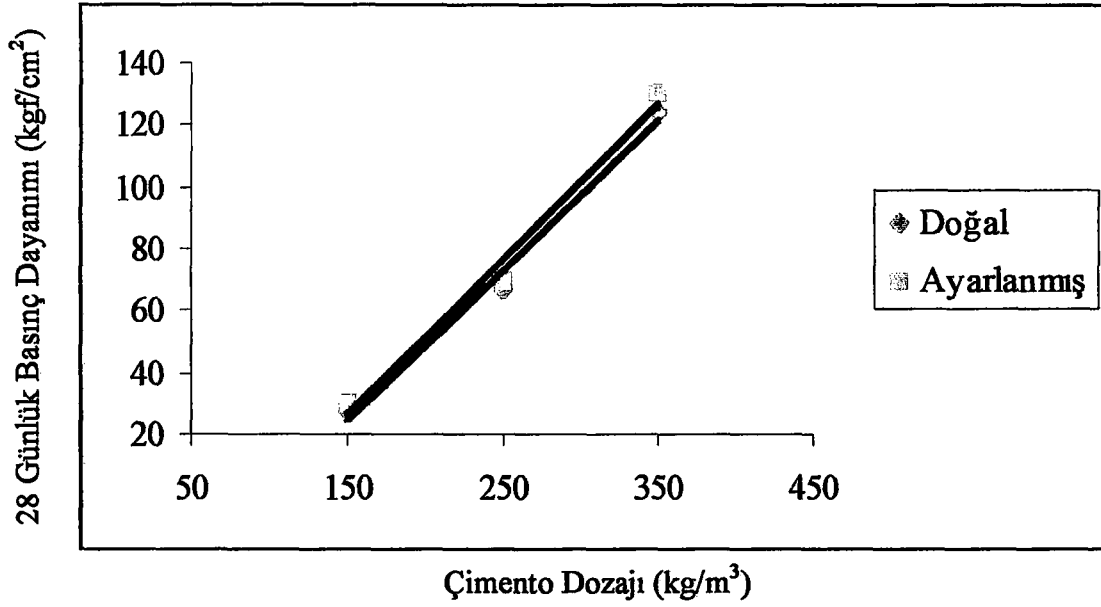
Şekil 4.22. Kars-Sarıkamış Hafif Agregasının Doğal ve Ayarlanmış Granülometrisiyle Elde Edilen Betonların 28 Günlük Basınç Dayanımı ve Birim Ağırlıkları Arasındaki İlişki



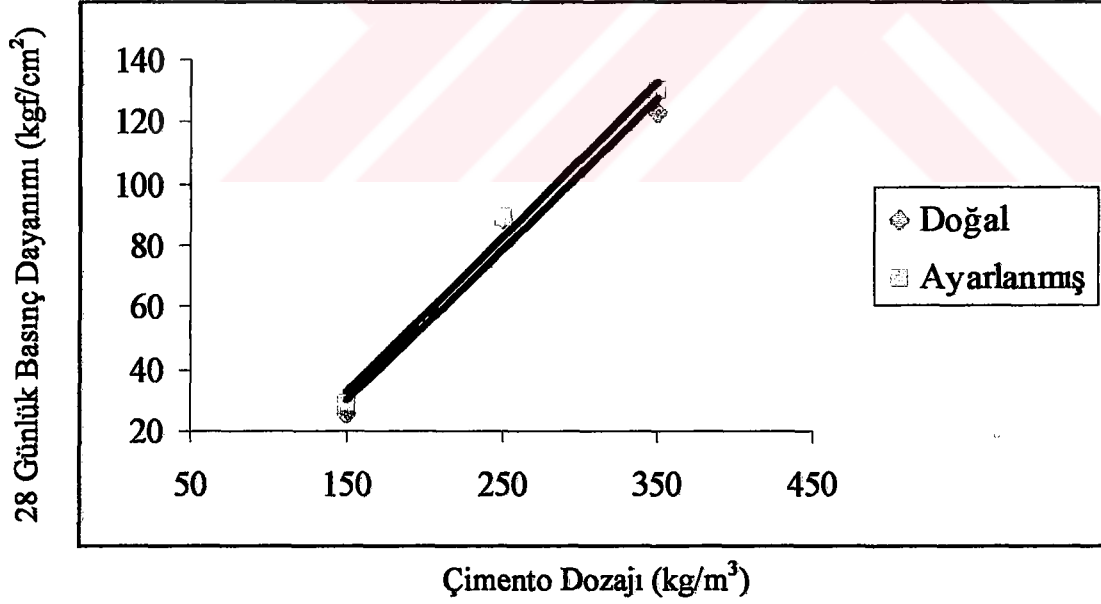
Şekil 4.23. Erzurum-Pasinler Hafif Agregasının Doğal ve Ayarlanmış Granülometrisi İle Elde Edilen Betonların 28 Günlük Basınç Dayanımı ve Birim Ağırlıkları Arasındaki İlişki



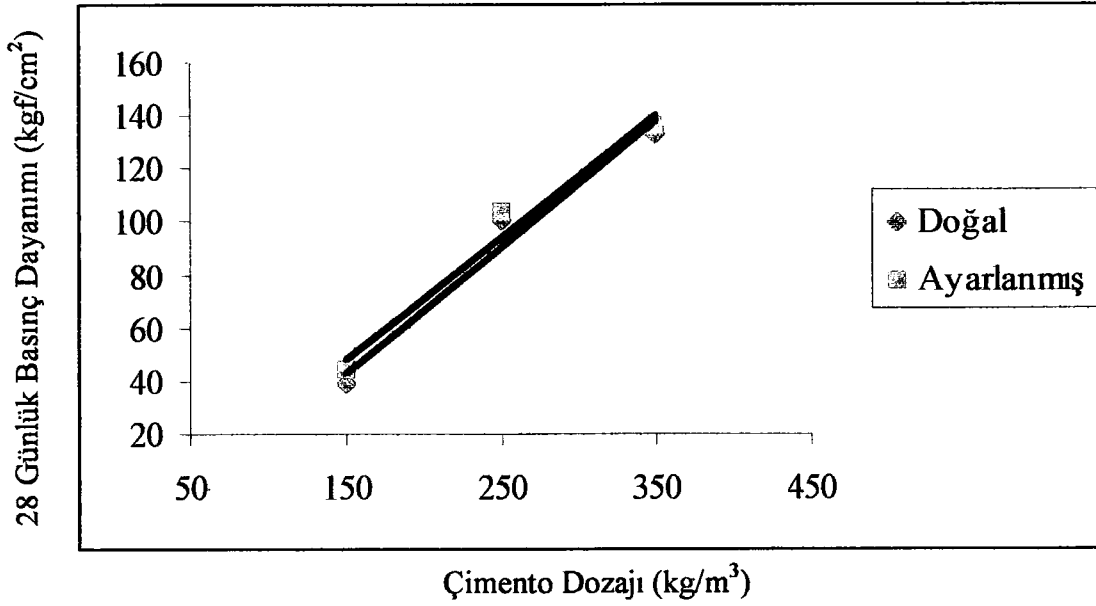
Şekil 4.24. Doğal ve Ayarlanmış Granülometriye Sahip Normal Betonların 28 Günlük Basınç Dayanımları ve Birim Ağırlıkları Arasındaki İlişki



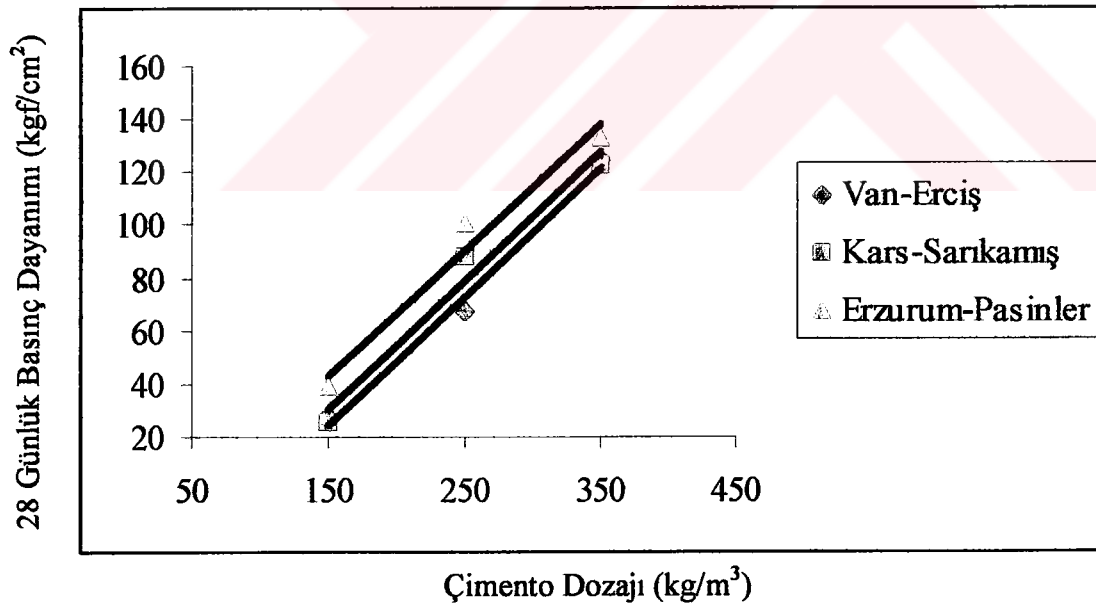
Şekil 4.25. Doğal ve Ayarlanmış Granülometriye Sahip Van-Erciş Hafif Agregasıyla Üretilen Betonların 28 Günlük Basınç Dayanımları ve Çimento Dozajı Arasındaki İlişki



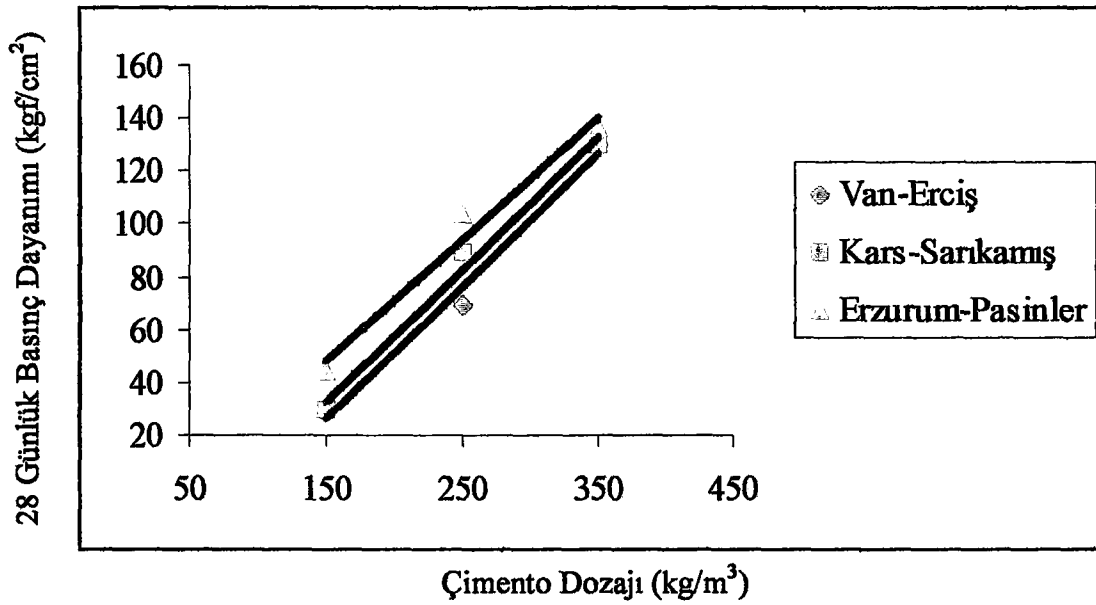
Şekil 4.26. Doğal ve Ayarlanmış Granülometriye Sahip Kars-Sarıkamış Hafif Agregasıyla Üretilen Betonların 28 Günlük Basınç Dayanımları ve Çimento Dozajı Arasındaki İlişki



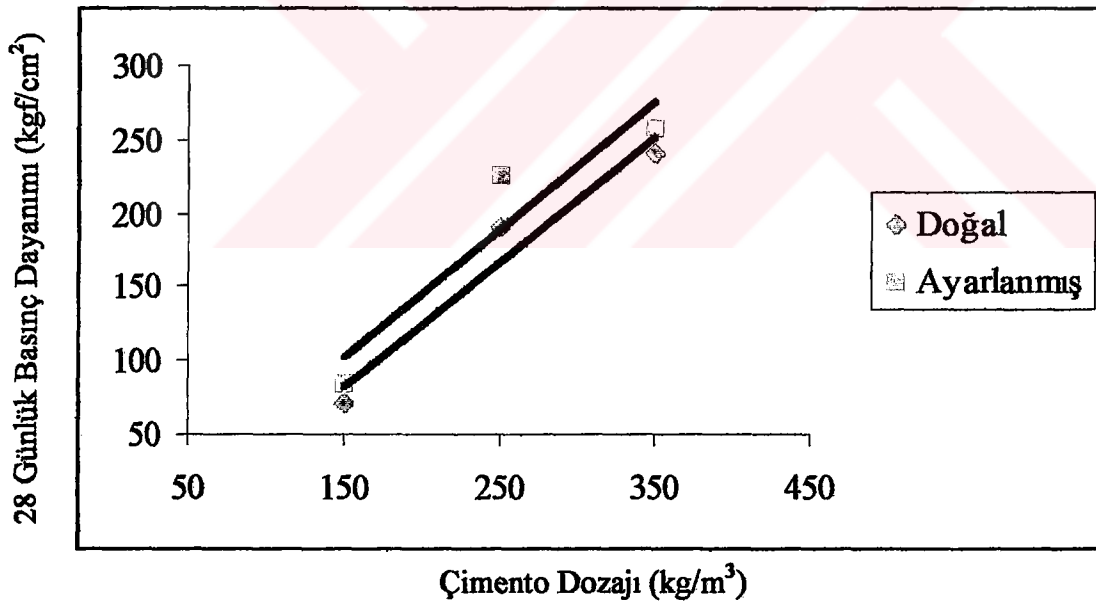
Şekil 4.27. Doğal ve Ayarlanmış Granülometriye Sahip Erzurum-Pasinler Hafif Agregasıyla Üretilen Betonların 28 Günlük Basınç Dayanımları ve Çimento Dozajı Arasındaki İlişki



Şekil 4.28. Doğal Granülometriye Sahip Hafif Agregalarla Üretilen Betonların 28 Günlük Basınç Dayanımları ve Çimento Dozajı Arasındaki İlişki



Şekil 4.29. Granülometrisi Ayarlanmış Hafif Agregalarla Üretilen Betonların 28 Günlük Basınç Dayanımları ve Çimento Dozajı Arasındaki İlişki



Şekil 4.30. Doğal ve Ayarlanmış Granülometriye Sahip Normal Agregalarla Üretilen Betonların 28 Günlük Basınç Dayanımları ve Çimento Dozajı Arasındaki İlişki

Agregaların alındığı ocaklar, granülometrilere ve çimento dozajının üretilen betonların 28 günlük basınç dayanımına olan etkilerinin belirlenmesi amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları Tablo 4.29’da verilmiştir.

Tablo 4.29. Agreg a Ocağı, Granülometri ve Dozajın 28 Günlük Beton Basınç Dayanımına Olan Etkilerine İlişkin Varyans Analiz Sonuçları

	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F değeri
Ocak	3	130399×10^4	9551.06**
Granülometri	1	420139×10^2	307.73**
Dozaj	2	256733×10^4	18804.42**
Ocak x Granülometri	3	125565×10^2	91.97**
Ocak x Dozaj	6	980280×10^2	718.01**
Granülometri x Dozaj	2	881806	6.46**
OcakxGranülometrixDozaj	6	2299954	16.85**
Hata	48	136528.8	

** $p < 0.01$ Olasılık Düzeyinde Önemli

Tablo 4.29 incelendiğinde araştırmaya konu olan agreg a ocağı, granülometri ve çimento dozajlarının betonların 28 günlük basınç dayanımlarına olan etkilerinin ($p < 0.01$ olasılık düzeyinde) çok önemli olduğu sonucuna varılmaktadır. Betonun en önemli özelliği olan basınç dayanımı agreg a ocağı, granülometri ve dozajla önemli ölçüde değişiklik göstermiş olup agreg a ocağı-granülometri, agreg a ocağı-dozaj, granülometri-dozaj ve agreg a ocağı-granülometri-dozaj arasındaki interaksiyon incelendiğinde de sayılan faktörlerin teker teker ve birlikte basınç dayanımına olan etkilerinin ($p < 0.01$ olasılık düzeyinde) çok önemli olduğu görülmüştür.

Hafif betonların agreg a çeşidi ve üretim yöntemine bağlı olarak basınç dayanımları 35-420 kgf/cm^2 arasında ve birim ağırlıkları da 300-1550 kg/m^3 arasında değişim gösterebilmektedir (27). Hafif agreg a çeşidine bağlı olarak 210 kgf/cm^2 basınç dayanımlı hafif betonların 240-400 kg/m^3 arasında ve 310 kgf/cm^2 basınç dayanımlı hafif betonların ise 330-550 kg/m^3 arasında değişen dozajlarla üretilebilmesi olanağı bulunmaktadır (27). Bununla birlikte 28 günlük silindir basınç dayanımları 170-210 kgf/cm^2 arasında değişen hafif betonlar genellikle hafif agreg a çeşidine bağlı olarak 250-450 kg/m^3 çimento dozajıyla üretilebilmektedir (23).

Konya ili yöresindeki volkan tüfleriyle elde edilen $150-200 \text{ kg/m}^3$ çimento dozajlı hafif betonlarda yaklaşık $46-124 \text{ kgf/cm}^2$ arasında değişen basınç dayanımları bulunmuştur (59). Sarıkamış yöresi doğal hafif agregası ile üretilen hafif betonların doğal granülometrisi için 160 kg/m^3 , ayarlanmış granülometri için 140 kg/m^3 ve kısmen ayarlanmış granülometri için ise 150 kg/m^3 çimento dozajı ile 30 kgf/cm^2 dolayında basınç dayanımları elde edilmiştir (13).

Birim ağırlığı 2240 kg/m^3 olan normal betonun 28 günlük basınç dayanımı yaklaşık 280 kgf/cm^2 iken, birim ağırlığı $1040-1600 \text{ kg/m}^3$ arasında değişen benzer dozajlı sünger taşı betonunun basınç dayanımı ise yaklaşık $100-200 \text{ kgf/cm}^2$ arasında olabilmektedir (11).

Bu çalışmaya konu olan değişik özelliklerdeki hafif betonların basınç dayanımları benzer çalışmalarda elde edilen basınç dayanımlarıyla uygunluk göstermektedir. Volkan tüfleri ile üretilen betonların en düşük birim ağırlığının 1300 kg/m^3 ve 28 günlük en yüksek basınç dayanımının 236 kgf/cm^2 dolayında olabileceği bununla birlikte tuf betonlarında en az çimento dozajının 100 kg/m^3 olması gerektiği önerilmektedir (18).

Birim ağırlık değerleri temel alınırca üretilen hafif betonların basınç dayanımları 150 kgf/cm^2 'yi geçmemekte ve benzer dozajlı normal betonların basınç dayanımlarının yaklaşık yarısına eşit olmaktadır. Birim ağırlıkları normal betonun yaklaşık $2/3$ 'ü kadar olan hafif betonların basınç dayanımlarının da normal betonlardan daha az olduğu görülmüştür.

Erzurum yöresindeki kum-çakıl ocaklarından sağlanan normal agregalarla $250-300 \text{ kg/m}^3$ arasında değişen dozajla elde edilen betonların 28 günlük silindir basınç dayanımları $122-205 \text{ kgf/cm}^2$ olarak belirlenmiştir (129). Araştırma amacıyla üretilen benzer dozajlı hafif betonların basınç dayanımı değerleri ise $25.5-136 \text{ kgf/cm}^2$ arasında değiştiğinden, bu değerlerin üst sınırının bölgede normal agregalarla üretilen beton basınç dayanımı değerlerinin alt sınırına yakın olduğu söylenebilir.

Yapısal amaçlı taşıyıcı hafif betonlar için en fazla 1680 kg/m^3 birim ağırlıklı betonların 28 günlük basınç dayanımlarının ortalama olarak 176 kgf/cm^2 dolayında bulunması gerektiğinden (20), üretilen her iki granülometrilili hafif betonların 350 kg/m^3 dozajda, elde edilen 136 kgf/cm^2 dolayındaki basınç dayanımları yapısal amaçlar için uygunluk gösterebilir.

Blok yapımında kullanılan betonun basınç dayanımının en az 28 kgf/cm^2 olması öngörüldüğünden (11), bu amaçla araştırma materyalleri ile üretilecek hafif betonların doğal granülometrilileri için en düşük 250 kg/m^3 , ayarlanmış granülometrilileri için ise 150 kg/m^3 dozajlı olması gerekmektedir. Bu dozajlarla her iki granülometri için de yaklaşık 30 kgf/cm^2 basınç dayanımının elde edilebildiği deneysel olarak bulunmuştur (Tablo 4.28).

Basınç dayanımı bakımından genellikle taşıyıcı olmayan yapı elemanı ve yalıtım betonu yapımına uygunluk gösteren araştırma materyalleri, 350 kg/m^3 dozajdan sonra yapısal, taşıyıcı amaçlı betonlar yapımında da kullanılabileceği söylenebilir.

Tarımsal yapılar genellikle tek katlı olduğundan, taşıyıcı elemanları için çok katlı yapılara oranla daha az dayanıma gerek duyulur. Bu bakımdan doğal granülometrilili hafif agrega ile hazırlanacak araştırma betonlarının yerinde dökülerek kullanılması durumunda en az 350 kg/m^3 dozajlı; duvar birimleri için ise en az 150 kg/m^3 dozajlı olması uygundur. Tarımsal yapılarda fazla dayanımın gerekmediği uygulamalarda, beton birim ağırlığını azaltması ve ısı yalıtımını yükseltmesi nedenleriyle araştırmada kullanılan agregalar ile doğal durumda üretilecek düşük dozajlı betonların sağlayacağı yararların göz önünde bulundurulması gerekir. Özellikle çevre koşullarının kontrolünün önemli olduğu hayvan barınaklarında, depolama yapılarında ve konutlarda hafif betonların kullanılması yararlar sağlayabilir.

Tarımsal yapılarda çoğunlukla kullanılan taş duvarların, köy koşullarında çoğu kez çamur harcı ile örüldüğü (127), çimento ve çimento katkılı kireç harcı kullanılması durumunda da taş duvarların genellikle tekniğine uygun olarak yapılmadığı ve

çoğunlukla yapıda uygun taş kullanılmadığı bilinmektedir (97). Bu koşullar altında taş malzeme ile yeterli dayanım elde edilse de yapı ağırlığının gereksiz artışı ve duvarların fazla kalın örülmesi (130) ile bu malzemenin sağlanması ve taşınmasında ortaya çıkan güçlükler, tarımsal yapılar için, temel duvarları dışında özellikle deprem bölgelerinde uygun bir malzeme olmadığını göstermektedir. Kerpice deprem bölgelerindeki yapılarda kullanılmasının uygun olmadığı da (127) göz önünde tutulursa, hafif betonların birinci derece deprem bölgesine giren Doğu Anadolu Bölgesi tarımsal yapılarında kullanılmasının taş ve kerpice oranla çok daha uygun olabileceği söylenebilir. Hafiflik nedeniyle gerek agregaların, gerek bu agregalar ile üretilen duvar birimlerinin taşınması da daha kolay ve ekonomik olabilir.

Basınç dayanımları ortalama 50 kgf/cm^2 olabilen tuğlaya (14), $20\text{--}125 \text{ kgf/cm}^2$ arasında olabilen biriketlere (118) ve ortalama 30 kgf/cm^2 basınç dayanımlı iyi nitelikli kerpiçlere (131, 132) oranla birim ağırlığı az ve benzer basınç dayanımını geliştirebilen düşük dozajlı hafif betonların kullanılması da tarımsal yapılarda üstünlükler sağlayabilir. Çoğunlukla uzak yerlerden güçlükle sağlanan ve taşınan tuğla ve briket gibi malzemeler yerine özellikle hafif agrega ocaklarının yakınındaki kırsal yerleşimler için üretimini yapabilecek basit yapım yerleri kurularak, hafif beton duvar birimlerinin oluşturulmasıyla, daha kolay taşıma ve diğer malzemeye oranla daha büyük boyutlu elemanların daha kısa sürede yapının tamamlanma olanakları da bulunabilir.

4.2.5. Donma-Çözülme Dayanıklılığı

Basınç dayanımının belirlenmesi amacıyla hazırlanan örneklere benzer özelliğe sahip örneklerin donma-çözülme testi sonrasındaki bulunan basınç dayanımı değerleri Tablo 4.30'da verilmiştir.

Tablo 4.30. Farklı Agregâ Ocaklarından Elde Edilen Doğal ve Ayarlanmış Granülometrilî Agregâlarla Üretilen Betonların Donma-Çözülme Sonrası Basınç Dayanım Değerleri (kgf/cm²)

Kullanılan Agregâlar	Agregâ Granülometrisi	Çimento Dozajları (kg/m ³)		
		150	250	350
Van-Erciş	Doğal	33.76	73.8	138.3
	Ayarlanmış	38.1	81.87	154.87
Kars-Sarıkamış	Doğal	46.97	115.0	156.4
	Ayarlanmış	49.24	125.45	175.2
Erzurum-Pasinler	Doğal	51.69	158.5	215.0
	Ayarlanmış	69.0	177.14	231.0
Normal	Doğal	40.9	146.2	214.0
	Ayarlanmış	67.3	174.3	219.0

Betonların farklı agregâ ocakları ve granülometrilere göre donma-çözülme sonundaki basınç dayanımı değerleri Van-Erciş yöresi doğal granülometriye sahip hafif agregâ kullanılarak yapılan 150, 250 ve 350 kg/m³ dozajlı betonlarda sırasıyla 33.76, 73.80 ve 138.30 kgf/cm², Kars- Sarıkamış yöresi doğal granülometriye sahip hafif agregâ kullanılarak yapılan 150, 250 ve 350 kg/m³ dozajlı betonlarda sırasıyla 46.97, 115.00 ve 156.40 kgf/cm² ve Erzurum-Pasinler doğal granülometriye sahip hafif agregâ kullanılarak yapılan 150, 250 ve 350 kg/m³ dozajlı betonlarda ise sırasıyla 51.69, 158.50 ve 215.00 kgf/cm²'lik basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir (Tablo 4.30).

Van-Erciş yöresi granülometrisi ayarlanmış hafif agregâ kullanılarak yapılan 150, 250 ve 350 kg/m³ dozajlı betonlarda sırasıyla 38.1, 81.87 ve 154.87 kgf/cm², Kars-Sarıkamış yöresi granülometrisi ayarlanmış hafif agregâ kullanılarak yapılan 150, 250 ve 350 kg/m³ dozajlı betonlarda sırasıyla 49.24, 125.45 ve 175.2 kgf/cm² ve Erzurum-Pasinler yöresi granülometrisi ayarlanmış hafif agregâ kullanılarak yapılan 150, 250 ve 350 kg/m³ dozajlı betonlarda sırasıyla 69.0, 177.14 ve 231.0 kgf/cm²'lik basınç dayanımı değerleri saptanmıştır (Tablo 4.30). Araştırmada hafif betonlarla karşılaştırılmak üzere üretilen normal betonlar için de donma-çözülme dayanıklılığı belirlenmiştir. Doğal granülometriye sahip normal agregâ ile üretilen betonlarda 150,250 ve 350 kg/m³ dozajlar için sırasıyla 40.9, 146.2 ve 214.0 kgf/cm²'lik basınç değerleri bulunmuştur. Ayarlanmış granülometriye sahip normal agregâ ile üretilen

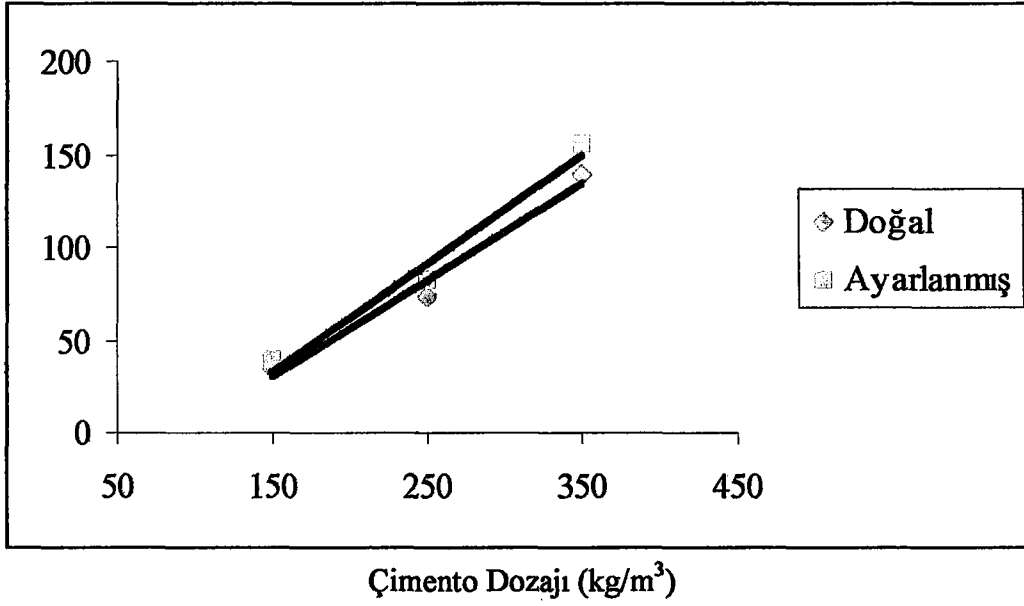
betonlarda ise 150, 250, 350 kg/m³ dozajlar için sırasıyla 67.30, 174.30 ve 219.0 kgf/cm²'lik basınç dayanımı değerleri bulunmuş olup bu değerler de Tablo 4.30' da görülmektedir.

Denemede kullanılan doğal ve ayarlanmış granülometriye sahip hafif agregalar ve normal agregaya ile elde edilen betonların donma-çözülme etkisinde bırakıldıktan sonraki basınç dayanımları ve dozajları arasındaki ilişkiler Tablo 4.31 ve Şekil 4.31, 4.32, 4.33, 4.34, 4.35 ve 4.36'da gösterilmiştir.

Tablo 4.31. Donma-Çözülme Etkisinde Bırakılmayan ve Bırakılan Betonların Basınç Dayanım Değerleri (kgf/cm²)

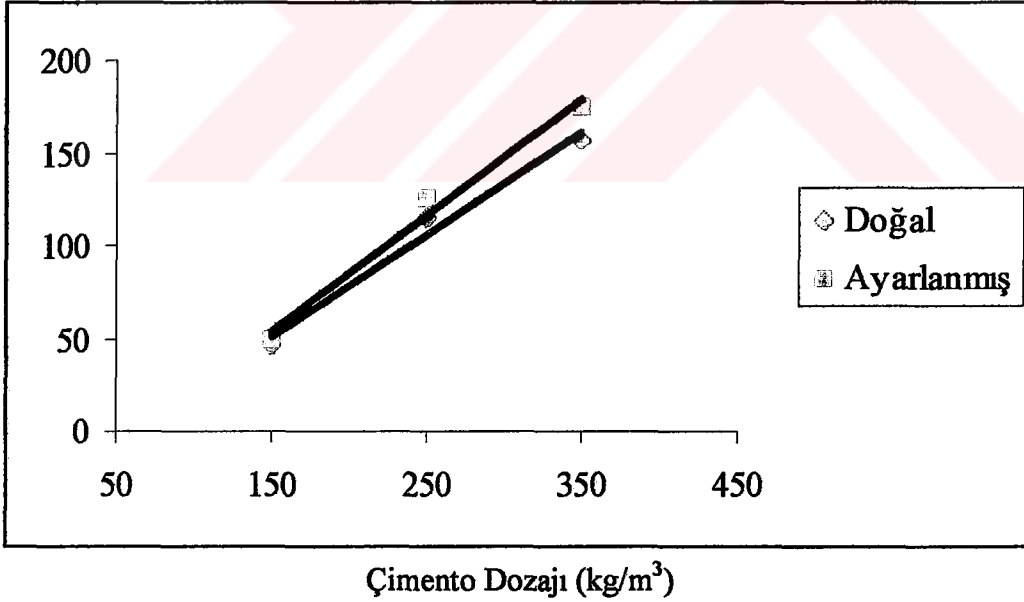
Kullanılan Agregalar	Agrega Granülometrisi	Çimento Dozajı (kg/m ³)	28 Günlük Basınç Dayanım Değerleri (kgf/cm ²)	Donma-Çözülme Sonrası Basınç Dayanım Değerl. (kgf/cm ²)	Fark (kgf/cm ²)
Van-Erciş	Doğal	150	26.9	33.76	6.86
		250	67.0	73.8	6.80
		350	124.0	138.3	14.30
	Ayarlanmış	150	29.6	38.1	8.50
		250	69.6	81.87	12.27
		350	130.0	154.87	24.87
Kars-Sarıkamış	Doğal	150	25.5	46.97	21.47
		250	87.7	115.0	27.30
		350	122.6	156.4	33.80
	Ayarlanmış	150	29.0	49.24	20.24
		250	89.0	125.45	36.45
		350	130.0	175.2	45.20
Erzurum – Pasinler	Doğal	150	38.5	51.69	13.19
		250	100.0	158.5	58.50
		350	133.0	215.0	82.0
	Ayarlanmış	150	44.0	69.0	25.0
		250	103.2	177.14	73.94
		350	136.0	231.0	95.0
Normal	Doğal	150	69.6	40.9	- 28.70
		250	189.6	146.2	- 43.40
		350	240.0	214.0	- 26.0
	Ayarlanmış	150	83.6	67.3	- 16.30
		250	226.0	174.3	- 51.70
		350	257.5	219.0	- 38.50

Donma-Çözülme Sonrası Basınç Dayanımı
(kgf/cm²)



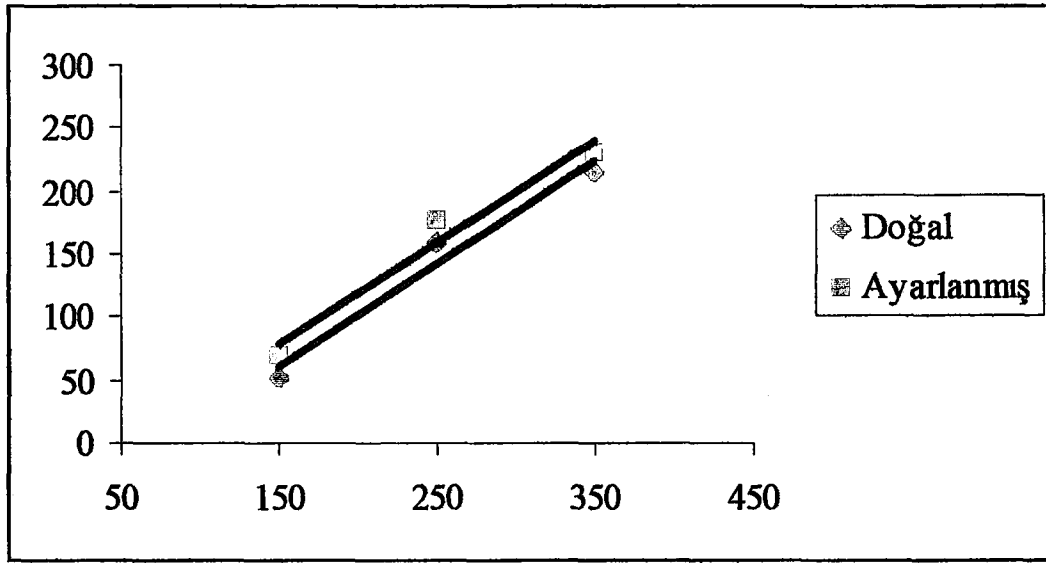
Şekil 4.31. Granülometrisi Doğal ve Ayarlanmış Van-Erciş Hafif Agregasıyla Üretilen Donma-Çözülme Etkisinde Kalmış Betonların Çimento Dozajı ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki

Donma-Çözülme Sonrası Basınç Dayanımı
(kgf/cm²)



Şekil 4.32. Granülometrisi Doğal ve Ayarlanmış Kars-Sarıkamış Hafif Agregasıyla Üretilen Donma-Çözülme Etkisinde Kalmış Betonların Çimento Dozajı ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki

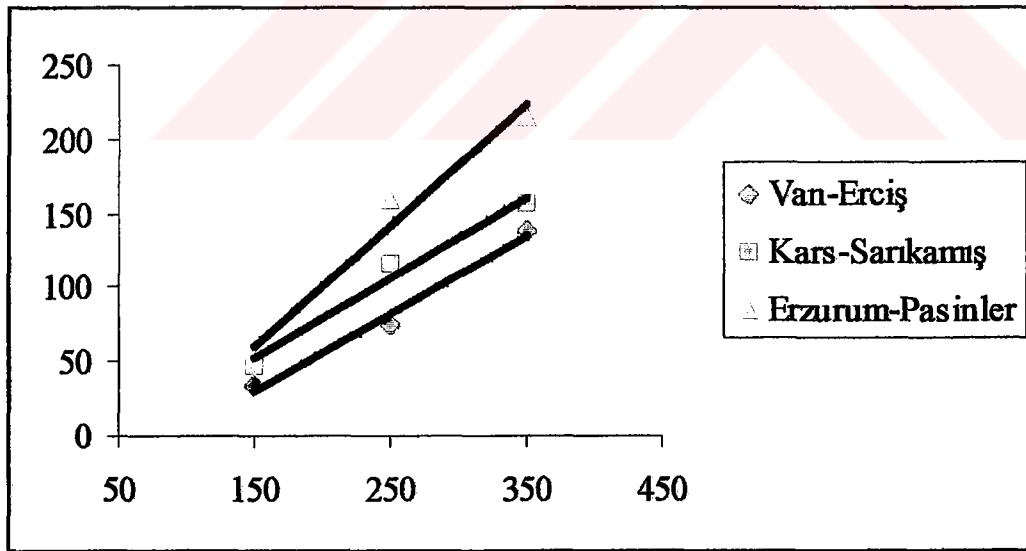
Donma-Çözülme Sonrası Basınç Dayanımı
(kgf/cm²)



Çimento Dozajı (kg/m³)

Şekil 4.33. Granülometrisi Doğal ve Ayarlanmış Erzurum-Pasinler Hafif Agregasıyla Üretilen Donma-Çözülme Etkisinde Kalmış Betonların Çimento Dozajı ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki

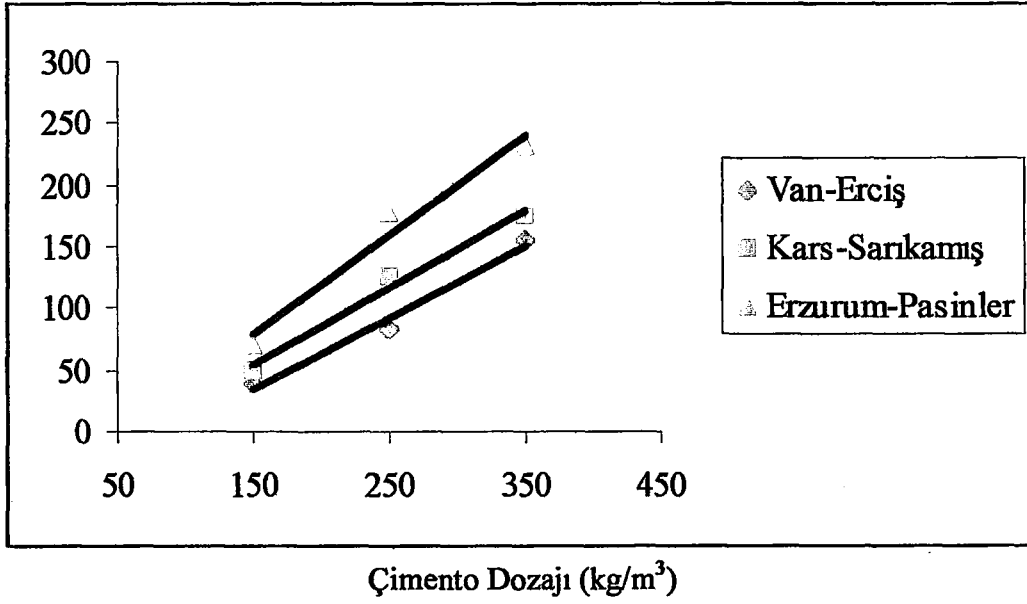
Donma-Çözülme Sonrası Basınç Dayanımı
(kgf/cm²)



Çimento Dozajı (kg/m³)

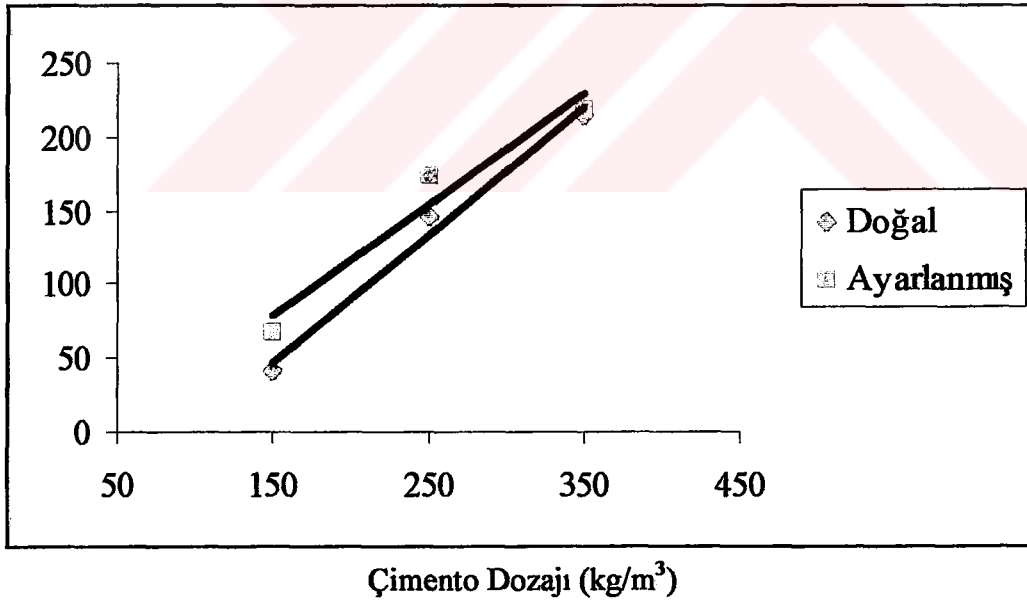
Şekil 4.34. Doğal Granülometriye Sahip Hafif Agregalarla Üretilen Donma-Çözülme Etkisinde Kalmış Betonların Çimento Dozajı ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki

Donma-Çözülme Sonrası Basınç Dayanımı
(kgf/cm²)



Şekil 4.35. Granülometrisi Ayarlanmış Hafif Agregalarla Üretilen Donma-Çözülme Etkisinde Kalmış Betonların Çimento Dozajı ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki

Donma-Çözülme Sonrası Basınç Dayanımı
(kgf/cm²)



Şekil 4.36. Doğal ve Ayarlanmış Granülometri Bileşimli Normal Agregalarla Üretilen Donma-Çözülme Etkisinde Kalmış Betonların Çimento Dozajı ve Basınç Dayanımları Arasındaki İlişki.

Tablo 4.31 ve Şekil 4.31, 4.32, 4.33, 4.34 ve 4.35 incelendiğinde, donma-çözülme etkisinde bırakılan hafif betonların basınç dayanımlarının arttığı görülmektedir. Bu artış 150 kg/m^3 dozajlı betonlarda $6.86\text{-}25.0 \text{ kgf/cm}^2$ dolayında iken, 350 kg/m^3 dozajlı betonlarda $14.3\text{-}95 \text{ kgf/cm}^2$ arasında bulunmuştur. Hafif betonların donma-çözülme sonrasındaki basınç dayanımlarındaki artış, çimento dozajının yükselişi ile doğrusallık göstermektedir.

Basınç dayanımındaki artış değişik granülometrilili betonlar arasında da farklılıklar göstermiştir. Bu farklar özellikle 350 kg/m^3 dozajla elde edilen hafif betonlarda daha belirgindir. Doğal granülometriye sahip hafif agregalarla üretilen betonlarda 350 kg/m^3 dozaj düzeyinde dayanım artışı $14.3\text{-}82 \text{ kgf/cm}^2$ arasında iken, bu artış aynı dozaj düzeyinde ayarlanmış granülometrilili agregalarla üretilen betonlarda ise $24.87\text{-}95 \text{ kgf/cm}^2$ arasında bulunmuştur.

Bu çalışmada hafif agregalarla birlikte aynı koşullarda üretilen normal betonlar için de donma-çözülme sonrası basınç dayanımları belirlenmiştir. Doğal granülometriye sahip normal agregalarla üretilen betonlarda $26\text{-}43.4 \text{ kgf/cm}^2$ 'lik, ayarlanmış granülometriye sahip agregalarla üretilenlerde ise $16.3\text{-}51.7 \text{ kgf/cm}^2$ 'lik basınç dayanımı azalmaları olmuştur. Donma çözülmenin normal betonların basınç dayanımlarını azalttığı önceden yapılan çalışmalardan bilinmektedir (27).

Normal agregalarla üretilen betonlar donma-çözülme etkisinde bırakıldıklarında, özellikle içerdikleri fazla nemin bu konudaki olumsuz etkisi sonucunda genellikle parçalanmakta, dağılmakta ve basınç dayanımları da düşmektedir (18).

Farklı agrega ocakları, doğal ve ayarlanmış granülometrilili ve çimento dozajlarının betonların donma-çözülme sonrası basınç dayanımlarına olan etkilerinin saptanması için yapılan varyans analizi Tablo 4.32' de verilmiştir.

Tablo 4.32. Agrega Ocağı, Granülometri ve Dozajın Donma-Çözülme Sonrası Basınç Dayanımına Olan Etkilerine İlişkin Varyans Analiz Sonuçları.

	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F değeri
Ocak	3	489947×10^3	4760.62**
Granülometri	1	116536×10^3	1132.33**
Dozaj	2	362243×10^4	35197.67**
Ocak x Granülometri	3	3623333	35.21**
Ocak x Dozaj	6	578885×10^2	562.48**
Granülometri x Dozaj	2	667222	6.48**
OcakxGranülometrixDozaj	6	4095000	39.79**
Hata	48	102916.7	

** $p < 0.01$ Olasılık Düzeyinde Önemli

Varyans analiz sonuçlarına bakıldığında araştırmada kullanılan her bir agrega ocağı, granülometrilere ve çimento dozajlarının betonların donma-çözülme sonrası basınç dayanımlarına olan etkilerinin ($p < 0.01$ olasılık düzeyinde) çok önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Betonların en önemli özelliği olan basınç dayanımının donma-çözülme sonrası aldığı değerlere, araştırmaya konu olan tüm değişkenlerin tek tek ve aralarındaki interaksiyon sonucu önemli derecede etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Benzer çalışmalarda belirtildiği gibi normal betonlar üzerinde basınç dayanımına olumsuz etkiler yaratan donma-çözülme olayı, araştırmada kullanılan hafif betonların basınç dayanımlarını arttırmıştır. Yurdumuzun çeşitli bölgelerindeki hafif agregalar ile yapılan betonların hepsinde de donma-çözülme sonucunda elde edilen basınç dayanımı değerlerinin, aynı betonların 28 günlük basınç dayanımı değerlerinden önemli derecelerde fazla olduğu bildirilmektedir (133). Hafif betonlara ilişkin olarak yapılan bir araştırmada 25 kez donma-çözülme etkisinde bırakılan tuf betonlarının, 28 günlük donma-çözülme etkisinde bırakılmayan aynı tuf betonlarına oranla 28 günlük basınç dayanımlarının arttığı belirtilmektedir (4). Aynı çalışmada, bu duruma bazı taş ve tuğla deneylerinde de rastlanmasına karşın olayın nedeninin henüz kesin olarak açıklığa kavuşmamış olduğu da bildirilmektedir.

Araştırma materyali olan hafif agregalarla üretilen betonların donma-çözülme sonrası basınç dayanımındaki artış, İhtiyaroğlu (1974) tarafından yapılan çalışmaya ve DSI (1966)'nin konuyla ilgili yaptırdığı bir çalışmadan elde edilen sonuçlara da uygunluk göstermektedir (4 ve 133). Bu durumun agreganın özel kimyasal yapısı ve betonların (donma-çözülme deneyi sırasında) uzun süre suda kalması sonucunda özellikle ince agrega tanelerinin bağlayıcı bir özellik kazanarak, çimento ile birlikte sertleşmesi nedeniyle olabileceği düşünülebilir. Donma-çözülme etkisinin araştırmada kullanılan agregalarla üretilen betonların basınç dayanımını arttırması yanında, betonun diğer özelliklerine olabilen etkisinin de incelenmesi ve olayın nedenlerinin saptanarak açıklığa kavuşturulması, bu konuda ayrıntılı araştırmaların yapılmasını gerektirmektedir.

Donma-çözülme etkisinde bırakılan hafif betonların, basınç dayanımı değerlerinin, 28 günlük benzer beton basınç dayanımlarının altına düşmemesi nedeniyle, bu betonların donma-çözülme karşı daha dayanıklı olduğu söylenebilir. Donma-çözülme etkisine bırakılan betonlarda basınç dayanımındaki artışlar yanında, parçalanma, ufalanma ve dağılma gibi bozulmaların da olmadığı gözlenmiştir.

Donma-çözülmenin normal beton yapı elemanlarında olumsuz etkiler yarattığı bölgelerde, özellikle donma-çözülme olayının fazla sayıda olduğu Doğu Anadolu'da araştırmada kullanılan hafif agregalar gibi benzer özellikteki agregaların saptanarak uygulamalarda bu üstünlükten yararlanılması önerilebilir. Tarımsal yapılarda donma-çözülme etkisiyle kolayca ve kısa sürede özellikleri bozulabilen yapı elemanlarının yerine araştırmada üretilen betonlara benzer hafif betonların kullanılması uygun olabilir. Soğuk bölgelerdeki sulama şebekelerinin su kanalları ve tarla içi sulama kanallarında bu betonların kullanılması donma-çözülme dayanıklı olması bakımından su emme özelliği de göz önüne alınarak yararlar sağlayabilir.

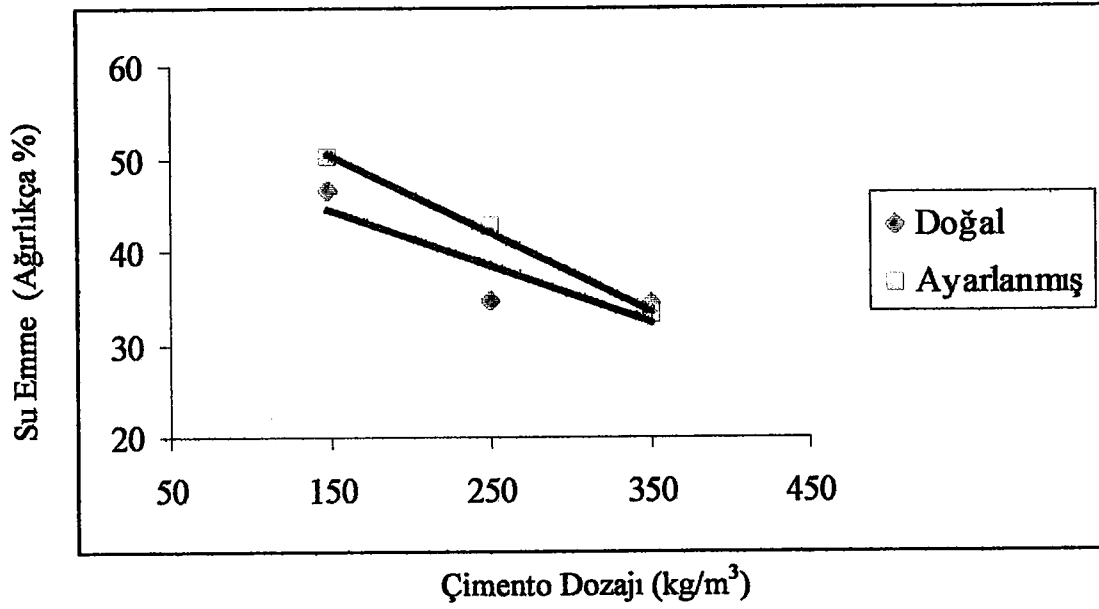
4.2.6. Su Emme

Bu çalışmada elde edilen hafif betonların su emme değerlerinin ağırlıkça %24.63 ile %50.11 arasında değiştiği (Tablo 4.33) görülmektedir. Aynı zamanda hafif betonlarla karşılaştırma amacıyla üretilen normal betonlar için bulunan su emme değerleri ağırlıkça %8.47 ile %24.0 arasında değişmektedir (Tablo 4.33). Elde edilen sonuçlara göre normal betonların su emme değerleri hafif betonların su emme değerlerinden yaklaşık 1/3 ile 1/5'i kadar az olmuştur. Hafif betonların su emme değerlerinin yüksek olmasına neden olarak, birim ağırlıklarının azlığı, kullanılan agregaların boşluk oranının %70'in üzerinde olması ve seçilen dozajların düşük olması gösterilebilir.

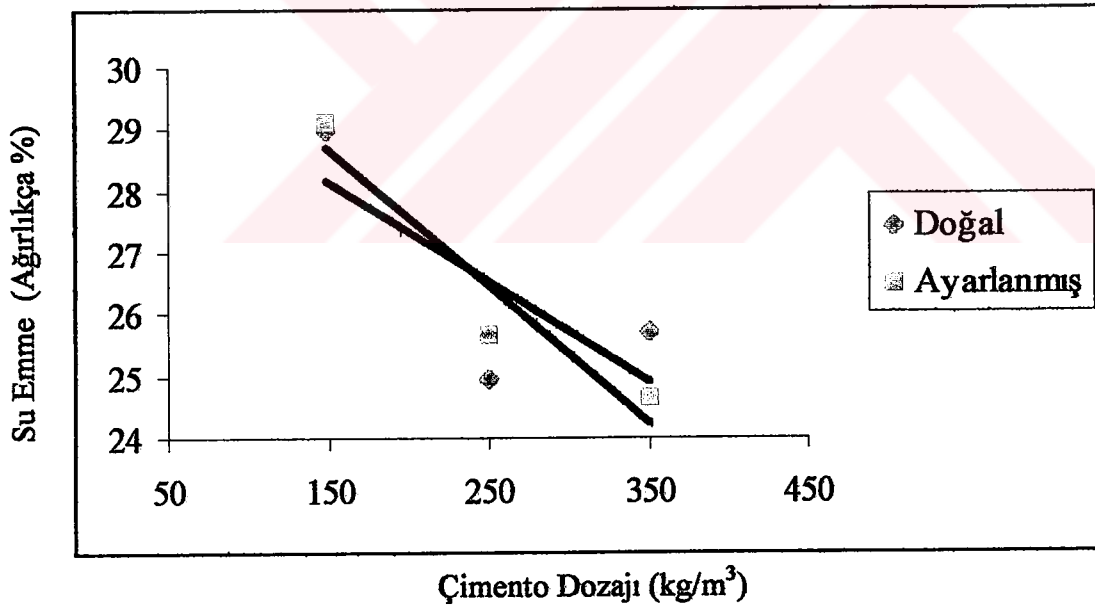
Tablo 4.33. Hafif ve Normal Betonların Su Emme Değerleri (Ağırlıkça %)

Kullanılan Agregalar	Agrega Granülometrisi	Çimento Dozajı (kg/m ³)		
		150	250	350
Van – Erciş	Doğal	46.49	34.72	34.23
	Ayarlanmış	50.11	42.71	33.0
Kars- Sarıkamış	Doğal	28.96	24.92	25.72
	Ayarlanmış	29.12	25.65	24.63
Erzurum – Pasinler	Doğal	25.88	32.33	27.71
	Ayarlanmış	38.32	31.98	27.13
Normal	Doğal	15.8	24.0	23.5
	Ayarlanmış	8.47	9.16	10.49

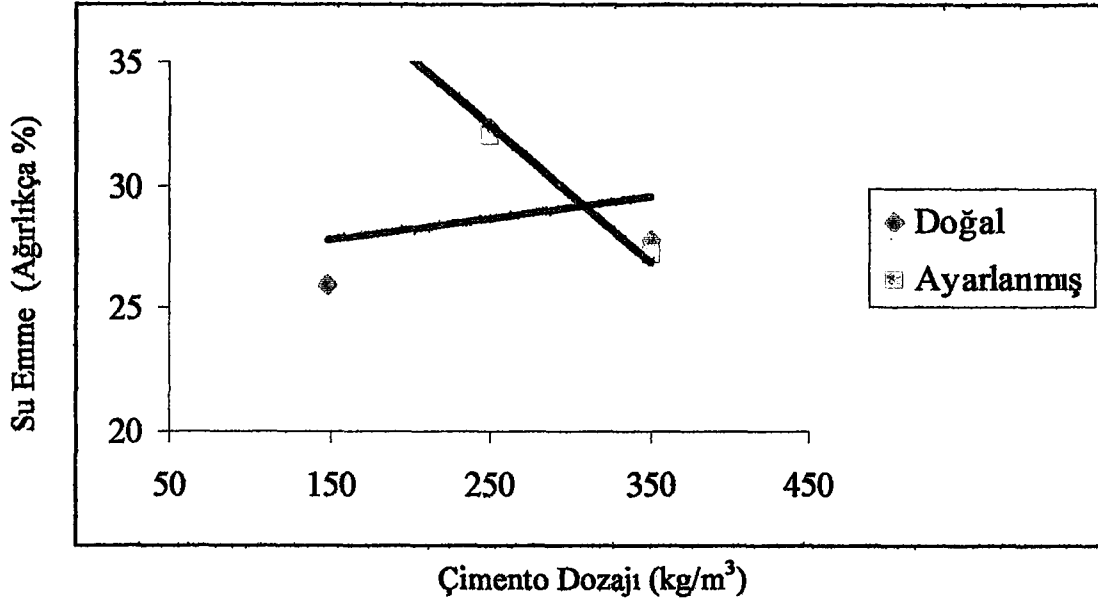
Farklı agreg, granülometri ve dozajlarda üretilen betonların özelliklerine bağlı olarak su emme değerlerinin değişimi Şekil 4.37, 4.38, 4.39, 4.40, 4.41 ve 4.42’de gösterilmiştir.



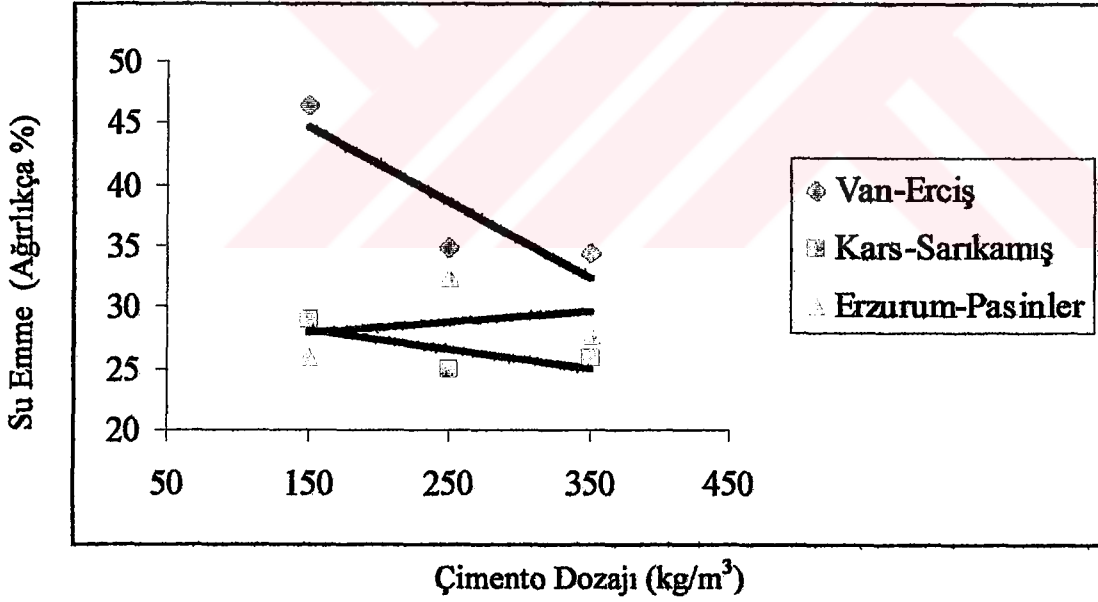
Şekil 4.37. Doğal ve Ayarlanmış Granülometrilili Van-Erciş Hafif Agregasıyla Üretilen Betonların Su Emme Değerleri ve Çimento Dozajı Arasındaki İlişki



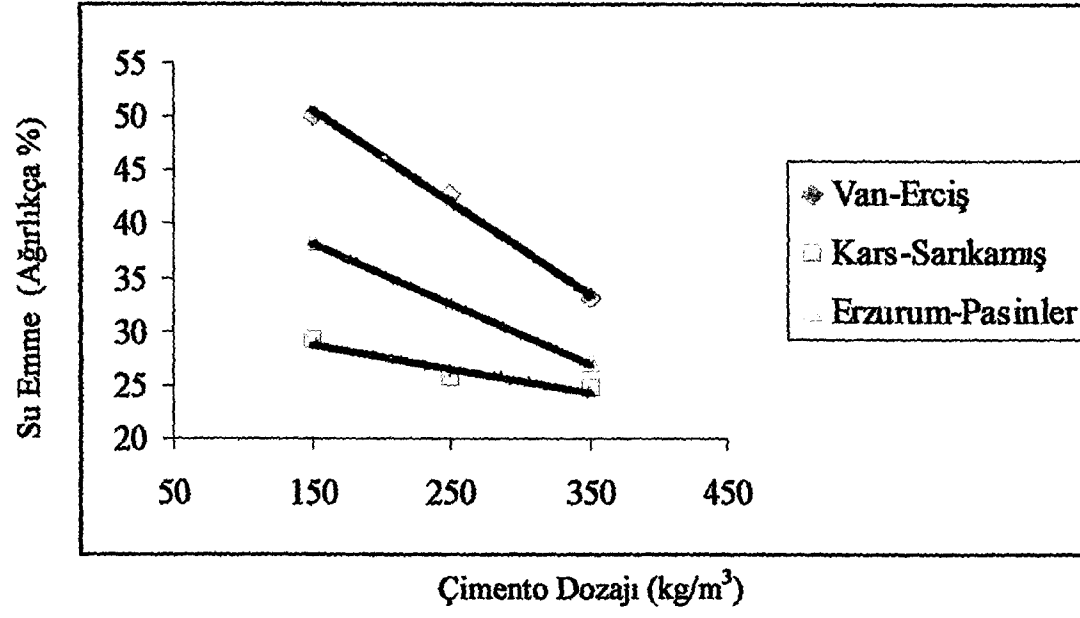
Şekil 4.38. Doğal ve Ayarlanmış Granülometrilili Kars-Sarıkamuş Hafif Agregasıyla Üretilen Betonların Su Emme Değerleri ve Çimento Dozajı Arasındaki İlişki



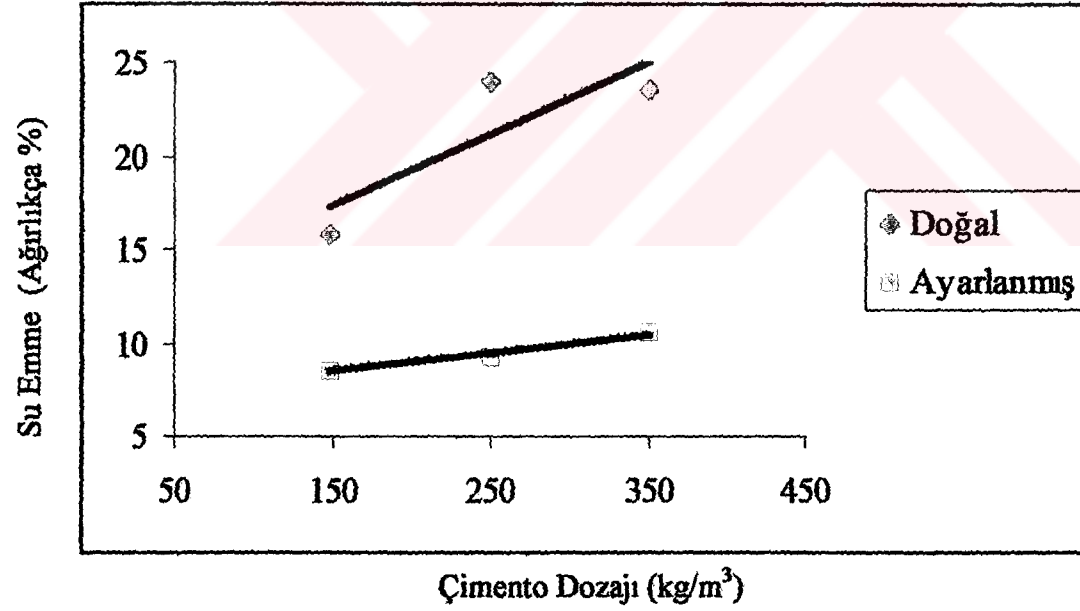
Şekil 4.39. Doğal ve Ayarlanmış Granülometrilili Erzurum-Pasinler Hafif Agregasıyla Üretilen Betonların Su Emme Değerleri ve Çimento Dozajı Arasındaki İlişki



Şekil 4.40. Doğal Granülometrilili Hafif Agregalarla Üretilen Betonların Su Emme Değerleri ve Çimento Dozajı Arasındaki İlişki



Şekil 4.41. Granülometrisi Ayarlanmış Hafif Agregalarla Üretilen Betonların Su Emme Değerleriyle Çimento Dozajı Arasındaki İlişki



Şekil 4.42. Doğal ve Ayarlanmış Granülometrilili Normal Agregalarla Üretilen Betonların Su Emme Değerleri ve Çimento Dozajı Arasındaki İlişki.

Araştırmada elde edilen hafif betonların büyük çoğunluğunda çimento dozajındaki artışla su emme değerleri arasında ters orantı olduğu gözlenmiştir. Çimento dozajı arttıkça su emme değerleri düşmüştür. Normal agregalarla üretilen betonlarda ise dozaj artışıyla birlikte su emme değerleri de artmıştır.

Farklı ocaklardan alınan doğal ve ayarlanmış granülometriye sahip agregalarla, değişik dozajlarda üretilen betonların su emme değerlerinin değişiminin incelenmesi için yapılan varyans analizi Tablo 4.34'de görülmektedir.

Tablo 4.34. Agreg a Ocağı, Granülometri ve Dozajın Betonların Su Emme Değerlerine Olan Etkilerine İlişkin Varyans Analizi Sonuçları

	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F değeri
Ocak	3	192928×10^2	85.55155**
Granülometri	1	3697387	16.39564**
Dozaj	2	230700	1.02301
Ocak x Granülometri	3	3504284	15.53934**
Ocak x Dozaj	6	410882	1.82201
Granülometri x Dozaj	2	960220	4.25799*
OcakxGranülometri xDozaj	6	369872	1.64015
Hata	48	225510.4	

* $p < 0.05$ Olasılık Düzeyinde Önemli

** $p < 0.01$ Olasılık Düzeyinde Önemli

Varyans analiz sonucuna göre araştırmada kullanılan agreg a ocakları ve granülometrilerinin su emme değerine olan etkileri ($p < 0.01$ olasılık düzeyinde) çok önemli, dozajın su emmeye olan etkisinin ise önemsiz olduğu görülmektedir. Agreg a ocağı, granülometri ve dozaj, tek tek ve aralarındaki interaksiyona göre değerlendirildiğinde dozajın önemsiz olduğu diğer iki etkenin ($p < 0.01$ olasılık düzeyinde) çok önemli olduğu, granülometri ve dozajın ($p < 0.05$ olasılık düzeyinde) önemli olduğu sonucuna varılmaktadır.

Hafif betonların su emmeleri normal betonlardan daha fazladır. Bazı araştırmacılar hafif betonların su emme değerlerini, diğer yapı malzemelerinin su emme değerleri ile geçerli bir karşılaştırma yapabilmek için, su emme değerlerinin hesaplanmasında ağırlık yüzdeleri yerine hacim yüzdelerinin kullanılmasının daha uygun olacağını önermektedirler (134).

Hafif betonların su emmeleri ile ilgili yeterince araştırma bulunmamaktadır. Standartlarda da hafif betonların su emmeleri ile ilgili sınır değerler verilmemektedir. Perlit betonu ile ilgili yapılan bir çalışmada, perlit betonlarının su emmelerinin ağırlıkça %50'nin üzerinde olduğu saptanmıştır (72).

Hafif agregâ kullanılarak elde edilen betonların su emme değerleri yüksek olduğundan, bu tür betonların su etkisinde kalabilecek yerlerde kullanılması durumunda ciddi bir şekilde sudan korunması gerekmektedir. Bunun yapılmaması durumunda, su etkisinde kalan hafif betonların ısı iletkenlikleri büyük oranda artacağından, yalıtım özellikleri de önemli ölçüde azalacaktır.

5. ÖNERİLER

Hafif ve normal agregalarla üretilen betonların çeşitli fiziksel ve mekanik özelliklerinin karşılaştırıldığı bu çalışmada; agrega ve betonlara ilişkin bulguların toplu olarak değerlendirilmesi yapılmıştır. Bununla birlikte 4. kısımda açıklanan sonuçlar ve tartışmaların ışığında genel anlamda ve tarımsal yapılarda sözkonusu malzemelerin kullanılma konusunda aşağıdaki öneriler sıralanabilir:

- ♦ Araştırmada kullanılan hafif agregaların doğal granülometrisi; standartlarda hafif beton üretimi için öngörülen granülometri eğri değerlerinin arasında kalmakla birlikte sınır eğrilerine tam bir uygunluk göstermemektedir. Tane dağılımı bakımından bu durumun üretilen betonlara etkisi, benzer dozaj düzeylerinde, granülometrisi ayarlanmış agregalarla üretilen betonlarla karşılaştırıldığında, önemli farklar ortaya çıkarmamıştır. Dolayısıyla, agregaların doğal durumunda beton yapımı için kullanılması uygunluk sağlayabilir.
- ♦ Değişik ocaklardan sağlanan hafif agregalar beton için zararlı olabilecek yabancı madde bakımından da genellikle iyi durumda olduğundan, herhangi bir iyileştirme işlemine de gerek göstermemektedir. Bu durumun da betonların ekonomisi üzerinde olumlu etkilere sahip olabileceği söylenebilir.
- ♦ Betonların karışım oranlarının saptanmasında, araştırma konusu hafif agregaların içerdiği nemin bilinmesi, uygun yoğunluk faktörlerinin kullanılması ve karışıma girecek su miktarının buna göre hesaplanması yönünden gereklidir.
- ♦ Araştırma konusu hafif agregaların boşluklu yapısı nedeniyle önce agregaların karışım suyunun $\frac{2}{3}$ 'ü ile bir iki dakika karıştırılması ve sonra çimento eklenerek karıştırmanın üç dört dakika daha sürdürülmesi uygundur. Böylece agrega boşlukları önce su ile doldurularak, bu boşluklara girme olasılığı bulunan ve beton

birim ağırlığını gereksiz yere arttırarak, dayanımına etkisi olmayan fazla çimento harcanmasının önlenmesi sözkonusudur.

- ♦ Belirli bir dayanımın sağlanmasının istendiği özel uygulamalarda, deneme karışımlarının yapılarak, yeterli işlenebilirlik için uygun su oranının doğrulukla saptanması ve ayarlanmasının yapılması gerekir. Su oranının fazlalığı veya azlığı, özellikle hafif betonlarda çok olumsuz etkilere sahiptir. Karışımdaki fazla su önemli derecede ayrışmaya neden olduğundan, betonun niteliğini bozmaktadır.
- ♦ Hafif agregalı birim ağırlıkları, belirli koşullar sağlanarak her çeşit hafif beton yapımına uygunluk göstermekte ise de bunların daha çok orta derecede dayanımlı beton üretimi için uygun oldukları söylenebilir. Araştırmada kullanılan hafif agregalarda bu özelliği sağlayabilmektedir. Araştırmada elde edilen hafif betonların birim ağırlıkları normal agregalarla üretilen betonlardan oldukça düşük değerler almıştır. Hafif agregalı birim ağırlıklarına bağlı olarak beton birim ağırlıklarının da düşük olması yapı öz ağırlığını azalttığından duvarların daha ince yapılabilmesi, diğer yapı malzemelerine oranla daha zayıf temel zemini üzerine yapı kurulabilmesi ve temellerin fazla derin yapılmaması olanaklarını sağlar.
- ♦ Deneme konusu hafif betonlarda 350 kg/m^3 dozaj düzeyinde yapı betonu (yerinde dökülen taşıyıcı beton) için; $250\text{-}350 \text{ kg/m}^3$ dozaj düzeylerinde duvar birimleri yapımı için uygun basınç dayanımları elde edilebilmektedir. Araştırmada elde edilen hafif betonların basınç dayanım değerleri normal betonların basınç dayanım değerlerinin yaklaşık yarısı olarak elde edilmiştir. Normal betonlara oranla benzer dayanımların elde edilebilmesi için daha fazla çimento miktarına gereksinme duyulmakta ise de hafif betonların yapım süresinin tüm aşamaları ve sağladığı diğer üstünlükleri göz önünde bulundurulduğunda daha ekonomik olabileceği, genel özellikleri bakımından uygun bir malzeme olarak kullanımı sözkonusudur.
- ♦ Araştırmada elde edilen hafif betonların ısı iletkenliği düşük ($0.2355\text{-}0.4099 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$) olduğundan, yeterli dayanım sağlanması koşuluyla tarımsal yapılarda

taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan duvarlarda kullanılmasıyla bazı yapı malzemelerine oranla daha iyi ısı yalıtımı elde edilebilir. Araştırmada normal agregalarla üretilen betonların ısı iletkenlikleri hafif betonların ısı iletkenliklerinden yaklaşık dört kat daha fazla olduğundan hafif betonların normal betonlar yerine kullanılmasıyla yüksek ısı yalıtımı değerlerine ulaşılabilir. Duvar ve döşeme elemanlarında dolgu amacıyla kullanılması da ısı yalıtımı bakımından üstünlükler sağlayabilir. Ayrıca bu agregalarla yapılacak özel betonların duvar sıvası ve harç malzemesi olarak kullanılması da duvarların ısı yalıtımının artırılması olanakları bulunabilir.

- ♦ Betonların donma-çözülme dayanıklılıkları bakımından yeterlilik göstermesi ve donma-çözülme etkisiyle basınç dayanımında artış sağlanması, donma-çözülmenin sık ve şiddetli olduğu yörelerde başarıyla kullanılacağını kanıtlamaktadır. Hafif betonların donma-çözölmeye karşı dayanıklılık göstermesi nedeniyle, donma-çözölme etkisinde kalan tarımsal yapı elemanlarında kullanımının yararlı olacağı söylenebilir. Özellikle su geçirgenliğinin ve aşınma durumunun incelenmesi koşuluyla, sürekli donma-çözölme etkisinde bulunabilen sulama kanalları gibi yapılarda kullanılmasının, normal betonlara göre sağlayacağı üstünlüklerin göz önünde bulundurulması gerekir.
- ♦ Hafif betonların nem geçirgenlikleri yüksek olduğundan üretilen betonların, su geçirilmesi istenmeyen yapılarda sıvasız olarak kullanılması uygun değildir. Bu durum özellikle dış duvar yüzeylerinde önem taşır.
- ♦ Hafif agreganın özel yapısı (pürüzlü yüzey, boşluklu bünye ve su emme gibi) nedeniyle hafif beton üretimi normal betona oranla karmaşık olduğundan daha fazla özen istemektedir. Üretim süreci içinde agrega özelliklerinin iyi bilinmesi, karışım oranlarının doğrulukla saptanması, gerektiğinde karışımın ayarlanması ve taze betonun iyi bir şekilde kontrol edilmesi zorunluluğu bulunmaktadır.
- ♦ Doğu Anadolu Bölgesinde uygun olmayan yapım mevsiminin kısalığı göz önünde tutulursa, çoğu zaman bazı tarımsal yapıların kısa sürede bitirilmesi de büyük önem

taşımaktadır. Birinci sınıf deprem bölgesi olan Doğu Anadolu Bölgesinde hafif betonların kullanılması ile daha dayanıklı ve hafif yapılar oluşturulurken; yapıların özellikle hazır elemanlarla çok kısa sürede tamamlanması olanakları da bulunabilir.

- ♦ Kırsal yerleşimlere yakın hafif agrega ocaklarının hafif beton yapımında değerlendirilmesi ile tarımsal yapılarda kullanılması önerilebilir. Bu konudaki girişimlerin arttırılarak, uygulamalara geçilmesiyle kentsel yapılar yanında; gerek yapı tekniği ve malzeme niteliği, gerek görünüş bakımından büyük farklılıkların bulunduğu çoğu kez bir toprak yığınının oluşan köy yapıları; görünüş, nitelik ve aynılık bakımından üstün özelliklere sahip olabilecektir.
- ♦ Doğal hafif agregaların bu çalışmada olduğu gibi çimento katkı maddesi ile beton üretimi alanında kullanılması yanında, özellikle tarımsal yapılar için uygun olabilecek çimento-kireç karışımı, kireç ve benzeri bağlayıcı maddelerle de stabilize edilerek, ekonomik güçleri zayıf olan kırsal yerleşimler için, bugün kullanılan birçok malzemeye oranla dayanıklı, iyi niteliklere sahip ve daha ucuz yapı malzemesi çeşitlerinin geliştirilmesi olanakları da bulunmaktadır.
- ♦ Yurdumuzun çeşitli bölgelerinde yaygın olarak bulunan ve kolayca sağlanabilen doğal hafif agregaların özelliklerinin incelenerek, bunlarla tekniğine uygun olarak hafif beton üretilmesi ve uygulama alanlarının genişletilmesiyle bugün kentsel ve özellikle kırsal kesimin yapılarında kullanılmakta olan malzemenin çoğuna oranla üstün niteliklere sahip, ekonomik olabilen bir yapı malzemesi elde etme olanakları söz konusudur.
- ♦ Değerli doğal kaynaklarımız arasında sayılabilecek ve ekonomimize önemli katkısı olabilecek doğal hafif agregaların, özellikle hafif beton üretiminde kullanılmasını hızlandıracak girişimlerin yapılması ve araştırmaların genişletilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Ersoy, U., 1987, Betonarme İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı. Evrim Basımevi, İstanbul, s 4.
2. Akman, S., 1990, Yapı Malzemeleri. İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi, Sayı: 1408, İstanbul.
3. Bomhard, H., 1980, Lightweight Concrete Structures, Potentialities, The International Journal of Lightweight Concrete, Volume 2, No:4; 193-209.
4. İhtiyaroğlu, E., 1974, Tabii Hafif Agregalarla İmal Edilen Hafif Beton Blokların Duvar Elemanı Olarak Özelliklerinin Tayini Üzerine Araştırmalar, İmar ve İskân Bakanlığı Yayınları, No. 5-76, Ankara.
5. Hüsem, M. ve Durmuş, A., 1993, Karadeniz Bölgesi Hafif Agregalarıyla Üretilen Taşıyıcı Betonlar. İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler, 1. Teknik Kongre, Gazi Magusa-Kuzey Kıbrıs, 1, 580-588.
6. Durmuş, A. ve Aytekin, M., 1986, Betonarme İnşaatda Hafif Betonlar. TMMOB Haber Bülteni, İzmir, (8), 12-15.
7. Postacıoğlu, B. ve Bora, E., 1984, Doğal Hafif Agregalı Taşıyıcı Hafif Betonlar ve Bunların Betonarme Yapılarda Kullanılma Olanakları. Kuzeydoğu Anadolu 1. Ulusal Deprem Sempozyumu, Erzurum, 315-334.
8. Kosmatka, S. H. and Panarese, W. C., 1992, Design and Control of Concrete Mixtures. Engineering Bulletin, p 177-182.
9. Gül, R. ve Geçten, O., 1993, Elazığ Ferrokrom İşletmesi Granüle Curufunun Hafif Beton Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, Ankara, 291-301.
10. Sharpe, N. R., 1968, Shrinkage and Deflexion of Lightweight-Aggregate Concrete, Proceedings of the First International Congress on Lightweight Concrete, Vol. 2; Discussion: 107.
11. BRS, 1973, Manufacture and Application of Lightweight Concrete, Overseas Division Building Research Station, Overseas Building Note, No. 152, Garston.

12. Barnbrook, G., Dore, E., Jeffery, A. H., Keen, R., Parkinson, J. D., Sawtell, D. L., Shacklock, B. W. and Spratt, B. H., 1975, Concrete Practice, Cement and Concrete Assosiation, Wexham Springs.
13. Turgutalp, E. Ü., 1978, Sarıkamış Yöresi Doğal Hafif Agregasıyla Üretilen Betonların Tarımsal Yapılarda Kullanılabilme Olanakları Üzerine Bir Araştırma. Atatürk Üniversitesi Doçentlik Tezi, Erzurum.
14. Alkan, Z., 1972, Zirai İnşaat, Atatürk Üniversitesi Yayınları No. 252/A, Erzurum.
15. Kartal, G., Sarıgan, O., Baş, H., Ergül, H. ve İlğün, F., 1988, Türkiye Pomza Yataklarının Özellikleri ve Kullanım Alanları. Türkiye Pomza Taşı Semineri, İstanbul, 5-11.
16. Ateş, M. ve Çalaplı, F., 1989, Göreme (Ürgüp) Güneyinin Jeolojisi ve Pomza Sahasının Etüdü. Bitirme Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Bornova, İzmir.
17. Kaytancı, A., Şahin, O. ve Kartal, G., 1996, Çimento Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri. DPT VII. Beş Yıllık Kalkınma Planı ÖİK Raporu, Ankara.
18. Postacıoğlu, B., 1975, Yapı Malzemesi Dersleri, Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton, Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul.
19. Anonymous, 1986, Hafif Agregalar (Beton İçin) TS 1114. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
20. ASTM C 330, 1998, Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete. Annual Books of ASTM Standards Designation, C 330-97, 04.01, 193-196.
21. ASTM C 331, 1998, Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete. Masonry Units. Annual Books of ASTM Standards Designation, C 331-98, 04.01, 197-199.
22. ASTM C 332, 1998, Specification for Lightweight Aggregates for Insulating Concrete. Annual Books of ASTM Standards Designation, C 332-87, 04.01, 200-202.
23. PCA, 1972, Structural Lightweight Concrete Portland Cement Association, Concrete Information, Revised Chapter 13, Design and Control of Concrete Mixtures, Skokie.

24. Ekmekyapar, T. ve Örüng, İ., 1993, İnşaat Malzeme Bilgisi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Yayınları, No. 145, Erzurum.
25. Wills, M. H., 1974, Lightweight Aggregate Particle Shape Effect on Structural Concrete, ACI Journal, Vol.71: 134-142.
26. Anonymous, 1977, Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesap Esasları, TS 2511. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
27. Neville, A. M., 1973, Properties of Concrete, John Wiley and Sons, New York.
28. Shacklock, B. W., 1974, Concrete Constituents and Mix Proportions, Cement and Concrete Association, London.
29. Steiger, R. W., Hurd, M. K., 1978, Lightweight Insulating Concrete for Floors and Roof Decks. Concrete Construction, 23 (7), 411-422.
30. Anonymous, 1969, Beton Agregaları (Kum-Çakıl) Numune Alma ve Deney Metotları, TS 707. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
31. Anonymous, 1977, Milletlerarası Birimler Sistemi, Mekanik Büyüklükleri ve Birimleri, TS 296. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
32. Rudnai, G., 1963, Lightweight Concretes, Publishing House of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest.
33. Stamenkovic, H., 1970, Determination of Absorbed Water in Lightweight Aggregate and Quantities of Ingredients in Lightweight Concrete, Materiaux Et Constructions, Vol. 3, No. 13: 45-51.
34. Timms, A. G., 1964, Lightweight Aggregate Concrete, Modern Concrete, Vol.27, No.11: 27-31.
35. Spratt, B. H., 1975, An Introduction to Lightweight Concrete, Cement and Concrete Association, Wexham Springs.
36. BS 3681, 1973, Methods of Sampling and Testing of Lightweight Aggregates for Concrete, British Standards Institution.
37. Budnikov, P. P., Elinzon, M. P. and Yakub, I. A., 1968, The Structure, Composition and Some Properties of Lightweight Aggregates Used for Concrete in the USSR, Proceedings of the First International Congress on Lightweight Concrete, Vol.1, p: 3-16.

38. HMSO, 1974, Lightweight Concrete, Department of the Environment, Her Majesty's Stationary Office, Advisory Leaflet, No. 38, London
39. Baradan, B., 1994, Yapı Malzemesi II. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, s. 79-82.
40. BRS, 1970, Lightweight Aggregate Concretes, Building Research Station Digest: 123, Garston.
41. Urhan, S., 1993, Hafif ve Çok Hafif Betonların Karakteristik Özellikleri ve Teknik Kapasiteleri. Türkiye Mühendislik Haberleri, (369), 34-40.
42. Young, J. F., 1996, A Review of the Pore Structure of Cement and Concrete and its Influence on Permeability. Permeability of Concrete ACI SP-108-1 America Concrete Institute, Detroit, 2.
43. Detwiler, R. J., Dalglish, B. J. and Williamson, R. B., 1989, Assessing the Durability of Concrete in Freezing and Thawing. ACI Materials Journal, 86, 29-35.
44. Neville, A. M., 1995, Properties of Concrete. Third Edition, Singapore.
45. Helmuth, R. A., 1997, Fly Ash in Cement and Concrete, Portland Cement Assoc., ACI Committee 226, Fly Ash in Concrete, ACI Materials Journal, 84 (4), 381.
46. Anonymous, 1970, Lightweight Aggregate Concretes, Building Research Station Digest; 123, Garston, BRS.
47. Yağanoğlu, V., 1994, Tarımsal Yapılarda Kullanılan Bazı Isı Yalıtım Malzemelerinin Isı İletkenliklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, Erzurum, 25, (3), 291-310.
48. Short, A. and William, K., 1978, Lightweight Concrete. Applied Science Publishers Ltd. London.
49. Ashworth, T. and Ashworth, E., 1991, Insulation Materials: Testing and Applications. Vol. 2 ASTM STP 1116 R. S. Graves and D. C., Wysocki (eds.). p. 415-429, American Society for Testing and Materials. Philadelphia.
50. Marabito, P., 1989, High Temperatures-High Pressures, 21, 51 Fu, X., and Chug, D. D. L., (Ed), Cement and Concrete Research, 27 (12), 1799-1804.

51. Schneider, U., 1982, Behavior of Concrete at High Temperatures. Deuther Aussehuss für Stahlbeton. Heft 337. Berlin, 28-33.
52. Cormon, P., 1973, Betons Legers d'Aujourd'hui Ed. Eyrolles, Paris.
53. Nichols, G. W. and Ledbetter, W. B., 1970, Bond and Tensile Capacity of Lightweight Aggregates, ACI Journal, Proceedings, Vol. 67: 959-962.
54. Atan, Y., Taşdemir, M. A., Babuş, İ., 1980, Kompozit Malzeme Olarak Normal ve Hafif Betonların Zamana Bağlı Davranışları. Tübitak VII. Bilim Kongresi, Kuşadası.
55. ACI, 1979, Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete. 213R-79, Concrete International, 2, 33-62.
56. Nelson, G. H. and Frei, O. C., 1958, Lightweight Structural Concrete Proportioning and Control, ACI Journal, Proceedings, Vol. 49, No. 1: 21-36.
57. Hummel, A., Schumacher, W., (Çeviren Özışık, G.), 1975, Beton Kalender, Teknik Yayınevi, İstanbul.
58. Bomfarth, B.P., 1987, The Properties of High Strength Lightweight Concrete. Concrete, (8), 8-9.
59. Bizden, A., 1976, An Investigation of the Mix Design Methods for Structural Lightweight Aggregate Concrete with an Application on Konya Volcanic Tuff. Middle East Technical University, Ankara.
60. ACI C 532, 1974, Guide for Cast in-Place Low Density Concrete ACI Manuel of Concrete Practice, Committee 523.
61. Anonymous, 1978, Bims Beton Yapım Kuralları Karışım Hesabı ve Deney Metodları, TS 3234. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
62. Cement and Concrete Association, 1970, The Yield of Concrete Mixes, Advisory Note, Cement and Concrete Association, London.
63. Russel, P., 1976, The Curing of Concrete, Cement and Concrete Association, London.
64. Turgutalp, E. Ü. ve Örüng, İ., 1992, Doğal Hafif Agregalı Betonların Donma-Çözülme Etkisi Altındaki Bazı Özellikleri Üzerine Bir Araştırma, Ziraat Fakültesi Dergisi, Erzurum 23 (2), 72-88.

65. Şatona, O. A., 1994, Structural Lightweight Concrete Produced With Provide and Leçelik Aggregates. Master of Science in Civil Eng. METU, Ankara.
66. Marzouk, H. and Jiang, D., 1994, Effects of Freezing and Thawing on the Tension Properties of High-Strength Concrete. ACI Materials Journal, 91 (6), 577-586.
67. Gül, R., Türkmen, İ., 1998, Van-Erciş Pomzasından Üretilen Hafif Betonun Donma-Çözülme Dayanıklılığının Araştırılması. DSİ, Beton-Çimento ve Boya Semineri, Ankara.
68. Al-Khaiat, H. and Hague, M. N., 1998, Effect of Initial Curing on Early Strength and Physical Properties of a Lightweight Concrete. Cement and Concrete Research, 28(6), 859-866.
69. Saricimen, H., Maslehuddin, M., Al-Tayyib, A.J. and I. Al-Mana, A., 1995, Permeability and Durability of Plain and Blended Cement Concretes Cured in Field and Laboratory Conditions. ACI Materials Journal, 92 (2), 111-115.
70. Kenai, S. and Amrane, A., 1996, Mechanical Properties and Permeability of Slag in Algerian Hot Climate. Fourth International Conference on Concrete Technology in Developing Countries, 138-143, Gazimagusa Northern Cyprus.
71. Wang, K., Jansen, D. C. and Shah, S.P., 1997, Permeability Study of Cracked Concrete. Cement and Concrete Research, 27, 381-393.
72. Akman, M. S. ve Taşdemir, M. A., 1977, Taşıyıcı Malzeme Olarak Perlit Betonu. 1. Ulusal Perlit Kongresi Bildirileri, 40-48, MTA, Ankara.
73. Dhir, R. K., Mundas, T. G. L. and Cheng, H. T., 1989, Lightweight Concrete Strength and Deformation. Construction weekly, 12 July, 14-17.
74. Topçu, İ. B., 1996, Semi Lightweight Concretes Produced by Volcanic Slugs. Cement Concrete Research, 27 (1), 15-21.
75. Gül, R., Şahin, R. ve Demirboğa, R., 1997, Kocapınar Pomzası İle Üretilen Hafif Betonun Mukavemetinin Araştırılması, İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler, III. Teknik Kongre, Bildiriler Kitabı, 3, 903-912, Ankara.
76. Yıldırım, M. Ş., Biçer, Y. ve Yıldız, C., 1993, Yalıtım Malzemesi Olarak Styropor İçeren Betonların Fiziksel Özellikleri Üzerine Bir İnceleme. Isı Bilimi ve Tekniği 9. Ulusal Kongresi, Bildiriler Kitabı. Elazığ, 1, 398-413.

77. Gül, R., Uysal, H. ve Demirboğa, R., 1997, Kocapınar Pomzası İle Üretilen Hafif Betonun Isı Geçirgenliğinin Araştırılması, İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler, III. Teknik Kongre, Bildiriler Kitabı, 2, 553-562, Ankara.
78. Anonymous, 1980, Beton Agregalarının Tane Büyüklüğü Dağılımının Tayini, TS 3530. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
79. Anonymous, 1980, Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini, TS 3529. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
80. Anonymous, 1982, Beton Agregalarında Organik Kökenli Madde Tayini Deney Metodu, TS 3673. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
81. Anonymous, 1980, Beton Agregalarında İnce Madde Oranı Tayini, TS 3527. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
82. Anonymous, 1981, Beton Agregalarında Sülfat Miktarı Tayin Metodu, TS 3674. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
83. Anonymous, 1982, Beton Agregalarında Klorür Miktarı Tayin Metodu, TS 3732. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
84. Anonymous, 1980, Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini, TS 3526. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
85. Anonymous, 1985, Deney Elekleri-Tel Kafesli Kare Göz Açıklıklı, TS 1227. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
86. Anonymous, 1985, Deney Elekleri-Metal Levhalı Yuvarlak veya Kare Delikli, TS 1226. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
87. PCA, 1968, Design and Control of Concrete Mixtures, Portland Cement Association, General Information, Engineering Bulletin, Skokie.
88. Anonymous, 1985, Beton Karışım Hesap Esasları, TS 802, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
89. Anonymous, 1977, Taze Beton Kıvam Deneyi, TS 2871. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
90. ASTM C 173, 1998, Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Volumetric Method. Annual Book of ASTM Standards, Designation C 173: 108-110.

91. Anonymous, 1978, Taze Betonda Birim Ağırlık Verim ve Hava Miktarının Ağırlık Yöntemi İle Tayini, TS 2941. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
92. ASTM C 192, 1998, Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory. Annual Book of ASTM Standards, Designation C 192 / C 192 M-95:112-119.
93. Anonymous, 1979, Beton Basınç Deney Numunelerinin Hazırlanması, Hızlandırılmış Kürü ve Dayanım Deneyi, TS 3323. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
94. Anonymous, 1978, Laboratuarda Beton Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Bakımı, TS 3068. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
95. Anonymous, 1978, Beton Örneklerinin Kürü, TS 3244. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
96. Anonymous, 1981, Sertleşmiş Betonda Özgül Ağırlık Su Emme ve Boşluk Oranı Tayin Metodu, TS 3624. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
97. Ekmekyapar, T., 1975, Elazığ İli Ziraat İşletmelerinde Binaların Durumu, Özellikleri, Yeterlilikleri ve Geliştirme İmkanları Üzerinde Bir Araştırma, Atatürk Üniversitesi Yayınları, No. 402, Erzurum.
98. Kakaç, S., 1982, Isı Transferine Giriş. O.D.T.Ü. Mühendislik Fakültesi Yayın No. 52, Ankara.
99. Richard, D., 1988, Transient Method for Measuring Thermal Conductivity, IEEE Electric Insulation Magazine, Vol: 4, No: 1, p 23-33.
100. Lobo, H. and Cohen, C., 1990, Measurement of Thermal Conductivity of Polymer Melts by the Line Source Method, Polymer Engineering and Science, 30 (2), 65.
101. Anonymous, 1978, Beton Basınç Dayanımı Deney Metodu, TS 3114. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
102. Yıldız, N. ve Bircan, H., 1991a, Uygulamalı İstatistik. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Kitabı No: 2, Erzurum.
103. Yıldız, N. ve Bircan, H., 1991b, Araştırma ve Deneme Metodları. Atatürk Üniversitesi Yayınları No: 697, Ziraat Fakültesi Yayınları No: 305, Erzurum.

104. Sezgin, F., 1980, İstatistik Ders Notları, Erzurum.
105. Snedecor, G. W. and Cochran, W. G., 1971, Statistical Methods. The Iowa State Univ. Pres. Ames, Iowa, USA.
106. Köksal, B. A., 1985, İstatistik Analiz Metodları. Çağlayan Kitabevi, İstanbul.
107. Anonymous, 1980, Beton Agregaları, TS 706. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
108. Washa, G. W., 1956, Properties of Lightweight Aggregates and Lightweight Concretes, ACI Journal, Vol.53, No. 4 : 375-382.
109. Akman, M. S., 1962, Hafif Betonlar, Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, Haziran 1962 : 30-35.
110. Teychenne, D. C., 1968, Lightweight Aggregates: Their Properties and Use in Concrete in the United Kingdom, Proceedings of the First International Congress on Lightweight Concrete, Vol. 1: p: 23-27.
111. Murlin, J. A. and Willson, C., 1952, Field Practice in Lightweight Concrete, ACI Journal, Proceedings, Vol. 49, No. 1: 21-36.
112. PCA, 1961, Rural Concrete Builder, Portland Cement Association, No. 19, Chicago.
113. USBR, 1966, Concrete Manuel, United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, A Water Resources Technical Publication, Washington.
114. PCA, 1965, Concrete Technology, Instructor's Guide, Portland Cement Association, In Cooperation With the National Ready Mixed Concrete Association, Chicago.
115. Timms, A. G., 1967, Lightweight Aggregate Concrete, Modern Concrete, Vol. 31, No. 3: 29-35.
116. Anonymous, 1976, Harman Tuğlaları, TS 704. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
117. Anonymous, 1971, Çimentolu Kerpiç Bloklar, TS 537. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

118. Anonymous, 1976, Duvarlar İçin Beton Briketler, TS 406. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
119. Aytun, A., 1973, Earthquake Safety of Rural Housing in Turkey, Symposium on Rural Housing, Cento Scientific Programme, Report 8: 115-132.
120. Taşdemir, M. A., 1984, Taşıyıcı Hafif Betonların Mukavemet ve Deformasyon Yeteneğine Hafif Agregat Boyutunun Etkisi. Kuzey Doğu Anadolu I. Ulusal Deprem Sempozyumu, 367-384, Erzurum.
121. Erzurumlu, K., 1973, Mühendislik Jeolojisi, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, Sayı: 966, İstanbul.
122. Camcıoğlu, V., 1963, Hafif Betonlar, İmar-İskan Bakanlığı, Yapı Malzemesi Genel Müdürlüğü, Ankara.
123. Kafesçioğlu, R. ve Sunguroğlu, İ., 1970, Yapıda Isı ve Rutubetle İlgili Problemler, İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Yayınları, İstanbul.
124. Alkan, Z., 1973, Ahır Planlamasının Teknik Esasları, Atatürk Üniversitesi Yayınları, No. 253, Erzurum.
125. Neubauer, L. W. and Walker, H. B., 1961, Farm Building Design. Prentice-Hall, Inc. N. J.
126. Cement and Concrete Association, 1971, Buildings, Farm Construction, Cement and Concrete Association, London.
127. Şişman, N., 1971, Erzurum İli'nde Ziraat İşletmelerinin Bina Durumları, İşletme Binalarının Özellikleri, Yeterlilikleri ve Islah İmkânları Üzerinde Araştırmalar, Atatürk Üniversitesi Yayınları, No. 122, Erzurum.
128. Kanca, A. C., 1977, İnsan Sağlığı ve Az Yakıtle Isınabilmek İçin Yapılarda Uygulanacak Yeni Buluş ve Esaslar, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Bilgi Profili, No. 61, Ankara.
129. Uluata, A. R., 1972, Erzurum İli Doğal Agregat Ocakları Agregatının ve Bu Agregatla İmal Edilen Betonun Bazı Özellikleri Üzerinde Bir Araştırma, Erzurum.
130. Tekinel, O., 1970, Urfa İli Köylerinin Kültürteknik Problemleri Üzerinde Bir Araştırma, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 401, Ankara.

131. Sönmez, N., 1961, Ziraat İşletmelerinde Kerpiç Yapılar ve Bunların Özellikleri, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 180, Ankara.
132. Balaban, A. ve Şen, E., 1978, Tarımsal İnşaat, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 679, Ankara.
133. DSİ, 1966, Doğal Hafif Agregalarla Hafif Beton Araştırması, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Rapor No. MLZ-370, Ankara.
134. Lewis, D. W., 1966, Lightweight Concrete and Aggregates, ASTM Special Technical Publication, No. 169-A: 359-375.

