

**SARIKAMIŞ
HAM PERLİTİ İLE ÜRETİLEN
BETONUN BASINÇ DAYANIMI VE
ISI YALITIM ÖZELLİKLERİ**

Öğr. Gör. Serdar YILDIRIM



SARIKAMIŞ
HAM PERLİTİ İLE ÜRETİLEN BETONUN
BASINÇ DAYANIMI VE
ISI YALITIM ÖZELLİKLERİ¹

Öğr. Gör. Serdar YİLDİRİM

Editör: Prof. Dr. Rüstem GÜL

¹ Bu çalışma, Atatürk Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.



*Sarıkaş Ham Perliti ile Üretilen Betonun Basınç Dayanımı ve
Isı Yalıtım Özellikleri*
Öğr. Gör. Serdar YİLDİRİM

Genel Yayın Yönetmeni: Berkan Balpetek

Editör: Prof. Dr. Rüstem GÜL

Kapak ve Sayfa Tasarımı: Duvar Design

Baskı: Ekim 2025

Yayıncı Sertifika No: 49837

ISBN: 978-625-5698-64-3

© Duvar Yayınları

853 Sokak No:13 P.10 Kemeraltı-Konak/İzmir

Tel: 0 232 484 88 68

www.duvar yayinlari.com

duvarkitabevi@gmail.com

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Sarıkamış ilçesinde bulunan perlitin hafif beton üretiminde kullanılabilirliğini ve söz konusu betonun basınç dayanımı ile ısı yalıtım özelliklerini incelemek amacıyla hazırlanmıştır. Bölgesel bir hammadde olan perlitin değerlendirilmesi, hem inşaat sektöründe alternatif malzeme arayışına katkı sağlamakta hem de yerel ekonomiye önemli bir fayda potansiyeli sunmaktadır.

Araştırma kapsamında, beton üretiminde farklı oranlarda (%0, %25, %50, %75 ve %100) perlit kullanılmış, kalan kısımda ise normal agregaya tercih edilmiştir. Böylelikle, farklı oranlarda kullanılan perlit agregasının betonun mekanik ve termal performansına etkileri detaylı şekilde incelenmiştir.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında, bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren değerli danışmanım Prof. Dr. Rüstem GÜL hocama, aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Çalışmamın, hem akademik alana katkı sunması hem de bölgemizdeki perlit rezervlerinin ekonomik olarak değerlendirilmesine ışık tutması dileğiyle.

Serdar YILDİRİM

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ	1
1.1. Genel Bilgiler	4
1.1.1. Hafif agregaların genel özellikleri.....	4
1.1.2. Perlit.....	5
1.1.3. Hafif betonların genel özellikleri.....	7
2. LİTERATÜR TARAMASI	10
3. MATERYAL ve YÖNTEM	13
3.1. Materyal	13
3.1.1. Kullanılan malzemeler	13
3.1.2. Deneyler için kullanılan aletler	16
3.2. Yöntem.....	18
3.2.1. Agregada deneyleri için uygulanan yöntemler.....	18
3.2.2. Farklı beton karışım seçeneklerinin tespiti	19
3.2.3. Karışım oranlarının belirlenmesi.....	20
3.2.4. Beton harcının hazırlanması, numunelerin kalıba yerleştirilmesi ve kürü	23
3.2.5. Taze beton için uygulanan deney yöntemleri	24
3.2.6. Sertleşmiş beton için uygulanan deney yöntemleri	26
3.2.7. Sonuçların değerlendirilmesinde kullanılan metot	28
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	29
4.1. Ham Perlit Agregasının Özellikleri.....	29
4.2. Agregada Deneyleri Sonuçları.....	29

4.2.1. Elek analizi deneyi	29
4.2.2. Gevşek ve sıkışık birim ağırlık deneyi	31
4.2.3. Organik madde tayini deneyi.....	32
4.2.3. İnce madde oranının belirlenmesi.....	32
4.2.4. Özgül ağırlık tayini deneyi	33
4.3. Taze Beton Deney Sonuçları.....	34
4.4. Sertleşmiş Beton İçin Deney Sonuçları	34
4.4.1. Sertleşmiş betonun birim ağırlık deney sonuçları	34
4.4.2. Sertleşmiş Betonun Basınç Mukavemeti Deney Sonuçları	35
4.4.3. Sertleşmiş betonların ısı iletkenlik katsayısının belirlenmesi deneyi ve sonuçları	36
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	38
KAYNAKLAR.....	41

1. GİRİŞ

Yeraltı kaynaklarımız arasında metal dışı olarak sınıflandırılan perlit, ilk kez 1928 yılında Almanya'da yapılan çalışmalarla ekonomik anlamda önem kazanmıştır. Bu araştırmalarda, perlitin ısıtıldığında genişleme özelliğine sahip olduğu belirlenmiş, teknolojik gelişmelerin ilerlemesiyle de kullanım alanlarının oldukça geniş olduğu anlaşılmıştır. 19 Temmuz 1967'de ise ülkemizde alınan karar ile perlit madenler listesine dahil edilmiştir (MTA, 1985).

Sarıkamış ilçesinde Ruslardan kalma yapılarda gerçekleştirilen incelemelerde, birçok binanın iç sıvalarında perlit kullanıldığı tespit edilmiştir. (Sevindi, 1999).

Perlitin kullanım alanlarını sanayi, tarım ve inşaat sektörleri olarak sıralayabiliriz. Türkiye, dünya genelinde yaklaşık 7.7 milyar ton olarak tahmin edilen perlit rezervinin %74'üne sahiptir. Bu rezervin %34'ü Sarıkamış bölgesinde yer almakta olup, aynı zamanda bölgede farklı sektörlerde kullanılan pomza rezervleri de bulunmaktadır (MTA, 1989). Sarıkamış'ın bu zenginliklerinin ülke ve bölge ekonomisine kazandırılması büyük önem taşımaktadır. Ancak 2025 yılı itibariyle Sarıkamış'ta perlit ile ilgili herhangi bir yatırımın yapılmadığı görülmektedir. Bu çalışmada Sarıkamış ilçesi Balabantaş köyü civarından alınan perlit ile hafif beton üretilmiş; bu betonun basınç mukavemeti ve ısı yalıtımı açısından normal beton ile kıyaslaması yapılmıştır. Tespit edilen verilerin, bölgede perlit yatırımı planlayan kişi veya kurumlara yol gösterici nitelikte olması amaçlanmıştır.

Agrega, bağlayıcı çimento ve su birleşimiyle meydana gelen betonda; dayanıklılık, basınç mukavemeti, ısı yalıtımı ve birim ağırlık en önemli özelliklerdir. Çimento hamurundaki su, agrega boşluklarını doldurarak aderansı sağlamaktadır (Ersoy,1987). Beton hacminin %70-75'ini agregaya oluşturduğundan, betonun bu özellikleri üzerinde en çok etkili olan bileşen agregadır. Beton, şekil verilebilirliği, kolay temin edilen agregaları, yüksek mukavemeti ve farklı boyutlarda yekpare eleman üretimine uygun olması gibi avantajlara sahiptir. Ancak yüksek ısıya karşı dayanımının düşük oluşu, su

ve rutubet geçirgenliği, tekrar sklp kullanılamaması ve onarım güçlükleri Şeklinde dezavantajlı yönleri bulunmaktadır. Bu tür avantaj ve dezavantajlı durumlar için beton türleri üzerine araŐtırmalar yapılmış, özellikle hafif betonlar bu bağlamda ne çıkmıŐtır. (Anonymous, 1994).

Günümüzde yapı malzemeleri arasında önemli bir yere sahip olan betonun, birçok avantajlı bulunmaktadır. Harca istenilen Őeklin kolayca verilebilmesi, iskeleti oluŐturan agreganın rahatlıkla temin edilebilmesi, farklı boyutlarda yekpare parçaların retilbilmesi ve yüksek dayanımı sayesinde yapı elemanlarının daha küçük kesitlerle yapılabilmesi bu avantajlar arasındadır. Ayrıca, uygulama sırasında özel bir uzmanlık gerektirmemesi de betonun tercih edilme nedenlerinden biridir. Ancak betonun yüksek sıcaklıklara karşı dirençsiz olması, gerekli önlemler alınmadığında ısı ve nemi geçirmesi, sklp yeniden kullanılamaması ve onarımının g ya da imknsız olması önemli dezavantajlarıdır. Bu nedenlerle, beton bileŐiminde farklı yöntemler denenmiŐtir. Agregata türünün deđiŐtirilmesi, üretim tekniğinde yenilik yapılması ya da bu yöntemlerin birlikte uygulanmasıyla özel beton türleri geliŐtirilmiŐtir (Uluata, 1972).

Normal betonda farklı olarak üretilen betonlar içerisinde en önemlisi hafif betonlardır. Hafif agregata ve bazı katkı maddeleri ile elde edilen hafif betonlar, yapıların l yüklerinde ve ısı iletimlerinde büyük düŐmeler sağlamaktadırlar. Hafif agregata perlit, pomza, volkanik tüf, volkanik curuf gibi doğal kökenli malzemelerin yanısıra genleştirilmiş Şist, genleştirilmiş perlit, genleştirilmiş vermikülit gibi ürünler ile uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi yapay agregata kapsamaktadır (Bingöl, 2004).

Hafif betonlar, hafif agregata ve çeşitli katkılar kullanılarak üretilen, taşıyıcı yapılarda l yükleri azaltan ve ısı iletimini düŐüren özel betonlardır. Bu amaçla perlit, pomza, volkanik tüf ve curuf gibi doğal; işlenmiş perlit, Şist, vermikülit, yüksek fırın curufu ve uçucu kül gibi yapay agregata kullanılmaktadır. Dünyada en kaliteli perlit yataklarına sahip lke Türkiye olmasına rağmen üretim açısından diğer ülkelere göre geri planda kalmaktadır. Doğu Anadolu Bölgesi, lke rezervlerinin %80'ini barındırmakta ve bu da Türkiye'nin dünya perlit piyasasında stratejik bir potansiyele

sahip olduğunu göstermektedir. (Demirboğa, 1999).

Normal betonların birim hacim ağırlıkları 2200-2600 kg/m³ aralığında iken, hafif betonlarda bu değer 300-1800 kg/m³ arasında değişmektedir. Hafif betonların kullanılması, yapıların taşıyıcı eleman boyutlarını küçültmekte, donatı miktarını azaltmakta ve temel boyutlarını düşürmektedir. Ayrıca depreme maruz yapılarda, yapı ağırlığının azalması sayesinde deprem etkilerinin de daha az zarara yol açtığı bilinmektedir. Hafif betonlar, ses yalıtımı, kullanım kolaylığı, kesilebilme ve çivilenebilme gibi avantajlara sahip olmakla birlikte, düşük elastisite modülü ve bazı mekanik sınırlılıklar sebebiyle dikkatli kullanılmaları gerekmektedir. Bu çalışmada Sarıkamış perlitinin, taşıyıcı hafif beton üretiminde kullanılabilirliği araştırılarak, bölgesel bir kaynağın ekonomiye kazandırılması hedeflenmiştir. (Akman, 1990).

Ülkemiz, hafif agregası bakımından dünyanın en kaliteli ve zengin rezervine sahiptir. Ama ne yazık ki, ülkemizde hafif agregalar yeterince inşaat sektöründe kullanılmamaktadır. Betonda kullanılan agregalar, genelde nehir ve derelerden alınmakta ve bunlar üzerinde gerekli deneyler yapılmadan direkt olarak kullanılmaktadırlar. Betonda yeterli derecede çimento dozajı kullanılsa da, ultrabazik ve alkali agreganın zamanla sertleşmiş çimento hamurunun yapısını bozduğu, kırma-kalker ve mıcırın ise bu duruma daha duyarlı olduğu görülmüştür (Ulus, 1997).

Bu çalışmanın amacı Sarıkamış perlit agregasının taşıyıcı hafif beton yapımında kullanılabilirliğinin araştırılması ve bu malzemenin değerlendirilmesidir.

Tamamı ham perlit ve ince hamperlit agregasının belirli oranlarda kum ve çakıl kullanılması ile karışım hesabı yapılmıştır. Üretilen betonların hem taze hem de sertleşmiş durumda fiziksel ve mekanik özellikleri ortaya konmuştur. 316 dozaj ve ± 5 cm çökme koşullarında, farklı oranlarda (%0, %25, %50, %75, %100) ham perlit ilavesinin betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine olan etkileri araştırılmıştır. Daha önce yapılmış çalışmalardan farkı, özelliği tam olarak bilinmeyen SARIKAMIŞ ilçesi Balabandaş köyü perlitini ile üretilen beton numuneleri üzerinde, basınç dayanımı, birim hacim ağırlık ve ısı iletkenlik deneylerinin yapılmasıdır.

1.1. Genel Bilgiler

Bu bölümde hafif agregaların genel özellikleri, perlitin tanımı, sınıflandırılması, kullanım alanları ve hafif betonların özellikleri ele alınmaktadır.

1.1.1. Hafif agregaların genel özellikleri

Hafif beton üretiminde kullanılan hafif agregalar; su, çimento ve gerekli görüldüğünde katkı malzemeleriyle karıştırılarak elde edilen, gevşek birim hacim ağırlığı 1200 kg/m^3 'ü aşmayan gözenekli inorganik maddelerdir. Yüksek boşluk oranları sebebiyle düşük birim hacim ağırlığına sahiptirler. Kaynaklarına göre doğal ve yapay olmak üzere iki grupta incelenirler. Doğal hafif agregalara pomza, perlit, volkanik tüf, diatomit ve curuf örnek verilebilirken; yapay hafif agregalar genişletilmiş kil, şist, arduvaz ve çeşitli endüstriyel atıklardan elde edilen malzemelerden oluşmaktadır (Anonymous, 1986).

Hafif agregalar tane şekli ve yüzey özelliklerine bağlı olarak farklılık gösterirler. Yuvarlak ve küresel şekilli agregalar daha yüksek birim ağırlığa sahip olurken, köşeli ve düzensiz agregalar daha düşük değerlere sahiptir. Normal agregalarla karşılaştırıldığında, hafif agregalar daha fazla su emme kapasitesine sahiptir. Üretim şekli ve elde edildikleri kaynağa göre hafif agregaların tane biçimi ile yapısında önemli değişiklikler görülmektedir. Tane şekilleri; kübik, yuvarlak, köşeli veya düzensiz olabilirler. Yüzey yapıları ise; ince gözenek ile oldukça düzensiz büyük gözenekler arasında değişir (Şahin, 2003).

Agregaların özgül ağırlık değerleri, onların jeolojik kökenlerinden etkilenmektedir. Ancak birim ağırlık üzerinde köken faktöründen ziyade agreganın şekli daha belirleyici olmaktadır. Yuvarlak ya da küresele yakın tanelere sahip agregalar, daha iyi yerleşim sağladıkları için birim ağırlıkları daha yüksektir (Akman, 1990). Hafif agregaların yoğunluğu ise bünyelerindeki boşluklardan ötürü normal agregalara göre daha düşüktür ve tane boyutuna bağlı olarak farklılık göstermektedir. İnce tanelerde yoğunluk daha yüksek olurken, iri tanelerde bu değer azalmaktadır (Turgutalp, 1978).

Agreganın maksimum tane boyutu; betonun işlenebilirliği, ince-iri agrega oranı,

çimento miktarı ve elde edilebilecek nihai dayanım üzerinde etkili olmaktadır. Genellikle en büyük tane boyutu 10 mm ile 19 mm arasında değişmektedir. Kullanılacak betonun en büyük tane boyutu ise, betonun uygulanacağı yapı elemanının türü ile en dar kesitinin boyutu göz önünde bulundurularak belirlenmelidir (Bingöl, 2004).

Agrega tanelerindeki boşluk oranı, agreganın özelliklerini büyük ölçüde belirlemektedir. Yani boşluk oranı arttıkça agreganın hafifler. Normal ve hafif agreganın arasındaki en önemli faktörlerden biri, hafif agreganın daha çok su emme özelliğine sahip olmasıdır (Demirboğa, 1999).

1.1.2. Perlit

a. Tanımı ve sınıflandırma

Perlit, yapısı itibarıyla asidik özellikli volkanik cam sınıfına girmektedir. Adını kırıldığı anda inci parlaklığında küçük kürecikler oluşturmasından alır. Perlitte %2-5 oranında bağlı su bulunur ve bu su, Ani olarak 750–1200°C'ye kadar ısıtıldığında buharlaşarak malzemenin genişmesini sağlar. Bu süreç sonunda perlit, başlangıç hacminin yaklaşık 20 katına kadar genişleyebilmektedir. (Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu).

Perlitin kullanım alanları oldukça geniştir. Yapı endüstrisinde; sıva, beton ve yalıtım ürünlerinin imalatında; tarımda toprak düzenleyici olarak; sanayide ise filtreleme, aşındırıcı ve dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Genleştirilmiş perlit, özellikle hafifliği, ısı ile sesi iyi derecede yalıtmasının yanı sıra yangına dayanıklı oluşu sayesinde yapı sektöründe yaygın bir şekilde tercih edilmektedir.

b. Kullanım alanları

Dünyada elde edilen perlitin, %35' lik kısmı sıva olarak, %25'lik kısmı beton üretiminde agreganın olarak, %23' lük kısmı filtre malzemesi için, %8'i yalıtım sektöründe, %4'ü tarım ve tarımsal yapılarda, %5'i ise daha farklı alanlarda kullanılmaktadır (Demirboğa, 1999).

İnşaat sektöründe ham perlit yerine en çok işlenmiş perlit tercih

edilmektedir. Yeryüzünde perlit ile elde edilen genişletilmiş perlitin % 60'lık kısmı yapı sektöründe kullanılır. Perlitin hafif yapısı, yüksek ses ve ısı izolasyonu sağlaması ile yangına karşı dayanıklılığı, onu inşaat alanında tercih edilen bir yapı malzemesi durumuna getirmiş; bu nedenle perlit esaslı hazır yapı elemanları uygulamalarda geniş kullanım alanı bulmuştur. (Demirboğa, 1999).

Perlitin başlıca uygulama alanları:

1. Asit ve bazların etkilerine karşı yüksek dayanıklılığı sayesinde, özellikle kanalizasyon borularının üretiminde tercih edilir.
2. İç ve dış cephe inşaat sıvalarında yaygın olarak,
 - a. Dona karşı dayanıklı olması nedeniyle, su ile temas eden yapılarda güvenle uygulanır,
 - b. Teras ve çatılarda su geçirimsizliğin sağlanması amacıyla kullanılarak yapının ömrünü uzatır,
 - c. Yüzme havuzlarının inşasında, su geçirmezlik özelliği ile tercih edilir,
 - d. Isı yalıtımı sağlamak amacıyla, sıva malzemesi biçiminde veya briket, kiremit benzeri hafif ve yalıtım özellikli yapı elemanlarının üretiminde kullanılır,
3. Demiryolu hatlarında tekerleklerin kaymasını önlemek amacıyla patinaj kumu olarak kullanılır.
4. Aşındırıcı özelliklerinden dolayı, aşındırıcı (abresif) malzeme üretiminde değerlendirilir.
5. TS 4081 standardına uygun şekilde, su arıtma tesislerinde filtreleme amacıyla kullanılan kum veya çakıl şeklinde filtrasyon malzemesi olarak görev yapar.
6. Karayolu yapımında, asfalt karışımlarına dolgu maddesi olarak eklenerek dayanıklılığı artırmada kullanılır.
7. Dökümhane uygulamalarında; atıkların yoğunlaştırılmasında, metal yüzeylerin temizlenmesinde ve silis katkı maddesi olarak çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır.

Hafif yapı malzemesi sınıfında değerlendirilen ham perlit agregası, aşağıda verilen teknik özellikleriyle ön plana çıkmaktadır.

Çizelge 1.1. Ham perlitin özellikleri

Özellik	Değer
Agreganın kuru gevşek birim ağırlığı	1.264 gr/cm ³
Agreganın kuru sıkı birim ağırlığı	1.467 gr/cm ³
Agreganın kuru kıvam su ihtiyacı	% 38
Agreganın kuru su emmesi	% 6
Agreganın yaş gevşek birim ağırlığı	0.969 gr/cm ³
Agreganın yaş sıkı birim ağırlığı	1.280 gr/cm ³
Asitlerde çözünürlük (Hidroflorik asit – sıcak derişik)	% 94.94
Asitlerde çözünürlük (Hidroflorik asit – 1/10'luk sıcaklık)	% 3.32
Asitlerde çözünürlük (Hidroflorik asit – 1/10 N sıcak)	% 2.55

1.1.3. Hafif betonların genel özellikleri

Normal betona göre daha düşük birim hacim ağırlığına sahip beton türleri, hafif beton olarak tanımlanmaktadır. Yaygın kabul gören tanıma göre, birim hacim ağırlığı 1800 kg/m³'ün altında kalan betonlar bu grupta yer almaktadır. Uluslararası standartlarda ise hafif beton; kuru birim ağırlığı 1200–2000 kg/m³ arasında olan betonlar şeklinde ifade edilmektedir (Erdoğan, 1995).

Hafif betonların yoğunluğu, kullanılacağı amaca göre farklılık arz eder. Örneğin; ısı yalıtımı amacıyla üretilen hafif betonlarda bu değer 300–800 kg/m³ arasında olurken, taşıyıcı hafif betonlarda birim ağırlık 2000 kg/m³'e kadar çıkabilmektedir. Normal betonlarla karşılaştırıldığında hafif betonların hem birim ağırlıkları hem de ısı iletkenlikleri daha düşüktür. Bu özellikleri sayesinde, kullanıldıkları yapılarda ısı kayıplarını azaltır ve ölü yükleri önemli ölçüde düşürerek yapısal açıdan avantaj sağlar. (Ulus, 1997).

Basınç mukavemeti, bir malzemenin kırılmadan veya dağılmadan basınç

etkisi altındaki gerilmelere karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir. Kırılma genellikle çatlakların oluşmasıyla kendini gösterse de, betonun birçok taşıyıcı malzemeden farklı olarak herhangi bir dış yük uygulanmadan bile ince rötre çatlakları barındırabileceği unutulmamalıdır. Basınç deneyleri sırasında beton numunesinde gözle fark edilen dış çatlaklar oluşmadan önce, iç yapıda çatlakların gelişmeye başladığı bilinmektedir. Hafif betonlarda basınç dayanımı, kullanılan agreganın özelliklerine ve uygulanan üretim yöntemine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu değerler çoğunlukla 35–420 kgf/cm² aralığında olmaktadır (Ekmekyapar ve Örüng, 1993).

Betonun su emme oranı; kullanılan agreganın su tutma kapasitesine ve karışımdaki agrega-çimento oranına bağlı olarak değişim göstermektedir. Normal betonlarda su emme hacimce genellikle %10'un altında kalırken, genişletilmiş şist ve kil esaslı hafif betonlarda %15–25, sünger taşı betonlarında ise %20–35 aralığında gerçekleşmektedir (Urhan, 1993).

Betonlarda rötre miktarı, agregaların mekanik dayanımı ve tane boyutu ile çimento dozajından etkilenir. Bu değer normal betonlarda yaklaşık 0.6 mm/m'den küçük iken, hafif betonlarda 1–1.5 mm/m arasında değişebilmektedir (Urhan, 1993).

Betonun içerisinde donan suyun oluşturduğu iç basınç, zamanla çatlakların meydana gelmesine ya da betonun tamamen parçalanmasına yol açabilir. Donma-çözülme etkilerine karşı en etkili yöntem, suyun betona girmesini engellemektir. Fakat bu her durumda sağlanamayacağı için, betonda donan suyun genişmesine olanak tanıyacak gözenekli yapılar oluşturmak da koruyucu bir önlem olarak kullanılabilir. Bu bağlamda, hafif agregalı betonlar, yapılarındaki gözenekli doku sayesinde donma-çözülme döngülerine karşı normal betonlara kıyasla daha yüksek dayanıklılık göstermektedir. (Metha, 1993).

Hafif betonların düşük birim hacim ağırlıkları, onların ısı yalıtım özelliklerini artıran temel faktördür. Özellikle genişletilmiş perlit, yüksek fırın cürufu, kalsine uçucu kül ile pomza taşı gibi agregalar, kimyasal yapıları itibarıyla diğer agregalara kıyasla daha camsı bir karaktere sahiptir. Bu nedenle, söz konusu

agregalarla üretilen betonlar, sahip oldukları kuru birim hacim ağırlığına göre, farklı beton türlerine oranla daha düşük ısı iletkenliği göstermektedir (Metha, 1993).

Sıvasız hafif betonların ses yalıtımları, normal betonların ses yalıtımı kadar iyi değildir (Ulus, 1997).

Kolay bir şekilde delinip, kesilip yerinden çıkarılmasından dolayı, hafif betonlar daha kolay tamir edilebilmektedir (Ulus, 1997).

Hafif betonların gözeneklilik oranlarının yüksek ve alkalinitelerinin düşük olması, içerdikleri donatıların korozyona karşı korunmasını zorlaştırmaktadır. Bununla birlikte, bu tür betonlar prefabrik üretime uygunlukları sayesinde yapım sürecinde hız ve kolaylık sağlamaktadır (Ulus, 1997).

2. LİTERATÜR TARAMASI

Hafif betonla ilgili yapılan çalışmalara ilk zamanlar yalıtım amaçlı betonlar üretilerek başlanmış, daha sonra taşıyıcı hafif betonlar üretilmiş, gününüzde ise taşıyıcı hafif betonların özelliklerinin iyileştirilmesi yönünde (yüksek dayanımlı hafif betonlar gibi) çalışmalar yapılmaktadır.

Zhang ve Gjorv (1991) Avnıpa'da kullanılan beş farklı agrega üzerinde yaptıkları yüksek mukavemetli hafif beton çalışmalarında, agrega mukavemetinin beton mukavemetini etki eden başlıca faktör olduğu ve yüksek mukavemetli hafif agregalar ($1.07-1.54 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluklu) ile 1865 kg/m^3 birim ağırlıklı, 1000 kgf/cm^2 yüksek dayanımlı hafif betonların üretilmesinin mümkün olduğu sonucuna varmışlardır.

Turgutalp ve Örüng (1992) tarafından gerçekleştirilen bir araştırmada, doğal pomza agregaları kullanılarak hafif beton üretimi yapılmıştır. Çalışmada, çimento miktarı belirli oranlarda azaltılarak yerine kireç eklenmiştir. Deney sonuçlarına göre, bu 28 günlük kür sonunda betonların silindir basınç dayanımlarının 25 ile $116,5 \text{ kgf/cm}^2$ arasında değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca, karışımlardaki kireç miktarı yükseldikçe basınç dayanımının düştüğü gözlemlenmiştir.

Gül ve Geçten (1993), granüle formda hafif beton agregası olarak kullanım imkanını araştırmış ve granüle curuf kullanarak elde edilen betonların birim ağırlıklarının yalnız kum kullanılarak elde edilen betonların birim ağırlıklarına nisbeten %17-20 daha az olduğunu, ısı iletkenliklerinin %20-40 civarında düştüğünü, ancak basınç ve çekme dayanımlarının kullanılan curuf oranındaki artışla ters orantılı olarak değiştiğini bildirmişlerdir.

Çevik (1993) de başta Ereğli, Karabük ve İskenderun olmak üzere ülkemiz demir-çelik işletmelerinden elde edilen yüksek fırın curufu ve uçucu külden hafif agrega üretimini araştırmış ve bunların hafif agregaya dönüştürülerek inşaat sektöründe kullanılmasının mümkün olduğunu belirtmiştir.

Yağanoğlu'na göre (1994), kırsal alanlardaki tarımsal yapılarda kolaylıkla

temin edilebilen saman, sap, talaş ve kömür cürufu gibi malzemelerin yalıtım özelliklerini araştırmıştır. Bu malzemeler farklı oranlarda çimento, sönmüş kireç ve alçı ile karıştırılarak numuneler hazırlanmış, ardından bu numunelerin ısı iletkenlik değerleri incelenmiştir.

Geçici rejim yöntemleri arasında yer alan “sıcak tel” tekniği, ısı iletkenlik katsayılarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Her karışım için üç farklı örnek üzerinde yapılan ölçümlerin ortalaması alınarak sonuçlar değerlendirilmiş ve elde edilen değerlerin 0.055 W/mK ile 0.150 W/mK değerleri arasında farklılık gösterdiği saptanmıştır.

Uysal (1996), Van-Erciş bölgesindeki Kocapınar yöresinden elde edilen pomzanın farklı oranlarda kullanılmasıyla üretilen hafif betonların ısı iletkenlik özelliklerini incelemiştir. Çalışma sonucunda, bu pomza ile hazırlanan betonların birim hacim ağırlıklarının normal betonlara kıyaslandığında yaklaşık %40 daha az olduğu, aynı zamanda ısı iletkenliklerinin de %46 oranında azaldığı ortaya konulmuştur. Bununla birlikte, çimento miktarındaki artışın betonun birim ağırlığının yanı sıra ısı iletkenliğini yükselttiği, ancak puzolan içeriği ile ısı iletkenliği arasında belirgin bir ilişki bulunmadığı saptanmıştır.

Topçu (1996), volkanik curuf agregasının farklı agrega tane çapı aralığı ve farklı hacimsel oranlarında üretilen betonlar üzerine testler yapılmıştır. Sonuç olarak volkanik curuf ile BS16, 20 ve 25 kalitesinde, 0.44, 0.38 ve 0.31, curufhacim oranlarında elde edilebileceğini bildirilmektedir.

Ulus (1997), Erzincan -Molla.köy işlenmemiş perlit agregası ile üretilen taşıyıcı hafif beton elde etmek için araştırmalarını yapmıştır. Dozaj olarak 150, 200, 250, 300 ve 350 seçilmiş ve 50 mm ile 100 mm slump değerinde farklı karışımlar yapılmış ve elde edilen taze betonların çökme, yaş birim ağırlık sıkışma faktörü ve sertleşmiş betonların, kuru birim hacim ağırlık değeri, basınç dayanımı ile su emme özelliği, yarmada - çekme mukavemeti ve ısı iletimi gibi bazı fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Yapılan karışımlarda 50 ile 100 mm lik çökme değerlerinin, işlenebilirlik için yeterli olduğu ve segregasyon oluşturmadığı görülmüştür. Beton basınç mukavemetinin, dozaj artması ile arttığı ve çökme

artması ile azaldığı görülmüştür. Bunun yanında hafif betonlarda göre birim ağırlıkta %23 ile %29 arası, ısı iletimi olarak ise %69'luk azalma elde edilmiştir.

Gül ve arkadaşları (1997), Kocapınar pomzasının hafif beton üretimindeki potansiyelini araştırmışlardır. Çalışmada, toplam agregâ hacmi içerisinde pomza oranı (%25-%50- %75 ve %100) olacak şekilde karışımlar hazırlanmış ve her biri 300 kg/m³ çimento dozajına sahip olacak biçimde, farklı çökme değerlerine 3±1 cm, 5±1 cm, 7±1 cm göre beton üretimleri yapılmıştır.

Bunun yanı sıra, %75 geleneksel agregâ ve %25 pomza içeren karışımlarda çimento dozajı 200-250-350 ve 500 kg/m³ seviyelerinde değiştirilerek, çimento miktarının beton üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, Kocapınar pomzasının hem yalıtım amaçlı hem de taşıyıcı beton üretiminde kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Demirboğa (1999), Van-Erciş pomzası ile İzmir-Cumaovası'ndan elde edilen genişletilmiş perlit agregâlarının farklı oranlarda kullanıldığı hafif betonlarda, silis dumanı ve uçucu kül katkılarının etkilerini incelemiştir. Araştırma bulgularına göre, bu katkıların kullanımı hafif betonların rötne ve donma-çözülme dayanımlarını geliştirmiş, ayrıca ısı iletkenliği ve birim hacim ağırlıklarını azalttığı belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca, silis dumanının 28 günlük basınç dayanımını artırıcı, uçucu külün ise azaltıcı bir etki gösterdiği sonucuna varılmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Materyal: Bu kısımda, çalışmada kullanılan normal ve hafif agregalar, çimento, karışım suyu ile deneylerde kullanılan diğer yardımcı malzemeler ve ekipmanlar hakkında bilgiler verilmiştir.

Yöntem: Bu bölümde ise, agregaların özelliklerinin belirlenmesinde uygulanan deneysel yöntemler, elde edilen agregalar ile üretilen betonların karışım hesapları, taze beton üretim süreci ve sertleşmiş betonun mekanik ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan deneysel prosedürler açıklanmıştır.

Çalışma kapsamında yapılan agrega deneyleri, beton üretimi, taze beton testleri, sertleşmiş betonun basınç dayanımının ölçümü ve ısı iletkenlik katsayısının tayini; Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne bağlı Yapı Malzemeleri ve Tatbiki Mekanik Laboratuvarı'nda yürütülmüştür.

Kullanılan hafif agreganın kimyasal özellikleri Kars Çimento Fabrikası'nda, çalışmada kullanılan çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri ise Aşkale Çimento Fabrikası'nda analiz yapılmıştır.

3.1. Materyal

3.1.1. Kullanılan malzemeler

a. Doğal hafif agrega

Bu çalışmada doğal hafif agrega olarak Kars'ın Sarıkamış ilçesi, Balabandaş köyünden temin edilen volkanik kökenli, beyaz renkli perlit taşı kullanılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan perlit numuneleri, ocağın genel özelliklerini temsil edebilmesi amacıyla farklı bölgelerden temin edilmiştir. Ocağından çıkarılan perlit, doğal haliyle gevşek yapıda ve küçük tane boyutlu olduğundan laboratuvar ortamında kırma veya parçalama gibi ek mekanik işlemlere gerek duyulmamıştır. Laboratuvarda agreganın çeşitli fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş olup, elde edilen bulgular araştırma sonuçları bölümünde sunulmuştur.

b. Normal agregası

Üretilen betonlarda normal agregası olarak Erzurum İl Merkezi'ne 5 km uzakta bulunan Dutçu mevkiinin doğal, dere kumu agregası kullanılmıştır. Agregası piyasaya sürülmeden önce yıkanmaktadır. Bu agregadan alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda, malzemenin çeşitli fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler, ayrıntılı olarak araştırma bulguları bölümünde sunulmuştur.

c. Çimento

Bu çalışmada bağlayıcı malzeme olarak Aşkale Çimento Fabrikası'nda üretilen Portland Çimentosu (P.Ç 42.5) kullanılmıştır. Söz konusu çimentonun fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri aynı fabrikada yapılan analizlerle belirlenmiş olup, araştırma kapsamında ulaşılan veriler Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2'de sunulmaktadır.

Çizelge 3.1 Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Özgül Kütle (g/ml)		3.13
Litre Kütle (g/l)		1110
Priz Başlangıcı (saat)		2 sa-10 da
Priz Sonu (saat)		3 sa-15 da
Hacim Genleşmesi (mm)		3
Basınç Mukavemeti (N/mm ²)	2 gün	23.5
	7 gün	35.3
	28 gün	47

Çizelge 3.2 Kimyasal Özellikleri

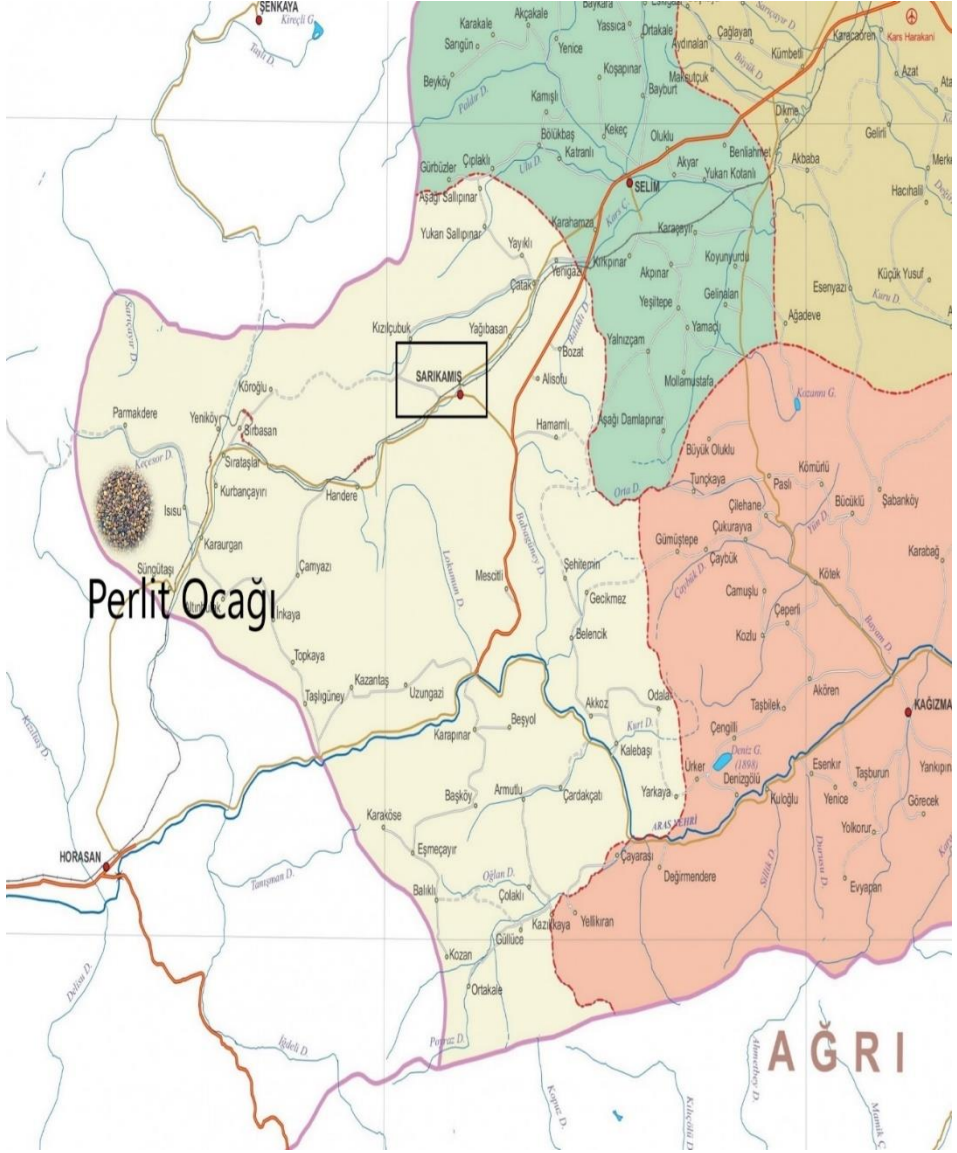
Kimyasal Bileşen	%
SiO ₂	19.94
Al ₂ O ₃	5.28
Fe ₂ O ₃	3.45
CaO	62.42
MgO	2.62
SO ₃	2.46
Kızdırma Kaybı	1.99
Çözülmeyen kalıntı	0.7
Serbest CaO	0.51
Toplam	100
Tayin Edilemeyen	0.08

d. Beton karışım suyu

Beton karışımında tercih edilecek suyun temiz ve zararlı bileşenler içermemesi büyük önem taşımaktadır. Beton üretiminde genellikle içilebilir özellikteki sular karışım suyu olarak tercih edilmektedir. Araştırmada bu amaçla Atatürk Üniversitesi'nin içme suyu kullanılmıştır.

e. Diğer malzemeler

Prizini tamamlayan beton numunelerinin kür işlemlerinde, kirece doymuş su ortamı oluşturmak amacıyla sönmüş torba kireç kullanılmıştır. Numunelerin başlıklandırma işlemlerinde kükürt, kalıplardan kolay çıkarılabilmesi için ince motor yağı tercih edilmiştir.



Şekil 3.1. Hafif Agreganın Alındığı Bölge

3.1.2. Deneyler için kullanılan aletler

a. Agregatelekleri

Deneylerde, TS 1227 standardına uygun toplama kabı ile birlikte, 0.25 - 0.5 - 1 ve 2 mm açıklığa sahip elekler ve TS 1226 standardına bağlı olarak 4, 8 ve 16 mm Kare göz açıklığına sahip tel elekler kullanılmıştır.

b. Beton karışım makinesi

DeneySEL çalışmalarda, ELE firması tarafından üretilmiş, 60 dm³ kapasiteli, laboratuvar ortamında kullanılan, düşey eksenli ve dakikada 25 devir karıştırma hızına sahip bir betonyer kullanılmıştır.

c. Slump hunisi

Bu aletin 200 mm taban çapı, 100 mm üst çapı ve 300 mm yüksekliği bulunan metal huni kullanılmıştır. Hareket etmesini önlemek için alt kısmına iki adet tutma kulaklığı vardır.

d. Beton şişleme çubuğu

Numunelerin kalıplara yerleştirilmesi ve sıkıştırılması aşamasında, standart ölçülerde (600 mm uzunluk, 16 mm çap) çelik şişleme çubuğu tercih edilmiştir.

e. Kalıplar

PVC borular silindir şeklinde 100x200 mm boyutlarında kestirilerek kullanılmıştır.

f. Fırın

Numunelerin yüksek sıcaklıkta ısıtılması için maksimum 1100°C'ye kadar çıkabilen ve 5°C/dakika ile 12°C/dakika sıcaklık artış hızlarına ayarlanabilen özel imal edilmiş fırın kullanılmıştır.

g. Pres cihazı

Sertleşmiş beton deneylerinde numunelerin basınç dayanımlarını belirlemek amacıyla, ELE marka AUTOTEST 3000 tipi, 300 ton kapasiteli ve otomatik yükleme hızı kontrolüne sahip hidrolik pres cihazı kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Agregada deneyleri için uygulanan yöntemler

Deneylerde kullanılacak normal agregada ve perlit numunelerinin alınmasında, TS 1114 standardında tanımlanan çeyreklenme yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemde göre, laboratuvarında mevcut malzemenin tamamını temsil edecek şekilde, yığının farklı bölgelerinden elde edilen örnekler düzgün bir zemin üzerinde serilerek, çapı yüksekliğinin yaklaşık dört katı olan dairesel bir yığın oluşturulmuştur. Daha sonra bu yığın kürek yardımıyla dört eşit parçaya ayrılmış, karşılıklı iki parçada uzaklaştırılmış ve geriye kalan malzeme tekrar birleştirilerek aynı işlem deney için yeterli numune elde edilene kadar sürdürülmüştür.

Her bir test için örnekler üzerinde üç tekrar halinde agregada deneyleri uygulanmış ve elde edilen sonuçların aritmetik ortalamaları hesaplanmıştır. Bu ortalama değerler, araştırmanın bulgular kısmında sunulmuştur. Çalışmada normal agregada ile hafif agregada beraber kullanıldığından, söz konusu deneyler her iki agregada türü için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.

Perlit ve normal agregaların tane boyutları dağılımı, TS 3530 standardına göre belirlenmiştir. Bu çalışmada yapılan deneylerde, TS 1227'ye göre üretilmiş toplama kabı ve 0.25, 0.5, 1 ve 2 mm açıklığındaki elekler ile birlikte TS 1226 standartlarına uygun 4 , 8 ve 16 mm göz açıklığına sahip kare delikli tel eleklerden yararlanılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar, normal agregada için Çizelge 4.1'de, perlit için ise Çizelge 4.2'de sunulmuştur.

Agregaların organik madde içeriklerinin belirlenmesi amacıyla deneyler, TS 3673 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Deneyde, numuneler %3 oranında hazırlanmış sodyum hidroksit çözeltisinde 24 saat süreyle tutulmuştur ve ardından gözlemler yapılmıştır. Bu işlem normal agregada ve hafif agregada numunelerinin her ikisi için de uygulanmıştır.

Agregaların ince taneli madde yüzdesi, TS 3527 sayılı standarta uygun olarak; özgül ağırlıkları ise TS 3526 standardında belirtilen esaslara göre belirlenmiştir. Bu deneyler her iki agregada türü içinde numuneleri üzerinde uygulanmıştır.

TS 3529 standardına göre yürütülen birim ağırlık deneylerinde, standart

özelliklere sahip birim ağırlık kabından yararlanılmıştır. Bu deney gevşek haldeki birim hacim ağırlığı ve sıkışık haldeki birim hacim ağırlığı olarak iki metotta uygulanmaktadır. Bu deney her iki agrega türü içinde yapılmıştır.

3.2.2. Farklı beton karışım seçeneklerinin tespiti

Bu bölüm içerisinde, deneysel çalışmalarda üretilen beton türlerinin belirlenmesi ve kullanılan agregaların granülometri eğrilerinin elde edilmesinde izlenen yöntem açıklanmıştır. Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 incelendiğinde, en büyük tane çapı 16 mm olan normal agreganın standart sınır eğrileri içerisinde kaldığı, buna karşılık hafif agreganın eğrisinin standart sınırların dışına çıktığı görülmektedir.

Granülometrinin betonun özellikleri üzerindeki etkisi dikkate alınarak, bu çalışmada her iki agrega türünün granülometrisine doğrudan bağlı kalınmamış, bunun yerine ayarlanmış tek tip granülometri eğrisi esas alınmıştır.

Oluşturulmak istenen hafif agregalı beton kesikli ya da sürekli granülometrilidir. Uygulamada ise daha az ayrışma gösteren sürekli granülometrilidir betonlar tercih edilir. Sürekli granülometriye sahip normal betonun ince ve iri agregalarının her bir bölümünde tek tek veya oran aynı kalmak şartı ile bütün bölümlerinde hafif agrega ile değiştirme yapılabilir (Şahin, 2003).

TS 2511'e uygun biçimde maksimum tane boyutu 16 mm olarak belirlenen hafif agrega için kum yüzdesi hacim olarak %40-%60 arasında olabilir.

Bu çalışmada, ince agrega olarak hem hafif hem de normal kum kullanıldığından ince agrega oranı olarak %50 alınmış ve buna göre oluşturulan normal agrega sürekli granülometri eğrisinde ince ve iri agrega sınıflarına değişik oranlarda perlit katılarak hafif agregalı normal beton ile birlikte taşıyıcı yarı hafif beton ve hafif beton üretimi gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada daha önce belirtildiği üzere granülometri eğrisinin ayarlanmış hali

referans alınmıştır. Bu sebeple agregalar, karışımlara doğal formlarında değil, tane boyutlarına ayrılmış şekilde dâhil edilmiştir. Ayırma işlemi sırasında perlit ve normal agregalar 4 mm göz açıklıklı elek ile elenip, elde edilen ince ve iri agrega fraksiyonları ayrı bölmelerde depolanarak muhafaza edilmiştir.

Üretilen betonlarda minimum dozaj olarak dozaj 316 kg/m^3 ve çökme 5 ± 1 değerleri kullanılmıştır.

Beton karışımlarında, toplam agrega hacminin sırasıyla %25 - %50 ve %75'i oranında perlit, normal agrega ile birlikte kullanılmıştır. Ayrıca %100 perlit ile hafif betonlar ve mukayese amaçlı olarak %100 normal agregalı betonlar (kontrol numuneleri) üretilmiştir.

Bu çalışmada basınç deneyleri için her grupta 12 numune, ısı iletkenlik deneyleri için her bir grup 3 adet olacak şekilde toplamda 60 adet numune dökülmüştür. Beton karışımına, karışımdaki agregaların oluşturduğu toplam hacmin %25 - %50, ve %75'i oranlarında perlit normal agregaya katılmıştır. Ayrıca %100 perlit ile hafif betonlar ve mukayese amaçlı olarak %100 normal agregalı betonlar (kontrol numuneleri) üretilmiştir.

Bu çalışmada basınç deneyleri için her grupta 12 numune, ısı iletkenlik deneyleri için her bir grup 3 adet olacak şekilde toplam 60 numune dökülmüştür.

3.2.3. Karışım oranlarının belirlenmesi

Beton karışımlarının hesaplanmasında TS 2511 ve TS 802 standartlarından yararlanılmıştır. Perlit ve normal agreganın birlikte kullanıldığı karışımlarda da bu iki standart esas alınmıştır. Ancak, hafif agregalı betonlarda su/çimento oranının karışım hesabı için yeterli doğrulukta belirlenememesi nedeniyle, bu tür karışımlar için öngörülen kıvama uygun çimento dozajı dikkate alınmış, bir dizi ön deneme karışımı yapılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Bu ön deneme karışımlarında 5 cm çökmeyi elde edecek kıvamda 1 m^3 betonu meydana getirmek gerekli su miktarı 200 kg olarak seçilmiş ve buna

göre karışım hesabı yapılmıştır. Daha sonra çökme deneyleri yapılarak farklı karışumlu betonlara çeşitli miktarlarda su ilave edilmiş ve hedeflenen çökme değerinin elde edildiği andaki su miktarı üretilen betonlar için esas alınmıştır.

Su miktarının bu yöntemle belirlenmesinin ardından, karışımlara çimento hacmi ile tüm karışımlar için sabit kabul edilen %3 oranındaki hava hacmi eklenmiştir. Daha sonra bu değerler 1000 dm³'lük toplam hacimden çıkarılarak, karışımlarda kullanılacak toplam agrega hacmi hesaplanmıştır.

Karışımlarda tane sınıflarının oranları, ayarlanmış granülometri esas alınarak belirlenmiştir. Bu kapsamda, 0/4 tane aralığı için ince agregadan %50 ve 4/16 tane aralığı için iri agregadan %50 oranında malzeme karışımlara dâhil edilmiştir.

Karışımlarda kullanılacak malzemeler, ağırlık esasına göre tartılarak deney numuneleri hazırlanmıştır. Üretim sırasında olası malzeme kayıpları dikkate alınmış ve gerekli miktarlar yaklaşık %10 oranında artırılarak karışıma dâhil edilmiştir. Betonun kapasitesi doğrultusunda, her bir karışımda 15 adet numune üretilmiştir.

Numunelerin üretimi sırasında belirlenen çökme değerinin sağlanması için sadece su miktarları değiştirilmiştir. Daha sonra artırılan su miktarına göre karışımların su/çimento oranları ve gerçek dozajları yeniden hesaplanarak Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3'te verilen değerlerin hesaplanmasında izlenen yol %50 perlit - %50 normal agrega, 5±1 cm çökme değerli ve 316 kg/m³ dozajlı beton örneği üzerinde, aşağıda kısaca anlatılmaya çalışılmıştır.

Perlitin özgül ağırlığı; ince malzeme için 1.820 gr/cm³, iri malzeme için 1.773 gr/cm³

Normal agrega özgül ağırlıkları; ince malzeme için: 2.420 gr/cm³, iri malzeme için: 2.630 gr/cm³ olarak bulunmuştur.

İlk aşamada karışım için öngörülen su miktarı 200 kg'dır

Buna göre, 1 m³ beton için karışıma dâhil edilecek malzeme miktarları:

Çimento Hacmi : 316/3.13	= 100.950 dm ³
Su	= 200.000 dm ³
Hava	= 030.000 dm ³
Agrega Hacmi :	= 669.050 dm ³
Perlit Hacmi :	= 334.525 dm ³
Nor.Ag. Hacmi :	= 334.525 dm ³
Perlit (ince) : 167.260 dm ³	Normal agrega (ince): 167.260 dm ³
Perlit (iri) : 167.260 dm ³	Normal agrega (iri) : 167.260 dm ³

İnce ve iri malzemenin karışıma girecek miktarları:

	Perlit (kg)	Normal agrega (kg)
0/4 (ince malzeme)	167.26x1.820 = 304.41	167.26x2.42 = 404.76
4/16 (iri malzeme)	197.26x1.773 = 296.25	167.26x2.63 = 439.89

Karışım sonucu çökme değeri hedeflenenden düşük çıktığından karışıma azar azar su ilave edilmiştir.

1028 dm³ için su miktarı 228 dm³ bulunmuştur. dolayısıyla 1000/1028=0.972 katsayısı ile tüm malzeme miktarları çarpılarak 1 m³ harç için karışımdaki malzeme miktarları bulunur. Buna göre karışıma girecek net oranlar Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Beton karışımlarında kullanılan malzeme miktarları

H.Agr.Oranı	25		50		75		100	
Oranları	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)
Dozaj	99.44	311.26	98.13	307.15	99.84	312.52	98.13	307.152
Su	211.77	211.77	221.6	221.6	228.4	228.4	241.056	241.056
Hava	30	-	30	-	30	-	30	-
0-4	82.44	150.05	164.89	300.11	244.16	444.38	319.96	582.33
4-16	75.8	134.4	152.11	269.7	225.21	399.31	295	523.048
0-4	236.32	571.9	157.87	382.05	77.91	188.55	-	-
4-16	241	633.84	159.06	418.35	79.30	208.58	-	-

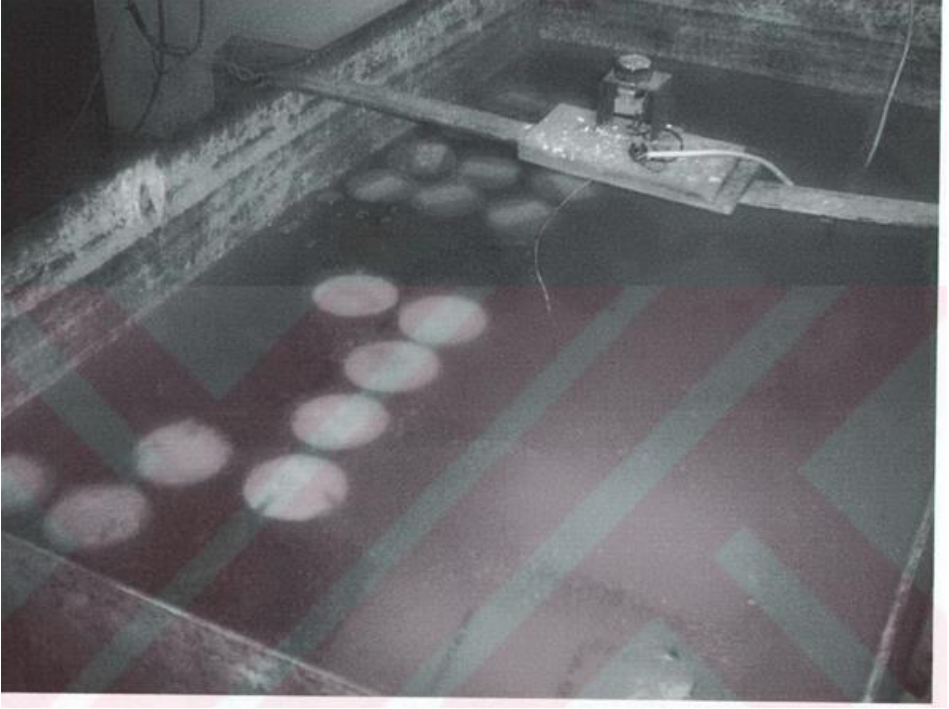
3.2.4. Beton harcının hazırlanması, numunelerin kalıba yerleştirilmesi ve kürü

Hesabı yapılarak elde edilen karışım yüzdeleri, 1 gr hassasiyete sahip terazide tartılarak hafif agrega öncelikli olmak üzere betonyere konulmuştur. Daha sonra, karışım oranı %100 perlit ise karma suyunun 1/3'ü, değil ise karışımdaki hafif agrega oranına göre daha az oranlarda su ilave edilerek yaklaşık 1 dakika karıştırılmıştır. Bu ön ıslatmadan sonra betonyere sırasıyla normal agrega, çimento, geriye kalan karma suyu konularak yaklaşık 1.5 dakika karıştırılmıştır. Daha sonra 1 dakikalık dinlendirme süresinden sonra 1 dakika daha karıştırılarak betonlar üretilmiştir (Anonymous, 1978).

Üretilen betonlar, PVC plastik boruların özel olarak kesilmesiyle hazırlanan 10x20 cm boyutlarındaki silindirik kalıplara yerleştirilmiştir. Numunelerin kalıplardan kolaylıkla çıkarılabilmesi için, kalıpların iç kısımları ince motor yağı ile yağlanarak kullanıma hazır hale getirilmiştir. Beton, kalıplara üç katman halinde yerleştirilmiştir; her bir tabaka, yaklaşık 25 kez şişleme yöntemiyle sıkıştırılmıştır. Yüzeyler ise çelik mala yardımıyla düzeltilmiştir. Numunelerin nem kayıplarının önüne geçmek amacıyla kalıpların üst kısımları naylon örtülerle kapatılmış ve numuneler 24 saat boyunca kalıplar içinde bekletilmiştir.

Laboratuvar şartlarında 24 saat süre ile bekletilen numuneler, yağlanmış kalıplardan çıkarıldıktan sonra kür havuzlarına alınmıştır (Şekil 3.2). Kür işlemine başlamadan önce havuzlar su ile doldurulmuş, suyun kirece doymun hale gelmesi sağlanmış ve sıcaklık 23 ± 2 °C değerinde olacak şekilde ayarlanmıştır.

Her bir grubun numuneleri 6, 13, 27, 55 gün laboratuvar şartlarında bekletildikten sonra basınç mukavemetleri ve ısı iletkenlik katsayıları belirlenmiştir.



Şekil 3.2. Kür havuzundaki beton numuneler

3.2.5. Taze beton için uygulanan deney yöntemleri

Üretilen betonlarda, TS 2940 standardında anlatılan numune alım yöntemleri dikkate alınarak taze beton için deneyler gerçekleştirilmiştir. Standart gereği, bu deneyler karıştırma işleminin tamamlanmasından itibaren en geç 15 dakika içinde bitirilmiştir.

Taze beton için ilk olarak kıvam deneyi ile başlanılmıştır. Deneyler, TS 2871 standardında tanımlanan yöntemlere uygun olarak ve standart slump konisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneye başlamadan önce, koninin iç yüzeyi temizlenmiş, ardından koni düz, nemli ve su geçirmez bir zemin üzerine yerleştirilmiştir (Anonymous, 1977).

Taze beton, slump konisine üç tabaka halinde yerleştirilmiş, her tabaka, koninin hacminin yaklaşık üçte birini dolduracak biçimde yerleştirilmiştir. Yerleşimin homojen olabilmesi için beton, mala yardımıyla koninin üst kenarı boyunca

yönlendirilerek yerleştirilmiştir. Ardından her katman, 16 mm çapa sahip ve 60 cm uzunluğa sahip şişleme çubuğu kullanılarak, kenarlardan merkeze doğru dairesel bir düzen içinde ve düşey olarak 25'er kez şişlenmiştir.

Daha sonra koni, dikey doğrultuda yavaşça yukarı kaldırılarak kalıptan ayrılmış ve koninin yanına bırakılmıştır. Son aşamada, koninin üst kenarı ile beton yüzeyi ile koni yüksekliği arasındaki fark ölçülerek betonun çökme (slump) değeri tespit edilmiştir.

Taze betonun birim ağırlığının tespiti amacıyla, standart özelliklere sahip ve hacmi bilinen birim ağırlık kabından yararlanılmıştır. Bu kap içerisine beton yerleştirildikten sonra tam sıkışma sağlanacak şekilde sıkıştırılmış ve daha sonra tartılmıştır. Elde edilen toplam kütlede kabın darası çıkarılarak betonun net ağırlığı hesaplanmıştır. Son aşamada, kabın hacmine yerleştirilen betonun ağırlığının ölçülmesi ve bu değer hacme bölünmesi sonucunda, taze betonun birim ağırlığı elde edilmiştir..

Kıvamı ve birim ağırlığı belirlendikten sonra taze beton yeniden betonyere alınarak karıştırılmış ve ardından 10×20 cm boyutlarında silindirik kalıplara yerleştirilmiştir. Kalıplara yerleştirme işi, üç katman halinde gerçekleştirilmiş olup, her tabaka standart çelik şişleme çubuğu ile 25 kez olacak şekilde şişlenip sıkıştırılmıştır. Doldurma işlemi tamamlandıktan sonra, numune yüzeyleri mala yardımıyla düzeltilmiş ve taze betonun nem kaybının önüne geçmek için kalıpların üst yüzeyi naylon örtü ile kapatılmıştır. Daha sonra numuneler, herhangi bir dış titreşim veya sarsıntıya maruz kalmayacak uygun bir ortamda sertleşmeye bırakılmıştır.



Şekil 3.3. Slump deneyi

Kalıplarda 24 saat süreyle kalan numuneler, bu süre tamamlandığında kalıp içerisinden çıkarılarak ve daha evvel hazır olan kür havuzlarına alınmıştır. Kür havuzları deney öncesinde kirece doymun hale getirilmiş ve su sıcaklık değeri 23 ± 2 °C olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu koşullar altında numunelere su kürü uygulanmıştır.

3.2.6. Sertleşmiş beton için uygulanan deney yöntemleri

Çalışma da %100 normal agregada, %75 normal agregada - %25 perlit, %50 normal agregada - %50 perlit, %25 normal agregada - %75 perlit ve %100 perlit kullanılarak üretilen beş farklı karışım grubundaki numunelerden 3'er adet numune basınç mukavemeti deneyleri için, 3'er adet numunede ısı iletkenlik katsayısı deneyleri için laboratuvar ortamında saklanmış ve kontrol numuneleri olarak belirlenmiştir.

Sertleşmiş betonda basınç mukavemeti tayini 7-14-28 ve 56 günlük beton numuneler üzerinde, ısı iletkenlik katsayısı belirleme işlemi 28 gün bekletilen beton numuneler üzerinde yapılmıştır. Bu numuneler bir gün önceden kür ortamından çıkarılmış, 24 saat laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Hava kurusu durumuna getirilen numuneler, basınç dayanımı deneylerinde kullanılmak üzere hazırlanmıştır.

Bu amaçla, numunelerin boyutları ± 1 mm hassasiyetle ölçülmüş ve yükün etki edeceği alan hesaplanmıştır (Anonim, 1990).

Numunelerin yüzeylerinin pres tablasına tam olarak oturması ve yükün tüm alana eşit biçimde dağılmasını sağlamak amacıyla başlıklama işlemi yapılmıştır. Bu işlemde, TS 3114 standardına uygun olarak kükürt kullanılmıştır. Başlıklama tamamlandıktan sonra beton numuneler minimum 2 saat süreyle sertleşmeye bırakılmış ve ardından basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Numunelerin basınç mukavemetlerinin hesaplanmasında ise yine TS 3114'te belirtilen esaslar dikkate alınmıştır.

Isı iletkenlik katsayısı deneyleri, Türk Standardları Enstitüsü bünyesinde bulunan Q TM-500 (Quick Thermal Conductivity Meter) cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümler, Sıcak Tel Metodu (Hot Wire Method) esas alınarak yapılmış olup, cihaz 0.023–12 W/mK aralığında, 60 saniye içerisinde sonuç verebilmekte ve virgülden sonra dört basamaklı dijital okuma yapabilmektedir (Şekil 3.4). Cihazın ölçüm hassasiyeti yaklaşık %5 hata payına sahiptir.



Şekil 3.4. Isı iletkenlik katsayısı deneyi için cihaz

Zaman içerisinde şekil değiştirme özelliğine sahip olan beton, yükleme hızı basınç mukavemeti açısından önemli bir göstermektedir (Baradan, 1991). Bu çalışmada bütün beton numuneler, yükleme hızı sabit olacak şekilde $2.5 \text{ kg/cm}^2/\text{s}$ altında teste tabi tutulmuştur. TS 3114 standardına göre, yükleme hızının $1.5\text{--}3.5 \text{ kg/cm}^2/\text{s}$ aralığında olması uygun kabul edilmektedir.

3.2.7. Sonuçların değerlendirilmesinde kullanılan metot

Bu çalışmada, normal ve hafif agregası kullanarak üretilen hafif agregalı betonların basınç mukavemetlerindeki ve ısı iletkenliklerindeki değişimin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda deneyler ile varılan sonuçlar güvenli metotlardan biri olan karşılaştırma metodu ile değerlendirilmiştir. Betondaki normal agregası, hacim olarak %25-50-75 ve 100 oranlarında azaltılarak yerine perlit ilave etmek suretiyle üretilen betonların özellikleri de kendi aralarında karşılaştırılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu kısımda, Sarıkamış yöresinden temin edilen ham perlitin kimyasal analiz verileri ile birlikte agrega ve betona yönelik deney sonuçları değerlendirilmiştir.

4.1. Ham Perlit Agregasının Özellikleri

Sarıkamış ham perlit agregasının kimyasal analizi Kars Çimento Fabrikasında yaptırılmış sonuçlar Çizelge 4.1 'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Sarıkamış Perlit Agregasının Kimyasal Analiz Sonuçları

Kimyasal Bileşen	Oran (%)
SiO ₂	72.06
Al ₂ O ₃	12.34
Fe ₂ O ₃	3.28
CaO	1.40
MgO	0.62
SO ₃	0.06
Ölçülemeyen	6.20
Kızdırma Kaybı (%)	4.04

Çalışmalarda kullanılan hafif agrega, ocağın genel özelliklerini yansıtabilmesi amacıyla farklı bölgelerden temin edilmiştir. Agregada doğal haliyle gevşek yapıda ve küçük tane boyutunda olduğundan, laboratuvar ortamında kırma veya parçalama gibi mekanik işlemler uygulanmamıştır.

4.2. Agregada Deneyleri Sonuçları

4.2.1. Elek analizi deneyi

Etüvde kurutulmuş numuneler üzerinde standart kare açıklıklı elekler kullanılarak yapılan elek analizi sonucunda, karışık agregaya ait tane dağılım

değerleri yığılımlı ağırlık yüzdesi cinsinden elde edilmiştir.

Hafif agregaya ilişkin elde edilen elek analizi sonuçları Çizelge 4.2’de, normal agregaya için gerçekleştirilen deney sonuçları ise Çizelge 4.3’te sunulmuştur.

Hafif ve normal agregalar üzerinde gerçekleştirilen elek analizi deneyleri sonucunda, doğal granülometri eğrilerinin bazı kısımlarda standart limitlerin dışına çıktığı belirlenmiştir. Bu durumun, üretilecek betonlarda istenmeyen sonuçlara yol açabileceği öngörüldüğünden, deneylerde agregalar doğal halleriyle kullanılmamış; bunun yerine, standart sınırlar içerisine çekilerek oluşturulan ayarlanmış tek tip granülometri eğrisi tercih edilmiştir.

Çizelge 4.2. Hafif Agreganın Elek Analizi Deneyi Sonuçları

Elek Açıklığı (mm)	Elek Üzerinde Kalan (%)	Kümülatif Toplam(g)	% Kalan	% Geçen
16	94	94	4.567	95.903
8	245	339	16.47	83.53
4	209	548	26.62	73.38
2	215	763	37.07	62.93
1	236	999	48.54	51.46
0.50	457	1456	70.74	29.26
0.25	413	1869	90.81	9.19
Elek Altı	189	2058	100	0

Çizelge 4.3. Normal Agreganın Elek Analizi Deney Sonuçları

Elek Açıklığı (mm)	Elek Üzerinde Kalan (%)	Kümülatif Toplam (g)	% Kalan	% Geçen
16	124	124	4.092	95.903
8	852	976	32.25	67.75
4	732	1708	56.44	43.56
2	331	2039	67.38	32.62
1	316	2355	77.82	22.18
0.50	343	2698	89.16	10.84
0.25	221	2919	96.46	3.54
Elek Altı	107	3026	100	0

4.2.2. Gevşek ve sıkışık birim ağırlık deneyi

Standart birim ağırlık kabı kullanılarak gerçekleştirilen bu deneyde, hem hafif agreganın hem de normal agreganın farklı yerleşim koşullarındaki (gevşek ve sıkışık) birim ağırlıkları ortaya konulmuştur. Deneylerde kullanılan agregalar doğal halleriyle ve hava kurusu durumda iken ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bulunan sonuçlar Çizelge 4.4’te sunulmuştur.

Çizelge 4.4. Gevşek ve Sıkışık Birim Ağırlık Deneyi Sonuçları

Özellik	Hafif Agregası (Gevşek)	Hafif Agregası (Sıkışık)	Normal Agregası (Gevşek)	Normal Agregası (Sıkışık)
Ölçü kabı boş ağırlığı (w_1), g	6700	6700	6700	6700
Ölçü kabı hacmi (v), cm^3	2148	2148	2148	2148
Kap + numune ağırlığı (w_2), g	9140	9440	10260	10500
Numune ağırlığı ($w_2 - w_1$), g	2440	2740	3560	3800
Birim ağırlık ($w_2 - w_1$) / v , g/cm^3	1.135	1.275	1.657	1.769

Yapılan bu çalışmada kullanılan hafif agreganın gevşek birim ağırlığının, TS 1114'de belirtilen hafif agregası esaslarına uyduğu görülmektedir.

4.2.3. Organik madde tayini deneyi

Malzeme, 4 mm açıklığa sahip kare kesitli tel elek kullanılarak elenmiş, 250 g hafif ve normal agregası üzerinde gerçekleştirilen organik madde tayini deneyi sonucunda, ölçü silindiri içinde ince agregası üzerinde kalan sıvının renginde herhangi bir farklılık oluşmamış, rensizliğini koruduğu belirlenmiştir. TS 3673 standardına göre, sıvıda koyu sarıdan kahverengiye ya da kırmızımsı tonlara doğru bir renk değişimi gözlenmesi, organik madde içeriğinin zararlı düzeyde olduğuna işaret etmektedir, herhangi bir renk değişimi olmaması ya da açık tonda sarı olması, zararlı seviyede organik madde bulunmadığını göstermektedir.

4.2.3. İnce madde oranının belirlenmesi

Bu deney, hem perlit hem de normal agregası üzerinde ayrı ayrı uygulanmıştır. Hafif agregada yalnızca iri taneli kısım üzerinde deney yapılırken, normal agregası için hem ince hem de iri taneli kısımda deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar; normal agregası için Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6'da, hafif agregası için ise Çizelge 4.7'de sunulmuştur.

Çizelge 4.5. Normal İnce Agregası İçin İnce Madde Oranı Tayini Deney Sonuçları

Numunenin Kuru Ağırlığı (w), g	24 Saat Sonra Çök, Malzeme Yük.(h), cm	Ölçü Silindiri Kesit Alanı (A), cm ²	İnce Madde Oranı (m), %
950	0.35	26.23	0.87
TS 706'ya göre beton agregalarında ince madde oranı ince agregası için %4.0'den küçük olmalıdır.			

Çizelge 4.6. Normal İri Agregada İçin İnce Madde Oranı Tayini Deney Sonuçları

Numunenin Kuru Ağ.(w ₁),g	Deney Sonrası Kuru Ağırlık(w ₂), g	İnce Madde Oranı (m), %
720	717	0.416
TS 706 'ya göre beton agregalarında ince madde oranı iri agrega için %2.0 ' den küçük olmalıdır.		

Çizelge 4.7. Hafif Agregada İçin İnce Madde Oranı Tayini Deney Sonuçları

Deney Öncesi Kuru Ağırlık(w ₁), g	Deney Sonrası Kuru Ağırlık (w ₂), g	İnce Madde Oranı (m), %
398	395	0.753
TS 1114'e göre hafif agregalarda ince madde oranı iri agrega için %3.0'den küçük olmalıdır.		

Beton üretiminde kullanılan agregalarda ince taneli maddelerin (kil ve silt) yüksek miktarlarda olması, çimento hamuru ile agrega yüzeyi arasındaki aderansı zayıflatmakta ve çimentonun priz süresini uzatmaktadır. Bu durum, betonun performansını olumsuz etkilediği için istenmeyen bir özelliktir (Postacıoğlu, 1987). Yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler, ilgili standartlarla karşılaştırılmış ve kullanılan agregalarda betona zarar verecek düzeyde ince madde bulunmadığı belirlenmiştir. Bu nedenle, söz konusu agregaların beton üretiminde kullanılmasının uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

4.2.4. Özgül ağırlık tayini deneyi

Söz konusu deney hem hafif hem de normal agregalar için uygulanmış olup, kuru özgül ağırlık, kuru yüzey doygun özgül ağırlık ve görünen özgül ağırlık değerleri tespit edilmiştir. TS 3526 standardına göre gerçekleştirilen deney sonuçları Çizelge 4.8'de yer almaktadır.

Çizelge 4.8. Yoğunluk Tayini Deney Sonuçları

Özellikler	Hafif		Normal	
	İnce	İri	İnce	İri
Kuru Yoğunluk (&k), gr/cm ³	1.779	1.715	2.400	2.580
Kuru Yüzey Doygun Yoğunluk (&d), gr/cm ³	1.820	1.773	2.420	2.630
Görünen Yoğunluk (&g), gr/cm ³	1.908	1.810	2.440	2.710

Bu çalışmada bulunan hafif agregaya ait değerlere bakıldığında TS 1114' de belirtilen maksimum değer olan 2.4 gr/cm³ 'den daha düşük olduğu görülmektedir.

4.3. Taze Beton Deney Sonuçları

Metot bölümünde açıklanan yöntem doğrultusunda üretilen beton numuneleri üzerinde gerçekleştirilen taze beton deneylerinden elde edilen bulgular Çizelge 4.9'da gösterilmiştir. Çalışma da çökme değeri sabit 5±1 cm seçilmiş olup, deneme karışımlarına su ilave edilmesi suretiyle bu çökme değerleri elde edilmiştir. Tabloda da görüleceği gibi karışımdaki hafif agreganın oranları arttıkça numunelerin birim ağırlıkları, beklenildiği şekilde azalmıştır.

Çizelge 4.9. Taze Beton Deney Sonuçları

Perlit (%)	Su/Çim.	Çökme (cm)	Birim Ağırlık (Teorik) (kg/m ³)	Birim Ağırlık (Ölçülen) (kg/m ³)
25	0.671	5±1	2035	2171
50	0.721	5±1	1899	2037
75	0.731	5±1	1782	1920
100	0.785	5±1	1653	1785

4.4. Sertleşmiş Beton İçin Deney Sonuçları

4.4.1. Sertleşmiş betonun birim ağırlık deney sonuçları

Hafif betonların sağladığı en önemli avantajlardan biri de; birim hacimde sağlamış olduğu azalmadır. Sertleşmiş beton numunelerinin 28 günlük fırın kurusu birim ağırlık değerleri Çizelge 4.10' da görülmektedir.

Çizelge 4.10. Sertleşmiş Betonun Fırın Kuru Birim Ağırlık Deney Sonuçları

Perlit oranları (%)	Birim Ağırlıkları (kg/m³)
% 0	2238
% 25	2080
% 50	1903
% 75	1874
% 100	1682

Sonuçlardan da görüldüğü gibi perlit oranı arttıkça betonun birim ağırlığı düşmektedir.

Hafif agreganın betonun birim ağırlığı üzerindeki etkisi farklı karışımlar üzerinden incelendiğinde, perlit kullanılarak üretilen betonların ağırlıklarının normal agregalı betonlara kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir. Nitekim Hüsem ve Durmuş (1993), hafif agrega ile ürettikleri betonun birim ağırlığını 1865 kg/m³ olarak rapor etmişlerdir. Benzer şekilde, Gül ve Geçten (1993) yaptıkları çalışmada hafif agrega kullanımının betonun birim ağırlığında %17–20 oranında düşüşe sebep olduğunu bildirmişlerdir. Yapılan bu çalışmada da yakın bulgulara ulaşılmış, hafif agrega miktarı artması ile beraber betonun birim ağırlığında düşüş gözlenmiştir. Nitekim 316 kg/m³ çimento dozajına sahip ve slump değeri 5±1 cm olan betonlarda, 28 günlük fırın kuru birim ağırlık değerleri %100 normal agrega kullanıldığında 2238 kg/m³ iken; sırasıyla %25-%50-%75 ve %100 oranlarında hafif agrega kullanıldığında 2080, 1903, 1874 ve 1682 kg/m³ olarak bulunmuştur.

4.4.2. Sertleşmiş Betonun Basınç Mukavemeti Deney Sonuçları

Yapılan bu çalışmada normal agregaya %25, %50, %75 oranlarında hafif agrega katılarak, bunun beton üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Çizelge 4.11. Sertleşmiş Betonun Basınç Mukavemeti Deney Sonuçları

ÖZELLİK	%0 Perlit	%25 Perlit	%50 Perlit	%75 Perlit	%100 Perlit
7 günlük basınç dayanımı kgf/cm ²	312.5	249.1	219.3	209.4	141.3
14 günlük basınç dayanımı kgf/cm ²	335.3	286.3	265.0	239.6	198.8
28 günlük basınç dayanımı kgf/cm ²	356.0	293.0	282.0	248.4	219.5
56 günlük basınç dayanımı kgf/cm ²	384.5	342.4	325.9	266.5	241.4

Hüsem ve Durmuş (1993), hafif agregası ile ürettikleri betonların 28 günlük basınç dayanımını 190 kgf/cm² olarak tespit etmişlerdir. Turgutalp ve Örüng (1992) ise, pomza kullanarak ürettikleri hafif betonlarda 28 günlük basınç dayanımının 25–116.5 kgf/cm² aralığında olduğunu ve bu değerlerin normal betonlara göre daha düşük çıktığını bildirmişlerdir. Bu çalışmanın sonuçları da literatürle benzerlik göstermektedir. Nitekim, perlit oranı arttıkça sertleşmiş betonların basınç dayanımlarında belirgin bir azalma gözlenmiştir. Bununla birlikte, betonun yaşı ilerledikçe dayanım değerlerinde artış olduğu saptanmıştır. Hafif agreganın basınç dayanımı üzerindeki etkisi Çizelge 4.11’de sunulmaktadır. Çizelgeden de anlaşılacağı üzere, hafif agregası oranındaki artış birim ağırlığın azalmasına yol açarken, basınç dayanımında da düşüşe neden olmaktadır.

4.4.3. Sertleşmiş betonların ısı iletkenlik katsayısının belirlenmesi deneyi ve sonuçları

Isı iletkenliği, homojen yapıya sahip bir malzemede; iki paralel yüzey arasındaki sıcaklık farkı 1 °C olduğunda, 1 m²’lik yüzeyden ve bu yüzeye dik yönde yer alan 1 m kalınlık boyunca, bir saat içinde geçen ısı miktarı şeklinde tanımlanır. Bu özelliğin birimi kcal/m·h·°C ya da W/mK şeklinde ifade edilmektedir (Anonymous, 1989).

Başka bir ifadeyle, ısı iletkenliği; belirli bir sıcaklık farkı altında, malzemenin

yüzeyine dik doğrultuda gerçekleşen ısı akısının büyüklüğünü gösteren karakteristik bir özelliktir (Anonymous, 1987).

Katılardaki ısı akımı, malzemenin ısı iletkenliği ve sıcaklık gradiyenti ile kontrol edilir. Katılardaki ısı akım problemleri bilim adamlarını; malzeme içindeki sıcaklık dağılımı, malzeme yüzündeki sıcaklık dengesi ve bunun gibi pek çok yönlerden ilgilendirir.

Çizelge 4.12’de %0, 25, 50, 75, 100 perlit karışımları için ısı iletkenlik katsayıları verilmiştir. Numuneler 4, 11, 16 cm ebatlarında dökülmüştür. Bu numuneler 28 gün boyunca kür içerisinde bekletilmiştir. 27. gün kürden çıkarılıp mevcut haliyle ısı iletkenlik katsayıları belirlenmiştir.

Değerlere bakıldığında karışımdaki hafif agrega oranı arttıkça ısı iletkenlik katsayısı belirli oranlarda azalmaktadır.

Çizelge 4.12. Sertleşmiş Betonun Isı İletkenlik Katsayıları

Karışım Oranları (%) (Perlit)	Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)
0	1.625
25	1.411
50	1.149
75	1.033
100	0.960

Hüsem ve Durmuş (1993), yaptıkları çalışmada hafif agregalı betonların ısı iletkenlik katsayısını 0.6704 W/mK, normal agregalı betonların ise 1.225 W/mK olarak belirlemişlerdir. Benzer şekilde, Gül ve Geçten (1993), hafif agrega kullanılarak üretilen betonların ısı iletkenlik değerlerinin normal betona kıyasla %20–40 oranında azaldığını ortaya koymuşlardır. Ulusu (1997) ise, ham perlit ile gerçekleştirdiği çalışmada ısı iletiminde yaklaşık %69 oranında bir düşüş elde etmiştir. Çizelge 4.12’de de görüldüğü üzere, hafif agrega miktarı arttıkça betonların ısı iletim katsayısında dikkate değer bir düşüş görülmektedir. Bu durum, betonun ısı iletkenlik özelliğinin, kullanılan hafif agrega oranı ile ters orantılı bir ilişki sergilediği görülmektedir..

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Perlit agregası kullanılarak ve normal agregaya perlit agregası katılarak elde edilen betonlara ilişkin bulguların toplu olarak değerlendirilmesi neticesinde öneriler aşağıda verilmiştir.

1. Deneyle için kullanılan hafif agreganın, beton için zararlı olabilecek yabancı maddeler açısından uygun özellikler gösterdiği ve bu nedenle herhangi bir arıtma veya ek işlem gerektirmediği tespit edilmiştir. Ancak, yapılan analizlerde agrega granülometrisinin bazı noktalarda standart sınırların dışına çıktığı görülmüştür. Kaliteli beton üretimi için agrega uygun tane boyutlarına göre elenmelidir. İlk bakışta bu işlem her ne kadar ilave maliyet ve zaman gerektiren bir süreç olarak algılansa da, uygun granülometriye sahip agregalarla üretilen betonların mukavemet ve dolayısıyla kalite bakımından çok daha üstün performans gösterdiği bilinmektedir.
2. Hafif agregaların yüksek su emme kapasiteleri dikkate alınarak, imento karışıma katılmadan önce hafif agrega, karışım suyu miktarının üçte biri ile 1–2 dakika ön karıştırmaya tabi tutulmalıdır. Bu işlem, agreganın suya doygun hale gelmesini sağlayarak hem karışımın daha homojen olmasına hem de çimento hamurunun daha etkin bir şekilde bağlanmasına katkıda bulunmaktadır.
3. Beton üretiminde kullanılacak doğru su miktarının belirlenmesi, betonun istenilen özellikleri kazanabilmesi açısından oldukça gereklidir. Yüksek su/çimento oranı, agregaların ayrışmasına ve betonun homojen yapısının bozulmasına neden olabilmektedir. Bu sebeple, mümkün olan en düşük hacimde yapılan deneme karışımları ile betonun ihtiyacı olan su miktarı titizlikle tespit edilmelidir.
4. Kars-Sarıkamış yöresindeki Balabandaş bölgesinden temin edilen perlit kullanılarak üretilen betonların, normal betonlara kıyasla birim ağırlıklarında belirgin bir düşüş olduğu görülmüştür. Çalışmadan elde edilen verilere göre

bu düşüş oranı yaklaşık %20 olarak belirlenmiştir.

5. Sarıkamış bölgesinden sağlanan ham perlitin kullanımıyla elde edilen betonların ısı iletkenlik katsayılarında, normal betonlara göre yaklaşık %41 oranında azalma meydana gelmiştir. Bu sonuç, üretilen hafif betonların ısı yalıtımı açısından normal betonlara göre çok daha avantajlı olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle soğuk iklim bölgelerinde bu tür betonların kullanılması, ısıtma giderlerini önemli ölçüde azaltarak ülke ekonomisine ciddi katkı sağlayacaktır.
6. Sarıkamış yöresinden elde edilen ham perlit kullanılarak üretilen betonların basınç dayanımlarında, normal betonlara kıyasla yaklaşık %38 oranında azalma tespit edilmiştir. Bu durum, perlitin betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır.
7. Bu çalışmadan elde edilen bulgular, Kars ili Sarıkamış ilçesi Balabandaş bölgesinden sağlanan perlitin hafif beton üretiminde kullanılmasının yapılarda güvenlik, ekonomi ve estetik açısından önemli avantajlar sağlayabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, yüksek su emme özelliğine sahip olan bu perlitten üretilen hafif betonların, uygun karışım teknikleri ve ön işlemler uygulanmadan kullanılması istenmeyen sonuçlar doğurabileceğinden, üretim esansında bu hususa çok önem verilmelidir.
 - a. Su/çimento oranının doğru şekilde ayarlanması son derece önemlidir. Özellikle belirli dayanım seviyelerinin hedeflendiği betonlarda, ön deneme karışımları yapılarak gerekli işlenebilirliğe ulaşmak için uygun su miktarı belirlenmeli ve bu oran titizlikle kontrol edilmelidir. Ayrıca soğuk iklim bölgelerinde donma-çözünme etkilerinin olumsuz sonuçlarını azaltmak ve su/çimento oranını yaklaşık %53 seviyesinde tutmak amacıyla süper akışkanlaştırıcı katkıların kullanılması önerilmektedir.
 - b. Beton dayanımını artırmak amacıyla karışımda kullanılan perlit oranının azaltılması veya çimento dozajının artırılması uygun bir yaklaşım olacaktır.

8. İleride yapılacak araştırmalarda, birim ağırlığı ve ısı iletkenlik katsayısı düşük olan Sarıkamış perliti kullanılarak elde edilen hafif betonlar için rötre, sünme, kimyasal ve dış etkilere karşı dayanıklılıklarının yanı sıra donma-çözülme koşullarındaki performanslarının incelenmesi yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

- ACI. (1979). Guide for structural lightweight aggregate concrete (213R-79). Concrete International, 2, 33–62.
- ACI. (1994). Construction practise & inspection pavements. ACI Manual of Concrete Practise, Part 2. ACT Publication, Detroit, MI.
- Akman, M. S. (1990). Yapı malzemeleri (2. baskı, s. 162). İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Yayını.
- Aksoy, İ. G. (1992). Determination of thermal conductivity and diffusivity of materials by transient measurement techniques (Yüksek lisans tezi). University of Gaziantep, Mechanical Engineering.
- Baradan, B. (1991). Yapı malzemesi II (s. 1.1–3.65). Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayını.
- Bingöl, A. F., & Gül, R. (2004). Compressive strength of lightweight aggregate concrete exposed to high temperatures. Indian Journal of Engineering & Materials Sciences, 68–72.
- Demirboğa, R. (1999). Silis dumanı ve uçucu külün perlit ve pomza ile üretilen hafif beton özellikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi (Doktora tezi). Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi.
- Ekmekyapar, T., & Örüng, İ. (1993). İnşaat malzeme bilgisi (No. 145). Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Yayınları.
- Erdoğan, T. Y. (1995). Agregalar (s. 5–30). Bisen Yayıncılık.
- Ersoy, U. (1987). Betonarme ilkeler ve taşıma gücü hesabı (s. 4). Evrim Basımevi.
- Gül, R., & Geçten, O. (1993). Elazığ Ferrochrom işletmesi granüle curufunun hafif beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. Endüstriyel atıkların inşaat sektöründe kullanılması sempozyumu bildiriler kitabı (s. 291–301). T.M.M.O.B. İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara.

- Hüsem, M., & Durmuş, A. (1993). Karadeniz Bölgesi hafif agregaları ile üretilen taşıyıcı betonlar. İnşaat mühendisliğinde gelişmeler: 1. Teknik Kongre, Gazimağusa, Kuzey Kıbrıs, 1, 580–588.
- London, A. G. (1979). The thermal properties of lightweight concretes. *The International Journal of Lightweight Concrete*, 1(2), 71–85.
- Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu. (t.y.). Endüstriyel ham maddeler alt komisyonu yapı malzemeleri III.
- Metha, P. K. (1993). *Concrete structure, properties, and materials* (p. 43–60). Lehigh University Libraries.
- MTA Genel Müdürlüğü. (1985). Türkiye perlit envanteri (No. 193). Ankara.
- MTA Genel Müdürlüğü. (1989). Türkiye'nin bilinen maden ve mineral kaynakları (No. 185). Ankara.
- Parrot, J. E., & Stuckes, A. D. (1976). *Thermal conductivity of solids* (p. 43). Pion Limited.
- Postacıoğlu, B. (1987). *Beton, agregalar - beton cilt 2*. İstanbul.
- Şahin, R., Demirboğa, R., Uysal, H., & Gül, R. (2003). The effects of different cement dosages, slumps and pumice aggregate rations on the compressive strength and densities of concrete. *Cement and Concrete Research*, 33, 1245–1249.
- Sepaskhah, A. R., & Boersma, L. (1979). Thermal conductivity of soils as a function of temperature and water content. *Soil Science Society of America Journal*, 43, 439–443.
- Sevindi, C. (1999). Sarıkamış'ın coğrafi etüdü (Basılmamış doktora tezi). Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum.
- Sharpe, N. R. (1968). Reasons for choosing lightweight aggregate concrete. *Proceedings of the First International Congress on Lightweight Concrete*, 2, 134–138.
- Turgutalp, Ü. (1978). Sarıkamış yöresi doğal hafif agregasıyla üretilen betonların tarımsal yapılarda kullanılabilme olanakları üzerine bir araştırma (Doçentlik tezi). Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Erzurum.

- Turgutalp, Ü., & Özüng, İ. (1992). Doğal hafif agregalı betonların donma çözölme etkisi altındaki bazı özellikleri üzerine bir araştırma. Ziraat Faköltesi Dergisi, 23(2), 72–88.
- Türk Standartları Enstitüsü. (1977). Taze beton kıvam deneyi (TS 2871). Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü. (1986). Hafif agregalar (beton için) (TS 1114). Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü. (1987). Seramik malzemeler – Isı iletkenliğı kızgın tel metodu ile tayini (TS 4360). Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü. (1989). Binalarda ısı yalıtımı kuralları (TS 825). Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü. (1990). Beton basınç mukavemeti tayini (TS 3114). Ankara.
- Uluata, A. R. (1972). Erzurum ili doğal agregat ocakları agregatının ve bu agregatla imal edilen betonun bazı özellikleri üzerine bir araştırma (Doktora tezi). Atatürk Üniversitesi Ziraat Faköltesi, Erzurum.
- Ulus, İ. (1997). Erzurum Mollaköy Hanı perlit agregasının taşıyıcı hafif beton üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması (Yüksek lisans tezi). Atatürk Üniversitesi Mühendislik Faköltesi.
- Urhan, S. (1993). Hafif ve çok hafif betonların karakteristik özellikleri ve teknik kapasiteleri. Türkiye Mühendislik Haberleri, (369), 34–40.