

## DOĞAL HAFİF AGREGALI BETONLARIN DONMA-ÇÖZÜLME ETKİSİ ALTINDAKİ BAZI ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

E.Ümit TURGUTALP (1)

İbrahim ÖRÜNG (1)

**ÖZET :** Hafif betonlar bazı üstün özellikleri nedeniyle son yıllarda geleneksel normal betonların yerini almaktadır. Bu konuda hafiflik ve ısı yalıtımı etkili olmakta; hafiflik yapı elemanlarında bağıl olarak yük taşıma kapasitesini artırmaktadır. Hafif betonlarla gökdelenler, köprüler, deniz mavnaları gibi yapılar iyi bir şekilde oluşturulabilmektedir. Bunun yanında tarımsal yapıların sıcaklık ve nem kontrolü gerektiren özellikleriyle deprem etkisi de gözönüne alındığında, bu malzemenin kırsal yörelerde kullanılmasının daha yararlı olabileceği söylenebilir. Bu nedenlerle hafif agregaların ve bunlarla üretilen hafif betonların özelliklerinin incelenmesiyle bilinmeyen yönlerinin araştırılması gerekmektedir.

Bu çalışma, Doğu Anadolu Bölgesinde yaygın olarak bulunan doğal hafif agregalardan, Sarıkamış yöresindeki konsolide olmamış doğal pomza ile üretilen hafif betonların donma-çözülme etkisinde bırakılma sonucunda bazı özelliklerinin değişiminin saptanması amacıyla yapılmıştır. Araştırmadan elde edilen sonuçlar, donma-çözülme etkisinde bırakılan örneklerin bırakılmayan örneklere göre önemli derecede olumsuz bir etkilenmeye uğramadığını göstermiştir. Ancak bulgular, donma-çözülme etkisinin betonun çimento miktarlarının artmasıyla hafif betonların dayanımla ilgili bazı özelliklerinin olumsuz yönde etkilendiğini de göstermiştir.

Soğuk iklime sahip ve birinci derecede deprem etkisinde bulunan Doğu Anadolu Bölgesinin kırsal yapılarında gereği gibi kullanıldığı taktirde, hafif agregalarla üretilen betonlar, büyük yararlar sağlayabilecektir. Bu konuda, hafiflik, ısı yalıtımı gibi üstünlükler yanında, donma-çözülme etkisinin de önemli olmayışı, hafif betonların kullanılabilirliğini artırır.

---

1) Atatürk Üniversitesi Ziraat Fak. Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Erzurum.

## EFFECT OF FREEZING AND THAWING ON SOME PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT CONCRETES

**SUMMARY** : *The purpose of this study was to determine the some properties of lightweight concretes subjected to freezing and thawing treatment. Lightweight aggregates from Sarikamış Region were used in lightweight concrete specimens. These concretes were prepared at 300 kg/m<sup>3</sup>, 400 kg/m<sup>3</sup> and 500 kg/m<sup>3</sup> levels of cement contents. In addition 200 + 200 kg/m<sup>3</sup> cement and lime content level was also used in another lightweight concrete specimens. At first concretes were separated into two groups. The first group was cured in lime-saturated water and the second group was subjected to 12 hours freezing and 12 hours thawing cycles during 21 days.*

*Some aggregate properties such as grading, unit weight, water absorption and specific gravity factor were determined before the production of concrete test specimens.*

*Lightweight concrete tests were achieved after 28 days on the cylindrical specimens. Some properties of lightweight concretes such as unit weight, compressive strength and splitting tensile strength, modulus of elasticity, water absorption and thermal conductivity were determined.*

*The results of these tests showed that, significant differences between water-cured concretes and concretes subjected to freezing-thawing cycles were not obtained. However, the unit weight and the strength characteristics of lightweight concretes were increased slightly by the increasing of cement content.*

*Lightweight concretes have low unit weight and high thermal insulation characteristics. If the appropriate strength properties are provided, lightweight concretes could be used in buildings successfully. Due to the low unit weight and high thermal insulation properties, lightweight concretes could also be used in farm buildings more effectively. This feature of lightweight concrete has also much more importance if rural buildings are constructed in earthquake zones.*

### GİRİŞ

Hafif betonlar çeşitli özellikleri bakımından, yapılarda normal betonlara göre üstünlükler sağlayabildikleri için son yıllarda yaygın olarak kullanım alanına girmişlerdir. Bunların normal betonlara göre birim ağırlıkları ve dayanımları düşük olup, ısı yalıtımları yüksektir. Bu özellikler kullanılan hafif agrega çeşidi ve karışım

oranlarına göre de değişebilmektedir. Dayanım bakımından uygulama yerlerine göre yeterlilik sağlanabildiği takdirde, hafif betonlar normal betonlar yerine taşıyıcı eleman olarak da kullanılabilir. Ancak bunların özellikle ısı yalıtımı gerektiren bölme duvarları veya benzeri elemanlarda uygulanmaları daha yararlı olabilmektedir.

Hafif betonlar, normal beton agregalarından ince tanelerin çıkarılması, çimento hamurunda boşluk yaratabilecek hava katkısı eklenmesi ve hafif agreganın kullanılmasıyla genellikle üç farklı şekilde üretilmektedir (Anon., 1973; Spratt, 1975). Beton bünyesinde % 10-30 kadar boşluk oluşturulması, genellikle beton birim ağırlığını da bu oranlarda azaltmaktadır (Weigler ve Karl, 1980).

Bu çalışmada donma-çözülme etkisinde bırakılacak hafif beton örneklerin üretiminde Sarıkamış yöresinden sağlanan doğal bir hafif agregası olan, taneli (dağınık) yapıdaki pomza kullanılmıştır.

Hafif betonların birim ağırlıkları  $1600 \text{ kg/m}^3$  değerine kadar ulaşabilmekte; betonarmada kullanılan hafif betonların birim ağırlıkları ise  $1900 \text{ kg/m}^3$ 'e kadar çıkabilmektedir. Hafif agregalı betonların düşük birim ağırlıklı olmaları, yapı elemanlarının normal betonlara göre etkili yük kapasitesinin artmasına, yapıların kısa zamanda bitirilmesine, taşıma ve yapımı fiyatlarının daha düşük değerler almasına neden olur (Anon., 1973; Bomhard, 1980).

Doğal hafif agregalı betonların dayanımları, genellikle agregası çeşidi, karışım oranları ve sıkıştırma gibi etkenlere bağlı olarak  $100 \text{ kgf/cm}^2$ 'den  $300 \text{ kgf/cm}^2$  ye kadar değişmekte ise de bazı özel amaçlı betonlarda  $1500 \text{ kg/m}^3$  birim ağırlıkla  $400-450 \text{ kgf/cm}^2$ 'ye kadar basınç dayanımı elde edilebilmektedir (Bomhard, 1980). Bobrowski (1980),  $1680 \text{ kg/m}^3$  birim ağırlıklı hafif betonlarla  $250 \text{ kgf/cm}^2 - 280 \text{ kgf/cm}^2$  silindirik basınç dayanımı değerleri elde etmiştir. Clarke (1987)'de yapılar için uygun hafif betonların 28 günlük basınç dayanımlarının  $250 \text{ kgf/cm}^2$ 'den fazla olması gerektiğini belirtmektedir.

Hafif betonların elastikiyet modülleri normal betonlardan daha düşük bir durum göstermemekte ise de çoğu kez, bu değer normal betonların  $1/4 - 2/3$ 'ü arasında yer alabilmektedir (Anon., 1973; Lo-shu ve ark., 1980; Taşdemir, 1982).

Hafif betonların önemli özelliklerinden birisi de ısı yalıtımının yüksek olmasıdır. Bu değer pomza ile üretilen hafif betonlarda  $0,1 - 0,3 \text{ kcal/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C h}$  arasında değişmektedir (Anon., 1973). Normal koşullarda hafif betonların ısı iletim katsayısı agregası çeşidine, beton dayanımına bağlı olmayıp, betonun birim ağırlığı ve nem içeriği ısı iletim katsayısını etkileyen başlıca etkenlerdir (Lo-shu ve ark., 1980).

Hafif betonların boşluklu yapıdaki özellikleri, bunların su geçirme ve su emme

kapasitelerinin yüksek olmasına, bu nedenlerle de kimyasal ve benzer etkenlere karşı dayanıksız bir durum göstermelerine yol açar. Dolayısıyla yalıtım amaçlı betonların su geçirmeyecek biçime getirilmesi gerekir (McClune ve Moorhouse, 1981).

Betonarmede kullanılan normal betonlara göre hafif betonlar donatıyı ateşe karşı daha iyi koruyabilmekte ve sıcaklık değişmelerine karşı daha fazla dayanıklılık göstermekte (Bomhard, 1980), ise de donatının daha kolay paslanması söz konusudur. Hafif betonların kuruma büzülmeleri ve sünmeleri de normal betonlara göre daha fazladır (Anon., 1973).

Hafif agregalı betonlar kürleri sırasında boşluklarında su içerdiklerinden, çimentonun hidratasyonu için normal betonlara göre daha olumlu bir durum ortaya çıkmakta, ayrıca çimento hamuru da agregaya içerisine iyi nüfus ettiğinden daha iyi bir bağ gerçekleşmektedir (Bamforth, 1987). Üretim yöntemi, agregaya çeşidi, karışım oranları gibi etkenlere bağlı olarak, hafif betonların birim ağırlıkları ve dolayısıyla dayanım ve yalıtım özellikleri değişebilmektedir. Uygulama amacına göre çok değişik özelliklere sahip hafif betonlarla dolu ve boşluklu bloklar, prefabrik veya yerinde dökülen (cast in situ) taşıyıcı veya taşıyıcı olmayan yalıtım elemanları üretilmektedir. Ayrıca hafif betonlar betonarme ve öngerilmeli beton elemanlarda da kullanılabilir (Anon., 1973).

Hafif betonlar genellikle taze betondaki agreganın yüzeye doğru çıkma eğilimi göstermesi ve bunun sonucunda betonda tabakalaşma (ayırışma) yapabilmesi nedeniyle gerekli koşullar sağlanamıyorsa, yerinde dökümden çok, prefabrik eleman olarak üretilmelidir. Hafif betonlarla üretilen plakalar, hafiflikleri ve yalıtımlarının yüksek olması nedenleriyle duvar, çatı ve döşeme gibi yapı elemanlarında kullanılabilir. Yalıtım amacıyla yapılan bu şekildeki uygulamalarda, üst yüzeylerin gerektiğinde, su geçirmeyen, aşınmayı önleyen veya yük etkisinde kalanlarının da dayanımı artırıcı bir tabakayla kaplanması düşünülmelidir. Hafif betonla üretilen plakaların ısı yalıtım amacıyla kullanılmasında, yeterli bir yalıtımın sağlanabilmesi için plaka kalınlıklarının 4 cm'den az olmaması gerekir (Anon., 1973, Spratt, 1975).

Yapı elemanlarında yeterli dayanım sağlanması koşuluyla hafif betonların birim ağırlıklarının normal betonlara göre düşük olması birtakım yararlar sağlayabilmektedir. Hafif beton yapıların kendi ağırlıkları normal beton yapılara göre daha az olduğundan, depremin bu yapılar üzerindeki etkileri de azalmaktadır (Bayülke, 1978; Turgutalp, 1982; Postacıoğlu ve Bora, 1984).

Hafif betonlarla gökdelenler, yük taşıyıcı büyük mavnalar, büyük açıklıklı

köprüler yanında; kentsel yörelerdeki yapılarda da üstün özellikleri nedeniyle yaygın olarak uygulanabilmektedir. Kentsel yapılardaki gibi kırsal yörelerde de hafif betonların kullanılması, özellikle tarımsal yapıların, belirli istekleri nedeniyle daha yararlı olabilir. Çünkü hayvan barınakları, meyve ve sebze depoları gibi sıcaklık ve nem kontrolünün önem taşıdığı yapılarda bu koşullar hafif betonların gereği gibi uygulanmasıyla, daha iyi bir şekilde sağlanabilir.

Hafif agregaların doğal bir şekilde yaygın olarak bulunduğu Doğu Anadolu Bölgesinin birinci derece deprem etkisi ve soğuk iklimi de gözönüne alınırsa, yukarıda da belirtildiği gibi hafif betonların tarımsal yapılarda kullanılması büyük üstünlükler sağlayabilecektir. Tarımsal yapıların yahtım gerektiren ve büyük ölçüde yük taşıyıcı olmayan yerlerinde hafif betonların kullanılması, üretimin gereği gibi yapılması veya prefabrik olarak sağlanabilmesi durumlarında da taşıyıcı yapı elemanlarının bu malzemeyle oluşturulması uygundur. Bomhard (1980), da hafif betonların gereği gibi kullanılması durumunda güvenilir ve ekonomik çözümler getiren bir malzeme olabileceğini belirtmektedir. Ayrıca bazı yapı elemanlarının donatılı olarak uygulanması da düşünülebilir.

Sıcaklık derecesinin sıfırın altına düşmesi durumunda, beton parçalanabilmektedir. Bunun nedeni, beton boşluklarındaki suyun donması sonucundaki hacim artışı yüzünden, çekme gerilmelerinin oluşması ve bunun da betonun çekme dayanımından fazla değerler almasıdır. Betonun donmaya dayanıklı olmasında, iklim koşulları da önemlidir. En elverişsiz koşullar ise gece donma, gündüz ise erime olayının yinelenmesidir. Açık hava etkisindeki ve kalınlığı az olan soğuk yörelerdeki beton elemanların donmaya dayanıklı olması sağlanmalıdır (Postacıoğlu, 1975). Betonda donma sonucu oluşan gerilmeler, saturasyon derecesine bağlı olarak değişir. Gerilmeler saturasyon derecesinin bir fonksiyonu olarak azalır (Mazurkiewicz, 1982).

Bu çalışmada Sarıkamış İlçesi yakınında bulunan ve büyük bir kapasiteye sahip olan doğal hafif agregası (konsolide olmamış yapıdaki pomza) (Turgutalp, 1978), ile üretilen hafif betonların donma-çözülme etkisi sonrasındaki bazı özellikleri donma-çözülme etkisinde bırakılmayanlarla karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Doğu Anadolu bölgesinin kış boyunca ortalama sıcaklık değerlerinin 0°C'un altında olması ve ayrıca gece-gündüz sıcaklık farklarının büyük değerlere ulaşması (Anon., 1984), iklimin yapı elemanları üzerindeki olumsuz etkisi nedeniyle, söz konusu hafif agregayla üretilen betonların bu özelliğinin saptanmasının önemini ortaya çıkarmaktadır. Normal betonlarda donma - çözülme olayı ile dayanım özellikleri

olumsuz yönde etkilenmektedir.

Hafif betonların özellikle dış duvarlarda, su etkisinde kalan kısımlarda ve benzeri dış ortamla ilişkide olan yapı elemanlarında donma-çözülme etkisinin önemi daha belirgin biçimde ortaya çıkmaktadır (Klieger ve Hanson, 1961).

Bu çalışmada, farklı çimento miktarları içeren hafif beton örneklerinin donma-çözülme sonucundaki özellikleri laboratuvarda yapılan deneylerle belirlenmiştir. Donma-çözülme etkisinde bırakılan ve bırakılmayan örneklerin üretiminden önce, kullanılan agreganın özellikleri saptanmış, karışım oranları belirli bir çökme değeri gözönünde tutularak, farklı çimento miktarlarına sahip beton üretimi amaçlanmıştır. Agregası ve beton deneylerinin yapılması ve elde edilen verilerin değerlendirilmesinde, büyük ölçüde ilgili Türk Standartları ve yabancı standartlardan yararlanılmıştır.

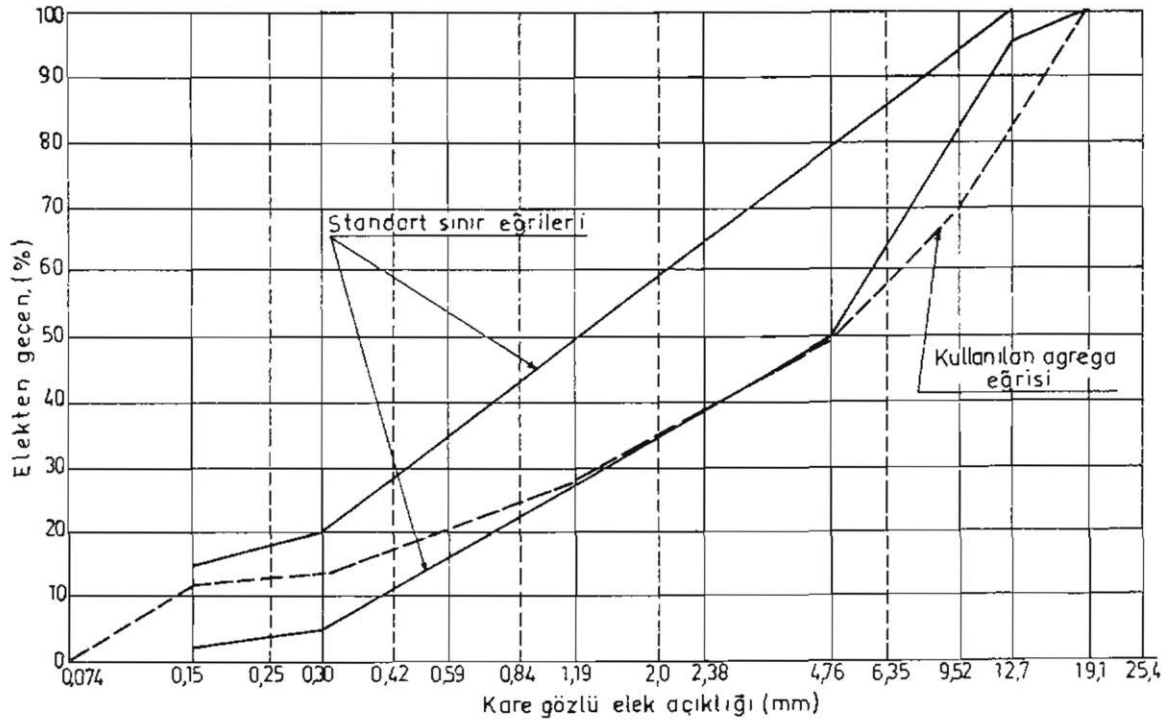
## MATERYAL VE METOD

### Materyal

Araştırma materyalini, Sarıkamış İlçesi yöresinden sağlanan doğal hafif agregalar oluşturmaktadır. Bu agregalar volkanik kökenli, yer yer konsolide olmuş, büyük kısmı dağınık yapıdaki pomzadan oluşmaktadır. Agreganın ağırlık yüzdesi olarak % 68'i SiO<sub>2</sub>, % 13'ü Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 7'si Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 4'ü K<sub>2</sub>O ve kimyasal bileşik olarak geri kalanı da CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O gibi bileşiklerden oluşmaktadır (Turgutalp, 1978). Araştırma materyalini oluşturan hafif agregaya ilişkin deneylerle saptanan elek analizi değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Bu değerlerle çizilen agrega granulometri

Tablo 1. Hafif Agregası Elek Analizi Değerleri.  
Table 1. Grading of Lightweight Aggregates.

Elek açıklığı (mm) Size designation	Elekten geçen (yığışımli) (%) Percentages passing sieves
19.10	97.5
12.70	80.5
9.53	69.5
4.76	48.0
2.38	38.0
1.19	29.5
0.30	14.5
0.15	12.5
İncelik modülü Fineness modulus	3.9



Şekil 1. Hafif agrega granulometri eğrileri  
Figure 1. Grading curves of lightweight aggregates

eğrisi ile Anon. (1976 a), (ASTM c 330) ve Anon. (1976 b)'de hafif betonlar için öngörülen granulometri sınır eğrileri de Şekil 1'de gösterilmiştir. Aynı hafif agreganın karışık, ince ve kaba durumdaki diğer bazı özellikleri de Tablo 2'de verilmiştir.

Araştırmada ayrıca, Aşkale Çimento fabrikasının üretimi olan katkıli portland çimentosu (KPC 325), karışım suyu olarak, Atatürk Üniversitesi içme suyu, çimento ile birlikte bağlayıcı amacıyla ve kür ortamındaki suyun kireçle doyurulmasında fabrikasyon toz kireç ve beton örneklerin başlıklanmasında da toz kükürt eritilerek kullanılmıştır.

### Metod

Hafif beton örneklerin üretiminde kullanılan agreganın tane dağılımı, incelik modülü, birim ağırlık ve bağıl yoğunluk faktörü (specific gravity factor) ile diğer bazı önemli özellikleri Anon. (1976 a) (ASTMC 330, C 331) ve Anon. (1976 b)'ye göre belirlenmiştir.

Denemede kullanılan agreganın granulometrisi, hafif beton yapımı için öngörülen hafif agrega granulometri sınır değerlerine büyük ölçüde uygunluk gösterdiğinden (Şekil 1), hafif betonların deney örnekleri için üretiminde, agrega tane dağılımında bir ayarlama yapılmasına gerek görülmemiştir. Dolayısıyla agregalar

Tablo 2. Hafif Agreganın Karışık, İnce ve Kaba Durumdaki Bazı Özellikleri.  
Table 2. Some Properties of Lightweight Aggregates.

Özellik Property	Agrega (Aggregate)		
	Karışık Mixed	İnce Fine	Kaba Coarse
Birim ağırlık (fırın kuru) Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	766	880	647
Bağıl yoğunluk faktörü Specific gravity factor			
Fırın kuru, dry	1.54	1.82	1.43
Doğal neminde (% 2), moist	1.60	1.74	1.53
Su emme (%) Water absorption (%)	17	20	15
0.074 mm elekten geçen (%), material finer than 0.074 mm (%)	2.3	-	-
Organik madde (%) Organic impurities (%)	0.17	0.17	
Kil topakları (%) Clay lumps (%)	0.18	0.18	
Yanıcı madde (%) Friable particles (%)	4.0	4.0	
Sülfat miktarı (%) Sulfate content (%)	3.0	3.0	

hafifçe tokmaklanarak, taneler birbirinden ayrıldıktan sonra doğal durumuyla kullanılmıştır. Ancak çok büyük konsolide olmuş agrega parçaları dışında, agreganın yaklaşık % 95'inden fazlası gözönüne alındığında, en büyük tane boyutunun 20 mm dolayında olması nedeniyle, bu değer en büyük tane boyutu amacıyla kullanılmıştır.

Deneme amacıyla hafif betonların üretiminde, genellikle uygulanan 250 kg/m<sup>3</sup> - 550 kg/m<sup>3</sup> çimento miktarları (Anon., 1968; Neville, 1973; Anon., 1977)'de gözönünde tutularak, 300 kg/m<sup>3</sup>, 400 kg/m<sup>3</sup> ve 500 kg/m<sup>3</sup> çimento ve ayrıca 200 + 200 kg/m<sup>3</sup> çimento + kireç miktarları kullanılmıştır. Bu dozajlardan iki grup olarak üretilen betonlardan birisi normal kür koşulları, diğeri ise donma-çözülme etkisi altında bırakılmıştır. Taze betonlar 24 saat kalıpta tutulduktan sonra, kalıptan çıkarılarak kirece doymun suda 7 gün korunmuştur. Bu süre sonucunda normal koşullarda kür edilecek beton örnekler suda 21 gün daha kalırken; donma - çözülme



etkisinde bırakılacak örnekler 12 saat donma ortamında (ortalama sıcaklığı yaklaşık -20 °C) tutulduktan sonra, 12 saat de su ortamına yeniden konularak, bu işlem dönüşümlü olarak 21 gün sürdürülmüştür. Her iki gruptaki beton örneklerin deneyleri 28'inci günde yapılmıştır.

Her iki grup için başlangıçta belirlenen dozaj düzeylerindeki betonlar üretilirken, karışım oranlarındaki su miktarları, bütün beton örnekleri için  $5\pm 1$  cm çökme verebilecek şekilde ayarlanmıştır.

Hafif betonların karışım oranlarının belirlenmesinde, taze betonların çökme ve birim ağırlıkları ile sertleşmiş betonların birim ağırlık, basınç ve çekme dayanımı ve elastikiyet modülünün saptanmasında, ayrıca normal kür koşullarının sağlanmasında ve donma-çözülme işleminin yapılmasında Anon. (1977), Anon. (1978a), Anon. (1978 b), Anon. (1978 c), Anon. (1980), Anon (1981 a), Anon. (1981 b), Lydon, (1981), Anon. (1976 a) (ASTM C 31, 39, 172, 192, 469, 495, 496, 567, 617, 666)'dan yararlanılmıştır. Ayrıca betonların birim ağırlık ve nem durumları gözönüne alınarak ısı iletkenliklerinin hesapla bulunmasında da Loudon ve Stacy (1966)'dan yararlanılmıştır.

Donma-çözülme etkisinde bırakılan ve bırakılmayan her iki gruba ilişkin farklı dozaj düzeyleri için üretilen üçer adet beton örneklerinden elde edilen değerlerin ortalaması ile sonuçlar belirlenmiştir.

## SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Araştırmaya konu olan hafif agregayla üretilen taze betonların dozajları, karışım oranları ve taze betona ilişkin bazı özellikler Tablo 3'de verilmiştir.

Taze betonların  $300 \text{ kg/m}^3$ ,  $400 \text{ kg/m}^3$ ,  $500 \text{ kg/m}^3$  çimento ve  $200 + 200 \text{ kg/m}^3$  çimento + kireç miktarlarıyla üretilmeleri durumundaki taze beton birim ağırlıkları sırasıyla  $1631 \text{ kg/m}^3$ ,  $1660 \text{ kg/m}^3$ ,  $1698 \text{ kg/m}^3$  ve  $1600 \text{ kg/m}^3$  olarak bulunmuştur. Taze betonların birim ağırlıkları çimento miktarıyla birlikte artmakta; kireç katkılı betonlarda ise bu değer en düşük düzeyde kalmaktadır.

Üretilen hafif betonların normal kür ve donma-çözülme sonucunda saptanan bazı özellikleri bu gruplar gözönüne alınarak, Tablo 4 ve 5'de verilmiştir. Bu tablolardan da görülebileceği gibi hafif betonların  $300 \text{ kg/m}^3$ ,  $400 \text{ kg/m}^3$ ,  $500 \text{ kg/m}^3$  çimento ve  $200 + 200 \text{ kg/m}^3$  çimento + kireç miktarlarına göre normal kür koşulları sonucundaki birim ağırlıkları sırasıyla  $1660 \text{ kg/m}^3$ ,  $1698 \text{ kg/m}^3$ ,  $1745 \text{ kg/m}^3$  ve  $1585 \text{ kg/m}^3$  olup, aynı sırayla bunların standart silindir örneklerden elde edilen basınç dayanımları ise  $85.5 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $112.5 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $125.3 \text{ kgf/cm}^2$  ve  $64.2 \text{ kgf/cm}^2$ 'dir. Bu

Tablo 3. Üretilen Taze Betonların Karışım Oranları ve Taze Beton Özellikleri.  
Table 3. Mix Proportions and Some Properties of Freshly-Mixed Concretes.

Çimento miktarı Cement (kg/m <sup>3</sup> )	Su miktarı Water (kg/m <sup>3</sup> )	Agrega miktarı Aggregate (kg/m <sup>3</sup> )	s/ç oranı w/c ratio	Çökme miktarı Slump (cm)	Birim ağırlık Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )
300	347	833	1.16	5 ± 1	1631
400	356	833	0.89	5 ± 1	1660
500	361	833	0.72	5 ± 1	1698
Çimento + kireç miktarı Cement + lime cont. (kg/m <sup>3</sup> ) 200 + 200	416	833	1.04	5 ± 1	1600

betonların 28 günlük standart örneklerden basınç etkisi altında farklı dozajlara göre saptanan verilere dayanılarak çizilen gerilme-deformasyon eğrileri Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu şekildeki eğrilerden hesaplanan ve normal küür koşullarında tutulan örneklerin elastikiyet modülleri, yukarıda belirlenen dozaj düzeyleri sırasına uygun olarak 51800 kgf/cm<sup>2</sup>, 65500 kgf/cm<sup>2</sup>, 69800 kgf/cm<sup>2</sup> ve 48600 kgf/cm<sup>2</sup>; yarıлма çekme dayanımları ise 14,9 kgf/cm<sup>2</sup>, 17,0 kgf/cm<sup>2</sup>, 18,4 kgf/cm<sup>2</sup> ve 9,8 kgf/cm<sup>2</sup>'dir.

Donma-çözülme etkisinde bırakılan 300 kg/m<sup>3</sup>, 400 kg/m<sup>3</sup>, 500 kg/m<sup>3</sup> çimento ve 200 + 200 kg/m<sup>3</sup> çimento + kireç dozajlı betonların, Tablo 4'te de verildiği gibi sırasıyla sertleşmiş beton birim ağırlıkları, 28 gün sonucunda 1652 kg/m<sup>3</sup>, 1669 kg/m<sup>3</sup>, 1735 kg/m<sup>3</sup> ve 1632 kg/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Betonların 24 saat suda tutulmalarıyla fırın-kuru ağırlıklarına göre saptanan su emme değerleri de Tablo 4'de verilmiştir.

Donma-çözülme etkisinde bırakılan örneklerden elde edilen 28 günlük basınç dayanımları belirtilen dozaj düzeylerine göre 80,6 kgf/cm<sup>2</sup>, 101,0 kgf/cm<sup>2</sup>, 109,8 kgf/cm<sup>2</sup> ve 50,0 kgf/cm<sup>2</sup> olup, yarıлма çekme dayanımları ise 14,2 kgf/cm<sup>2</sup>, 16,6 kgf/cm<sup>2</sup>, 17,9 kgf/cm<sup>2</sup> ve 8,2 kgf/cm<sup>2</sup>'dir. Basınç etkisinde saptanan gerilme-deformasyon eğrilerinden hesaplanan elastikiyet modülleri de 45000 kgf/cm<sup>2</sup>,

56000 kgf/cm<sup>2</sup>, 67000 kgf/cm<sup>2</sup> ve 28700 kgf/cm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur.

Araştırma için üretilen hafif betonların birim ağırlık ve nem durumları temel alınarak, Loudon ve Stacy (1966)'e göre hesaplanan ısı iletim katsayıları da Tablo 5'de verilmiştir.

Araştırmadan elde edilen veriler değerlendirildiğinde; taze ve sertleşmiş betonların birim ağırlıklarının çimento miktarı ile birlikte arttığı, bu değerlerin kireç katkılı betonlarda ise en düşük değere sahip olduğu görülür. Ancak sertleşmiş betonlar gözönüne alınırsa, donma-çözülme etkisinde bırakılan betonların 28 günlük birim ağırlıklarında, normal betonların birim ağırlıklarına göre ortalama olarak % 1,3 gibi önemsiz bir azalış; çimento + kireç içerikli betonlarda ise % 2,5 kadar bir artış saptanmıştır.

Üretilen hafif betonların standart silindir örneklerden elde edilen 28 günlük basınç dayanımları, genellikle çimento miktarı ile birlikte artış göstermiş, donma-çözülme etkisinde bırakılan betonların basınç dayanımları, normal küre koşullarında tutulan örneklere göre bir miktar azalmıştır. Ancak Tablo 5'ten de görülebileceği gibi bu azalma önemli düzeylerde değildir.

Her iki gruba ilişkin örneklerin elastikiyet modülü değerleri, basınç dayanımı değerlerinde olduğu gibi çimento miktarı ile birlikte artmıştır. Ancak donma-çözülme etkisinde bırakılan benzer örneklerin elastikiyet modülü değerleri biraz düşük elde edilmiştir. Bu düşüş kireç katkılı örneklerde daha belirgindir. Betonların elastikiyet modüllerinin saptandığı gerilme-deformasyon eğrileri incelendiğinde (Şekil 2), donma-çözülme etkisinde bırakılan betonlarda, aynı basınç gerilmesine karşılık olan deformasyonların diğer gruba göre daha büyük olduğu ve bunun çimento miktarıyla azaldığı görülmektedir. Ayrıca çimento ve kireçle üretilen betonlarda da gerilme etkisine karşı oluşan deformasyonların sadece çimento içeren betonlara göre daha fazla olduğu saptanmıştır.

Standart silindir örneklerin 28 gün sonundaki, yanılma çekme dayanımları ise, dozajla birlikte artmış, ancak donma-çözülme etkisinde bırakılan örneklerin yanılma çekme dayanımları Tablo 5'ten de görüldüğü gibi diğer gruba göre fazla olmamakla birlikte bir miktar düşük bulunmuştur.

Donma-çözülme etkisinde bırakılan örneklerin ve bunlarla paralel üretilen diğer örneklerin birim ağırlıkları arasında önemli bir fark olmadığından dolayı her iki gruba ilişkin betonların ısı iletim katsayıları arasında da büyük bir fark yoktur.

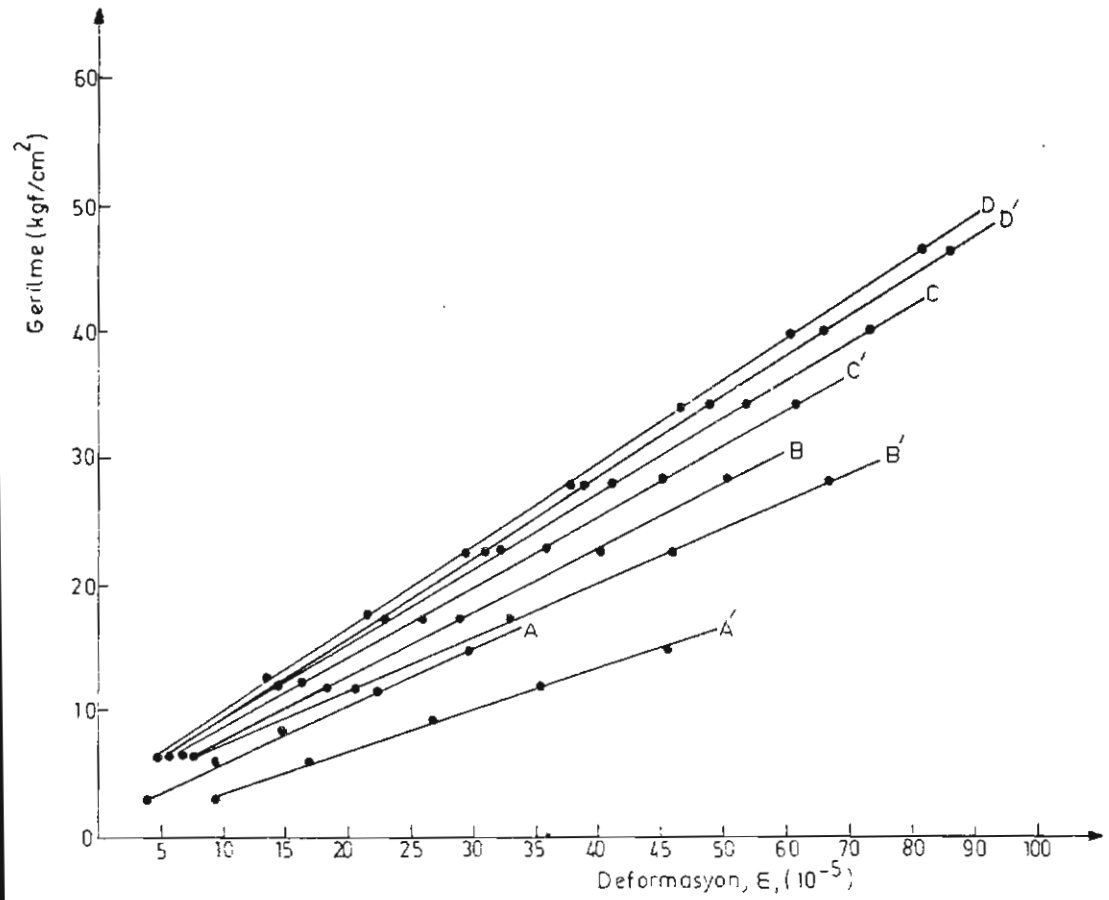
Tablo 4. Serleşmiş Halif Betonların Birim Ağırlıkları ve Su emmeleri.  
Table 4. Unit Weight and Water Absorption of Lightweight Concretes.

Özellik	300 çimento		400 çimento		500 çimento		200 + 200 çimento-kireç	
	normal kür	donma-çözülme	normal kür	donma-çözülme	normal kür	donma-çözülme	normal kür	donma-çözülme
28 günlük 28 day	1660	1652	1698	1669	1745	1735	1585	1632
Azalış (%) Reduction	0,48		1,71		0,57		2,88 (arış)	
Normal hava koşullarında denge neminde, Normal curing conditions	1471	1462	1547	1509	1613	1603	1368	1396
Azalış (%) Reduction	0,61		2,52		0,62		2,00 (arış)	
Fırın kuru Oven-dry	1418	1411	1507	1448	1566	1552	1320	1354
Azalış (%) Reduction	0,49		3,91		0,89		2,51 (arış)	
Su emme (%) Water absorption	15,4	17,1	12,7	15,3	10,8	12,5	17,7	19,4
Artış (%) Increase	11,04		20,47		15,74		9,60	

BİRİM AĞIRLIK (kg/m<sup>3</sup>)

Table 5. Strength Characteristics and Thermal Conductivity of Lightweight Concretes.

Özellik	300 çimento		400 çimento		500 çimento		200 + 200 çimento-kireç	
	normal küre	donma-çözülme	normal küre	donma-çözülme	normal küre	donma-çözülme	normal küre	donma-çözülme
28 günlük silindirik basınç dayanımı (kgf/cm <sup>2</sup> ) compressive strength	85,5	80,6	112,5	101,0	125,3	109,8	64,2	50,0
Azalış (%) Reduction	5,73		10,22		12,37		22,12	
Yarıma çekme dayanımı (kgf/cm <sup>2</sup> ) Splitting tensile strength	14,9	14,2	17,0	16,6	18,4	17,9	9,8	8,2
Azalış (%) Reduction	4,70		2,35		2,71		16,33	
Elastisiteyet modülü (kgf/cm ) Modulus of elasticity	51800	45000	65500	56000	69800	67000	48600	28700
Azalış (%) Reduction	13,22		14,50		4,01		40,95	
Fırın kuru Oven-dry	0,29	0,29	0,33	0,31	0,35	0,34	0,27	0,28
Azalış (%) Reduction	0		6,0		2,90		3,70 (artış)	
Nemli Moist	0,36	0,36	0,38	0,39	0,42	0,41	0,33	0,34
Azalış (%) Reduction	0		2,63 (artış)		2,38		3,03 (artış)	



Normal kür koşullarında tutulan :

- A - 200 kg/m<sup>3</sup> + 200 kg/m<sup>3</sup> çimento + kireçli betonlar
- B - 300 kg/m<sup>3</sup> çimento içerikli betonlar
- C - 400 kg/m<sup>3</sup> çimento içerikli betonlar
- D - 500 kg/m<sup>3</sup> çimento içerikli betonlar

Donma-çözülme etkisinde tutulan :

- A' - 200 kg/m<sup>3</sup> + 200 kg/m<sup>3</sup> çimento + kireçli betonlar
- B' - 300 kg/m<sup>3</sup> çimento içerikli betonlar
- C' - 400 kg/m<sup>3</sup> çimento içerikli betonlar
- D' - 500 kg/m<sup>3</sup> çimento içerikli betonlar

Şekil 2. Donma-çözülme etkisinde tutulan ve tutulmayan hafif betonların "Gerilme-Deformasyon" eğrileri

Figure 2. Stress -Strain diagrams of lightweight concretes

Fırın-kuru birim ağırlıkları temel alınarak, örnekler için hesaplanan 24 saatlik su emme değerleri, Tablo 4'ten de görülebileceği gibi, dozaj artışına bağlı olarak azalmış, su emme kireç katılan betonlarda en büyük değere ulaşmıştır. Donma-çözülme etkisinde bırakılan örneklerin su emmesi, diğer gruba göre daha fazla bulunmuştur. Bunun nedeni, donma-çözülme sonucunda beton bünyesindeki gevşeme ile oluşan boşlukların artması ile açıklanabilir.

Araştırmada kullanılan doğal hafif agregayla üretilen betonların çimento miktarıyla önemli mekanik dayanımlarının arttığı, kireç katkısıyla bu dayanımların azaldığı ve donma-çözülme etkisinin betonun özellikleri üzerinde önemsiz derecede olumsuz etkilere sahip olduğu ve bu betonların soğuk iklim koşullarına açık, yapı elemanlarında da başarıyla kullanılabilmesi sonucuna varılabilir. Bu şekilde hafif betonların hafiflik ve yeteri derecede dayanım gerektiren yapı elemanlarında, yalıtım betonu ve taşıyıcı olarak kullanılabilmesi söylenebilir. Dolayısıyla, Doğu Anadolu Bölgesinin soğuk iklimi ve birinci derece deprem bölgesi olma durumu gözönüne alındığında; hafif betonların özellikle kırsal alandaki tarımsal yapıların yalıtım ve hafiflik gerektiren yapı elemanlarında kullanılması bazı üstünlükler sağlayabilecektir.

## KAYNAKLAR

- Anonymous, 1968. Recommended Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete, ACI Journal, 65.
- Anonymous, 1973. Manufacture and Application of Lightweight Concrete, Overseas Buildings Notes, No. 152.
- Anonymous, 1976 a. Concrete and Mineral Aggregates, American Society for Testing and Materials, ASTM Standards, Part 14, Philadelphia.
- a) C 31, Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field.
  - b) C 39, Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
  - c) C 172, Sampling Fresh Concrete.
  - d) C 192, Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory.
  - e) C 330, Lightweight Aggregates for Structural Concrete.
  - f) C 331, Lightweight Aggregates for Masonry Units.
  - g) C 469, Static Modulus of Elasticity and Poisson Ration of Concrete in Compression.
  - h) C 496, Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
  - i) C 567, Unit Weight of Structural Lightweight Concrete.

- j) C 617, Capping Cylindrical Concrete Specimens.
- k) C 666, Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing.
- Anonymous, 1976 b. Hafif Agregalar, TS 1114. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1977. Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesapları, TS 2511. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1978 a. Laboratuvarında Beton Deney Örneklerinin Hazırlanması ve Bakımı, TS 3068. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1978 b. Beton Basınç Dayanımı Deney Yöntemi, TS 3114. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1978 c. Betonda Yarıma Çekme Dayanımı, TS 3129. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1980. Çabuk Donma ve Çözülme Koşulları Altında Betonda Dayanıklılık Faktörü, TS 3449. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1981 a. Betonda Statik Elastisite Modülü ve Poisson Oranı Tayini, TS 3502. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1981 b. Sertleşmiş Betonda Özgül Ağırlık, Su Emme ve Boşluk Oranı Tayini Yöntemi, TS 3624. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1984. Ortalama, Ekstrem Sıcaklık ve Yağış Değerleri Bülteni, T.C. Başbakanlık Devlet Meteoroloji Gn. Md. Ankara.
- Bamforth, P.B., 1987. The Properties of High Strength Lightweight Concrete, Concrete, (4), 8-9.
- Bayülke, N., 1978. Deprem ve Depreme Dayanıklı Yapılar, İmar ve İskan Bakanlığı, Deprem Araştırma Enstitüsü Bşk. Ankara.
- Bobrowski, J., 1980. Outstanding Applications of Lightweight Concrete and An Application of Likely Future Developments, Journal of Lightweight Concrete, 5-20.
- Bomhard, H., 1980. Lightweight concrete Structures Potentialities Limits and Realities Journal of Lightweight Concrete, 2, (4), 193-209.
- Clarke, J.L., 1987. Shear Strength of Lightweight Aggregate Concrete, Cement and Concrete Association, C, (4), 12-13.
- Clarke, J.L., 1987. Shear Strength of Lightweight Aggregate Concrete, Cement and Concrete Association, C, (4), 12-13.
- Klieger, P. and Hanson, J.A., 1961. Freezing and Thawing Tests of Lightweight Aggregate Concrete. ACI Journal, Proceedings, 57, 779-796.



- Loudon, A.G., and Stacy, E.F., 1966. The Thermal and Acoustuc Properties of Lightweight Concretes, *Structural Concrete*, 3 (2), 58-95.
- Lo-shu, K., S. Man-qing, S. Xing-sheng and L.Yun-xiu, 1980. Research on Several Physico-Mechanical Properties of Lightweight Aggregate Concrete, *Journal of Lightweight Aggegate Concrete*, 2 (4) 185-191.
- Mazurkiewicz, E., 1982. Cotribution a L'etude de La Resistance du Beton au Gel, *Materiaux et Constructions*, Vol. 15, pp. 195-198.
- McClune, C.R. J. Moorhouse, 1981. The Development of Waterproof Insulating Materials Based on Lightweight Concrete, *Magazine of Concrete Research*, 33, 27-36.
- Neville, A.M., 1973. *Properties of Concrete*, John Wiley and Sons.
- Postacıoğlu, B., 1975. *Yapı Malzemesi Dersleri, Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton, Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul.*
- Postacıoğlu, B. ve E. Bora, 1984. Doğal Hafif Agregalı Taşıyıcı Hafif Betonların Betonarme Yapılarda Kullanılma Olanakları, *Kuzey Doğü Anadolu I. Ulusal Deprem Sempozyumu*, s. 39-41. Erzurum.
- Spratt, B.H., 1975. *An Introduction to Lightweight Concrete, Cement and Concrete Association, Wexham Springs.*
- Taşdemir, M.A., 1982. *Taşıyıcı Hafif Agregalı Betonların Elastik ve Elastik Olmayan Davranışları, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul.*
- Turgutalp, E.Ü., 1978. *Sarıkamış Yöresi Doğal Hafif Agregasıyla Üretilen Betonların Tarımsal Yapılarda Kullanılabilme Olanakları Üzerine Bir Araştırma (Doçentlik Tezi, Basılmamış), Erzurum.*
- Turgutalp, E.Ü., 1982. *Deprem Bölgelerindeki Tarımsal Yapılarda Yapı Malzemesi ve Yapı Kongsrüksiyonu Özellikleri, Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 1 (1), s. 69-78.
- Weigler, H., and S. Karl, 1980. *Structural Lightweight Aggregate Concrete With Reduced Density - Lightweight Aggregate Foamed Concrete.*