

## Karaman ve Civarı Pomza Oluşumlarının Hafif Beton Sektöründe Agregata Olarak Yeri ve Önemi

N. Şapçı & L. Gündüz

Süleyman Demirel Üniversitesi, Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi, İsparta

M. Ulusoy

Selçuk Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Konya

**ÖZET:** Pomza taşının farklı endüstri alanlarında kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu malzemeler, genellikle inşaat yapı sektöründe, hafif yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ancak, kimyasal bileşimleri ve yapısal oluşum özellikleri itibarıyla, kullanım alanları da genişlemektedir. Bu bildiriye, Karaman ve civarında oluşumu bulunan pomza örnekleri üzerinde yapılan bir araştırmanın bulgularına göre, inşaat sektöründe bu malzemelerin yapı hammaddesi olarak kullanılabilirliği için bilinmesi gereken teknik özellikler verilmiştir. Ayrıca, bu pomza agreganın, diğer pomza agregata türleri ile teknik olarak karşılaştırmaları da tartışılmıştır.

**ABSTRACT:** The usage of lightweight pumice aggregate shows a gradually rising trend in different industrial areas. In majority, they are used as a lightweight building material in civil structuring sector. However, their usage areas are getting world wide based on their chemical components and also structural formation status. In this paper, according to the research findings carried out on the pumice material of Karaman Region, the technical properties required to know for using the aggregates as a structural raw material in building construction industry were presented in detail and their comparison with the other types of pumice aggregates on a technical aspect was also discussed.

### 1. GİRİŞ

Beton sektöründe hafif agregata kullanımının önemi, ülkemizde yaşanan elim deprem olayları sonucu daha da iyi anlaşılmasına başlanmış, çoğu beton üreticisi hafif ve doğal malzemelerin beton endüstrisinde farklı amaçlarla kullanımı üzerine ArGe çalışmalarına başlamıştır. Ülkemizde hafif ve doğal agregata olarak kullanılacak malzemeler arasında, farklı yörelerde bulunan pomza oluşumları, volkanik cüruf oluşumları, diatomit ve perlit oluşumlarını sayabilmek mümkündür. Ancak, bu doğal yapıya sahip kayaların, mühendislik açısından ve endüstriyel anlamda bir dizi özellikleri sağlaması gerekmektedir. Bu bakımdan, ilgili TS ve ASTM standartlarında öngörülen prensipler çerçevesinde, bu tür malzemeler üzerinde bir seri deneysel analiz çalışmaları yapılarak, sektörel olarak kullanılabilirlik kriterlerinin tanımlanması ve yorumlanması gerekmektedir.

Ülkemizde İç Anadolu Bölgesi, Karaman ve civarında geniş oluşum dağılımları gözlenen pomza serilerinin, beton endüstrisinde hafif agregata olarak değerlendirilebilirliği, yukarıda söz konusu edilen bağlamda analizleri yapılarak, güncel olarak kullanıma gelmiş ve diğer yörelere ait pomza oluşumları ile teknik açıdan karşılaştırılması, hafif agregata sektörü açısından bir ışık tutacaktır. Bu amaçla, Süleyman Demirel Üniversitesi, Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi ve sektör işbirliğinde, bu yöre pomza oluşumları üzerinde hafif agregata olarak değerlendirilebilirliğine ilişkin bir dizi inceleme ve araştırma çalışması yapılmıştır. Bu incelemelerde, Karaman ve civarındaki pomza oluşumlarından alınan örnekler PKRI ve PKRII olarak etiketlenmiştir. Ayrıca, bu malzemenin diğer yörelerin pomza örnekleri ile mukayesesinin yapılabilmesi amacıyla, Nevşehir Bölgesinden alınan pomza agregata örnekleri lokasyonlarına göre PNI ve PNU, Kayseri Bölgesinden alınan pomza agregata örnekleri lokasyonlarına göre PKI ve PKII,

İsparta Bölgesinden alınan pomza agrega örnekleri lokasyonlarına göre de PİSİ ve PİSII olarak kodlanmıştır. Günümüzde, Karaman ve civarındaki pomza oluşumları, hafif yapı elemanı olarak blok endüstrisinde ve hafif agrega olarak sektörel bazda kullanılmaktadır. Ancak, bu pomza oluşumunun, pomza türü ve malzeme karakteristiği açısından, güncel olarak sektörde kullanılan diğer pomza agregalarıyla karşılaştırılması üzerine teknik detay bir çalışmaya rastlamak yeterince mümkün değildir. Bu makalede, Karaman ve civarındaki pomza oluşumlarının diğer pomza türleri ile teknik mukayesesi, yapılan bir dizi deneysel bulgulara göre irdelenmiştir.

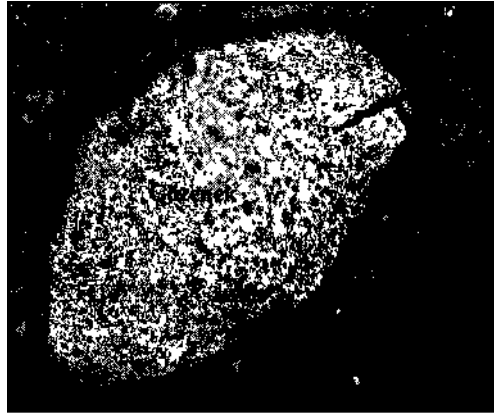
## 2. KARAMAN ve CİVARI POMZA AGREGASI

Agrega örneklerinin makroskopik özellikleri üzerine yapılan incelemelerde, süngerimsi ve boşluklar içeren bir yapıda olduğu gözlenmiştir. Agregada tanelerinde, yüksek oranda görülen gözeneklerin bir kısmının açık gözenek, bir kısmının da kapalı gözenek karakterli olduğu gözlenmiştir.

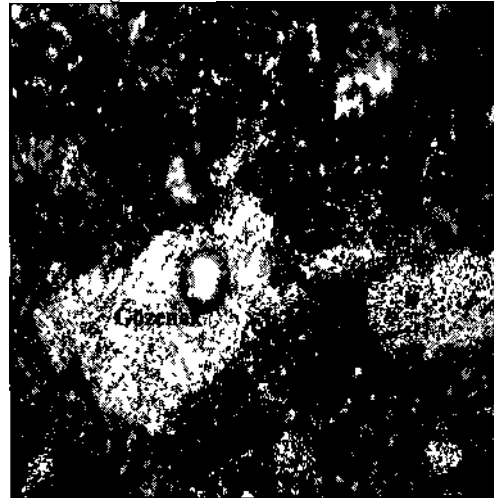
Mikroskopik olarak yapılan incelemelerde ise, agrega yapısının volkanik cam matriksinden oluştuğu belirlenmiştir. Kayaç oldukça poroz bir yapıya sahip olup, matriks içerisindeki boşlukların dağılımı genel olarak homojenlik göstermektedir. Boşlukların boyutları çoğunlukla küçük-orta boyutlu, yer yer iri boyutlu boşluklar da görülebilmektedir (Şekil 1). Kayaç içerisindeki boşluklar belirli bir şekle sahip olmayıp, özellikle iri boyuttaki boşluklar şekilsiz ve belirli bir yönelme göstermektedirler. Bu yönelme aynı yönde uzunlamasına gelişmiş bir dizilim şeklindedir. Boşluklar genellikle birbirleriyle bağlantısız olup, birbirlerine komşu boşluklar yine birbirlerinden çok ince bir cidarla ayrılmışlardır (Şekil 2). Matriks içerisinde, tanımlanabilecek ölçekte bir akma ve zonlanma yapısı bulunmamaktadır.

Kayaç içerisinde kristaller de bulunmaktadır. Çoğunluğu amfibol olmak üzere, piroksen, biyotit, plajyoklaslar ve opak mineraller gözlenmektedir. Kesitin bazı kısımlarında Amfibol kristallerinin kenar ve dilinimleri boyunca opaklaşmanın olduğu gözlenmektedir (Şekil 3). Opak mineraller kayaç içerisinde az miktarda, öz şekilsiz ve küçük

boyutlu mineraller şeklindedir. Bu yapısal olgu, pomza agregalarında genelde görülen yapısal durumu temsil etmektedir (Şekil 4). Bu açıdan irdelendiğinde, PKRI ve PKRII agrega örneklerinin, dasitik özellik gösteren bir kayaç yapısında olduğu gözlenmiştir.



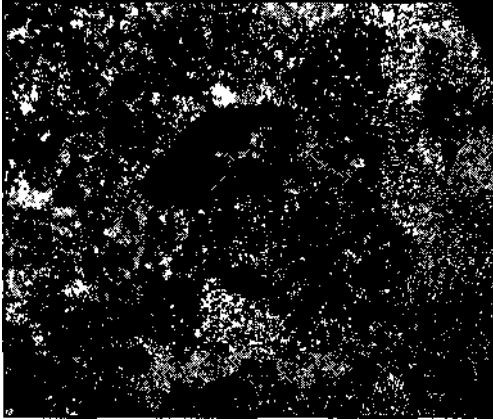
Şekil 1. PKRI agrega örneğinin poroz yapısının görünümü.



Şekil 2. PKRI agrega örneğinin boşluk geometrisi görünümü.



Şekil 3. PKRI agrega örneğinde bulunan minerallerin görünümü.



Şekil 4. PKRI agrega örneğinde bulunan opak mineraller.

### 3. KARAMAN BÖLGESİ-DİĞER YÖRE POMZA OLUŞUMLARININ TEKNİK KAPASİTELERİ VE MUKAYESESİ

İnşaat sektöründe agrega olarak kullanılacak pomza oluşumlarının detay olarak irdelenebilmesi amacıyla, öncelikle kayaç yapısının oluşum mekanizması açısından etüt edilmesi gereklidir. Kayaçlar oluşum şekillerine bağımlı olarak, farklı karakteristik birer yapı gösterebilmekte ve buna bağımlı olarak da, kullanım yeri ve özellikleri de farklı olabilmektedir (Gündüz, 2001). Birçok araştırmacı tarafından yapılan etütlerde, kayaçlar

farklı şekillerde sınıflandırılabilir (Uz, 1987, Gass et.al., 1973). Pomza oluşumlarının nitelik olarak irdelenmesinde en yaygın olarak kullanılanı, kimyasal sınıflama şeklindedir. Bu sınıflandırma, kayacın kimyasal yöntemlerle analizi sonucu elde edilen elementlere dayanarak yapılmaktadır. Kayacın kimyasal bileşimine dayanarak, oluşum (jenerik) ve magma özellikleri, kayaç serilerini tanımlamaya yaramaktadır. Bu sınıflandırma, kayacın yapı, doku ve direkt olarak mineralojik bileşimi hakkında bilgi vermez, ancak, bazı yardımcı yöntemlerle mineralojik bileşimi saptanabilir (Uz, 1987).

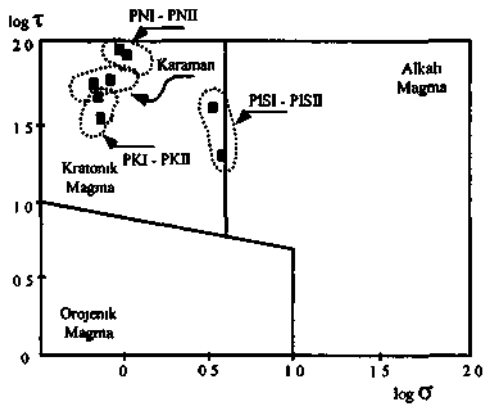
Türkiye'deki farklı yörelere ait ve endüstriyel olarak kullanılan pomza taşı oluşumlarının majör element analiz değerleri Çizelge 1'de verilmiştir. Pomza taşının kimyasal özelliklerinin oluşumunda en etkin majör element  $SiO_2$  olup, agrega kompozisyonun asidik ve/veya bazik karakteristik gösterdiğini sembolize etmektedir. Kayacın içerdiği  $SiO_2$  oranı, kayaca asidik özellik kazandırdığı gibi, ayrıca abrasif özellik de kazandırmaktadır. Bu nedenle, çeliği rahatlıkla aşındırabilecek bir kimyasal yapı sergileyebilmektedir.  $Al_2O_3$  majör bileşimi ise, ateşe ve ısıya yüksek dayanım özelliği kazandırır. İnşaat sektörü açısından bakıldığında, hafif agrega olarak kullanılacak pomza taşının asidik karakterde olması ve  $Fe_2O_3 > 3$  oranının düşük, bunun tersine  $Al_2O_3$  oranında yüksek olması arzu edilmektedir. Bu açıdan Çizelge 1 irdelendiğinde, diğer yöre pomza örneklerinde olduğu gibi, Karaman pomza oluşumları da asidik özellik gösteren bir malzeme yapısında olduğu ve inşaat sektörü açısından arzu edilen kimyasal bileşimleri sağladığı gözlenmektedir.

İnşaat sektöründe hafif agrega olarak kullanılacak pomza agregaların genellikle kratonik bir magma ürünü olan kayaçlar çoğunlukla tercih edilmektedir. Çimento ile bağ yapma kuvvetleri, kratonik magma ürünü agregalarda daha yüksek olduğu tecrübe edinilmiştir. Bu bakımdan, pomza agregaların endüstriyel olarak kullanımında, orijinini bilmek önemli bir noktadır. Ayrıca, malzemenin yapısını oluşturan kimyasal bileşenlerine göre orijini tanımlayabilmek de mümkündür. Pomza kayacı, volkanik bir aktivite sonrası meydana geldiği için orijin tanımı, magmanın oluşum şekline göre yapılabilmektedir.

Çizelge 1. Pomza agrega örneklerinin kimyasal bileşimi.

Pomza Agrega	Kimyasal Bileşen (%)									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	MgO	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	A.K	
PNI	72.00	12.75	1.30	3.90	0.20	4.30	0.70	0.08	4.20	
PNU	70.50	13.00	1.20	3.75	0.20	4.55	1.35	0.09	5.25	
PKI	66.80	14.75	2.85	3.95	0.80	2.75	2.95	0.33	4.15	
PKII	68.50	14.90	3.10	4.10	0.95	2.75	2.90	0.24	2.30	
PISI	59.00	16.60	4.80	5.20	1.80	5.40	1.80	0.60	1.60	
PISII	61.00	16.90	2.40	5.40	0.70	5.30	3.40	0.30	4.00	
PKRI	69.80	13.80	2.00	3.50	0.40	4.00	1.40	0.18	4.00	
PKRII	64.30	15.20	3.70	3.30	0.80	2.80	4.00	0.22	3.30	

Ritmann'ın 1976'da magmanın oluşum ve kimyasal bileşimine göre geliştirdiği ve önerdiği sınıflama sistemi esas alınarak, pomza kayacı orijinlerine göre tanımlanmış olup (Eşitlik 1 - Eşitlik 2), değerlendirme bulgusu Şekil 5'de verilmiştir. Şekil 5'den de görüldüğü gibi, kayacı oluşturan magma; *Kratonik*, *Orejenik* ve *Alkali* magma olmak üzere 3 ana grupta ele alınmıştır. Karaman pomza oluşumları da Türkiye'deki diğer yöre pomzalarında görüldüğü gibi, kratonik magma orijinli bir kayaç yapısına sahiptir. Bu açıdan, inşaat sektöründe arzu edilen kratonik magma orijinli malzemeler kategorisinde yer almaktadır.



Şekil 5. Pomza oluşumlarının orijinlerinin irdelenmesi.

$$\sigma = \frac{(Na_2O + K_2O)^2}{SiO_2 - 43} \quad [1]$$

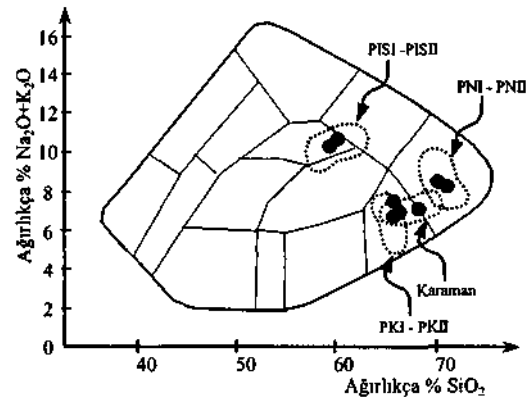
$$\tau = \frac{Al_2O_3 - Na_2O}{TiO_2} \quad [2]$$

Burada;

o : silika, sodyum ve potasyuma göre kimyasal bileşen, %,

T : Alüminyum, sodyum ve titanyuma göre kimyasal bileşen, %

Yapısal olarak kayaçların irdelenmesinde mukayese kriteri olarak kullanılabilen bir diğer inceleme ise, petrokimyasal açıdan kayaçların tanımlanmasıdır. Kayaçın silika ve alkali içeriklerine göre yapılan bir sınıflama sistemi, çoğu araştırmacılar tarafından günümüze değin kullanıla gelmiştir. İnşaat sektöründe, hafif agrega olarak günümüze kadar kullanıla gelmiş pomza agrega örneklerinin, riolit, dasit ve traki-andezit yapıda olduğu tecrübe edilmiştir. Bu açıdan, Karaman ve civarı pomza örneklerinin, bu değerlendirme açısından hangi kayaç kategorisinde yer aldığı analiz edilmiştir. Bu analiz bulgusu ve pomza agrega örneklerinin bu sınıflama sistemine göre yapılan değerlendirmesi Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Silika ve alkali içeriklerine göre pomza oluşumlarının mukayesesi.

Şekil 6 irdelendiğinde görüldüğü gibi, pomza oluşumlarından PNI ve PNU türü, Riyolit kökenli bir malzeme yapısında, PKI ve PKII türü, Dasitik kökenli bir malzeme yapısında ve PİSİ ve PİSII türü ise Traki-Andezitik yapıda olduğu görülmektedir. Karaman pomza oluşumları (PKRI ve PKRII) ise Dasitik yapıda olduğu görülmekte olup, pomza kayaçları için genelde görülen yapısal oluşumlardan farklı bir karakter sergilemediği gözlenmektedir.

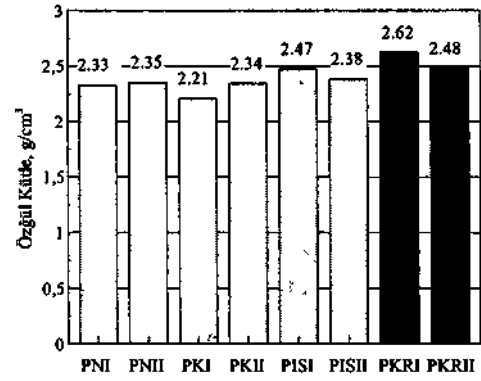
Pomza taşının endüstriyel alanlarda hammadde olarak kullanılabilirliğinin etüdü için, kayacın yapısal özelliklerinin yanı sıra, fiziksel özelliklerinin de bilinmesi gerekmektedir. Genelde, fiziksel büyüklükler olarak malzemede endüstriyel anlamda aranan özelliklerin başında özgül ağırlık, kuru birim ağırlık, su emme kapasitesi, gözeneklilik dağılımı ve karakteristiği, donmaya karşı dayanım, kapilarite (kılcal su nüfuz katsayısı), ateşe dayanıklılık ve sıcaklık etkisinde değişim, ısı iletkenlik analizi, akustik özellikler ve ses yutuculuk değerleri gibi özellikleri gelmektedir (Şener, 1999). Araştırmada ele alınan her bir pomza türü için bu özellikler deneysel olarak belirlenmiş olup, özellikle Karaman pomza oluşumlarının, diğer pomza türlerine göre mukayesesi aşağıdaki alt bölümlerde irdelenmiştir.

### 3 1. Özgül Ağırlık ve Kuru Birim Ağırlık Analizi

Özgül birim ağırlık, agrega tanelerinin işgal ettiği gerçek birim hacimdeki ağırlık değeri olarak tanımlanmakta (Eriç, 1994) ve TS 3526'da belirtilen esaslara göre deneysel olarak belirlenebilmektedir. Hafif agrega olarak kullanılacak pomza agregaların özgül birim ağırlık değerlerinin minimum 2.1 g/cm olması arzu edilmektedir. Karaman pomza örneklerinin özgül birim ağırlık açısından diğer pomza örnekleri ile mukayesesi Şekil 7'de verilmiştir.

Agreganın kuru birim ağırlığı ise, belirli bir hacmi dolduran agrega tanelerinin oluşturduğu ağırlık olarak tanımlanmakta olup, TS 3529 ve DİN 4226'da belirtilen esaslara göre analiz edilebilmektedir. Agreganın kuru birim hacim ağırlığı, bu malzemeden elde edilecek endüstriyel ürünlerin teknik kapasitelerine doğrudan etki etmektedir. Örneğin, agreganın kuru birim hacim ağırlığının yüksek olması, bu malzeme ile üretilecek beton veya beton türevi elemanların

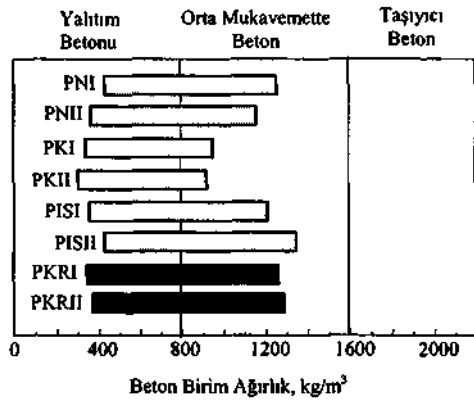
dayanımını iyileştirirken, bu ürünün ısı özelliklerinin de dezavantajlı bir duruma gelmesine neden olmaktadır. Bu tarz etkileşimler, agregaların elde edilecek ürün bağlamında teknik-deneysel olarak detaylı analizlerini gerektirmektedir. Pomza örneklerinin hafif agrega olarak değerlendirilebilirliğinde, agrega tane boyutlarına göre kuru birim hacim ağırlık değerinin 300-1200 kg/m<sup>3</sup> arasında olması tecrübe edinilmiştir. Ayrıca, agrega olarak malzemenin birim ağırlık değerlerini bilmek, ön planlama aşamasında endüstriyel anlamda yorum yapılabilmesine de olanak sağlamaktadır. Bu bakımdan, Karaman pomza agrega örneklerinin diğer pomza agregaları ile mukayesesi Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelge 2'den de görüldüğü gibi, PKRI ve PKRII pomza agrega örneklerinin birim ağırlık değerlerine göre, istenilen limit değerleri sağladığı belirlenmiştir. Ayrıca, aynı kayaç kökenine sahip olmalarına karşın, PKRI ve PKRII agrega örnekleri, PKI ve PKII pomza agrega örneklerinden %57 oranında daha ağır bir malzeme olduğu da görülmektedir.



Şekil 7. Pomza örneklerinin özgül birim ağırlık analizi.

Pomza agrega kullanımlarına göre elde edilebilecek betonların birim ağırlık ve dayanım değerleri üzerine yapılan inceleme bulgularına göre, agrega boyutu, türü ve birim ağırlığı ile beton teknik özellikleri arasında önemli bir ilişki bulunmaktadır. Pomza agregalı betonların, birim ağırlık ve dayanım değişimleri karşılaştırılmalı olarak Şekil 8'de verilmiş olup, Karaman pomzasının bu kategorideki yeri de ayrıca gösterilmiş olup, yapısal olmayan ve yalıtım betonu amaçlı yada orta

mukavemette beton elde etmek için kullanılabilir bir agrega karakteristiğinde olduğu görülmüştür.



Şekil 8. Pomza agregalarla üretilen betonların özellikleri.

### 3.2. Su Emme Kapasite Analizi

Gözenekli agregaların su emme kapasiteleri, su emme hızları ve içinde bulundurduğu nem yüzdesi, birçok endüstri alanında malzemelerin kullanılabilirlik kriterlerini oluşturmaktadır. Ayrıca, agrega tanelerinin kompozitesi, doluluk oranı, açık ve/veya kapalı gözenek dağılım oranı ve doyma derecesi, malzemenin su emme kapasitesine etki eden başlıca faktörlerdir. Bu faktörler, agreganın birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık değerlerine bağlı olarak tanımlanabilmektedir. Hafif betonun gözeneklerinde tutulan su, betonun genel olarak mekanik ve termik özelliklerini olumsuz yönde etkilediği için, betonun hiç su emmemesi ya da minimum ölçülerde su emmesi arzu edilir. Bu nedenle, betonda kullanılacak agreganın, düşük su emme oranına sahip olması gerekmektedir. Betonun oluşturan gözenekli agregaların su emme kapasitesi, gözenek oranlarına ve gözenek yapılarına bağlıdır (Gündüz, 2001). Agregaların su emme oranları

dökme birim ağırlıklarının bir fonksiyonu olarak gösterilebilmektedir. Pomza agrega örneklerinin su emme kapasite değerleri, ASTM C-127/42 ve C-128/57 standartlarında belirtilen esaslara göre analiz edilmiş olup, teknik bulgular Çizelge 3'de verilmiştir. Çizelge 3 irdendiğinde, PKRI ve PKRII pomza agregalarının, diğer tür pomza agregalarına göre en düşük su emme kapasitesine sahip pomza agregaları olarak görülmektedir. Bu da, bu pomzaların teknik açıdan oldukça dikkat çekici bir malzeme karakteristiğini de gündeme getirmektedir.

### 3.3. Rötire

Betonlar döküldükten sonra sertleşmelerini tamamlayıncaya kadar mm/m düzeyinde boyutları küçülür. Bu olaya rötire adı verilmektedir. Çekme hızı ve miktarı farklı olan malzemelerin, yapıda birlikte kullanılması, çatlama ve sıva dökülmelerine neden olabilmektedir.

Betonlarda rötrenin büyüklüğü, agregaların mekanik dayanımları ve inceliği, betondaki çimento dozajı ile doğrudan ilgilidir. Pomza agregaları ile elde edilen betonların genel olarak görülen rötire değerleri, Çizelge 4'de verilmiştir.

### 3.4. Dona Dayanıklılık

Dış ortam şartlarına maruz kalacak agrega kullanımlarında, örneğin beton uygulamalarında, agreganın boşlukları kısmen suya doygun durumda iken sık sık donma-çözülme olayı etkisine maruz kalmaktadır. Bu nedenle de, agreganın bünyesinde kırılmalar ve kılcal çatlaklar meydana gelebilmektedir. Bu olgu, farklı kimyasal çözeltiler yardımıyla, agrega malzemesinin dayanıklılığı test edilebilmektedir (Özer, 1982). Genelde uygulanan çözeltiler, sodyum sülfat veya magnezyum sülfat çözeltileri olmaktadır.

Çizelge 2. Pomza agrega örneklerinin birim ağırlık analizi.

Pomza Agregası Boyutu	Pomza Türü KBHA, (kg/m³)							
	PNI	PNU	PKI	PKII	PISI	PISII	PKRI	PKRII
0-4 mm	830±5	748±5	550±5	580±3	950±5	860±4	825±5	804±5
4-8 mm	594±5	561±5	382±5	410±3	740±5	610±4	715±5	690±5
8-16mm	502±5	516±5	330±5	355±3	635±5	380±4	595±5	580±5

Çizelge 3. Pomza agrega örneklerinin su emme ve gözenek analizi.

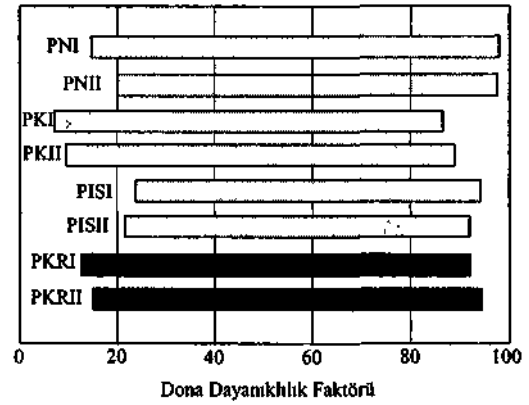
	Boyut	PNI	PNU	PKI	PKII	PİSİ	PISII	PKRI	PKRII
Su Emme	0-4 mm	22.75	26.20	30.42	28.33	11.08	12.18	9.15	9.91
Oranı	4-8 mm	33.58	35.40	43.61	41.18	15.43	18.76	14.12	14.93
(%)	8-16 mm	39.34	40.30	48.77	46.42	23.37	25.44	19.64	19.81
Açık Gözenek	0-4 mm	23.37	17.83	38.41	35.52	22.41	13.64	7.18	5.94
Oranı	4-8 mm	24.00	22.78	44.67	42.84	29.22	17.86	18.42	15.93
(%)	8-16 mm	30.09	26.76	51.20	48.93	31.33	24.80	23.35	20.35
Kapalı Gözenek	0-4 mm	41.13	50.04	36.51	37.04	47.81	48.13	57.70	61.60
Oranı	4-8 mm	50.47	53.11	38.01	35.99	47.05	45.22	51.17	56.61
(%)	8-16 mm	48.34	51.04	33.80	32.59	47.58	41.84	49.01	56.23
Doluluk	0-4 mm	35.50	31.89	25.08	27.44	29.78	38.23	35.12	32.46
Oranı	4-8 mm	25.53	24.11	17.32	21.17	23.73	36.92	30.41	27.86
(%)	8-16 mm	21.57	22.20	15.00	18.48	21.09	33.36	27.64	23.42

TS 3655 standardında öngörülen *havada donma* veya *kimyasal metotla donma analizi* prensipleri uygulandığında, agregada ağırlık kaybı, havada donmada %4'den fazla, kimyasal metodun uygulanması durumunda sodyum sülfat çözelti uygulamasında %18'den, magnezyum sülfat uygulamasında ise %27'den fazla ağırlık kaybı olmaması arzu edilmektedir. Pomza agregalar için sodyum sülfat çözeltisi etkisindeki ağırlık kaybı değişimleri Çizelge 5'de verilmiştir.

Bu parametrik değerler, pomza agregaların donma-çözülme olgusu sonucu herhangi bir bozunuma uğramadığını göstermekte olup, atmosfer ortamlarına yüksek dayanım özelliği taşımaktadır.

İnşaat sektörü açısından pomza agregaların irdelemesinde kullanılması gerekli bir diğer faktör ise, pomza agrega ile yapılmış betonun *dona dayanım faktörüdür*. Betonun içinde donan suyun meydana getirdiği iç basınç, betonda çatlaklar oluşmasına veya betonun tamamen dağılmasına neden olabilmektedir. Betonların donma ve çözülmeye karşı dayanımlarını arttırmanın etkili yöntemi, suyun beton içine girmesini önlemektir. Bu konu üzerine yapılan deneysel bulgular ışığında ve literatür taramalarında, beton türlerinin çoğunun farklı karakteristikler gösterdiği belirlenmiş olup, dona karşı dayanımı tanımlayabilmek için geliştirilen, teorik dayanım faktörü tanımlamaları ile beton türleri arasında bir kıyaslama yapabilmek

mümkün olabilmektedir. Pomza agregalar ile elde edilen betonların, don sonrası durumlarını analiz edebilmek için, dona karşı dayanım faktörü tanımlaması yapılmıştır. Bu faktör, betonun dona maruz kalmadan önceki dayanım ve birim hacim ağırlık değeri ile don sonrası basınç dayanım ve birim hacim ağırlık değeri arasındaki değişime bağlı bir faktör olup, pomza agregalı beton için elde edilen değerleri, Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Pomza agregalı betonların dona dayanıklılık faktörü.

Çizelge 4. Pomza agregalı betonların rötre değerleri.

	PNI	PNU	PKI	PKÜ	PISI	PISII	PKRI	PKRII
Rötre (mm/m)	0.03	0.08	0.04	0.07	0.05	0.08	0.04	0.06

Çizelge 5. Pomza agregalann dona dayanıklılık değişimleri.

	PNI	PNU	PKI	PKÜ	PISI	PISII	PKRI	PKRII
Dona Dayanım, %	0.92	1.72	2.19	2.83	3.45	2.11	1.03	1.67

Şekil 9 irdelendiğinde görüldüğü gibi, PKRI ve PKRII pomza agregal örneklerinin dona dayanım değerlerinin oldukça iyi değerlerde olduğu görülmektedir.

### 3 5 Kapilarite (Kılcal Su Nüfuz Katsayısı)

Özellikle zemin suyu etkileşimine maruz kalan yapı bölümlerinde yer alan betonların, kapilarite özelliği önemli bir teknik parametredir. Bu parametre, betonda kullanılan gözenekli agregalarda yüksek değerlere ulaşabilmekte olup, agreganın gözeneklilik oranı ve gözeneklerin birbiri ile bağlantılı olup olmama durumunun bir fonksiyonu şeklinde değişim göstermektedir. Agregal bünyesindeki kılcal su hattının ilerlemesi zamana bağlı olarak tespit edildiğinde, agreganın gözeneklilik durumu ve yapısal özelliğine bağlı olarak, bu hareketin belli bir katsayıya göre gerçekleştiği görülmektedir. Bu bakımdan, pomza agregalar, yapısal özellikleri gereği yüksek gözenekliliğe sahip olmaları nedeniyle, her bir agregal türünün kapilarite katsayısı teknik olarak irdelenmiştir. Doğal ortam koşullarında yapılan test bulgularına göre, pomza agregalann kapilarite özellikleri Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6 irdelendiğinde, PKRI ve PKRII pomza agregalannın kapilarite değerleri, diğer pomza agregal örneklerinin kapilarite değerleri ile hemen hemen eşdeğer olduğu görülmektedir.

Çizelge 6. Pomza agregalann kılcal su emme kapasite değerleri.

	PNI	PNI!	PKI	PKn	PISI	PISII	PKRI	PKRII
Kapilarite (m/h 1/2 İP <sup>-3</sup> )	20-21	24-26	25-28	32-35	19-21	16-19	23-25	22-26

### 3.6. Ateşe Dayanıklılık - Sıcaklık Etkisi Analizi

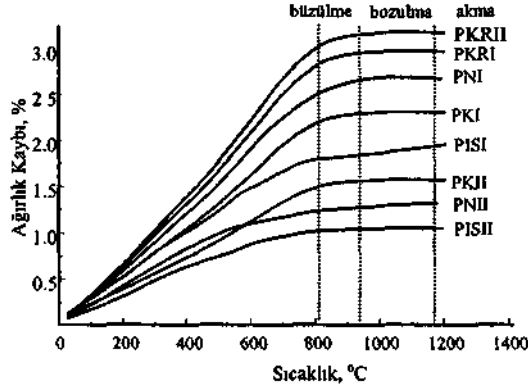
Pomza agregal örnekleri üzerinde 20°C - 1250°C arasında yapılan ısı işlemlere dayanım analizlerinde, malzemenin farklı sıcaklıklardaki davranış karakteristiği deneysel olarak irdelenmiş olup, ısı işlemlere dayanım analiz bulguları Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7 irdelendiğinde, PKRI ve PKRII pomza agregalannın yapısal bozunma ve ergime dereceleri, riyolit kökenli olan pomza agregal örneklerinin değerlerine eşdeğer olduğu görülmektedir. Ayrıca, yapılan bu analizlerde, agregal örneklerinin normal oda sıcaklığından itibaren akma noktasına kadar, sıcaklık değişimindeki karakteristik özellikleri, birim sıcaklık farklılaşmaları için incelenmiştir. Burada, belirli sıcaklık değişimlerinde agregal boyutunda bozulma ölçüsü ve kütle kaybı ilişkisi parametrik olarak irdelenmiştir. Analizlerde, her bir sıcaklık artma adımında agregal örneklerinin kütle kaybı, 0.0001 gr hassasiyetle ölçülmüş ve sıcaklığa bağımlı bir kütle kaybı değişim katsayısı tanımlaması araştırılmıştır. Bu parametrenin sıcaklık artma değeri ile ters orantılı olarak değiştiği gözlenmiştir. Pomza agregal örneklerine ait sıcaklığa bağımlı değişim karakteristiklikleri Şekil 10'da verilmiştir.



Çizelge 7. Pomza agregalann ısı işlemlere dayanım analizi.

	PNI	PNU	PKI	PKII	PİSİ	PISH	PKRI	PKRII
Yapısal bozulma (°C)	940	935	820	825	820	845	940	935
Ergime Noktası (°C)	1240	1235	1205	1210	1190	1205	1235	1230



Şekil 10. Pomza agregalann sıcaklık-ağırlık kaybı ilişkisi.

### 3.7. Isı İletkenlik

Yapı sektöründe hammadde olarak değerlendirilen hafif agregalar, birim ağırlıklarının düşük olması sebebiyle, ısı yalıtım amaçlı termik özellikleri, ısısal konforu sağlayacak kompozisyona sahip malzemeler olarak da değerlendirilmektedir. Bu bakımdan, ısısal konfor hesaplaması yapılması gerektiği durumlarda, yapı elemanı eldesinde hammadde olarak kullanılan agrega türüne ait ısı özelliklerinden ısı geçirgenlik katsayı değeri, ( $k$ , kcal/mh°C), ısı direnç değeri, ( $R$ , mVC/kcal) ve özgül ısı değeri ( $c$ , kcal/kg °C) gibi parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Özgül ısı kapasite değeri, herhangi bir kayacın ısı iletkenlik değerinin

Çizelge 8. Pomza agregalann özgül ısı kapasite değerleri.

	PNI	PNU	PKI	PKII	PİSİ	PISH	PKRI	PKRII
Özgül Isı Kapasitesi (kcal/kg °C)	0.255	0.260	0.243	0.240	0.265	0.253	0.248	0.253

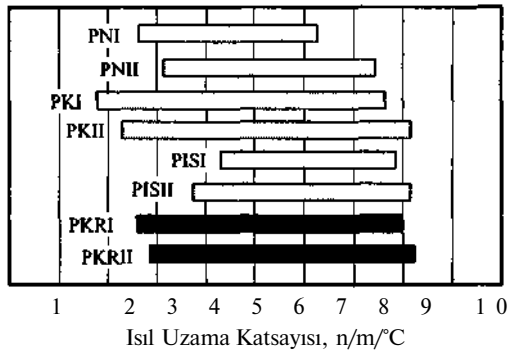
belirlenmesi, ortam koşullarında ısınma ve soğuma olgusunun tanımlanması bakımından irdelenen bir parametredir (Gündüz, 2001). Agreganın özgül ısı kapasitesi, belirli bir sıcaklık ortamında, birim kütesinin sıcaklığını bir derece arttırmak için gerekli olan ısı miktarıdır. Özgül ısı kapasite, genelde "c" parametresi ile sembolize edilmekte olup, birimi ise kcal/kg°C 'dir. Pomza agrega türlerinin özgül ısı kapasite değerleri, TS 4048 standardında öngörülen prensip çerçevesinde laboratuvar ortamında geliştirilen bir ölçüm düzeneği ile parametrik değerleri ölçülmüştür (Çizelge 8).

Cisimlerin ısı iletkenlik katsayısı, molekül ve gözenek yapısı ile gözeneklilik oranının bir fonksiyonu olarak tanımlanabilmektedir. Belli bir gözeneklilik oranına sahip cisimlerde, gözenek büyüklüğü etken bir faktör olup, gözenek yarıçapı ne kadar küçük ise ısı iletkenlik katsayısı da o kadar düşüktür (Gündüz, 2001). Bir cismin içinden ısı geçişi, moleküllerin ısı akımı yolu ile olmaktadır. Pomza agregalannın, tane boyutlarına bağımlı olarak ısı iletkenlik katsayısı değişimi üzerine yapılan analiz bulguları Çizelge 9'da verilmiştir.

Teorik olarak ısınan cisimler uzar ve rötrede olduğu gibi değişik ısı iletkenlik katsayısına sahip malzemelerin, yapıda birlikte kullanılması çatlakların oluşmasına neden olabilmektedirler. Betonun donatıya yapışması ve sıva tutmasında da ısı iletkenlik katsayısı önemli bir rol oynamaktadır. Pomza agrega ile elde edilmiş betonların ısı iletkenlik katsayıları, yapılan incelemelerle belirlenmiş olup, karakteristik değerler Şekil 11'de verilmiştir.

Çizelge 9. Pomza agregaların ısı iletkenlik katsayıları.

Agrega Boyutu	Isı İletkenlik katsayısı, (W/mK)							
	PNI	PNU	PKI	PKII	PISI	PISH	PKRI	PKRII
0-4mm	0.173±5	0.184±5	0.132±5	0.138±5	0.195±3	0.187±3	0.141 ±6	0.147 ±6
4-8 mm	0.131 ±5	0.144±5	0.092±5	0.104±5	0.183±3	0.165±3	0.117 ±6	0.121 ±6
8-16mm	0.112 ±5	0.121 ±5	0.082±5	0.096 ±5	0.146±3	0.134±3	0.093 ±6	0.104 ±6



Şekil 11. Pomza agregalı hafif betonların ısı uzama katsayılarındaki değişim.

Genel bir değerlendirme olarak, hafif agregalar elde edilmiş betonlarda, ısı uzama katsayısı yaklaşık 3-9 u/m<sup>2</sup>/°C arasında belirlenmiş olup, sıva tutma ve donatıya yapışma açısından önemli bir problem doğurmamaktadır (Gündüz, 2001). Bu olgu, özellikle Karaman ve civarındaki pomza oluşumlarından PKRI agrega örneği için 4-6 l<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>/°C ve PKRII agrega örneği için ise 4-7 l<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>/°C arasında bir değişim trendi gösterdiği belirlenmiştir.

Çizelge 10. Pomza agregaların akustik konfor parametreleri.

	PNI	PNU	PKI	PKII	PISI	PISH	PKRI	PKRII
Ses Geçiş Katsayısı	0.20	0.20	0.22	0.22	0.23	0.23	0.21	0.21
Ses Yutuculuk, dB	45-58	45-58	40-55	40-55	45-58	45-58	45-58	45-58

Çizelge 10 irdelendiğinde, diğer pomza agregalarında olduğu gibi, PKRI ve PKRII pomza agregalar ile yapılacak beton uygulamalarında, yapıda akustik konforun sağlanması için yeterli ses

Bu da, PKRI ve PKRII pomza agregalı yapı elemanlarının ısı değişimlerinden hemen hemen yok denecek kadar az etkileneceğini göstermektedir.

### 3.8. Ses Geçiş ve Ses Yutuculuk

Günümüz koşullarında gürültü kirliliğinin giderek artması, yaşanan kapalı mekanlarda akustik konforun önemini gündeme getirmektedir. Yapılan konutlarda akustik konforun sağlanması, yapıda kullanılan agrega malzemelerinin akustik özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Malzeme yüzeyine çarpan ses enerjisinin bir kısmı yapı elemanının malzeme cinsine ve yüzey yapısına bağlı olarak yutulur (gerisi) yansıtılır. Yutulan ses enerjisinin yüzeye gelen ses enerjisine oranı, ses yutma katsayısı olarak ifade edilmektedir (Gündüz, 1998). İyi bir ses yutumu, pürüzlü ve gözenekli yüzeyli malzemeler ile elde edilir. Gözenekli yapıları sebebiyle, pomza agregalar ile elde edilen betonların ses yutma özellikleri genellikle yüksek olmaktadır. Pomza agregaların ses geçiş katsayısı ve ses yutuculuk değerleri Çizelge 10'da verilmiştir.

yutuculuk değerlerinin sağlanabileceği görülmektedir.

#### 4. SONUÇLAR

Türkiye'nin farklı yörelerinde bulunan pomza oluşumlarının, yapı sektöründe hafif agrega olarak kullanımı için gerekli spesifik değerler, bu araştırmada analiz edilmiş olup, bulgular özetle sunulmuştur. Pomza agrega türlerinin mukayeseleri, teknik özellikler olarak ayrı ayrı irdelenmiş ve sektörel alana uygunluk kriterleri yorumlanmıştır. Bu inceleme bulgularına göre, Karaman ve civarındaki pomza agrega oluşumlarının, birim ağırlık, su emme karakteristiği, basınç dayanım değerleri, ısı iletkenlik, ısı özellikleri, rötre değerleri ele alındığında, inşaat yapı endüstrisinde hafif beton, hafif yapı elemanı üretiminde önemli bir hammadde ve ısı-ses yalıtım malzemesi olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.

#### KAYNAKLAR

Erç, M., 1994. Yapı Fiziği ve Malzemesi, Literatür Yayıncılık, İstanbul, Antalya, s257.

Gass, I.G., Smith P.J., Wilson R.C.L., 1973, Understanding the Earth, Open University Set Book, 383 pp.

Gunduz, L.(editör), 1998. Pomza Teknolojisi, Cilt I, İsparta, s 288.

Gündüz, L, v.d., 2001. *Hafif Agrega Olarak Genleşmiş Kil Ve Pomza Taşının Teknik Özelliklerinin Karşılaştırılması*, 10. Ulusal Kil Sempozyumu, Konya.

Özer, M., 1982. Yapılarda Isı-Su Yalıtımları 2, İstanbul, Özer Yayınları:4, s230.

Şener, F., 1999. *Yalıtımlı Hafif Yapı Hammaddeleri*, Enerji Tasarrufunda Jeotermal Enerjinin Ve Yalıtımlı Hafif Yapı Malzemelerinin Önemi Sempozyumu, MTA, 12-13 Nisan, Ankara, s31-47.

Uz, B., 1987. Petrografi-I, C.I. Magmatik Kayaçlar, Ocak, İstanbul, 286s.