

Kalker, Marn ve Şeylin Sünme Karakterizasyonu - Bitümlü Gözenekli Agrega için Don - Mikrodalga Kurutma-Bilya Darbe Dayanım Testi ile Sünme Etüdü

Creep Characterization of Bitumen Limestone Marl and Shale-Thaw- Microwave Drying- Drop Ball Impact Strength of Porous Aggregate

Y.İ. Tosun

Şırnak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Şırnak

ÖZET Şırnak ili Taşocaklarından ve Kömür Ocağı Atığı olarak çıkarılan kalker, şeyl, marn ve marnlı kalkerin sulu asidik çözeltilerle etkileşimi incelenmiş ve hafif yapı malzeme standartlarına uygunluktaki yerel doğal kaynakların hafif beton üretiminde kullanılabilirliği belirlenmiştir. Üretilen belirli iri ve ince boyutlu agrega numuneleri kimyasal etkileşimde 1 M HCl ve 1 M H₂SO₄ asit ile muamelesinde daha geçirimli ve gözenekli agreganın üretimi sağlanmıştır. Özellikle 36-48 saatlik bekletme sürelerinde bu özellik yeterli olmaktadır. 50 °C sıcaklığın da etkileşimi hızlandırdığı belirlenmiştir. Bu teknolojik uygulamalar ile yerel doğal taşların hafif yapı agregası olarak değerlendirilebilirliği daha da geliştirilebilmektedir. Üretilen hafif beton blokların dayanımları 7,2 den 18,4 MPa dağılmıştır. Yarı hafif agregaların Modifiye darbe shatter dayanım değerleri de kritik edilmiştir. Böylelikle en ideal sıkı paketlenme ile bu yarı hafif agregalar ve cüruf karışımlarından üretilen hafif beton blokların dayanımları da 17,3-19,2 MPa çıkabilmektedir.

ABSTRACT The chemical activation of limestone, marly limestone, shale, marl produced from Şırnak coal mines and quarries was investigated and the qualities of products of semi lightweight aggregates providing the specifications required from lightweight concrete production were determined. The waste aggregates were treated with 1 M HCl ve 1 M H₂SO₄ asidic solutions in order to produce porous aggregate. 36-48 day treatment has become sufficient. 50°C temperature increased activation. The compression strengths of lightweight concrete blocks varied among 7,2 and 18,4MPa. Modified impact shatter resistance was also discussed. Hence the strengths of concrete blocks produced with the best gradation of aggregates reached to 17,3-19,2 MPa.

1 GİRİŞ

Hafif yapı elemanı üretiminde yerel ucuz doğal kayaçlarını değerlendirilmesi ülke ekonomisine büyük katkı sağlayacaktır. Yapı malzemesi şartnamelerini sağlayan en uygun hafif agrega üretilmelidir. Agrega tesislerinin tasarımı, kırıcı, elek seçimi önemli olmaktadır (Park vd. 2005, Moulia ve Khelafib, 2008). Taş ocaklarında tras, tuf, volkanik cüruf ve pomza gibi formasyonlar hafif agrega üretimini olanak sağlar (Doel, 2007). Dayanımı zayıf hafif agrega kırmataş üretimini ve kapasitesini olumsuz etkiler

(Piora ve Piora, 2004, Szilagyi ve Terec, 2013). Gözenekli agrega üretimi kayacın türü dokusu ve mikro yapısıyla ilgili olmaktadır. İnşaat sektöründe kullanılan kırma taş (aşfalt micir, beton, yol malzemesi vs.) genellikle çekiçli ve darbeli kırıcılar ile gerçekleştirilmektedir. Bu tip kırıcılarda tozlanma daha yüksek oranda olmasına rağmen tane şekli bakımından avantajlı köşeli tane oluşumunu sağlamaktadır. Ancak zayıf dayanımlı hafif agrega kırmada aşırı kırılmaya maruz kalabilir. Hafif gözenekli agrega üretiminde en uygun kırıcı türü

kullanılmalıdır. Hafif agreganın aşırı kırılmaması gerekir. Şırnak, Cizre (Şırnak) Belediyeleri kapsamında, Hazır Beton tesisleri tarafından yılda ortalama yıllık toplam 400.000 ton agrega üretilmiş ve yaklaşık 300.000 ton agrega hazır beton üretiminde kullanılmıştır. Agreganın sertliği ve dayanıklılığı hazır beton dayanımı üzerinde etkili olmaktadır. Bu nedenle kayanın patlatma ile parçalanması, çekiçli kırıcıda kırılması, elenmesi ve ekipmanlar agregada beton kalitesini etkiler (Simsek, O. 2004, Bieniawski, 1967).

Kalker türündeki agregalar genellikle alkali kimyasal nitelikte oldukları için sulu asidik atık veya asidik çözeltilerle kısmen çözülerek gözenekli hale getirilebilmektedir. Granül cüruf, kireçtaşı, tuf, şeyl, sleyt gibi orta sert kayaların gözenekleri geliştirilebilmektedir. Makro ve mikro gözenekler kimyasal çözmenin derecesine bağlıdır ve asidik maden atık suları gibi çözeltiler kullanılabilir. Bu asit etkileşim tekniği ısı sinterleme işleminden daha ekonomik olmaktadır. Kimyasal çözeltilerin etkileşim süreci gözenek yapısını etkiler. Howard ve Datta kimyasal öğütmenin birçok avantaja sahip olduğu belirlemiştir (Howard ve Datta, 1977). Tosun (2014) kimyasal etkileşimin çimento hammaddelerinin öğütülmesinde yararlı olduğunu ve Bond Öğütülebilirlik değerlerinin %18 oranında 0.1M sülfürik asit ve atık asidik kömür madeni su ile geliştiğini belirlemiştir.

Hafif agrega kayalarının kısmi kimyasal çözülmesi ve gözenek oluşumu için kimyasal ve mineralojik nitelikleri irdelenmelidir. Bu çalışmada en uygun kimyasal etkileşime ve agrega türünü belirlemek için Şırnak ilinin taşocağı kalker, kömür ocağı atığı gözenekli kalker, marn, marnlı kalker ve şeyl türü kayalardan temsili numuneler alınarak kimyasal ve mineralojik parametreleri belirlenmiş ve irdelenmiştir.

Şırnak ilinin kalker, gözenekli kalker, marn, şeyl, türü hafif agregalar dayanım ve sertlik özelliklerine bağlı heterojen yapılar içermektedir.

Gözenekli kalker, kalker, marn, şeyl oluşan 5 adet yerel hafif agrega numunesi bu çalışmada kimyasal etkileşime tutulmuştur. Bu çalışmada seçilen örnek iki kademeli kırma, eleme işlemine tabi tutulmuştur. Sekonder ve tersiyer olarak adlandırılan bu çekiçli kırma sistemleri sonucunda malzeme nihai eleklerden geçirilerek istenilen 40mm altındaki boyutlarda ASTM C330 (2013) standardına uygun olarak sınıflandırılarak kırma taş üretiminin son aşaması tamamlanmıştır (Campione ve La Mendola, 2004)

Marn ve marnlı kalkerin düşük gözenekli yapılarından dolayı özellikle hafif agrega olarak kullanımını mümkün değildir (Gündüz vd., 1998) ancak bu çalışma kapsamında kimyasal çözeltilme ile gözenekli hale getirilerek değerlendirilebilirliği incelenmiştir.

Bu çalışmada temel olarak 20 adet 5x5x5cm küp marn ve marnlı kalker numuneleri laboratuvar koşulları altında nokta yükleme dayanımı ve tek eksenli basınç dayanımı testlerine tabi tutulmuştur. Makro, mikro yapısal ve mineralojik incelemeler yapılmıştır.

Hafif agreganın gözenekli yapısından ötürü darbe dayanımını belirlemek için modifiye bir darbe shatter testi uygulanmıştır.

ASTM C330 (2013) standardına uygun olarak No4, No200 eleklerden elenerek numuneler ayrılmış, her biri $\sqrt{2}$ ve $\sqrt[3]{2}$ serisine göre elenerek boyut dağılımları Gaudin Schuman ve (RRS)' e göre belirlenmiştir. Maksimum paketlenme yoğunluğundan yararlanarak numuneler hazırlanmıştır.

Hazır beton karışımının yaklaşık olarak ağırlıkça % 90-95'lik, hacimce ise % 80-85'lik bölümünü hafif agrega oluşturmaktadır. Hafif agreganın tipi, gözenekliliği, tane şekil yapısı, gradasyonu gibi özellikleri kullanımını etkilemektedir (Gündüz a, 2008, Gündüz b, 2008, Gündüz ve Uğur, 2005, Gündüz vd., 2007, Gündüz vd., 1998). Kimyasal etkileşimle yarı hafif agrega üretimini olanak sağlayan Şırnak ili kazan taban cürufu %50 ağırlık oranında (yaklaşık %75-80 hacim oranında katılarak hafif beton üretilmiştir. Hafif beton üretiminde kullanılacak agregalarda aranan özellikler esas olarak düşük yoğunluk ve yüksek gözenekli dayanım olmaktadır.

2 2. ŞIRNAK İLİ TAŞ OCAĞI KALKERİ VE MADEN ATIĞI KAYAÇLARIN GENEL DEĞERLENDİRİLMESİ

Şırnak ili ve çevresinde yol yapımında kullanılan ve kullanılacak agrega sahalarının başlıca çeşitli bölgelerde ve kömür ocaklarında bulunmaktadır:

Altere Kalker (Şırnak Merkez), Marnlı Kalker (Şırnak Merkez), Marn (Şırnak Merkez), Cizre Beyaz Gözenekli Kalker (Şırnak Cizre), Kasrik Altere Gözenekli Kalker, Cizre Dere Kalker, Cizre

Dere(kalker) Bölgesi, Kömür ocağı atığı Marn ve Şeyl

Kırmataş ocaklarında üretilen agregalar birbirlerine göre farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar özellikle jeolojik yapı ve buna bağlı olarak seçilen işletme yöntemiyle ilgilidir. Şırnak ili kalkerleri ve marnlı beton agregası olarak kullanılabilir niteliktedir. Ancak bu bölgede sağlam bölümlerin kahvemsi-sarı renkli alterasyona uğramış birimlerden oluşmaktadır. Bu bölge agrega üreten ocakların azlığı taşıma maliyeti nedeniyle genellikle beton karışımlarında tercih edilmektedir.

Şırnak ili bölgesinde yer alan yaşlı kalkerler sağlam beton şartnamelerine uygunluk göstermekte ve geniş bir alanda yer aldıklarından büyük rezervlerde bulunmaktadır. Ancak dere kenarları Siirt formasyonu olarak adlandırılan mesozoik yaşlı kumtaşı - killi şist içerebilmektedir. Daha homojen olmayan bir yapı göstermektedir. Özellikle killi şistlerin üretilen agreganın içine karışması hafif beton agregaların plastisite ve gözenek açısından sorun çıkarabilmektedir (Sarı ve Paşamehmetoğlu, 2005, Cavaleri vd., 2003). Şırnak ili Kasrik bölgesinde ileri mesozoik yaşlı kalkerler içerisindeki karstik boşluklar ve marnlı oluşumlar agrega üreticilerinin üzerinde durması gereken en önemli problemdir. Ayrıca bu bölgedeki agregaların %2,7 - %3,1 arasında değişen su emme oranları yapılan karışım tasarımlarında hafif beton üretiminde avantaj sağlar.

Genellikle altere gözenekli kalker, dolomitik kalkerlerin yer aldığı bölgede faylanmalar sonucu oluşan kırıklara yerleşen kirlili - çamurlu dolgular, agrega üretim sahalarında yer yer tabaka aralarına, kırık ve çatlaklara yerleşmiş killi çamurlu oluşumlar görülebilmektedir. Hafif agrega üretiminde belirgin gradasyon sorunu oluşturmaktadır.

3 MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Kimyasal analizler ve parlak kesit İncelemesi

Numunelere ait mineralojik bileşimler Standard kimyasal Ca, Mg ve silika analizleri yardımıyla tespit edilmiştir. Numuneler ilk olarak çeneli kırıcıda 40 mm den 10mm'nin altındaki boyutlara getirilmiş ve 0.1mm ye havanda öğütülerek homojenize edilmiştir. Toz numuneler silika içeriği için platin krozede HF ile çözülüp yakılmıştır. Deneylerde kullanılan Şırnak ili çevresinden temsili olarak temin edilmiş kayaçların

kimyasal bileşimi Çizelge 1 de verilmiştir. Marn ve marnlı kalkerde silika miktarı azalmıştır.

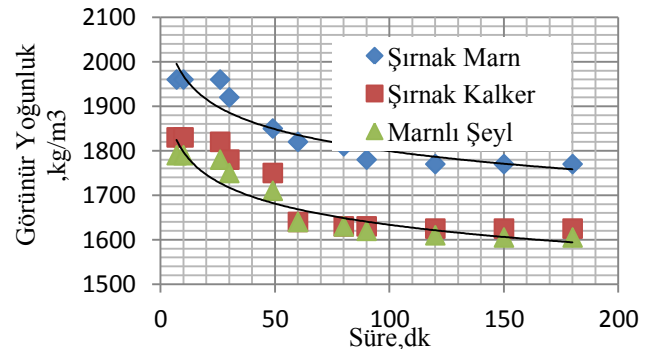
Parlak kesit hazırlanmasından önce akışkan bir sarı renkli epoksi reçine örnekler orta derecede bir vakum ile emdirilmiştir. Bu reçine gözeneklere nüfuz ederek mikroskop altında gözeneklerin daha kolay görünmesini sağlamaktadır.

Çizelge 1. Şırnak ili kalker, marn ve şeylin kimyasal analiz değerleri

% Bileşen	Şırnak Kalkeri	Şırnak Marnlı Kalkeri	Şırnak Marnı	Şırnak Gözenekli Kalkeri	Şırnak Şeyl
SiO ₂	3,53	9,42	24,14	2,12	48,53
Al ₂ O ₃	2,23	6,53	12,61	1,71	24,61
Fe ₂ O ₃	0,59	4,48	7,34	0,58	7,59
CaO	49,48	39,23	29,18	45,22	9,48
MgO	2,20	2,28	4,68	7,41	3,28
K ₂ O	0,41	0,53	3,32	0,40	2,51
Na ₂ O	0,35	0,24	1,11	0,21	0,35
Kızd.Kayb	46,19	26,11	21,43	48,04	3,09
SO ₃	0,32	0,21	0,20	0,02	0,32

3.2 Kimyasal Etkileşimin Agregaya Üzerine Etkisi

Kimyasal olarak asidik sular ve asidik maden suyu yardımıyla agregalar çözülerek gözenekli hale getirilmiştir. Orijinal Agregaya tipinin kireçtaşı olan temel kimyasal yapısını bunu mümkün kılmaktadır. Bu amaçla 50-70 °C 1M HCl ve 1M H₂SO₄ asit ile muamelesinde çeşitli agregalar üzerinde etkisini değerlendirmek amacıyla farklı tipte agregalar 1-2kg'lık numuneler olarak 20lt asit kaplarında 1,2 ve 3gün bekletilmiştir. Ürünler yıkanarak ağırlık değişimi ve görünür özgül ağırlık ve hesapla gözenek değişimi belirlenmiştir. Kimyasal etkileşime göre görünür 1ltlik kapta agrega görünür özgül ağırlık değişimi Şekil 1 de gösterilmektedir.



Şekil 1. Şırnak Marn ve Kalker ve Kimyasal

etkileşim sonrası görünür özgül ağırlık değişimi

Etkileşim görüntüsü kalker ve marn için Şekil 2de gösterilmiştir.

Kimyasal etkileşim sonrasında, gözenekli yarı hafif agrega numuneleri Modifiye Darbe shatter dayanımı için test edilmiştir. Belirli gradasyonlar da hazırlanan ürün yarı hafif agregalara hafif Sırnak kazan cürufu %50 ağırlık oranında katılarak karışımlar elde edilmiş (Sarı ve Pasamehmetoglu, 2005) ve bu hafif karışımlara farklı miktarlarda çimento bağlayıcı ilave edilerek (Demirdag ve Gündüz, 2008, Gündüz a, 2008, Gündüz b,2008) hafif beton numuneler üretilmiştir. Kaba birim ağırlık, dolu boşluk, boşluk yüzdesi ve dayanım ilişkileri çıkartılmıştır. Optimum yarı hafif agrega içeriği belirlenmiştir.

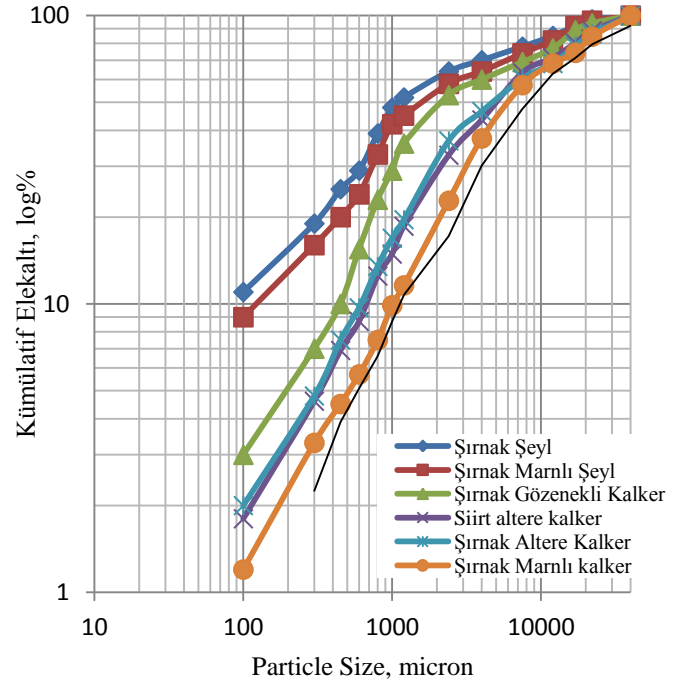
3.3 Tane boyutu analizleri

Yaklaşık 1-0,5 kg lık temsili numuneler 20 dk lık standart elek serileri ile elenmiştir (ASTM C136). ASTM C330 standardına uygun olarak No4 ve No200 eleklerden elenerek iri ve toz numuneler ayrılmış, her biri $\sqrt{2}$ ve $\sqrt[4]{2}$ serisine göre elenerek boyut dağılımları Gaudin Schuman ve RRS e göre belirlenmiştir. Kayaçların elek analiz sonuçları Çizelge 2, Şekil 3 ve Şekil 4 de verilmiştir.



Şekil 2. Şırnak a Marnı, b Kalkeri ve c,d.

Kimyasal etkileşim sonrası agrega görüntüsü



Şekil 3. Agregaların Gaudin Schumann Tane Boyut Dağılımlarının Değişimi.

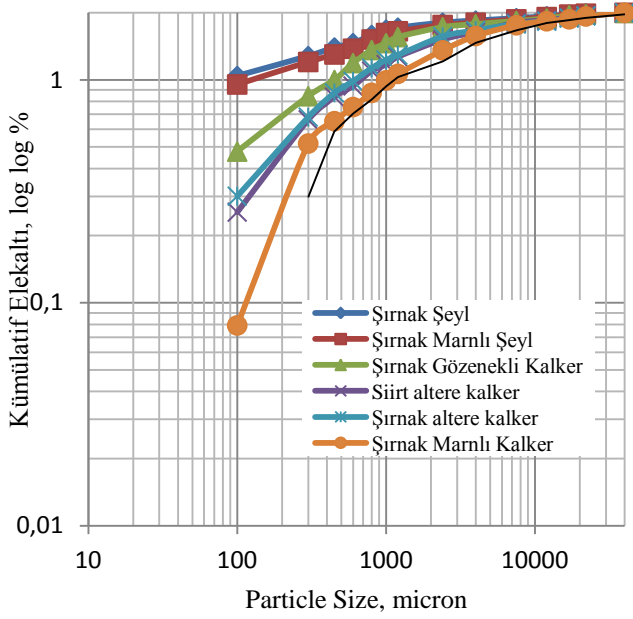
Bu testler sırasında Gaudin Schuman dağılım indeksi kaba paketlenme gözenekli hafif beton üretimi için irdelenmiştir. Buradaki dağılım oranı log %/mm olarak belirlenmiştir. Bu testlere göre Gaudin Schuman tane boyut yaklaşımının RRS göre daha uygun görünür yoğunluğu sağladığı gözlenmiştir.

Çizelge 2. Agregaların Elek Analizi Sonuçları

Agrega	Elek	32	16	8	4	2,8	1,2	0,4	0,2
Şırnak şeyl	0-5				99	95	76	27	12
	5-15		100	48	0,2				
	15-40	98	3						
Şırnak Marnlı şeyl	0-5				99	87	66	21	9
	5-15		100	38	0,2				
	15-40	98	2						
Şırnak Gözenekli Kalker	0-5				99	79	60	19	7
	5-15		100	28	0,2				
	15-40	96	1						
Şiirt Kalker	0-5				99	77	54	17	6
	5-15		100	24	0,0				
	15-40	94	0,2						
Şırnak Kalker	0-5				99	76	52	16	5
	5-15		100	23	0,0				
	15-40	93	0,2						
Şırnak Marnlı Kalker	0-5				99	72	48	11	3
	5-15		100	21	0,0				
	15-40	88	0,1						

40mm maksimum tane boyutundaki tanelerin boşluk oranı 1lt lik kalıpta kaba ağırlık ölçümü ve gözenek % hesapla [v: % Boşluk oranı ile tanelerin % hacim doluluk

oranı $1/1+v$ olarak, gözenek%: $1-(1/1+v)$ belirlenmiştir.



Şekil 4. Agregaların RRS Tane Boyut Dağılımlarının Değişimi

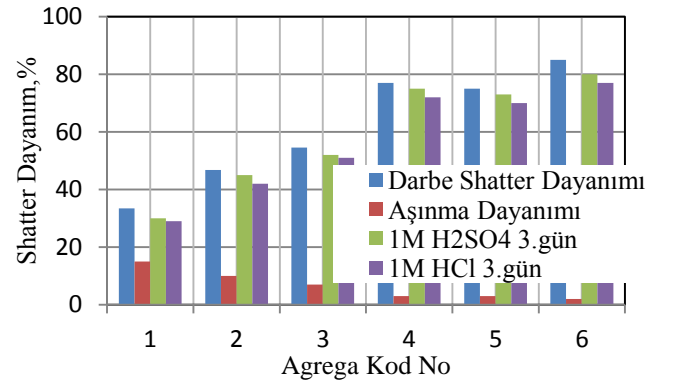
3.4 Darbe Dayanım Testleri

Yarı hafif agreganın numuneleri basınç dayanımı ve Darbe shatter dayanımı testine tabi tutulmuş ve ezilen ürünün boyut dağılımı ile darbe mekanik dayanım belirlenmiştir (ASTM D6024-07). Sınıflandırılmış agreganın numuneleri sabit 5kg luk darbe balyoz ağırlığının $\phi 8\text{cm} \times 50\text{cm}$ kovanda 50cm düşme etkisi ile boyutunun tozlaşması olarak irdelenmiş ve ürün hafif beton numunelerle kıyaslanmıştır. Bu teknolojik uygulamalar ile yerel doğal taşların hafif yapı agregası olarak değerlendirilebilirliği daha da geliştirilebilmektedir. Darbe dayanımı testlerinde 5kg lık balyoz ağırlık 4 kere 50cm yükseklikten 8 cm iç çapındaki çelik kovan içerisindeki $-40+25\text{mm}$ lik agreganın üzerine düşmeye bırakılarak, göreceli olarak daha zayıf 5 mm altı ve 25 mm üzeri ağırlık yüzdesi olarak sert, dayanımı daha yüksek olarak irdelenmiştir. Sonuçlar Şekil 5 de gösterilmiştir.

3.5 Nokta Yükleme ve Basınç Dayanım Testleri

Test numuneleri $5 \times 5 \times 5$ cm bloklar olarak üretilmiş ve 10 adet numune tek eksenel basınç dayanımı testine ELE markalı preste kırılarak %95 doğruluk oranında

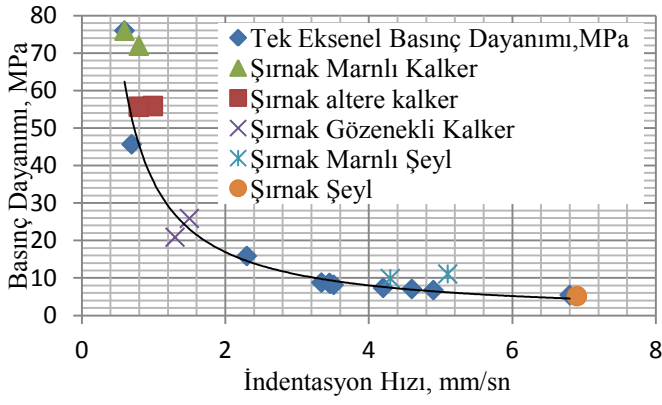
belirlenmiştir. Sonuçlar Şekil 6 ve 7 de verilmiştir.



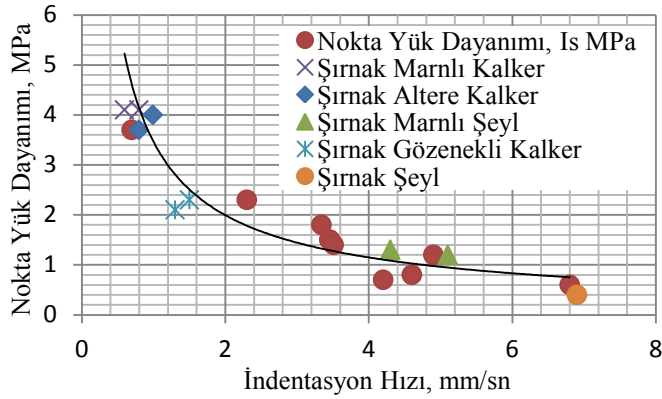
Şekil 5. Darbe dayanımı test sonuçlarının şematik görüntüsü;1. Şırnak Şeyl 2. Şırnak Marnlı Şeyl 3. Şırnak Gözenekli Kalker 4. Şırnak Altere Kalker 5. Siirt Altere Kalker 6. Şırnak Marnlı Kalker

3.6 Bitümlü Agreganın Beton Üretimi

Bu çalışmada %50 ağırlık oranında Şırnak ili 2 gün kimyasal etkileşime uğramış kalker agregası ile %50 ağırlık oranında Şırnak Kazan cürufu karışım hafif agregası olarak hafif beton üretiminde değerlendirilmiştir. Cüruf numuneleri 40mm altındaki boyuta kırılmış olan agregası kullanılmıştır (Erdoğan, 2003, Chen ve Liu, 2008, Demirboğa vd., 2001). Agreganın karışım oranları en büyük dane boyutu 40 mm olmuştur. Hafif beton üretiminde TS 706 da verilen sınır değerler arasında kalacak şekilde %50 0–5 mm hafif agregası (%50 agregası), %25 5–15 mm kırma hafif agregası (%50 cüruf) ve %25 15–40 mm kırma (%50 cüruf) olarak ayarlanmıştır. Bu çalışmada C 20 sınıfı agreganın betonların üretilmesi hedeflenmiştir. Bağlayıcı olarak CEM IV 32,5 tipi Mardin Limak çimentosu kullanılmıştır. Su/ Bağlayıcı (S/B) oranı ön deneyler sonucunda 0,50 olmasına karar verilmiştir. Her bir seride bağlayıcı miktarının %10, %20, %25 ve %30 oranlarında çimento 4 seri 20 adet $5 \times 5 \times 5$ cm küp beton üretilmiştir ve 28 günlük kür sonunda basınç dayanımı belirlenmiştir.



Şekil 6. Tek eksenli Basınç Dayanımı test sonuçlarının İndentasyona bağlı değişimi.



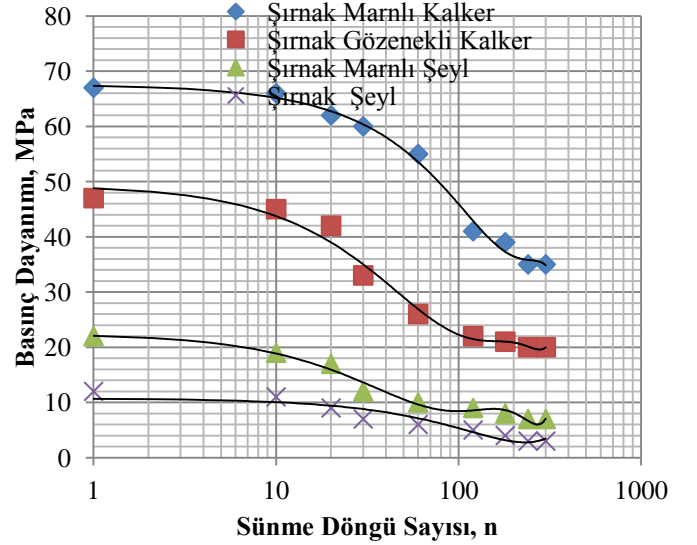
Şekil 7. Nokta Yükleme Dayanımı test sonuçlarının İndentasyona bağlı değişimi.

3.7 Don-Mikrodalga Kurutma Sünme Darbe Dayanım Testleri

Beton agrega numuneleri döngüsel olarak modifiye sünme testine tabi tutulmuş ve ürün blok agrega beton basma dayanımı ile 5 kg lık çelik bilya darbe mekanik dayanımı belirlenmiştir. (ASTM D6024, 2007). Sınıflandırılmış agrega numuneleri sabit 5kg luk darbe balyoz ağırlığının $\phi 8\text{cm} \times 50\text{cm}$ kovanda 50cm düşme etkisi ile boyutunun tozlaşması olarak irdelenmiş ve ürün beton basma dayanımı ile kıyaslanmıştır. Bu teknolojik uygulamalar ile yerel doğal taşların hafif yapı agregası olarak değerlendirilebilirliği daha da geliştirilebilmektedir. Darbe dayanımı testlerinde 5kg lık balyoz ağırlık 4 kere 50cm yükseklikten 8 cm iç çapındaki çelik kovan içerisindeki $50 \times 50 \times 25\text{mm}$ lik beton blok agrega üzerine düşmeye bırakılarak, göreceli olarak daha zayıf 5 mm altı ve 25 mm üzeri ağırlık yüzdesi olarak sert, dayanımı daha yüksek olarak irdelenmiştir. Sonuçlar Şekil 8 de gösterilmiştir.

Tane şekil değiştirmeleri fotoğraf tekniği ile bir üst boyut şekil değiştirmenin olduğu

varsayılarak, yakın hacim değişimlerinden yararlanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 8. Sünme Basınç Dayanımı test sonuçlarının Döngü ye bağlı değişimi.

4 SONUÇLAR VE YORUM

Kimyasal muamele edilmiş numuneler de küçük tane boyutlarında kimyasal etki daha da artmıştır. Yaklaşık olarak 5mm agregada % 13,6 olan gözenek 25mm fraksiyonunda %9,2 de kalmıştır. Sonuçlar Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 1 de 2 gün lük kimyasal etkileşimin yeterli olduğunu kanıtlamıştır. Çünkü çözünme işlemi çözelti alkali kireç tuz doygunluğuna ulaşmıştır. Kalker numune de gözenek % 13,6 ulaşmıştır.

Gözenekli kalker dokusu, kimyasal etkileşim sonucu ve petrografik değişimler Şekil 2'de görülmektedir. Şırnak altere kalkerinin %2,1-3,2 oranında silikat miktarının değiştiği ve gözenek boyutunun 1-3mm makro 50-300 mikron boyutunda mikro gözenek olarak yer aldığı belirlenmiştir. Bu gözenek miktarı Şırnak marnlı kalkerinde %13,4-14,8 silika içeriğinin mikro kristalin yapısında 5-30 mikron boyutunda mikro gözenek olarak bulunmaktadır. Marnlı kalkerde ve marn da kimyasal etkileşimin derecesi silika içeriğine ve mikro kristalin gözenek yapısına bağlı olarak yeterli olmamıştır. Düşük gözenek en büyük nedendir, numunenin gözenek katı kaya dokusu marn bileşenine dayalıdır ve düşük değerdedir.

Şekil 3 ve 4 e göre en ideal gradasyon Gaudin Schumann yaklaşımı ile belirlenebilmektedir. Marnlı kalkerde dağılım faktörü %81 re yükselmiş, Şeyl de ise %45 oranına düşmüştür.

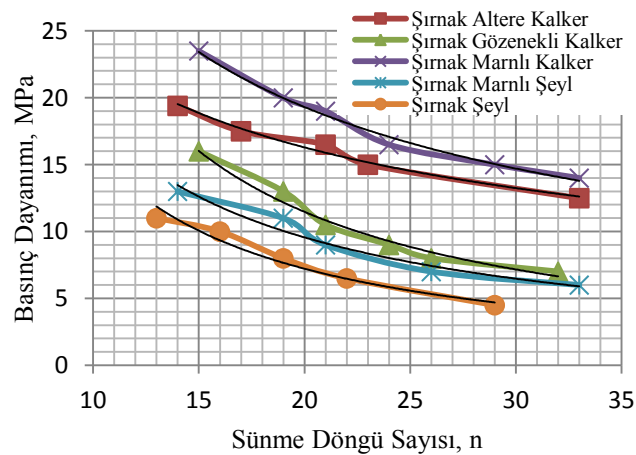
Kimyasal etkileşim süresinin etkisi test edilmiştir. 3 günlük muamelede numunelerin gözenekleri yükselmiştir. Şekil 5'de gösterildiği gibi Darbe shatter dayanım değerleri iki günlük sürede yaklaşık % 24 azalmıştır. Gözenek oranı da kalker ve şeyl örneklerinde benzer olmuş % 17 oranında artmıştır. Masif yapılarının orijinal gözenek büyüklüklerinin ve tane yapıların benzemesinden kaynaklanmıştır. Ayrıca şeyl taşı içerisindeki kalsit ve dolomit bileşeni bunu sağlamıştır.

Darbe dayanımı ise iki günlük ve üç günlükte değişmemiştir. Bu değerlendirmelerde darbe dayanımı testinde elde edilen değerler Şekil 5'te görülür.

Homojen ince taneli yapı dayanımı daha da arttırmıştır. Özellikle Şırnak marnında heterojen silikat bileşen darbe dayanımını yüksek oranda tutmuştur. Şırnak ve Siirt kalkerlerinin silika içeriği az olduğu için yumuşak niteliktedir ve darbe ve aşınma dayanımı daha düşük görülmüştür.

Şekil 5 aşınma dayanımı değerlerini göstermektedir. Kalker numunelerinin içerdiği silikatın miktarına bağlı olarak değişmiştir ve ayrıca mikro yapısal özelliklerine ve gözeneğe de bağlı olarak değişmiştir. Aşınma koşullarına gözenek yoğunluğunun aşınma gelişiminde ve buna bağlı olarak kırılma yüzeylerin oluşmasına ve daha düşük aşınma dayanımı değerlerinin gözlenmesine etken olmuştur.

Şırnak marnlı kalker ve marnlı şeyl kayaları aynı tip olmasına rağmen, farklı aşınma ve dayanım özellikleri vardır. Deneysel çalışmalarda, Şırnak kalker, marnlı kalkerinin darbe dayanımları diğer örneklerden daha yüksektir. Bu durumun nedeni, bunların gözenekliliği ve kil dokusudur.



Şekil 9. Agregat Beton Blokların Sünme Tek Eksenli Basınç Dayanımı test sonuçları

Tek eksenli basınç dayanımı testlerinde en yüksek dayanım değerlerinin kalkerlerin türüne ve silikat bileşimlerine bağlı olarak 76 – 35 MPa arasında değiştiği tespit edilmiştir. Düşük tek eksenli basınç dayanımı değerine sahip Şeyl gözenek oranı % 5 in üzerine çıkmaktadır. Büyük dayanım değerlerinin elde edildiği Siirt altere kalker ise % 4'ten fazla silikat fazları gözlenmiştir. Şırnak gözenekli kalker özellikle yoğunluğu düşük % 3,6 gözenekli matriste 39,3 MPa iken %7,4 gözenekli matriste 34,6 MPa düştüğü belirlenmiştir.

Şekil 6 da farklı gözeneklerde ve kaba yoğunluktaki kalkerlerin basınç dayanımları incelendiğinde benzer değişim gözlenmiştir. Açıkça görüldüğü gibi tek eksenli basınç dayanımı testlerinde gerilme-şekil değiştirme diyagramı incelendiğinde marn ve kalkerlerin yüksek dayanım sergilediği bunun da %0,5-1,8 gözenek miktarından kaynaklandığı görülmektedir.

Şekil 7 nokta yük dayanım değerlerinden de görüldüğü gibi iri taneli yapı, marn matristen daha zayıf ve daha kırılma heterojen olduklarından heterojen sert marn daha yüksek basınç dayanımı göstermiştir.

Şekil 8 nokta sünme yük dayanım değerlerinden de görüldüğü gibi iri taneli yapı, dondan ve don döngüsünden en fazla etkilenen marnlı beton blok daha zayıf ve daha kırılma heterojen olduklarından heterojen sert marn daha yüksek basınç dayanımı göstermiştir.

Şekil 9 üretilen agrega beton blokların dayanım değerlerinden de görüldüğü gibi marnlı yapı, kimyasal etkileşimi ve üretilen agrega beton daha dayanıklı kılmıştır. Heterojen sert marn daha yüksek gözeneğe ulaşmıştır. Buda altere kalkerde kimyasal etkileşimin doygunlukla durduğunu ve sağlam blok üretiminde yetersiz olduğunu göstermiştir.

5 SONUÇ

Taş ocaklarında en azından gradasyon yapılması ve kalkerin işlenmesi hafif beton üretiminde büyük yarar sağlayacaktır.

Betonda boşluksuz yapının oluşmasında en büyük etken, agregat arasındaki düzenli yüzey teması ve kenetlenmedir. Bunun içinde iri agregat arasındaki boşluğu doldurmak amacıyla değişik oranlarda (ince agregatın özelliklerine bağlı olarak) hafif ince agregat üretimi ve gözenekli kılacak teknolojilerin kullanılması gerekir. İnce agrega miktarının hafif betonda optimum

seviyelerde kullanılması son derece önemlidir.

Kimyasal etkileşimde sülfürik asitli çözeltilerde 2 günlük sürede bekletme gözenek miktarını yaklaşık %27-37 oranında arttırmıştır. Yaklaşık 0,190 kg/lt daha hafif yarı hafif agrega üretimini sağlamıştır.

Basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde gözenek miktarı arttıkça basınç dayanımı değerlerinin düştüğü istenilen dayanımı % 50 agrega üstündeki karışımlarda sağlanamadığı daha fazla agreganın dayanım kazandırmadığı görülmüştür.

Yüksek oranda dayanımlı cürufaları içeren hafif agregalı hafif beton bloklar yüksek dayanım değerleri gösterebilir de darbe dayanım değerleri düşük olabilmektedir. Böylelikle en ideal sıkı paketlenme ile de bu hafif agregadan üretilen blokların dayanımları da 18-24 MPa çıkabilmektedir.

Bu testlere göre Gaudin Schuman tane boyut yaklaşımının RRS göre daha uygun yaklaşımı ve sıkı paketlenme yoğunluğu sağladığı gözlenmiştir. Üretilen belirli iri ve ince boyutlu agrega numuneleri daha geçirimsiz ve gözenekli blok beton üretimi sağlanmıştır.

En yüksek dayanım değerleri ise agreganın genel dokusu ve mikro yapısal özellikleri tarafından kontrol edilmektedir.

Pomza ve cürufalar ile birlikte hafif beton üretiminde başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Darbe dayanım değerlerinin hafif beton blok dayanımı ile doğrudan ilişkili olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- ASTM C 330, 2013. Standart Specifications For Lightweight Aggregates for Structural Concrete, ASTM, Philadelphia.
- ASTM C 136, 2013. Standard test method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, Pennsylvania.
- ASTM D6024-07, 2007. Standard test method for Ball Drop on Controlled Low Strength Materials, ASTM, Pennsylvania.
- Bieniawski, Z.T. 1967. Mechanism of brittle failure of rock Part I - Theory of fracture process. *I. J. of Rock Mech. and Min. Sc. and Geomech. Abstr.* 4: 4, s. 395-406
- Campione G, La Mendola L , 2004. Behavior in compression of lightweight fiber reinforced concrete confined with transverse steel reinforcement. *Cem Concr Compos* 26:645–656

- Cavaleri L, Miraglia N, Papia M., 2003. Pumice concrete for structural wall panels. *Engineering Structures*, 25:s.115–125
- Chen, B., Liu, J., 2008. Experimental Application Of Mineral Admixtures in Lightweight Concrete With High Strength And Workability, *Construction and Building Materials* 22, s. 655–659)
- Demirboğa, R., Orung, I., Gül, R., 2001, Effects of expanded perlite aggregate and mineral admixtures on the compressive strength of low-density concretes. *Cement and Concrete Research*, 31: s.1627–32
- Demirdag S, Gündüz L , 2008. Strength properties of volcanic slag aggregate lightweight concrete for high performance masonry units. *Construction Building Materials*, 22:s.135–142
- Doel, A., 2007. Lightweight aggregates for use in concrete, *Concrete*, 41, 7, s.36–37.
- Erdoğan, T.Y., 2003. *Beton*. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık Ve İletişim A.Ş. Ankara
- Gündüz, L. a ,2008. Use of quartet blends containing fly ash, scoria, perlitic pumice and cement to produce cellular hollow lightweight masonry blocks for non-load bearing walls. *Construction Building Materials*, 22, s. 747–754
- Gündüz, L. b, 2008. The effects of pumice aggregate/cement ratios on the low-strength concrete properties, *Construction and Building Materials*, 22,5, s721-728
- Gündüz L, Bekar M, Şapcı N , 2007. Influence of a new type of additive on the performance of polymer-lightweight mortar composites. *Cem Concr Compos* 29:s. 594–602
- Gündüz, L., Uğur, İ., 2005. The effects of different fine and coarse pumice aggregate/cement ratios on the structural concrete properties without using any admixtures, *Cement and Concrete Research*, 35, 9, s. 1859-1864
- Gündüz L, Sariisik A, Tozaçan B, Davraz M, Uğur İ, Çankıran O (1998) Pumice technology, vol 1. Süleyman Demirel University, Isparta. pp 275–285
- Howard, P.H. Datta, R.S., 1976, Chemical Cominution: A Process for Liberating the Mineral matter from Coal, Coal Desulfurization (Ed. T. Wheelock) Washington, ACS Series 64, pp.58-64.
- Howard, P.H. Datta, R.S., Hanchett, A. 1977, Pre-combustion Coal Cleaning Using Chemical Cominution: NCA/BCR Coal Conference and Expo Coal: Energy for Independence, Louisville.
- Moulia, M., Khelafib H., 2008. Performance Characteristics Of Lightweight Aggregate Concrete Containing Natural Pozzolan, *Building and Environment* , 43, s. 31–36
- Park, C. K. Noh, M. H. Park, T. H. , 2005. Rheological Properties Of Cementitious Materials Containing Mineral Admixtures, *Cement And Concrete Research*. s 842-849

- Piora LS, Piora IL , 2004. Production of expanded-clay aggregate for lightweight concrete from non-selfbloating clays. *Cem Concr Compos* 26:s.639–643
- Sarı, D., Pasamehmetoglu, A. G., 2005, The effects of gradation and admixture on the pumice lightweight aggregate concrete, *Cement and Concrete Research* , 35, 5, s. 936-942
- Simsek, O. 2004. *Beton ve Beton Teknolojisi*. Seçkin Yayıncılık, I. Baskı, Ankara
- Szilagyi, H. Terec L., 2013. Bricks recycled aggregates for structural green lightweight concrete, *13th SGEM GeoConference on Nano, Bio And Green Technologies For A Sustainable Future*, www.sgem.org, SGEM2013 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7105-06-3 / ISSN 1314-2704, s. 375 - 380 doi:10.5593 /sgem 2013/bf6/s26.004
- Tosun Y.I., 2014, Chemical Activated Grinding of Cement RawMaterials, Proceedings of XIVth International Mineral Processing Symposium, Kuşadası, Turkey.
- TS EN 12390-3,-4 2003. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.