



Erciyes University Journal of the Institute of Science and Technology
Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

ISSN 1012-2354

Cilt (Volume): 28, Sayı (Issue): 4, Temmuz/July-2012

<http://fbe.erciyes.edu.tr/>



Gazbetonun kuruma rötresine bağlayıcı malzeme miktarı değişiminin etkisi

Mücteba UYSAL, Bahadır Cenk GÜNDOĞDU, Mansur SÜMER

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 54187, SAKARYA

ÖZET

Ülkemizde deprem gerçeği son yıllarda yoğun bir şekilde zihinlerde yer ederken yapılarda kullanılan malzemelerin hafif ve sağlam olması yapıya gelecek deprem yüklerini azaltması yönünden önem arz etmektedir. Bu bakımdan diğer yapı malzemelerine göre daha hafif, dayanım ve ısı yalıtım değerleri daha yüksek bununla birlikte dayanıklılık bakımından da performansı yüksek malzemelere olan gereksinim artmaktadır. Günümüzde gazbeton üretimi değişik oranlardaki bağlayıcı malzeme kullanımı ile yapılabilmektedir. Gazbetonun uygulamadaki başarısı (zamana bağlı siva çatlaklarının oluşmaması) kuruma rötresi değerlerinin olabildiğince düşük tutulmasına bağlıdır. Burada birçok parametre etkili olmakla beraber düşük kuruma rötresi değerleri iyi bir proses kontrolü ve uygulanan reçete ile mümkün olmaktadır. Bu çalışmada gazbeton üretiminde kullanılan kireç ve çimento gibi bağlayıcı malzemelerin karışım oranlarındaki değişimin farklı nem durumlarında rötreye olan etkisi incelenmiştir. Bu amaca yönelik olarak gazbeton üretiminde gerekli olan bağlayıcı içeriği olarak kireç miktarı %25 ila %30 arasında, çimento miktarı ise %7 ila %10 arasında kullanılarak bağlayıcı miktarları her seride değişik tutulmuştur. Deneysel sonuçlarına göre hem kireç esaslı hem de çimento esaslı üretimdeki kuruma rötresi değerlerinin gazbetonlar için standart değer olan 0.5 mm/m değerinden düşük olduğu, gazbeton üretiminde bağlayıcı olarak kireç ve çimento miktarının artmasının kuruma rötresi değerlerini artırdığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler:

Gazbeton,
Kuruma
Rötresi,
Nem oranı,
Çimento,
Kireç.

The effect of the amount of binder materials on the drying shrinkage of autoclaved aerated concrete

ABSTRACT

It is significant to reduce possible earthquake loads acting on the structures that building materials should be lightweight and strong due to earthquakes by employing permanently in minds in Turkey. In this regard, the necessity of high performance materials has increased in terms of durability that the materials should be more lightweight, stronger and higher thermal insulation than other building materials. Nowadays, the production of autoclaved aerated concrete can be made with the use of binding material in different proportions. The success of the application of autoclaved aerated concrete (time-dependent formation of cracks in plaster and wall strength is different from design strength) is attached to drying shrinkage values should be as low as possible. There are a lot of parameters which effect to provide lower drying shrinkage values, a good process control and the recipe is applied to autoclaved aerated concrete. In this study, it was investigated the effect of the amount of binder materials such as lime and cement on the drying shrinkage of autoclaved aerated concrete with different humidity conditions. For this reason, binder content was determined for lime in the range of 25%-30% and in the range of 7%-10% for cement in the production of autoclaved aerated concrete. The test results indicated that drying shrinkage values obtained lower than 0.5mm/m which standard value for drying shrinkage of autoclaved aerated concrete and the increase of the amount of lime and cement as binder materials in the production of of autoclaved aerated concrete has increased drying shrinkage of that materials.

Key Words:

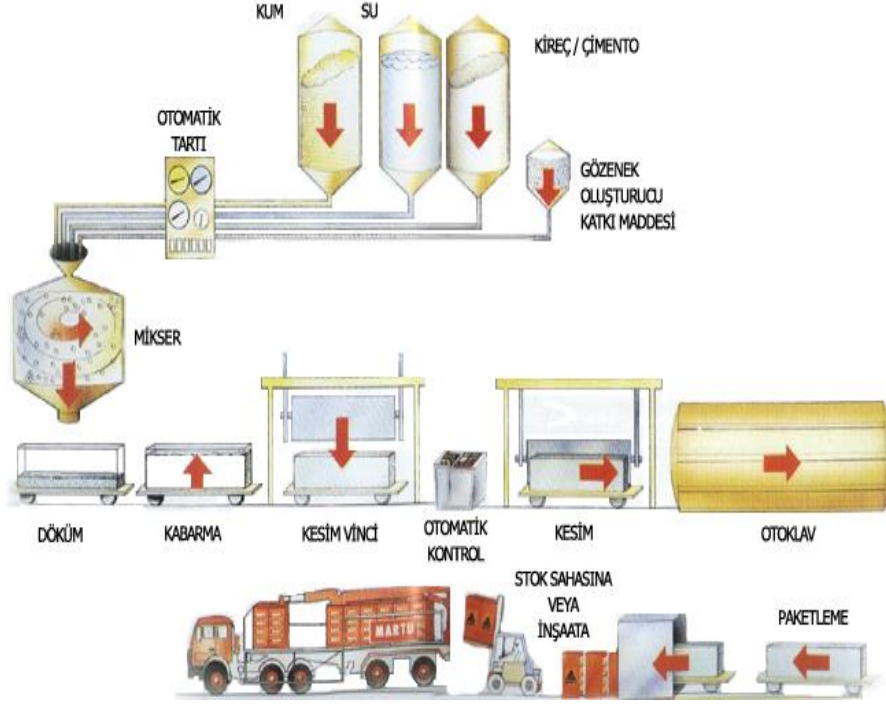
Autoclaved
Aerated
Concrete,
Drying
Shrinkage,
Humidity
Ratio,
Cement,
Lime

*Sorumlu Yazar (Corresponding author) e-posta: mucteba@sakarya.edu.tr

1.Giriş

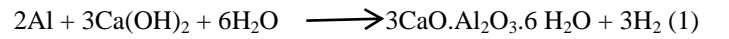
Gazbeton teknolojisi yarım yüzyılı aşan bir gelişme sonunda günümüzde inşaat sektöründe farklı ihtiyaçları karşılayan, üretim çeşitliliği ile belirli bir düzeye ulaşan 1970'lerden sonra ülkemizde de gelişerek yaygınlaşan bir sektördür. Gazbeton; üretim sürecinde enerjinin tasarruf edilmesine ve yapılarda kullanımında ısı yalıtımına katkı sağlayan, hammaddeleri kuvarsit (kum, kumtaşı), Portland çimentosu, sönmemiş kireç ve suyun karışımından oluşan çoğunlukla kireçli ve silikatlı hammaddelerden meydana gelen ve basınçlı bir buhar ortamında sertleştirilen kalsiyumsilika hidratlardan

oluşan yanmayan, özgün ve gözenekli bir hafif beton yapı malzemesidir. Betondan ve diğer yapı malzemelerinden daha hafif olan gazbeton ayrıca kolay sıva tutma özelliği ile beraber ses yalıtımı özelliği ile de tercih nedeni olmaktadır. Günümüzde gazbeton üretimi çeşitli oranlardaki bağlayıcı malzemelerle yapılmaktadır. Bu üretimler kireç ve çimento miktarlarının arasındaki orana göre kireç esaslı ya da çimento esaslı üretim olarak sınıflandırılmaktadır [1]. Gazbeton üretim süreci Şekil 1'de görüldüğü gibi bir uygulama sonucunda üretilmektedir.



Gazbetonun temel bileşimini kuvars, kuvarsit veya kuvars kumu oluşturmaktadır. Gazbetonunun dayanımını arttıran bu hammaddelerin SiO₂ miktarı % 80'den büyük, alkali miktarı ise % 2'den az olmalıdır. Diğer taraftan basınç dayanımını olumsuz etkilemesi nedeniyle organik bileşikler ile otoklavlarda aşınmaya neden olan klorun varlığı da istenmemektedir. Alçıtaşı (Jips), gazbetonun basınç dayanımını yükseltmekte, karışım içindeki kirecin sönme hızını düzenlemekte, rötre özelliğini iyileştirmekte ve dona karşı dayanıklılığı artırmaktadır. Kireç ise sönmemiş halde kullanılmaktadır. Gazbeton üretiminde kullanılan kirecin CaO miktarı % 80'den fazla olmalıdır. Kireç, kür işlemi sırasında karışım suyu ile reaksiyona girerek Ca(OH)₂'i oluşturmaktadır. Kirecin sönmesi sırasında açığa çıkan ısı sertleşmeyi hızlandırmaktadır. Ca(OH)₂, SiO₂ ile reaksiyona girerek, gazbetonun temel iskeletini oluşturan hidrate silikat bileşiklerini oluşturmaktadır. Gazbeton üretiminde Portland çimentosu kullanılmaktadır. Portland çimentosu, otoklavda 190° C sıcaklıkta kür işlemi sırasında bağlayıcı ve sertleştirici rol üstlenmektedir. Çimentonun esas bileşenlerini oluşturan C₂S ve C₃S, gazbetona yüksek basınç dayanım özelliği sağladığından bu bileşenlerin toplam miktarı % 70'den fazla olmalıdır [3]. Alüminyum ise en önemli hammaddelerden biri olup, gazbeton üretiminde saf halde kullanılmaktadır. Sulu

emülsiyon halinde kullanılan alüminyum, su ve Ca(OH)₂ ile reaksiyona girerek hidrojen (H₂) gazı çıkışına neden olarak gazbetonun gözenekli ve kabarmış kek yapısı kazanmasını sağlamaktadır [4]. Gaz oluşumu basitleştirilmiş olarak aşağıdaki reaksiyon sonucu gerçekleşmektedir:



Gazbetonlar birim ağırlıklarına, işlevlerine, basınç dayanımlarına ve ısı iletim katsayılarına göre sınıflandırılmaktadır. Ülkemizde gazbetonla ilgili standart TS 453'e göre gazbetonlar Tablo 1'de gösterildiği şekilde sınıflandırılmıştır. Beton içerisindeki suyun fiziksel ve/veya kimyasal nedenlerle azalması (kaybolması) sonucunda beton boyunda ve hacminde yer alan küçülmeye "rötre" denilmektedir [6-13]. Rötre, beton hem taze halde iken hem de sertleşmiş durumda iken yer alan bir olaydır ve esasında çimento hamuru ile ilgili bir özelliktir [14,15]. Rötre mekanizmalarından en önemlisi ve yaygın rastlanılan kuruma rötresidir [16]. Kuruma rötresi, sertleşmiş betonun içerisindeki suyun bir miktarının buharlaşarak kaybolması (betonun kuruması) sonucunda yer alan bir büzülmedir. Hava sıcaklığının yüksek olması ve/veya relatif nemin düşük olması nedeniyle betonun içerisindeki su zamanla buharlaşarak kaybolmaktadır.

Betonun kuruması ile beton hacminde büzülme meydana gelmektedir. İlk zamanlarda betondaki su kaybı, doğal olarak daha hızlı olmaktadır [15]. Kuru ortam devam ettikçe su kaybı artmaktadır. Dolayısıyla büzülme miktarında da zamanla artış görülmektedir. Kuruma rötresi büyük oranda malzemenin içeriğinden ve çevre koşullarından etkilenmektedir. Çimento malzemedeki kuruma rötresi esas olarak, sertleşmiş çimento-su hamurundaki hidrate kalsiyum silikat (CSH) jelinin nemini kaybederek büzülmesiyle oluşur. Suya doygun çimento hamuru, doygunluğunun altındaki nem oranına sahip çevre koşullarında boyutsal olarak stabil kalmaz. Bunun sebebi büyük oranda, CSH jelinin fiziksel olarak absorbe ettiği suyu kaybetmesidir ve bu durum rötreye yol açmaktadır [17].

Çimento hamurunun kuruması sonucu, önce kılcal boşluklardaki su buharlaşmakta, bu boşluklara jel suyu akımı başlamakta ve daha sonra bu su da kısmen buharlaşmaktadır. Sonuçta adsorbe su tabakası incelenerek ve taneler yaklaşarak hacim büzülme miktarı artmaktadır. İlginç olan büzülmede herhangi bir dış yüklem olmamasıdır. Bir dış yüklem halinde jel suyunun hareketi hızlanacak ve çimento hamurunun boyutları daha da küçülecektir [16]. Bu çalışmada gazbeton üretiminde kullanılan kireç ve çimento gibi bağlayıcı malzemelerin karışım oranlarındaki değişimin farklı nem durumlarında rötreye olan etkisi hem kireç esaslı hem de çimento esaslı üretimdeki kuruma rötresi değerleri grafik halinde verilmiş ve grafikteki % 30 neme karşı gelen değerle % 6 neme karşı gelen değerlerin farkı kuruma rötresi (sabit rötreye) değeri olarak elde edilmiştir.

2. deneysel çalışmalar

Rötreye denemeleri Nuh Yapı Ürünleri Kocaeli-Hereke Tesisinde G2-400 gazbeton malzemesi üzerinde gerçekleştirilmiştir. G2-400 gazbetonu ortalama minimum basınç dayanımı 2.5 N/mm², basınç dayanımının minimum değeri 2.0 N/mm² ve birim hacim ağırlığı 0.4 kg/dm³ olan bir malzemedir.

2.1. Uygulanan Deneyler

2.1.1. Rötreye Deneyi

Rötreye deneyleri daha yüksek nem yüzdesini ölçüm başlangıç değeri olarak kabul eden TS EN 680'e göre yapılmıştır [18]. Uygulamada her seri için 3 adet numune kullanılmıştır.

Numuneler 3 gün su içerisinde suya doygun hale gelinceye kadar bekletilmiş, daha sonra numuneler, kare olan yüzeylerinin orta kısmına uygun delikler açılarak uygun pimler vasıtasıyla gazbeton tutkalı ile sabitlenmiştir. Sabitlemeden önce pim ağırlıkları tartılmıştır. Numune nemini, pim sabitleme için kullanılan tutkalın kuruması sırasında kaybetmemesi için bir torbaya konularak 20 °C sıcaklık ve %50 nem bulunan özel nem aletinde 1 gün bekletilmiştir. Hazır hale gelen numunelerin boyutları ölçülmüş ve ekstensometreye takılarak ilk okuma değerleri belirlenmiş ve daha sonra numuneler tartılmıştır.

Günlük rötreye değerlerinin hesaplanmasında en az üç ölçüm yapılmış ve günlük rötreye değeri aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır.

$$Rötreye = \frac{(İlk\ ölçüm - Son\ ölçüm)}{Numune\ boyu} \times 1000$$

Yukarıdaki formül yardımıyla her üç numune için kuruma rötresini belirleme işlemi nem değerinin % 4 olmasına kadar yapıldıktan sonra nem-kuruma rötresi değerlerini gösteren bir grafik çizilmiştir. Grafikteki % 30 neme karşılık gelen değer ile % 6 neme karşılık gelen değerlerin farkı TS EN 680 standardına göre o numune için sabit rötreye değeri olarak belirlenmiştir.

Rötreye deneylerinde kullanılacak numuneler üretimde kullanılan kireç ve çimento miktarlarına göre kireç esaslı ve çimento esaslı üretim olarak adlandırılmıştır. Bu üretimdeki oranlar teknoloji ve kullanılan girdilerin yapısına bağlı olarak değişmektedir. Örneğin, kireç esaslı üretimde kirecin tüm karışımındaki oranı %25-%30 oranında iken çimentonun oranı %7-%10 arasında değişmektedir. Deneylerdeki sonuçların karşılaştırılabilmesi için her deneye bir isim verilmiştir. Çimento yoğunluklu denemelerde "Ç" indisi, kireç yoğunluklu denemelerde ise "K" indisi kullanılmıştır. Tablo 2'de herbir karışım için gazbeton üretimine dahil olan malzemeler verilmiştir. Her bir seriye karşılık gelen bir dökümlük üretim yaklaşık 5.4 m³ gazbeton üretimi olarak gerçekleştirilmiştir.

3. Deneysel sonuçlar ve değerlendirme

Gazbeton üretiminde kullanılan kireç ve çimento gibi bağlayıcı malzemelerin karışım oranlarındaki değişimin farklı nem durumlarında rötreye olan etkisinin kireç yoğunluklu numunelerde incelendiği deney sonuçları Şekil 2 (a), (b), (c) ve (d)'de verilmiştir.

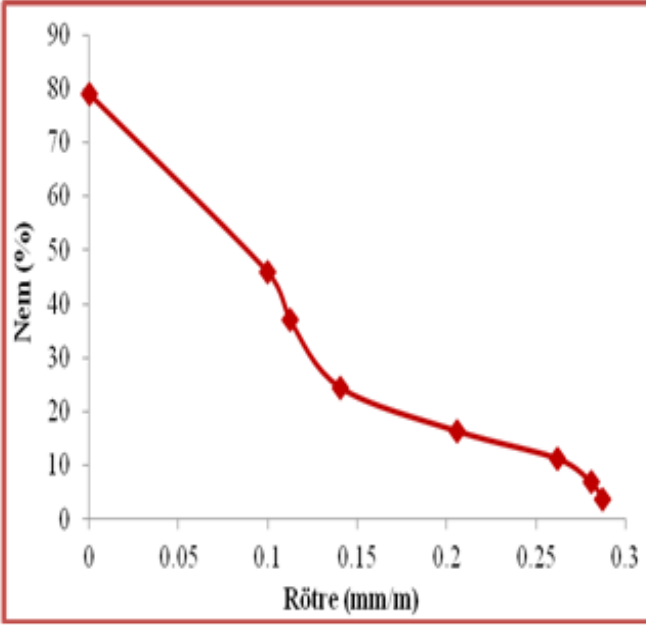
Tablo 1. Basınç dayanımı ve kuru birim hacim ağırlıklarına göre gazbetonların sınıflandırılması [5]

Sınıfı	Basınç Dayanımı Ort. Min. Değer (N/mm ²)	Basınç Dayanımı Min. Değer (N/mm ²)	Birim Hacim Ağırlığı (kg/dm ³)	Ort. Birim Hacim Ağırlığı (kg/dm ³)	Sınıf İşareti
G1	1.5	1.0	0.4	0.31-0.41	G1/0.4
			0.5	0.41-0.50	G1/0.5
G2	2.5	2.0	0.4	0.31-0.40	G2/0.4
			0.5	0.41-0.50	G2/0.5
G3	3.5	3.0	0.5	0.41-0.50	G3/0.5
			0.6	0.51-0.60	G3/0.6
G4	5.0	4.0	0.6	0.51-0.60	G4/0.6
			0.7	0.61-0.70	G4/0.7
G6	7.5	6.0	0.7	0.61-0.70	G6/0.7
			0.8	0.71-0.80	G6/0.8

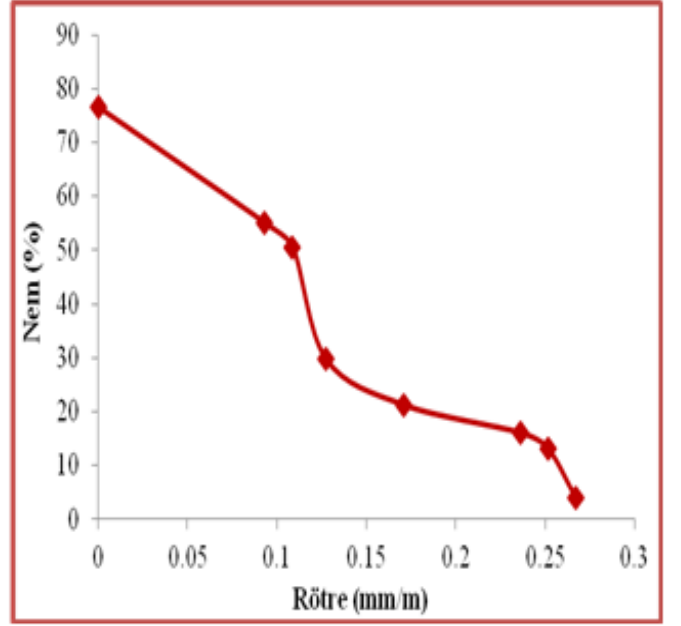
Tüm numunelerin maksimum uzama-kısalma miktarları, rötre deneyi için standart kabul edilen 0.5 mm/m değerinden düşük olduğu görülmüştür. Kireç yoğunluklu tüm numunelerde nem miktarının azalmasıyla rötre değerlerinde artış meydana gelmiştir. Bu duruma neden olarak, ortamdaki nemin azalması sonucu sertleşmiş kireç-çimento-su hamurundaki hidrate kalsiyum silikat (CSH) jelinin nemini kaybederek büzülmesi söylenebilir. Gazbetonda nem miktarının azalmasıyla kireç-çimento hamurunun kuruması sonucu, önce hamurun kılcal boşluklarındaki su buharlaşmış, bu boşluklara jel suyu akımı başlamış ve daha sonra bu su da kısmen buharlaşmıştır [17].

Sonuç olarak, adsorbe su tabakası incelenerek ve taneler yaklaşarak kireç yoğunluklu gazbeton numunelerinin hacminde büzülme artışı meydana gelmiştir.

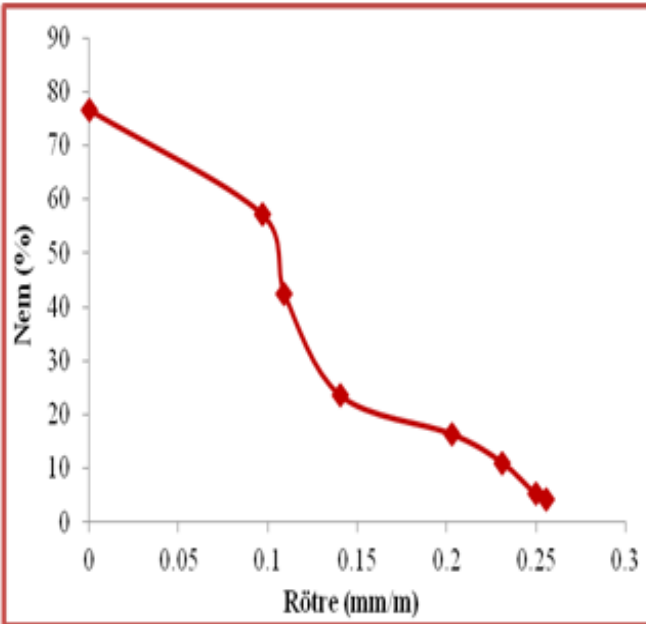
Rötre deneyi sonuçlarına göre K1 karışımının sabit rötre değeri 0.150 mm/m, K2 karışımının sabit rötre değeri 0.133 mm/m, K3 karışımının sabit rötre değeri 0.120 mm/m ve K4 karışımının sabit rötre değeri 0.123 mm/m olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar ışığında, gazbeton bünyesinde kireç miktarı arttıkça sabit rötre değerlerinde artışlar meydana geldiği görülmüştür.



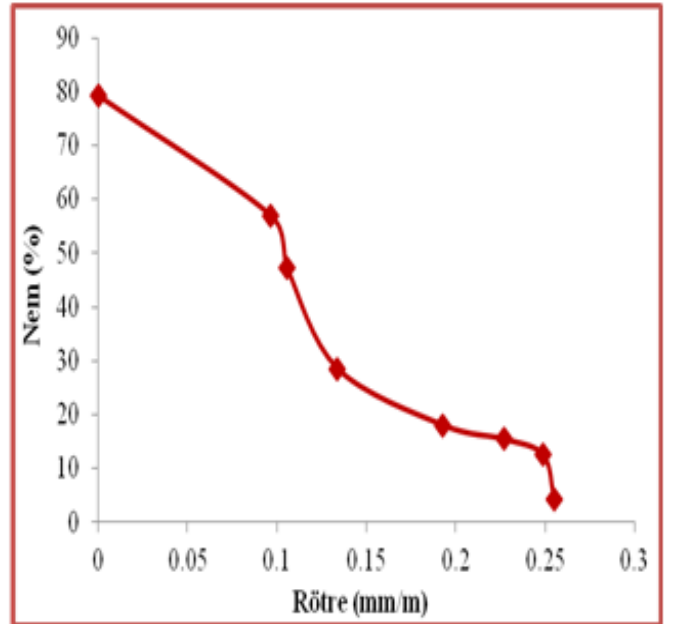
(a)



(b)

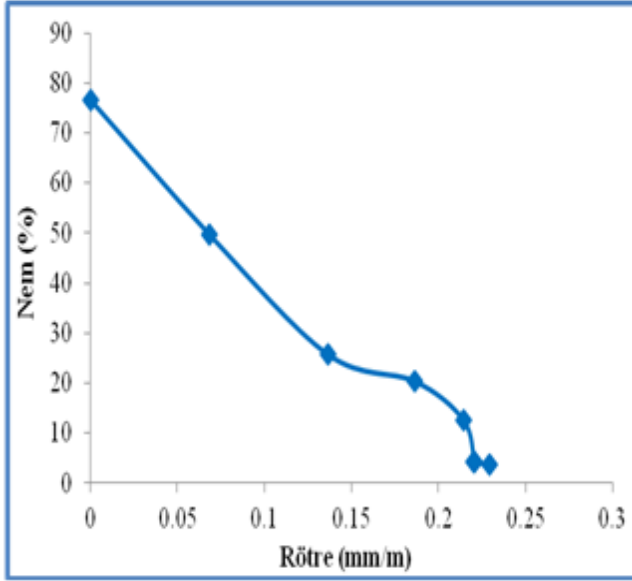


(c)

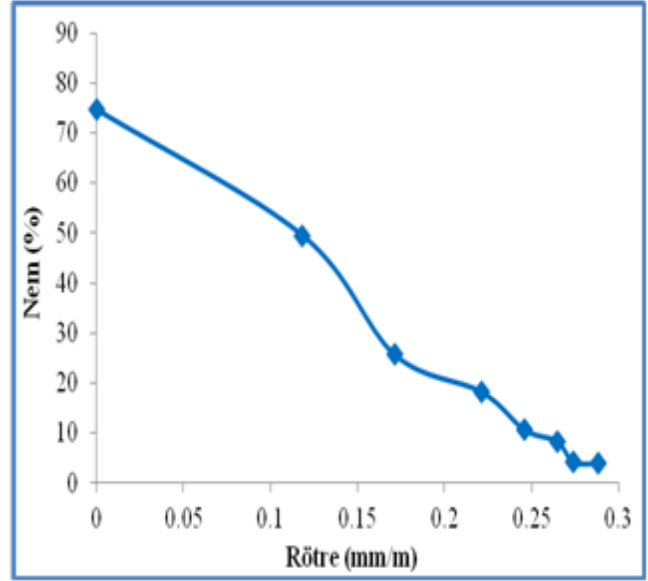


(d)

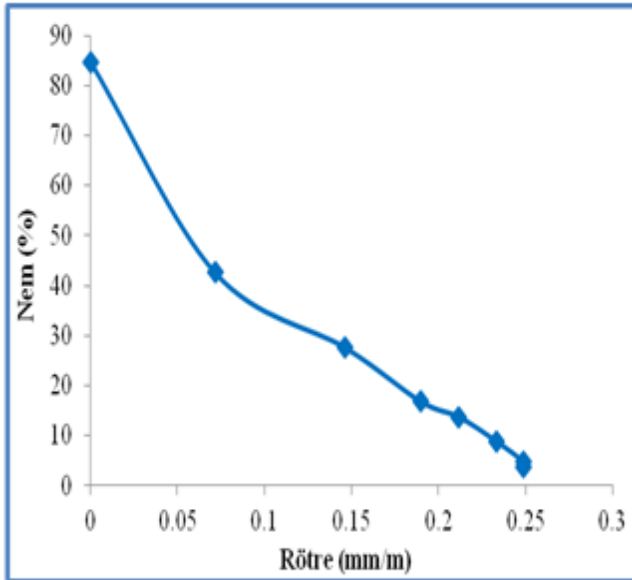
Şekil 2. Kireç yoğunluklu gazbeton karışımlarında rötre nem miktarına bağlı değişimi (a) K1 karışımının rötre-nem ilişkisi, (b) K2 karışımının rötre-nem ilişkisi, (c) K3 karışımının rötre-nem ilişkisi, (d) K4 karışımının rötre-nem ilişkisi.



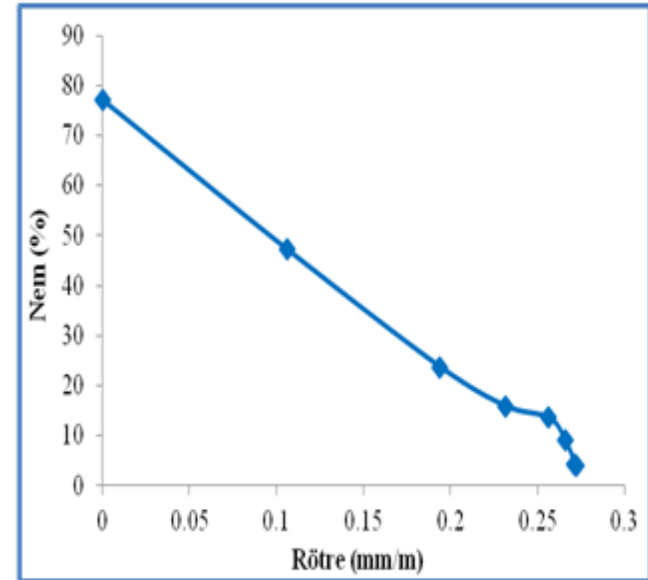
(a)



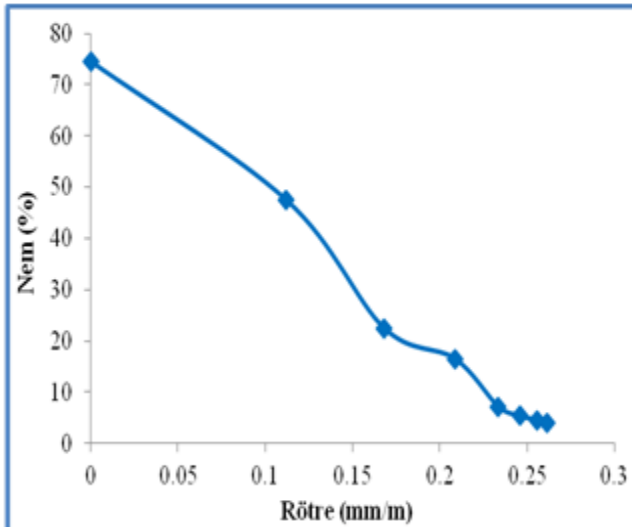
(b)



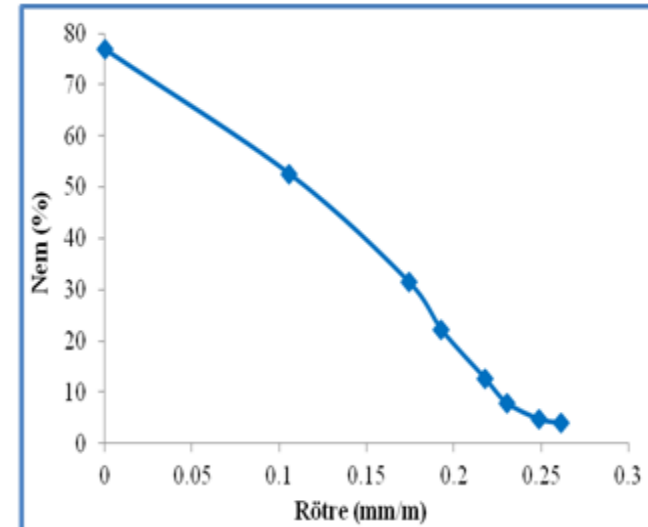
(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 3. Çimento yoğunluklu gazbeton karışımlarında rötre-nem miktarına bağlı değişimi (a) Ç1 karışımının rötre-nem ilişkisi, (b) Ç2 karışımının rötre-nem ilişkisi, (c) Ç3 karışımının rötre-nem ilişkisi, (d) Ç4 karışımının rötre-nem ilişkisi. (e) Ç5 karışımının rötre-nem ilişkisi, (f) Ç6 karışımının rötre-nem ilişkisi.

Gazbeton olarak üretilen çimento yoğunluklu numunelerde karışım oranlarındaki değişimin farklı nem durumlarında rötreye olan etkisinin incelendiği deney sonuçları Şekil 3 (a), (b), (c) (d), (e) ve (f)'de verilmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde çimento yoğunluklu tüm gazbeton serilerinde nem miktarına bağlı olarak rötre değerleri, rötre deneyi için standart kabul edilen 0.5 mm/m değerinden düşük elde edilmiştir. Çimento yoğunluklu seriler için rötre deneyi sonuçları gözönüne alındığında Ç1 karışımının sabit rötre değeri 0.091 mm/m, Ç2 karışımının sabit rötre değeri 0.108 mm/m, Ç3 karışımının sabit rötre değeri 0.109 mm/m, Ç4 karışımının sabit rötre değeri 0.091 mm/m, Ç5 karışımının sabit rötre değeri 0.099 mm/m ve Ç6 karışımının sabit rötre değeri ise 0.101 mm/m olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar düşünüldüğünde; Ç1, Ç2 ve Ç3 karışımları birarada değerlendirildiğinde görüleceği üzere, gazbeton bünyesinde çimento miktarı arttıkça sabit rötre değerlerinde artışlar meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca Ç4, Ç5 ve Ç6 karışımları birarada değerlendirildiğinde çimento miktarının sabit, kireç miktarının artması durumunda ise sabit rötre miktarları artmaktadır. Kireç ve çimento yoğunluklu gazbeton serileri birarada düşünüldüğünde sabit su/bağlayıcı miktarında kireç ve çimento miktarlarının artmasıyla gazbeton numunelerinin sabit rötre değerleri artmaktadır. Rötre mekanizmasındaki temel etkinin kılcal su ve jelsuyunun kaybolması olduğu düşünüldüğünde; büzülme doğal olarak, kireç ve çimentonun neden olduğu bir olaydır ve ortamda bağlayıcı miktarı arttıkça doğru orantılı olarak kuruma rötresi de artış göstermiştir [19-21].

4. Sonuçlar

G2-400 gazbeton malzemesinin bünyesinde bulunan kireç ve çimento gibi bağlayıcı malzemelerin karışım oranlarındaki değişimin farklı nem durumlarında rötreye olan etkisinin incelendiği bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Kireç yoğunluklu karışımlar olarak K1 karışımının sabit rötre değeri 0.150 mm/m, K2 karışımının sabit rötre değeri 0.133 mm/m, K3 karışımının sabit rötre değeri 0.120 mm/m ve K4 karışımının sabit rötre değeri 0.123 mm/m olarak elde edilmiştir. Bu durum gözönüne alındığında, gazbeton bünyesinde kireç miktarı arttıkça sabit rötre değerleri de artış göstermektedir.
- Çimento yoğunluklu karışımlar olarak Ç1 karışımının sabit rötre değeri 0.091 mm/m, Ç2 karışımının sabit rötre değeri 0.108 mm/m, Ç3 karışımının sabit rötre değeri 0.109 mm/m, Ç4 karışımının sabit rötre değeri 0.091 mm/m, Ç5 karışımının sabit rötre değeri 0.099 mm/m ve Ç6 karışımının sabit rötre değeri ise 0.101 mm/m olarak elde edilmiştir. Böylelikle, gazbeton bünyesinde çimento miktarı arttıkça sabit rötre değerlerinin de arttığı görülmüştür.
- Sonuç olarak, kireç ve çimento yoğunluklu tüm gazbeton serilerinde nem miktarına bağlı olarak rötre değerleri, rötre deneyi için standart kabul edilen 0.5 mm/m değerinden düşük elde edilmiştir. Böylelikle, gazbeton üretiminde gerekli olan bağlayıcı içeriği olarak kireç miktarı %25 ila %30 arasında, çimento miktarının ise %7

- ila % 10 arasında kullanılmasının zamana bağlı siva çatlaklarının oluşmaması veya duvar dayanımının tasarım değerinden farklı olmaması gibi durumlar nedeniyle gazbetonun uygulamadaki başarısında herhangi bir olumsuz durum meydana getirmeyeceği görülmüştür.

5. Kaynaklar

1. Gündoğdu, B.C., Gazbeton ve Gazbeton Üretimindeki Bağlayıcı Malzemelerin Rötre Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2001.
2. Martu Gazbeton Elemanları Üretim Prosesi, Teknik Broşür, <http://www.martu.com.tr/html/uretimsureci.asp>.
3. Özgenç, İ., Sarısözen, B., Gazbeton Üretiminde Perlit Kullanılabilir mi?, 3. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 81-86, İzmir, 14-15 Ekim 1999.
4. Short, A., Kinniburgh, W., Lightweight Concrete, Elsevier Science, pp.464, 3d. Ed., 1978.
5. TSE 453, Gaz ve Köpük Beton Yapı Malzeme ve Elemanları,UDK 691.327, Ankara, 1988.
6. Sukontasukkul, P., Tiamlom, K., Expansion Under Water and Drying Shrinkage of Rubberized Concrete Mixed with Crumb Rubber with Different Size, Construction and Building Materials, Volume 29, pp.520-526, 2012.
7. Zhang, J., Hou, D., Han, Y., Micromechanical Modeling on Autogenous and Drying Shrinkages of Concrete, Construction and Building Materials, Volume 29, pp.230-240, 2012.
8. Tangchirapat W., Jaturapitakkul, C., Strength, Drying Shrinkage and Water Permeability of Concrete Incorporating Ground Palm Oil Fuel Ash, Cement and Concrete Composites, Volume 32, Issue 10, pp.767-774, 2010.
9. Srisoros W., Effects of Material and Structural System on Drying Shrinkage Behavior, Procedia Engineering, Volume 14, pp. 353-360, 2011.
10. Kawashima, S., Shah, S.P., Early-age Autogenous and Drying Shrinkage Behavior of Cellulose Fiber-reinforced Cementitious Materials, Cement and Concrete Composites, Volume 33, Issue 2, pp.201-208, 2011.
11. Topçu, I.B., Bilir, T., Experimental Investigation of Drying Shrinkage Cracking of Composite Mortars Incorporating Crushed Tile Fine Aggregate, Materials & Design, Volume 31, Issue 9, pp.4088-4097, 2010.
12. Cheah, C.B., Ramli, M., Mechanical Strength, Durability and Drying Shrinkage of Structural Mortar Containing HCWA as Partial Replacement of Cement, Construction and Building Materials, Volume 30, pp.320-329, 2012.
13. Neto, A.A.M., Cincotto, M.A., Repette, W., Mechanical Properties, Drying and Autogenous Shrinkage of Blast Furnace Slag Activated with Hydrated Lime and Gypsum, Cement and Concrete Composites, Volume 32, Issue 4, pp.312-318, 2010.
14. Erdoğan, T.Y., Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yay. ve İletişim A.Ş., Ankara, 2003.
15. Mindess, S., Young, J.F., Concrete, Prentice-Hall, Inc., New Jersey,1981.
16. Baradan, B., Yapı Malzemesi I, D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, 4. Baskı, İzmir, 2002.
17. Muratoğlu, Y., Kendiliğinden Yerleşen Betonda Farklı Filler Malzemelerin Rötre Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, 2009.