

Farklı Agregada Tane Dağılımına Sahip Geçirimli Betonların İncelenmesi*

Cenk Kılıncı¹, Tümer Akakin¹

Öz

Geçirimli betonlar genellikle %15-35 oranında birbirine bağlı boşluk içerirler. Geçirimli beton, geleneksel beton gibi, çimento, kaba agregada ve sudan oluşur. Ancak, çimento dışında çok az ince malzeme içerir veya hiç içermez.

Bu betonların mekanik ve dayanıklılık özellikleri geleneksel betonlara göre farklılık göstermektedir. Bu betonların daha yaygın olarak kullanılması için özellikleri üzerine çalışmalar yapılmalıdır. Bu çalışmada farklı oranlarda ince malzeme içeren su geçiren betonların dayanım, su geçirimsizlik, birim ağırlık, kuruma büzülmesi ve donma çözülme dayanımları irdelenmiştir.

Giriş

Geçirimli beton çevresel ihtiyaçların arttığı günümüzde etkin bir araçtır. Yer altı suyunun yenilenebilmesi için yağın yağmur sularının yer altına sızması gerekmektedir. Fakat şehirlerde uygulanan geçirimsiz beton veya asfalt kaplamalar yağmur suyunun bir noktada toplanarak özel sistemler yardımıyla akarsulara, göllere veya denizlere aktarılmasını sağlamaktadır. Geçirimli betonların kullanılması ile yağmur suyunun uzaklaştırılması için daha az su toplama sistemi uygulamak ekonomik açıdan yarar sağlarken, yağmur suyunun yer altına sızması kaynak sularının sürekliliği açısından

Study On The Permeable Concretes Having Different Aggregate Granulation

Permeable concretes generally have gaps interconnected to each other pro rata 15-35%. Permeable concrete, like conventional concrete, consists of cement, coarse aggregate, and water. However, it contains very few or no fine material except for cement.

The mechanical and resistance characteristics of these concretes differ from the conventional concretes. Studies must be conducted on their characteristics in order to ensure more widespread utilization of these concretes. In this study, strength, water permeability, unit weight, drying shrinkage, and freeze-thaw resistances of the permeable concretes containing fine materials of different ratios were scrutinized.

çevresel avantaj sağlamaktadır (Bum, 2004). Geçirimli betonlar suyu kolaylıkla içine alarak depolayabilir ve depolama miktarı çoğu zaman yağın yağmur seviyesinin üzerindedir.

Yağmur suyu döşeme altında bir kaba çakıl tabakasında saklanır ya da altına yatan toprağa süzülmesine izin verilir. Su geçiren beton bir saklama alanı olarak da görev alarak ve geçirimsiz kaplamaların çoğunda görünen kirlenmiş yağmur suyunun iletilmesini engeller. İç yapısındaki filtrasyon süreci suyu arındırmaya yardımcı olur. Su, döşemenin açık hücreleri aracılığıyla süzülürken, boşluklardaki aerobik bakteriler zararlı kirleticiler ve kimyasalların yıkımına yardımcı olur.

Su geçiren betonların uygulanabilmesi için bazı özelliklerinin belirlenebilmesi için bu betonların farklı mekanik ve dayanıklılık özellikleri ise

araştırmacılar tarafından çeşitli yöntemlerle incelenmiştir. Boşlukların dağılımı ve dökülen betonun seviyeleri arasında ki boşluk miktarlarının karşılaştırılması (Haselbach, 2006), üç boyutlu modellerle su geçirimsizliğinin belirlenmesi (Bentz, 2008), (Sumanasooriya, 2009), (Sumanasooriya, 2010), (Neithalath, 2010), (Haselbach, 2006), yerleştirmenin geçirgenlik üzerine etkisi (Mahboub, 2009) gibi, ağırlıklı olarak su geçiren betonla-

¹⁾ İMO 8. Ulusal Beton Kongresi'nde sunulmuştur. 1. Türkiye Hazır Beton Birliği, tumer.akakin@thbb.org, cenk.kilinc@thbb.org
Anahtar kelimeler: Geçirimli beton, agregada boyut dağılımı, dayanım, donma çözülme, kuruma büzülmesi.

rın su geçirimsizlik özellikleri üzerine çalışmalar yapılmıştır. Su geçiren betonların yapımında farklı gradasyonlarda özellikle ince malzeme kullanılması durumunda dayanım, geçirgenlik ve dayanıklılık özelliklerinin incelendiği araştırmalar fazla yer almaktadır.

Su geçiren betonlarda ince malzeme kullanılması ile birlikte çok düşük seviyelerde olan dayanım veya dayanıklılık özellikleri artırılabilir fakat bir miktarda geçirgenliğinin azaltacağını düşünmekteyiz. Daha önce (Neptune, 2010) tarafından yapılan araştırmada 1mm'e kadar ince malzeme bazı karışımlarda kullanılmış ve su geçiren betonların geçirimsizlik, yarmada çekme dayanımı gibi özelliklerine bakılmıştır. Bu araştırmada su geçirimsizlik özellikleri ve dayanım özellikleri arasında ters bir ilişki bulunmuştur. Boşluk miktarı arttıkça basınç dayanımı düşmekte ama geçirgenliği artmaktadır. (Meininger, 1988) tarafından yapılan araştırmada kullanılan ince malzeme miktarı arttıkça dayanımda artış görülmüştür. İnce malzemenin artmasıyla birlikte dayanımda artış, birim ağırlıkta artış, eğilme dayanımında artış görülmüştür.

(Kevern, 2008) tarafından yapılan araştırmada su geçiren betonlarda ise ince malzeme miktarındaki artış ile donma çözülme dayanımı irdelenmiş ve ince malzeme kullanılarak yapı-

lmış su geçiren betonlar daha fazla donma çözülme döngüsüne karşı dayanmıştır. (Yang ,2003)' de düşük agrega tane boyutlu su geçiren betonların kullanımı dayanımı artırmaktadır.

Bu araştırmada su geçiren betonların mekanik ve dayanıklılık özellikleri, geleneksel betonlara göre farklılıkları ve farklı oranlarda ince malzeme içeren su geçiren betonların dayanım, su geçirimsizlik, birim ağırlık, kuruma büzülmesi ve donma çözülme dayanımları irdelenmiştir.

Laboratuvar Çalışmaları

Çalışmada TS EN 197'ye uygun CEM I 42,5 çimentosu kullanılmıştır. TS 706 EN 12620' ye uygun iri agrega olarak kireçtaşı, ince agrega olarak ise doğal ve kırma kum kullanılmıştır. TS EN 934-2'ye uygun süperakışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır.

Karışımlarda 12mm ve 25mm olmak üzere iki farklı maksimum agrega tane boyutu kullanılmıştır. Ayrıca su geçiren betonlarda kontrol betonunun farklı oranlarında %25 ve %50 si kadar ince malzeme kullanılmıştır. Kullanılan karışımların açıklamaları Tablo 1 'de verilmiştir. Tablo 2 'de agrega maksimum tane büyüklüğü 12mm olan karışımlar, Tablo 3'de agrega maksimum tane büyüklüğü 25mm olan karışımlar verilmiştir.

Tablo 1. Karışım açıklamaları.

D ₁₂ Kontrol	12mm en büyük tane büyüklü kontrol betonu
D ₁₂ %0 İM	12mm en büyük tane büyüklü - ince malzemesi %0 olan su geçiren beton
D ₁₂ %25 İM	12mm en büyük tane büyüklü - ince malzemesi %25 olan su geçiren beton
D ₁₂ %50 İM	12mm en büyük tane büyüklü - ince malzemesi %50 olan su geçiren beton
D ₂₅ Kontrol	25mm en büyük tane büyüklü kontrol betonu
D ₂₅ %0 İM	25mm en büyük tane büyüklü - ince malzemesi %0 olan su geçiren beton
D ₂₅ %25 İM	25mm en büyük tane büyüklü - ince malzemesi %25 olan su geçiren beton
D ₂₅ %50 İM	25mm en büyük tane büyüklü - ince malzemesi %50 olan su geçiren beton

Tablo 2. 12mm en büyük tane büyüklüğünde agregalı karışım oranları (kg/m³).

Bileşen	D ₁₂ Kontrol	D ₁₂ %0 İM	D ₁₂ %25 İM	D ₁₂ %50 İM
Çimento	350	350	350	350
Su	140	105	120	130
Yıkanmış Kırma Kum	200	0	50	100
Doğal Kum	300	0	75	150
1 No Agrega	1400	1400	1400	1400
Katkı	3.5	3.5	3.5	3.5
Boşluk (%)	2	24	17	12

Tablo 3. 25mm en büyük tane büyüklüğünde agregalı karışım oranları (kg/m³).

Bileşen	D ₂₅ Kontrol	D ₂₅ %0 İM	D ₂₅ %25 İM	D ₂₅ %50 İM
Çimento	350	350	350	350
Su	140	105	120	130
Yıkılmış Kırma Kum	200	0	50	100
Doğal Kum	300	0	75	150
1 No Agregası	700	0	0	0
2 No Agregası	700	1400	1400	1400
Katkı	3.5	3.5	3.5	3.5
Boşluk (%)	2	24	17	12

Karışımlar TS EN 480-1' e göre Tablo 2 ve 3'deki karışımlara göre hazırlanmıştır. Beton karışımları yatay eksenli mikser kullanılarak hazırlanmış ve numuneler sıkıştırılmadan sadece yüzey düzeltilmesi ile yerleştirilmiştir. Karışımlar su kusmayacak su/çimento oranında belirlenmiştir. Beton karışım açıklamaları Tablo 2 ve 3 'de verilmiştir. Tüm karışımlarda toplam bağlayıcı miktarı 350 kg/m³ 'tür.

Birim ağırlık deneyi 10x20cm numuneler üzerinde özgül ağırlık sepeti ile belirlenmiştir.

Basınç dayanımı 10/20cm silindir örnekler kullanılarak belirlenmiştir. Numuneler alındıktan sonra 24 saat kalıpta bırakılmış ardından kür tankında saklanmıştır. Numuneler kırım gününden 2 gün önce kür tankından alınarak hızlı dayanım kazanan çimentolu başlıklar yapılmıştır. Daha sonra TS EN 12390-3' e göre basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Basınç dayanımı deneyleri 14, 28 ve 56'ncı günlerde uygulanmıştır.

Kuruma büzülmesi deneyi 50x50x200mm boyutlarında beton prizmalar üzerinde TS EN 1367-4 standardına uygun olarak yapılmıştır.

Su geçiren betonların geçirgenliği

Zemin mekaniğinde toprak numunelerinin su geçirimsizliğini ölçmek için iki yöntem bulunmaktadır. Bunlardan ilki sabit su seviyesi altında numunenin geçirimsizliğini ölçmek, bir diğeri de değişen su seviyesi altında numunenin geçirimsizliğini ölçmektir.

Düşen su seviyesi altında numunenin geçirimsizliğinin ölçülmesi;

Numuneler 10x20cm silindir numuneler halinde hazırlanmıştır. Numuneler aşağıda belirtilen ekipman yerleştirilmeden önce 28 gün boyunca su küründe tutulmuşlar ve suya doymun halde iken aşağıdaki düzeneğe (Şekil 1) yerleştirilmiştir. Düzenekte kullanılan boru çapı 10cm dir. Numune boru içerisine konulurken etrafı su geçirimsiz malzemeler ile sarıla-

rak borunun içine yerleştirilmiş ve etrafından su sızması engellenmiştir. Numunenin altı kapatılarak borular su ile doldurulmuş ve daha sonra açılarak suyun akışı izlenmiş ve alttaki 10cm'ye gelinceye kadar geçen süre ölçülmüştür. Geçirgenlik katsayısı (k) aşağıdaki (1) nolu denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$k = \left[\frac{a \cdot l}{A \cdot t} \right] \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right) \quad (1)$$

a = borunun alanı

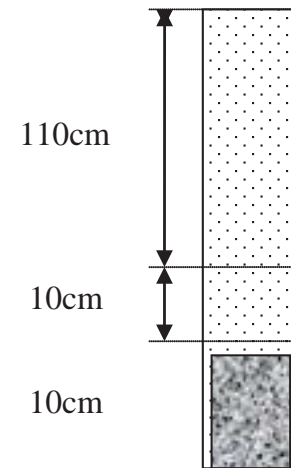
l = numunenin boyu

A = numunenin alanı

t = geçen süre

h₁ = test başladığındaki su seviyesi

h₂ = test bitimindeki su seviyesi



Şekil 1. Su geçirgenliği ölçümü düzeneği

Donma çözülme deneyi 5x5x20cm lik numuneler üzerinde yapılmıştır. Numuneler 12 saat boyunca -18°C ye kadar soğutulmuş ve 12 saat boyunca oda sıcaklığında tutularak çözülme bırakılmıştır. 25 donma çözülme döngüsü sonucu elde edilen kütle kayıpları ölçülmüştür.

Deney Sonuçları ve Tartışma

Birim ağırlık deneyi sonuçları Tablo 4’de verilmiştir. Kontrol betonlarında boşluk miktarı daha az olduğu için en büyük birim ağırlık kontrol betonlarında görülmektedir. İnce malzeme azaldıkça boşluk miktarı artmakta buna bağlı olarak birim ağırlık azalmaktadır.

Tablo 4. Beton birim ağırlıkları (kg/m3).

D ₁₂ Kontrol	2333
D ₁₂ %0 İM	1589
D ₁₂ %25 İM	1697
D ₁₂ %50 İM	1796
D ₂₅ Kontrol	2231
D ₂₅ %0 İM	1701
D ₂₅ %25 İM	1820
D ₂₅ %50 İM	1892

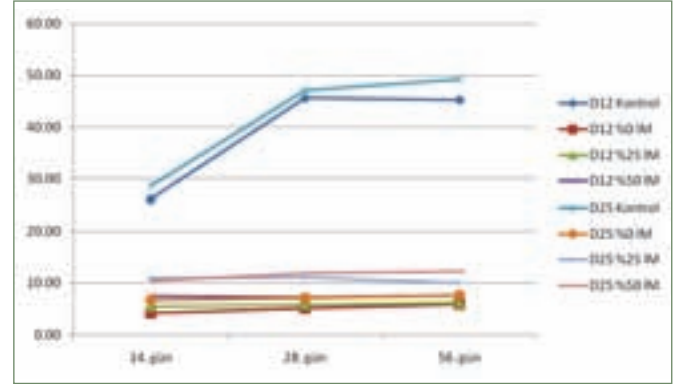
Karışımların basınç dayanım sonuçları Tablo 5’te verilmiş ve Şekil 2’de irdelenmiştir.

Tablo 5. Basınç dayanımları (MPa).

	14. gün	28. gün	56. gün
D ₁₂ Kontrol	26.1	45.6	45.3
D ₁₂ %0 İM	4.2	5.1	5.9
D ₁₂ %25 İM	5.5	5.8	6.2
D ₁₂ %50 İM	7.5	7.3	7.7
D ₂₅ Kontrol	28.7	47.1	49.3
D ₂₅ %0 İM	6.7	7.1	7.7
D ₂₅ %25 İM	11	11.1	10
D ₂₅ %50 İM	10.4	11.9	12.3

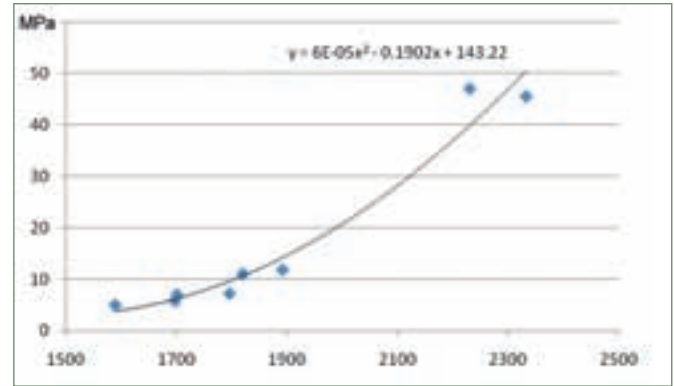
Farklı agregas maksimum tane büyüklüğündeki kontrol betonları yaklaşık olarak aynı dayanımları vermiştir. Kullanılan ince malzeme miktarı arttıkça dayanımlar artmıştır. Hiç ince malzeme kullanılmamış betonun su/çimento oranı 0.3, kontrol betonunun 0.4’tür. Fakat ince malzeme kullanılmamış betonun dayanımı daha boşluklu olduğu için daha düşük çıkmaktadır.

Agrega maksimum tane büyüklüğü 12mm olan betonda ince malzeme miktarı kontrol betonunun %50 si olduğunda 28 günlük dayanımlar 5MPa’dan 7 MPa’a çıkmıştır. Agregas maksimum tane büyüklüğü 25mm olan betonlarda ince malzeme kullanılmadığında elde edilen dayanımlar sadece 12mm agregas kullanıldığında elde edilenden %50 daha büyüktür.



Şekil 2. Farklı karışımların beton basınç dayanımları

Boşluk miktarı arttıkça beklendiği gibi dayanım azalmaktadır. Şekil 3’de farklı birim ağırlıklarında elde edilen basınç dayanımları verilmiştir. İlişki 2. dereceden bir polinomla gösterilmiştir.



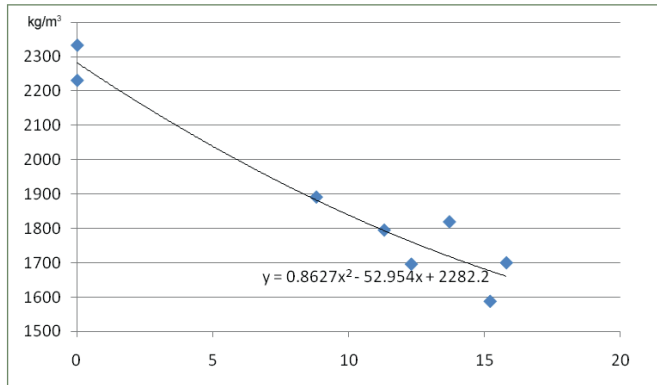
Şekil 3. Karışımların birim ağırlığı ve basınç dayanımlarının karşılaştırılması

Tablo 6 ‘da kuruma büzülmesi deney sonuçları verilmiştir. Kullanılan ince malzeme miktarı arttıkça kuruma büzülmesinin arttığı görülmüştür. Çünkü ince malzeme miktarı arttıkça kullanılan su miktarı artmakta dolayısıyla su/çimento oranı artmaktadır. Su geçiren betonların kuruma büzülmesinin kontrol betonuna göre daha az olduğunu söyleyebiliriz.

Tablo 6. Kuruma büzülmesi (%).

D ₁₂ Kontrol	0.050
D ₁₂ %0 İM	0.030
D ₁₂ %25 İM	0.045
D ₁₂ %50 İM	0.060
D ₂₅ Kontrol	0.028
D ₂₅ %0 İM	0.010
D ₂₅ %25 İM	0.018
D ₂₅ %50 İM	0.025

Su geçiren betonların en önemli özelliği su geçirimsizlik değerleridir. Bu çalışmada su geçiren betonların geçirimsizlik değerleri incelenmiş olup, elde edilen su geçirimsizlik değerleri Tablo 7’de ve birim ağırlıklar ile arasındaki ilişki Şekil 4’de verilmiştir. Birim ağırlık değeri düştükçe boşluk miktarı artmakta ve betonun geçirgenlik değeri artmaktadır.



Şekil 4. Karışımların birim ağırlığı ve su geçirme değerlerinin karşılaştırılması

Ölçülen geçirgenlik sonuçları Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Su geçirimsizlik katsayıları (mm/saniye)..

D ₁₂ Kontrol	0
D ₁₂ %0 İM	15.2
D ₁₂ %25 İM	12.3
D ₁₂ %50 İM	11.3
D ₂₅ Kontrol	0
D ₂₅ %0 İM	15.8
D ₂₅ %25 İM	13.7
D ₂₅ %50 İM	8.8

Tablo 8’de farklı karışımların donma çözülme sonuçları verilmiştir. Karışımlar üzerinde 25 kez yapılmış olan donma çözülme döngüsündeki kütle kayıpları karışımlar arasında bir ilişki kurulamayacak kadar düşüktür. Sanılanının aksine su geçiren betonların donma çözümlere karşı dayanımları çok düşük değildir. (Kevern, 2008) yaptığı çalışmada en yüksek boşluk oranlı ince malzemesiz betonda %20 kütle kaybı ancak 150 döngüde görülmüştür. Daha karşılaştırılabilir sonuçlar için döngü sayısının 25 den daha fazla olması gerekmektedir. Ayrıca (Kevern, 2008) nin yaptığı çalışmada kullanılan ince malzeme miktarı arttıkça donma çözülmeye karşı dayanımın arttığı görülmüştür.

Donma çözülme deney sonuçları Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Donma çözülme kütle kaybı (%).

D ₁₂ Kontrol	0.05
D ₁₂ %0 İM	0.14
D ₁₂ %25 İM	0.07
D ₁₂ %50 İM	0.19
D ₂₅ Kontrol	0.04
D ₂₅ %0 İM	0.09
D ₂₅ %25 İM	0.11
D ₂₅ %50 İM	0.27

Sonuç

Su geçiren betonlar sadece ince malzemesiz betonlar değildir. İnce malzeme miktarları değiştirilerek bazı özelliklerinin iyileştirilmesi mümkündür. İnce malzeme miktarı bir miktar artırılarak basınç dayanımlarının artması sağlandığı halde geçirgenlik özellikleri çok düşük seviyelere gelmemiştir. Su geçiren betonların donma çözülme dayanımı normal betonlara göre daha düşüktür, fakat belirli donma çözülme döngüsünde iyi bir performans sağlayabilmektedir.

Çalışmada beton santrallerinde genellikle bulunan 1 No (4-12mm) ve 2 No (12-25mm) agrega en büyük tane büyüklükleri kullanılmıştır. Özellikle yüksek agrega tane büyüklüğünde yüzeyde konfor ve estetik görüntü sağlamak daha zor olabilmektedir. Daha düşük agrega tane büyüklükleri ve 1-2mm’ye kadar inen agrega tane boyut dağılımları estetik açıdan ve dayanım gibi özellikler açısından daha iyi sonuçlar verebilecektir. Ayrıca sıkıştırma ve yüzey bitirme yöntemleri beton özelliklerini oldukça değiştirebilmektedir. Dayanım ve donma çözülme gibi özelliklerin iyileştirilmesi için lif kullanımı, dozajın artırılması ve su/çimento oranının düşürülmesi ile ilgili araştırmalar yapılabilir.

Kaynaklar

Sung-Bum, P., ve Mang, T.,

"An Experimental Study on Water- Purification Properties of Porous Concrete," Cement and Concrete Research, V. 34, 2004, pp. 177-184.

Haselbach, Liv M., Freeman, Robert M.,

"Vertical Porosity Distributions in Pervious Concrete Pavement", ACI Materials Journal, Kasım - Aralık 2006, pp 452-458.

Bentz ,Dale P.,

"Virtual Pervious Concrete: Microstructure,Percolation, and Permeability", ACI Materials Journal, Mayıs- Haziran 2008, pp 297-301.

Sumanasooriya, Milani S. , Neithalath, N.,

"Stereology- and Morphology-Based Pore Structure Descriptors of Enhanced Porosity (Pervious) Concretes", ACI Materials Journal, Eylül-Ekim 2009, pp 429-438.

Sumanasooriya, Milani S., Bentz, Dale P., and Neithalath, N.,

"Planar Image-Based Reconstruction of Pervious Concrete Pore Structure and Permeability Prediction", ACI Materials Journal, Temmuz-Ağustos 2010, pp 413-421.

Neithalath, N., Sumanasooriya, Milani S., Deo, O.,

"Characterizing pore volume, sizes, and connectivity in pervious concretes for permeability prediction", Materials Characterisation, Vol 61, 2010, pp 802-813.

Haselbach ,Liv M., Valavala, S., Montes, F.,

"Permeability predictions for sand-clogged Portland cement pervious concrete pavement systems", Journal of Environmental Management, Vol 81, (2006), pp 42-49.

Mahboub, K. C., Canler, J., Rathbone, R., Robl, T., and Davis, B.,

"Pervious Concrete: Compaction and Aggregate Gradation", ACI Materials Journal, Kasım-Aralık 2009, pp 523-528.

Neptune, Andrew I. , Putman, Bradley J.,

"Effect of Aggregate Size and Gradation on Pervious Concrete Mixtures", ACI Materials Journal, Kasım-Aralık 2010, pp 625-631.

Meininger, R.,

"No Fines Pervious Concrete For Paving", Concrete International, August 1988,pp 20-27.

Kevern, John T., Wang, K., and Schaefer, Vernon R.,

"Pervious Concrete in Severe Exposures", Concrete International, Temmuz 2008, pp 43-49.

Yang, J., Jiang, G.,

"Experimental study on properties of pervious concrete pavement materials", Cement and Concrete Research, Vol 33, 2003, pp 381-386.