

# Geçirimli Beton Yollar: Gereklilikler, Kullanım ve Uygulama Yöntemleri\*

Aldona Wcisło\*\*

Çeviren: İnş.Yük.Müh. Yasin Engin

## Özet

Geçirimli beton; piyasada arz edilen betonlar, vibrapres (basınç ve sıkıştırma ile üretilen) ve prefabrik beton bloklar için farklı ve etkili çözüm sunan bir üründür. Geçirimli beton, sürdürülebilir tasarım ve uygulamaya yönelik özellikleri ile çevremizin daha nitelikli şekillenmesini sağlamaktadır. Standartlara uygun olarak tasarlanan ve uygulanan geçirimli beton yol yüzeyi veya alt temelinin birçok avantajı bulunmaktadır. En önemli avantajlarından bir tanesi yağmur suyunun hızlıca drenajını sağlayarak yol üzerindeki kayma riskini düşürmesidir.

Geçirimli beton bir proje olarak düşünüldüğünde projenin en önemli parçası bileşenlerin özellikleri ve karışımdaki oranlarıdır. Sabit bir gradasyon eğrisi olmayan ya da mono-fraksiyon bir dağılıma sahip yani sınırlı bir aralıkta boyutlandırılmış agregaların kullanılması, betonun yeterli dayanım ve direnci sağlaması oldukça karmaşık konulardır.

Geçirimli betonun özelliklerini oluşturan parametrelerden en önemlileri gözeneklilik (boşluk yapısı) ve su iletkenliğidir. Bu iki parametre nicelik ve nitelik açısından agrega ve çimento hamurunun özelliklerinin belirlenmesini sağlar.

Uygun bir şekilde tasarlanan ve uygulanan geçirimli beton yol yüzeyi sadece dayanıklılık açısından değil; ayrıca çevresel performansı nedeniyle de geniş bir kullanım alanına sahiptir.

## Permeable Concrete Pavements: The Requirements, Use and Methods of Application

Permeable concrete is an interesting supplement to solutions available on the market, involving concrete, vibropressed or prefabricated concrete blocks. It enables us to shape our environment with a particular emphasis on sustainable construction. A properly designed and constructed permeable concrete surface or sub-base has many advantages. One of the most important advantages is the speed of draining the rainwater from the outer surface, which minimizes the risk of slipping.

In permeable concretes, the composition of ingredients is the most important part of the whole project. Application of aggregate without a constant gradation curve, or even with monofraction porosity, adequately durable and resistant to densification is very complicated

## 1. Giriş

Günümüzde beton yol yüzeyleri dayanıklılık, güvenlik, kullanım rahatlığı, maliyet ve çevresel etki gibi birçok konuda istenilen şartları karşılamak zorundadır. Beton; yerel yollar, otobanlar, bisiklet yolları, yaya yolları, kaldırımlar ve otoparkların yapımında alternatif bir yöntem olarak ortaya çıkmaktadır. Geçirimli beton; piyasada arz edilen betonlar, vibrapres (basınç ve sıkıştırma ile üretilen) ve prefabrik beton bloklar için farklı ve etkili çözüm sunan bir üründür. Geçirimli beton, sürdürülebilir tasarım ve uygulamaya yönelik özellikleri ile çevremizin daha nitelikli şekillenmesini sağlamaktadır.

## 2. Yüzey Özellikleri

Geçirimli beton, yüksek oranda gözenekli (boşluklu) bir yapı oluşumunu sağlayacak nitelikte zenginleştirilmiş ve gerekli kullanım miktarı tespit edilmiş bileşenlerden oluşmaktadır.

(\*) Türkiye Hazır Beton Birliği tarafından düzenlenen 17. ERMCO Kongresi'nde sunulmuştur.

(\*\*) Lafarge Kruszywa i Beton Sp. z o.o.

Az miktarda su ve gerekli miktarda bağlayıcı malzeme çimento hamurunun (pas-tası) en uygun likiditede olmasını sağlar. Çimento hamurunun bütün agrega tanelerinin etrafını saracak, segregasyona (ayrışmaya) neden olmayacak, agrega tanelerinin hamur dışına kaçmasını engelleyecek miktarda olması gerekmektedir. Çimento ve sudan oluşan bulamaç miktarının düşük miktarda olması agrega taneleri arasında boşluklu bir yapının oluşması ile sonuçlanır. Fazla miktarda kullanım durumunda olası boşluklar kapanır ya da yeterli miktarda oluşmaz. Suyun hızlı ve sorunsuz bir şekilde beton yüzeyinden drenajının (tahliyesinin) sağlanması için boşluklu yapının istenilen karakterde olması gerekmektedir. Her gözenekli (boşluklu) beton geçirimli beton özelliğine sahip değildir, çünkü geçirimli betonda boşluk yapısı özel niteliktedir. Geçirimli betonda hedeflenen ana parametre de zaten geçirim özelliğidir. Bu karakter bir tasarımın sonucunda açığa çıkabilmektedir.

Genel olarak geçirimli beton %15-20 oranında boşluklu yapı içermektedir. En uygun oranın %20'nin üzerinde olduğu söylenebilir.

Sertleşmiş betonda uygun boşluk sisteminin kurulmasını belirleyen faktör, agrega cinsi ve şeklidir. Agrega, betonun dayanıklılık ve kalitesi gibi özellikleri üzerinde büyük bir etkiye sahiptir.

### 3. Geçirimli Beton Bileşenleri İçin Kalite Gereksinimleri

Uygun bir şekilde tasarlanmış ve uygulaması yapılmış geçirimli beton yüzey veya alt temelin birçok avantajı vardır. En önemli avantajlarından bir tanesi yağmur suyunun hızlıca drenajını sağlayarak yol üzerindeki kayma riskini düşürmesidir.

Her türlü yerel yollar, ara yollar, otobanlar, bisiklet yolları, yaya yolları, kaldırımlar, otobüs durakları ve otoparklar için uygulanması mümkün olan geçirimli beton kaplama hem karışımında bulunan bileşenler hem de sertleşmiş beton özellikleri açısından birçok şartı karşılamak zorundadır.

Hem beton hem de bileşenleri için EN 197-1 ve EN 206 gibi standartları göz ardı etmek mümkün değildir. Dış yüzeyi geçirimli olan bir beton kullanabilmek için bileşenlerin karşılaması gereken önemli şartlar bulunmaktadır. Bu şartlar çoğunlukla sertleşmiş beton ile alakalı olan dona karşı direnç (F150), su emme (%5'e kadar) ve su geçirmezliktir (W8). Birçok durumda beton gerekli çekme dayanımına (4,5-5,5 MPa) sahip olmalı, ortamda tuz mevcut olduğu durumlarda donma-çözülme etkisine direnç göstermeli (FT2) ve yeterli boş-

The most important feature parameters of permeable concrete include porosity and water conductivity. These two factors determine the choice of the aggregate (in terms of quality and quantity), and the quantity and quality of the slurry.

The proper construction of a permeable concrete surface allows for its wider application, not only because of its durability but also because of environmental aspects.

luklu yapıya (A300  $\geq$ 1.5%, L $\leq$ 0.200 mm) sahip olmalıdır.

#### 3.1 Yaya yolları ve araç trafiğine açık yollar için gereklilikler

Yayalar ve bisiklet sürücülerine yönelik alanlar için geçirimli beton kullanımı durumunda beton yoldakine benzer şekilde betonu oluşturan bileşenlere ve sertleşmiş beton özelliklerine yönelik şartlara uyulmalıdır. EN 1338 (Beton parke taşları) ve EN 1339 (Zemin döşemesi için beton kaplama plâkaları) gibi standartlar bu konuda referans alınabilir.

Geçirimli beton bir bakıma çerçeve bir sistemdir. Bu sistemin en sağlam parçası agrega olmalıdır. Agrega donma ve aşınma gibi çevresel etkilere karşı dayanıklı olmalıdır.

#### 3.2 Beton yüzeyler için gereklilikler

Yol yüzeyleri ile ilgili olarak, geçirimli beton hem bileşenleri hem de mekanik özellikleri kapsamında EN 13877 (Beton kaldırımlar), PN-75/S 96015 (Havaalanı beton kaplamaları) ve EN 206 gibi standartlardaki şartları karşılamalıdır.

#### 3.3 Altyapı (alt temel) için gereklilikler

Geçirimli beton kaplama şehir içi yollar, bisiklet yolları, yaya yolları ve kaldırımlar için ideal bir altyapı kaplamasıdır. Hiç şüphesiz, geçirimli beton yollar hem geçirim özelliği hem de deformasyona karşı direnci ile oldukça avantajlı bir çözümdür. Elbette teorik anlamdaki bu avantaj pratikte yani uygulama aşamasında standartları, şartnameleri ve tasarım hükümlerini karşılama durumunda geçerlidir.

Bu gereklilikler temel olarak PN-S-96012 (Araç yolları-Altyapı ve çimento ile stabilize edilmiş alt tabakalar), PN-S-96013 (Araç yolları- Beton kaplama) ve PN-S 96023 (Yol inşası- Kırma taşlı altyapı ve üstü yapısı) standartlarından sağlanmaktadır. Ayrıca, hidrolik bağlayıcı karışımlar için EN 14227-1 ve benzeri standartlar referans alınmaktadır.

#### 3.1 Açık gradasyonlu (geçirgen) beton için gereklilikler

Geçirimli beton için en uygun sınıflandırma açık gradasyonlu (geçirgen) beton ile kıyaslanarak sağlanmaktadır. Geçirimli beton açık gradasyonlu (geçirgen) betonun bileşenler ve tasarım açısından modifiye edilerek iyileştirilmiş versiyonudur. Kullanılan bileşenlere bağlı olarak dayanım, geçirim özelliği ve yüzey özellikleri kontrol edilebilmektedir. Tüm bu avantajlı yönler geçirimli betonun uygulama alanını son derece arttırmaktadır.

#### 4. Yayalara Özel Alanların Tasarımı

Geçirimli beton ile yapılan yüzeylerin tasarım prensipleri normal beton ile yapılan yüzeyler ile karşılaştırılabilir. Yapısal bütünlüğün ve dayanıklılığın sağlanması için geçirimli beton yüzeyleri 25 m<sup>2</sup> - 50 m<sup>2</sup> arasında ayrı yüzeyler (anolar) halinde tasarlanmalıdır. Bu parçaların en ve boy oranı 1-2.5 arasında değişebilmektedir. Ayrıca, her yüzeyin uzunluğu kaplama kalınlığının 25 katını geçmemelidir (Figür 4).

Beton karışımın uygun bir şekilde homojen olarak dağılması amacıyla genişleme derzleri, kaplama taşları, tuğla vb. pratik uygulamalar bariyer olarak kullanılabilir.

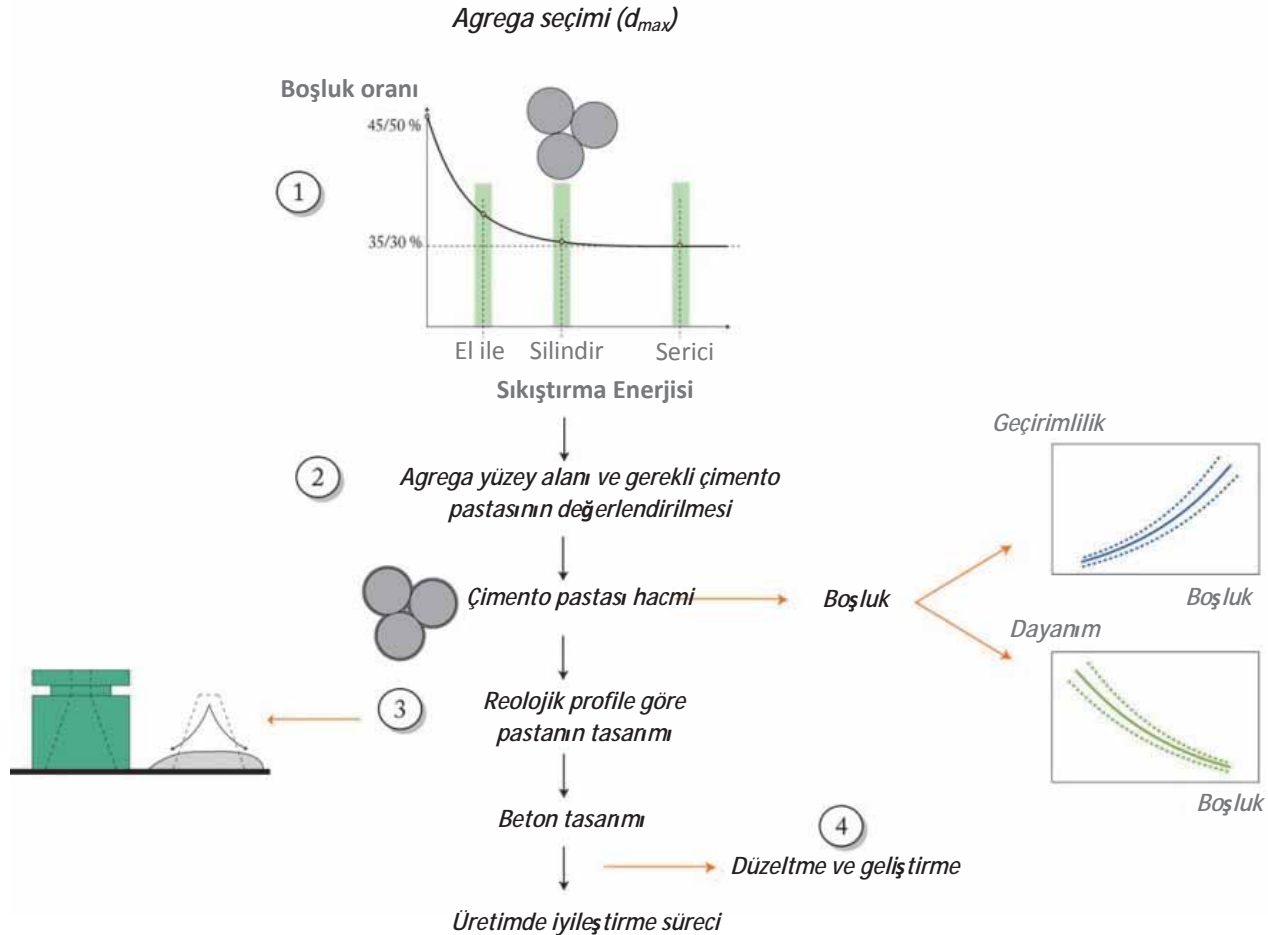
Yüzey ve alt tabaka kalınlığı operasyonel faktörler ile birlikte zemin ve su özelliklerine bağlıdır. Uygulamaya bağlı olarak, en uygun geçirimli beton türü seçilmelidir. Kaplamanın dayanıklılığı sadece betonun dayanıklılığına değil; ayrıca tasarım, işçilik ve uygulama gibi süreçlere de bağlıdır. Uygun bir şekilde yapılan derzler yüzeyin dayanıklılığını olumlu etkilemektedir (Figür 5). Sabit engellerin olduğu durumlarda mutlaka genişleme derzleri uygulanmalıdır ve keskin yüzeylerin ortaya çıkmasını engelleyecek şekilde uygulama yapılmalıdır.

Genleşme derzleri betonun yeterli dayanımı almasından sonra geleneksel yöntemler ile elde edilebilir. Bir diğer yöntem ise taze beton yüzeyinde özel bir kesici kullanarak oluklar oluşturulmasıdır (Figür 6). Geçirimli beton transmikser ile yerleştirilebilmektedir. Pompa ile yerleştirme uygun değildir, ancak bazı durumlarda huni veya kova ile de yerleştirme mümkündür.

Beton boşaltılmadan önce döküm yapılacak yüzey mutlaka nemlendirilmeli ve gerekiyorsa yüzey üzerine geotekstil malzeme serilmelidir.

#### 5. Geçirimli Betonun Karışım Tasarımı

Geçirimli beton bir proje olarak düşünüldüğünde projenin en önemli parçası bileşenlerin özellikleri ve karışımdaki oranlarıdır. Sabit bir gradasyon eğrisi olmayan ya da mono-fraksiyon bir dağılıma sahip yani sınırlı bir aralıkta boyutlandırılmış agregaların kullanılması, betonun yeterli dayanım ve direnci sağlaması oldukça karmaşık konulardır Çimento hamurunun en önemli işlevi agregaların etrafını sararak onları birbirlerine yapıştırmaktır. Bu işlev istenilen geçirimsizlik özelliğinin, dayanıklılığın ve estetik görüntünün oluşması ile anlam kazanır (Figür 7).



**Figür 7:** Geçirimli beton tasarım şeması

### 5.1 İri Agregaya

Geçirimli beton uygulamasına karar verildiğinde en çok zamanın harcanacağı konu hem kaliteli hem de fiziksel (şekil, ebat, gradasyon vb.) şartları sağlayabilen agreganın temin edilmesi olacaktır. Agregaya yönelik en önemli hususlardan birisi doğru mono-fraksiyon seçimidir. Bilindiği gibi yol uygulamalarında çoğunlukla 2-5 mm, 5-8 mm, 8-11 mm; normal beton uygulamalarında ise 2-8 mm veya 2-16, 8-16, 16-22, 16-32 mm şeklinde fraksiyonlar kullanılmaktadır.

2-8 veya 2-16 mm fraksiyonlu agregalardaki en büyük risk istenilen boşluklu yapının oluşmaması ya da yeterli olmamasıdır. Geçirimli beton üretiminde kullanılacak agregaya donmaya, aşınmaya karşı dirençli olmalıdır. Kullanım miktarı genelde 1500 - 1800 kg/m<sup>3</sup>tür.

Agrega seçimi yapılırken Tablo 1'de gösterilen agregaya özelliklerinin betonun geçirgenliğine, sıkıştırılabilirliğine ve basınç dayanımına olan etkisi değerlendirilmelidir.

**Tablo 1:** Agregaya seçimi süreci

	Özellik	Değerlendirme	Etki		
			Geçirgenlik	Sıkıştırılabilirlik	Basınç Dayanımı
1	D <sub>max</sub> /D <sub>min</sub>	≤2	+	+	-
		>2	-	-	+
2	D <sub>min</sub> ebadı	<4	-	-	0
		≥4	+	+	0
3	Tip	Kırma	+	0	+
		Yuvarlak	0	0	0
		Yassı/Uzun	0	+	-
4	Uzunluk	L≤1.5 x Genişlik	+	0	+
		L>1.5 x Genişlik	0	+	-

### 5.2 Kum

Beton karışımında kullanılan kum organik (kirli) madde içermemeli ve karışımın homojen olması için son derece sabit bir gradasyona sahip olmalıdır. Kullanılan kum ilgili standarttaki şartlar karşılanmalıdır. Genel olarak beton karışımında kullanılan kum miktarı 0-180 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Bu oran uygulamanın türüne göre değişmektedir.

sahip malzemeleri de taşıyabilmektedir. Bu nedenle kullanılan çimentonun bu malzemelere karşı dirençli olması beklenmektedir. İlgili Alman Draenbetontragschichten (DBT) kılavuzuna göre çimento miktarı toplam agregaya kütlelerinin %8-12 civarında olmalıdır. Bu oran da yaklaşık 150-220 kg/m<sup>3</sup> çimentoya denk gelmektedir. Çimento miktarı kullanılan agreganın miktarına, özelliklerine, tipine ve şekline bağlıdır.

### 5.3 Çimento

Mevcut şartnameler ve yönetmelikler bağlayıcı tipi olarak düşük alkali özelliği gösteren CEM I çimentosunu veya özel durumlarda 42.5 sınıfında Portland çimentosunun kullanımını gerektirmektedir. Beton yüzeyinin geçirimsizliği ile ilgili olarak uygulama noktasında en iyi seçenek hızlı dayanım kazanan çimento kullanılmasıdır. Genel olarak beton karışımında kullanılan çimento miktarı 260-330 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Bir diğer önemli parametre olan su/bağlayıcı oranı ise 0.25 - 0.30 arasında olmalıdır. Betonda drenaj söz konusu olduğunda çimento tipinin ve özelliklerinin önemi yüksek değildir. Ancak, beton içerisine nüfuz eden su beraberinde olumsuz etkiye

### 5.4 Su

Beton karışımında musluk suyu olarak tabir edilen içilebilir su kullanılmalıdır. Her harmanın aynı su/çimento oranında olması sağlanmalıdır. Geri dönüşüm suyunun kullanımı geçirimsiz beton üretiminde tavsiye edilmez. Geri dönüşüm suyu özellikle betonda istenilen boşluk oluşumunu olumsuz etkilemektedir.

### 5.5 Kimyasal katkıları

Beton karışımının çözücü tuzların olduğu ya da olmadığı durumlarda dona karşı dirençli olması (F130) ve uygun boşluklu yapının

oluşması için akışkanlaştırıcı veya hava sürükleyici gibi kimyasal katkıları kullanılarak üretilmesi gerekebilmektedir. Özellikle az miktarda kullanılan çimento hamurunun yeterli likiditede olması, aynı zamanda ayrışmasını engelleyecek viskozitede olması için uygun kimyasal katkıların seçilmesi önem taşımaktadır.

### 5.6 Çimento pastasının özellikleri

Geçirimli beton karışımı tasarımında en çok dikkat edilecek hususlar uygun oranda çimento pastası ve agrega kullanımınıdır. Uygun miktarda kullanılan çimento pastası betonun yeterli viskozitede olmasını sağlar. Karışımın viskozitesi O-Funnel (Figür 8-9), kıvamı ise mini cone (Figür 10-11) ile ölçülmektedir. İlgili tüm süreç Tablo 2'de özetlenmiştir.

Uygun miktarda çimento hamurundan kastedilen agrega tanelerinin etrafının sarılması, rijit bir yapının oluşmasından öte iskelet benzeri bir yapının oluşmasıdır (Tablo 3).

### 5.7 Kür katkısı

Beton kalıba yerleştirildikten hemen sonra yüzeyi kurumaya karşı korunmalıdır. Geçirimli beton karışımının su/çimento oranının düşük olması ve optimum çimento pastasına göre tasarlanmış olması nem kaybına karşı çok hassas olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle beton bünyesinde suyun buharlaşma ile kaybolmasına engel olacak yüzey örtüleri ya da kimyasal kür katkıları kullanılabilir.

**Tablo 2:** Çimento pastası özellikleri

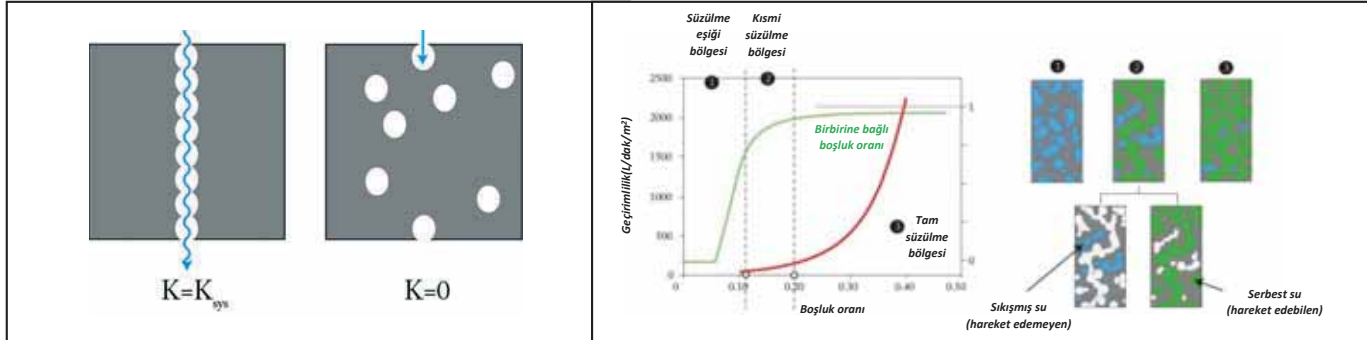
Test	Çimento pastası karakteristiği	Tavsiye edilen değerler
Mini O-funnel	12-18 saniye	12 saniye
Mini Slump	260-300 mm	280 mm

**Tablo 3:** DBT'ye göre beton karışımı

Bileşen	Kütlece Oran (%)	Miktar (kg/m <sup>3</sup> )
Çimento	% 8-12 *	150-220
Su	%3-6 **	60-90
Kum ( 0/1 mm, 0/2 mm)	10% *	150-180
Kırma Agrega (8/22 mm, 8/32 mm)	90% *	1500-1600

\* Toplam agrega kütle oranla

\*\* Toplam çimento+agrega kütle oranla



**Figür 1:** Aynı boşluk oranında farklı geçirimsizlik özelliği

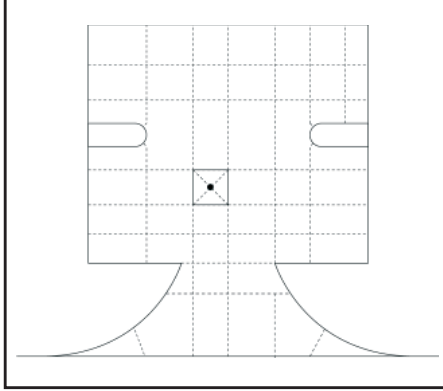
**Figür 2:** Optimum gözeneklilik (boşluk)



**Figür 3:** Geçirimli beton konsepti

**Figür 4:** Tasarlanmış boyut şeması





Figür 5: Derz sistemi



Figür 6: Derz kesme aparatı



Figür 8: Mini O-funell



Figür 9: Mini O-funell



Figür 10: Mini Slump



Figür 11: Mini Slump

## 6. Betonun Yerleştirilme Süreci

Geçirimli betonun yerleştirilmesi oldukça karmaşıktır. Az miktardaki çimento hamuru nedeniyle beton hızlıca yerleştirilmeli ve sıkıştırılmalıdır. Bu işlem esnasında vibrasyon uygulaması tercih edilmez. Beton karışımı düzgün hazırlanmış bir yüzey üzerine yeterli yoğunluk ve neme sahip bir şekilde yerleştirilir. Yerleştirilen betonun etrafı sınırlandırılır. Hızlı bir şekilde yerleştirilen betonun yüzeyi mala ile seviyelenir. Aşırı buharlaşma yani su kaybetme riskine karşı gerekli önlemler alınır. Daha sonra gereklilik durumuna göre ön sıkıştırma işlemi uygulanır. Ön sıkıştırmanın ana amacı betonun homojen olarak dağılmasını sağlamak ve betonun ayrışmasını en-

gellemektir. Çimento su karışımının agregalı yapıdan ayrılma riskini azaltmak için farklı yerleştirme, serme ve sıkıştırma yöntemleri test edilebilir. Aşağıda örnek olarak gösterilebilecek uygulama yöntemleri belirtilmiştir.

- manuel kaplama - geçirimliliğin ön planda olduğu, dayanıklılığın daha az önemli olduğu işler için (Figür 12)
- finişer ile beton kaplama yapılması (Figür 13)
- mekanik sıkıştırma (Figür 14)
- vibratörlü perdah (Figür 15)
- el silindiri ile yüzeyin sıkıştırılması (Figür 16)



Figür 12: Manuel kaplama yapılması



Figür 13: Serici ile betonun yerleştirilmesi



Figür 14: Mekanik sıkıştırma



Figür 15: Vibratörlü perdah



Figür 16: El silindiri ile sıkıştırma

## 7. Geçirimli Beton Parametrelerin Kontrolü

Geçirimli beton ile ilgili en önemli parametreler gözeneklilik ve su iletkenliğidir. Bu iki parametre niceliksel ve niteliksel olarak agrega tipi ve pasta seçimini belirler. Uygulama pratiği ve standartlar kapsamında gerekli şartların sağlanması ile beton bileşenleri en iyi tasarımı karşılayacak şekilde seçilebilmektedir.

### 7.1 Su geçirgenliği

Su geçirgenliği testi ile tasarlanmış bir elemandan belirli miktarda geçen su akışının süresi hesaplanmaktadır. Bu parametre K-düşey geçirgenlik [mm/s] olarak ifade edilmektedir.

$$K = (4L/\pi hD^2) \times (M/t) \times 60$$

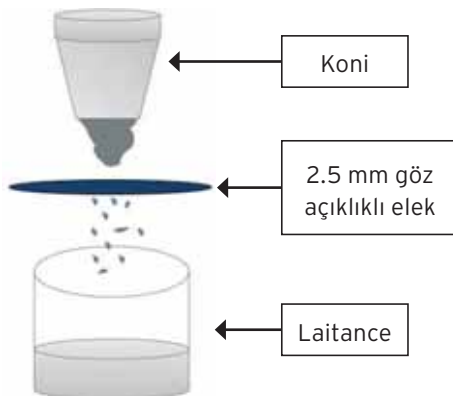
### 7.1 Gözeneklilik (boşluklu yapı)

Gözeneklilik testi sertleşmiş betonun yapısında bulunan toplam boşluk hacminin hesaplanmasını kapsamaktadır. Ölçülen parametrenin değeri p - toplam gözeneklilik [%] olarak belirtilmektedir.

$$p = [1 - (V_1 - V_2) / V] \times 100$$

### 7.3 Segregasyon (ayrışma) direnci

Segragasyon (ayrışma) direnci testinin başlıca amacı su ve çimentodan oluşan hamurun uygunluğunu tespit etmektir. Bu testte vibrasyon etkisi altında agrega tanelerinden ayrılan (kaçan) pastanın miktarı ölçülmektedir. Bu miktar test edilen beton kütesinin %5'inden fazla olmamalıdır (Figür 17).



Figür 17:  
Segregasyon  
(ayrışma)  
testi şeması

## 8. Sonuç

Geçirimli beton, bileşenlerinin özelliklerine bağlı olarak geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bu beton türü yaya yolları, şehir içi yollar, kaldırımlar, bisiklet yolları, banketler gibi yüzey kaplamaları ve alt temel tabakası olarak oldukça ilginç bir seçenektir. Tenis kortlarında, halı sahalarda, ters çatı yüzeylerinde veya yağmur suyunu yeraltı deposuna ileten yüzeylerde rahatlıkla kullanılabilir. Geçirimli betonlarda ayrıca farklı özelliklerde agregalar ve renk pigmentleri kullanılabilir.

## Kaynaklar

- [1] A.Szydło, P.Mackiewicz "Nawierzchnie betonowe na drogach gminnych - poradnik"
- [2] EN 206: Beton- Özellik, performans, imalat ve uygunluk
- [3] EN 13877-1: Beton kaplamalar - Bölüm 1: Malzemeler
- [4] EN 13877-2: Beton kaplamalar - Bölüm 2: Beton kaplamalar için gerekli işlevsel özellikler
- [5] PN-75/S-96015 Drogowe i lotniskowe nawierzchnie z betonu cementowego
- [6] EN 13380: Kanalizasyon ve drenaj sistemleri - Bina dışı - Tamir ve yenileme için kullanılan bileşenlerin genel özellikleri
- [7] EN 1339: Zemin döşemesi için beton kaplama plâkları - Gereklere ve deney metotları
- [8] Pervious Concrete Mixture Proportions for Improved Freeze-Thaw Durability - J.T.Kevern;V.R.Schaefer;K. Wang;M.T.Suleiman
- [9] Durability of porous concrete for concrete pavements - E.Rickschen;E.Siebel
- [10] Mix Design Development for pervious concrete in cold weather climates - J.T.Kevern;V.R.Schaefer;K. Wang;M.T.Suleiman
- [11] Pervious Concrete Pavements P.D.Tennis; M.L.Leming; D.J.Akers