

Geçirimli Beton Uygulama Kılavuzu

1. Geçirimli Beton Nedir

Geçirimli beton, geleneksel betondan farklı olarak birbirine bağlı boşluklar içeren bir betondur. Betonda sadece iri agrega, özellikle de kırmataş daha fazla kullanılmakta, ince agrega kullanılmamaktadır. Böylece geleneksel betona göre daha çok hava ve su geçirimliliği sağlanmaktadır. Geçirimli beton, "geçirimli kumsuz beton" veya "poroz beton" olarak da adlandırılmaktadır.



Permeable Concrete Application Guide*

Permeable concrete is a type of concrete that contains interconnected pores, differently from conventional concrete. In concrete, only coarse aggregate, in particular ballast, is used more, while fine aggregates are not in use.

This way, more air and water permeability is ensured compared to conventional concrete. Permeable concrete is also referred to as "permeable sand-free concrete" or "porous concrete."



Şekil 1: Geçirimli beton

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
Türkiye Hazır Beton Birliği

Bu doküman, 2018 yılında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı) ve Türkiye Hazır Beton Birliği'nin (Selçuk Uçar ve Aslı Özbora Tarhan'ın) çalışmalarıyla hazırlanmıştır. Bu dokümanın her hakkı saklıdır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı veya Türkiye Hazır Beton Birliği'nin yazılı izni olmaksızın bu dokümanın tamamı veya herhangi bir bölümü hiçbir biçimde ve hiçbir yolla, çoğaltılamaz ve dağıtılamaz.

2. Geçirimli Beton Kullanımının Faydaları

Geçirimli beton kaplamaların kullanılmasının çok sayıda çevresel ve ekonomik faydaları vardır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:



Şekil 2a: Yağmur suyu ve yüzey akış suyunun yarattığı sorunlar

• **Yer Altı Suyunun Yenilenmesi:** Geçirimli betonun çevresel faydalarından ilki ve en önemlisi yağmur-taşkın suyu ve yüzey akış suyunun yer altına sızmasına olanak vermesidir. Yağmur sularının yer altına sızması ile yer altı suyunun yenilenebilmesine büyük fayda sağlanmaktadır. Şehirleşmenin her geçen gün artması ve azalan yağış oranları ile birlikte özellikle şehirlerde yer altı su sistemine her yıl daha fazla zarar verilmektedir. Geçirimli beton, açık toprak sahalarla aynı oranda hatta bazen daha hızlı bir şekilde suyun toprağa geçmesine yardımcı olmaktadır. Bunun nedeni, betondan geçmekte olan suyun, açık havaya maruz kalmadan daha az buharlaşması ve daha fazla suyun toprağa geçebilmesidir.



Şekil 2b: Yağmur suyu ve yüzey akış suyunun yarattığı sorunlar

• Yüzey Kirleticilerinin Kontrolü:

Yüzey kirleticilerinin, yer altı veya üstü su kaynaklarımıza sızmasına en çok yağmur suyu akışı sebep olmaktadır. Şöyle ki; yollar ve otoparklar gibi sahaların yüzeyinde biriken toz vb. çökelten kirleticiler ile birlikte araçlardan dökülen yağlar-ağır metaller ve asfalt kaplamalardaki bitüm-dolgu sızıntılarının çoğu yağmur suyu ile birlikte taşınır. Bu kirli akış genellikle arıtım yapılabilecek bir yere değil, yer altı veya üstü su kaynaklarımıza yönelir. Bu nedenle bu su kaynaklarındaki organik hayat etkilenmektedir ve bu suların içilebilir hale getirilebilmesi için daha zorlu bir arıtma süreci uygulanmaktadır.

Geçirimli beton kaplama, yüzey kirleticilerine bir filtre görevi görür, suyun temiz bir şekilde yer altı suyuna karışmasına izin verir. Geçirimli betonun içinde kalan yağlar gibi organik kirleticiler alt zeminin hemen üzerinde birikir ve toprağa sızmadan bu bölgede biyolojik olarak birçok bakteri ve mantar tarafından parçalanır, atmosfere salınan daha basit kimyasal bileşenlere dönüştürülür. Araştırmalar, geçirimli kaplamalara giren yağların yüzde 99'undan fazlasının biyolojik olarak parçalandığını göstermektedir (NRMCA-PCA, 2016).

• Diğer Yağmur Suyu Yönetim Sistemlerine Göre Maliyet Düşüklüğü: Geçirimli beton kaplamalar, diğer yağmur suyu yönetim sistemlerine göre karmaşık drenajlar, bordürler, pompalar, oluklar ve tutma havzaları gibi ihtiyaçları ortadan kaldırması nedeniyle daha düşük işçilik-yapım ve işletme maliyetine sahiptir.

Geçirimli beton kaplamalar, geçirimli asfalt gibi alternatiflerden de daha düşük yaşam döngüsü maliyetine sahiptir. Geçirimli beton, üstün dayanıklılık özellikleri sayesinde, doğru bir işçilik ve tasarımla 30-40 yıllık bir ömre ulaşabilmektedir ve bu süre içerisinde asfalta göre çok daha az bakım gerektirir. Hatta sonunda da geri dönüştürülebilir.

Ayrıca dünyada artan şekilde kamu idarelerinin su geçirmeyen alanlar için yağmur suyu etki ücreti gibi önleyici tedbirler uygulamaya başladığı görülmektedir. Mevzuatlar ile yağmur

suyunun drene edilip toplanarak tekrar kullanılması veya yer altı suyuna iletilmesi teşvik edilmektedir. Geçirimli beton, kanalizasyon sistemlerine olan talepleri aza indirecek bir uygulama olarak mevzuatça öngörülen bu vergilendirme-teşvik sistemine olumlu katkı sağlamaktadır.

• Erozyon Kontrolü: Yağmur suyu, su geçirmeyen yüzeylerden kontrollü olmadan geçerse, erozyona neden olabilir. Tek bir fırtına veya selde bile bu erozyon yüzünden çok ciddi mal hasarı oluşabilir. Erozyondan dolayı oluşan bu killi-siltli akış, su yapılarına ve su yollarına aşındırma etkisi ile zarar verebilir. Geçirimli beton bu aşınma etkisini ortadan kaldırır.

• Kentsel Isı Adası Etkisi: Geçirimli beton, açık renkli olduğu için gelen güneş ışığını yansıtır ve tanecikli yapısı ile ısıyı veya suyu geçirerek şehirlerde ısı adası etkisini (şehir içi ve dışı bölgeler arasındaki ısısal gradyan farklılıklarını) azaltır. Daha serin bir yüzey oluşturarak ve bitişik binaların soğutma maliyetlerinin yaz mevsiminde ciddi oranda azaltılmasına yardımcı olur. Isı adası etkisi, otoparklara dikilen ağaçların eklenmesiyle daha da azaltılabilir.

• Kar Erimesini Hızlandırma: Geçirimli betonun altında dolaşan hava, kaplamaların üzerinde kalan karların ve buzların erimesini hızlandırır ve eriyen suyun derhal toprağa karışmasını sağlar. Ayrıca üzerinde su birikmediği için buzlanma riski de çok azalır.

• Sulama Sistemi Olarak Kullanılabilme: Geçirimli beton ile istenirse su depolanabilir ve sulama sistemleri için önemli bir tamamlayıcı olabilmektedir. Bu sayede sulama için içme suyu kullanımını azaltmayı sağlayabilir. Ayrıca pahalı sulama sistemlerinin küçültülmesine ya da ortadan kaldırılmasına neden olabilir.

• Daha Fazla Ağaçlı Alana İmkân Vermesi: Geçirimli beton, suyu geçebildiği için ağaç kökleri beslenebilmektedir. Suyu geçirmeyen geleneksel kaplamalarda bu mümkün olamamaktadır. Bu özelliği sayesinde geçirimli beton, peyzaj mimarisi ve kentsel tasarımda da önemli kullanım alanları bulabilmektedir.



Şekil 3: Geçirimli betonun çevresel faydaları

• **Eğimsiz Yüzey Sağlayabilme:** Geçirimli beton kaplamaların yapımında, geleneksel kaplamalar gibi yağmur suyunun akması için dever-eğim verme gereği yoktur, yüzey dümdüz yapılabilir. Bu sayede özellikle spor sahaları gibi küçük de olsa eğimin kabul edilmeyeceği alanlarda kullanılması önem kazanmaktadır.

• **Azaltılmış Gece Aydınlatması:** Geçirimli betonun açık rengi sayesinde yansıtıcılığı, o alan için gerekli olan ışık miktarının daha az kullanılmasını sağlayabilmektedir. Bu sayede aydınlatma maliyetlerini azaltır.

• **Yeşil Bina Sertifikasyon Sistemlerince Tanınması:** Geçirimli beton kaplamalar, LEED, BREEAM veya DGNB gibi dünya çapında tanınmış ve Türkiye’de de artık çok önem verilmeye başlanan yeşil bina sertifikasyon sistemlerince tanınan ve puan kazandıran bir uygulamadır.

• **Yerel Malzemelerin Kullanımı:** Geçirimli beton kaplamaların karışım tasarımı bölgesel malzemelerin kullanılabileceği şekilde adapte edilebilir. Ayrıca üretilen beton yakın bir hazır beton tesisinde üretileceği için taşıma maliyetleri ve çevresel etkileri düşüktür. O yöre harici hiçbir ürün kullanılmadan yapılabilen yegâne yağmur suyu tahliye yöntemidir.



3. Geçirimli Betonun Kullanım Alanları

Geçirimli beton genel olarak aşağıdaki yerlerde kullanılabilir:

- Kaldırımlar ve yollar
- Otoparklar
- Düşük su geçitleri
- Yağmur bahçeleri
- Şev stabilizasyonu
- Seralar
- Su eğlence merkezleri ve hayvanat bahçeleri
- Hidrolik yapılar
- Kaldırım kenarına drenaj



Şekil 4a: Geçirimli beton uygulamaları ve kesit örneği



Şekil 4b: Geçirimli beton uygulamaları ve kesit örneği

j. Mahmuzlar ve kıyı duvarı

k. Gürültü bariyerleri

l. Duvarlar (yük taşıma dahil)

m. Spor tesisleri alt yapısı

n. Peyzaj düzenlemeleri ve diğer dekoratif amaçlı kullanımlar.

Geçirimli beton düşük basınç dayanımına sahip olduğu için şu an için ağır vasıtaların geçtiği alanlara uygun değildir.



4. Geçirimli Betonun ve Bileşenlerinin Nitelikleri

Geçirimli beton, yüksek oranda boşluğa sahip bir yapı oluşumunu sağlayacak nitelikte özenle seçilmiş ve gerekli kullanım miktarı tespit edilmiş bileşenlerden oluşmalıdır. Su miktarına çok dikkat edilmeli ve oluşturulan çimento hamuru, agregataneleri çevresinde kaplama oluşturacak gerekli miktarda bağlayıcı malzeme içermelidir. Çimento hamuru, bütün agregatanelerinin etrafını saracak, ayrışmaya neden olmayacak, agregatanelerinin hamur dışına kaçmasını ve ayrışmasını engelleyecek miktarda olmalıdır.

Geçirimli betonlarda ince agregat (kum vb.) kullanılmamalıdır. İnce agregat kullanılması betonun basınç dayanımı ile dayanıklılık özelliklerini artırmakta ancak geçirgenlik performansını azaltmaktadır (Neptune & Putman, 2010). Türkiye Hazır Beton Birliği Yapı Malzemeleri Laboratuvarında da geçirimli betonlarda ince agreganın etkisi irdelenmiştir (Akakin & Kılınç, 2011).

Genel olarak geçirimli beton %15-35 aralığında boşluklu bir yapı içermelidir. Sertleşmiş betonda uygun boşluk sisteminin kurulmasını belirleyen faktör, agregat cinsi ve şeklidir. Agregat, betonda olduğu gibi geçirimli betonda da dayanıklılık, kalite gibi özellikleri üzerinde büyük bir öneme sahiptir.

Betonun bileşen malzemeleri aşağıdaki standartlara uygun olmalıdır:

- **Çimento:** Genel çimentolar TS EN 197-1'e, çok düşük ısıli özel çimento TS EN 14216'ya, Kalsiyum alüminatlı çimento TS EN 14647'ye, süpersülfatlı çimento TS EN 15743'e, beyaz çimento TS 21'e ve borlu aktif belit çimentosu TS 13353'e uygun olmalıdır. Beton yüzeyinin geçirimliliği ile ilgili olarak uygulama noktasında en iyi seçenek hızlı dayanım kazanan çimento kullanılmasıdır. Geçirimli betonun dürabilite performansının artırılması için hızlı dayanım kazanan çimentonun yanında belli bir miktar mineral katkı (ya da katkılı çimento) kullanılması da önerilmektedir. Tabi geçirimlilik özelliğinin olumsuz etkilenmemesi için çok ince malzeme olan mineral katkıların kullanımı çimentonun belli bir miktarını geçmemelidir. Bu konuda literatür incelendiğinde, bir çalışmada uçucu kül ve öğütülmüş yüksek fırın cürufunun çimento dozajının en fazla %25'i oranında kullanılması önerilirken (CPG, 2013), başka bir çalışmada ise uçucu külün %10, silis dumanın ise %5 ile sınırlandırılması tavsiye edilmektedir (Kevern, Wang & Schaefer, 2008). Genel olarak beton karışımında kullanı-

lan çimento miktarı 110-330 kg/m³ arasında değişmektedir. Bir diğer önemli parametre olan su/bağlayıcı oranı ise 0,25-0,40 arasında değişebilir, optimum su/bağlayıcı oranı 0,30-0,35 civarındadır.

- **Agregalar:** Doğal normal ağırlıklı agregalar, hava ile soğutmalı yüksek fırın cürufu agregalar ve geri dönüştürülmüş agregalar TS 706 EN 12620'ye, hafif agregalar TS EN 13055'e uygun olmalıdır. Hafif agregalı geçirimli betonla sadece bölme duvar elemanı yapılabilir. Agregat seçiminde en önemli hususlardan birisi kesikli bir granülometri kullanılmasıdır. Geçirimli beton üretiminde kullanılacak agregat donma çözölmeye ve aşınmaya karşı dirençli olmalıdır (Kevern, Wang & Schaefer, 2008). İri agreganın kullanım miktarı genelde 1500-1800 kg/m³tür. Geçirimli betonlarda ince agregat kullanımı sınırlandırılmıştır. Agregat maksimum dane çapının önemi büyük olup, Dmax 22mm ile sınırlandırılmalıdır. Betonun geçirimlilik özelliğini artırmak için genellikle tek bir iri agregat boyutunun kullanılması ve böyle bir kullanımda Dmax'ın 12,5 mm seçilmesi önerilmektedir (CPG, 2013). Agregat tiplerinin geçirimli betonun mekanik özelliklerine etkisi de bulunmaktadır (Lian & Zhuge, 2010). Geçirimli betonun kıvamının çok düşük olması ve karışım suyunun az kullanılması nedeniyle, betonun üretimi esnasında agregaların nem durumuna göre su düzeltilmesi yapılması konusu geleneksel betona göre daha fazla önem arz etmektedir.

- **Karma suyu:** Karma suyu TS EN 1008'e uygun olmalıdır.

- **Kimyasal katkı maddeleri:** Kimyasal katkı maddeleri TS EN 934-2'ye uygun olmalıdır. Beton karışımının uygun boşluklu yapının oluşması için akışkanlaştırıcı, hava sürükleyici (özellikle donma-çözölme riski olan yerlerde) veya hidrasyon düzenleyici kimyasal katkılar kullanılabilir. Özellikle az miktarda kullanılan çimento hamurunun yeterli akıcılıkta olması, aynı zamanda ayrışma olmayacak viskozitede olması için uygun kimyasal katkıların seçilmesi önem taşımaktadır. Akışkanlaştırıcı katkı kullanılacaksa agreganın yüzeyindeki çimento hamurunun akmaması sağlanmalıdır. Bu nedenle polikarboksilat esaslı katkılar kullanılırsa bu hususa özellikle dikkat edilmesi gereklidir. Geçirimli betonun uygulama anında işlenebilirliğinin kontrolü için hidrasyon düzenleyici katkıların da kullanılması önerilmektedir (CPG, 2013).

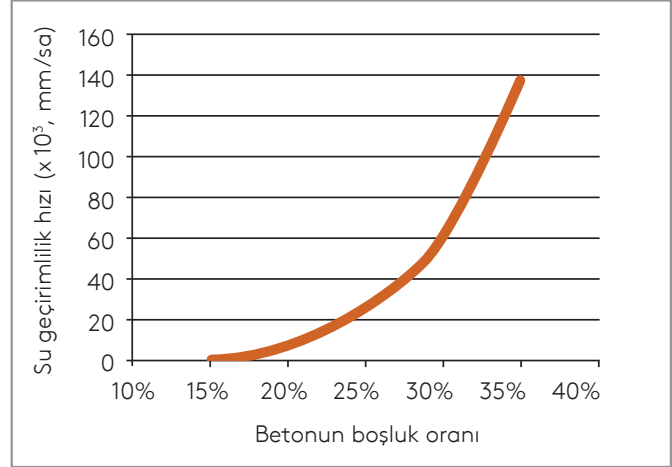
• **Mineral katkılar:** Tip I mineral katkılardan filler agregalar TS 706 EN 12620 veya TS EN 13055'e, boya maddeleri ise TS EN 12878'e uygun olmalıdır. Tip II mineral katkılardan uçucu kül TS EN 450-1'e, silis dumanı TS EN 13263-1'e, öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu TS EN 15167-1'e ve tras TS 25'e uygun olmalıdır.

Geçirimli betonun bileşen malzemelerinin standartlarına uygunluğu, "Yapı Malzemeleri Yönetmeliği" ve/veya "Yapı Malzemelerinin Tabi Olacağı Kriterler Hakkındaki Yönetmelik" şartları gereği "CE İşareti" ve/veya "G Uygunluk İşareti" taşıyacak şekilde piyasaya arz edilmiş olmasıyla gösterilir. Bileşen malzemelerin CE veya G İşareti taşıması önemli olmakla beraber geçirimli betonun kendisi beton standardı kapsamında değildir, bu nedenle G İşareti taşımaz.

Geçirimli betonun genel olarak birim hacim ağırlığı 1600-2000 kg/m³ arasında olmaktadır. Geçirimli betonun birim hacim ağırlığı ortalama olarak geleneksel betonun yaklaşık %70'idir. Geçirimli betonun birim hacim ağırlığı tayininde ASTM C1688 Standardı'nda belirtildiği gibi standart proktor tokmağı kullanılarak yapılması uygulamadaki gerçek sıkıştırmaya en yakın sonucu verdiği düşünülmektedir. Basınç dayanımları ve eğilme dayanımları yüksek değildir. Büzülme, geleneksel betona göre daha erken olmakta, %50-%80 lik bölümü ilk 10 günde tamamlanmaktadır. Geçirimli beton ile yapılacak kaplama tasarımlarında önemli dayanım parametresi eğilme dayanımı olmakla birlikte basınç dayanımı ile eğilme dayanımı arasında aynı geleneksel betonda olduğu gibi korelasyon bulunmaktadır.

Geçirimli betonun mekanik özelliklerini etkileyen en önemli faktörler arasında agrega/bağlayıcı oranı ve su/bağlayıcı oranı bulunmaktadır (Larrard & Belloc, 1997). İşlenebilirliğin sağlanabilmesi için optimum su/ bağlayıcı oranı 0,30 ila 0,35 arasında seçilmelidir. Optimum su/bağlayıcı oranının bulunmasında iri agreganın granülometri ve fiziksel özellikleri ile bağlayıcı miktarı önemlidir.

Geçirimli betonun özellikleri öncelikle bağlayıcı (çimento + mineral katkı) içeriğine, su/bağlayıcı oranına ve betonun hava boşluğu içeriğine bağlıdır. Hava boşluğu içeriği ise beton kaplamanın sıkıştırma seviyesi, agrega granülometrisi ve kalitesi ile ilgili bir parametredir. Her ne kadar su/bağlayıcı oranı önemli olsa bile geçirimli betonda bu oran ile basınç dayanımı arasında geleneksel betondaki gibi benzer bir bağıntı yoktur. Bunun nedeni betonun boşluk oranının basınç dayanımına olan etkisidir.



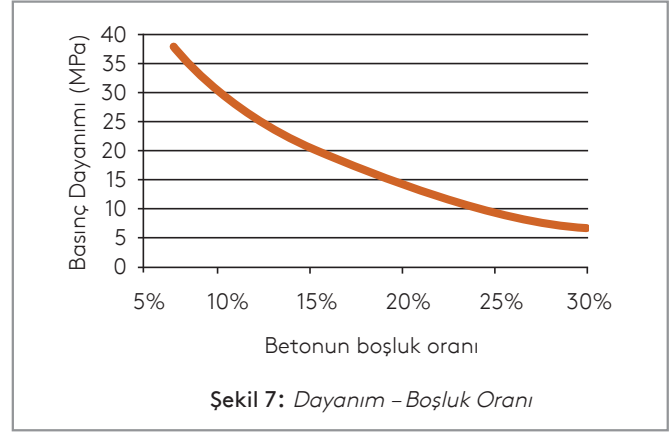
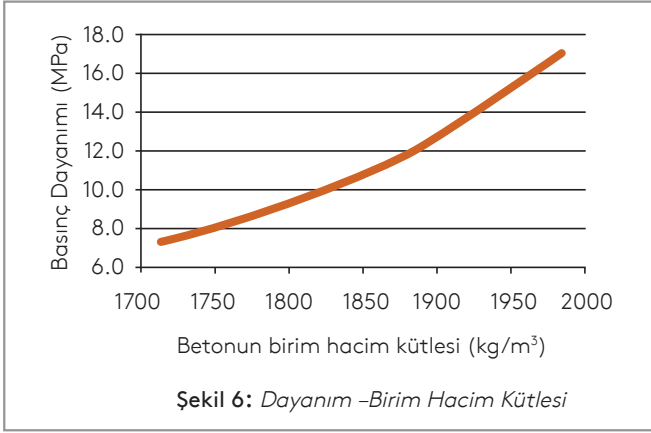
Şekil 5: Geçirimsizlik - Boşluk ilişkisi

Yüksek su/çimento oranı, agregadan akan çimento hamurunun boşluk yapısını doldurmasına neden olabilir; keza düşük su/çimento oranı da agrega taneleri arasındaki yapışmanın (aderansın) azalmasına ve yerleştirme sorunlarına neden olabilir. Dolayısıyla basınç dayanımının, normal betonda olduğu gibi, geçirimli betonun temel bir özelliği olmadığı düşünülebilir.

Geçirimli beton ile ilgili en önemli parametreler betondaki boşluk oranı ve su geçirimsizliğidir. Bu iki parametre nicel ve niteliksel olarak agrega tipi ve çimento hamuru seçimini belirler. Su geçirimsizliği ile betonun boşluk oranı arasında çok önemli bir ilişki vardır. Şekil 5'te görüldüğü üzere, su geçirimsizliğinin olması için en az %15'lik hava boşluğu içeriğine ihtiyaç duyulmaktadır (Meiningen, 1988).

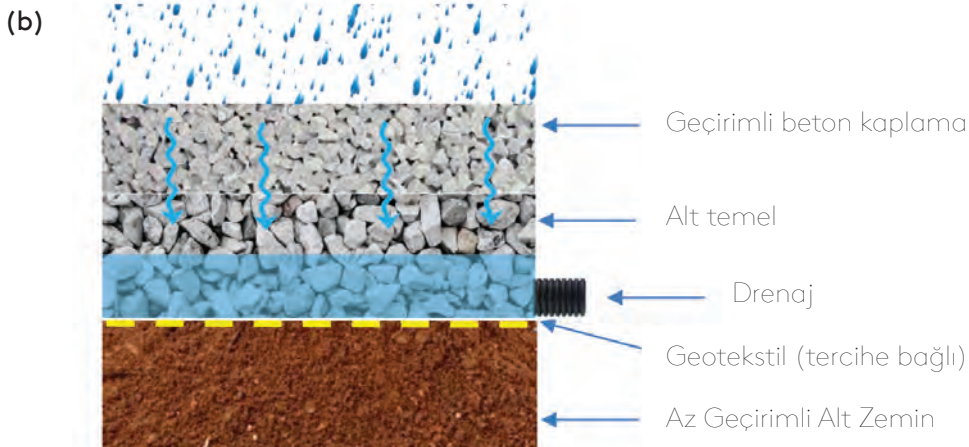
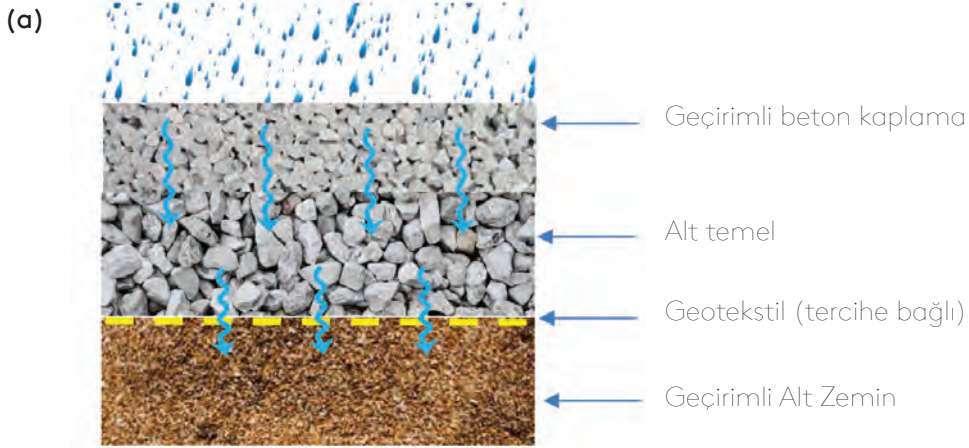
Geçirimli betonda geçirimsizlik özelliğinin sağlanması için olması gereken yüksek boşluk oranı basınç dayanımının geleneksel betona kıyasla daha düşük olmasına yol açmaktadır. Ancak basınç dayanımı düşük de olsa, geçirimli betonun pek çok uygulaması için yeterli dayanıma ulaşabilmektedir.

Geçirimli betonun yerindeki basınç dayanımı, beton karışım oranının yanı sıra yerleştirme sırasındaki betonun sıkıştırma durumundan büyük ölçüde etkilenmektedir. Geçirimli betonun birim hacim kütlesi ve basınç dayanımı arasında da Şekil 6'da görüldüğü gibi bir ilişki bulunmaktadır (Mulligan, 2005). Dolayısıyla betonun hava (boşluk) içeriği ile basınç dayanımı arasında Şekil 7'de görüldüğü üzere ters bir orantı vardır (Meiningen, 1988).



Geçirimli betonun su geçirirliliği 120-320 L/m²/dakika arasında olması beklenmelidir. Tasarımda tipik olarak 200 L/m²/dakika seçilebilir

5. Geçirimli Beton Kaplamalarının Tasarımı



Tipik geçirimli beton kesiti Şekil 8'de verilmektedir. Bu kesit detayı farklı uygulamalarda değişmektedir. Örneğin zemin özellikleri nedeniyle ayrıca alt temelde drenaj yapılma durumları söz konusudur. Geçirimli beton uygulamasının altyapısı tamamlanmamış bölgelerde (çamurlu bölgelerde) yapılması durumunda boşluklar çamurla dolabilir ve işlev görmeyebilir. Bu nedenle bu tip bölgelerde geotekstil malzeme kesinlikle uygulanmalıdır. Kullanılacak geotekstil malzemeler, suyun geçirimliliğini engellemeyecek özellikte ve TS EN 13249 Standardı'na uygun olmalıdır.

Geçirimli beton kaplamalarının tasarım kalınlığı genel olarak 12,5 ila 25 cm arasındadır. Çizelge 1'de farklı kullanım amaçlarına yönelik geçirimli beton kaplama kesit kalınlıkları öneri olarak sunulmaktadır (Caltrans, 2014).

Çizelge 1: Farklı kullanım yerlerine göre önerilen geçirimli beton kesit kalınlıkları

Geçirimli Beton Kaplamanın Kullanım Yeri	Geçirimli Beton Kaplama Kalınlığı (cm)	Alt Temel Kalınlığı (cm)
Kaldırımlar ve bisiklet yolları	12,5 - 15 cm	0 - 15 cm
Hafif trafik etkisi olan otopark vb. alanlar	15 - 20 cm	15 - 30 cm
Orta trafik etkisi olan otopark vb. alanlar	20 - 25 cm	20 - 40 cm
Üstte belirtilenlerden daha ağır araç trafiğine maruz kalan alanlar	Geçirimli beton kullanılması önerilmez!	

Geçirimli beton kaplamalarının tasarım kalınlığında hidrolojik özellikler (yağış miktarı, betonun ve temel tabakasının su geçirgenliği, alt zeminin geçirgenliği) de çok önemlidir. Hidrolojik özellikler açısından zorlu şartlar söz konusu ise (çok şiddetli yağış alım riski vb.) Çizelge 1'de tavsiye edilen tasarım kalınlıkları artırılabilir. Bu durumda tasarımcı, zorlu hidrolojik şartları da karşılayacak uygun malzeme özelliklerini ve diğer karakteristikleri de seçmelidir (ACI Committee 522, 2010).

Hidrolojik tasarımda genel bir kural olarak, sızma kapasitesi 12 mm/saat olan veya hidrolik geçirimlilik katsayısı (k) 10^{-5} m/s'den büyük olan zeminler geçirimli zemin olarak düşünülmekte ve uygun olarak değerlendirilmektedir. Temiz çakıl, temiz kum, kum-çakıl karışımları bu tip zeminlerdir. Az geçirimli zeminlerde yapılacak geçirimli beton kaplamalar için ise akış suyu ilave rezervuar oluşturacak bir alt temel tabakasına kesinlikle ihtiyaç bulunmaktadır. Silt, siltli kum, ince kum, killi silt, çökelti, tabakalı kil, çatlaklı ve aşınmış kil, değişmiş kil vb. zeminler az geçirimli olarak değerlendirilmektedir.

Geçirimsiz zeminler ise ya modifiye edilmeli ya da Şekil 8.b'de gösterildiği gibi zeminin hemen üzerine alt temelin içine uygun bir drenaj sistemi yapılması gerekmektedir. Kil, siltli kil, kumlu kil vb. zeminler geçirimsizdir. Bu zeminlerde yapılacak drenaj için perfore ve delikli borular kullanılmalı ve borular zeminin hemen üzerine alt temele yerleştirilmelidir. Bu borular suyun drenaj çukurları, sel suyu kanalları veya akarsu-gölet gibi doğal drenaj unsurlarına tahliyesini mümkün kılmaktadır. Perfore delikli boruların 10-15 cm arasında çapa sahip PVC borular olması; en az %0,5 eğimle ve en fazla 6 m

aralıkla döşenmiş olması önerilmektedir (Virginia DEQ, 2011).

Tasarım amacıyla toplam sızma süresi (kaplama tabakalarındaki depolama kapasitesinin %100'üne ulaşıncaya kadar geçen süre) mümkün olduğu kadar kısa olmalı ve genellikle beş günü aşmamalıdır (ACI Committee 522, 2010).

Geçirimli beton kaplamaların yapımında alt temel kullanılması iki sebebi vardır. Bunların ilki yağmur veya yüzey akış suyu ilave depolama alanı sağlamak, diğeri ise trafikli alanlar için kaplamaya yapısal destek oluşturmaktır. Bu nedenle eğer ki üstte belirtilen nitelikte geçirgen bir zemin var ise ve kaplamanın üzerinden araç geçmeyecek ise (donma çözülme için de risk yoksa) alt temele gerek yoktur.

Alt temel malzemede hedeflenen boşluk oranı %30-40 aralığında olmalıdır ve buna göre ince malzeme oranı çok düşük olan açık ve uniform gradasyonlu malzeme ($D_{max} < 38$ mm) seçilmelidir.

Bu yöntemlerle yapılan kaplama tasarımında ve şartnamede aşağıdaki parametreler kesinlikle belirtilmelidir:

- Katmanların kesit kalınlıkları,
- Betonun hedef boşluk oranı ve/veya birim hacim ağırlığı (su geçirimlilik hızı için),
- İhtiyaç duyulan durumlarda betonun hedef basınç veya çekme dayanımı,
- Alt temel kullanılacaksa özellikleri,
- Zemin iyileştirilmesi veya drenaj yapılacaksa bununla ilgili ayrıntılar.



6. Geçirimli Betonun Uygulanması

Geçirimli beton kaplamasının yapımında proje şartnamelerine uygun yapım planının oluşturulması kritiktir. Bunun için aşağıdaki hususlara dikkat edilmesi önemlidir:

- İnşaat yapım aşamaları ve derz aralıkları,
- Betonun tedariği ve sahaya sevkiyat süreçleri,
- Projenin genel gerektirdiği kalite güvence süreçleri,
- Sahadaki kalite kontrol denetimleri ve deneyleri.

Alt Temelin Hazırlanması: Geçirimli beton kaplama uygulamasında zemin karakteristiği ve tasarım kriterleri gereği bir alt temel yapılacaksa zeminle alt temel arasına alt temele toprak geçişini ve alt temelin erozyonunu engellemek için geotekstil malzeme kullanılması önerilir. Çamurlu bölgelerde geotekstil malzeme kesinlikle uygulanmalıdır.

Alt temel düzgün sıkıştırılmalı ve seviyelendirilmelidir. Beton dökümü öncesi kalıpta ve alt temelde, beton kalıntısı, buz, kar ve serbest su bulunmamalı, inşaat derzleri temiz olmalı ve

ıslak duruma gelinceye kadar rutubetlendirilmelidir.

Geçirimli Betonun Yerleştirilmesi ve Sıkıştırılması: Geçirimli beton kaplamaların uygulamasında başarı sağlanması için en önemli kriterlerden biri betonun doğru işlenebilirlik performansına sahip olmasıdır. Geçirimli betonun yerleştirilmesi oldukça karmaşıktır. Az miktardaki çimento hamuru nedeniyle beton hızlıca yerleştirilmeli ve sıkıştırılmalıdır. Yerleştirme işlemi 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 engellemektir. Çimento su karışımının agregalı yapıdan ayrılma riskini azaltmak için farklı yerleştirme ve sıkıştırma yöntemleri test edilebilir.



Şekil 9a: Geçirimli beton kaplamanın yerleştirilmesi ve sıkıştırılması - 1

Geçirimli beton transmikser ile yerleştirilebilmektedir. Pompa ile yerleştirme uygun değildir, ancak bazı durumlarda huni veya kova ile de yerleştirme mümkündür.

Geçirimli betonun işlenebilme süresi daha kısadır ve dökümden sonra yerleştirme 20 dakika içerisinde tamamlanmalıdır. Eğer ki bir priz geciktirici katkı ile süresi uzatılmamışsa toplamda beton üretiminden (çimento ile suyun temas ettiği an) itibaren bir saat içinde yerleştirilmiş olmalıdır (ACI Committee 522, 2010).

Döküm esnasında ve kür süresi boyunca ortam sıcaklığının düşük veya yüksek olacağının tahmin edildiği durumlarda, be-

tonun zarar görmesinin önlenmesi için tedbir alınmalıdır. İlave tedbir olarak ortam sıcaklığının alt veya üst sınır değerleri tanımlanabilir. Yerleştirme ve sıkıştırma sırasında beton, güneş ışınlarından, şiddetli rüzgâr, yağmur ve sudan korunmalıdır.

Geçirimli beton uygulamasında daldırma tip vibrasyon yapılmamalıdır. Geçirimli betonun sıkıştırılması için silindir master kullanılması önerilmektedir. 60 kg/m ağırlığında motorlu silindir masterlama (veya yeterli sıkıştırma oranına ulaşılacak başka bir masterlama) sonrasında yaklaşık olan el silindiri ile diğer yönde sıkıştırma yapılmalıdır. Dar yerler veya küçük dökümler için daha küçük silindirler kullanılabilir (ACI Committee 522, 2010).



Şekil 9b: Geçirimli beton kaplamanın yerleştirilmesi ve sıkıştırılması - 1

Derz Kesimi: Geçirimli beton alanlar, yapısal bütünlüğün ve dayanıklılığın sağlanması için ayrı yüzeyler halinde tasarlanmalıdır. Ayrı yüzeylerin en ve boy oranı 1-2,5 arasında değişebilir. Geçirimli betonun büzülmesi geleneksel betona göre daha azdır ancak yine de derz kesimi yapılmalıdır. Önerilen derz kesim aralığı en fazla 6 metredir. Beton karışımının uygun bir şekilde homojen olarak dağılması ve yerine yerleştirilmesi amacıyla genişleme derzleri, kaplama taşları, tuğla vb. pratik uygulamalar bariyer olarak kullanılabilir.





Şekil 10: Geçirimli beton kaplamanın yerleştirilmesi ve sıkıştırılması - 2

Kaplamanın dayanıklılığı sadece betonun dayanıklılığına değil; ayrıca tasarım, işçilik ve uygulama gibi süreçlere de bağlıdır. Uygun bir şekilde yapılan derz kesim tasarımı yüzeyin dayanıklılığını olumlu yönde etkilemektedir. Derz açmak için beton tazeleyen Şekil 11'de görülebilen özel bir kesici kullanılması önerilir. Derzler, yalancı derz şeklinde olmalıdır ve kaplama kalınlığının 1/3'ü veya 1/4'ünü kapsamalıdır.

Sabit engellerin olduğu durumlarda mutlaka genleşme derzleri uygulanmalıdır ve keskin yüzeylerin ortaya çıkmasını engelleyecek şekilde uygulama yapılmalıdır. Genleşme derzleri betonun yeterli dayanımı almasından sonra geleneksel yöntemlerle elde edilebilir.



7. Geçirimli Beton Kaplamanın Korunması ve Bakımı

Geçirimli beton, kalıba yerleştirildikten hemen sonra yüzeyi kurumaya karşı kür yapılarak 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 kullanılmalıdır.



Şekil 11: Derz kesimi

Kür metot ve süreleri betonun gerekli sağlamlık ve dayanıma ulaşması ve mümkün olan en az şekil değiştirmenin sağlanması ve çekme sonucu oluşacak çatlakların engellenmesi amacıyla belirlenecektir.

Beton, dökümünden ve yerleştirilmesinden sonra aşağıdaki yöntemler ile bakıma (küre) tabi tutulmalı ve korunmalıdır:



Şekil 12: Geçirimli betonun yüzey örtüsüyle kaplanarak kürlenmesi

- Beton yüzeyinin, buhar geçirmez bir plastik örtü ile kaplanması,
- Opsiyonel olarak betonun dökülmesinden hemen sonra (derz açımından da önce), akrilik veya parafin esaslı olmayan özel kür malzemeleri (soya yağı emülsiyonları vb.) spreylenerek kür yapılması (CPG, 2013).

Betonun kürüne, yerleştirme ve yüzey işlemlerinin tamamlanmasının hemen ardından başlanmalıdır. Beton yüzeyi, yapım esnasında hasar görmemeli veya yüzey biçimi bozulmamalıdır. Plastik örtülerin el silindiri ile yapılan son işlem öncesinde serilmesi önerilmektedir. Trafîğe açık bir yüzeyde geçirimli bir beton uygulanıyorsa, kür o güne kadar sürdürülmelidir.

Geçirimli beton normal betona göre soğuk havaya karşı daha hassastır. Bu nedenle döküm esnasında veya ilk 24 saat içerisinde 5°C'den daha düşük hava sıcaklıkları varsa dökümün yapılmamasında fayda vardır, yapılacaksa da yalıtımlı kür battaniyeleriyle önlemler alınarak döküm yapılmalıdır.

Geçirimli beton yapısı gereği zaman içinde boşluklar toz, kum, yaprak ve filler malzemeler ile dolabilir. Bunun önlenmesinin birinci yolu tasarımda suyun doğru bir sistem ile tahliyesinin sağlanmış olmasıdır. Ayrıca geçirimli betonun yüzey suyunun tahliyesinin azaldığının ve yüzey kirliliğinin arttığı gözlemlendiği durumlarda vakumlanarak temizlenmesi önerilmektedir. Geçirimli beton kaplamanın geçirimsizlik özelliğinin her daim sürmesi en hassas noktalardan biridir. Özellikle hava sıcaklığının çok düşük olduğu iklimlerde bu performansın devamlılığı daha da önem arz etmektedir.



8. Kalite Kontrol ve Deneyler

Geçirimli beton, her mühendislik yapısında olduğu gibi doğru kalite kontrol muayene ve deneylerine tabi tutulmalıdır.

Öncelikle tasarım ve yapım öncesinde alt zeminin geçirimsizlik özelliklerinin ölçülmesi çok önemlidir. Standart süzülme deneylerinden ziyade zeminin su alma hızını ölçmeye yarayan iç içe geçmiş iki metal silindirden oluşan bir mekanizma olan çift halka infiltrometre deneyinin daha doğru sonuçlar verebileceği öngörülmektedir. Aynı zamanda zeminin geçirimsizlik özellikleri bölgesel tecrübe veya farklı yöntemlerle de belirlenmektedir. Yapısal tasarım için bir de zeminin taşıma gücünün klasik/modifiye proktor ve CBR deneyleri ile belirlenmesi veya zemin tipine göre seçilmesi gerekmektedir.



Şekil 13: Geçirimli beton kaplamaların vakumla temizlenmesi

Geçirimli beton kaplamanın yapımı esnasında yapılacak deneylerin en önemlisi betonun birim hacim kütesinin ölçülmesidir. Üstte belirtildiği üzere betonun birim hacim kütesi ile boşluk oranı ve dayanımı arasında korelasyon bulunmaktadır. Şartnamede belirtilen hedef birim hacim kütesi ve/veya boşluk oranının sahada uygulama esnasında da belirli sıklıkta kontrol edilmesi gereklidir. Birim hacim ağırlık deneyinin ASTM C1688 Standardı'na göre yapılması önemlidir. Beton siparişinin tesliminde yapılacak birim hacim ağırlık kontrolünde betonun $\pm 80 \text{ kg/m}^3$ tolerans dâhilinde kabul edilmesi önerilmektedir (ACI Committee 522 Specification, 2008)

Ayrıca şantiyede betonun boşaltılması esnasında gözle muayene yapılarak, olası ayrışma vb. taze beton kusurları tespit edilmeye çalışılmalıdır. Betonun görüntüsünün uygun olmaması durumuna karar verilirse, betonun boşaltılması durdurulmalıdır.

Betonun teslimi esnasında kartopu deneyi de önemli bir uygunluk parametresidir. Bu deneyin başlıca amacı su ve çimentodan oluşan hamurun uygunluğunu tespit etmektir. Bu deneyde beton avuç içine alınmalı ve dağılmadan top gibi avuçta kalması beklenmelidir. Bunun sağlanması için su ve katkı miktarı ayarlanmalıdır. Bu deneye alternatif olarak ters slump deneyinin yapılması da önerilmektedir (Kevern, Wang & Schaefer, 2008).



Sertleşmiş betonun birim hacim ağırlığının taze betonun birim hacim ağırlığından sapmaması gerekir. Bu nedenle belirlenecek metrekaresindeki alanda karotlar ile hem birim hacim ağırlık hem de kaplama kalınlığı ölçülebilir. Yerinde alınan bu karotlarla basınç dayanımının ölçülmesi durumunda geçirimsiz betonun çimento hamuru matrisi zarar göreceğinden hatalı sonuçlar elde edilecektir.

Geçirimli beton kaplama yapımı tamamlandıktan sonra sahada yapılacak önemli bir deney de geçirimsizlik performansının belirlenmesidir. Bunun için ASTM C1701 Tek Halka İnfiltrometre Deneyi veya EN 12697-40 Yerinde Drene Etme (su geçirme) Niteliği Deneyi ile belirlenmektedir.

Geçirimli betonun basınç-çekme dayanımının belirlenmesi gibi konularda yeni yöntemlerin geliştirilmesi gerekebilir. Ayrıca performansın tayini için yeni tahribatsız deney yöntemlerine de ihtiyaç duyulmaktadır.

Geçirimli betonda, geçirimsizlik özelliğini etkilemeden mekanik dayanımı iyileştirmeye yönelik ince agreganın kullanımı ile ilgili de çalışmalar yapılmaktadır (Lian & Zhuge, 2010). Bu vb. çalışmalar doğrultusunda yakın bir dönem içerisinde geçirimsiz beton kaplamaların, geleneksel beton veya asfalt kaplamalar gibi ağır trafikli yollarda da kullanılması beklenmektedir.

9. Kaynaklar

- ACI Committee 522 (2010), ACI 522R-10 Report on Pervious Concrete, American Concrete Institute.
- ACI Committee 522 Specification (2008), ACI 522.1 Specification for Pervious Concrete Pavement.
- Akakin, T., & Kılınç, C. (2011), Farklı Agregada Tane Dağılımına Sahip Geçirimli Betonların İncelenmesi, 8. Ulusal Beton Kongresi, İzmir.
- Caltrans (2014), Pervious Pavement Design Guidance, Sacramento, California: California Department of Transportation.
- CPG (2013), Handbook for Pervious Concrete Certification in Greater Kansas City, CPG.
- Kevern, J., Wang, K., & Schaefer, V. (2008, Temmuz), Pervious Concrete in Severe Exposures, Concrete International, 43-49.
- Larrard, F., & Belloc, A. (1997), Influence of Aggregate on the Compressive Strength of Normal and High-strength Concrete, ACI Materials Journal(94-5), 26-27.
- Lian, C., & Zhuge, Y. (2010), Optimum Mix Design of Enhanced Permeable Concrete- An Experimental Investigation, Construction and Building Materials(24), 2664-2671.
- Meininger, R. (1988), No-fines Pervious Concrete for Paving, National Ready Mixed Concrete Association(175).
- Mulligan, A. (2005), Attainable Compressive Strength of Pervious Concrete Paving Systems (doktora çalışması). University of Central Florida.
- Neptune, A., & Putman, B. (2010, Kasım-Aralık), Effect of Aggregate Size and Gradation on Pervious Concrete Mixtures, ACI Materials Journal, 625-631.
- NRMCA-PCA.(2016),www.perviouspavement.org/benefits/environmental.html adresinden alındı.
- Virginia DEQ (2011), Virginia DEQ Stormwater Design Specification No.7 Pervious Concrete.

Ek A. Geçirimli Beton Kaplama Tasarım ve Uygulama Aşamaları

1. Geçirimli beton kaplamanın kullanım yerine göre aşağıda önerilen çizelgeden kaplama kalınlığı belirlenmelidir.

Geçirimli Beton Kaplamanın Kullanım Yeri	Geçirimli Beton Kaplama Kalınlığı		
	Kaldırımlar ve bisiklet yolları	Hafif trafik etkisi olan otopark vb. alanlar	Orta trafik etkisi olan otopark vb. alanlar
	12,5 – 15 cm	15 – 20 cm	20 – 25 cm

2. Geçirimli beton kaplamanın yapılacağı yerin zemin geçirimsizlik özelliğine ve kullanımına göre aşağıda önerilen çizelgeden alt temel kalınlığı belirlenmelidir.

Zemin Tipi	Alt Temel Kalınlığı		
	Kaldırımlar ve bisiklet yolları	Hafif trafik etkisi olan otopark vb. alanlar	Orta trafik etkisi olan otopark vb. alanlar
Geçirimli zeminler Örn: Temiz çakıl, temiz kum, kum-çakıl karışımları vb.	0 cm	15 cm	20 cm
Az geçirimsiz zeminler Örn: Silt, siltli kum, ince kum, killi silt, çökelti, tabakalı kil, çatlaklı ve aşınmış kil, değişmiş kil vb.	15 cm	30 cm	40 cm
Geçirimsiz zeminler Örn: Kil, siltli kil vb.	15 cm alt temel ve drenaj sistemi	30 cm alt temel ve drenaj sistemi	40 cm alt temel ve drenaj sistemi

Not: Zemin tipinin ve dolayısıyla zeminin hidrolik geçirgenlik katsayısının belirlenmesinde önerilen yöntem sahada veya laboratuvarda yapılacak deneylerdir. Ancak çok büyük olmayan uygulamalarda tecrübe ile de zemin tipine karar verilebilir.

3. Geçirimli betonun boşluk oranı ve basınç dayanımı belirlenmelidir. Önerilen boşluk oranı %20'dir. Her halükârda %15'ten düşük bir boşluk oranı seçilmemelidir.

4. Geçirimli betonun yapılacağı zemin hazırlanmalıdır. Zeminin doğru seviyelendirilmesi, geçirimsiz beton kaplamanın doğru yerleştirilmesi için önemli bir unsurdur. Ancak fazla sıkıştırma zeminin de geçirimsizlik özelliğini etkileyeceği için gereksiz sıkıştırmadan ve üzerindeki ağır iş makinesi trafiğinden sakınılmalıdır. Geçirimli beton doğrudan zemin üzerine serilecekse betondaki suyun emilmemesi için zemin ıslatılmalıdır. Zemin ile alt temel veya beton kaplama arasına geotekstil kullanılması önerilir.

5. Geçirimsiz (killi) zeminlerde, zemine drenaj veya modifikasyon yapılması gerekmektedir. Drenaj için perfore ve delikli boruların 5. bölümde belirtilen şekilde zeminin hemen üzerine alt temele yerleştirilmesi gerekmektedir.

6. Alt temel yapılacaksa 6. bölümde belirtilen şekilde alt temel malzeme seçilmeli, yapım öncesi hazırlıklar tamamlanmalı, alt temelin dökümü ve seviyelendirilmesi yapılmalıdır. Alt temel serildikten sonra beton dökümü öncesi ıslatılmalıdır.

7. Geçirimli betonun siparişi Türkiye Hazır Beton Birliği üyesi tecrübeli bir hazır beton üreticisinden betonun hedef boşluk oranı ve basınç dayanımı belirtilerek verilmelidir. Betonun boşluk oranı ile birim hacim ağırlığı ters orantılıdır ve beton üreticisiince yapılacak ön çalışmalar ile hedef boşluk oranına denk gelen birim hacim ağırlığı önceden belirlenebilir. Bu sayede beton siparişinin teslim kabulünde kontrol birim hacim ağırlığı üzerinden daha pratik bir şekilde yapılabilir.

8. Geçirimli beton, kuru kıvamda ve çok düşük su oranına sahip olduğu için betonun sıkıştırılması, yerine dökülmesinden sonraki 20 dakika içinde tamamlanmalıdır. Betonun yerleştirilmesi, betonun üretiminden itibaren 60 dakika içinde tamamlanmış olmalıdır. Beton dökümünde pompa kullanılmamalıdır.

9. Sıkışmanın yeterli düzeyde olması için beton öngörülen seviyesinden 1,5-2 cm daha üstte döküm yapıp daha sonra çelik silindir master veya vibrasyonlu master ile bitirme yapılmalıdır. Daldırma tip vibrasyon ve çelik mala kullanımı kesinlikle yapılmamalıdır.

10. Geçirimli betonun derz kesimi yerleştirmeden hemen sonra yapılmalıdır. Önerilen derz kesim aralığı en fazla 6 metredir. Derz kesim derinliği kaplama kalınlığının 1/3'ü veya 1/4'ü kadar (en az 2,5 cm), derz genişliği ise en az 3 mm olmalıdır. Bunun için 6. bölümde gösterilen özel derz kesicilerinin kullanılması önerilir, ancak bu yoksa sonradan kesilme yöntemi de uygulanabilir.

11. Betonun kürüne, yerleştirme ve yüzey işlemlerinin tamamlanmasının hemen ardından başlanmalıdır. Kür için beton bünyesinde suyun buharlaşma ile kaybolmasına engel olacak yüzey örtüleri (önerilen polietilen örtü) kullanılmalıdır. Kür en az 7 gün sürdürülmeli, trafiğe açık bir yüzeyde geçirimli beton uygulanıyorsa kür o güne kadar uzatılmalıdır.

12. Yapım tamamlandıktan sonra 8. bölümde belirtilen şekilde yerinde geçirimsizlik deneyleri ile performans ölçülebilir.

13. Geçirimli beton yapısı gereği zaman içinde boşluklar toz, kum, yaprak ve filler malzemeler ile dolabilir. Doğru kaplama tasarımı ile suyun tahliyesinin sağlanması bu etkiyi azaltmaktadır ancak geçirimli betonun yüzey suyunun tahliyesinin azaldığının ve yüzey kirliliğinin arttığı gözlemlendiği durumlarda vakumlanarak temizlenmesi önerilmektedir.