

# “Derzli Donatısız Beton Yollar” için Tasarım Kılavuzu







## İÇİNDEKİLER

<b>1 Giriş</b>	<b>4</b>
<b>2 JPCP'deki gerilmeler</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Trafikten kaynaklanmayan gerilmeler</b>	<b>6</b>
2.1.1 Taze betondaki gerilmeler	6
2.1.1.a Nem kaybı kaynaklı rötre ya da taze beton rötresi	6
2.1.1.b Termal büzülme	7
2.1.1.c Sıcaklık değişimi	7
2.1.2 Sertleşmiş betondaki gerilmeler	7
2.1.2.a Büzülme	7
2.1.2.b Sıcaklık değişimi ve kıvrılma	8
2.1.2.c Termal genişleme	9
<b>2.2 Trafikten kaynaklanan gerilmeler</b>	<b>10</b>
<b>2.3 Temel katmanı ile sürtünme-plastik örtü- asfalt ara katmanı</b>	<b>11</b>
<b>3 Derzler ve JPCP'nin geometrik özellikleri</b>	<b>14</b>
<b>3.1 Derzlerin fonksiyonu</b>	<b>14</b>
<b>3.2 Derz aralığı</b>	<b>14</b>
<b>3.3 Derz türleri</b>	<b>15</b>
3.3.1 Enine büzülme-eğilme derzleri	15
3.3.2 Enine inşaat derzleri	19
3.3.3 Enine genişleme derzleri	20
3.3.4 İzolasyon derzleri	23
3.3.5 Boyuna eğilme/büzülme ve inşaat derzleri	24
3.3.6 Diğer derz sistemleri	26
<b>3.4 Beton yollar için derz dolgu malzemeleri</b>	<b>28</b>
<b>4 JPCP donatısı</b>	<b>30</b>
<b>5 Diğer kaplama türlerine geçiş</b>	<b>32</b>
<b>6 Derz ve donatı yerleşimi</b>	<b>33</b>
<b>7 Sonuç</b>	<b>38</b>
<b>Kaynaklar</b>	<b>38</b>

## 1 GİRİŞ

Derzli Donatısız Beton Yolların (JPCP), dünyada en yaygın kullanılan yerinde dökme beton yol üstyapısı türü olduğu uzun zamandır bilinmektedir. Tüm beton yolların özelinde çatlama olayı betonun; erken büzülme ya da genişleme, sıcaklık değişimi, trafikten kaynaklanan gerilmeler ya da muhtemel zemin hareketleri nedeniyle çeşitli termal ve mekanik eylemlere maruz kalmasıyla meydana gelmektedir.

Enine derzler, yol üstyapısının rastgele çatlamasını önlemek için gereklidir. Diğer bir ifadeyle JPCP'nin temel ilkesi, bu derzlerle bilinçli olarak çatlaklar oluşturarak çatlakların yerlerini ve genişliklerini kontrol etmektir.

Söz konusu yöntem, enine derz içermeyen ancak çatlak gelişimi, boyuna donatılarla kontrol edilen ince bir enine çatlak ağından oluşan "Sürekli Donatılı Beton Yol" (CRCP) olarak adlandırılan bir diğer beton yol üstyapısı türünden esas itibarıyla farklılık göstermektedir.

JPCP, otopanlar, karayolları, ana ve tali yollar ile tarım araçlarının kullandığı yollar, şehir içi

yollar, meydanlar, geçitler, otobüs şeritleri, endüstriyel sahalar ve otoparklar gibi çok çeşitli uygulama alanları için uygundur.

Trafik yüküne ve iklim koşullarına maruz kalan JPCP'nin davranışı, önemli ölçüde aşağıdaki unsurlara dayanmaktadır:

- Enine derz aralığı.
- JPCP platform genişliği.
- JPCP tabaka kalınlığı.
- Enine derzde kayma demiri kullanılıp kullanılmaması.
- Bağ donatılarının kullanılıp kullanılmaması.
- Temel tabakasının ve alt temelin taşıma kapasitesi.

Bu yaygın, JPCP temel ilkelerine genel bir bakışın yanı sıra yukarıda bahsi geçen faktörlerin etkisinin bir değerlendirmesini sunmaktadır. Tasarıma ve yapıma ilişkin çok sayıda faydalı tavsiyeye ek olarak bu doküman termal hareketler, farklı derz türleri ve donatılar gibi farklı hususları da ele almaktadır. Son olarak bu yaygın, pratik teknik seçim kurallarına göre derz yerleşimlerinin tasarımına ilişkin bir kılavuz da içermektedir.

Kırsal kesimdeki bir yol ve bisiklet yolu için JPCP, Breugelweg, Pelt, Belçika



## “SÜRDÜRÜLEBİLİR YOL ÜSTYAPISI İÇİN HER ZAMAN RAKİPSİZ: DERZLİ DONATISIZ BETON YOLLAR (JPCP)”

Yol üstyapısı olarak JPCP kullanımı, 120 yılı aşkın süredir mevcuttur. Bilinen en eski örnek, ABD'nin Ohio Eyaletinin Bellefontaine kentinde bulunan Court caddesidir. 1891 yılında, çimento ve beton konusunda uzman bir göçmen olan George Bartholomew, kent yönetimine Belediye Binasının önündeki sokakları betonla kaplama önerisinde bulunmuştur. Kesin sonuç veren ilk denemenin ardından 1893 yılında projeyi gerçekleştirmek için izin verilmiştir. Ancak yetkililer daha önce başka bir yerde bir örneğine rastlamadıkları için bu konuda pek de hevesli değillerdi. Sonuç olarak George Bartholomew, çimentoyu kendisi temin etmek suretiyle ve toplam maliyetin 9.000 \$ olduğunu bilerek 5 yıllık bir süre için 5.000 \$ teminat vererek bu işi aldı. Depozitosunun iade edildiğine hiç şüphe yok zira Court Caddesi bugün, halen kullanılmaktadır. Bu tarihi alanı korumak için son yıllarda onarımlara ihtiyaç duyulsa da ilk 50 yıllık servis ömründe bakım için yalnızca 1.400 \$ harcanmıştır. Teknik olarak incelendiğinde buradaki kaplama yapısı da özeldir, zira burada çift katmanlı bir beton yol üstyapısı kullanılmış olup, üst katmanda maksimum dane boyutu 12 mm'lik agregası ve su/çimento oranı 0.45 olan bir beton kullanılmıştır. Alt tabaka, maksimum dane boyutu 36 mm'lik agregası ve su/çimento oranı 0.60 olan bir beton kullanılmıştır. Beton mukavemeti, yaklaşık 35 MPa'dır.

Bellefontaine'deki "en eski beton yol" anı plaketi



JPCP, şu anda dünya genelinde uygulanmaktadır ve yürüyüş yolları, bisiklet yolları ve meydanlar gibi hafif trafikli kaplamalardan karayolları, liman alanları ve havaalanı pistleri gibi ağır yük taşıyan kaplamalara kadar değişiklik gösteren olası tüm uygulamaları kapsamaktadır. Tüm bu uygulamalardan birçok örnek, kaplamaların uzun ömürlü ve bakım ihtiyacının oldukça az olduğunu göstermektedir. Uygulamada uzun ömürleri 40, 50 ve hatta 80 yılın üzerine çıkabilmektedir! Örneğin, Berlin-Polonya arasındaki A11 otobanı Eylül 1936'da açılmış olup 2019-2020'ye kadar hizmet vermiştir.

Enine büzülme derzlerinin modern konsepti sayesinde yol yüzeyleri de oldukça rahat hale gelmiştir. Görünür agregası, taşlama ya da YNBY (Yeni Nesil Beton Yüzey) gibi uygun bir yüzey bitirme işlemi, düşük yuvarlanma direnci, düşük gürültü seviyesi ve sonuç olarak yakıt tüketiminde net tasarruf garantisi vermektedir.

Çift katmanlı beton yol üstyapısı, kaplama yapısının alt katmanında örneğin geri dönüştürülmüş agregası kullanırken üst katmanda akustik özellikleri ve sürüş konforunu azami düzeyde sağlama imkanı sunmaktadır. Flanders, Belçika'da alt tabakada iri agregasının %20'sine kadarının yerine yüksek kaliteli geri dönüştürülmüş betondan agregaların kullanılmasına izin verilmektedir. Ancak teknik bakış açısıyla, daha yüksek bir oranda uygulama da mümkündür (iri agreganın %70'i ya da 100'ü kadar). Avusturya'da bu teknik, 1990'ların başından bu yana iki tabakalı beton plaklardan oluşan beton yollarının yapımında kullanılmaktadır.

Beton yol açık yüzey rengi sayesinde, siyah bitümlü yüzeylerden daha yüksek ışık yansıtma gücü avantajına sahiptir. Bu üstünlük, sera gazı etkisinin 25 kg/m<sup>2</sup> CO<sub>2</sub> oranında yavaşlatılmasını sağlamakta ve bu nedenle açık renkli yüzeyler kentsel bölgelerde yerel ısınma etkisiyle isli sis (smog) riskini azaltmaktadır.

Beton yolun çevresel performansının daha eksiksiz bir değerlendirmesi, Yaşam Döngüsü Analizi (LCA) kullanılarak yapılabilir. Beton; enerji, su, sis, doğal kaynaklar ve ekotoksosite dahil olmak üzere çok sayıda çevresel gösterge açısından mükemmel sonuçlar vermektedir. Beton karışımlarında yüksek fırın cürufu çimento kullanımı da sera gazı etkisini azaltmaktadır. Hammadde, nakliye ve enerji üzerindeki uzun vadeli tasarruflar göz önüne alındığında,

30 ila 40 yıl ve hatta daha uzun servis ömrüne sahip olan ve bakım veya onarım için çok az müdahale gerektiren beton bir yolun çevresel ayak izinin olumlu olduğu açıktır.

Son olarak uzun servis ömrü ve düşük bakım ihtiyacı da servis ömrü açısından kaplamanın toplam maliyeti üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir.

Dolayısıyla derzli donatısız beton yolların, tüm sürdürülebilir yapı gereksinimlerini karşıladığı sonucuna varabiliriz.

Endüstriyel alanlardaki beton yollar ve kaplamalar (soldaki fotoğraf: FEBELCEM - A. Nullens)



## 2 JPCP'DEKİ GERİLMELER

Beton yollarda, trafikten kaynaklanan ve kaynaklanmayan olmak üzere iki kategoriye ayrılacak çok çeşitli gerilmeler söz konusu olabilir. Bunlardan ikincisi sertleşmiş betonun yanı sıra taze betona da (priz almakta olan ve sertleşmekte olan) özgüdür.

### 2.1 TRAFİKTE KAYNAKLANMAYAN GERİLMELER

#### 2.1.1 Taze betondaki gerilmeler

Taze beton gerilmelerinin yol üstyapısının gelecekteki davranışı üzerindeki etkisi hafife alınmamalıdır. Kontrol edilemeyen çatlaklar, yol üstyapısının bozulması, yüzey pullanması ve kayma direnci kaybı, yapım aşamasında özen gösterilmemesinden kaynaklanan kusurlardır. Taze beton yüzeyinin ilk aşamada yeterince korunmaması, muhtemelen en yaygın kusurlardan biridir.

Döküldükten hemen sonra plastik halden katı hale dönüşen beton, su kaybı ve termal olaylardan, diğer bir ifadeyle betonun su kaybı nedeniyle oluşan rötresi, termal büzülmesi ve beton tabakasının farklı derinliklerdeki sıcaklığın eşit dağılmaması gibi olaylardan etkilenmektedir.

#### 2.1.1.a Nem kaybı kaynaklı ya da taze beton rötresi

Nem kaybı nedeniyle oluşan rötre, hidrolik bağlayıcı karışımlara özgüdür ve çoğunlukla karışımdan suyun buharlaşması nedeniyle meydana gelmektedir. Bu rötre türü, en çok betonun priz almasının tamamlanmasından hemen önceki aşama olan plastikleşme aşamasında, dolayısıyla beton imalatından sonraki ilk altı ila dokuz saatte önemlidir. Bu süreçte kontrolsüz taze beton rötresi, sabit sıcaklıkta ve nemlilikte aynı betonun 23



Taze betonun yeterince korunmamasından kaynaklanan rastgele rötne çatlakları

saat ile 300 gün arasındaki toplam kuruma rötresinden on kat daha büyük olabilir (düşük rüzgarlı bir ortamda korunmasız bir betonun sınırlandırılmamış plastik rötresi yaklaşık 3 mm/m seviyesindeyken, betonun priz alması sonrası toplam nem kaybı kaynaklı rötne yaklaşık 0,3 ila 0,4 mm/m'dir). Dolayısıyla yeni dökülen betonun kurumaya karşı etkili bir şekilde korunması, taze beton rötresini asgariye indirmek amacıyla yüzeyden suyun buharlaşmasını önlemek için mutlaka gereklidir.

#### 2.1.1.b Termal büzülme

Beton dökme işlemini takip eden ilk gecede meydana gelen sıcaklık düşüşü, nem kaybı kaynaklı rötreye ilave olarak taze betonda termal büzülmeyle yol açmaktadır.

#### 2.1.1.c Sıcaklık değişimi

Betonun priz almasının tamamlanmasından önce bile beton tabakasının üstü ile altı arasında sıcaklık farkı oluşabilir. Hatta bu etki, priz alma sürecinde açığa çıkan hidrasyon ısı nedeniyle ilk günde daha fazla dikkate alınmaktadır. Teoride, betonun öğleden sonra dökülmesi tavsiye edilmektedir. Bu şekilde hidrasyon ısı ve gece sıcaklık düşüşü birbirini telafi edecektir. Ancak,

uygulamada beton dökme işlemi genellikle sabah erken saatlerde gerçekleştirilmektedir. Soğuma, negatif sıcaklık değişimine (üst kısım, alt kısımdan daha soğuktur) ve plağın eğilmesine neden olabilir. Bu olaya "yerinde kıvrılma etkisi" adı verilmektedir.

#### 2.1.2 Sertleşmiş betondaki gerilmeler

Sertleşmiş beton, plastik haldeyken maruz kaldığı tüm gerilmelere karşılaşmaya devam etmekte; ancak bunlara daha farklı tepki vermektedir. Buna eklenebilecek diğer bir hususta, termal genişleme ve kaplamanın altındaki temel tabakalarının muhtemel hareketidir (zemin - yol üstyapı tabanı - alttemel - temel tabakaları).

#### 2.1.2.a Büzülme

Sertleşmiş beton su kaybetmeye devam eder ancak suyun çoğunun hali hazırda çimentoya bağlanmış olması nedeniyle bu kayıp çok daha az bir orandadır. Dolayısıyla taze beton, etkili bir kürleme bileşeni ile en az 72 saat süreyle korunmalıdır. Sınırlı da olsa kaçınılmaz olan buharlaşma, halen kuruma rötresine neden olmaktadır. Kuruma rötresi, kaplamanın soğuması nedeniyle gerçekleşen büzülmeyle birleşerek daha da belirgin hale gelebilir.

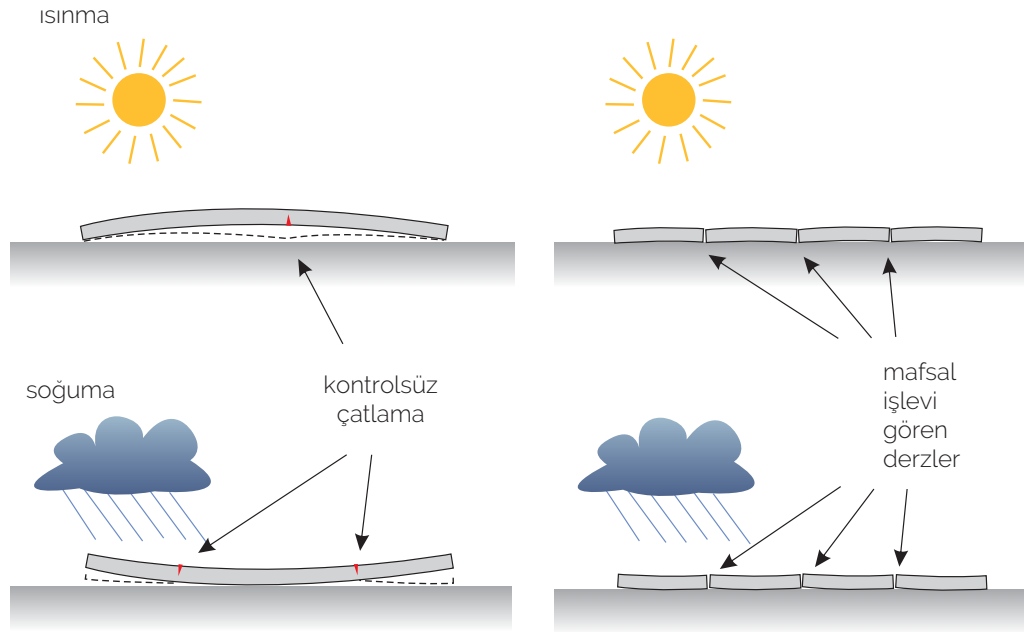
### 2.1.2.b Sıcaklık değişimi ve kıvrılma

Dış ortam sıcaklıklarındaki değişiklikler, sıcaklığın bir JPCP'nin üst kısmından alt kısmına doğru değişmesine neden olur, yani ortam sıcaklığının bir fonksiyonu olarak gelişen bir sıcaklık gradyanı oluşturur. Bu sıcaklık gradyanı nedeniyle betonun üst ve alt katmanı farklı esneyecek ya da büzülecek ve sonuç olarak da kaplama deformasyona uğrayacaktır. Dış sıcaklığın artması halinde plak, aşağı doğru kıvrılma eğilimi gösterecektir. Ancak, bu olay plağın ağırlığı ile dengelenmektedir. Böylece çekme gerilmeleri kaplamanın altında görünmektedir ve trafik yükünün neden olduğu gerilmelere eklenmektedir. Sıcaklık düştüğünde, yukarıdaki lifler daha da

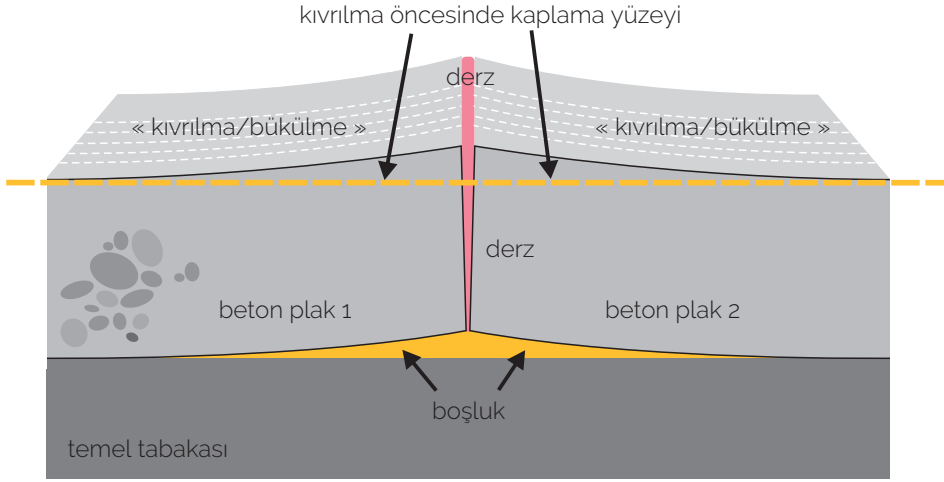
büzülme eğilimi gösterecek ve kaplamanın yukarı doğru kıvrılmasına neden olacaktır. Kalkan köşelerin ve ağır tekerlek yükünün kombinasyonu, köşelerde yukarıdan aşağı çatlak oluşumuna neden olmaktadır. Taze betonda mümkün olduğunca ani sıcaklık değişimlerinden kaçınarak (taze betonun korunması) ve yeterince kısa plak boyutları oluşturarak bu olayı önlemek mümkündür.

JPCP platform genişliğinin sınırlı kalma zorunluluğunun nedeni, kıvrılma (ya da bükülme) gerilmeleridir. Ayrıca, kaplamada enine büzülme derzlerinin bulunması şarttır.

Sertleştirilmiş beton  
üzerindeki kıvrılma etkileri







Şematik kıvrılma gösterimi

"Kıvrılma" ve "Bükülme", beton plakların köşelerinin kaplamanın altında boş bir alan yaratarak yukarı doğru kalkması ya da aşağı doğru eğilmesi anlamına gelmektedir.

Dış ortamdaki kaplamalarda bu olay, çoğunlukla kaplamanın altında ve üstünde gündüz ve gece değişen sıcaklık farkları nedeniyle JPCP'deki sıcaklık gradyanının etkisi altında gerçekleşmektedir.

İç zemin kaplaması durumunda olay, daha çok beton plağın üstündeki ve altındaki nemlilik farkından kaynaklanmaktadır. Plağın tabanındaki nemlilik sabit kalırken kuruma rötresi olarak adlandırılan yüzey kuruması gerçekleştiğinde fark ortaya çıkmaktadır.

"Kıvrılma" olayını daha belirgin hale getiren faktörler:

- Beton yüzeyin kurumasına karşı geç ya da yetersiz önlem alınması.
- Güneş ve rüzgar.
- Yüksek uzunluk/kalınlık oranı.
- Betonun rötre ve termal büzülme hassasiyeti.
- Yük aktarımı olmadan serbest plak köşeleri ya da derzler.
- Temel tabakası ile sürtünme olmaması ve dolayısıyla kaygan yüzeyler.

### 2.1.2.c Termal genişleme

Sıcaklık artışı, plağın genişlemesine neden olmaktadır, bu durum betonun özgül ağırlığı

ve temel tabakası ile sürtünmeyle nötr hale getirilmektedir. Bahsi geçen genişleme, derzleri sıkıştırmakta ve betonda basınç gerilmelerine neden olmaktadır. Beton basınca son derece dayanıklı olduğu için bu olay sorun teşkil etmez. Ayrıca, eğilme ve çekme gerilmelerine karşı öngörme davranışı gösterir, bu davranış tüm JPCP ömrü boyunca faydalıdır. Bitişikteki sabit yapılara ya da diğer kaplama türlerine yaklaşılan haller ya da eğrilik yarıçapları azalan güzergahlar dışında, çoğu durumda genişleme derzlerine ihtiyaç bulunmamaktadır.

Sıcaklık değişimlerinin bir fonksiyonu olarak betonun genişlediği ya da büzüldüğü genlik, betonun termal genişleme kat sayısına  $\alpha$  (m/m/°C) bağlıdır.  $\alpha$ 'nın büyüklük mertebesi,  $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 'dir ve büyük ölçüde agrega tipi ile belirlenmektedir. Örneğin, kireçtaşı  $8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  ile nispeten daha düşük termal genişleme katsayısına sahipken, porfir (volkanik kayaç türü) ve çakılın genişleme katsayısı daha yüksektir ve  $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar çıkabilmektedir.

Düşük termal genişleme katsayısına sahip bir beton, bu deformasyonlara daha az maruz kalır ve dolayısıyla zamanla daha iyi davranış gösterecektir. Bu açıdan bakıldığında kalkerli bir agrega kullanılması tavsiye edilmektedir. Bununla birlikte; kireçtaşı, trafiğin etkisi altında cilalanma eğilimi olan, kaplamanın kayma direncini azaltan bir agregadır. Cilalanma olan bir beton yolda fren mesafesi

uzamaktadır ve yol güvenliği azalmaktadır. Dolayısıyla kalkerli agrega yalnızca iki tabakalı yol üstyapısının temel tabakası olarak ya da otoparklar gibi düşük hızlı trafik için kullanılması planlanan üstyapıda kullanılmaktadır.

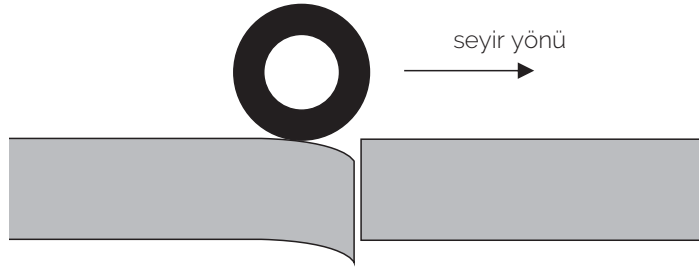
$10^{-5}/^{\circ}\text{C}$   $\alpha$  katsayısı ne anlama geliyor? 10 m uzunluğunda  $5^{\circ}\text{C}$ 'de uygulanmış bir yol üstyapısına bakalım. Sıcak bir yaz gününde kaplama sıcaklığı kolaylıkla  $35^{\circ}\text{C}$ 'ye çıkmaktadır.  $\Delta T = 30^{\circ}\text{C}$  sıcaklık farkıyla termal genleşme,  $30^{\circ}\text{C} \times 10 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C} = 3 \text{ mm}$ 'ye ulaşmaktadır. Genleşme durumunda plaklar, blok işlevi görmektedir ve her birinin yer değişimi kümülatiftir. Büzülme durumunda her bir plak, tek başına hareket etmektedir ve yer değiştiren bir kaplama başlangıçtaki pozisyonuna geri dönemez. Hesaplamanın sürtünmesiz bir yüzey için yapıldığı doğrudur. Uygulamada, yol üstyapısı ile temel tabakası ya da asfalt ara tabakası arasında sürtünme vardır. Dolayısıyla gerçekte hareketler daha küçüktür. Ayrıca dış sıcaklık değil kaplamanın merkezindeki betonun sıcaklığı dikkate alınmalıdır.

## 2.2 TRAFİKTEN KAYNAKLANAN GERİLMELER

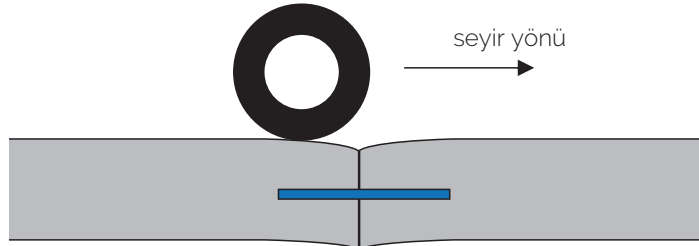
Beton yol plak kalınlığı hesaplaması, en yüksek gerilmelerin (termal yükü birleştirilmiş trafik yükü) uygulandığı alanlarda, diğer bir ifadeyle derzlerde ve kaplamanın köşelerinde gerçekleştirilmektedir. En büyük yükü taşıyan ağır taşıt trafik şeridinin kenarında genişleyen, yeterli genişlikte bir seyir şeridi sağlayarak kaplama köşelerindeki yüksek gerilmeler önenebilir.

Bir diğer önemli parametre de derzlerdeki bir plaktan diğerine yük aktarımıdır. Bu, bir tekerlek yükü derze yaklaştığında yüke maruz kalmayan plağın yüklü plak ile birleştiği ve yön değiştirdiği anlamına gelmektedir. Bu ilke, aşağıda anlaşılır bir şekilde gösterilmektedir. Etkin yük aktarımında derz gerilmeleri büyük oranda azalmaktadır ve bu beton plak kalınlığının azaltılmasına imkan tanıyabilir.

% 0 yük aktarımı

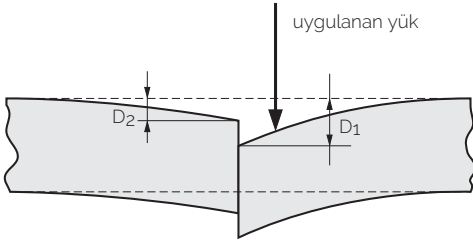


% 100 yük aktarımı



Bitişik iki plak arasında yük aktarım ilkesi

Derz verimliliği olarak da bilinen yük aktarım etkinliği, aşağıda gösterilen şekilde bitişik plaklara aktarılan sehimin yüzdesi olarak ifade edilebilir. Uygulamada, derz verimliliği Ağırılık Düşürme Deflektometresi (FWD) ya da daha basit bir şekilde plaka yükleme testi (PLT) ile ölçülmektedir.



Derz verimliliği kavramı

Derz verimliliği, J aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$J = \frac{D_2}{D_1} \times 100$$

Derz verimliliği için çeşitli tavsiyeler ve kısıtlar mevcuttur. Derzli beton yol üstyapısı için genellikle minimum %90 yük aktarım etkinliği gerekmektedir.

Yük aktarımı, aşağıdaki olaylarla ve ölçümlerle elde edilmektedir:

- Betondaki agregaların kesilen derzin altında birbirine kenetlenmesi.
- Bağımsız temel tabakaları ile karşılaştırdığında derzin altındaki sehimi azaltan hidrolik bağlı rijit temel tabakasının varlığı.
- Bir plaktan diğerine yük aktarımını sağlarken derzde boyuna büzülme sağlamak amacıyla enine derzlerde kayma demirlerinin kullanılması; Kayma demirleri çoğunlukla dairesel ve düz demirlerdir ancak kare ve plak şeklinde kayma demirleri de mevcuttur.

Agregaların birbirine kenetlenmesi özellikle yüksek sıcaklıkta - yaz döneminde - derzler iyice kapandığında ve ayrıca seyir hızı ve araç ağırlıkları düşük olduğunda etkilidir. Bununla birlikte 0.6 mm'nin üzerinde derz açıklıkları ile agrega kenetlenmesi herhangi bir yük aktarımında etkili olmamaktadır. Özellikle derz seviyesinde plakların sözde "faylanmasını" önledikleri için yük aktarımını

artırmaya yönelik diğer tedbirler de tavsiye edilmektedir. Faylanma çoğunlukla su, beton yol ile temel tabakaları arasında sıkıştığında görülen pompaj etkisi nedeniyle meydana gelmektedir. Ağır trafik ve aşırı yük altında yön değiştiren stabil olmayan derzler, temel tabakası erozyonuna ve ince tanelerin temelden yukarı doğru itilmesine neden olmaktadır. Zaman içerisinde derzin altında iki levha arasında "fay" (yaklaşım plağının yükseltisinin sabit plaktan daha fazla olmasından kaynaklanan fark) oluşumuna neden olan bir boşluk meydana gelmektedir. Ayrıca bu olay, plakların çatlama, köşelerin kırılma ve derz köşelerinin kabarma riskini artırmaktadır.

Derz faylanması



### 2.3 TEMEL KATMANI İLE SÜRTÜNME - PLASTİK ÖRTÜ - ASFALT ARA KATMANI

Betonda çatlama ya da kırılmaya yol açabilecek çekme gerilmeleri yaratan büzülme ya da genişleme, temel ile sağlanan sürtünme sayesinde sınırlandırılmaktadır. Dolayısıyla temel katmanı ile beton yol arasındaki sürtünmenin, örneğin plastik örtü gibi bir bağ kesici yerleştirilerek asgariye indirilmesi gerektiği düşünülebilir. Bu sıklıkla kullanılan bir çözümdür ve alttemel/temel tabakasına taze beton penetrasyonunu önlemek için de kullanılabilir ancak aynı zamanda büyük bir dezavantajı vardır. Aslına bakılırsa, bu şekilde oluşturulan

kaygan yüzey nedeniyle oluşan ilk çatlak tamamen açılabilir. Bu yüzden de kesilen diğer derzlerde çatlaklar aşağıya doğru ilerlemeyebilir. Sonuç olarak kaplama, aralarında geniş açıklıklı bir derz bulunan ve 3 ila 5 plaktan oluşan bloklar halinde hareket eder. Bu, kaplamanın dayanıklılığını ve kullanım konforunu etkilemektedir.

Bağ kesici olarak plastik örtü uygulaması  
(fotoğraflar: S. Ghafari)





Plastik örtü üzerinde kaydığı için fazla geniş açıklıklı derz

Bu nedenle taban tabakası ile düzgün ve yeterli sürtünme ve hatta yapışma tercih edilir. Yeni dökülmüş betonun sıcaklık değişimlerinden kaynaklanan ani hareketlerden mümkün olduğunca kaçınılmalıdır ve plak uzunluğu

sınırlı olmalıdır. Bu durumda belirli özellikleri nedeniyle kaliteli beton yol üstyapısı, yeni yapıldığında bile sürtünme hareketinden kaynaklanan gerilmeleri absorbe etmekte sorun yaşamayacaktır. Dolayısıyla temel tabakası ile sürtünme, burada sorun yaratmamaktadır.

Temel katmanın üstüne serilecek olan betondaki karışım suyundan emme ihtimali bulunduğu durumlarda, bunu engellemek için beton serimi öncesi temelin ıslatılması tavsiye edilmektedir.

Yukarıda bahsi geçen plastik örtüye bir alternatif olarak "pompaj etkisine" ve dolayısıyla JPCP'nin faylanması karşı etkili bir çözüm, çimento bağlayıcılı temel tabakası ile beton yol üstyapısı arasında bir asfalt ara tabakası yerleştirmektir. Ara tabaka, su geçirmez membran olarak işlev görür ve temel tabakasını erozyona karşı korur. Ayrıca tüm tabakalar arasında iyi bir adhezyon yaratmaktadır, bu adhezyon yük altındaki yapı davranışı açısından olumlu bir etkiye sahiptir ve kaplama kalınlık tasarımı açısından da faydalıdır.

Tüm bu nedenlerden asfalt ara tabakası ile birleştirilmiş, kayma demirli JPCP, ağır trafik yükü taşıyan yollar için sağlam ve ideal bir çözümdür.



Brüksel Havaalanında asfalt tabaka üzerine JPCP yapımı

## 3 DERZLER VE JPCP'NİN GEOMETRİK ÖZELLİKLERİ

### 3.1 DERZLERİN FONKSİYONU

Derzlerin beton yol üstyapısının büzülme ve genleşme, sıcaklık değişimi, trafik ve olası zemin hareketleri etkisi altında rastgele çatlamasını önlemek açısından elzem olduğunu hatırlatmakta fayda var. Dolayısıyla çatlaklar, bilinçli olarak derzler ile oluşturulmakta ve bu şekilde kontrol edilmektedir.

### 3.2 DERZ ARALIĞI

Önceki bölümlerde farklı yük tiplerinin, beton yol üstyapısının boyutlarının belirlenmesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülebilir.

Kaplama kalınlığı ister tasarım hesaplamaları ile ister tasarım tablolarını esas alarak tanımlansın, aşağıdaki uygulama kuralları kullanılabilir: (L = plak uzunluğu, w = plak genişliği, T = plak kalınlığı)

#### $L / w \leq 1.50$ ila $1.75$

Bu kural, plak şeklinin mümkün olduğunca kare olmasını zorunlu kılmaktadır. Uzun dar plaklar, kiriş gibi davranmakta ve kıvrılma ya da aşırı eğilme ve ardından gelen eğilme çekme gerilmeleri riski artmaktadır. Ancak bu, genel bir kuraldır ve her bir duruma göre dikkate alınmalıdır. Plakların iki yönlü trafığe maruz kaldığı endüstriyel yol üstyapılarında,

kare plaklar - 1:1 oranı - en iyi çözümdür. 1 m genişliğindeki yürüme yolu için 2,5 ila 3 m uzunluğunda bir plak kullanılabilir. Otobüs-tramvaylar için rayların arasındaki ve bitişindeki şeritler genellikle 0,80 ila 1 m arasında bir genişlikle sınırlandırılmaktadır. Bu durumda, tavsiye edilen plak uzunluğu, 2,5 m olacaktır. Bununla birlikte otobüslerin ağır yükü göz önünde bulundurulduğunda (çift katmanlı) hasır donatı gerekmektedir.

#### $L \leq 25 T$ ila $30 T$

Yukarıdaki kural, plak uzunluğu ile beton yol üstyapısının kalınlığı arasında bir ilişki kurmaktadır. Kalınlığın 25 katı, tedbirli ve güvenli bir kural kabul edilebilir. Birinci kural yerine getirildiğinde (kare şekilli plaklar), bazı ülkeler 30 katla daha esnek bir kural benimsemektedir. Ancak, dönel kavşak ve otobüs şeritleri gibi bazı uygulamalar için artan kalınlıklar, sınırlandırılmış levha uzunlukları ( $L \leq 20T$ ) ile birlikte kullanılabilir.

#### $L \leq 5.00$ m ila $7.50$ m

Üçüncü kural, donatısız beton yol plakasının uzunluğunu ön tanımlı bir değerle sınırlandırmaktadır. Bazı ülkeler, daha tedbirli davranarak derz aralığını her zaman 5 m ile sınırlandırırken diğerleri 7,50 m'ye kadar izin vermektedir. Bununla birlikte kare plaklar, uzatılmış plaklardan daha uzun hale getirilebilir.

Rayların arasında ve ray boyunca dar beton plakların bulunduğu tramvay yolu



Trafiğin olmadığı ya da sınırlı olduğu yürüme yolları, bisiklet yolları ve halka açık alanlar gibi beton yol üstyapıları için kurallar daha esnek olabilir. Ancak, örneğin kalınlık 14 ila 16 cm'e indirildiğinde fazla uzun derz aralığı, sınırlı yüksüz ağırlık nedeniyle kıvrılma riskine ve kaplamanın çatlamasına neden olabilir.

Plak kalınlığı	Derz aralığı
14 cm	3,50 ila 4,00 m
16 cm	4,00 ila 5,00 m
18 cm	4,50 ila 5,50 m
20 ila 26 cm	5,00 ila 7,50 m

En güvenli seçeneklere karşılık gelen daha düşük rakamlarla ifade edilen plak kalınlığına göre tavsiye edilen derz aralığı

Plakların sadece uzunluğu değil genişliği de sınırlandırılmalıdır. Donatısız beton plaklar için:  $w \leq 4,50$  m. Bu esas olarak, fazla geniş plakların boyuna çatlaklara yol açmasına neden olan enine kıvrılma etkisi ile bağlantılıdır.

Daha kalın beton yol üstyapıları, ör. havaalanlarında, daha geniş plak boyutlarına izin vermektedir. (fotoğraf: Betonhuis, NL)



### 3.3 DERZ TÜRLERİ

#### 3.3.1 Enine büzülme-eğilme derzleri

Adından da anlaşılacağı üzere büzülme-eğilme derzinin rolü, hem büzülme (su kaybı kaynaklı rötre ve termal büzülme) hem de eğilme (diğer etkenlerin yanı sıra sıcaklık değişiminin neden olduğu deformasyonlardan kaynaklanan) etkisini sınırlandırmaktır.

Yüzeyde rastgele çatlak oluşumundan kaçınmak için belirli bölgelerde, örneğin bir önceki bölümde seçilen aralıkla, enine derzler oluşturularak çatlaklar kontrol altına alınmaktadır. Bu çatlak oluşturma işlemi, taze ve sertleştirilmiş betonda gerçekleştirilebilir. Beton taze ise bu amaç için kullanılan titreşimli bir cihazla plastik bir çubuk yerleştirilir. Bu teknik, daha önce Avrupa'da tarım araçlarının kullandığı yollarda kullanılmıştır ancak yıllar içerisinde başarısız sonuç vermiştir.

Günümüzde, oluşturulan çatlaklara ilişkin en yaygın teknik, yeterince sertleşmiş betonda derz kesmektir.

Çatlak oluşturmak için yapılan kesme işlemi



Optimum sonuç için bu derz kesiklerinin derinliği, beton yol üstyapısının kalınlığının yaklaşık 1/3'üdür (Örneğin Almanya'da: enine derzler için %25-30 ve boyuna derzler için %35-40'dır). Lifli ve donatılı beton kullanılması durumunda kesme derinliği, kalınlığın 1/2'si oranına yükseltilmektedir. İlk kesme genişliği genellikle 3 ila 4 mm'dir. Derzleri kesmek için ideal zaman, beton dökme işleminden 6 ve 12 saat sonrasdır. Ancak bu süre, beton türüne ve hava koşullarına bağlı olarak bazen çok daha geç olabilir. Görünen o ki kesme alanına ulaşmak için beton yeterince sertleşene kadar beklemek gerekmektedir.

Ayrıca beton, kesme esnasında derz boyunca küçük agregaların kopmasını önleyecek kadar da güçlü olmalıdır. Minimum basınç dayanımı, yaklaşık 10 MPa olmalıdır. Öte yandan kesme işlemi, betondaki çekme ya da eğilme gerilmeleri istenmeyen çatlaklara neden olmadan önce gerçekleştirilmelidir. Birden fazla etki eden faktör bulunması nedeniyle optimum zamana bir uzman tarafından karar verilmelidir. Birkaç örnek vermek gerekirse, kesme işlemini etkileyen bazı faktörler: beton bileşimi, agregaların sertliği, çimento türü, iklim koşulları, testere türü, geciktirici katkı malzemesi kullanma olasılığı vb.



İlk başta dar olarak oluşturulan derzler, dolgu türüne bağlı olarak 8 ila 10 mm genişliğinde bir yiv açma makinesi ile genişletilmektedir. Derz kesiklerinin geniş açılmış olması halinde yiv açma makinesi de 10 mm'den büyük olabilir. Derz köşeleri de yivli olabilir, bu şekilde JPCP'ye basınç uygulandığında dolgu malzemesi için genişleme alanı sağlanmaktadır. Derz fitili yerleştirildikten sonra derz sızdırmazlığı için yapışkan bir vernik uygulanıp uygulanmayacağına karar verilebilir. Derz dolgu malzemesi, sıcak bitümlü, soğuk uygulanan dolgu malzemeleri ya da ön şekillendirilmiş sentetik kauçuk profil (genellikle EPDM'den yapılan) olabilir - detaylar doküman içerisinde yer almaktadır. Dayanıklı bir performans sağlamak için derzlere dolgu uygulanması şiddetle tavsiye edilmektedir. Yine de kaldırımlar ve bisiklet yolları gibi hafif yüklü kaplamalar için dolgusuz ve genişletilmemiş derz kesimi tercih edilmektedir.

Derz kesimi için profesyonel ekipman, sulu çamur emme işlemi dahil (fotoğraflar: OAT)





## "KAYMA DEMİRLERİ"

Trafiğin yoğun olduğu yollarda, yük aktarımı ve dolayısıyla derzlerde faylanmayı önlemek için kayma demirlerinin kullanılması gerekmektedir. Kayma demirleri genellikle 25 mm (ila 40 mm) çapındadır ve kaplamanın orta kalınlığına, aralarında 250 mm ila 300 mm boşluk olacak şekilde seyir yönüne paralel yerleştirilen 500 ila 600 mm uzunluğunda düz-yüzeyle çelik demirlerdir. Enine derz, kayma demirlerinin ortasında konumlandırılmalıdır. Kayma demirleri, çelik sehpa üzerine ya da taze betona vibrasyonla yerleştirilmelidir. Özellikle beton dökme işlemi esnasında kayma demirlerini doğru pozisyonda yerleştirmeye ve tutmaya dikkat edilmelidir. Dolayısıyla, çelik sehpa hidrolik bağlayıcı temel ya da asfalt ara tabakası üzerine kancalarla sıkıca bağlanmalıdır. Hem dikey hem de yatay olarak kötü hizalanan kayma demirleri, gerilmelere neden olacak ve çatlama riskini artıracaktır.

Uygun olmayan ve uyumsuz kayma demiri (korozyon, çıkıntılar) ve kayma demiri sehpa (atılan betonun altında esneyerek kayma demirlerinin yer değiştirmesi) örneği



Asfalt ara tabakası üzerine sabitlenen (üstte) ve inşaat derzlerine yapıştırılan (altta) kayma demiri sehpa (fotoğraf: BKB-Infra)



Bağımsız temel tabakalarında, taze beton, vinçle bir sonraki kayma demiri sırası üzerine dökülebilir; bu şekilde tabakalar kayar kalıplı sericinin geçişi esnasında hareket etmezler. Kayma demiri sehpa da bağımsız granüler temele metal desteklerle ya da ankraj pimleriyle sabitlenebilir.

Kayma demiri yerleştirme ekipmanı (DBI) genellikle çok hassastır ancak emniyet şeridi ya da kayma demirlerinin merkezindeki, diğer bir ifadeyle kesme işleminin yapılacağı yerdeki kenar şeridi belirgin bir şekilde işaretlenmelidir.

Üstte: Yer değişimini önlemek için kayma demiri sehpa üzerine dökülen taze beton (fotoğraf: S. Ghafari) -Altta: ankraj pimleriyle sabitlenen kayma demiri sehpa



Taze betona otomatik kayma demiri yerleştirilmesi (fotoğraf: Betonhuis, NL)



Kayma demirleri, "Beton yollar-Bölüm 3: Beton yollarda kullanılacak kayma demirlerine ilişkin özellikler" başlıklı EN 13877-3 Avrupa standardında tanımlanmaktadır. Gereken minimum çekme dayanımı, 250 MPa'dır ve dayanıklılık imalatçı tarafından beyan edilmelidir.

Ayrıca kayma demirlerinin CE işareti taşımak zorunda olduğu anlamına gelen uyumlaştırılmış bir standarttır. Bu standardın devam eden revizyonu, iki test ile performans esaslı kriterleri dahil etmeyi amaçlamaktadır:

- EN ISO 9227:2017 uyarınca dayanıklılık tuzlu sprej testi;

- betondaki maksimum bağ gerilmesini ölçen çekme testi.

Çoğu kayma demiri, polietilen gibi sentetik bir tabaka ile kaplı çelikten üretilmektedir. Ancak, sıcak daldırma galvanizli ya da paslanmaz çelik kayma demirleri gibi diğer çözümler ile fiberglas takviyeli polimer (FRP) gibi diğer malzemelerden üretilen türleri de piyasada mevcuttur. Avrupa'da FRP tipi kayma demirleri, çelik kullanımının otomatik tespit ve kılavuz sistemlerinin manyetik alanını etkileyebileceği alanlar olan tramvay hatlarında ve konteynır terminallerinde hali hazırda kullanılmaktadır.

Yeni kayma demiri türleri, rötre altında betonun hem boyuna hem de enine hareketine izin vermektedir: sıkıştırılabilir kenarlı ya da inceltirilmiş levhadan kare kayma demirleri. Bu şekilde serbest hareket eden derzler, derz çatlaklarının oluşumunu asgariye indirecektir.

Beton tramvayı için GFRP kayma demirleri (fotoğraf: Betonhuis, NL)



İnşaat derzlerine yerleştirilen plaka kayma demirleri (fotoğraf: Danley, Birleşik Krallık)



### 3.3.2 Enine inşaat derzleri

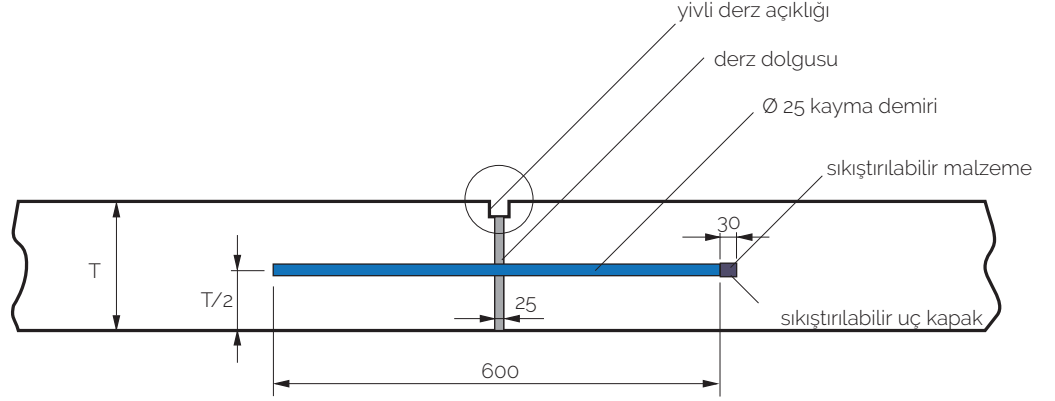
Enine inşaat derzleri, her imalat günü sonunda ve 2 saatten fazla kesinti halinde gerçekleşen beton dökme işlemi esnasında JPCP kesinti noktalarına yerleştirilmektedir. Bunlar ayrıca "gün sonu derzleri" ve "soğuk derz" olarak da adlandırılmaktadır. Eski ve yeni beton arasındaki temas yüzeyi düz ve temel tabakasının yüzeyine dik olmalıdır. Taze beton, herhangi bir derz profili ihtiyacı olmadan sertleşmiş beton üzerine dökülebilir. Derz, derze çok bitişik kesme işleminden kaçınmak için burada kesilmemelidir. Beton büzülmesi, bu lokasyonda otomatik olarak bir derz oluşturacaktır. Herhangi bir köşenin bozulmasını önlemek için çatlak görünür hale geldikten sonra yiv açılması ve dolgu malzemesi uygulanması tavsiye edilmektedir.

Kayma demirli inşaat derzleri: deliklerin açılması -kayma demirlerinin kimyasal yapışkanla tutturulması (fotoğraflar: OAT)

Enine inşaat derzlerinde agregalarla yük aktarımı düşünülemez. Bu nedenle trafikyükü yoğun olmayan JPCP dışında enine inşaat derzlerine kayma demiri yerleştirilmelidir.



Enine genişleme derzi genel şeması



### 3.3.3 Enine genişleme derzleri

Genleşme derzlerinin bir özelliği, yatay JPCP yer değişimine imkân tanıyan sıkıştırılabilir uç dolgu malzemesi kullanımudur.

1970'lere kadar her bir beton plak arasına genleşme derzi yapılmaktaydı; plakların uzunluğu o tarihte genel olarak 8 ila 15 m arasındaydı. O dönemde, büzülme ve eğilme derzi olarak da işlev görüyorlardı. Zamanla, kırılganlıkları ve plak uzunluğunun azalması nedeniyle bu derzler, yukarıdaki bölümde tanımlanan şekilde sadece büzülme-eğilme derzi olacak şekilde revize edilmiştir. Bu düzenleme, sürüş konforunu önemli ölçüde artırmanın yanı sıra JPCP bakım maliyetlerinin azaltılmasında da kilit bir rol oynamıştır. Günümüzde genleşme derzlerinin sayısı ciddi oranda azalmıştır. Ancak, bitişikteki yapılara zararı önlemek için basınç kuvveti azaltımı gereken bazı özel durumlarda halen ihtiyaç duyulabilmektedir.

- Sanat yapıları ile bağlantı.
- Diğer kaplamalarla bağlantı, örneğin kavşaklarda ya da başka bir kaplama türüne (asfalt ya da parke taşı) geçiş yapmak için. Genleşme derzi burada tercihen ikinci ve üçüncü beton plaklar arasına yerleştirilmektedir.
- Menhol gibi sabit noktaların etrafında ya da beton zeminin bina ile doğrudan temas halinde olduğu durumlarda. Bu durumlarda, izolasyon derzi olarak da adlandırılmaktadır -şekle bakınız.

Ayrıca, belirli beton dökme işlemlerinde genleşme derzlerinin kullanımı önerilmektedir:

- Beton dökme işlemi esnasında sıcaklığın düşük olması halinde ( $< 15^\circ C$ ) onarılan plağın ya da plak serilerinin bir ucuna.
- Bisiklet yollarında, daha yüksek L/W oranı nedeniyle artan plakların yukarı kalkması riskleri göz önünde bulundurularak, beton dökme işlemi esnasında sıcaklığın düşük olması halinde ( $< 15^\circ C$ ) düz bir çizgide yaklaşık her 150 m'de bir.
- Kaplamanın yanal yer değişimini önlemek için keskin dönüşlerden önce ve sonra tali yollarda ve bisiklet yollarında (eğrilik yarıçapları  $< 250$  m).

Yapım detayları açısından dolgu malzemesinin, kaplama yüzeyine dik olması önemlidir. Dolgunun eğri pozisyonu, plağın kıvrılmasının başlıca nedenlerindedir. Dolgu malzemesinin dik pozisyonu ve beton dökme işlemi esnasında bu pozisyonda tutulması, pek kolay değildir. Daha basit bir çözüm, genleşme derzini inşaat derzi ile yani bir beton dökme kesintisinde bir araya getirmektir. Dolgu malzemesi, dikey bitirme yüzeyine karşı yerleştirilebilir. Kayma demirine ihtiyaç duyulması halinde mevcut kaplamaya dolgu içerisinden delikler açılmalıdır. Ardından kayma demirleri yerleştirilmeli ve açılan deliklere yapılandırılmalıdır. Kayma demirine ihtiyaç duyulmayan hallerde, örneğin bisiklet yollarında ya da trafiğin yoğun olmadığı sokaklarda, derz genişliği tam kalınlık üzerinden çift kesme ile mevcut kaplamaya göre ayarlanabilir.

Kesintisiz kaplama çalışmasında kayma demirli enine genişleme derzi yerleşimi (fotoğraf: Betonhuis, NL)



Kesilen bölüm, genişleme derzinin dolgu malzemesinin konumlandırılmasına izin vermektedir



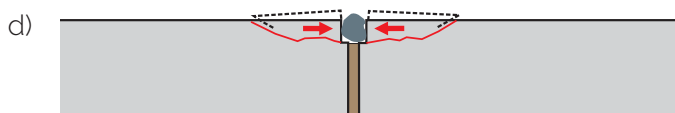
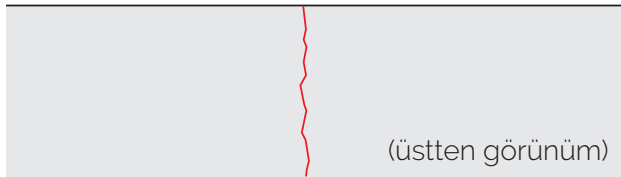
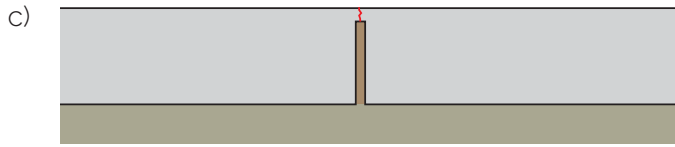
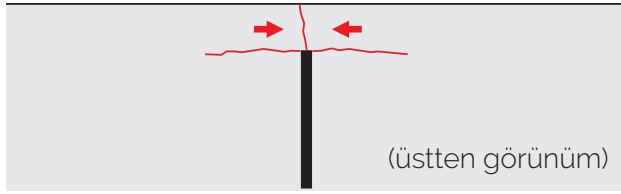
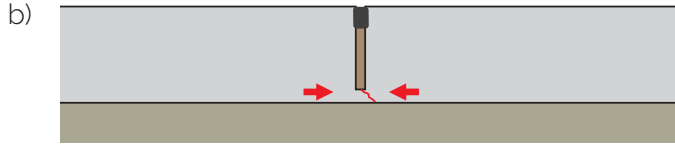
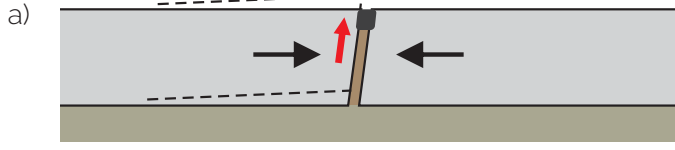
İnşaat derzinde kayma demirli enine genişleme derzleri (soldaki fotoğraf: Betonhuis, NL)



Bir diğere önemli husus, dolgu malzemesinin boyutudur. Uzunluğu, kaplamanın genişliğine eşit olmalıdır. Aksi halde uçlardaki basınç gerilmesi konsantrasyonu, betonun çatlamasına neden olabilir. Dolgu üzerinde

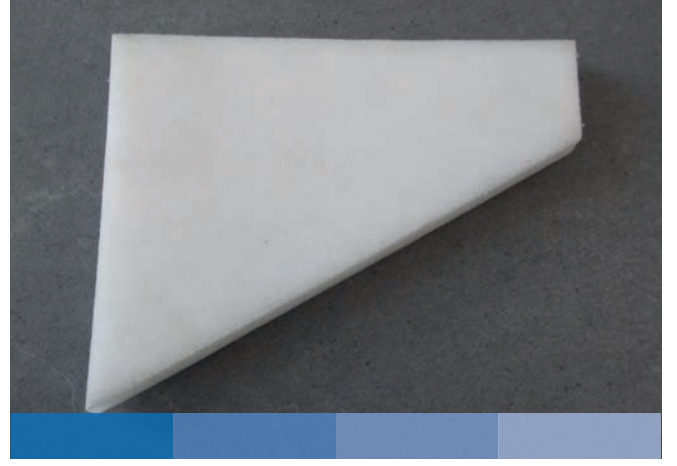
beton teması olmamalıdır aksi halde beton derzden ayrılacaktır.

Genleşme derzi için olası bozulma mekanizmaları



Genleşme derzinde kötü konumlandırılmış dolgu malzemesinden kaynaklanan derz kırıkları





Genleşme derzi dolgusu için uygun malzemeler: solda mantar aglomera, sağda yüksek yoğunluklu polietilen köpük

Dolgu malzemeleri, çürümeye karşı dayanıklı, sıkıştırılabilir ve elastik malzemelerden üretilmektedir. Sıkıştırma sonrasında başlangıçtaki kalınlıklarına ulaşabilmelidirler. Bu durum mantar aglomera ve yüksek yoğunluklu polietilen köpük (> 55 kg/m<sup>3</sup>) için geçerlidir. Genleşmiş polistiren, bu uygulama için uygun değildir.

### 3.3.4 İzolasyon derzleri

İzolasyon derzi, tam boya kesintisiz olarak boyuna derz (ya da bazı durumlarda enine derz) uygulamasıdır ve aşağıdaki amaçlara hizmet etmektedir:

a) bitişikte yeni dökülen betondaki tüm mevcut derzlerin çatlamasını önler. Bu durumda, izolasyon derzi betonun çok genişmesine izin vermez. Derz içerisinde kabartmalı PE film (250 ila 500 µm), bitümlü membran (3 ila 4 mm) ya da PE köpük profil (köpük bant - 5 mm) gibi ince bir membran sağlamak yeterli olacaktır.

b) rastgele çatlama, ayrılma ya da kalkma ile sonuçlanabilecek basınç kuvvetini sınırlamak için iki sert kaplama/yapı arasında kesinti sağlar. Bu derz türü, bitişik binalara, menhol kapaklarının etrafına, su ağlarına ya da diğer yerleşik elemanlara uygulanabilir. Bu durumda, izolasyon derzleri betonun hafif genişmesine izin verebilir. Genleşme derzi olarak da aynı dolgu malzemesinin (yüksek yoğunluklu polietilen köpük), muhtemelen daha az kalınlıkta (ör. 10 mm) kullanılması tavsiye edilir.

Kanal ve dikey duvar boyunca izolasyon derzlerine örnekler (Fotoğraflar: Kebro, BE)



### 3.3.5 Boyuna eğilme/büzülme ve inşaat derzleri

Boyuna yönde derzler, beton yol üstyapısının boyuna eksen boyunca bağlanmasına ve sıcaklık değişiminden kaynaklanan gerilmeyi (enine kıvrılma) sınırlandırmaya izin verecek şekilde yapılmaktadır. İki tür adlandırma mevcuttur:

- Kaplama tek bir beton dökme aşaması halinde döküldüğünde ve kesme

işlemi ile iki şeride ayrıldığında boyuna eğilme ya da büzülme derzi olarak adlandırılmaktadır (temel fonksiyonu büzülmeden ziyade eğilmeye izin vermek olacaktır).

- İki aşamada dökülen bitişik iki şerit halinde boyuna inşaat derzi olarak adlandırılmaktadır.

Kesme derinliği, enine derzde olduğu gibi kaplama kalınlığının en az 1/3'ü olmalıdır.

Boyuna derz kesme  
(fotoğraf: OAT)



### "BAĞ DEMİRLERİ"

Boyuna derz, derzin açılmasını önleyen bağ demirleri (nervürlü çelik çubuklar)

ile güçlendirilebilir. Ayrıca bağ demirleri, araçlar şerit değiştirdiğinde etkin dikey yük aktarımı sağlamaktadır.

Bağ demirleri olmadığında boyuna derzin kayması ve açılması





Boyuna derzlerin serbest hareketi, serbest hareket eden büzülme derzleri ile birlikte çalışan konik uçlu kayma demirleri kullanılarak sağlanabilir.

EN 13877-1 "Beton Yollar- Bölüm 1: Malzemeler" standardında bağ demirleri 10, 12, 16 ya da 20 özel çapında ve 800 mm uzunluğundadır. Ulusal eklerde özel gereksinimler bulunabilir.

Yapının servis ömrünü uzatmak için bağ demirlerinin merkezi kısmının, epoksi ya da polietilen kaplama gibi korozyon önleyici tabaka ile kapatılması önerilmektedir.

Sahada kullanılan kayma demirleri (sağda) ve bağ demirleri (solda)



Bağ demirleri kaplama orta derinliğine, seyir yönüne dik olarak ve enine derze yaklaşık 750 mm ile 1000 mm mesafede yerleştirilmektedir.

Boyuna eğilme derzinde, çubuklar çelik sehpalara üzerine ya da vibrasyonla taze betona yerleştirilmektedir. Boyuna inşaat derzlerinde, harç uygulanarak açılan deliklerin içerisine yerleştirilebilirler. Bu durumda, bazen daha kısa bağ demirleri kullanılmaktadır (700 mm) ve açılan deliğin derinliği 25-30 cm ile sınırlandırılabilir. Bir diğer seçenek de bağ demirlerini, hidrolik ya da pnömatik ekipman kullanarak taze betona yatay olarak yerleştirmektir.

Boyuna inşaat derzlerinde bağ demirleri için delik açılması (fotoğraf: Betonhuis, NL)



Taze betona bağ demirlerinin yatay olarak yerleştirilmesi (fotoğraflar: Betonhuis, NL)



Bağ demirinin ankraj mukavemeti, sahada "çekme testi" ile test edilebilir. 48 saat içerisinde açılan deliklere yapıştırılan çubuklara ya da 40 MPa kuvvetine ulaştıktan sonra taze betona yerleştirilen ankraj çubuklarına 50 ila 100 kN çekme kuvveti uygulanır.

Boyuna inşaat derzinde yük aktarımı sağlamanın bir diğer yolu, zıvanalı derz (kamalı derz) ya da bağ demirleri ile birleştirerek ya da birleştirmeden sinüzoidal derz yapmaktır. Bu genellikle endüstriyel platformlar ya da havaalanları gibi kalın kaplamalar için önerilmektedir. Ancak, bu derz boyunca betonun

sıkıştırılmasının zorluğu ve dolayısıyla derz boyunca çatlama riski nedeniyle sorunlar görülebilir. Dolayısıyla bağ demirli düz derzler tavsiye edilmektedir. Ekstra yük aktarımına ihtiyaç olduğunda ilave ya da daha kalın bağ demirleri kullanılabilir.

Bir diğer teknik, beton dökme işlemi esnasında 90°'ye eğilen ve bitişikteki şeride beton dökme işleminden önce tekrar düz hale getirilen bağ demirleri kullanmaktır. Aslına bakılırsa bu, derzin verimliliğini düşürmektedir zira çeliğin akma gerilmesinin ötesinde kıvrılma, çubuğun yük taşıma kapasitesini azaltmaktadır. Bu nedenle bu teknik, teşvik edilmemelidir.

Zıvanalı ve sinüs profilli boyuna derzler (tavsiye edilmeyen uygulama)



### 3.3.6 Diğer derz sistemleri

Büzülme ve genleşme derzlerinin geleneksel yapımına ilave olarak piyasada çeşitli prefabrik sistemler de mevcuttur. Bunlar genel olarak yol yapımından ziyade endüstriyel zeminlerde kullanılmaktadır.

Bu profiller, düz kesite ya da profilli (ör. omega şeklinde) kesite sahiptir ve betona entegre bağlayıcılarla yerleştirilebilir. Boyuna profil, genellikle düz uçludur ve bazı durumlarda sinüs şeklindedir. Sıklıkla genleşme derzleri olarak tanımlansalar da çoğunlukla büzülme derzleridir.

Bu profillere doğrudan beton dökme olasılığı göz önünde bulundurulduğunda inşaat derzleri olarak da kullanılabilirler. Yalnızca sıkıştırılabilir malzeme kullanıldığında derzin genleşme derzi özelliği gösterebildiğini hatırlatmakta fayda var.

Bu tür profiller için bazı önemli değerlendirme kriterleri:

- Betonu derz profiline doğru uygun şekilde sıkıştırma becerisi.
- Derz profiline ulaşana kadar sabit beton kalınlığı. Kalınlıktaki herhangi bir süreksizlik çatlama neden olabilir.

- Omega şeklindeki profillerde, profilin üstünde ve altında minimum 6 cm pas payı gerekmektedir
- Profil, etkin yük aktarımına izin vermemelidir. Bazı ticari profiller, bu anlamda test edilmiştir.
- Mahyaların mukavemeti, minimum 5 mm çelik kalınlığı ile sağlanmalıdır.
- Profillerde derz köşelerini korumak için metal muhafaza bulunabilir.
- Sistemler, derzin doğru şekilde fonksiyon göstermesine imkan tanımak için her iki tarafta da desteğe tamamen bağlanmamalıdır.

- Profiller, kayar kalıplı serici kullanarak beton dökme işlemine uygun değildir. Çoğu zaman, manuel olarak dökülen kaplama ya da pompa betonu için kullanılmaktadır.

İç zeminler için uygun olan bazı sistemlerin, dış kaplamalar için uygun olmadığını bilmek önemlidir.

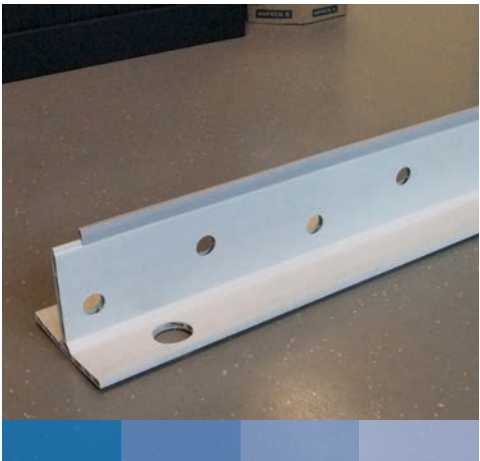
Son olarak, piyasada başka sistemler de mevcuttur, sonradan kalıp ve beton kaplamada inşaat derzi olarak kullanmak üzere isteğe göre uyarlanabilir. Bazı örnekler aşağıda yer almaktadır:

İsteğe göre uyarlanmış galvanizli çelik profil, inşaat derzi  
-Pole Marexhe Projesi, Herstal, BE

Omega profil, daha çok iç beton zeminler için kullanılmaktadır (fotoğraf: Helgelhoef Beton Derzleri)



İnşaat ve büzülme derzi olarak kullanılan geri dönüştürülmüş T-şeklinde PVC



Sayırsız derz kesme işlemlerinin alternatifinin arasında beton parke, doğal taşlar ya da ahşap gibi diğer malzemeler de beton yol üstyapısının mimari bileşiminde önemli bir yer alabilir. Aşağıda bazı örnekler yer almaktadır.

Dekoratif beton yol üstyapılarında inşaat derzlerini oluşturmak için diğer malzemelerin kullanımı -soldan sağa: Jumièges, FR – Le Petit Quevilly, FR – Vilvoorde, BE



### 3.4 BETON YOLLAR İÇİN DERZ DOLGU MALZEMELERİ

Hem enine hem de boyuna derzler için dolgu uygulanması tavsiye edilmektedir.

Derzlere sıvı malzemelerle (sıcak ya da soğuk dökülen) dolgu uygularken, derz

fitilleri kullanılabilir. Derz fitilleri, genellikle çapı derz genişliğinden yaklaşık %25 daha fazla olan halat şeklinde poliüretan köpüklerdir. Derz fitilleri, istenen şekillerde derze dolgu malzemesi uygulanmasına izin verir. Ayrıca, dolgu malzemesinin derz tabanının her iki tarafına da yapışmasını önlemektedir.

Bu fitiller, derze sıcak dolgu malzemeleri döküldüğünde şeklini korumak için ısıya dayanıklı olmalıdır.

Derz fitillerinin ve derz dolgu malzemelerinin uygulanması (fotoğraf: S. Ghafari)



Derz dolgu malzemeleri, üç ana kategoriye ayrılabilir:

1. En yaygın kullanılanlar, sıcak dökülen dolgu malzemeleridir. Çoğunlukla polimer ve çeşitli katkı maddelerinin eklendiği bitüm içerirler.
2. Bileşenleri karıştırdıktan sonra soğuk dökülen dolgu malzemeleri de uygulanabilir. Bunlar poliüretan, polisülfür ya da silikon bazlı elastik dolgu malzemeleridir. Bu ürünler daha pahalıdır ancak daha uzun bir ömre sahiptir (soğuk dökülenler için 10 ila 12 yıl ve sıcak dökülenler için 7-19 yıl);
3. Sentetik kauçuktan ön şekillendirilmiş sıkıştırma dolgu malzemesi.

Bu üç ürün kategorisi, kaplamalarda kullanılan koşullar altında derz kenarlarından kopmadan ya da dökülmeden kabul edilebilir bir servis ömrüne (örneğin, 5, 10 ya da 20 yıl) sahip olan plastik ve/veya elastik deformasyon kapasiteleri ile öne çıkmaktadır.

Sıcak uygulanan (üstte) ve soğuk uygulanan (altta) derz dolgu malzemesi (fotoğraflar: OAT)



Ön şekillendirilmiş sıkıştırma dolgu malzemesi

Bazı durumlarda, derzlere dolgu uygulamamak düşünülebilir. Bu genellikle sürüş konforu sağlamak için bisiklet yollarında kullanılan bir seçenektir. Aynı bir derz bitişinin daha uygun olduğu dekoratif dış kaplamalar için derzleri yivle genişletmemek ya da dolgu uygulamamak en iyisi olabilir.

Ancak unutulmamalıdır ki çoğu durumda ve orta-çok yoğun trafikli yollarda dolgu uygulanmayan derzlerde, aşağıdaki olumsuzluklar görülebilir:

- Derz içerisinde kirlilik kaynaklı sert, sıkıştırılması mümkün olmayan elemanların bulunması sebebiyle derz köşelerinin bozulması ve kabarması.
- Alttaki tabakaların pompaj ve yıkanma ya da erozyon riski beraberinde derzde su filtrasyonu (temel, alttemel ve/veya yol üstyapı tabanı).

Dolgu malzemesi uygulanmayacak bisiklet yolunda derz kesimleri



#### 4 JPCP DONATISI

Plakların geometrisi gibi tüm kurallara uyulan doğru bir tasarımda JPCP donatısına ihtiyaç duyulmamaktadır. Herhangi bir şekilde kullanıldığında, genellikle çelik hasır şeklindedir ve aşağıdaki amaçlarla kullanılmaktadır:

- Yapısal beton donatısı: çelik eğilme/çekme gerilmelerinin çoğuna dayanmaktadır.
- Rötire donatısı: taze ve sertleşmiş betonun rötire, büzülme ve kıvrılma gibi çeşitli nedenlerle çatlakların oluşumunu önlemek.

Görünen o ki tüm donatılar, yalnızca beton kesiti içerisinde uygun yerleşimleri göz önünde bulundurulduğunda amaçlarını yerine getirebilmektedir.

Trafik yükünün, alt kısımda çekme gerilmelerine neden olmasından dolayı yapısal donatı, nötr lif altına, plağın yarı kalınlığının tam altına yerleştirilmelidir. Temel tabakasının (yol üstyapı tabanı, alttemel ve temel tabakası) kalitesi göz önünde bulundurulduğunda, bu tekniğe genellikle yol yapımında ihtiyaç duyulmamaktadır. Aslına bakılırsa, uygun kalınlıkla kaliteli beton yol üstyapısı, herhangi bir trafik yüküne dayanmak için yeterli çekme ve eğilme mukavemeti geliştirmektedir.

Öte yandan rötire donatısı rötire çatlaklarından etkilenen ve ayrıca sıcaklık ve nem değişimlerinin en yüksek olduğu bölge olan kaplamanın üst kısmına yerleştirilmektedir.

Kaplamanın ortasına yerleştirilmesi halinde çelik hasırlar, çok daha az etkili olsa da ve daha da önemlisi yapısal etkisini kaybetse de rötire donatısı olarak işlev görecektir.

8, 10 ya da 12 mm çapındaki çelik hasırlar ve 150 mm kenarlı hasırlar en yaygın kullanılanlardır.

Maksimum verimlilik için rötire donatısı, beton kesitinin üst üçte birlik bölümüne yerleştirilmeli ve büzülme derzlerinde durdurulmalı ya da içinden kesilmelidir, bu şekilde derz doğru şekilde işlev gösterebilir, örneğin iki derzli plak arasında büzülme izin verebilir. Bu, kesme derinliğinin uyarlanmasını gerektirebilir.

Öte yandan beton yol üstyapısının alt kısmındaki yapısal donatının, kesintiye uğramasına ya da kesilmesine gerek yoktur.

Büzülme çatlakları, beton plağın tabanına ulaşmak için üstteki kesikten ve donatıların içinden geçecektir. Bununla birlikte, bu çatlaklar donatısız betonunkiler kadar açılmayacaktır, bu nedenle taban donatısının yaklaşık her beş derzde ya da her 30 m'de kesilmesi önerilmektedir.

Çelik hasırlı lokal donatı (fotoğraf: Betonhuis, NL)



Kayma demirleri ile birleştirildiğinde hasır donatıların kayma demirlerinin serbest uçlarınabindirilmesi önemlidir. Hasır donatılar, derzde kesilebilir ya da derzle keşilebilir. İkinci durumda, yukarıda tanımlanan şekilde kendilerine dokunulmadan kayma demirlerinin kesitinin üzerinden kesilmelidir.

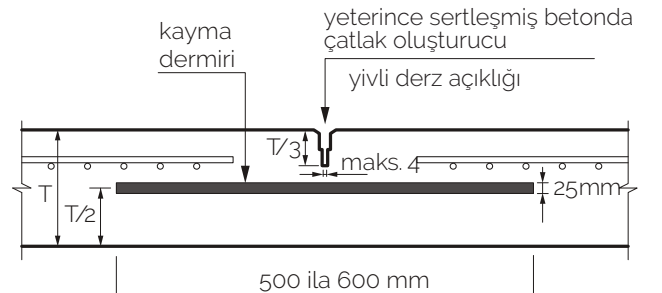
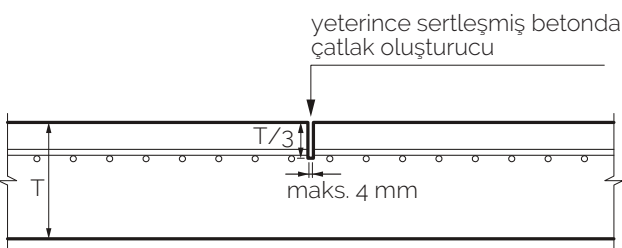
Birleştirilen çelik hasırlar ve kayma demirleri



Hasır donatıların yerini bazen çelik lifler ya da makrosentetik lifler almaktadır. Bu yöntem esas olarak endüstriyel iç zeminlerde ve bazen de dış kaplamalarda, özellikle asfalt tabakası üzerine atılan ince beton kaplama uygulamalarında kullanılmaktadır. Lif eklemenin üstünlüğü, betonun tokluğunu artırmasıdır. Bu, çatlak oluşumunun ardından yapının, doğrudan çökmemesi ancak çatlama sonrasında olumlu bir davranış göstermesi anlamına gelmektedir. Bu uygulamada beton yol üstyapısındaki herhangi bir çatlakların çelik lifler sayesinde daha iyi şekilde kapalı kalması anlamına gelmektedir.

Pratikte uygulanan doz, çelik lifler için 30 ila 50 kg/m<sup>3</sup> ve yapısal sentetik lifler için 3 ila 5 kg/m<sup>3</sup>'tür. Liflerin şekli ve boyutları da rol oynamaktadır. Geleneksel uygulamalarda, daha çok 60 mm uzunluğundaki ve 0,75 ila 1 mm çapındaki galvanizli çelik lifler kullanılmaktadır. Tasarım açısından lif donatılı beton plaklar, donatısız betonla karşılaştırıldığında biraz daha fazla plak uzunluğuna sahip olabilir. Bununla birlikte plak uzunluğunun maksimum 7 ya da 8 m ile sınırlandırılması tavsiye edilir. Hollanda'da, derzsiz 100 m uzunluğuna kadar çıkan çelik lif donatılı beton yol kesitlerinde bazı deneyler yapılmıştır. Bu başarılar, farklı lif türlerinden oluşan 50 kg/m<sup>3</sup> karışım içeren beton bileşimine göre tasarlanmıştır.

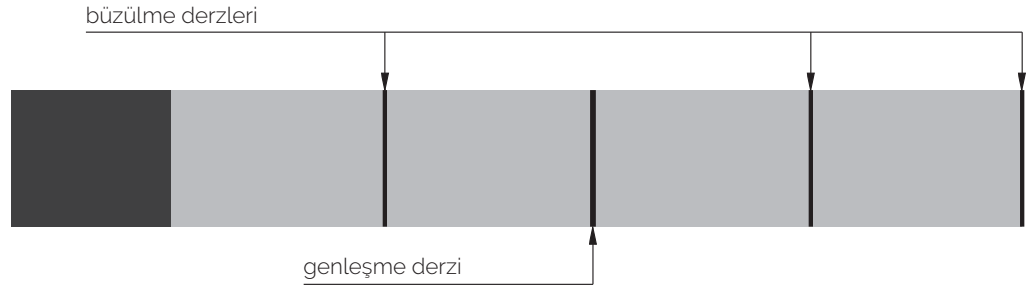
Kayma demirli ve kayma demirsiz JPCP'de hasır donatı kullanım şemaları



## 5 DİĞER KAPLAMA TÜRLERİNE GEÇİŞ

JPCP'nin diğer kaplama türleri (asfalt, küçük elemanlar) ile birleştiği hallerde, diğer kaplamanın, örneğin termal genişleme durumunda olduğu gibi geriye itilmesini önlemek için gereken tedbirlerin alınması önerilmektedir. Bölüm 3.3.3'te bahsedildiği üzere, ikinci ve üçüncü beton plaklar arasında enine genişleme derzi yerleştirmek bir seçenektir.

Beton-asfalt geçiş çözümü



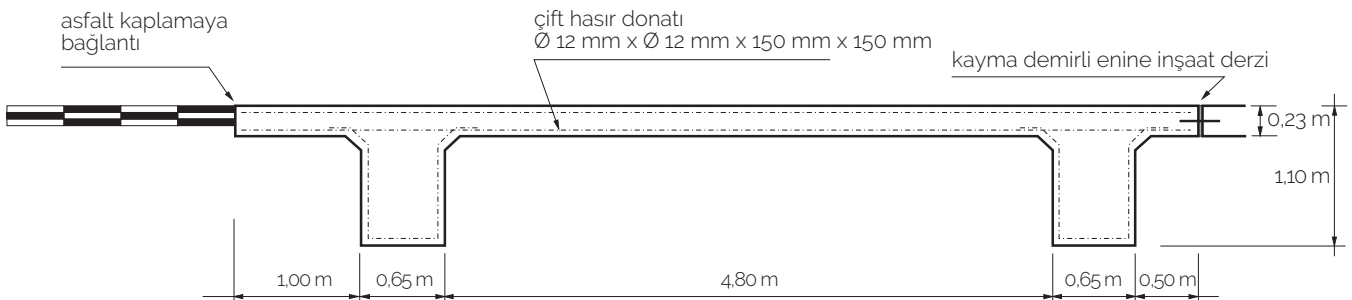
Beton-asfalt geçişinde, "kompozit derz" bir alternatiftir. Yaklaşık 250 ila 500 mm'dir ve özel bir bitümlü bileşik ve ince çakıl karışımı içermektedir. Bu türden bir bileşik dolgu malzemesinin kapasitesi, genişleme ve büzülmede 10 ya da 15 mm'dir.

Son olarak, beton yol üstyapısının ucuna hareketi nötr hale getirebilen bir ankraj desteği (hatıl) koymak mümkündür. Basit bir açılı takviye ya da bir veya birden daha fazla uzantıdan oluşan bir ankraj desteği olabilir. Tek uzantılı desteğin, plağın temelden ayrılmasına neden olabilecek bir tür kaldıraç etkisi yaratma riski olduğuna dikkat edilmelidir. Oluşturulan boşluklar nedeniyle destek bölgesi üzerinde seyir, istenmeyen titreşimlere neden olacaktır. Dolayısıyla ucunda çift donatılı plak bulunan minimum iki uzantılı ankraj desteği oluşturulması tavsiye edilmektedir.

Betondan asfalta geçişte kompozit derz



Beton ve asfalt arasında geçiş için kısaltılmış ankraj desteği





## 6 DERZ VE DONATI YERLEŞİMİ

Derz ve donatı yerleşimi, derzlerin ve tüm donatıların konumunu ve türünü belirtmektedir. Genellikle yüklenicinin işi olarak düŐünülse de nitelikli bir derz ve donatı yerleşimi, tasarım aŐamasının bir parçası olmalıdır. Derz yerleŐiminin n çalıŐması, olası yapım zorluklarını öngörme imkanı vermektedir ve sonrasında değişiklik yapmak daha kolaydır. Geniş bir yzeyeye ya da karmaŐık bir geometriye sahip alanlar için beton dökme aŐamalarının da derz yerleşimini oluŐtururken dikkate alınması gerektiği unutulmamalıdır.

Pratik teknik seçim kurallarına göre derz ve donatı yerleşimi oluŐurmaya ilişkin bazı kurallar:

- Kayma demirlerinin ve bağ demirlerinin konumunu belirleyen seyir yönü olarak kabul edilecek bir ana yn seçin. Klasik bir yolda ne kadar kolay olsa da bu karar bir kavşakta daha karmaŐık olabilir. Bu durumda, en sık kullanılan yol ana yön olarak kabul edilebilir.
- Derzleri en belirli noktalara (r. menholler, kesintiler, bağlantılar, dönüŐler vb.) yerleŐtirerek baŐlayın.

Menhollerdeki kesilmiŐ derzler



- Gerekinden daha fazla derz kesmeyin.

Çok fazla kesme ve dar aılar da istenmeyen çatlaklara neden olabilir



- Dar açılardan her zaman kaçının. Bu, derzi kaplamanın köşesine dik olarak yönlendirerek yapılabilir. Bazen "keskin açı" olarak adlandırılan bu yeniden yönlendirilmiş

derz, minimum 40 cm'lik tavsiye edilen uzunluğa sahiptir. Mümkün olmayan hallerde, plağın üst kısmına hasır donatı yerleştirilmelidir.

Dar açılardan kaçınılan doğru derz yerleşimlerine çeşitli örnekler.

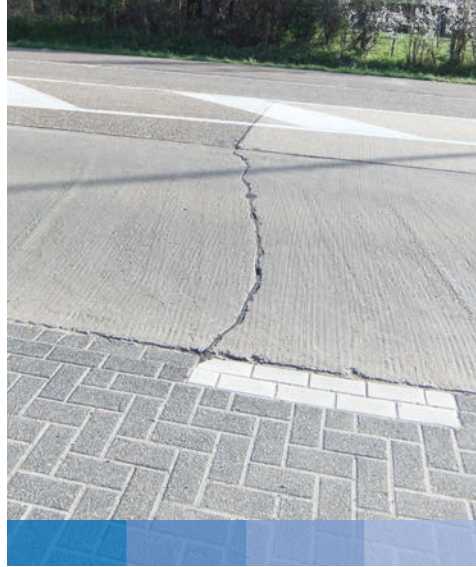




Avusturya ve Almanya'da karayolu park alanlarında derz yerleşimleri (sağdaki fotoğraf: Betonhuis, NL).

- Düzensiz biçimli plaklarda hasır donatı bulundurun.
- Paralel değilse aynı plağın derzlerine kayma demiri yerleştirmekten kaçının; hareket yalnızca tek bir yönde gerçekleşebilir ve derzi bloke etme ardından köşeden başlayan bir çatlak oluşturma riski vardır.
- Aktif (ilerlemekte olan) çatlakların önüne geçmek için mevcut derzleri dikkate alın ya da gerekli tedbirleri uygulayın (beton dökme işleminin gerçekleştirildiği eski enine derz boyunca izolasyon derzi yerleştirilmesi)

Bitişikteki bir plakta ya da yağmur oluğundaki derzle başlayan aktif çatlaklar



Yoldaki derz, beton bariyerdeki derzin konumuyla eşleşmektedir.



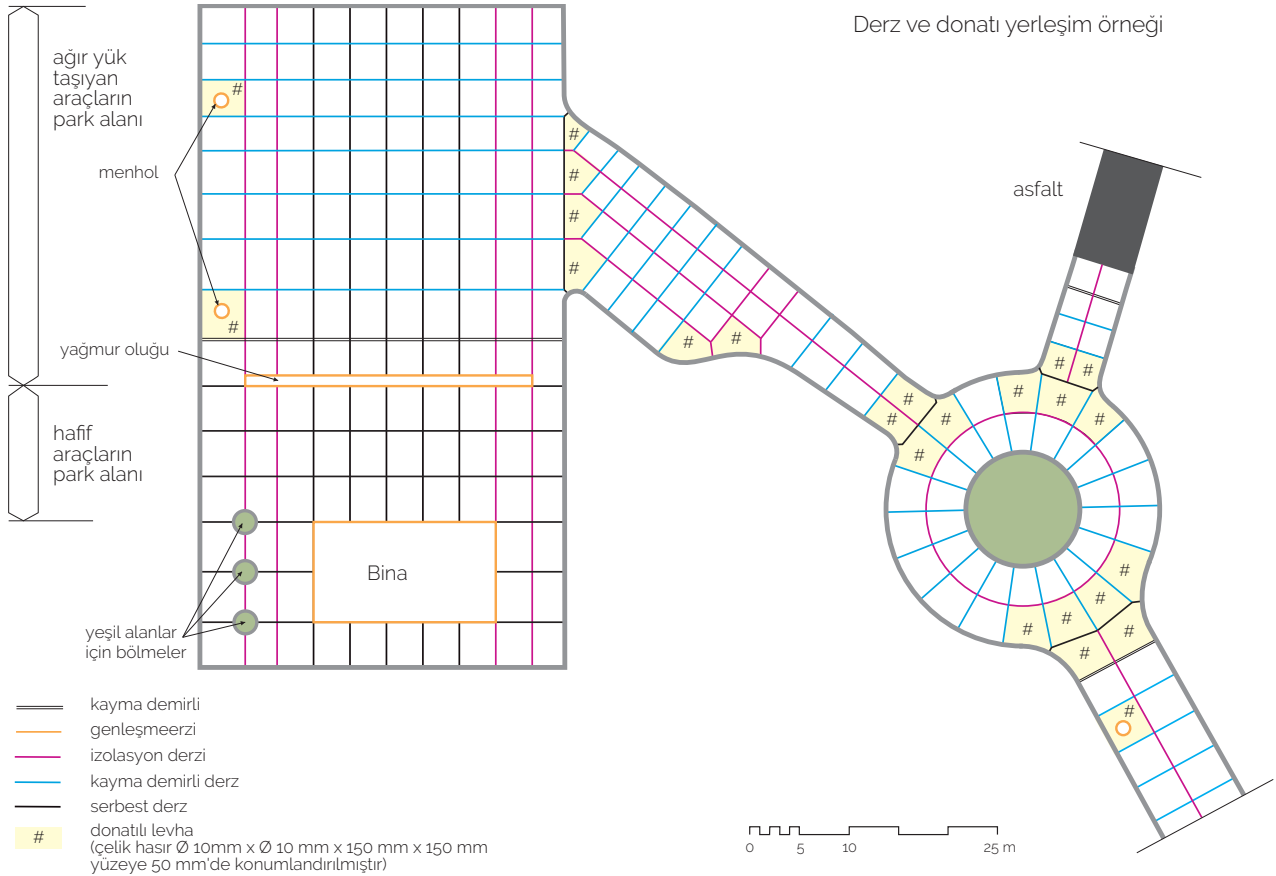
Charleroi, Place de la Digue: bu dağınık derz yerleşiminde aktif çatlaklardan kaçınmak için boyuna derzler boyunca izolasyon membranları yerleştirilmiştir.

- Derz yerleşimini hazırlarken, beton dökme aşamalarını dikkate alın ya da bunları yapım aşamasında uygulayın.
- Boyuna derzlerin konumlandırılması için ağır trafik örüntüsünü dikkate alın; bu şekilde derzler doğrudan yük altında olmaz. Genişletilmiş şeritler ve yol işaretlerinin doğru konumu, boyuna derzin sistematik yüklemesini önler ve dolayısıyla derz bozulma riskini azaltır.

Yoğun trafikten kaynaklanan ağır yük dolayısıyla döner kavşakta zarar görmüş derz



Doğru konumlandırılan boyuna derzlere ve yol işaretlemesine örnek (fotoğraf:A. Nullens- FEBELCEM)



## 7 SONUÇ

JPCP kavramı, onlarca yıldır bilinmektedir ve beton yol üstyapılarında en çok kullanılan üstyapı tipi olmaya devam etmektedir. Kalınlık tasarımına ek olarak farklı derz, kayma demiri, bağ demiri ve gerekirse çelik hasır türlerinin konumlandırmasına da gereken özen gösterilmelidir. Tecrübeler, konfor sağlamak ve ondülasyonu ortadan kaldırmak için kentsel ve şehiriçi yollarda uygulanan JPCP'lerin kayma demiri ile tasarlanması gerektiğini göstermiştir.

Modern tasarımın temel kurallarına uyulduğunda ve yapım işi pratik teknik seçim kurallarına göre gerçekleştirildiğinde JPCP, bugün beton yollardan bekleyebileceğimiz güvenilirlik ve dayanıklılığın yanı sıra gereken konforu da sunmaktadır.

## KAYNAKLAR

FUCHS F., JASIENSKI A., Les routes en béton de ciment – Exécution des revêtements monolithes (Beton Yollar – Monolitik kaplamaların yapımı). FEBELCEM, Eylül 2001

Kavşak Derz Yerleşimi. Beton Bilgileri, American Concrete Pavement Association, 1996 RENS L,

La route en béton, un choix réfléchi et durable (Beton yollar, akıllı ve sürdürülebilir bir seçenek). FEBELCEM, 2009

RENS L., LONNEUX T., Voegen en wapeningen in platenbeton (JPCP'de derzler ve donatı). Belçika Yol Kongresi, Gent, Eylül 2009

VERHOEVEN K., Le retrait dans le béton jeune en cours de durcissement (Sertleşme aşamasında taze betonda rötre). FEBELCEM, Mart 1998

VERHOEVEN K., SION P., Les routes en béton de ciment (Beton yollar). FEBELCEM, 1974





Yazar: Luc Rens, Belçika

EUPAVE'in En İyi Uygulamalar Çalışma Grubu üyeleri tarafından gözden geçirilmiştir: Tim Alte-Teigeler, Almanya – Matt Bollé, İngiltere – Jeroen de Vrieze, Hollanda – Wim Kramer, Hollanda – Sepehr Ghafari, İran

Fotoğraflar: Telif hakkı FEBELCEM

\*Bu broşür, EUPAVE izni ile TÇMB (Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği) tarafından Türkçeye çevrilmiştir.