

Beton Yollar ve Silindirle Sıkıştırılmış Betonun Türkiye'deki Yeni Uygulama Alanı

Ertan YETİM

Yüksek Fen Kurulu Başkanı

Dr. Davut YILMAZ

Yüksek Fen Kurulu Üyesi

Özet

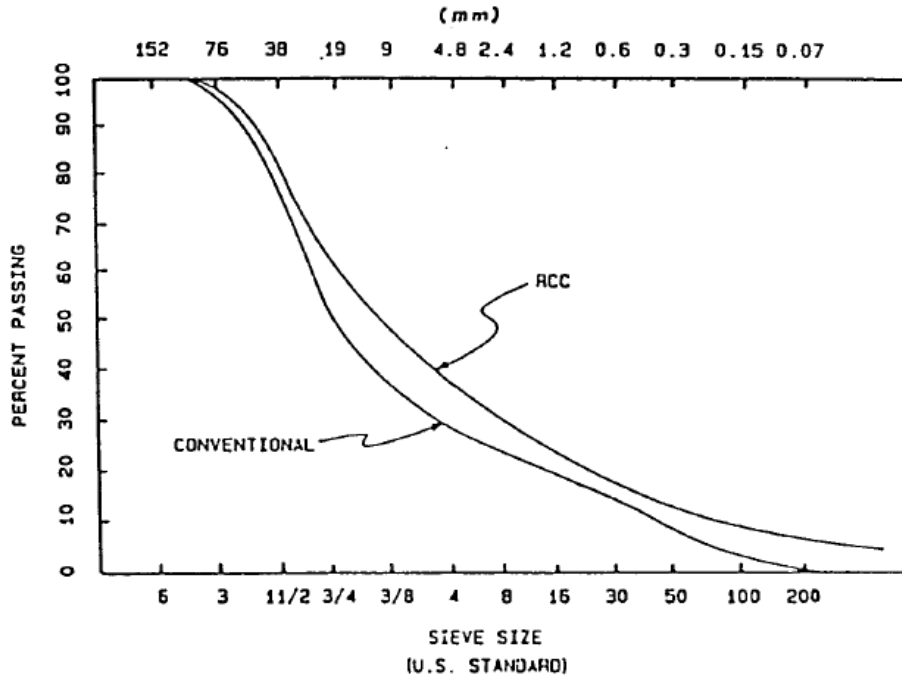
Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) uygulamaları, Çine, Cindere ve Beydağ Barajları ile birlikte 2000'li yılların başından itibaren Türkiye'de başlamıştır. Bu başlangıçtan sonra pek çok özel sektör baraj projesi SSB tipi dolgu baraj olarak inşa edilmiştir. Türkiye'deki çimento üretim kapasitesi, bu üretimin yerli kaynak olması, son yıllarda inşa edilen çok sayıda köy ve ilçe yolunun kaplamaya ihtiyaç duyması, ağır kontrolsüz trafik yükleri, temel şartlarındaki lokal değişiklikler bahse konu yollar için beton kaplamanın ekonomik ve teknik olarak üstün bir alternatif olarak ortaya çıkmasını beraberinde getirmiştir. Ülkemizde son yıllarda inşa edilen bölünmüş yollarda kullanılan asfalt serme makineleri ile mevcut beton santrallerinin beton yollar için de kullanılacak olması yeni makine ve teçhizat yatırımına girmeksizin bu yolların inşa edilebileceğini ortaya koymuştur. Diğer taraftan, ülkemizin genel sathına yayılan termik santrallerin bir atığı olan uçucu külün beton kaplama üretiminde kullanılması betonun maliyetini düşürmekte, alkali silika reaksiyonunu azaltmakta ve çevresel bir atığı faydaya dönüştürmektedir. Bu çalışmada betonun sıkıştırılması için konulan %98'lik sıkıştırma kriterinin gerekli olmadığı, %96'lık sıkışmanın yeterli olacağı ortaya konulmuştur.

Giriş

Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB veya Roller Compacted Concrete RCC) ismini beton karışımını sıkıştıran ağır titreşimli silindirden almaktadır. SSB karışımının %75-80 agregaya ihtiva etmesi ve çok kuru olması nedeniyle, SSB'nin normal konvansiyonel beton gibi iyi derecelenmiş bir karışıma sahip olması çok önem taşımaktadır. Çimento ve uçucu kül gibi toplam bağlayıcı miktarı, kütle betonları olarak inşa edilen barajlarda, yol kaplamalarında kullanılan miktara göre çok daha azdır. Yol kaplamaları için kullanılan çimentolu bağlayıcı miktarı normal konvansiyonel betonda kullanılan miktardan biraz daha azdır. İnşa hızı, ekonomikliği ve trafiğe erken açılabilmesi SSB nin yerel yollar için ana tercih sebeplerini oluşturmaktadır. Yüksek trafik yüklerine dayanacak şekilde projelendirilebilmesi, düşük permeabilitesi nedeniyle donma çözülme dayanımının yüksek ve içerisinde donatı olmaması nedeniyle görece tamiratının kolay olması SSB nin diğer tercih nedenlerini oluşturmaktadır. SSB nin en önemli dezavantajlarından birisi hızın yaklaşık 50 km/saat'i aştığı durumlarda yüzey düzgünlüğünün az olmasının sürüş konforunu azaltmasıdır. Bu gibi durumlarda daha düzgün yüzey elde etmek için genellikle yüksek yoğunluklu kaplama makineleri (high-density pavers) kullanılmaktadır (Harrington, 2010).

SSB ile konvansiyonel beton karışımlarındaki esas fark, daha iyi sıkışmayı temin etmek amacıyla, Şekil 1'de gösterildiği gibi SSB betonlarında daha fazla ince malzeme kullanılmasıdır (Schrader, 1987). Toplam çimento+uçucu kül miktarı konvansiyonel betonda ağırlığın %15 civarında iken, SSB betonlarında bu oran %12 civarındadır (Harrington, 2010). Silindirle sıkıştırılmış beton kaplamalar genellikle standart asfaltlama makineleri (finişer) ile serilmekte ve 10 tonluk titreşimli silindirler ile 6 pas sıkıştırılmaktadır. Tabaka kalınlığı 15-25 cm arasında değişmektedir.

Türkiye Cumhuriyeti-Ekonomi Bakanlığının 2016 raporuna göre ülkemiz çimento sektöründe Avrupa'nın en büyük, dünyanın ise beşinci büyük üreticisi, ihracatta ise dünya pazarında altıncı sırada yer almaktadır.



Şekil 1. SSB Gradasyonu (Schrader, 1987)

Silindir ile Sıkıştırılmış Betonun Serimi

Silindirle sıkıştırılmış beton kaplamalar genellikle konvansiyonel standart asfaltlama makineleri ile serilmektedir (Şekil 2). Beton kaplama kalınlığı 25 cm ye doğru yaklaştıkça ve yüzeyin 50 km/saatten daha hızlı trafik için uygun olması istendiğinde yüksek sıkıştırma kapasitesine sahip beton kaplama yapımı için imal edilmiş finişerlerin kullanılması daha uygun olur.



Şekil 2. Silindirle Sıkıştırılmış Betonun serimi ve sıkıştırılması (Harrington, 2010).

Kompaksiyon ve Yoğunluk Kontrolü

Silindirle sıkıştırılmış betonla ilgili olarak önde gelen araştırmacı uzman ve tatbikatçılardan birisi Ernest Scharder'dir. Çine Barajında Schrader ile yapılan çalışmalarda (2003) dünyada yayılan projelendirme ve kriterlerin bazılarının kendisi tarafından ortaya konulduğunu fakat daha sonra uygulamaları gördükçe bu dizayn veya kriterleri değiştirdiğini ancak ilk ortaya koyduğu düşüncelerin çok yayıldığı için bunları sonradan değiştirse de ilk fikirlerinin kullanılmaya devam edildiğini ifade etmiştir. Bunlardan bir tanesi, Çine Barajının ön ve arka yüzünde kullanılan ön döküm beton segmentlerdir (Şekil 3-4). Schrader bu segmentlerin kullanımını önermekten; pahalı imalatı, yerine konulmasındaki güçlükler ve alternatif kalıp imalatlarının ucuz ve kolay olması nedenleri ile vazgeçmiştir (2003).



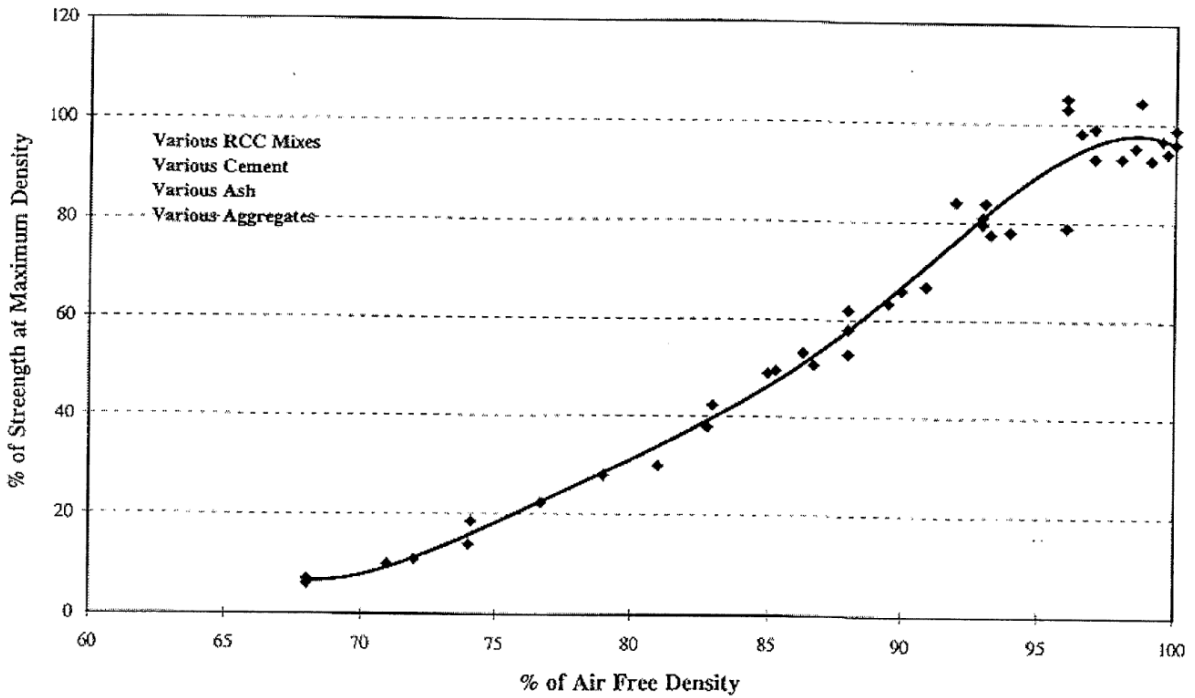
Şekil 3. Çine Barajında kullanılan prekast segmentleri tabandan döşenmeye başlanması.



Şekil 4. Çine Barajında kullanılan prekast segmentlerin görünümü.

Benzer şekilde Schrader (1992) SSB betonunun %98 lik sıkışabilirlik limitinin sağlanması gerektiğini şartnamelerde ve yayınlarda belirttiği halde, çok değişik projelerden topladığı veri neticesinde mezkûr %98'lik limitin gerekli olmadığını ve Şekil 5'te gösterildiği gibi %96 lık sıkıştırmanın yeterli olacağını belirtmiştir (Schrader, 2002). Ancak yazarın kendisinin ifadesi ile ilk koyduğu kriter o kadar yayılmış ve bir "kutsal ilke" hükmü gibi alınmıştır ki sonradan yaptığı değerlendirme yeterince dikkate alınmamıştır.

Bu hususun dikkate alınmasıyla birlikte, sıkıştırılmayacağı gerekçe gösterilerek karışıma girecek agrega çapının 38mm ye çıkarılmasına ve normal asfalt finişerlerinin beton kaplama yapımında daha fazla kullanılmasına yönelik çekinceler de ortadan kalkacaktır. Sonuç olarak uçucu kül kullanımıyla birlikte artan ince malzeme miktarı, daha iri agrega çapı, daha az çimento ve mevcut asfalt makinelerinin kullanımı beraberinde daha ekonomik yol yapımını getirecektir.



Şekil 5.Çok çeşitli SSB karışımlarından elde edilen verilerden "Ulaşılabilir Azami Dayanımın Yüzdesi" nin (Düşey Eksen) "Teorik Havasız Yoğunluğun Yüzdesi" (yatay Eksen) ile değişimi (Schrader, E.K. 1992).

SSB'nin genellikle 6 pas sıkıştırıldığı ve sıkıştırma işleminde 10 tonluk vibrasyonlu silindirler kullanıldığı yukarıda belirtilmiştir. Sıkıştırma işlemi taze betonu titreşime hazırlamak amacıyla genellikle 2 pas (1 ileri 1 geri) olarak vibrasyonsuz yapılmakta, sonraki 4 pas ise vibrasyonlu şekilde tatbik edilmektedir. Kenarlara gelen bölgeler ise küçük silindirler ile sıkıştırılabilir (Şekil 6). Vibrasyonlu sıkıştırma işleminden sonra 10-20 tonluk lastik tekerlekli silindirler ile yüzeydeki boşluklar ve çatlaklar kapatılmaya çalışılmaktadır. Yanlarda kalıbı olmayan desteksiz beton kaplamalarda 10 tonluk büyük silindir kenara yaklaşık 10-15 cm den daha fazla yaklaşmaması gerekmektedir. Bu kısımlar küçük silindirler veya makineli tokmaklarla sıkıştırılabilir.

SSB Karışımında Uçucu Kül Kullanılması

Beton karışımında çimento oranının ağırlıkça %15-20 oranında uçucu kül kullanımının ince malzeme miktarını artırdığı ve bunda beton kaplamanın sıkıştırılmasını kolaylaştırdığı vurgulanmaktadır (ACI Committee 325, 2001). Uçucu kül kullanımının bir diğer faydası da alkali agrega genişmesini azaltmaktadır. Bunun yanında, uzun dönemli dayanım kazanımı yalnızca çimento içeren karışımlara göre çimento+uçucu kül karışımlarında genelde daha fazladır (Schrader, 2003).

Uçucu kül, Türkiye'nin geneline yayılmış termik santraller nedeniyle (Şekil 7) rahatlıkla ulaşılabilecek ucuz bir yapı malzemesidir. Uçucu külün bu şekilde kullanımıyla yalnızca daha ucuz bir puzolanik katkı malzemesinin kullanımı sağlanmayacak aynı zamanda Çevre ve Şehircilik Bakanlığının sıfır atık politikası da desteklenmiş ve termik santrallerin önemli bir atığı da faydaya dönüştürülmüş olacaktır.



Şekil 6. SSB Betonun silindir ile sıkıştırılması (Tranter ve Merino, 2019)



Şekil 7. Türkiye'deki termik santrallerin dağılımı.

Beton Kaplamada Enine Derz Yapılması

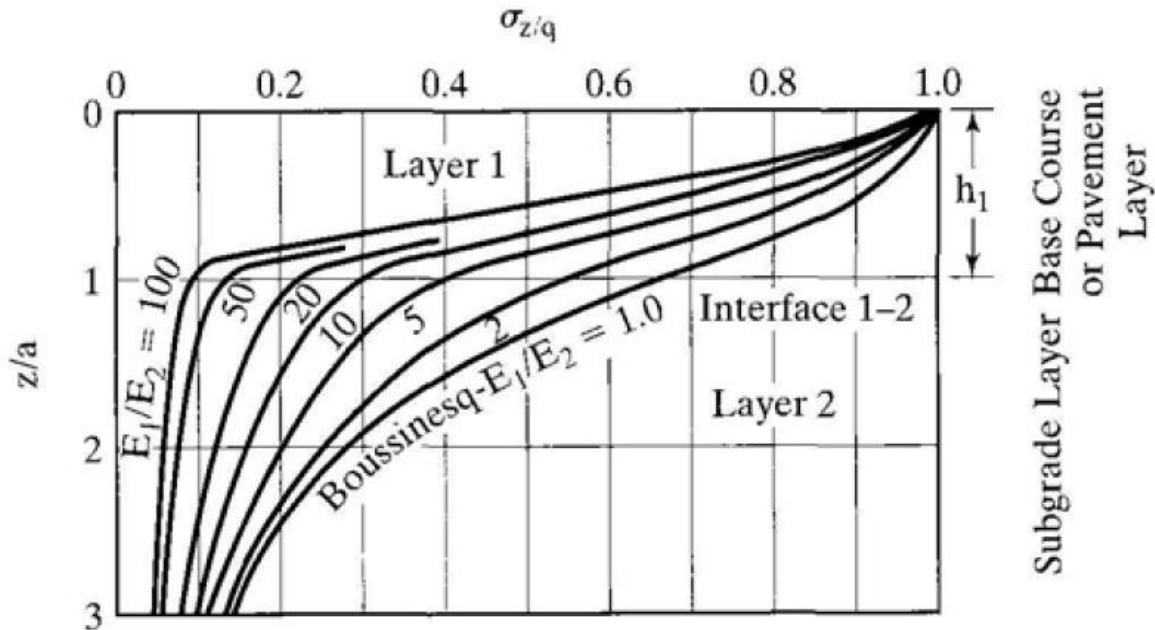
Beton kaplamanın kontrol dışı çatlamasının önüne geçmek için belli aralıklarla beton tam sertleşmeden kesilerek derz yapılabilir. Bu derzler yaklaşık 6 m'de bir yapılmalıdır (Barenberg, 1994). Derzlerin arası ise ancak her ne kadar kontrolsüz çatlaklar olsa da düzgün kesilmemiş bir çatlak yüzeyi nedeniyle betonun blokları arasındaki yük transferi daha iyi olacaktır.

Temel Tabakası

SSB kaplamaları altında 10-15 cm kalınlığında drenaj kabiliyeti olan bir temel tabakasının kullanılması kaplamanın taşıma kapasitesinin artırması, kaplamaya daha iyi yataklama yaparak lokal gerilmelerin beton kaplamayı kırmasının önlenmesi, drenaj sağlayarak betonun sudan korunması ve donma çözülme etkilerinin azaltılması, sıcaklık değişimlerinin betonda oluşturacağı genleşme ve büzülme karşı kolaylık sağlayarak betonun hareketlerinin derzlerde olmasını veya derzsiz kaplamalar için düzgün aralıklarla betonun çatlamasını sağlayacaktır. Bunun yanında temel malzemesi serilmiş bir zeminde beton kaplamanın yapılması daha kolay ve daha hassas yapılabilecektir.

Beton Kaplama Temele Gelen Trafik Yükünü Azaltmaktadır

Rijit beton kaplamalara göre esnek asfalt kaplamalar trafikten gelen yükleri, geniş alanlara yayamadıklarından derinlikle gerilme azalması daha az olmaktadır. Bir başka ifadeyle, üstteki tabakanın rijitliğinin alttaki tabakanın rijitliğine oranı arttıkça daha az gerilme alttaki temel tabakalarına iletilmektedir. Şekil 8'den görüleceği üzere üstteki beton kaplama, beton temel kontağında gerilmeleri esnek kaplamaya göre %50- %87 oranında azaltmaktadır. Bu azalış özellikle taşıma gücü düşük zeminlerde veya ağır trafik yükü altında yolun bozulmadan hizmet vermesine büyük katkı sağlamaktadır. Köy ve ilçe yolları gibi inşaat temel kalitesinin nispeten düşük olduğu yerlerde, bu azalış esnek kaplamalara göre, SSB beton kaplamalarının temelden kaynaklı nedenlerle bozulmasını önlemekte ve daha uzun dayanmasına katkı sağlamaktadır.



Şekil 8.2 Tabakalı sistemde düşey gerilme dağılımının derinlikle değişimi (Burmister, 1958). Yatay eksende düşey gerilmenin tatbik edilen gerilmeye oranı, dikey eksende ise derinliğin yüzeyde tatbik edilen yayılı yük genişliğinin yarısına oranı gösterilmektedir. Esnek asfalt kaplamalarda asfalt kaplamanın elastisite modülünün temel tabakası elastisite modülüne oranı (E_1/E_2) yaklaşık 1-5 arasında değişmektedir. Rijit beton kaplamalarda elastisite modülü oranları (E_1/E_2) yaklaşık olarak 20-100 arasında alınabilir.

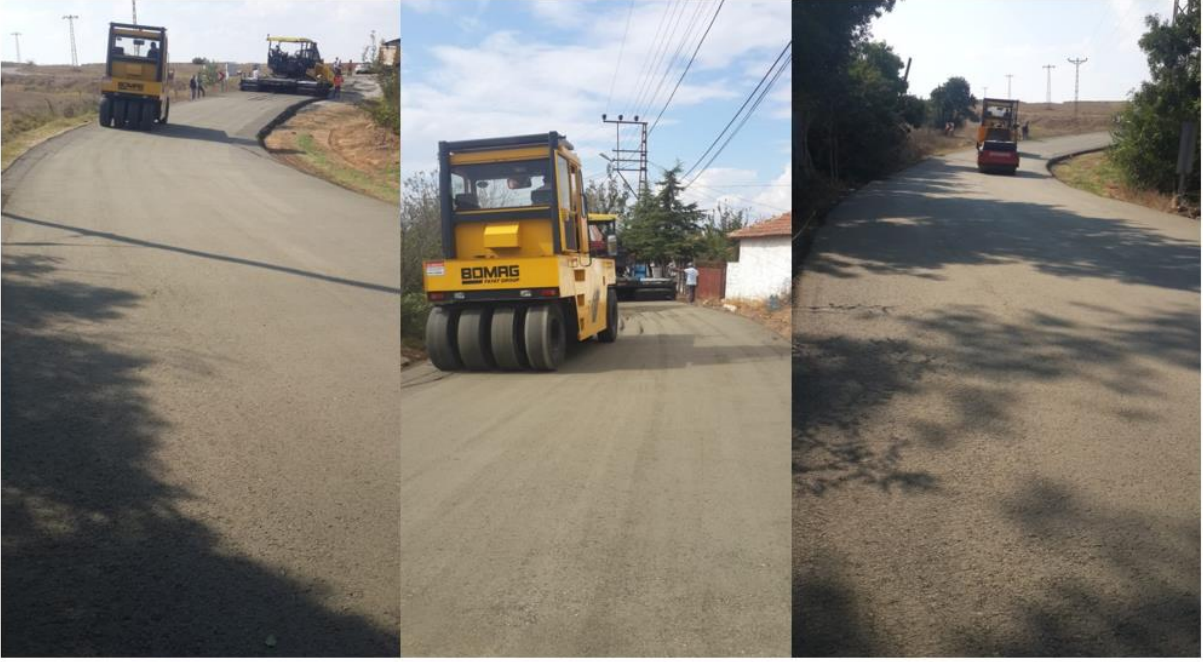
Türkiye’de SSB Kaplama Uygulamaları

Silindire sıkıştırılmış beton yollar; sıfır slump’lu beton olması, donatı kullanılmaması, kalıba ihtiyaç duyulmaması, mevcut asfalt veya plentmiks temel finişerleri ile serilebilmesi ve asfalt veya dolgu sıkıştırma ekipmanları ile sıkıştırılabilmesinin getirdiği yapım kolaylığından tercih edilmektedir. Bunun yanında, dökümün bir sonraki günde trafiğe açılabilmesi, yüzeyinin pürüzlü olup fren mesafesini kısaltması, açık yüzey rengi nedeniyle aydınlatma ihtiyacını azaltması, düşük geçirimsizliği ve yükü dağıtması nedeniyle görece dayanıklılığı, uçucu kül kullanımını teşvik etmesi nedeniyle çevreci olması nedenleriyle de asfaltla kıyaslandığında avantajlara sahiptir. Diğer taraftan gelişen teknoloji ve kalite kontrol teknikleri nedeniyle yüzey düzgünlüğündeki iyileşmenin getirdiği konfor artışı, yerli olarak üretilen malzemelerden mevcut ekipmanlar kullanılarak üretilebilmesi ve daha uzun ömürlü oluşu diğer tercih nedenlerini oluşturmaktadır.

Türkiye’de SSB kaplı yolları teşvik etmek amacıyla gerekli şartnameler, standartlar ve birim fiyatların hazırlanması konusunda son aşamaya gelmiş olup ilgili çalışmaların 2020 yılında yayımlanması planlanmaktadır. Aşağıda Türkiye’nin çeşitli yerlerinde yapılan çalışmalardan örnekler verilmektedir.



Şekil 9. Edirne İl Özel İdaresi tarafından 2018 yılında yapılan SSB Kaplama Uygulaması (Kaynak Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği: TÇMB)



Şekil 10. Kırklareli İl Özel İdaresi tarafından 2018 yılında yapılan SSB Kaplama Uygulaması (Kaynak Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği: TÇMB)



Şekil 11. Ağrı Valiliği tarafından 2018 yılında yapılan SSB Kaplama Uygulaması (Kaynak Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği: TÇMB)



Şekil 12. Köydes ve Kırdes Projeleri kapsamında beton yol uygulamaları (Kaynak Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği: TÇMB)

Maliyet Mukayesesi

Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (TÇMB) tarafından yapılan maliyet mukayeseleri 1km uzunluğunda 7m genişliğinde yol için yapılmıştır. Bitümlü sıcak karışımın (BSK) için 20cm plent-miks temel ve 10cm binder tabakalarının yapılacağı kabul edilmiştir. Aynı uzunlukta silindir ile sıkıştırılmış beton (SSB) kaplama için 15 cm kalınlığında beton kaplaması kullanılmış olmasına rağmen plent-miks temel kullanılmamıştır. Yüksek Fen Kurulu Başkanlığında TÇMB ile yapılan SSB Kaplama Şartname toplantılarında SSB betonlar içinde asgari şartlarda 12,5 cm plent-miks temel yapılması ilkesel olarak kabul edilmiş ve şartnameye işlenmiştir. Diğer taraftan metrekupte 285 kg olan minimum çimento miktarı da 270 kg'a düşürülmüştür. Bunun yanında, 50 kg uçucu kül kullanılması halinde çimento miktarı 250 kg'a düşürülmüştür. Uçucu kül kullanımının teknik avantajları yanında maliyet avantajları da beraberinde gelecektir. Bu maliyet avantajları dikkate alınmasıyla beton fiyatlarında yaklaşık %5'lik bir tasarruf sağlanabilecektir. Ancak bu tasarruf, çimento dışındaki imalatlar kaynaklı ihale tenzilatından sonra daha büyük oranlara ulaşabilecektir. Bu durumda maliyet mukayesesi değişik tabaka kalınlıkları için yeniden yapılmış ve Tablo 1'de gösterilmiştir. Burada, aynı dingil yükleri altında 15cm SSB nin, 20cm temel+10-11cm binder kaplamaya karşılık geldiğinin de vurgulanması gerekir. 15cm temel+15 cm SSB ise 35 cm temel-alt temel ile 10 cm binder tabakasına karşılık gelmektedir.

Tablo 1. SSB Kaplama ile Bitümlü Sıcak Karışım Kaplamanın Maliyet Mukayeseleri

Beton Kaplama		Bitümlü Sıcak Karışım Kaplama	
15cm SSB	47,4 TL/m ²	10cm binder	47,1 TL/m ²
		20cm temel+10 cm binder kaplama	75,5 TL/m ²
12,5 cm plent-miks+15cm SSB	61,8 TL/m ²	15 cm alt temel-20 cm temel+10cm binder	94,2 TL/m ²
15 cm plent-miks+15cm SSB	65,1 TL/m ²		
15 cm plent-miks+17,5cm SSB	68,0 TL/m ²		

Tablo 1’den çıkan sonuçlardan biri şudur; aynı dingil yükü altında projelendirme yapıldığında asfalt kaplama, SSB kaplamadan %45-60 arasında daha pahalıdır. Silindir ile sıkıştırılmış beton (SSB) kaplamanın ömrünün 20-25 yıl, bitümlü sıcak karışımın (BSK) ömrünün ise 3-7 yıl olduğu dikkate alındığında iki kaplamanın yapım maliyetleri aynı olsa dahi sabit fiyatlarla yıl başına düşen maliyet BSK’da SSB’ye göre yaklaşık 4-5 kat fazladır. Bu husus beton yolların yapımının teşvik edilmesini gerektiren önemli hususlardan birini oluşturmaktadır. Diğer taraftan köy ve ilçe yolları için yapılacak beton kaplamalarda asfalt inşası için kullanılan makineler kullanılabilir. Bu husus özellikle ülkemizde son 15 yılda hızlanan duble yol yapımı nedeniyle kullanılmakta olan makinelerin atıl kalmadan kullanımına da fırsat oluşturacaktır.

Sonuç

Türkiye çimento üretim kapasitesi olarak dünyada beşinci sırada yer almaktadır. Yerli bir kaynak olarak beton kaplamanın köy ve ilçe yollarında kullanılması sürüş konforunu ve emniyetini artıracaktır ve aynı zamanda yakıt tasarrufu sağlayacaktır. Betonda uçucu külün kullanılması beton kalitesini yükseltecek, alkali silika reaksiyonunu azaltacak, maliyetini düşürecek ve daha iyi sıkışmasını sağlayarak mevcut asfalt serme makinelerinin beton için de sorunsuz kullanılmasına katkı sağlayacaktır. Silindirle sıkıştırılmış beton için %98’lik sıkıştırma şartına gerek olmadığı %96’lık sıkışma oranının yeterli olduğu kriterin tarihi gelişiminden bahsedilerek açıklanmıştır. Beton kaplama temel zemine gelen gerilmeleri esnek kaplamalara oranla %50-%87 oranında azaltmaktadır. Bu durum temelden kaynaklı bozulmaların önüne geçmektedir. Beton kaplama köy ve ilçe yolları için teknik olarak daha üstün ve daha ekonomik bir alternatif olarak ortaya çıkmaktadır.

Kaynaklar

- 1) Harrington, D. (2010). Guide for Roller Compacted Concrete Pavements. National Concrete Pavement Technology Center. Iowa State University.
- 2) E. K. Schrader, (1987). “Compaction of Roller Compacted Concrete”, SP96-06, Special Publication, ACI special Publication ,Volume 96.
- 3) ACI Committee 325, (2001). Report on Roller Compacted Concrete Pavements ACI 325.10R-95 (Reapproved 2001).
- 4) Schrader, E. (2002). Experiences and Lessons Learned in 30 Years of Design, Testing, Construction and Performance of RCC Dams. US Soc. Dams, 127, 8-14.
- 5) Schrader, E. (2003). “Çine Barajı Termal Gerilmeler ve Soğutma ve Genel Yorumlar” ve saha gezisi değerlendirmeleri.
- 6) Schrader, E.K. (1992). Roller-compacted concrete for dams—State of the art. Presentation at the International Conference on Advances in Concrete Technology, Athens, Greece.
- 7) Tranter, M. and Merino, J. M. (2019). RCC Promotion across Europe. EUPAVE 4th workshop on Best Practices in concrete paving. Brussels.
- 8) Barenberg, E.J. (1994). Course notes of pavement analysis and design.
- 9) Burmister, D.M. (1958). Evaluation of pavement systems of the WASHO Road Test by layered systems Method. Bulletin 177, Highway Research Board, pp. 26-54.
- 10) TÇMB (2019) SSB Yollarının diğer yollarla maliyet mukayeseleri.