

DAYANIKLI VE AZ GÜRÜLTÜLÜ BETON YOLLAR



İÇİNDEKİLER

Özet	3
1. Giriş	4
2. Ses ve Gürültü	5
2.1 Ses nedir?	5
2.2 Trafik gürültüsü	6
2.3 Tekerlerle ve yüzey etkileşimi	7
2.4 Trafik gürültüsü nasıl ölçülür?	7
3. Sessiz kaplamalar elde etmek için bazı kurallar	8
4. Görünür agregalı az gürültülü beton yol yüzeyleri	10
5. Örnek uygulamalar	13
5.1 Avusturya'da yüksek hızlı yollarda yapılan ölçümler	13
5.2 Herne (Belçika)'deki sessiz kaplama deneme kesitleri	14
5.3 Estaimpuis (Belçika)'daki çift tabakalı beton kaplama deneme kesitleri	15
5.4 Belçika'da otoyollarda yakın zamanda yapılan gürültü ölçümlerinin sonuçları	17
5.5 Hollanda'da kullanılan görünür agregalı beton yüzeyler	18
6. Diğer gürültü azaltıcı yüzey düzeltme teknikleri	19
6.1 Boyuna diş oluşturma	19
6.2 Mikro kazıma	19
6.3 Elmas testereyle aşındırma	20
6.4 Yeni nesil beton yüzeyler	21
7. Sonuçlar	22
Kaynaklar	23

Günümüzde gerek verdiği rahatsızlıktan gerekse insan sağlığına olumsuz etkileri nedeniyle, gürültü toplumsal bir sorun haline gelmiştir. Avrupa Çevresel Gürültü Yönergesi(2002/49/AC) üye ülkeleri gürültü problemlerinin haritalanması, değerlendirilmesi ve problemin çözümünde eylem planları geliştirmelerini zorunlu tutmaktadır.

Trafikten kaynaklanan gürültüler bu problemin büyük bir parçasını oluşturmaktadır. Trafik gürültüsü, ses bariyerleri ve gürültüyü azaltan yüzey uygulamalarıyla çözülebilmektedir, bu noktada yüzey uygulamaları en etkili çözüm olarak görülmektedir. Trafik kaynaklı gürültü motor gürültüsü, aerodinamik gürültü ve yuvarlanma gürültüsü olmak üzere üç ana kaynaktan oluşmaktadır. Yüksek hızlarda (otomobiller için 30km/saat, ticari araçlar için 75km/saat), tekerlek-kaplama etkileşiminden kaynaklanan yuvarlanma gürültüsü toplam trafik gürültüsünün en baskın bileşeni olarak öne çıkmaktadır. Bu yüzden gürültüye karşı alınan önlemlerin zaman içerisinde etkisini kaybetmediği, az gürültülü, sağlam ve konforlu yollar inşa etmek tasarımcılar için oldukça önem arz etmektedir.

Sessiz kaplamalar, yüzeylerinde tümsekler ve düzensizlikler olmamasıyla öne çıkmaktadır. Bu kaplamalar geçirimsiz veya yüzeyinde daha küçük boyutlu agregaların yer aldığı yoğun gradasyonlu bir yapı gösterebilmektedir.

Beton yollar, yüzey düzeltme teknikleri ve yüzey dokusu bakımından son 50 yıl içerisinde önemli gelişmeler göstermiştir. Otoyollarda veya ana yollarda artık gürültüyü arttıran yüzeyler kulla-

nılmamaktadır, bugün halen hizmet veren yollarda ise olağanüstü uzun ömürlü beton yollar kullanılmıştır. Ters yönde fırçalamayla yüzey düzeltme yöntemi hız sınırı düşük (70 km/saat) yollarda yüzey problemlerini çözmede hala uygun bir seçenek sunmaktadır. Öte yandan Avrupa'da standart olarak kullanılan yüzey düzeltme yöntemi tek veya çift katman olarak inşa edilebilen ince taneli görünür agregalı beton yüzeyler olarak öne çıkmaktadır. İki katmanlı beton otoyollar Avusturya, Almanya, Çek Cumhuriyeti, Polonya, Belçika ve Hollanda gibi birçok ülkede uygulanmaktadır.

Diğer yüzey düzeltme yöntemleri ise boyuna diş oluşturma mikro kazıma, elmas testere ile aşındırma ve gelecekte beton yollarda gürültüyü azaltmak adına olumlu sonuçlar vaat eden, kanal açma ve aşındırma uygulamalarının en iyi şekilde birleşmesinden oluşan "Yeni Nesil Beton Yüzeyler" dir.

Kaplama tipi ve yüzey düzleme işlemlerinin seçimi sırasında, eldeki bütün seçeneklerin sadece gürültü azaltma bakımından değil, dayanıklılık, güvenlik ve yaşam döngüsü performanslarının da bütünlük bir biçimde değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

Sebep oldukları gürültü seviyeleri bakımından modern beton kaplamalar, taş-mastik asfalt yüzeylerle yarışabilecek düzeydedir, hatta onlardan daha az gürültüye sebep olmaktadır.

¹ Avrupa Çevresel Gürültü Direktifi



Hollanda'daki N285 II Yolu
Fotoğraf: Cement&BetonCentrum

1. GİRİŞ

Trafik gürültüsünü azaltmak son yıllarda öncelikli konulardan biri haline gelmiştir. Avrupa Birliği çevresel gürültü probleminin çözümleri için 2002'de "Çevresel Gürültü Yönergesi (END)"ni oluşturmuştur. Bu yönergeye göre, üye ülkelerin gürültü haritaları oluşturmaları istenmiştir. Yönerge ayrıca, kalabalık karayolları ve demiryollarında, yoğun nüfusa sahip bölgelerde veya hastane ve okullar gibi gürültüye hassas yerlerde gürültünün sağlığa zararlı etkilerini azaltan ve engelleyen önlemler alınmasını istemektedir.

Bazı ülkelerde bu önlemler hali hazırda uygulanmaya başlamıştır. Örneğin, bazı ülkelerde karayollarına yol boyunca ses bariyeri sistemleri yerleştirilmiştir.

Ancak, trafik gürültüsü söz konusu olduğunda gürültü problemlerinin kaynağının hedef alınarak daha sessiz kaplamalar kullanmak daha etkili olmaktadır. Bu yüzden alternatif kaplama tipleri ve yüzey düzeltme yöntemlerinin geliştirilmesi oldukça önemlidir. Trafikteki gürültünün başlıca nedeni olan tekerlek ve yol yüzeyi etkileşiminden kaynaklanan gürültünün azaltılması amaçlanmaktadır. Aynı zamanda, sessiz kaplamaların yol yapısı ve yüzeyinin gerektirdiği yüzey düzgünlüğü, kayma direnci ve dayanıklılık gibi diğer olmazsa olmaz özelliklerinin de korunması önem arz etmektedir. Son olarak, sessiz kaplamaların mümkün olduğunca uzun süre bozulmadan kalması gerekmektedir. Diğer bir deyişle, uzun ömürlü sessiz kaplamalar amaçlanmaktadır.

Bu broşürde, bizler beton yolların yaygın olarak düşünüldüğü kadar gürültülü olmadığını göstermekteyiz. Ayrıca, az gürültülü beton yolların yapımında kullanılan tekniklerden, en iyi uygulamalardan örnekler ve bu kaplama sistemlerinin performansı ile ilgili gerçek araştırma verileri sunmaktayız.

Yollardaki ses bariyerlerinden örnekler



2. SES VE GÜRÜLTÜ

Günlük yaşamımızda çevremizden her türlü sesi duyabilmekteyiz bu bazen radyoda en sevdiğimiz şarkı, ağlayan bir bebek, oyun oynayan çocuklar, çim biçme makinaları, veya sahildeki dalgalar olabilir. Gürültü ise hoşumuza gitmeyen, duymaktan rahatsız olduğumuz seslerdir. Bu kavram öznel olduğundan gürültü tanımı kişiden kişiye farklılık göstermektedir.

2.1 SES NEDİR?

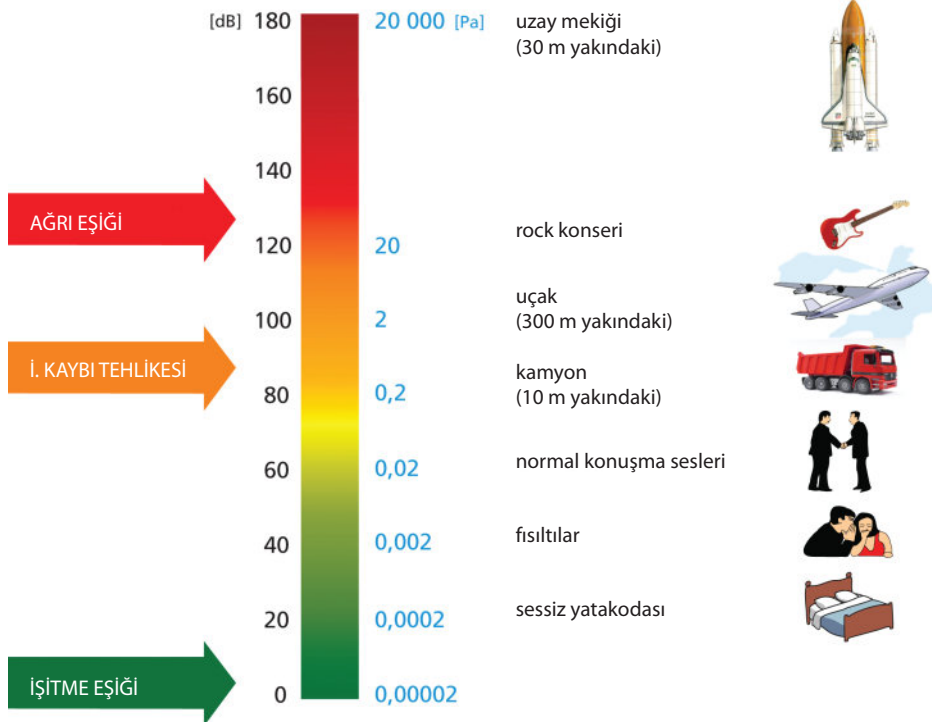
Teknik olarak, ses hava basıncında meydana gelen küçük, hızlı, ve periyodik değişikliklerden meydana gelmiştir. İşitme sistemimiz, bu değişiklikleri algılayarak duyabildiğimiz seslere dönüştürmektedir. Ancak, bu süreç doğrusal değildir ve logaritmik bir şekilde işlemektedir. Örneğin 0.1 Pa ve 1 Pa arasındaki 0.9 Pascal değerindeki basınç farkı ile 1 Pa ve 10 Pa arasındaki 9 Pascal basınç farkı ile hemen hemen aynı hissedilmektedir. Bu yüzden ses seviyesi aşağıdaki formüle göre desibel cinsinden ifade edilmektedir:

$$\text{Ses seviyesi (dB)} = 20 \log (\text{hava basıncı} / 0.00002)$$

Aşağıdaki şekil bu dönüşümü göstermektedir. Şekilde ayrıca, bu ses seviyelerinde basınç değişimi yaratan olgulardan örnekler sunulmaktadır.

Ek olarak, işitme sistemimiz sayesinde 20 ila 20000 Hz (Hertz) arasında değişen frekanslarda sesler duyabilmekteyiz. Her ses perdesini aynı yolla algılayamadığımız için, gürültü seviyeleri genellikle belirli frekanslar için filtrelenmektedir. Trafik gürültüsü için A-ağırlıklı filtre kullanılır bu filtre 1000 ila 4000 Hz aralığındaki insan kulağının en hassas olduğu seslere odaklanmıştır. Bu sesler çoğunlukla "A ile derecelendirilmiş sesler" olarak isimlendirilip, dB (A) ile gösterilmektedir.

Ses seviyelerini değerlendirirken bazı kurallardan faydalanılmaktadır. Başlangıç olarak, 1 ile 3 dB'lik bir fark "güçlükle farkedilebilir" olarak değerlendirilmektedir, kesin olarak bir sesi farkedebilmek içinse 5dB'lik bir fark gerekmektedir. Bu durum özellikle karşılaştırılan sesler arasında zaman farklılığı varsa geçerli olmaktadır. 10 dB'lik bir fark durumunda ise çoğunlukla sesin iki katına çıkması olarak değerlendirilmektedir. Bu ses seviyesi kuralları ile ilgili dikkat edilmesi gereken bir başka önemli husus ise bu kuralların aynı sesler için geçerli olmasıdır, sesler değiştiğinde bu algılama kuralları geçerli olmamaktadır.



Ses basıncı ve ses seviyelerinin karşılaştırılması ve bazı yaygın örnekler [3] (Kısaltmalar İ.: İşitme)

2.2 TRAFİK GÜRÜLTÜSÜ

Trafik gürültüsü genellikle trafikten kaynaklanan sesler olarak değerlendirilmektedir. Bu sesler üç ana nedenle meydana gelmektedir. Bu nedenler sırasıyla:

- tahrik sistemi: motor, egzoz, ve aracın sürüş mekanizmasındaki diğer bileşenler;
- tekerlek-kaplama yüzeyi etkileşimi(Tekerlek-kaplama yüzeyi gürültüsü);
- aerodinamik sesler: aracın etrafında meydana gelen rüzgar türbülansının neden olduğu sesler.

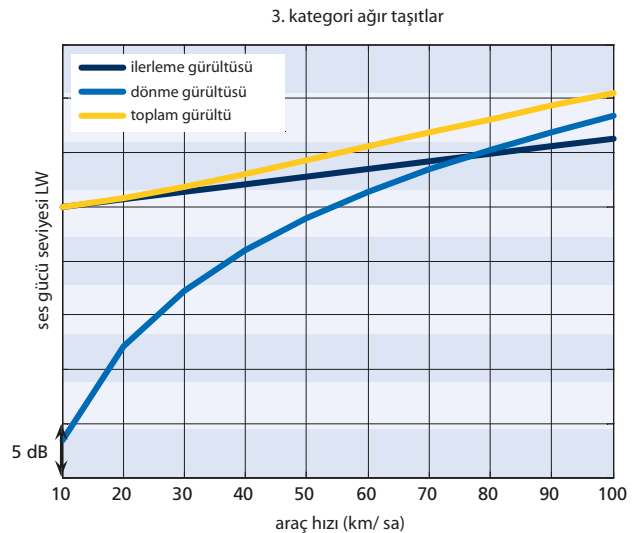
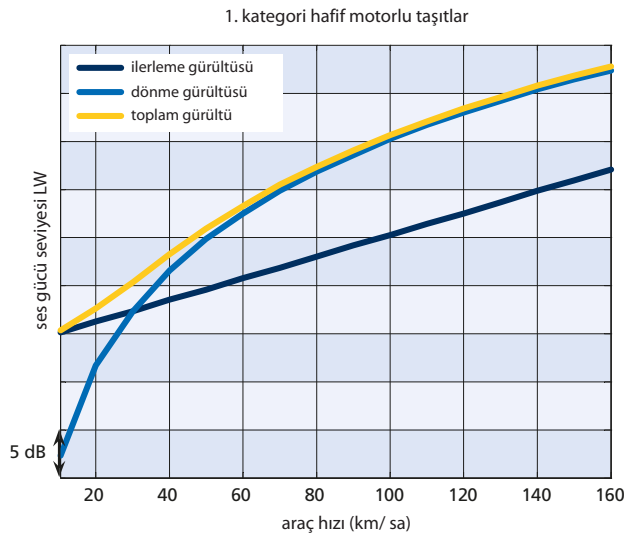
Trafik gürültüsünün şiddetinde aracın tipi ve hızı önemli rol oynamaktadır. Otomobiller için tekerlek-kaplama yüzeyinin etkileşimi neticesinde oluşan gürültü araç hızı 30 km/saat civarına ulaştığında aracın tahrik sisteminden kaynaklanan gürültüden daha baskın olmaktadır. Kamyonlar için aynı durumun gerçekleşmesi aracın tahrik sisteminden kaynaklı gürültülerin payının çok fazla olması nedeniyle 75 km/saat civarındaki hızlarda mümkün olmaktadır. Aerodinamik sesler sadece 120 km/saat ve üzeri yüksek hız seviyelerinde baskın olmaktadır. Elektrikli araçlar için tahrik kaynaklı ses neredeyse devreden çıkmıştır ve düşük hızlarda da tekerlek gürültüsü baskın olmaktadır.

Aşağıda verilen grafiklerde A ile derecelendirilmiş tekerlek dönme ve tahrik sisteminden kaynaklanan gürültülerle toplam gürültünün aracın hızına bağlı olarak değişimi gösterilmektedir [6]. Bu grafiklerde görüldüğü gibi tahrik kaynaklı gürültü araç hızıyla doğru orantılı değişirken, tekerleklerin dönmesinden kaynaklanan gürültü hız arttıkça katlanarak artmaktadır.

Ek olarak, bu ilişkiler sabit hızda ve eğimsiz yüzeylerde hareket eden araçlar için elde edilmiştir.

Pratikte ise trafiğin hızlanarak ve yavaşlayarak hareket eden farklı tipteki araçlardan oluştuğu kent içi yollarda kaplama yüzeyi etkisinin, dolayısıyla yuvarlanma gürültüsünün, önemsiz kaldığı görülmektedir. Bu gibi durumlarda, trafik yönetimiyle alınabilecek hız limitinin düzenlenmesi ve trafik akışının kontrol edilmesi gibi diğer önlemler gürültünün azaltılmasında daha önemli olmaktadır.

Tekerlek ve kaplama yüzeyinin etkileşimiyle oluşan yuvarlanma gürültüsü, otomobiller için 30 km/sa; ağır taşıtlar içinse 75 km/sa civarındaki hızlarda baskın olarak hissedilmektedir. Hız limitinin düşük olduğu ve otobüslerin de işlediği şehir içi yollarda ise tahrik sistemi kaynaklı gürültü daha ön planda olmaktadır. Bu yüzden otobüs şeritleri için kaplamalar öncelikli olarak dayanıklılık esas alınarak tasarlanmalıdır.





Fotoğraf: M. Haider [8]

2.3 TEKERLEK-YÜZEY ETKİLEŞİMİ

Tekerlek-yüzey etkileşimi ele alındığında; doğal olarak hem tekerleğin hem de kaplama yüzeyinin bu etkileşimde önemli olduğu açıktır. Fakat bu noktada bu elemanlar tekerlek-yüzey etkileşimi gürültüsünü azaltmaktan ziyade, öncelikli olarak trafik güvenliğini sağlayacak ve fiyat/hizmet ömrü oranı bakımından olumlu olacak şekilde tasarlanmaktadır. Tekerlek-yüzey etkileşiminden kaynaklanan gürültünün oluşumunda birçok mekanizma rol almaktadır. Bunlardan bazıları çarpma etkisi, hava pompalama, tutma-bırakma ve tutma-kapma mekanizmaları olarak gösterilebilir. Ayrıca, ses hâle etkisiyle, titreşim ve rezonans mekanizmalarıyla daha da artmaktadır.

2.4 TRAFİK GÜRÜLTÜSÜ NASIL ÖLÇÜLÜR?

Avrupa'da trafik gürültüsünün ölçümünde genellikle *istatistiksel geçiş yöntemi* veya *kapalı yakınlık* yöntemleri kullanılmaktadır.

Trafik gürültüsünün ölçümünde *istatistiksel geçiş yöntemi* (SPB, ISO 11819-1) kullanıldığı takdirde, trafik gürültüsü yoldan geçen araçlar için yol kenarından ölçülmektedir. Bu şekilde ölçümde otomobiller ve kamyonlar arasında ayırım yapılabilmektedir.



Kapalı yakınlık metodu (CPX, ISO/CD 11819-2) kullanıldığında ise test edilen tekerleğe yakın bir noktaya yerleştirilen mikrofon kullanılarak ölçüm alınmaktadır. Bu tekerlekler ses yalıtımı yapılmış bir treyler üzerine monte edilmektedir. Bu durumda, ölçüm sırasında kullanılan tekerlek tipinin oldukça önemli olduğu gözlenmektedir.

Amerika Birleşik Devletleri'nde ise *araca takılmış ses şiddeti* (OBSI) metodu trafik gürültüsünün ölçümünde sıklıkla kullanılmaktadır [5]. Bu metod kapalı yakınlık metoduna benzer şekilde uygulanmaktadır. Fakat ses basıncı yerine ses şiddeti ölçümü yapılmaktadır. Ölçüm sırasında kapalı yakınlık metodunda olduğu gibi tek mikrofon yerine iki adet mikrofon kullanılarak tekerlek-yüzey etkileşiminden kaynaklanan gürültü daha iyi ıltılabilir.

Kapalı yakınlık metodu ve araca takılmış ses şiddeti ölçümleri tekerleğe oldukça yakın yapıldığından gerçekte olduğundan daha yüksek şiddetli bir gürültü kaydetmektedir. Bu gürültülerin günlük hayatta hissedilen gürültülerden farklı olduğu açıktır. Bu durum broşürdeki uygulamaları incelerken unutulmamalıdır.



Kapalı yakınlık metodu ile tekerlek-yüzey etkileşiminden kaynaklanan gürültünün ölçümü (Solda)

Fotoğraf: AWW, Flanders, Belçika

Araca monteli ses şiddeti metodu ile tekerlek-yüzey etkileşiminden kaynaklanan gürültünün ölçümü (Sağda)

Fotoğraf: R. Rasmussen

3. SESSİZ KAPLAMALAR ELDE ETMEK İÇİN BAZI KURALLAR

Tekerlek-kaplama yüzeyi etkileşiminden kaynaklanan gürültü şu faktörlerden etkilenmektedir:

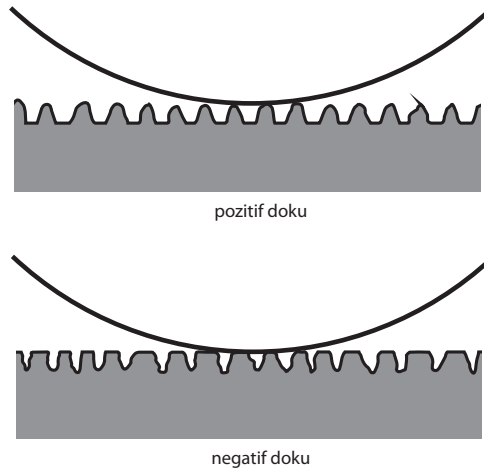
- yüzeyin düzgün olması ve mega dokusunun tümsek ve düzensizliklerden arındırılmış olması gerekmektedir.
- aynı zamanda makro doku olarak da bilinen, 10 mm ve daha küçük boyutlu agregaların yüzeye gelişigüzel fakat homojen bir biçimde dağıtılmasıdır. (Önemli Not: havanın agregadaki boşluklardan kaçabilmesi gerekmektedir ve mükemmel düzgünlükteki yüzeyler az-gürültü değildir.)
- şekilde negatif ve pozitif dokular gösterilmektedir. Gürültü azaltmak konusunda negatif dokular pozitif dokulardan daha iyidir.
- kaplama yüzeyinin geçirimsizliği (%20 veya daha fazla olmak üzere) boşlukların yüzeyde mümkün olduğunca açıkta kalarak sesin emilmesini sağlamaktadır.
- yüzeydeki tabakanın rijitliğinin sınırlı olması tekerlek-kaplama yüzeyi gürültüsünün azaltılmasında önemlidir.

Sessiz bir kaplama yüzeyini en uygun şekilde tasarlayabilmek için birçok faktör aynı anda ele alınmalıdır. Ayrıca, kaplamanın dayanıklılığın hiçbir şekilde ödün verilmemelidir. Ek olarak uzun dönemde sessiz performansını sürdürebilecek kaplamalar birkaç yıl içerisinde bozulan yüzeylere tercih edilmez.

Açık gradasyonlu betonun dokusu(Herne, N255,1996)



Tıpkı asfalt kaplamaların aşınma tabakaları gibi beton yollar için de geçirimli yüzeyler yapmak mümkündür. Agregada karışımında kum boyutlu tanelerin kullanılmamasıyla betonda iri agregalar arasında boşluklar oluşturulmaktadır. Bu taneler arasında daha iyi adezyon sağlayabilmek adına polimerler kullanılabilir. Geçirimli beton ve geçirimli asfalt karşılaştırıldığında, beton yüzeyin gürültü azaltmada yüksek potansiyel taşıdığını ve su fışkırtmasını azalttığı görülmektedir. Bununla birlikte, geçirimli yüzeyler için zamanla drenajda tıkanma ve yüzeydeki agregaların gevşeyerek sökülmeğe yatkın olması gibi riskler de mevcuttur.



EN SESSİZ BETON KAPLAMA OLAN “MODIESLAB”’İN GEÇİRİMLİ YÜZEYİ

“Modieslab”, Hollanda’da Alman “Geleceğe Giden Yollar” programının bir parçası olarak geliştirilmiştir. Sistem, geleneksel betondan yapılmış temel tabakaları ve çift katlı geçirimli betondan yapılan yüzeyden ibaret prekast beton plaklardan oluşmuştur. Hollanda’da otoyolun bir parçası olarak bir deneme kesiti yapılmıştır. Bu yapının sebep olduğu trafik gürültüsü referans olarak kullanılan asfalt kaplamayla karşılaştırıldığında 6dB(A) daha düşük olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, uzun dönemde sessizlik performansını koruyabildiğini göstermiştir. 5 yıl içerisinde, gürültü azaltma kapasitesinde sadece 0.6 dB(A) bir azalma kaydedilmiştir. Bu da alternatif yüzeylere göre oldukça başarılıdır.

2007’de Transtec Grup (Teksas, ABD)’tan Dr. Robert O. Rasmussen, Avrupa ve Amerika’da projedeki bütün ölçümleri yapan araştırma takımının başındaydı. Dr.Rasmussen kesin bir şekilde şunu ifade etti: “Görüldüğü üzere, Modieslab sisteminin geçirimli yüzeyi için yapılan araca monteli ses şiddeti ölçümleri 96 dB(A)’nın biraz üzerinde oldukça düşük sonuçlar veriyor. Bu CP Tech Center takımı tarafından beton kaplamalar için ölçülen en düşük seviyedir.”

Modieslab ayrıca sipariş üzerine üretilmiş bir ürün olduğundan daha farklı dokular ve uygulamalar geliştirmek mümkündür. Modieslab halihazırda bir otobüs şeridinin hızlı inşaa edilebilmesi için, ticari bir alanda yol inşaatında ve hafif raylı sistemlerde tramvay yolu olarak kullanılmıştır.



Fotoğraf: Modieslab



4. GÖRÜNÜR AGREGALI AZ GÜRÜLTÜLÜ BETON YOL YÜZEYLERİ



Günümüzde görünür agregalı beton yüzeyler Avrupa'da beton otoyollarda en sık kullanılan yüzey düzeltme işlemi olarak öne çıkmaktadır. Görünür agregalı yüzeyler iyi bir kayma direnci sağlamasının yanı sıra tekerleklerin yuvarlanma gürültüsünü de azaltmaktadır.

70'lerin ikinci yarısında Belçika'da ilk defa kimyasal yöntemlerle görünür agregayla yüzey düzeltme yöntemi uygulanmaya başlanmıştır. Bu uygulamanın amacı öncelikle yüzeyin kayma direncini arttırmaktı ve bu esnada tekerlek-yüzey etkileşiminden kaynaklanan gürültüyü azaltmak henüz bir kriter oluşturmamaktaydı. Bu beton karışımı iri (32-40 mm) ve görünür agregalar içermekteydi. Bu uygulamalar geçmişte oldukça fazla gürültüye sebep olup, günümüzde artık tercih edilmemektedir.

İri agregalı (0/40 veya 0/32) kürlenmiş beton (solda porphyry agregalara göre, sağda kırıntıya göre)

Avusturya'da, ince taneli görünür agregalı betonlar, çift tabakalı derzli beton yollarda yüzey tabakası olarak kullanılmıştır. 15-20 cm kalınlığındaki alt tabaka 31.5 mm'ye kadar büyük agregalar içerirse de 5 cm kalınlığındaki üst tabakada sadece parlamaya karşı dayanıklı en büyük tane boyutu 6-11 mm arasında değişen agregalar kullanılmaktadır. Böylece üstteki tabaka göreceli olarak küçük agregalar içerdiğinden betonun sıkıştırılması sırasında yüzeye daha yoğun bir şekilde dağılacaktır.

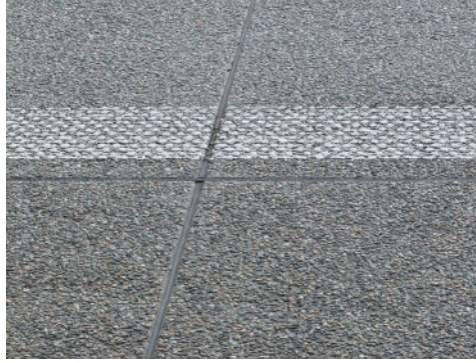
Avusturya karayollarında ilk uygulamalar 1990 yılına kadar geriye dayanmaktadır. O zamandan beri, yol ağının önemli bir bölümü bu şekilde yapılmıştır.

İki kayar kalıp serici çift katmanlı donatısız beton kaplamayı
Vienna yakınlarındaki A1 yoluna sererken



Almanya'da uzun yıllar boyunca, beton yüzeyler sürüklenmiş çuval bezi yardımıyla düzeltilmiştir. Bu işlem oldukça sıg bir doku oluşturup gürültü açısından olumlu sonuçlar doğursa da kayma direnci bakımından problemlere sebep olmaktadır. Bu yüzden son birkaç yılda bu uygulama yerine çift tabakalı görünür agregalı beton yüzeyler tercih edilmektedir.

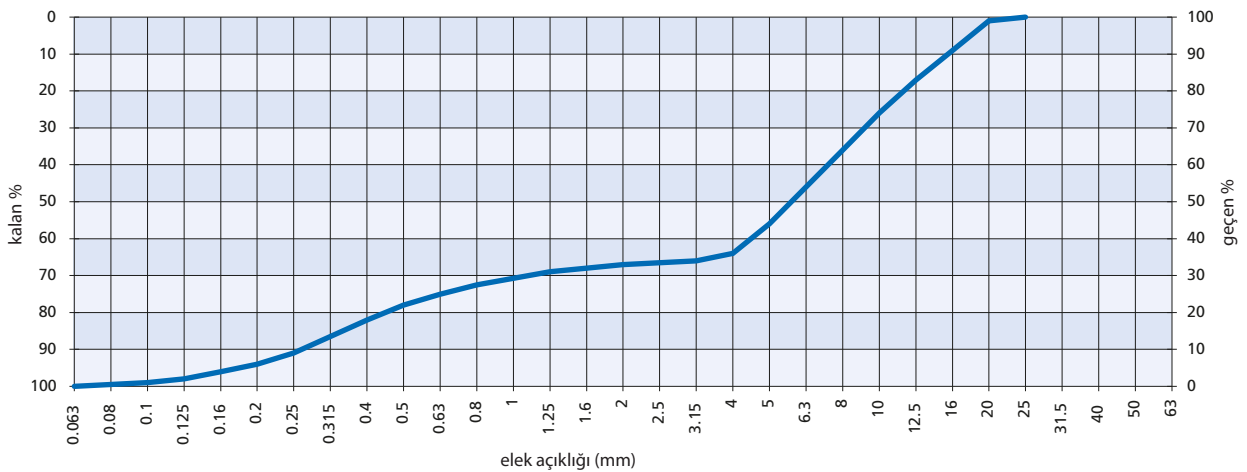
Belçika'da görünür agregalı betonların geliştirilmesi için ilk aşama en büyük tane boyutunun 31.5 mm'den 20 mm'ye indirilmesi olmuştur. Ayrıca tane boyutu 4 ila 6.3 mm arasında değişen ince agregaların karışımdaki minimum oranı kum-çakıl karışımının %20'sine (veya %25'ine) arttırılmıştır. Bu şekilde sıkıştırma esnasında iri agregalar karışımda batmakta ve ince agregalar karışımda yukarı çıkmaktadır. Agregalar fırçalamayla soyulduktan sonra ince agregalar yüzeyde yer alacak ve gürültüsüz bir yüzey için uygun bir makro doku oluşturacaklardır. Aynı teknik en büyük tane boyutu 14 mm iken de uygulanabilmektedir.



Görünür agregalı betonun yüzey dokusu 0/14(Brussels, Loraainedreef, 2003)



Agreganın en büyük tane boyutunun 20 mm olduğu ve yüksek oranda küçük boyutlu agregaların (4-8 mm) kullanıldığı tek tabakalı az gürültülü görünür agregalı beton kaplama için granülometri eğrisi



Agrega kompozisyonu daha da optimize edildiğinde ve yapım tekniklerinin iyileştirilmesiyle tekerlek-yüzey etkileşiminden kaynaklanan gürültünün tek katmanlı beton kaplamalar için daha da azaltılarak 99 dB(A)'ya düşürülmesi mümkün olmuştur, bu da yüzeyin gürültüsü 10 mm tane boyutlu taş mastik asfaltla (SMA-C) benzer seviyelere getirmiştir.

Belçika'da da Avusturya'da yapılan uygulamaya benzeyen fakat sürekli donatılı beton yollarda yapılacak şekilde çift katmanlı işlem uygulanmıştır. Gürültü ölçümleri bu durumda gürültü seviyelerinin 0,5 ila 1 dB (A) azaldığını göstermiştir.



E17 De Pinte – Kruishoutem: tek tabakalı görünür agregalı beton (0/20)

Gürültü seviyeleri 80 km/sa hızla ilerleyen CPX ile kaydedildiği şekilde ağır taşıt tekerleğinde 98.5 dB(A), otomobil tekerleğinde 99.1 dB(A)



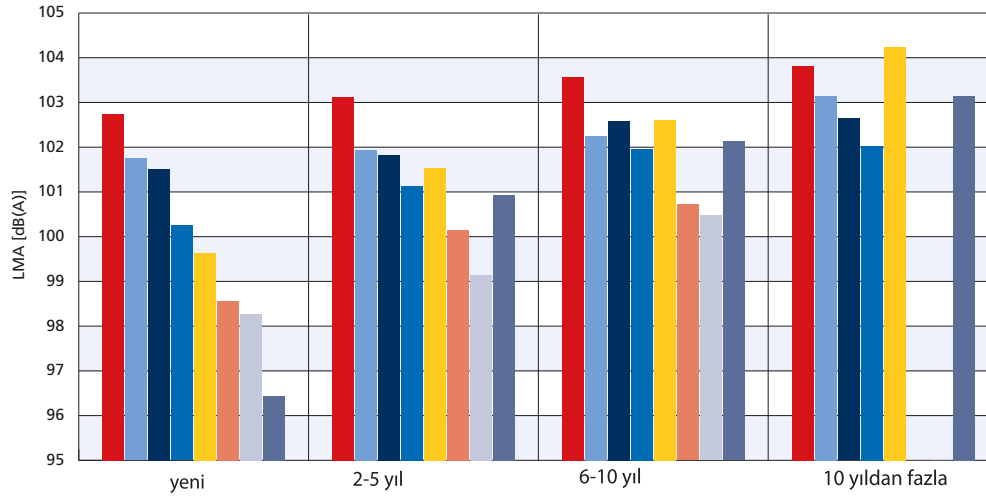
E313 Herentals-Grobbendonk: çift tabakalı görünür agregalı (üst tabakada 0/6.3) beton yüzey

Gürültü seviyeleri 80 km/sa hızla ilerleyen CPX ile kaydedildiği şekilde ağır taşıt tekerleğinde 98.5 dB(A), otomobil tekerleğinde 98.5 dB(A)

5. ÖRNEK UYGULAMALAR

5.1 AVUSTURYA'DA YÜKSEK HIZLI YOLLARDA YAPILAN ÖLÇÜMLER

Avusturya'da yüksek hızlı yollar için yapılan bir çalışmada meydana gelen gürültüler farklı zamanlarda yapılmış farklı kaplama yüzeyleri için ölçülmüştür [4]. Bu test Avusturya RVS 11.03.64 şartnamesine göre yapılan kapalı yakınlık metodunun PI-ARC dişli lastik kullanılan bir başka çeşididir. Çalışmada aşağıdaki yüzeyler incelenmiştir:



- Yoğun gradasyonlu asfalt (agreganın en büyük tane boyutu 11 mm)
- Taş mastik asfalt (agreganın en büyük tane boyutu 11 mm)
- Polimer katkılı taş mastik asfalt (agreganın en büyük tane boyutu 8 mm)
- Görünür agregalı beton yüzey (üst tabakada agregası boyutu 11 mm)
- Bakım yapılmış beton yüzey
- Bakım yapılmış beton yüzey
- En büyük agregası boyutu 8 mm olan ince bitümlü tabaka
- En büyük agregası boyutunun 11 mm olduğu geçirimli asfalt yüzey

Grafikten elde edilen bazı önemli çıkarımlar:

- Gürültü bütün yüzey tipleri için zaman içerisinde artmaktadır;
- Açık gradasyonlu asfaltın beton yüzeye göre gürültü azaltmadaki avantajlı performansı zaman içerisinde kaybolmaktadır. Bu durum tıkanma veya sökülmeyle bağlanabilir.
- İnce taneli görünür agregası yüzeyli beton yollarda zaman içerisinde gürültüde 2 dB artış göstermesine rağmen bu karşılaştırmadaki en iyi artışı göstermektedir.

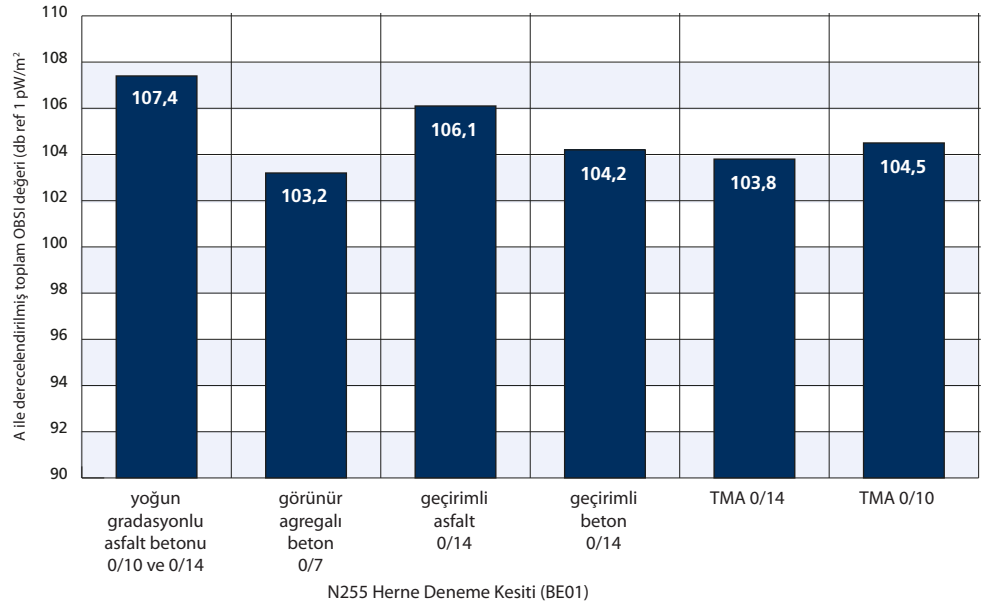
5.2 HERNE (BELÇİKA)'DEKİ SESSİZ KAPLAMA DENEME KESİTLERİ

1996'da, Herne'de, düşük gürültülü kaplamalar bazı kesitlerde denenmiştir. Bu kesitlerde 18 cm kalınlığındaki sürekli donatılı beton tabaka üzerine ince boyutlu görünür agregalı beton, geçirimli beton, yoğun gradasyonlu asfalt, taş mastik asfalt ve çok açık gradasyonlu asfalt olmak üzere farklı tiplerde yüzeyler denenmiştir. Bu deneme kesitleri, inşa edildikten hemen sonra ve üç yıl sonra(1999) olmak üzere birçok ölçüm ve değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Hem çok açık gradasyonlu asfalt hem de çok açık gradasyonlu beton için başlangıçta oldukça iyi performans gösterirken üç yıl sonra yapılan ölçümde ilk ölçümden 2.5 dB(A) daha yüksek gürültü kaydedilmiştir.

Üç yılın ardından, yoğun gradasyonlu asfalt ve ince boyutlu görünür agrega içeren beton en düşük gürültü seviyesiyle sonuçlanmıştır. Ekim 2007'de yapılan Amerikalı bir ekip tarafından araçla monteli ses şiddeti metoduyla yapılan bir dizi ölçüm sonrasında elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde gösterilmektedir. Buna göre asfalt betonu ayrışma yüzünden en yüksek gürültü seviyesine neden olurken, diğer yüzey tipleri için 1999 yılında elde edilen sonuçlara benzer bir eğilim gözlenmiştir.

Herne'de 2007 yılında yapılan gürültü ölçümlerinin sonuçları:

A ile derecelendirilmiş toplam OBSI değeri (hız=97 km/ sa SRTT lastik



Sonuç olarak, 18 yıl hizmet verdikten sonra, bugün dayanım ve tekerlek-yüzey etkileşiminden doğan gürültü performansı bakımından ince boyutlu görünür agregalı beton yüzeylerin en başarılı olduğu görülmektedir.

Ayrıca, 2010 yılında ince taneli görünür agregalı beton yüzeyler dışında bütün yüzeyler asfaltla kaplanmıştır. Bu durum, ince taneli görünür agregalı beton yüzeylerin sessiz ve dayanıklı sonuçlar önerdiğini kanıtlamaktadır.

5.3 ESTAIMPUIS(BELÇİKA)'DAKİ ÇİFT TABAKALI BETON KAPLAMA DENEME KESİTLERİ

Estaimpuis'daki N511 yerel yolu üzerinde Dotignies ve Wattrelos arasında 1250 metrelik bir yol kesitinin kaplaması 2002 yılında yenilenmiştir [2]. Bu proje dört deneme kesitinin çift tabakalı sürekli donatılı beton kaplama şeklinde yapılmasına imkan sağlamıştır. Projede yapılan deneme kesitlerinde toplam kalınlık 20 cm'de sabitken, üstteki tabakanın kalınlığı ve en büyük tane boyutu yol boyunca değişkendir. Sağdaki tablo projedeki üstyapı kalınlıkları hakkında detaylı bilgileri içermektedir.

Yapım aşamasının sonunda, kayma direnci, düzgünlük ve gürültü parametreleri ölçülmüştür. Kayma direnci gereklilikleri kolaylıkla sağlanmıştır ve odoliyograf yardımıyla ölçülen enine sürünme katsayısının gerekli değer 50 iken her zaman 60-70 aralığında değiştiği gözlenmiştir. Ayrıca, yüzey düzgünlüğünün oldukça iyi durumda olduğu belirtilmiştir. Aşağıdaki tablo, APL adı ve-

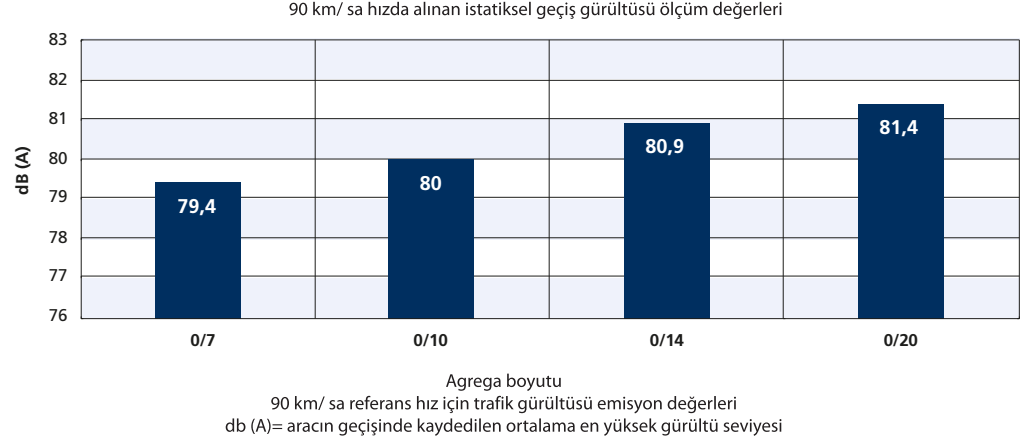
Kesit No	Alt Tabaka		Üst Tabaka	
	Kalınlık	Agreganın en büyük tane boyutu (mm)	Kalınlık	Agreganın en büyük tane boyutu (mm)
1	15 cm	32	5 cm	7
2	14 cm	32	6 cm	10
3	12 cm	32	8 cm	14
4	12 cm	32	8 cm	20

rilen bir profilometre yardımıyla kaydedilen düzgünlük katsayısı değerlerini göstermektedir. Bu değerler izin verilen değerlerin %50'si civarındadır. Çift tabakalı beton kaplamalar yapımında kullanılan kayar kalıp sericiler betonu bir miktar sıkıştırdığından ve düzgünleştirildiğinden genel olarak düzgün yüzeyli üretilmektedir.

	İzin verilen en büyük değer	Kesit no 1 0/7	Kesit no 2 0/10	Kesit no 3 0/14	Kesit no 4 0/20
Ortalama düzgünlük katsayısı (2.5 m)	30	15.15	16.2	14.7	17.05
Ortalama düzgünlük katsayısı (10 m)	70	33.3	31.4	28.95	41.05



Estaimpuis: iki tabakalı sürekli donatılı beton kaplamanın yapımı



Gürültü ölçümleri 70 ve 90 km/saat hızla ilerleyen araçlar için istatistiksel geçiş yöntemiyle yapılmıştır. Buna göre aşağıdaki şekil 90 km/saat hız için elde edilen sonuçları göstermektedir. Beklenildiği gibi, trafik gürültüsü üst tabakadaki agreganın en tane büyüklüğü düşürüldüğünde azalmıştır. Agreganın tane büyüklüğü çalışmada incelenen en büyük değerden (20 mm) en küçük değere (7mm) düşürüldüğünde trafik gürültüsü 2 dB azalmıştır.

Kayma direnci ve yüzey düzgünlüğü ölçümleri incelendiğinde bu yolun oldukça güvenli ve konforlu olduğu görülmüştür. Üst tabakanın en büyük tane boyutu seçimi doğrultusunda trafik gürültüsü ölçümleri olumlu sonuçlar vermiştir; fakat gürültü ölçümü sonuçları aynı zamanda sürekli donatılı beton kaplamanın yüzeyinin düzgünlüğünden de kaynaklanmıştır.

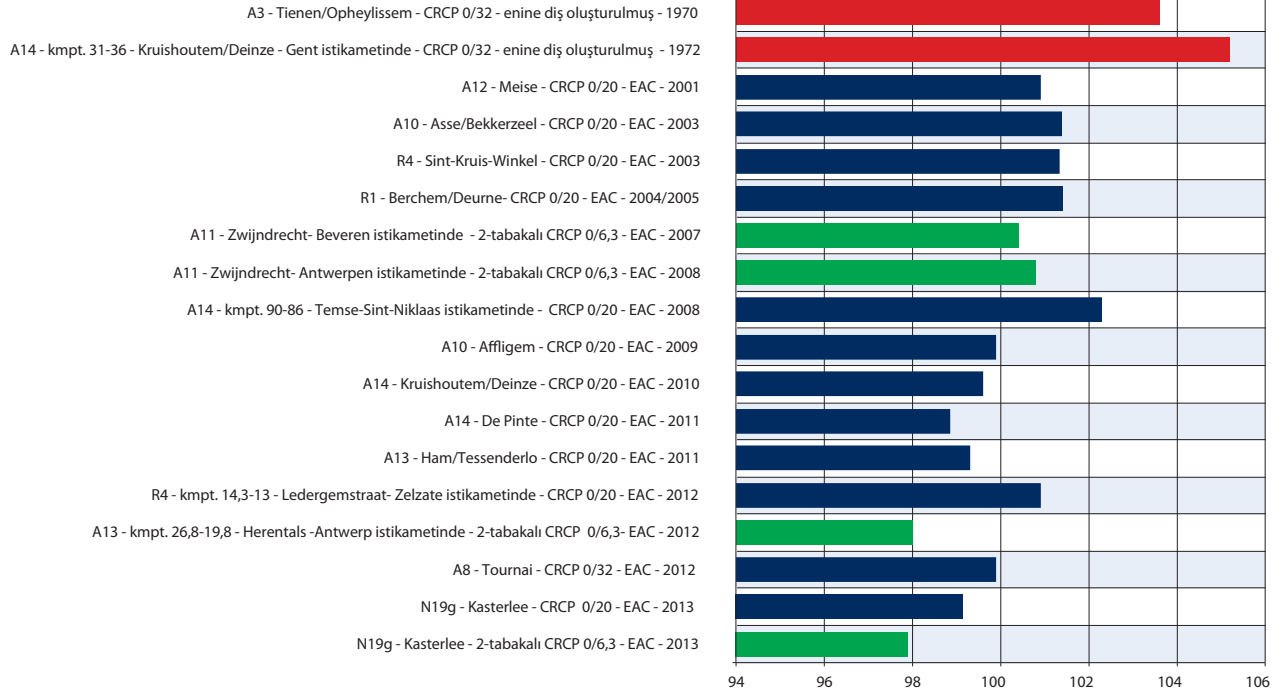


5.4 BELÇİKA'DA OTOYOLLARDA YAKIN ZAMANLI YAPILAN GÜRÜLTÜ ÖLÇÜMLERİNİN SONUÇLARI

Belçika Yollar ve Trafik Dairesi, 2011 yılında yerel yollar ve otoyollar için gürültü ölçümlerini daha sistematik bir biçimde yapabilmek adına bir kapalı yakınlık ölçüm cihazı edinmiştir. Wallonia'da bu ölçümler aynı zamanda yeni yapılmış yollar için de alınmıştır. Aşağıdaki grafik, beton yollar için yapılmış bir dizi ölçümün sonuçlarını vermektedir.(Ölçümler SRTT-lastikli CPX ekipmanı ile 80 km/sa hızla ilerleyen araçlar için dB(A) cinsinden yapılmıştır; Ölçümler 2011-2012 yıllarında alınmıştır; N19g için ölçümler 2013 yılında yapılmıştır.)

Kırmızı çizgiler enine kanal oluşturulmuş yüzeyleri gösterirken mavi çizgiler tek tabakalı, yeşil çizgiler çift tabakalı görünür agregalı beton yüzeyleri göstermektedir.

Belçika EAC otoyollarında yapılan ölçümler az gürültülü beton yüzeylerin hem tek katmanlı hem çift katmanlı uygulamalarda gayet mümkün olduğunu göstermektedir. Çift katmanlı sürekli donatılı beton kaplamaların yüzeylerinin taş mastik aşınma tabakalarıyla aynı gürültü performansını gösterdiği kaydedilmiştir.



Not: CRCP: Sürekli donatılı beton kaplama –
EAC: Görünür agregalı beton

- Enine dış oluşturulmuş CRCP 0/32
- Tek tabakalı görünür agregalı CRCP 0/20
- Çift tabakalı görünür agregalı CRCP üst tabakada 0/6,3

5.5 HOLLANDA'DA KULLANILAN GÖRÜNÜR AGREGALI BETON YÜZEYLER

Hollanda'da, ilk görünür agregalı beton yüzey deneme kesitleri 1980'li yıllarda yapılmıştır. Belçika gibi Hollanda'da ilk uygulamalarda yüzeyde iri agregalar kullanılmıştır, zaman içerisinde uygulamalarda daha küçük kırmataşlar(8 mm'ye kadar) tercih edilmiştir.

1992 yılında eski bir beton yol olan N285 il yolu için, mevcut kaplamanın derzli kayma demirli beton plaklarla takviye edilmiştir. Projede gürültü azaltmada etkili, kübik şekilli Nordik granit agregalar kullanılmıştır. 23 yıllık hizmet verdikten sonra bile bu yol bugün hala çok iyi durumdadır. Aynı yolun Zevenbergen yakınlarındaki bir başka kesit ise 40 yıl hizmet verdikten sonra 2006-2007 yılında tekrar yapılmıştır. 2015 yılında gürültü azaltıcı yeni önlemler düşünülmektedir.

2008-2009 yılında Apeldoorn şehrinde sanayi bölgesine bir geçiş yolu olarak kullanılan Oost-Veluweweg yolu yapılmıştır. Bu yol için daha az bakım gerektirmesi ve daha uzun hizmet ömrü nedeniyle beton kaplama tercih edilmiştir [10].

2009'da yapılan ölçümlerde, görünür agregalı beton yüzey için referans olarak kullanılan yoğun gradasyonlu asfalt yüzeyle 80 km/sa hızda karşılaştırıldığında 1dB(A) daha az gürültüye neden olduğu görülmüştür. Gürültü seviyesinde etkisi olan yüzey dokusu derinliği 1.27 mm bulunmuştur. Yüzeyin daha homojen bir biçimde fırçalanması ve minimum yüzey dokusu derinliği 1.50 mm olduğunda ise gürültüde ek olarak 0.5 dB(A) fazladan bir azalma meydana gelmiştir.

1992'de yeniden yapılan N285 yolu 23 yıl hizmet verdikten sonra bile günümüzde hala iyi durumdadır.

Fotoğraflar: Cement&BetonCentrum



6. DİĞER GÜRÜLTÜ AZALTICI YÜZEY DÜZELTME TEKNİKLERİ

6.1 BOYUNA DİŞ OLUŞTURMA

Amerika'da başka yüzey düzeltme teknikleri de uygulanmaktadır. Birçok eyalette, taze betonda taraklar yardımıyla taze betonun yüzeyine ince boyuna kanallar oluşturmak suretiyle düzeltme

uygulaması yapılmaktadır. Bu işlem dikkatli ve doğru uygulandığında aynı zamanda gürültü ve kayma direnci bakımından olumlu sonuçlar vermektedir.



Taze betonda boyuna diş oluşturma tekniği (Illinois, ABD)

6.2 MİKRO KAZIMA

Mikro kazıma veya ince kazıma, kazıyıcı uçta sıkça yerleştirilen kesici dişlerin kullanıldığı bir yü-

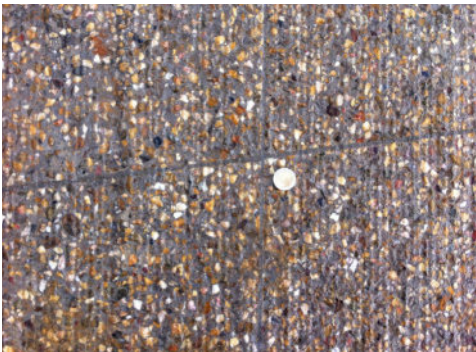
zey yenileme tekniğidir.



İnce kazıma makinesinin kazıyıcı başlıklarının detayı
Fotoğraflar: Wirtgen

Daha çok tali yollarda kullanılmasına rağmen, mikro kazıma daha önce Leon (İspanya)'da uygulandığı gibi otoyollar için de bir alternatif oluşturabilir. Bu yüzeyde akustik özellikleri henüz test

edilmemiş olsa da, daha önce Belçika'da yapılan deneme uygulamalarına göre, yuvarlanma gürültüsü elmas testereyle aşındırılmış yüzeylere göre 1 dB kadar daha yüksektir.



Mikro-kazımayla düzlenmiş yüzeyin detayı ve İspanya (Leon)'daki otoyol
Fotoğraflar: IECA

6.3 ELMAS TESTEREYLE AŞINDIRMA

Sertleşmiş betonda boyuna diş oluşturma tekniği “elmas testereyle aşındırma” olarak kullanılmaktadır. Bu teknik birçok ülkede varolan beton yüzeylerin yenilenmesi için kullanılmıştır. Bu teknikle oluşturulan yüzeylerdeki tekerlek-kaplama yüzeyi etkileşiminden kaynaklanan gürültü görünür agregalı yüzeylerde kaydedilenden bile daha düşük olabilmektedir.



Eski beton kaplamaların restorasyonu için elmas aşındırma tekniği



2009 yılında Almanya’da bir pilot proje kapsamında elmas aşındırma yöntemiyle yapılan yüzeylerin farklı özelliklerini incelemek adına “Geseke Bağlantı Yolu” sürekli donatılı beton kaplamalı deneme kesiti olarak inşaa edilmiştir. Bu kesit, 2 mm ve 3 mm olmak üzere iki farklı bıçak aralığıyla (bıçak genişliği 3.2 mm ve aşındırma derinliği 3 mm) elmas aşındırma yöntemiyle boyuna eğimli bir zeminde yüzey düzeltme işlemine

tabi tutulmuştur. Kapalı yakınlık ses şiddeti metoduyla yapılan ölçümlerde 2 mm bıçak aralığı ile aşındırılan yüzeyde 94.6 dB(A) gibi düşük bir rakam vermiştir. 2013 yılı içerisinde tekrar yapılan ölçümlerde gürültü seviyelerinin (95.2 dB(A)) hemen hemen aynı kaldığı gösterilmiştir, bu durum aşındırılmış yüzeyin dayanıklılığını doğrular niteliktedir.



Elmas aşındırma yöntemiyle düzlenmiş yüzeyin detaylı görünümü ve Almanya’daki Geseke bağlantı yolu
Fotoğraflar: S. Riffel – Ref.11

6.4 YENİ NESİL BETON YÜZEYLER

Amerika'da, Uluslararası Kanal Oluşturma ve Aşındırma Birliği (IGGA), "Yeni Nesil Beton Yüzey (NGCS)" olarak adlandırılan, daha düz ve düzgün mikro dokusu tatmin edici, makro dokusu ise mükemmel bir yüzey geliştirmiştir. Bu uygulama sırasında, ince bir beton tabakası aşındırma işlemiyle kaldırılıp daha düzgün bir yüzey dokusu elde edildikten sonra, boyuna kanallar oluşturulmaktadır. Böylece profil boyunca daha az düzgünlük gösteren bir dokuyla gürültü oluşumu azaltılırken, açılan kanallarla su tekerleğin temas yüzey alanından uzaklaştırılarak kızaklama direnci artırılmaktadır.

NGCS, uzun dönemde daha güvenli bir yol yaparak, daha düzgün ve daha homojen bir sürüş deneyimi sağlamaktadır. Yakın tarihli bir araştırma gürültü çözümü olarak uygulansa da NGCS'nin sürüş konforunu arttırdığını göstermektedir.

Avrupa'da, geçirimsiz betonların en sessiz hali olan NGCS uygulamalarının var olan beton kaplamalarda etkisini değerlendirebilmek için deneme kesitleri oluşturulması planlanmaktadır.



Yeni Nesil Beton Yüzeyler(NGCS)

Fotoğraflar: Uluslararası Kanal Oluşturma ve Aşındırma Birliği



7. SONUÇLAR

- Geçmişte gürültüye ve özellikle trafik gürültüsüne hemen hemen hiç önem verilmemiştir. Günümüzdeyse trafik gürültüsü altyapı tasarımında ve yapım tekniklerinde önemli bir kriter olmuştur.
- İnce taneli görünür agregalı derzli veya sürekli donatılı modern beton kaplama yüzeyleri yuvarlanma gürültüsü konusunda yoğun gradasyonlu asfalt yüzeylerle yarışmaktadır. Gürültü seviyelerinin zaman içerisinde korunarak aşırı artış göstermemesi ise beton kaplamalar için bir avantaj olarak öne çıkmaktadır.
- Otomobiller, otobüsler ve kamyonetler gibi farklı araçların farklı hızlarda ilerlediği karışık şehir trafiği koşullarında yuvarlanma gürültüsü ikinci planda kalmaktadır. Bu durumda şehir içi trafik gürültüsünün azaltılmasında trafik yönetimiyle ilgili uygulamalar daha etkili olabilir.
- Son olarak, gürültünün kaplama tasarımında tek kriter olmadığı unutulmamalıdır. Gürültünün tasarımdaki önemi proje koşulları ve çevresel şartlarda değerlendirilmelidir. Yol güvenliği ve yol güvenliğiyle doğrudan ilişkili kayma direnci tasarımda birinci önceliktir. Bu yüzden doğru kaplama sistemi seçimi için dayanıklılık, yaşam döngüsü maliyeti ve yüzey özellikleri bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmelidir.

Almanya'daki çift tabakalı görünür agregalı beton otoyol



Az gürültülü çift tabakalı beton kaplama ve ses bariyerlerinin PPP projesi kapsamında N19g bağlantı yolunda birlikte kullanılması (Belçika, Geel Kasterlee)



- [1] C. Caestecker (AWV, Belgium). Test sections of noiseless cement concrete pavements. Conclusions, Vilvoorde, Belgium, 1999.
- [2] R. Debroux, R. Dumont (Walloon Ministry for Equipment and Transport). Twin-layer continuously reinforced concrete pavement on the N511 at Estaimpuis (Belgium): an investigation of the optimization of surface characteristics. Paper at the 8th International Conference on Concrete Pavements, Colorado Springs, Colorado, U.S., 14-18 August 2005.
- [3] R.O. Rasmussen, R.J. Bernhard, U. Sandberg, E.P. Mun. The little book of quieter pavements. The Transtec Group, Report n° FHWA-IF-08-004, July 2007.
- [4] J. Haberl (Vienna University of Technology). Innovations in traffic noise protection. Paper at the 3rd Congress of the Alps Adria Acoustics Association, Graz, Austria, 27-28 September 2007.
- [5] R.O. Rasmussen (The Transtec Group, U.S.), T.R. Ferragut (TDC Partners), P.D. Wiegand (National Concrete Pavement Technology Center). Comparative measurements of tire/pavement noise in Europe and the United States: NITE II. Paper at the 37th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, Shanghai, China, October 2008.
- [6] G. van Blokland, B. Peeters (M+P Consulting engineers, The Netherlands). Modelling the noise emission of road vehicles and results of recent experiments. Paper at the Inter-Noise 2009 Conference, Ottawa, Canada, 23-26 August 2009.
- [7] M. Briessinck (AWV), L. Rens (FEBELCEM). Oppervlakkenmerken van hedendaagse betonverhardingen (Surface characteristics of today's concrete pavements). Paper at the Belgian Road Congress, Gent, Belgium, September 2009.
- [8] M. Haider (Austrian Institute of Technology, Vienna, Austria). Investigation and classification of low-noise concrete roads. Paper at the 11th International Symposium on Concrete Roads, Seville, 13-15 October 2010.
- [9] L. Scofield (ACPA). Development and implementation of the Next Generation Concrete Surface. Final Report, March 2011.
- [10] G. Jurriaans (ECCRA), W. Van Keulen (VANKEULEN advies), W. Kramer (Dutch Cement&Concrete Centre). New guidelines for exposed aggregate surfaces in the Netherlands. Paper at the 10th International Conference on Concrete Pavements, Québec-City, Québec, Canada, 8-12 July 2012.
- [11] P.E. van Hinthem (Breijn bv.), N. v. Deurzen (BetonSon bv.). Denken in modulair bouwen (Thinking in modular construction). Paper at the CROW Infradays, The Netherlands, 2012
- [12] S. Riffel (Heidelberg Cement AG, Leimen, Germany). CRCP with ground texture – Experiences and results of the „Geseke access road“ pilot project. Paper at the 12th International Symposium on Concrete Roads, Prague, 23-26 September 2014.

Bu kitap EUPAVE üyesi
Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (TÇMB)
tarafından Türkçeye çevrilerek bastırılmıştır.

Ocak 2017



60
1957-2017

Tepe Prime A Blok Kat: 18-19
Eskişehir Devlet Yolu (Dumlupınar Bulvarı)
9. km No: 266 06800 Ankara-Türkiye
T 444 50 57
F (0 312) 265 09 06
info@tcma.org.tr
www.tcma.org.tr

Yayınlayan :

EUPAVE

Avrupa Beton Kaplama Birliği

Vorstlaan 68 boulevard du Souverain
1170 Brussels

T + 32 2 790 42 06

F + 32 2 640 06 70

info@eupave.eu

www.eupave.eu

Yazar: Luc Rens

Nisan 2015

Bütün fotoğraflar aksi belirtilmediği sürece FEBELCEM'e
aittir.

