

## Asfalt Kaplamalarda Akustik Özellikler

Emel ŞİT\*<sup>1</sup>, Erol İSKENDER <sup>2a</sup>, Atakan AKSOY<sup>3b</sup>

<sup>1</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, 61000, Trabzon

<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Of Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, 61000, Trabzon

<sup>3</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, 61000, Trabzon

(Alınış / Received: 29.03.2020, Kabul / Accepted: 29.06.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 30.06.2020)

### Anahtar Kelimeler

Gürültü  
Akustik özellikler  
Esnek kaplamalar  
Taş mastik asfalt  
Poroz asfalt

**Özet:** Gürültü, büyük şehirlerde hızla artan nüfusa bağlı olarak çevreye ve insan sağlığına zarar veren bir etkidir. Günümüzde kalabalık yerlerde daha açık bir hal almıştır. Gürültü, insanları ve çevreyi rahatsız eden sesler olarak tanımlanabilir. Gürültüye sebebiyet verecek önemli unsurların başında trafik kaynaklı gürültüler gelmektedir. Bu gürültüler hem araçların çokluğundan hem de yol kaplamalarının özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle gürültü etkilerini azaltabilmek amacıyla çeşitli tedbirler alınabilmektedir. Bu çalışmada, farklı yol kaplamalarının gürültü üzerindeki etkilerini araştırılmıştır. Taş mastik asfalt, poroz asfalt ve yoğun gradasyonlu asfalt kaplamalar içerdikleri malzeme özelliklerine göre akustik bakımdan farklılık göstermektedirler. Yol kaplamalarının türlerine göre akustik özellikleri dikkate alındığında daha az gürültüye sebep olacak kaplamaların üretilmesinin mümkün olduğu görülmektedir.

## Acoustic Properties in Asphalt Pavements

### Keywords

Noise  
Acoustic properties  
Flexible pavements  
Stone Mastic Asphalt  
Porous Asphalt

**Abstract:** Noise is a factor that damages the environment and human health due to the rapidly increasing population in big cities. Today it has become more open in crowded places. Noise can be defined as sounds that disturb people and the environment. Noise from traffic is one of the most important factors that will cause noise. These noises are caused by both the multiplicity of vehicles and the characteristics of road pavements. Therefore, various measures can be taken to reduce noise effects. In this study, the effects of different road pavements on noise were investigated. Stone mastic asphalt, porous asphalt and dense gradation asphalt coatings differ acoustically according to the material properties they contain. Considering the acoustic properties of road pavements according to their types, it is possible to produce pavements that will cause less noise.

### 1. Giriş

Gürültü kirliliği (akustik kirlilik) gelişmiş ülkelerde sanayileşmenin bir sonucu ve teknolojinin artışı olarak ortaya çıkmıştır. Özellikle ulaşımdan kaynaklanan gürültüler 1960'lı yıllardan sonra önemli bir derecede ilgi çekmiştir.. Yapılan araştırmalara göre, gürültünün insan sağlığı üzerinde önemli etkileri

olduğu ve büyük risk oluşturduğu ortaya konmuştur [1].

Ses, dalgalar halinde yayılan bir enerji türüdür. Ses kavramı ölçülebilir ve aynı zamanda sesin varlığı da kişilere göre değişiklik göstermez.[2]. Akustik (ses) bilimi ses dalgalarının belli konularda ( oluşumu, iletimi, etkileri ve işitme gibi) incelemelerini yapar [3]. Ses şiddeti

\* İlgili yazar: [emelsit@outlook.com](mailto:emelsit@outlook.com) . ORCID: 0000-0002-4959-0596

<sup>a</sup> ORCID: 0000-0001-7934-839X

<sup>b</sup> ORCID: 0000-0001-5232-6465

desibel (dB) ile ölçülür. '0' dB insan kulağının duyduğu en küçük ses olarak kabul edilir. Gürültü ise insanları ve çevreyi rahatsız eden ve aynı zamanda insan sağlığına zarar veren sesler olarak tanımlanmaktadır ve dB(A) cinsinden ölçülmektedir. Duyma sınırı (eşiği) 0dB(A)'dir ve 120-130dB(A) ise ağır eşiğidir. Yaklaşık olarak bir ses 6-10dB(A) artırılırsa insan kulağı tarafından 2 kat daha fazla hissedilir. Trafikteki yoğunluk oranı yarıya düşürüldüğünde ses yaklaşık olarak 3 dB(A) azalır ancak yoğunluk iki katına çıkarıldığı durumda ses yaklaşık olarak 3 dB(A) artar [1].

Gürültü, insanlar üzerinde çeşitli etkilere neden olmaktadır. Bu etkiler insan sağlığını olumsuz olarak etkileyebilmektedir [1].

- Fiziksel etkiler:** İşitme bozukluklarına neden olur.
- Fizyolojik etkiler:** İnsan vücudunda değişikliklere neden olur. Kan basıncında artma, stres, kalp atışı ve solunumun değişmesi gibi .
- Psikolojik etkiler:** Genellikle davranış bozukluğuna neden olur. Sinir , stres, tedirginlik, rahatsızlık gibi.
- Performans üzerine olan etkiler:** iş veriminde, çalışma hızında düşüşe neden olur.



Şekil 1. Ses ve gürültünün insan üzerindeki etkisi [4].

## 2. Trafikten Kaynaklanan Gürültüler

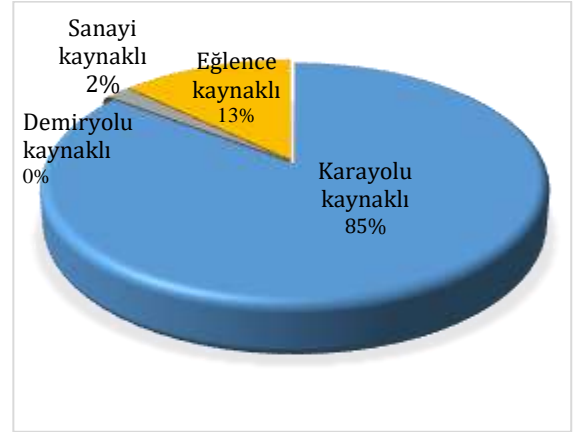
Ses ve gürültüye neden olan çeşitli kaynaklar mevcuttur. Bu kaynaklar maddeler halinde aşağıda verilmiştir [1].

- Karayolları, demiryolları, hava alanları,
- Endüstri tesisleri,
- Yerleşim alanlarının yakınında yer alan; taş ocakları,
- İnşaat alanları,
- Kaset, CD vb. satış yerleri,
- Matbaalar, marketler.
- Tamirhaneler, otoparklar.
- Televizyon ve müzik aletleri,
- Jeneratörler,

- Eğlence ve dinlenme yerlerindeki müzik sesleri,
- Sokak düğünleri ve havai fişek atımları,
- Megafonla bağırarak satış yapılması,
- Kornalardan çıkan sesler gibi.



Şekil 2. Gürültü kaynaklarının genel gösterimi [5].



Şekil 3. TÜBİTAK MAM'ın gürültü sınırlarına göre etkilenme yüzdelik gösterimi [6].

Gürültü, birçok çalışma alanında gerçek bir sorun haline gelebilir. Günümüzde özellikle de büyük şehirlerde trafikten kaynaklı gürültüler önemli bir sorun teşkil etmiştir. İnsan hareketliliğinin giderek artmasına bağlı olarak araç sayısının artması da gürültünün sorun haline gelmesinin sebeplerinden biridir [7]. Günümüzde meydana gelen gürültünün en büyük sebebi trafiğin neden olduğu gürültülerdir. Trafikten kaynaklanan gürültünün çeşitli sebepleri olabilir.

### 2.1. Araçlardan kaynaklanan gürültüler

Büyük şehirlerde nüfusa oranla artan araç sayısına bağlı olarak meydana gelen gürültüler günümüzde büyük bir sorun oluşturmaktadır. Karayolunda araçlardan kaynaklanan gürültüler, kaplama yüzeyi ile tekerlek arasında oluşan gürültü, araçlardaki frenlemeden dolayı oluşan gürültü, motor ve kaporta gürültüsü gibi

bileşenlerden oluşur. Bu tür gürültüler, trafiğin hacmine, yolun kapasitesine, yolun kaplama cinsine ve eğim derecesine, aracın büyüklüğü ve türüne ile yol kenarındaki yapılara ve bitki örtüsü gibi faktörlere bağlıdır [8].



Şekil 4. Gürültüye sebep olan araçlar [9].

Taşıtlarından kaynaklanan gürültülerde taşıtların sayısı ve türü önemli bir yere sahiptir. Tablo 1’de değişik araç tiplerinin neden olduğu gürültü seviyeleri verilmiştir.

**Tablo 1.** Taşıtların neden olduğu gürültü seviyeleri [10].

Taşıt türü	Azami gürültü (dBA)
Otomobil	75
Otobüs (şehir içi)	85
Otobüs (şehir dışı)	80
Kamyon (80km/saat)	85
Ağır araçlar	85

Gürültünün oluşmasında trafik taşıtlarının hızları da etkilidir. Hızları düşük olan taşıtlar düşük gürültü oluşturur. Motor ve egzoz gürültüleri düşük hızlarda etkili olurken, yol-tekerlek etkileşimi ise yüksek hızlarda daha etkili olur.[11].

## 2.2. İnsanlardan kaynaklanan gürültüler

İnsanlardan kaynaklanan gürültüler genellikle aracın doğru kullanılmamasından dolayı meydana gelir. Araçlarda genellikle gürültüye engel olan parçalar bulunur. Ancak bu parçalar genellikle kullanılmaz ya da sökülür. Bunun yanı sıra sürücülerden kaynaklanan gürültülerin en önemlisi ise kornanın kullanımınıdır. Ne yazık ki çoğu sürücüler korna kullanırken gerekli trafik kurallarına uymamaktadır. Bunun yanı sıra araç sürüş esnasında yüksek sesle müzik dinlenmesi de gürültüye sebep olmaktadır. Bu gürültülerin önlenmesi için, gürültü haritaları hazırlanmalı ve uygun gürültü önleyici perdeleme teknikleri uygulanmalıdır [11].

## 2.3. Yollardan kaynaklanan gürültüler

Yollardan kaynaklanan gürültülerin sebebi, kaplamanın yüzey özellikleri (sürtünme, yüzey dokusu, agrega özellikleri, gözeneklilik, hava

boşluğu içeriği), yolda kullanılan malzemelerin özellikleri, yol yüzeylerindeki tümsekler ve pürüzlülükler olmaktadır. Araç tekerlekleri yol yüzeyinde döndüklerinde oluşan titreşimden dolayı uyarılırlar ve bunun sonucunda gürültü oluşmasına neden olurlar. Bu gürültüler tekerlek- yol yüzeyi etkileşimi sonucu meydana gelir. Bu da taşıt yolunun türüne ve yapım şekline bağlıdır [12].

Kaplamanın ilk yapıldığı zaman gösterdiği performans özellikleri kullanıma açıldıktan belli bir süre sonra farklılık gösterebilir. Kaplamalarda meydana gelen yaşlanmaların artmasına bağlı olarak gürültünün artması da gözlenebilir. Kaplamalarda bulunan hava boşluğu yüzdesinin de gürültü üzerinde önemli bir etkisi vardır. Kaplamadaki tane boyutunun artması sonucu hava boşluğu yüzdesinde artış meydana gelir ve bu durum gürültü seviyesinde azalış oluşturur.

Asfalt kaplamaların gözenekli olması gürültü seviyesinde düşüşe sebep olur. Gözenekli asfalt kaplamalar son yıllarda düşük gürültülü kaplama olarak kullanılmıştır [13]. Gözenekli asfalt kaplamadaki gürültü seviyesindeki azalmanın 3~5dB olduğu belirtilmiştir [14].

Kaplama zamanla aşınmaya ve kalıcı deformasyonlara uğrayabilir. Bu durum yolun akustik performansında gerilemeye sebep olabilir. Yolun mekanik özelliklerini uzun süre koruyabilmesi için aşınmaya ve deformasyona karşı dirençli kaplamalar üretilmelidir.

Tekerlek-yol teması sırasında lastik profillerinin boyları, ağırlıkları ve içerdikleri kauçuk malzeme sebebiyle hareket sırasında kısırlar ve lastik yüzey kanalları arasında hava sıkışır. Bunun sonucunda sıkışan hava, basıncın az olduğu bölgeye doğru hareket eder. Daha sonra lastiklerin yapmış olduğu tekerlek hareketi sonucu ağırlık taşıyan kısmın boşa çıkması ile eski uzunluklarına gelirler. Kısa sürede gerçekleşen bu olay yüksek frekanslı bir gürültüye (>1000 Hz) neden olur. Bu olaya "Hava Pompalama" (Air-Pumping) adı verilir [15].

Karayolu, tabaka kalınlıkları ve içerdiği malzeme karışımları farklı olan taşıyıcı alt tabaka (temel-alttemel), binder ve aşınma olmak üzere üç tabakadan oluşmaktadır. Kaplama tabakası, yoldaki düzlük, pürüzlülük gibi özelliklerden sorumludur. Lastik tekerleklerinin teması sonucu oluşan gürültü üzerinde önemli ölçüde etkisi vardır [12].



Şekil 5. Hava pompalamanın şematik olarak gösterilmesi [12].

### 3. Esnek Kaplamalarda Akustik Özellikler ve Alınabilecek Önlemler

Trafik gürültüsünün azaltılmasında etkili bir yöntem olarak düşük gürültülü kaplamalar kullanılmaktadır. Literatürde, maksimum agrega boyutunun küçük seçilmesinin, pürüzsüz kaplamaların ses emiliminde etkili olduğu ifade edilmektedir [16, 17].

Meiarashi, yüksek boşluklu kaplamalarda gürültü azalımı hakkında yaptığı çalışmada agrega çapının gürültü azalmasında kritik rol oynadığını ortaya koymuştur. Agrega boyutu büyüdükçe gürültü seviyesinde de artış olduğu görülmüştür. Maksimum agrega boyutu 13mm'den 10mm'ye düşürüldüğünde gürültüde önemli bir azalma meydana gelmiştir. Ticari araçlar için 1.0 ile 3.0 ağır taşıtlar için ise 1.0 ile 2.0 desibellik düşümler kaydedilmiştir [18].

Küçük boyutlu agregalar kullanıldığında tekerlek ve kaplama arasında sıkışan hava miktarı azalır ve bundan dolayı basınç ta azalır ve daha az gürültü meydana gelir [19].

Literatürde, kullanılan agrega tipinin karayolundaki gürültü azalması üzerindeki etkileri hakkında önemli bilgiler bulunmamaktadır [20]. Mikro dokunun gürültüye etkisi ise tartışılmaktadır. Mikro dokunun artması sürtünmeyi artırır. Bunun sonucunda yapışma-kayma hareketi de artar. Agrega tipine göre mikro doku belirlenmektedir [21].

Ayrıca kaplamanın yaşının artması ile gürültü de artmaktadır. Kaplamanın zaman geçtikçe özellikleri değişmektedir (makro doku, mikro doku, gözeneklilik gibi). Bundan dolayı ses seviyesindeki değişimleri incelemek çok karmaşık bir konudur. Bu yüzden her özellikteki değişimler ayrı ayrı incelenmelidir [21].

Asfalt kaplamalarda, üç ana bileşen tekerlek ve

yol yüzeyi arasındaki etkileşimden kaynaklanan gürültüyü azaltır. Bu üç ana bileşen [22].

- Düşük kaplama pürüzlülüğü,
- Negatif kaplama dokusu,
- Yüksek kaplama hava boşluğu içeriğidir.

Tekerlek/yol gürültüsü azaltma özellikleri kaplamanın agrega tipine, bitüm ve hava boşluğu içeriğine ve yoğunluğuna bağlı olarak değişir. Bundan dolayı, tekerlek/yol gürültüsü asfalt karışımlarının tasarımından kaynaklanmaktadır [22]. Düşük gürültülü asfalt kaplamaların gürültüyü azaltma seviyesinin asfalt karışımının bileşimine bağlı olduğu görülmektedir.

Asfalt kaplamadaki karışım parametrelerinin akustik özelliklerini en yakınlık (CPX) yöntemi kullanarak, 18 yol kesitinden alınan örnekler laboratuvarında test edilmiştir. Bu model, bitüm miktarına, karışımın hava boşluğu içeriğine ve agrega şekline dayanır. Model, asfalt karışımı bileşenleri ve hacimsel özellikleri kullanarak asfalt karışımı tasarım aşamasında tekerlek/yol gürültü seviyesinin tahmin edilmesini sağlar [22].

Yeni inşa edilen düşük gürültülü kaplamalar genellikle 3-9 dBA daha düşük gürültü üretir; bununla birlikte bu özellik zamanla azalır [23]. Yoldaki gürültü seviyesi değişimi yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır [24].

Sandberg yapmış olduğu bir çalışmada pürüzlü yüzeyli kaplamaların A ağırlık gürültü seviyesi olarak söylemenin ve bir genelleme yapmanın imkansız olduğunu söylemiştir. Pürüzlü yollar düşük frekanslı iken, pürüzsüz yollar daha yüksek frekansa sahiptir. Bunun sonucunda pürüzlü yüzey düşük frekanslarda gürültüyü artırırken, yüksek frekanslarda gürültüyü azaltır [21].

Ayrıca, akustik yaşlanma kaplama yüzeyi dokusundaki değişikliklerle ilişkilidir [25]. Bu nedenle, aşınmaya ve kalıcı deformasyona karşı dirençli bir kaplama yapılmalıdır.

Trafik ve iklim koşulları göz önünde bulundurulup buna uygun olarak asfalt kaplama türleri geliştirilmektedir. Yol kaplamalarının çeşitli türleri vardır ve bunların akustik özellikleri farklılık göstermektedir.

#### 3.1. Poroz Asfalt Kaplamalarda Akustik Özellikler

Poroz asfalt (geçirimli asfalt), kaba agrega oranı yüksek, ince agrega ve filler oranı az olan ve açık gradasyona sahip malzemelerden oluşan bir kaplama türüdür. Bu asfaltlar, yüksek boşluk oranına sahip oldukları için yüzeye gelen suyun

drenajı iyi bir şekilde sağlanır. Hem yüksek drenaj özelliğine sahip hem de uzun ömürlü olabilmesi için, bitümlü bağlayıcı filminin süreklilik göstermesi ve kalın olması gerekmektedir [26].

Bu kaplama diğerlerine göre, serildikten ve sıkıştırıldıktan sonra yaklaşık olarak %20 gibi boşluk oranına (poroziteye) ve daha büyük çapta agregaya sahiptir. Diğer yol kaplamalarında boşluk oranı genellikle %3-5 gibidir. Kaplamanın özellikle geçirimsiz olması istenir. Geçirimli kaplamada ise amaç bunun tersidir [27].



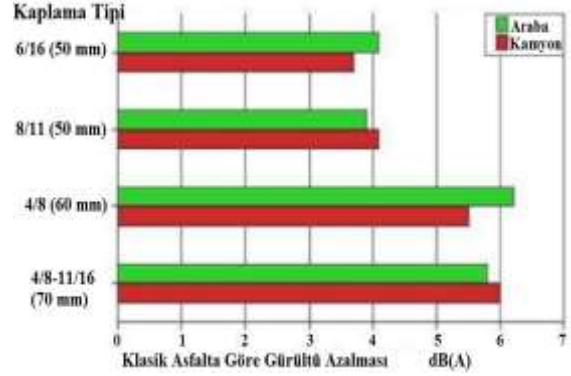
Şekil 6. Poroz asfalt kaplama [28].

Geçirimli asfaltlar, çevresi bitüm tabakası ile kaplanmış ve kaba agregası yüksek olan bir kaplama tipidir. Bu da bir ağ halinde, girişleri bulunan boşlukları meydana getirir. Bu boşluklardan sızan su, kalın bir alt tabaka üzerinden enine eğimle yandan dışarıya aktılır [12].

Poroz Asfalt kaplamalardaki yüksek boşluk oranından dolayı üzerine gelen suyu kaplama içine alır. Yol yüzeyindeki enine/boyuna eğimler sayesinde suyu kaplama yüzeyinden kolaylıkla uzaklaştırır. Kaplamadaki yüksek boşluk oranı, yolda sürtünme sonucu oluşan gürültüyü büyük oranda azaltır. Diğer asfalta göre daha az gürültüye sebebiyet verir. Gürültüyü 3 ila 6dB arasında azaltır. Bu da yaklaşık olarak %25-

%50 arasında bir azalma olduğu anlamına gelir [29].

Şekil 7'de dört farklı agrega boyutu kullanılarak oluşturulmuş dört farklı tip poroz asfalt kaplama üzerinde araba ve kamyonlardan kaynaklanan gürültüyü, yoğun (klasik) asfalt kaplamalarla karşılaştırılması verilmiştir. Düşeydeki ifadeler farklı tipteki poroz kaplama tabakalarının tane çaplarına göre ifadesi verilirken, yatayda yoğun asfalta göre oluşan gürültü azalma miktarı dB cinsinden gösterilmiştir [30].



Şekil 7. Dört farklı asfalt kaplama için gürültü azalımı [30].

Grafığe göre, en çok gürültü 50 mm'lik poroz asfalt yüzeyde ölçülmüştür. Arabalar en az gürültüyü 60 mm'lik yüzeyde oluşturmuş, kamyonlar ise en az gürültüyü 70 mm'lik yüzeyde oluşturmuştur. Buna dayanarak tane çapının büyümesi sonucu boşluk oranının arttığı ve böylece gürültünün de azaldığı söylenebilir [30].

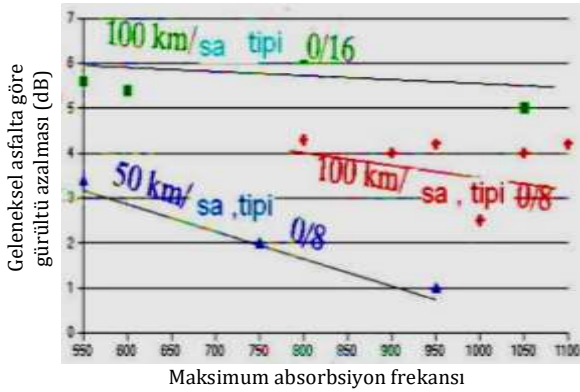
70 mm'lik poroz yüzeyin tane çapı 60 mm'liğe göre daha fazladır. Ancak arabalarda buna rağmen gürültü azalması fazla olmamıştır. Tane çapının büyümesi arabalarda sürüş konforunu da etkileyen bir büyüklük haline gelmiştir. Arabanın kamyonu göre ağırlığı çok daha az olmasına rağmen daha fazla sarsıntı ve titreşim meydana geldiği için daha az bir gürültü azalması ortaya çıkmıştır [30].

Tablo 2. Boşluklu kaplamalarda gürültü absorpsiyonunun karşılaştırılması [30].

Kaplama Tipi	Agrega Derecesi	Kalınlık (mm)	Maksimum Absorpsiyon Frekansı (Hz)	Maksimum Absorpsiyon (%)
Klasik Asfalt	0-16	-	-	-
Boşluklu	6-16	55	840	89
Boşluklu	4-8	60	810	95
Çift sıra boşluklu	4-8 (üst)	25(üst)	600	92
Boşluklu	8-11	40(alt)	900	87

Tablo 2'de verilen gürültü emisyonları İstatistiksel Geçiş Metodu'na (ISO 11819-1) göre ölçülmüştür. Tablo 2'de poroz kaplamaların trafikten kaynaklanan gürültü emisyonları üzerinde büyük bir etkisi olduğu belirtilmiştir [27]. 60 mm kalınlığındaki 4-8 mm'lik agregadan oluşan poroz tabakada en etkili sonuç elde edilmiştir. Gürültü emisyonu, üst kısmı daha ince agregadan 25mm, alt kısmı daha kalın agregadan 40mm olacak şekilde yapılmış poroz bir tabaka yüzeyinde ölçüldüğünde, düşük hızlarda çok iyi sonuçlar alınırken, aynı sonuçları yüksek hızlarda gözlemlemek mümkün olmamıştır [27].

Şekil 8'de poroz kaplamalarda seyir hızı - gürültü ilişkisi verilmiştir. Şekilden yüksek hızlarda gürültüde daha fazla azalma olduğu görülmektedir.



Şekil 8. Poroz kaplamalarda seyir hızı-gürültü ilişkisi [30].

### 3.2. Taş Mastik Asfalt Kaplamalarda Akustik Özellikler

Taş mastik asfalt (TMA) Almanya'da geliştirilmiş bir karışım tipidir. TMA tipi karışımların ilk kullanım amacı; kışın hava koşullarının ağır olduğu bölgelerde güvenli sürüş için çivili lastiklerin asfalt kaplama üzerinde meydana getirdiği aşınmayı önlemek olmuştur.

Taş mastik asfaltlarda, kaba agrega oranı %70-80, ince agrega oranı %20-30 ve bitüm oranı %6-7'dir. Asfalt karışımında kaba agrega oranının daha fazla olması sebebiyle daha fazla boşluk oluşur ve bu boşluklar da mastik ile doldurulur. Mastik, mineral filler, bitüm ve süzülme önleyici katkıdan oluşmaktadır [31].

Taş mastik asfalt karışımlarda yüksek oranda kaba agrega olduğu için daha yüksek tekerlek izi direnci ve durabilite göstermektedir. Agrega - agrega kenetlenmesi ve zengin filler - bitüm hamuru sayesinde yüksek mukavemet ve durabilite gösterirler.



Şekil 9. Taş mastik asfalt [32].

Avrupa ülkelerinde taş mastik asfaltlar tekerlek/yol gürültüsünü azaltmak için aşınma tabakası olarak kullanılan en popüler asfalt karışımlardan biridir [26]. TMA'nın iyi bir ses absorpsiyonuna sahip olması içerisinde barındırdığı yüksek kaba agregalardan kaynaklanmaktadır. Tane boyutunun artması karışımda hava boşluğu olmasını sağlar ve bu da kaplamanın herhangi bir yüklemde daha az ses üretmesine neden olur. Aynı zamanda TMA'ların yüzeyleri pürüzlü olduğundan gürültü seviyesini azaltırlar.

TMA kaplamalarda gürültü seviyesi ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Almanya'da yapılan bir çalışmaya göre, TMA yoğun gradasyonlu karışım yerine kullanıldığında gürültü seviyesinde 2,5dB(A) gibi önemli bir azalmanın olduğu görülmüştür. İtalya'da yapılan bir çalışmada ise, her ikisi de aynı kalınlığa sahip (15mm) TMA ve yoğun gradasyonlu sıcak asfalt karışımlar üzerinde giden 100 km/saat hızına sahip bir aracın TMA'da diğerine göre 7,0dB(A) daha az gürültü yaptığı saptanmıştır. İngiltere'de yapılan bir çalışmada ise 6mm'lik kalınlığa sahip TMA ile yoğun gradasyonlu asfalt karşılaştırılmış ve 70-90km/saat hızla giden araç ile gürültü seviyesinin 5,2dB(A)'e kadar düşürüldüğü görülmüştür [33].

Taş mastik asfalt kaplamalarının doku spektrumu tekerlek/yol gürültüsü üretimi hakkında bilgi verir. Her dokunun dalga boyu gürültüyü farklı şekilde iletir. Şekil 10'da gösterildiği gibi, 1 ila 10mm arasındaki doku dalga boyları daha düşük gürültü oluşturmaktadır [34]. Doku derinliği 10mm'nin üzerine çıktığında gürültü de artmaktadır. Yine 10mm'den daha büyük doku derinliklerinde araç içi gürültüler de artmaktadır. Doku derinliğinin 1mm'nin altında olması da olumlu etki oluşturmamaktadır.



Şekil 10. Her bir kategori için doku dalga boyu aralığı ve etkileri [34].

### 3.3. Yoğun Gradasyonlu Asfalt Kaplamalarda Akustik Özellikler

Düşük boşluk oranı ve bitüm içeriğine sahip yoğun agrega gradasyonlu bu karışım ülkemizde ve dünyada en yaygın kullanılan sıcak karışım tipidir [35]. Bu kaplamalar asfalt çimentosunun, kaba agrega, ince agrega ve filler ile sıcaklık ve nem bakımından kontrol altında karıştırılması ile elde edilir [36]. Kaplamada bulunan agrega özellikleri dolgu tipi ve katkı maddelerinin kullanımı kaplamada yapısal sertliğe, deformasyon direncine, yorulma direncine, yüzey dokusuna ve işlenebilirliğe katkıda bulunur [37]. İyi derecelendirilmiş kaba agregaya ilave edilen ince agrega miktarının tayini önemlidir [38].

Aşınma tabakaları daha çok trafik yüklerine maruz kaldıkları için daha yoğun bir asfalt tabaka yapılmalıdır. Bunun için de yoğun gradasyon, bağlayıcıda yeterli boşluk bırakmamaktadır. Bundan dolayı gradasyonu

açmak gerekir, bu işlemi de ilave filler katarak gerçekleştirmek mümkün olur [39].

Yoğun gradasyonlu asfalt kaplamaların akustik özelliklerinin belirlenmesi hem düşük gürültülü yolların hem de otoyolların inşasında önemlidir [40].

Yollardaki gürültü seviyesini azaltmak için ses emme verimliliği daha yüksek olan malzemeler seçilebilir. Bu durum çoğu sesin belirli bir malzeme tarafından emildiğini ve gözlemciye göre daha az sesin geri yansıdığını gösterir, böylece ses emici malzeme etrafında gürültü seviyesi önemli ölçüde azaltılmış olur [41].

Laboratuvar ortamlarında yapılan çalışmalarda yollarda kullanılan mazlemenin sesi emme kabiliyetini belirlemenin ve ölçmenin iki etkili yolu olduğu belirlenmiştir. Bunlardan ilki, sadece çok özel çalışmalar için ayrılmış bir yankılanma odası kullanmaktır. Diğeri ise, bir empedans tüpü deneyi yapmaktır. Karışımların ses özelliklerini analiz etmek için yapılan empedans tüpü deneyinde nominal maksimum agrega boyutunun (NMAB) asfalt bağlayıcı tipleri ve hava boşluğu yüzdelerinin gürültüyü azaltma üzerindeki etkileri incelenmiştir. NMAB, agrega gradasyonunda mazlemenin %10'undan fazlasını tutmak için ilk elekten daha büyük bir elek boyutu olarak ölçülür [40].

Avrupa ülkeleri taş mastik asfalt, poroz asfalt ve yoğun gradasyonlu asfalt kaplamalarının gürültü seviyelerinin karşılaştırılmasında yapılan çalışmalardan bazıları Tablo 3 ve Tablo 4' te verilmiştir [42].

Tablo 3. Farklı kaplama yüzey türlerinde gürültü

Ülke (Bildirilen Yıl)	Yüzey Tipleri	Genel Sonuçlar
Britanya Kolumbiyası, Kanada (1999)	Yoğun Gradasyonlu Asfalt & Açık Gradasyonlu Aşınma Tabakası (Poroz Asfalt)	Üç yıllık hizmetin ardından poroz asfalt yoğun gradasyonlu asfalttan 3,5 ila 4,0 dB(A) daha sessiz.
İtalya (1990)	Yoğun Gradasyonlu Asfalt & Açık Gradasyonlu Aşınma Tabakası	Poroz asfalt yoğun gradasyonlu asfalttan 3 dB(A) daha sessiz.
Almanya (1990)	Yoğun Gradasyonlu Asfalt & Açık Gradasyonlu Aşınma Tabakası	Poroz asfalt yoğun gradasyonlu asfalttan 4 ila 5 dB(A) kadar daha sessiz.
İtalya (1998)	Yoğun Gradasyonlu Asfalt & Taş Mastik Asfalt	Taş mastik asfalt gürültü seviyesinde yoğun gradasyonlu asfaltta göre 110 km/s'de 7,0 dB(A) kadar azalma olduğu görülmüştür
Almanya (1991 ve 1998)	Yoğun Gradasyonlu Asfalt & Taş Mastik Asfalt	Taş mastik asfalt yoğun gradasyonlu asfalttan 2,5 ve 2,0 dB (A) daha sessiz

**Tablo 4.** Farklı Kaplamalı Yüzey Tiplerinin Ortalama Gürültü Seviyelerinin karşılaştırılması

Kaplama Yüzey Tipi	dB (A)
Açık Gradasyonlu Aşınma Tabakası (Poroz Asfalt)	-4
Taş Mastik Asfalt Kaplama	-2
Yoğun Gradasyonlu Asfalt Kaplama	0(referans)

Tablo 4'te kaplamaların ses seviyelerindeki azalmalar gösterilmektedir. Yoğun gradasyonlu asfalt kaplamalar referans alınmıştır. Taş mastik asfaltın ses seviyesinde 2 dB (A) azalma görülmektedir. Açık gradasyonlu aşınma tabakasında (poroz asfalt) 4 dB (A) azalma görülmektedir.

Yolcu trafiği fazla olan karayollarında, kauçuk modifiye asfalt kullanılan daha büyük nominal maksimum agrega boyutuna (NMAB) sahip asfalt karışımlar daha yüksek gürültüyü azaltma performansı göstermektedir. Ağır kamyon trafiğine sahip otoyollarda ise daha küçük NMAB ve SBS modifikasyonları gürültüyü azaltmak için önerilmektedir [40].

Yoğun gradasyonlu asfalt kaplamalarda hava boşluk yüzdelerinin artmasıyla gürültü azaltma performansının arttığı görülmüştür. Saha ölçüm sonuçlarına göre, trafik hızı sınırlarının uygun şekilde kontrol edilmesinin ve kauçuk modifiye asfalt kullanılmasının, kaplamadaki gürültüyü azaltmada etkili olabileceği görülmüştür.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, karayollarında gürültü konusu irdelenmiş, gürültünün nedenleri irdelenmiş ve yaygın kullanılan kaplamalardaki akustik özellikler değerlendirilmiştir. Değerlendirmelere göre aşağıdaki sonuçlara ulaşmak mümkündür.

- Poroz asfalt kaplamalar içerdikleri yüksek boşluk oranından dolayı yolda sürtünmeden kaynaklı oluşan gürültü problemini azaltmada etkilidir. Gürültüdeki azalma 3 ile 6dB arasında yani %25-%50 arasındadır.
- Taş mastik asfalt kaplamalar %70-%80 oranında kaba agrega içeriğinden dolayı boşluk oranının fazla olduğunu ve daha iyi bir ses absorpsiyonuna sahip olduğunu göstermiştir. TMA, yoğun gradasyonlu asfalt yerine kullanıldığında gürültü seviyesi önemli derecede azalabilmektedir. TMA'ların maliyeti biraz daha yüksek olmasına rağmen gösterdiği performans ve bakım onarım faaliyetleri düşünüldüğünde avantaj sağlamaktadır.

- Yoğun gradasyonlu asfalt kaplamalarda hava boşluk yüzdelerinin artması sonucu gürültü seviyesinde azalmaktadır. Bunun yanı sıra kauçuk, polimer gibi katkı uygulamalarıyla da gürültü azaltılabilmektedir.
- Günümüzde önemli bir sorun olarak görülen gürültü konusunun gelecekte daha da önem kazanacağı düşünülmektedir. Karayollarında oluşan gürültü toplam gürültünün çoğunu oluşturmaktadır. Alınabilecek tedbirlerle kaplamalardan kaynaklanan gürültü seviyesinde azalmalar sağlanabilir.

#### 5. Kaynakça

- [1] TC Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevresel Gürültü Eylem Planı 2019-2020.
- [2] Bıçakçı T. (2011).“Trafikten kaynaklanan çevresel gürültü haritaları ve Çukurova Üniversitesi kampüsü örneği.” Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bil.Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 135, Adana.
- [3] Çalış, M. (2007).“Karayolu gürültüsü ve gürültü perdelerinin ekonomik analizi.” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı, 118, İstanbul.
- [4] www.cnnturk.com/yasam/gurultu-kirliligi-sagligi-tehdit-ediyor?page=1 (12.03.2020).
- [5] www.delinetciler.net/showthread.php?t=158566 (13.03. 2020).
- [6] MAM (2015, 2016), “TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi,” Elazığ İli stratejik gürültü haritalarının hazırlanması raporu.
- [7] https://www.pce-instruments.com/f/turkey/desibelmetre-trafik-guerueltuesue-6.pdf (18.03.2020).
- [8] Aktürk, N., Toprak, R., Asiloğulları, E. (2003). Hızlı Raylı Ulaşım Sistem Kaynaklı Çevresel Gürültü, Gazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cit: 18, No: 3, Ankara, s: 15-25.
- [9] www.cevrekirliligi.net/gurultu-kirliligi-kaynaklari/ (15.03.2020).
- [10] Alexandra, A. (1975).Road Traffic Noise, New York-Wiley, ABD.
- [11] Erdogan, S., Dogan, M., Yılmaz, İ., Güllü, M., Baybura, T., Melike, U. L. U., Ömer, S. İ. S. E. (2007). Afyonkarahisar il merkezi karayolu trafik gürültü haritasının hazırlanması. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7, 151-164.



- [12] [www.haliccevre.com/images/gurultu/11.pdf](http://www.haliccevre.com/images/gurultu/11.pdf) (18.03.2020).
- [13] Ding, Y., Wang, H. (2017). "FEM-BEM analysis of tyre-pavement noise on porous asphalt surfaces with different textures," *International Journal of Pavement Engineering*, pp. 1-8.
- [14] Herrington, P., Reilly, S., Cook, S. (2005). "Porous asphalt durability test. Transfund New Zealand research," Report No.265, Transfund, New Zealand.
- [15] Bay, F., Güney, A. (1998). Lastik Yol Gürültüsü, 4. Akustik ve Gürültü Kongresi, Kasım, Antalya, Türkiye, Ekim 29-31.
- [16] Bennert, T., Hanson, D. Maher, A., and Vitillo, N. (2005). "Influence of pavement surface type on tire/pavement generated noise." *Journal of Testing and Evaluation*, 33(2), 94-100.
- [17] Bernhard, R. J. Wayson and R. L. (2005). "An introduction to tire/pavement noise." Institute for Safe, Quiet and Durable Highways, Purdue University. Report SQDH 2005-1.
- [18] Meiarashi, S., Ishida, M., Nakashiba, F., Niimi, H., Hasebe, M., and Nakatsuji, T. (1996). "Improvement in the effect of drainage asphalt road surface on noise reduction," *Applied Acoustics*, 47(3), 189-204.
- [19] Sousa, J. B., Way, G. B., and Zhu, H. (2004). "Asphalt-rubber noise data Compilation (Synthesis of Current Practices)".
- [20] Sandberg, U., and Ejsmont, J. A. (2002). "Tyre/Road noise reference book", Informex, SE-59040 Kisa, Sweden.
- [21] İmamoğlu, C.T. (2012). Atık Lastik Katkılı Asfalt Kaplamalara Trafik Gürültüsünü Sönümlemedeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [22] Kleizienė, R., Šernas, O., Vaitkus, A., & Simanavičienė, R. (2019). Asphalt pavement acoustic performance model. *Sustainability*, 11(10), 2938.
- [23] Aksnes, J. (2009). Environmentally Friendly Pavements; Norwegian Public Roads Administration: Oslo, Norway.
- [24] Son, S., Al-Qadi, I.L., Zehr, T. (2016). 4.75mm SMA performance and cost-effectiveness for asphalt thin overlays. *Int. J. Pavement Eng.*, 17, 799-809. [CrossRef].
- [25] Vaitkus, A., Andriejauskas, T., Vorobjovas, V., Šernas, O., Skrodenis, D. (2018). Acoustical aging of low noise pavements expressed by different measuring techniques. *Proceedings of the 5th International Conference on Road and Rail Infrastructure*, Zagreb, Croatia.
- [26] <https://www.antbilgi.com/poroz-asfalt-nedir/> (10.04.2020).
- [27] Öztürk, D. (2008). Türkiye'de Poroz Asfaltın Uygulanabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [28] <https://www.senhesapla.com/blog/en-guncel-asfalt-fiyatları-asfalt-maliyeti/> (21.05.2020).
- [29] Özay, O., Öztürk, E., A. (2013). Modifiye Edilmiş Poroz Asfalt Karışımların Performansı, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28,3, 577-586.
- [30] Civelek, U. (2011). Poroz Asfalt, Bitirme Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Tasarımı Öğretmenliği Bölümü, Isparta.
- [31] <https://www.essagrup.com/tr/asfalt-tipleri/> (25.05.2020).
- [32] [http://www.jaijobner.com/products\\_details.php?a\\_id=123](http://www.jaijobner.com/products_details.php?a_id=123) (05.06.2020).
- [33] Temren, Z. (2009). Taş Mastik Asfalt Dizaynı, Üretimi ve Uygulamaları. Türkiye Asfalt Mühendisleri Derneği, Ankara, 35 s.
- [34] Vázquez, V. F., Terán, F., Luong, J., & Paje, S. E. (2019). Functional performance of stone mastic asphalt pavements in Spain: Acoustic assessment. *Coatings*, 9(2), 123.
- [35] Türkiye Asfalt Mühendisleri Derneği, <http://www.asnud.org.tr/asfalt.php?sayfa=27> (02.04.2020).
- [36] Uluçaylı, M. (2002). Asfalt El Kitabı. İstanbul: İSFALT.
- [37] Greer, G. (2006). Stone mastic asphalt-a review of its noise reducing and early life skid resistance properties. In *Proceedings of ACOUSTICS*, 319-323.
- [38] Tunç, A. (2004). Esnek Kaplama Malzemeleri El Kitabı. Ankara: Asil Yayın Dağıtım.
- [39] Umar, F., Açar, E. (1999). Yol Üstyapısı. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası.
- [40] Guo, Z., Yi, J., Xie, S., Chu, J., Feng, D. (2018). Study on the Influential Factors of Noise Characteristics in Dense-Graded Asphalt

Mixtures and Field Asphalt Pavements.  
Shock and Vibration, 2018.

- [41] Amares, S., Sujatmika, E., Hong, T.W., Durairaj, R., Hamid, H.S., H., B. (2017). A review: characteristics of noise absorption material, Journal of Physics: Conference Series, vol. 908.
- [42] [https://www.vaasphalt.org/wp-content/uploads/2012/07/Asphalt\\_Pave\\_Mitigate\\_757265452\\_162006152353.pdf](https://www.vaasphalt.org/wp-content/uploads/2012/07/Asphalt_Pave_Mitigate_757265452_162006152353.pdf)  
(14.06.2020).