

Balık Pulu Atıklarının Asfalt Betonunun Performans Özelliklerine Etkisi

Zeynep ARSLAN¹, Murat KARACASU¹

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik ve mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü.

* Corresponding Author Email: zeynepyazici8@outlook.com

(Received: 30 May 2025, Accepted: 10 June 2025)

ATIF/REFERENCE: Arslan, Z. & Karacasu, M. (2025). Balık Pulu Atıklarının Asfalt Betonunun Performans Özelliklerine Etkisi. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 9(6), 133-143.

Özet - Tüm dünyada artan nüfus ve endüstriyel faaliyetler, araç kullanımını ve üretim miktarını sürekli olarak artırmaktadır. Bu durum, beraberinde ciddi miktarda atık oluşumunu getirmekte ve çevresel kirliliğe yol açarken, atık toplama alanları da giderek azalmaktadır. Bu çevresel zorluklara yanıt olarak, oluşan atıkların çeşitli sektörlerde değerlendirilmesi ve geri kazanımı yönünde yoğun çalışmalar yürütülmektedir. Yol inşaatı sektörü, bu atıkların değerlendirilmesi için önemli bir potansiyel sunmaktadır. Bu bağlamda, bu çalışma, balık pulu atıklarının asfalt betonu karışımlarının performans özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmayı amaçlamıştır. Çalışma kapsamında, kontrol karışımı ile birlikte %3, %5 ve %7 oranlarında balık pulu atığı içeren asfalt betonu karışımları üretilmiş; bu karışımların mekanik özellikleri ve dayanıklılık parametreleri Marshall ve sünme deneyleri ile deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen deney sonuçlarına göre, %3 oranında balık pulu atıklarının asfalt betonunda kullanılması uygun bulunmuştur. Bu çalışma, balık pulu atıklarının yol inşaatında değerlendirilmesiyle hem çevresel kirliliğin azaltılmasına hem de doğal kaynakların daha etkin kullanılmasına katkıda bulunmayı hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler – Asfalt betonu, balık pulu atığı, atık değerlendirme, Marshall Tasarımı, sürdürülebilirlik.

GİRİŞ

Trafiğin yükünü taşıyarak alt katmanlara ileten, düzgün bir yuvarlanma yüzeyi sağlayarak trafik akışını kolaylaştıran ve yol yapısını dış etkenlere karşı koruyan katmanlı yapıya “karayolu üstyapısı” denir. Üstyapılar, kullanılan malzemelerin özelliklerine bağlı olarak esnek, rijit ve yarı-rijit olmak üzere üç gruba ayrılır. Ülkemizde mevcut durum itibarıyla, yolcu taşımacılığın % 97’si, yük taşımacılığının ise % 89’u karayoluyla gerçekleştirilmektedir (Çetin, İnan ve Yücel, 2011:95).

Yol projelerinde asfalt betonu ile normal beton uygulamaları sıklıkla tercih edilen yapı malzemeleridir. Karayolu yapıları, motorlu taşıtların güvenli ve konforlu hareketini sağlayan temel unsurlar olup, tesviye yüzeyi ile doğal zemin arasındaki altyapı ve trafik yüklerini taşıyıp dağıtan üstyapı olarak iki ana kategoride incelenir (İlıcılı vd., 2001; Yayla, 2002; Karacasu ve Bilgiç, 2020). Üstyapılar, kullanılan malzemelere göre rijit; beton plakalarla yüklerin karşılandığı yapılar (Düzağaç, 2019; Garber ve Hoel, 2019), yarı rijit; çimento bağlayıcı içeren temellerle oluşturulanlar ve esnek; asfalt kaplama ile inşa edilenler olmak üzere üçe ayrılır. Esnek üstyapılar, trafik yüklerini kaplama, temel ve alttemel katmanları aracılığıyla taban zeminine ileten bir yapıdır. Alttemel tabakası zemin üzerinde destekleyici granüler malzemeden oluşurken temel tabakası yük taşıma kapasitesini artıran bağlayıcı veya bağlayıcısız granüler malzemeden meydana gelir (Ayçiçek, 2011; Öztürk ve Komut, 2021; Navruz vd., 2021). En üstte

yer alan kaplama tabakası ise yolun trafik ve çevresel etkilere maruz kalan kısmı olup, sathi kaplamalar ve yüksek maliyetli ancak ağır trafikli yollarda kullanılan asfalt betonu (sıcak asfalt karışımı) kaplamalar olmak üzere iki türde uygulanır. Asfalt betonunun temel fiziki özellikleri arasında trafik yüklerine dayanma yeteneği olan stabilite, dış etkenlere karşı dayanıklılık sağlayan durabilite, çatlamadan eğilme ve zemin oturmalarıyla uyum yeteneği olan esneklik, yüzeydeki sürtünme kuvvetini tanımlayan kayma direnci karışımının homojen hazırlanıp kolayca serilip sıkıştırılabilmesi olan işlenebilirlik bulunmaktadır. (Umar ve Açar, 1991; Ektaş, 2011; Ceylan, 2006; Karabel, 2017; Al-Alı, 2016; Er, 2011).

Günümüzde dünya genelinde hızla artan nüfus ve endüstriyel üretim, doğal kaynakların tükenmesi ve çevresel atıkların birikmesi gibi ciddi sorunları beraberinde getirmektedir. Özellikle endüstriyel faaliyetler ve insan ihtiyaçları doğrultusunda artan tüketim, her geçen gün daha fazla atık oluşumuna neden olmakta ve bu atıkların depolanması için ayrılan alanlar giderek azalmaktadır. Atıkların kontrolsüz bir şekilde birikmesi, görsel ve çevresel kirliliğe yol açmakta, ekosistemler üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Bu durum, atık yönetimi ve geri kazanım stratejilerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Yol inşaatı sektörü, büyük miktarda malzeme tüketimi nedeniyle atık değerlendirme potansiyeli yüksek olan önemli bir alandır (Ramos ve Rouboa, 2020; Ramos, 2025).

Yol inşaatında, hem çevresel atıkların etkili bir şekilde değerlendirilmesi hem de asfalt betonunun performans özelliklerinin artırılması amacıyla çeşitli atık malzemeler kullanılmaktadır. Bu kullanım, temel olarak asfalt beton karışımının doğrudan modifiye edilmesi veya bitüm bağlayıcının modifiye edilmesi şeklinde ana yollarla gerçekleştirilir. Bu katkı malzemeleri, endüstriyel üretimden elde edilen ticari ürünler olabileceği gibi, çevresel atık formunda da kullanılabilir.

Endüstriyel olarak üretilen modifiye edici malzemelerin kullanımı, asfalt betonu üretim maliyetini artırma eğilimindeyken, çevresel atıkların değerlendirilmesi genellikle ek bir maliyet artışı oluşturmaz; aksine, atık bertaraf maliyetlerinden tasarruf sağlayarak ekonomik faydalar sunabilir. Çevresel atıkların kullanımı, genellikle üretim maliyetini artırmazken, endüstriyel olarak üretilen katkı malzemeleri maliyet artışına neden olabilir. Bu bağlamda, çevresel atıkların asfalt betonunda değerlendirilmesi, geri kazanım ve sürdürülebilir yaşam ilkeleri açısından kritik bir rol oynamaktadır (Ma vd., 2021; Kara ve Karacasu, 2017; Jia vd., 2023).

Dünyada her yıl yaklaşık 7,2-12 milyon ton balık atığının çöpe atıldığı tahmin edilmektedir. Balık pulu atıklarının düzenli depolama alanlarına atılması ciddi çevre kirliliği sorunlarına neden olabilir ve kaynak israfına yol açabilir. Bu nedenle, atık balık pullarının fonksiyonel malzemelere dönüştürülmesi, çevre kirliliği üzerindeki etkiyi en aza indirebilir ve büyük ticari değer sağlayabilir (Qin vd., 2022; Arola vd., 2018).

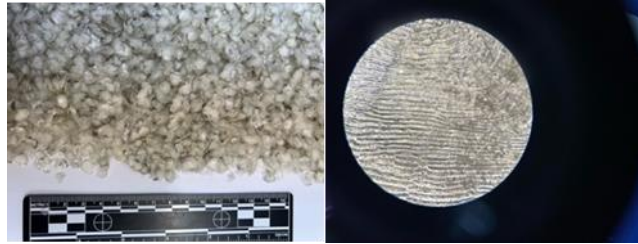
Balıkçılık endüstrisi, dünya genelinde önemli miktarda balık pulu atığı üretmektedir. Bu atıklar genellikle bertaraf edilmekte veya düşük değerli uygulamalarda kullanılmaktadır. Ancak balık pulları, biyolojik kaynaklı olmalarına rağmen, dayanıklı ve esnek bir yapıya sahip olmaları nedeniyle potansiyel bir mühendislik malzemesi olarak değerlendirilebilir. Bu çalışmada, balık pulu atıklarının asfalt betonu karışımlarına belirli oranlarda ilave edilerek, karışımın Marshall özellikleri üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmanın temel amacı, balık pulu atıklarının yol inşaatında sürdürülebilir bir malzeme olarak kullanılabilirliğini araştırmak ve bu sayede çevresel atık yükünü azaltarak doğal kaynakların korunmasına katkıda bulunmaktır.

Bu çalışmada asfalt betonunda katkı malzemesi olarak kullanılan balık pulları, yaygın bir istilacı tür olan gümüşü sazan (*Carassius gibelio* Bloch, 1782) bireylerinden elde edilmiştir. Söz konusu balıklar, Gölyazı Uluabat Gölü Balıkçılar Kooperatifi aracılığıyla temin edilmiştir. (Şekil 1)



Şekil 1. Gölyazı Uluabat Gölü Balıkçılar Kooperatifi balık temini

Çalışmanın temel amacı, balık işleme endüstrisinden kaynaklanan endüstriyel bir atık olan balık pulunun, asfalt betonunun performans özellikleri üzerindeki etkisini değerlendirmektir. Özellikle, balık pulunun doğal esnekliğinden yararlanılarak, bu katkı malzemesinin asfalt betonuna esneklik kazandırıp kazandırmayacağı araştırılmıştır. Çalışma kapsamında, %3, %5 ve %7 oranlarında balık pulu katkısı içeren asfalt beton karışımları hazırlanmış ve bu karışımların mekanik özellikleri ile dayanıklılık parametreleri deneysel yöntemlerle incelenmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, asfalt betonunda %3 oranında balık pulu atığı kullanımının performans açısından uygun olduğu belirlenmiştir. Bu uygulamanın, atıkların geri kazanımı yoluyla doğal kaynakların daha verimli kullanılmasına katkı sağladığı ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine olumlu katkıda bulunduğu sonucuna varılmıştır. Balık pulu ve mikroskop görüntüsü Şekil 2’de verilmiştir. Gümüşü sazan balık pulunun elementel analiz sonuçları Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 2. Balık pulu ve mikroskop görüntüsü

Tablo 1. SEM-EDS analiz sonuçları

Element	Wt%	Wt% Sigma
C	27.12	1.86
O	27.73	1.37
P	15.89	1.29
Ca	29.26	1.98
Total:	100.00	

MALZEME VE METOD

Agrega

Kullanılan agregaların fiziksel özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Agregaların fiziksel özellikleri

Özellik	Değer	Standart
YOĞUNLUK(g/cm ³)		
KABA AGREGA		
Zahiri Özgöl Ağırlık (g/cm ³)	2.752	ASTM C127
Hacim Özgöl Ağırlık (g/cm ³)	2.708	ASTM C127
YKSD Özgöl Ağırlık (g/cm ³)	2.725	ASTM C127
İNCE AGREGA		
Zahiri Özgöl Ağırlık (g/cm ³)	2.725	ASTM C128
Hacim Özgöl Ağırlık (g/cm ³)	2.705	ASTM C128
YKSD Özgöl Ağırlık (g/cm ³)	2.712	ASTM C128
FİLLER		
Zahiri Özgöl Ağırlık (g/cm ³)	2.733	ASTM C128
Su Emme (%)	0.36	ASTM C127
SIKIŞIK BİRİM AĞIRLIK (g/cm ³)	1.572	ASTM C29
GEVŞEK BİRİM AĞIRLIK (g/cm ³)	1.300	ASTM C29
LOS ANGELES AŞINMA DENEYİ (%)	23.636	ASTM C131
YASSILIK İNDEKSİ (%)	15.31	ASTM D4791
DONMA ÇÖZÜLME DENEYİ (%)	1.5	ASTM C88

Agrega Elek Analizi

Agrega malzemesi Karayolları Teknik Şartnamesi'nde belirtilen agrega tasarım sınır değerlerini sağlayacak şekilde boyutlandırılmıştır. Sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Agrega elek analizi

Elek Boyutu (mm)	Şartname Alt Sınır	Şartname Üst Sınır	% Geçen	% Kalan	Ağırlık
19	100	100	100	0	0
12.5	88	100	91	9	104
9.5	72	90	78	13	150
4.75	42	52	45	33	379
2.00	25	35	28	17	196
0.425	10	20	13	15	173
0.180	7	14	9	4	46
0.075	3	8	4	5	58
0.075 Altı/Filler				4	44
Toplam					1150

Bitüm

Çalışma kapsamında, 50/70 penetrasyonlu bitüm, TÜPRAŞ'ın Kırıkkale üretim tesislerinden tedarik edilmiştir. Bitüm özellikleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Bitüm özellikleri

Deney Adı	Değer	Standart
Penetrasyon	52.9	ASTM D5
Yumuşama Noktası (°C)	45.9	ASTM D36
Düktilite (25°C, 5 cm/dk) (cm)	>100	ASTM D113
Elastik Geri Dönme (%)	6	ASTM D 6084
İnce Film Isıtma Kaybı (%)	0.55	ASTM D1754
Dönel İnce Film Isıtma Kaybı (%)	0.385	ASTM D 2872

Parlama Noktası (°C)	285	ASTM D92
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	1.031	ASTM D70
Viskozite (135°C, cP)	428	ASTM D88, 2161
Viskozite (165°C, cP)	122	ASTM D88, 2161

Marshall Tasarımı

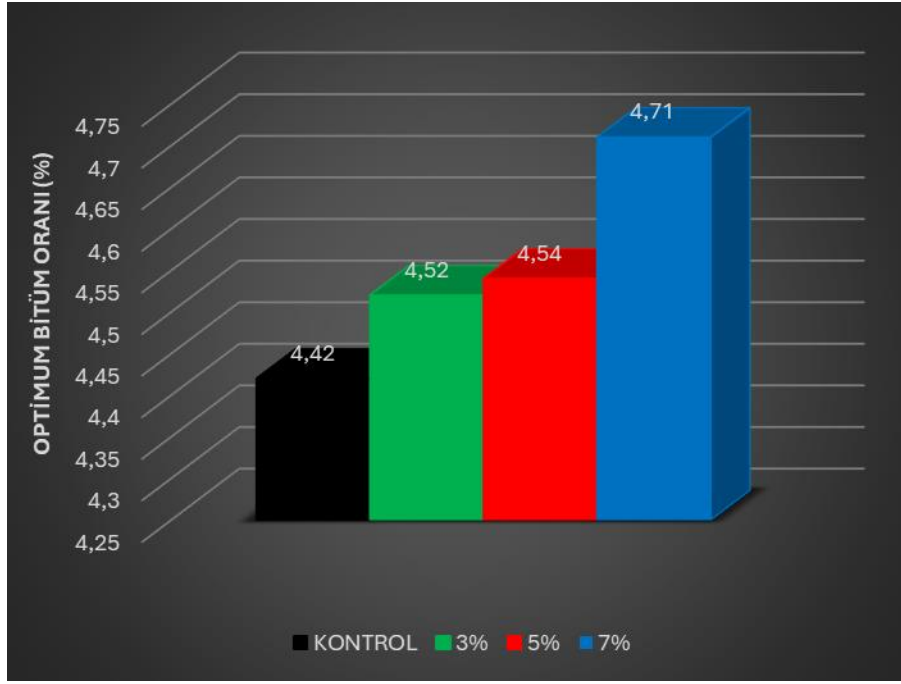
Marshall Tasarımı, birçok ülkede optimum bitüm oranının (OBO) belirlenmesinde kullanılan yaygın bir yöntemdir (Asphalt Institute, 2014). Bu çalışmada, bitüm oranları %3.5 ile %6.5 arasında olacak şekilde ve her seferinde %0.5 artırırlarak numuneler hazırlanmıştır. Her oran için üç numune üretilmiş ve böylece bir seri içerisinde toplam 21 numune elde edilmiştir. Deney programı kapsamında, kontrol numunesi ve üç farklı balık pulu atığı oranı dikkate alınarak toplam 84 adet numune dökülmüştür. Her bir numune, 1150 gram agregata içeriğiyle hazırlanmış ve agregalarla bitüm 160 °C sıcaklıkta homojen olarak karıştırılmıştır. Kalıplara alınan numunelere, her iki yüzeyden 75'er darbe uygulanmıştır. Kalıptan çıkarılan numunelerin yükseklik ölçümleri yapıldıktan sonra yoğunluk değerleri belirlenmiştir. Ardından, Marshall kırma cihazında her numuneye 50.8 mm/dak hızında yük uygulanarak dayanım ve akma (F) değerleri ölçülmüştür. Standart numune yüksekliği olan 63.5 mm dikkate alınarak, sonuçlara uygun düzeltme katsayıları uygulanmıştır. Her numune için Pratik Özgül Ağırlık (PÖA), Boşluk Oranı (BO), Marshall Dayanımı (MS) ve Bitümle Dolu Boşluk Oranı (BDBO) hesaplanmıştır. Elde edilen bu değerler, optimum bitüm oranının belirlenmesinde kullanılmıştır. Sonuçların değerlendirilmesinde, Karayolları Teknik Şartnamesi (KTŞ) esas alınarak grafikler çizilmiş ve bu grafikler üzerinden OBO değeri belirlenmiştir (Tablo 5)

Tablo 5. Marshall Tasarım Kriterleri (KTŞ 2013)

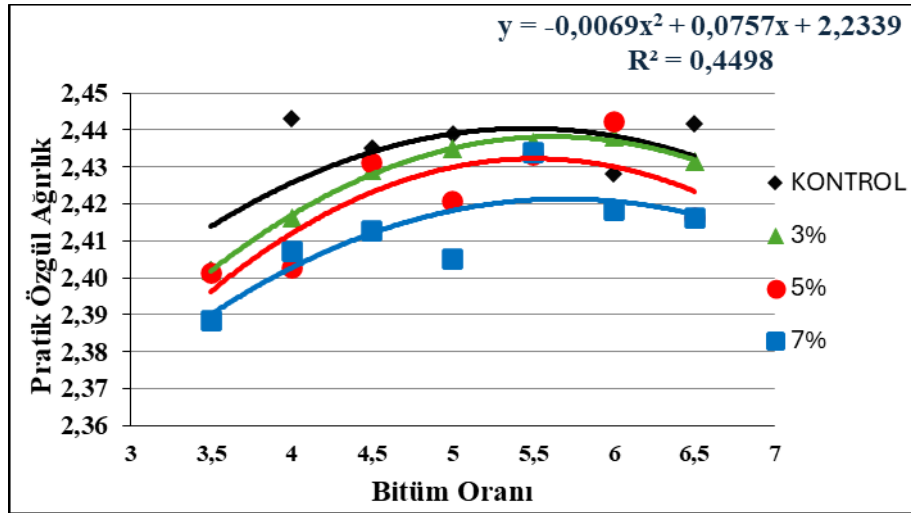
Deney Adı	Bitüm Oranı (%)	
	Binder	Aşınma
Kaplama türü	Max.	Max.
Pratik özgül ağırlık(gr/cm ³)	Max.	Max.
Marshall Dayanımı(kg)	Min. 750	Min. 900
Boşluk oranı(%)	4-6	3-5
Bitümle dolu boşluk oranı(%)	60-75	65-75
Agregalar arası boşluk oranı(VMA)(%)	Min. 13	Min. 14
Akma(mm)	2-4	2-4

DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Her bir numune grubu için optimum bitüm oranları (OBO) tespit edilerek, elde edilen bu sonuçlar Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



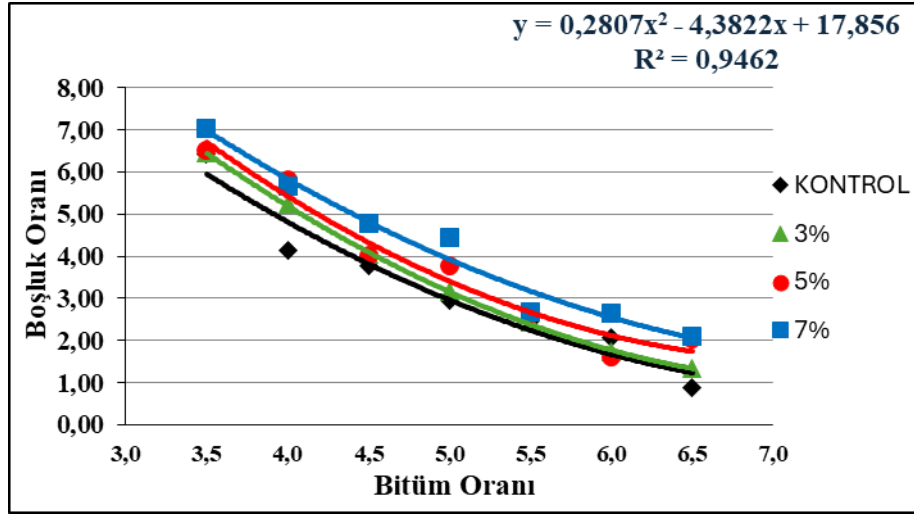
Şekil 3. OBO - Katkı oranı



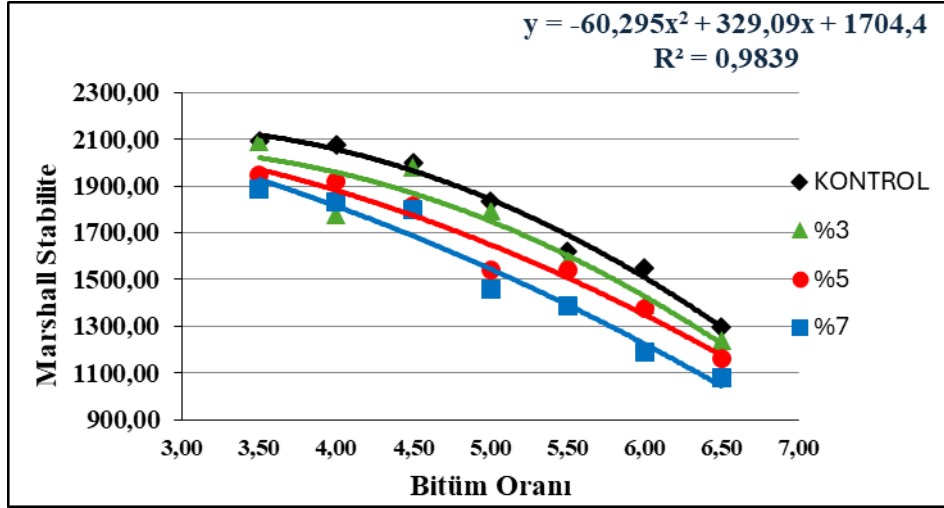
Şekil 4. Bitüm oranı – Pratik özgül ağırlık karşılaştırma grafiği

Bu grafik incelendiğinde, balık pullarının asfalt beton numunelerinin pratik özgül ağırlığını azalttığı gözlemlenmiştir. Kontrol numunesiyle karşılaştırıldığında, katkı maddesi oranı arttıkça pratik özgül ağırlıklarda belirgin düşüşler meydana gelmiştir. (Şekil 4)

Bu durumun temel nedeni, balık pulunun kendi yapısından kaynaklanmaktadır. Kullanılan balık pulu atığı miktarının artmasıyla, asfalt betonu içerisindeki boşluk oranının da yükseldiği tespit edilmiştir. (Şekil 5)

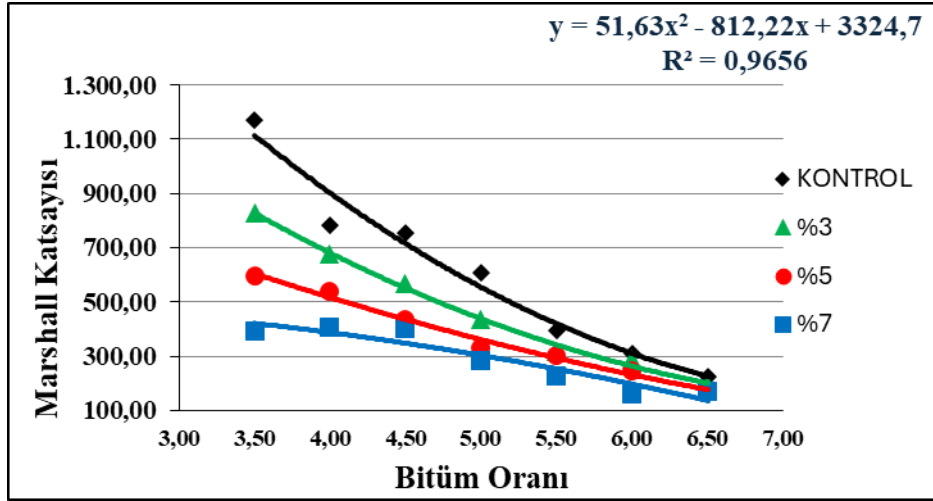


Şekil 5. Bitüm oranı – Boşluk oranı (V) karşılaştırma grafiği



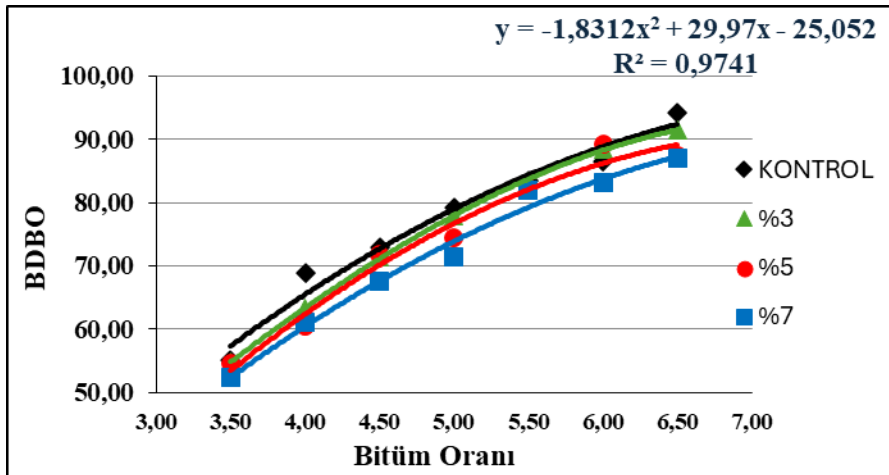
Şekil 6. Bitüm oranı – Marshall Stabilite (MS) karşılaştırma grafiği

Şekil 6'daki grafik, artan bitüm oranı ve balık pulu katkısının Marshall dayanımını düşürdüğünü açıkça göstermektedir. Başlangıçta balık pulunun sertliği ve esnekliğinden faydalanarak hem çevresel atığı değerlendirme hem de asfalt betonunun performansını artırma hedefi varken, elde edilen sonuçlar balık pulunun bu bağlamda olumsuz bir etki yarattığını ortaya koymuştur. Bu dayanım düşüşünün temel nedenleri, karışımın içindeki boşluk oranının artması ve balık pullarının agrega taneleri arasındaki kenetlenmeyi ve bitümün agregaya yapışmasını (aderansını) engelleyerek tanelerin birbirleri üzerinde kaymasına yol açmış olmasıyla açıklanabilir.



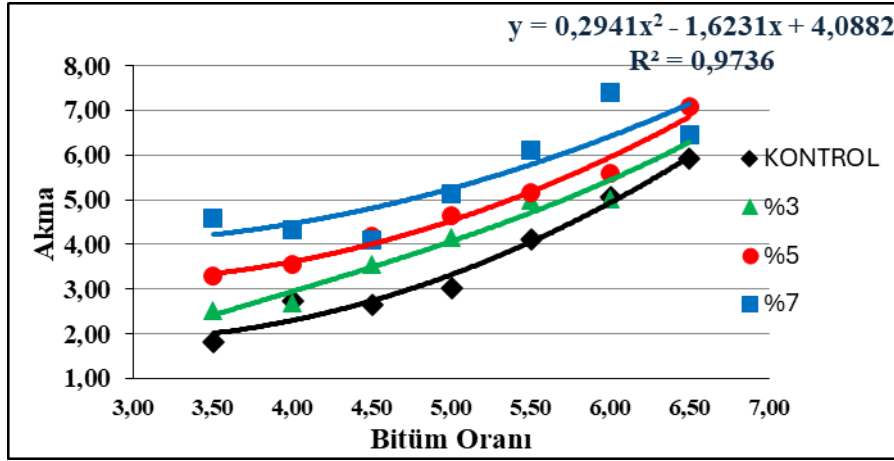
Şekil 7. Bitüm oranı –Marshall katsayısı karşılaştırma grafiği

Şekil 7'deki grafik incelendiğinde, bitüm oranı arttıkça Marshall katsayısının keskin bir düşüş eğilimi gösterdiği anlaşılmaktadır. Ayrıca, balık pulu katkı oranı arttıkça Marshall katsayısının da belirgin şekilde azaldığı grafikte açıkça görülmektedir.



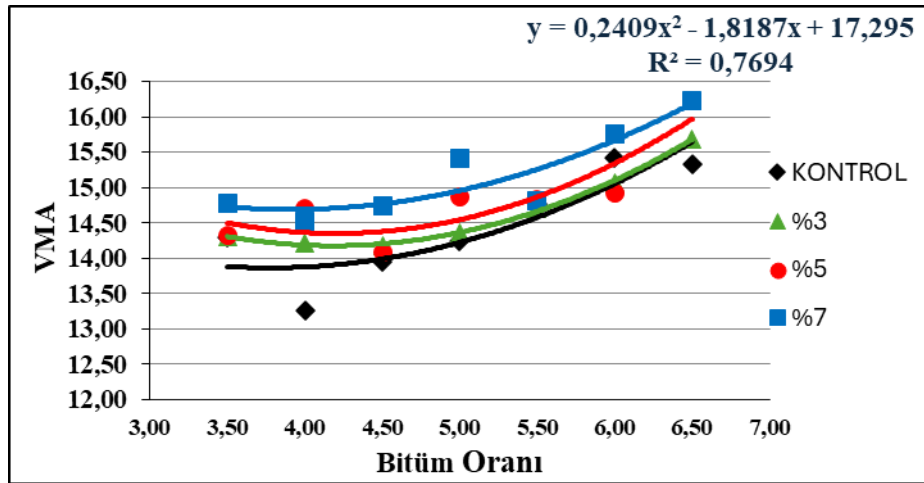
Şekil 8. Bitüm oranı – Bitümle dolu boşluk oranı karşılaştırma grafiği

Şekil 8'deki grafik, bitüm oranına bağlı olarak bitümle dolu boşluk oranındaki (BDBO) değişimi sunmaktadır. Bitümle dolu boşluk oranının bitüm oranı arttıkça artması beklenir. Kontrol numunelerine göre katkı oranı arttıkça BDBO'nun azalması beklenir.



Şekil 9. Bitüm oranı – Akma karşılaştırma grafiği

Şekil 9'daki Akma – Bitüm Oranı grafiği, hem bitüm hem de balık pulu katkı oranının akma değerlerini artırdığını gösteriyor. Artan bitümle karışım daha esnek hale gelirken, deformasyon direnci azalabilir. Balık pulu katkısı arttıkça akma değerlerinde de belirgin bir yükseliş gözlemleniyor.



Şekil 10. Bitüm oranı – VMA karşılaştırma grafiği

Şekil 10'daki VMA – Bitüm Oranı grafiği, bitüm oranı arttıkça agregalar arası boşluk oranının (VMA) da arttığını göstermektedir. VMA, sıkışmış karışımındaki agrega tanecikleri arasındaki boşluk miktarını ifade eder. Grafikte, balık pulu katkı oranı yükseldikçe VMA değerlerinin de arttığı gözlemleniyor. Bu durum, balık pulunun daha fazla boşluk oluşturduğunu ve bu boşlukların bitüm tarafından tam olarak doldurulamadığını düşündürmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yol üstyapı maliyetlerinin yüksekliği ve küresel sıfır atık hedefleri (Paris Anlaşması 2015, 2045 hedefleri), araştırmacıları sürdürülebilir ve maliyet etkin çözümler bulmaya itmektedir. Artan yol yapım maliyetleri, atıkların çevresel etkileri ve sınırlı depolama alanları gibi sorunlar, atıkların farklı sektörlerde yeniden değerlendirilmesini teşvik etmektedir. Bu çalışmada, balık işleme endüstrisinden çıkan balık pulu

atıklarını asfalt betonunda katkı maddesi olarak kullanma hedeflenmiştir. Balık pullarının doğal esnek ve dayanıklı yapısı sebebiyle, bu atıklar, asfalt betonunun mekanik özelliklerini iyileştirme potansiyeline sahip bir malzeme olarak düşünülmüştür. Başlangıçta bitüm modifikasyonu yoluyla balık pulu kullanımı denenmiştir Ancak bu yöntemle beklenen performans elde edilememiştir.. Bunun üzerine, balık pulu doğrudan asfalt karışımına %3, %5 ve %7 oranlarında eklenerek performans değerlendirilmiştir.

Deneyisel çalışmalar, balık pulu katkılı asfalt beton numunelerinin, kontrol numunelerine kıyasla genel olarak daha düşük performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Buna rağmen, balık pulu içeren karışımların Karayolları Teknik Şartnamesi (KTŞ) standartlarına göre hala yeterli değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, balık pulu gibi organik endüstriyel atıkların asfalt beton üretiminde %3 oranında kullanılması, hem atık yönetimi açısından çevresel fayda sağlamış hem de sürdürülebilir yapı malzemelerinin geliştirilmesine katkıda bulunmuştur.

Bu çalışma, atıkların değerlendirilmesine yönelik yeni yaklaşımlar için önemli bir referans niteliğindedir. Ayrıca, elde edilen bulgular, gelecekte benzer atıkların asfalt betonunda kullanımıyla ilgili araştırmalar için de sağlam bir temel oluşturacaktır.

KAYNAKÇA

- Al-Ali, F. S. (2016). Geri kazanılmış asfalt betonu malzemesinin aşınma tabakasında kullanılabilirliğinin araştırılması. (Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Arola, D., Murcia, S., Stossel, M., Pahuja, R., Linley, T., Devaraj, A., Ramulu, M., Ossa, E. A. ve Wang, J. (2018). The limiting layer of fish scales: Structure and properties. *Acta Biomaterialia*, 67, 319-330.
- Asphalt Institute. (2014). MS-2 Asphalt Mix Design Methods (7. Baskı).
- Ayçiçek, S. (2011). Esnek üstyapılarda imalat ve uygulama kusurları. (Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi).
- Ceylan, S. (2006). Bitümlü sıcak karışımlarda filler olarak karboniferous-triassic kayaç tozlarının kullanılması ve etkisi. (Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Çetin, M., İnan, M. ve Yücel, M. (2011). Beton ve bitümlü sıcak karışım kaplamaların yaşam döngüsü maliyet analizi. *İnşaat Mühendisliği Dergisi*, 43(2), 95-104.
- Düzağaç, S. (2019). Elektriksel iletken taş mastik asfalt karışımlarda gradasyonun iletkenlik üzerine olan etkisinin araştırılması. (Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon).
- Ektaş, S. (2011). Beton atıklarının asfalt betonu üzerindeki etkisinin incelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Er, A. (2011). Özel öğütülmüş lastik atığı içeren asfalt betonunun performans özelliklerinin belirlenmesi. (Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Garber, N. J. ve Hoel, L. A. (2019). Traffic and highway engineering. Cengage Learning.
- Ilıcalı, M., Tayfur, S., Özen, H., Sönmez, İ. ve Eren, K. (2001). Asfalt ve Uygulamaları. İSFALT A.Ş. Teknik Yayınları.
- Jia, H., Sheng, Y., Guo, P., Underwood, S., Chen, H., Kim, Y. R., Li, Y. ve Ma, Q. (2023). Effect of synthetic fibers on the mechanical performance of asphalt mixture: A review. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 10(3), 331-348.
- Kara, Ç. ve Karacasu, M. (2017). Investigation of waste ceramic tile additive in hot mix asphalt using fuzzy logic approach. *Construction and Building Materials*, 141, 598-607.
- Karabel, Ü. B. (2017). Atık döküm kumunun bitümlü sıcak karışımlarda kullanılması. (Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Karacasu, M. ve Bilgiç, Ş. (2020). Karayolu Mühendisliği Ders Notları.
- Ma, Y., Zhou, H., Jiang, X., Polaczyk, P., Xiao, R., Zhang, M. ve Huang, B. (2021). The utilization of waste plastics in asphalt pavements: A review. *Cleaner Materials*, 2, 100031.
- Navruz, H. Ö., Çömez, Ş., Mert, A. ve Komut, M. (2021). Toprak ve stabilizasyon laboratuvar el kitabı. T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü.
- Öztürk, T. ve Komut, M. (2021). Bitümlü Sıcak Karışım Kaplamalar Çatlak Kapama Rehberi. Ankara: Karayolları Genel Müdürlüğü, Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü.
- Qin, D., Bi, S., You, X., Wang, M., Cong, X., Yuan, C., Yu, M., Cheng, X. ve Chen, X.-G. (2022). Development and application of fish scale wastes as versatile natural biomaterials. *Chemical Engineering Journal*, 428, 131102.

- Ramos, A. (2025). Integrating waste thermal conversion and lifecycle analysis for sustainable energy production: Reflecting upon environmental and economic impacts. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 78, 104342.
- Ramos, A. ve Rouboa, A. (2020). Renewable energy from solid waste: life cycle analysis and social welfare. *Environmental Impact Assessment Review*, 85, 106469.
- Umar, F. ve Açar, E. (1991). Yol Üstyapısı. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası.
- Yayla, N. (2002). Karayolu Mühendisliği. İstanbul: Birsen Yayınevi.