

Portakal kabuğu katkılı asfalt bağlayıcıların fiziksel, yaşlanma ve işlenebilirlik özelliklerinin belirlenmesi

Determination of physical, aging and workability properties of asphalt binders with orange peel additives

Ceren Beyza İNCE* 

Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 44900, Malatya

• Geliş tarihi / Received: 25.03.2025

• Kabul tarihi / Accepted: 04.07.2025

Öz

Çalışmada, bir biyokütle kaynağı ve evsel bir atık olan portakal kabuklarının asfaltın fiziksel, yaşlanma ve işlenebilirlik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bunun için, B 50/70 asfaltına ağırlıkça %13, %15, %17 ve %19 oranlarında öğütülmüş portakal kabukları ilave edilerek modifiye asfaltlar hazırlanmıştır. Bu asfaltların fiziksel özellikleri yumuşama noktası, duktilite ve penetrasyon testleri ile, kısa dönem yaşlanması dönel ince film etüvü (RTFO) testi ile, işlenebilirlik özellikleri ise dönel viskozimetre (RV) testi ile belirlenmiştir. Ek olarak, portakal kabuğu katkılı asfaltların sıcaklığa karşı hassasiyetlerini belirleyebilmek için ise penetrasyon indeksi (PI) değerleri hesaplanmıştır. Yapılan tüm testler sonucunda, portakal kabukları ilavesiyle (%19 oranında) asfalt bağlayıcıların sertliğinin ve yüksek sıcaklık ve oksidasyona karşı direncinin saf asfalta göre artış gösterdiği görülmüştür. İlave olarak, uzama kabiliyetinin ise kısmen azaldığı görülmüştür. Sonuçta, bir enerji kaynağı ve atık malzeme olan portakal kabuklarının asfalt bağlayıcıların fiziksel, yaşlanma ve işlenebilirlik özellikleri üzerinde olumlu etkileri olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Asfalt, Biyokütle, Fiziksel özellik, İşlenebilirlik, Modifiye asfalt, Portakal kabuğu

Abstract

In the study, the effect of orange peels, a biomass source and a domestic waste, on the physical, aging, and workability properties of asphalt was investigated. For this purpose, modified asphalts were prepared by adding 13%, 15%, 17% and 19% ground orange peels to B 50/70 asphalt by weight. The physical properties of these asphalts were determined by softening point, ductility, and penetration tests, short-term aging by the rolling thin film oven (RTFO) test and workability properties by the rotational viscometer (RV) test. In addition, penetration index (PI) values were calculated to determine the sensitivity of orange peel-added asphalts to temperature. As a result of all the tests performed, it was observed that the hardness of asphalt binders and their resistance to high temperatures and oxidation increased with the addition of orange peels (at a rate of 19%) compared to pure asphalt. As a result, it was observed that orange peels, an energy source and waste material, have positive effects on the physical, aging and workability properties of asphalt binders.

Keywords: Asphalt, Biomass, Physical property, Workability, Modified asphalt, Orange peel

1. Giriş

1.1. Introduction

Biyokütle, organik maddelerden oluşan, bitki, hayvan ve çeşitli mikroorganizmalar gibi canlı organizmaların materyallerinden oluşan bir enerji kaynağıdır. Orman, tarım, gıda, evsel ve hayvansal atıklar birer biyokütle kaynaklarıdır (Kaplukan, 2014; Şenol vd., 2017). Biyokütle kaynakları genellikle enerji üretiminde kullanılarak değerlendirilse de kısmen çeşitli endüstriyel ürünlerin imalatında ve gübre yapımında da kullanılarak değerlendirilmeye çalışılmaktadır (Enerji, 2024).

Günümüzde en çok yakılarak değerlendirilmeye çalışılan biyokütle kaynakları yakma işlemi sonrasında atmosfere salmış olduğu çeşitli zararlı gazlar ve yakım sonrası oluşan küllerin toprağa yada suya karışması sonucunda ekolojik dengeyi altüst etmektedir. Küllerin toprağa karışması bitkilerin ve mikroorganizmaların,

*Ceren Beyza İNCE; ceren.ince@ozal.edu.tr

suya karışması ise insanların ve suda yaşayan hayvanların yaşamını önemli derecede olumsuz olarak etkilemektedir. Bu sebeple araştırmacılar genellikle biyokütle kaynaklarını çeşitli kimyasal metotlar kullanarak (sıvılaştırma (piroliz), Transesterifikasyon vb.) çevreye ve doğaya en az zarar verebilecek şekilde değerlendirmeye çalışmaktadır. Ancak, bu metotlarında kısmen maliyetli olması ve enerji tüketimine de yol açması sebebiyle günümüzde çeşitli farklı alternatif çözümlerle (atıkların doğrudan kullanılması gibi) biyokütle kaynakları değerlendirilmeye çalışılmaktadır (Şenol vd., 2017; Adeleke vd., 2024; Enerji, 2024).

Bu çalışmada, bir biyokütle esaslı evsel bir atık olan portakal kabuklarının karayolu mühendisliğinde asfalt bağlayıcı modifikasyonunda bir katkı malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Portakal, “turunçgiller” ailesinde yer alan ve dünyada üretimi ve tüketimi en çok olan meyvedir. Dünya üzerinde özellikle Çin, Hindistan ve Asya’nın güneydoğusunda yetiştirilmektedir. Özellikle 19.yy’dan itibaren hızlı bir gelişim göstererek üretim alanını hızla arttırmakta olan portakal, semitropik ve tropik bölgelerde yetiştirilebilen bir meyvedir. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) 2019 yılı raporuna göre portakal üretiminde dünyada ilk sırada Brezilya (%31.8) yer alırken, %15.4 ile ikinci sırada Çin, %12.3 ile üçüncü sırada AB ülkeleri ve ardından bu ülkeleri Amerika Birleşik Devletleri ve Meksika izlemektedir. Türkiye ise bu sıralamada yedinci sırada yer almakta olup yıllık 1.8 milyon ton portakal üretimi yapmaktadır (Uzun, 2015; Atlı & Sahin, 2021; Pekin Ticaret Müşavirliği, 2024).

Ülkemizde portakalın üretildiği yerlere bakıldığında başta Ege ve Akdeniz kıyılarının olduğu görülmektedir. Bu üretimin %83’ü Akdeniz bölgesinden sağlanırken Ege bölgesinden %17’si sağlanmaktadır. Antalya, Adana, Mersin, Osmaniye ve Hatay üretimin en çok sağlandığı şehirlerdir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2019 yılı verilerine göre, ülkemizde meyve veren ağaç sayısı 12.985.000, meyve vermeyen ağaç sayısı ise 866.000 olmak üzere toplamda portakal ağacı sayısı 13.851.000 olarak hesaplanmıştır. Yine aynı yılın raporunda portakal üretiminin 1.700.000 ton olduğu belirtilmiştir (Atlı & Sahin, 2021).

Üretimin bu kadar büyük oranlarda olmasına karşın bir portakal meyvesinin yaklaşık %45’i kadarını portakalın kabukları (atıkları) oluşturmaktadır ve raporlarda yıllık portakal kabuğu atığı üretiminin 32 milyon ton olduğu belirtilmektedir (İşyaran, n.d.; Michael-Igolima vd., 2023). Yapılan araştırmalar incelendiğinde bu kabukların genellikle ilaç (şurup vb.) (Anonim, n.d.), besin (aroma vermesi için pasta sektöründe kullanımı vb.) üretiminde (Erdoğan, 2023) ve biyo esaslı ürünlerin üretiminde (Fazzino vd., 2022; Mohsin vd., 2022) değerlendirilebildiği gibi aynı zamanda bu kabuklardan çeşitli esansiyel yağların da (Giwa vd., 2018; Hilali vd., 2019) üretilebildiği görülmüştür. Tüm bunların yanında portakal kabuklarının çevre mühendisliğinde biyosorbent olarak (Özkan vd., 2018), kimya bölümünde sulu çözeltilerde iyon olarak uzaklaştırmada (Canpolat vd., 2022) ve adsorbent (Meng vd., 2017) üretiminde kullanıldığı görülmektedir. Portakal kabuklarının inşaat mühendisliğinde kullanıldığı çalışmalara bakıldığında ise, kabukların polimer takviye malzeme olarak kullanıldığı (Ajibade vd., 2024), betonda ilave katkı olarak kullanılabildiği (Kilani vd., 2022) , çimento yerine kullanılabileceği (Olubajo vd., 2019) dolgu drenajında kullanılabileceği (Andiloro vd., 2021) ve yalıtım malzemesi olarak değerlendirilebileceği (Raciti vd., 2019) çeşitli çalışmalarda belirtilmiştir. Yapılan kapsamlı literatür çalışmasında asfalt modifikasyonunda portakal kabuğunun kullanılabilirliğine ilişkin veriye rastlanmamıştır.

Karayolu mühendisliğinde, klasik asfalt kullanılarak inşa edilen yol kaplamaları çeşitli tasarım ve işçilik hataları, bölge iklim şartlarının (sıcaklık ve yağış) yeterince göz önüne alınmaması ve diğer etmenler sebebiyle zaman içerisinde proje süresinden çok daha önce deforme olarak performansını kaybetmektedir. Bu sebeple yol mühendisleri uzun yıllardır asfalt ya da karışım (asfalt+agrega) içerisine çeşitli atık malzemeleri ilave ederek tekerlek izi, çatlaklar, sökülmeler ve ayrışmaları geciktirmeye veya kısmen ortadan kaldırarak kaplamanın performansını arttırmaya çalışmaktadır (M.-X. Zhang vd., 2024; Sienkiewicz vd., 2024; L. Zhang vd., 2025).

Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında çoğunlukla atık malzeme olarak PET şişe (Jexembayeva vd., 2024), taşıma poşetleri (Javadi vd., 2024), tarımsal atıklar (ayçiçeği, zeytin, pamuk vb.) (Arabani vd., 2024; Zhao vd., 2024; Ogbon vd., 2025), ormansal atıklar (odun, talaş vb.) (Shirzad & Zouzias, 2024; Sukhija vd., 2024), evsel atıklar (çöp, kanalizasyon vb.) (İnce, 2023; Ahmed vd., 2024) ve endüstriyel atıkların (uçucu kül, yüksek fırın cürufu vb.) (H. Zhang vd., 2024; Jasim & Joni, 2024) kullanıldığı ve böylece kaplamadaki deformasyonların en aza indirildiği ve kaplama performansının artırılmaya çalışıldığı görülmektedir.

Bu çalışmada ise, daha önce herhangi bir çalışmada kullanılmamış, bir biyokütle kaynağı ve atık bir malzeme olan portakal kabuklarının karayolu mühendisliğinde bir katkı malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, önce portakal kabuğunun saf bağlayıcı içerisine ekleneceği oranlar tespit edilmiş (%13, %15, %17 ve %19) ve ardından modifiye bağlayıcılar hazırlanarak tüm asfaltlar yumuşama noktası, duktilite ve penetrasyon gibi fiziksel testlere, ardından plentte karıştırma ve yolda sıkıştırma esnasında bağlayıcı bünyesinde meydana gelen uçucu madde kaybını tayin etmek için asfaltlar dönel ince film etüvü (RTFO) testine maruz bırakılmıştır. Ek olarak, tüm asfaltların viskozite değerleri belirlenerek bağlayıcılara ait ortalama karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları tespit edilmiştir.

2. Malzemeler ve yöntem

2. Materials and method

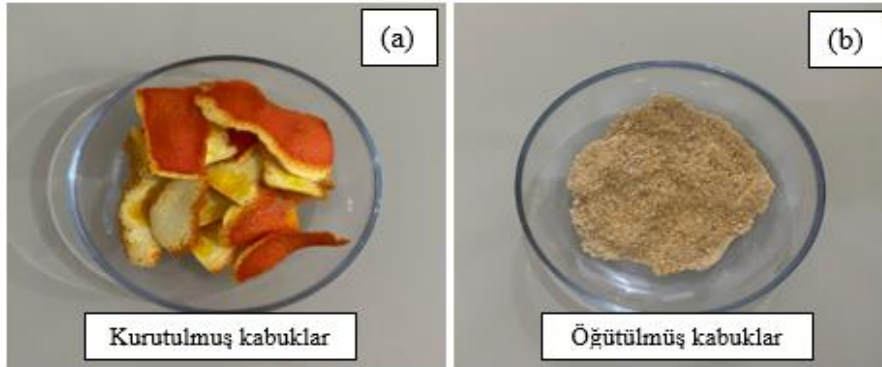
Bağlayıcı olarak bu çalışmada B50/70 saf asfalt, katkı malzemesi olarak ise portakal kabukları kullanılmıştır. B 50/70 asfalta ait özellikler Tablo 1’de verilmiştir. Saf asfalt, Mersin Karayolları Bölge Müdürlüğüne ait bir asfalt şantiyesinden temin edilmiştir.

Tablo 1. B50/70 asfaltına ait özellikler.

Table 1. Properties of B50/70 asphalt.

Özellik	Standart	Sonuç
Penetrasyon (0.1 mm)	ASTM D5	62
Yumuşama noktası (°C)	ASTM D36	49
Parlama noktası (°C)	ASTM D92	322
Duktilite (cm)	ASTM D113	151
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	ASTM D70	1.021

Katkı olarak kullanılan kabuklar, meyvesi tüketilmiş atıl durumdaki portakal kabuklarının etüvde kurutulup bir öğütme makinesi yardımıyla öğütülmesi ve ardından elenmesiyle elde edilmiştir. Portakal kabuklarının öğütülmeden önce ve 75 µm’ye öğütüldükten sonraki görseli Şekil 1’de, kabuğun içeriğindeki bileşenler ise çeşitli kimyasal testlerle belirlenerek Tablo 2’de verilmiştir.



Şekil 1. Kurutulmuş (a) ve öğütülmüş (b) portakal kabukları.

Figure 1. Dried and ground orange peels.

Tablo 2. Portakal kabuğuna ait bileşenler.

Table 2. Components of orange peel.

Bileşen	Değer (%)
Selüloz	18.50
Hemiselüloz	15.40
Lignin	8.35
Pektin	19.24
Yağ	4.10

Gerçekleştirilen bu çalışmada, B 50/70 saf asfaltı ilk olarak yaklaşık 155 °C sıcaklıkta ısıtılarak akışkan hale getirilmiştir. Ardından bu akışkan bağlayıcı içerisine, saf asfalt ağırlığının %13, %15, %17 ve %19'u kadar portakal kabukları eklenerek aynı sıcaklıkta 60 dakika boyunca 1700 rpm hızında alttan ısıtmalı bir karıştırma cihazıyla karıştırma işlemi yapılmıştır.

Çalışmada seçilen oranlar ve sıcaklık laboratuvar ortamındaki denemeler neticesinde belirlenmiştir. Ayrıca, karıştırma süresi ve hızı elde edilen karışımın homojenlik durumuna göre gözlemlenerek tespit edilmiştir. Hazırlanan her karışım ayrı ayrı kaplar içerisine konularak kodlanmıştır. Çalışma boyunca, saf ve portakal kabuğu katkılı asfaltlar Tablo 3'deki gibi kodlanmıştır.

Tablo 3. Asfaltların adlandırılması.

Table 3. Nomenclature of asphalts.

Özellik	Kodlama
B 50/70 asfalt + %0 portakal kabuğu	S
B 50/70 asfalt + %13 portakal kabuğu	13P
B 50/70 asfalt + %15 portakal kabuğu	15P
B 50/70 asfalt + %17 portakal kabuğu	17P
B 50/70 asfalt + %19 portakal kabuğu	19P

3. Test prosedürü

3. Testing procedure

Çalışmada, portakal kabuğu katkılı asfalt bağlayıcıların fiziksel özelliklerini tespit edebilmek için saf ve portakal kabuğu katkılı asfaltlar yumuşama noktası, düktilite ve penetrasyon testlerine tabi tutulmuştur. Ayrıca, bağlayıcıların yüksek sıcaklık altındaki kısa dönem yaşlanmasını simüle eden dönel ince film etüvü (RTFO) testi de tüm asfaltlar üzerinde uygulanmıştır. Ek olarak, tüm asfaltların ısıya karşı duyarlılıklarının ölçüsü olarak bilinen penetrasyon indeksi (PI) değerleri de fiziksel test sonuçları (penetrasyon ve yumuşama noktası) kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca, asfaltların plentte karıştırma ve yolda sıkıştırma esnasındaki karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları dönel viskozimetre testi ile belirlenmiştir.

3.1. Fiziksel testler

3.1. Physical tests

Portakal kabuğu katkılı asfalt bağlayıcıların yüksek sıcaklıklarda yumuşamaya başladığı andaki sıcaklık değerini tespit edebilmek için asfaltlar ASTM D36 standardı esas alınarak yumuşama noktası deneyine tabi tutulmuştur. Ardından, bağlayıcıların sertliği/kıvamı üzerinde portakal kabuğunun etkisini tespit edebilmek için asfaltlar ASTM D5 standardına göre penetrasyon deneyine maruz bırakılmıştır. Katkı ilavesi sonrası bağlayıcıların uzama kabiliyeti hakkında fikir sahibi olabilmek için asfaltlar ASTM D113'e göre düktilite deneyine tabi tutulmuşlardır (İnce, 2023).

Fiziksel özelliklerin tespitinden sonra, portakal kabuğu katkılı asfaltların ısıya karşı duyarlılıklarını belirleyebilmek için yumuşama noktası ve penetrasyon test sonuçları kullanılarak penetrasyon indeksi (PI) değerleri hesaplanmıştır. PI, denklem (1) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$PI = [(1952 - 500 \times \log(\text{Pen}_{25}) - 20 \times \text{SP})] / [(50 \times \log(\text{Pen}_{25}) - \text{SP} - 120)] \quad (1)$$

Denklemde yer alan “Pen₂₅” asfaltların oda sıcaklığındaki penetrasyon değerini, “SP” ise asfalta ait yumuşama değerini ifade etmektedir (Mirhosseini vd., 2016).

Bağlayıcılara uygulanan penetrasyon ve yumuşama noktası test cihazları Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Penetrasyon (a) ve yumuşama noktası (b) cihazları.
Figure 2. Penetration (a) and softening point (b) devices.

3.2. Yaşlanma testi

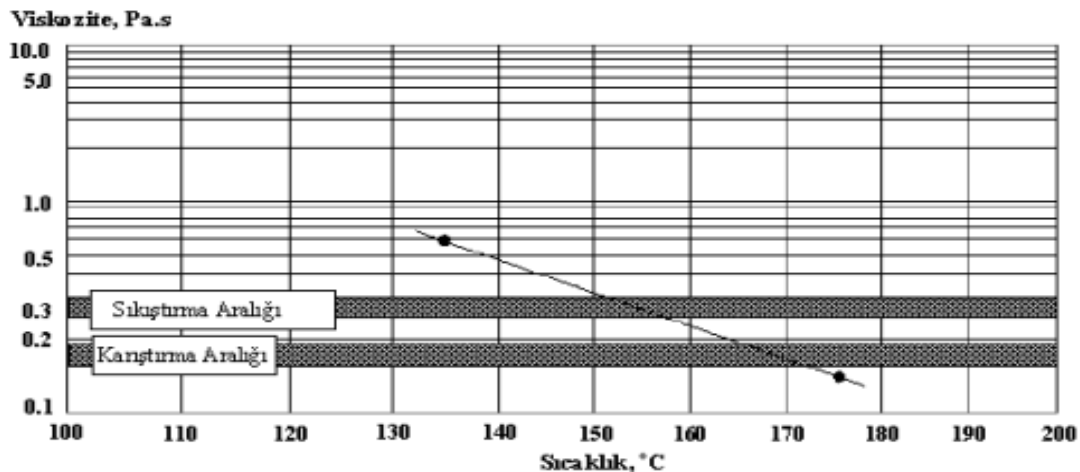
3.2. Aging test

Asfalt bağlayıcıların plentte karıştırma ve yolda sıkıştırma meydana gelen ve kısa dönem yaşlanma olarak ifade edilen dönel ince film etüvü (RTFO) testi tüm bağlayıcılar üzerinde ASTM D2872 standardına göre uygulanmıştır. Testte yaklaşık 35 gr ağırlığındaki asfalt bağlayıcılar özel şişeler içerisine konularak 163 °C sıcaklıkta yaklaşık 80 dk boyunca bağlayıcılara 4000±200 ml/dakika seviyesinde kalacak şekilde hava püskürtülmüştür. Böylece, asfaltların hem belirli bir basınç hem de belirli bir sıcaklık altında yaşlanması sağlanmaktadır (Geçkil vd., 2021; İnce, 2023).

3.3. Dönel viskozite testi

3.3. Rotational viscosity test

Bağlayıcıların, plentte karıştırma ve yolda sıkıştırma esnasındaki gereken işlenebilirlik sıcaklıklarını belirleyebilmek için tüm asfaltlar dönel viskozimetre testine tabi tutulmaktadır. Test, ASTM D4402 standardına göre yapılmaktadır ve testte bağlayıcıların 135°C ve 165°C sıcaklıklardaki viskozite değerleri belirlenerek viskozite-sıcaklık grafikleri (Şekil 3) çizilmektedir. Elde edilen bu grafik yardımı ile bağlayıcıların 170±20 cP ve 280±30 cP viskozite sınırlarına karşılık gelen sıcaklık aralıkları kullanılarak karıştırma ve sıkıştırma sıcaklık aralıkları belirlenmektedir. Asfalt Enstitüsü, 135°C sıcaklıktaki viskozite değerinin 3000 cP'yi geçmemesi gerektiğini belirtmektedir (Geçkil vd., 2021; İnce, 2023).



Şekil 3. Örnek viskozite-sıcaklık grafiği.
Figure 3. Sample viscosity-temperature graph.

4. Bulgular

4. Findings

4.1. Fiziksel ve yaşlanma testi bulguları

4.1. Physical and aging test findings

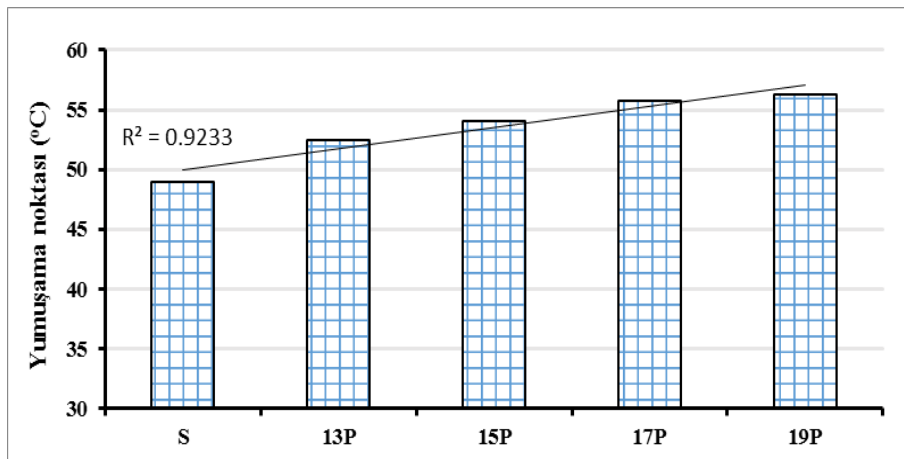
Çalışmada, portakal kabuğu katkısının asfaltların fiziksel ve yaşlama özellikleri üzerindeki etkisini belirleyebilmek için tüm bağlayıcılar yumuşama noktası, penetrasyon ve düktilite testleri ile birlikte ayrıca RTFO testine tabi tutulmuştur. Bununla beraber, asfaltların PI değerleri de hesaplanmış ve elde edilen tüm sonuçlar Tablo 4’de gösterilmiştir.

Tablo 4. Test sonuçları.

Table 4. Test results.

Deney	S	13P	15P	17P	19P
Yumuşama noktası	49	52.5	54.0	55.75	56.25
Penetrasyon	62	54	47	40	32
PI	-0.95	-0.42	-0.40	-0.38	-0.74
Düktilite	151	148	141	137	122
Kütle kaybı	0.32	0.20	0.15	0.10	0.09

Saf ve portakal kabuğu katkılı asfaltların katkı miktarı artışına göre fiziksel testlerdeki değişimleri Şekil 4-8’de verilmiştir.



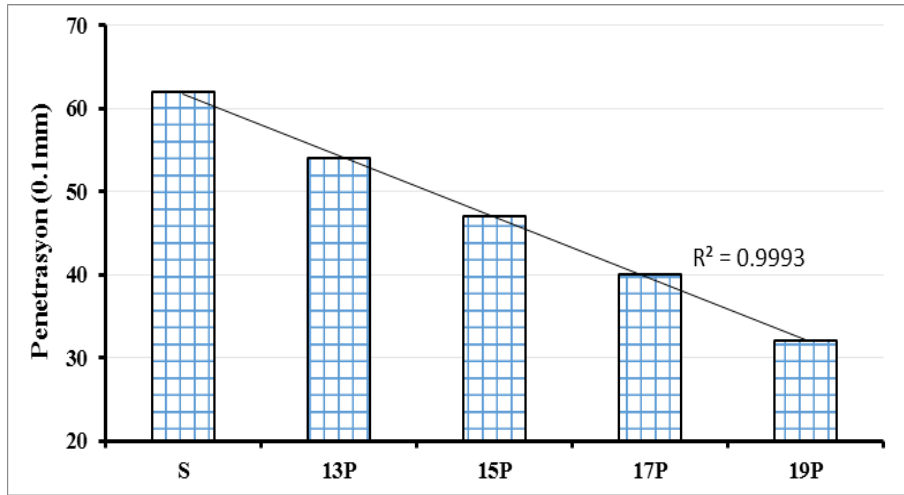
Şekil 4. Portakal kabuğu katkılı asfaltların yumuşama noktası değişimi.

Figure 4. Softening point change of asphalts with orange peel additives.

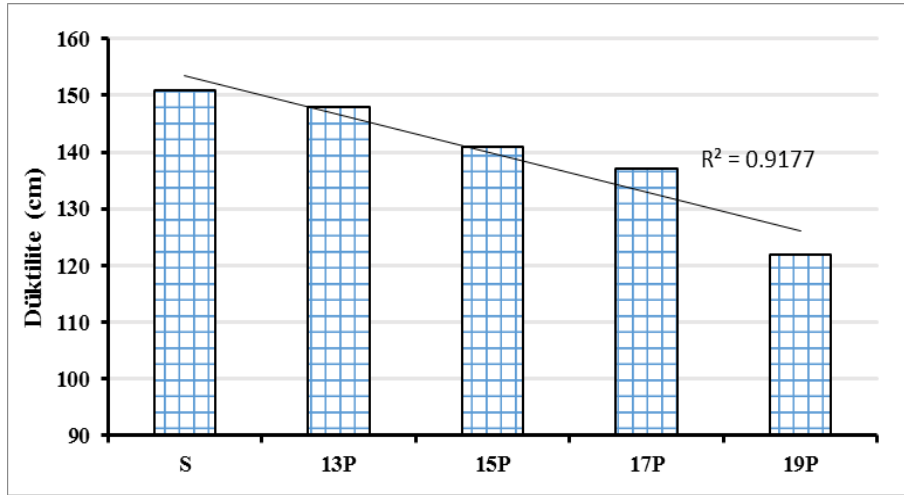
Tablo 4 ve Şekil 4’deki yumuşama noktası değerlerinde görüldüğü gibi, portakal kabuğu katkısı ile asfaltların yumuşama noktası değerlerinin katkı oranı arttıkça yükseldiği görülmektedir. Verilere göre en yüksek artış (saf asfalta göre) %14.8’lik oranla %19 portakal kabuğu içeren (19P) bağlayıcılardan elde edilmiştir.

Şekil 5’e bakıldığında, portakal kabuğu oranı artışıyla bağlayıcıların penetrasyon değerlerinin saf asfalta (S) göre genel olarak azaldığı görülmektedir. Verilere bakıldığında en fazla azalma (saf asfalta göre) %48.4 kadar 19P katkılı bağlayıcılardan elde edilmiştir. Penetrasyon değerlerindeki azalma, portakal kabuğu katkısının asfaltın sertliğini arttırdığı açıkça görülmektedir.

Her iki sonuç birlikte değerlendirildiğinde (Şekil 4 ve Şekil 5), portakal kabuğu katkısı ile asfaltların kıvamında bir sertleşme meydana geldiği ve dolayısıyla bu sertleşme sonucunda da yumuşama noktası değerlerinde artışlar olduğu görülmüştür. Bu durumda portakal kabuğu katkılı asfaltların yüksek sıcaklığa sahip bölge iklim şartlarında deformasyonlara karşı daha dirençli olabileceği ve bu bölgelerde kullanılabileceğini söylemek mümkündür.



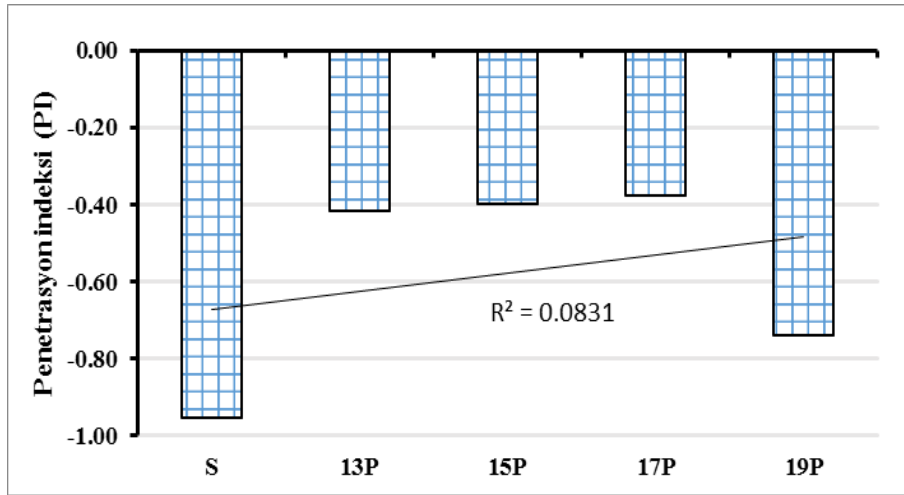
Şekil 5. Portakal kabuğu katkılı bağlayıcıların penetrasyon değişimi.
Figure 5. Penetration change of binders with orange peel additives.



Şekil 6. Portakal kabuğu ilaveli bağlayıcılara ait düktilite değişimi.
Figure 6. Ductility changes of binders with orange peel addition.

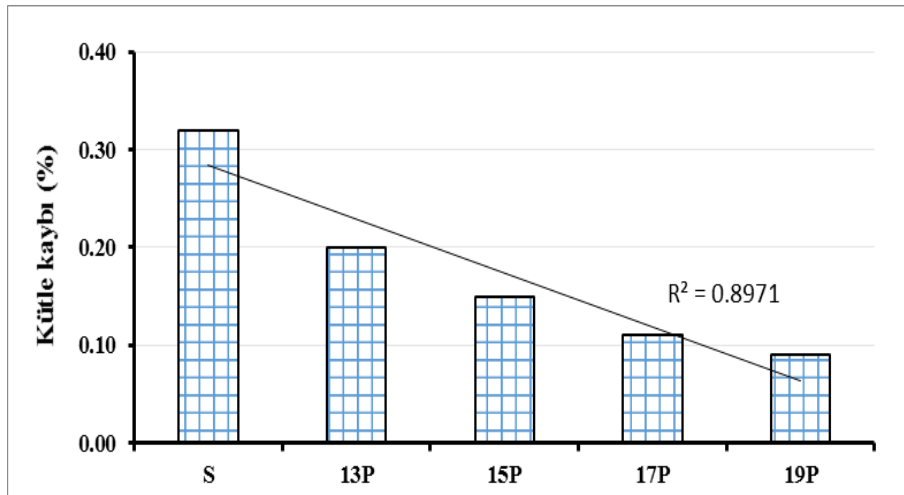
Düktilite test sonuçlarına bakıldığında (Tablo 4 ve Şekil 6), portakal kabuğu katkısı ile asfaltların düktilite değerlerinde kısmen azalmalar meydana geldiği görülmektedir. Verilere bakıldığında en fazla azalma %19.2'lik oranla 19P katkılı bağlayıcılardan elde edildiği görülmektedir. Düktilite, malzemenin uzama yeteneğini ifade etmektedir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, portakal kabuğu katkısı ile asfalt bağlayıcıların uzama yeteneğinde kısmen azalmalar meydana geldiği ancak [Karayolları Teknik Şartnamesi \(2013\)](#)'ne göre modifiye bağlayıcıların düktilite değerlerinin min. 100 şartını hala sağladığı ve bu sebeple de bu sonucun olumlu bir sonuç olarak değerlendirildiği ifade edilebilir. Ayrıca, portakal kabuğu bünyesinde bulunan selüloz ve hemiselülozik yapıların, bağlayıcı sertleşse bile uzama yeteneğinde büyük kayıplara sebep olmadığı değerlendirilmektedir.

Asfalt bağlayıcıların ısıya karşı duyarlılıklarının bir ölçüsü olan PI değerlerine bakıldığında, portakal kabuğu oranı artışıyla genel olarak saf asfalta göre bu değerlerde artışlar meydana geldiği görülmektedir. B 50/70 saf asfaltının -0.95 olan PI değeri, %17P katkısı ile birlikte -0.38'lere kadar yükselirken, 19P bağlayıcısında -0.74'lere kadar düşmektedir. PI'nın artış göstermesi, bağlayıcının sertliğinin arttığını ve ısıya karşı hassasiyetinin azaldığını ifade etmektedir. Bu durumda genel olarak, portakal kabuğu katkısının sıcaklık hassasiyetini azaltmada önemli bir etkisi olduğunu ifade etmek mümkündür.



Şekil 7. PI değişimi.

Figure 7. Changes of PI.



Şekil 8. Asfaltların kütle kaybı değişimleri.

Figure 8. Mass loss changes of asphalts.

RTFOT sonuçlarına bakıldığında, portakal kabuğu katkı oranı artışıyla kütle kayıplarında önemli oranlarda azalmalar meydana geldiği (saf asfalta göre) görülmektedir. En büyük azalma, %71.9'lık oranla 19P katkılı bağlayıcılardan elde edilmiştir. Kütle kaybındaki bu azalma, bağlayıcı bünyesinde oldukça az oranda uçucu madde kaybının meydana geldiğini ve bağlayıcının sertleştiğini göstermektedir.

4.2. RV test bulguları

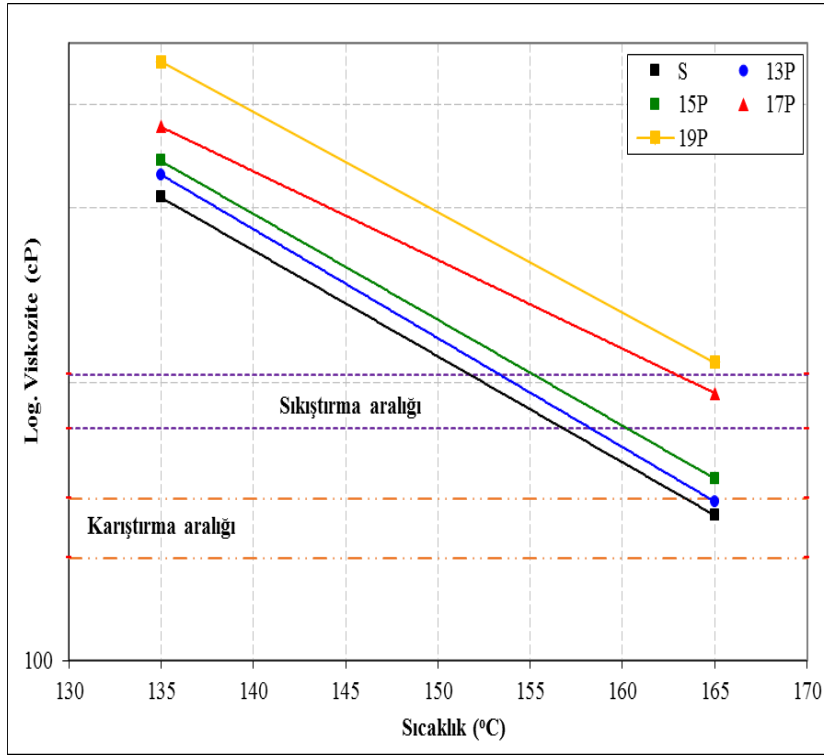
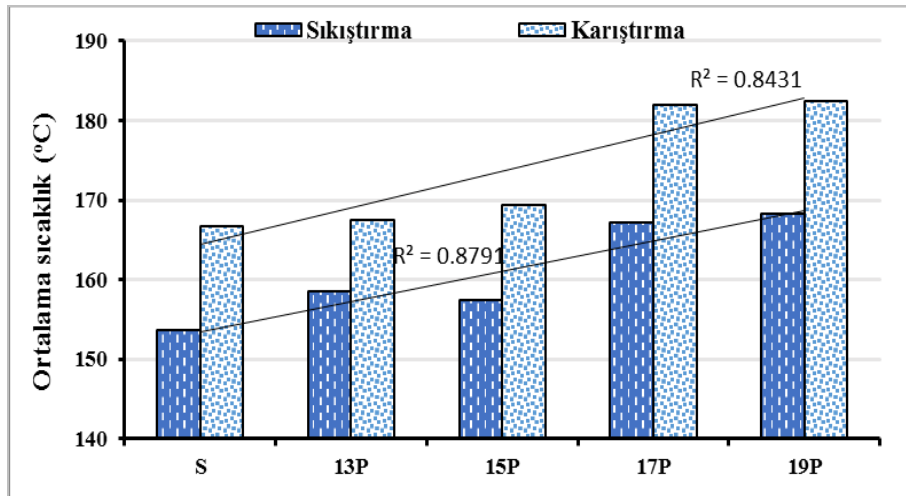
4.2. RV test findings

Saf ve portakal kabuğu katkılı asfalt bağlayıcıların ASTM D4402 standardına göre yapılmış viskozite değerleri ve ortalama işlenebilirlik sıcaklıkları Tablo 5'de, viskozite-sıcaklık grafiği Şekil 9'da, katkı oranı artışına göre ortalama işlenebilirlik sıcaklıklarındaki değişimler ise Şekil 10'da verilmiştir. Ayrıca, portakal kabuğu katkılı asfaltların viskozite değerlerinin saf asfaltın viskozite değerine bölünmesiyle "modifikasyon indeksi (η)" değerleri de elde edilmiş olup sonuçları yine Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5 ve Şekil 9 incelendiğinde, portakal kabuğu katkısıyla asfalt bağlayıcıların viskozite değerlerinin artış gösterdiği görülmektedir. Viskozite değerlerindeki artışlar 135°C sıcaklıkta saf asfalta göre (S) %9.4, %15.5, %32.1 ve %70.8 oranlarında; 165°C sıcaklıkta ise %5.6, %15.6, %62.1 ve %83.1 oranlarındadır.

Tablo 5. Viskozite test sonuçları.**Table 5.** Viscosity test results.

Deney	S	13P	15P	17P	19P
Viskozite (135°C)	623.8	682.4	720.5	824.1	1065.5
Viskozite (165°C)	177.6	187.5	205.3	287.9	325.1
η (135°C)	1.0	1.09	1.16	1.32	1.71
η (165°C)	1.0	1.06	1.16	1.62	1.83
Ortalama karıştırma sıcaklığı	166.7	167.5	169.4	181.9	182.4
Ortalama sıkıştırma sıcaklığı	153.65	158.6	157.5	167.1	168.3

**Şekil 9.** Viskozite-sıcaklık eğrileri.**Figure 9.** Viscosity-temperature curves.**Şekil 10.** Ortalama işlenebilirlik sıcaklıkları.**Figure 10.** Average workability temperatures.

Şekil 10'da ortalama işlenebilirlik sıcaklıkları değerlerine bakıldığında, S bağlayıcısına göre portakal kabuğu içeriği arttıkça asfalt bağlayıcıların karıştırma sıcaklıkları %1.0, %1.6, %9.1 ve %9.5 oranlarında; sıkıştırma sıcaklıkları ise %3.2, %2.5, % 8.8 ve % 9.5 oranlarında artış göstermiştir. İşlenebilirlik sıcaklıklarındaki en yüksek artışlar 19P katkılı asfalt bağlayıcılardan elde edilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, bağlayıcıların genel olarak portakal kabuğu katkısı ile sertleşmesi sebebiyle işlenebilirlik sıcaklıklarının da artması beklenen bir sonuç olmuştur. Ancak, işlenebilirlik sıcaklıklarının artış göstermesi, bağlayıcının hazırlanması esnasında daha fazla enerji harcanabileceğini gösterse de bu sonuç olumsuz olarak değerlendirilmemektedir. Çünkü, bir biyokütle kaynağı ve evsel bir atık olan portakal kabuklarının çevreye verdiği zarar göz önüne alındığında bu durumun göz ardı edilebileceği değerlendirilmektedir.

4. Sonuçlar

4. Conclusions

Bir biyokütle kaynağı olup evsel bir atık olan portakal kabuklarının asfalt bağlayıcıların fiziksel, yaşlanma ve işlenebilirlik özellikleri üzerindeki etkisinin araştırıldığı bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Penetrasyon sonuçlarına göre, portakal kabuğu katkısı ile asfalt bağlayıcıların sertliğinin giderek artış gösterdiği görülmüştür. Bu sonuca göre, B50/70 saf asfaltına portakal kabuğu ilave edildiğinde daha sert kıvamda asfalt elde edilebileceği görülmüştür. Bu durumda, portakal kabuğu katkılı asfaltların yüksek sıcaklık altındaki kalıcı deformasyonlara karşı oldukça dirençli olacağını söylemek mümkündür.
- Yumuşama noktası sonuçlarında, portakal kabuğu oranı arttıkça asfaltların yüksek sıcaklığa karşı daha dirençli olduğu, yani yumuşama noktası değerlerinin arttığı görülmektedir. Bununla beraber, elde edilen bu sonuçların penetrasyon sonuçları ile uyum içerisinde olduğu da görülmektedir. Bu durumda, asfalt bağlayıcıların portakal kabuğu ilavesiyle yüksek sıcaklığa sahip bölgelerde kullanılabileceği ifade edilebilir.
- Düktilite sonuçlarına göre ise, portakal kabuğu katkısı ile bağlayıcıların uzama yeteneğinde önemli değişimler meydana gelmediği görülmüştür. Bu durumda, portakal kabuğu katkısının bağlayıcıların uzama kabiliyeti üzerinde olumlu bir etkisi olduğu şeklinde değerlendirilmektedir.
- PI değerlerine bakıldığında, portakal kabuğu katkısı ile bağlayıcıların ısı duyarlılıklarının azaldığı görülmüştür. Bu durum, bağlayıcıların sertliğinin artmasıyla birlikte beklenen bir sonuç olup, yüksek sıcaklığa sahip bölgelerde portakal kabuğu katkılı asfaltların kullanılabileceğini göstermektedir.
- RTFOT sonuçlarına göre, portakal kabuğu ilavesi ile asfalt bağlayıcıların kütle kayıplarında azalmalar meydana geldiği görülmüştür.
- RV sonuçlarına bakıldığında, portakal kabuğu katkısıyla bağlayıcıların genel olarak viskozite değerleri ile ortalama karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının artış gösterdiği görülmüştür.

Çalışmanın sonucu olarak, portakal kabuğu katkısının asfalt bağlayıcıların sertliğini artırarak, kısa dönem yaşlanmaya karşı daha dirençli hale getirdiği ve işlenebilirlik sıcaklıklarını arttırdığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, karayolu mühendisliğinde portakal kabuğu malzemesinin bir katkı maddesi olarak kullanılabileceği ve böylece atık durumdaki bu malzemenin ülke ekonomisine katkı sağlayabileceği değerlendirilmektedir.

Teşekkür

Acknowledgement

Bu çalışmada, laboratuvar çalışmasında bana yardımcı olan, Mersin Karayolları Bölge Müdürlüğüne ait bir yol inşaatı şantiyesinde çalışan arkadaşım İnş. Müh. Erhan Güldoğan'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarı, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı*Conflicts of interest*

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar*References*

- Adeleke, A. A., Ikubanni, P. P., Emmanuel, S. S., Fajobi, M. O., Nwachukwu, P., Adesibikan, A. A., Odusote, J. K., Adeyemi, E. O., Abioye, O. M. & Okolie, J. A. (2024). A comprehensive review on the similarity and disparity of torrefied biomass and coal properties. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 199, 114502. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114502>
- Ahmed, A., Ali, S., Ahmed, A. & Khan, F. (2024). Investigating the impact of domestic sewage on asphalt concrete pavement strength. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 14(2), 13617–13623. <https://doi.org/10.48084/etasr.6736>
- Ajibade, O. A., Agunsoye, J. O. & Oke, S. A. (2024). Determination of critical properties of orange peel for a polymer reinforcement material. *Vietnam Journal of Science, Technology and Engineering*, 66(2), 61–68. [https://doi.org/10.31276/VJSTE.66\(2\).61-68](https://doi.org/10.31276/VJSTE.66(2).61-68)
- Andiloro, S., Calabrò, P. S., Folino, A., Zema, D. A. & Zimbone, S. M. (2021). Evaluating the pollution risk of soil due to natural drainage of orange peel: First results. *Environments*, 8(5), 43. <https://doi.org/10.3390/environments8050043>
- Anonim. (n.d.). *Portakal Kabuğunun Faydaları Nelerdir? Medical Park*. <https://www.medicalpark.com.tr/portakal-kabugu-faydaları/hg-4986>
- Arabani, M., Amiri, A. & Hassanjani, M. H. (2024). Utilizing olive pomace oil and the extrusion of SBS and PVC to enhance the physical and rheological characteristics of asphalt binder. *Case Studies in Construction Materials*, 21, e04097. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e04097>
- Atlı, H. F. & Sahin, A. (2021). Hatay ili Dörtüyl ilçesinde portakal üretim ve pazarlaması. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 8(3), 834–846. <https://doi.org/10.30910/turkjans.817187>
- Canpolat, M., Altunkaynak, Y. & Yavuz, Ö. (2022). Bakır (II) iyonlarının sulu çözeltilerden atık portakal kabuğu ile uzaklaştırılması: denge, kinetik ve termodinamik çalışmalar. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(3), 498–507. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.1101318>
- Enerji, A. (2024). *Biyokütle*. <https://www.aydemenerji.com.tr/blog/196/biyokutle-nedir/>
- Erdoğan, S. (2023). *Portakal ve nar kabuğu atıklarının bisküvi ve kek üretiminde kullanım olanakları* [Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Fazzino, F., Luque, R., Paone, E., Pedullà, A., Sidari, R. & Calabrò, P. S. (2022). Long-term preservation of orange peel waste for the production of acids and biogas. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 10(41), 13733–13741. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c03878>
- Geçkil T, İnce C.B. (2021). Atık LDPE'nin asfaltın fiziksel ve işlenebilirlik özelliklerine etkisi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(4), 1103-1114. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.931151>
- Giwa, S. O., Muhammad, M. & Giwa, A. (2018). Utilizing orange peels for essential oil production. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(1), 17–27.
- Hilali, S., Fabiano-Tixier, A.-S., Ruiz, K., Hejjaj, A., Ait Nouh, F., Idlimam, A., Bily, A., Mandi, L. & Chemat, F. (2019). Green extraction of essential oils, polyphenols, and pectins from orange peel employing solar energy: toward a zero-waste biorefinery. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 7(13), 11815–11822. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b02281>
- İnce, C. B. (2023). *Çöp atıklarından elde edilen geopolimerlerin sıcak karışım asfalt kaplamalarda kullanımının araştırılması* [Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].

- İşyaran, B. (n.d.). *Farklı Narenciye Atıklarının Fizikokimyasal Özelliklerin Belirlenmesi*. https://icerik.gidamo.org.tr/uploads/portal/resimler/ekler/4496ec79ba15994_ek.pdf
- Jasim, E. N. & Joni, H. H. (2024). Assessment of potential resistance to moisture damage and fatigue cracks of asphalt mixture modified with ground granulated blast furnace slag. *Open Engineering*, 14(1), 20220551. <https://doi.org/10.1515/eng-2022-0551>
- Javadi, N. H. S., Heydari, S. & Hajimohammadi, A. (2024). Evaluating Effectiveness of Multi-Component Waste Plastic Bags on Bitumen Properties: Physical, Rheological, and Aging. *Polymers*, 16(12), 1669. <https://doi.org/10.3390/polym16121669>
- Jexembayeva, A., Konkanov, M., Aruova, L., Kirgizbayev, A. & Zhaksylykova, L. (2024). Modifying Bitumen with Recycled PET Plastics to Enhance Its Water Resistance and Strength Characteristics. *Polymers*, 16(23), 3300. <https://doi.org/10.3390/polym16233300>
- Kapluhan, E. (2014). Enerji coğrafyası açısından bir inceleme: biyokütle enerjisinin dünyadaki ve türkiye'deki kullanım durumu. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 30. <https://doi.org/10.14781/mcd.98631>
- Karayolları Genel Müdürlüğü. (2013). *Karayolları Teknik Şartnamesi*.
- Kilani, A., Olubambi, A., Ikotun, B., Adeleke, O. & Adetayo, O. (2022). Structural performance of concrete reinforced with banana and orange peel fibers-a review. *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*, 7(4), 339–357. <https://doi.org/10.47481/jscmt.1144427>
- Meng, F., Yang, B., Wang, B., Duan, S., Chen, Z. & Ma, W. (2017). Novel dendrimerlike magnetic biosorbent based on modified orange peel waste: Adsorption–reduction behavior of arsenic. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 5(11), 9692–9700. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b01273>
- Michael-Igolima, U., Abbey, S. J., Ifelebuegu, A. O. & Eyo, E. U. (2023). Modified orange peel waste as a sustainable material for adsorption of contaminants. *Materials*, 16(3), 1092. <https://doi.org/10.3390/ma16031092>
- Mirhosseini, S. A. F., Khabiri, M. M., Kavussi, A. & Kamali, M. H. J. (2016). Applying surface free energy method for evaluation of moisture damage in asphalt mixtures containing date seed ash. *Construction and Building Materials*, 125, 408–416. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.056>
- Mohsin, A., Hussain, M. H., Zaman, W. Q., Mohsin, M. Z., Zhang, J., Liu, Z., Tian, X., Salim-Ur-Rehman, Khan, I. M. & Niazi, S. (2022). Advances in sustainable approaches utilizing orange peel waste to produce highly value-added bioproducts. *Critical Reviews in Biotechnology*, 42(8), 1284–1303. <https://doi.org/10.1080/07388551.2021.2002805>
- Ogbon, W. A., Jiang, W., Yuan, D., Tong, L., Xiao, J. & Wu, W. (2025). Efficiency of diallyl phthalate (DAP) and sunflower oil (SO) as potential rejuvenators for the aged high-viscosity modified asphalt binder. *Fuel*, 388, 134580. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2025.134580>
- Olubajo, O. O., Odey, O. A. & Abdullahi, B. (2019). Potential of orange peel ash as a cement replacement material. *Traektoriâ Nauki= Path of Science*, 5(7), 2009–2019.
- Özkan, A., Yapıcı, E., Günkaya, Z. & Banar, M. (2018). Atık portakal kabuklarıyla baskılı devre kartlarından paladyum adsorpsiyonu. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(1), 201–206. <https://doi.org/10.19113/sdufbed.26752>
- Pekin Ticaret Müşavirliği. (2024). *ÇHC Portakal – Narenciye Raporu*. [https://ticaret.gov.tr/data/5b8a43345c7495406a226cfd/ÇHC Narenciye Sektör Raporu.pdf](https://ticaret.gov.tr/data/5b8a43345c7495406a226cfd/ÇHC%20Narenciye%20Sektör%20Raporu.pdf)
- Raciti, A., Dugo, G., Piccione, P., Zappalà, S. & Martelli, C. (2019). A new sustainable product in the green building sector: The use of sicilian orange peel waste as high performance insulation. *Procedia of Environmental Science, Engineering and management*, 6(2), 229–235.
- Şenol, H., Elibol, E. A., Açikel, Ü. & Şenol, M. (2017). Türkiye’de biyogaz üretimi için başlıca biyokütle kaynakları. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 81–92. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.315118>
- Shirzad, S. & Zouzias, H. (2024). Enhancing the performance of wood-based bio-asphalt: strategies and innovations. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 26(7), 2095–2115. <https://doi.org/10.1007/s10098-024-02745-x>

- Sienkiewicz, M., Gnatowski, P., Malus, M., Grzegórska, A., Ipakchi, H., Jouyandeh, M., Kucińska-Lipka, J., Navarro, F. J. & Saeb, M. R. (2024). Eco-friendly modification of bitumen: The effects of rubber wastes and castor oil on the microstructure, processability and properties. *Journal of Cleaner Production*, 447, 141524. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141524>
- Sukhija, M., Al-ani, A. F., Mohammad, H. K., Albayati, A. & Wang, Y. (2024). Exploring the efficacy of sawdust ash as a mineral filler substitute for the production of asphalt mixtures. *Materials and Structures*, 57(5), 126. <https://doi.org/10.1617/s11527-024-02402-1>
- Uzun, A. (2015). *Turunçgil Yetiştiriciliği*. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/alata/Belgeler/Diger-belgeler/TurunçgilYetiştiriciliğiAUzun.pdf>
- Zhang, H., Zhang, Q., Tang, S., Pei, Y. & Skoczylas, F. (2024). Effects of fly ash and silica fume on the rheological properties of magnesium phosphate cement-emulsified asphalt (MPC-EA) composite repair materials. *Construction and Building Materials*, 433, 136708. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136708>
- Zhang, L., Feng, Z., Cai, F., Lu, Z. & Li, X. (2025). Quantitative determination for rubber powder dosage in rubber powder modified bitumen: A comparative study of the QCT and FTIR tests. *Construction and Building Materials*, 462, 139989. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.139989>
- Zhang, M.-X., Du, W., Li, Y.-X., Wang, Y.-M., Wang, X.-N. & Liu, X.-C. (2024). High-temperature rheological behavior and fatigue performance of montmorillonite-modified asphalt. *Coatings*, 14(8), 1038. <https://doi.org/10.3390/coatings14081038>
- Zhao, H., Li, G., Ma, Y., Yu, X., Chen, Y. & Li, W. (2024). Long-term performance of chemically modified cotton straw fibers in micro-surfacing asphalt mixtures. *Case Studies in Construction Materials*, 20, e03294. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03294>