

Sülfat Reçinesinin (Tall Oil) Selüloz Asetat Esaslı Malzemelerde Doğal Plastikleştirici Olarak Kullanımı

Utilization of Tall Oil as a Natural Plasticizer in Cellulose Acetate Based Materials

Naile ANGİN^{1*} , Murat ERTAŞ¹ 

¹Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstrisi Mühendisliği Bölümü, Bursa

Eser bilgisi/Article info

Araştırma makalesi/Research article

DOI: 10.17474/artvinofd.1805755

*Sorumlu yazar/Corresponding author

Naile ANGİN

e-mail: naile.angin@btu.edu.tr

Gönderilme tarihi/Submission date

27.10.2025

Kabul tarihi/Acceptance date

25.12.2025

Yayınlanma tarihi/Publication date

28.02.2026

Anahtar kelimeler:

Selüloz asetat

Odun dışı orman ürünleri

Sülfat reçinesi

Biyobazlı plastikleştirici

Keywords:

Cellulose acetate

Non-wood forest products

Tall oil

Bio-based plasticizer

Öz

Biyobazlı ve çevre dostu ürünlere yönelik artan farkındalık, malzeme biliminde bütüncül sürdürülebilir yaklaşımların önemini ön plana çıkarmaktadır. Bu çalışmanın amacı, katma değerli bir odun dışı orman ürünü olan sülfat reçinesinin (tall oil) selüloz asetattan (SA) üretilmiş film malzemelerde doğal bir plastikleştirici olarak kullanılabilirliğini incelemektir. Farklı sülfat reçinesi katkı oranları (kütlece %10, %15, %20) ile üretilen filmler, Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), mekanik analiz, termal gravimetrik analiz (TGA) ve renk analizi ile değerlendirilmiştir. FTIR bulguları, SA ve sülfat reçinesinin karakteristik fonksiyonel gruplarını doğrulamış ve sülfat reçinesi ve polimer matrisi arasındaki olası sinerjik etkileşimi vurgulamıştır. Yapıya kütlece %10 ve %15 sülfat reçinesi katkısıyla birlikte örneklerinin kopma uzama değerinin %11.46'dan %29.94'e kadar yükseldiği ve saf SA'ya göre yaklaşık iki kat arttığı gözlemlenmiştir. Termal analiz sonuçları, sülfat reçinesinin içerdiği yağ asitleri nedeniyle başlangıç bozunma sıcaklığını yaklaşık 20 °C düşürmesine rağmen, filmlerin nihai bozunma sıcaklığı üzerinde herhangi bir olumsuz etkisinin olmadığını göstermiştir. Katkı oranının artmasıyla örneklerin ΔE değerleri 10.05 ile 43,86 arasında belirgin bir şekilde artarak sarı bir renk almıştır, ancak %20'nin altındaki katkı oranlarında filmlerin hâlâ açık renk ve şeffaflığını koruduğu gözlemlenmiştir. Bu bulgular, sülfat reçinesinin çevre dostu ve sürdürülebilir bir plastikleştirici ajan olarak, endüstriyel uygulamalarda hem performans hem de çevresel fayda sağlayabileceğini göstermektedir.

Abstract

The growing popularity of bio-based and environmentally friendly products emphasises the importance of a holistic, sustainable approach to materials science. This study aims to investigate the feasibility of using tall oil, a valuable by-product of the forestry industry, as a natural plasticiser in cellulose acetate (SA) materials. Films produced with different tall oil additive ratios (wt. 10%, 15%, 20%) were evaluated using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), mechanical analysis, Thermal Gravimetric Analysis (TGA), and color analysis. FTIR findings confirmed the characteristic functional groups of SA and tall oil and highlighted the potential synergistic interaction between tall oil and the polymer matrix. It was observed that the elongation at break of the samples with 10% and 15% by weight tall oil addition to the structure increased from 11.46% to 29.94% (approximately two times compared to pure SA). Thermal analysis results showed that although the tall oil lowered the initial decomposition temperature by approximately 20°C due to the fatty acids it contains, the films had no adverse effect on the final decomposition temperature. As the additive ratio increased, the ΔE values of the samples increased significantly (from 10.05 to 43.86) and they turned yellow. However, it was observed that the films still retained their light colour and transparency at contribution ratios below 20%. These results demonstrate that, as an environmentally friendly and sustainable plasticising agent, tall oil can deliver performance and environmental benefits in industrial applications.

GİRİŞ

Petrol esaslı malzemelerin yarattığı çevresel etkiler ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz sonuçları biyobazlı alternatiflerin geliştirilmesini zorunlu hale getirmektedir (Ünlü 2020). Günümüzde doğal malzemelerin kullanımı giderek yaygınlaşsa da sentetik muadillerine kıyasla maliyetlerinin hâlâ görece yüksek olması ve çözünürlük, işlenebilirlik gibi bazı kritik özelliklerinin zayıf olması kullanımı sınırlayıcı unsurlar olarak karşımıza çıkmaktadır (Hedar ve ark. 2023). Bu noktada, selüloz türevleri sağladığı birçok endüstriyel avantaj sayesinde ilgi çekmektedir. Selülozun türevlendirilmesiyle birlikte saf selülozun doğal avantajları (biyoyumluluk, biyobozunurluk, hafiflik, ekonomiklik vb.) korunurken, çözünürlük, hidrofobiklik ve şeffaflık gibi ek özellikler kazandırılarak fonksiyonel uygulamalara uygun hale getirilebilir (Shaghaleh ve

ark. 2018). Böylece, selüloz nitrat, selüloz asetat, karboksimetilselüloz vb. gibi gıda, sağlık, otomotiv ve elektronik gibi geniş bir yelpazede uygulama imkânı sunan çok yönlü bir biyomalzeme grubu elde edilmiş olur (Kırcı 2001).

En önemli selüloz türevlerinden biri olan selüloz asetat (SA), selülüzün esterleştirilmesiyle elde edilir (Erişir ve Gümüşkaya 2024). SA'nın şeffaf ve cam benzeri bir yapısı vardır. Bu sayede fotoğrafçılık, optik ve ambalaj sektöründe kullanmaya çok uygundur. Bununla birlikte SA'nın en önemli kullanım alanlarından birisi filtre ve membranlardır. Örneğin; sigara dumanındaki küçük parçacıkların, fenollerin ve diğer istenmeyen bileşenlerin seçici olarak uzaklaştırılmasını sağlayan filtreler ve su arıtımında kullanılan bazı ultra filtrasyon membranların SA'dan üretildiği bilinmektedir (Sivakumar ve ark. 1998, Heinze ve ark. 2018). Ancak SA'nın gevrek yapısı yüksek basınç ve mekanik yük altında kolayca yırtılmasına sebebiyet vermekte ve filtrelerde sızıntı ve kaçak gibi problemler doğurabilmektedir. Benzer sorunlarla gıda ambalaj sektöründe de karşılaşmış ve SA'dan üretilen ambalajların delinmeye karşı direnç gösterebildiği, ancak kolayca yırtıldığı bildirilmiştir (Kılınç ve ark. 2017). Bu tür problemlerin çözümünde polimer matrisine eklenen plastikleştirici ajanlar uzun yıllardır kullanılmaktadır (Fordyce ve Meyer 1940, Jacobsen ve Fritz 1999). Ancak günümüzde uygulanan çevreci politika ve kısıtlamalar sadece baz polimeri değil aynı zamanda polimerlerle birlikte kullanılan katkı maddelerini de kapsamaktadır. Bu nedenle geçmişte oldukça popüler olan ftalat esaslı ve migrasyon yaratan plastikleştiriciler yerine biyobazlı alternatifler geliştirilmektedir. Bu yeni arayış, bitki ve orman kaynaklı ürünler ve zirai atıkların değerlendirilmesini yeniden gündeme getirmiştir. Vieira ve ark. (2011), soya, keten tohumu, ayçiçeği vb. bitkisel kaynaklardan elde edilen yağlar ve yağ asitlerinin doğal plastikleştirici olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Sülfat reçinesi yapısında yağ asitleri (%20-50) ve reçine asitleri (%40-60) bulunan bir odun dışı orman ürünüdür (Papps ve Othmer 1944, Aro ve Fatehi 2017). Sülfat yöntemiyle kâğıt hamuru üretim prosesinde bir yan ürün olarak ortaya çıkar ve kıymetli bir ürün olduğu için fabrikalarda atık olarak düşünülmez (Angın ve Ertaş 2021, Yaşar ve ark. 2024). 2025 yılı verilerine göre sülfat reçinesi eldesi dünya çapında yılda 2 milyon metrik ton üretim hacmine ulaşmaktadır ve bu durum ekonomik bir avantaj sağlamaktadır (Churchill ve ark. 2025). Bununla birlikte sülfat reçinesinde bulunan yağ asitleri diğer bitkisel yağ içeriklerinden farklı olarak trigliserit bağlı ester formunda değil, serbest asit formunda bulunur (Lee ve ark. 2006, Anthonykutty ve ark. 2015). Böylece ön işleme gerek kalmadan kolay ve doğrudan kullanılabilme imkânı sunar. Bu özelliği sayesinde özellikle biyoyakıt üretiminde sıklıkla tercih edilmektedir (Altıparmak ve ark. 2007, Demirbas 2008).

Bu çalışmada literatürdeki uygulamalardan farklı olarak sülfat reçinesinin zengin yağ asidi içeriği sayesinde selüloz asetat esaslı film malzemelerde (SAF) plastikleştirici olarak kullanılma potansiyelinin değerlendirilmesi ve katkı oranının malzemenin bazı termal ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Mevcut çalışmanın ekonomik ve biyobazlı bir plastikleştirici olarak sülfat reçinesine yeni kullanım alanları yaratılmasında ve selüloz türevi yenilikçi malzemelerin geliştirilmesi konusunda literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Biograde®C 5508 markalı selüloz asetat FKUR'dan satın alınmıştır. SA'nın yoğunluğu 1.27 g/cm³ ve DS (degre of substitution) değeri 2.5'tir. Sülfat reçinesi OYKA Kâğıt Ambalaj San. Tic. A.Ş.'den bedelsiz olarak alınmıştır. Reçinenin asit sayısı 150 mg KOH/g, sabunlaşma sayısı ise 168 mg KOH/g'dır. Çözücü olarak analiz saflığında aseton (Sigma Aldrich) kullanılmıştır.

Yöntem

SAF Üretimi

Cam beher içerisinde 100 mL aseton 40°C'de 30 dk ısıtılmış ve ardından 3 g SA eklenerek homojen bir çözelti elde edilmiştir. Üzerine SA'nın ağırlıkça %10, %15 ve %20'si kadar sülfat reçinesi eklenerek 3 farklı varyasyonda üretim yapılmıştır. Elde edilen çözeltiler 12 cm çapındaki teflon kalıba dökülmüş ve oda sıcaklığında 24 saat boyunca kurutulmuştur. Ürünler katkı oranlarına göre sırasıyla SAF10, SAF15, SAF20 olarak isimlendirilmiştir.

Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)

ATR başlıklı bir spektrofotometre (Bruker-Tensor 37) kullanılarak 4 cm⁻¹ çözünürlük ve 400-4000 cm⁻¹ dalga sayısı aralığında film yüzeylerinden ölçüm alınmıştır.

Mekanik Testler

Her bir numunenin kalınlığı, mikrometre (Mitutoyo, Japan) ile beş farklı bölgeden ölçülmüştür. ASTM D882 (2021) standardına uygun olarak, bir universal mekanik test cihazı (Testform / AS3) ile 1 kN yük altında numunelerin çekme mukavemeti (TS) ve kopma uzaması (EAB) belirlenmiştir.

Termal Gravimetrik Analiz (TGA)

Örneklerden yaklaşık 10 mg alınarak seramik pan içerisine yerleştirilmiş ve Hitachi STA7000 marka termal analizör ile ölçüm yapılmıştır. Analiz azot gazı altında (200 mL/dk) ve 30°C-800°C arasında gerçekleştirilmiştir. Isıtma hızı 10 °C/dk olarak ayarlanmıştır.

Renk Analizi

Örneklerin renk skalası Konica-Minolta markalı bir renkölçer ile belirlenmiştir. Ölçüm sonucunda örneklerin L*, a*, b* ve ΔE değerleri belirlenmiştir.

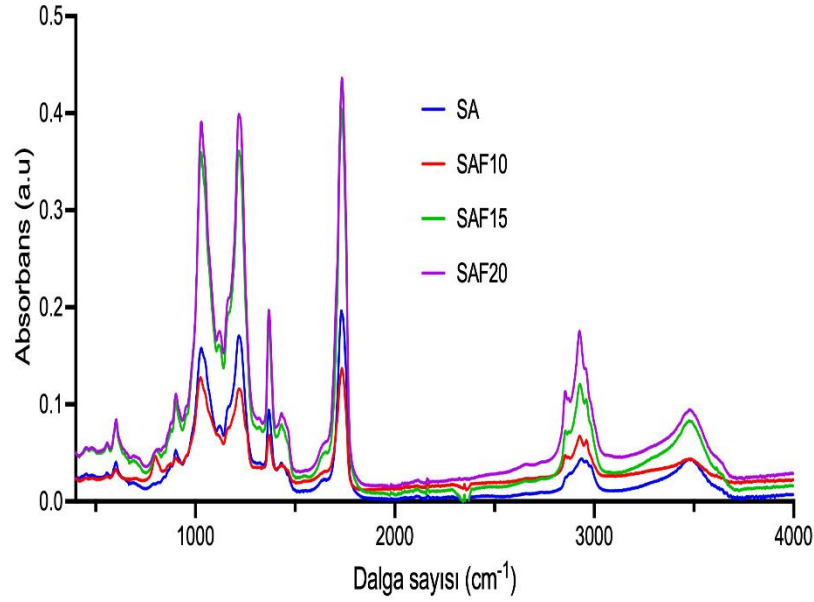
İstatistik Analiz

İstatistiksel analizlerde tek yönlü varyans analizi (One-Way ANOVA) uygulanmıştır. İstatistik anlamlılık düzeyi %5 olarak alınmış ve hesaplamalarda SPSS (Ver. 2.0) istatistik paket programı kullanılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

FTIR Analizi

FTIR analizine ait bulgular Şekil 1'de verilmiştir. Spektrumda 3474-3500 cm⁻¹ dalga sayısında oluşan piklerin yapıdaki -OH gruplarından kaynaklandığı düşünülmektedir. En zayıf -OH piki saf SA'da oluşmuştur. Bu karakteristik durum SA sentezinde asetil gruplarının selülozun yapısındaki hidroksil gruplarına bağlanarak serbest -OH gruplarının sayısını azaltmasıyla açıklanabilir (Das ve ark. 2014). Bunu destekler şekilde SA'nın 1732 cm⁻¹'de verdiği pikle asetil gruplarına ait ester karbonil (C=O) bağlarının varlığı görülmektedir. Yapıya sülfat reçinesi eklendiğinde (SAF örnekleri) bu piklerin şiddetinin arttığı gözlemlenmiştir. Çünkü sülfat reçinesinin yapısında bulunan yağ ve reçine asitlerinin karbonil grupları da bu bölgede pik vermektedir. Bununla birlikte, 1218 ve 1209 cm⁻¹'de asimetrik ve simetrik ester grubu gerilimlerinden oluştuğu düşünülen C-O-C piklerinde de benzer davranış gözlemlenmiştir (Govorin ve ark. 2021).



Şekil 1. SA ve SAF örneklerine ait FTIR spektrumu

2928-2937 cm^{-1} dolaylarında oluşan pikler -CH gerilmesine ve alkil gruplarına karşılık gelmektedir (Popescu ve ark. 2012). Buna ek olarak; sülfat reçinesinin plastikleştirici etkisinin olası sebeplerinden birinin de yağ asitlerinin yapısında bulunan -COOH grubunun SA'nın asetillenmemiş bölgelerinde bulunan -OH gruplarıyla hidrojen bağı oluşturması ve aynı zamanda karbonil gruplarıyla dipol-dipol etkileşimlerine girmesi olduğu düşünülmektedir. SA yapısına eklenen sülfat reçinesi miktarı arttıkça 3000-3500 cm^{-1} bandında bir miktar genişleme olması bu görüşü desteklemektedir. Bu bağlamda FTIR bulguları, SA ve sülfat reçinesinin karakteristik fonksiyonel gruplarını doğrulamış ve sülfat reçinesi ve polimer matrisi arasındaki olası sinerjik etkileşimi vurgulamıştır.

Mekanik Testler

Mekanik test sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Çekme direnci değerleri incelendiğinde en yüksek değerlerin %15 sülfat reçinesi katkılı (SA15) filtrelerde elde edildiği görülmüştür. %10 sülfat reçinesi katkılı (SA10) filmlerin çekme direnci saf SA'ya göre görece orta seviyede kalmıştır. Sülfat reçinesi katkısıyla birlikte SAF10 ve SAF15 örneklerinin kopma uzama değerinin saf SA'ya göre yaklaşık iki kat arttığı gözlemlenmiştir. Optimum orandaki plastikleştirici katkısının polimer zincirlerinin daha kolay hareket etmesini sağlaması ve böylece kırılabilirliği azaltarak kopma uzamasını artırması beklenir (Maruddin ve ark. 2020). Bu bağlamda %10-15 sülfat reçinesinin SA matrisi içinde beklenen plastikleştirici işlevini yerine getirdiği düşünülmektedir.

Çizelge 1. SA ve SAF örneklerinin mekanik test bulguları

Numune adı	Kalınlık (mm)	Çekme direnci (MPa)	Kopma uzaması (%)
SA	0.247 (0.012) ^a	29.60 (4.96) ^a	11.46 (5.84) ^a
SAF10	0.339 (0.119) ^b	26.90 (3.32) ^b	28.14 (4.73) ^b
SAF15	0.236 (0.014) ^c	30.84 (1.30) ^a	29.94 (2.95) ^c
SAF20	0.295 (0.008) ^d	14.52 (3.19) ^c	4.52 (2.61) ^d

Diğer taraftan, %20 sülfat reçinesi katkılı filmlerin mekanik özelliklerinde belirgin bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu durumun sebeplerinden birinin matris içerisinde artan reçine asidi konsantrasyonu olduğu düşünülmektedir. Reçine asitleri kürlendiğinde oldukça kristal bir hale gelmektedir ve bu nedenle filtreyi saf SA'ya göre daha gevrek hale getirmektedir. Bir

diğer olası sebep ise yağ asitlerinin direnç özellikleri üzerindeki etkisinin sınırlı olmasıdır. Mekanik hamur lifi ve bitkisel yağların birlikte kullanıldığı bir çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiş ve yağların matrisin homojen dağılmasını sağlamasına rağmen direnç özelliklerini azaltıcı bir etki yaptığı bildirilmiştir (Torun ve ark. 2023).

Bu sonuçlar ışığında, gelecekteki çalışmalarda sülfat reçinesi katkısının %15 altında kullanılması veya içerisindeki reçine asitlerinin esterleştirilerek kullanılması önerilmektedir. Son olarak üretilen filmlerin kalınlıkları arasında belirgin farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun hazırlanan nihai film çözeltisinin çok akışkan olmasından ve kalıp içerisinde kenarlara toplanma veya dalgalanma gibi sorunlar yaratmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Gelecekteki çalışmalarda film kalınlığındaki değişkenliğin azaltılabilmesi için çözelti viskozitesinin optimize edilmesi ve polimer/çözücü oranının modellenmesi üzerine çalışılması tavsiye edilmektedir.

TGA

SA ve SAF örneklerine ait TGA ve Diferansiyel Termogravimetric Analiz (DTG) eğrileri Şekil 2’de verilmiştir ve termal bozunma sıcaklıkları Çizelge 2’de özetlenmiştir. SA’nın termal bozunması iki basamakta gerçekleşmiştir. 209°C’de %5 oranında kütle kaybıyla başlayan ilk basamak 274.7 °C’de maksimum noktaya ulaşmıştır. Bu bölgede polimer zinciri parçalanmaya başlar. Literatürde SA yapısındaki ester grupları (–COO–) ve glikoz halkalarının bu aralıkta bozunduğu bildirilmiştir (Das ve ark. 2014). 369.3°C’de ikinci basamak bozunma gerçekleşmiştir ve burada belirgin bir kütle kaybı gözlemlenmiştir. Bozunma yaklaşık 400-420°C’ye kadar devam etmiş ve karbonizasyonun gerçekleşmesiyle kristal yapı tamamen yıkılmıştır. SA’nın 800°C’deki kalıntı miktarı kütlece %10.8 olarak tespit edilmiştir.

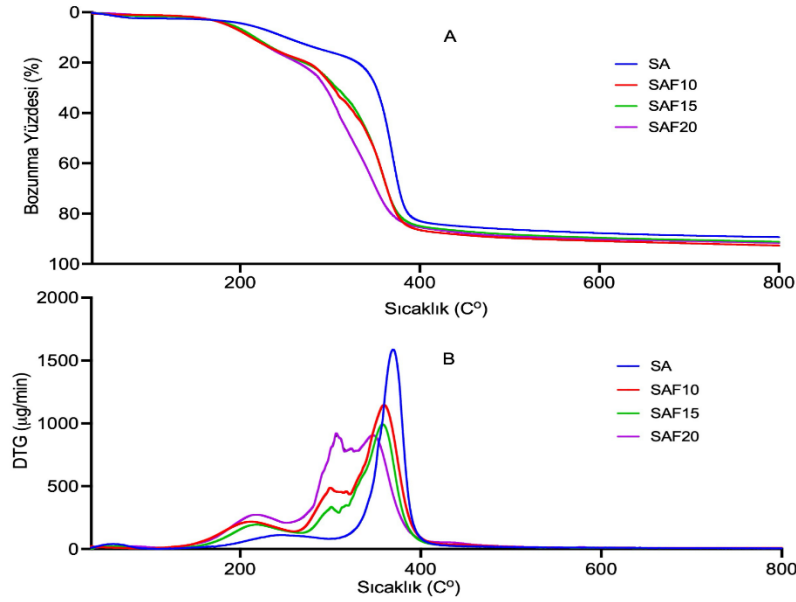
Çizelge 2. SA ve SAF örneklerinin termal bozunma değerleri

Numune adı	T ₅ (°C)	T _{max1} (°C)	T _{max2} (°C)	T _{max3} (°C)	Kalıntı (Kütlece%, 800°C)
SA	209.3	274.7	369.3	-	10.8
SAF10	178.2	299.0	331.4	359.2	7.5
SAF15	174.2	302.3	309.3	359.1	9.2
SAF20	183.5	301.7	306.4	349.0	8.5

SAF örneklerin TGA ve DTG eğrileri incelendiğinde yapıya sülfat reçinesi katılmasıyla birlikte termal bozunmanın üç basamakta gerçekleştiği gözlemlenmiştir. SA’dan farklı olarak SAF örneklerinin kütlece %5’i 174-184°C arasında bozunmaya başlamıştır. Burada yaklaşık 250°C’ye kadar devam eden yayvan bir pik ve görece yavaş bir bozunma olmuştur. Bu durum sülfat reçinesi içerisindeki farklı uzunluktaki yağ asitlerinin (C15-C20) bu aralıkta bozunmasından kaynaklanmaktadır.

Benzer sonuçlar farklı bitkisel yağlar kullanılarak yapılan çalışmalarda da bildirilmiştir (Coni ve ark. 2004, Reda 2011). Bunu destekler şekilde SA ile kıyaslandığında SAF örneklerinin DTG eğrisinde ikincil bozunma (300-350°C) piklerinin tepe noktasının kaydığını ve buna bağlı olarak T_{max1} değerlerinin SA’dan yaklaşık 25-30°C daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte SAF örneklerinde T_{max2} civarında piklerin hafif çatallandığı görülmektedir.

Bu durum matristeki reçine asitleri ve SA’nın asetil grupları gibi benzer bağlara sahip ayrı bileşenlerin birbirine yakın aralıkta ama farklı maksimum tepe sıcaklıklarında degradasyona uğradığına işaret etmektedir. Son olarak, SAF örneklerindeki SA’nın 359°C’de (T_{max3}) nihai olarak bozunduğu ve bu değer saf SA ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 2. SA ve SAF örneklerine ait a) TGA b) DTG eğrileri

Renk Ölçümü

SA ve SAF örneklerinin L* (siyah-beyaz), a* (yeşil-kırmızı) ve b* (sarı-mavi) renk eksenleri Çizelge 3'te verilmiştir. SA örneğinin renginin beyaz-gri olduğu ve bunun SA'nın granül hali ile benzerlik gösterdiği görülmektedir. SAF10, SAF15 ve SAF20 örneklerinde açıkça görüleceği üzere SA'ya sülfat reçinesi eklendiğinde filtrelerin sarı renk aldığı görülmektedir (Şekil 3). Saf SA'nın b* değeri 2.30 iken katkı oranı arttıkça bu değer sırasıyla 28.47, 32.26 ve 52.60'a yükselmiştir. Burada oluşan sararmanın sülfat reçinesi içerisindeki reçine asitlerinin doğal sarı-amber renginden kaynaklandığı düşünülmektedir. Dolayısıyla sülfat reçinesinin katkı oranı arttıkça doğru orantılı olarak reçine asiti miktarı da artacağı için SA20 örneğinde görece daha belirgin ve koyu bir sarı renk meydana gelmiştir. Bununla birlikte SA20 örneğinde filtre renginin matlaştığı ve diğer örneklere göre şeffaflığını da kaybettiği gözlemlenmiştir. Filtrelerin ΔE değerleri (10.05-43.86) göz önünde bulundurularak genel bir değerlendirme yapıldığında sülfat reçinesi katkı oranının gruplar arasında hem ölçülebilen hem de gözle fark edilebilen (Şekil 3) anlamlı bir renk farkına sebebiyet verdiği söylenebilir.

Çizelge 3. SA ve SAF örneklerinin renk eksenleri

Numune adı	L*	a*	b*	ΔE
SA	95.71 (2.28)	-0.52 (0.05)	2.30 (0.22)	10.05 (0.81)
SAF10	89.92 (1.10)	-1.68 (0.59)	28.47 (2.28)	18.44 (2.18)
SAF15	89.18 (0.85)	-0.90 (0.61)	32.26 (1.96)	22.03 (1.92)
SAF20	79.09 (1.39)	5.53 (0.52)	52.60 (1.40)	43.86 (1.44)



Şekil 3. SA ve SAF örneklerinin görsel renk farkları

Katkı oranına ek olarak, sülfat reçinesinin yapısındaki serbest reçine asitlerinin hava ile temasta okside olması veya fotooksidasyona uğraması sonucunda renkte sararma meydana gelebilir. Bu çalışmada film üretimleri kontrollü bir ortamda gerçekleştirildiği için FTIR analizlerinde oksidasyon veya fotodegradasyona işaret eden bulgular gözlemlenmemiştir. Fakat bu riski ortadan kaldırmak adına gelecek çalışmalarda reçine asitlerinin türevlendirilerek kullanılması önerilmektedir. Bu görüşü destekler şekilde Mandal ve ark. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada reçine türevi katkısının artmasıyla odun plastik kompozitlerin fotodegradasyon oranını azalttığı bildirilmiştir. Diğer taraftan, filtre renginin filtrasyon kapasitesini doğrudan değiştirmede bilinmektedir. Ancak renk, görsel kalite ve optik performans açısından önemli bir parametredir. Teknolojik olarak değerlendirildiğinde açık ve şeffaf renk, filtrenin üzerinde kalan safsızlık ve beklenmeyen kalıntıların tespitini kolaylaştırabilir ve optik sensörler gibi ileri teknolojiler ile kombine kullanımına imkân sağlayabilir. Müşteri açısından değerlendirildiğinde ise ürün renginin ürünün kalite algısına etkisini göz önünde bulundurmak gerekir. Özellikle su arıtım sistemlerinde sarı renk kirece bağlı sararmalarla veya kirlilikle ilişkilendirilebilmektedir. Bu bağlamda, açık sarı rengine rağmen şeffaflığını yitirmediği için SAF10 veya SAF15 örneklerinin endüstriyel uygulamalara daha uygun olduğu düşünülmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, SA'ya farklı oranlarda (%10, %15, %20) sülfat reçinesi eklenmesiyle elde edilen filmlerin mekanik, termal ve renk özellikleri incelenmiştir. Sülfat reçinesi katkısının malzemenin direnç özellikleri üzerindeki etkisi sınırlı kalırken, özellikle SAF10 ve SAF15 örneklerinde kopma uzamasını yaklaşık iki kat artırdığı ve dolaylı olarak elastikiyeti artırdığı görülmüştür. Termal analiz sonuçlarına göre sülfat reçinesi içerdiği yağ asitlerine bağlı olarak başlangıç bozunma değerini yaklaşık 20°C düşürse de filmlerin nihai bozunma sıcaklığı üzerinde olumsuz bir etki göstermemiştir.

Renk analizi sonuçlarına göre sülfat reçinesi katkısının filmlerin L*, a* ve b* değerlerini etkileyerek ΔE^* 'yi artırmıştır. SAF20 örneğinde (%20 sülfat reçinesi katkılı) renk farkı (ΔE) en yüksek değere ulaşmıştır ve filmlerin koyu sarı ve mat bir renge sahip olduğu gözlenmiştir. Tüm analizler bütüncül olarak değerlendirildiğinde %10 ve %15 sülfat reçinesi katkısının olduğu SAF10 ve SAF15 filmlerinin endüstriyel uygulamalar için daha ılımlı sonuçlar verdiği sonucuna varılmıştır.

Genel olarak, çalışmanın bulguları biyobazlı ve sürdürülebilir bir katkı maddesi olarak sülfat reçinesinin SA filmlerde doğal bir plastikleştirici olarak etkili olduğunu göstermektedir. Sürdürülebilirlik kaygılarının ön plana çıktığı günümüz koşullarında bu tür biyobazlı endüstriyel uygulamaların hem literatüre hem de sanayiye önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir. Gelecekteki çalışmalarda, filtreleme performansı, basınç dayanımı ve kimyasal direnci gibi uygulamaya yönelik özelliklerin test edilmesi SA filtrelerin endüstriyel kullanım potansiyelinin tam anlamıyla ortaya konmasına olanak tanıyacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma kapsamında kullanılan sülfat reçinesi örneğini sağlayan OYKA Kâğıt Ambalaj Sanayii ve Ticaret A.Ş.'ye katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

REFERENCES

- Altıparmak D, Keskin A, Koca A, Gürü M (2007) Alternative fuel properties of tall oil fatty acid methyl ester–diesel fuel blends. *Bioresource Technology*, 98(2): 241–246. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.01.020>
- Angın N, Ertaş M (2021) Farklı çözücü türlerinin ekstraksiyon reçinesinin verimi ve kimyasal özellikleri üzerine etkisi. *Turkish Journal of Forestry*, 22(4): 439–443.
- Anthonykutty JM, Linnekoski J, Harlin A, Lehtonen J (2015) Hydrotreating reactions of tall oils over commercial NiMo catalyst. *Energy Science & Engineering*, 3(4): 286–299. <https://doi.org/10.1002/ese3.70>
- Aro T, Fatehi P (2017) Tall oil production from black liquor: challenges and opportunities. *Separation and Purification Technology*, 175: 469–480. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.10.027>
- ASTM D882 (2021) International Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. USA.

- Churchill JG, Rath GK, Borugadda VB, Dalai AK (2025) Fractionation and catalytic upgradation of crude tall oil into sustainable transportation fuels via blending and co-refining. *Sustainable Energy&Fuel*, 9: 4989-5003. <https://doi.org/10.1039/D5SE00561B>
- Coni E, Podesta E, Catone T (2004) Oxidizability of different vegetables oils evaluated by thermogravimetric analysis. *Thermochimica Acta*, 418(1-2): 11-15. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2003.11.038>
- Das AM, Ali AA, Hazarika MP (2014) Synthesis and characterization of cellulose acetate from rice husk: eco-friendly condition. *Carbohydrate Polymers*, 112: 342-349. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.06.006>
- Demirbas A (2008) Production of biodiesel from tall oil. *Energy Sources, Part A*, 30(20): 1896-1902. <https://doi.org/10.1080/15567030701468050>
- Erişir E, Gümüşkaya E (2024) Acetylation of cellulose in ethyl acetate: characterization and thin film applications. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 44(4): 228-243. <https://doi.org/10.1080/02773813.2024.2365142>
- Fordyce CR, Meyer IWA (1940) Plasticizers for cellulose acetate and cellulose acetate butyrate. *Industrial & Engineering Chemistry*, 32(8): 1053-1060.
- Govorin AS, Konovalov NP, Gubanov ND (2021) Study in fatty acids of tall oils and their products of esterification by the method of IR spectrometry for analytical control of preparation of esters. *Journal of Physics: Conference Series*, 1942(1): 012018. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1942/1/012018>
- Hedar M, Intisar A, Hussain T, Hussain N, Bilal M (2023) Challenges and issues in biopolymer applications. *Handbook of Biopolymers*, 1497-1511.
- Heinze T, El Seoud OA, Koschella A (2018) Cellulose Esters. In *Cellulose Derivatives: Synthesis, Structure, and Properties*, pp:293-427, Springer.
- Jacobsen S, Fritz HG (1999) Plasticizing polylactide—the effect of different plasticizers on the mechanical properties. *Polymer Engineering & Science*, 39(7): 1303-1310. <https://doi.org/10.1002/pen.11517>
- Kılınç M, Tomar O, Çağlar A (2017) Biyobozunur gıda ambalaj malzemeleri. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(3): 988-996.
- Kırcı H (2001) Selüloz türevleri ve kullanım yerleri. *KSÜ Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4: 119-130.
- Lee SY, Hubbe MA, Saka S (2006) Prospects for biodiesel as a byproduct of wood pulping—a review. *BioResources*, 1(1): 150-171.
- Mandal M, Bardhan P, Mandal M, Maji TK (2020) Study of UV stability, biodegradability and physical properties of rosin derivative cross-linked wood polymer composites. *International Wood Products Journal*, 11(1):2-11. <https://doi.org/10.1080/20426445.2019.1706136>
- Maruddin F, Malaka R, Baba S, Amqam H, Taufik M, Sabil S (2020) Brightness, elongation and thickness of edible film with caseinate sodium using a type of plasticizer. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 492 (1): 012043. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/492/1/012043>
- Papps G, Othmer DF (1944) Tall oil. *Industrial & Engineering Chemistry*, 36(5): 430-434.
- Popescu CM, Larsson PT, Olaru N, Vasile C (2012) Spectroscopic study of acetylated kraft pulp fibers. *Carbohydrate Polymers*, 88(2): 530-536. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.12.046>
- Reda SY (2011) Evaluation of antioxidants stability by thermal analysis and its protective effect in heated edible vegetable oil. *Food Science and Technology*, 31: 475-480. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612011000200030>
- Shaghaleh H, Xu X, Wang S (2018) Current progress in production of biopolymeric materials based on cellulose, cellulose nanofibers, and cellulose derivatives. *RSC Advances*, 8(2): 825-842. <https://doi.org/10.1039/C7RA11157F>
- Sivakumar M, Mohanasundaram AK, Mohan D, Balu K, Rangarajan R (1998) Modification of cellulose acetate: its characterization and application as an ultrafiltration membrane. *Journal of Applied Polymer Science*, 67(11): 1939-1946. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4628\(19980314\)67<1939::AID-POLB1097462819980314>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(19980314)67<1939::AID-POLB1097462819980314>3.0.CO;2-1)
- Torun SB, Özdemir M, Peşman E, Çavdar AD (2023) Geri dönüştürülmüş polipropilen kompozitlerde bitkisel atık yağ ve atık gazete kağıdı liflerinin değerlendirilmesi. *Düzce University Journal of Science and Technology*, 11(2): 936-957.
- Ünlü D (2020) Selüloz asetat/polivinilpirolidon blend membran ile biyoetanolün pervaporatif dehidrasyonu. *Academic Perspective Procedia*, 3(1): 354-361.
- Vieira MGA, Da Silva MA, Dos Santos LO, Beppu MM (2011) Natural-based plasticizers and biopolymer films: a review. *European Polymer Journal*, 47(3): 254-263. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2010.12.011>
- Yaşar M, Çağlar L, Tez H, Karademir A (2024) Türkiye’de reçine üretimi ve sivil ormancılığın rolü. *Ağaç ve Orman*, 5(2): 79-91.