

Atıf İçin: Özkan, A.N. ve Kamil, Ş. (2025). Feldspat Cevherinin Polipropilen Kompozitlerin Termal Davranışına Etkileri. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15(4), 1423-1432.

To Cite: Özkan, A.N. & Kamil, Ş. (2025). Effects of Feldspar Ore on Thermal Behavior of Polypropylene Composites. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 15(4), 1423-1432.

Feldspat Cevherinin Polipropilen Kompozitlerin Termal Davranışına Etkileri

Ayşe Nur ÖZKAN^{1*}, Kamil ŞİRİN²

Öne Çıkanlar:

- Polimer kompozit
- Termal etki
- Sodyum feldspat

Anahtar Kelimeler:

- Polimer kompozit
- Polipropilen
- Sodyum feldspat
- Termal etki

ÖZET:

Bu çalışmada, polipropilen matris içerisine farklı oranlarda (ağırlıkça % 5, %10, %15) sodyum feldspat kullanılarak polipropilen/sodyum feldspat kompozitleri (PP/sodyum feldspat) tek vidalı ekstrüder ile hazırlanmıştır. Malzemelerin termal davranışı termogravimetrik analiz (TG), Diferansiyel Termal Analiz (DTA), Diferansiyel Termogravimetri (DTG) ve Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) kullanılarak araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, sodyum feldspatın polipropilen matrisine katılımının erime sıcaklığı, kristalizasyon davranışı ve termal stabilite üzerinde önemli etkileri olduğunu göstermiştir. Özellikle, sodyum feldspat oranının artmasıyla kompozit malzemelerin termal dayanımında iyileşme gözlemlenmiştir. Ayrıca kompozitlerin morfolojik incelemeleri Taramalı Elektron Mikroskopu-Enerji Dağılım Spektroskopisi (SEM-EDX) ile yapıldı. Bu bulgular, polipropilen bazlı kompozit malzemelerin termal performansının iyileştirilmesinde sodyum feldspatın potansiyel katkı maddesi olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

Effects of Feldspar Ore on Thermal Behavior of Polypropylene Composites

Highlights:

- Polymer composites
- Thermal behavior
- Sodium feldspar

Keywords:

- Polymer composites
- Polypropylene
- Sodium feldspar
- Thermal behaviour

ABSTRACT:

In this study, polypropylene/sodium feldspar composites (PP/sodium feldspar) were prepared by single screw extruder using sodium feldspar in different ratios (5%, 10%, 15% by weight) in polypropylene matrix. Thermal behavior of the materials was investigated using thermogravimetric analysis (TG), Differential Thermal Analysis (DTA), Differential Thermogravimetry (DTG) ve Differential Scanning Calorimetry (DSC). The results obtained showed that the incorporation of sodium feldspar into the polypropylene matrix had significant effects on melting temperature, crystallization behavior ve thermal stability. In particular, improvement in the thermal resistance of the composite materials was observed with increasing sodium feldspar ratio. In addition, morphological examinations of the composites were performed by Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDX). These findings suggest that sodium feldspar can be used as a potential additive in improving the thermal performance of polypropylene-based composite materials.

¹ Ayşe Nur ÖZKAN ([Orcid ID: 0000-0002-9391-288X](https://orcid.org/0000-0002-9391-288X)), Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Deneysel Fen Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, Manisa, Türkiye

² Kamil ŞİRİN ([Orcid ID: 0000-0002-0632-5848](https://orcid.org/0000-0002-0632-5848)), Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Kimya Bölümü, Fizikokimya Anabilim Dalı Manisa, Türkiye

***Sorumlu Yazar/Corresponding Author:** Ayşe Nur ÖZKAN, e-mail: aysenur.ozkan@cbu.edu.tr

GİRİŞ

Son yıllarda sanayicilerin ve araştırmacıların belirli uygulamalar için yeni ve uygun maliyetli malzemeler bulma arayışları nedeniyle, poliolefin temelli kompozitlerin önemi artmaktadır (Şirin 2008). Poliolefinlere çeşitli dolgu maddelerinin eklenmesiyle istenilen özellikte materyaller elde edilmektedir. Özellikle polipropilen (PP) ve kompozitlerinin mükemmel akışkanlığa, mekanik özelliklere, hava koşullarına karşı dayanıklılığa ve kimyasal dayanıma sahip olması dikkat çekicidir. Dolgu maddelerinin termoplastiklere dahil edilmesi plastik endüstrisinde üretim maliyetlerini azaltmak için kullanılan yaygın bir uygulamadır. Özellikle talk, kalsiyum karbonat (CaCO_3), mika, kaolin ve volastonit gibi dolgu maddeleri üretim maliyetlerinin azaltılması amacıyla kullanılmaktadır (Ansari ve İsmail 2009). Dolgu maddeleri ayrıca plastiklerin modül ve mukavemet, termal dayanıklılık, korozyon dayanımı, imalat kolaylığı gibi özelliklerini değiştirmek için de kullanılır. PP'nin düşük sıcaklıkta kolay çatlama, yüksek çentik hassasiyeti, büyük boyutlu ürünlerde büzülme, yetersiz sertlik ve kolay eskime gibi PP'nin kullanımını sınırlandıran birçok performans kusuru hala mevcuttur (Chen ve ark. 2022). Araştırmacılar son yıllarda PP'ye yeni özellikler kazandırmak amacıyla birçok çalışma yapmışlardır. Doğan ve ark. (Doğan ve ark. 2010) CaCO_3 dolgu maddesinin polipropilen (PP)/ düşük yoğunluklu polietilen (LDPE)/dialkil peroksit (DAP) üçlü karışımının termal ayrışma sürecine etkisini incelemişler ve CaCO_3 dolgu maddesinin termal kararlılığı artırdığı görülmüştür. Kahraman ve arkadaşları polipropilene mika ekleyerek mekanik özelliklerindeki değişimi ve alev geciktirici özelliğini incelemişler ve mikanın alev geciktiriciliği üzerinde önemli bir etkisi olduğunu belirtmişler (Kahraman, Kızılcan ve Oral 2021). İnorganik dolgu maddelerinden feldspatlar kayaç oluşturan minerallerin en çok bulunanı olup yer kabuğunun %60'ını oluştururlar ve bileşenlerine göre iki gruba ayrılırlar: Alkali (potasyum) feldspatlar ve plajiyoklaz (sodyum) feldspatlardır (Gökçen ve ark. 2022). Feldspatlar cam ve seramik üretim sektörünün önemli hammaddeleri arasındadır. Dünyada feldspatların %60'ı seramik, %35'i cam ve %5'i plastik, boya ve kauçuk sanayilerinde kullanılmaktadır (Güneş 2005). Feldspat, kauçuk ve plastiklerde özellik iyileştirme amacıyla kullanılan düşük maliyetli bir inorganik dolgu maddesidir. Maliyet düşürmenin yansırı iyi mukavemet, sağlamlık ve sertlik kazandırma özelliği de bulunmaktadır. İçerisindeki yüksek silika mekanik ve termal özelliklerin gelişmesinde katkı sağlamaktadır (Mousa 2008; Mousa 2013). Mika, kaolin, talk, CaCO_3 gibi inorganik dolgu maddeleri ile elde edilen polimer kompozitlerin termal ve mekanik özelliklerinin incelendiği birçok çalışma bulunmakta olup bunların iyi birer çekirdekletirici ajan olduğu vurgulanmıştır. Fakat sodyum feldspat ile elde edilen polimer kompozitlerin termal ve mekanik özelliklerinin incelendiği sınır sayıda çalışma vardır. Ansari ve arkadaşları (Ansari ve İsmail 2009) PP/ feldspat kompozitlerini uyumlaştırıcı kullanarak hazırlamışlar ve mekanik özelliklerini incelemişler. Kompozitlerin mekanik özelliklerinde artış olduğunu belirtmişler. Boran ve arkadaşları (Boran ve ark.,2017) iletken poli(o-toluidin)(POT)/sodyum feldspat kompozitini in-situ polimerizasyon yöntemiyle hazırlamışlar. Hazırlanan kompozitlerin morfolojisi ve yapısı çeşitli tekniklerle incelenmiş ve TGA analiz sonuçlarına göre sodyum feldspatın POT'in termal dayanımı arttırdığı gözlenmiştir. Başka bir çalışmada (Altay ve ark.,2021) polipropilene kütlece %40 oranında feldspat, talk, kalsit ve mika ekleyerek ekstruder ile kompozitlerini hazırlamışlar ve fiziksel, mekanik, termal ve reolojik özelliklerini incelemişler. Kompozitlerin çekme dayanımında azalma fakat bozunma sıcaklığında artış olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada farklı oranlardaki (%5, 10, 15) sodyum feldspat/polipropilen kompozitleri eriyik halde tek vidalı masaüstü ekstrüder ile hazırlanmıştır. Daha sonra hazırlanan kompozitlerin TG/DTG ve DSC analizleri yapılarak sodyum feldspat katkı maddesinin polipropilenin termal özelliklerindeki değişimi incelenmiştir. Ayrıca SEM/EDX yapılarak malzemenin morfolojik özellikleri incelenmiştir. Daha önce farklı oranlarda sodyum feldspat/polipropilen

kompozitlerinin termal davranışı üzerine çalışma bulunmamakta olup, literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

MATERYAL VE METOT

Materyal

Toz halde polipropilen PETKİM A.Ş den, toz haldeki sodyum feldspat ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) ise MTA' dan (Maden Tetkik Arama) temin edilmiştir.

Kompozitlerin Hazırlanması

Çalışmamızda toz haldeki polipropilen ile toz haldeki sodyum feldspat kompozitleri belli oranlarda karıştırılarak 4 farklı numune üretilmiştir. Hazırlanan kompozitlerin karışım oranları ve numune kodları Çizelge 1'de gösterilmiştir. Kompozitler Şekil 1'de gösterilen tezgah tipi tek vidalı karıştırıcı ile karıştırılarak hazırlanmıştır.



Şekil 1. SJ35 model laboratuvar tipi masaüstü mini tek vidalı ekstruder

Çizelge 1. Araştırmada kullanılan kompozitlerin karışım oranları ve kodları

Numune Kodu	Polipropilen Miktarı (%)	Sodyum Feldspat Miktarı (%)
PP	100	0
PPSF5	95	5
PPSF10	90	10
PPSF15	85	15

Karakterizasyon

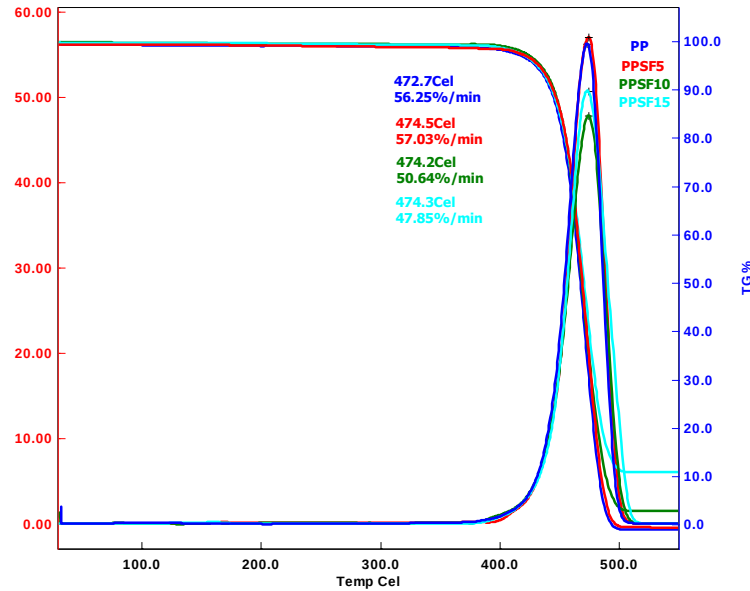
Polipropilen/sodyum feldspat kompozitlerinin termal özelliklerini belirlemek için TG/DTA ve DSC analizleri gerçekleştirilmiştir. TG/DTA analizleri Hitachi marka TG/DTA 7300 model cihaz ile oda sıcaklığından başlanarak 600°C'ye kadar azot atmosferinde ve 20°C/dk ısıtma hızıyla yapılmıştır. DSC analizleri ise TA marka DSC 250 model cihaz ile oda sıcaklığından başlanarak 200°C'ye kadar azot atmosferinde 20°C/dk ısıtma hızıyla yapılmıştır. Maximum bozunmaya karşılık gelen sıcaklık, % kayıp, erime ve kristallenme sıcaklıkları ile entalpi değerleri bu analiz yöntemlerinden elde edilmiştir. Morfolojik analizleri ZEISS GEMINI 500 SEM cihazı ile yapılmıştır. FT-IR analizleri ise 400-3500 cm^{-1} dalgasayısı aralığında Perkin Elmer marka Spectrum Two model cihaz ile yapılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

TG/DTG Analizleri

Polipropilen ve kompozitlerin termal kararlılığı için TGA analizleri gerçekleştirildi. Şekil 2'de saf polipropilen ile kütlece %5, %10 ve %15 oranında sodyum feldspat ilaveli kompozitlerin sıcaklığa karşı TG/DTG eğrileri verilmiştir. Sodyum feldspat yüksek sıcaklıklara dayanımı olan bir cevher olup 600°C' de herhangi bir bozunma beklenmemektedir. Bu sıcaklıkta sadece polipropilene ait tek basamakta

bozunma görülmektedir. TGA eğrilerden % kayıp oranları hesaplanmıştır. Katkı ilavesi arttıkça % kayıp oranlarının azaldığı görülmektedir ve başlangıçta koyulan katkı miktarlarının oranlarıyla tutarlılık göstermektedir. Şekil 2’deki DTG eğrilerinden maksimum bozunmaya karşılık gelen sıcaklık değerleri (DTG_{max}) görülmektedir. Buna göre saf polipropilene katkı maddesi eklenmesiyle DTG_{max} yaklaşık $2^{\circ}C$ artmıştır. Sodyum feldspatın polipropilenin termal kararlılığını arttırdığı söylenebilir. TG/DTA cihazından elde edilen veriler Çizelge 2’de verilmiştir.



Şekil 2. PP/Sodyum Feldspat kompozitlerinin TG/DTG eğrileri

Çizelge 2. TG/DTA cihazından elde edilen veriler

Numune Kodu	DTG max (°C)	% Kayıp
PP	472,7	100
PPSF5	474,5	99
PPSF10	474,2	96
PPSF15	474,3	88

DSC Analizleri

Kompozitlerin erime ve kristallenme davranışı izotermal olmayan koşullar altında incelenmiştir. DSC analizi sonucu elde edilen sıcaklığa karşı ısı akışı eğrileri verilmektedir. Şekil 3’te kompozitlerin ikinci ısıtma çevriminden elde edilen erime eğrileri ve birinci soğutma çevriminden elde edilen kristallenme eğrileri gösterilmektedir. Eğrilerde görülen endotermik pikten erime sıcaklıkları ve entalpi hesapları yapılmıştır. Sodyum feldspat ilavesiyle polipropilenin erime sıcaklığının daha yüksek sıcaklıklara kaydığı görülmektedir. Kompozitlerin kristallenme sıcaklıkları incelendiğinde saf polipropilene göre katkı oranı arttıkça kristallenme sıcaklıkları daha yüksek değerlere kaymaktadır. Talk, kalsiyum karbonat gibi inorganik dolgu maddeleri, polimer matris içinde çekirdekleştirici ajan olarak görev yaparak malzemenin termal ve mekanik özelliklerini iyileştirebilmektedir. Bu tür katkıların kristallenme sıcaklığında meydana getirdiği artış, çekirdekleştirici etkiyi doğrulayan önemli bir göstergedir (Chan ve ark., 2002; Yahyapour ve ark., 2024). Nitekim, saf polipropilene %15 oranında sodyum feldspat ilave edildiğinde, kristallenme sıcaklığında yaklaşık $6^{\circ}C$ ’lik bir artış gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, sodyum feldspatın da etkin bir çekirdekleştirici ajan olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Kompozitlerin % kristallik oranlarını hesaplamak için entalpi değerlerinden faydalanılmıştır. Aşağıdaki denkleme göre hesaplama yapılmış olup polipropilenin erime sırasındaki entalpi değerinin (ΔH_m) mükemmel kristalin füzyon ısısı ($\Delta H^{\circ} = 209 \text{ J/g}$) (Şirin ve ark. 2015) değerine oranı ile

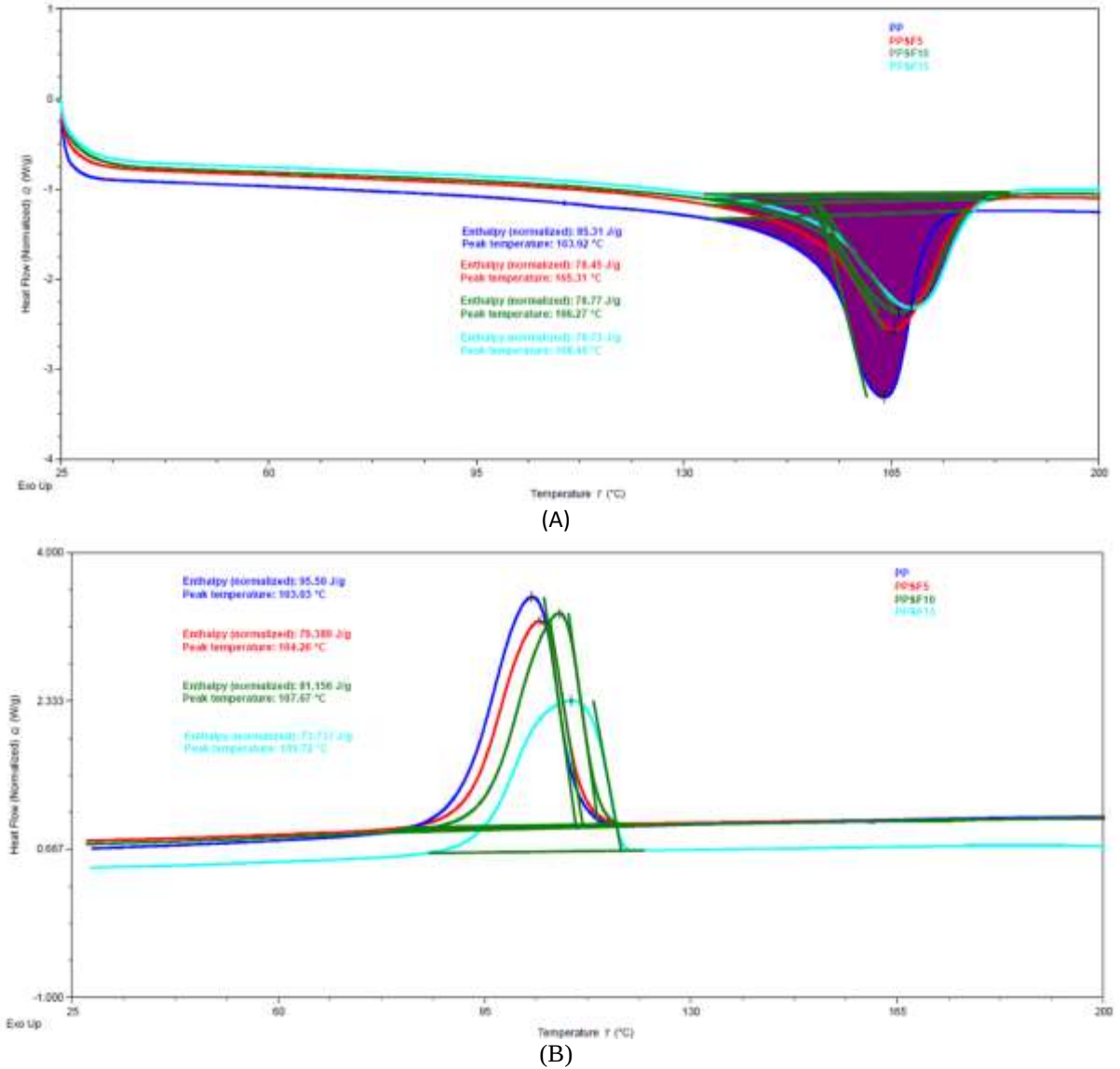
hesaplanmış olup değerler Çizelge 3'te verilmiştir. Saf polipropilene sodyum feldspat katkısı eklenmesiyle % kristallik oranında yaklaşık %3'lük bir azalma görülmektedir. Karışımların kristallik oranı (X_c), aşağıdaki eşitlik (Eşitlik 1) kullanılarak toplam entalpi yöntemiyle ölçüldü.

$$X_c (\%) = \frac{\Delta H_m}{\Delta H^\circ} 100 \quad (1)$$

X_c : Kristallik oranı (%)

ΔH_m : Erime entalpisi (j/g)

ΔH° : %100 kristal polimerin erime entalpisi (j/g)



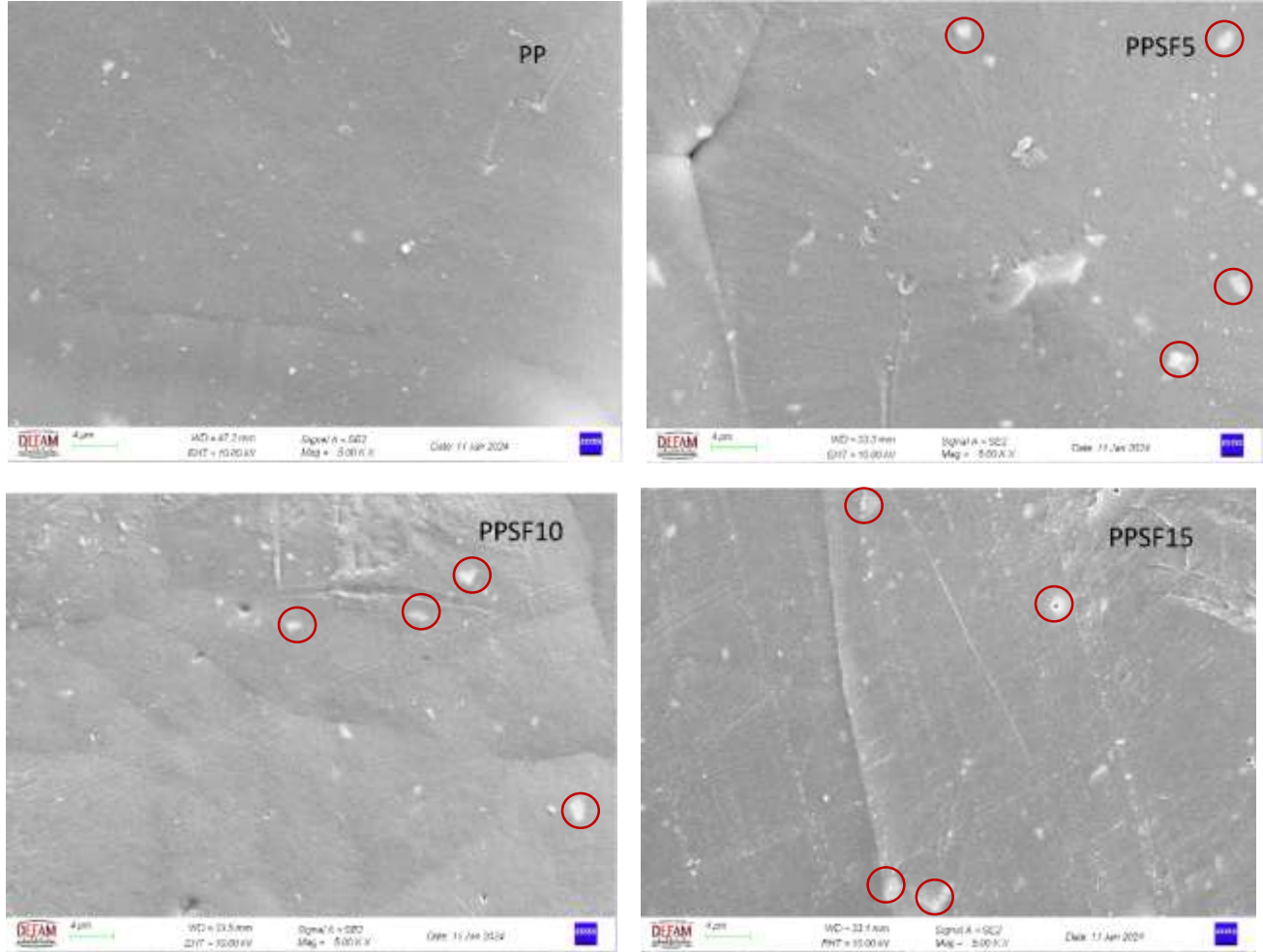
Şekil 3. PP/Sodyum Feldspat kompozitlerinin DSC termogramları, (A) ikinci ısıtma erime eğrileri (B) birinci soğuma eğrileri

Çizelge 3. DSC cihazından elde edilen veriler

Numune Kodu	T _m (°C)	T _c (°C)	ΔH _m , J/g	ΔH _c , J/g	X _c (%)
PP	163,92	103,03	85,31	95,50	40,82
PPSF5	165,31	104,26	78,45	89,39	37,54
PPSF10	166,27	107,67	78,77	91,16	37,69
PPSF15	168,46	109,72	78,73	83,74	37,67

SEM-EDX Analizleri

PP/sodyum feldspat kompozitlerinin yüzey karakterizasyonu SEM analizi ile yapıldı. Kompozit içerisindeki sodyum (Na), alüminyum (Al), silisyum (Si), oksijen (O) elementlerinin dağılımları EDX kullanılarak incelenmiştir. PP/sodyum feldspat kompozitlerinin SEM görüntüleri Şekil 4'te gösterilmiştir.



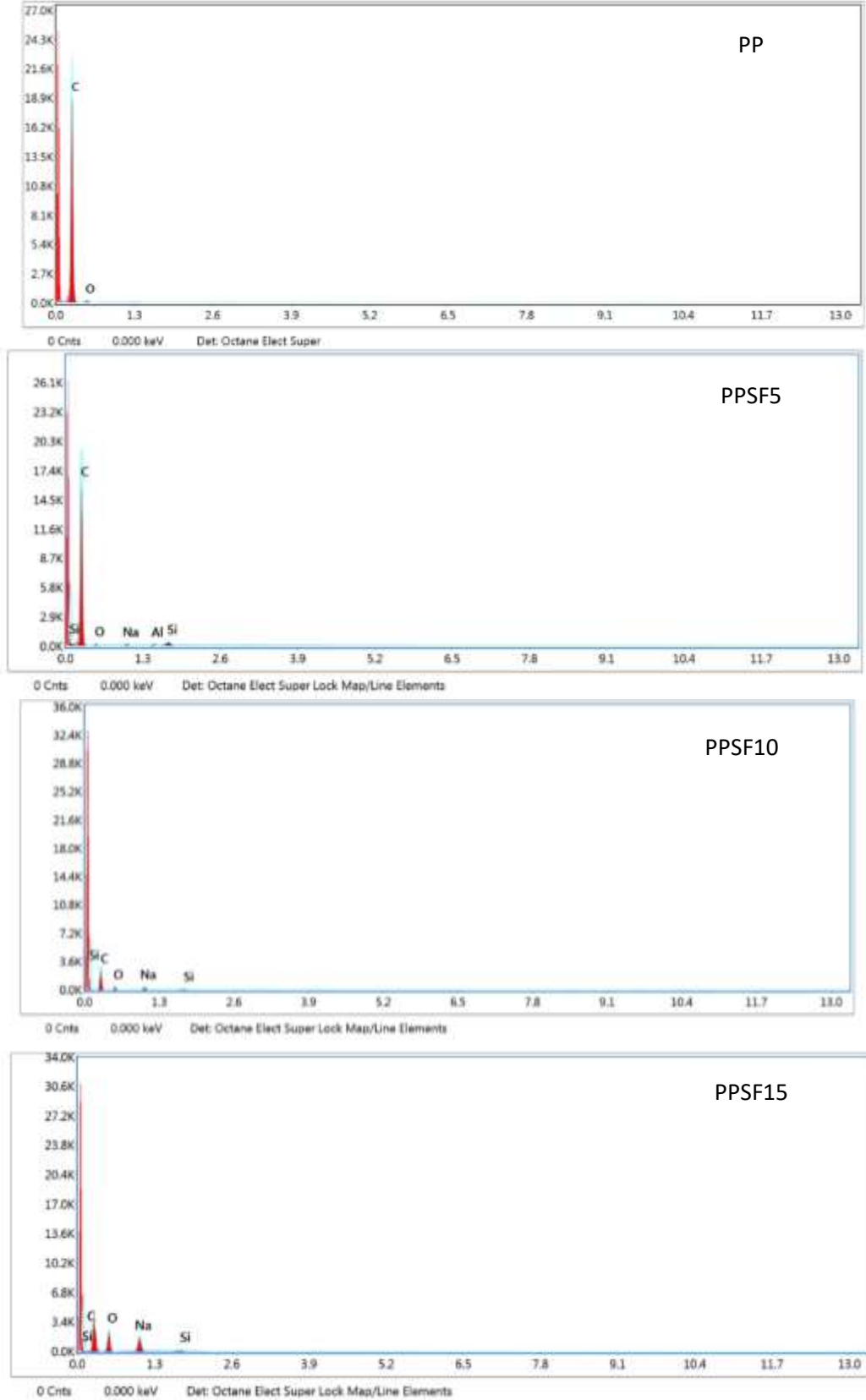
Şekil 4. PP/Sodyum Feldspat kompozitlerinin SEM görüntüleri

Bilindiği gibi saf PP'nin SEM görüntüsünde pürüzsüz ve düz yüzeyler görülmektedir. Sodyum feldspat miktarı arttıkça polipropilen yüzeyinde sodyum feldspat parçacıklarının birikmeye başladığı görülmektedir. SEM görüntülerinde sodyum feldspat yapıları kırmızı daire içine alınarak vurgulanmıştır. Bunun yansira sodyum feldspat miktarı arttıkça tabakalanmalar oluştuğu görülmüştür. Kompozitlerin kimyasal bileşimini incelemek amacıyla EDX analizi yapılmış olup elde edilen grafikler Şekil 5'te verilmiştir. EDX analizinden elde edilen PP/sodyum feldspat kompozitlerinin atomik yüzdeleri sırasıyla Çizelge 4 'te verilmiştir.

Çizelge 4. EDX analizinden elde edilen PP/sodyum feldspat kompozitlerinin atomik yüzde dağılımı

Element	Atomik %			
	PP	PPSF5	PPSF10	PPSF15
C	98,39	97,65	84,39	68,38
O	1,61	1,63	12,48	25,78
Na		0,24	2,74	5,64
Si		0,37	0,39	0,20
Al		0,11		

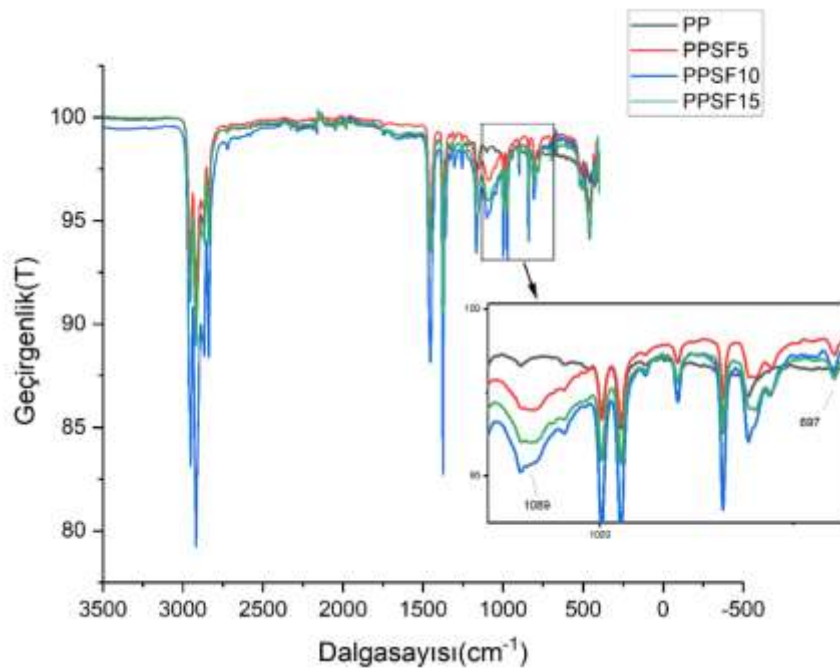
Çizelge 4'e göre atomik % sonuçları kompozitlerdeki bileşenlerin bileşim yüzdeleri ile orantılı olmasına rağmen heterojen dağılımdan dolayı doğrusal bir artış söz konusu değildir. Tüm kompozitlerde beklendiği gibi karışımlardaki sodyum feldspat yüzdesi arttıkça doğrusal bir artış olmamasına rağmen sodyum, silisyum ve oksijenin atomik yüzdeleri artmaktadır. Bu sonuca bağlı olarak karbon atomu yüzdesi azalmaktadır.



Şekil 5. EDX analizinden elde edilen PP/sodyum feldspat kompozitlerinin grafikleri

FT-IR Analizleri

Farklı oranlardaki sodyum feldspat ile hazırlanan PP kompozitlerinin FT-IR spektrumları Şekil 6'da verilmiştir. Literatürle uyumlu olarak (Prabowo ve ark. 2017) 2950 cm^{-1} , 2917 cm^{-1} ve 2838 cm^{-1} 'deki pikler C-H gerilmesini, 1455 cm^{-1} ve 1376 cm^{-1} 'daki pikler CH_2 ve CH_3 eğilmesini ifade etmektedir. 1167 cm^{-1} 'deki pik ise polipropilenin omurgasını oluşturan C-C eğilme titreşimini ifade etmektedir. 996 cm^{-1} , 974 cm^{-1} ve 840 cm^{-1} 'daki spektrumlar izotaktik polipropilen bandını göstermektedir. Literatürde (Bosch-Reig ve ark. 2017)) feldspatların kızılötesi spektrumları incelendiğinde, feldspatların $1200\text{--}800\text{ cm}^{-1}$ aralığında Si-O gruplarının simetrik gerilme ve $600\text{--}800\text{ cm}^{-1}$ arasında Si-O gruplarının simetrik ve asimetrik eğilme pikleri verdiği belirtilmiştir. Bu bilgiler ışığında kompozitlerdeki 697 cm^{-1} ve 1089 cm^{-1} 'deki pikler sodyum feldspata atfedilmiştir. Kompozitteki her iki malzemeye ait karakteristik piklerin spektrumda görülmesi ve yeni bir pik oluşumunun görülmemesi, bu malzemelerin fiziksel karışığının bir göstergesi olmuştur.



Şekil 6. PP/Sodyum Feldspat kompozitlerinin FT-IR Spektrumları

SONUÇ

Bu çalışmada polipropilen matrisinin içerisine farklı oranlarda inorganik sodyum feldspat eklenerek tek vidalı ekstrüder ile kompozitler hazırlanmıştır. Hazırlanan kompozitlerde sodyum feldspatın polipropilenin termal davranışına etkisi DSC ve TGA cihazlarıyla incelenmiştir. DSC analizleriyle elde edilen erime sıcaklıkları kıyaslandığında $163,92^{\circ}\text{C}$ ölçülen PP'nin erime sıcaklığı sodyum feldspat miktarı arttıkça arttığı gözlemlenmiştir. Sodyum feldspat katkısının ilavesiyle kristallik oranında %3'lük bir azalma gözlemlenmesine rağmen, kristallenme sıcaklığında yaklaşık 6°C 'lik bir artış meydana gelmiştir. Kristallenme sıcaklıklarındaki bu artış, sodyum feldspatın polipropilen gibi yarı kristal polimer sistemlerinde etkili bir çekirdekleştirici ajan olarak işlev görebileceğini ortaya koymaktadır.

Altay ve arkadaşları (Altay ve ark.,2021) tarafından yapılan çalışmada PP'e kütlece % 40 oranında mika, kalsit, feldspat ve talk eklenmiş. Polipropilenin 451°C olan maksimum bozunmaya karşılık gelen sıcaklık değeri, mika, kalsit, feldspat ve talk eklenmesiyle sırasıyla 463°C , 457°C , 462°C , 459°C 'lere çıkmış. Bizim çalışmamızda ise PP'e kütlece % 15 oranında feldspat eklediğimizde polipropilenin maksimum bozunmaya karşılık gelen sıcaklık değeri 472°C 'den 474°C çıkmaktadır. Bu çalışmada

kullanılan karışım oranlarının, önceki çalışmaya kıyasla daha düşük olması, termal kararlılıkta gözlemlenen artışın sınırlı düzeyde kalmasını açıklamaktadır.

Kompozitlerin termal kararlılığındaki ve kristallenme sıcaklığındaki artış, bu malzemelerin endüstriyel uygulamalarda daha geniş bir kullanım potansiyeli sağlayacaktır. Ayrıca, sodyum feldspatın yer kabuğunda bol miktarda bulunması, kompozitlerin maliyetlerini düşürerek, endüstriye sürdürülebilir ve ekonomik bir alternatif sunmaktadır.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Altay, L., Sarikanat M., Sağlam M. Uysalman, T., Seki Y. (2021). The effect of various mineral fillers on thermal, mechanical, and rheological properties of polypropylene. *Research on Engineering Structures and materials*, 7(3), 361-373. <http://dx.doi.org/10.17515/resm2021.258ma0213>.
- Ansari, M. N. M., & Ismail, H. (2009). Effect of compatibilisers on mechanical properties of Feldspar/Polypropylene composites. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 48(12), 1295–1303. <https://doi.org/10.1080/03602550903204162>
- Boran, F., Çetinkaya S., Anaklı D., Karakışla M., Saçak M. (2017) Geliştirilmiş elektrik iletkenliğine sahip POT/ Na-Feldspat ilet kompozitlerinin sentezlenmesi ve karakterizasyonu. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, 8(4),901-910.
- Bosch-Reig, F., Gimeno-Adelantado, J. V., Bosch-Mossi, F., & Doménech-Carbó, A. (2017). Quantification of minerals from ATR-FTIR spectra with spectral interferences using the MRC method. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 181, 7–12. doi:10.1016/j.saa.2017.02.012
- Chen, X., Zhang, T., Sun, P., Yu, F., Li, B., & Dun, L. (2022). Study on the performance and mechanism of modified mica for improving polypropylene composites. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 17, 176–184. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctab098>
- Doğan, F., Şirin, K., Kaya, İ., & Balcan, M. (2009). The influence of CaCO₃ filler component on thermal decomposition process of PP/LDPE/DAP ternary blend. *Polymers for Advanced Technologies*, 21(7), 512–519. <https://doi.org/10.1002/pat.1461>
- Demir, B. G., Özdoğan, A. K., ve Akbulut, A. (2022). Türkiye feldspat madenciliğinin genel bir değerlendirmesi. *AURUM Journal of Engineering Systems and Architecture*, 6(2), 253–262. <https://doi.org/10.53600/ajesa.1183991>
- Güneş, T. Kerem (2005). *Türkiye feldspat sahalarının coğrafi bilgi sistemleri ortamında değerlendirilmesi ve yönetilmesi* (Yüksek lisans tezi). Erişim adresi: <https://nek.istanbul.edu.tr/ekos/TEZ/40809.pdf>
- Kahraman, M., Kızılcan, N., ve Oral, M. A. (2021). Influence of mica mineral on flame retardancy and mechanical properties of intumescent flame retardant polypropylene composites. *Open Chemistry*, 19(1), 904–915. <https://doi.org/10.1515/chem-2021-0072>
- Mousa, A. (2008). On the Potential of Feldspar Sand for Recycled PET/SMRL Composites. *Journal of Elastomers & Plastics*, 40(2), 179–190. <https://doi.org/10.1177/0095244307082561>

- Mousa, A. (2013). The effect of feldspar and kaolin on mechanical performance of SBR/LDPE composites. *International Journal of Industrial Chemistry*, 4(1), 26. <https://doi.org/10.1186/2228-5547-4-26>
- Prabowo I., Pratama J.N., Chalid M. (2017). The effect of modified ijuk fibers to crystallinity of polypropylene composite. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 223 012020 [doi:10.1088/1757-899X/223/1/012020](https://doi.org/10.1088/1757-899X/223/1/012020)
- Şirin, K. (2008). *Preparation of polymer blends and their composites, and determination of their properties* (Doktora tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Şirin, K., Yavuz, M., Çanlı M. (2015). Influence of Dilauroyl peroxide on Mechanical and Thermal Properties of Different polypropylene matrices. *Polymer-Korea*, 39(2), 200-209.