

## Üre-Formaldehit Reçinesi Katı Atıklarının Tarımsal Gübre Olarak Kullanımı

Hasan ERYILMAZ<sup>1</sup> , Kazım Onur DEMİRARSLAN<sup>2\*</sup> , Recep AYKAN<sup>3</sup> 

### Öz

Bu araştırmada temel amaç; orman ürünleri sanayinde çıkan üre-formaldehit reçineleri (UFR) atıklarının, çevre dostu sayılabilecek “iyi tarım” uygulamalarında gübre olarak, nasıl yeniden kullanılabileceğini incelemektir. Yani esas hedef, UFR atıklarının tarımsal faaliyetlerde kullanılmasının, bitki büyümesi üzerindeki etkilerini değerlendirmek ve bu atıkların çevresel sürdürülebilirlik açısından potansiyelini ortaya koymaktır. Çalışma, UFR atıklarının tarım sektöründe verimli bir şekilde kullanıldığında olumlu etkiler sağladığını göstermektedir. Bu atıkların toprak verimliliğini artırdığı, bitki büyümesini teşvik ettiği ve topraktaki besin maddelerinin daha etkili bir şekilde kullanılmasına olanak tanıdığı belirlenmiştir. Ayrıca, UFR atıklarının çevre dostu bir gübre kaynağı olarak kullanılması, atık yönetimi ve tarım uygulamaları arasındaki çevresel ve ekonomik bağlantıyı güçlendirecektir. Bu çalışmada, UFR atıklarının tarımsal gübre olarak kullanılmasının sürdürülebilir bir strateji olabileceği ve bu yaklaşımın çevresel faydalarının yanı sıra tarım sektöründeki ekonomik etkilerini de iyileştirebileceği ortaya konulmuştur. Bu bağlamda; UFR atıkları dâhil tüm atıkların verimli bir şekilde değerlendirilmesi, çevre dostu olabilecek “iyi tarım” uygulamalarının teşvik edilmesi ve tarımın sürdürülebilirliğine katkıda bulunulması, önemli bir araştırma önerisidir.

**Anahtar Kelimeler:** UFR Atıkları, tarımsal gübre, sürdürülebilirlik, bitki gelişmesi, çevresel faydalar

## Use of Urea-Formaldehyde Resin Solid Wastes as Agricultural Fertilizer

### Abstract

The main purpose in this research is, to examine the potential utilization of urea-formaldehyde resin (UFR) wastes, produced in the forest products industry, as a sustainable fertilizer in eco-friendly “good agricultural” practices. The primary aim of this study is, to evaluate the effects of using UFR wastes in agricultural activities on plant growth and to reveal the potential of these wastes in terms of environmental sustainability. The study shows that UFR waste provides positive effects when used efficiently in the agricultural sector. It has been determined that these waste materials enhance soil fertility, facilitate plant growth, and improve the efficient utilization of nutrients within the soil. Additionally, using UFR wastes as an environmentally friendly fertilizer source will strengthen the environmental and economic link between waste management and agricultural practices. This study reveals that the use of UFR waste as agricultural fertilizer can be a sustainable strategy and that this approach can improve its economic impacts in the agricultural sector as well as its environmental benefits. In this particular context; efficient utilization of all wastes including UFR wastes, encouraging environmentally friendly “good agriculture” practices and contributing to the sustainability of agriculture is an important research proposal.

**Keywords:** UFR Wastes, agricultural fertilizer, sustainability, plant growth, environmental benefits.

<sup>1,2</sup>Artvin Çoruh Üniversitesi, Çevre Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Artvin, Türkiye, [h.eryilmaz@artvin.edu.tr](mailto:h.eryilmaz@artvin.edu.tr)  
[onurdemirarslan@artvin.edu.tr](mailto:onurdemirarslan@artvin.edu.tr)

<sup>3</sup>Sinop Üniversitesi, Ormancılık Bölümü, Orman Ürünleri Programı, Ayancık Meslek Yüksekokulu, Sinop, Türkiye,  
[raykan@sinop.edu.tr](mailto:raykan@sinop.edu.tr)

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

**Geliş/Received:** 23.11.2023

**Kabul/Accepted:** 14.06.2024

**Yayın/Published:** 18.06.2024

## 1. Giriş

Üre-formaldehit reçineleri (UFR) genellikle, sıvılaştırılmış formları ahşap ve ahşap bazlı kompozit ürünlerin yapıştırılmasında toz formları ise, anahtar-priz gövdeleri, klozet kapakları gibi çeşitli materyallerin imalatında yaygın olarak kullanılan çok önemli bir malzemedir. Bu reçineler, üre ve formaldehitin kopolimerizasyonu yoluyla elde edilen termoset polimerlerdir ve genellikle ahşap, tekstil, kağıt, ve boya endüstrilerinde bağlayıcı olarak kullanılırlar (Yüce ve ark., 2020; Osemeahon ve Barminas, 2007).

UFR'lerin sentezi, formaldehitin alkali bir ortamda üre ile reaksiyona girmesiyle başlayan ayrıntılı bir süreçtir ve iki aşamalı bir reaksiyon içermektedir. İlk aşama, metilolasyon olarak adlandırılır ve bu aşamada üre moleküllerine formaldehit eklenir, metilol grupları oluşur ve F/U mol oranına bağlı olarak, metilol türlerin oranları da değişir. UF polimeri, ikinci aşama olan asit kondensasyon aşamasında oluşur. Bu aşamada, ara ürün olan metiloller, hala sistemde mevcut üre ve formaldehit ile lineer ve kısmen dallanmış moleküller oluşturmak için reaksiyona girmektedir. Üre molekülleri, metilen eter köprüleri (-CH<sub>2</sub>-O-CH<sub>2</sub>-) ve metilen köprüleri (-CH<sub>2</sub>-) ile bağlanmaktadır (Zorba ve ark., 2008). Bu reaksiyon, metilen ve aminometilen köprülerinin oluşumuna yol açar ve formaldehit ile üre polikondensatlarını oluşturan temel yapıyı, yani metilen ve amino gruplarını içerir. (Dunky, 1998). UF reçineleri, özellikle ahşap esaslı panellerin imalatında önemli bir rol oynayan termoset yapıştırıcı bir reçine çeşididir. UFR sentezi, düşük maliyetli bir ürün elde etmesiyle dikkat çeker. Bu sentez süreci, üre ve formaldehitin aşamalı olarak eklenmesini ve ardışık kondensasyon reaksiyonlarını içerir. Ancak UFR'lerin üretim ve kullanım süreçlerinde kaçınılmaz bir şekilde formaldehit salınımı da oluşur (Akinterinwa ve ark., 2020). UFR'lerin üretimindeki önemli teknik ve ekonomik özellikler, endüstriyel uygulamalarda bu reçinelerin yaygın olarak tercih edilmesine katkı sağlar.

UFR yüksek mukavemet, sertlik, maliyet etkinliği ve hızlı kurlenme özellikleri ile dikkat çekmektedir. Ahşap ürünleri endüstrisi tarafından özellikle tercih edilen bu reçineler, yüksek sıcaklıklarda son derece hızlı bir şekilde kurlenme yeteneği ile öne çıkarlar. Özellikle yonga levha ve lif levha üretiminde kullanılan UF reçineleri, bu endüstrinin temel bileşenlerindedir (Ohalet ve Popoola, 2019; Dorieh ve ark., 2018; Saito ve ark., 2021).

UFR'ler ahşap ve ahşap bazlı ürünlerin yapıştırılmasında geniş bir uygulama alanına sahip önemli bir malzemedir. UFR'lerin tercih edilme sebepleri, düşük maliyet, yüksek performans, kolay kullanım ve uzun raf ömrü gibi avantajlarıdır (Tohmura ve ark., 2000).

En dikkat çeken avantajlarından biri, düşük maliyetleri olup, diğer ahşap yapıştırıcılarına göre daha ekonomik bir seçenek sunmalarıdır. Ayrıca ahşap malzemelerin yapıştırılmasında yüksek performans sağlamaları, bu reçinelerin tercih edilmesine neden olan önemli bir özelliktir. Kolay

kullanımları ve geniş bir uygulama yelpazesi sunmaları, endüstriyel kullanımlarını daha da cazip hale getirirken, uzun raf ömürleri, stoklama açısından büyük avantajlar sunar (Tohmura ve ark., 2000).

Ancak UFR'lerin kullanımında dikkate alınması gereken önemli dezavantajlar da bulunmaktadır. Bu reçineler, formaldehit emisyonu nedeniyle çevresel endişelere yol açabilirler. Formaldehit, insan sağlığı ve çevre için potansiyel bir risk oluşturur. Solunum yoluyla alındığında sağlık sorunlarına yol açabilir ve uzun süre maruz kalındığında kanser riski artabilir (Song ve ark., 2021).

Son yıllarda, kontrollü veya yavaş salımlı gübrelerin gelişimi hızla ilerlemiş ve gübre araştırmalarının odağına yerleşmiştir. Topraktaki bu yavaş salımlı gübrelerin etkisi, bitki emilimi ve kullanımı için kritik olan amonyumun ve karbondioksitin mikrobiyal hidroliz yoluyla serbest bırakılmasından kaynaklanmaktadır. Bu süreç sonucunda, gübre yavaş yavaş tamamen kullanılır ve çevresel olarak daha sürdürülebilir bir yaklaşım sunar. Bu nedenle, yavaş salımlı gübrelerin kullanımı, çevre dostu bir seçenek olarak öne çıkar ve bu tür gübrelerin benzersiz avantajlar sunmasına yol açar. Bu bağlamda, UFR, dünya genelinde en yaygın kullanılan yavaş salımlı gübrelerden biri olarak öne çıkmaktadır. UFR, üre ve formaldehit arasındaki reaksiyondan elde edilen uzun zincirli ve organik azotlu bir polimerdir; toprakta mikroorganizmalar tarafından yavaşça parçalanabilir ve bu da besin olan amonyak azotunun toprağa yavaşça salınmasına ve kaybolmadan bitki tarafından alınmasına neden olur. UFR'nin yavaş salınım özelliği, kristalliğinin azaltılmasıyla daha da geliştirilebilir, çünkü su ve mikroorganizmalar UFR'deki amorf bölgelere daha kolay nüfuz eder (Yang ve ark. 2018).

UFR gübrelerinin, dikkate değer fiziksel özelliklere ve yavaş besin maddesi salınım oranlarına sahip oluşu, toprak yapısında çok küçük mineraller için kısmi topaklanma meydana getirerek suyla akıp gitmesini azaltabilir, toprak geçirgenliğini artırabilir ve bitki köklerinin daha derinlere nüfuz etme yeteneğini artırabilir. Ayrıca, hızlı ve uzun süreli işleyişleri sayesinde azot kullanım verimliliği %50'yi aşabilmektedir (Guo ve ark. 2018).

Bu çalışmada, endüstriyel süreçlerin bir yan ürünü olarak ortaya çıkan UFR atıklarının çevresel ve tarımsal potansiyeli incelenmiş, tarımsal uygulamalarda yavaş salımlı azot gübresi olarak kullanılabilmesi, tohum dikiminden 134 gün yani 4,5 ay sonra bile etkisinin sürmesiyle anlaşılmıştır. Çalışmada, plastik sanayisinden kaynaklanan UFR atıkları üzerine odaklanılmıştır. Bu atıkların, tarım alanında kullanılabilmesi için özel bir işleme gerek kalmadan, toprakla karıştırılarak uygun hale getirilebileceği değerlendirilmektedir. Eryılmaz ve Demirarslan (2022) tarafından daha önce çevre kirliliğine uyum amacıyla gerçekleştirilen benzer bir çalışmada; PET, PVC, UFR gibi plastik atıklarla karışık topraklarda bitki yetiştirme denemeleri yapılmış ve PVC hariç diğer atıkların tarım verimliliği üzerinde olumlu sonuçlar doğurduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada ise, yalnızca UFR atıklarının

kullanıldığı saksı denemeleri gerçekleştirilerek, farklı atık yüzdesinin bitki büyümesi üzerindeki etkileri daha geniş bir aralıkta araştırılmaktadır.

Araştırma, atık yönetimi ve tarım uygulamaları arasındaki çevresel ve ekonomik bağlantıyı vurgulamakta ve potansiyel bir sürdürülebilirlik stratejisi sunmaktadır. Çalışmanın sonuçları, UFR atıklarının tarım sektöründe verimli bir şekilde kullanılmasının çevresel faydalarını ve tarımsal potansiyelini göstermektedir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada bitki materyali olarak, Artvin-Seyitler köyü çiftçileri tarafından yetiştirilen acı kırmızıbiber (*Capsicum annuum*) kullanılmıştır. Bitki materyali, üreticiden temin edilmiş olup, temiz, sağlıklı ve olgun biberlerden elde edilen tohumlar kullanılmıştır. Tüm deneme serilerinde, biber tohumları, birbirine yakın büyüklükte olanlar arasından seçilerek ekilmiştir. Toprak materyali, yerel bir tarım arazisinden alınmış ve daha homojen bir yapı elde etmek için iyice karıştırılmıştır. Saksılar birbirinin aynısı olan ve piyasada bulunan 1,5 kg 'lık yoğurt kaplarıdır. Dikim sonrası bitkiler, aynı çevresel koşullarda sulanmış (üst yüzey kurudukça, aynı zamanda, hepsine birer fincan su), güneşlenmiş, zamanla gelişim aşamaları uygun bir şekilde belgelenmiştir. Bu çalışmada kullanılan UFR atıkları, "Körfez Kimya, DERİNCE – KOCAELİ/TURKİYE" şirketi malı toz UFR'den, Çanakcılar Şirketler Grubu'nca klozet kapağı imalatında çıkan pres çapaklarıdır.

UFR atıkları, saksı denemeleri öncesinde, UFR'nin geri kazanılması amacıyla kapalı-basınçlı ve sıcak sulu bir ortamda hidrolize tabi tutulmuştur. Ardından, hidroliz ürünlerinin tekrar polimerleşmesi ve ısıtılarak buharlaştırılması için denemeler gerçekleştirilmiştir. Ancak bu işlemlerin sonucunda orijinal UFR'nin sertliğine ulaşamamış olmasının çeşitli nedenleri olabilir. Örneğin hidroliz işlemi, UFR monomeri olan üreden çok öteye giderek ürenin parçalanma ürünü olan amonyağa kadar gitmiş olabilir (açığa çıkan amonyak kokusunun gösterdiği gibi) (Liu ve ark. 2018). Bir diğer ihtimal ise hidroliz ürünlerinin tekrar polimerleşme denemelerinin basınçsız ortamda yapılması nedeniyle gaz olan amonyak, karbondioksit veya formaldehidin havaya uçmasından kaynaklanabilir (Lubis ve ark. 2017). Bu nedenle, UFR geri kazanmak yerine, sıvı hidroliz ürünlerinin direk olarak N gübresi olarak kullanılabilme olasılığı göz önüne alınmış, ayrı ayrı basınçlı ve basınçsız hidroliz denemeleri yapılmış ve sonuçlar bulgular kısmında verilmiştir. Bununla birlikte, katı UFR atıklarının, çözeltiliye göre daha uzun süreli bir azot gübresi olabileceği varsayımıyla, bu materyalin hidroliz ürünlerinin gübre olarak kullanılmasının ayrıntılı araştırmaları gerçekleştirilmeden, ince kırılmış katı UFR atıkları ile saksı denemelerine geçilmiştir.

UFR atıkları, 10-15 cm büyük parçalar halinde buldukları için, öğütülerek ince kum tanesi boyutlarına getirilmiş ve toprakla homojen bir karışım elde edilmiştir. Eryılmaz ve Demirarslan

(2022) tarafından yapılan daha önceki çalışmada toprakla %0,4 ve %0,8 oranlarında kullanılan UFR atıkları, bu çalışmada %0,8'den biraz daha düşük %0,75 oranıyla başlanarak %1,75 oranına kadar arttırılmış ve böylece azot miktarı skalası biraz daha genişletilmiştir.

Karşılaştırma için, birinci saksıya hiçbir UFR kısıntısı eklenmemiş, tohumlar ekildikten sonra, toprak hafif nemli bir durumda tutularak tüm saksılar eşit şekilde çeşme suyu ile sulanmıştır. Her saksıdan dört fide çıktıktan sonra, en sağlıklı ve güçlü görünen fide seçilip diğer üçü kesilmiştir. Fidelerin büyümesindeki önemli değişiklikler dökümantasyon amacıyla fotoğraflanmış ve bu fotoğraflar Şekil 2'de, büyümeyle ilgili ayrıntılı rakamlı veriler ise Tablo 2'de sunulmuştur.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. UFR Atıklarının Hidroliz Deneyleri

##### Atmosfer Basıncında Geri Soğutucuda UFR Atıklarının Hidrolizi Deneyleri

UFR atıklarının çevresel etkilerini azaltmak ve bu atıkları tarımsal kullanım için daha uygun hale getirmek amacıyla gerçekleştirilen hidroliz deneyleri dikkatli bir şekilde yapılmış ve detaylar aşağıda rakamlar halinde verilmiştir.

Denemeler, 10 g UFR atığı kırığı ve 90 g suyun atmosfer basıncında geri soğutucuda 24 saat boyunca kaynatılmasıyla başlamıştır. Hidroliz işlemi sonucunda elde edilen karışım soğutulmuş, süzölmüş ve kalan UFR kırığı 6,46 g olarak tespit edilmiştir. Daha sonraki aşamada, süzöntü ve bu kırık parçalar, su ilavesiyle 100 g 'a tamamlanarak 79 saat boyunca kaynatılmış, karışım soğutulup süzölmüş, katı kısım kurutulmuş ve kalan UFR kırığı 4,01 g olarak ölçölmüştür.

Hidroliz denemesinin devamında, kalan UFR kırığı ve süzöntü, su ilavesiyle 100 g 'a tamamlanmış ve 141 saat daha kaynatılmıştır. Bu üçüncü kaynatma aşamasında, 105°C sıcaklığında geri soğutucudan azar azar amonyak (NH<sub>3</sub>) ve formaldehit (CH<sub>2</sub>O) kokuları algılanmıştır. Karışım tekrar soğutulup süzölmüş ve kurutulduğunda kalan UFR kırığı 3,00 g olarak ölçölmüştür.

Deneyin sonucunda toplanan tüm süzöntü (pH 8-8,5), rotary evaporatör kullanılarak vakum altında uçurulmuş ve bu işlem sonucunda 5,52 g beyaz bir çökelti elde edilmiştir.

Toplamda 10 gün süren bu deneylerin sonucunda, UFR'nin %55,2 'sinin daha küçük moleküller halinde hidroliz olarak çözüdüğü, %30,0'unun çözünmediği (inorganik dolgu) ve eksik olan %14,8'inin NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub> ve CH<sub>2</sub>O gazları olarak uçtuğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, UFR atıklarının hidroliz ile işlenebileceğini ve elde edilen sıvı ürünlerin, tarımsal kullanım potansiyelini göstermiştir.

Daha da önemlisi bu denemeler, UFR atıklarının ancak 10 gün içinde kaynama sıcaklığında (105 °C) %55 oranında (bu oran UFR atığı cinsine göre değişiklik gösterir) çözünme yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, bu deneyler sayesinde, UFR atığı kırıklarının toprakta

soğukta (~ 10-20 °C) daha uzun süreli dayanım gösterebileceği ve yavaş salınan bir azot gübresi olarak kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır. Bu bulgular, UFR atıklarının çevresel ve tarımsal kullanım potansiyelini ön plana çıkarmaktadır.

### Yüksek Basıncılı Otoklavda UFR Atıklarının Hidroliz Deneyleri

Bu çalışmada, hidroliz işlemi için yüksek basınçta kullanılan özel bir cihaz olan Anton Paar Micro-monowave reaktöründen (Austria Anton Paar GmbH) yararlanılmıştır. Bu reaktör, kalın cidarlı tüp şeklinde 30 ml cam bir kap, teflon sızdırmaz bir kapak, karıştırma hızının ayarlanabildiği mini bir manyetik karıştırıcı ve ısıtma süresi, basınç ve sıcaklık koşullarının hassas bir şekilde ayarlandığı mikrodalga bir ısıtıcıdan oluşmaktadır. Bu ekipman kullanılarak toplam 10 g olan UFR atığı ile su karışımları, farklı sıcaklık, basınç ve sürelerde hidrolize tabi tutulmuş, hidroliz sonrasında tamamen soğumasının ardından gaz kokusu kontrol edilerek otoklav tüpü açılmış, karışım boşaltılmış, süzölmüş ve kurutulmuş, son olarak hidrolizle çözünme yüzdeleri belirlenmiştir. Deney parametreleri kolaylık ve karşılaştırma bakımından Tablo 1'de özet olarak belirtilmiş, sonra detaylı deney sonuçları ile yorumları yapılmış, bir örnek olması bakımından da, sadece 9. deneyin grafiği Şekil 1'de verilmiştir.

Bu yöntem, UFR atıklarının hidroliz işleminde farklı parametrelerin etkilerinin değerlendirilmesine olanak tanımaktadır (Deney 1'deki 45 dk ısınma süresinin, deney 2'de 60 dk yapılmasının, basıncı 14 Bar'dan 29 Bar'a çıkarması gibi) . Sonuçlar, farklı işlem koşullarının UFR atıklarının hidroliz verimliliği üzerindeki etkilerini belirlemek için önemli bilgiler sunmaktadır.

**Tablo 1.** UFR Sulu Ortamda, Otoklavda Yüksek Basıncılı Hidroliz Çalışmaları

Deney No	Atık UFR miktarı (g)	Hidroliz Sıcaklığı (°C)	Isınma Süresi (dk)	Karıştırma Hızı (devir/dk)	Oluşan Basıncı (Bar)
1	2,5	160	45	300	14,0
2	2,5	160	60	300	29,3
3	4,0	160	45	300	14,8
4	3,0	160	30	300	11,3
5	3,0	150	30	300	6,3
6	3,0	150 (Alt sınır)	15 (Alt sınır)	300	4,4
7	3,0	150	20	300	5,5
8	3,0	150	25	300	5,6
9	3,0	150	30	300	5,7

Tablo 1'den görüleceği üzere, başlangıç malzemesi olarak 2,5 ila 4 g arasında değişen miktarlarda UFR atığı kullanılmış, su ilavesiyle toplam karışım 10 g olarak sabitlenmiştir.

İlk deneyde, 10 g karışım 160 °C'de 45 dakika boyunca ısıtılmıştır. Bu işlem sonucunda karışımın yaklaşık yarısı viskoz bir sıvı haline gelmiş ve diğer yarısı lapa kıvamında beyaz bir çözünmeyen toz oluşturmuştur. Çözünmeyen beyaz tozun ağırlıkça oranı %31 olarak belirlenmiştir.

İkinci deneyde, yine 10 g karışım 160 °C'de bu sefer 60 dakika boyunca ısıtılmıştır. Bu işlem sonucunda açık sarı bir sıvı faz oluşmuş ve bu sıvının viskoz bir karakterde olduğu gözlenmiştir. Sıvı fazın karakteristik kokusu, az miktarda formaldehit (CH<sub>2</sub>O) ve daha fazla amonyak (NH<sub>3</sub>) içermektedir. Ayrıca, çözünmeyen beyaz toz oranı ağırlıkça %30 olarak tespit edilmiştir.

Üçüncü deneyde, 10 g karışım 160 °C'de 45 dakika boyunca ısıtılmış ve sonuç olarak suyunu çekmiş bir lapa kıvamındaki faz oluşmuştur. Bu faz, az miktarda amonyak (NH<sub>3</sub>) ve daha fazla formaldehit (CH<sub>2</sub>O) kokusu taşımaktadır. Çözünmeyen beyaz toz oranı ağırlıkça %34 olarak tespit edilmiştir.

Dördüncü deneyde, 10 g karışım 160 °C'de 30 dakika boyunca ısıtılmıştır. Çözünmeyen beyaz toz oranı ağırlıkça %33 olarak tespit edilmiştir. Bu deney sırasında %9'luk bir gaz kaçağı gözlemlenmiş ve hidroliz ve yıkama çözeltileri, 95 °C sıcaklıkta uçurulduğunda oluşan UFR oranı %51'e yükselmiş ve uçan gazın oranı ise %7 olmuştur.

Beşinci deneyde, 10 g karışım 150 °C'de 30 dakika boyunca ısıtılmıştır. Bu deney sonucunda çözünmeyen beyaz toz oranı ağırlıkça %34 olarak belirlenmiş ve otoklavda ve çözelti uçurulmasından kaynaklanan toplam gaz kaybı %5 olarak saptanmıştır. Hidroliz ve yıkama çözeltilerinin 95 °C sıcaklıkta uçurulmasında oluşan UFR oranı ağırlıkça %61'dir.

Altıncı deneyde, 10 g karışım yine 150 °C'de 15 dakika boyunca ısıtılmıştır. Bu deney sonucunda %1 oranında gri UFR atığı kalmış ve çözünmeyen beyaz toz oranı ağırlıkça %38 olarak tespit edilmiştir. Otoklavdan gaz kaçağı %2 olup, hidroliz ve yıkama çözeltilerinin 95 °C'de uçurulmasında oluşan UFR oranı ağırlıkça %55'tir ve uçan gazın oranı %4'tür. Hala hidroliz olmamış gri UFR atığından dolayı 150 °C ve 15 dakika hidrolizde alt sınır olarak alınmıştır.

Yedinci deneyde, 10 g karışım 150 °C'de 20 dakika boyunca ısıtılmıştır. Çözünmeyen beyaz toz oranı ağırlıkça %33 olarak belirlenmiş ve otoklavda ve çözelti uçurulmasından kaynaklanan toplam gaz kaybı %8 olarak hesaplanmıştır. Hidroliz ve yıkama çözeltilerinin 95 °C'de uçurulmasında oluşan UFR oranı ağırlıkça %59'dur.

Sekizinci ve dokuzuncu deneylerde, 10 g karışım 150 °C'de 25 ve 30 dakika boyunca ısıtılmıştır. Elde edilen süte benzer karışım süzülmeden 90 °C de uçurularak geri kazanılan UFR oranları sırasıyla ağırlıkça %94 ve %89'dur. Otoklavdan gaz kaçağı %4 ile %5 arasında değişmektedir ve buharlaştırmada uçan gazın oranı %2 ile %4 arasındadır. İkinci deneyde, bu gazların içeriğinde formaldehit (CH<sub>2</sub>O) kokusu baskın olarak gözlemlenmiştir.

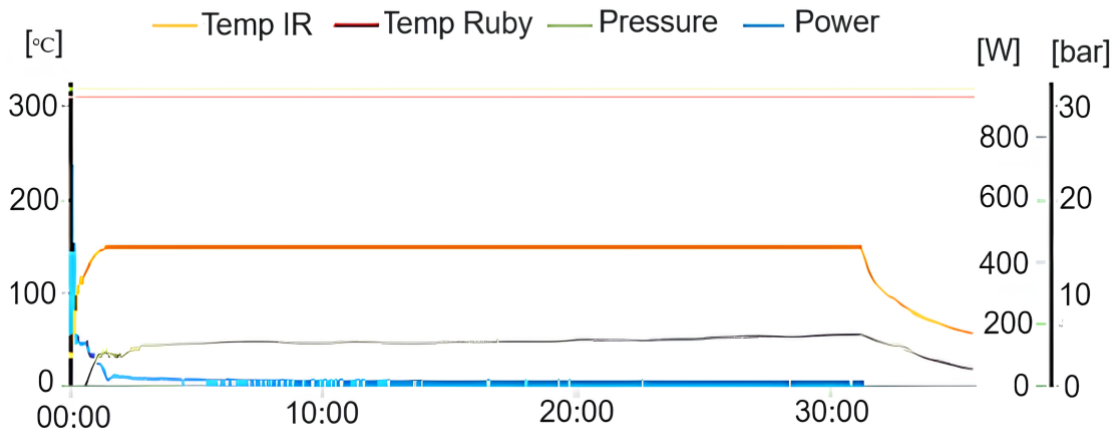
Bu deneyler, farklı hidroliz koşulları altında UFR atığının dönüşümünü ve özelliklerini belirlemek için yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, UFR atığının farklı bileşenlerine ve özelliklerine sahip olduğunu göstermektedir. Hidroliz sıcaklığı, süre ve basınç gibi faktörlerin, ürün bileşimi üzerinde belirgin etkilere sahip olacağı açıktır.

Atık UFR örneklerinin analizi, hidroliz sürecine tabi tutulduğunda, özgül UFR'nin içinde suda çözünmeyen inorganik dolgu maddelerinin varlığını açığa çıkarmıştır. Bunların miktarı deney hataları içinde en az %30 bulunmuştur. Bu dolgu maddeleri (kireç taşı gibi), hidroliz işlemine direnç göstermektedir ve bu nedenle hidroliz sonucu çözünmez, beyaz bir toz halinde süzülerek atılabilir.

Hidroliz işlemi sonucunda elde edilen sıvı azot gübresi, özellikle gaz kaçağının bulunmadığı sıkı bir otoklavda gerçekleştirildiğinde,  $NH_3$  ve  $CH_2O$  kaybı yaşanmaz. Bu, denediğimiz UFR atığının %30 'luk çözünmeyen inorganik dolgu maddelerini çıkarılırsa %70 'inin sıvı gübre olarak kullanılabilmesi anlamına gelir. Dolgu maddesi içermeyen saf UFR atığı ise, %100 sıvı azot gübresine dönüştürülebilir. Sonuç olarak, bu analizler, UFR atığının sıvı gübre olarak kullanımının potansiyelini vurgulamaktadır.

Ayrıca, Tablo 1'deki son sıradaki 9. deneyin grafiği, Şekil 1'de örnek olarak sunulmuştur. Bu grafik, UFR'nin hidroliz sonucu sıvı azot gübresine dönüşüm sürecini sıcaklık, basınç ve zaman olarak göstermektedir. Isıtma süresince sıcaklık sabit kaldığı halde basıncın özellikle 20'ci dakikadan sonraki 10 dk içinde 0,2 bar kadar arttığı görülüyor ki, ilerleyen hidroliz ile  $NH_3$ ,  $CO_2$  ve  $CH_2O$  gazları oluşumunu gösterir. Isıtma kesilirse, basıncın 2. deneydeki gibi, 20 bar değerlerine çıkacağı anlaşılmaktadır.

Hızlı çözünme yeteneğine sahip sıvı azot gübresinin, uzun vadeli bir azot kaynağı olarak kullanıldığında, azotu toprağa hızla sağladıktan sonra bitki tarafından aynı hızla alınmadan azot içeriğini kaybedebileceği endişesiyle, saksı denemelerinin yapılması daha uygun ve yararlı görülmüştür. Bu denemeler, ince kırılmış UFR atıklarının uzun vadeli azot kaynağı olarak direk tarımsal uygulamalar için ne kadar verimli olduğunu incelemesini sağlayacaktır.



Şekil 1. Atık UFR Hidrolizinin Zaman-Sıcaklık-Basınç Grafiği



### İnce Kıyrılmış UFR Atıklarının Saksıda Doğrudan Gübre Olarak Kullanım Deneşleri

Bu çalışmada ise, daha önce Eryılmaz ve Demirarslan (2022) tarafından yürütölen araşmada olduğu gibi, Artvin-Seyitler köyü çiftçileri tarafından yetiştirilen acı kıyrımızıbiber bitkisinin tohumları kullanılmıştır. İnce kum tanesi boyutlarında öğütölmüş UFR atıkları miktarı, saksılarda sırayla %0,75 - %1,25 ve %1,75 oranında olacak şekilde arttırılarak toprakla homojen bir karışım haline getirilmiş, karşılaştırma için, birinci saksıya hiçbir UFR kıyrıntısı eklenmemiştir(Kontrol Saksısı). Tohumlar ekildikten sonra, her saksıdan dörder fide çıkışı, en sağlıklı görönen fidenin seçilip diğer üçünün kesilmesi, biber meyvelerinin gelişimi fotoğraflanmış ve sonuç olarak bu fotoğraflar şekil 2'de, biber bitkilerinin gelişimi ile ilgili ölçüme dayalı ayrıntılı veriler ise, Tablo 2'de sunulmuştur.

**Tablo 2.** Acı Kıyrımızıbiber Fidelerinin Gelişim Detayları

Dikim Sonrası	Kontrol Saksı	% 0,75 UFR Katkılı Saksı	% 1,25 UFR Katkılı Saksı	% 1,75 UFR Katkılı Saksı
10. Gün	İki yapraklı 3 fide	İki yapraklı 3 fide	İki yapraklı 3 fide	İki yapraklı 4 fide
14. Gün	İki yapraklı 4 fide, en güçlüsü kaldı, diğer üçü kesildi	İki yapraklı 4 fide, en güçlüsü bırakıldı, diğer üçü kesildi	İki yapraklı 4 fide, en güçlüsü bırakıldı, diğer üçü kesildi	İki yapraklı 4 fide, en güçlüsü bırakıldı, diğer üçü kesildi
27. Gün	Altı yapraklı fide	Altı yapraklı fide	Altı yapraklı fide	Altı yapraklı fide
42. Gün	12 yaprak, 126 mm fide boyu	12 yaprak, 133 mm fide boyu	12 yaprak, 148 mm fide boyu	12 yaprak, 144 mm fide boyu
82. Gün	26 yaprak, 61 cm fidan boyu	30 yaprak, 65 cm fidan boyu	29 yaprak, 60 cm fidan boyu	30 yaprak, 71 cm fidan boyu
91. Gün	2 Çiçek, temiz	5 Çiçek, temiz	1 Çiçek, bit hastalığı	3 Çiçek, temiz
134.Gün	Fidan boyu 62 cm, iki yeşilbiber (10-8 cm), en az bitli	Fidan boyu 78 cm, beş yeşilbiber (8-10-10-4-1 cm), az bitli	Fidan boyu 66 cm, üç yeşilbiber (6-3-1 cm), en çok bitli	Fidan boyu 86 cm, üç yeşilbiber (10-12-9 cm), bitli
188.Gün	İki kıyrımızı biber	Üç kıyrımızı, bir sarı biber	Bir kıyrımızı biber	Üç kıyrımızı biber
253.Gün	Boy 62 cm, kıyrımızı iki biber (11-8 cm)	Boy 78 cm, kıyrımızı dört biber (8-10-11-3 cm)	Boy 66 cm, kıyrımızı bir biber (5 cm)	Boy 85 cm, kıyrımızı üç biber (11-11-10 cm)

Dikim Sonrası tüm saksılarda, tohumların ekilmesinin ardından 10 gün boyunca fidelerin ikinci yaprak aşamasına ulaştığı gözlemlenmiştir. Ancak, %1,75 UFR katkılı saksıda çıkan ek dördüncü fide, bitkilerin UFR ile gelişimini desteklemektedir.

14. gün sonunda, her saksıda dört fideye sahip bitkilerin olduğu gözlemlenmiştir. En sağlıklı olanlar diğer üç fideleri kesilerek seçilmiştir.

Tüm saksılardaki bitkiler 27 günde altı yaprak aşamasına ulaşmıştır, bu dönemde UFR katkısının farkı henüz belirgin değildir.

42 gün sonra, tüm saksılardaki bitkiler 12 yaprak sayılarına sahiptir. UFR katkısının etkisi biraz fide boylarında ortaya çıkmıştır.

Bitkiler 82 günde daha fazla yaprak geliştirmiş ve boyutları artmıştır. Bu aşamada, ilginç olan %1,25 UFR katkılı bitki boyunun 42. günde en uzun iken 82. günde en kısa kalmış olmasıdır. Gözle görülemez de, bit zararının başladığı ve bitki boyunu etkilediği anlaşılmaktadır.

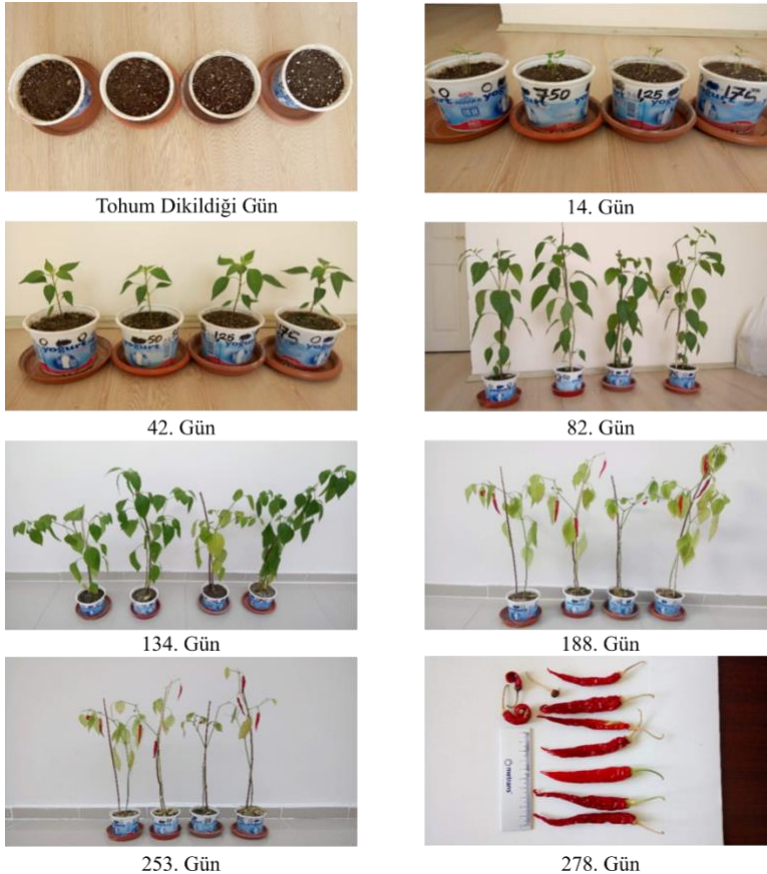
91. gün sonra, çiçeklenme dönemine geçiş gözlemlenmiştir. %0,75 ve %1,75 UFR katkılı saksılardaki bitkiler daha fazla çiçek geliştirmiş ve daha sağlıklı görünmektedir. Ancak, %1,25 UFR katkılı saksıda bit zararının, çiçek sayısını azalttığı açıkça ortaya çıkmıştır.

Bitkiler 134. günde olgunlaşma aşamasına gelmiştir. %0,75 UFR katkılı saksıdaki bitki, üstündeki bitler az olduğu için, en sağlıklı durumdadır ve iki kırmızıbiber üretmiştir.

188. gün sonunda, %0,75 UFR katkılı saksıdaki bitkinin, üç kırmızı ve bir sarı olarak en çok sayıda biber ürettiği gözlemlenmiştir. Diğer saksılardaki bitkilerin verimi daha düşüktür.

253. günde, %0,75 UFR katkılı saksıdaki bitki, en iyi performansı sergileyerek dört kırmızıbiber üretmiştir. Diğer saksılardaki bitkilerin verimi daha düşük olmuştur.

Bu deneyler, %0,75 UFR katkısının dahi bitkilerin büyümesini ve verimini %100 artırdığını (örneğin, 2 biber yerine 4 biber elde edilmesi) göstermektedir. Ancak, %1,25 ve %1,75 UFR katkılı saksılarda istenmeyen bit zararının neden olduğu daha düşük sonuçlar, kesin bir yargıya varmayı zorlaştırmaktadır. Bununla birlikte, 134. gün sonrasında yapılan ölçümler, artan UFR seviyelerinin bitki boyutlarını arttırdığını (62-78-66-86 cm) işaret etmektedir. Eğer bit zararı olmasaydı, üçüncü saksıdaki bitki boyunun da 66 yerine 82-84 cm aralığında olması beklenirdi.



Şekil 2. Biber Fidelerinin Ekim Sonrası Gelişim Fotoğrafları

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, araştırmacıların genellikle üre-formaldehit gübresi kullandığı görülmektedir. Ancak, bu yeni çalışma UFR atığının kullanılmasıyla ilgili olarak daha maliyet-etkin bir yöntem sunmaktadır.

El-Monem ve arkadaşları (2009) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, üre-formaldehit gübresinin, mango ağaçlarının verimliliği üzerinde olumlu bir etkisinin olduğu belirtilmektedir. Sonuçlar, üre-formaldehit uygulamalarının, verim (meyve sayısı veya ağaç başına kg ağırlık olarak), ve meyve kalitesi üzerinde geleneksel üre gübresine göre daha olumlu bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Nektarios ve arkadaşları (2004), toprağa üre-formaldehit reçine köpüğü (UFRF) katkısının çim büyümesi üzerindeki etkilerini incelemiş ve sonuç olarak, UFRF'nin toprağa katılmasının çim büyümesini artırdığı ancak kök büyümesi ve çim kurulum hızı açısından sınırlı fayda sağladığı belirlenmiştir.

Süs bahçeciliği endüstrisinde kullanılan bir tür olan *Flindersia schottiana* fidanlarının büyümesi üzerine yapılan bir çalışmada, üre formaldehit reçine köpüğü(UFRF) katkısının fidanların büyümesini olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Özellikle, uygulamaların yaprakçık sayısını artırdığı ve fidanların boyu uzamasına da, geçici su stresine karşı daha dayanıklı hale getirdiği belirlenmiştir. Ayrıca, farklı toprak tiplerinde (kum, silt, kil) yapılan deneylerde, fidanların büyümesini kum ve silt topraklarda artırdığı ancak kil toprağında benzer bir etki göstermediği tespit edilmiştir (Chan & Joyce, 2007).

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma, plastik enjeksiyon ve sentetik tahta levha sanayilerinden kaynaklanan UFR atıklarının, tarımsal uygulamalarda kullanılabilirliğini incelemeyi amaçlamaktadır. UFR polimerlerinin içeriğinde bulunan üre, bu atıkların tarımsal gübre olarak kullanılabilme potansiyelini sunar. Daha önceki bir çalışmamızda (%0,8 katkı oranının %0,4'ten daha verimli olduğu gözlemlenmiştir. Ancak, bu çalışmanın sonuçları, tohum ekimi sonrası 42. günde en iyi sonucun %1,25 katkı oranıyla elde edildiğini göstermektedir.

Öte yandan, çalışmada gözlemlenen yaprak biti, özellikle 82. günden itibaren yapraklara zarar vererek saksıların verimini düşürmüştür. Bununla birlikte, 134. günde en uzun biberleri veren saksının %1,75 katkılı olduğu görülmüştür. Bu saksıda, biber sayısı azalmasına rağmen 11-11-10 cm uzunluğunda biberler elde edilmiştir. Ancak erken dönemde bitlenme olmamış olsaydı 42. Gün boy uzunluklarından %1,25 UFR atık katkılı saksının en iyi sonucu vereceği düşünülmektedir. Bu nedenle uygulamada, katkı oranının %0,75 ile %1,25 arasında değişebileceği, göz önünde bulundurulmalıdır.

Ayrıca, katı UFR atıklarının içindeki inorganik dolgu maddeleri hariç, UFR kısmının sıvı gübre olarak kullanılabilirliği de değerlendirilmiştir. Ancak bu tür sıvı gübreler, yağmurlarla yıkanabilir ve bitkiler tarafından tam olarak alınmadığından verim düşebilir ve ayrıca hidroliz de maliyeti artırabilir. Bu nedenle, sıvı gübre olarak kullanılması durumunda dikkatli bir yaklaşım gerekmektedir.

Sonuç olarak bu çalışma, UFR atıklarının, tarımsal uygulamalarda verimli bir şekilde kullanılabilme potansiyeli taşıdığını ortaya koymaktadır. Ancak, bu atıkların tarım sektöründe kullanımının daha verimli olması için, daha fazla araştırma ve hassas çalışmalar gereklidir.

### **Yazarların Katkısı**

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### **Kaynaklar**

- Akinterinwa, A., Ismaila, A., and Aliyu, B. (2020). Concise Chemistry of Urea Formaldehyde Resins and Formaldehyde Emission. *Insights in Chemistry and Biochemistry*, 1(1), 1-6.
- Chan, C. L., and Joyce, D. (2007). Effects of urea formaldehyde foam soil amendment on growth and response to transient water deficit stress of potted *Flindersia schottiana* saplings. *Scientia Horticulturae*, 114(2), 112–120. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.06.002>
- Dorieh, A., Mahmoodi, N., Mamaghani, M., Pizzi, A., and Mohammadi Zeydi, M. (2018). Comparison of the Properties of Urea-Formaldehyde Resins by the Use of Formalin or Urea Formaldehyde Condensates. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 32(23), 2537-2551.
- Dunky, M. (1998). Urea-Formaldehyde (UF) Adhesive Resins for Wood. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 18, 95-107.
- Eryılmaz, H., Demirarslan, K. O. (2022). Plastik Kirliliğine Karşı Yeni Bir Uyum Çalışması: Plastik Atık ve Toprak Karışımında Bitki Üretimi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 5 (2), 74-83.
- El-Monem, E. A. A. A.; Saleh, M. M. S.; Mostafa, E. A. M. (2009). Effect of urea-formaldehyde as a slow release nitrogen fertilizer on productivity of mango trees. *Green Farming*, 2, 592–595.
- Guo, Y., Zhang, M., Liu, Z., Tian, X., Zhang, S., Zhao, C. and Lu, H. (2018). Modeling and Optimizing the Synthesis of Urea-formaldehyde Fertilizers and Analyses of Factors Affecting these Processes. *Scientific Reports*, 8, 4504.
- Liu, M., Wang, Y., Wu, Y., & Wan, H. (2018). Hydrolysis and recycling of urea formaldehyde resin residues. *Journal of Hazardous Materials*, 355, 96–103. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.05.019>

- Lubis, M. A. R., Hong, M. K., & Park, B. D. (2017, May 22). Hydrolytic Removal of Cured Urea-Formaldehyde Resins in Medium-Density Fiberboard for Recycling. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 38(1), 1–14. <https://doi.org/10.1080/02773813.2017.1316741>
- Nektarios, P. A., Nikolopoulou, A. E., and Chronopoulos, I. (2004). Sod establishment and turfgrass growth as affected by urea-formaldehyde resin foam soil amendment. *Scientia Horticulturae*, 100(1–4), 203–213. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2003.08.005>
- Ohalete, M. N., Popoola, A. V. (2019). Urea-Formaldehyde Resins Synthesis, Modification and Characterization. *OSR Journal of Applied Chemistry*, 12(8), 19-25.
- Osemeahon, S. A., Barminas, J. (2007). Study of Some Physical Properties of Urea Formaldehyde and Urea Proparaldehyde Copolymer Composite for Emulsion Paint Formulation. *International Journal of Physical Sciences*, 2(7) 169-177
- Saito, K., Hirabayashi, Y., and Yamanaka, S. (2021). Reduction of Formaldehyde Emission from Urea-Formaldehyde Resin with a Small Quantity of Graphene Oxide. *Royal Society of Chemistry*, 11, 32830-32836.
- Song, J., Chen, S., Yi, X., Zhao, X., Zhang, J., Liu, X. and Liu, B. (2021). Preparation and Properties of the Urea-Formaldehyde Res-In/Reactive Halloysite Nanocomposites Adhesive with Low-Formaldehyde Emission and Good Water Resistance. *Polymers*, 13, 2224.
- Tohmura, S. I., Hse, C. Y. and Higuchi, M. (2000). Formaldehyde Emission and High-Temperature Stability of Cured Urea-Formaldehyde Resins. *Journal of Wood Science*, 46, 303-309.
- Yang, X., Ru, X., Shi, J., Song, J., Zhao, H., Liu, Y. and Zhao, G. (2018). Granular, Slow-Release Fertilizer from Urea-formaldehyde, Ammonium Polyphosphate, and Amorphous Silica Gel: A New Strategy Using Cold Extrusion. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66, 7606–7615.
- Yüce, Ö., Başboğa, İ. H., Atar, İ., Karakuş, K. and Mengeloğlu, F. (2020). Utilization of Urea Powders with Different Sizes as a Formaldehyde-Scavenger in the Particleboard Manufacturing. *Sigma Journal of Engineering & Natural Sciences*, 11(2), 193-202.
- Zorba, T., Papadopoulou, E., Hatjiissaak, A., Paraskevopoulos, K. M. and Chrissafis, K. (2008). Urea-Formaldehyde Resins Characterized by Thermal Analysis and FTIR Method. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 92(1), 29-33.