

KİMYA SEKTÖRÜNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK İÇİN YÖNTEMLER

ESNEK POLİÜRETAN KÖPÜKLERİN GERİ DÖNÜŞÜMÜ

Arzu Aytimur

Ür-Ge Uzman Yardımcısı
Yüksek Kimya Mühendisi



İÇERİK

- 1 Sürdürülebilirlik Perspektifi
- 2 Doğrusal/Döngüsel Ekonomi
- 3 Esnek Poliüretanların Bileşimi ve Özellikleri
- 4 Esnek Poliüretan Kullanım Alanları

- 5 Esnek Polüretan Pazar Verileri
- 6 Poliüretan Geri Dönüşüm Yöntemleri
- 7 Kimyasal Geri Dönüşüm, Literatür
- 8 Sektörde Uygulama Ve Potansiyel

Sürdürülebilirlik Perspektifi

Çevre Koruma



Geri dönüşüm, atık miktarını azaltır, hava ve su kirliliğini önler ve doğal kaynakların korunmasına yardımcı olur.

Ekonomik Fayda



Geri dönüşüm, atıkların değerlendirilmesini sağlar ve yeni ürünlerin üretim maliyetlerini düşürerek ekonomik büyümeye katkıda bulunur.

Sürdürülebilir Üretim



Geri dönüşüm, sürdürülebilir bir üretim modeli oluşturmaya yardımcı olur, bu da kaynakların daha verimli kullanılmasını ve atıkların azaltılmasını sağlar.

Yenilikçilik



Geri dönüşüm, yeni ürünlerin ve teknolojilerin geliştirilmesi için yeni fırsatlar yaratır.

“Gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılama fırsatlarını ellerinden almadan, günümüz neslinin ihtiyaçlarını karşılama”



DOĞRUSAL EKONOMİ



AL

KULLAN

AT

DÖNGÜSEL EKONOMİ

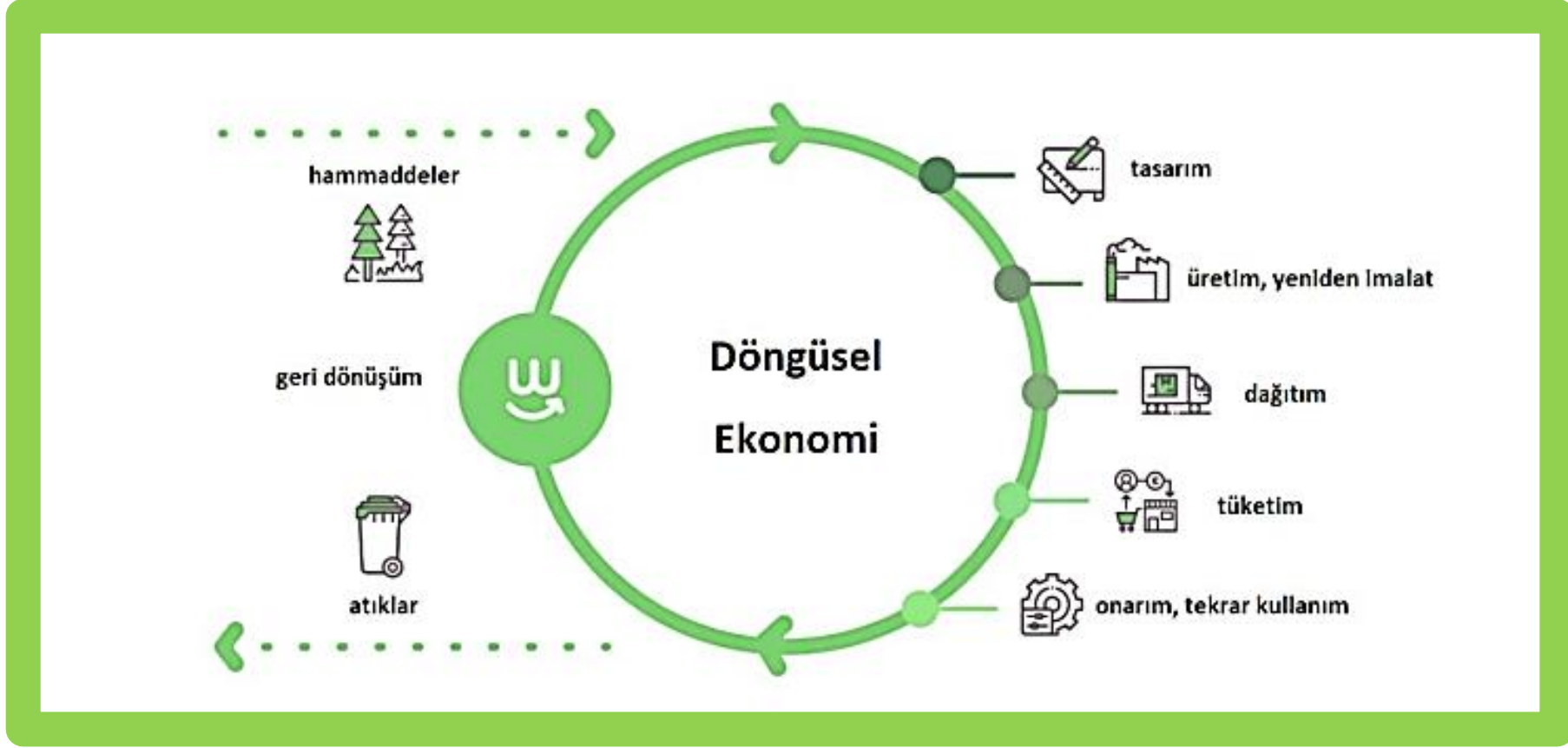


AZALT

YENİDEN KULLAN

GERİ DÖNÜŞTÜR

Döngüsel Ekonomi Perspektifi



Kaynak: [4] Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2022).
Türkiye'nin döngüsel ekonomiye geçiş potansiyelinin değerlendirilmesi için teknik destek projesi: Ön değerlendirme raporu

Esnek Poliüretanların Bileşimi ve Özellikleri

Esnek poliüretanlar, poliöl ve izosiyanat gibi kimyasalların reaksiyonu ile üretilen polimerik malzemelerdir. Bu reaksiyon, polimer zincirlerinin birbirine bağlanmasını ve üç boyutlu bir yapı oluşturmalarını sağlar. Esnek poliüretanların özellikleri, kullanılan poliöl ve izosiyanat türlerine, oranlarına ve üretim koşullarına bağlıdır.

1 Esneklik

Esnek poliüretanlar, yüksek esneklik ve dayanıklılık özelliklerine sahiptir. Bu özellikler, yastıklama, sönümleme ve yalıtım uygulamalarında tercih edilmelerini sağlar.

2 Hidroliz Direnci

Çoğu esnek poliüretan, suya dayanıklı özelliklere sahiptir. Bu özellik, mobilya dolgusu, ayakkabı tabanları ve diğer birçok uygulamada faydalıdır.

3 Kimyasal Dayanıklılık

Esnek poliüretanlar, birçok kimyasala karşı dayanıklılık gösterir. Bu özellik, çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanımını destekler.

ESNEK POLİÜRETAN KULLANIM ALANLARI



Esnek Poliüretan Süngeri Üretim Verileri

Toplam Esnek Sünger PU Üretimi

2022

2023

1.580.027

1.594.126

Toplam Kalıplanmış PU Köpük Üretimi

225.945

223.811

Toplam Polieter Slabstock Sünger Üretimi

1.297.878

1.321.552

Toplam Polyester Slabstock Sünger Üretimi

56.204

48.763

PU Köpük Üretim Tesislerinin Toplam Sayısı

168

173

- EU27, UK, NO, CH, TR and Rest of Europe, Tonnes

Avrupa'da Slabstock Köpük Endüstrisi Pazarı

Ülke/Bölge	2019	2020	2021	2022	2023	%AAGR ('22/'23)
Avusturya, Almanya, İsviçre	129.987	133.748	141.921	119.006	108.410	-8.9%
Benelüks	88.392	88.498	82.041	72.863	62.539	-14.2%
Birleşik Krallık ve İrlanda	78.488	74.041	75.298	66.614	68.549	2.9%
İskandinavya ve Baltık	77.345	78.981	82.181	76.777	64.793	-15.6%
Polonya	223.185	217.739	228.037	204.019	206.042	1.0%
İberya	109.716	126.499	138.818	129.511	125.162	-3.4%
Fransa	32.734	30.765	31.192	27.994	25.319	-9.6%
İtalya ve Malta	105.916	105.900	116.696	113.668	105.916	-6.8%
Balkanlar, Yunanistan, Kıbrıs	42.396	47.625	44.383	40.576	40.492	-0.2%
Romanya ve Bulgaristan	62.728	72.679	83.492	70.186	66.646	-5.0%
Macaristan, Sırbistan, Çekya, Slovenya	52.192	54.032	54.847	44.713	43.648	-2.4%
Avrasya	138.940	140.813	156.281	133.922	189.364	41.4%
Türkiye	162.153	179.485	182.064	198.027	214.673	8.4%
Toplam	1.304.172	1.350.804	1.417.251	1.297.878	1.321.552	1.8%

Türkiye'de Slabstock PU Köpük Endüstrisi



Köpük için kimyasal hammaddelerin bulunabilirliği Türkiye'de diğer ülkelere göre önemli ölçüde daha iyiydi ve **TDI ithalatı 2023'te 2022'ye kıyasla %7,1'e kadar arttı.**

2023 yılında hacim olarak Avrupa'da en büyük slabstock poliüretan üreten bölge haline geldi.

Country	2019	2020	2021	2022	2023	% AAGR (2022/2023)
Türkiye	162.153	179.485	182.064	198.027	214.673	8,4

Geri Dönüşüm İhtiyacı

Esnek poliüretanların üretimi önemli ölçüde çevresel etkiler yaratırken, bu malzemelerin geri dönüşümü sürdürülebilir bir geleceğe doğru atılabilecek önemli bir adımdır. Esnek poliüretanların geri dönüşümü, atık miktarını azal doğal kaynakların korunmasına katkıda bulunur ve sera gazı emisyonlarını azaltır.

1

Atık Azaltma

Geri dönüşüm, çöp depolama alanlarına giden atık miktarını azaltır, bu çevresel kirliliği ve toprağın tükenmesini önlemeye yardımcı olur.

2

Kaynak Koruma

Esnek poliüretanların geri dönüşümü, yeni hammadde üretimi ihtiyacı azaltır, bu da değerli doğal kaynakların korunmasına katkıda bulunur.

3

Karbon Ayak İzi

Geri dönüşüm, yeni ürünlerin üretimi için gerekli olan enerji kullanımını azaltır, bu da sera gazı emisyonlarını azaltır.





Mekanik Geri Dönüşüm

- Rebond Esnek Köpük
- Öğütme veya Toz Haline Getirme
- Presleme/Yapıştırma
- Sıkıştırılmalı Kalıplama

Poliüretan Geri Dönüşüm Yöntemleri

Kimyasal Geri Dönüşüm

- Hidroliz
- Piroliz
- Glikoliz
- Aminoliz
- Hidrojenasyon
- Asidoliz



Kimyasal Geri Dönüşüm, Literatür - Aminoliz

Chemical Recycling of Flexible Polyurethane Foams by Aminolysis to Recover High-Quality Polyols

Maja Grdadolnik, Blaž Zdovc, Ana Drinčić, Ozgun Can Onder, Petra Utroša, Susana Garcia Ramos, Enrique Dominguez Ramos, David Pahovnik, and Ema Žagar*

Cite This: ACS Sustainable Chem. Eng. 2023, 11, 10864–10873

Read Online



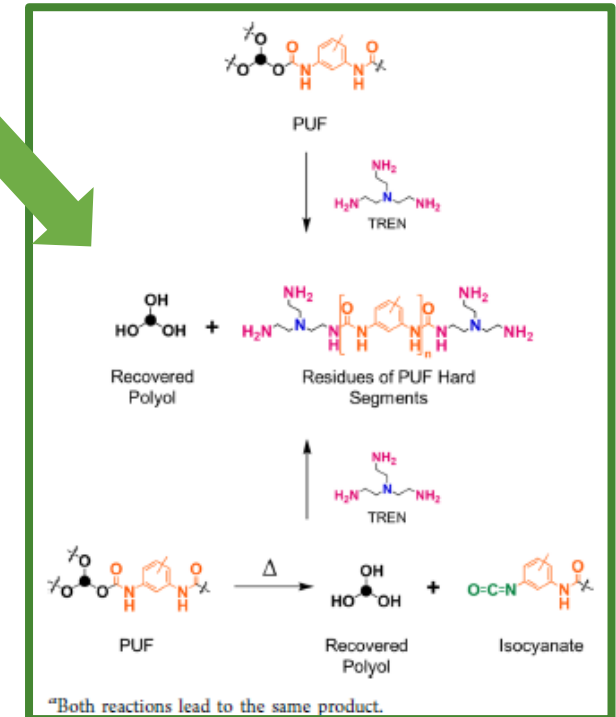
Figure 4. Photo of PUFs where different amounts of VP4811 in the PUF formulation were replaced with fully hydroxyl-functionalized RP4811: (1) 0%, (2) 20%, (3) 50%, and (4) 100%.

Table 3. Densities, Porosities, and Mechanical Properties of Copolyether Polyol-Based PUFs Synthesized with Different Amounts of RP_{0%} amino groups in the PUF Formulation

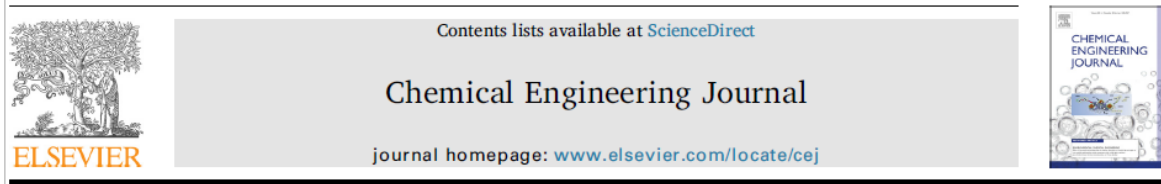
PUF number	density (kg m ⁻³)	porosity (mm s ⁻¹)	average compression resistance 40% (kPa)	resiliency (%)	compression set (%)	traction resistance (kPa)	elongation (%)
1	22.6	1.350	2.86	41	4.0	86	222
2	23.0	1.540	2.89	41	4.0	83	215
3	23.1	1.335	2.94	41	4.4	87	227
4	23.1	1.285	2.97	42	4.4	95	260



PUF'un TREN ile Aminolizinin Şematik Gösterimi ve TREN'in Termal Olarak Salınan İzosiyanat Grubu ile Reaksiyonu



Kimyasal Geri Dönüşüm, Literatür - Asidoliz



Recycling of polyurethane scraps via acidolysis

N. Gama^{a,1}, B. Godinho^{a,1}, G. Marques^b, R. Silva^c, A. Barros-Timmons^a, A. Ferreira^{d,*}

^a CICECO - Aveiro Institute of Materials and Department of Chemistry, University of Aveiro, Campus Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal

^b Flexipol Espumas Sintéticas SA, Rua Mestre de Avis, 3701-910 São João da Madeira, Portugal

^c SAPEC Química SA, Rotunda Eng. Edgar Cardoso, Tower Plaza, N°23, 5° Piso, Sala H, 4400-699 Vila Nova de Gaia, Portugal

^d CICECO - Aveiro Institute of Materials and Águeda School of Technology and Management, Rua Comandante Pinho e Freitas, n° 28, 3750 - 127, Águeda, Portugal

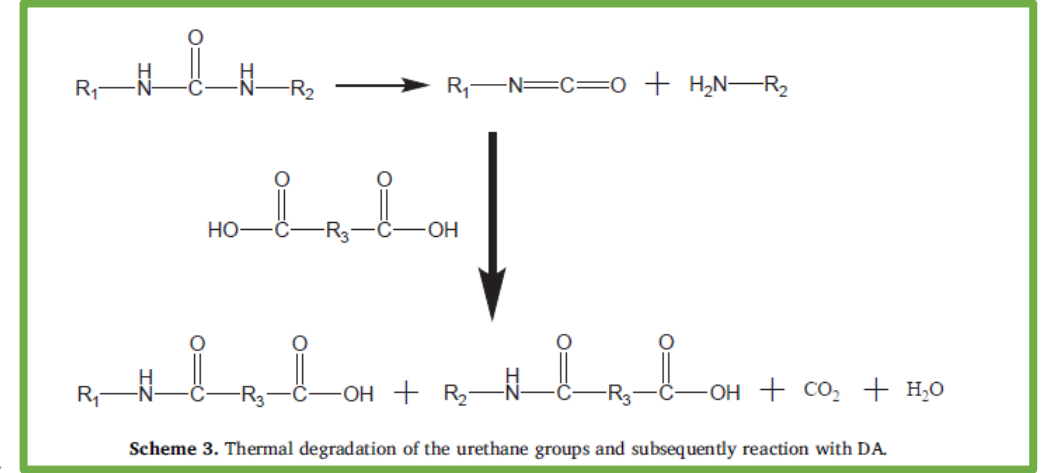


Table 2
Physical characteristics of the foams produced.

Sample	Density (kg.m ⁻³)	Thermal conductivity (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	Young modulus (kPa)	Compressive stress 10% (kPa)	Toughness (J.m ⁻³)
PUF-0RP	50.2 ± 1.9	0.038 ± 0.000	1956 ± 69	37 ± 10	18,151 ± 1041
PUF-10RP	50.6 ± 3.3	0.041 ± 0.000	1745 ± 43	21 ± 8	15,899 ± 1303
PUF-20RP	50.8 ± 2.6	0.044 ± 0.000	1240 ± 26	19 ± 9	13,509 ± 1251
PUF-30RP	51.6 ± 3.6	0.045 ± 0.000	782 ± 40	16 ± 3	11,587 ± 1195

Gerı dönuştürölmüş poliöl, sert poliüretan köpüklerin üretiminde %20'ye kadar başarıyla kullanılmış ve bu köpüklerin esnekliği artarken morfoloji ve yoğunlukları konvansiyonel poliöllere benzer bulunmuştur.

Kimyasal Geri Dönüşüm, Literatür – Glikoliz

POLYMERS FOR ADVANCED TECHNOLOGIES

Polym. Adv. Technol. 2007; 18: 149–156

Published online 18 December 2006 in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com) DOI: 10.1002/pat.810

PAT

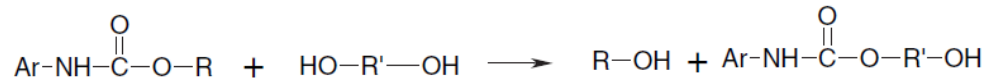
Glycolysis of flexible polyurethane foam in recycling of car seats[†]

Hynek Beneš^{1*}, Jiří Rösner², Petr Holler¹, Hana Synková¹, Jiří Kotek¹ and Zdeněk Horák¹

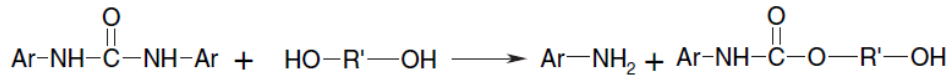
¹Institute of Macromolecular Chemistry, Academy of Sciences of the Czech Republic, Heyrovsky Sq. 2, 162 06 Prague 6, Czech Republic

²Brahe a.s., Division PUR, Husova 114, 551 01 Jaroměř, Czech Republic

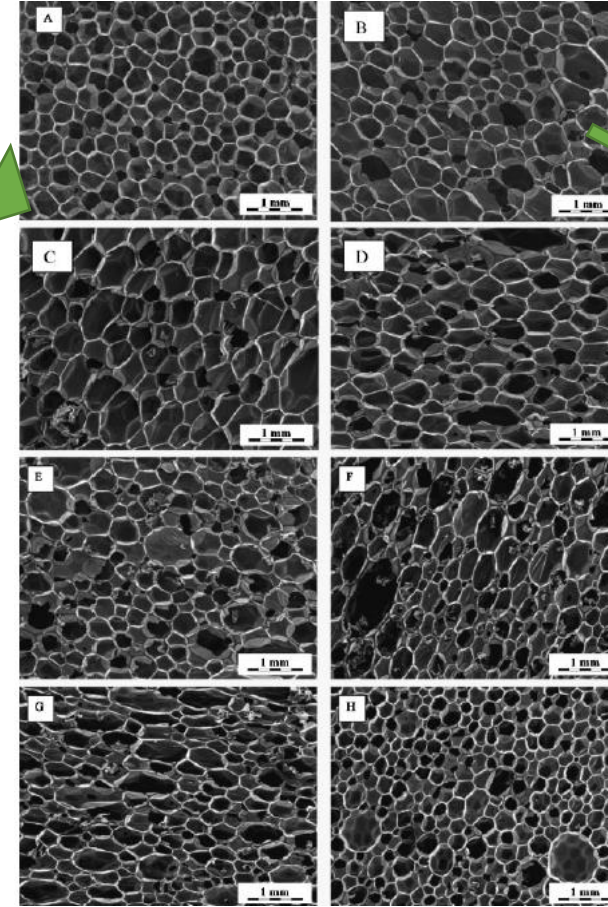
Received 1 July 2005; Revised 12 April 2006; Accepted 1 June 2006



Üretan grubunun glikol ile reaksiyonu



Üre grubunun glikol ile reaksiyon şeması



Ger i dönüştürülmüş poliollerle hazırlanan Sert PUR köpüğünün SEM görüntüleri

(A) %0 geri dönüşüm, (B) %15 DPG geri dönüşüm, (C) %15DEG üst faz geri dönüşüm

(D) %15 DEG alt faz geri dönüşüm, esnek PUR köpük No. 1'in glikoliziyle hazırlanmış; (E) %5, (F) %15, (G) %20 ve (H) %36 DPG geri dönüşümü, esnek PUR köpük No. 2'nin glikoliziyle hazırlanmış

Sektörde Uygulama ve Potansiyel

Yöntem	Avantajlar	Dezavantajlar
Aminoliz	<ul style="list-style-type: none">• Yüksek kaliteli ürünlerin (aminler ve polioller gibi) üretilmesini sağlar.• Farklı poliüretan (PU) türlerini işleyebilme kapasitesine sahiptir.• Ek bir katalizör kullanmadan gerçekleştirilebilir.	<ul style="list-style-type: none">• Toksik aminlerin kullanımı gerektiği için sağlık ve çevre açısından risk taşır.• Yüksek operasyonel maliyetler içerir.
Asidoliz	<ul style="list-style-type: none">• Farklı kimyasal işlevsellikte ürünler üretme yeteneğine sahiptir.• Birçok PU türüne uygulanabilir.	<ul style="list-style-type: none">• Güçlü asitler kullanıldığı için bu işlem, korozif olup yönetimi zor olabilir.
Glikoliz	<ul style="list-style-type: none">• Yüksek kaliteli hammaddelerin (polioller) geri kazanımında oldukça verimlidir.• Geniş bir substrat ve katalizör yelpazesine uygulanabilir.• Endüstriyel ölçekte büyümeye uygundur.• Görece daha hafif reaksiyon koşulları gerektirir.	<ul style="list-style-type: none">• Katalizör kullanımı gerektirdiği için işlem maliyetlerini artırabilir.• Geri kazanılan malzemelerde kontaminasyon sorunları yaşanabilir.

Kaynak: Wiczorek, K., Bukowski, P., Stawiński, K., & Ryłko, I. (yıl). Recycling of polyurethane foams via glycolysis: A review. *Institute of Fermentation Technology and Microbiology, Faculty of Biotechnology and Food Sciences, Lodz University of Technology*

Yöntemlerin Karşılaştırılması

Yöntem	Proses Girdisi	Proses Çıktısı	Büyük Ölçek Proses Uygulanabilirliği
Hidroliz	Kullanım Ömrü Sona Eren Ürünler, Üretim Atıkları	Poliol, Amin Medyaları	Hayır
Hidroglükoliz	Kullanım Ömrü Sona Eren Ürünler, Üretim Atıkları	Poliol	Hayır
Aminoliz	PU Köpükler	İki veya daha fazla Fonksiyonel Gruba Sahip Aminler ve Alkoller	Hayır
Fosforoliz	Üretim Atıkları	Fosfor İçeren Oligoüretan	Hayır
Glikoliz	PU Köpükler, Rijit ve Esnek Sünger	Poliol	Evet
Gazlaştırma	Kullanım Ömrü Sona Eren Ürünler, Üretim Atıkları	Sentez Gazı	Evet
Piroliz	Kullanım Ömrü Sona Eren Ürünler, Üretim Atıkları	Yağ, Gaz, Kül	Hayır
Hidrojenasyon	Kullanım Ömrü Sona Eren Ürünler, Üretim Atıkları	Gaz, Yağ	Hayır

Kaynak: Kemono, A., & Piotrowska, M. (2020). Polyurethane recycling and disposal: Methods and prospects. *Materials*, 13(19), 1-21.

Dinlediđiniz İçin Teřekkür Ederim.

Arzu Aytimur

arzuaytimur@teknikkim.com.tr

Ür – Ge Uzman Yardımcısı

TeknikKimya
PERFORMANCE CHEMICALS

www.teknikkim.com.tr

     /teknikkim