



# DOYMAMIŞ POLYESTER REÇİNELER (UPR)

**Kompozit Dünyasının Gizli Kahramanı**

# GİRİŞ

Doymamış polyester reçineler, günümüz kompozit malzeme endüstrisinin bel kemiğini oluşturur.

1930'larda keşfedilen bu termoset plastik, düşük maliyet ve yüksek dayanımı bir arada sunar.

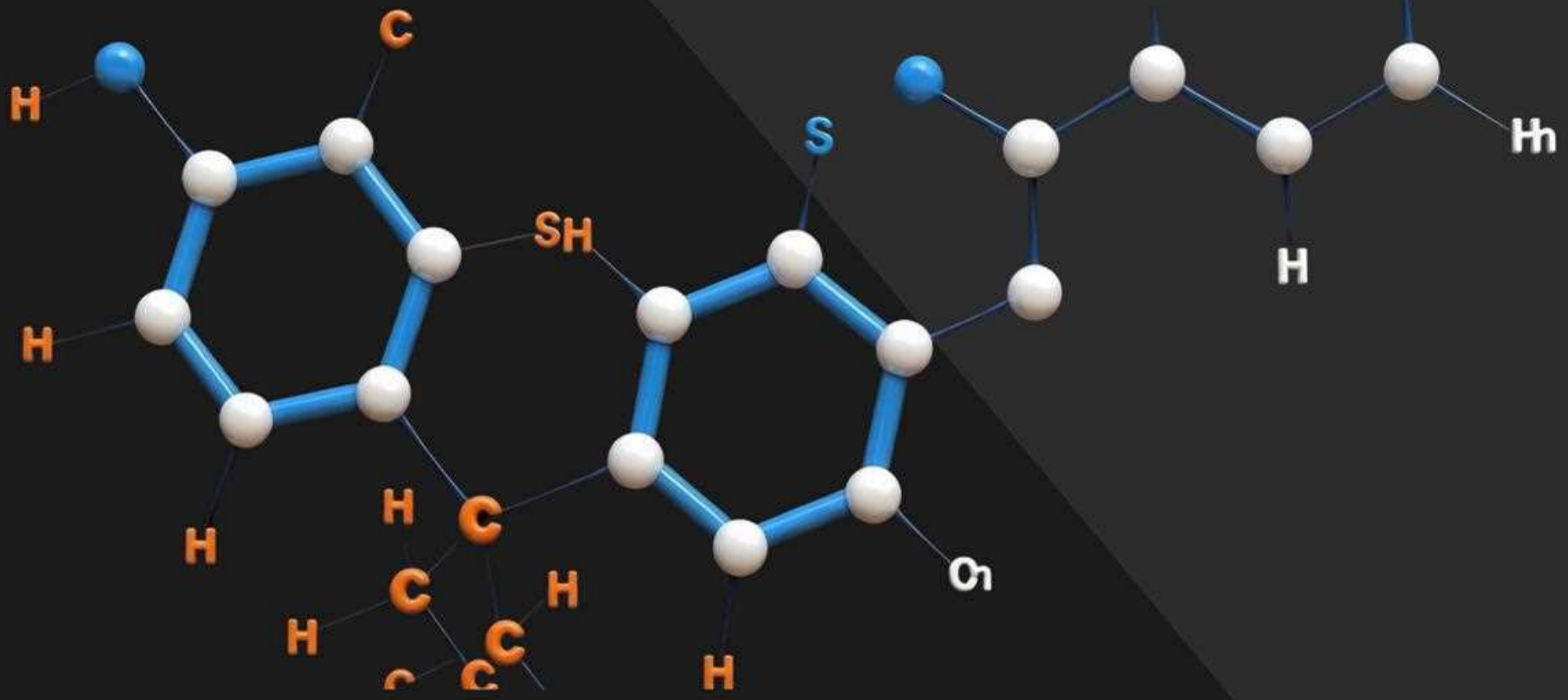
En büyük avantajı: Oda sıcaklığında sertleşebilmesi.

Her gün farkında olmadan UPR ile üretilmiş onlarca ürüne temas ediyoruz:

- Tekne gövdeleri
- Otomobil kaportaları
- Rüzgar türbin kanatları
- İnşaat profilleri

Peki bu malzeme nasıl çalışıyor ve neden bu kadar yaygın?





# KİMYASAL YAPI VE BİLEŞENLER

## ANA HAMMADDELER

**Doymamış Asit (Maleik Anhidrit)**  
→ Reaktif bağları sağlar

**Doymuş Asit (Ftalik Anhidrit)**  
→ Zincir sertliğini ayarlar

**Glikol (Propilen Glikol)**  
→ Ester bağlarını oluşturur

**Stiren Monomer**  
→ Çapraz bağlayıcı ve inceltici

"Doymamış" terimi, zincirdeki karbon-karbon çift bağlarını ifade eder. Bu bağlar adeta birer "kimyasal kanca" gibidir.

Stiren monomeri bu kancalara tutunarak zincirleri birbirine bağlar. Sonuç: üç boyutlu, sert ve dayanıklı bir ağ.

Reçinenin %35-45'i stirendir. Bu oran hem viskoziteyi ayarlar hem de nihai sertliği belirler.

# KÜRLENME SÜRECİ

## AŞAMA 1 — JEL SÜRESİ

Reçine sıvıdan yumuşak bir jele dönüşür. Polimer zincirleri üç boyutlu ağ oluşturmaya başlar.

Tipik süre: 10-30 dakika

İpucu: Jel süresi kobalt miktarı ile ayarlanabilir.

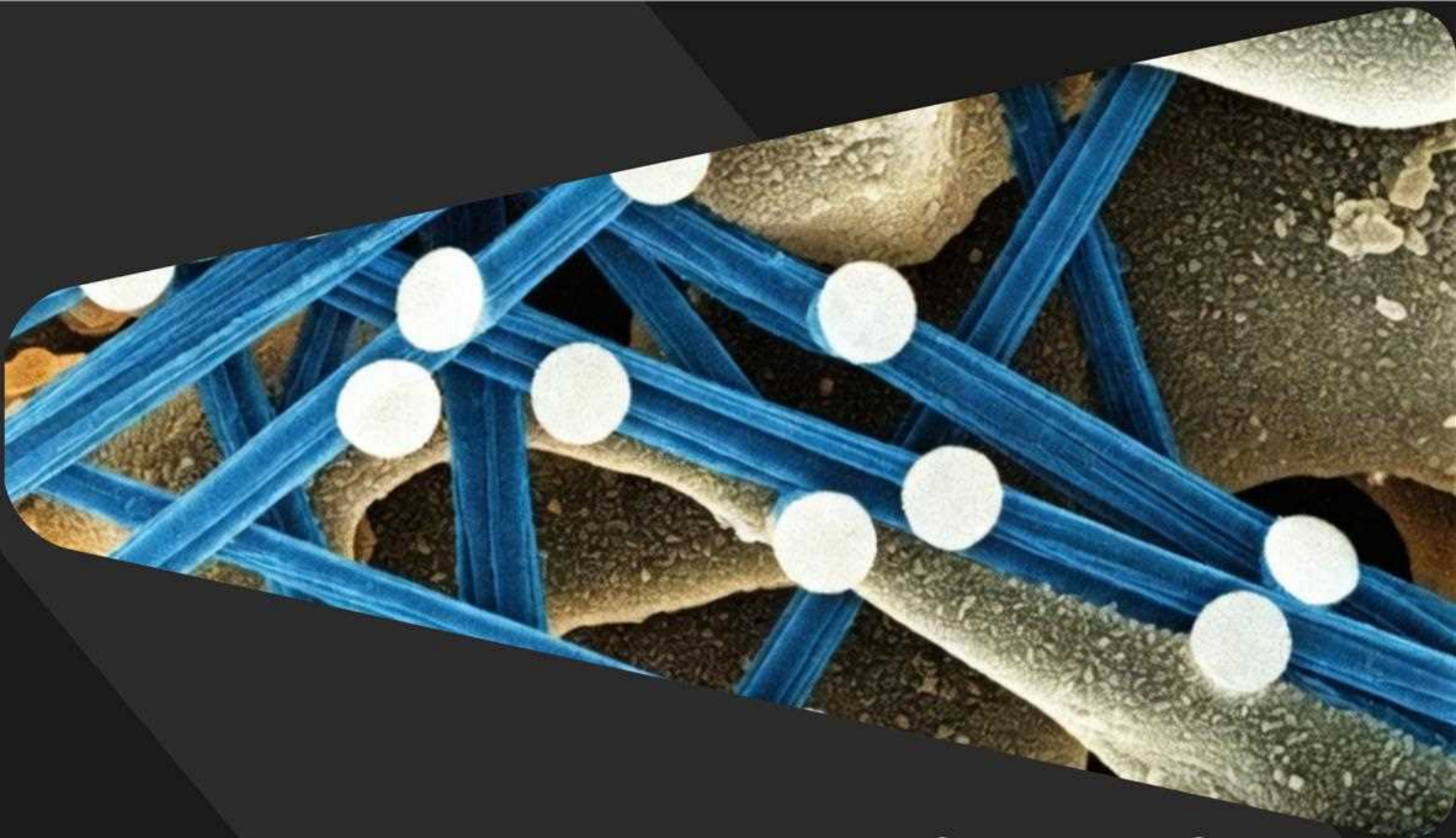
## AŞAMA 2 — SERTLEŞME

Ekzotermik reaksiyon hızlanır. Sıcaklık 150-180°C'ye ulaşabilir. Kalın kesitlerde aşırı ısınma riskine dikkat edilmelidir.

## AŞAMA 3 — POST-KÜR

Tam mekanik dayanım günler içinde gelişir. Ortam sıcaklığında 7-14 günde tam kür olur.





# CAM ELYAF TAKVİYESİ VE KOMPOZİT MALZEME

UPR tek başına kırılgandır. Ama cam elyaf ile birleştğinde ortaya mükemmel bir malzeme çıkar.

Tıpkı beton-demir ilişkisi gibi:  
Reçine = Beton  
Elyaf = Demir

Silan kaplin ajanları iki malzeme arasında moleküler köprüler kurar.

Cam elyaf, UPR ile en çok kullanılan takviye malzemesidir (%90 pazar payı).

Cam elyaf + UPR = Çelikten 5 kat hafif, betondan 3 kat dayanıklı kompozit.

Ana üretim yöntemleri:

- El yatırması — açık kalıp
- Filament sarma — boru/tank
- Pultrüzyon — sabit profil
- SMC/BMC — otomotiv pres

Kritik faktör: Elyaf-reçine arayüzey kalitesi.

# BAŞLICA UYGULAMA ALANLARI

## DENİZCİLİK

En büyük UPR tüketicisi. Tekne gövdeleri, güverte, jelkot kaplama.

## RÜZGAR ENERJİSİ

Dev türbin kanatları (80m+) vakum infüzyon ile üretilir. Yorulma direnci kritiktir.

## OTOMOTİV

SMC/BMC ile A sınıfı yüzey kalitesi. Hafifletme ile yakıt tasarrufu.

## İNŞAAT

Korozyona dayanıklı borular, tanklar, FRP donatı. Yarı geçirgen sera örtüleri.



# BIYO-ESASLI İNOVASYONLAR



Petrol bazlı hammaddeler yerini bitkisel kaynaklara bırakıyor.

- Karbon ayak izi %40-60 azalıyor
- Fosil yakıt bağımlılığı düşüyor
- Tarımsal atıklar ekonomiye kazandırılıyor

Mısır koçanı, şeker kamışı küspesi, soya yağı ve lignin gibi tarımsal atıklar artık UPR üretiminde kullanılıyor.

Furan ve izosorbit gibi biyo-bazlı kimyasallar, reçinenin iskeletini oluşturuyor.

Sonuç: Aynı mekanik dayanım, çok daha düşük çevresel etki. Yaşam döngüsü analizlerinde %90'a varan karbon azalması saptanmıştır.

# SIRADA: KOBALTSIZ VE GERİ DÖNÜŞÜMLÜ

## ENZİM TEKNOLOJİSİ

RWTH Aachen Üniversitesi'nde geliştirilen peroksijenaz enzimi, kobaltın yerini alarak reçineyi sertleştirebiliyor. %250 performans artışı sağlandı.

Kullanıcıya faydası: Daha güvenli üretim, kanserojen risk yok.

## VİTRİMER KİMYASI

"Bir kez sertleşti mi bir daha yumuşamaz" kuralı yıkılıyor.

Vitrimerler, dinamik kovalent bağlar içerir. Isıtılınca bağlar çözülür, soğuyunca yeniden kurulur.

Bu sayede:

- Yeniden şekillendirme
- Kendi kendini onarma
- Ömür sonu geri dönüşüm
- 



# GELECEK VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

UPR sektörü üç büyük hedefe odaklanmış durumda:

- DÖNGÜSEL EKONOMİ: Atık yok, sonsuz yeniden kullanım.
- YEŞİL KİMYA: Bitkisel kaynaklar, düşük VOC, karbonsuz.
- İŞÇİ SAĞLIĞI: Kobaltsız, kokusuz, güvenli üretim.

Bu dönüşüm bir zorunluluk değil, fırsattır. Daha temiz üretim, daha akıllı malzemeler ve yeni pazar avantajları sunar.



# SONUÇ VE REFERANSLAR

UPR geçmişin değil, geleceğin malzemesidir.

- Düşük maliyet ve yüksek performans
- Oda sıcaklığında işlenebilirlik
- Biyo-bazlı ve geri dönüştürülebilir yeni nesil
- Denizcilikten rüzgar enerjisine geniş uygulama



KAYNAKÇA (kısaltılmış):

- Mallick, "Fiber-Reinforced Composites", CRC Press, 2007
- Grand View Research, Synthetic Polymer Market, 2024
- European Coatings Journal, Cobalt-Free Accelerators, 2023
- Montarnal et al., "Silica-Like Malleable Materials", Science, 2011
- RWTH Aachen, Enzymatic Curing of UPR, ACS Publications, 2024