✍ Tülin ŞAHİN • Kocaeli Üniversitesi
✍ Tamer SINMAZÇELİK • TÜBİTAK-MAM
✍ Şenol ŞAHİN • Kocaeli Üniversitesi

Polimerlerde Yaşlanma Mekanizmaları ve Etkileri

Yaşlanma polimerlerin üretim sonrası ürün performansını (ürün özelliklerini ve dolayısıyla kullanım ömrünü) kullanım şartlarına ve/veya zamana bağlı olarak etkileyen tahmin edilmesi zor parametrelerden biridir. Günümüzde ürün performansını etkileyen yaşlanma olayını bilinçli ve/veya bilinçsiz bir şekilde dikkate almayan polimer ve polimer mamul üreticileri ile kullanıcılarına rastlamak mümkündür. Ancak kullanım şartlarına ve/veya zamana bağlı olarak çoğu polimer ürünün üretim sonrası ürün özelliklerinde (kimyasal, fiziksel ve mekaniksel özelliklerinde) yaşlanmadan dolayı olumlu ve/veya olumsuz yönde değişikler meydana gelmektedir.

Bu çalışmada ürün performansını ve dolayısıyla ürün ömrünü etkileyen yaşlanma mekanizmaları incelenmiştir.

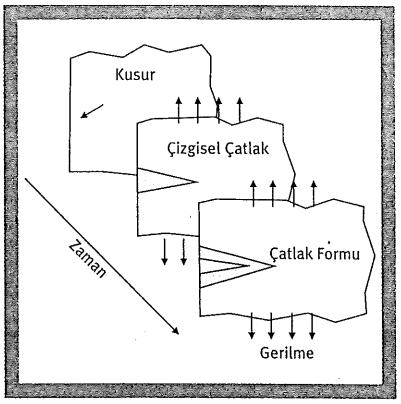
Yaşlanma, katı polimerlerde farklı etkiler sonucu iç yapıların aşamalı olarak zamanla değişimini ifade etmektedir. Bu nedenle, yaşlanmanın anlamı malzemenin yapısının değişimi sonucu ürün özelliklerinin değişimini ifade etmektedir. Ürün özellikleri, kullanım süresini ve dolayısıyla da malzemenin ömrünü belirlemektedir.

Tablo 1: Mekanik etkiler, yaşlanma mekanizması ve reaksiyonları

Etki	Mekanizmalar	Reaksiyon
Statik yük	Sürünme	Artan uzama
	Gevşeme	Azalan gerilme
Dinamik yük	Yorulma	Artan sıcaklık
		Kırılma
Sürtünme	Aşınma	Aşınmış parçacıklar

Yaşlanma Mekanizmaları

Polimerlerin etkilenme şekline bağlı olarak yaşlanma mekanizmaları; mekanik yaşlanma mekanizması, fiziksel yaşlanma mekanizması ve kimyasal yaşlanma mekanizması olmak üzere üç ana gruba ayrılabilir.



Şekil 1: Çizgisel çatlaklar ve çatlak formu

Mekanik yaşlanma mekanizması kuvvet gibi mekanik tesirlerden etkilenirken, fiziksel ve kimyasal yaşlanma mekanizmaları çevresel faktörlerden etkilenmektedir. Fiziksel yaşlanma mekanizması kimyasal yaşlanma mekanizmasına zıt olarak tersinirdir. Fiziksel ve kimyasal yaşlanma mekanizmaları arasındaki fark ile yaşlanmanın malzemelerin moleküler yapılarına etkileri tanımlanmaktadır. Polimer ürünlerde daima iki veya daha fazla yaşlanma mekanizması eşzamanlı olarak meydana geldiğinden pratikte yaşlanma mekanizmalarını birbirlerinden ayırmak zor olmaktadır. Laboratuvar koşullarında dahi tek bir yaşlanma mekanizmasını izole etmek mümkün olmamaktadır. Bu nedenle yaşlanma mekanizmalarını daha iyi anlayabilmek için her bir mekanizma ayrı ayrı dü-

şünülerek incelenmelidir.

Mekanik Yaşlanma Mekanizması

Yaşlanma mekanizmalarının tümü polimerlerin viskoelastik davranışlarından etkilenmektedir. Mekanik yaşlanma mekanizmasını meydana getiren etkileri, statik yük etkisi, dinamik yük etkisi ve sürtünme etkisi olmak üzere üçe ayırmak mümkündür. Tablo 1, mekanik etkiler sonucu polimer malzemenin yaşlanma mekanizmalarını ve etkilerini göstermektedir.

Polimerlerde statik yükten ileri gelen mekanik yaşlanma mekanizması sürünme ve gevşeme olmak üzere iki şekilde oluşmaktadır. Polimere etkiyen yük ve deformasyon şekline bağlı olarak malzemenin verdiği reaksiyon da değişmektedir. Statik gerilme reaksiyonu geciktirme veya sürünme olarak adlandırılırken, statik deformasyon ise gevşeme olarak isimlendirilmektedir.

Yükleme koşulları altında polimer malzemenin reaksiyonu polimerin makromoleküler yapısı ile açıklanmaktadır. Termoplastikler, ikincil valans kuvvetleri (moleküller arası kuvvetler) tarafından zayıf bağlanan bir çok makromoleküller içermektedir ve yüksek gerilme altında moleküller birbirlerinin içine doğru süzülmektedir.

Büyük yüklerde çatlağın ortaya çıkması, polimer parçalarının kırılmasına neden olmaktadır. Çatlağın başlamasından ve ilerlemesinden önce, polimerlerde bir çok çizgisel çatlaklar meydana gelmektedir. Meydana gelen bu çizgisel çatlaklar kırılmanın ilk hali olarak görülmektedir. Makro moleküllerdeki bu alanda çizgisel çatlakların yapıları ortaya çıkmakta ve gerilme meydana gelmektedir. Gergin alanlar aşırı yüklenir ve çizgisel çatlaklar büyürken bazı molekül bağlarının kopmasına sebep olmaktadır. Çizgisel çatlaklar ve/veya çatlakların başladığı noktalarda, malzemede çoğunlukla çok küçük kusurlar bulunmaktadır. Hasar mekanizmasındaki farklı adımlar Şekil 1' de gösterilmektedir. Çizgisel çatlaklar ve çatlakların ortaya çıkması statik yük etkisiyle gerçekleşmektedir. Belirli uzama limitine kadar çok uzun zaman periyotlarında bile çizgisel çatlaklar ve çatlaklar ortaya çıkmadığı gözlenmiştir. İyi bir dizayn için bu uzama limitleri bilinmelidir. Sürünme esnasında yüklenen polimerin boyu kırılma veya hasar meydana gelene dek dereceli olarak artmaktadır. Bu olaya genellikle sürünme yırtılması veya bazen de statik yorulma denmektedir.

Dinamik yükten ileri gelen mekanik yaşlanma mekanizması yorulma olarak adlandırılmaktadır. Test edilen deney numunelerine dinamik yükleme yapıldığı durumlarda tepkime mekanizmaları çok karmaşık olmaktadır.

Büyük dinamik yüklemeler malzemenin morfolojisinin değişmesine sebep olmaktadır. Statik yüktekine benzer şekilde ilk olarak sürünme meydana gelmektedir. Dinamik yüklemedeki en önemli parametre enerji absorbsiyonudur. Polimer malzemelerde, ortaya çıkarılan yüksek enerji miktarı ısıya dönüşmektedir. Bunun sonucu malzeme ısınır ve yumuşama meydana gelmektedir.

Fiziksel Yaşlanma Mekanizması

Tüm fiziksel yaşlanma mekanizmaları çatlama meydana gelmediği sürece tersinirdir. Bu, diğer yaşlanma mekanizmalarıyla arasındaki temel farktır. Fiziksel yaşlanma mekanizmalarının tepkimeleri sadece moleküler düzeyde, polimer malzemenin yapısında ve moleküller arası kuvvet veya ikincil valans kuvvetlerinde etkilidir. Tablo 2'de, fiziksel yaşlanma mekanizmalarının farklı etkileri ve reaksiyonları gösterilmektedir.

Fiziksel yaşlanma mekanizmalarında en önemli etkilerden biri de ısı enerjisidir. Termoplastiklerin fiziksel yaşlanma mekanizmalarını sıcaklıkla kontrol etmek mümkün olmaktadır. Temelde makromoleküllerin hareketliliği ısı enerjisi ile sağlanmaktadır. Yüksek hareketlilik polimer malzemenin yapısını etkilemektedir. Örneğin, malzemenin kristal yapısını ve moleküllerin yönlenmesini değiştirmektedir. Polimer malzemenin bulunduğu ortamdaki fiziksel hareketlilik sadece ikincil valans kuvvetlerinden etkilenmektedir. Bu durumda, ortamdaki moleküller makromoleküllere doğru yayılır ve polimer molekülleri arasındaki fark artar. Farkın artması polimer malzemelere şişme ve yumuşama olarak etki etmektedir. Makromoleküller arasına sıkışan ortam molekülleri malzemenin mekanik davranışlarını etkile-

Tablo 2: Fiziksel etkiler, yaşlanma mekanizması ve reaksiyonları

Etki	Mekanizma	Reaksiyon
Sıcaklık (Isı Enerjisi)	Makro moleküllerindeki yüksek hareketlilik	Uzama Kristal yapıdaki değişim Yönlenmedeki değişim
Malzemenin içinde bulunduğu ortam	Şişme/Bozulma Yüzey enerjisinin azalması	Moleküller arası kuvetlerin azalması Çevresel gerilme çatlaması

mektedir. Yumuşamış bir polimerde, eğer ortam molekülleri yayılır ve makromoleküller arasında uzaklık artarsa, moleküller arasındaki kuvvetlerde azalmaktadır.

Bir çözeltinin içinde polimerin çözünebilirliği parametresi ile ifade edilmektedir. Eğer polimer ve çözeltinin çözünebilirlik parametreleri 1-2<1 (kal/cm3)1/2 (Thumb kuralı) ifadesini sağlarsa, polimerde çözülme meydana gelmektedir. Örneğin çözünebilirlik parametresi 10 (kal/cm3)1/2 olan asetonun çözünebilirlik parametresi 9.1 (kal/cm3)1/2 olan polistireni çözebilecektir. Bu yüzden aseton çözünebilirlik parametresi 7.9 (kal/cm3)1/2 olan polietilen kaplarda depolanmaktadır.

Fiziksel yaşlanma derecesinin artmasıyla malzeme ömrü oldukça kısalmakta ve ağırlıklı olarak gevrek kırılma meydana gelmektedir. Bu aynı zamanda sürünme, yorulma ve çevresel gerilme çatlaması performansı içinde geçerli olmaktadır. Bu zayıflamanın ana sebebi olarak yaşlanma ile birlikte çizgisel çatlak oluşma eğiliminin artması ve sonucunda da tokluğun azalması gösterilebilmektedir.

Fiziksel yaşlanma etkileri göz ardı edildiği taktirde polimerik malzemenin yorulma dayanımını tahmin etmek mümkün olmamaktadır. Polimerik malzemenin uzun periyotta dayanımının kestirilebilmesi için fiziksel yaşlanmanın asla gözden kaçırılmaması gerekmektedir. Zamanla birlikte deformasyon şeklinde de büyük değişikliklere sebep olan bir proses olduğundan malzemenin uzun zamanlı performansını, bir malzemenin karekterizasyonunda kullanılan kısa periyotlu testler ile anlamak mümkün olmamaktadır. Fiziksel yaşlanma süreci uzadıkça polimerin sürünme davranışlarında bulunma eğilimi de artmaktadır. Fiziksel yaşlanma amorf polimerler için oldukça önemlidir. Fiziksel yaşlanma yarı kristalli polimerlerin amorf bölgelerinde meydana geldiğinden herhangi bir polimerik malzemede göz ardı edilmemelidir. Büyük serbest hacim içeren tüm amorf malzemeler camsı duruma geçiş sıcaklığının (Tg) altında dengesiz haldedirler. Tg'nin üzerinde su verme, moleküler zincirleri tekrar ayarlamaya ve denge değerlerine doğru yoğunluğun oldukça artmasına sebep olmaktadır. Yoğunluğun artmasına moleküler hareketliliğin azalması sebep olurken, terside dayanımın ve akma gerilmesinin artmasına ve tokluğun azalmasına sebep olmaktadır.

Tablo 3: Kimyasal etkiler, yaşlanma mekanizması ve reaksiyonları

Etki	Mekanizma	Reaksiyon
Sıcaklık (Isı Enerjisi)	Isı-Yaşlanma	Zincir bozulması Depolarizasyon
Oksijen	Oksidasyon	Zincir üretme Zincir dallanması Zincir ayrışması Depolarizasyon
Elektro magnetik radyasyon ışık	Enerji Absorbsiyonu	Çapraz bağlanma Zincir bozulması
Malzemenin içinde bulunduğu ortam	Kimyasal reaksiyon	Zincir bozulması Çapraz bağlanma
Su	Hidroliz	Zincir bozulması

Genel bir düşünce olarak yaşlanma polimerde gevrekliğe sebep olmaktadır. Kırılma olayı üç farklı bileşenle açıklanmaktadır; çatlak başlangıcı, çatlak ilerlemesi ve kırılma. Akma gerilmesi ve elastik modül artarken tokluğun azalması sebebiyle de yaşlanma sonucu çatlak oluşumu kolaylaşacaktır.

Küçük uzama miktarlarına bağlı camsı polimerlerin mekanik özellikleri üzerinde sı-

Tablo 4: Doğal yaşlandırılmış polimerlerde yaygın hasar sebepleri

Önceden ortaya çıkan faktörler	Hammadde	Zayıf malzeme seçimi / Renklendirilciler Yüksek seviyede artık katalizör Yanlış moleküler ağırlık Geri dönüşüm reçineleri ile birleştirme
	Kimyasal formülü	Yetersiz ve zayıf stabilizan Düşük çözülebilirlik (leaching) Aşırı buharlaşma / Katkı maddelerinin etkileşimleri
	Üretim	Kötü üretim koşulları / Şiddetli ısı Artık kalıplama gerilimi / Dizaynı problemleri
Çevresel Yaşlanma	Güneş ışığı	UV bozulma / Isı ve termal oksidasyon
	Yağmur/çiy	Hidroliz Delaminasyon
	Diğer	Çevresel kirlilik / Termal çevrim Rüzgarın eroziv aşındırması
Katkısız servis kullanımı	Fiziksel gerilme	Sürünme / Aşırı yük Uzama / Darbe Mekanik kayma / Aşınma
	Kimyasallar	Agrasif temizleyici kullanımı Kimyasal döküntü / Boyama Çözücü hidrokarbonlar
	Yüzey	Katalitik metal yüzeyler Yüksek termal genleşme

caklık ve nem gibi parametrelerin yanında yaşlanma süresi de önemlidir. Struik yaptığı çalışmada, PVC'ye uyguladığı sürünme deneylerinde yaşlanma süresinin artışı ile mekanik özelliklerin düştüğünü tespit etmiştir.

Zhao ve Fan (2001) yaptıkları çalışmada; ataktik polistirenin (aPS) amorf halinin fiziksel yaşlanma mekanizması ile soğutma ortamının önemini araştırmıştır. Numunelere uygulanan hızlı su verme işlemi sonucu "serbest amorf bölge (free amorphous region)" ile "Sınırlandırılmış amorf bölge (constrined amorphous region)" olarak isimlendirilebilen iki farklı karakterde çift amorf bölgenin varlığını tespit etmiştir. Amorf polimerlerde Tg'nin altındaki sıcaklıklarda fiziksel yaşlanma, toplam zamanın bir fonksiyonu olarak değişen özgül hacim, entalpi ve entropi gibi özellikleri ifade etmektedir. Fiziksel yaşlanmanın polimerin camsı geçiş sıcaklığını etkilediği kanıtlanmıştır. Tg'nin altındaki sıcaklıklarda numunelere fiziksel yaşlanma yapıldığı zaman DSC' de (Diferansiyel taramalı kalorimetre) çift endotermik pik elde edilmiştir. Fiziksel yaşlanma süresinin artmasıyla endotermik pikin sıcaklığının ve yoğunluğunun arttığı tespit edilmiştir.

Kimyasal Yaşlanma Mekanizması

Kimyasal yaşlanma mekanizması daima malzemenin kimyasal yapısına etki etmektedir. Moleküler zincirlerin kopmasıyla sonuçlanan kimyasal yaşlanma. mekanizması tersinir bir mekanizma değildir. Kimyasal yaşlanma mekanizmaları ve reaksiyonları Tablo.3' de gösterilmektedir.

Moleküler yapının bozulmasına sebep olan en önemli faktörlerden biri sıcaklıktır. Moleküler yapıdaki kovalent bağların zayıflamasına, zincirin bozulmasına ve zincirin kopmasına neden olan yüksek sıcaklık bazı polimerlerde de moleküler yapının depolimerizasyonuna sebep olabilmektedir. Bunun yanında, ısı enerjisi diğer yaşlandırma mekanizmalarını da hızlandırmaktadır. Tüm polimerler servis ömürleri boyunca oksijene maruz kalmaktadırlar ve polimer malzemelerde oksijen yayılması makro-moleküler zincirleri etkilemektedir. Moleküler yapıdaki bozulma, oksijenden dolayı çok hızlı gerçekleştiğinden polimer üretiminde bu nedenden ötürü stabilizan ve antioksidanlar kullanılmaktadır.

Polimer malzemenin absorbe ettiği ışık veya radyasyon miktarı oksidasyonla artmaktadır. Polimerlerdeki bazı zincir grupları bazı spesifik ışık dalga boylarına çok hassastır. Farklı zincir grupları farklı yoğunluklardaki farklı dalga boylarını absorbe etmektedirler. Işıktaki radyasyonun UV (ultraviyole) dalga boyu kritiktir. Bu yüzden direkt güneş ışığı için üretilen plastiğe gerekli stabilizanlar konulmaktadır.

Eğer bir kimyasal madde, kimyasal direnci zayıf bir polimer ile temasta olursa polimerin moleküler zincirlerinde kopma meydana gelmektedir. Ham madde üreticileri, polimerlerin kimyasal dirençlerini de göz önüne almaktadırlar. Eğer zayıf dirençli bir polimer, kimyasalda hem çözünür hem de şişerse kombine bir etki göstermiş olmaktadır. Bunun yanında kimyasal reaksiyonlar bazı polimerler için su ile temasta olduğunda da meydana gelmektedir.

Polimerlerde Yaşlandırma Uygulamaları

Doğal yaşlanma mekanizması, fiziksel ve kimyasal yaşlanma mekanizmalarının tamamını içermektedir. Bir çok durumda polimer ürünler doğal yaşlanma koşullarına maruz kalmaktadırlar. Genel bir görüş olarak, doğal yaşlanmada sıcaklık (fiziksel / kimyasal), su / ortam (fiziksel / kimyasal), ışık (kimyasal), oksijen (kimyasal) ve sürtünme (mekanik) etkilerinin hepsi birlikte meydana gelmektedir. Sıcaklık, su, ışık, ve oksijenin etkilerinin doğal yaşlanmada sonuçları açıktır. Polimer üzerine yağan yağmur ile asit, toz, duman, hidrokarbonlar vs. gibi hava kirliliğinin getirdiği etkiler de polimerde hasara sebep olmaktadır. Uzun periyotlu yağmurlar polimer yüzeyini aşındırmaktadır. Doğal yaşlandırılmış polimerlerde yaygın hasar sebepleri Tablo 4'de verilmektedir. Çevresel koşullara maruz bırakılan polimerin bozulmasına kimyasal ve fiziksel ataklar sebep olmaktadır. Güneş ışığının UV bileşeni ile ısı büyük rol oynayarak polimerlerde zincir kopmasına yol açmaktadırlar. Bu sonuç, fiziksel özelliklerin bozulmasına sebep olmaktadır.

Doğal yaşlanma çevresel faktörlerin tek başına veya beraber etkilerini içerir (ısı, ışık, iyonlaşma radyasyonu, oksijen, ozon, nem, yağmur, rüzgar, toz, bakteri ve kimyasal kirlilik gibi). Yaygın hava kirlilikleri olan sülfürik asit (sanayi kaynaklı), hidrokarbonlar, nitrojen, oksitler bozulmada etkin rol oynamaktadır. Coğrafi parametreler (enlem, boylam, dağ, deniz, çöl gibi), mevsimler, çevresel ve atmosferik koşullar da önemlidir. Dış ortama maruz bırakılan polimerin bozulmasındaki en büyük etken kısa dalga boylu ulturaviyole radyasyon miktarıdır. Bu yüzden, gökyüzündeki radyasyon ve güneş ışığındaki ulturaviyole miktarındaki değişiklikler dizayn faktörlerinde ve yaşlandırma testlerinde önem-

Tablo 5: Çeşitli polimerlerin maksimum bozulmasına yol açan ışık dalga uzunlukları

Polimer	Etkili ışık dalga boyu [nm]
Polietilen	315
Polivinilinklorür	310-370
Polistren	318-340
Polipropilen (Stabilize edilmemiş)	370 (280)

lidir. Güneş radyasyon ölçümleri, toplam güneş radyasyonundaki spektral oran radiometer tarafından ölçülür, bu cihaz pyranometer olarak da ifade edilir.

Güneş ışığının görünür ışık ve ultraviyole bileşenlerinin yaşlandırmada önemli bir faktör olduğunun tespiti ile ticari polimerlerin fotodegradasyonuna (bozulma) önemli bir ilgi duyulmuştur. Güneş ışık dalga boyunun 300-400 nm' lık kısmı güneş ultraviyolesi olarak adlandırılır ve güneşin toplam ışık radyasyonun %6'sını içermektedir. Bu ışınlar polimerler için güneş ışığının en zararlı kısmı oluşmaktadır. Bu ışık radyasyon miktarı polimer malzemenin bağlarının kopması için yeterli olmaktadır.

Bileşimlerine bağlı olarak her malzeme için fotokimyasal reaksiyonlar başlatabilen belirli bir ışık dalga boyu bulunmaktadır. Tablo 5, bazı polimerlerin maksimum bozulmasına yol açan ışık dalga boyu değerlerini göstermektedir.

Görünen radyasyon ve yakın kızıl ötesi radyasyondan çabuk etkilenen renklendirilmiş polimer malzemelerde, yükselen sıcaklıkla kimyasal reaksiyonlar hızlanmaktadır. Güneş radyasyonu ile sinerjik olarak hareket eden diğer faktörler yaşlandırma proseslerinde etkilidir. Tüm enlemlerde, güneş yüksekliği ve güneş radyasyonu öğle güneşinde etkili olmaktadır. Açık atmosferde güneş ışığı hem absorbe edilerek hem de kırılıp dağılarak şiddetini azaltmaktadır. Direkt güneş radyasyonu atmosferik gazlar (temelde O3, CO2 ve su buharı) ve kirlilik tarafından absorbe edilmektedir. Gökyüzünden yer yüzüne gelen güneş radyasyonunun çok fazla olduğu yerlerde, 90° yükseklikte ki güneş ile gökyüzünden yayılan radyasyonun polistiren için etkili ışık dalga boyu olan 325 nm toplam radyasyonun % 50' olmaktadır. Ulturaviyole radyasyonunun yayılma oranı güneş yüksekliğinin ve dalga boyunun azalması ile artmaktadır. Bu oran sisli ve bulutlu ortamlarda azalmaktadır.

Bozulma reaksiyonu sonucu polimer mekanik, reolojik, ısıl ve renk özelliklerini kaybederek, gevrekleşir ve yaşlanmadan dolayı polimerin servis ömrü sınırlanır. Polimerlerin, güneş ışığına maruz kalmayacak şekilde depolanması halinde, raf ömürlerinin daha uzun olabileceği bilinmektedir. Doğal ve suni yaşlandırma testleri kalite kontrol ve malzeme sertifikasyonu içinde kullanılmaktadır. Ancak dış ortama maruz bırakılan testlere oranla laboratuarda yapılan testler arasında farklılıklar olmaktadır. Yalçın ve Sevinç (1992) yaptıkları çalışmada, farklı molekül ağırlıklarında hazırlanan polistiren örneklerin ultraviyole radyasyonu ile fotodegredasyonunu araştırmışlardır. Film şeklinde hazırlanmış polistiren malzemeler belirli sürelerde ultraviyole radyasyonuna maruz bırakılmışlardır. Deney sonucunda moleküler ağırlıkta değişmeler gözlemlemişler ve ışığa maruz kalma süresinin artmasıyla da moleküler ağırlığın azaldığını tespit edilmişlerdir. Andrady ve Pegram (1991) yaptıkları çalışmada, doğal yaşlandırmaya ve deniz suyuna maruz bırakılan polistiren köpüklerde meydana gelen bozulmayı çekme testleri, viskozite ve sararma ölçümleri ile tespit etmişlerdir. 12 ay süre ile deniz suyuna ve açık havaya maruz bırakılan polimer malzemenin renginde hemen sararmanın başladığını tespit etmişlerdir. Doğal yaşlandırmaya maruz bırakılan malzemenin çekme dayanımlarının deniz suyunda yaşlanmaya maruz bırakılandan daha hızlı şekilde düştüğünü tespit etmişlerdir. Viskozitede önemli bir düşüşü gözlenmişlerdir. Malzeme kalınlığının hem deniz suyuna bırakılan hem de doğal yaşlandırılan malzemelerde zamanla azaldığını gözlemlemiştir.

Singh et al (2002) yaptıkları çalışmada, Yüksek Darbe Dirençli Polistiren için doğal yaşlandırma ile suni yaşlandırmayı kıyaslamışlardır. Suni ve doğal yaşlandırma esnasında polimerlerdeki bozulmanın yapısal ve moleküler karakteristikleri ile ilgili olduğu görülmüştür. Bozulma reaksiyonunun yüzeyden başlayarak hacmin içine doğru ilerlediği taramalı elektron mikroskobu (SEM) çalışmaları ile tespit edilmiştir. Polimerin kısa ömür tayinlerinde, suni yaşlandırmanın doğal yaşlandırmadan daha hızlı etkilediği tespit edilmiştir. Nisan ile Ağustos ayları arasında 180 günde yapılan doğal yaşlandırma sonrasında çekme dayanımında % 50 sapma olduğu belirlenmiştir. Qayyum ve White (1987) yaptıkları çalışmada, farklı polimerleri üç yıl süreyle Suudi Arabistan'da doğal yaşlanmaya tabii tutmuşlardır. Mekanik özellikler çekme testi ile incelenmiş ve kristalin polimerlerdeki yüzey kırılmaları SEM ile tespit edilmişlerdir.

Doğal yaşlandırma sonucu SEM ile yapılan incelemelerde gevrek kırılmanın meydana geldiğini ve kırılgan yüzey formasyonunun elde edildiğini ortaya çıkarmışlardır.

Polimerlerde Isıl Yaşlanma

Polimerlerde ısıl yaşlandırma, belirli bir zamanda belirli bir sıcaklığa getirilen ve bu sıcaklıkta bir süre bekletilen ve daha sonra belirli bir zaman aralığında soğutulan plastiğin ikincil prosesi olarak tanımlanmıştır. Isıl yaşlanma, gerilme ve uzama sonucu meydana gelen yer değiştirmedeki artma veya azalmayı, boyutsal değişmezliği, hataların göz ardı edilmesi veya azaltılmasını ve fiziksel özelliklerde iyileştirmeyi içermektedir.

Isıl işlem polimerlerde bir çok sebepten dolayı önemli bir uygulamadır. İmalat esnasında uygun üretim koşulları kullanılırsa ısıl işlem gerekmeyebilir. Ancak, kalıplama parçalarının yüksek ısıl gerilmeye maruz kaldığı durumda, malzemenin maksimum boyut değişmezliği ile ısıl direnci ve/veya belirli özelliklerinin değiştirilmesi gerektiğinde ısıl yaşlandırma uygulanmaktadır.

Düşük zaman periyotlarında uygulanan yüksek sıcaklıklardaki ısı etkisi polimerlerde bozulmaya sebep olabilirken, polimerlere düşük sıcaklıklardaki ısı etkisi uzun zaman periyotlarında uygulandığı taktirde bozulma riski daha az olabilmektedir. Eğer polimer ısıl dengesine ulaşırsa bozulmaya başlayabilmektedir. Bu etki ısıl yaşlanma veya basit yaşlanma olarak adlandırılmaktadır. Fırında yaşlandırma, polimerin oksitlenme dengesini değerlendirmede kullanılan en yaygın ve en eski ısıl yaşlandırma yöntemidir. Polimer malzemenin fırında yaşlandırılması sırasında karşılaştığı şartlar, işletme sırasında karşılaştıklarına oldukça benzerdir. Fırında yaşlandırma termostatlı hava sirkülasyonlu fırın içerisinde polimerin erime noktasının altında gerçekleştirilir. Fırında yaşlandırma süresi boyunca polimerde renk kaybı, çarpılma, burulma veya eğilme esnasında görülen çatlama, ağırlık değişimi gibi pek çok özellik değişmektedir.

Chow (1993) yaptığı çalışmada, camsı polimerlerde tek eksenli sıkıştırma ile gerilme-uzama ilişkisi, akma uzaması, akma gerilmesi, elastiklik modülü değişimlerini fiziksel yaşlanmanın bir fonksiyonu olarak göstermiştir. Amorf polimerlerde zamana bağlı olarak ısıl işlemli ve su verilmiş polimerlerin gerilme-uzama davranışlarını tespit etmiştir.

Polistirenin mekanik özellikleri ısıl işlem parametrelerine, ısıl işlem sıcaklığına ve % uzama oranına bağlı olarak hesaplamıştır: Hem elastiklik modülü hem de akma gerilmesi yaşlandırma ile artarken, akma uzaması giderek azalmaktadır.

Yaşlandırma devam ettikçe, polimerler daha kırılgan olmaktadır. Fiziksel yaşlanma mekanizmasındaki değişim amorf polimerin yaşlanma zaman skalasına bağlı olmaktadır.

Camsı geçiş sıcaklık bölgesi, elastiklik modülü, fiziksel yaşlandırmanın etkisi ve akma gerilmesi kritik yaşlanma zamanından sonra azalmaktadır.

Arnold (1995) yaptığı çalışmada, polistiren malzemenin sürünme dayanım ömrünü, yorulma ömrünü, çevresel gerilme çatlaması gibi özelliklerini incelemiştir. Cam plakalar arasına koyduğu 2 mm kalınlığındaki polistiren malzemeye, 105 °C'da 2 saat süresince ısıl işlem uyguladıktan sonra numuneleri oda sıcaklığında soğumaya bırakmış ve 1 saatten 60 güne kadar ön teste tabi tutmuştur. Böylece uzun fiziksel yaşlanma ile polistirende hasarın çok kolay meydana geldiğini tespit etmiştir.

Hourston et al (1996) yaptıkları çalışmada, polistirenin fiziksel yaşlanması, modüle edilmiş diferansiyel taramalı kalorimetre (mDSC) ile incelenmiştir. Karakteristik bir ısıl işlem sıcaklığı değerinde gevşeme entalpisinin maksimum bir değere ulaştığı sonucunu ortaya çıkarmışlardır. 65°C sıcaklığın altında ısıl işlem yapıldığında, başka bir gevşeme piki bulunmuştur. Isıl işlem sıcaklığı değiştirilerek bu gevşeme pikinin pozisyonunun 54°C ile 64°C sıcaklıkları arasında meydana geldiği tespit edilmiştir. Isıl kapasite eğrilerindeki bu geçiş, camsı geçişte omuz verme olayıdır. Artan ısıl işlem sıcaklığı ile PS'in camsı duruma geçiş sıcaklığının yavaşça arttığı gözlenmiştir. Gerçekte fiziksel yaşlanma prosesi bir gevşeme olayıdır. Isıl işlem esnasında gevşeme entalpisinde (H) bir artma görülmüş ve H yaşlanma zamanının lineer bir fonksiyonu olarak ifade edilmiştir. 180 günlük periyotta yapılan deneyler sonucunda, yaşlanma sıcaklığı artıkça Tg de çok az bir değişim gözlenmiştir. Yapılan çalışmalardan fiziksel yaşlanma oranının maksimum olduğu durumlarda karakteristik bir ısıl işlem sıcaklığının mevcut olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak, fiziksel yaşlanma çatlak ilerlemesi ve çatlak oluşum zamanını arttırmaktadır. Düşük gerilmelerde yaşlanma çok az etkilidir. Yaşlanmayla

PS'in çatlak oluşum zamanının azaldığı görülmektedir. Gusler ve McKenna (1997) yaptıkları çalışmada, çatlak başlatma sıcaklığı ve fiziksel yaşlanmanın yapıya etkisi Sternstein, Argon ve Kambour modelleri ile incelenmiştir. Çift eksenli deneyler sonucunda, 60°C sıcaklıkta için yaşlanma zamanı ve sıcaklığın artışıyla polistiren malzemenin çatlak başlatma gerilmesinin azaldığı ve 22°C sıcaklıkta ise artığı sonucuna varmışlardır. Tek eksenli deneyler için yaşlanma zamanı arttıkça çatlak başlatma eğilimi azalmaktadır.

Trifonova et al (1990)'da yaptıkları çalışmada, düşük yoğunluklu polietilen, yüksek yoğunluklu polietilen ve darbe dirençli polistirenin raf ömrünü ısıl yaşlanmaya bağlı olarak araştırmışlardır. Sıcaklık-Zaman superpozisyonunda kullanılan metotla, üç polimerin depolama ömrü ve karakteristiklerinin değişimi gerçek depolama koşullarında tespit edilmiştir. Darbe dayanımı karakteristik değer alınarak, farklı sıcaklarda ve zamanlarda bekletilen bu üç malzeme için depolama koşulları üç yıl olarak belirlenmiştir.

Polimerlerin Kimyasal Bozulması

Polimerin kimyasal bozulması oksitlenme, çözülme veya moleküler bozulma yolu ile olmaktadır. Bu olay farklı ortamlarda çeşitli nedenlerden dolayı oluşabilmektedir. Örneğin, otomobillerde kullanılabilen asit, yakıt ve yağ gibi akışkanlar, otomobil parçaları ile istemeden de olsa temas edebilir ve bu parçalarda hasarlara neden olabilirler.

Polimer malzemelerin kimyasal bozulmalarına, plastik sıhhi tesisat borularının veya depolama tanklarının bakımı sırasında kullanılan güçlü dezenfektan sıvılar tarafından bozulmaları, elastomerik contaların organik sıvılarla temas ederek kabarmaları, polyester elemanların nemli ortamlarda hidroliz nedeniyle hasarlanmalarını, kauçuk parçaların aminli ortamlarda gevrekleşmeleri ve mikro organizmaların salgıladıkları kimyasalların bozucu etkileri gibi farklı alanlardaki etkileşimler örnek verilebilir (FRIED 2003). Ayrıca, polimerlerin kimyasal bozulmaları asit ve baz etkilerini de içermektedir. Birçok polimerin belirli kimyasal ajanlar tarafından bozulmaya duyarlı oldukları da (Tablo 6) göz ardı edilmemelidir. Polimerlerin kimyasal bozulmalarına en önemli örnek olarak polimerlerin oksidatif bozulmalarıdır.

Tablo 6: Polimerlerin farklı tiplerdeki kimyasal bozulmalarına genel örnekler

Kimyasal Bozulma Tipi	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3
Çözülme	PVC/aseton	Naylon/TCE	PC/metilen klorid
Plastikleşme	PVC/fdalat (phthalate)	Naylon/su	PC/THF
Kimyasal degradasyon	-	Naylon/HCl	PC/aminler

Güçlü kimyasallar oksidasyon, nitrasyon, klorizasyon, hidroliz gibi prosesler ile polimeri geri dönüşü mümkün olmayacak bir şekilde bozabilmektedir. Bu prosesler, polimerlerde zincir kırılmasına ve çapraz bağlanmaya neden olmaktadır. PET ve PC gibi ester grupları içeren polimerler su, glikol, aminler ve bunlara benzer özellikteki çeşitli kimyasal ajanlar tarafından bozulmaya oldukça duyarlıdır ve polimerde sırasıyla hidroliz, glikoliz ve aminoliz reaksiyonlarına yol açmaktadırlar. Bu kimyasalları içeren ortamlara maruz bırakılan polimerlerde hasar meydana gelebilmektedir. Polimerlerde çevresel gerilme çatlaması (ÇGÇ) yaygın bir hasardır ve bu hasar sonucunda yüzeydeki çatlakları meydana gelmektedir. Sadece dış kuvvetlerle ÇGÇ meydana gelmez aynı zamanda artık gerilmelerden meydana gelen iç kuvvetlerle de meydana gelmektedir. Özel kimyasallar için yüksek artık gerilmeye maruz bırakılan polimer ürünlerinde birkaç saniye içinde ÇGÇ meydana gelebilmektedir. Düşük artık gerilmede ısıl işlem görmüş polimer üründe ÇGÇ görülmemektedir.

PS' de çözücülerde ile meydana gelen çizgisel çatlaklar önemli bir olaydır. Yüksek darbe direçli polistiren malzemelerde kauçuk partikülleri ile PS fazı arasındaki bölge çözücüden dolayı çizgisel çatlak oluşumu için riskli bölgedir. Bu çizgisel çatlaklara karşı polistirenin direnci çevresel gerilme çatlak direnci olarak ifade edilmektedir. Gıda ürünlerinin paketlenmesinde kullanılan PS' de yüksek çevresel gerilme çatlak direnci tercih edilmektedir.

Polimerlerin kimyasal bozulmaları kimyasal ajanların konsantrasyonu, temas süresi ve sıcaklığı gibi birçok faktöre bağlı olduğu kadar polimerin kimyasal yapısına ve morfolojisine de o derece bağlı olmaktadır. Bu sebeptendir ki, çok çeşitli kimyasal maddelerin bulunması nedeniyle polimer üreticileri ürünlerini farklı kimyasal ajanlarla (örneğin elektronik temizleme sıvıları, yağ çözücü ajanlar, yeni tip otomobil yakıtları ve temizleyicileri) temas ettirerek değerlendirme yapma ihtiyacı duymaktadırlar.

Kimyasal bozulma hasarları için, gevrekleşme (moleküler ağırlık kaybını gösterir), yüzey çatlakları, yüzeyde oyuk izleri, kabarma, çarpılma, renk solması, boşluklar ▶

(seçici bozulma nedeniyle), fiber/partikül takviyesinin çıkması, elastomerin sertleşmesi (çapraz bağ yoğunluğunun artması) anahtar göstergelerdir.

Polimerik malzemelerin hidrolizi kaynayan su, buhar, yoğunlaşma çevrimleri gibi sulu ortamlara ve yakıcı veya asidik çözeltilere maruz kaldığında meydana gelmektedir. Poliesterler, polikarbonatlar, polyarilatlar ve polyethermidler gibi polimerlerin tümü tekrarlanan birimlerinde hidroliz edilebilir bağlarla birleşmiş gruplar içermektedir. Dolayısıyla, neme ve yüksek sıcaklığa maruz kaldıklarında moleküler ağırlıklarında ani bir düşme eğilimi baş gösterir ve sonuç olarak da ilgili özelliklerini kaybedebilmektedirler.

Çözücü (Solvent) Etkisi

Polimerler kimyasal ve çevresel etkilere karşı metallere nazaran daha dayanıklı olabilmektedir. Ayrıca, asit ve bazlardan metallere kıyasla daha az etkilenmektedirler. Polimerler, yüksek molekül ağırlıklarına sahip olduklarından dolayı genellikle zor çözünürler. Bununla beraber, her plastiğin belirli bir çözücüsü bulunmaktadır. Polimerlerin bu çözücülerin etkisi altında çözülmesi yavaş olmakla beraber şekil ve boyutlarında değişiklikler meydana gelmektedir. Kimyasal ajanın mükemmel bir çözücü olduğu durumda, emme (absorpsiyon) ve yumuşama (plastikleşme) meydana gelmektedir. Yumuşama, boyut genleşmesi, çarpılma, mukavemet ve rijitliğin azalması ile camsı duruma geçiş sıcaklığının düşmesi gibi etkiler meydana getirmektedir.

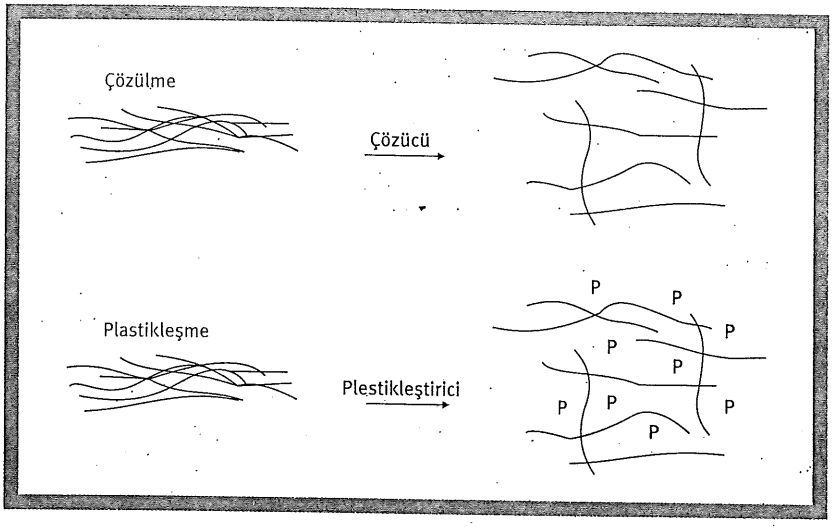
Çözücü etkisi kısmi bozulma veya şişmeye neden olsa bile bağlar kopmayabilmektedir. Çözücü atağına karşı en duyarlı polimer belki de PS ve onun karışımlarıdır. Polimerin işlenme tekniğinden kaynaklanan yüzey farklılıkları, dış yüzey çatlakları ile iç gerilmeler sonucu oluşan çatlaklar PS malzemesinin direncini olumsuz etkileyen faktörlerdir.

Çözücü moleküllerin amorf polimerlerdeki boş hacimlerine doğru kolaylıkla yayınabilme eğilimleri diğer polimerlere göre daha yüksektir. Çözücü molekülleri, polimer içerisindeki bölgesel hareketlere yardımcı olmakta ve Tg genellikle düşmektedir. Daha fazla çözücü, polimere yayındığında polimer zincirleri arasındaki moleküller arası kuvvetler azaltmakta ve bu olay kimyasal reaksiyonların yer almadığı ve moleküler ağırlığın korunduğu fiziksel kabarma etkisini meydana getirmektedir (Şekil 2). Polimer, çözücülerden çıkarılıp kurumasına izin verildiğinde ise orijinal boyutlarına geri dönmektedir.

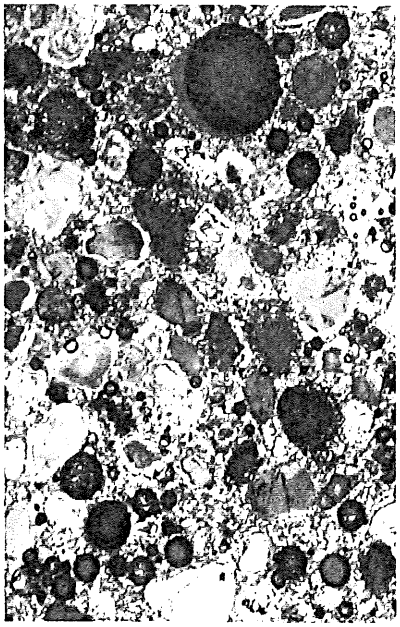
Bu olayda kabarma tersinir olarak bilinmekte ve tamamen kimyasal bozulma olmasa bile yine de eleman hasarına katkıda bulunabilmektedir. Örneğin, plastikleştirici içeren polimerler çözücü tarafından çözüldüğünde ürünün özelliklerinin değişmesine neden olabilmektedir. Ayrıca, naylon ve epoksi reçinelerinin plastikleşmesine neden olan su, eğme modülünün azalmasına neden olmaktadır.

Tuz Çözeltileri

Poliamidlerde tuz çözeltilerinin etkileri kimyasal bozulmaya güzel bir örnektir. Tuzlu su çözeltisine maruz bırakılan naylon 6'da polimerin plastikleştiği ve numuneler tuz çözeltisine daldırılıp sonra kurutulduğunda aşırı gevrekleşme eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. Tuzun bu bozucu etkisinin, tuz iyonları ve su moleküllerinin naylon 6'daki hidrojen bağları ile etkileşmesine bağlı olduğu düşüncesi ileri sürülmüştür. Tuz varlığının molekülleri rijitleştirmekte ve sonunda zinciri kırarak polimerin tokluğunu azalmaktadır. Bu tür etkiler sodyum klorür, kalsiyum klorür, lityum klorür ve çinko klorür tuzları ile olmaktadır. Özellikle çinko klorürde polimer kurutulduktan sonra ağırlığında % 4,7 ila % 4,9'luk bir artış gözlenmiştir. ALSMADİ et al (2000) yaptıkları çalışmada, polistirenin mekanik özellikleri ve basma-



Şekil 2: Çözülme ve plastikleşme mekanizmasının şematik gösterimi



daki akma enerjisinin, farklı sıcaklık ve uzama oranlarındaki deniz suyunda yaşlandırma etkisi çalışılmışlardır.

5 ile 60 gün periyotları arasında yaşlandırma yapılmışlardır. Akma enerjisi, elastiklik modülü, akma gerilmesi ve akma uzaması yaşlandırma zamanının fonksiyonu olarak belirlenmiştir.

Akma enerjisi sıcaklığın lineer fonksiyonu olarak bulunmuştur ve polistirenin mekanik özellikleri sıcaklık ve uzama oranına bağlı olarak değişim göstermiştir.

Amman/Ürdün bölgesindeki deniz suyunda yaşlandırma sonucu PS malzemenin mekanik özelliklerinde ve akma enerjisinde fark edilir bir değişim gözlendiği ifade edilmiştir.

Kaynaklar / *Resource*

♦AL-SMADİ, A.M. and ZİFLİF, A.M., 2000. Determination of The Yield Energy of Treated Polystyrene, Polymer Testing, 19, 543-549

♦AKKURT, SELMA,1991. Plastik Malzeme Bilgisi, Birsen Yayınevi, ISBN: 975-511-055-0, İstanbul

♦ANDRADY, A.L., AND PEGRAM, J.E., 1991. Weathering of Polystyrene Foam on Exposure in Air and in Seawater, Journal of Applied Polymer Science, 42, 1589-1596

♦ARNOLD, J.C., 1995. The Effects of Physical Aging on The Brittle Fracture Behavior of Polymers, Polymer Engineering Science, 35, 2,165-169

♦BONTEN, C.and BERLICH, R., 2001. Aging and Chemical Resistance, Carl Hanser Verlag, ISBN : 3-446-21697-9, GERMANY

♦BRINKMANN, S. and REGEL, K., 1995. Stabilisatoren und Füllstoffe, Kunstoffe, 85, 12, 2186-2189

♦CHOW, T.S., 1993. Stress-Strain Behaviour of Physically Ageing Polymers, Polymer,34, 3, 541-545

♦CRAWFORD, R.J., 1987, Palstics Engineering, Pergamon press , ISBN: 0-08-032627-7

♦EZBEŞİR A., ERBAY E., TAŞKIRAN,İ., YAĞCI,M.A., CÖBEK,M., BİLGİÇ, T., 1999. Polimerler I, Pagev yayınları, ISBN: 975-9816-02-3

♦FRIED,J.R., 2003.Polymer Science and Technology, Prentice Hall, ISBN: 0-13-018168-4, USA

♦GUSLER, G.M. ve McKENNA, G.B.,1997. THE Craze Initiation response of a polystyrene and a Styrene- Acrylonitrile Copolymer During Physical Aging, Polymer Engineering and Science, 37, 9, 1442-1448

♦HAWKINS, W: L:, 1984. Polymer Degradation and Stabilization, Springer Verlag, Berlin, ISBN 0-387-12851-4.

♦HOURSTON, D.J. et al, 1996. Modulated Differential Scanning Calorimetry: 2. Studies of Physical Ageing in Polystyrene, Polymer, 37, 2, 243-247

♦MARK, H.F., BILAKES, N.M., OVERBERGER, C.G., MENGES, G., KROSCHWITZ,J.I., 1985. Encyclopedia of Polimer Science and Enginnering ,Vol 2-16, Jon Wiley & Sons, ISBN: 0-47-80942-x

♦MCKETTA, J.J., CUNNİNGHAM, W.A.,1992. Encyclopedia of Chemical Processing and Design, vol 40, p 381-404

♦QAYYUM, M.M. and WHİTE, J.R., 1987. Plastic Fracture in Weathered Polymer, Polymer, 28, 469-476

♦SCHEIRS, JOHN, 2000. "Compositional and failure analysis of polymers", Willey, ISBN:0-471-62534

♦SINGH, R.P., PRASAD, V., SOLANKY, S.S., 2002. The Oxidative Degradation of Styrenic Copolymers: A Comparison of Photoproducts Formation Under Natural and Accelerated Conditions, Journal of Applied Polymer Science, 85, 1676-1682

♦STRUIK, L.C.E., 1978. Physical Aging in Amorphous Polymers and Other Materials, Elsevier Scientific Publishing Company, ISBN: 0-444-41655-2, Amsterdam-Oxford-Newyork

♦ŞAHİN, Ş., 1996. Ultraviyole (UV) Işınının Polietilen (PE) Doğal Gaz Borularının Mekanik Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

♦TRIFONOVA, M., EVTİMOVA, S., PEEVA, L., 1990.Investigation of the Thermal Ageing of Polyethylene and Polystyrene with the Purpose of Predicting Their Shelf-Life, Die Angewandte Makromolekulare Chemie, 176/177, 87-92

♦YALÇIN, N., ve SEVİNÇ V., 1992, Polistirenin Ultraviole Bozunması, Doğa-Tr. J.of Engineering and Environmental Sciences, 16, 111-117

♦ZHAO, J. AND FAN,Q., 2001 Amorphous phase in atactic polystyrene, Polimer Bulletin, 47, 91-97

Plastik

PAGEV Plastik Araştırma - Geliştirme ve İnceleme Dergisi
Yıl:14 ♦ Kasım-Aralık 2004 ♦ Sayı 77 ♦ İki Ayda Bir Yayınlanır
Plastik Araştırma-Geliştirme ve İnceleme Dergisi, PAGEV'in Yayın Organıdır
PAGYAY Yayıncılık Turizm ve Ticaret Ltd. Şti. adına,

Sahibi
Hayrullah YELKENCİ

Genel Koordinatör
Feridun BİRİCİK

Yayın Yönetmeni
Yazı İşleri Müdürü
Ertan GÜNEŞ

Yazı İşleri Asistanı
Arzu YILMAZ

Reklam ve Halkla İlişkiler
Cengiz KALAYCI

Yayın Yürütme Kurulu
Mak. Y. Müh. Selçuk AKSOY
Dr. Zafer ÇİÇEK
Kim. Yük. Müh. Tülin BİLGİÇ
Nurfan UMAR

Yayın Danışma Kurulu
Prof. Dr. Atilla GÜNGÖR / M.Ü.
Prof. Dr. Duygu KISAKÜREK / O.D.T.Ü.
Prof. Dr. Erhan PİŞKİN / H.Ü.
Prof. Dr. Güneri AKOVALI / O.D.T.Ü.
Prof. Dr. Hüseyin YILDIRIM / Y.T.Ü
Prof. Dr. İsmail DALAY / S.Ü.
Prof. Dr. M.Ali GÜRKAYNAK / İ.Ü.
Prof. Dr. Mehmet Emin YURCİ / Y.T.Ü.
Prof. Dr. Murat ORBAY / İ.Ü.
Prof. Dr. Nurseli UYANIK / İ.T.Ü.
Prof. Dr. Paşa YAYLA / K.Ü.
Prof. Dr. Tekin ARDA / Newport Ün.
Yrd. Doç. Dr. Çetin KARATAŞ / G.Ü.
Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÖKSÜZ / M.Ü.T.E.F.
Yrd. Doç. Dr. Recep YENİTEPE / M.Ü.T.E.F.
Yrd. Doç. Dr. Soner ÇELİKKOL / K.Ü.
Dr. Mevlüt ÇETİNKAYA / PETKİM
Dr. Yakup ÜLÇER / RESİNEX
Metin BİLGİLİ / ARÇELİK
Ekin KURT / CLARİANT
Elçin OĞUZHAN / TEKNOPOLİMER

Grafik Çalışma
PAGYAY Yayıncılık

Film
Güven Röprödüksiyon

Baskı
Kaptan Ofset

Merkez
Halkalı Cad. Tez-İş İş Merkezi No: 132/1 Kat:4
Sefaköy 34295 İstanbul
Tel.: 0212.425 13 13 - 3 Hat Faks: 0212.624 49 26

İletişim
e-mail: pagyay@pagev.org.tr
e-mail: pagyay@superonline.com
e-mail: pagev@pagev.org.tr
http://www.pagev.org.tr

Banka Hesap No
PAGYAY Turizm ve Ticaret Ltd.Sti.
Garanti Bankası Sefaköy Şubesi - 6200599

Pagev Plastik Dergisi 'nde yayınlanan yazılardaki görüşler yazarlarına, yayınlanan ilanların sorumluluğu ise ilan verene aittir. Pagev Plastik Dergisi hakemli bir dergidir. Dergimize gönderilen makaleler ihtiyaç duyulduğu takdirde uzmanlık alanlarına göre Yayın Danışma Kurulu üyelerine veya konusunda uzmanlaşmış kişilere inceletttirildikten sonra yayınlanır. Dergimize gönderilen yazılar yayınlansın veya yayınlanmasın iade edilmez.
Bu dergide kullanılan yazılardan kısmen ya da tamamen izin alınmadan ve kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz.
Yazı ve fotoğrafların tüm hakları, Pagev Plastik Dergisi'ne aittir.

Plastik Dergisi, Basın Ahlak Yasasına uymayı taahhüt eder. ♦ ISSN:1302-6925

Bu Sayıda...

BAŞYAZI ____ 9

PAGEV'DEN
Türkiye Plastik ve Kauçuk Rehberi ve CD'si 2005 ÇIKTI ____ 10
Rekora Doymayan Bir Sektör: Türk Plastik Sanayii ____ 12
İran Plast'2004 Fuarı'na Gidiyoruz ____ 16
Selçuk AKSOY: Hedef 2010'da Avrupa'da İlk Üçte Yer Almak ____ 18
PAGEV'in Yeni Eğitim Kompleksi Projesi ____ 20
Bilinçsiz ve Yanlış Yorumlanan Plastik ve Çevre İlişkisi ____ 24

SEKTÖRÜN DUAYENLERİ
Hayrullah YELKENCİ: PAGEV ve PAGDER Ufkunu Genişletti ____ 28

SEKTÖRDEN
Plast Avrasya İstanbul 2004 Fuarı 1-5 Aralık'da ____ 34
2004 Ambalaj Yarışması ____ 40
Chumpower Hastek ile Yoluna Devam Ediyor ____ 46
Ambalaj Fuarı Düzenlendi ____ 48

DÜNYADAN
Plastics Industry Show Moskova'da... ____ 54
Arabplast 2005 Dubai'de... ____ 56
Central Asia Plast Kazakistan'da... ____ 58
Kalıp Değiştirmede Minimum Zaman Kaybı ____ 60
Maguire Yeni Nesil Kurutucular ____ 62
Tamamen Siyasi Bir Karar ____ 64
K-2004 Fuarı Yapıldı ____ 68

SERBEST KÜRSÜ
Düsseldorf K-2004 Fuarı İzlenimleri ____ 72

YENİ ÜRÜN
Granumatic Parçalayıcı ile Enerji Tasarrufu ____ 74
Saydam Polimer Camda Yenilik ____ 76
Yeni Nesil Malzemeler ____ 78
Kozmetik Ambalajda Tasarım Özgürlüğü ____ 80
Basf Terluran Kaplamalık ABS ____ 82
Fredcolor Renk Problemlerini Çözüyor ____ 84

MAKALE
Kompozit Malzemelere Genel Bir Bakış ____ 86
Polimerlerde Yaşlanma Mekanizmaları ____ 94
Plastik Enjeksiyon Prosesinde Makina Seçimi ____ 112
Fonksiyonel Akrilik Monomerler ____ 118
Lastiklerin Geri Dönüşümü ____ 134
Polimer Malzemelerde Birleştirme ____ 142
Kablo İzolasyonunda Kullanılan Polimerler ____ 150
Güneş Işığının Plastiklerin Performanslarına Etkileri ____ 156
Yeni Bir Test Prosedürü ____ 166
Enjeksiyon Memeleri ____ 170
Geri Kazanımda Çağdaş Yaklaşımlar ____ 174

FUAR TAKVİMİ ____ 189

PAGEV YAYINLARI ____ 190

DÜNYADAN EKONOMİ
Dünyadan Ekonomik ve Finansal Göstergeler ____ 192

ABONE FORMU ____ 197

REKLAM İNDEKSİ ____ 200

PAGEV 1989

Plastik

Araştırma - Geliştirme ve İnceleme Dergisi • Yıl 14 • Kasım - Aralık 2004 • Sayı 77 • ISSN: 1302-6925

Plast Avrasya istanbul 2004
14. ULUSLARARASI İSTANBUL PLASTİK ENDÜSTRİSİ FUARI

Hayrullah YELKENCİ: "PAGEV ve PAGDER, Sektörün Ufkunu Genişletecek"



Rekora Doymayan Bir Sektör: Türk Plastik Sanayii

Selçuk AKSOY: "Hedef; 2010'da Avrupa'da İlk Üçte Yer Almak !!!"

Plastik Enjeksiyon Prosesinde Parça Üretimi için Makina Seçimi

Bilinçsiz ve Yanlış Yorumlanan Plastik ve Çevre İlişkisi

Güneş Işığının Plastiklerin Performanslarına Etkileri

Akdeniz Kimya
www.akdenizkimya.com.tr
• Aksab
• Akstab
• Akropan
• Aksab L
• Aklub
• Akpro

Türkiye Plastik & Kauçuk Rehberi 2005 Sektörün Hizmetinde

Plastik Sanayicileri Araştırma, Geliştirme ve Eğitim Vakfı PAGEV'in Yayın Organıdır. Türkiye'nin Aylık Resmi Gazetesi Araştırma Geliştirme ve Eğitim Plastics