6th INTERNATIONAL FRACTURE CONFERANCE
10-12 SEPTEMBER 2003 SELCUK UNIVERSTY KONYA/TURKEY

ŞEKİL DEĞİŞTİRME VE DENEY PARAMETRELERİNİN POLİPROPİLEN RANDOM KOPOLİMERLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ

Şenol ŞAHİN [a] ve Paşa YAYLA[a]

[a] Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, KOCAELİ

ÖZET: Bu çalışmada, polipropilen random kopolimerin (PP-R) darbe dayanımına sıcaklığın etkisi geniş bir sıcaklık aralığında çalışılmıştır. Çok geniş çekme hızlarına bağlı olarak mekanik özelliklerde meydana gelen değişiklikler değerlendirilmiştir. Farklı oran ve renklerde ilave edilen renklendiricilerin mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. PP-R malzemenin mekanik özelliklerinin karakterizasyonu farklı işleme parametreleri ile çalışılmıştır. Bilhassa ilave edilen renklendiricilerin mekanik özelliklere etkisine dikkat çekilmiştir. Çekme, instrumente edilmiş Charpy darbe ve Shore D Sertlik deneyleri ağırlıkça %0.5 ile %10 arasında farklı renklendirici ilave edilmiş deney numunelerine uygulanmıştır. Mekanik özelliklerdeki değişiklikler renklendirici tipi ve ağırlıkça renklendirici miktarına bağlı olarak açıklanmıştır.

Anahtar kelimeler: Polipropilen random kopolimer, mekanik özellikler.

EFFECTS OF PROCESSING AND TESTING PARAMETERS ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF POLYPROPYLENE RANDOM COPOLYMER

ABSTRACT: In this study, the effect of temperature on the impact resistance of the polypropylene random copolymer (PP-R) is studied for a wide rage of temperatures. The variations in the mechanical properties with a wide range strain rates are evaluated. The effects of the addition of different masterbatches at different ratios on the mechanical properties are examined. The characterisation of mechanical properties of PP-R with different processing parameters was studied. Special attention is devoted to the investigation of the influence of masterbatch addition on the variation in the mechanical properties. Tensile testes, instrumented Charpy impact and Shore D hardness tests were conducted on the tests samples containing different colour masterbatches varying 0.5 to 10 wt %. The observed changes in the mechanical behaviour are explained by the type and level of masterbatch content.

Key words: Polypropylene random copolymer, mechanical properties

1. GİRİŞ

Polipropilen random kopolimer (PP-R) malzemeden üretilen borular, sıcak ve soğuk su uygulamalarındaki yüksek performansları sebebiyle endüstriyel ve evsel sıhhi ısıtma sistemlerinde en çok kullanılan genel plastik borularından biridir. Malzemeyi genel ve önemli yapan bazı avantajları kısa ve uzun süreli performansı, düşük yoğunluğu, esneklik kabiliyeti, ekonomikliği ve ekolojik olmasıdır. Tesisat sistemini oluşturan plastik borular minimum 50 yıllık bir işletme ömrü için tasarlanmaktadır. Malzemenin bu şekildeki uzun ömür kabiliyeti, moleküler yapısının iyi optimizasyonuna ve şekil değiştirme parametrelerine bağlıdır.

Bu çalışmada, PP-R'in darbe dayanımına sıcaklığın etkisi geniş bir sıcaklık aralığında çalışılmıştır. Çok geniş çekme hızlarına bağlı olarak mekanik özelliklerde meydana gelen değişiklikler değerlendirilmiştir. Farklı oranlarda ve renklerde ilave edilen renklendiricilerin mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. PP-R malzemenin mekanik özelliklerinin karakterizasyonu farklı şekillendirme parametreleri ile çalışılmıştır. Bilhassa ilave edilen renklendiricilerin mekanik özelliklere etkisine dikkat çekilmiştir. Çekme, instrumente edilmiş Charpy darbe ve Shore D sertlik deneyleri ağırlıkça %0.5 ile %10 arasında farklı renklendirici

ilave edilmiş deney numunelerine uygulanmıştır. Mekanik özelliklerdeki değişiklikler renklendirici tipi ve ağırlıkça renklendirici miktarına bağlı olarak açıklanmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Malzemeler

Çalışmada kullanılan temel polimer, naturel renkte ve granül halde Borealis firması tarafından RA130E ticari ismi ile üretilen PP-R'dir. Önemli bazı fiziksel ve mekanik özellikleri konusunda, enjeksiyonla kalıplama yöntemiyle üretilen standart deney numunelerinden elde edilmiş üretici verileri Tablo 1'de bir sunulmuştur.

Tablo 1. PP-R malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerine ait üretici verileri

	Test Metodu	Test Şartları	Birim Sistemi	RA130E	
				Naturel / 1498 / 6015	2492 / 8427
Çekme Akma Gerilmesi	ISO 527-2	50 mm/dak	MPa	25	25
Çekem Akma Uzaması	ISO 527-2	50 mm/dak	%	13.5	13.5
Çekme Elastisite Modülü	ISO 527	1 mm/dak	MPa	900	900
Charpy çentikli	ISO 179/1eA	+23°C	kJ/m^2	20	20
Charpy çentikli	ISO 179/1eA	-20°C	kJ/m^2	2	2
Sertlik	ISO 868	Shore D		60	-
Vicat Yumuşama Sıcaklığı	ISO 306	B (50 N)	°C	65	-

Polimerin renklendirilmesinde renklendirme metodunun ve renklendiricinin genel olarak polimerlerin fiziksel ve mekanik özelliklerine belirli bir etkisinin olduğu bilinmektedir (1, 2). Bu çalışmada renklendirmenin ve renklendirme metodunun PP-R'in mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Renklendirme metodundan başka renklendirmede kullanılan renklendirici tipinin de malzemenin tüm mekanik özelliklerine etkisinin olduğu varsayılmıştır. Genel olarak inorganik renklendiriciler organik renklendiricilere göre daha iyi mekanik özellikler vermektedir (3, 4).

Farklı tip ve renkteki renklendiricilerin PP-R'in mekanik özelliklerine etkisini tespit edebilmek için organik ve inorganik tipte ve beyaz (M1), yeşil (M2), mavi (M3) ve siyah (M4) renkte renklendiriciler (masterbeç) kullanılmıştır. Yerli üreticiler tarafından mamul olarak granül halde üretilen ve tüm PP-R tipleri için hazırlanmış renklendiricilerin temel bazı özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan renklendiricilere ait bazı veriler

	M1	M2	M3	M4
Mamul rengi	Beyaz	Yeşil	Mavi	Siyah
Pigment tipi	İnorganik	Organik/İnorganik	Organik/İnorganik	İnorganik
Toplam pigment (%)	60	50	30	40
MFI (g/10 dak) (230°C, 21.2 N)	6.0	17.9	34.1	<0.01

Ayrıca renklendirme metodunun PP-R'in mekanik özelliklerine etkisini tespit edebilmek içinde belirtilen üretici tarafından polimerizasyon işlemi sırasında renklendirilmiş ve ticari isimleri RA130E-1498 Beyaz (W), RA130E-6015 Yeşil (GN), RA130E-2492 Mavi (B) ve RA130E-8427 Gri (GN) olan granül haldeki PP-R'lerden deney numunesi hazırlanmıştır. Üreticiye göre bu farklı renklerdeki PP-R'in fiziksel ve mekanik özelliklerinde önemli

farklılıklar yoktur (Tablo1). Bunun yanında işletme şartlarının PP-R'in mekanik özelliklerine olan etkisinin tespitinde ise boru üretiminde, imalatçı tarafından tavsiye edilen ve Tablo 3'de

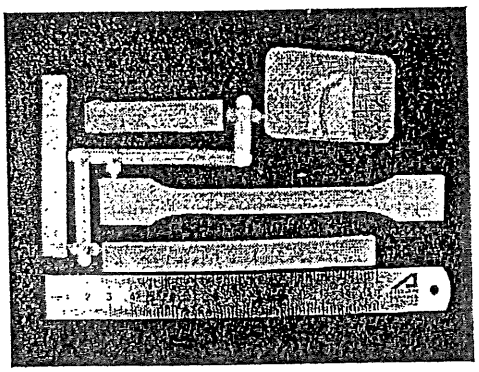
verilen enjeksiyon parametrelerinde, tek vidalı sürekli ekstrüzyonla (5), PN20 anma basıncında, 50 mm. çapında ve 12.5 mm. et kalınlığında üretilmiş olan RA130E-1498 boru (W1) ile üretim esnasında beyaz renklendirilmiş boru (W2) kullanılmış ve bu borulardan da deney numuneleri hazırlanmıştır.

Tablo 3. PP-R boru üretiminde üreticisi tarafından tavsiye edilen, ekstrüzyon çalışma sıcaklıkları

	Sıcaklık (C)
Silindir	180, 190, 200, 210
Kafa	210
Kalıp	210
Eriyik	210-220

2.2. Deney Numunesi Hazırlama

Bu çalışmada dört grup deney numunesi hazırlanmıştır. Birinci grup için natürel malzemeye enjeksiyon esnasında farklı tipte ve renkteki renklendiriciler ağırlıkça %0.5, %1, %2.5, %5 ve %10 miktarlarında ilave edilerek malzemenin renklendirilmesi sağlanmıştır. İkinci grup için polimerizasyon esnasında renklendirilmiş (kendinden renkli) beyaz, yeşil, mavi ve gri malzemeler kullanılarak enjeksiyonda Şekil 1'de görülen deney numunesi grubu elde edilmiştir.



Şekil 1. Enjeksiyonla üretilen deney numunesi grubu a) Charpy darbe, b) Sertlik, c) Çekme, d) Vicat yumuşama sıcaklığı ve e) Renk numunesi; numunelere ait kalınlıklar sırasıyla 4.0 mm., 3.3 mm., 4.0 mm., ve 4.0 mm'dir

Birinci ve ikinci grup deney numunelerinin hazırlanmasında teknik özellikleri Tablo 4'te verilen ERAT FE130/95 model enjeksiyon makinesi kullanılmıştır.

Tablo 4. ERAT FE130/95 model enjeksiyon makinesinin teknik özellikleri

Enjeksiyon Ünitesi	Birim Sistemi	Boyutları
Vida çapı	mm	45
Vida stroku	mm	140
Vida hızı	devir/dak	0-175
Eritme kapasitesi	kg/sa	17
Maksimum strok hacmi	cm^3	22
Spesifik enjeksiyon basıncı	kg/cm^2	772
Enjeksiyon meme dayanma kuvveti	ton	2.1
Mal itme kuvveti	kN	13
Isıtma gücü	kW	4.2
Isıtma bölgesi	bölge	3

Polimerizasyonda beyaz renklendirilmiş ekstrüzyon yöntemi ile elde edilmiş borudan (W1) üçüncü ve ekstrüzyon esnasında ağırlıkça %1 beyaz renklendirici ilave edilmiş borudan (W2) da dördüncü grup deney numuneleri özel hazırlanmış çekme, Charpy ve sertlik numuneleri kesme kalıpları kullanılarak elde edilmiştir. Deneylerde kullanılan deney numuneleri 30 gün boyunca ışık geçirmeyen oda sıcaklığında bekletilmiştir.

3. DENEY PARAMETRELERİNİN ETKİSİ

3.1. Charpy Darbe Enerjisine Sıcaklığın Etkisi

PP-R malzemelerin, değişen ortam sıcaklıklarındaki, darbelere karşı davranışlarını belirlemek üzere, Charpy numunelerine belirlenmiş –75°C, –50°C, –25°C, –10°C, 0°C, +10°C, +25°C, +50°C, +75°C ve +85°C ortam sıcaklıklarında ISO 179/1eU standardına uygun Charpy deneyleri uygulanmıştır. Deneyler çarpma hızı 2.93 m/s olan CEAST marka instrumente edilmiş Charpy darbe test cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Charpy deneyleri ile elde edilen kuvvet (F)-zaman (t)- ve kuvvet (F)-yol (x) diyagramlarından maksimum kuvvet F_{Maks} (N), maksimum enerjisi W (J) ve maksimum kuvvetteki enerji W_{Fmaks} (J) gibi malzeme büyüklükleri saptanmıştır. Her bir deneyden elde edilen enerji (W) değerleri denklem 1'de yerine konarak malzemelerin kJ/m^2 cinsinden Charpy Çentik darbe mukavemeti (C_v) hesaplanmıştır.

$$C_V = \frac{W}{h \cdot b \cdot \phi_c} \qquad (1)$$

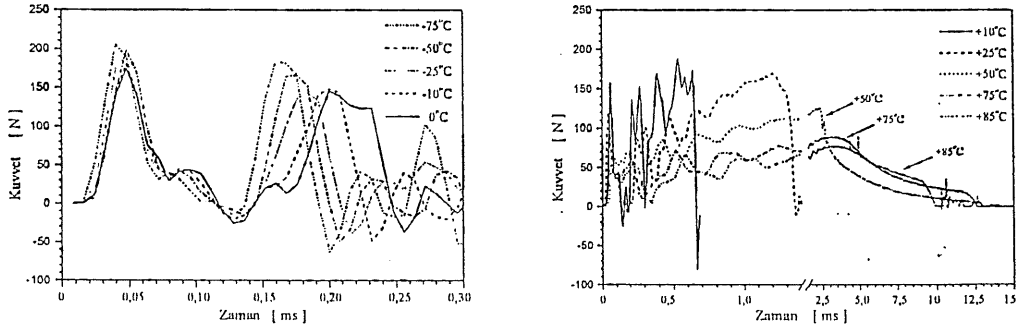
Burada; (C_v) Charpy çentik darbe mukavemeti (kJ/m^2), (W) Charpy darbe enerjisi (J), (h) numune kalınlığı (m), (b) numune genişliği (m) ve (ϕ_c) çentik numunesi geometrisine bağlı olarak Plati ve Williams (6) tarafından önerilen Charpy geometri düzeltme faktörüdür.

Deneylerden iki enerji türü elde edilmiştir. Birincisi maksimum kuvvete kadar olan enerji ki bu enerji Charpy çatlak başlatma enerjisi $(C_V)_{Fmax}$ olarak düşünülebilir ve ikincisi ise konvansiyonel olarak Charpy darbe enerjisi olarak bilinen ve darbe boyunca harcanan toplam enerjidir. Farklı sıcaklıklar için enstrumente edilmiş Charpy darbe deneylerinden elde edilmiş bazı kuvvet-zaman grafikleri şekil 2 de verilmiştir.

Darbe mukavemetinin –75°C ile 0°C arasındaki sıcaklıklarda yaklaşık olarak sabit kaldığını ve 0°C'den sonra sıcaklığın artmasıyla birlikte darbe mukavemetinin de hızlı bir şekilde arttığını gösteren Charpy darbe enerjisinin sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 3'te verilmiştir. 90°C'den sonra deney numunesi kırılmamıştır. Şekil malzeme yapısının sünek yapıdan gevrek yapıya geçişinin 0°C'de gerçekleştiğini ve yüksek sıcaklıklarda büyük olan darbe mukavemetinin 0°C sıcaklıklara düşerken küçüldüğünü göstermektedir. Bu sonuçlar pratikte iki nedenden dolayı önemlidir. Birincisi PP-R borular düşük sıcaklıklarda kullanılabilirliği nedeniyle pratik kullanım alanı bulmuştur, ikincisi ise boruların lojistiğinin ve döşenmesinin camsı geçiş sıcaklığında mümkün olmasıdır. Bu iki önemli nokta boruların kırılganlıklarının arttığı camsı geçiş sıcaklığına dikkat çekmektedir.

Kullanılan enstrumente edilmiş Charpy darbe test cihazı, malzemenin çatlak başlatma ve çatlak ilerletme direncini ayırt etmeye imkan tanımıştır. Bu değerlere ait sonuçlar Şekil 4'te verilmiştir. Şekilden, 0°C'deki camsı geçiş sıcaklığına kadar çatlak başlatmak için darbe

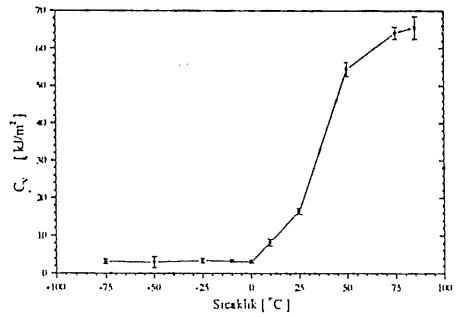
enerjisinin %90 'nı harcadığını ancak sıcaklığın artmasıyla oranın değişerek 50°C'den



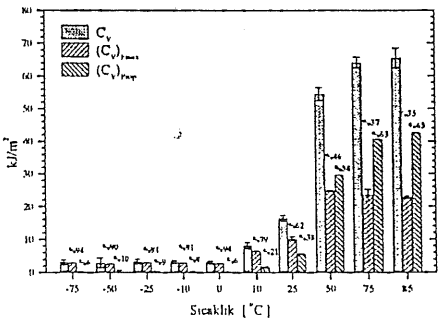
(a) (b)

Şekil 2. Naturel PP-R malzemenin sıcaklığa bağlı enstrumente edilmiş Charpy darbe testinden elde edilen kuvvet-zaman eğrileri

85°C'ye kadar olan sıcaklıklarda çatlak ilerletme enerjisinin çatlak başlatma enerjisinden daha büyük olduğunu göstermektedir. Yüksek sıcaklıklarda toplam darbe enerjisinin sadece %35 'i çatlak başlatmak için harcanmaktadır.



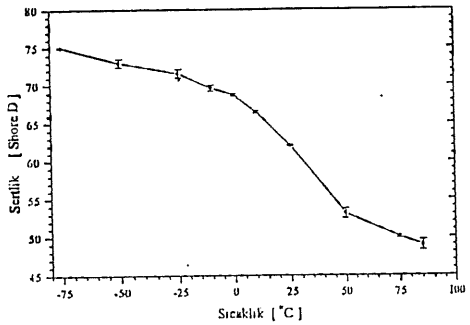
Şekil 3. Naturel PP-R malzemenin sıcaklığa bağlı toplam Charpy darbe enerjisinin (C_v) değişimi



Şekil 4. Naturel PP-R malzemenin sıcaklığa bağlı Charpy darbe çatlak başlatma ve çatlak ilerleteme enerjilerinin değişimi

3.2. Sertliğe Sıcaklığın Etkisi

PP-R deney numunelerinin sıcaklıkla Shore D sertlik değerlerinin değişimi Şekil 5'de verilmiştir. Beklendiği üzere malzeme, Charpy darbe testinde bulunan camsı geçiş sıcaklığından düşük sıcaklıklarda yüksek ve yüksek sıcaklıklarda ise düşük sertlik değerleri vermektedir. Dikkat çekici olan 0°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda Shore D sertlik değerindeki hızlı düşüştür.



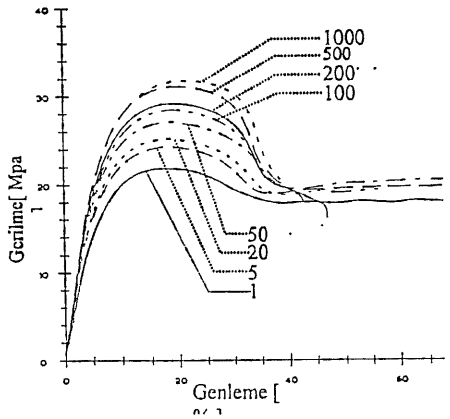
Şekil 5. Naturel PP-R malzemenin sıcaklığa bağlı Shore D sertliğinin değişimi

3.3. Çekme Hızının Etkisi

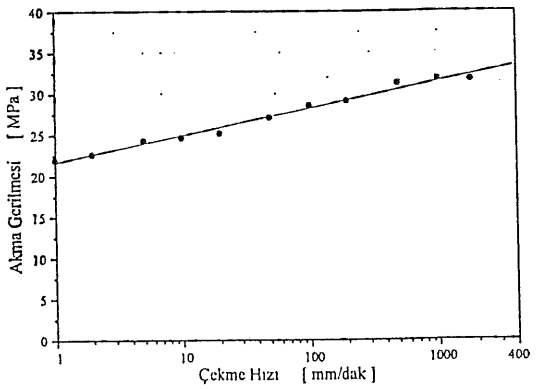
Çekme deneylerinde, bütün çekme numuneleri, TS 1398-2 (ISO 527-2) standardında verilen 156 mm.x10 mm.x4 mm. boyutlarındaki Tip 1A çekme numunesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çekme numunesi, çekme cihazındaki çekme çenelerine, enjeksiyon girişi sabit çene tarafında olacak şekilde yerleştirilmiştir.

Çekme deneyi sonuçlarının, kullanılan çekme makinesi ve programına bağlı olarak belirli ölçüde farklılıklar gösterebildiğine dair sonuçlar bilinmektedir (7). Çekme makinesi olarak Zwick Z10 kullanılmıştır. Çekme makinesi, mekanik tahrikli olup düşey hareketi, her iki yanında bulunan vidalı sütunlar sayesinde gerçekleştirmektedir. Bilgisayar hafızasında bulunan TestXpert isimli test programının 6.01 versiyonlu programı ile bilgisayar klavyesinden kumanda edilen test cihazında, ekstansometre (uzama ölçer) bağlantısı da sağlanmıştır ve test süresince kuvvette ve uzunlukta meydana gelen değişimleri saniyede 2 değer algılayarak hafızasına kaydetmektedir. Test programının çekme deneyi süresince farklı çekme hızı uygulanabilmesine imkan vermesinden yararlanılmıştır. Bu nedenle, genel olarak mekanik özelliklere etki eden parametrelerin tespitinde çekme hızı olarak 50 mm/dak kullanılmış olmasının yanında çekme hızının etkisinin tespiti için 1 mm/dak ile 1500 mm/dak arasında farklı çekme hızları kullanılmıştır. Deneyler 23 °C sıcaklığa sahip ortamda en az 3 deney numunesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

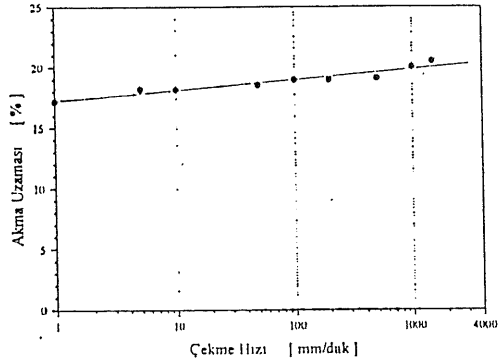
Farklı çekme hızlarına ait tipik Gerilme-Genleme eğrileri şekil 6'da verilmiştir. Deney numuneleri 25 mm/dak çekme hızına kadar yaklaşık %600'luk bir uzama gösterirken daha yüksek hızlarda numuneler daha çok hızla kırılmışlardır. Çekme hızının akma uzamasına, akma gerilmesine ve elastisite modülüne etkisi sırasıyla Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiştir. Şekiller çekme özelliklerinin çekme hızına ne kadar bağlı olduğunu göstermektedir.



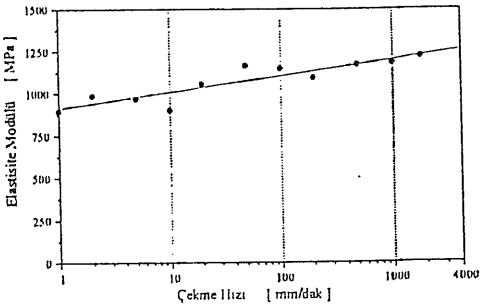
Şekil 6. Naturel PP-R malzemenin farklı çekme hızlarına ait tipik gerilme-yüzde uzama eğrileri



Şekil 7. Naturel PP-R malzemenin çekme hızına bağlı akma gerilmesinin değişimi



Şekil 8. Naturel PP-R malzemenin çekme hızına bağlı yüzde akma uzamasının değişimi



Şekil 9. Naturel PP-R malzemenin çekme hızına bağlı elastisite modülünün değişimi

3.4. Renklendirici Etkisi

Çoğu patik uygulamalarda hammadde kullanıcıları üretim esnekliklerini arttırmak amacıyla natural renkte temin ettikleri hammaddeye ekstüzyon veya enjeksiyon anında bir renklendirici ilave eder. Ancak pratikte ilave edilen her bir renklendiricinin malzemenin bazı özelliklerine kayda değer etkisinin olduğu bilinmektedir (8). Renklendiricilerin PP-R'in mekanik özelliklerine etkisinin tespiti için Tablo 2'de verilen özelliklerdeki renklendiriciler ağırlıkça %0.5, %1, %2.5, %5 ve %10 miktarlarında ilave edilerek kullanılmıştır. Farklı renk ve ağırlık oranlarında ilave edilen renklendiricilerin akma gerilmesine etkisi Şekil 10'da verilmiştir. Şekil, ağırlıkça %0.5 oranına kadar ilave edilen renklendiricinin akma gerilmesini düşürme ve artan renklendirici oranlarında ise yükselttiğini göstermektedir. Dikkat çekici olan ve ayrıca polimerizasyonda beyaz, yeşil ve mavi renkte üretilmiş malzemelerin akma gerilmeleri kısmen birbirinin aynı olması ve bu değerin %0.5 miktarında renklendirici ilave edilmiş malzemelerin değerlerine yakın olmasının belirtilmesinde yarar görülmektedir. Akma gerilmesinin renklendirici miktarına bağlı olarak farklılık göstermesi her bir renklendiricinin erime akış indeksi (MFI) ile ilgili olduğu düşünülmüştür (8).

Şekilden alınabilen diğer dikkat çekici ve belirtilmesinde büyük yarar olduğu düşünülen son nokta ise ekstrüzyon ve enjeksiyon yöntemi ile elde edilmiş deney numunelerinin akma gerilmelerindeki farklılıktır. Ekstrüzyon ile üretilmiş olan W1 ve W2 borulardan hazırlanmış

olan deney numunelerinin akma gerilmeleri, enjeksiyon ile hazirlanmış deney numunelerinin akma gerilmelerinden düşüktür. W1 ve W2 arasındaki farkın temelde renklendirme metodundan, W1 ve W2 ile enjeksiyonla üretilen deney numuneleri arasındaki farkın ise deney numunelerinin enjeksiyon ve ektrüzyonla üretim metodlarındaki kristalleşme geçmişlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

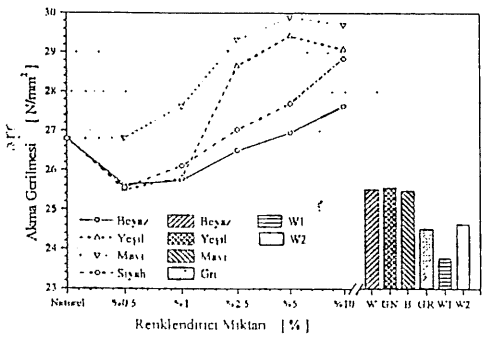
Farklı renk ve ağırlık oranlarında ilave edilen renklendiricilerin PP-R'in yüzde akma uzamasına ve Charpy darbe enerjisine etkileri sırasıyla Şekil 11 ve Şekil 12'de verilmiştir.

4.SONUÇLAR

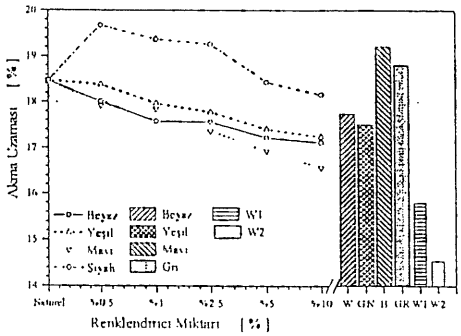
Bu çalışmada polipropilen random kopolimerin (PP-R) mekanik özelliklerine etki eden parametreler incelenmiştir. Sonuçlar aşağıdaki verildiği üzere özetlenebilir.

1- Malzemenin Charpy darbe çatlak başlatma ve ilerletme direnci deney sıcaklığından oldukça fazla etkilenmektedir. Malzemenin camsı geçiş sıcaklığı 0°C civarlarında olup,

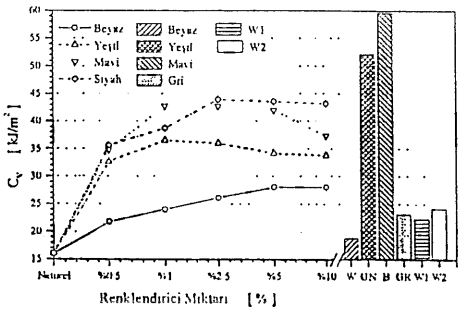
85°C'nın üzerinde kırılması zorlaşmaktadır.



Şekil 10. PP-R malzemenin renklendirici oranına bağlı akma gerilmesi değişimi



Şekil 11. PP-R malzemenin renklendirici oranına bağlı yüzde akma uzaması değişimi



Şekil 12. PP-R malzemenin renklendirici oranına bağlı Charpy darbe enerjisinin (C_v) değişimi

2- Malzemenin Shore D sertliği sıcaklığın artmasıyla azalmaktadır. Dikkate değer azalmalar Charpy darbe testinde bulunan 0°C civarındaki camsı geçiş sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda gerçekleşmektedir.

3- Malzemenin çekme özellikleri çekme hızından oldukça etkilenmektedir. Akma gerilmesi, yüzde akma uzaması ve elastisite modülü gibi özellikleri çekme hızının artmasıyla artmaktadır.

4- Malzemeye ilave edilen renklendiricilerin tipi, rengi ve miktarı malzemenin mekanik özelliklerini farklı şekillerde etkiler. Renklendirici miktarı arttıkça akma gerilmesi ve Charpy darbe enerjisi artarken malzemenin yüzde akma uzaması azalmaktadır.
5- Polimerin işletme şekli ve koşulları malzemenin mekanik özelliklerini etkiler.

5. KAYNAKLAR

1. Wong, A.C_Y., Ng, N.S.K: and Ng, V.I.F., Journal of Materials Processing Technology 6, 468, 1997.
2. Brychcy, K., Kunststoffe 85, 7, 1995.
3. Domininghaus, H., Die Kunststoffe und ihre Eigenschaften, VDI Verlag, Düsseldorf, 26, 1992.
4. Leissler, K. and Rösch, G., Kunststoffe 86, 7, 1996.
5. Janson, L., E., Plastics Pipes for Water Supply and Sewage Disparal, Borealis, Stockholm, 1995.
6. Plati, E., E. and Williams, J., G., Polymer ngineering and Science 15, 470, 1975.
7. Breuer, H., Dupp, G., Jantz, R., Wübken, G., Tiba, M., H., and Tüllmann, R., Kunststoffe 84, 7, 1994.
8. Leevers, P., S., Yayla, P. and Wheel, M., A., Plastic, Rubber and Composites: Processing and Applications, 17, 247, 1992.

Processing and Testing Parameters Affecting the Mechanical Properties of Polypropylene Random Copolymer
Şekil Değiştirme ve Deney Parametrelerinin Polipropilen Random Kopolimerlerin Mekanik Özelliklerine Etkileri
Şenol Şahin, Paşa Yayla, ...285

The Revised Technique of Composite Delamination Tests
Kompozit Malzemelerin Tabaka Ayrılma Test Tekniklerinde Bir Düzenleme
V.Tamuzs....295

Plastic Zones in a Solid Cylinder Containing a Circumferential Edge Crack
Çevresel Çentikli Dolu Silindirlerde Plastik Bölge
Mesut Uyaner, Necati Ataberk, Ahmet Avcı....305

Magnetoelastic Analysis of Infinite Plane Containing Hole Edge Crack Subjected to Magnetic Maxwell Stress
Manyetik Maxwell Gerilmelerine Maruz Delik İçeren, Sonsuz Bir Düzlemde Magnetoelastik Analiz
Xian Feng Wang, Norio Hasebe, Norio Omatsu 315

Investigation of Dowel Action in R.C. Beams According to Fracture Mechanics
Betonarme Kirişlerde Kaldıraç Etkisinin Kırılma Mekaniği Açısından İncelenmesi
Erhan Yalçın, Ragıp İnce, Abdussamed Arslan....325

FATIGUE / YORULMA....333

Prognostication of Fatigue Failure for Uniaxial Stress State
Tek Eksenli Yükleme Durumunda Yorulma Hasarının Tahmini
M. B. Akhundov, A.I. Seyfullayev....335

Fatigue Behavior of Aluminum Matrix SiC Particulate Reinforced Composites
SiC Parçacıklarıyla Güçlendirilmiş Alüminyum Matriksli Kompozitlerde Yorulma Davranışı
Kadir Süha Boylu, Cevdet Kaynak, Ali Kalkanlı....339

The Fatigue Behaviour of Bituminous Hot Mixtures
Sıcak Asfalt Karışımların Yorulma Davranışı
Osman Nuri Çelik....347

Energy Dissipation in Vibration Modes for C-360 Brass under Cyclic Loading
Devirsel Yük Altında C-360 Pirinç Malzemenin Titreşim Modlarında Meydana Gelen Enerji Kaybı
Mehmet Çolakoğlu....359

Fatigue Crack Growth In Glass/Polyester Composites With Surface Crack
Yüzey Çatlaklı Cam/Polyester Kompozit Malzemelerde Yorulma Çatlak İlerlemesi
Berrin Günaydın, Gürol Önal, Behçet Dağhan....365

A Study for Overload Ratio Effect
Aşırı Yükleme Etkisi Üzerine Bir Çalışma
M. Halidun Keleştemur, Tarun K.Chaki....373

Fatigue Strength of Sintered Steel Distaloy AE
Sinterlenmiş Çelik DISTALOY'un Yorulma Dayanımı
S. N. Namazov....377

Prediction of Surface Crack Growth in 5086 Aluminum Alloy with Surface Crack
Yüzey Çatlaklı 5086 Al-Mg Alaşımında Eksenel Yorulma Çatlak İlerleme Değerlerinin Tahmini
Gürol Önal, Ahmet Avcı, Ahmet Akdemir....385

Life Prediction of Differential Gear According to the Cumulative Damage Theories
Diferansiyel Dişlisinin Birikimli Hasar Teorilerine Göre Ömür Değerlendirmesi
Gökhan Erkin Saatçi, Necati Tahralı....395

Fatigue Failure Behaviour of Glass/ Epoksi ±45° Filament Wound Pipes under Internal Preassure
±45° Filaman Sarım Cam / Epoksi Boruların İç basınç Altında Yorulma Hasar Davranışı
Necmettin Tarakçıoğlu, Lokman Gemi, Muciz Özcan....405

Fatigue Failure Behaviour of Glass/ Epoksi ±55° Filament Wound Pipes under Internal Preassure
±55° Filaman Sarım Cam / Epoksi Boruların İç basınç Altında Yorulma Hasar Davranışı
Necmettin Tarakçıoğlu, Lokman Gemi, Ahmet Yapıcı....415

Fatigue Crack Growth Behaviour in Ferritic Spheroidal Graphite Cast Iron
Ferritik Küresel Grafitli Dökme Demirde Yorulma Çatlak Büyüme Davranışı
Mehmet Tekeli, Ahmet Akdemir....423

DÜZENLEME KURULU / ORGANIZING COMMITTEE

Prof. Dr. Mustafa DORUK
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Eyüp Sabri KAYALI
İstanbul Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Ahmet TOPUZ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Öktem VARDAR
Boğaziçi Üniversitesi
Prof. Dr. Ahmet AVCI
Selçuk Üniversitesi
Prof. Dr. Filiz SARIOĞLU
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. H. KELEŞTEMUR
Fırat Üniversitesi

YÜRÜTME KURULU / EXECUTIVE COMMITTEE

Doç. Dr. Ahmet AKDEMİR
Selçuk Üniversitesi
Doç. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU
Selçuk Üniversitesi
Arş. Gör. Dr.Gürol ÖNAL
Selçuk Üniversitesi
Arş. Gör. Ahmet YAPICI
Selçuk Üniversitesi
Arş. Gör. Ö. Sinan ŞAHİN
Selçuk Üniversitesi

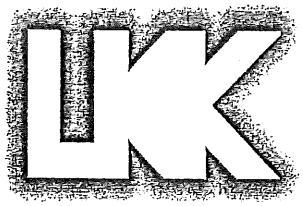
6. ULUSLARARASI KIRILMA KONFERANSI
6th INTERNATIONAL FRACTURE CONFERENCE

BİLİM KURULU / SCIENTIFIC COMMITTEE

Prof. Dr. Surkhay AKBAROV
YTÜ Az. Bilimler Akademisi
Prof.Dr.Orhan AKSOĞAN
Çukurova Üniversitesi
Prof.Dr.Tevfik AKSOY
Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Sabri ALTINTAŞ
Boğaziçi Üniversitesi
Prof.Dr.Ahmet AVCI
Selçuk Üniversitesi
Prof. Dr. Mustafa DORUK
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Prof.Dr.Fazıl ERDOĞAN
University of Lehigh
Prof. Dr. Barlas ERYÜREK
İstanbul Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Ruşen GEÇİT
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Prof.Dr.A.N.GUZ
Ukran. Academy of Scien.
Prof.Dr.David HUI
Univ. of Neworleons, USA
Prof.Dr.A.A.KAMINSKY
Ukran. Academy of Scien
Prof. Dr. Şadi KARAGÖZ
Kocaeli Üniversitesi
Prof.Dr.B.M.NAZARENKO
Ukranian Academy of Sciences
Prof.Dr.Herman F.NEED
Universty of Lehigh
Prof. Dr. Eyüp Sabri KAYALI
İstanbul Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Galip SAİD
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Prof. Dr. V. P TAMUZS
Institute of Poly. Mech.,
Prof. Necati TAHRALI
Yıldız Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Ahmet TOPUZ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Naki TÜTÜNCÜ
Çukurova Üniversitesi
Prof. Dr. Hikmet ÜÇIŞIK
Boğaziçi Üniversitesi
Prof. Dr. Ahmet ÜNAL
Yıldız Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Öktem VARDAR
Boğaziçi Üniversitesi
Prof. Dr. Vebil YILDIRIM
Çukurova Üniversitesi

6. ULUSLARARASI KIRILMA KONFERANSI BİLDİRİLER KİTABI

PROCEEDINGS of 6th INTERNATIONAL FRACTURE CONFERENCE



EDİTORLER / EDITORS

Mustafa DORUK - Ahmet AVCI

Ahmet AKDEMİR - Gürol ÖNAL



SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
SELCUK UNIVERSITY
Konya-TURKEY



DESTEKLEYEN KURULUŞLAR

