

POLİMER MALZEMELERİN MEKANİK ANALİZ YÖNTEMLERİ

Mustafa Kemal ARICIOĞLU*, Bilal MERT**, Yavuz SOYDAN***

*Hilkar Elektroteknik Ltd.Şti. Adapazarı-Sakarya

**MKS Mermer Kesme Makineleri Adliye-Sakarya

***Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Esentepe-Sakarya

ÖZET

Son otuz yıl içerisinde, polimer malzemelerin önemi artmıştır ve artmaya devam etmektedir. Özellikle metallere yerine ikame edilen polimerler metallere farklı özelliklere sahip olduğundan bu malzemelerin özelliklerinin belirlenmesi ve bu özelliklerin belirlenmesinde kullanılan test teknikleri önemli bir konuya haline gelmiştir. Bu çalışmada polimer malzemelerin mekanik özellikleri ve kullanılan test teknikleri incelenmiştir.

1.GİRİŞ

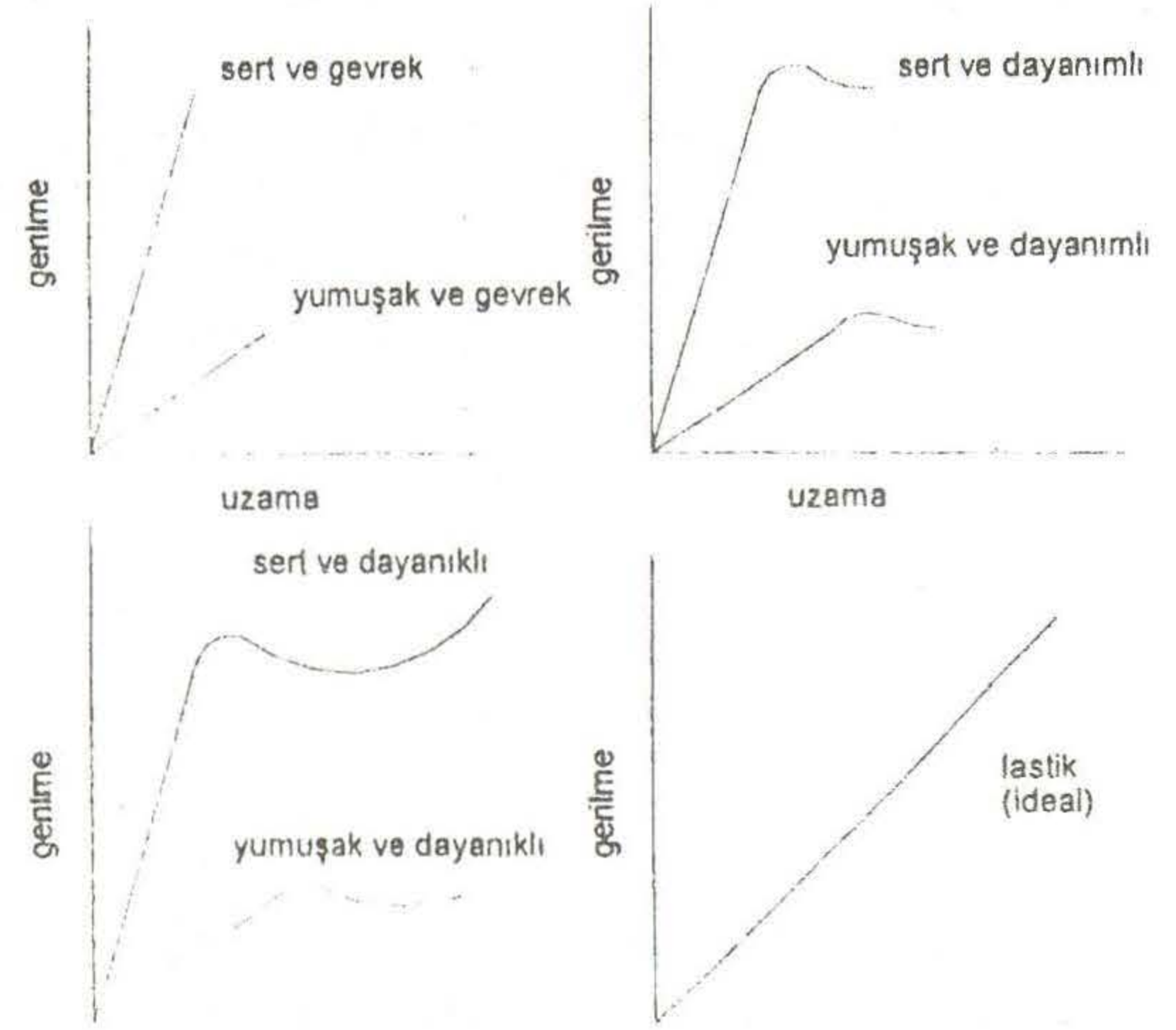
Polimerler seramik ve metallerle oranla çevreden gelen etkilere karşı daha duyarlıdır. Polimerlerin mekanik testleri de çok güçtür. Polimer malzeme türlerinin çokluğu, karşılaştırma için kullanılacak test tekniklerinin tanımlanmalarını oldukça güçleştirmektedir. Belirli bir polimer için elde edilen sonuçlar, üretim metodu ve test parçasının hazırlanma metodu ile büyük ölçüde değişir. Polimer malzemelerin mekanik özellikleri sıcaklığa karşı oldukça duyarlı olduğundan mekanik teste tabi tutulan polimerdeki zamana bağlı değişiklikler olayı daha karmaşık bir hale sokmaktadır[1].

II. ÇEKME DAYANIMI

Polimer gereçlerin çekme dayanımları arasında büyük farklar vardır. Bir çok polimer malzemenin çekme gerilmesi 350 kg/cm^2 ile 710 kg/cm^2 arasında değişir. Çekme dayanımı ile ilgili bulunan ve dikkate alınması gereken diğer bir özellik de çekmeye çalışılan cismin kopmadan önce boyunda meydana gelen uzamadır. Polietilen gibi bazı polimerler, çekildiklerinde boyları kopmadan önce ilk boylarının beş katına kadar uzar. Doğal lastik kopmadan önce ilk boyunun %300 ile %400'ü kadar uzar[2-3].

Yük-uzama testinden elde edilen grafik bir polimer hakkında çok yararlı bilgiler verir. Bu bakımdan çekme deneyleriyle belirlenen karakteristikler polimer malzemeleri kendi aralarında karşılaştırmak ve kalite kontrolü açısından çok değerlidir. Konstrüksiyon için ise

zaman ve sıcaklık faktörlerini içine alan diğer bilgiler ile desteklenmelidir. Bu testlerin sonuçları genellikle gerilme-uzama diyagramlarında belirlenir. Şekil 1'de çeşitli polimerler için geliştirilmiş gerilme-uzama eğrileri verilmiştir[1].



Şekil 1. Çeşitli polimerler için geliştirilmiş gerilme-uzama eğrileri

II.1. Çekme Dayanımı Testi (ASTM D 638)

Çekme uzaması ve çekme modülü ölçümleri, malzemelerin özelliklerinin bilinmesi açısından en önemli belirleyici faktördür. Büyük bir yaklaşıklıkla çekme testi, bir malzemenin değişken yükler altındaki davranışlarının ve kopmadaki uzamanın belirlenmesinde yardımcı olan bir ölçme yöntemidir. Bir malzemenin çekme modülü ve bağlı sağlamlığı gerilme-zorlanma diyagramlarından hesaplanabilir. Çeşitli tiplerdeki polimer malzemeler büyük bir sıklıkla çekme dayanımlarına, uzamalarına ve çekme modüllerine göre kıyaslanırlar. Çekme testlerinden elde edilen verileri, tasarımda polimerlerin kullanım sınırlarının belirlenmesi ve bir çok polimer içinden doğru polimerin seçiminin yapılabilmesi için gereklidir[4-5-6-7-8-9-10].

II.1.1. Test prosedürü

Test, numunenin her iki ucunun test cihazının çeneleri arasında sıkıştırılıp çenelerin diğerinin sabit olarak hareket

etmesiyle gerçekleştirilir. ASTM D 638 standartlarına göre dört değişik test hızı vardır. Bunlar; 0.2, 0.5, 2.0 ve 20.0 in/dak.'dır. Testlerde en çok kullanılan hız ise 0.2 in/dak'dır. Numune cihazın çeneleri arasına dikey olarak yerleştirilir. Test numunesinin kaymasını engellemek için tutucular gergin ve sıkı olmalıdır. Hız ayarlanarak makine çalıştırılır. Numunenin boyundaki uzama ve numunenin gösterdiği dirence karşılık gelen yük değeri makine tarafından kaydedilir. Parça kopana kadar işleme devam edilir. Kopma anındaki gözlenen uzama, numunenin kopmada uzama değeridir. Kopma anında uygulanan yük değeri de makine tarafından kaydedilir. Akımadaki ve kopmadaki çekme değerleri hesaplanır[4-5-6-7-8-9-10].

II.1.2. Test sonuçlarının irdelenmesi

Çekme testleri verileri malzemenin tasarımında kullanımında tasarımcı için en yararlı verilerin başında gelir. bu nedenle yapılan testlerin önemi bir kat daha artmaktadır. Malzemenin moleküler dizilişi çekme dayanımını etkiler. Örneğin yük malzemenin moleküler dizilişine paralel yönde uygulanırsa, akma dayanımı değeri, yükün dizilişe dik uygulandığı zamankinden daha yüksek olacaktır. Test numunesinin hazırlanması da başlı başına test sonuçlarına etki eden bir faktördür. Örneğin enjeksiyon kalıplama ile üretilen numunelerin akma dayanımları, sıkıştırma kalıplama metoduyla üretilen numunelerin akma dayanımlarından daha yüksek çıkmaktadır. Kalıpla imal edilen numunelerde test sonuçlarını etkileyen diğer bir faktörde; iticinin boyutu ve yeridir. Talaşlı işlenerek elde edilen numunelerde ise oluşan yüzey düzensizliğünden (çentik etkisi vs.) dolayı akma dayanımı ve uzama değerleri daha da düşük çıkmaktadır. Ayrıca çoğu polimerik malzemelerde, sıcaklıktaki küçük değişimler test sonuçlarında büyük farklılıklar getirir[4-5-6-7-8-9-10].

III. BASMA DAYANIMI

Basma zorlanması ve mukavemeti daha ziyade yüklemelerin uzun süre etki etmesi hallerinde göz önüne alınan faktörlerdendir. İstif edilmiş dolu polimer kasalarının yüklenmesi, kaymalı yatak taşıma yüzey bölgeleri vs. sürekli basma gerilmelerine maruz tipik örneklerdir. Basma mukavemeti polimerlerde de metallere benzer şekilde ölçülür. Polimerlerin baskı testleri altındaki gerilme-uzama eğrileri genellikle çekme eğrileri karakterindedir. Sert, yumuşak ve gevrek gibi terimlerin anlamları da basma da aynıdır. Basma testlerinden elde edilen parametrelerin sıcaklık ve yükleme hızı ile değişimleri çekme testlerinde eşdeğer parametrelerin değişimlerini izler[1-2-3-11].

III.1. Basma Dayanımı Deneyi (ASTM D 695)

Pratik uygulamalarda baskı kuvvetleri numuneye ani olarak etki etmezler. Basma dayanımı testlerinde elde edilen veriler kalite kontrol uygulamalarında numunenin

kabul veya reddi için ve özel amaçlı bazı uygulamalar için kullanılırlar. Basma özellikleri elastisite modülünü, akma dayanımını, basma dayanımını içerir. Bununla birlikte basma dayanımı ve elastisite modülü tasarımda rehber olarak kullanılan en önemli iki veridir[4-5-6-7-8-9-10].

III.1.1. Test prosedürü

Numune basma takımları arasına yerleştirilir. Burada numunenin tabanının takımların yüzeyine paralel olmasına dikkat edilmelidir. Numune üzerine kuvvet belli bir hızda uygulanır ve çatlak oluşumunun başladığı maksimum kuvvet kaydedilir. Gerilme-zorlanma değerleri otomatik olarak kaydedilir. Basma dayanımı test boyunca uygulanan maksimum basma kuvveti kullanılarak numunenin orijinal minimum kesit alanına bölünmesiyle bulunur. Elastisite modülü tıpkı çekme ve eğilmede olduğu gibi hesaplanır[4-5-6-7-8-9-10].

III.1.2. Test sonuçlarının irdelenmesi

Çeşitli testlerden elde edilen değerlerin karşılaştırmaları her zaman geçerli olmaz. Çünkü bunların bazıları tam bozulmada, bazıları ise kabul edilemeyecek kadar büyük bir distorsiyonda alınmış olabilirler. Bir çok polimerler baskı altında tam bozulmadıklarından distorsiyonda bir limit kabulünden kaçınılamaz. Gerçekten bazı hallerde numune ince bir disk haline geldiği halde malzemede bozulma, patlama veya çatlama gibi olaylar görülmeyebilir. Çekme ve basma testleri altındaki karakteristikleri farklı olan birkaç polimer vardır. Örneğin; polistiren çekmede gevrek, basmada ise lastiksidir[1].

IV. EĞİLME DAYANIMI

Polimerlerin gerilme-zorlanma davranışları kadar, eğilme özellikleri de önem taşır. Pratikte mamuller arı çekme veya basmaya maruz kalmazlar. Eğilme de en çok görülen gerilme çeşitlerindedir. Bazı polimerik malzemeler eğilme kuvvetleri altında büyük şekil değişimlerine uğradıkları halde kopmazlar. Bu da pratik olarak akma gerilmesinin hesaplanmasında zorluklar meydana getirir. Bu sorun % 5 esneme kaydedildiğinde ölçülen kuvveti alarak ortadan kaldırılır. % 5 esneme; numunenin dış yüzeyindeki gerilme değeri % 5 arttığı zamanki değer olarak tanımlanır[4-5-6-7-8-9-10].

IV.1. Eğilme Dayanımı Testi (ASTM D 790)

Eğilme dayanımı testinin çekme testine oranla bazı avantajları vardır. Eğilme dayanımı testi için kullanılan numunenin hazırlanması daha kolaydır. Numunenin testi düzeneğine yerleştirilmesi de daha basittir. Ayrıca çekme testinde tutucuların numune ile temas ettiği noktalarda gerilmeler oluşmaktadır. Eğilme testinin diğer bir avantajı da küçük zorlanmaların gerçek deformasyonların daha

geniş alanlarda doğrulukla saptanabilmesidir[4-5-6-7-8-9-10].

Eğilme özelliklerinin hesaplanmasında iki temel test tekniği kullanılır. Bunların ilki, üç nokta yükleme yöntemidir. Burada numune iki noktadan mesnetlenir ve ortasından yük uygulanır. Numune dikdörtgen kesitlidir. Bu metod daha çok kalite kontrol uygulamalarında ve özel amaçlar için eğilme özelliklerinin hesaplanmasında kullanılır. İkinci metod ise dört nokta yükleme yöntemidir. İki mesnet arası üç eşit parçaya ayrılır ve buralardan yükleme yapılır[5-9-10].

IV.1.1. Test prosedürü

Uygulanan yöntemeye göre yük bir ve ya iki noktadan numuneye tatbik edilir. Oluşan sehmin hesaplanmasında, bir kuvvetin uygulandığı noktanın altına bir straingage koyarak ya da kuvvet uygulayan aparatın düşey yöndeki yerleşimine bakarak hesaplanır. Eğilme gerilmesi şu formüllerin yardımıyla hesap edilir[9].

$$S = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (1)$$

Burada S eğilme gerilmesi, P uygulanan yük, L mesnetler arası mesafe, b numunenin genişliği ve d de numunenin kalınlığıdır. Eğilme gerilmesi, asal eksenden en uzak noktadaki kopmada oluşan maksimum gerilmeye eşittir. Bu değer yukarıdaki formülasyonla hesaplanır. Ancak burada P ile gösterilen uygulanan yük yerine kopma anında ölçülen yük yazılır. Asal eksenden en uzak noktada oluşan maksimum zorlanma şu formülle hesaplanır[9].

$$r = 6Dd / L^2 \quad (2)$$

Burada r maksimum zorlanma, D oluşan sehmin, L mesnetler arası mesafe ve d numunenin kalınlığıdır.

IV.1.2. Test sonuçlarının irdelenmesi

Çekme testinde olduğu gibi eğilme dayanımı testinde de elde edilen verilerin önemi tasarımcılar için büyüktür. Eğilme dayanımına etki eden faktörlerin başında numunelerin moleküler dizilişi gelir. Örneğin numunenin moleküler dizilişine dik yönde bir kuvvet uygulandığında elde edilecek değerler, dizilişe paralel yönde uygulandığı zaman elde edilecek değerlerden daha yüksek olacaktır. Çekmede olduğu gibi enjeksiyon kalıplama ile üretilen mamuller sıkıştırma kalıplama metodu ile üretilen numunelerden daha yüksek değerler verecektir. Eğilme dayanımı ve elastisite modülü sıcaklıkla ters orantılı olarak değişir. Yüksek test sıcaklıklarında eğilme dayanımı ve elastisite modülü değerleri düşüş gösterir.

Eğilme dayanımı test hızına, numune kalınlığına ve de mesnetler arası mesafeye göre değişim gösterir. Mesnetler arası mesafe ve test hızı sabit kalınca; eğilme dayanımı artan kalınlıkla artar[5-8-9-10].

V. DARBE DİRENCİ

Darbe direnci, cisme darbe veya şok şeklinde etki eden kuvvetlere karşı cisimde beliren değerdir. Bu özellikle polimerin dayanıklılığı ölçülür. Darbe direnci, bir polimerin ani yükler altında kalıcı deformasyona girmeme özelliğine bağlıdır. Yükleme hızı darbeye eşdeğer olmak kaydıyla, gerilme-uzama eğrisi altında kalan alan darbe direncinin bir ölçüsüdür. Ölçülen darbe direnci test parçasının kırılması için yapılan işin bir ölçüsüdür. Polimerik malzemelerin darbe testleri değişik bir çok metotla ölçülebilir[2-3-4-5-6-7-8-9-10-12].

V.1. Sarkaç Tipi Darbe Testleri

Sarkaç tipi darbe testlerinde genel amaç, sarkaçta biriktirilen kinetik enerjiyi standart numuneye ani olarak vererek numunenin darbe dayanımını ölçmektir. Burada parçanın kırılabilmesi için biriktirilen kinetik enerjinin parçanın kırılması için gerekli enerjiye eşit veya daha büyük olması gerekir. Sarkaç tipi darbe testlerinde numuneler çentikli veya çentiksiz olabilir. Izod ve Charpy darbe testleri birbirlerine çok benzerler. Kullanılan numunelerin boyutları ve alete yerleştirilmeleri birbirlerinden farklıdır. Izod darbe testinde numune dikey, Charpy darbe testinde ise numune yatay olarak yerleştirilir. Burada numunenin absorbe ettiği enerji E_s şöyle hesaplanır[4-5-6-7-8-9-10-12]

$$E_s = E_1 - E_R - E_F - E_W \quad (3)$$

Burada E_1 başlangıçta sarkacın en üst konumunda bulunduğu andaki bilinen enerjisi, E_R sarkacın çarpmadan sonra yükseldiği maksimum konumdaki enerji, E_F sürtünme ile kaybolan enerji, E_W kırılan parçada kaybolan enerjidir. E_W çok küçük olduğundan ihmal edilebilir. E_F ise daha önceden bir takım testlerle bulunup belirlenir. E_1 ve E_R ise test aletinin üzerinden direkt olarak okunabilir. Sarkaç tipi darbe testlerini; Izod, Charpy, çentik ve çekmeli darbe testleri olmak üzere dört ana başlık altında inceleyebiliriz[9].

Izod darbe testi (ASTM D 256); genellikle Amerika Birleşik Devletlerinde ve İngiltere'de kullanılır (British Standards (BS) 2782, Method 306 A). Izod darbe testi için hazırlanan çentikli numune dik olarak alete yerleştirilir. Sarkacın ucundaki vurucunun radüsü 3.2 mm dir. ASTM standartlarına göre sarkaç, 0.61 m; BS standartlarına göre ise 0.31 m yükseklikten bırakılır. Sarkacın ucundaki vurucu çentiğin üzerindeki bir noktaya yatay olarak vurur. Darbe direnci hakkında doyurucu bir sonuca varabilmek için en az on numune ile işlemi tekrarlamak gerekir. Bu test aynı polimer türünün çeşitli tiplerinin

birbirleriyle kıyaslanması için faydalıdır. Farklı polimer türlerinin birbirleriyle kıyaslanmasında ise çeşitli yanılırlara neden olabilmektedir. Zira bazı polimerler açılan çentik ve çentik etrafında oluşan gerilmeler nedeniyle, olumsuz yönde etkilenebilmektedirler. Örneğin naylon ve asetal türü polimerler çentik açma işleminden olumsuz bir şekilde etkilendiklerinden, aslında darbeye dayanımları yüksek birer malzeme olmalarına rağmen düşük Izod darbe dayanımı sonuçları vermektedirler[4-5-6-7-8-9-10-12].

Charpy darbe testi (ASTM D 256 Method B); genellikle Avrupa kıtasında kullanılır. Özellikle Alman standartlarında (DIN 53453) kullanımı çok yaygındır. Charpy darbe testinde numune sarkacın vurma konumunda tam ortaya vuracak şekilde ayarlanır. Sarkacın vurucu kısmı numuneye ortasından, çentiğin olduğu yerden vurarak kırar. Kırma işleminden sonra sarkacın çıktığı yüksekliğe göre darbe dayanımı ölçülür. Charpy darbe dayanımı testi, Amerika Birleşik Devletlerinde ASTM D 256 Method B, İngiltere'de BS 2782 Methods 306 D ve E olarak bilinirler[4-6-7-8-9-12].

Çentik darbe testi;Uniroyal Chemical Co. tarafından geliştirilen bir yöntemdir. Bu yöntemle malzeme içerisindeki mikro çatlakların ve ortam koşullarının darbe direnci üzerindeki etkisi göz önünde bulundurulur. Çentik darbe testi bir çok yönden Izod darbe testine benzer. Çentik darbe testinde de sarkaçlı bir çekiç kullanılır. Genellikle 1x0.5 in. ebadında, 0.65 in. kalınlığında numunenin üzerine düşürülür. Numune enjeksiyon veya sıkıştırma kalıplama metoduyla ya da levhadan kesilerek üretilir. Numunenin sahip olduğu tokluk numunenin absorbe ettiği enerji olarak tanımlanır ve sarkacın darbeden sonra çıktığı yükseklikle ölçülür[4-6-7-8-9-12].

Çekmeli darbe testi (ASTM D 1822); esnek (Izod ve Charpy) darbe testlerinde oluşan farklılıkların giderilmesi için geliştirilmiştir. Çentik hassasiyeti, salınım faktörü ve numune kalınlığı gibi teste etki eden faktörler çekmeli darbe testinde ortadan kaldırılmıştır. Izod ve Charpy darbe testlerinde numune belli bir kalınlıktan düşük olamaz. Ama çekmeli darbe testinde çok ince parçaların bile darbe değerleri hesaplanabilir. Anizotropi ve diziliş etkileri gibi polimerik malzemelerin diğer pek çok karakteristikleri, çekmeli darbe testi kullanılarak hesaplanabilir[4-6-7-8-9-12].

V.2.Yüksek Hızlı Gerilme Testi

Yüksek hızlı gerilme testi sarkaç tipi gerilme testlerinin kullanımında bazı zorluklar görüldüğü için geliştirilmiştir. Daha önceki bu testler konvensiyonel çekme aletleriyle yapıyordu. Yüksek hızlı gerilme testleri 20 in./dak gibi yüksek hızlarda ağırlık düşürmeli darbe testlerinden daha iyi sonuçlar vermektedir. Bilindiği gibi gerilme-zorlanma diyagramında eğrinin altında kalan alan, malzemenin kırılması için gerekli

enerjiye eşittir. Bu alan direkt olarak malzemenin darbe direnci ile orantılıdır. Bu alan ne kadar büyükse testin hızı o denli yüksek olmalıdır. Çekme dayanımı ve uzama arasındaki ilişki ile malzemenin darbe dayanımı yüksek hızlı gerilme testi ile değerlendirilir. Çekme dayanımı artan test hızıyla artış gösterirken uzama ise azalış gösterir. Bununla beraber yüksek hızlı gerilme testi, en uygun polimerin seçiminde bize yol gösterir. Ultra yüksek hızlı gerilme testleri, yumuşak polimerlerin darbe davranışlarının incelenmesi için geliştirilmiştir. Burada test hızları 10 000 m/dak'ya çıkabilmektedir[4-6-7-8-9-12].

V.3. Ağırlık Düşürmeli Darbe Testi

Ağırlık düşürmeli metotlar genellikle levha şeklindeki polimerlerin darbe dayanımlarının ölçümleri için kullanılır. Bu test şeklinde ağırlık olarak kullanılan kütle veya numunenin üzerine bırakılma yüksekliği yavaş yavaş artırılır. Burada levhadan müteşekkil numune, düşürülen ağırlık tam ortasına gelecek şekilde yerleştirilir. Ağırlık daha önceden belirlenmiş bir yüksekliğe kadar çıkarılır ve aşağıya doğru serbest bırakılır. Ağırlık kılavuzların yardımıyla yörüngeden çıkmadan hedefini yani numuneyi bulur. Burada vurucu kısmın ağırlığın alt tarafına monte edilmiştir. Geçen yıllar çerçevesinde yapılan çalışmalar neticesinde geliştirilmiş en hızlı ağırlık düşürmeli darbe testi makinesinin hızının yalnızca 8 m/s civarlarında olduğu bunun da ticari olarak tatmin edici olmadığı görülmüştür[4-6-7-8-9-12].

V.4. Aletli Darbe Testi

Geleneksel darbe testlerindeki en büyük dezavantaj bir tek değer elde etmeleridir. O değer de ya darbe direncidir veya değildir. Geleneksel darbe testleri dinamik tokluk, çatlak oluşumu ve numunenin darbe esnasındaki davranışı hakkında bize bir fikir vermez. Bütün bu geleneksel darbe testleri darbe esnasında oluşan enerji alış verişini polimer deformasyonun başladığı zamandan çatlak oluşumuna kadar geçen evreleri gösteremez. Aletli darbe testlerinde sarkaç tipi ve ağırlık düşürmeli darbe testlerinde kullanılan vuruculara strainingage yerleştirilir. Vurma işleminden önce numuneye fiber optik aletler yerleştirilir ve osiloskopa irtibatlandırılır. Strainingagelerin çıkışları da bu osiloskopa bağlandıktan sonra tüm kırma işlemi süresince numuneye uygulanan yük değerini gösterebilir. Yük zaman grafiklerinin çıktısı alınabilir. Numunede oluşan yer değiştirme; yük-zaman eğrisinin iki kere integre edilmesiyle hesaplanarak yük-yer değiştirme eğrisi çizilebilir. Gelişen teknoloji ile birlikte bazı üretici firmalar mikro işlemciler kullanarak direkt yük-yer değiştirme grafiği veren aletler yapmayı başarmışlardır. Darbe oranı, akmadaki ve kopmadaki yer değiştirme ve kuvvet ve çatlak oluşumu enerjileri gibi bir çok kullanışlı veri artık direkt olarak aletlerden alınabilmektedir[4-6-7-8-9-12].

V.5. Yüksek Hızlı Darbe Testleri

Polimer sektöründeki gelişmeler ve kullanım alanının artması yüksek hızlı darbe testlerinin kullanımı için bir yol açmıştır. Polimerik malzemeleri ilgilendiren yük-uzama eğrisi ve toplan enerji absorpsiyonu gibi bir çok önemli bilgiler hız aralığı 30-570 000 in/dak olan yüksek hızlı darbe testleriyle elde edilebilirler. Yüksek hızlı darbe testlerinin kullanımı gün geçtikçe artmıştır. Polimer malzemelerin yüksek darbe dayanımlarının ölçümü, örneğin otomotiv sektöründe geleneksel testler kullanılmıyordu. Standartlarda darbe simulasyon hızının minimum 28 mph (30.000 in/dak) olduğu göz önüne alınırsa yüksek hızlı darbe testlerinin önemini bu alanda ne kadar büyük olduğu görülür[4-6-7-8-9-12].

V.6. Kombine Darbe Testi (ASTM D 2463)

Kombine darbe testleri gerçek darbe şartlarına ulaşmak için yapılan testlerdir. Şişirme kalıplama ile üretilen termoplastiklere ASTM D 2463 numaralı standart test uygulanır. Burada numunenin içi su ile doldurularak belli bir yükseklikten bir yüzeye düşürülür. Diğer bir kombine darbe testi de Air Cannon darbe testidir (ACIT). Bu test düzeneği rijit polimerlerin tokluklarının test edilmesinde kullanılır. Bu testte küresel polimer nesnelere sıkıştırılmış hava tabancasıyla numunenin üzerine fırlatılırlar. Çeşitli ağırlıkta ve boyutta küresel nesnelere kullanılabilir. Hava basıncı ayarlanarak bunların hızları kontrol edilir[9].

VI. AŞINMA

Polimerik malzemelerin aşınma dirençleri çok kompleks bir konudur. Günümüzde, sürtünme kuvvetleri, yük ve gerçek temas yüzeyleri ile ilgili pek çok teori geliştirilmiştir ve halen de geliştirilmeye devam edilmektedir. Bu üç parametrede gerçekleşen herhangi bir değişiklik, aşınmaya büyük ölçüde etki etmektedir. Polimerik malzemelerin sertliği aşınma karakteristiği üzerinde etkili olan diğer bir faktördür. Örneğin ortalama pürüzlülük değeri yüksek olan sert bir malzeme karşısında daha yumuşak bir malzemeyle temas geçtiği zaman bu malzeme üzerinde fark edilebilir oyuklar, yivler ve çizikler meydana getireceği su götürmez bir gerçektir. Aşınma direnci, polimerik malzemelerin özellikleri, esnekliği, eklenen polimerleştiricilerin ve katkı maddelerinin miktarları ve cinsi gibi diğer faktörlerden de etkilenir[4-6-8-9].

VI.1. Aşınma Direnci Testleri

Malzemenin aşınma direnci kabiliyeti, bir aşındırıcı karşısında aşınmaya maruz kaldığında ağırlığındaki azalmanın ölçülmesi açısından en çok yapılan testlerden biridir. Endüstride en çok kabul gören Taber aşındırıcısı olarak bilinen test cihazıdır. Bu cihazın en önemli özelliği üzerinde bulunan tekerleklerinin ayarlanabilir olması ve malzemenin çeşidine göre kullanılmasıdır. Numune

olarak 4 in. çapında bir disk kullanılır. Merkezinde ¼ in çapında bir delik mevcuttur. Malzemenin cinsine göre uygun tekerlek ayarı yapılarak yük verilir. Döner tablanın harekete başlamasıyla, otomatik sayaç sayıma başlar ve kaydeder. Testler genelde en az 5000 devirden sonra bitirilir. Numunenin mg cinsinden ağırlık kaybı hesaplanır. Test sonuçları ağırlık kaybını mg/1000 devir cinsinden rapor edilir[4-6-8-9].

VII. SERTLİK

Polimerlerde sertlik Rockwell, Durometre, Bacrol, Shore ve Küre basma sertliği, olmak üzere beş metotla ölçülür. Shore sertlik ölçme metodunda sert koni ucun yük altında malzemeye girmesine karşı direnç olarak ifade edilir. Lastik gibi yumuşak polimerlerde Shore-A, diğer polimerlerde ise Shore-D yöntemi kullanılır. Küre basma sertliğinde ise belirli bir P yükü ile D çapındaki kürenin malzemeye t süresince bastırıldığında ortaya çıkan h batma derinliği ile ters orantılıdır. Burada sertlik değeri yükleme zamanına bağlı olarak çok değişir. Metallerinkinden farklı olarak zaman verilmelidir[4-5-6-8-9-10-11-13].

VII.1. Rockwell Sertlik Ölçme Testi (ASTM D 785)

Bu deneyde kalınlığı en az ¼ in olan levha veya plakalar kullanılır. Numuneler kalıplanarak veya levhadan talaşlı işlenerek elde edilebilirler. Deneyde standart bir çelik bilye düşük bir yükte numune levhanın yüzeyine bastırılır. Böylece numune ile bilyenin tamamen temas etmesi sağlanır. Bu konumda deney aletinin göstergesi sıfırlanır. Daha sonra bir yük daha uygulanır ve 15 saniye beklenir. Yük kaldırılır ve bir 15 saniye daha beklendikten sonra bilyenin numune üzerinde açtığı oyğun derinliği ölçülür. Deneylerde değişik bilye ve ağırlık kombinasyonları kullanılmaktadır[5-6-8-9-10].

Rockwell sertliği aynı polimer türünün değişik tipleri için kıyaslama amacıyla uygulanabilecek bir deney şeklidir. Çelik bilyeye yük uygulayarak polimerik malzeme meydana getirilen oyğun boyutlarında, 15 saniye beklenecek esneklik nedeniyle şeklinin geriye dönmesi de söz konusu olduğundan sertlik yanında esneklik de etkili olmakta ve bu nedenle Rockwell sertliği farklı türdeki polimerlerin sertlik tayinlerinde kesin sonuçlar vermemektedir[5-6-8-9-10].

VII.2. Durometre Sertlik Ölçme Testi (ASTM D 2240)

Durometre sertlik ölçme testi genellikle sertlikleri birbirlerine yakın yumuşak malzemelerin sertliklerini ölçmek için kullanılır. Durometre sertlik ölçme cihazlarının basınç uygulanan kısmına bağlı ince uçlu bir ayağı bulunmaktadır. Bu ayak temeli tamamen yüzeye değecek şekilde bastırıldığında göstergede okunan değer

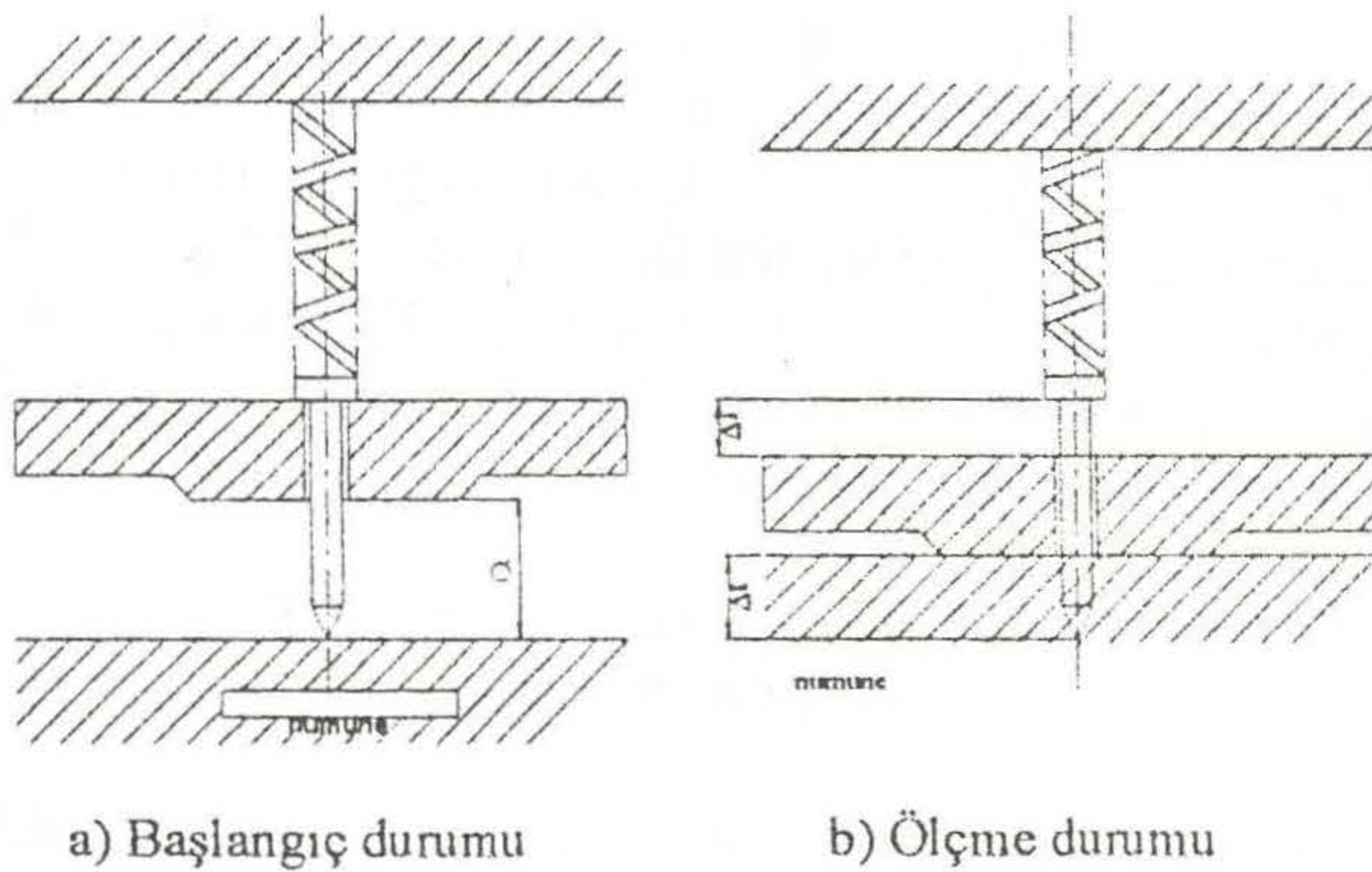
sertlik değeri olarak kaydedilir. Deney sonuçları 0'dan 100'e kadar bölümlenmiş bir göstergeden okunmakta olup elde edilen değerlerin bir birimi yoktur. Durometreye basınç uygulanır uygulanmaz okunan değerler, basınç uygulanmasından sonra bir süre bekleyip okunan değerlerden farklıdır. Bu durum polimerik malzemelerin sürtünme özelliğinden kaynaklanmaktadır[5-6-8-9-10].

VII.3. Bacrol Sertlik Ölçme Testi (ASTM D 2583)

Bacrol sertliği güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş sert polimerlerin sertliğinin ölçmesi için kullanılan bir yöntemdir. Sertlik ölçme cihazı portatif bir cihaz olup sertliği ölçülecek malzemenin yerine götürülebilir. Bacrol sertlik cihazı keskin konik tipte bir batıcı uca ve 100 kısımdan oluşan bir kadrana sahiptir. Her kısım 0.0003 in. derinliğinde bir batmayı gösterir. Test numunesinin kalınlığı 1/16 in olmak zorundadır. İlmıştır[9].

VII.4. Shore Sertlik Ölçme Testi

Ucu kesilmiş veya yuvarlatılmış bir koni uç batma ucu olarak kullanılır. Ölçme prensibi Şekil 2'de gösterilmiştir. Cihazın dayanma yüzeyi sertliği ölçülecek polimer malzeme yüzeyine temas edinceye kadar (serbestçe) cihaza bastırılır. Bu durumda Shore sertliğinin tanımı; $a = \Delta l + \Delta t$ olup $a-t$ farkı Shore sertliği olarak aletin skalasından doğrudan doğruya okunur. $\Delta t = 0$ ve $a = \Delta l$ olması durumunda sertlik 100 Shore demektir. Kullanılan yay sabitine ve batıcı uç şekline göre Shore-A ve Shore-D değerleri tarif edilir. Deneylerin 20°C'de yapılması gerekir. Ölçme cihazı darbesiz bastırılmak ve ölçme süresi 3 sn tutulmalıdır. Yumuşak polimer malzemelerin (lastik v.s.) sertliklerin ölçülmesinde Shore-A (SA) kullanılırken sert polimerlerde (çeşitli termosetler gibi) ise Shore-D (SD) ölçümü gerekir[11].



Şekil 2. Shore sertlik ölçme cihazı

VII.5. Küre Basma Sertlik Ölçme Testi

Burada D=5 mm çapında çelik küre, P=50 kg ağırlık bir yükü polimer malzeme üzerine bastırılır. Yük altında iz derinliği, h, ölçülür. Yükleme süresi 10 ve 60 sn dir. Buna göre sertlik değeri, basma kuvvetinin yük altında iken küre kapağının alanına bölümü şeklinde tarif edilir[11].

$$H = \frac{P}{\pi.D.h} \left[\frac{kp}{cm^2} \right] \quad (4)$$

VIII. KAYMA DAYANIMI

Polimerlere kayma gerilmeleri uygulamak üzere çeşitli metotlara baş vurulmuştur. Muhtemelen en iyi metot polimer boruya bir döndürme momenti uygulamaktır. Fakat bütün polimerler boru haline getirilemediğinden bu metot evrensel değildir. Bir polimerin kayma dayanımını ölçmek için geçmişte en çok kullanılan metot standart bir polimer tabakada standart bir zımba ile delik açmak için gerekli en yüksek yükün ölçülmesidir. Fakat bu uygulamada polimer tabakanın standartlaştırılması ile ilgili problemler dışında, zımba ile uygulanan gerilme tamamı ile kayma gerilmesi olmadığından sonuçlara güvenilemez. Ayrıca bazı numunelerin, en yüksek yüke çıkmadan önce akmaya başladıkları görülmüştür. Bu durumlarda pratik bir kayma dayanım değeri olarak akma gerilmesi daha doğru bir sonuçtur. Kayma dayanımının ölçülmesi için günümüzde en çok tercih edilen metot ASTM D 732'dir[1-8-9].

VIII.1. Kayma Dayanımı Testi (ASTM D 732)

Kayma dayanımının ölçülmesi için test numunesi 2 in. çapında bir levhadan kesilir veya kalıplanarak elde edilir. Numunenin kalınlığı 0.005 in.-0.5 in. arasında değişir. Numunenin merkezinde 7/16 in. çapında bir delik mevcuttur[8-9].

Numune çeneler arasında sıkıştırılır. Erkek zımba delikten geçirildikten sonra alt kısmından somun ile sıkılarak somunun numune yüzeyine temas etmesi sağlanır. Daha sonra zımbaya kuvvet uygulanır ve numune kaymaya zorlanır[8-9].

VIII.2. Dinamik Kayma Modülü Ölçümü Testi (ASTM D 2236-64T)

Dinamik kayma modülünün ölçümü için tork sarkacı denilen bir düzenekten yararlanır. Tork sarkacı, polimerin dinamik kayma modülünün ve mekanik sönümlenme modülünün tayininde kullanılır. Aletin operasyon frekansının aralığı 0.01 Hz ile 50 Hz arasında değişir. Numune silindirik bir çubuk veya dikdörtgen

kesitli bir blok olabilir. Numunenin bir ucu mesnetlenir, diğer ucu da serbest olarak salınım yapan atalet diskine tutturulur. Salınım yapan disk numuneyi bir o yöne bir bu yöne burmaya zorlarlar. Bir salınım için geçen süreye periyot, P, denilir. Birbirini izleyen genlikler A_i , sistem içinde zamanla kinetik enerjiye dönüşümler nedeniyle azalacaktır[14].

Buradan dinamik kayma modülünü şöyle hesaplayabiliriz:

$$\text{Silindirik numuneler için: } G'=(8\pi I L/\gamma^4).(1/P^2) \quad (5)$$

$$\text{Dikdörtgen numuneler için: } G'=(64\pi I L/ubh^3).(1/P^2) \quad (6)$$

Burada L numunenin uzunluğu, I atalet momenti, b numunenin genişliği, h numunenin kalınlığı, γ numunenin yarıçapı, u kalınlık ve genişlik için düzeltme faktörü, P periyot ve G' de dinamik kayma modülüdür[14].

Logaritmik azalma Δ , birbirini takip eden iki salınım genliğinin logaritmasının alınmasıyla hesaplanır.

$$\Delta = \ln \frac{A_1}{A_2} = \ln \frac{A_2}{A_3} = \ln \frac{A_{n-1}}{A_n} \quad (7)$$

Burada A_1 ilk salınımın genliği, A_2 ikinci salınımın genliğidir. $\tan\delta$ dağılma faktörü, dinamik kayma modülünün değerini düşürür. G'' gerçek dinamik kayma modülü şöyle hesaplanır:

$$\Delta = \pi \cdot \tan\delta, \quad G''/G' = \tan\delta \quad (8)$$

VIII.3. Burulma Esnekliği Testi

Bir malzemenin esnekliği, onun elastikiyetiyle veya üzerine uygulanan yük kalktıktan sonra tekrar eski konumuna dönme kabiliyeti olarak tanımlanır. Bu testte polimerler 0.65 cm-13.5 cm boyuna ve 0.2 cm kalınlığına getirilerek test düzeneğine yerleştirilir ve daha sonra 720 derece burulur. Bu durumda 30 saniye beklendikten sonra düzenek serbest bırakılır. Numunenin aksi istikamette 90 derecelik burulma yaptığı anan kadar geçen süre ölçülür. Bu süre o malzemenin burulmada geri esneme zamanıdır. Bu zaman ne kadar kısa olursa, o malzemenin burulma esnekliği o kadar iyidir[15].

IX. SÜRÜNME

Günümüzde pek çok uygulamalarda polimerler kullanılmakta ve yüksek performans göstermektedirler. Pek çok polimer bileşimi metallerin yerine kullanılmaktadır. Tasarımcıların göz önünde tutması

gereken bir diğer faktör de malzemenin uzun zaman değişik sıcaklıklarda yüke maruz kalmasıdır. Bu davranış şekli sürünme özellikleri olarak tanımlanır. Bir polimer malzeme sabit bir yüke maruz kaldığı zaman elastisite modülüne bağlı olarak hızla deforme olur ve daha sonraki deformasyon kırılma veya akmadan kaynaklanan çatlak oluşumuna kadar yavaş olarak devam eder. Sürünme olayının derecesi yüke, polimerin çeşidine, ortam sıcaklığına ve zamana bağlı olarak değişir. Tasarımı etkileyen en önemli sürünme çeşitleri çekme sürünmesi ve eğilme sürünmesidir. Bu değerler çekme sürünmesi ve eğilme sürünmesi testleri ile belirlenir[4-8-9].

X. GERİLME GEVŞEMESİ

Gerilme gevşemesi, sabit bir gerilme altındaki malzemede zamanla bir gerilme azalması meydana gelmesidir. Gerilme gevşemesinin ölçülmesi (ASTM D 2991) sürünmenin ölçülmesine oranla daha zor bir olaydır. Çünkü gerilme gevşemesinde kullanılan test düzeneklerinde gerilme uygulamayı sağlayan aparatlarda oluşacak her hangi bir gerilme azalması test neticesine direkt olarak etki edecektir. Testte numune pinli tutucular vasıtasıyla çeneler arasına yerleştirilir ve gerilme ayar civatası sıkılarak gerilme uygulanır. Numunenin alt kısmına koyulan straingageler yardımıyla gerilmede zamanla meydana gelen azalma kaydedilir[4-8-9].

XI. YORULMA

Yorulma, standart bir test numunesi üzerindeki değişken zorlanmaların malzemede oluşturduğu deformasyon olarak belirtilir. Çeşitli yükleme şartları altında incelenen çekme özelliklerinde zaman sıklası oldukça kısadır ve sonuçlar uzun süreli gerilmeler altında polimerlerde meydana gelen değişiklikleri göstermesi bakımından pek değerli sayılamazlar. Pratikte bu süreler saatlerden yıllara kadar değişir. Polimerlerdeki değişimler çok büyük olabilir ve yük taşıyan polimerleri sınırlayan en önemli faktör uzun süreli gerilmeler altındaki yavaş deformasyondur[1-2-8-9].

Bu olayın incelenmesi için kullanılan standart metod değişken zorlanma altındaki standart bir test parçasında zamanın fonksiyonu olarak deformasyonun gözlenmesidir. Test süresi polimerin karakterine bağlı olarak birkaç yıla uzayabilir. Polimer malzemelerin yorulma davranışlarının incelenmesinde kullanılan iki temel metod vardır. Bunlar; eğilme yorulması ve çekme yorulması testleridir. Eğilme yorulması testi ASTM D 671 numaralı standarda göre yapılır[1-4-8-9].

KAYNAKLAR

[1] PALIN, G., "Teknolojide Plastikler", Makina Mühendisleri Odası Yayınları No 64, s. 1-139, Ankara, 1971.

- [2] RAİF, H., "Plastik Malzemelerin İmalat Metotlarının Etüt Edilmesi", Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, s. 4-9, İzmir, 1979.
- [3] YILMAZ, S., "Plastik Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, s. 1-20, İzmir, 1990.
- [4] BAIJAL, M., "Plastics Polymer Science and Technology", Technology and Management Consulting, p. 779-879, Ohio, 1982.
- [5] BEŞERGİL, B. ve SAVAŞCI, T., "Kısa Açıklamalarıyla En Yaygın Uygulanan Fiziksel Nitelikteki Standart Plastik Testleri", Pagev Plastik Araştırma-Geliştirme ve İnceleme Dergisi, cilt 1, sayı 1, s. 32-37, Mayıs-Haziran, 1990.
- [6] FRED, W., and BILMEYOR, JR., "Testbook of Polymer Science", Rensselaer Polytechnic Institute, p. 229-253, New York, 1984.
- [7] MARK, H., "Encyclopedia of Polymer Science and Technology", Volume 13., p. 596-623, New York, 1970.
- [8] MAHAD, J. and RILEY, M., "Handbook of Plastics Test Methods", Yarsley Testing Laboratories Ltd., Published for the Plastics Institute, p. 18-429, London, 1971.
- [9] SHAH, V., "Handbook of Plastics Testing Technology", Performance Engineered Products Inc., p. 1-487, California, 1984.
- [10] YAŞAR, H., "Plastikler Dünyası", Makina Mühendisleri Odası Yayınları No:142, s. 1-264, Ankara, 1992.
- [11] DEMİRCİ, H., "Plastik Malzeme Teknolojisi Cilt I", Dokuz Eylül Üniversitesi, s.5-52, İzmir, 1984.
- [12] KROSCWITZ, J., "Polymers: Polymer Characterization and Analysis", John Wiley & Sons Inc., p. 339-351, Toronto, 1990.
- [13] CHARLES, A., "Handbook Of Plastics Elastomers and Composites" Harper Technology Seminars Inc., p. 20-32, Lutherville, Maryland, 1996.
- [14] MURAYAMA, T., "Dynamic Mechanical Analysis of Polymeric Material", p.36-57, New York, 1978.
- [15] CAREY, R., "Simulated Service Testing In The Plastics Industry", A Symposium Presented At The Sixty-Seven Annual Meeting, American Society For Testing And Materials, p. 1-81, Chicago, 1964.