

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SICAK PLAKA KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ
POLİAMİD ESASLI MALZEMELERİN NEM
ALMA DAVRANIŞININ KAYNAK
MUKAVEMETİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Can ÖZYAMAN

Temmuz, 2019

İZMİR

**SICAK PLAKA KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ
POLİAMİD ESASLI MALZEMELERİN NEM
ALMA DAVRANIŞININ KAYNAK
MUKAVEMETİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Dokuz Eylöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Konstrüksiyon – İmalat Programı**

Can ÖZYAMAN

Temmuz, 2019

İZMİR

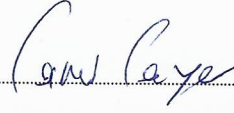
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

CAN ÖZYAMAN, tarafından PROF. DR. ÇİÇEK ÖZES ve DOÇ. DR. SAMİ SAYER yönetiminde hazırlanan “SICAK PLAKA KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ POLİAMİD ESASLI MALZEMELERİN NEM ALMA DAVRANIŞININ KAYNAK MUKAVEMETİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Çiçek ÖZES

Yönetici



Doç. Dr. Sami SAYER

Yönetici



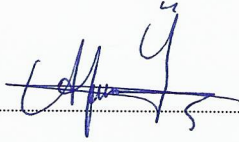
Prof. Dr. Binnur Göres Kural

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Giner Teni

Jüri Üyesi



Dr. Öğr. Üyesi Aydın ÜLKER

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanma ve sunum aşamalarında yardım ve desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen danışman hocalarım Prof. Dr. Çiçek ÖZES ve Doç. Dr. Sami SAYER'e teşekkürlerimi sunarım. Deneylere başlama aşamasında uygun ortamın sağlanması için yardımlarını esirgemeyen hocam Prof. Dr. Emine Çınar YENİ'ye teşekkürü borç bilirim.

Enjeksiyon ile numune üretiminde yardımcı olan Ege Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu Lastik Plastik Laboratuvar teknikeri Uğur BALCI'ya teşekkürlerimi sunarım. Sıcak plaka kaynağı ile numune üretiminde bana destek olan değerli dostum Umut Emrah KOCATÜFEK'e teşekkür ederim. Son olarak, bu yola girmemde büyük payı olan sevgili dostum Fırat KARASU'ya teşekkürlerimi sunarım.

Can ÖZYAMAN

SICAK PLAKA KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ POLİAMİD ESASLI MALZEMELERİN NEM ALMA DAVRANIŞININ KAYNAK MUKAVEMETİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZ

Bu çalışmada, PA6 ve cam elyaf katkılı türevlerinden üretilmiş olan numuneler, yapılan ön araştırma sonucunda elde edilen optimum kaynak parametreleri kullanılarak sıcak plaka kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Nem alma davranışının kaynak mukavemetine etkisini araştırmak amacıyla, numuneler -20 ile 60 santigrat derece sıcaklık aralığında 2 - 16 saat süre ile bekletilerek yapay olarak şartlandırılmıştır. Şartlandırma sıcaklıklarına bağlı olarak PA6, PA6 GF15 ve PA6 GF30 tipi malzemelerin nem alma davranışında, dolayısıyla mekanik özelliklerinde önemli değişiklikler olduğu görülmüştür. Kaynaklı numunelerde, şartlandırma sıcaklıklarının ve sürelerinin artması ile PA6 malzemede nem alma oranının arttığı, mekanik mukavemet değerlerinin azaldığı ve yüzde uzama değerlerinin ise arttığı gözlenmiştir. Cam elyaf katkılı numunelerde ise şartlandırma sıcaklıklarının ve sürelerinin artması ile mekanik mukavemet değerleri azalmış, nem alma oranında ve yüzde uzama değerlerinde ise önemli bir değişiklik olmamıştır. Şartlandırma sonrasında, en yüksek kaynak mukavemeti PA6 malzemede -20 santigrat derecede 32,9 MPa, PA6 GF15'te -10 santigrat derecede 38,2 MPa ve PA6 GF30'da ise 0 santigrat derecede 41,4 MPa olarak ölçülmüştür.

Anahtar kelimeler: Sıcak plaka kaynağı, nem alma, şartlandırma, PA6, GF katkılı PA6

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF MOISTURE INTAKE OF HOT PLATE WELDED POLYAMIDE BASED MATERIALS ON WELD STRENGTH

ABSTRACT

In this study, samples made of PA6 and glass fiber reinforced derivatives, are welded by hot plate welding method using the optimum welding parameters obtained by our preliminary investigation. In order to investigate the effect of water absorption behavior on welding strength, the samples are conditioned artificially by keeping them in a temperature range of -20 to 60 degrees celsius for 2 to 16 hours. Depending on conditioning temperatures, significant variations are seen in the water absorption behavior and accordingly in mechanical properties of PA6, PA6 GF15 and PA6 GF30 type materials. It is observed that, in welded samples, increase in conditioning temperatures and durations, increased the water absorption rate of PA6 material, decreased the mechanical strength values and increased the elongation percentage values in welded samples. On the other hand in glass fiber reinforced samples, increase in conditioning temperatures and durations, decreased, the mechanical strength values, but increase in conditioning temperatures and durations did not cause a significant change on water absorption rate and elongation percent values. The highest welding strength measurements after conditioning were 32.9 MPa in PA6 material at -20 degrees celsius, 38.2 MPa in PA6 GF15 at -10 degrees celsius and 41.4 MPa in PA6 GF30 at 0 degrees celsius.

Keywords: Hot plate welding, water absorption, conditioning, PA6, GF reinforced PA6

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x

BÖLÜM BİR - POLİMER ESASLI MALZEMELER VE SINIFLANDIRILMASI..... 1

1.1 Polimer Esaslı Malzemeler.....	1
1.2 Polimer Esaslı Malzemelerin Sınıflandırılması.....	3
1.2.1 Termoplastikler.....	4
1.2.2 Termosetler.....	5
1.2.3 Elastomerler.....	6
1.3 Poliamid Malzemeler.....	6
1.3.1. Poliamidlerin Elde Edilmesi.....	7
1.3.2 Poliamidlerin Özellikleri.....	8

BÖLÜM İKİ - SICAK PLAKA KAYNAĞI..... 10

2.1 Polimer Esaslı Malzemelerin Kaynakla Birleştirilmesi.....	10
2.2 Sıcak Plaka Kaynağı.....	11
2.3 Sıcak Plaka Kaynağı ve Şartlandırma ile İlgili Yapılmış Olan Çalışmalar.....	15

BÖLÜM ÜÇ - DENEY NUMUNELERİNİN ÜRETİMİ..... 20

3.1 Plastik Enjeksiyon Yöntemiyle Numune Üretimi.....	20
---	----

3.2 Sıcak Plaka Kaynağı ile Numune Üretimi.....	23
BÖLÜM DÖRT - ŞARTLANDIRMA.....	24
4.1 Poliamidlerin Şartlandırılması.....	24
4.2 Hesap Cetvelinin Kullanılması ve Örnek Hesaplama	26
BÖLÜM BEŞ - DENEY NUMUNELERİNE UYGULANAN TESTLER.....	29
5.1 Çekme Testleri	29
5.2 Çentik Darbe Testleri	30
BÖLÜM ALTI - SONUÇLAR.....	31
6.1 Numunelerin Nem Alma Miktarları	31
6.2 Çekme Deneyi Sonuçları.....	33
6.3 Çentik Darbe Deneyi Sonuçları.....	50
6.4 Sonuç ve Tartışma	52
KAYNAKLAR.....	54

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Etilen monomeri ve polimerizasyon sonrasında polietilen oluşumu	2
Şekil 1.2 Polietilen zincirinin şematik gösterimi	2
Şekil 1.3 Polimer esaslı malzemelerin ticari olarak sınıflandırılması.....	3
Şekil 1.4 Polimer esaslı malzemelerin atomlar arası bağlara göre sınıflandırılması ...	4
Şekil 1.5 Poliamid 6 ve Poliamid 66 tipi malzemelerin moleküler yapısı	7
Şekil 2.1 SPK Makinası	12
Şekil 2.2 SPK makinasının şematik gösterimi	13
Şekil 2.3 Sıcak plaka kaynağı proses aşamaları	15
Şekil 3.1 Mr. BOY 50T enjeksiyon makinesi	20
Şekil 3.2 Deney numunelerinin geometrik ölçüleri	21
Şekil 3.3 Enjeksiyon kalıbından çıkarılmış numune çifti	22
Şekil 3.4 Sıcak plaka kaynağı ile birleştirilmiş kaynak numunesi.....	23
Şekil 4.1 Kuru – enjeksiyon sonrası, %50 bağıl nemde beklemiş (50 RH) ve suda beklemiş PA6'nın gerilme – şekil değiştirme grafiği.....	25
Şekil 4.2 Şartlandırma süresi ve nem alma miktarı nomogramı	27
Şekil 5.1 Shimadzu AG-X çekme testi cihazı	29
Şekil 5.2 Sıcak plaka kaynağı ile birleştirilmiş kaynak numunesi.....	30
Şekil 5.3 Çentik darbe deney numunesinin yerleşimi ve deney düzeneği	30
Şekil 6.1 16 saat süre ile 0, -10 ve -20°C'de şartlandırılmış numunelerin nem alma yüzdeleri	31
Şekil 6.2 16 saat süre ile 0, 30 ve 60°C'de şartlandırılmış numunelerin nem alma yüzdeleri	32
Şekil 6.3 2-16 saat süre ile 60°C'de şartlandırılmış numunelerin nem alma yüzdeleri	33
Şekil 6.4 PA6 çekme numunelerine ait gerilme-şekil değiştirme grafikleri	35
Şekil 6.5 PA6 GF15 çekme numunelerine ait gerilme-şekil değiştirme grafikleri	36
Şekil 6.6 PA6 GF30 çekme numunelerine ait gerilme-şekil değiştirme grafikleri	37
Şekil 6.7 PA6 kaynaklı numunelere ait gerilme-şekil değiştirme grafikleri.....	39
Şekil 6.8 PA6 GF15 kaynaklı numunelere ait gerilme-şekil değiştirme grafikleri....	40
Şekil 6.9 PA6 GF 30 kaynaklı numunelere ait gerilme-şekil değiştirme grafikleri...	41

Şekil 6.10 PA6 çekme numunelerine ait gerilme-şekil değiştirme grafikleri	43
Şekil 6.11 PA6 GF15 çekme numunelerine ait gerilme-şekil değiştirme grafikleri ..	44
Şekil 6.12 PA6 GF30 çekme numunelerine ait gerilme-şekil değiştirme grafikleri ..	45
Şekil 6.13 PA6 kaynaklı numunelere ait gerilme-şekil değiştirme grafikleri	47
Şekil 6.14 PA6 GF 15 kaynaklı numunelere ait gerilme-şekil değiştirme grafikleri.	48
Şekil 6.15 PA6 GF30 kaynaklı numunelere ait gerilme-şekil değiştirme grafikleri..	49
Şekil 6.16 Şartlandırılmış (0, 30 ve 60°C’de, 16 saat) numunelerin kırılma enerjileri	50
Şekil 6.17 Şartlandırılmış (0, -10 ve -20°C’de, 16 saat) numunelerin kırılma enerjileri	51
Şekil 6.18 Şartlandırılmış (60°C’de, 2-16 saat) numunelerin kırılma enerjileri	51

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1 PA tiplerinin nem alma miktarları ve mekanik özellikleri	9
Tablo 2.1 Plastiklerin birleştirilme yöntemleri	11
Tablo 3.1 PA esaslı malzemelerde proses şartları.....	23
Tablo 4.1 Doymuş su miktarı - sıcaklığa bağlı difüzyon katsayısı tablosu.....	26



BÖLÜM BİR

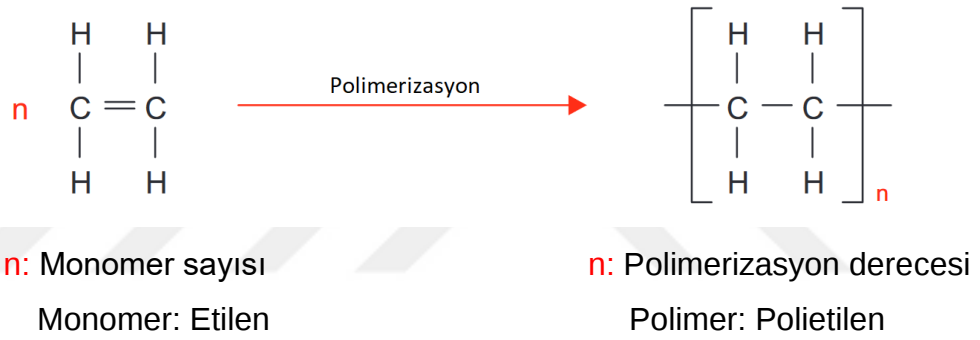
POLİMER ESASLI MALZEMELER VE SINIFLANDIRILMASI

1.1 Polimer Esaslı Malzemeler

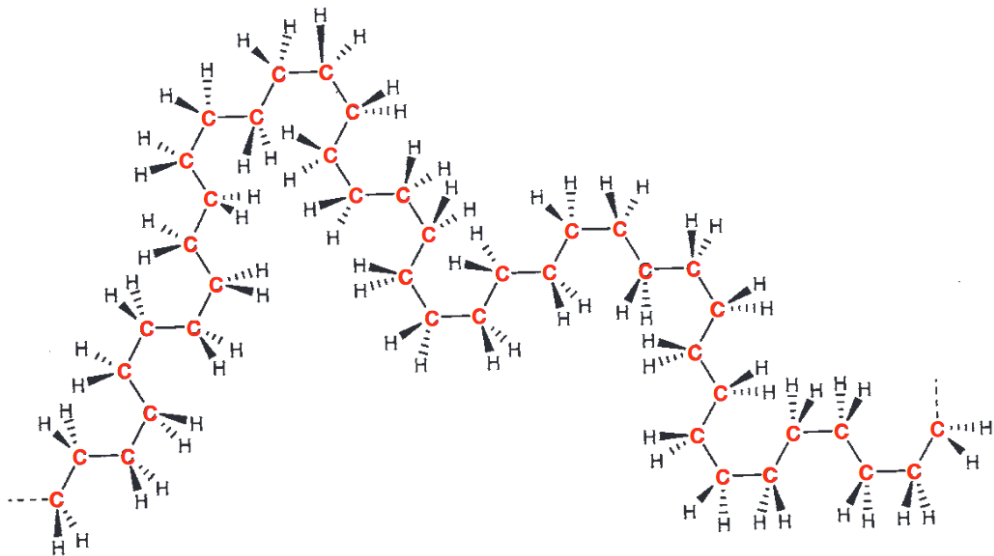
Polimerler, molekülleri yüksek moleküler ağırlığa sahip birbirini tekrarlayan elemanlardan meydana gelen malzemelerdir. Plastik sınıfına giren malzemeler doğal ve sentetik olmak üzere iki türdür. Ahşap, deri, yün, kauçuk, mantar, bitki kökleri vb. lifli malzemeler doğal polimerlerdir. Bunların dışında endüstride kullanılan plastikler sentetik polimerlerdir. Endrüşmenin ilk aşamalarında yoğun olarak kullanılan doğal polimerler, işleme zorluğu fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin istenilen kalitede olmamasından dolayı zamanla yerlerini sentetik polimerlere bırakmışlardır. Polimer esaslı malzemeler, ucuzluk, hafiflik, kolay işlenebilirlik vb. özellikleri sayesinde endüstrideki kullanımı her geçen gün artmaktadır. Günümüzde polimer esaslı malzemelerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır, 1950’li yıllarda plastik tüketimi 1,5 milyon ton/yıl seviyesinde iken 50 yıl içerisinde hızlı bir artış göstermiştir. 2015 yılında dünyada plastik tüketimi 325 milyon ton/yıl seviyesine çıkmıştır (Wolfgang, 2015). Polimerler genellikle petrol ürünlerinde elde edilen ve yapılarında C, H, O, N, S bulunan malzemelerdir. Polimer esaslı malzemelerin (Termoplastiklerin) gelişmesinde polietilen (C_2H_4) etkin bir rol oynamıştır. Polietilen monomerinin polimerizasyonu sonucunda polimerizasyon tekniklerine bağlı olarak malzemenin makromoleküler yapısı değişiklik göstermektedir. Makromoleküler yapıdaki değişiklik polietilenin yoğunluğunu, MFI değerini ve mekanik özelliklerini etkilemektedir. Araştırmacılar baz olarak seçmiş oldukları polietilen monomerinde hidrojenin yerine klorun bağlanmasını sağlayarak PVC monomerinin gelişmesine katkıda bulunmuşlardır. Daha sonraki yıllarda ise endüstrilerin beklentisini karşılamak amacıyla farklı özellikte dolayısıyla yapıda termoplastik malzemeler ortaya çıkmıştır. Örneğin, aşınma direnci yüksek olan bir malzemeye gereksinim duyulduğunda etilen monomerindeki hidrojen atomları yerine flor atomları bağlanarak C_2F_4 teflon olarak bilinen politetraflor etilen monomerinin ortaya çıkmasına katkı vermişlerdir. Diğer polimerler ise akrilikler (oksijen), poliamidler (nitrojen) ve silikonlardır (silisyum). Şekil 1.1’de en küçük monomer olan

etilenden oluşan polietilen görülmektedir.

Polimerizasyon: Monomer yapıdaki etilen zincir, polimerizasyon sonrasında makro moleküler yapıdaki polietilene dönüşür. Polimer zinciri içerisinde bulunan etilen monomerinin sayısı, polimerizasyon derecesine bağlı olarak 700 ile 230000 arasında değişmektedir. Bu durum polietilenin makro moleküler ağırlığını 20000 ile 6500000 g/mol arasında değişmesine neden olur. Şekil 1.1’de etilen monomeri ve polimerizasyon sonucunda polimerizasyon derecesine bağlı olarak oluşan polimer zinciri görülmektedir. Polimerizasyon derecesi malzemenin mekanik özelliklerini etkileyen en önemli parametredir. Polimerizasyon derecesi arttıkça malzemenin mekanik mukavemeti, MFI değeri artmaktadır. (Wolfgang, 2015)



Şekil 1.1 Etilen monomeri ve polimerizasyon sonrasında polietilen oluşumu (Wolfgang, 2015)



Şekil 1.2 Polietilen zincirinin şematik gösterimi (Wolfgang, 2015)

1.2 Polimer Esaslı Malzemelerin Sınıflandırılması

Yüksek Performans Plastikleri

300°C

PEI, PI, TPI, PAI, PEEK, PEEK, LCP, PPS, PTFE, PFA, ETFE, PCTFE, PVDF, PES, PPSU, PEI, PSU, PC-IT

Mühendislik Plastikleri

150°C

PC, PA-66, PET, PBT, PA-66, PA-6, PA-11, PA-12, POM, PMP

Ticari Plastikler

100°C

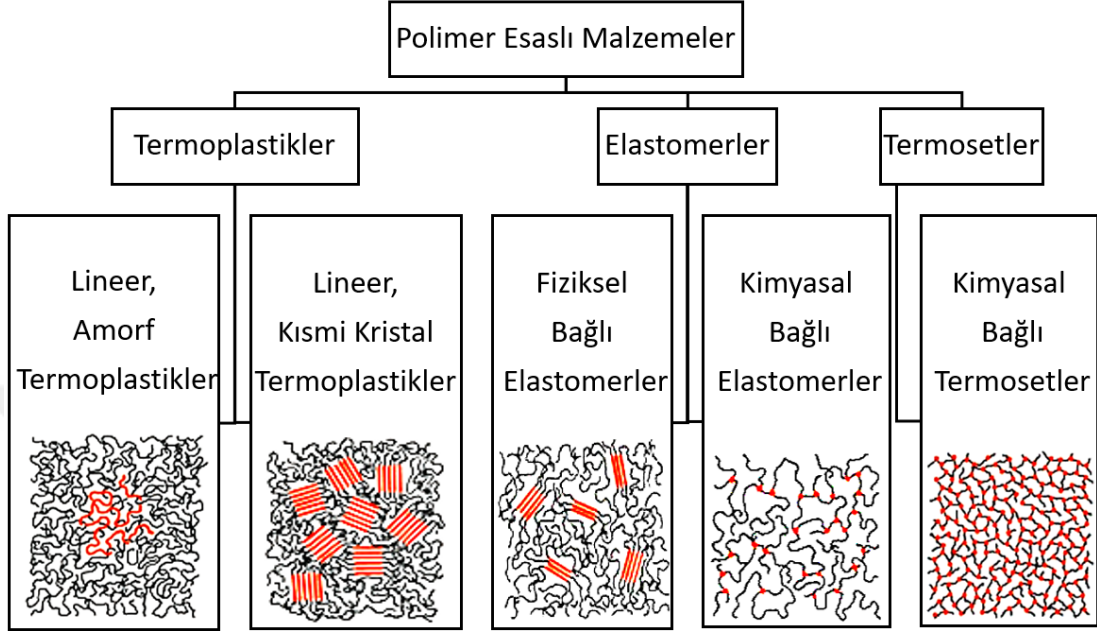
PPE mod., PMMA, PP, PE, PVC, PS, ABS, SAN

Amorf

Kısmi Kristal

3

Polimer esaslı malzemeler, atomlar arası ve polimer zincir arasındaki bağlara göre ise; termoplastikler, termosetler, elastomerler olmak üzere üç gruba ayrılırlar.



Şekil 1.4 Polimer esaslı malzemelerin atomlar arası bağlara göre sınıflandırılması (Wolfgang, 2015)

1.2.1 Termoplastikler

Termoplastikler, lineer polimerler olup sıcaklık artınca yumuşarlar, soğuyunca sertleşirler. Genellikle sünektirler. Mekanik özellikleri yükleme hızına, yükleme süresine ve sıcaklığa bağlı olarak değişirler. Oda sıcaklığında sabit gerilme altında sürekli şekil değiştirirler. Termoplastikler, özelliklerinde önemli değişiklikler meydana gelmeden defalarca ısıtılarak yeniden şekillendirilebilirler. Termoplastiklerde monomer zincir içerisindeki atomlar arasında kuvvetli kimyasal bağlardan olan kovalent bağ vardır. Kuvvetli kovalent bağlarla bağlı olan polimer zincirin arasında ise zayıf fiziksel bağlar bulunmaktadır. Isı ve basınç altında zayıf bağların kopması, termoplastiklere yumuşayarak yeniden şekillenme özelliği kazandırmıştır.

Termoplastikler malzemeler elastomerlerden farklı mekanik özelliklere sahiptirler. Bir elastomer malzeme iki yana çekilerek uzatıldığında ve serbest bırakıldığında eski

şekline döner. Ancak termoplastik parçaları çekme kuvveti uygulayarak çektiğinizde termoplastik malzeme belli bir noktaya kadar uzar (elastik deformasyon), daha sonra ise kalıcı olarak deformasyona (plastik deformasyon) uğrar ve daha da çekilince kopar. (Kocatüfek, 2013) Termoplastik polimerler grubunda yer alan bazı polimerler şunlardır;

- a) Polipropilen
- b) Polistiren
- c) Naylon
- d) Polivinilklorür ve vinil kopolimerleri
- e) Akrilonitril bütadien stiren
- f) Stiren akrilonitril
- g) Selülozikler

Termoplastikler, amorf yapılı ve kısmi kristal yapılı olmak üzere iki gruba ayrılır. Amorf yapıdaki termoplastikler karmaşık bir yapıya sahiptir ve bunlarda bir pamuk yumağı içinde elyaflara benzeyen ideal bir düzensizlik vardır. Akrilonitril bütadien stiren (ABS), polistiren (PS), stiren akrilonitril (SAN), polivinilklorür (PVC) ve polycarbon (PC) amorf yapılı termoplastiklere örnektir.

Kısmi kristal yapılı termoplastikler ise, moleküler bölümlerin veya moleküler zincir katlarının paralel olarak birikimleridir. Bu yapıdaki plastikler kısmen kristalleşmiş polimerler olarak adlandırılır. Poliamid (PA), polietilen (PE), polipropilen (PP), polioksimetilen (POM) ve polibütilentereftalat (PBT) kısmi kristal yapılı termoplastiklere örnek olarak verilebilir.

1.2.2 Termosetler

Termoset polimerler, ısı uygulandıktan sonra verilen şekli alarak soğuyup katılaştıran malzemelerdir. Bu sertleşme işlemi, malzemenin molekül zincirleri arasında oluşan daimi bağlar sonucu geri dönüşü olmayan bir işlemdir. Molekül zincirleri arasında oluşan çapraz bağlar, polimerin rijitliğinin yüksek olmasını sağlar.

Termoset polimerler katılaştıktan sonra tekrar ısı verilerek ergitilemez. Isı verilirse yanarlar. Bu nedenle geri dönüşümü olmayan malzemelerdir. Termoset polimerler, termoplastik polimerlere göre mekanik özellikler, kimyasal direnç ve ısıya dayanma bakımından daha üstün malzemelerdir. Ancak bu özelliklerinin yanında termoset polimerler kırılgan malzemelerdir. Başlıca termoset polimerlere örnek olarak polyester reçinesi, epoksi reçinesi, poliüretan, bakalit ve vulkanize kauçuk örnek verilebilir (Uçar, 2013).

1.2.3 Elastomerler

Elastomerler birçok defa uzatılıp bırakıldığında ilk ölçülerine geri dönebilen kauçuk türü malzemelerdir. Elastomerler, düşük yoğunlukta çapraz bağlara sahiptirler. Bu malzeme cinsi genellikle düşük elastikiyet modülüne ve yüksek akma mukavemetine sahiptir. Elastomer malzemelerde polimer zincirleri belli seviyede hareket serbestliğine sahiptirler, ancak çapraz bağlar sonucu oluşabilecek daimi taşınmalara karşı da korumalıdır. Elastomerlerin hareketli zincir sayısını azaltmak için elastomerler camsı veya kristalimsi faza soğutulmalıdır. Başlıca elastomerlere polibütadien, stiren bütadien, nitril kauçuk örnek gösterilebilir (Taşkıran, 2013).

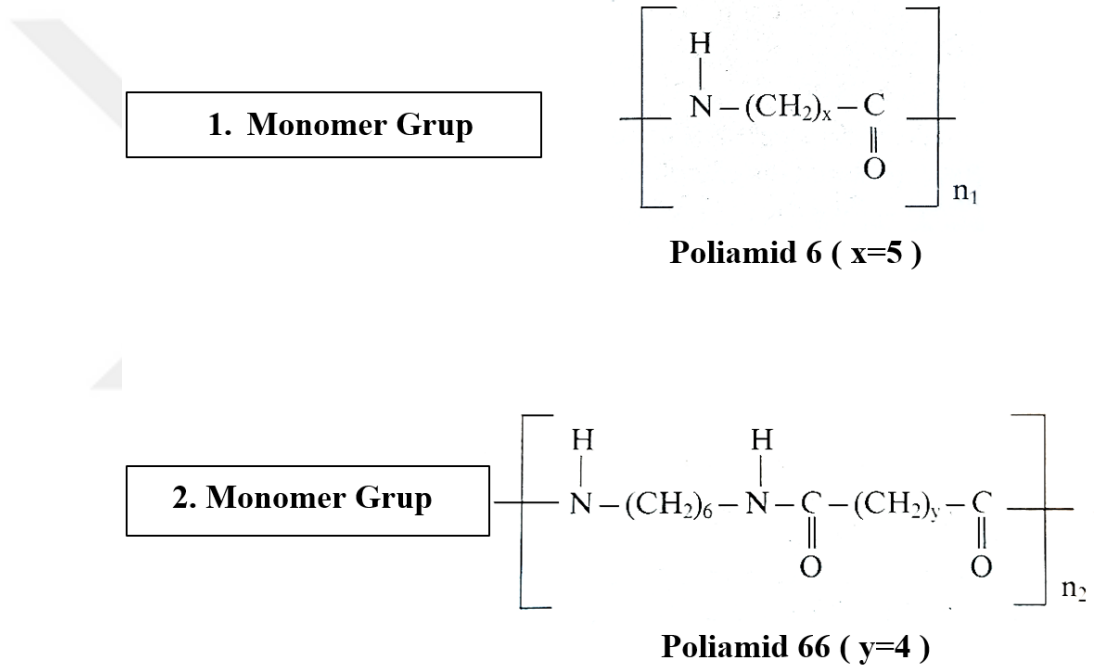
1.3 Poliamid Malzemeler

İlk kez 1928 yıllarında sentez edilen poliamid, öneminin farkına varılmadan 12 yıl kadar literatür yapırları arasında kalmış, ancak İkinci Dünya Savaşı sırasında ipek kaynaklarının Japonya'nın elinde bulunması nedeniyle paraşüt yapamayan ABD tarafından çalışmalar canlandırılarak ipeğe alternatif olarak kullanılmaya başlanmıştır. Termoplastik bir ürün olan poliamid, sertlik, yüksek dayanım, iyi elektriksel ve kimyasal özelliklere sahip olan hafif bir malzemedir. Günümüzde poliamid malzemeler, özelliklerinin uygun düştüğü çeşitli makina parçaları, elektriksel mamuller, silah ve mühimmat parçaları, spor malzemeleri, motosiklet kaskı ve daha birçok yerde kullanılan yaygın bir plastik türüdür. PA6 sünek ve aynı zamanda sert bir malzemedir. Bu özelliğinden dolayı PA6 folyo yapımında kullanılmaktadır. Örneğin, gıda sektöründe salam sucuk folyoları PA6'dan yapılmaktadır. PA66 sert, rijit, sıcaklık

altında şeklini koruyabilen ve aşınmaya karşı dayanıklı bir malzemedir. PA11 ve PA12 ise, poliamidlerin en az nem alma özelliğine sahip olan türleridir.

1.3.1 Poliamidlerin Elde Edilmesi

Poliamidler lineer zincir yapılarında amid grubu içeren termoplastik malzemelerdir. Poliamidin molekül zinciri iki temel gruptan oluşmaktadır. Birinci monomer grupta PA6, PA11 ve PA12; ikinci monomer grupta PA66, PA610, PA612 yer almaktadır. Şekil 1.5'te Poliamid 6 ve Poliamid 66'nın moleküler yapısı görülmektedir.



Şekil 1.5 Poliamid 6 ve Poliamid 66 tipi malzemelerin moleküler yapısı (Walter, Günther ve Siegfried, 1992)

Birinci ve ikinci monomer grupta bulunan poliamid tiplerinin moleküler yapılarını elde edebilmek için Şekil 1.5'te görülen formüllerde x ve y yerine konulması gereken sayılar aşağıda belirtilmiştir:

Birinci monomer grup için;

PA6 (x=5)

PA11 (x=10)

PA12 (x=11)

İkinci monomer grup için;

PA66 (y=4)

PA610 (y=8)

PA612 (y=10)

1.3.2 Poliamidlerin Özellikleri

Poliamidler yüksek mol kütleli, doğrusal yapılı bir polimer sınıfıdır. Katı, opak, bazen de saydam görünümlü, bağıl yoğunluğu $1,07-1,18\text{g/cm}^3$ arasında değişebilen termoplastik bir malzemedir. Saydam türleri ışığı %85-90 oranında geçirirler. Açık hava koşullarına bırakılan poliamid hafif sararak mekanik özelliklerinden bir miktar kaybeder. Petrol yağları, alifatik ve aromatik hidrokarbonlar, keton ve esterlere karşı direnci iyidir. Fenol, krezol ve formik asit oda sıcaklığında polimeri çözerler. Bundan da yararlanılarak mol kütlesi tayini yapılır. Alkalilere karşı dayanıklı olan poliamid, kuvvetli asitler ve oksitleyici maddelerden etkilenir. Poliamid granüllerine istenilen çeşitli özellikleri vermek üzere pigment, cam elyafı gibi dolgu maddeleri katılabilir. Aşınma, yorulma ve çekme dayanımları çok iyi olan poliamidler nem alma özelliğinden dolayı enjeksiyon makinesine verilmeden önce numunenin cinsine göre belirli sıcaklık ve sürelerde kurutulur. Çünkü, enjeksiyon prosesi öncesi poliamid %0,2'den fazla nem içeriyorsa ürünün mekanik özelliklerinin kötü yönde etkilenmesi yanında yüzeyinde de kusurlar görülür. Cihazdan çıkan parçalar ise gerilmeleri gidermek amacıyla sıcak suya atılarak bir süre bekletilir. Bir örnek vermek gerekirse 25 mm kalınlığında bir PA parça 70°C 'deki suda 15 dakika kadar bekletilmelidir. Gerilmeleri alma uygun bir fırın 140°C 'de 15 dakika tutularak da yapılabilir. Fakat sıcak sulu sistem bünyesel nem ayarlanması bakımından tercih edilmektedir. Bazen daha etkili olarak gerilme alıcı ve nemlendirici özellikte sıcak potasyum asetat çözeltisi kullanılır. PA66'da olduğu gibi bazı tipler çok nem alır. Bu değer %8,5'e ulaştığında malzemenin mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilenir. PA6, PA10, PA11 ve PA12 ise az nem aldıklarından teknik ve ticari değerleri yüksektir. Poliamidin su buharı, hava, oksijen geçirmezliği de iyidir. Bakteri ve mantar barındırmaz.

Yumuşama sıcaklığı yüksek olduğundan, poliamid eşya sterilize edilebilir. Mekanik özelliklerini 100°C'de bile korur, hatta PA66 için bu sıcaklık 150°C'dir. PA esaslı malzemelerin farklı ortamlarda nem alma miktarları ve malzemenin mekanik özellikleri Tablo 1.1'de gösterilmiştir (Walter ve Günther, 1992).

Tablo 1.1 PA tiplerinin nem alma miktarları ve mekanik özellikleri

PA Türü		PA6	PA6 GF30	PA66	PA6 GF35	PA11	PA12
Yoğunluk (g/cm ³)		1,13	1,36	1,14	1,4	1,04	1,02
Nem alma yüzdesi (%)	23°C Sıcaklık, RH 50	2,5 – 3,5	1,6 – 2,2	2,5 – 3,1	1,5 – 1,9	0,8 – 1,2	0,7 – 1,1
	23°C Sıcaklık, Su içinde	9 – 10	5,7 – 6,3	8 – 9	4,7 – 5,3	1,6 – 2,0	1,3 – 1,7
Elastisite modülü (N/mm ²)		1400	5000	2000	10000	1000	1600
Kopma dayanımı (N/mm ²)		40	100	65	160	50	45
Kopma Uzaması (%)		200	-	150	5	500	300
Çentik darbe dayanımı (kJ/m ²)		25	17	20	14	40	10 – 20

Poliamidler nem alma özelliklerinden dolayı %1'e yakın boyut artışına uğrayabilir. Bu nedenle, kalıp tasarım ve üretiminde bu poliamidlerin bu özelliğinin gözardı edilmemesi gerekmektedir.

BÖLÜM İKİ

SICAK PLAKA KAYNAĞI

2.1 Polimer Esaslı Malzemelerin Kaynakla Birleştirilmesi

Polimer esaslı malzemelerin kaynakla birleştirilmesi, kaynak edilecek parçaların birleşme bölgelerinin ısıtılmasının ardından, basınç altında birbirleriyle temas ettirilerek, malzemelerin moleküllerinin çapraz bağlar oluşturmasıyla sonuçlanan bir birleştirme işlemidir. Kaynaklı edilecek parçalar, kaynak bölgesini doldurmak için dolgu malzemesi kullanılarak veya dolgu malzemesi kullanılmadan birleştirilebilmektedir. Kaynaklı birleştirme, amorf yapıdaki plastikler için camsı geçiş sıcaklığının altında, kısmi kristal yapıdaki plastikler için ise ergime sıcaklığının altında gerçekleştirilir.

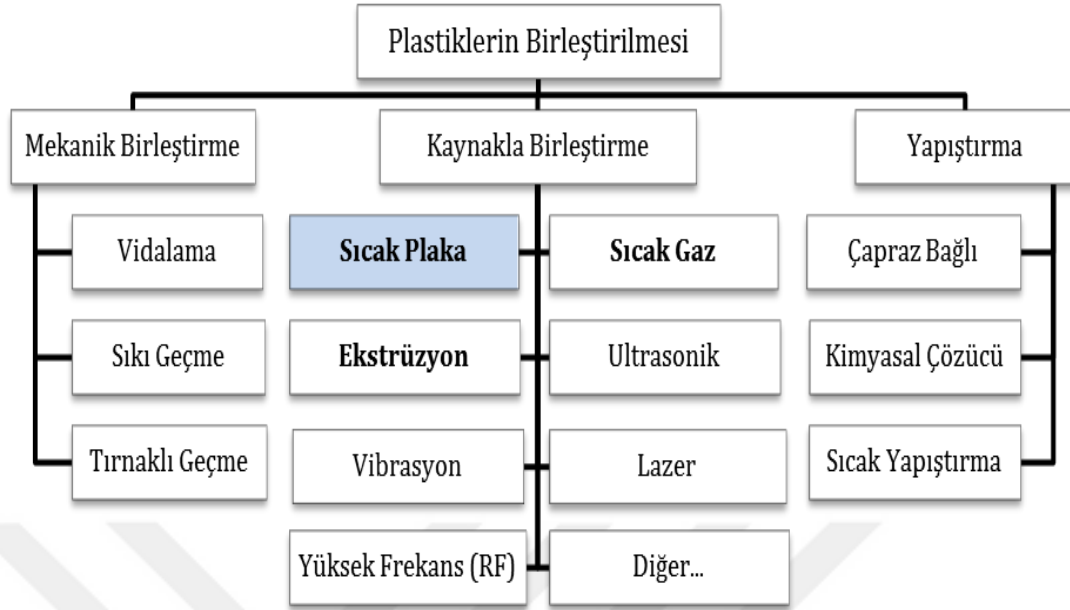
Termoset malzemelerin birbiriyle kaynaklanması mümkün değildir. Çünkü bu tip malzemelerde kaynak edilecek yüzeyleri eritmek amacıyla, malzemeye çapraz bağların deforme olmasını sağlayacak miktarda ısı verilirse malzeme bu yüksek sıcaklıktan dolayı ergimez ve yanar.

Plastik kaynağı, çeşitli yöntemlerle yapılabilmektedir. Plastik kaynağı çeşitleri şunlardır:

- Sıcak Gaz Kaynağı
- Sıcak Plaka Kaynağı
- Ultrasonik Kaynak
- Ekstrüzyon Kaynağı
- Vibrasyon kaynağı
- Yüksek Frekans (RF) Kaynağı
- Lazer Kaynağı

Plastikler, kaynakla birleştirmenin yanı sıra mekanik olarak ve yapıştırma yöntemleriyle de birleştirilebilmektedir. Plastiklerin birleştirme yöntemlerinin tamamı Tablo 2.1’de görülmektedir.

Tablo 2.1 Plastiklerin birleştirilme yöntemleri



2.2 Sıcak Plaka Kaynağı

Sıcak plaka kaynak yöntemi 60'lı yıllardan günümüze kadar termoplastiklerin kaynak ile birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Sıcak plaka kaynağı ile birleştirilecek olan termoplastik parçalar, tanımlanmış plaka sıcaklığında ve ısıtma süresinde ısıtıcı plakaya temas ettirilerek ergimesi sağlanır. Daha sonra birbirine bastırılan parçaların kaynakla birleşmesi sağlanır.

Genel olarak SPK prosesinde kaynak işlemi iki prensip ile yapılabilir. Bunlardan birincisi basınç kontrol edilerek proses gerçekleştirilir. İkincisinde ise basınç sabit tutularak, hareket ve konum kontrolü ile proses gerçekleştirilir. Bu çalışmada kullanılan kaynak makinesi, hareket ve konum kontrol prensibine göre tasarlanmıştır. Çalışmada kullanılan SPK makinası Şekil 2.1'de görülmektedir.



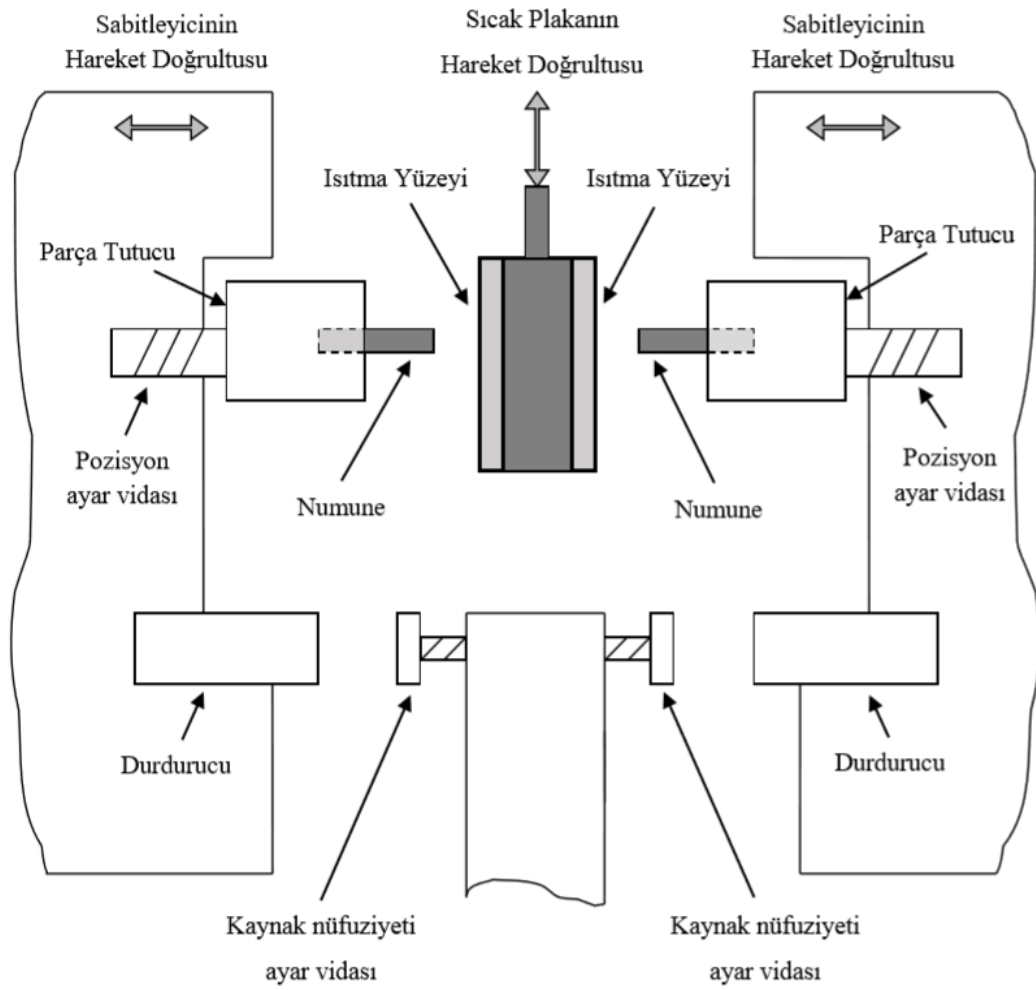
Şekil 2.1 SPK makinası (Kişisel arşiv, 2018)

SPK makinası temel olarak üç ana üniteden oluşmaktadır. Bu üniteler ısıtıcı plaka grubu, pnömatrik hareket grubu, kontrol ünitesidir. Isıtıcı plaka grubu farklı termoplastik malzemeleri de kaynakla birleştirebilmek için yüzey sıcaklıklarının birbirinden bağımsız ısıtılmasına olanak sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.

Pnömatrik hareket grubunda lineer hareketi sağlayan üç pistondan ikisi kaynakla birleştirilecek numuneleri sıcak plakalara yaklaştırmak, ısıtıldıktan sonra çekmek ve

kaynak işlemi için numuneleri birbirine yaklaştırmak amacıyla kullanılır. Üçüncü piston ise sıcak plaka grubunun aşağı yukarı hareket ettirilmesini sağlamaktadır.

Kontrol ünitesinde ise piston hareketleri, konumlandırmalar, ısıtıcılar, sıcaklıklar, plaka ısıtma süreleri, kaynak süreleri, bekleme süreleri otomatik olarak kontrol edilir. Şekil 2.2’de SPK makinasının şekli ve çalışma prensibi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.2 SPK makinasının şematik gösterimi

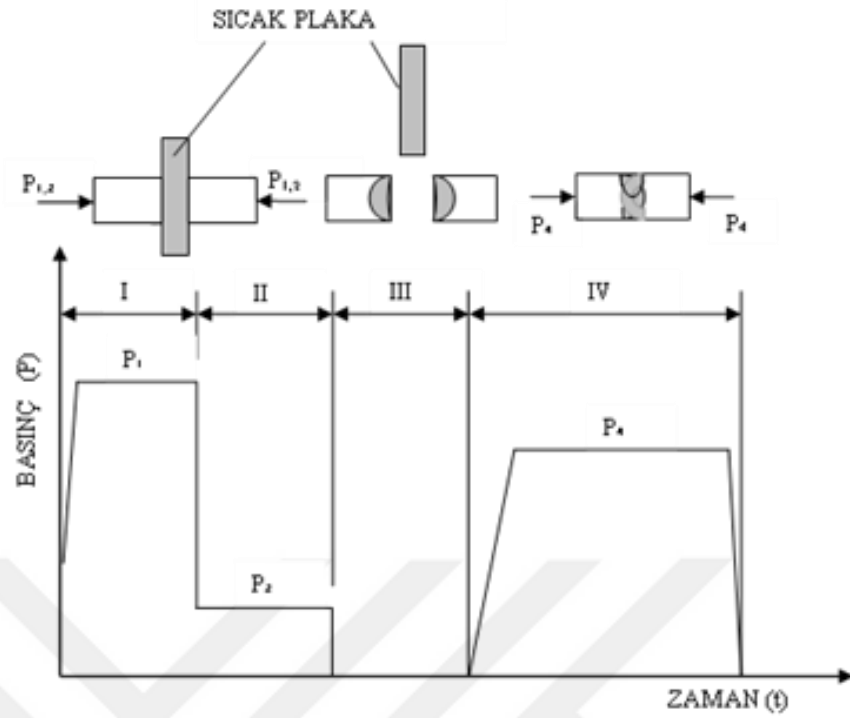
Sıcak plaka kaynağı dört proses adımından oluşmaktadır. Proses aşamaları sırasıyla aşağıda tanımlandığı gibidir:

1. aşamada, belirlenen ısıtma süresinde ve ısıtıcı plaka sıcaklığında, ısıtıcı plakadan kaynak ile birleştirilecek olan parçaya ısı transferi gerçekleşmektedir. Bu aşamada parçanın tam olarak ısıtıcı plakaya temas ettiğinden emin olunmalıdır.

2. aşamada, ergime sıcaklığına gelen poliamid parçadaki eriyik malzeme akışkan hale gelmeye başlar. Termal genişlemeye bağlı olarak ergimiş poliamidin bir kısmı sıcak plaka yüzeyinde damlacık oluşturur ve basınç sabit tutulduğu için eriyik tabaka kalınlaşır. Isıtma süresine bağlı olarak eriyik bölge ilerler.

3. aşamada, parçaların arasından ısıtıcı plaka çekilir. Kaynak bölgesinde soğumanın önlenmesi için ısıtıcı plakanın hızlı bir şekilde plastik parçalar arasından çekilmesi (maks. 3s) önerilir (Ehrenstein, 2004), şayet bu süre uzun olursa kaynak kalitesi olumsuz etkilenecektir.

4. aşamada, malzemeler belirlenen yaklaşma mesafesinde (birleştirme stroğu) sabit basınç altında (2 bar) birleştirilir. Ergiyen parçanın birleşme bölgesi çevresince soğuma ve katılaşma esnasında kaynak bölgesinden dışarıya doğru malzeme akışı meydana gelmektedir (Kocatüfek, 2013). Sıcak plaka kaynağıyla birleştirilecek olan parçaların proses aşamaları ve basınç - zaman grafiği Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Sıcak plaka kaynağı proses aşamaları

Sıcak plaka kaynağında kaynak mukavemetine etki eden parametreler, malzeme, ısıtıcı plaka sıcaklığı, ısıtma süresi, birleştirme basıncı ve birleştirme stroğudur. Bu çalışmada PA6 ve PA6 GF15 için ısıtma süresi 25 s, kaynak mesafesi 1 mm; PA6 GF30 için, ısıtma süresi 30 s, kaynak mesafesi 1,5 mm; PA6 ve PA6 GF15 için plaka sıcaklıkları sırası ile 250°C, 270°C, ve PA6 GF30 için 270°C olarak seçilmiştir (Kocatüfek, 2013). Kaynakla birleştirme işlemleri Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

2.3 Sıcak Plaka Kaynağı ve Şartlandırma ile İlgili Yapılmış Olan Çalışmalar

Son yıllarda teknolojik gelişmelere ve üretim tekniklerine paralel olarak, farklı termoplastik malzemelerin kaynakla birleştirilmesi bilim insanlarının odaklandığı temel araştırma konularından biri olmuştur. Sıcak plaka kaynak yöntemi enjeksiyon, ekstrüzyon ve diğer üretim yöntemleriyle üretilen termoplastik malzemelerin kaynakla birleştirilmesinde tercih edilen önemli bir kaynakla birleştirme prosesidir.

Bu kapsamda, Olivera ve diğer. (2001), PP esaslı malzemeleri sıcak plaka kaynak yöntemi ile birleştirerek kaynak bölgesinin mekanik özelliklerini ve mikro yapısını incelemişlerdir. Yapmış oldukları araştırmada, en iyi kaynak mukavemetine etki eden parametrelerin plaka sıcaklığı 240°C, ısıtma süresi 50 s ve birleştirme stroğu 0,35 mm olarak belirlemişlerdir. Olivera ve diğer. (2001), yapmış oldukları bir diğer araştırmada ise, %20 ve %30 oranında talk katkılı PP malzemeleri sıcak plaka kaynağı ile birleştirerek, talk katkısının kaynak mukavemetine etkisi üzerine çalışmışlardır Bu araştırmada talk oranının artmasının PP malzemelerde kaynak mukavemetinin azalmasına neden olduğunu saptamışlardır. Talk katkı oranı %20 olan PP malzemelerde kaynak mukavemetinde maksimum %50 oranında olurken, %30 katkılı PP malzemelerde kaynak mukavemeti %45 oranında olmuştur. Shih ve Cheng (2010), PP ve cam elyaf katkılı (%20 - %30) malzemeleri, sıcak plaka kaynak yöntemi ile birleştirerek kaynak bölgesini incelemişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda kaynak kalitesine etki eden parametrelerin plaka sıcaklığı, ısıtma süresi ve kaynakla birleştirilecek yüzey geometrisi en etkili parametreler olduğunu tespit etmişlerdir.

Watson ve Murch (1989), termoplastik malzemelerden PP, HIPS, PPO üzerinde yapmış oldukları araştırmalarda, sıcak plaka kaynağı için en önemli kaynak parametrelerinin, plaka sıcaklığı ve ısıtma süresi olduğunu tespit etmişlerdir.

Stokes (1998), plaka sıcaklıklarının ayrı ayrı kontrol edilebildiği çift plakalı sıcak plaka kaynak makinasında üç farklı polimerin birbirleriyle kaynak edilebilirliğini araştırmıştır. Bu çalışmalarda termoplastik malzeme olarak PEI, PC ve PBT kullanılmıştır. Bu deneysel çalışmada ısıtma süresiyle ergimiş malzeme film kalınlığı, kaynak bölgesindeki taşan malzeme miktarı ise kaynak makinası üzerine yerleştirilmiş olan iki farklı stoplama pimleri ile kontrol altına alınmıştır. Bu araştırmada yukarıda belirtilen termoplastik malzemeler alın tipi kaynak yöntemi ile birleştirilerek, plaka sıcaklığı ve ısıtma süresine bağlı olarak kaynak mukavemetindeki değişimler incelenmiştir. Stokes yapmış olduğu bu çalışma ile farklı termoplastiklerin birbirleriyle kaynak edilebileceğini kanıtlamıştır.

Strokes (1999), yapmış olduğu diğerk bir araştırmada ise PC malzemenin sıcak plaka kaynağı ile birleştirilmesinde malzemenin nem alma miktarının kaynak mukavemetine etkilerini araştırmıştır. Çalışmanın sonucunda ön ısıtma yapılmış olan hammadde ile üretilmiş numunelerin kaynak mukavemetlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Stokes ve Conway (2001), farklı ticari termoplastik malzeme karışımlarının sıcak plaka kaynağı yöntemiyle kaynak edilebilme kabiliyetlerini ve kaynak mukavemetlerini incelemişlerdir. Çalışmada PC/ABS, PC/PBT ve PFO/PA karışımlarından (blend) retilen 3,2 mm kalınlığında kaynak numuneleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda bu malzeme grupları için en uygun kaynak parametrelerinin, plaka sıcaklığı, ısıtma süresi ve kaynak nüfuziyeti olduklarını tespit edilmişlerdir.

Lee ve diğerk. (2012), yapmış oldukları araştırmada çift cidarlı PE boruları alın altına sıcak plaka kaynak yöntemiyle birleştirerek, kaynaklı numunelerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Bu araştırmada da plaka sıcaklığı ve ısıtma süresi temel kaynak parametresi olarak ön plana çıkmıştır. Kaynakla birleştirilen boruların kaynak kalitesi borulara içeriden uygulanan basınçlı hava testi ile kontrol edilmiştir. Araştırma sonucunda, sıcak plaka kaynağı ile atık su borularının başarılı bir şekilde yeniden kaynakla birleştirilerek tamir edilebileceğı doğrulanmıştır.

Kocatüfek (2013), mühendislik plastiklerinden olan PA ve cam elyaflı türevlerini sıcak plaka kaynak yöntemiyle birleştirilerek kaynak parametrelerinin optimizasyonu üzerine çalışmıştır. Yapılan araştırmada PA6 ve PA6 GF15 için en uygun kaynak parametreleri ısıtma süresi 25s, kaynak mesafesi 1mm olduğu, PA6 ve PA6 GF15'te plaka sıcaklığının sırasıyla 250°C, 270°C olduğu tespit edilmiştir. PA6 GF30 için en uygun kaynak parametreleri ise plaka sıcaklığı 270°C, ısıtma süresi 30 s, kaynak mesafesi 1,5 mm olarak bulunmuştur.

Termoplastik malzemelerin monomer yapısına bağlı olarak nem alma davranışları değişmektedir. Bu durum malzemenin mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Suyun molekler yapısında ortaklaşmamış elektronlar bulunduğundan

su molekölü polar yapıdadır. Monomer yapısında C, H dışında N₂ ve O₂ olan PA malzemelerin makro moleköler yapıları da polardır. Bu nedenle makro moleköler yapıları polar olan polimerlerin nem alma özellikleri vardır. Apolar yapıdaki polimerler (PE gibi) ise nem almazlar. Ayrıca sıcak su nem alma tepkimesini hızlandırmaktadır. Bu yüzden şartlandırma sıcaklığı arttıkça PA malzemenin nem alma yüzdesi de artmaktadır. Vlasveld ve diğer. (2005), PA6 silikat katkılı nano kompozitlerin nem miktarındaki değişimi ve bunun sonuçlarının malzemenin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu araştırmada farklı silikat miktarlarına sahip PA6 nano kompozitlere nem aldırılarak, elastisite modülündeki ve süneklikteki değişim incelenmiştir. Araştırma sonucunda, numunelerin silikat oranı arttıkça elastisite modülünün arttığı, nem miktarının artmasıyla da elastisite modülünün azaldığı tespit edilmiştir.

Chaichanawong ve diğer. (2016) ise, PA66 ve cam elyaf takviyeli türevlerini 60 gün boyunca saf suda bekleterek nemin malzemelerin mekanik özelliklerindeki değişimini araştırmışlardır. Bu araştırmada, ilk 7 günde malzemenin mekanik özelliklerinin önemli ölçüde azaldığı ve nem alma miktarının ise arttığı görülmüştür.

Bascheka ve diğer. (1999), PEI, PEEK, PES, PC, PA12 ve PA6 malzemelerin 4 – 320 K sıcaklık aralığında nem alma davranışlarını incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada çok düşük sıcaklıkta nem alma miktarının, mekanik mukavemeti beklenmedik bir şekilde etkilediği ve düşük sıcaklıklarda elde edilen bu sonuçların, hidrojen bağlı suyun özelliklerini daha iyi anlamak için bir araç olabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Moralıoğlu (2013), ASTM D 618 standardına uygun olarak enjeksiyon metodu ile PA6 ve PA66 malzemelerden çekme numuneleri üreterek, malzemelerin nem alma davranışının mekanik özelliklere etkisini incelemiştir. Yaptığı çalışmada çekme numunelerini 80°C su içerisinde 10, 20 ve 30 saat süre ile şartlandırmıştır. Araştırma sonucunda, PA6 ve PA66 malzemelerinin nem alma sonrasında akma ve kopma mukavemetlerinin azaldığı, sünekliğinin, darbe dayanımının ve yüzde uzama değerlerinin ise arttığı görülmüştür.

Yapılan literatür araştırması sonucunda sıcak plaka kaynağı ile birleştirilen ve apolar özellikteki termoplastik malzemelerin nem alma davranışının kaynak mukavemetine etkisi konusundaki eksikliğin yapılan bu çalışma ile giderilmesi amaçlanmıştır. Araştırmada PA6 ve cam elyaf katkılı türevlerinden üretilmiş numuneler sıcak plaka kaynağı ile birleştirildikten sonra, 2-16 saat aralığında süreler ile -20°C ile 60°C sıcaklık aralığında yapay olarak şartlandırılarak mekanik özellikleri incelenmiştir.



BÖLÜM ÜÇ

DENEY NUMUNELERİNİN ÜRETİMİ

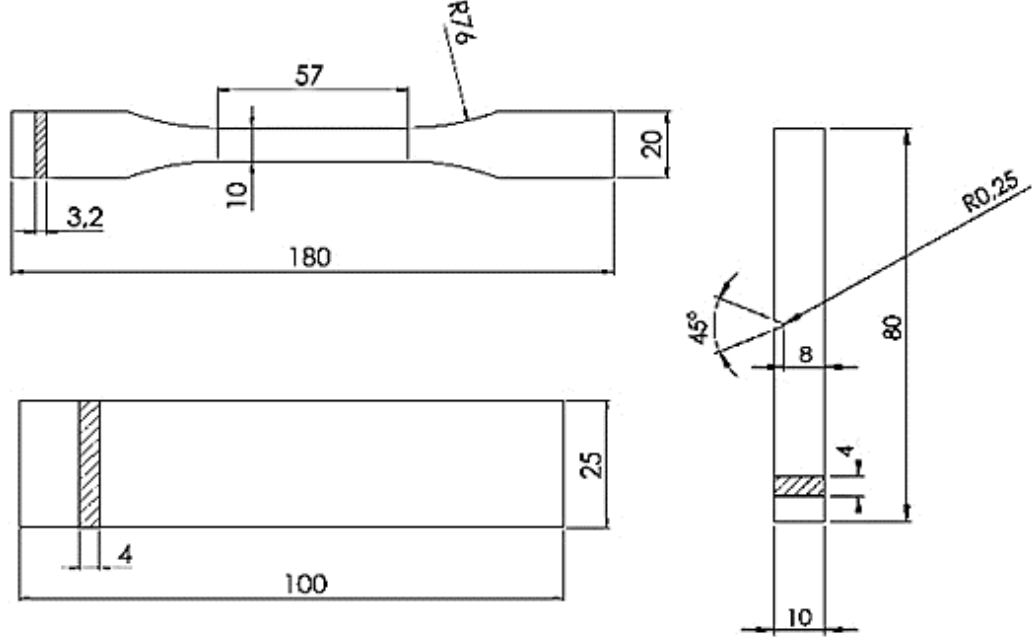
3.1 Plastik Enjeksiyon Yöntemiyle Numune Üretimi

Bu çalışmada PA6, PA6 GF15 ve PA6 GF30 tipi malzemeler kullanılmıştır. Kaynak ile birleştirilecek numuneler, çentik darbe numuneleri ve çekme çubukları Ege Üniversitesi Polimer Teknolojileri Laboratuvarları'nda ASTM D 618 standardına uygun olarak, Mr. BOY 50T 38 mm vida çapındaki enjeksiyon makinesi ile üretilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Mr. BOY 50T enjeksiyon makinesi (Kişisel arşiv, 2018)

Çekme çubuğu, kaynakla birleştirilecek olan numune ve çentik darbe numunesine ait boyutlar Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Deney numunelerinin geometrik ölçüleri

Numunelerin plastik enjeksiyon yöntemiyle üretiminde öncelikle ham malzeme plastik enjeksiyon makinesinin besleyici kısmına dökülmüştür. Poliamid malzemenin nem tutma özelliğinin dolayı 4 saat boyunca 80°C’ sıcaklıkta kurutulmuştur. Kuruyan granüllerin, besleyicinin kapağı açılarak sonsuz vida yardımıyla ısıtıcı birimlere doğru ilerlemesi sağlanmıştır. Poliamid tipine uygun olarak bölgesel olarak artan bir sıcaklık dağılımı uygulanmıştır. Bölgelerden geçerek eriyik hale gelen poliamid olan daha sonra enjeksiyon ünitesinin son bölgesi olan meme bölgesine ulaşmıştır.

Deneyde kullanılacak numuneleri üretmek amacıyla özel tasarlanmış olan enjeksiyon kalıpları sırasıyla kalıba bağlanmıştır. Daha önceki üretimlerde optimize edilmiş olan proses parametrelerine uygun olarak numune üretimi yapılacak olan parça için makine proses ayarları yeniden yapılmıştır. Parça gramaj ağırlığına göre erimiş haldeki polimer 600 bar basınç altında ve 260°C sıcaklıkta kalıp boşluğuna enjekte edilmiştir. Erimiş haldeki polimerin öngörülen katılaşma sürecinde soğumasından

sonra enjeksiyon kalıbı açılarak iticiler vasıtasıyla numunenin kalıptan çıkarılma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kalıptan çıkarılmış olan numune çiftleri Şekil 3.3'te görülmektedir. Son olarak, yolluktan ayrılan numuneler, sıcak plaka kaynağı için kullanıma hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.3 Enjeksiyon kalıbından çıkarılmış numune çifti (Kişisel arşiv, 2018)

Tablo 3.1 PA esaslı malzemelerde farklı üretim proses şartları

PA ESASLI MALZEMELERDE PROSES ŞARTLARI							
PROSES TİPLERİ		Birim	PA6	PA66	PA610	PA11 PA12	PA6-3-T
Enjeksiyon	Eriyik sıcaklığı	°C	230-280	260-320	230-280	210-250	260-290
	Enjeksiyon basıncı	bar	700-1200	700-1200	700-1200	700-1250	700-1200
	Kalıp sıcaklığı	°C	80-90, özel durumlarda 120			40-80	70-90
	Çekme oranı	%	0,5-2,5	0,5-2,5	0,5-2,8	0,5-1,5	0,4-0,6
Ekstrüzyon	Eriyik sıcaklığı	°C	240-300	250-300	230-290	230,290	250-280
	Kütle basıncı	bar	150-300	150-300	150-300	150-300	150-300
Ekstrüzyonla Şişirme	Eriyik sıcaklığı	°C	250-260	270-290	230-250	200-230	240-255
	Kalıp sıcaklığı	°C	80	90	80	70	<40

3.2 Sıcak Plaka Kaynağı ile Numune Üretimi

Plastik enjeksiyonla üretilen PA6 ve cam elyaf katkılı türevlerinden oluşan numuneler, Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında sıcak plaka kaynak makinesinde birleştirilerek kaynaklı numuneler elde edilmiştir. Bu çalışmada PA6 ve PA6 GF15 için ısıtma süresi 25 s, kaynak mesafesi 1 mm; PA6 GF30 için, ısıtma süresi 30 s, kaynak mesafesi 1,5 mm; PA6 ve PA6 GF15 için plaka sıcaklıkları sırası ile 250°C, 270°C ve PA6 GF30 için 270°C olarak seçilmiştir (Kocatüfek, 2013). Şekil 3.4’de sıcak plaka kaynağı ile birleştirilmiş olan kaynaklı numune gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Sıcak plaka kaynağı ile birleştirilmiş kaynak numunesi (Kişisel arşiv, 2018)

BÖLÜM DÖRT

ŞARTLANDIRMA

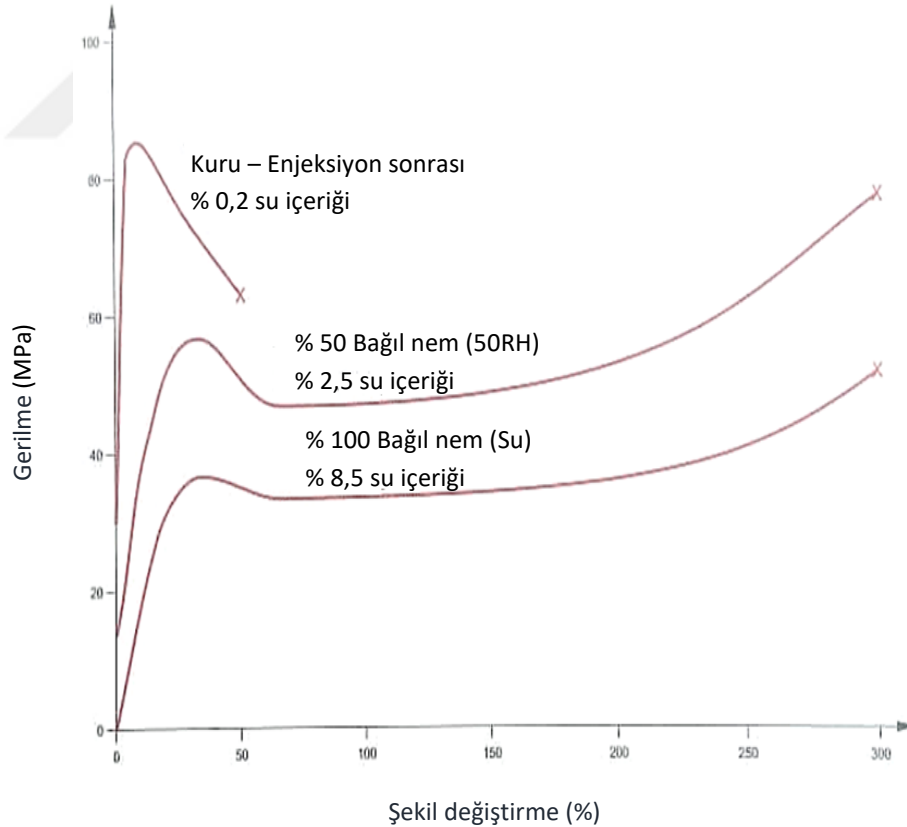
4.1 Poliamidlerin Şartlandırılması

Monomer yapısına bağlı olarak poliamid esaslı malzemelerin nem alma davranışları malzemenin bulunduğu ortama bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. PA ve türevlerinin nem alma davranışı, laboratuvar şartlarında %0,7 - %3,5 arasında değişirken, 23°C su sıcaklığında bekletilen PA tipi malzemelerin nem alma miktarı ağırlıkça %1,3 - %10 arasında değişmektedir. PA tipi malzemelerin nem alma miktarı, malzemenin mukavemet, sertlik ve süneklik/esneklik gibi malzeme özelliklerini etkilemektedir. Bu nedenle parça tasarım aşamasında kullanılacak yere uygun malzeme seçimi yapılması gerekir. Enjeksiyon ve ekstrüzyon prosesleri öncesinde PA tipi malzemeler, granülün içerisinde bulunan nem miktarına bağlı olarak 80 – 100°C sıcaklıkta 2 – 4 saat kurutulması gerekir. Polimer esaslı malzemelerde kaliteli bir ürün elde etmek için, üretim öncesinde malzemenin bünyesinde kalan maksimum nem miktarı % 0,2 seviyesinde olması literatürde önerilmektedir (Nanying ve diğer., 2004; Walter ve diğer., 1992; Wolfgang, 2015; Domininghaus, 1988; Johannaber ve Michaeli 2002). PA tipi malzemeler neme duyarlı (higroskopik) oldukları için metal (alüminyum) bariyerli HDPE torbalar içinde saklanarak ortamdan nem alması engellenmektedir. Plastik enjeksiyon metoduyla üretilen poliamid parçalar, ilk üretildiği anda tamamen kuru olarak kalıptan çıkar ve bu andan itibaren havadaki nemi bünyesine almaya başlar. Plastik parçadaki bu nem miktarı zamanla artar ve belirli bir süre sonra kararlı hale gelir. PA6 tipi malzemeler laboratuvar ortamında 4 ay gibi bir süre bekletildiklerinde %2,5 oranında nem alırlar. Bu nedenle PA tipi malzemelerin nem alma davranışını hızlandırmak için yapay olarak şartlandırmak gerekir. Kayma, aşınma direnci ve mekanik mukavemeti yüksek olan poliamidlerin genel olarak şartlandırma ile süneklikleri arttırılabilmektedir. Poliamid parçaların nem alma süresini kısaltmak ve nem oranını istenen değerde tutabilmek için parçalar su veya su buharı içerisinde bekletilerek şartlandırılır. Şartlandırma sonucunda poliamid esaslı malzemelerden üretilmiş olan parçalarda nem oranı kararlı hale gelir ve bu sayede üretilen ürün istenilen teknik özelliklere sahip olur. Eğer poliamid parçalar herhangi

bir şartlandırma ve depolama olmadan kullanılırsa ortamın neminden etkilenerek zamanla mekanik özelliklerinde ve ölçülerinde sapmalar meydana gelecektir.

Bu araştırmada, PA6, PA6 GF15 ve PA6 GF30 malzemelerden üretilen kaynaklı numuneler, çentik darbe numuneleri ve çekme çubukları, DEÜ Makine Mühendisliği Laboratuvarında bulunan sabit sıcaklık banyosunda -20, -10, 0, 30 ve 60°C sıcaklıklarda 2, 4, 8 ve 16 saat süreler ile bekletilerek şartlandırılmıştır. Her bir sıcaklık için minimum 3'er adet numune şartlandırılarak sonuçlar ortalama üzerinden değerlendirilmiştir. Numunelerin bu şartlandırma işleminden önceki (W_i) ve sonraki ağırlıkları (W_s) 1/10.000 hassasiyete sahip terazi ile ölçülerek, numunenin bünyesine aldığı nemin yüzdesi aşağıda verilen formülden hesaplanmıştır.

$$\%W = (W_s - W_i) / W_i \times 10$$



Şekil 4.1 Kuru – enjeksiyon sonrası, %50 bağıl nemde beklemiş (50 RH) ve suda beklemiş PA6'nın gerilme – şekil değiştirme grafiği (Wolfgang, 2015)

Şekil 4.1’de PA6 tipi malzemenin kuru, %50 bağıl nemde (50RH) beklemiş ve suda beklemiş hallerinin gerilme – şekil değiştirme grafikleri görülmektedir.

4.2 Nomogram Kullanımı ve Örnek Hesaplama

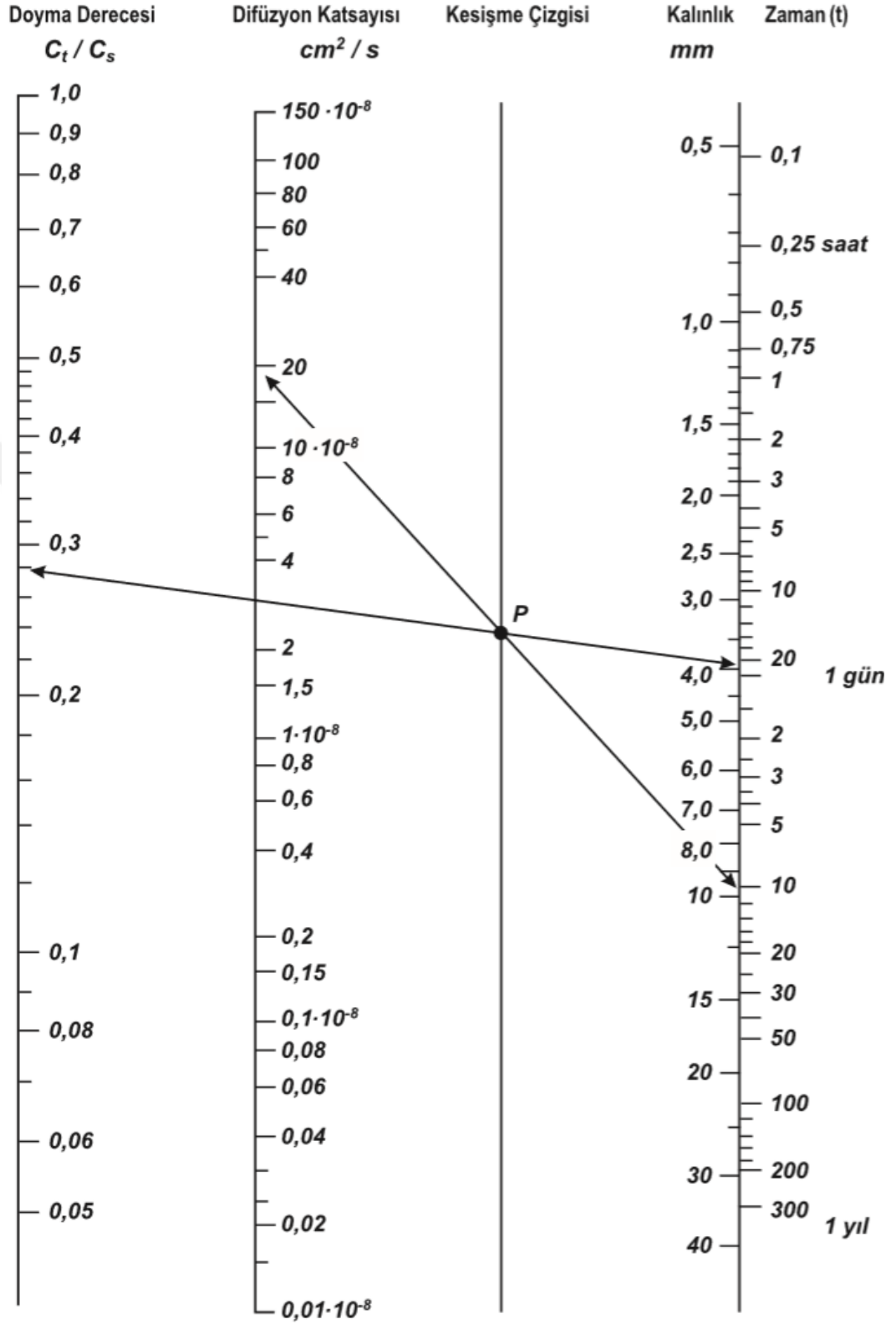
Poliamid parçaların şartlandırılma süresi, Tablo 4.1’de verilen difüzyon katsayısı tablosu ve Şekil 4.2’de verilen nomogram kullanılarak hızlı ve pratik olarak bulunabilir. Hesaplamanın anlaşılabilmesi için PA6 malzemeden üretilmiş bir parçaya ait örnek verilmiştir:

Örnek: Kalınlığı 10 mm olan PA6 parça 80°C sıcaklıkta şartlandırılmak istenirse aşağıdaki sıralamaya göre işlem yapılır;

1. Şekil 4.2’den difüzyon katsayısı (D) $20 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$ olarak alınır.
2. Parça kalınlığı (10mm) ile difüzyon katsayısı $20 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$ bir doğru ile birleştirilerek kesişme çizgisi üzerinde bir referans noktası (P) oluşturulur.
3. C_s Tablo 1’den alınır (%8,5).
4. C_t/C_s oranı 0,28 olarak hesaplanır. Bu örnekte mevcut nem oranı C_t %2,3 olarak alınmıştır. (DIN 53495’te plastik parçaların nem miktarının nasıl bulunacağı detaylı bir şekilde tanımlanmıştır.)
5. C_t/C_s (0,28), noktası ile referans noktası (P) bir doğru ile birleştirilerek zaman ekseninde şartlandırma süresi 20 saat olarak bulunur.

Tablo 4.1 Doymuş su miktarı-sıcaklığa bağlı difüzyon katsayısı tablosu (Yeni, Sayer, ve Ülker, 2010)

Poliamid Tipleri	C_s (%)		$D \cdot 10^{-8} \text{ (cm}^2/\text{s)}$					
	Doymuş Su Miktarı		Sıcaklığa Bağlı Difüzyon Katsayısı					
	$\leq 80^\circ\text{C}$	$> 80^\circ\text{C}$	20°C	40°C	60°C	80°C	100°C	120°C
PA6	8,5–9	10	0,4	1,5	5,5	20	55	150
PA6-GF30	5,8	6	0,4	1,5	5,5	20	55	150
PA66	7,5–8	9	0,2	0,9	3,5	12	35	90
PA66-GF30	5,0	5,5	0,2	0,9	3,5	12	35	90



Şekil 4.2 Şartlandırma süresi ve nem alma miktarı nomogramı (Yeni ve diğer., 2010)

Şartlandırma süresi plastik parçaların et kalınlık oranlarının karesiyle doğru orantılıdır. Örneğin, kalınlığı 1,5mm olan poliamid parçada, hedeflenen nem miktarının sağlanabilmesi için 18 saat gerekli ise, aynı şartlandırma koşullarında, kalınlığı 3 mm olan parça için 72 saat gerekir (“BASF Technical Information”, 2018).

Depolama, poliamid parçalardaki nem miktarının kullanım yerine uygun ve kararlı hale gelmesi için yapılır. Burada ölçüsel kararlılığın yanı sıra, parçanın istenen mekanik özelliklere de ulaşması sağlanır. Depolamada şartlandırma sonrasında poliamid parçalardaki fazla nemin bir miktarı difüzyon yoluyla dış ortama atılırken, bir miktarı da parçanın dış yüzeyinden içe doğru hareket ederek, parça kesitinde nemin dengelenmesini sağlar.

BÖLÜM BEŞ

DENEY NUMUNELERİNE UYGULANAN TESTLER

5.1 Çekme Testleri

Çekme çubukları ve kaynaklı numunelerin çekme testleri, DEÜ Makine Mühendisliği Bölümü Kompozit Araştırma ve Test Laboratuvarı'nda bulunan, 100 kN yük kapasitesine sahip Shimadzu AG-X çekme testi cihazında, 5mm/dk çekme hızında ve oda sıcaklığında yapılmıştır.



Şekil 5.1 Shimadzu AG-X çekme testi cihazı (Kişisel arşiv, 2018)

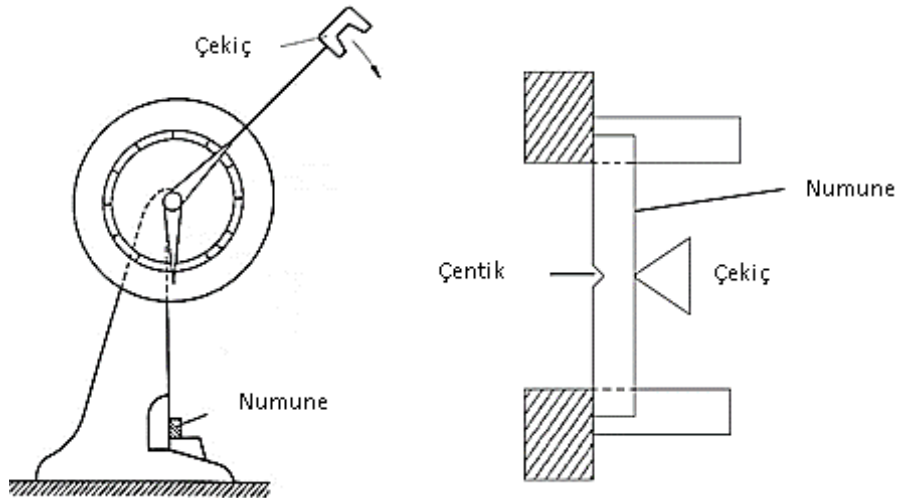
Her bir şartlandırma su sıcaklığında (-20, -10, 0, 30 ve 60°C) 16 saat bekletilen numunelere, TS EN ISO 527 standardına uygun olarak çekme testi uygulanmıştır. Çekme testi standardında belirtildiği gibi, çekme çubuğunda $L_0 = 50$ mm, kaynaklı numunelerde ise $L_0 = 100$ mm alınarak, numuneler ile ilgili gerilme (σ) – uzama (ϵ) eğrileri elde edilmiştir. Şekil 5.2’de sıcak plaka kaynağı ile birleştirilmiş olan kaynak numuneleri gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Sıcak plaka kaynağı ile birleştirilmiş kaynak numunesi (Kişisel arşiv, 2018)

5.2 Çentik Darbe Testleri

Ege Üniversitesi Polimer Teknolojisi Laboratuvarında ASTM D 618 standardına uygun olarak enjeksiyon metodu ile PA6 ve cam elyaf katkılı türevlerinden üretilen çentik darbe numunelerine çentik darbe testi, DIN 53453 standardına uygun olarak, DEÜ Makine Mühendisliği Mekanik Laboratuvarı’nda gerçekleştirilmiştir. Her bir şartlandırma su sıcaklığı (-20, -10, 0, 30 ve 60°C) için 4’er adet numune çentik darbe testine tabii tutulmuştur. Charpy metoduna göre gerçekleşen çentik darbe testinin uygulandığı Şekil 5.3’te gösterilmiştir.



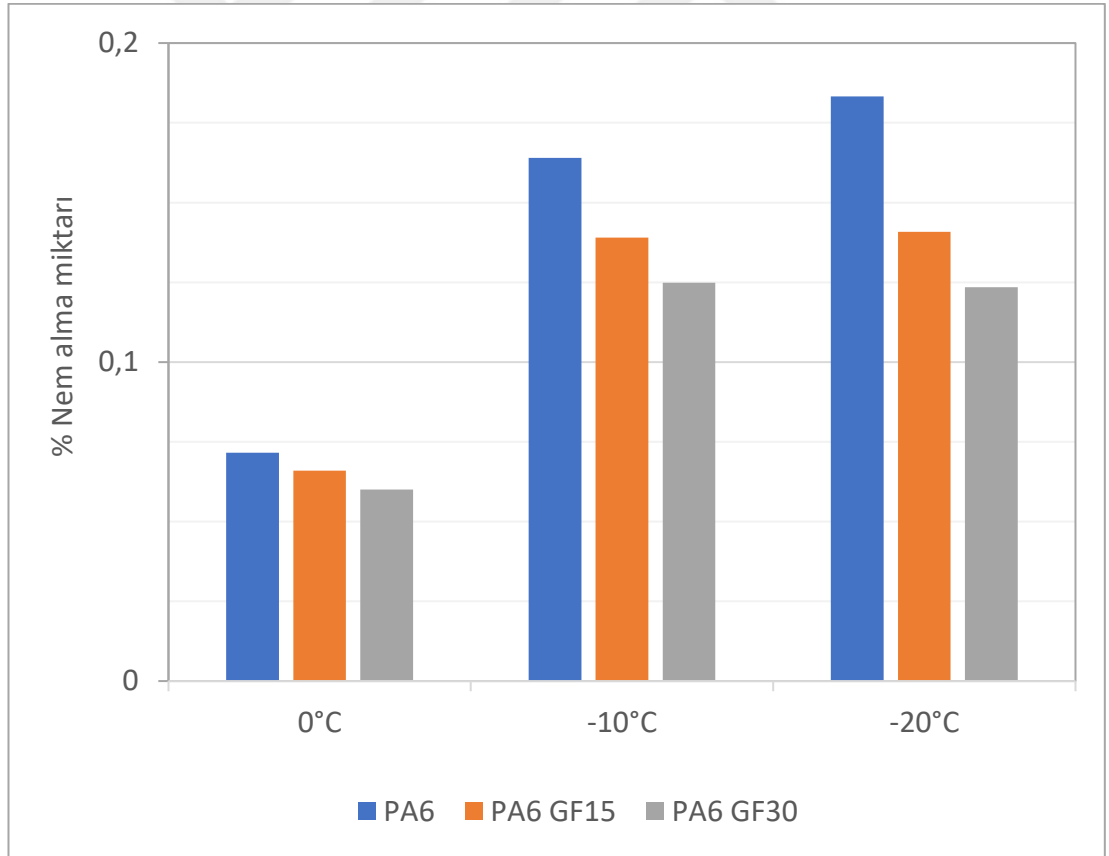
Şekil 5.3 Çentik darbe deney numunesinin yerleşimi ve deney düzeneği

BÖLÜM ALTI

SONUÇLAR

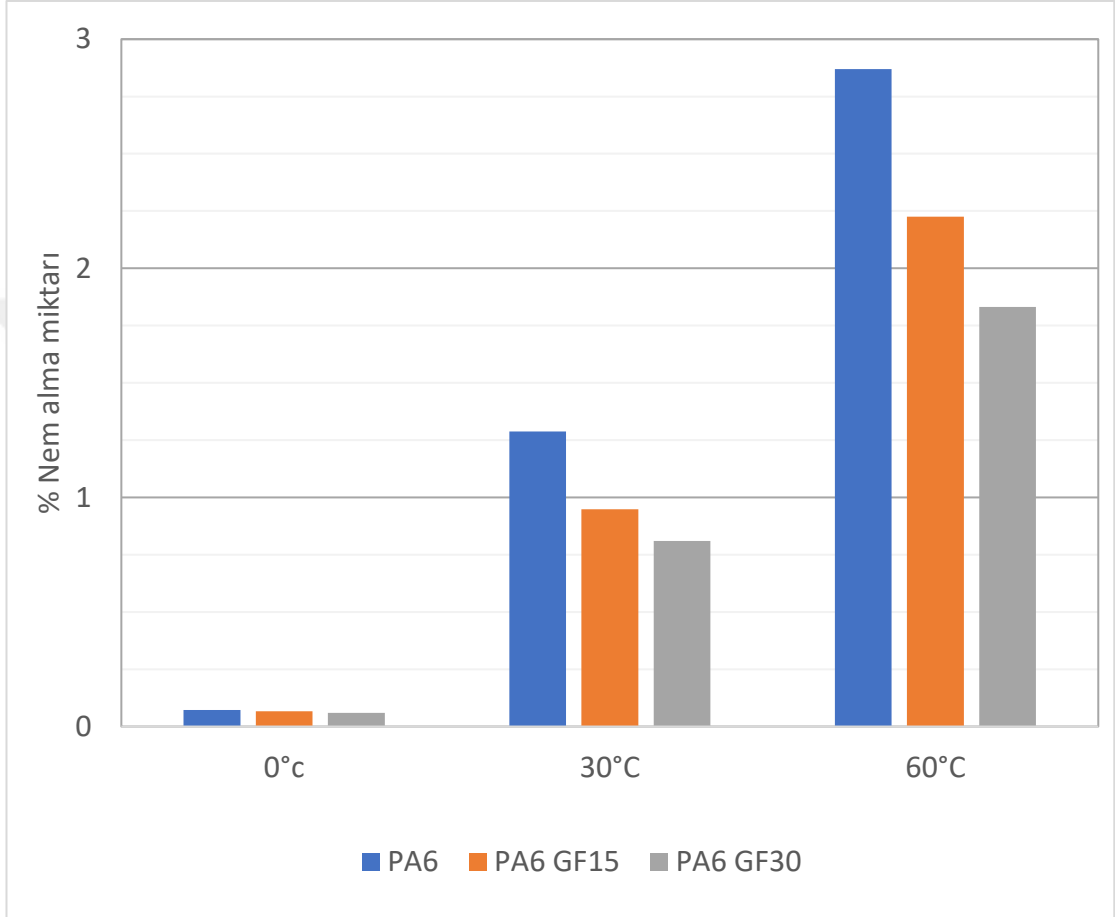
6.1 Numunelerin Nem Alma Miktarları

Kaynaklı numuneler, çentik darbe numuneleri ve çekme çubukları su banyosunda 16 saat süreyle -20°C, -10°C, 0°C, 30°C, 60°C sıcaklıklarda ve 2, 4, 8 saat sürelerle sadece 60°C sıcaklıkta bekletilerek yapay olarak şartlandırılmıştır. Hassas terazi ile tartılan numunelerin ağırlıkça nem alma yüzdelerinin ortalamaları farklı malzeme tiplerine göre Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te verilmiştir. Ağırlık ölçümleri sonucunda, sıfırın altındaki sıcaklıklarda (0, -10 ve -20°C) numunelerin düşük oranda (%0,06 - %0,18) nem aldığı görülmüştür.



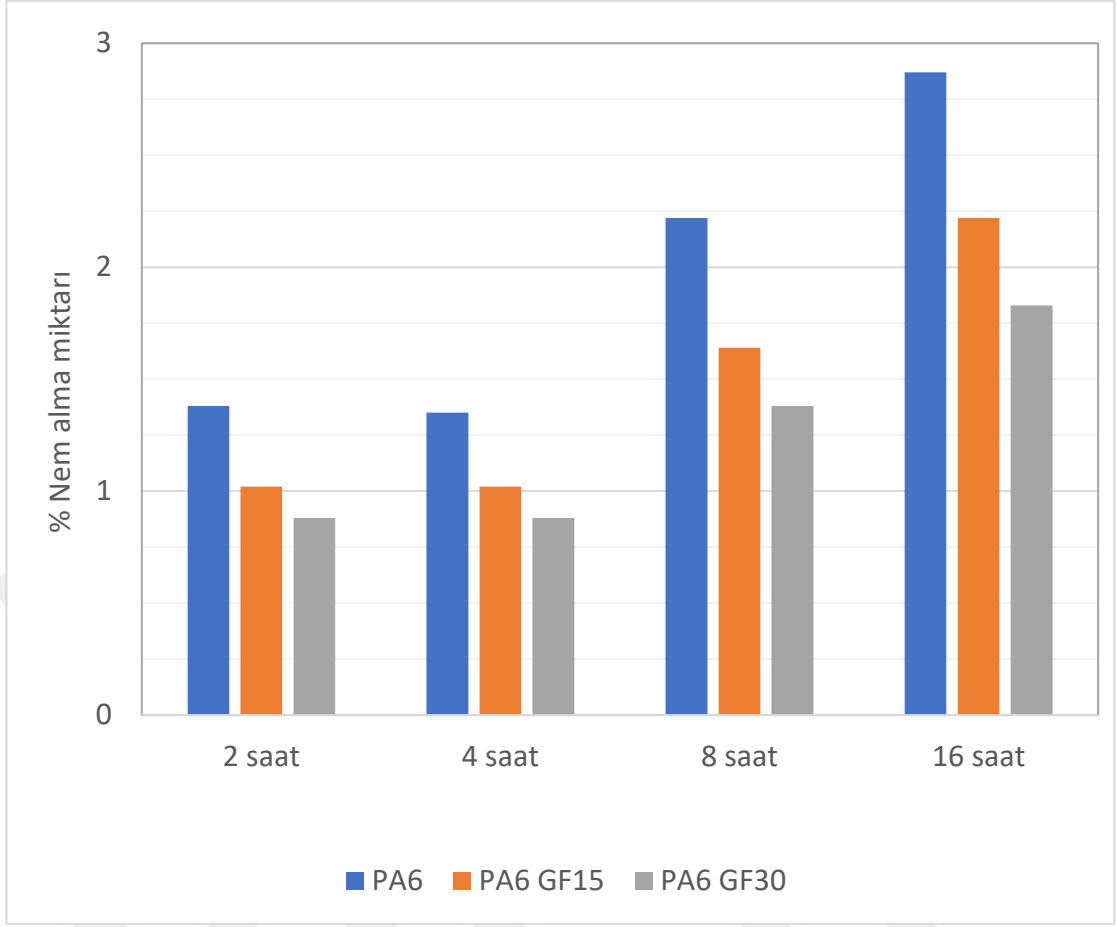
Şekil 6.1 16 saat süre ile 0, -10 ve -20°C'de şartlandırılmış numunelerin nem alma yüzdeleri

0°C üzerindeki sıcaklıklarda (30°C ve 60°C) ise numunelerin nem alma oranlarında 0°C ve altındaki sıcaklıklara göre önemli miktarda (%0,81 - %2,87) daha fazla nem aldığı tespit edilmiştir. 0°C üzeri sıcaklıklarda numunelerdeki cam elyaf katkısının artmasıyla numunelerin nem alma miktarının azaldığı görülmüştür.



Şekil 6.2 16 saat süre ile 0, 30 ve 60°C’de şartlandırılmış numunelerin nem alma yüzdeleri

60°C sıcaklıkta 2, 4, 8 ve 16 saat süre ile şartlandırılmış olan numunelerde şartlandırma süresi arttıkça numunelerin nem alma miktarında artış olduğu gözlenmiştir.



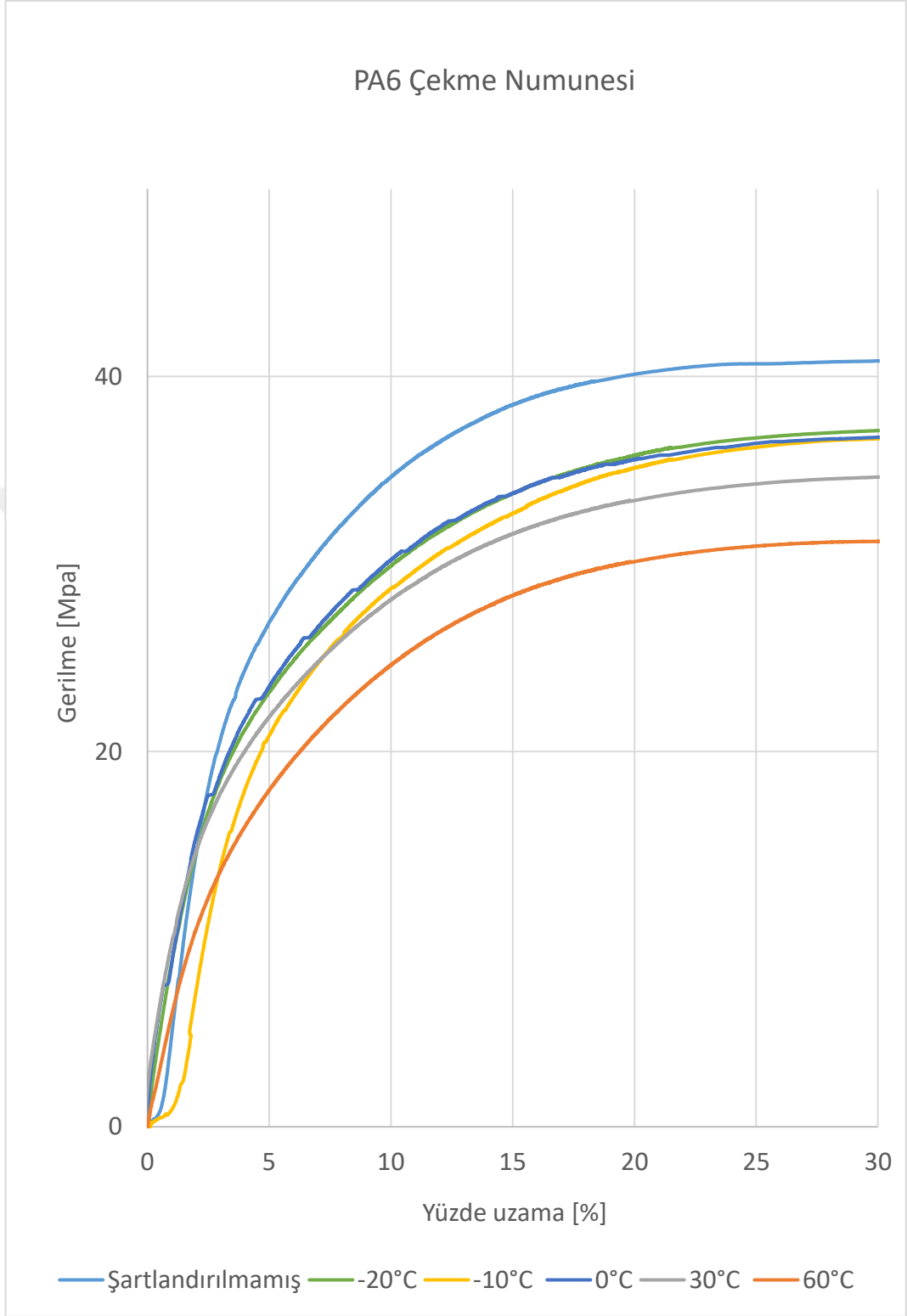
Şekil 6.3 2-16 saat süre ile 60°C’de şartlandırılmış numunelerin nem alma yüzdeleri

6.2 Çekme Deneyi Sonuçları

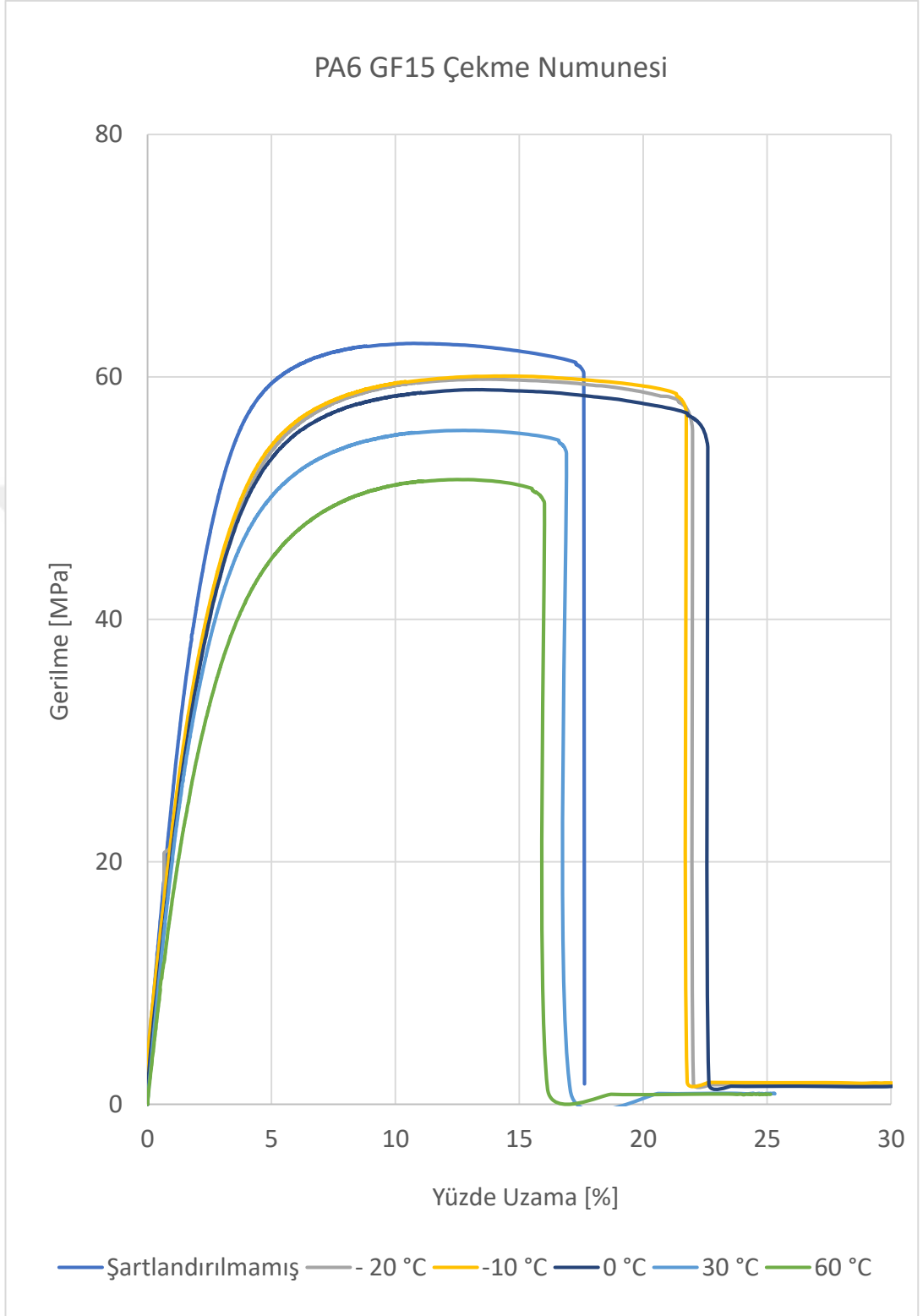
PA6, PA6 GF15 ve PA6 GF30 tipi malzemelerin 16 saat süre ile farklı sıcaklıklarda şartlandırılmış ve şartlandırılmamış çekme numunelerinin gerilme – şekil değiştirme grafikleri sırasıyla Şekil 6.4, 6.5 ve 6.6’da gösterilmiştir. Şartlandırılmamış PA6 tipi malzemeden üretilmiş çekme numunelerinde ortalama 40,8 MPa maksimum gerilme değerine ulaşılırken, sıfırın altındaki sıcaklıklarda şartlandırılmış olan numunelerde bu değer ortalama olarak 36,7 MPa olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklığın artmasıyla PA6 tipi malzemelerde maksimum gerilme değerlerinin, 60°C sıcaklıkta 30,9 MPa’ a kadar düştüğü gözlenmiştir. PA6 GF15 ve PA6 GF30 tipi malzemelerde de şartlandırma sonucunda malzemenin maksimum gerilimlerinde de benzer değişiklikler gözlenmiştir ve PA6 çekme numunelerinde olduğu gibi, şartlandırma sıcaklıkları arttıkça çekme numunelerin maksimum gerilme değerlerinin azaldığı görülmüştür. Şartlandırılmamış

PA6 GF15 çekme numunelerinde ortalama 62,8 MPa maksimum gerilme değerine ulaşılırken, 0°C ve altındaki sıcaklıklarda şartlandırılmış olan numunelerde bu değer ortalama 59,6 MPa seviyesinde olduğu görülmüştür. Sıcaklığın artmasıyla PA6 GF15 çekme numunelerinde maksimum gerilim değerlerinin, 60°C sıcaklıkta 51,2 MPa' a kadar düştüğü gözlenmiştir. Şartlandırılmamış PA6 GF30 çekme numunelerinde ise, ortalama 93,2 MPa maksimum gerilme değerine ulaşılırken, 0°C ve altındaki sıcaklıklarda şartlandırılmış olan numunelerde bu değer ortalama 89,3 MPa seviyesinde olduğu görülmüştür. Sıcaklığın artmasıyla PA6 GF30 çekme numunelerinde maksimum gerilim değerlerinin, 60°C sıcaklıkta 76,9 MPa değerine kadar düştüğü gözlenmiştir.

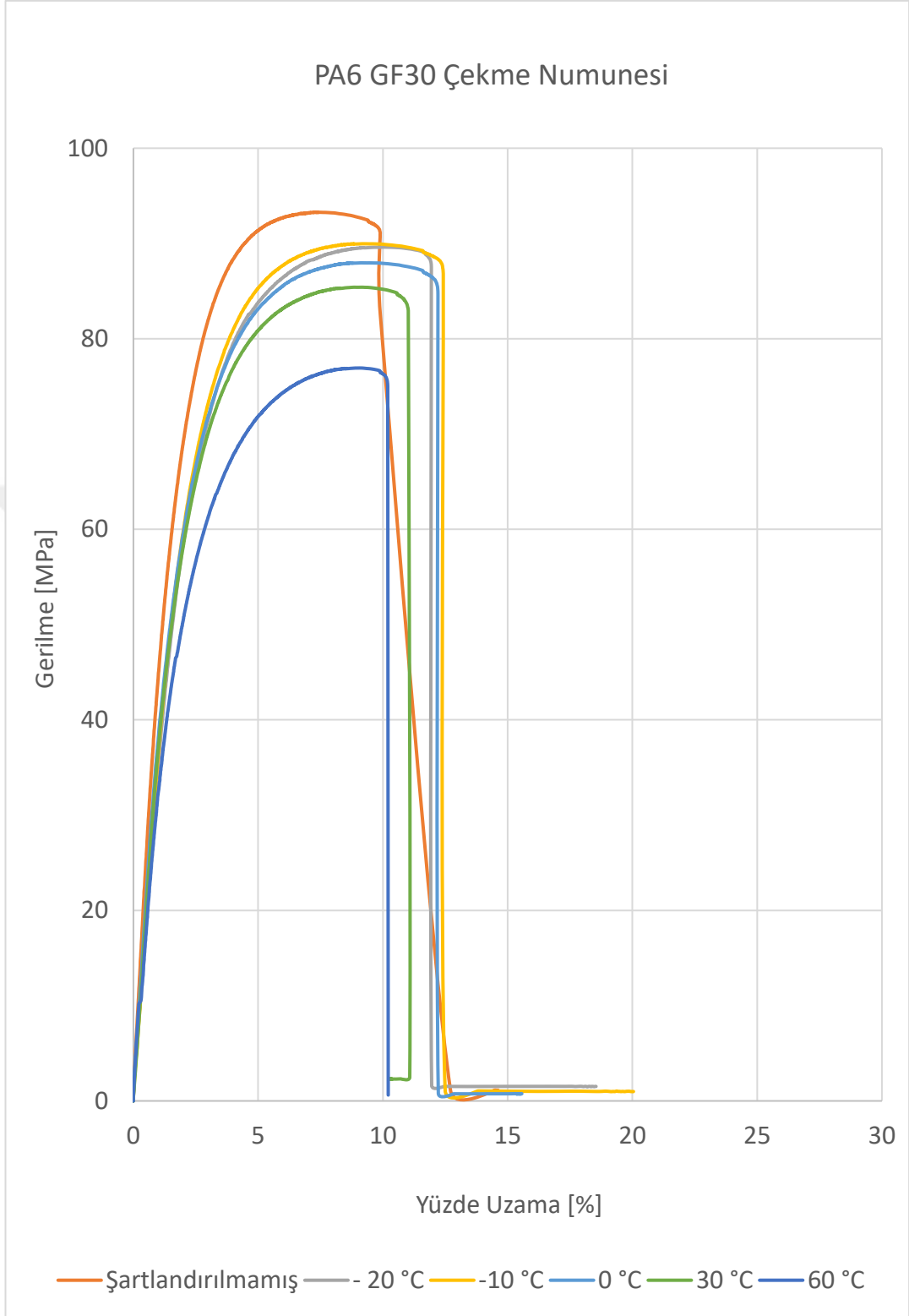




Şekil 6.4 PA6 çekme numunelerine ait gerilme-şekil değiştirme grafikleri



Şekil 6.5 PA6 GF15 çekme numunelerine ait gerilme-şekil değiştirme grafikleri



Şekil 6.6 PA6 GF30 çekme numunelerine ait gerilme-şekil değiştirme grafikleri

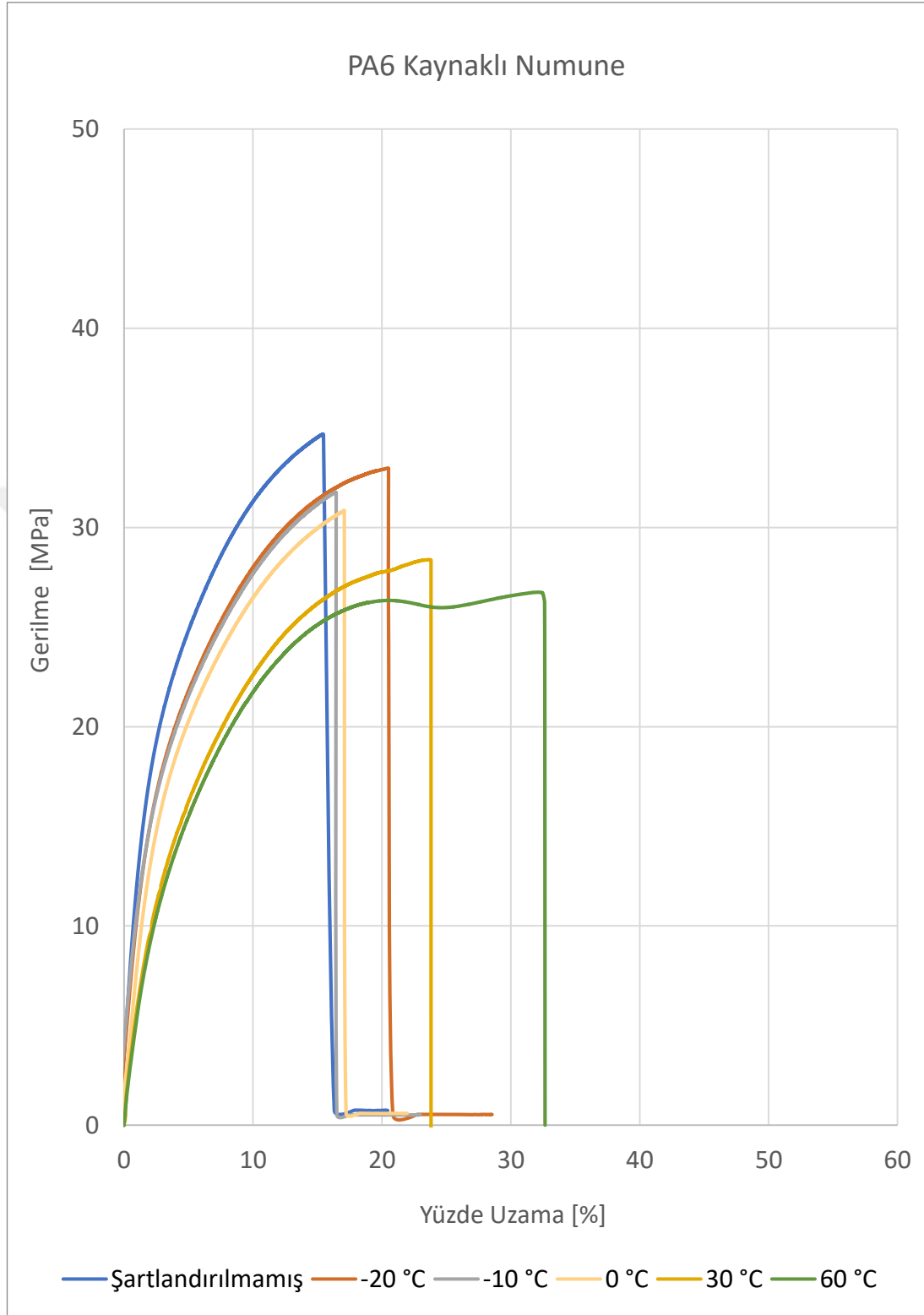
PA6, PA6 GF15 ve PA6 GF30 tipi malzemelerin 16 saat süre ile farklı sıcaklıklarda şartlandırılmış ve şartlandırılmamış kaynaklı numunelerin gerilme – şekil değiştirme grafikleri Şekil 6.7, 6.8, ve 6.9’da gösterilmiştir.

Şartlandırılmamış PA6 kaynaklı numuneler ortalama 33,6 MPa’da koparken, sıfırın altındaki sıcaklıklarda şartlandırılan numunelerde bu değer ortalama 31,8 MPa seviyesindedir. 0°C ve üzeri sıcaklıklarda şartlandırma sıcaklıklarının artması ile kaynaklı numunelerin nem alma miktarı artmakta ve sonuç olarak mekanik mukavemet düşmektedir. Yüksek sıcaklıklarda, 60 °C’de şartlandırılmış kaynaklı numunelerin kopma mukavemeti ortalama 26,7 MPa’dır.

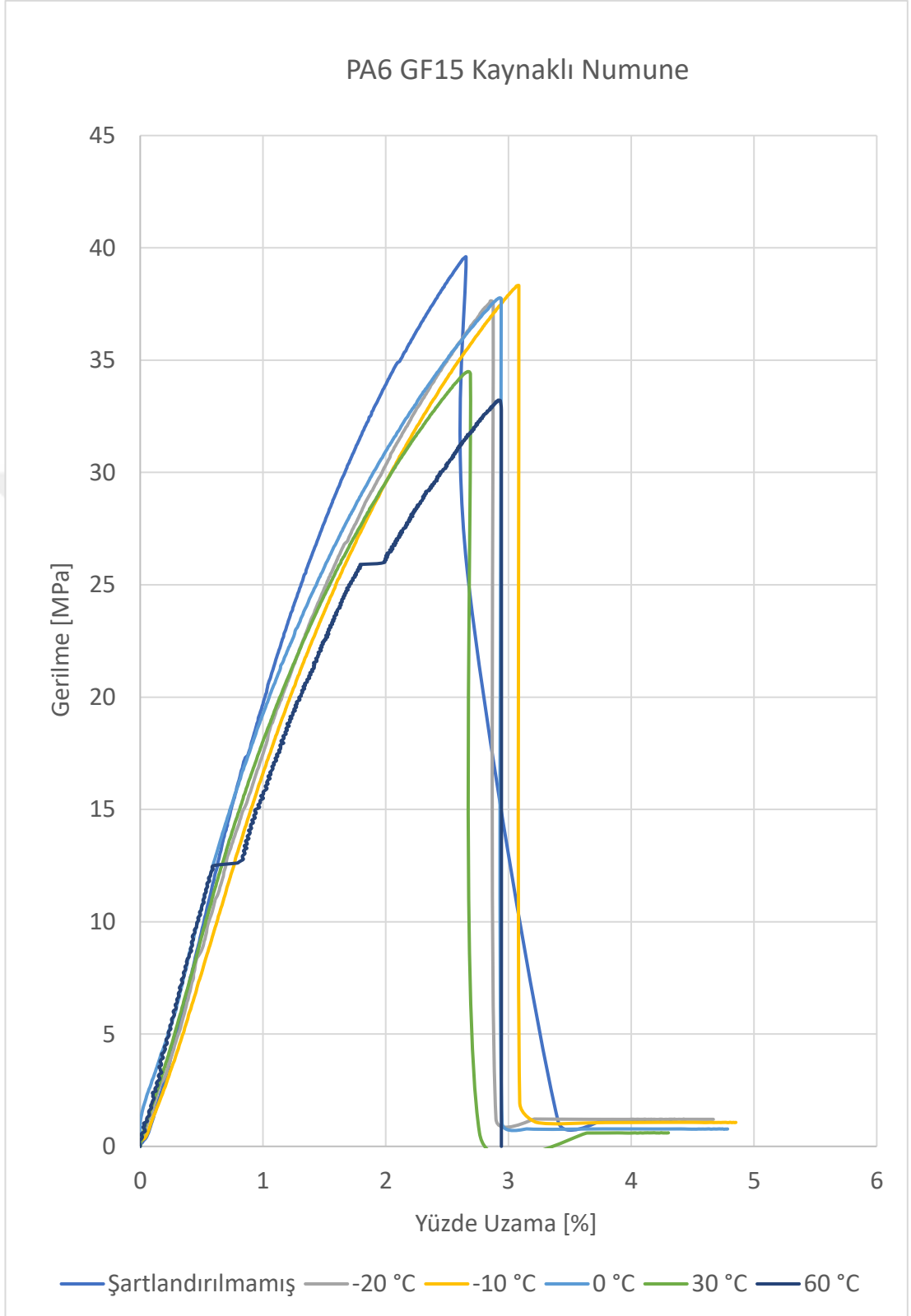
Şartlandırılmamış PA6 GF15 numuneler ortalama 38,6 MPa’da koparken, 0°C ve altındaki sıcaklıklarda şartlandırılan numunelerde bu değer ortalama 37,8 MPa seviyesindedir. 0°C ve üzeri sıcaklıklarda şartlandırma sıcaklıklarının artması ile kaynaklı numunelerin nem alma miktarı artmakta ve sonuç olarak mekanik mukavemet düşmektedir. Yüksek sıcaklıklarda, 60°C’de şartlandırılmış kaynaklı numunelerin kopma mukavemeti ortalama 32,8 MPa’dır.

Şartlandırılmamış PA6 GF30 numuneler ise ortalama 45,8 MPa’da koparken, 0°C ve altındaki sıcaklıklarda şartlandırılan numunelerde bu değer ortalama 40,7 MPa seviyesindedir. 0°C ve üzeri sıcaklıklarda şartlandırma sıcaklıkları artması ile kaynaklı numunelerin nem alma miktarı artmakta ve sonuç olarak mekanik mukavemet düşmektedir. Yüksek sıcaklıklarda, 60°C şartlandırılmış kaynaklı numunelerin kopma mukavemeti ortalama 38,6 MPa’dır.

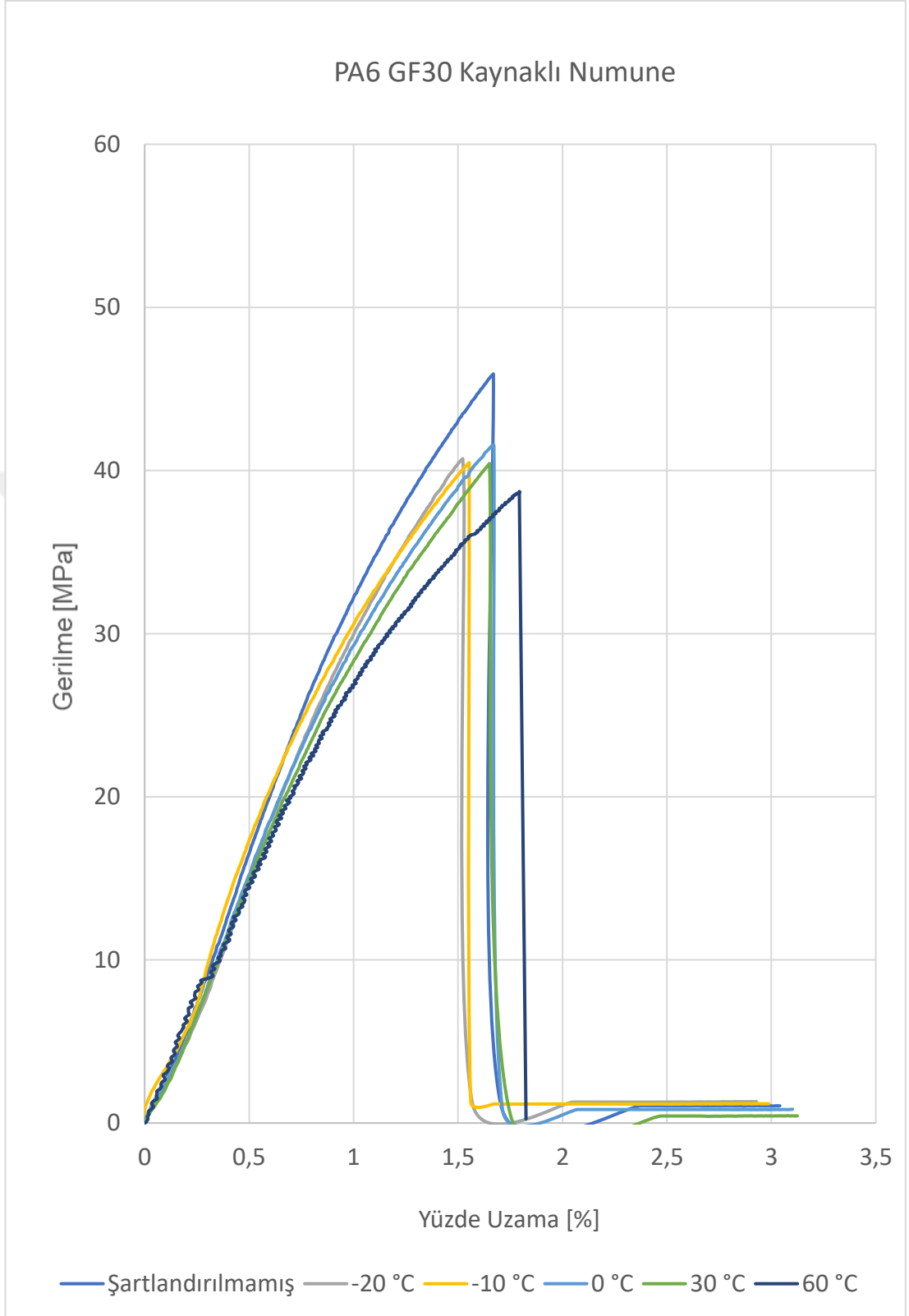
PA6 kaynaklı numunelerde 0°C ve üzeri sıcaklıklarda şartlandırma sıcaklığı arttıkça numunelerin yüzde uzama miktarlarının arttığı görülmüştür ve 60°C bu uzama değerinin %32,7’ye ulaştığı tespit edilmiştir. PA6 GF15 ve PA6 GF 30 kaynaklı numunelerin yüzde uzama değerlerinde ise, değişen şartlandırma sıcaklıklarıyla birlikte önemli ölçüde bir değişim olmadığı görülmüştür. PA6 GF15 kaynaklı numuneler için yüzde uzama değeri ortalama %3 iken, PA6 GF30 kaynaklı numuneler için ise yüzde uzama değerleri ise ortalama %1,5 olarak elde edilmiştir.



Şekil 6.7 PA6 kaynaklı numunelere ait gerilme-şekil değiştirme grafikleri



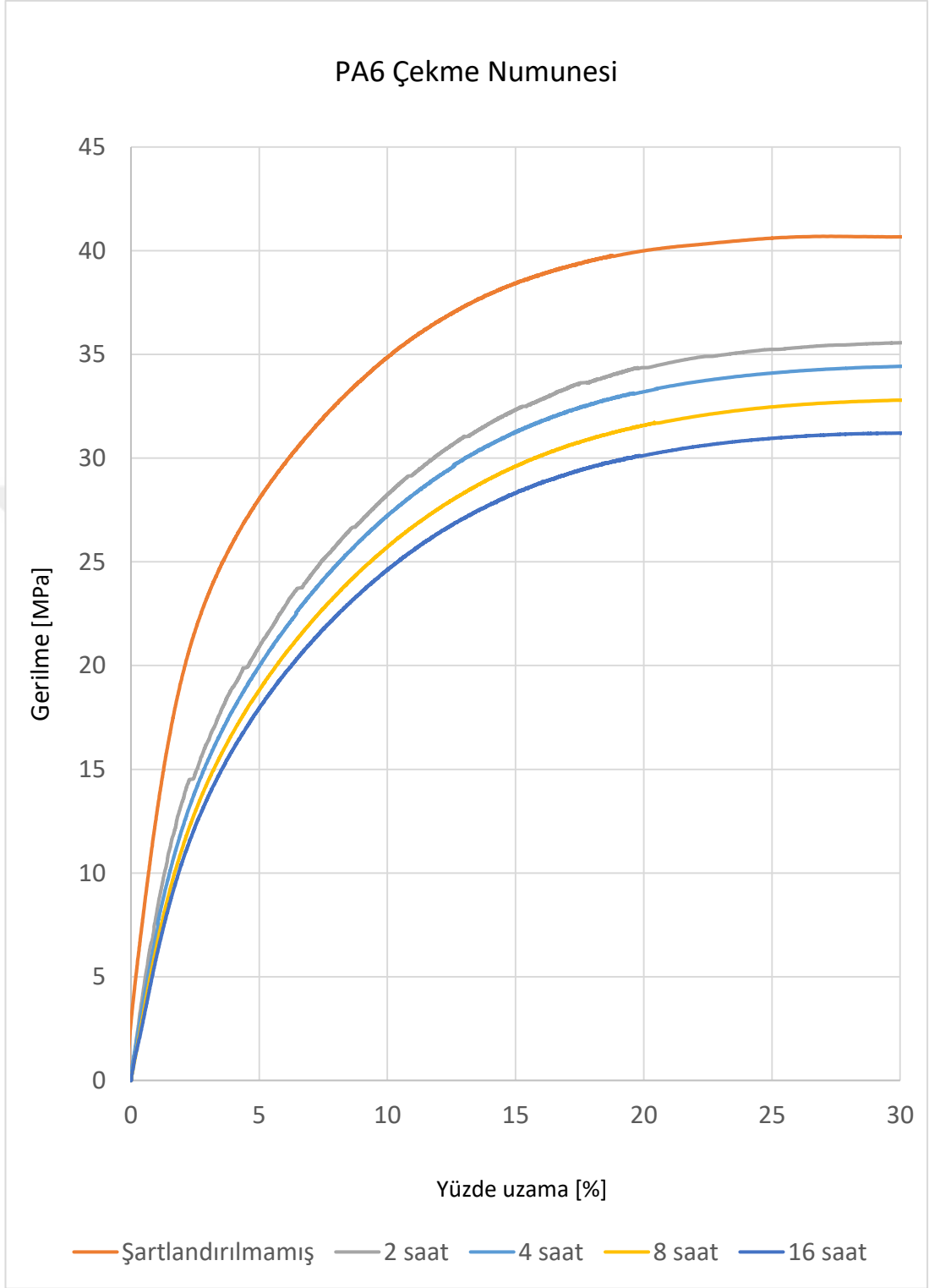
Şekil 6.8 PA6 GF15 kaynaklı numunelere ait gerilme-şekil değiştirme grafikleri



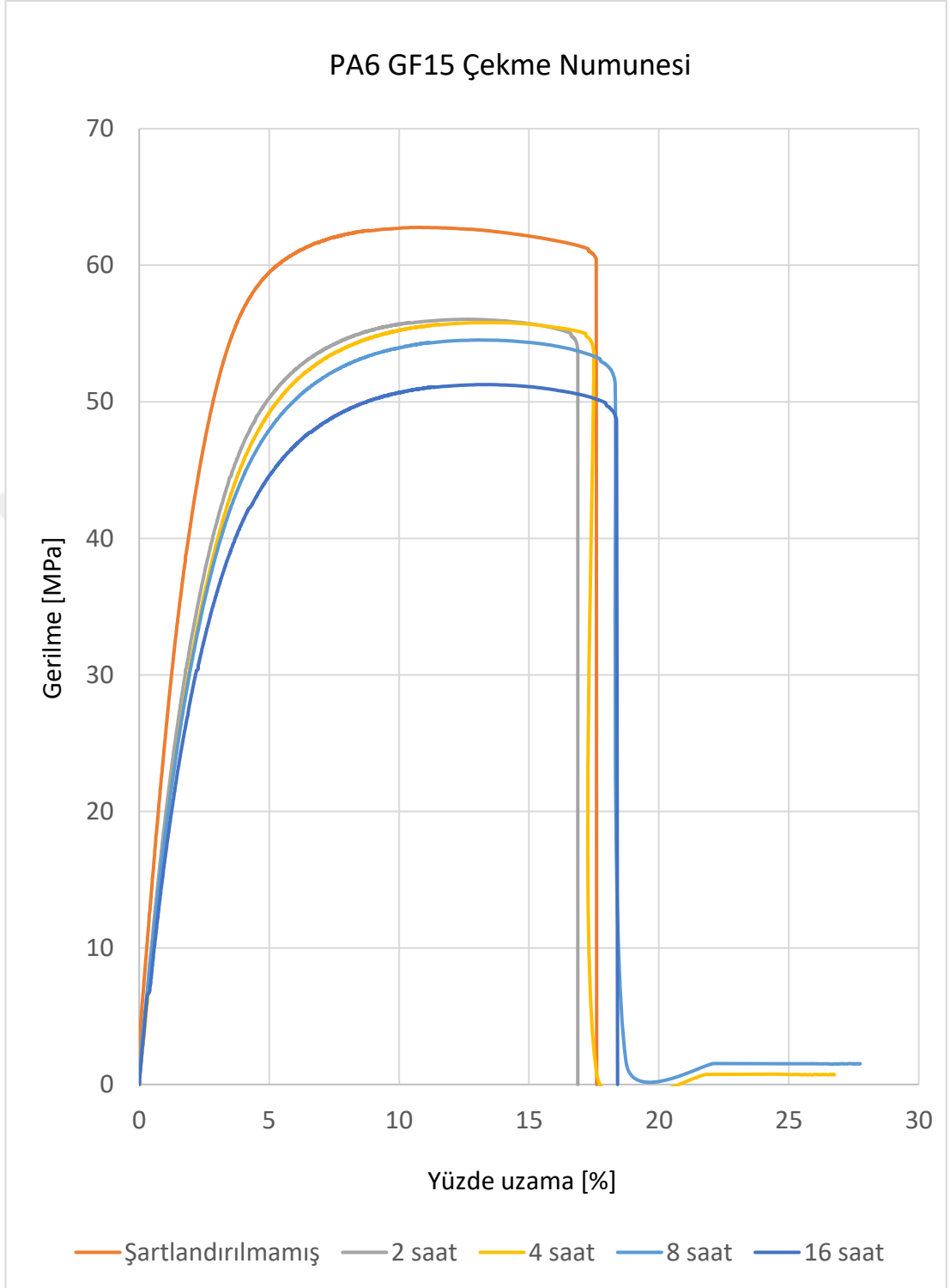
Şekil 6.9 PA6 GF 30 kaynaklı numunelere ait gerilme-şekil değiştirme grafikleri

PA6, PA6 GF15 ve PA6 GF30 tipi malzemelerin 60°C sıcaklıkta 2, 4, 8 ve 16 saat süreler ile şartlandırılmış ve şartlandırılmamış çekme numunelerinin gerilme – şekil değiştirme grafikleri sırasıyla Şekil 6.10, 6.11 ve 6.12’de görülmektedir.

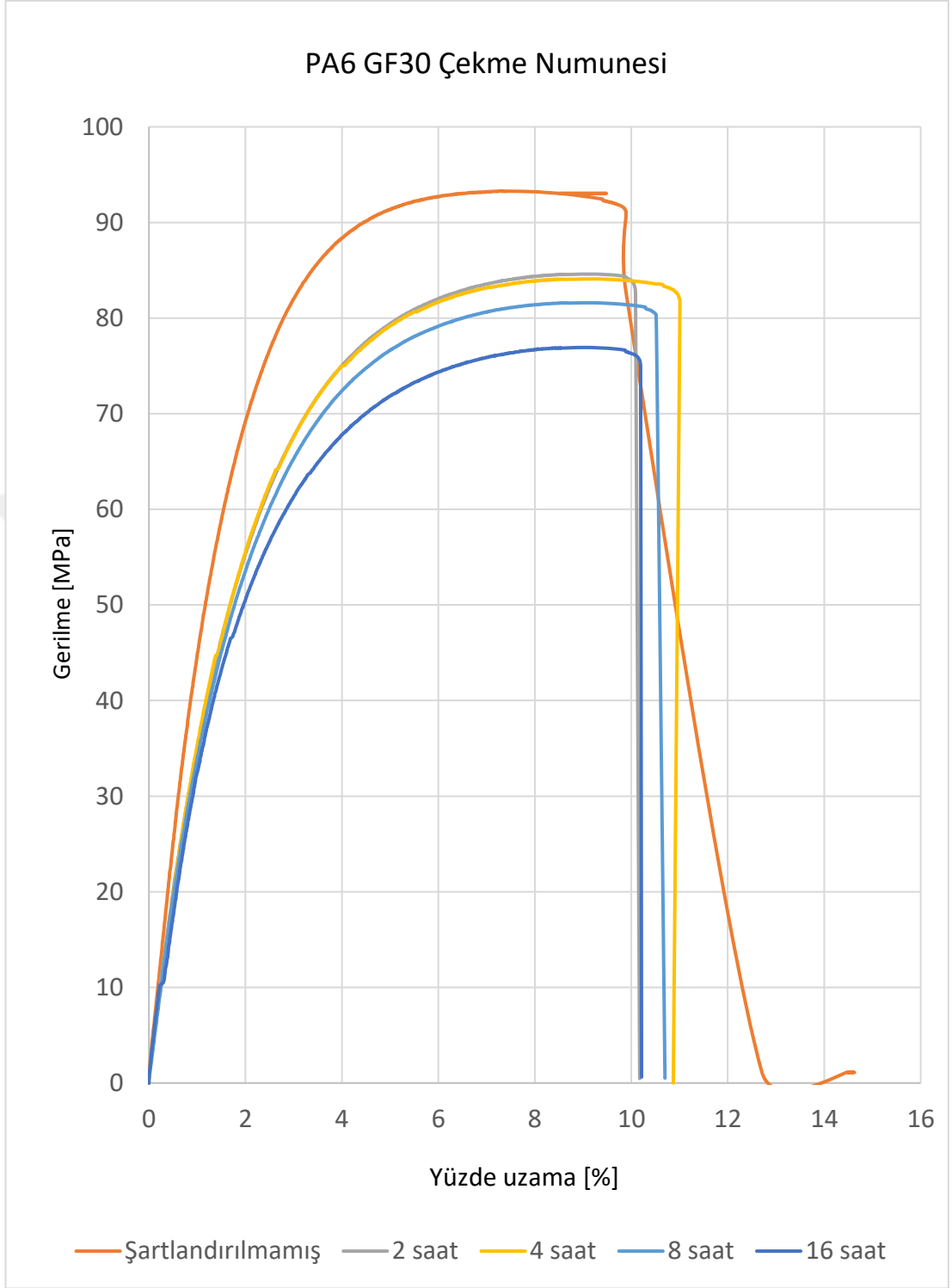
Şartlandırılmamış PA6 tipi malzemeden üretilmiş çekme numunelerinde ortalama 40,8 MPa maksimum gerilme değerine ulaşılırken, 2 saat süre ile şartlandırılmış olan numunelerde bu değer ortalama olarak 35,6 MPa olduğu tespit edilmiştir. Şartlandırma süresinin artmasıyla PA6 tipi malzemelerde maksimum gerilme değerlerinin, 16 saat süre ile şartlandırılmış olan numunelerde 30,9 MPa’ya kadar düştüğü gözlenmiştir. PA6 GF15 ve PA6 GF30 tipi malzemelerde de şartlandırma sonucunda malzemenin maksimum gerilimlerinde de benzer değişiklikler gözlenmiştir ve PA6 çekme numunelerinde olduğu gibi, şartlandırma sıcaklıkları arttıkça çekme numunelerin maksimum gerilme değerlerinin azaldığı görülmüştür. Şartlandırılmamış PA6 GF15 çekme numunelerinde ortalama 62,8 MPa maksimum gerilme değerine ulaşılırken, 2 saat süre ile şartlandırılmış olan numunelerde bu değer ortalama 55,8 MPa seviyesinde olduğu görülmüştür. Şartlandırma süresinin artmasıyla PA6 GF15 çekme numunelerinde maksimum gerilim değerlerinin, 16 saat süre ile şartlandırılmış olan numunelerde 51,2 MPa’ya kadar düştüğü gözlenmiştir. Şartlandırılmamış PA6 GF30 çekme numunelerinde ise, ortalama 93,2 MPa maksimum gerilme değerine ulaşılırken, 2 saat süre ile şartlandırılmış olan numunelerde bu değer ortalama 84,1 MPa seviyesinde olduğu görülmüştür. Şartlandırma süresinin artmasıyla PA6 GF30 çekme numunelerinde maksimum gerilim değerlerinin, 16 saat süre ile şartlandırılmış olan numunelerde 76,9 MPa değerine kadar düştüğü gözlenmiştir.



Şekil 6.10 PA6 çekme numunelerine ait gerilme-şekil değiştirme grafikleri



Şekil 6.11 PA6 GF15 çekme numunelerine ait gerilme-şekil değiştirme grafikleri



Şekil 6.12 PA6 GF30 çekme numunelerine ait gerilme-şekil değiştirme grafikleri

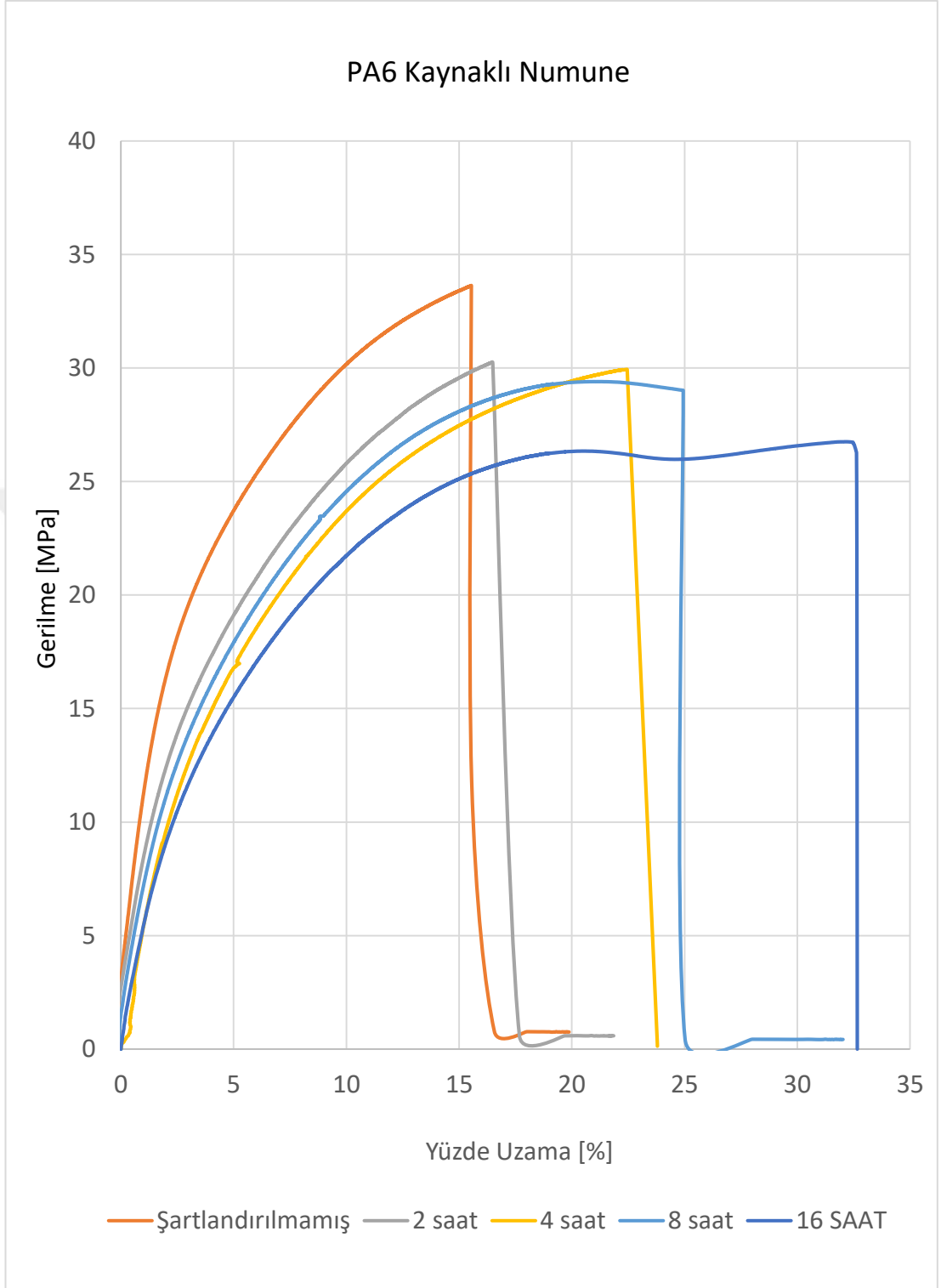
60°C sıcaklıkta 2, 4, 8 ve 16 saat süreler ile şartlandırılan kaynaklı numunelerin ve şartlandırılmamış kaynaklı numunelerin gerilme – şekil değiştirme grafikleri Şekil 6.13, 6.14 ve 6.15’te gösterilmiştir.

Şartlandırılmamış PA6 kaynaklı numuneler ortalama 33,6 MPa’da koparken, 2 saat süre ile şartlandırılmış olan numunelerde bu değer ortalama 30,2 MPa seviyesindedir. Şartlandırma sürelerinin artması ile kaynaklı numunelerin nem alma miktarı artmakta ve sonuç olarak mekanik mukavemet düşmektedir. 16 saat süre ile şartlandırılmış kaynaklı numunelerin kopma mukavemeti ortalama 26,7 MPa’dır.

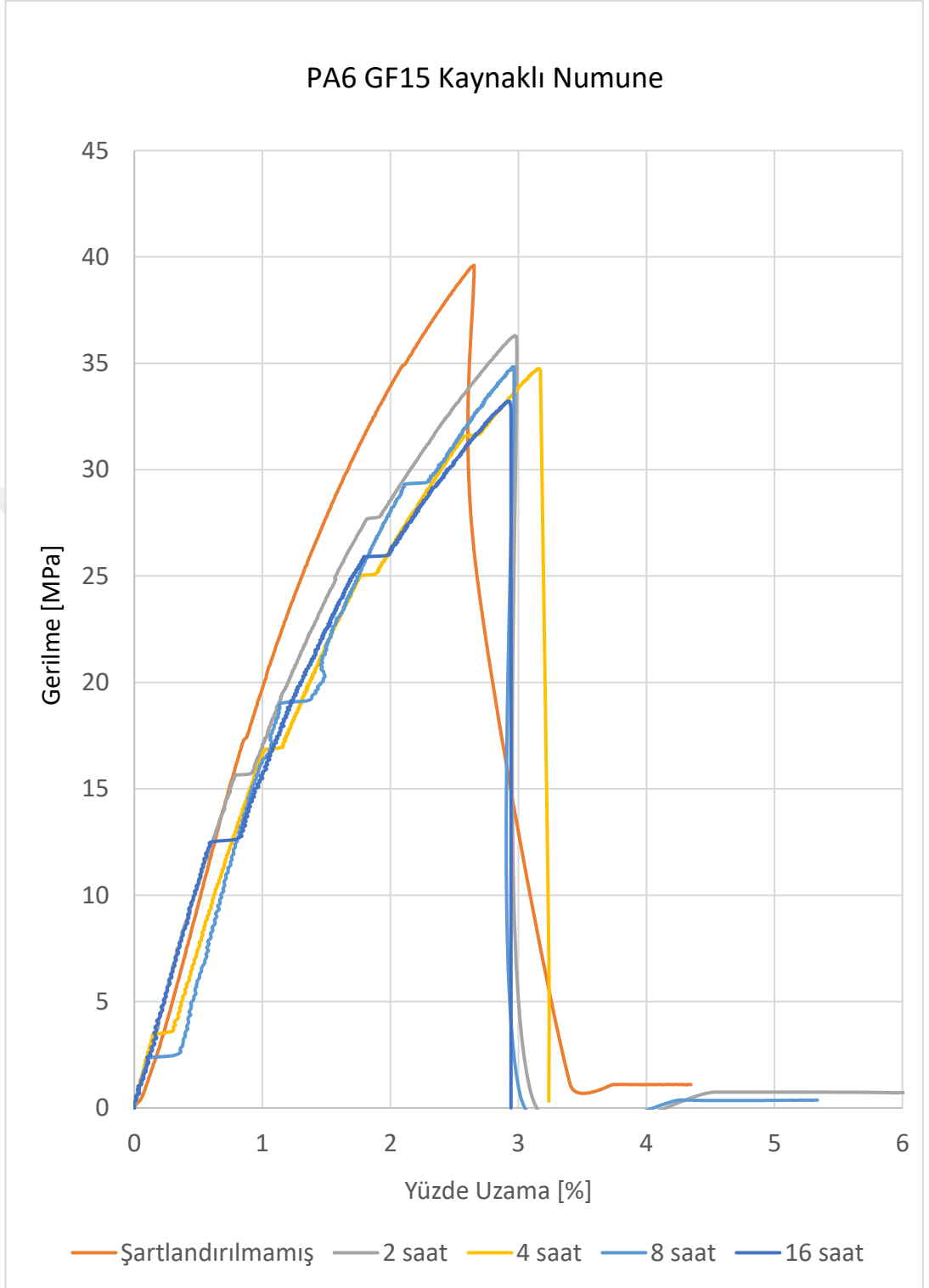
Şartlandırılmamış PA6 GF15 numuneler ortalama 39,6 MPa’da koparken 2 saat süre ile şartlandırılmış olan numunelerde bu değer ortalama 36,2 MPa seviyesindedir. Şartlandırma sürelerinin artması ile kaynaklı numunelerin nem alma miktarı artmakta ve sonuç olarak mekanik mukavemet düşmektedir. 16 saat süre ile şartlandırılmış kaynaklı numunelerin kopma mukavemeti ortalama 32,8 MPa’dır.

Şartlandırılmamış PA6 GF30 numuneler ise ortalama 45,8 MPa’da koparken, 2 saat süre ile şartlandırılmış olan numunelerde bu değer ortalama 43,3 MPa seviyesindedir. Şartlandırma sürelerinin artması ile kaynaklı numunelerin nem alma miktarı artmakta ve sonuç olarak mekanik mukavemet düşmektedir. Yüksek sıcaklıklarda, 60°C şartlandırılmış kaynaklı numunelerin kopma mukavemeti ortalama 38,6 MPa’dır.

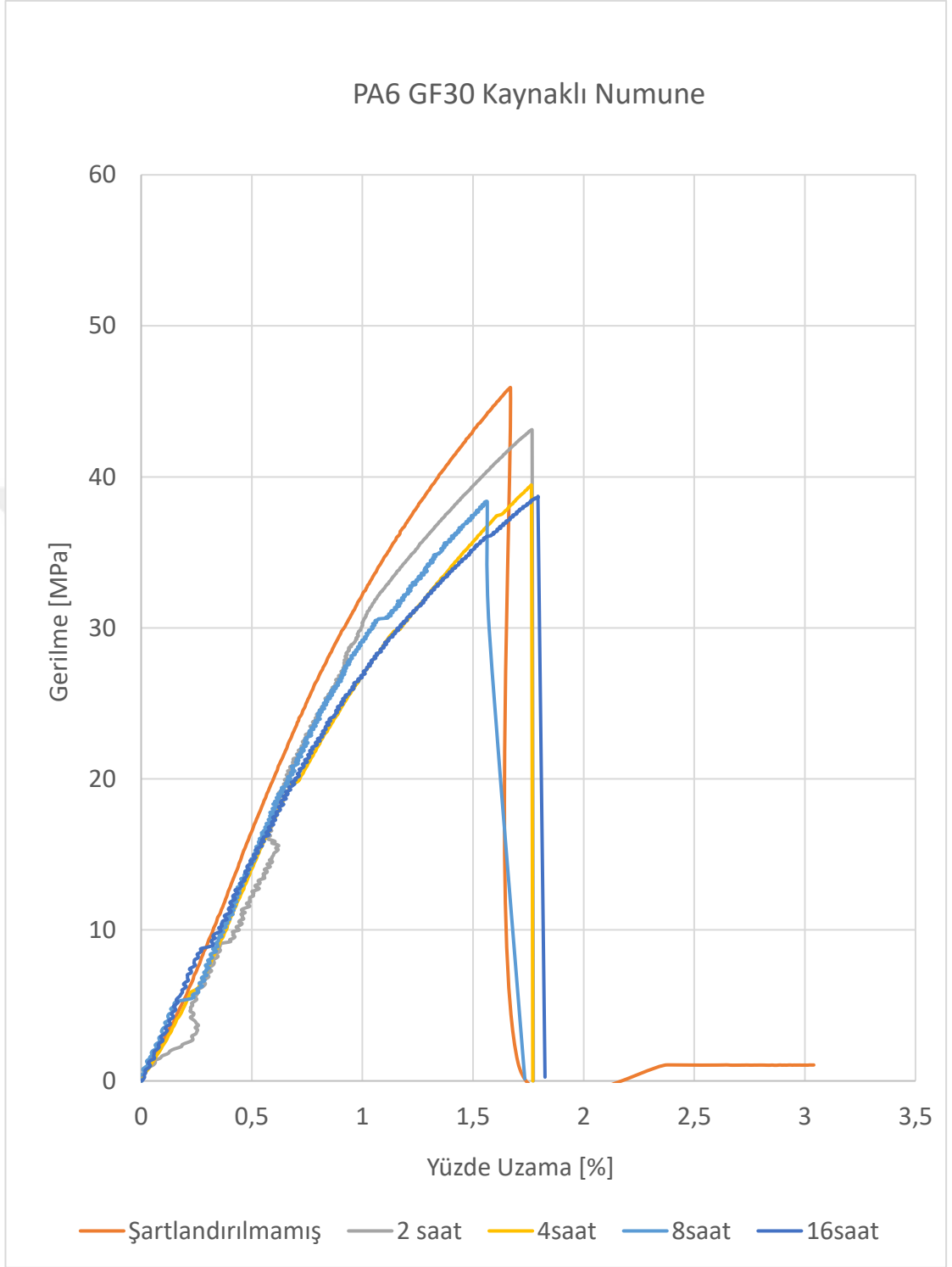
PA6 kaynaklı numunelerde şartlandırma süresi arttıkça numunelerin yüzde uzama miktarlarının arttığı görülmüştür ve 16 saat süre ile şartlandırılmış olan numunelerde %32,7’ye ulaştığı tespit edilmiştir. PA6 GF15 ve PA6 GF 30 kaynaklı numunelerin yüzde uzama değerlerinde ise, değişen şartlandırma sıcaklıklarıyla birlikte önemli ölçüde bir değişim olmadığı görülmüştür. PA6 GF15 kaynaklı numuneler için yüzde uzama değeri ortalama %3 iken, PA6 GF30 kaynaklı numuneler için ise yüzde uzama değerleri ise ortalama %1,5 olarak elde edilmiştir.



Şekil 6.13 PA6 kaynaklı numunelere ait gerilme-şekil değiştirme grafikleri



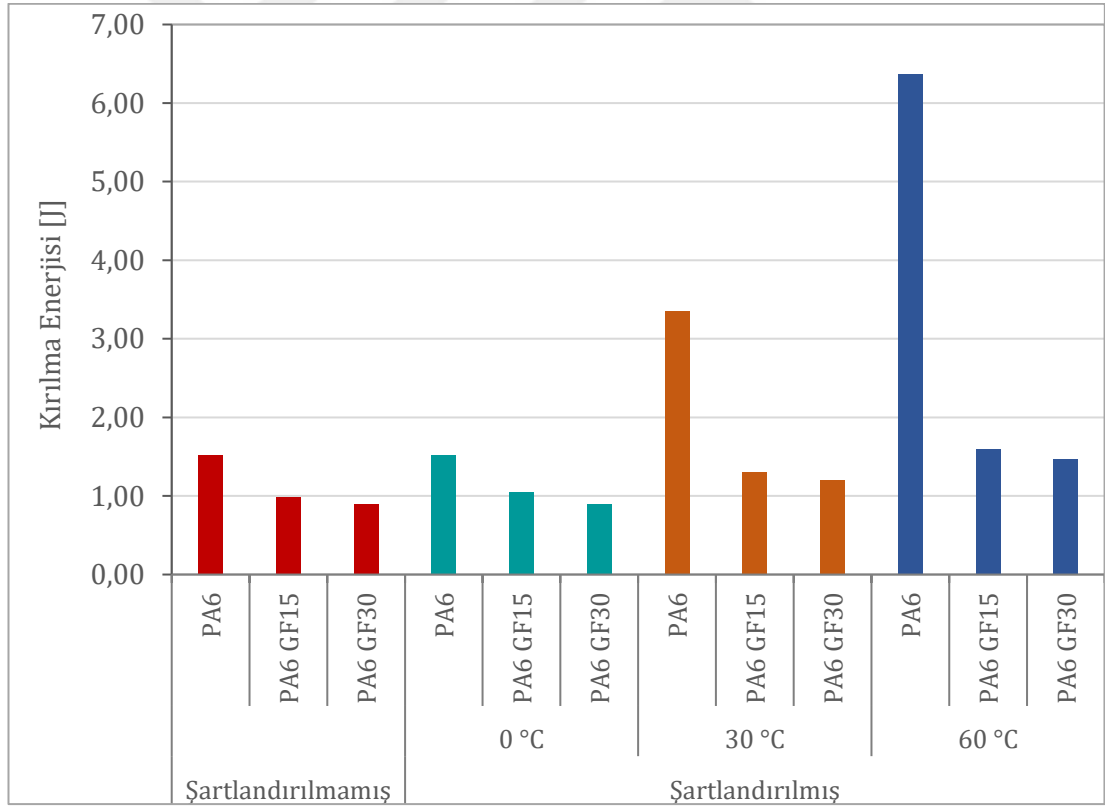
Şekil 6.14 PA6 GF 15 kaynaklı numunelere ait gerilme-şekil değiştirme grafikleri



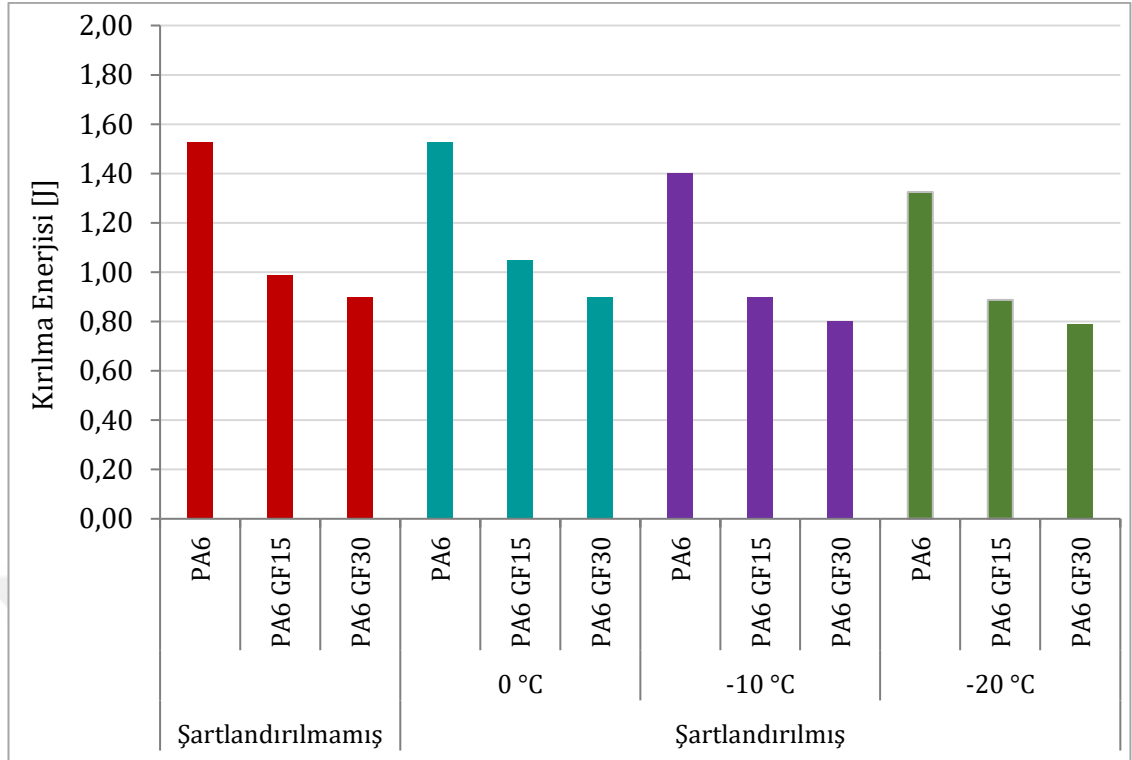
Şekil 6.15 PA6 GF30 kaynaklı numunelere ait gerilme-şekil değiştirme grafikleri

6.3 Çentik Darbe Deneyi Sonuçları

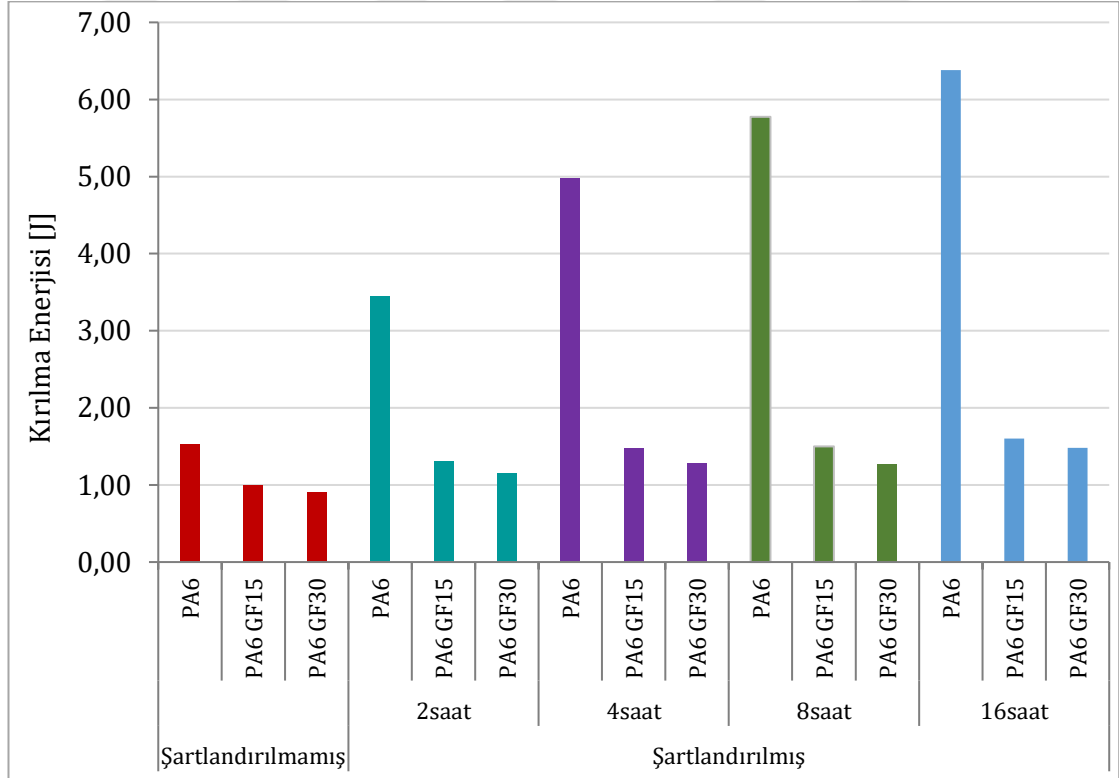
Çentik darbe numunelerinin kırılma enerjilerindeki değişimleri, 0°C ve üzerindeki sıcaklıklarda 16 saat, 0°C ve altındaki sıcaklıklarda 16 saat ve 60°C sıcaklıkta 2-16 saat olmak üzere 3 farklı grupta incelenmiştir. Şekil 5.16'te 0°C üzerindeki sıcaklıklarda sıcaklığın artmasıyla birlikte numunelerin kırılma enerjisinin arttığı, Şekil 5.17'de 0°C' nin altındaki sıcaklıklarda sıcaklığın azalması ile numunelerin kırılma enerjisinin azaldığı görülmüştür. Şekil 5.18'de ise şartlandırma sürelerinin artmasıyla numunelerin kırılma enerjilerinin arttığı tespit edilmiştir. Her üç durum da literatür ile uyumludur (Domininghaus 1988; Johannaber and Michaeli 2002; Ehrenstein, 2004; Yeni ve diğer., 2010). Numunelerde şartlandırma sıcaklıklarına bağlı olmaksızın, cam elyaf oranı arttıkça malzemelerin kırılma enerjisi azalmaktadır.



Şekil 6.16 Şartlandırılmış (0, 30 ve 60°C'de, 16 saat) numunelerin kırılma enerjileri



Şekil 6.17 Şartlandırılmış (0, -10 ve -20°C’de, 16 saat) numunelerin kırılma enerjileri



Şekil 6.18 Şartlandırılmış (60°C’de, 2-16 saat) numunelerin kırılma enerjileri

6.4 Sonuç ve Tartışma

PA6 malzemelerde, şartlandırılmamış çekme çubuğu ve kaynak numunesi karşılaştırıldığında, kaynakla birleştirme sonrasında mekanik mukavemet kaybının ortalama %17,6 oranında olduğu görülmüştür. Farklı sıcaklıklarda yapılan şartlandırmalarda kaynaklı numuneler ve çekme çubuğu karşılaştırıldığında, mekanik mukavemet kaybının %13,6-%18,9 aralığında olduğu gözlenmiştir. Mekanik mukavemet kaybının en düşük olduğu şartlandırma sıcaklığı 60°C olarak saptanmıştır (%13,6).

PA6 GF15 malzemelerde, şartlandırılmamış çekme çubuğu ve kaynak numunesi karşılaştırıldığında, kaynakla birleştirme sonrasında mekanik mukavemet kaybının ortalama %38,5 olduğu görülmüştür. Farklı sıcaklıklarda yapılan şartlandırmalarda kaynaklı numunelerin mekanik mukavemet kaybının %35,9-39,6 aralığında olduğu gözlemlenmiştir. Mekanik mukavemet kaybının en düşük olduğu şartlandırma sıcaklığı 60°C olarak saptanmıştır (%35,9).

PA6 GF30 malzemelerde ise, şartlandırılmamış çekme çubuğu ve kaynak numunesi karşılaştırıldığında, kaynakla birleştirme sonrasında mekanik mukavemet kaybının ortalama %50,9 olduğu görülmüştür. Farklı sıcaklıklarda yapılan şartlandırmalarda kaynaklı numunelerin mekanik mukavemet kaybının %50,2-53,1 aralığında olduğu gözlemlenmiştir. Mekanik mukavemet kaybının en düşük olduğu şartlandırma sıcaklığı 60°C olarak saptanmıştır (%50,2).

PA6 malzemelerde, cam elyaf oranı arttıkça çentik darbe numunelerinin kırılma enerjileri azaldığı ve aynı zamanda mekanik mukavemet kaybının arttığı gözlenmiştir.

Sonuç olarak; poliamid esaslı malzemelerden üretilmiş olan ürünlerin şartlandırılarak kullanılması gerekmektedir. Yapılan bu araştırmada kaynaklı numuneler için en iyi şartlandırma sonucunun PA6 ve cam elyaf katkılı türevleri için 60°C olduğu saptanmıştır.

Endüstrinin farklı alanlarında cam elyaf katkılı ve katkısız PA malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaynaklı birleştirme prosesi sonrasında kaynak mukavemetlerinin optimize edilebilmesi için farklı PA türevleri için de uygun şartlandırma prosesinin (sıcaklık ve süre) belirlenmesi gerekir.



KAYNAKLAR

Bascheka, G., Hartwiga, G. ve Zahradnikb, F. (1999). Effect of ater absorption in polymers at low and high temperatures. *Polymer*, 40, 3433–3441.

BASF technical information: Conditioning ultramid mouldings, (b.t.). 1 Kasım 2018, www.plasticsportal.eu.

Chaichanawong, J., Thongchuea, C. ve Areerat, S. (2016). Effect of moisture on the mechanical properties of glass fiber reinforced polyamide composites. *Advanced Powder Technology*, 27, 898-902.

Domininghaus, H. (1988). *Die kunststoffee und ihre eigenschaften* (3. Baskı). Düsseldorf: Verlag.

Ehrenstein, G.W. (2004). *Handbuch kunststoff – verbindungstechnik*. München: Hanser.

Johannaber, F. ve Michaeli, W. (2002). *Handbuch spritzgießen* (1. Baskı). München: Hanser.

Kocatüfek, U.E. (2013). *Poliamid esaslı malzemelerde cam elyaf katkısının sıcak plaka kaynağı üzerinde etkisinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Lee, B., Kim, J., Lee, S. ve Kim, Y.K. (2012). Butt-welding technology for double walled polyethylene pipe. *Materials and Design*, 35, 626–632.

Moralıoğlu, U.E. (2013). *Effects of moisture after injection on the mechanical properties of PA6 and PA66 materials*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

- Nanying, J., Howard, A.F. ve Val, K.A. (2004). Effects of moisture conditioning methods on mechanical properties of injection molded nylon 6. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 7, 729-737.
- Oliveira, M.J., Bernardo, C.A. ve Hemsley, D. (2001). Morphology and mechanical behavior of polypropylene hot plate welds. *Polymer Engineering and Science*, 41, 1913-1922.
- Oliveira, M.J., Bernardo, C.A. ve Hemsley, D.A. (2001). The effect of flame retardants on the hot plate welding of talc filled polypropylene. *Polymer Engineering and Science*, 42, 146-15.
- Shih, J.L., Cheng, F.C. (2010). The influence of interface geometry on the joint strengths of hot plate welded composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29, 497-509.
- Stokes, V.K. (1998). Experiments on the hot-tool welding of three dissimilar thermoplastics. *Polymer*, 39(12), 2469-2477.
- Stokes, V.K. (1999). A phenomenological study of the hot-tool welding of thermoplastics. *Polymer*, 40, 6235-6263.
- Stokes, V.K. ve Conway, V.R. (2001). A phenomenological study of the hot-tool welding of thermoplastics 4. *Weld Strength Data for Several Blends*. 42, 7477-7493.
- Tworzywa odporne na wysokie temperatury, (b.t.). 24 Ekim 2018, <https://enimat.pl/tworzywa-konstrukcyjne-odporne-na-wysokie-temperatury/tworzywa-odporne-na-wysokie-temperatury-enimat-pl/>.

Vlasveld, D.P.N., Groenewold, J., Bersee, H.E.N. ve Picken, S.J. (2005). Moisture absorption in polyamide-6 silicate nanocomposites and its influence on the mechanical properties. *Polymer*, 46, 12567-12576.

Walter, H. Günther, H. ve Siegfried, H. (1992). *Werkstoff-führer kunststoffe* (6. Baskı). München: Hanser.

Watson, M.N. ve Murch, M.G. (1989). Recent developments in hot plate welding of thermoplastics. *Polymer Engineering and Science*, 29, 1382-1386.

Wolfgang, K. (2015). *Kunststoffchemie für ingenieure* (4. Baskı). München: Hanser.

Yeni, Ç., Sayer, S., ve Ülker, A. (2010). Poliamid parçaların üretim sonrasında nem olarak şartlandırılması. *PAGEV Plastik Dergisi*, 111, 296-302.