



## SICAK PLAKA KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ PA6 VE CAM ELYAF KATKILI TÜREVLERİNİN NEM ALMA DAVRANIŞININ KAYNAK MUKAVEMETİNE ETKİSİ

Sami SAYER<sup>1</sup>, Can ÖZYAMAN<sup>2</sup>, Çiçek ÖZES<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Ege Üniversitesi, Ege Meslek Yüksekokulu, Polimer Teknolojisi Bölümü, Bornova, İzmir, Türkiye

<sup>2</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Buca, İzmir, Türkiye

<sup>3</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Buca, İzmir, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Sıcak Plaka Kaynağı,  
Nem Alma,  
PA6,  
GF Katkılı PA6.

### Öz

Polimer esaslı termoplastik malzeme grubunda yer alan poliamid, yüksek mukavemet ve yüksek sıcaklıklara dayanma özelliklerinden dolayı endüstrinin farklı alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Poliamid (PA) malzemelerin monomer yapısına bağlı olarak nem alma davranışları malzemenin mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Endüstrinin farklı alanlarında yarı mamul olarak üretilen ürünlerin, üretim şekli ve kullanım alanlarına bağlı olarak kaynak yöntemi ile birleştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, PA6 ve cam elyaf katkılı türevlerinden üretilmiş olan numuneler sıcak plaka kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Nem alma davranışının kaynak mukavemetine etkisini araştırmak amacıyla, numuneler -20 °C ile 60 °C sıcaklık aralığında 16 saat bekletilerek yapay olarak şartlandırılmıştır. Kaynaklı numunelerde, şartlandırma sıcaklıklarının artması ile PA6 malzemede nem alma oranının arttığı, mekanik mukavemet değerlerinin azaldığı ve yüzde uzama değerlerinin ise arttığı gözlenmiştir. Cam elyaf katkılı numunelerde ise nem alma oranında önemli bir değişiklik olmamıştır. Şartlandırma sonrasında, en yüksek kaynak mukavemeti PA6 malzemede 0 °C' de 34 MPa, PA6 GF15'te -10 °C'de 38MPa ve PA6 GF30'da ise -20 °C'de 41MPa olarak ölçülmüştür.

## THE EFFECT OF MOISTURE INTAKE ON THE WELD STRENGTH OF PA6 AND ITS GLASS FIBER REINFORCED DERIVATIVES JOINED BY HOT PLATE WELDING

### Keywords

Hot Plate Welding,  
Dehumidification,  
PA6,  
GF Reinforced PA6.

### Abstract

Polyamide, which belongs to the group of polymer-based thermoplastic materials, is widely used in different fields of industry due to its high strength and high temperature resistance properties. Depending on the monomer structure of polyamide (PA) materials, the dehumidification behavior significantly affects the mechanical properties of polyamide-based materials. Semi-finished products manufactured for different areas of the industry should be joined by means of welding methods depending on the production methods and usage areas. In this study, samples produced from PA6 and glass fiber reinforced PA6 were combined by hot plate welding method. In order to investigate the effect of dehumidification behavior on the welding strength, the samples were artificially conditioned at a temperature range of -20 °C to 60 °C for 16 hours. In welded samples, it was observed that the dehumidification rate of PA6 material increased, mechanical strength values decreased and percent elongation values increased with the increase of conditioning temperatures. There was no significant change in the rate of dehumidification for glass-fiber reinforced samples. After conditioning, the highest weld strength was measured as 34 MPa at 0 °C for PA6, 38MPa at -10 °C for PA6 GF15 and 41MPa at -20 °C for PA6 GF30.

### Alıntı / Cite

Sayer, S., Özyaman, C., Özses, Ç., (2020). Sıcak Plaka Kaynağı İle Birleştirilmiş Pa6 Ve Cam Elyaf Katkılı Türevlerinin Nem Alma Davranışının Kaynak Mukavemetine Etkisi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(1), 175-184.

\*İlgili yazar / Corresponding author: cicek.ozes@deu.edu.tr, +90-232-301-9207

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
S. Sayer, 0000-0002-6532-7499	<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	22.05.2019
C. Özyaman, 0000-0002-2502-2025	<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	21.08.2019
Ç. Özses, 0000-0002-0027-818X	<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	25.08.2019
	<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	20.03.2020

## 1. Giriş (Introduction)

Üretim tekniğine, fiziksel özelliklerine ve teknolojik kullanım alanlarına göre plastikler; ticari plastikler, mühendislik plastikleri ve yüksek performanslı plastikler olarak sınıflandırılmaktadır. PE, PP, PVC, PS gibi ticari plastikler 100 °C altındaki sıcaklıklarda ve yüksek mekanik mukavemet gerektirmeyen alanlarda kullanılır. Mühendislik plastiklerinin (PA, PC, PET vb.) kullanım sıcaklığı 100 - 150 °C aralığındadır. Yüksek performanslı plastikler (PEK, PES, PSU vb.) ise,  $\pm 250$  °C sıcaklık aralığında yüksek mekanik mukavemet ve aşınma direnci gerektiren yerlerde, metal ve metal dışı malzemelere alternatif olarak tercih edilmektedir.

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 prosesisidir (Kocatüfek, 2013; Nanying vd., 2004; Walter vd., 1992; Wolfgang, 2015; Dominghaus, 1988; Johannaber ve Michaeli 2002).

Bu kapsamda, Olivera vd. (2001), PP esaslı malzemeleri sıcak plaka kaynak yöntemi ile birleştirerek kaynak bölgesinin mekanik özelliklerini ve mikro yapısını incelemişlerdir. Yapmış oldukları çalışmada, kaynak mukavemetine etki eden parametrelerin en uygun değerlerini 240 °C plaka sıcaklığı, 50s ısıtma süresi ve 0,35 mm birleştirme stroğu olarak belirlemişlerdir. Olivera vd. (2001), yapmış oldukları bir diğer çalışmada ise, %20 ve %30 oranında talk katkılı PP malzemeleri sıcak plaka kaynağı ile birleştirerek, talk katkısının kaynak mukavemetine etkisi üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada 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 çalışmalarda, 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 çalışmıştır. 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 çalışmada 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.

Stokes (1999), yapmış olduğu diğer bir çalışmada ise PC malzemenin sıcak plaka kaynağı ile birleştirilmesinde malzemenin nem alma miktarının kaynak mukavemetine etkilerini çalışmıştır. Çalışmanın sonucunda kurutulmuş polimer malzemelerle üretilen 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) üretilen 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 vd. (2012), yapmış oldukları çalışmada çift cidarlı PE boruları alın altına sıcak plaka kaynak yöntemiyle birleştirerek, kaynaklı numunelerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Bu çalışmada 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 edilebileceği doğrulanmıştır.

Kocatüfek vd. (2013), mühendislik plastiklerinden olan PA ve cam elyafli türevlerini sıcak plaka kaynak yöntemiyle birleştirilerek kaynak parametrelerinin optimizasyonu üzerine çalışmışlardır. Yapmış oldukları 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 moleküler yapısında ortaklaşmamış elektronlar bulunduğundan su molekülü polar yapıdadır. Monomer yapısında C, H dışında N<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> olan PA malzemelerin makro moleküler yapıları da polardır. Bu nedenle makro moleküler 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 vd. (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 vd. (2016) ise, PA66 ve cam elyaf takviyeli türevlerini 60 gün boyunca saf suda bekleterek nemin malzemelerin mekanik özelliklerindeki değişimi araştırmışlardır. Bu araştırmada, ilk 7 günde malzemenin mekanik özelliklerinin önemli ölçüde azaldığı ve nem alma miktarının ise arttığı görülmüştür.

Bascheka vd. (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.

Moralioğlu (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, 16 saat süre ile -20 °C ile 60 °C sıcaklık aralığında yapay olarak şartlandırılarak mekanik özellikleri incelenmiştir,

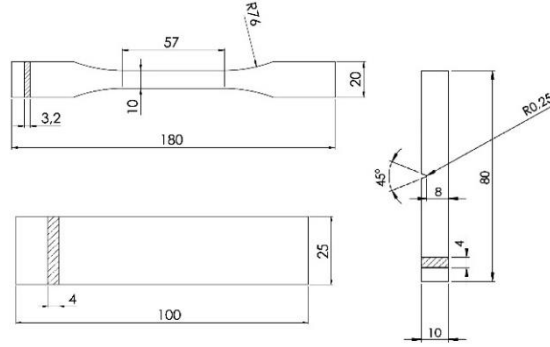
## 2. Malzeme ve Metod (Material and Method)

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 vd., 2004; Walter vd., 1992; Wolfgang, 2015; Dominghaus, 1988; Johannaber ve Michaeli 2002). PA tipi malzemeler neme duyarlı (higroskopik) oldukları için metal (alüminyum) bariyerli HDPE torbalar içinde saklanarak ortamdaki 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 (Nanying vd., 2004; Johannaber ve Michaeli 2002). Bu nedenle PA tipi malzemelerin nem alma davranışını hızlandırmak için yapay olarak şartlandırmak gerekir. PA esaslı malzemelerin farklı ortamlarda nem alma miktarları ve malzemenin mekanik özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir (Walter ve Günther, 1992).

**Tablo 1.** Bazı Poliamid (PA) Türlerinin Teknik Özellikleri (Technical Properties of Some Polyamide (PA) Types)

PA Türü	PA6	PA6 GF30	PA66	PA6 GF35	PA11	PA12	
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	1,13	1,36	1,14	1,4	1,04	1,02	
Nem alma	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 <sup>2</sup> )	1400	5000	2000	10000	1000	1600	
Kopma dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	40	100	65	160	50	45	
Kopma Uzaması (%)	200	-	150	5	500	300	
Çentik darbe dayanımı (kJ/m <sup>2</sup> )	25	17	20	14	40	10 - 20	

Bu araştırmada 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 plastik enjeksiyon yöntemi ile üretilmiştir. Numunelerdeki nem miktarının kararlı hale gelmesi için literatüre göre laboratuvar ortamında 4 ay bekletilmesi gerekmektedir (Nanying vd., 2004; Johannaber ve Michaeli 2002). Araştırmada, Bölüm 2.2'de anlatılan yapay şartlandırma işlemi uygulanarak numunelerin nem miktarının kısa sürede kararlı hale gelmesi sağlanmıştır. Çekme çubuğu, kaynakla birleştirilecek olan numune ve çentik darbe numunesine ait boyutlar Şekil 1 de gösterilmiştir.

**Şekil 1.** Numune Boyutları (Sample Sizes)

## 2.1. Sıcak Plaka Kaynağı (Hot Plate Welding)

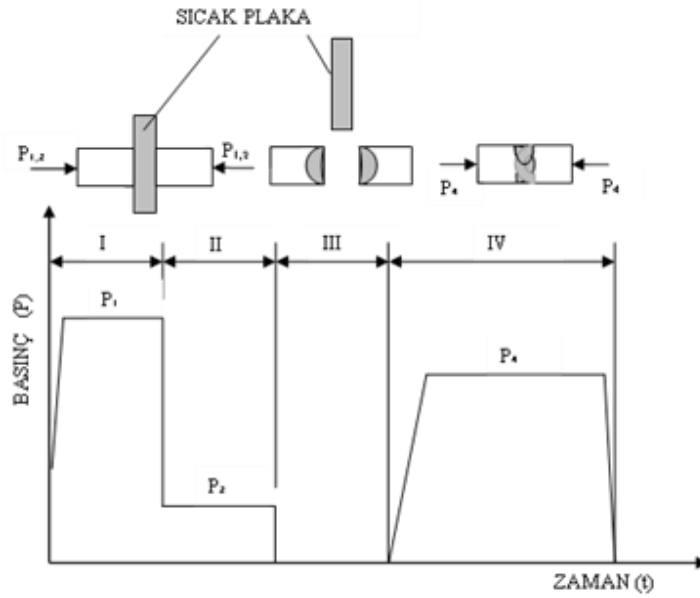
Enjeksiyon kalıplama ile üretilen kaynak numuneleri sıcak plaka kaynak (SPK) yöntemi ile birleştirilmiştir. Sıcak plaka kaynak yöntemi 1960'lı yıllardan günümüze kadar termoplastiklerin kaynak ile birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Sıcak plaka kaynağı ile birleştirilecek olan termoplastik parçalar, tanımlanmış plaka sıcaklığında ve ısıtma süresinde ısıtıcı plakaya temas ettirilerek ergimesi sağlanır. Daha sonra birbirine bastırılan parçaların kaynakla birleşmesi sağlanır. 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 (mak. 3 s) 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 katılma 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'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Sıcak Plaka Kaynağı Proses Aşamaları (Hot Plate Welding Process Steps)

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.

## 2.2. Poliamidlerin Şartlandırılması (Conditioning of Polyamides)

Kayma, aşınma direnci ve mekanik mukavemeti yüksek olan poliamidlerin genel olarak şartlandırma ile süneklikleri artırılabilir. Poliamid parçalarının 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 16 saat süre 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 Eşitlik (1) 'e göre hesaplanmıştır.

$$\%W = (W_s - W_i) / W_i \times 100 \quad (1)$$

## 2.3. Çekme Testleri (Tensile Tests)

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.

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  $L_o = 50$  mm, kaynaklı numunelerde ise  $L_o=100$  mm alınarak, numuneler ile ilgili gerilme - uzama eğrileri elde edilmiştir. Şekil 3'te sıcak plaka kaynağı ile birleştirilmiş olan kaynak numuneleri gösterilmiştir.



Şekil 3. Sıcak Plaka Kaynağı ile Birleştirilmiş Kaynak Numunesi (Welding Sample Joined with Hot Plate Welding)

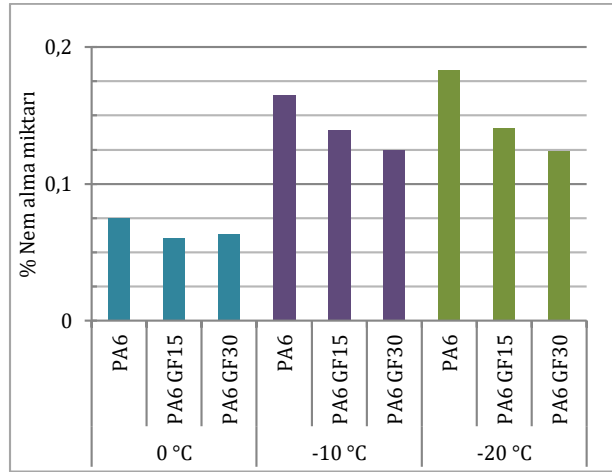
## 2.4. Çentik Darbe Testi (Notch Impact Test)

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.

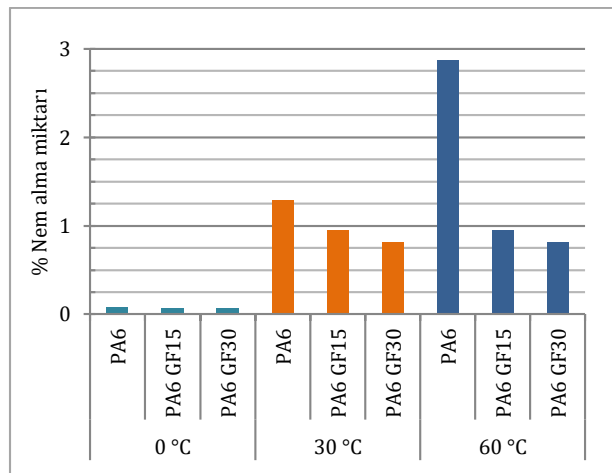
## 4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

### 4.1. Numunelerin Nem Alma Miktarı (Dehumidification Amount of Samples)

Kaynaklı numuneler, çentik darbe numuneleri ve çekme çubukları su banyosunda 16 saat bekletilerek yapay olarak şartlandırılmıştır. Hassas terazi ile tartılan numunelerin ağırlıkça nem alma yüzdelерinin ortalamaları farklı malzeme tiplerine göre Şekil 4 ve Şekil 5'de verilmiştir. Ağırlık ölçümleri sonucunda, sıfırın altındaki sıcaklıklarda (0, -10 ve -20°C) numunelerin düşük oranda (%0,07 - %0,18) nem aldığı görülmüştür.



Şekil 4. 0, -10 ve -20°C'de Şartlandırma Sıcaklığına Bağlı Nem Alma Yüzdesi (Dehumidification Percentage Depending on Conditioning Temperature at 0, -10 ve -20°C)



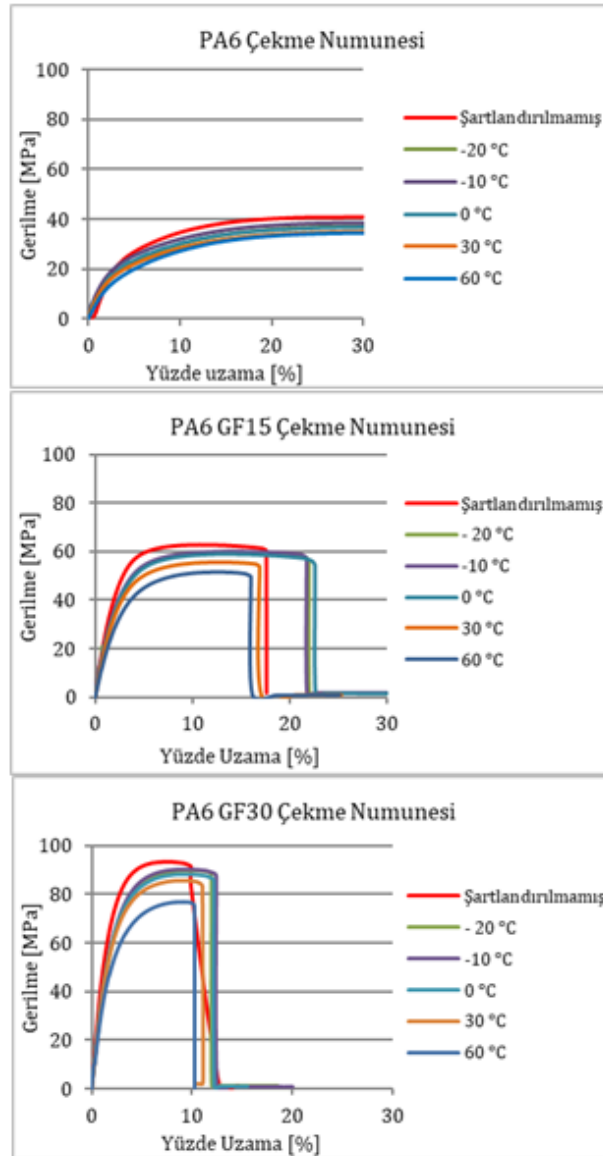
Şekil 5. 0, 30 ve 60°C'de Şartlandırma Sıcaklığına Bağlı Nem Alma Yüzdesi (Dehumidification Percentage Depending on Conditioning Temperature at 0, 30 ve 60°C)

### 4.2. Nem Alma Miktarının Kaynak Mukavemetine Etkisi (The Effect of Dehumidification on Welding Strength)

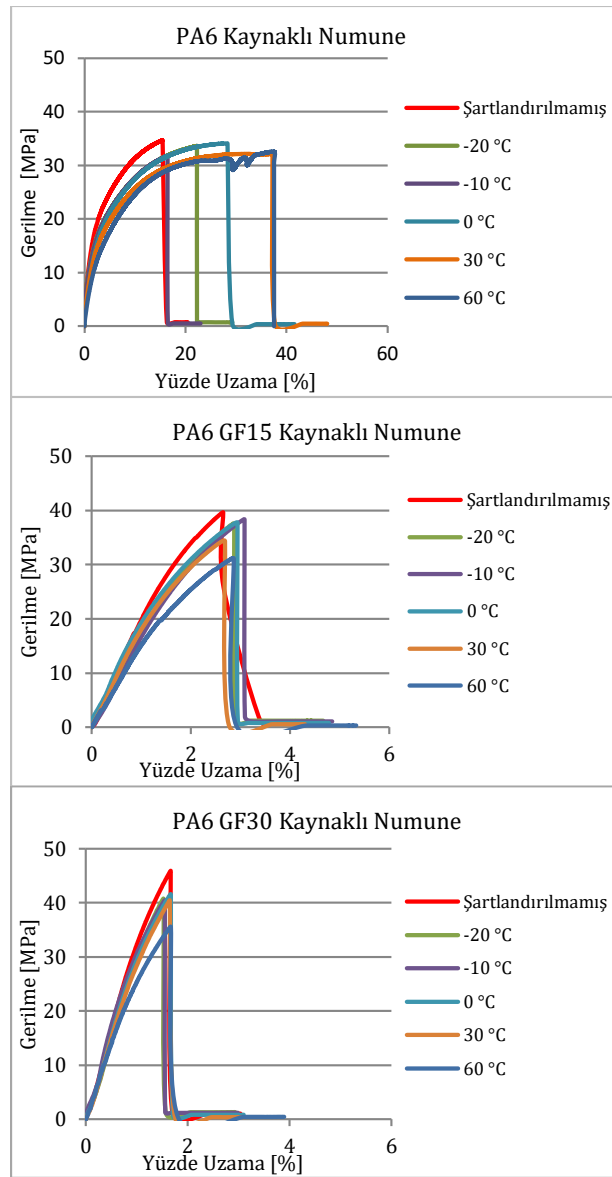
Şartlandırılmamış PA6 tipi malzemelerde çekme numunelerinde ortalama 40,5 MPa maksimum gerilme değerine

ulaşırken, sıfırın altındaki sıcaklıklardan şartlandırılmış olan numunelerde bu değer ortalama olarak 38 MPa' a kadar düşmektedir. Sıcaklığın artmasıyla PA6 tipi malzemelerde maksimum gerilme değerlerinin, 60 °C sıcaklıkta 35 MPa' a kadar düştüğü gözlenmiştir. PA6 GF 15 ve PA6 GF 30 tipi malzemelerde de şartlandırma sonucunda malzemenin maksimum gerilmelerinde de benzer değişiklikler gözlenmiştir. PA6, PA6 GF15 ve PA6 GF30 tipi malzemelerin farklı sıcaklıklarda şartlandırılmış ve şartlandırılmamış çekme numunelerinin gerilme - şekil değiştirme grafikleri Şekil 6'da gösterilmiştir.

Şartlandırılmamış PA6 kaynaklı numuneler ortalama 35 MPa da koparken, sıfırın altındaki sıcaklıklarda şartlandırılan numunelerde bu değer ortalama 34 MPa seviyesindedir. Şartlandırma sıcaklıklarının artması ile kaynaklı numunelerin nem alma miktarı artmakta ve sonuç olarak mekanik mukavemet düşmektedir. Yüksek sıcaklıklarda, 60 °C şartlandırılmış kaynaklı numunelerin kopma mukavemeti ortalama 32,5 MPa dır. PA6 GF15 ve PA6 GF30 tipi malzemelerdeki değişimde benzer düzeydedir. Farklı sıcaklıklarda şartlandırılan malzemelerin kaynaklı numunelerinin ve şartlandırılmamış kaynaklı numunelerinin gerilme - şekil değiştirme grafikleri Şekil 7'de gösterilmiştir.



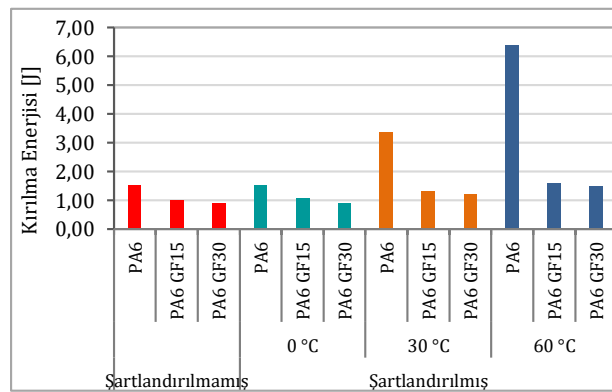
Şekil 6. Çekme Numunelerine ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafikleri (Stress-Strain Graphics for Tensile Samples)



Şekil 7. Kaynaklı Numunelere ait Gerilme-Şekil Değişirme Grafikleri (Stress-Strain Graphics of Welded Samples)

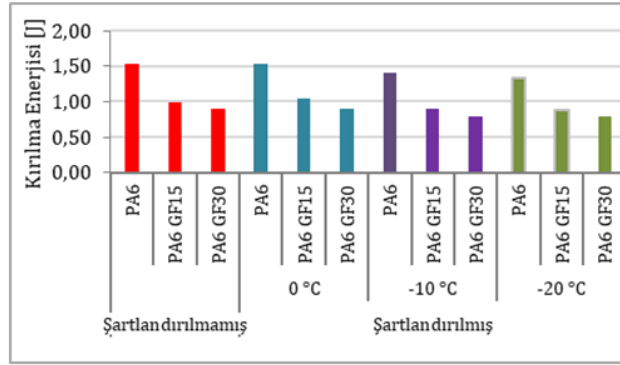
#### 4.3. Çentik Darbe Deneyi Sonuçları (Notch Impact Test Results)

Çentik darbe numunelerinin kırılma enerjilerindeki değişimleri, 0 °C üzerindeki ve altındaki sıcaklıklarda olmak üzere 2 farklı grupta incelenmiştir. Şekil 8'de 0 °C üzerindeki sıcaklıklarda sıcaklığın artmasıyla birlikte numunelerin kırılma enerjisinin arttığı, Şekil 9'da 0 °C'nin altındaki sıcaklıklarda sıcaklığın azalması ile numunelerin kırılma enerjisinin azaldığı görülmüştür.



Şekil 8. PA6 ve cam elyafı türlerinin 0 °C üzerindeki sıcaklıklarda kırılma enerjisi değişimi (Fracture Energy Variation of PA6 and Glass Fiber Types at Temperatures above 0 °C)





**Şekil 9.** PA6 ve cam elyaflı türevlerinin 0 °C altındaki sıcaklıklarda kırılma enerjisi değişimi (Fracture Energy Variation of PA6 and Glass Fiber Types at Temperatures below 0 °C)

Her iki durumda literatür ile uyumludur (Domininghaus 1988; Johannaber and Michaeli 2002; Ehrenstein, 2004, Yeni vd. 2010). Numunelerde şartlandırma sıcaklıklarına bağlı olmaksızın, cam elyaf oranı arttıkça malzemelerin kırılma enerjisi azalmaktadır.

## 5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

PA6 malzemelerde, şartlandırılmamış çekme çubuğu ve kaynak numunesi karşılaştırıldığında, kaynakla birleştirme sonrasında mekanik mukavemet kaybının ortalama %14,6 oranında olduğu görülmüştür. Farklı sıcaklıklarda yapılan şartlandırmalarda kaynaklı numuneler ve çekme çubuğu karşılaştırıldığında, mekanik mukavemet kaybının %5,8-%10,5 aralığında olduğu gözlemlenmiştir. Mekanik mukavemet kaybının en düşük olduğu şartlandırma sıcaklığı 60 °C olarak saptanmıştır.

PA6 GF15 malzemelerde, şartlandırılmamış çekme çubuğu ve kaynak numunesi karşılaştırıldığında, kaynakla birleştirme sonrasında mekanik mukavemet kaybının ortalama %37 olduğu görülmüştür. Farklı sıcaklıklarda yapılan şartlandırmalarda kaynaklı numunelerin mekanik mukavemet kaybının %37-39 aralığında olduğu gözlemlenmiştir.

PA6 GF30 malzemelerde ise, şartlandırılmamış çekme çubuğu ve kaynak numunesi karşılaştırıldığında, kaynakla birleştirme sonrasında mekanik mukavemet kaybının ortalama %51 olduğu görülmüştür. Farklı sıcaklıklarda yapılan şartlandırmalarda kaynaklı numunelerin mekanik mukavemet kaybının %52-54 aralığında olduğu gözlemlenmiştir.

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

Sonuç olarak; Termoplastik malzemelerin monomer yapısına bağlı olarak nem alma davranışları değişmektedir. Bu durum malzemenin mekanik özelliklerini zaman içinde önemli ölçüde etkilemektedir. Suyun moleküler yapısında ortaklaşmamış elektronlar bulunduğu için su molekülü polar yapıdadır. Monomer yapısında C, H dışında N<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> olan PA malzemelerin makro moleküler yapıları da polardır. Bu nedenle makro moleküler yapıları polar olan PA malzemelerin nem alma özellikleri vardır ve zamana bağlı olarak nem alma miktarları artmakta, mekanik özellikleri ise azalmaktadır. PA esaslı malzemelerin nem alma miktarı belirli bir seviyeye geldiğinde malzeme özellikleri stabil hale gelmektedir. Endüstriyel uygulamalarda PA esaslı malzemelerin malzeme özelliklerinin stabil halde olması için, PA esaslı malzemelerden üretilmiş olan ürünlerin şartlandırılması gerekmektedir. Bu araştırmada kaynakla birleştirme sonrasında uygulanan şartlandırma sonucunda, malzemenin mekanik mukavemet değerleri bir miktar düşmüş, ancak malzeme özelliklerinin stabil hale gelmesi sağlanmıştır. Yapılan bu araştırmada kaynaklı numuneler için mekanik mukavemet kaybının en düşük olduğu şartlandırma sıcaklığı PA6 tipi malzemeler için 60 °C olarak saptanmıştır. Poliamid esaslı malzemelerde şartlandırma sıcaklığı kadar şartlandırma süreleri de oldukça önemlidir, bu kapsamda farklı şartlandırma sürelerinin de malzeme özelliklerine ve kaynak mukavemetine etkisinin araştırılması endüstriyel uygulamalar açısından faydalı olacaktır.

## Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

**Kaynaklar (References)**

- Bascheka G., Hartwiga G., Zahradnikb F., 1999. Effect of Water Absorption in Polymers at Low and High Temperatures. *Polymer*, 40, 3433-3441.
- Chaichanawong J., Thongchuea C., 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 Kunststoffe und Ihre Eigenschaften*, Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Ehrenstein G.W., 2004. *Handbuch Kunststoff – Verbindungstechnik*. München: Carl Hanser Verlag.
- Johannaber F., Michaeli W., 2002. *Handbuch Spritzgießen*. München: Carl Hanser Verlag.
- Kocatüfek U.E., 2013. Poliamid Esaslı Malzemelerde Cam Elyaf Katkısının Sıcak Plaka Kaynağı Üzerinde Etkisinin Araştırılması. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Kocatüfek U., Yeni Ç., Ülker A., Sayer S., Özdemir U., 2013. Cam Elyaf Takviyeli Poliamid 6 Kompozit Malzemede Sıcak Plaka Kaynak Parametrelerinin Taguchi Yöntemi ile Optimizasyonu. II Ulusal Ege Kompozit Malzeme Sempozyumu, Kasım 7 – 9, İzmir, 467-488.
- Lee B., Kim J., Lee S., Kim Y.K., 2012. Butt-Welding Technology for Double Walled Polyethylene Pipe. *Materials and Design*, 35, 626-632.
- Moralhoğlu U.E., 2013. Effects of Moisture after Injection on the Mechanical Properties of PA6 and PA66 Materials. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Nanying J., Howard A.F., Val K.A., 2004. Effects of Moisture Conditioning Methods on Mechanical Properties of Injection Molded Nylon 6. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 23 (7), 729-737.
- Oliveira M.J., Bernardo C.A., 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., 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., Conway V.R., 2001. A Phenomenological Study of The Hot-Tool Welding of Thermoplastics. 4. Weld Strength Data For Several Blends. *Polymer*, 42 (17), 7477-7493.
- Vlasveld D.P.N., Groenewold J., Bersee H.E.N., Picken S.J., 2005. Moisture Absorption in Polyamide-6 Silicate Nanocomposites and its Influence on the Mechanical Properties. *Polymer*, 46 (26), 12567-12576.
- Walter H., Günther H., Siegfried H., 1992. *Werkstoff-Führer Kunststoffe*. Deutsch: Carl Hanser Verlag.
- Watson M.N., 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*. Carl Hanser Verlag.
- Yeni Ç., Sayer S., Ülker A., 2010. Poliamid Parçaların Üretim Sonrasında Nem Alarak Şartlandırılması. *PAGEV Plastik Dergisi*, 111, 296-302.