



## Friction Stir Spot Welding of Polyamide 6 Material

Şenol MERT<sup>\*1</sup>, Aydın ÜÇÜNCÜ<sup>2</sup>, Sevda MERT<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü, Düzce, Türkiye

<sup>2</sup>Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Bölümü, Düzce, Türkiye

<sup>3</sup>Düzce Üniversitesi, Gölyaka Meslek Yüksek Okulu, Düzce, Türkiye

### Keywords:

Polyamide 6  
FSSW  
Tool  
Tensile Test  
Optical Microscope

### Abstract

In this experimental study, the friction stir spot welding (FSSW) was applied for joining Polyamide 6 (PA6) material. The friction stir spot welding method is a derivative of the friction stir welding (FSW) process, which is a new process that recently has received considerable attention from the automotive and other industries. The FSSW process consists of three phases of plunging, stirring and retraction with the FSSW tool similar to the FSW tool. Studies by various researchers have shown quite the effect of tool geometry, tool rotation speed, tool penetration and dwell time on tensile failure load of the joint for this method. In the experimental study, 4 mm thick Polyamide 6 sheets were done lap joints with FSSW. Tensile tests were applied to the welding samples. Depending on the polymer material and parameters used, the maximum tensile force value obtained is 540,6 N. In addition, fracture surfaces and rupture zones were examined by optical microscope.

## Poliamid 6 Malzemenin Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı

### Anahtar Kelimeler:

Poliamid 6  
SKNK  
Takım  
Çekme Testi  
Optik Mikroskop

### Özet

Bu deneysel çalışmada, sürtünme karıştırma nokta kaynağı (SKNK), Poliamid 6 (PA6) malzemenin birleştirilmesi için uygulanmıştır. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı yöntemi, sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) yönteminden türetilmiş ve son zamanlarda sadece otomobil sektöründe değil aynı zamanda diğer endüstri kollarında da oldukça dikkat çeken yeni bir kaynak yöntemidir. Yöntemin, SKK yönteminde kullanılan kaynak takımına benzer bir takım, dalma, karıştırma ve geri çekilme olarak belirtilen üç kademedan oluşan bir uygulaması vardır. Çeşitli araştırmacıların çalışmaları, bu yöntem için takım geometrisinin, takım devir sayısının, takım dalma derinliğinin ve bekleme süresinin, bağlantının çekme kuvveti üzerine oldukça etkisi olduğunu göstermiştir. Bu deneysel çalışmada, 4 mm kalınlığındaki Poliamid 6 levhaların SKNK ile bindirme bağlantıları yapılmıştır. Oluşturulan kaynak numunelerine çekme testleri uygulanmıştır. Kullanılan polimer malzemeye ve parametrelere bağlı olarak elde edilen maksimum çekme kuvveti değeri 540,6 N'dur. Ayrıca kırılma yüzeyleri ve kopma bölgeleri optik mikroskop ile incelenmiştir.

## 1 GİRİŞ

Plastik malzemelerin laboratuvar şartlarında istenilen özelliklerinin geliştirilmesindeki sınırsızlık, bu malzemelere geleceğin mühendislik malzemeleri olma özelliğini kazandırmıştır. Metalik malzemelere göre mekanik özelliklerinin daha düşük olmasına rağmen plastik yapıya çeşitli katkı maddelerinin ilave edilmesiyle (cam, karbon, talk, fiber vb.) fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi mümkün olabilmektedir [1]. İlk polimer malzeme 1868 yılında J. Hyatt tarafından keşfedilen selüloittir [2, 3]. Termoplastiklerin zincirleri arasında çapraz bağlar bulunmaması ve doğrusal veya dallanmış zincirli polimerler olması nedeniyle uygun çözücülerde çözünürler, ısıtıldıklarında erirler ve eritilerek defalarca yeniden şekillendirilebilirler [1]. Poliamid yüksek dayanım, sertlik, iyi elektriksel ve kimyasal özelliklere sahip hafif ve birçok türü olan bir termoplastiktir [4]

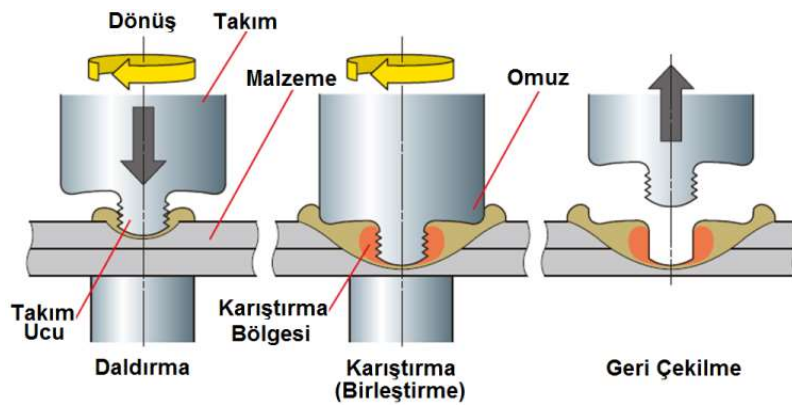
\*e-Posta: senolmert@duzce.edu.tr

Poliamidler çok üstün özelliklere sahip termoplastiklerdir. Aşınmaya karşı dirençlidirler [5]. Naylon, poliamidlere verilen genel bir addır. Naylonlar, sert, sağlam, sürtünme katsayısı düşük, kendiliğinden yağlama özelliğine sahip polimerlerdir ve 80-120 °C gibi yüksek sıcaklık aralığında kullanılabilirler. Kimyasallara dayanıklı olan naylonlar tornada kolay işlenebilmektedir [6]. Naylonlar ticari poliamidlerdir (PA), solventlere ve yağlara karşı dirençlidirler, darbe dayanıklılıkları çok iyidir, asitlerden etkilenirler [7]. Poliamid 6 mühendislik polimerleri sınıfında olup diğer geleneksel polimerler ile karşılaştırıldığında, üstün mekaniksel özellikleri nedeniyle elektrik/elektronik, otomotiv, ambalaj ve tekstil uygulamalarında yaygın olarak kullanım alanı bulan yüksek performanslı termoplastik bir polimerdir. Ancak, Poliamid 6 polimerinin düşük ısı sapma sıcaklığı, yüksek su emme özelliği ve ölçüsel kararsızlığı daha geniş uygulama alanlarında kullanımını sınırlandırmaktadır [8].

Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı (SKNK) yöntemi 1993 yılında Mazda tarafından icat edilmiş, tamamen yeni ve ergime olmaksızın bindirme bağlantısı gerçekleştirilen bir katı faz kaynak yöntemidir [1, 9-17]. SKNK, sürtünme karıştırma kaynağından (SKK) türetilmiştir ve otomotiv sektöründe oldukça dikkat çekmektedir [18-20]. Otomotiv endüstrisinde alüminyum sacların birleştirilmesinde direnç nokta kaynağı sonucunda oluşan hataların giderilmesi için geliştirilen SKNK, başarılı bir şekilde, alüminyum [21], magnezyum [22], çelik levhalara [23] uygulanmaktadır. SKNK ile plastikler üzerine yapılan ilk çalışmalar neticesinde, bu yöntemin polimer esaslı malzemelere de uygulanabilirliği kanıtlanmıştır [1, 12, 15, 24]. Sonrasında ise çeşitli polimer malzemelerin SKNK yöntemi ile birleştirilerek optimum parametrelerin saptanabilmesi için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. SKNK yönteminin metal malzemelere ilaveten plastik malzemelere de uygulanabilmesi, yöntemle önemli bir avantaj kazandırmıştır [10-12, 18, 24-34].

Son yıllarda geliştirilen kaynak yöntemleri, direnç nokta kaynağı gibi özellikle otomotiv sanayisinde halen kullanılmakta olan kaynak yöntemlerinin yerini almaya adaydır. Bu anlamda, direnç nokta kaynağının alternatif kaynak yöntemi SKNK olarak ifade edilmektedir. Otomotiv sanayisinde, bir otomobilin üretilebilmesinde binlerce parça kullanılmakta ve yüzlerce farklı tipte işlem gerçekleştirilmektedir. Bu işlemlerin en önemlilerinden birisi aracın kalitesini %40 oranında etkileyen ve aracın gövdesinin ortaya çıkarıldığı kaynak işlemleridir [18]. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı (SKNK), sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) tekniğine dayanan yeni bir kaynak yöntemidir [35] ve SKNK ilk olarak Mazda firması tarafından, önce Mazda RX-7 model spor arabaların, sonrasında ise RX-8 model spor arabaların üretiminde kullanılmıştır [1].

SKNK yöntemi, sürtünme karıştırma kaynağının nokta halinde dikiş üreten bir versiyonudur. SKNK tekniği, geleneksel ergitmeli kaynak teknikleri ile karşılaştırıldığında en önemli avantajlarından biri ana metalin ergimeden kaynak işleminin gerçekleşmesidir [36]. Yeni bir kaynak yöntemi olan SKNK, otomotiv, havacılık ve diğer sektörlerdeki uygulamaları için çalışılmıştır [37-39]. SKNK yönteminin, SKK yönteminde kullanılan kaynak takımına benzer bir takımla, daldırma, karıştırma ve geri çekilme olarak belirtilen üç kademe gerçekleştirilen bir uygulaması vardır [9, 10, 25, 27, 40-44]. Bu birleştirme sürecinin üç aşaması Şekil 1'de gösterilmiştir [45].



Şekil 1. SKNK yönteminin üç kademesi [45]

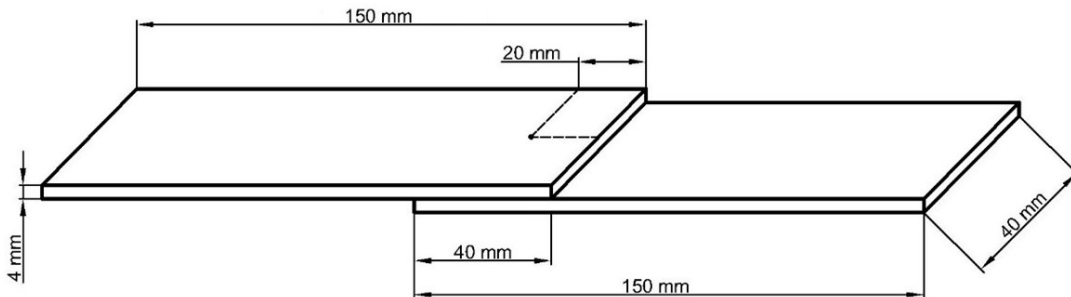
Badarinarayan H. ve diğ. yaptıkları çalışmada, 3 farklı omuz taban açısında ( $10^{\circ}$  konkav,  $0^{\circ}$  düz,  $10^{\circ}$  konveks) ürettikleri takımlarla, alüminyum 5754-O levhalar üzerinde uyguladıkları SKNK sonucunda, en iyi kaynak dayanımına  $10^{\circ}$  konkav tabanlı takımla ulaşılmıştır [46]. Badarinarayan H. ve diğ. bir diğer çalışmalarında ise iki farklı uç geometrisi (silindirik, üçgen) kullanmışlar ve kaynak dayanımı açısından silindirik uçlu kaynak takımının daha iyi sonuçlar verdiğini görmüşlerdir [47]. Tozaki T. ve diğ. üç farklı uç uzunluğuna (3,7 - 3,1 - 2,4 mm) sahip takımla yaptıkları çalışma sonucunda, uç uzunluğu arttıkça kaynak dayanımında da artış olduğunu

gözlemişlerdir [48]. Bilici ve diğ. dört farklı uç profili (silindirik, konik, vida dişi açılmış silindirik ve üçgen) ile, belirli koniklik açısı, kesit boyutu ve uç uzunluğuna sahip takımlarla oda sıcaklığında kaynaklı bağlantılar gerçekleştirmişlerdir. Yüksek yoğunluklu polietilen levhaların SKNK ile birleştirilmesinde, kullanılan takımın uç geometrisinin, kaynak kopma kuvvetine etkilerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda, konik takım uç profilinin, en yüksek kaynak kopma kuvvetine sahip kaynak dikişi oluşturduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca kaynak takımının uç kesit boyutu ve koniklik açısının, dikiş oluşumu ve kaynak kopma kuvveti üzerinde etkisinin olduğu sonucuna varmışlardır [49]. Kurtulmuş, 4 mm kalınlığındaki PP malzeme üzerinde yaptığı çalışmada en iyi kaynak dayanımına 900 dev/dk takım devri, 5,7 mm dalma derinliği ve 120 sn karıştırma süresinde ulaşmıştır [50]. Çevik, polietilen levhalar ile yaptığı çalışmada, kaynak işlemlerinde iki farklı takım dönme yönü (sağ ve sol) ve üç farklı karıştırma süresi (60, 90 ve 120 sn) kullanmıştır. En iyi kaynak dayanımını, dönme yönü sağ ve 90 sn karıştırma süresinde elde etmiştir [51]. Bilici ve diğ., polietilen levhalar üzerinde yaptıkları çalışmada, takım dönme hızı, dalma derinliği ve dönme süresinin kaynak dikiş oluşumunu ve kaynak kopma kuvvetini etkilediğini ve yüksek kopma kuvveti elde edebilmek için bu üç kaynak parametresinin optimum değerde olması gerektiği sonucuna ulaşmışlardır. Çalışma sonucunda kullanılan kaynak takımına bağlı olarak elde edilen optimum kaynak parametrelerini ise 710 d/d dönme hızı, 5,7 mm takım dalma derinliği ve 30 sn dönme süresi olarak tespit etmişlerdir [52]. Mert, 3 mm kalınlığındaki polipropilen levhalar üzerinde yaptığı çalışmada, bekleme süresinin ve devir sayısının çekme kuvvetine etkisinin incelendiği ve tek nokta kaynağı için bindirme bağlantıları ile yapılan kısmında, elde edilen en yüksek çekme kuvveti değeri için optimum bekleme süresi, devir sayısı ve dalma derinliği parametrelerini sırası ile 150 sn - 1250 d/d - 5,5 mm olarak bulmuştur. Aynı kalınlıktaki PP numunelerde, dalma derinliğini incelediği çalışmalarda ise, en yüksek çekme kuvveti değerine, 4,65 mm'lik dalma derinliğinde ulaşmıştır. Dalma derinliğinin çekme kuvvetine etkisinin incelendiği ve tek nokta kaynağı için bindirme bağlantıları ile yapılan çalışmalarda, dalma derinliği aralığının küçük artışlar ile taranması sonucu, elde edilen en yüksek çekme kuvveti değeri için optimum bekleme süresi, devir sayısı ve dalma derinliği parametreleri sırası ile 150 sn - 1250 d/d - 4,65 mm olarak bulunmuştur [1].

Bu deneysel çalışmada, 4 mm kalınlığındaki Poliamid 6 malzemeye, SKNK yöntemi ile bindirme şeklindeki kaynak noktaları oluşturulmuştur. SKNK yönteminin, seçilen malzemeye uygulanabilirliğini gösteren veriler elde edilmiştir. Kullanılan polimer malzemeye ve parametrelere bağlı olarak ulaşılabilecek maksimum çekme kuvveti değeri belirlenmiştir. Kaynaklı bağlantıların oluşturulması için literatürdeki kaynak takımları incelenerek, uygun kaynak takımı ve numunelerin tezgah tablasına bağlanması için uygun bağlama aparatı tasarlanıp, üretilmiştir. CNC tezgahta, SKNK uygulanan numuneler, tekrarlanan çekme deneyleri ile test edilmiştir. Yapılan ön çalışmaların ışığında, belirli bir dalma derinliği ve dalma hızı için, farklı devir sayısı ve farklı bekleme süresi değerleri kullanılarak, çekme kuvvetini maksimum değere taşıyan optimum kaynak parametreleri belirlenmiştir. Ortaya çıkan kopma bölgeleri ayrıca optik mikroskop ile de incelenerek yorumlanmıştır.

## 2 MATERYAL VE METOD

Deneysel çalışmada, kaynaklı bağlantıların oluşturulmasında kullanılacak numuneler, 150x40x4 mm boyutlarında ve standartlara uygun şekilde hazırlanmıştır. Kaynak numuneleri, 2000x1000x4 mm boyutlarındaki ekstrüzyon ürünü olarak üretilmiş Poliamid 6 (PA6) levhadan, şerit testere tezgahında uygun geometride kesilerek çıkarılmıştır. SKNK yöntemini uygulamak için kaynaklanacak numunelerin bindirme pozisyonu Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. SKNK yönteminin uygulandığı Poliamid 6 numunelerin bindirme pozisyonu

Deneysel çalışmada, torna tezgahında 4140 çelik malzeme kullanılarak imal edilen, kaynak takımı denenmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılacak takımın ölçüleri belirlenirken, yapılan literatür araştırmasında kullanılan takımlar göz önünde bulundurularak, bu takımlara ait ölçüler arasındaki oranlar dikkate alınmıştır Tablo 1 [1].

**Tablo 1.** Literatürde kullanılan SKNK takımlarının oranları [1]

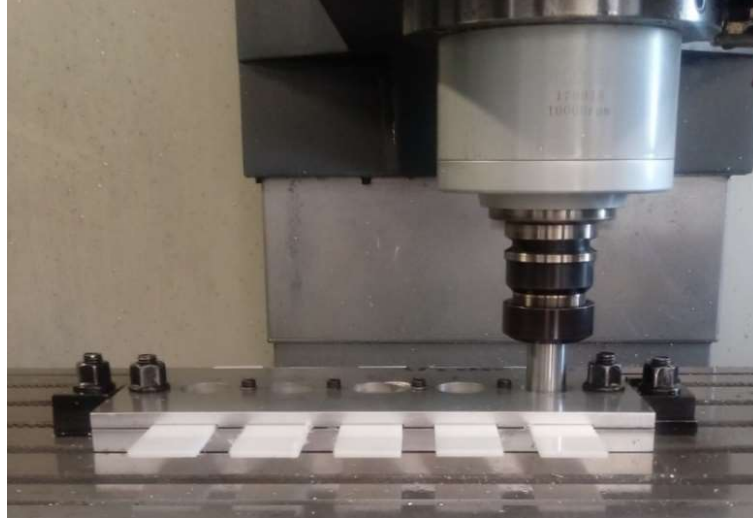
Omuz Çapı / Uç Çapı	2,0 ÷ 3,5 arası değişebiliyor
Uç Çapı / Uç Uzunluğu	1,1 ÷ 2,6 arası değişebiliyor

Uygun kaynak takımı geometrisi tasarlanmış ve oluşturulacak SKNK bağlantılarında kullanılacak takımın boyutları ve ilgili oranları belirlenmiştir. Tablo 2’de bu deneysel çalışmada kullanılan takıma ait boyutlar ve oranlar verilmiştir.

**Tablo 2.** Yapılan deneysel çalışmada kullanılmak üzere tasarlanan kaynak takımının boyutları ve ilgili oranlar

Omuz Çapı	28 mm
Takım Ucu Çapı (Pim Çapı)	M10 (10 mm)
Uç Uzunluğu (Pim Uzunluğu)	6,5 mm
Omuz İçi Eğimi	0°
Omuz Çapı / Uç Çapı	2,8
Uç Çapı / Uç Uzunluğu	1,538

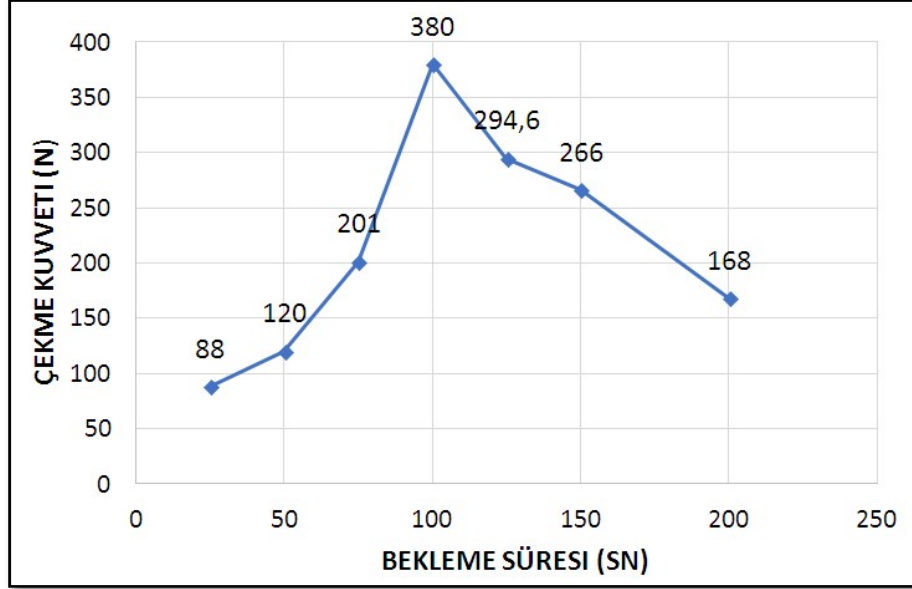
CNC freze tezgahının tablasına, kaynak yapılacak numuneleri bağlamak için tasarlanan bağlama aparatı, kaynaklı bağlantıları oluştururken gözlemlemeye imkan tanıyacak bir şekilde, bu çalışma için özel olarak tasarlanıp, üretilmiştir Şekil 3. Ön çalışmalardan sonra, belirlenen parametreler kullanılarak, SKNK işlemleri CNC freze tezgahında gerçekleştirilmiştir. Parçaların bindirme mesafesi 40 mm’dir. Bindirme bağlantısı konumundaki parçaların, 40x40 bindirme bölgesinin merkezine, omuz çapı 28 mm, pim çapı 10 mm ve pim uzunluğu 6,5 mm olarak imal edilmiş kaynak takımı ile daldırma, karıştırma ve geri çekilme aşamaları sırasıyla uygulanmıştır. Takım, numunelere belirlenen dalma hızında otomatik olarak daldırılmış ve istenilen dalma derinliğine ulaşıncaya belirlenen bekleme (karıştırma-birleştirme) süresinden sonra geri çekilmesi yine aynı hız ile otomatik olarak ve kaynak takımı dönerek gerçekleştirilmiştir ve parçalardan uzaklaştırılmıştır. Takım ilk olarak ön ısıtma numunesine daldırılmış olup, burada 75 sn bekletilmiş ve takımın ısınması sağlanmıştır. Ön ısıtma tamamlandıktan sonra, kaynak takımı ile diğer numunelere sırasıyla SKNK yöntemi otomatik olarak uygulanmıştır. Bu noktada parçalar hemen sökülmemiş, soğuması için beklenmiştir.

**Şekil 3.** SKNK numuneleri için tasarlanan bağlama aparatı

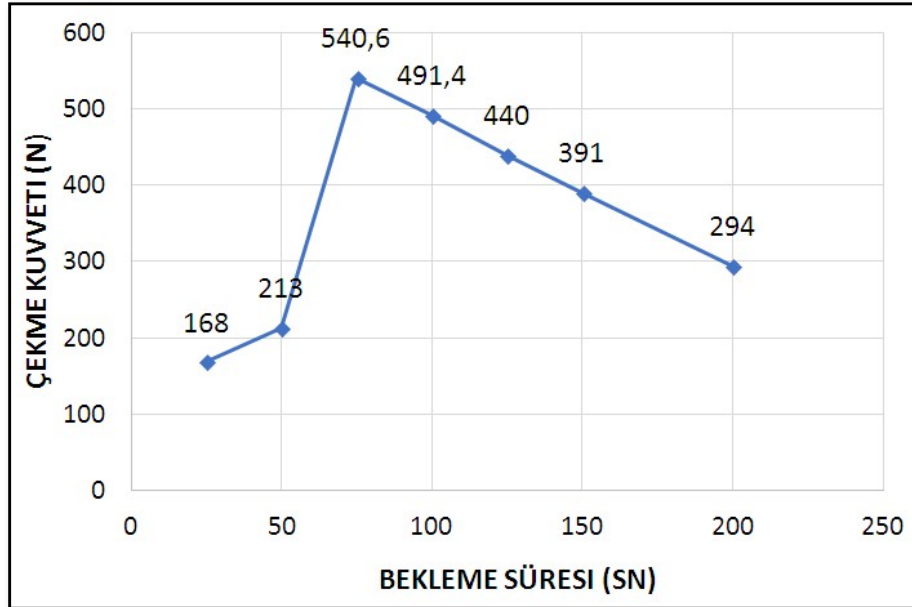
Yapılan deneysel çalışmada, belirlenen bir dalma derinliği ve dalma hızı için, farklı bekleme süresi, farklı devir sayısı parametrelerinin, kaynak bağlantısının dayanımına etkileri araştırılmıştır. Yapılan ön çalışmalar göz önünde bulundurularak, seçilen 750 d/d, 1250 d/d ve 2000 d/d olmak üzere üç farklı takım devri için 25, 50, 75, 100, 125, 150 ve 200 sn aralığında değişen, bekleme sürelerinde, 7 mm dalma derinliğinde ve 100 mm/dak dalma hızında, kaynaklı numuneler oluşturulmuştur. Oluşturulan birleştirmenin ulaştığı maksimum çekme kuvveti değerleri, mekanik testlerden çekme deneyi ile belirlenmiştir. Bilgisayar kontrollü elektromekanik bir çekme testi cihazı kullanılarak, kaynaklı numunelere standartlara uygun olarak çekme testleri uygulanmıştır. Çekme test hızı 20 mm/dak ve çeneler arası mesafe 180 mm olarak ilgili standarda göre belirlenmiştir. Elde edilen çekme kuvvetleri karşılaştırılarak, hangi parametrelerde en yüksek çekme kuvveti değerlerinin elde edildiği belirlenmiştir.

### 3 BULGULAR

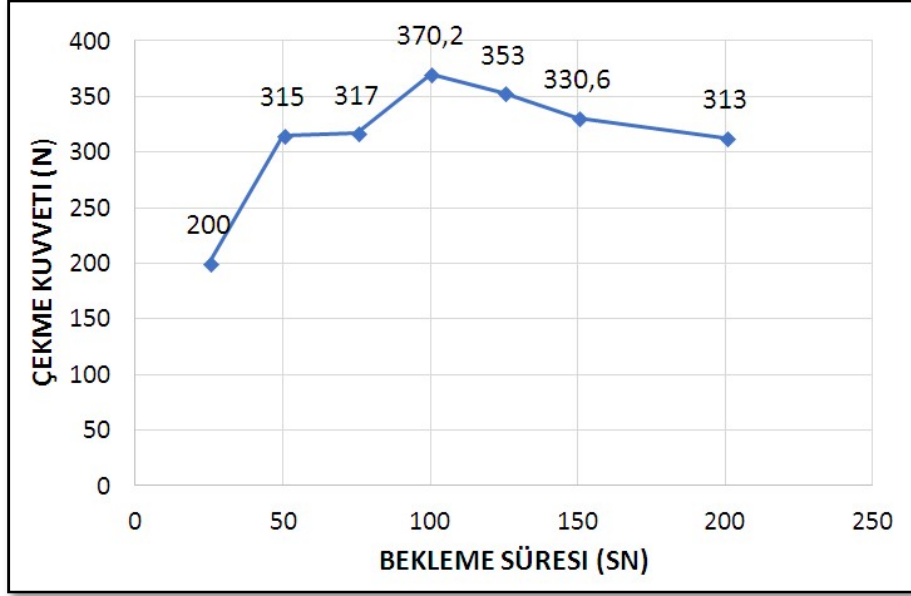
Yapılan deneysel çalışmada, 7 mm dalma derinliği ve 100 mm/dak dalma hızı sabit tutularak, farklı bekleme süresi ve devir sayısının çekme kuvvetine olan etkisi araştırılmıştır. 750 d/d, 1250 d/d ve 2000 d/d devir sayılarında 25, 50, 75, 100, 125, 150, 200 sn bekleme sürelerinde yapılan deneylerin çekme testi sonuçları Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir. Birleştirme yani bekleme süresi arttıkça, çekme kuvvetinin belirli bir değere kadar düzenli arttığı, sonrasında ise düşüş gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu durum, çekme kuvvetini maksimum yapan optimum kaynak parametrelerinin elde edilmesini sağlamıştır. Böylece 7 mm dalma derinliği ve 100 mm/dak dalma hızı sabit tutularak, çekme kuvvetini maksimum yapan optimum bekleme süresi ve takım devir sayısı belirlenmiştir.



Şekil 4. 750 d/d takım devir sayısı ve 7 mm takım dalma derinliği için çekme kuvveti üzerine bekleme süresinin etkisi

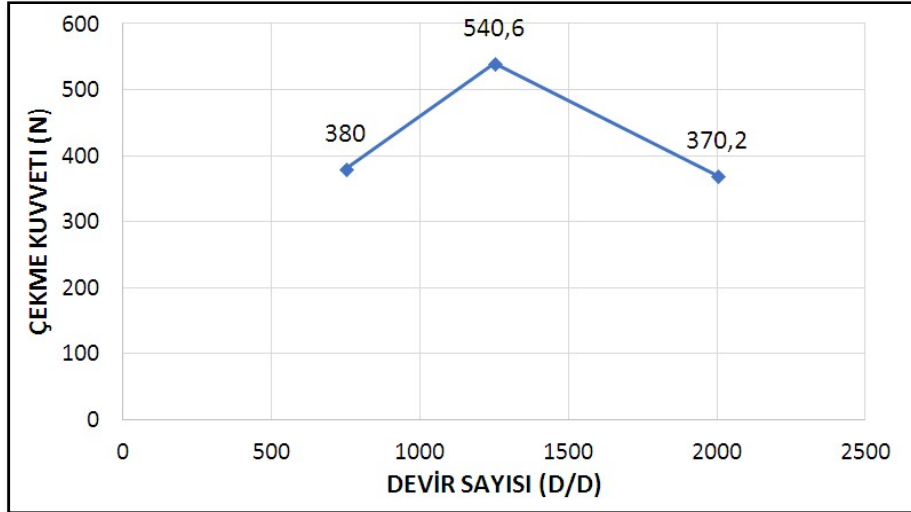


Şekil 5. 1250 d/d takım devir sayısı ve 7 mm takım dalma derinliği için çekme kuvveti üzerine bekleme süresinin etkisi



Şekil 6. 2000 d/d takım devir sayısı ve 7 mm takım dalma derinliği için çekme kuvveti üzerine bekleme süresinin etkisi

Devir sayısının, çekme kuvvetine olan etkisi incelendiğinde ise çekme kuvvetinin belirli bir değere kadar arttığı, sonrasında ise düşüş gösterdiği gözlemlenmiştir. Böylece çekme kuvvetini maksimum yapan optimum devir sayısı değeri 1250d/d olarak elde edilmiştir. Çekme kuvvetinin, takım devir sayısı ile değişimi Şekil 7’de görülmektedir.



Şekil 7. Çekme kuvvetinin, 7 mm dalma derinliği için, takım devir sayısı ile değişimi

Sabit tutulan 100 mm/dak dalma hızı ve 7 mm dalma derinliği için, 750 d/d, 1250 d/d ve 2000 d/d devir sayılarında değişen ve de 25, 50, 75, 100, 125, 150, 200 sn bekleme sürelerinde değişen parametrelerde tekrarlanan deneysel çalışmada, çekme kuvvetini 540,6 N değerle maksimum yapan optimum deney parametreleri, 1250 d/d devir sayısı ve 75 sn bekleme süresidir.

En yüksek çekme kuvveti değerlerinin elde edildiği SKNK uygulanmış numunelerin çekme deneyi öncesi fotoğrafları Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10’da verilmiştir. 100 mm/dak dalma hızı ve 7 mm dalma derinliği sabit tutularak, farklı devir sayıları ve farklı bekleme sürelerinde tekrarlanan deneylerde en yüksek çekme kuvveti değerlerinin elde edildiği SKNK uygulanmış parçaların öncelikli olarak kaynak bölgelerinin gözle muayenesi yapılmıştır. Yapılan incelemelerde, 750 d/d, 100 sn, 7 mm, 100 mm/dak parametrelerinde, 1250 d/d, 75 sn, 7 mm, 100 mm/dak parametrelerinde ve 2000 d/d, 100 sn, 7 mm, 100 mm/dak parametrelerinde kaynaklanan numunelerde, kaynak noktasına ait karakteristik görünümün meydana geldiği ve kaynak işlemi sırasında yumuşayan plastik malzemenin kullanılan parametrelere bağlı olarak farklı oranlarda, kaynak takımı etrafına

sıvandığı görülmüştür. Ayrıca 750 d/d, 100 sn, 7mm, 100 mm/dak ve de 2000 d/d, 100 sn, 7 mm, 100 mm/dak parametreleri kullanılarak oluşturulan kaynaklı numunelerde, kaynak bölgesinde yumuşayan plastik malzeme, omuz altından dışa doğru daha fazla kaçış yaparak, kaynak havuzunun dışına doğru takımın etrafında bir miktar yükseldiği gözlemlenmiştir. Şekil 8 ve Şekil 10'da, 750 d/d ve 2000 d/d da yapılan kaynaklar sırasında, kaynak bölgesinden daha fazla malzemenin uzaklaştığı görülmektedir. Kaynak havuzu içinde kalması gereken ve mukavemet değerlerine katkı yapması gereken malzemenin, kaynak bölgesinin dışına doğru daha fazla çıkış yapmasının, mukavemet değerlerini olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Şekil 8 ve Şekil 10'daki fotoğraflar, Şekil 9'daki fotoğraf ile birlikte incelendiğinde, 1250 d/d da elde edilen çekme kuvvetinin daha yüksek çıkmasını destekleyen önemli görüntüler vermektedir.



Şekil 8. 750 d/d takım devir sayısı ve 100 sn bekleme süresi için çekme deneyi öncesi SKNK numunesi

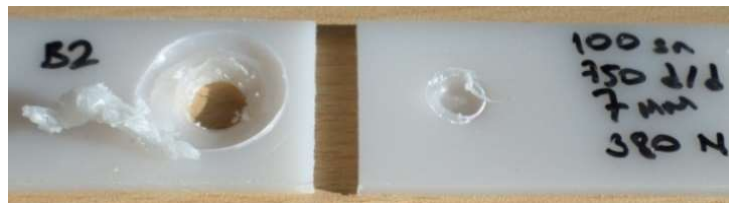


Şekil 9. 1250 d/d takım devir sayısı ve 75 sn bekleme süresi için çekme deneyi öncesi SKNK numunesi

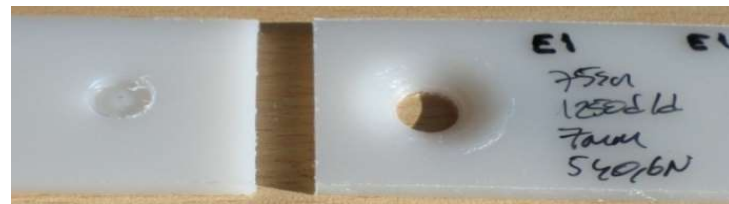


Şekil 10. 2000 d/d takım devir sayısı ve 100 sn bekleme süresi için çekme deneyi öncesi SKNK numunesi

En yüksek çekme kuvveti değerlerinin elde edildiği, sürtünme karıştırma nokta kaynağı numunelerinin, çekme deneyi sonrası fotoğrafları Şekil 11, Şekil 12 ve Şekil 13'te görülmektedir. Kaynak numunelerinin kopma bölgelerindeki, kısmen gözle de görülen uzama liflerinin daha ayrıntılı görülebilmesi için, bu numunelerin kopma bölgeleri ayrıca optik mikroskop altında da incelenmiştir Şekil 14, Şekil 15 ve Şekil 16. Bu optik görüntüleri, elde edilen çekme kuvveti değerlerinin yorumlanmasında önemli katkılar sunmuştur.



Şekil 11. 750 d/d takım devir sayısı ve 100 sn bekleme süresi için çekme deneyi sonrası SKNK numunesi

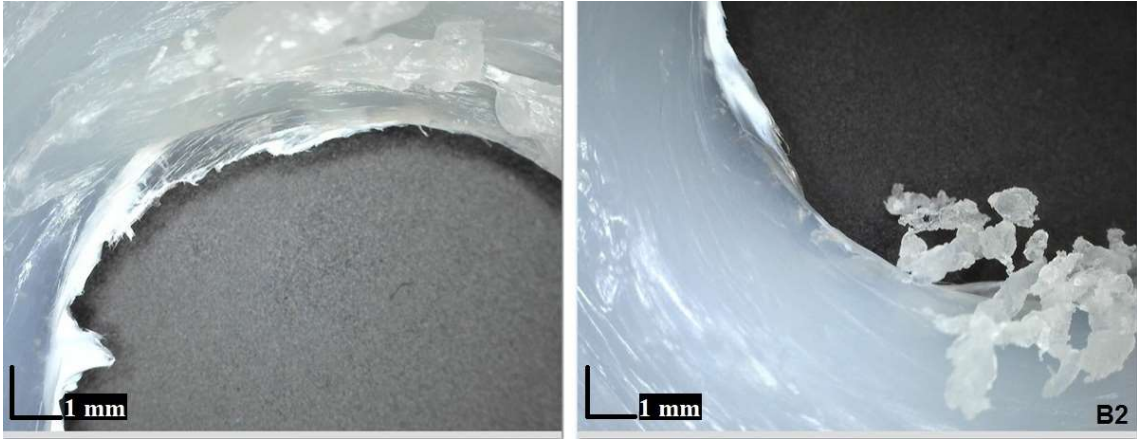


Şekil 12. 1250 d/d takım devir sayısı ve 75 sn bekleme süresi için çekme deneyi sonrası SKNK numunesi

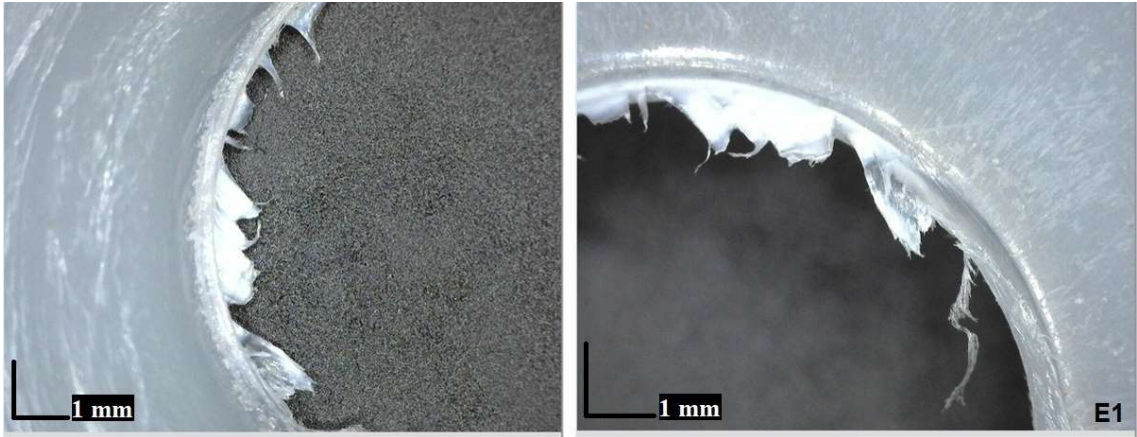


**Şekil 13.** 2000 d/d takım devir sayısı ve 100 sn bekleme süresi için çekme deneyi sonrası SKNK numunesi

En yüksek çekme kuvveti değerlerinin elde edildiği, SKNK numunelerinin çekme deneyi sonrası kopma bölgelerinin optik mikroskop görüntüleri Şekil 14, Şekil 15 ve Şekil 16'da verilmiştir. 1250 d/d devir sayısı, 75 sn bekleme süresi, 7 mm dalma derinliği ve 100 mm/dak dalma hızı parametreleri kullanılarak ulaşılan 540,6 N çekme kuvvetinin elde edildiği E1 nolu numunede, optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde, diğer numunelere göre daha fazla olan uzama lifleri, bu numunenin kırılmaya karşı daha fazla mukavemet gösterdiğini açıkça ortaya koymaktadır. Elde edilen optik mikroskop görüntüleri, E1 numunesinde elde edilen en yüksek çekme kuvveti değerini çok açık bir şekilde desteklemektedir.

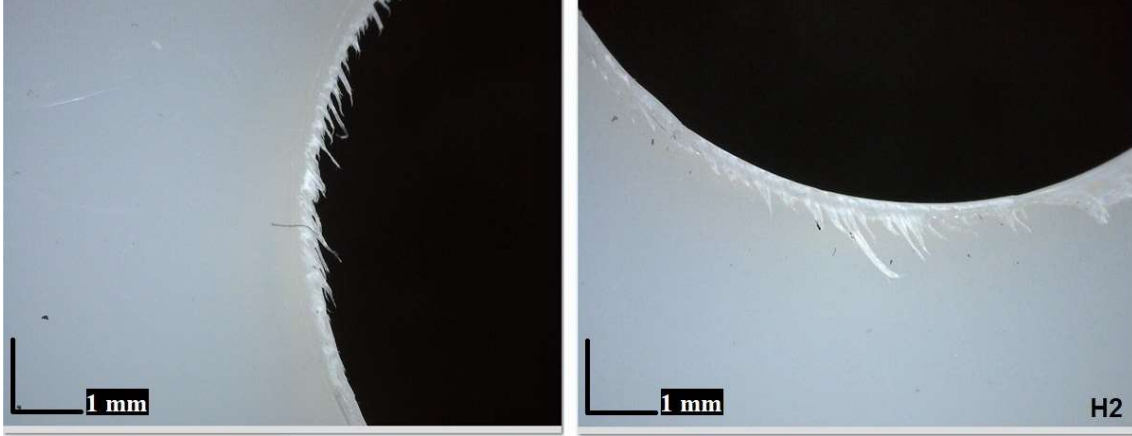


**Şekil 14.** 750 d/d takım devir sayısı ve 100 sn bekleme süresi için B2 nolu kaynak numunesinin optik mikroskop görüntüleri



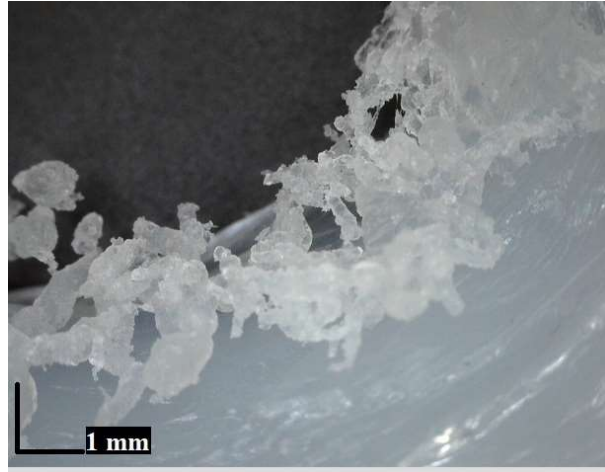
**Şekil 15.** 1250 d/d takım devir sayısı ve 75 sn bekleme süresi için E1 nolu kaynak numunesinin optik mikroskop görüntüleri





Şekil 16. 2000 d/d takım devir sayısı ve 100 sn bekleme süresi için H2 nolu kaynak numunesinin optik mikroskop görüntüleri

Kaynak işleminde kaynak takımının, önce uç kısmının hemen sonrasında da omuz kısmının birleştirilecek malzemelere nüfuz etmesi sırasında, kaynak bölgesini oluşturan kaynak havuzundan dışarı doğru çıkış yapan ve kaynak takımının etrafını saran yumuşamış malzemenin optik mikroskop görüntüleri B2 nolu numune için Şekil 17’ de verilmiştir. SKNK sırasında, takımın malzemeye sürtünmesi sonucu oluşan ısı ile yumuşayan malzemenin görüntüsü, malzemenin akışı ile ilgilide önemli bilgiler vermektedir.



Şekil 17. Kaynak işlemi sırasında B2 numunesi için kaynak takımının etrafını saran yumuşamış malzemenin optik mikroskop görüntüleri

#### 4 SONUÇLAR

Bu deneysel çalışmada, 4 mm kalınlığındaki Poliamid 6 malzemeye SKNK yöntemi uygulanmıştır. SKNK yönteminin, seçilen malzemeye uygulanabilirliğini gösteren veriler elde edilmiştir. Kullanılan polimer malzemeye ve parametrelere bağlı olarak ulaşılabilecek maksimum çekme kuvveti değeri belirlenmiştir. Kaynaklı bağlantıların oluşturulması için literatürdeki kaynak takımları incelenerek uygun kaynak takımı ve numunelerin tezgah tablasına bağlanması için uygun bağlama aparatı tasarlanıp, üretilmiştir. CNC tezgahta, SKNK uygulanan numuneler, tekrarlanan çekme deneyleri ile test edilmiştir. Yapılan ön çalışmaların ışığında, belirli bir dalma derinliği ve dalma hızı için, farklı devir sayısı ve farklı bekleme süresi değerleri kullanılarak, çekme kuvvetini maksimum değere taşıyan optimum kaynak parametreleri belirlenmiştir. Ortaya çıkan kopma bölgeleri ayrıca optik mikroskop ile de incelenerek yorumlanmıştır. 1250 d/d devir sayısı, 75 sn bekleme süresi, 7 mm dalma derinliği ve 100 mm/dak dalma hızı parametreleri kullanılarak ulaşılan 540,6 N çekme kuvvetinin elde edildiği E1 nolu numunede, optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde, diğer numunelere göre daha fazla olan uzama lifleri, bu numunenin kırılmaya karşı daha fazla mukavemet gösterdiğini açıkça ortaya koymaktadır. Elde edilen optik mikroskop görüntüleri, E1 nolu numunede elde edilen en yüksek çekme kuvveti değerini çok açık bir şekilde desteklemektedir.

## Kaynakça

- [1] Ş. Mert, "Polipropilen malzemenin sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile birleştirilmesi," Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2010.
- [2] Z. Parlar, "Poliamid malzemelerin sürtünme ve aşınma karakteristiğine sıcaklığın etkisinin deneysel olarak incelenmesi," Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002.
- [3] S. Akkurt, *Plastik Malzeme Bilimi Teknolojisi ve Kalıp Tasarımı*. İstanbul: Birsen Yayınevi, 2007.
- [4] İ. M. Palabıyık, "Poliamid 6 (PA6) ve yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) düzenleyici katkı ve katkısız karışımlarının mekanik ve tribolojik özelliklerinin deneysel incelenmesi," Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2000.
- [5] F. Kaya, *Ana Hatları ile Yapıştırıcılar*. İstanbul: Birsen Yayınevi, 2004.
- [6] F. Kaya, *Ana Hatlarıyla Plastikler ve Katkı Maddeleri*. İstanbul: Birsen Yayınevi, 2005.
- [7] B. Beşergil, *Hampetrolden Petrokimyasallara*. İzmir: Tükelmat A.Ş., 2007.
- [8] H. Ünal ve S. H. Yetgin, "Poliamid 6 polimeri ile poliamid 6/Vaks karışımının kendi üzerlerinde çalışması durumundaki tribolojik davranışlarının incelenmesi," *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31(2), pp. 457-463, 2016.
- [9] Z. Feng, S. Diamond, M. L. Santella, T. Y. Pan, and N. Li, "High Strength Weight Reduction Materials - Friction Stir Welding and Processing of Advanced Materials," Oak Ridge National Laboratory Report, DE-AC05-00OR22725, 101-108, 2004.
- [10] Z. Feng, M. L. Santella, S. A. David, R. J. Steel, S. M. Packer, T. Pan, M. Kuo, and R. S. Bhatnagar, "Friction Stir Spot Welding of Advanced High-Strength Steels-A Feasibility Study," *SAE World Congress*, Detroit, Michigan, USA, 2005.
- [11] D. Mitlin, V. Radmilovic, T. Pan, J. Chean, Z. Feng, and M. L. Santella, "Structure properties relations in spot friction welded (also known as friction stir spot welded) 6111 aluminum," *Materials Science and Engineering*, vol. 441, pp. 79-96, 2006.
- [12] A. A. Arıcı, ve Ş. Mert, "Polipropilen malzemenin sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile birleştirilmesi," *PAGEV Plastik Dergisi*, 95, pp. 152-162, 2007.
- [13] P. C. Lin, J. Pan, and T. Pan, "Failure modes and fatigue life estimations of spot friction welds in lap-shear specimens of 6111-T4 sheets. Part 1: welds made by a concave tool," *International Journal of Fatigue*, vol. 30, pp. 74-89, 2008.
- [14] P. C. Lin, J. Pan, and T. Pan, "Failure modes and fatigue life estimations of spot friction welds in lap-shear specimens of 6111-T4 sheets. Part 2: welds made by a flat tool," *International Journal of Fatigue*, vol. 30, pp. 90-105, 2008.
- [15] Ş. Mert, ve A. A. Arıcı, "Friction Stir Spot Welding Method Using in Polypropylene Sheet Materials Joining," *12th International Materials Symposium*, 2008, Pamukkale University, Denizli, Turkey, pp. 1150-1156.
- [16] V. X. Tran, J. Pan, and T. Pan, "Fatigue behavior of aluminum 5754-O and 6111-T4 spot friction welds in lap-shear specimens," *International Journal of Fatigue*, vol. 30, pp. 2175-2190, 2008.
- [17] V. X. Tran, J. Pan, and T. Pan, "Effects of processing time on strengths and failure modes of dissimilar spot friction welds between aluminum 5754-O and 7075-T6 sheets," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 209, pp. 3724-3739, 2009.
- [18] Ş. Mert, ve S. Mert, "Sürtünme karıştırma nokta kaynak yönteminin incelenmesi," *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi (Journal of Advanced Technology Sciences)*, cilt 2, sayı 1, pp. 26-35, 2013.
- [19] Ş. Mert, ve S. Mert, "Sürtünme karıştırma nokta kaynağı yönteminde kullanılan makina ve ekipmanların incelenmesi," *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi (Journal of Advanced Technology Sciences)*, cilt 2, sayı 3, pp. 121-129, 2013.
- [20] Ş. Mert, ve S. Mert, "Sürtünme karıştırma nokta kaynak yönteminin otomotiv sektöründeki yeri," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3, pp. 432-438, 2015.
- [21] M. Fujimoto, S. Koga, N. Abe, Y. S. Sato, and H. Kokawa, "Microstructural analysis of stir zone of Al alloy produced by friction stir spot welding," *Science and Technology of Welding and Joining*, vol. 13, no. 7, pp.

- 663-670, 2008.
- [22] Y. H. Yin, N. Sun, T. H. North, and S. S. Hu, "Hook formation and mechanical properties in AZ31 friction stir spot welds," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 210 (14), pp. 2062-2070, 2010.
- [23] M. I. Khan, M. L. Kuntz, P. Su, A. Gerlich, T. North, and Y. Zhou, "Resistance and friction stir spot welding of DP600: a comparative study," *Science and Technology of Welding and Joining*, vol. 12 (2), pp. 175-182, 2007.
- [24] A. A. Arıcı, and Ş. Mert, "Friction stir spot welding of polypropylene," *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 27 (18), pp. 2001-2004, 2008.
- [25] Kawasaki Heavy Industries Ltd., "A New Method For Light Alloy Joining - Friction Spot Joining - Kawasaki Robot, Japan," www.kawasakirobot.com, [Accessed: 18 March 2006 and 28 March 2013].
- [26] J. Hinrichs, "Friction Stir Spot Welding," *Friction Stir Link Inc.*, www.frictionstirlink.com, [Accessed: 21 March 2006].
- [27] Ş. Mert, and A. A. Arıcı, "Design of optimal joining for friction stir spot welding of polypropylene sheets," *Science and Technology of Welding and Joining*, vol. 16(6), pp. 522-527, 2011.
- [28] F. Yusof, Y. Miyashita, N. Seo, Y. Mutoh, and R. Moshwan, "Utilising friction spot joining for dissimilar joint between aluminium alloy (A5052) and polyethylene terephthalate," *Science and Technology of Welding and Joining*, vol. 17, pp. 544-549, 2012.
- [29] M. K. Bilici, and A. I. Yukler, "Effects of welding parameters on friction stir spot welding of high density polyethylene sheets," *Materials and Design*, vol. 33, pp. 545-550, 2012.
- [30] M. K. Bilici, and A. I. Yukler, "Influence of tool geometry and process parameters on macrostructure and static strength in friction stir spot welded polyethylene sheets," *Materials and Design*, vol. 33, pp. 145-152, 2012.
- [31] A. Mostafapour and F. T. Asad, "Investigations on joining of nylon 6 plates via novel method of heat assisted friction stir welding to find the optimum process parameters," *Science and Technology of Welding and Joining*, vol. 21 (8), pp. 660-669, 2016.
- [32] Y. Yan, Y. Shen, W. Zhang, and W. Guan, "Effects of friction stir spot welding parameters on morphology and mechanical property of modified cast nylon 6 joints produced by double-pin tool," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 92, pp. 2511-2523, 2017.
- [33] G. Çakır, Ş. Mert, ve S. Mert, "CNC Tezgahta Polipropilen Malzemeye Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağının Uygulanması ve Optimum Kaynak Parametrelerinin Belirlenmesi," *ISMSIT 2017, 1<sup>st</sup> International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, 2017, Tokat, Turkey, pp. 36-41.
- [34] G. Çakır, Ş. Mert, ve S. Mert, "Polipropilen Malzemeye Uygulanan Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağında Takım Geometrisinin Bağlantı Dayanımına Etkisinin İncelenmesi," *ISMSIT 2017, 1<sup>st</sup> International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, 2017, Tokat, Turkey, pp. 207-213
- [35] R. Z. Xu, D. R. Ni, Q. Yang, B. L. Xiao, C. Z. Liu, and Z. Y. Ma, "Influencing mechanism of Al-containing Zn coating on interfacial microstructure and mechanical properties of friction stir spot welded Mg-steel joint," *Materials Characterization*, 140, 197-206, 2018.
- [36] M. K. Bilici, B. Bakır, Y. Bozkurt, ve İ. Çalış, "Sürtünme karıştırma nokta kaynak tekniği ile birleştirilen farklı alüminyum levhaların taguchi analizi," *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(1), pp. 17-23, 2016.
- [37] G. Buffa, P. Fanelli, L. Fratini, and F. Vivio, "Influence of joint geometry on micro and macromechanical properties of friction stir spot welded joints," *11th International Conference on Technology of Plasticity, Procedia Engineering*, 81, pp. 2086 - 2091, 2014.
- [38] S. Venukumar, S. Yalagı, and S. Muthukumaran, "Comparison of microstructure and mechanical properties of conventional and refilled friction stir spot welds in AA 6061-T6 using filler plate," *Transactions Nonferrous Metals Society China*, 23, pp. 2833-2842, 2013.
- [39] A. M. S Malafaia, M. T. Milan, M. F. Oliveira, and D. Spinelli, "Evaluation of dynamic defect detection in fssw welded joints underfatiguetests," *Procedia Engineering*, 2, pp. 1823-1828, 2010.

- [40] T. Rosendo, J. Mazzaferro, C. Mazzaferro, M. Tier, F. Ramos, A. Reguly, T. Strohaecker, and J. dos Santos, "Friction Spot Processes - FSSW and FSpW," [http://www.hzg.de/imperia/md/content/gkss/institut\\_fuer\\_werkstoffforschung/wmp/poster-apresentacao-gkss2.pdf](http://www.hzg.de/imperia/md/content/gkss/institut_fuer_werkstoffforschung/wmp/poster-apresentacao-gkss2.pdf), [Accessed: 28 March 2013].
- [41] C. B. Smith, J. F. Hinrichs, and P. C. Ruehl, "Friction Stir and Friction Stir Spot Welding," *Friction Stir Link Inc*, [www.frictionstirlink.com](http://www.frictionstirlink.com), [Accessed: 21 March 2006].
- [42] A. Gerlich, P. Su, T. H. North, and G. J. Bendzsak, "Friction stir spot welding of aluminum and magnesium alloys," *Materials Forum*, 29, pp. 290-294, 2005.
- [43] M. Awang, V. H. Mucino, Z. Feng, and S. A. "David, Thermo-Mechanical Modeling of Friction Stir Spot Welding (FSSW) Process: Use of an Explicit Adaptive Meshing Scheme," *SAE International*, 2005-01-1251, 2005.
- [44] S. Lathabai, M. J. Painter, G. M. D. Cantin, and V. K. Tyagi, "Friction spot joining of an extruded Al-Mg-Si alloy," *Scripta Materialia*, 55, pp. 899-902, 2006.
- [45] Kawasaki, "Kawasaki Robot - Friction Spot Joining - A New Method For Light Alloy Joining," 2017. [Online]. Available: <https://robotics.kawasaki.com>. [Accessed: 06-Dec-2017].
- [46] H. Badarinarayan, Y. Shi, X. Li, and K. Okamoto, "Effect of tool geometry on hook formation and static strength of friction stir spot welded aluminum 5754-O sheets", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 49 (11), pp. 814-823, 2009.
- [47] H. Badarinarayan, Q. Yang, and S. Zhu, "Effect of tool geometry on static strength of friction stir spot-welded aluminum alloy", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 49 (2), pp. 142-148, 2009.
- [48] Y. Tozaki, Y. Uematsu, and K. Tokaji, "Effect of tool geometry on microstructure and static strength in friction stir spot welded aluminium alloys", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 47 (15), pp. 2230-2236, 2007.
- [49] M. K. Bilici, A. İ. Yükler, ve M. Kurtulmuş, "Yüksek yoğunluklu polietilen levhaların sürtünme karıştırma nokta kaynağında kaynak ucu geometrisinin kaynak mukavemetine etkisi", *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, sayı 23(3), pp. 111-122, 2011.
- [50] M. Kurtulmuş, "Friction stir spot welding parameters for polypropylene sheets", *Scientific Research and Essays*, vol. 7, pp. 947-956, 2012.
- [51] B. Çevik, "Polimer malzemelerin sürtünme karıştırma nokta kaynağı" *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, sayı 2, pp. 271-277, 2014.
- [52] M. K. Bilici, A. İ. Yükler, ve M. Kurtulmuş, "Polietilen levhaların sürtünme karıştırma nokta kaynağında kaynak parametrelerinin bağlantının performansına etkileri" *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, cilt 27, no 2, pp. 439-445, 2012.