

## CNC Tezgahta Polipropilen Malzemeye Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağının Uygulanması ve Optimum Kaynak Parametrelerinin Belirlenmesi

Gültekin Çakır<sup>1\*</sup>, Şenol Mert<sup>2</sup> ve Sevda Mert<sup>3</sup>

<sup>1</sup> İmalat Mühendisliği Bölümü/Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup> İmalat Mühendisliği Bölümü/Teknoloji Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Türkiye

<sup>3</sup> Kompozit Malzeme Teknolojileri/Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Türkiye

\*cakirgultekin@gmail.com

**Özet** - Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı (SKNK) yöntemi, Sürtünme Karıştırma Kaynağı (SKK) yönteminden türetilmiş, son zamanlarda otomobil sektöründe ve diğer endüstri kollarında da oldukça dikkat çeken yeni bir kaynak yöntemidir. Çeşitli araştırmacıların çalışmaları, bu yöntemde takım geometrisi, takım devir sayısı, takım dalma derinliği ve bekleme süresinin, bağlantının çekme kuvveti üzerine oldukça etkisi olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada, 4 mm kalınlığındaki polipropilen (PP) levhaların sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile bindirme bağlantıları CNC (Computer Numerical Control) tezgahta yapılmıştır. Bağlantıdaki, takım devir sayısı, takım dalma derinliği ve bekleme süresi parametreleri araştırılarak, kaynak bağlantısının dayanımındaki değişim incelenmiştir. Kaynak işlemi, CNC dik işleme tezgahında ISO GM kod sistemi kullanılarak yazılmış bir program yardımı ile uygulanmıştır. En uygun kaynak parametrelerinin bulunması amacıyla, kaynaklı numunelerin TS EN 12814-2 standardına uygun olarak çekme testleri yapılmıştır. Bu çalışmada, kaynaklı numunelere uygulanan çekme testleri sonucunda, elde edilen maksimum çekme kuvveti ve en uygun kaynak parametreleri belirlenmiştir. En yüksek çekme kuvvetine, takım devri 1000 dev/dk, bekleme süresi 60 sn, takım dalma derinliği 6 mm olduğunda ulaşılmıştır. Kaynaklı bağlantı için maksimum çekme kuvveti 2907 N olarak elde edilmiştir. Bu değer esas malzemenin yaklaşık olarak % 50'sine eşdeğerdir.

**Anahtar Kelimeler:** Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı, Polipropilen, Takım, Parametre, Çekme Kuvveti, CNC Tezgah

## Application of Friction Stir Spot Welding to Polypropylene Material on the CNC Machine and Determination of Optimum Welding Parameters

**Abstract** - The Friction Stir Spot Welding (FSSW) method is a derivative of the Friction Stir Welding (FSW) process, which is a new welding process that recently has received considerable attention from the automotive and other industries. The studies of the different researchers, in this method tool geometry, tool rotation speed, tool penetration depth and dwell time had been indicated which effected the tensile shear strength of joining. In the study, 4 mm thick polypropylene (PP) sheets were done lap joints with FSSW in the CNC (Computer Numerical Control) machine. In the joining tool rotation speed, tool penetration depth and dwell time parameters by researching, in the strength of lap joint variation were examined. Welding process was applied with the aid of a written program using the ISO GM code system on the CNC vertical processing machine. In order to find the most optimum welding parameters, the welded samples were carried out the tensile tests according to TS EN 12814-2 standard. In this study, the maximum tensile force and the most optimum welding parameters have been determined as a result of tensile tests applied to the welded samples. The maximum tensile force has been achieved at the tool rotation speed of 1000 rpm, dwell time of 60 s and tool penetration depth of 6 mm. The maximum tensile force was obtained as 2907 N for the welded joining. This value is equivalent to approximately 50% of the base material.

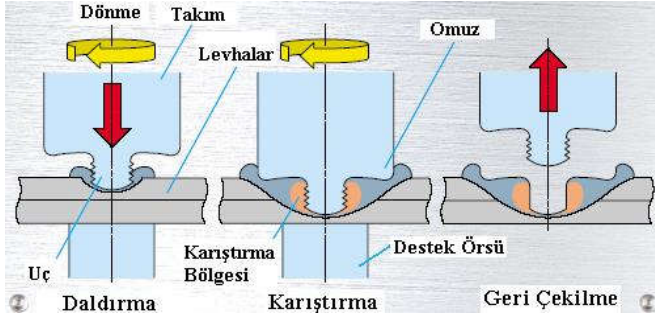
**Keywords** - Friction Stir Spot Welding, Polypropylene, Tool, Parameter, Tensile Force, CNC Machine

### I. GİRİŞ

SKNK yöntemi 1993'te Mazda tarafından icat edilmiş, tamamen yeni ve ergime olmaksızın bindirme bağlantısı gerçekleştirilen bir katı faz kaynak yöntemidir [1]-[5]. Yöntem ile hem aynı cins hem de farklı metal kombinasyonlarında kaynak yapmak mümkündür. SKNK

yöntemi ile plastik esaslı malzemelerin kaynağı alanındaki çalışmalar son yıllarda artış göstermekle birlikte, yöntemin ABS, HDPE, PP ve PC plastik malzemelere uygulanması konusunda yapılan çalışmalar hızla devam etmektedir [6]-[10].

SKNK yönteminin, Şekil 1’de görüleceği gibi 3 aşamadan oluşan bir uygulaması vardır. Bu aşamalar sırası ile daldırma, karıştırma ve geri çekilmedir [1], [3], [4], [11].



Şekil 1. SKNK yöntemin üç aşamasının uygulanışı [1]

SKNK yöntemi, üst üste bindirme konumuna getirilmiş iki levhaya, yüksek devirde dönen karıştırıcı omuzlu ve karıştırıcı uçlu bir takımın daldırılarak belirli bir süre sürtünmesi ve karıştırması ile yapılır [3], [7], [12]. SKNK yönteminde kaynak için gerekli olan ısı, karıştırıcı takımın bindirme biçiminde sabitlenmiş levhaların üst yüzeyine sürtünmesi ile sağlanır. Sürtünen yüzeylerde açığa çıkan ısı, kaynak bölgesinin kısa zamanda ergime sıcaklığına yakın sıcaklıklara erişmesini sağlar [3]. Takımın özellikle omuz kısmının da sürtünmeye katılmasıyla, daha geniş bir bölgede daha yüksek bir kaynak sıcaklığına ulaşılır [13]. Karıştırıcı takımın belirli bir devirde dönmesi ile alt ve üst levhaların yumuşamış kısımları birbiri içerisinde karışır. Karıştırıcı takım omuz kısmının kaynak bölgesine uyguladığı basma kuvveti etkisi ile levhalar arasında birleşme gerçekleşir [3], [14]. SKNK yöntemi uygulanırken sonuca etki eden beş ana parametre vardır. Bunlar; kaynak takımının geometrisi, kaynak takımının devir sayısı, karıştırma süresi, kaynak takımının malzemeye dalma derinliği ve dalma hızıdır [1]-[3], [5], [11], [15], [16]. Bu çalışmada, belirlenen parametreler, farklı değerler için denenerek kaynaklı bağlantılar oluşturulmuştur. Her kaynak bağlantısı için iki adet 4 mm kalınlığındaki PP levhanın SKNK yöntemi ile bindirme kaynak bağlantısı yapılmış ve kaynaklanan numunelere kaynak bölgesinin dayanımını ölçmek için TS EN 12814-2 standardına uygun olarak çekme testi uygulanmıştır. Test sonuçları yorumlanmış ve en uygun parametreler belirlenmiştir.

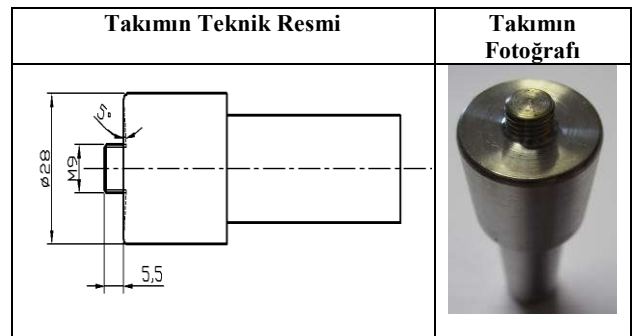
Çevik (2014), polietilen levhalar ile yaptığı çalışmada, kaynak işlemlerinde iki farklı takım dönme yönü (sağ ve sol) ve üç farklı karıştırma süresi (60, 90 ve 120 sn) kullanmıştır. En iyi kaynak dayanımını, dönme yönü sağ ve 90 sn karıştırma süresinde 1773 N olarak elde etmiştir [6]. Çevik’in bir diğer yaptığı çalışmada (2014) ise 900 dev/dk takım dönme hızı ve beş farklı karıştırma süresi (20, 40, 60, 80 ve 100 sn) kullanmıştır. Çekme testi sonucunda en iyi çekme kuvveti değerine (1760 N) 80 sn karıştırma süresi ile oluşturulan numunede ulaşmıştır [17]. Bilici ve diğ. (2012), 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 değerinde olması gerektiği sonucuna ulaşmışlardır. Çalışma sonucunda kullanılan kaynak takımına

bağlı olarak elde edilen optimum kaynak parametrelerini ise 710 dev/dk dönme hızı, 5,7 mm takım dalma derinliği ve 30 sn dönme süresi olarak tespit etmişlerdir [18]. Mert (2010), 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, 1728 N olarak elde edilen en yüksek çekme kuvveti değeri için optimum bekleme süresi, devir sayısı, dalma derinliği ve dalma hızı parametrelerini sırası ile 150 sn - 1250 dev/dk - 5,5 mm - 100 mm/dk olarak bulmuştur. Aynı kalınlıktaki PP numunelerde, dalma derinliğini incelediği çalışmalarda ise, 1832 N’luk 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, dalma derinliği ve dalma hızı parametreleri sırası ile 150 sn - 1250 dev/dk - 4,65 mm - 100 mm/dk olarak bulunmuştur [1]. Kurtulmuş (2012), 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 [19].

Bildiri konusu olan bu çalışmanın her aşamasında CNC takım tezgahı kullanılmıştır. Kaynak dayanımına etki eden belirlenen parametreler, geniş bir aralıkta incelenerek en doğru sonuca ulaşılmaya çalışılmıştır. Kaynak takımlarının imalatında da yine CNC dik işleme tezgahından faydalanılmıştır. Kaynak noktaları, CNC tezgahta ISO GM kod sistemi kullanılarak hazırlanmış olan bir program vasıtası ile oluşturulmuştur. Kullanılan tezgah ve yazılan program sayesinde, takım devri, dalma derinliği ve karıştırma süresi parametreleri yüksek hassasiyette uygulanmıştır.

## II. MATERYAL VE METOT

Deneysel çalışmada kaynaklı bağlantıların oluşturulmasında kullanılacak olan numuneler için, DIN EN ISO 15013 TG1.1 standardında, RÖCHLING Engineering Plastics firması tarafından 2000x1000x4 mm boyutlarında ekstrüzyon ürünü olarak üretilmiş, Polystone P-grau Homopolimer polipropilen (PP) levhalar temin edilmiştir. Malzemenin erime sıcaklığı 162-167 °C, yoğunluğu 0,91 gr/cm<sup>3</sup>, akma gerilmesi 32 MPa, elastiklik modülü 1300 MPa’dır [20]. Bu çalışmada, kaynak işlemi için kullanılan takımın malzemesi 4140 ıslah çeliğidir. Takım geometrisi ise 5,5 mm takım ucu uzunluğu olan, M9 bir karıştırıcı uç profiline sahiptir. Takımın omuz kısmı, 28 mm çapında ve 5°’lik eğimi olan, düz tabanlı bir kaynak takımı geometrisine sahiptir. Kullanılan kaynak takımının teknik resmi ve fotoğrafı Şekil 2’de verilmiştir.



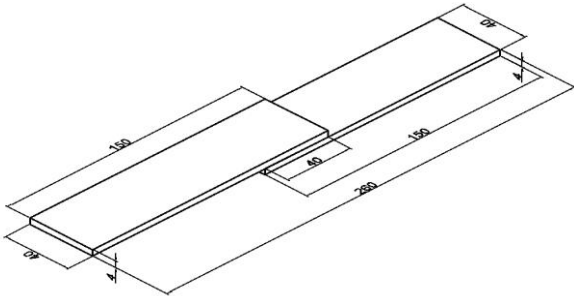
Şekil 2. Kullanılan kaynak takımının teknik resmi ve fotoğrafı

Bu çalışmada kullanılan SKNK, bir bindirme birleştirme yöntemidir. Kaynaklanacak numunelerin bindirme konumunda sıkıca bağlanması gerektiğinden, Şekil 3'te görülen 3 adet numunenin tek bağlama ile aynı anda kaynak edilebilmesine olanak sağlayan bir bağlama aparatı geliştirilmiş ve imal edilmiştir. Oluşturulan kaynak noktaları için bu bağlama aparatından faydalanılmıştır.



Şekil 3. SKNK için geliştirilen bağlama aparatı

SKNK ile birleştirilecek numunelerin, kaynak dayanımlarını belirlemek amacıyla, kaynaklanan numuneler, çekme testine tabi tutulacağından, TS EN 12814-2 standardına uygun geometride hazırlanmıştır. Bunun için, 4 mm kalınlığındaki PP levhadan, ekstrüzyon yönünde 150x40 mm ölçülerindeki numuneler, daire testere tezgahı yardımı ile kesilerek, Şekil 4'te gösterildiği gibi üst üste bindirilmiştir ve üç eksenli CNC dik işleme tezgahında SKNK işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. SKNK bağlantısı için numunelerin bindirme şekli

SKNK işlemi için Şekil 5'te görülen üç eksenli CNC dik işleme merkezinin, maksimum devri 10000 dev/dk, maksimum ilerlemesi 20000 mm/dk, konumlama hassasiyeti 0,005 mm, kontrol paneli FANUC marka Oi-Mate modeli ve kullandığı kod sistemi ISO GM'dir. SKNK işlemi için kontrol paneli üzerinden kullanılan parametreleri içeren CNC programı yazılmış ve daha sonra bu program çalıştırılarak kaynak operasyonunun otomatik olarak yapılması sağlanmıştır.



Şekil 5. FİRST marka MCV300 modeli üç eksenli CNC dik işleme merkezi

Bu çalışmada en yüksek çekme dayanımını elde edebilmek için kaynak parametrelerinin optimum değerlerini saptamak amacıyla, kaynak dayanımına en fazla etki eden parametreler denenmiştir. En uygun devir sayısını belirlemek amacıyla 750-2000 dev/dk aralığı için 6 farklı takım devri (750-1000-1250-1500-1750 ve 2000 dev/dk), en uygun karıştırma süresini belirlemek amacıyla 30-150 sn aralığı için 5 farklı karıştırma süresi (30-60-90-120 ve 150 sn), en uygun dalma derinliğini belirlemek amacıyla 5,75-6,5 mm aralığı için 4 farklı dalma derinliği (5,75-6-6,25 ve 6,5 mm) belirlenmiştir. Böylece, optimum deney parametrelerini belirlemek amacıyla, yapılacak olan çalışmadaki deneyler planlanmıştır.

Bu çalışmada her bir numune için kaynak mukavemetini belirlemek amacıyla SKNK işlemi gerçekleştirilen numunelere çekme testi uygulanmıştır. Şekil 6'daki, maksimum yükleme kapasitesi 5 kN olan universal elektromekanik test cihazı kullanılarak, kaynaklı parçaların TS EN 12814-2 standardına uygun olarak çekme deneyleri yapılmıştır. Çekme test hızı 20 mm/dk ve çeneler arası mesafe 180 mm olarak ilgili standarda göre belirlenmiştir.



Şekil 6. Kapasitesi 5 kN olan elektromekanik çekme test cihazı

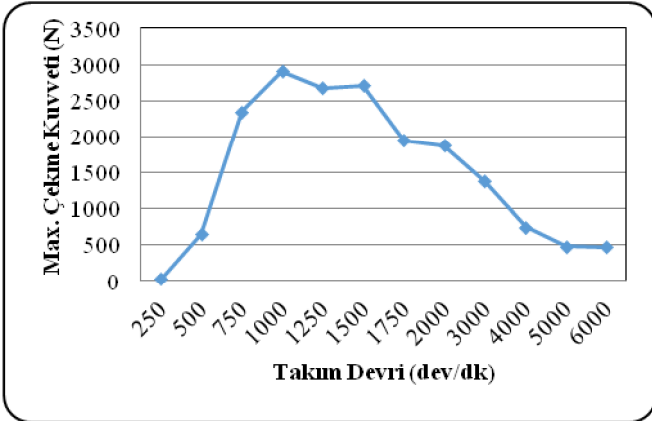
### III. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

Kaynak takımı için, ön deneylerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda 6 farklı devir sayısı, 5 farklı karıştırma süresi ve 4 farklı dalma derinliği belirlenerek çekme numuneleri üretilmiş, ardından bu numunelere çekme testi uygulanmıştır. Tablo 1'de, belirlenen parametreler ile kaynaklanan numunelerden elde edilen en iyi maksimum çekme kuvvetine sahip ilk 10 adet numunenin sıralaması görülmektedir. Buna göre en yüksek maksimum çekme kuvveti değeri olan 2907 N'a, 1000 dev/dk devir sayısı, 60 sn karıştırma süresi ve 6 mm dalma derinliğinde üretilen numunede ulaşılmıştır.

Tablo 1. Maksimum çekme kuvveti açısından en iyi değerlere sahip olan ilk 10 adet numune

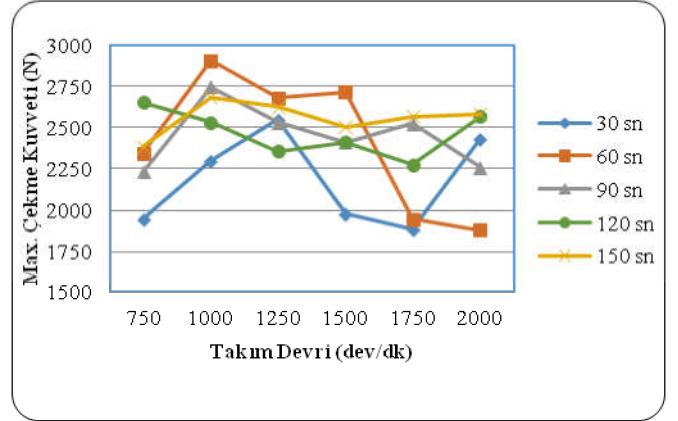
Numune Kodu	Takım Devri (dev/dk)	Dalma Hızı (mm/dk)	Karıştırma Süresi (sn)	Dalma Derinliği (mm)	Max. Çekme Kuvveti F <sub>max</sub> (N)
090	1000	100	60	6	2907
035	1500	100	150	6,25	2780
082	1750	100	150	5,75	2773
094	1000	100	90	6	2746
037	1500	100	60	6	2714
102	1000	100	150	6	2686
110	1250	100	60	6	2681
059	750	100	120	6	2654
093	1000	100	90	5,75	2645
100	1000	100	120	6,5	2644

Bu çalışmada, ön deneyler yapılmak suretiyle 250 dev/dk ile 6000 dev/dk aralığında 12 adet farklı takım devri denenmiştir. Maksimum çekme kuvveti değerleri bulunmuştur. Ön deneyler sonucunda, düşük çekme kuvvetlerinin elde edildiği devir sayısı değerleri elenerek, 750-1000-1250-1500-1750 ve 2000 dev/dk değerleri üzerinde çalışılmak üzere takım devir sayıları belirlenmiştir. Ön deneylerde, incelenen bütün takım devir sayılarındaki maksimum çekme kuvveti değerlerine ait grafik Şekil 7'de verilmiştir.



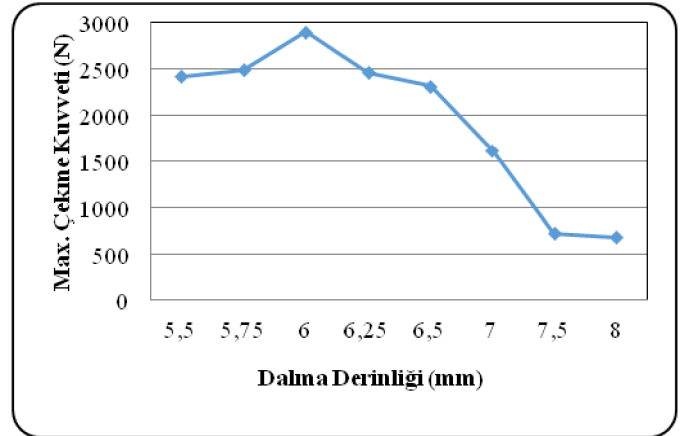
Şekil 7. Farklı takım devir sayılarına bağlı olarak maksimum çekme kuvvetinin değişimi

Üretilen numunelere uygulanan çekme testleri sonucunda, en iyi maksimum çekme kuvveti olan 2907 N değerine, 1000 dev/dk'da oluşturulan kaynaklı numunede ulaşılmıştır. Devir sayısı 1000 dev/dk'nın üzerine çıktığında elde edilen maksimum çekme kuvvetinde düşüş görülmüştür. Devir sayısı 1000 dev/dk'nın altındaki devirlerde de maksimum çekme kuvveti belirgin seviyede düşmektedir. Şekil 8'de, farklı devir sayıları için, farklı karıştırma sürelerindeki, maksimum çekme kuvveti değerleri görülmektedir. Çalışmalar, 100 mm/dk sabit dalma hızı ve 6 mm sabit dalma derinliğinde gerçekleştirilmiştir. 60 sn karıştırma süresi ve 1000 dev/dk devir sayısı ile kaynaklanan numunede, 2907 N maksimum çekme kuvvetine ulaşılmıştır.



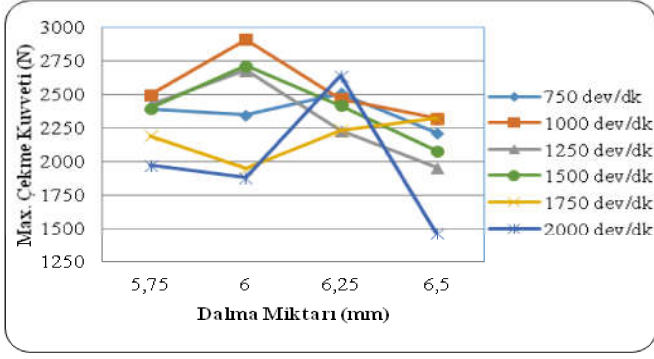
Şekil 8. Farklı devir sayılarında ve farklı karıştırma sürelerindeki, maksimum çekme kuvveti değerlerinin değişimi

Bu çalışmada, kaynak dayanımı açısından en uygun dalma derinliği parametrelerini tespit edebilmek için 5,5-8 mm aralığında, 0,25 mm aralıklarla 8 farklı dalma derinliği için ön deneyler yapılmıştır. Yapılan ön deneyler sonucunda 5,75-6-6,25 ve 6,5 mm dalma derinliği değerleri belirlenmiştir. Ön deneylerde, incelenen bütün dalma derinliği değerlerindeki maksimum çekme kuvveti değerlerine ait grafik Şekil 9'da verilmiştir.



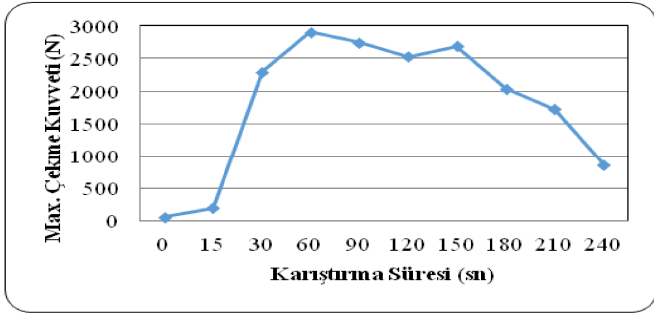
Şekil 9. Farklı takım dalma derinliği değerlerine bağlı olarak maksimum çekme kuvvetinin değişimi

Üretilen numunelere uygulanan çekme testleri sonucunda, en iyi maksimum çekme kuvvetine 6 mm dalma derinliği ile oluşturulan kaynaklı numunede ulaşılmıştır. Dalma derinliği 6 mm'nin üzerine çıktığında, maksimum çekme kuvvetlerinde belirgin bir düşme görülmüştür. Dalma derinliği, 6 mm'nin altına düştüğünde de yine maksimum çekme kuvvetinde düşme görülmüştür. Şekil 10'da farklı dalma derinliği ve farklı devir sayılarındaki, maksimum çekme kuvveti değerlerinin değişimi görülmektedir.



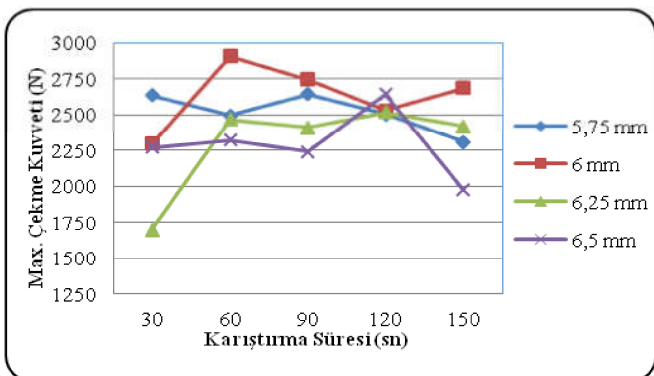
Şekil 10. Farklı dalma derinliği ve farklı devir sayılarındaki, maksimum çekme kuvveti değerlerinin değişimi

Bu çalışmada, ön deneyler yapılmak suretiyle 0 ile 240 sn karıştırma süresi aralığında 30 sn aralıklarla 10 adet farklı karıştırma süresi denenmiştir. Ön deneyler sonucunda 30-60-90-120 ve 150 sn değerleri karıştırma süreleri olarak belirlenmiştir. Ön deneylerde, incelenen bütün karıştırma sürelerindeki maksimum çekme kuvveti değerlerine ait grafik Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 11. Farklı karıştırma sürelerine bağlı olarak maksimum çekme kuvvetinin değişimi

Kaynaklanan numunelerde uygulanan çekme testleri sonucunda en iyi maksimum çekme kuvveti değerine 60 sn karıştırma süresi ile kaynaklanan numunede ulaşılmıştır. Karıştırma süresi 60 sn’nin üzerine çıktığında, maksimum çekme kuvvetlerinde belirgin bir düşme görülmüştür. Karıştırma süresi 60 sn’nin altına düştüğünde de yine maksimum çekme kuvvetinde düşme görülmüştür. Şekil 12’de farklı karıştırma sürelerinde ve farklı dalma derinliklerindeki, maksimum çekme kuvveti değerlerinin değişimi görülmektedir.



Şekil 12. Farklı karıştırma sürelerinde ve farklı dalma derinliği değerlerindeki, maksimum çekme kuvveti değerlerinin değişimi

#### IV. TARTIŞMA

Yapılan bu deneysel çalışmada en uygun kaynak parametrelerinin belirlenebilmesi için, incelenen parametre değerlerinin geniş bir aralığa yayılması sağlanmıştır. Bu çalışma için, ön deneyler gerçekleştirilmiş ve incelenmesi gereken en uygun parametreler belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, literatür çalışmalarını destekleyici yöndedir. Yapılan çalışmada, CNC tezgah kullanımı, belirlenen parametre değerlerinin otomatik olarak verilmesi, sonuçların hassasiyetini arttırmıştır.

#### V. SONUÇLAR

1. Kullanılan kaynak takımı için 2907 N olan en yüksek maksimum çekme kuvveti değerine, 60 sn karıştırma süresi, 1000 dev/dk takım devri ve 6 mm dalma derinliği ile üretilen numunelerde ulaşılmıştır. En uygun parametre değerlerinin üzerine çıktığında ve altına inildiğinde maksimum çekme kuvveti değerlerinde belirgin düşüşler gözlenmiştir.

2. Düşük takım devri, kaynak takımı ile malzeme arasındaki sürtünmeden doğan ısının düşük olmasına, dolayısı ile yumuşamanın istenen düzeyde olmamasına neden olmaktadır. Bu durumda karıştırma aşamasında yeterince karışma sağlanamadığından, istenilen kaynak dayanımı oluşmamaktadır. Yüksek takım devri uygulanan numunelerde ise dönme hızı nedeniyle takım omzu yumuşamış olan malzemeyi merkezkaç kuvvetiyle çok daha hızlı kaynak bölgesinden dışarıya savurarak, kaynak havuzunun hacmini küçülttüğünden, kaynak dayanımını olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle optimum devir sayılarında çalışmanın, kaynaklı bağlantının dayanımı açısından avantaj sağladığı görülmüştür.

3. Düşük karıştırma sürelerinde, yumuşama ve karışma için yeterli süre olmadığından, kaynak dayanımını olumsuz olarak etkilediği görülmüştür. Karıştırma süresinin yüksek tutulmasının ise, kaynak dayanımına olumlu yönde etkisi olmadığı gibi, kaynak noktasının oluşturulması için gerekli zamanın gereğinden fazla olmasına yol açmaktadır. Bu nedenle optimum karıştırma sürelerinde çalışılmasının, hem zaman tasarrufu hem de kaynak bağlantısının dayanımı açısından önemli avantajlar sağladığı görülmüştür.

4. Özellikle 5,5 mm ve altındaki dalma derinliği değerlerinde, omuz malzemeye temas etmediği için kaynak takımı omzunun kaynak dayanımına herhangi bir faydası olmadığı görülmüştür. Kaynak bölgesindeki daha az ısı buna bağlı olarak daha az yumuşamış malzeme oluşumunu beraberinde getirmiştir. Yumuşama ve karışma işlemi sadece takım ucu etrafında oluşmuştur. Sadece takım ucu etrafında meydana gelen kaynak bölgesinin kesit alanı ve kaynak bölgesi havuzu küçük oluşmuş ve bu durum kaynak dayanımını olumsuz etkilemiştir.

5. Dalma derinliğinin fazla olması kaynak takımının omuz kısmının malzemeye daha fazla dalması anlamına gelir ki buda kaynak havuzunun hacminin azalması demektir. Omuz ne kadar çok malzemeye daldırılır ise omuzun girmiş olduğu bölgedeki malzeme boşalır ve takım geri çekildiğinde malzemeye dalmış olan omuz profili kadar bir hacim boşluk olarak kalır. Kaynaklanan numuneler üzerinde yapılan testlerden elde edilen sonuçlara göre boşluk olarak kalan bu bölge kaynak dayanımını olumsuz olarak etkilediğinden, dalma derinliğinin, optimum değerlerde kalacak şekilde omzunda bir miktar üst parçanın içerisine girerek kaynak

işlemine katılmasının, kaynak bölgesi sıcaklığının daha da artırılması ve karıştırma işleminin daha etkili bir şekilde yapılabilmesine imkan sağlamıştır. Sonuç olarak da optimum dalma derinliklerinde çalışmanın, kaynaklı bağlantının dayanımı açısından avantaj sağladığı görülmüştür.

6. Kaynaklı bağlantı için ölçülen en yüksek maksimum çekme kuvveti olan 2907 N değeri, esas malzemenin maksimum çekme kuvveti olan 5864 N değerinin yaklaşık olarak %50'sine eşdeğerdir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Düzce Üniversitesi DÜBAP 2013.07.04.170 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir. Bu çalışmaya proje desteği veren, üniversitemizin yetkililerine sonsuz teşekkürlerimizi sunarız.

## KAYNAKLAR

- [1] Ş. Mert, "Polipropilen malzemenin sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile birleştirilmesi" Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2010.
- [2] M.K. Bilici, "Polietilenin sürtünme karıştırma nokta kaynak özellikleri" Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011.
- [3] B. Çevik, "Polietilen levhaların sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile birleşebilirliğine karıştırıcı takım dönme yönü ve karıştırma süresinin etkisi", *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, Cilt 2, Sayı 3, Sayfa 28-33, 2013.
- [4] Ş. Mert, A. A. Arıcı, "Friction stir spot welding method using in polypropylene sheet materials joining", 12th International Materials Symposium, Pamukkale University, pp 1150-1156, Denizli, October 2008.
- [5] A. A. Arıcı, Ş. Mert "Polipropilen malzemenin sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile birleştirilmesi", *PAGEV Plastik Dergisi*, 95, Sayfa 152-162, 2007.
- [6] B. Çevik, "Polimer malzemelerin sürtünme karıştırma nokta kaynağı" *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Sayı 2, Sayfa 271-277, 2014.
- [7] Ş. Mert, S. Mert, "Sürtünme karıştırma nokta kaynak yönteminin incelenmesi" *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, Sayı 2(1), Sayfa 26-35, 2013.
- [8] M. K. Bilici, 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, January 2012.
- [9] M. K. Bilici, 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, January 2012.
- [10] M. K. Bilici, A. I. Yukler 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), Sayfa 111-122, 2011.
- [11] M. K. Bilici, S. Hartomacıoğlu ve A. I. Yukler, "Yüksek yoğunluklu polietilen levhaların sürtünme karıştırma nokta kaynak parametrelerinin optimizasyonunda yapay sinir ağlarının kullanımı", 3. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, Sayfa 366-378, Balıkesir, Kasım 2012.
- [12] R. Kaçar, H. E. Emre, H. Demir ve S. Gündüz, "Al-Cu-Al malzeme çiftinin sürtünme karıştırma nokta kaynak kabiliyeti", *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 26, Sayı 2, Sayfa 349-357, 2011.
- [13] Ş. Mert, A. Arıcı, "Design of optimal joining for friction stir spot welding of polypropylene sheets", *Science and Technology of Welding and Joining*, vol.16, pp. 522-527, 2011.
- [14] M. Awang, V. H. Mucino, Z. Feng, S. A. David, "Thermo-Mechanical modeling of friction stir spot welding (FSSW) process: use of an explicit adaptive meshing scheme", *SAE International Paper*, 01, 1251-1256, 2005.
- [15] K. Kaptan, "Sürtünme karıştırma kaynağı birleştirmelerinde farklı karıştırıcı uç formlarının birleştirme kalitesine etkilerinin incelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara 2008.
- [16] A. A. Arıcı, Ş. Mert "Friction stir spot welding of polypropylene", *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 27, pp. 2001-2004, 2008.
- [17] B. Çevik, "Termoplastik polimerlerin SKNK yöntemi ile kaynaklanabilirliğine karıştırma süresinin etkisi", *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, Cilt 3, Sayı 2, Sayfa 69-74, 2014.
- [18] M. K. Bilici, A. I. Yukler ve M. Kurtulmuş, "Polietilen levhaların sürtünme karıştırma nokta kaynağında kaynak parametrelerinin bağlantının performansına etkileri" *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Cilt 27, No 2, Sayfa 439-445, 2012.
- [19] M. Kurtulmuş, "Friction stir spot welding parameters for polypropylene sheets", *Scientific Research and Essays*, vol. 7, pp. 947-956, 2012.
- [20] Catalog1 (2014), RÖCHLING Engineering Plastics Catalog, Polystone Thermoplastics Characteristics and Applications, Available: <http://www.roechling.com/>, (Accessed 27 July 2014).