



# Enjeksiyonla Şekillendirilmiş Plastik Kilit Mekanizmasının Birleşme İzinin Mekanik Özelliklere Etkisi

Muhammet Dağlı<sup>1\*</sup>, Ahmet Demirer<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-1336-903X), [muhammetdagli@gmail.com](mailto:muhammetdagli@gmail.com)

<sup>2</sup> Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1252-9203), [ademirer@subu.edu.tr](mailto:ademirer@subu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 13 Nisan 2023 ve Kabul Tarihi 13 Temmuz 2023)

(DOI: 10.31590/ejosat.1282367)

**ATIF/REFERENCE:** Dağlı, M., Demirer, A. (2023). Enjeksiyonla Şekillendirilmiş Plastik Kilit Mekanizmasının Birleşme İzinin Mekanik Özelliklere Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (51), 376-387.

## Öz

Dünyada hızla artan plastik kullanımı ile beraber polimerler farklı şekillerde işlenmektedir. Plastik işleme yöntemlerinden en önemlilerinden birisi enjeksiyonla kalıplamadır. Tüm endüstriyel üretimlerde hatalar; malzemeden, üretim şartlarından ve personelden kaynaklı meydana gelmektedir. Enjeksiyonla kalıplama yönteminde ise birleşme izi oluşumu ürün ve kalıp tasarımından kaynaklı olup sık rastlanan hatalardan biridir. Bu hata ürünün kullanım esnasında hasara uğramasına neden olmaktadır. Yapılan çalışmada, %30 cam elyaf katkılı Poliamid 6 (PA6) malzemenin bir ürün numunesi üzerinde iki farklı yolluk girişi (YG1-2) ile kalıplanması gerçekleştirilmiştir. Enjeksiyonla kalıplama sonunda numune üzerindeki farklı girişlerden kaynaklı oluşan birleşme izi oluşumu ele alınarak incelenmiştir. Numune ürün plastik kilit mekanizması elemanıdır. Tasarlanan numunenin gerilme analizi yapılarak Moldex3D® simülasyon programı ile analiz edilmiştir. Birleşme izinin malzeme üzerindeki konumu gözlemlenmiş ve birleşme izinin farklı bölgeye kaydırılması ile üretilmiş numunelerin çekme, darbe ve sertlik testleri karşılaştırılmıştır. Birleşme izinin, zorlanmanın minimum olduğu bölgeye kaydırılması ile mekanik özelliklerin pozitif yönde artış gösterdiği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Enjeksiyon Kalıplama, Birleşme İzi, Mekanik Özellikler, Moldex3D® Analizi.

## The Effect of Injection Shaped Plastic Lock Mechanism on Mechanical Properties

### Abstract

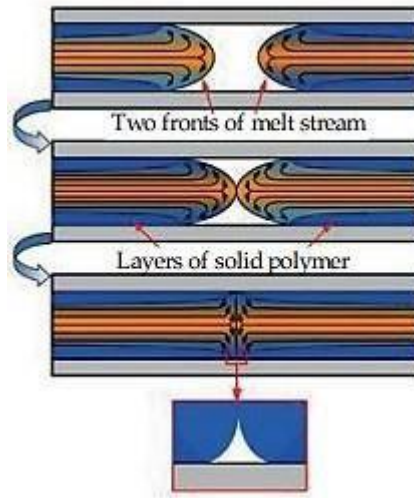
With the rapidly increasing use of plastic in the world, polymers are processed in different ways. One of the most important plastic processing methods is injection molding. Failures in industrial production are caused by materials, production conditions and personnel. The formation of weld line in the injection molding method is caused by the product and mold design that is one of the common mistakes. This failure causes the product to be damaged during use. In the study, 30% glass fiber added polyamide 6 (PA6) material was molded on a product sample with two different runner inlets (YG). The weld line occurrence at the end of the injection molding, caused by the different entrances on the sample was examined. The sample product is a plastic lock mechanism element. Stress analysis of the designed sample was made and analyzed with Moldex3D® simulation program. The position of the weld line on the material was observed and the tensile and impact tests of the samples produced by shifting the weld line to a different region were compared. It has been determined that the mechanical properties increase positively by shifting the weld line to the region where the stress is minimal.

**Keywords:** Injection Molding, Weld Line, Mechanical Properties, Moldex3D® Analysis.

\* Sorumlu Yazar: [muhammetdagli@gmail.com](mailto:muhammetdagli@gmail.com)

## 1. Giriş

Günümüzde hızlı bir şekilde plastik kullanım alanları ve kullanım miktarları artış göstermektedir. Kullanılan plastik çeşitleri ve kullanım alanları değiştikçe gerek malzemenin özelliğine, gerekse kullanım yeri ve amacına göre plastik parçaların üretim yöntemleri de değişiklik göstermektedir (Ravikiran vd., 2022). Enjeksiyon kalıplama yöntemi ise, bu yöntemlerin en önemlilerinden birisidir. Birçok endüstriyel imalatta hatalar olduğu gibi enjeksiyon sisteminde de örneğin; malzemede yanık oluşumu, gaz boşlukları, akış izi, birleşme izi ve eksik ürün gibi farklı hatalar oluşmaktadır (Pınar, 2010; Köse, 2006; Demirer, 2022). Ürün üzerinde delik, kanal ve akışın bölündüğü hatların bulunması durumunda birleşme izlerinin varlığı kaçınılmazdır. Bu duruma birleşme izi isminin dışında, soğuk birleşme, kaynak izi gibi isimlerinde verildiğini görmek mümkündür (Demirer, 2022). Enjeksiyon prosesinin doğası gereği, ürün üzerinde meydana gelebilen birleşme izi, olduğu kesitte mukavemetin düşmesine neden olmaktadır (Demirer ve Güney, 2017). Birleşme izi; kalıp boşluğunda, eriyik akışının karşılaştığı kesitteki birleşmenin zayıf olması sonucu oluşan izlerdir. Üründe birleşme izinin oluşması ilgili bölgede malzemenin mekanik dayanımını azaltmaktadır (Bociaga ve Skoneczny, 2020). Ürünler kullanım yerine bağlı olarak çeşitli zorlanmalara maruz kalmaktadırlar. Bu nedenle, herhangi bir darbeye veya kuvvete maruz kalmaları durumunda dayanımlarının yüksek olması beklenmektedir (Özhan, 2014; Ozçelik vd., 2012; Xie ve Ziegmann, 2011). Maksimum dayanıklılığın gerçekleşmesi, proses koşullarına, kalıp tasarımının doğru oluşturulmasına ya da birleşme izinin farklı bir bölgeye kaydırılması ile sağlanabilmektedir (Scantamburlo vd., 2022).



Şekil 1. Birleşme izi oluşum süreci (Figure 1. Weld line formation process) (Bociaga ve Skoneczny, 2020)

Şekil 1’de birleşme izi oluşumunun görseli verilmiştir. Oluşan küçük çentik, sadece bir yüzey kusuru değil aynı zamanda, parçanın mekanik özelliklerinin zayıflamasına neden olan, stresin yoğunlaştığı bölgedir (Dzulkiplia ve Azuddin, 2017).

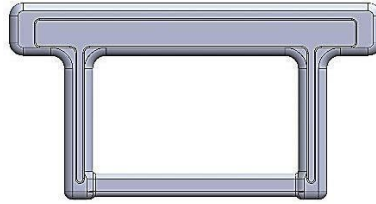
İncelenen literatür taramalarına göre, birleşme izinin oluşumu malzemenin mekanik özelliklerinde azalma meydana getirmekte ve bu etkiyi pozitif yönde iyileştirmek amacı ile farklı tekniklerin kullanımı, üretimde parametrik değişiklikler gerçekleştirilmesi ve birleşme izi bölgesinin farklı konuma kaydırılması gibi çalışmalar üzerinde durulmuştur. Scantamburlo ve arkadaşları (Scantamburlo vd., 2022) yaptıkları çalışmada, birleşme izlerinin bulunduğu %35 cam elyaf takviyeli polipropilen (PP) numuneler, alternatif dinamik paketleme (Push-Pull) ve hızlı ısı çevrimli takalıplama (RHCM) teknolojileri kullanılarak enjeksiyonla kalıplanmıştır. İki teknolojinin birleştirilmesi sonucu, birleşme izinin etkisi ile azalan mekanik özellikler iyileştirilmiştir. Çekme gerilimi ve sertliği sırasıyla %201 ve %46 artmıştır. Yapılan bu yeni uygulamanın birleşme izinin mekanik özellikleri iyileştirdiği tespit edilmiştir. Ravikiran ve arkadaşları (Ravikiran vd., 2022) Polimetil Metakrilatın (PMMA) enjeksiyon kalıplaması sırasında birleşme izi genişliğini en aza indirmek amacıyla, istatistiksel veri analiz programı kullanarak, ergime sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, soğutma süresi, enjeksiyon basıncı, geri basınç, tutma basıncı, ortam sıcaklığı ve tutma süresi olmak üzere sekiz plastik enjeksiyon kalıplama kriteri değişkenleri olarak belirlemiş ve farklı parametrelerde toplamda 27 deney yapılmıştır. Birleşme izi genişliğini etkileyen en önemli değişken parametrenin ise, %29.04 oranı ile plastik enjeksiyonla kalıplanmış bileşenin soğuma süresi olduğu gözlemlenmiştir.

Hwan ve arkadaşlarının (Hwan vd., 2018) yaptıkları çalışmada, yansıma modunda bir THz-TDS görüntüleme sistemi kullanılarak enjeksiyon kalıplama yoluyla oluşan birleşme izlerinin, tahribatsız muayenesini gerçekleştirmişlerdir. Birleşme izlerinin oluşumundan dolayı, çekme dayanımının düşme oranları %0, %10, %20 ve %30 cam elyaf (GF) içeren numuneler için sırasıyla %12, %34, %52 ve %56 olarak ölçülmüştür. Sonuç olarak, birleşme izlerinin varlığı ile çekme mukavemet değerlerinde doğru orantılı bir azalış görülmüştür. (THz-TDS) görüntüleme tekniği, enjeksiyonla kalıplanmış bir kompozitin birleşme izi kusurlarını saptamak için kullanışlı bir yöntem olarak belirlenmiştir.

Polipropilen (PP) malzeme ile kalıplanmış numunelerin enjeksiyon parametrelerinin ve oluşan birleşme izlerinin mekanik özelliklere etkilerini inceleyen Ozçelik ve ark. (Ozçelik vd., 2012) yapmış oldukları çalışmada, PP numunelerde birleşme izi oluşturmak için kenar açısı 0°, 15° ve 45° olan engeller tasarlanmıştır. Birleşme izleri olan ve olmayan numunelere çekme ve darbe testleri yapılmıştır. Birleşme izi olan numunelerin çekme ve darbe dayanımları, birleşme izi olmayan numunelerden elde edilen değerlerden daha düşük çıkmıştır. Engel kenar açısı (OEA) 15° olan enjeksiyonla kalıplanmış numunelerin birleşme izi çekme dayanımı, diğer kenar açılarından daha yüksek elde edilmiştir.

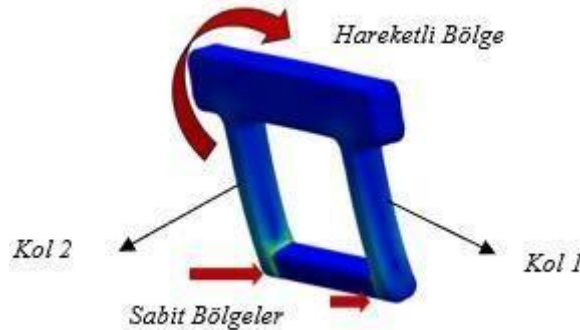
Dzulkipli ve arkadaşları (Dzulkipli ve Azuddin, 2017) yapmış oldukları çalışmada, farklı parametreler (eriyik sıcaklığı, malzeme ve kalıp tasarımı) altındaki polipropilen ve cam elyaf takviyeli polipropilen kompozitin birleşme izlerinin oluşumunu ele almışlardır. Erime sıcaklığı, malzeme türü ve kalıp tasarımının birleşme izi oluşumunu etkilediği sonucuna varmışlardır. Eriyik sıcaklığının artması ile birleşme izi oluşumunun azaldığı görülmüştür. Elyaf malzemesinin bileşimlerinin de birleşme izi oluşumunu etkilediği görülmüştür. Yüksek oranda, cam elyaf katkılı polipropilenin, birleşme izi uzunluğunun daha kısa olduğunu tespit etmişlerdir. Sreedharan ve ark. (Sreedharan ve Jeevanantham, 2018) ve deneysel çalışmalarında, enjeksiyon kalıplama makinesinde, akrilonitril bütadien stiren (ABS) (MFI:16 g/10dk) istatistiksel veri analiz programı kullanılarak, sekiz değişken bunlar; erime sıcaklığı, kalıplama sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, soğuma süresi ve ortam sıcaklığı gibi farklı parametrelerde toplamda 27 farklı deney ile ANOVA çalışması yapılarak, kalıplama parametrelerinin birleşme izi mukavemeti üzerindeki etkisini araştırmış ve optimum kalıplama parametrelerini belirlenmiştir. En etkin değişkenin ortam sıcaklığı (35C) olduğu gözlemlenmiştir. Kırılma ve gerilim çatlamasına meyilli olan birleşme izlerinin oluşumu, malzemenin akışı yönlendirilerek, farklı bölgelere kaydırılabilmektedir (Bociąga ve Skoneczny, 2020). Üretilen malzeme üzerinde yapılan akış değişiklikleri bilgisayar destekli analiz programlarında simüle edilerek gözlemlenebilmektedir. Ürün tasarım görseli Şekil 2'de gösterilmektedir.

Bu çalışmada, %30 cam elyaf katkılı PA6 malzemesinin plastik enjeksiyon yöntemiyle üretilen ürünün öncelikle bir akış analiz programı yardımıyla kalıp içi akışı farklı giriş noktalarıyla ele alınmıştır. Aynı şartlar kullanarak iki farklı yolluk girişi ile ayrı ayrı kalıplama gerçekleştirilmiştir. Farklı girişler farklı bölgelerde birleşme izi oluşturmuştur. Numune ürün üzerinde ortaya çıkan birleşme izi mekanik testlerle karşılaştırılmıştır. Numune üzerinde mekanik olarak çekme testi, darbe testi ve sertlik testleri ile farklılıklar ortaya konulmuştur.



Şekil 2. Plastik kilit mekanizması ürün tasarım görseli (Figure 2. Plastic lock mechanism product design image)

Çalışmada kilit mekanizmasında oluşan birleşme izinin enjeksiyon giriş noktaları değiştirilerek, parça mekanik dayanımları üzerine etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda, iki farklı enjeksiyon giriş noktasına sahip kalıp tasarımları Moldex3D® simülasyon programı ile analiz edilerek optimize edilmiştir. Öncelikle polimer malzeme ve proses koşulları hakkında bilgi verilmiştir. Bilgisayar destekli akış analizi yardımıyla birleşme izinin konumu belirlenmiştir. Deneysel olarak karşılaştırma yapabilmek için numuneye farklı iki noktadan ayrı ayrı giriş olacak şekilde kalıpta değişikliğe gidilmiştir. Giriş noktasına göre birleşme izi farklı bölgelerde oluşturacak şekilde numuneler elde edilmiştir. Elde edilen numunelerin üç farklı test (çekme, darbe ve sertlik testi) sonuçları karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir.



Şekil 3. Ürünün çalışma mekanizması görseli (Figure 3. Image of the working mechanism of the product)

Şekil 3'de, plastik kilit mekanizması üzerine uygulanan kuvvetin bölgesel olarak dağılımı görülmektedir. Mekanik zorlamaya en fazla maruz kalan bölgeler ürünün kol kısımlarıdır. Alt kısım yerinde sabit dönen bölge olmakta, kuvvet uygulanması esnasında, mekanizmanın üst kısmı hareket etmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Malzemeler

Deneyel çalışmada kapsamında plastik enjeksiyon kalıplama yönteminde kullanılan polimer malzeme %30 cam elyaf katkılı Poliamid 6 (PA6) dönüşümsüz birincil polimer malzemedir. Teknik özellikler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. %30 Cam Elyaf Takviyeli PA 6 Malzemenin Teknik Özellikleri (Table 1. Technical Specifications of 30% Glass Fiber Reinforced PA 6 Material)

Parametreler	Birim	PA6 +%30 CE
Yoğunluk (23°C)	g/cm <sup>3</sup>	1,34-1,36
Elastikiyet Modülü	MPa	9.000-10.000
Kopma mukavemeti (23°C)	MPa	165-185
Kopmadaki uzama (23°C)	%	3.0-4.0
Çentikli izod darbe mukavemeti (23 °C)	kJ/m <sup>2</sup>	15-20
Enjeksiyonda İşleme Sıcaklığı	°C	230-260
Kalıpta Çekme Oranı	%	0,1

### 2.2. Yöntem

Yapılan deneysel çalışmada farklı yolluk girişi ile üretimi yapılan plastik kilit mekanizmasında meydana gelen birleşme izi bölgesinin mekanik özellikler üzerine etkileri incelenmiştir. Bu kapsamda yapılan çalışma yöntemi sırasıyla üç adımdan oluşmaktadır. İlk olarak, Moldex3D® simülasyon programı ile akış analizi yapılmıştır. Sonrasında enjeksiyon kalıplama işlemi ile 1 nolu giriş (YG1), daha sonra da ise 2 nolu girişten (YG2) numuneler basılmıştır. Son olarak numunelerin birleşme izli ve izsiz bölgeleri ve giriş yerine göre çekme, darbe ve sertlik testleri gerçekleştirilmiştir. Tablo 3’de enjeksiyon kalıplamada kullanılan proses koşulları verilmiştir. Deneylerde KraussMaffei marka plastik enjeksiyon makinası kullanılmış ve makinenin özellikleri Tablo 2’de verilmiştir. Farklı iki yolluk girişi içinde aynı proses şartlarında üretim yapılmıştır. Çalışmanın ilk aşaması, farklı enjeksiyon besleme bölgeleri ile enjeksiyon kalıbında numunelerin basılması ile başlamıştır. Daha sonra Moldex3D® akış analiz programından yararlanılarak numunenin kalıpta dolmuş analizleri gerçekleştirilmiş ve birleşme izi bölgeleri incelenmiştir.

Tablo 2. Enjeksiyon Makinesi Teknik Özellikleri (Table 2. Injection Molding Machine Technical Specifications)

Ticari Adı	KraussMaffei Plastik Enjeksiyon Makinesi
Kapama Kuvveti	110 Ton
Basma Kapasitesi	200 gr
Enjeksiyon Basıncı	165 MPa

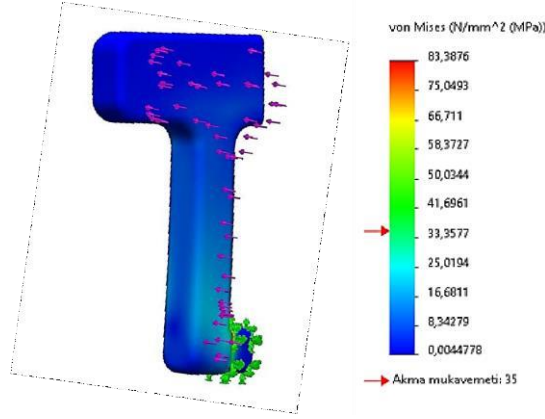
Tablo 3. PA6+%30CE Numunelerin Proses Şartları (Table 3. Process Conditions of PA6+30%CE Samples)

Kalıp Sıcaklığı (°C)	Çevrim Süresi (s)	Soğuma Süresi (s)	Enjeksiyon Basıncı (bar)	Ütüleme Basıncı (bar)	Ütüleme Süresi (s)	Enjeksiyon Sıcaklığı (°C)	Enjeksiyon Ocak Sıcaklıkları (°C)
60±2	92	50	70	60	20	260	260-250-240

### 3. Deneysel Yöntemler

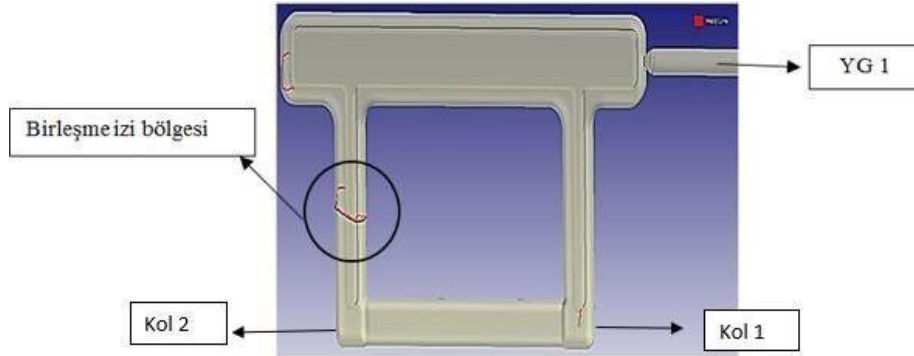
#### 3.1. Bilgisayar Destekli Akış ve Mukavemet Analizi

Plastik kilit mekanizma elemanının tasarımı sonrası plastik enjeksiyon kalıbında üretiminin gerçekleştirilebilmesi için kalıp içi akış analizinin uygulanmasına ihtiyaç vardır. Şekil 4 'de üzerine uygulanan kuvvet ile malzemede oluşan gerilmeler bilgisayar destekli Solidworks 3D katı modelleme programı ile analiz edilmiştir. Analizin model üzerinde gerilme dağılımı ve skalasında ise gerilim değerleri verilmektedir. Ürün üzerindeki gerilim bölgeleri gözlemlenebilmektedir.

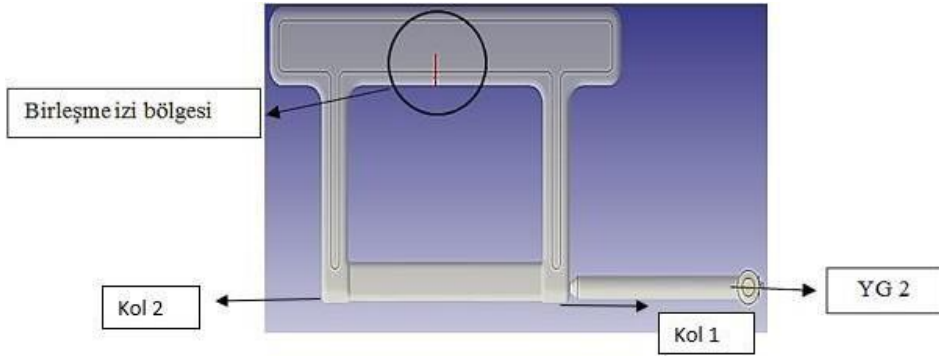


Şekil 4. Solidworks analiz sonuçları görseli (Figure 4. Solidworks analysis results image)

Moldex3D® programı kullanılarak, numunelerin iki farklı yolluk giriş noktalarına göre parça dolum analizleri ve bunlarda oluşabilecek muhtemel gerilmeler ve birleşme izinin oluşacağı bölgeler gözlemlenmiştir. Şekil 5 'de numune üzerinde yolluk girişi sağ üst gövde kısmından (YG1) verilmiştir ve birleşme izi sol kol kısmında (Kol 2) meydana gelmektedir. Şekil 6 'da ise yolluk girişi (YG 2) sağ alt kol kısmından tasarlanmış ve birleşme izi ise gövdeye (üst bölgeye) taşınmıştır.



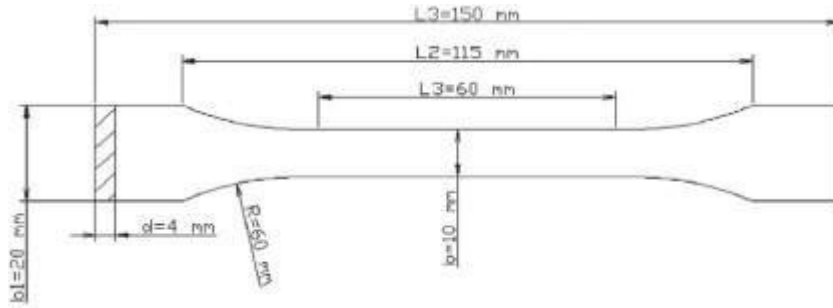
Şekil 5. Yolluk girişi 1 (YG 1) ile üretilmiş numunedeki birleşme izi görseli (Figure 5. The image of the joint trace in the sample produced with the runner inlet 1 (YG 1))



Şekil 6. Yolluk girişi 2 (YG 2) ile üretilmiş numunedeki birleşme izi görseli (Figure 6. The image of the joint trace in the sample produced with the runner inlet 2 (YG 2))

### 3.2. Çekme Testi

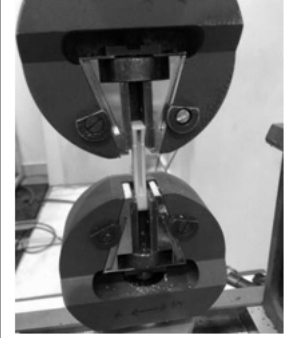
Plastik kilit mekanizması elemanının mekanik zorlanmaya en çok maruz kaldığı zayıf yan kolları çekme testine tabi tutulmuştur. Deneide test edilecek numuneler, kalıplama ve ekstrüzyon bileşikler için test koşulları sunan ISO 527-2 standardına (Şekil 7) uygun olarak hazırlanmıştır. Numuneler ISO 527-2 standardında verilen Tip 1-A boyutlarında olacak şekilde enjeksiyon kalıbından çıktuktan sonra yan kolları eşit şekilde kesilerek çekme testine hazırlanmıştır. Çekme cihazı teknik özellikleri Tablo 4’de verilmiştir. Her bir test 23°C’de ve %50 nem şartlarında yapılmıştır. Numuneler çekme cihazında hareket hızı  $5 \pm 1$  mm/min hızında kopma hasarı uğrayana kadar çekme kuvveti uygulanmıştır. Her bir işlem parametresi için en az dört numune kullanılmış olup sonuçların aritmetik ortalamaları alınmıştır. Çekme testi sonuçları Şekil 8 ve Şekil 9’da gösterilmektedir.

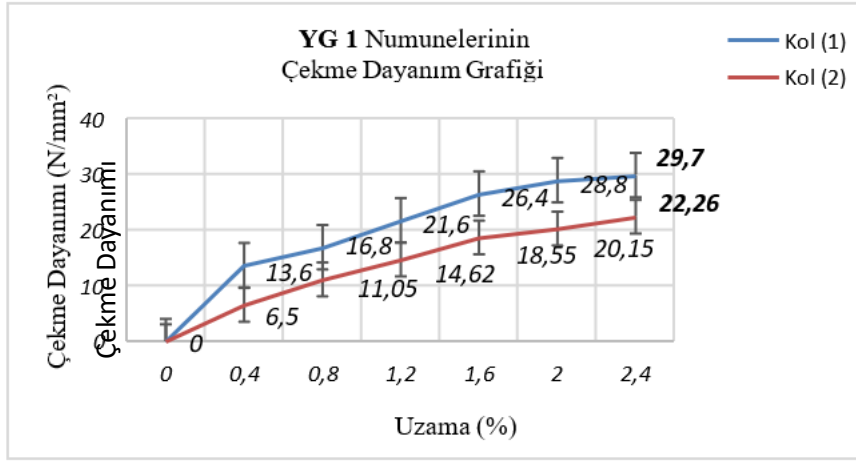


Şekil 7. Standart Çekme Deneyi Numunesi (ISO 527-2) (Figure 7. Standard Tensile Test Sample (ISO 527-2))

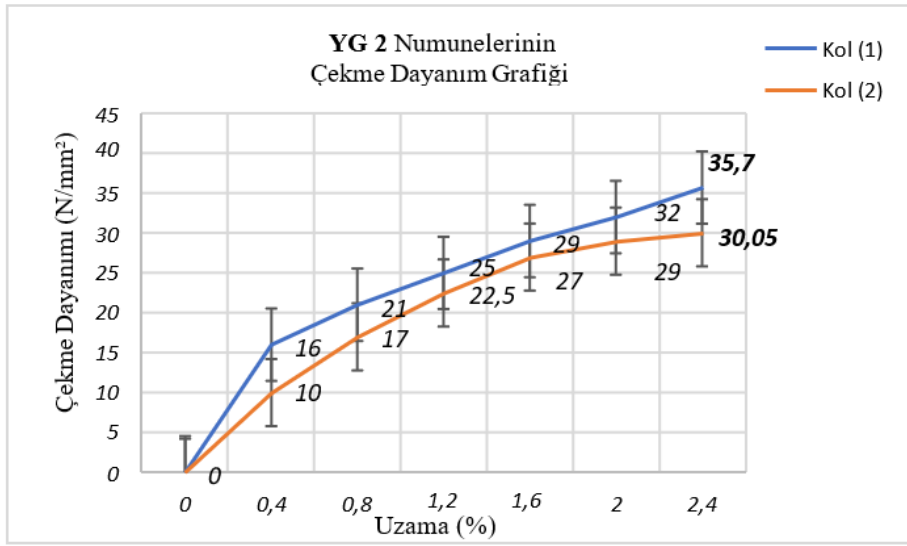
Toplam Uzunluk (mm) : 150 Dar Paralel Kenarlı Kısmın Uzunluğu (mm) : 80 Yarıçap (mm) : 20 Uçlardaki Genişlik (mm) : 20 Dar Kısmın Genişliği (mm) : 10 Et Kalınlığı (mm) : 4 Ölçme Uzunluğu (mm) : 50 Çeneler Arası Mesele (mm) : 115

Tablo 4. Çekme Cihazı ve Teknik Özellikleri (Table 4. Tensile Device and Technical Specifications)

	Çekme kapasitesi (kN)	2000 kN, PLC Kontrollü
	Çekme hızı (mm/min)	$5 \pm 1$
	Marka / Model	TINIUS OLSEN



Şekil 8. YG 1 deney numunelerinin çekme testi sonuçları (Kol 2 birleşme izli) ((Figure 8. Tensile test results of YG 1 test specimens (Arm 2 weld line))



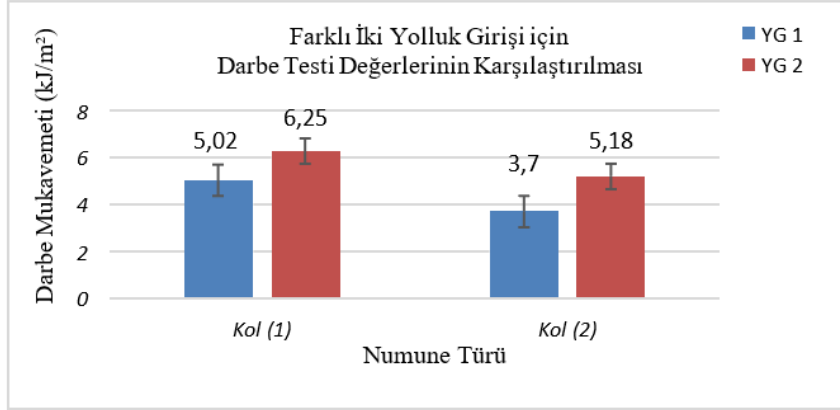
Şekil 9. YG 2 deney numunelerinin çekme testi sonuçları (Figure 9. Tensile test results of YG 2 test specimens)

### 3.3. Çentik Darbe Testi

Ürünlerin dinamik yüklere karşı kırılma enerjisini (darbe direnci) belirlemek amacı ile tinius olsen marka test cihazında oda sıcaklığında ISO 180 standardına uygun olarak izod darbe testleri yapılmıştır. İzod darbe deneyi için, 4x10x80 mm ölçülerinde deney numuneleri hazırlanmıştır. Her bir test 23°C'de ve %50 nem şartlarında yapılmıştır. Numuneler laboratuvar ortamında kondüsyonlanmıştır. Her bir işlem parametresi için en az dört numune kullanılmış olup sonuçların aritmetik ortalamaları alınmıştır. Darbe Test cihazı ve teknik özellikleri Tablo 5'de, test sonuçları ise Şekil 10'da verilmiştir.

Tablo 5. Darbe Test Cihazı ve Teknik Özellikleri (Table 5. Impact Tester and Technical Specifications)

	Markası	TINIUS OLSEN
	Özellikleri	Düşme Yüksekliği: 0,61 m
		Darbe Hızı: 3,46 m/s



Şekil 10. YG 1 ve YG 2 için darbe testi sonuçları (Figure 10. Impact test results for YG 1 and YG 2)

YG1 de : Kol 1 sağ kol-birleşme izsiz ; Kol 2 sol kol-birleşme izli numunedir.

YG2 de : Kol 1 sağ kol-girişe yakın; Kol 2 sol kol girişten uzak ve ikisi de birleşme izsiz numunelerdir.

### 3.4. Sertlik Deneyi

Enjeksiyon yöntemiyle üretilen plastik kilit mekanizması tüm numunelerin sertlik testleri Yamer analog sertlik ölçme cihazı Shore D (model SAS-D) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Shore D tipi durometre için deney numunelerinin en az 3 mm kalınlıkta olması gerekmektedir. Sertlik testleri ISO 868 (ASTM D 2240) standardına uygun olarak yapılmıştır. Sertlik ölçümlerinde, YG1 numuneleri için, Kol1 ve Kol 2 (B.izli) (Şekil 12) kısmından 14'er adet toplamda 28 adet ölçüm alınmıştır. YG2 numuneleri için ise, Kol1 ve Kol2 kısmına ek olarak, birleşme izi bölgesinin bulunduğu üst gövde kısmından (Şekil 14)14'er adet toplamda 42 adet sertlik ölçüm değeri alınmıştır.

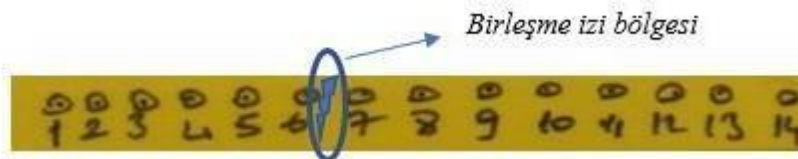
Deney numuneleri olarak, kol kısımları için darbe testi numuneleri kullanılmıştır. Gövde kısmı numunesi ise, darbe testi standardı ölçülerinde boyutlandırılarak teste tabi tutulmuştur. Darbe testi standardına göre ayarlanan numunelerin boy uzunluğu 80 mm olduğundan dolayı, deney numuneleri arasındaki mesafe yaklaşık 5,80 mm olacak şekilde (14 eşit mesafe) Shore D test cihazının (Şekil 11) iğnesi ile tarama yapılmıştır. Sertlik test cihazının teknik özellikleri Tablo 6'da verilmektedir. Şekil 13 ve 16'daki grafiklerde, iki farklı yolluk girişi için Kol 1 ve Kol 2 deney numunelerinin sertlik ölçüm verileri görülmektedir. Şekil 15'de ise, YG 2'deki üst gövde (B.izli) kısmı numunesinin sertlik verileri görülmektedir.



Şekil 11. Sertlik ölçüm cihazı (Figure 11. Hardness tester)

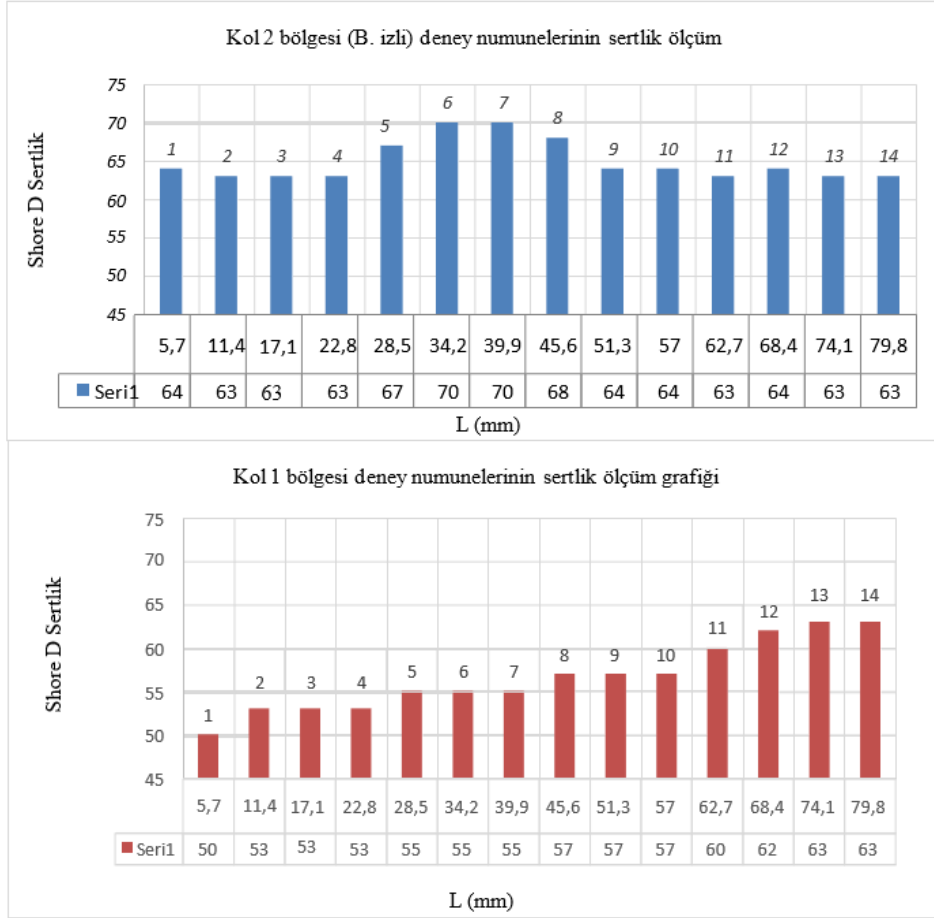
Tablo 6. Sertlik Test Cihazı ve Teknik Özellikleri (Table 6. Hardness Tester and Technical Specifications)

<b>Ölçüm Tabla Çapı</b>	Ø 100mm
<b>Boyut</b>	116x160x285
<b>Maksimum iş parçası yüksekliği</b>	75 mm



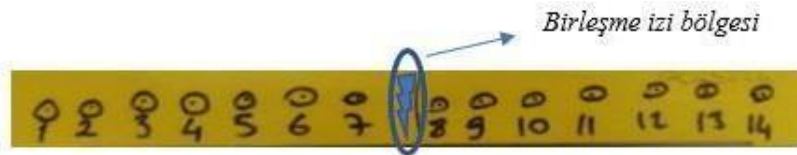
Şekil 12. Shore D testi için YG1de Kol 2 numune görseli (Figure 12. Arm 2 sample image in YG1 for Shore D test)



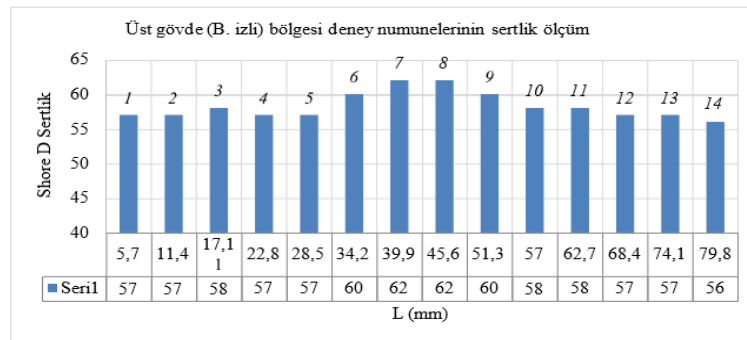


Şekil 13. YG1 de Kol 1 ve Kol 2 (B.izli) deki deney numunelerinin sertlik ölçüm verileri (Figure 13. Hardness measurement data of test specimens in Arm 1 and Arm 2 in YG1)

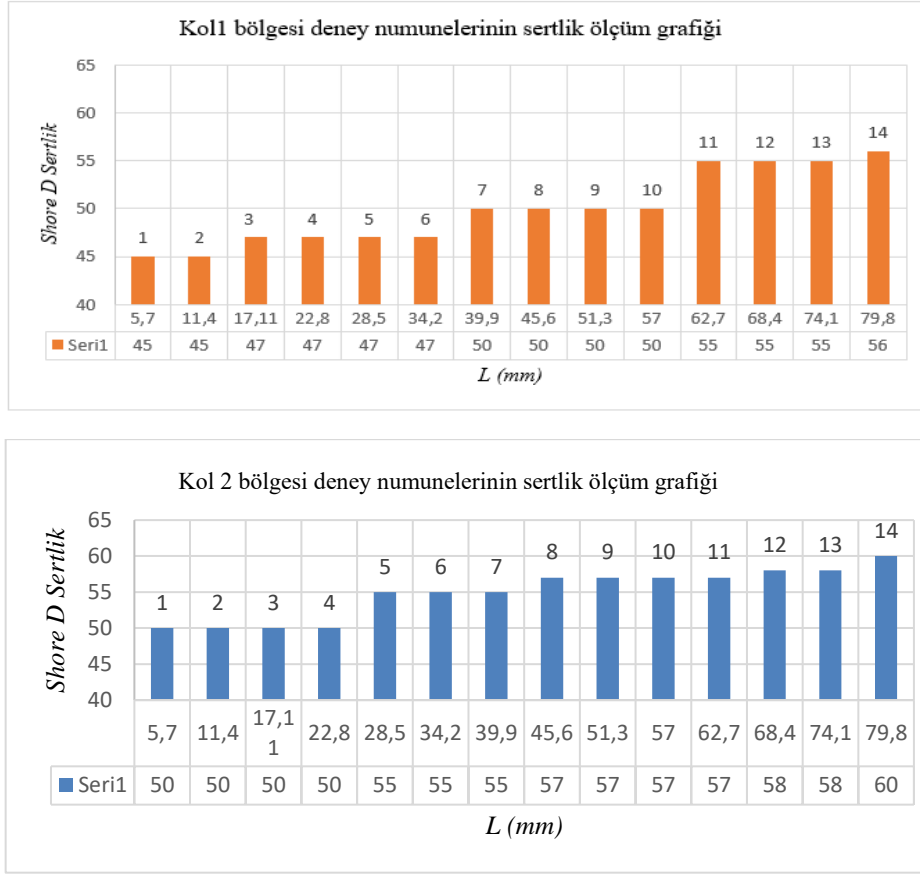
Yapılan Shore D sertlik testi sonuçlarına göre, YG1 deki Kol 2 (B.izli) deney numunelerinin sertlik verileri Kol 1 numunelerine kıyasla daha yüksek ölçülmüştür. Bunun sebebi ise yolluk giriş kısmına olan uzaklıktır. Girişe yakın kollarda sertlik düşük ve daha tok bir yapı oluşurken giriş noktasından uzaklaştıkça sertlik ve gevreklik artışı gözlemlenmektedir. Birleşme izinin bulunduğu bölgede, sertlik daha fazladır. Zaten mekanik olarak zayıf özelliklere sahip olan bölgede kırılma meydana gelmektedir.



Şekil 14. Shore D testi için YG2 üst gövde (B.izli) bölgesinden alınan sertlik mesafeleri (Figure 14. Hardness distances taken from YG2 upper body (B.marked) region for Shore D test)



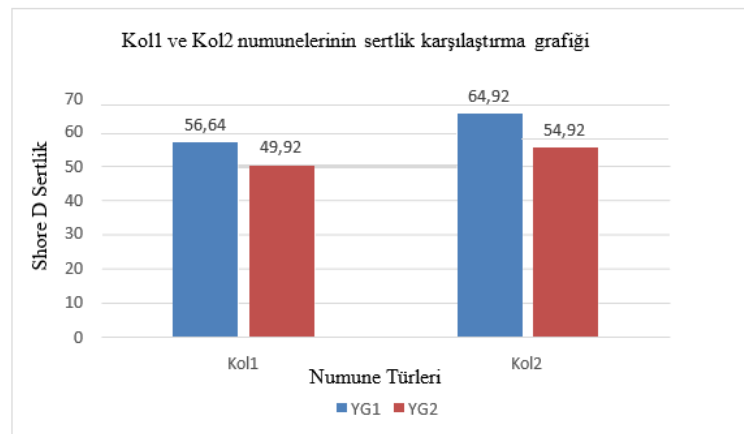
Şekil 15. YG2 deney numunelerinin üst gövde (B. izli) kısmı sertlik ölçüm verileri (Figure 15. Hardness measurement data of the upper body (B. marked) part of the YG2 test specimens)



Şekil 16. YG 2, Kol 1 ve Kol 2'deki deney numunelerinin sertlik ölçüm verileri (Figure 16. Hardness measurement data of test specimens in YG 2, Arm 1 and Arm 2)

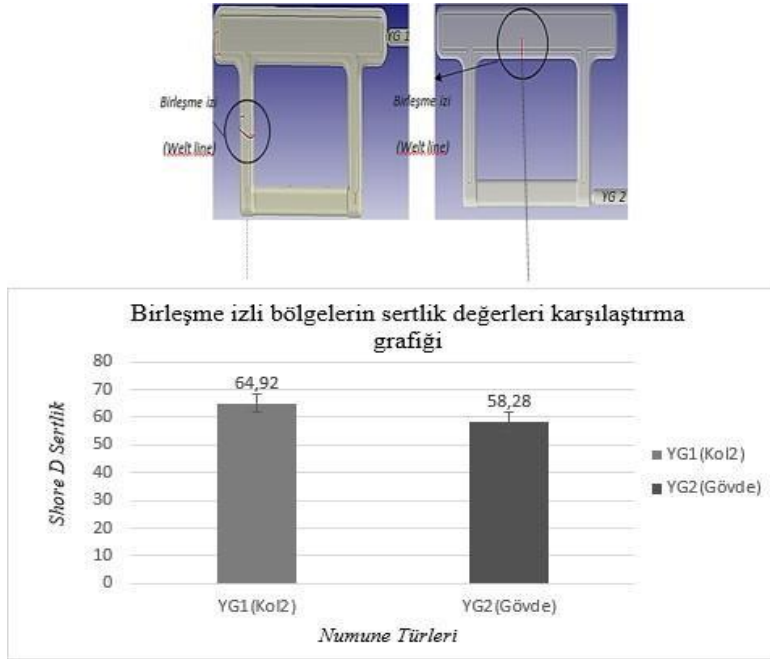
Mekanik zorlanmaların, yapılan analizler sonucunda numune kollarında oluştuğu belirlenmişti. Sertlik değerinin kollarda oluşması malzeme iç yapısı ve dayanım açısından istenmeyen bir durum oluşturmaktadır. Çünkü sertlik artışı gevrekliğin arttığını ve darbe dayanımının da zayıfladığını göstermektedir. Sertlik artışı numunedeki darbe dayanımını da düşürmektedir. YG2 de birleşme izi üst gövde kısmında oluşmaktadır. Bu kısım gerilme zorlanmalarının en az olduğu bölge olup aynı zamanda daha kalın ve geniş tasarlanmıştır. Birleşme izinin kaçınılmadığı durumlarda parçanın yüksek gerilmeye maruz kalmayacağı bölgeye taşınması en uygun çözümlerden birisidir.

Mekanik zorlanmaların, yapılan analizler sonucunda numune kollarında oluştuğu belirlenmişti. Sertlik değerinin kollarda oluşması malzeme iç yapısı ve dayanım açısından istenmeyen bir durum oluşturmaktadır. Çünkü sertlik artışı gevrekliğin arttığını ve darbe dayanımının da zayıfladığını göstermektedir. Sertlik artışı numunedeki darbe dayanımını da düşürmektedir. YG2'de birleşme izi üst gövde kısmında oluşmaktadır. Bu kısım gerilme zorlanmalarının en az olduğu bölge olup aynı zamanda daha kalın ve geniş tasarlanmıştır. Birleşme izinin kaçınılmadığı durumlarda parçanın yüksek gerilmeye maruz kalmayacağı bölgeye taşınması en uygun çözümlerden birisidir.



Şekil 17. YG1 ve YG2 numune kollarının (kol 1 ve kol 2) Shore D sertlik değerleri karşılaştırılması (Figure 17. Comparison of Shore D hardness values of YG1 and YG2 sample arms (arm1 and arm2))

İki farklı yolluk girişi için kol kısımlarındaki sertlik deney numunelerinden elde edilen veriler şekil 17’de kıyaslanmıştır. Aynı şekilde, numunelerdeki sertlik farkı yolluk girişine olan uzaklık ile doğru orantılıdır. Girişe yakın olan Kol1 numunelerinde sertlik değerleri düşükken, Kol2 numunelerinde daha yüksek veriler elde edilmiştir.



Şekil 18. YG1 ve YG2 numunelerinde oluşan birleşme izi bölgelerinin sertlik değerleri karşılaştırılması (Figure 18. Comparison of the hardness values of the joint scar regions formed in YG1 and YG2 samples.)

YG 1’deki birleşme izi bölgesi mekanik dayanım olarak zayıf olan bölgeden, uygulanan kuvvetin daha geniş bir alanda absorbe edildiği Şekil 18’de de görüldüğü üzere sertliğin daha düşük olduğu bölgeye (YG2-GÖVDE) kaydırılmıştır. YG1’deki Kol 2 numunesi daha gevrek yani kırılımandır. Darbelere karşı dayanımı, YG 2’deki gövde kısmına göre daha düşüktür. Yapılan literatür taramaları sonucunda, birleşme izi oluşumuna yönelik elde edilen sonuçlar irdelendiğinde gerek Hwan Oh G., gerekse Scantamburlo A. ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmalarda, birleşme izi etkisinin mekanik özellikleri negatif yönde etkilediği belirtilmiştir. Güney Z. nin master çalışmasında farklı dolgu malzemeleri içeren PA6 malzemedeki birleşme izi oluşan numunelerde mekanik değerlerin düştüğünü tespit etmiştir. Literatürde yapılan bu çalışma paralellik arz etmektedir.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada PA6+%30 CE katkı polimer malzemeye ait plastik kilit mekanizması numunesinde oluşan birleşme izinin enjeksiyon giriş noktaları değiştirilerek, parça mekanik dayanımları üzerine etkisi incelenmiştir. Çekme ve darbe testleri için, YG 1 ve YG 2’nin Kol 1 ve Kol 2 tarafından alınan numuneler test edilmiş ve aritmetik ortalama değerleri üzerinden grafik çizimleri gerçekleştirilmiştir. Shore D Sertlik testi için ise, her bir yolluk girişinden ayrı ayrı Kol1 ve Kol 2 numuneleri için testler yapılmıştır. Ek olarak, YG2 için, birleşme izinin bulunduğu gövde kısmından da numune alınarak teste tabi tutulmuştur. Şekil 17 ve 18’de ki grafikler için veriler ortalama değerler olarak alınmıştır. Yapılan bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Moldex3D ile yapılan akış analiz sonuçlarında, YG1 numunesi için polimer akışı birleşme izi, mekanik olarak zorlanmaya maruz kalan Kol 2 kısmında gerçekleşmiştir. Birleşme izi sebebiyle Kol 2 kısmında mekanik özelliklerde azalma meydana geldiği için üzerinde uygulanan basınç ile kırılmalar oluşmaktadır. Bu sebeple birleşme izi oluşumunun daha az kuvvete maruz kalan ve uygulanan basıncın daha geniş bölgeye yayılarak birim alana düşen kuvveti azaltan, numunenin üst gövde kısmına taşınması amaçlanmıştır. Bu sebeple yolluk giriş kısmı değiştirilerek (YG 2) birleşme izi bölgesi üzerine uygulanan kuvveti ve enerjiyi daha iyi absorbe edebilen bölgeye taşınmıştır. Çekme testi sonuçlarına göre, YG 2 ile üretimi gerçekleştirilmiş kilit mekanizmalarının Kol 1 numunelerinin çekme dayanımı değerleri, YG 1 numunelerine kıyasla %20,20, Kol 2 numune değerleri ise, %35 oranında artış göstermiştir. Yapılan darbe testi sonuçlarına göre ise, YG 2 ile üretimi yapılan kilit mekanizma deney numunelerinin, Kol 1 için darbe dayanım değerleri, YG 1-Kol1 numunelerine kıyasla % 24,50, Kol 2 numune verilerinde ise % 40’lık bir artış görülmüştür.

Shore D sertlik testi sonucunda ise, şekil 17’de görüldüğü üzere YG1 ve YG2 ‘nin Kol 1 ve Kol 2 numunelerinin sertlik değerleri karşılaştırma grafiği verilmiştir. YG1’in Kol 2 (B.izli) numunelerinin ortalama sertlik ölçüm değerleri, Kol1 numuneleri değerlerine kıyasla, %14,61 artış göstermiştir. YG2’nin Kol 2 numunelerinin ortalama sertlik ölçüm değerleri, Kol1 numuneleri değerlerine kıyasla, %10,01 artış göstermiştir. Bu durumun sebebi ise, enjeksiyon besleme bölgesinden uzaklaşan alanların daha gevrek (kırılgan) olmasından kaynaklanmaktadır. Darbe testi sonuçlarında da teyit edildiği üzere (şekil 10.), sertlik artışı ile kol bölgesindeki numunelerin kırılması için gerekli olan enerji değeri (darbe direnci) azalmaktadır.

Sonuç olarak, enjeksiyon kalıplamanın doğası gereği oluşan birleşme izinin, iki farklı yolluk girişi ile üretimi gerçekleştirilen plastik kilit mekanizması numunelerinin mekanik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. YG 1 ile üretimi gerçekleştirilen numunelerde üst gövdeden polimer akışı beslemesi ile birleşme izi kol kısmında oluşmakta (Kol 2) ve bu noktada, üzerine uygulanan kuvveti absorbe etme yeteneği YG 2 ile üretimi yapılan numunelere kıyasla daha düşüktür. YG 2 ile üretimi yapılan deney numunelerinde enjeksiyon beslemesi kol kısmından (Kol 1) yapılmış ve birleşme izi üst gövde kısmında oluşmuştur. Daha geniş bir alanda meydana gelen birleşme izi, üzerine uygulanan kuvveti maksimum oranda absorplamıştır. Bunun göstergesi olarak, çekme ve darbe dayanım değerleri YG 1 numunelerine kıyasla daha yüksek çıkmaktadır. Yapılan çalışmanın sonucunda numune üzerinde oluşan birleşme izinin mekanik özelliklere negatif yönde etki ettiği deneysel çalışmalar ile görülmüştür. Bu kapsamda yolluk giriş noktasının yer değiştirmesi sonucunda birleşim izinin farklı noktalara taşınarak mekanik özelliklerde artış gözlemlenebilmektedir.

## Kaynakça

- Bociaga, E., ve Skoneczny, W. (2020). Characteristics of injection molded parts with the areas of weld lines, polimery.doi: dx.doi.org/10.14314/polimery.2020.5.1.
- Demirer A., Polimer Teknolojisi ve Kalıplama Prosesi, ders notları, SUBÜ. Teknoloji fakültesi, Sakarya, 2022.
- Demirer A., ve Güney, Z. The Effect of Weld Line on Mechanical Properties of Injection Moulded Polyamide 6 Reinforced Different Filling, International Advanced Researches & Engineering Congress, Osmaniye, Türkiye, 16-17 Kasım 2017.
- Dzulkipli, A., ve Azuddin, M. (2017). Study of the Effects of Injection Molding Parameter on Weld Line Formation, Procedia Engineering, 184. doi: 10.1016/j.proeng.2017.04.135.
- Hwan Oh, G., Jeong, H.J., Park, S., ve Kim, H.S. (2018). Terahertz time-domain spectroscopy of weld line defects formed during an injection moulding process. 157.doi: https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2018.01.030.
- Köse, E. (2006). Plastik Enjeksiyonda Proses ve Kalıp Kaynaklı Sorunların Giderilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Ozcelik, B., Kuram, E., ve Topal, M. (2012). Investigation The Effects of Obstacle Geometries and Injection Molding Parameters On Weld Line Strength Using Experimental and Finite Element Methods In Plastic Injection Molding, International Communications in Heat and Mass Transfer. 39. doi:10.1016/j.icheatmasstransfer.2011.11.012.
- Özhan, H. (2014). Planet Dişli Mekanizmasında Halka Dişli Bağlantı Parçasının Kırılma Probleminin Gerilme Analizi ve Malzeme Seçimi Yapılarak Önlenmesi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bartın.
- Pınar, E. (2010.) Plastik Enjeksiyon Yöntemiyle İmalatta Hataların Tespiti ve Proses Şartlarının Optimizasyon Uygulaması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Ravikiran, B., Kumar Pradhan, D., Jeet, S., Bagal, D.K., Barua, A., ve Nayak, S. (2022). Parametric Optimization of Plastic Injection Moulding for FMCG Polymer Moulding (PMMA) Using Hybrid Taguchi-WASPAS-Ant Lion Optimization Algorithm, Materials Today: Proceedings, 56. doi:https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.204.
- Scantamburlo, A., Zanini, F., Lucchetta G., ve Sorgato M. (2022). Improving The Weld Lines Mechanical Properties by Combining Alternate Dynamic Packing and Rapid Heat Cycle Moulding. Composites, 163, doi: https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2022.107239.
- Sreedharan J, ve Jeevanantham, A.K. (2018). Optimization of Injection Molding Process to Minimize Weld-line and Sink-Mark Defects Using Taguchi based Grey Relational Analysis, Materials Today: Proceedings. doi:https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.02.244
- Xie, L., Ziegmann, G. (2011). Mechanical Properties of The Weld Line Defect in Micro Injection Molding For Various Nano Filled Polypropylene Composites, Journal of Alloys and Compounds, 509. doi:10.1016/j.jallcom.2010.09.051.