

MAKİNA TASARIM VE İMALAT DERGİSİ

Cilt: 14 Sayı: 2

JOURNAL OF
MECHANICAL DESIGN
AND PRODUCTION

Vol: 14 No: 2

ISSN 1302-9487

TELİF HAKKI

Makina Tasarım ve İmalat Dergisinde yayımlanan bütün yazıların telif hakkı MAKİNA TASARIM VE İMALAT DERNEĞİ'nindir. Yayımlanmış yazıların başka bir yerde tekrar yayımlanması, çoğaltılması ve dağıtılması, Yayın Kurulundan yazılı izin almak koşulu ile mümkündür. Makalelerdeki görüşlerden doğacak sorumluluk makale yazarına aittir.

ABONE KOŞULLARI

Yıllık abone bedeli gerçek kişiler için 10 TL, firma ve kuruluşlar için 40 TL, öğrenciler için 5 TL'dir. Abone olmak için aşağıda verilen banka hesabına abone bedelinin yatırılması ve açık adresiniz ile banka makbuzunun adresimize gönderilmesi yeterlidir.

TANITIM KOŞULLARI

Kuruluş ve ürünlerini tanıtmak isteyenler hazırlayacakları tanıtım yazı ve resim taslaklarını Derneğimiz'e göndererek saptanacak bir katkı karşılığında Dergi'de yayımlanmasını sağlayabilirler.

BANKA HESAP NUMARASI

Makina Tasarım ve İmalat Derneği
T. İş Bankası, ODTÜ Şubesi
Hesap No: 4229 0235339
IBAN:
TR430006400000142290235339

DİZGİ

Hülya SEVER

BASKI

ODTÜ Basım İşliği

Yılda 2 sayı Mayıs ve Kasım aylarında yayımlanır.

İÇİNDEKİLER

ARAŞTIRMA, GELİŞTİRME VE UYGULAMA MAKALELERİ

Östemperleme Isıl İşlem Sıcaklığının En GJS 600-3
Döküm Malzemedeki Mekanik Özelliklere Etkisi ve
Hidrolik Direksiyon Kutusuna Uygulanması 47

Ahmet Oktay Devecili
Gökay Uymaz

Küçük ve Orta Ölçekli Makine İmalat Firmaları
İçin Dış Ticaret Kabiliyeti Analizi 54

Yusuf Tansel İç
İrem Apaydın

Geliştirilmiş Yüksek Mukavemetli Çeliklerin
Servo Pres Kullanılarak Bükülmesi 69

Eren Billur
Barış Çetin
M. Mutlu Yılmaz
Oğuzhan Onaylı
Anıl Atay
Ali Gökhan Oğuz

Yüksek Mukavemet Çeliklerinin derin Çekme
Oranlarının Geliştirilmesi İçin Yapılan Deneysel
Çalışmalar 77

Erdem Kayhan
Bilgin Kaftanoğlu

Saç Şekillendirme İşleminde Sürtünmenin
İncelenmesi 88

Hakan Kalkan
Tuğçe Hacaloğlu
Bilgin Kaftanoğlu

Sayın Okurlarımız,

Makina Tasarım ve İmalat Dergisi 1986 yılından bu yana özgün araştırmaları yayımlayan hakemli bir dergi olarak süreklilik kazanmıştır. 2001 yılında dergimize ISBN (ISBN1302-9487) numarası verilmiş, TÜBİTAK tarafından ulusal veri tabanına alınmış ve dergi basım adedi artırılarak Türkiye’de daha yaygın dağıtımı sağlanmıştır.

Yayın kurulumuz dergiye özgün çalışma ürünü, derleme veya bir bilgi ve tecrübe aktarımını sağlayacak makaleler bulmak konusunda katılımlarınızı beklemektedir. Ayrıca kitap tanıtımı, konu taraması ve sanayi kuruluşlarının etkinliklerini içeren yazılara da geçmişte olduğu gibi yer verilmektedir.

2016 yılında YÖK tarafından yeni olarak istenen Doçentlik için yerli yayın zorunluluğu için de dergimiz uygun bir platform olacaktır. Dergimizin Mayıs ve Kasım aylarında çıkarılabilmesi için de makale katkılarınızı beklemekteyiz. Bu sayede, dergimiz TÜBİTAK ULAKBİM tarafından taranan dergiler arasına girecektir.

Dergimizi, endüstri ve akademik kuruluşlarımızın karşılıklı bilgi alışverişinde bulunduğu, teknik sorunları tartıştığı ortak bir forum haline getirmek için siz meslektaşlarımızın katkı ve önerilerini bekleriz.

Saygılarımızla,

Yayın Kurulu

Östemperleme Isıl İşlem Sıcaklığının En GJS 600-3 Sfero Döküm Malzemede Mekanik Özelliklere Etkisi ve Hidrolik Direksiyon Kutusuna Uygulanması

Ahmet Oktay Devecili

Gökay Uymaz

Hema Endüstri A.Ş.
Organize Sanayi Bölgesi, 59501,
Çerkezköy/Tekirdağ-Türkiye

Bu çalışmada EN 1563 standardına göre EN-GJS-600-3 olarak dökülmüş sfero döküm malzemeye östemperleme ısıl işlemi uygulanmıştır. Östemperleme süresi tüm numuneler için sabit olmak kaydıyla 1 saat, Isıl işlem sıcaklığı ise, 300 0C, 350 0C ve 400 0C olarak seçilmiştir. Östemperleme ısıl işlemi sonrasında hiç ısıl işlem görmemiş numuneler ile ısıl işlem sonrası değerler irdelenmiştir. Testler sonrasında östemperleme sıcaklığı arttıkça çekme ve akma mukavemetinin düştüğü ancak % uzama ve darbe direnç değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada 350 0 C östemperleme ısıl işlemi ile elde edilen değerler kullanılarak ticari araçlar için tasarlanmış hidrolik direksiyon kutusu sonlu elemanlar paket programı ile analiz edilmiş ve ısıl işlem uygulanmamış verilerle karşılaştırmalar yapılmıştır.

1. GİRİŞ

Değişen dünya ile birlikte mühendislik malzemelerinde de bu değişikliğe paralel olarak genelde daha mukavemetli, daha hafif ve ucuz malzemeler bulunarak geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu malzeme gruplarından biri de sfero döküm malzemeleridir. Sfero döküm malzemeleri uygun ısıl işlemler ile ortalama %10-40 daha ucuz olmasından ayrıca daha kolay üretilebilir olmasından dolayı bazı uygulamalarda çeliğin yerini almaya başlamıştır[1-5]. Özellikle otomotiv endüstrisinde motor krankı ve dişliler önemli miktarda östemperlenmiş malzemelerin kullanıldığı uygulama alanlarından bir tanesidir[6,7].

Östemperleme ısıl işlemi ilk olarak Davenport ve Bain tarafından 1930 yıllarda çeliklere uygulanmıştır. Elde edilen beynitik yapıya da Bain kendi ismini vermiştir[8]. Daha sonra bir çok araştırmacı sfero ve çelik malzemelerin mekanik değerlerindeki değişimleri irdelemek, aşınma ve yorulma performanslarını incelemek için ısıl işlem şartlarını ve malzeme kimyasal kompozisyonunu değiştiren araştırmalar yapmıştır[9-20].

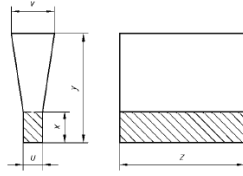
Ancak yapılan literatür araştırması sonrasında EN-GJS-600-3 malzeme kimyasal kompozisyonuna sahip ve yalnızca Cu alaşımlı bir alaşıma sahip döküm malzemenin östemperleme sonrasındaki karakteristiklerinin incelenmediği görülmüştür. Bu çalışmada bu malzemenin ısıl işlem sonrası değerleri irdelenmiş ve ayrıca ticari araç hidrolik direksiyon kutusu EN GJS 600-3 malzeme ile dökülerek östemperleme ısıl işlemine tabi tutulmuştur. Isıl işlem öncesi değerler ile ısıl işlem sonrası mekanik değerler kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiş ve aradaki farklar tespit edilmiştir.

2-DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Döküm Numunelerin Hazırlanması

Döküm, magnezyum küreselleştirme işlemi sonrasında 1420 °C'de %0,2 oranında ultraseed stronsiyum bazlı aşılama malzemesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Dökümü yapılan EN-GJS-600-3 malzemeye ait kimyasal kompozisyon analizi Tablo-1'de gösterilmiştir. Analiz döküm potasından alınmış ve optik spektrometre ile 3 ayrı noktadan ölçülerek ortalaması alınmıştır.

Dökümler EN 1563 standardında tip olarak “I” ile belirtilen boyutlarda “Y” bloklara toplamda 16 adet dökülmüştür. Döküm blokları Şekil-1’de şematik olarak gösterilmiştir.



Maße in Millimeter

Maß	Typ			
	I	II	III	IV
u	12,5	25	50	75
v	40	55	100	125
x	25	40	50	65
y ¹⁾	135	140	150	175
z ²⁾	abhängig von der Probenlänge			

Şekil-1) EN 1563 standardı Y blok çekme çubuğu döküm boyutları

Ayrıca ticari araç direksiyon gövdesi olarak adlandırılan parça da Tablo-1’de gösterilen alaşım ile dökülmüştür. Parçanın toplam ağırlığı 32 Kg dır. Döküm sonrası parçanın görüntüsü Şekil-2’de gösterilmiştir.

2.2. Östempereleme Isıl İşleminin Uygulanması

Şekil-1’de gösterilen çekme çubuğu Y blokları östempereleme ısıl işlemi öncesinde testere ile kesilerek ısıl işlemin ve mekanik testlerin yapılacağı

kısımlar ayrılmıştır. Kesilen parçalar daha sonra östempereleme ısıl işlemine tabi tutulmuştur. Isıl işlem parametreleri Tablo-2’de gösterilmiştir.



Şekil-2) Ticari araç hidrolik direksiyon gövdesi

Parçaların tamamı 900 °C’de 1 saat tutulduktan sonra Tablo-2 de gösterildiği şekilde 300°C, 350°C ve 400°C sıcaklıklarda 1 saat tutulmuş sonrasında oda sıcaklığına soğutulularak östempereleme ısıl işlemi gerçekleştirilmiştir. Isıl işlem sırasında her grupta 4 er adet olmak üzere toplamda 16 parçaya ısıl işlem yapılmıştır. Daha sonra yapılacak mekanik mukavemet değerlerinin ölçümünde her grubun değerlerinin ortalaması alınmıştır.

Tablo-1) EN-GJS-600-3 malzeme döküm alaşımı kimyasal kompozisyonu

KİMYASAL KOMPOZİSYON (%ağırlıkça)												
% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Cr	% Cu	% Sn	% Mg	% Al	% Ti	% B	Fe
3,63	2,54	0,35	0,044	0,027	0,04	0,82	0,03	0,045	0,001	0,018	0,0015	Kalan

Tablo-2) Östempereleme ısıl işlem parametreleri

Numune adeti	Numune cinsi	Östenit Sıcaklığı (°C)	Östenitleme Süresi (saat)	Östempereleme Sıcaklığı (°C)	Östempereleme Süresi (saat)
4	Çekme çubuğu	900±5	1	300±5	1
4	Çekme çubuğu	900±5	1	350±5	1
4	Çekme çubuğu	900±5	1	400±5	1
4	Direksiyon gövdesi	900±5	1	350±5	1

2.3. Mekanik Mukavemet Değerleri

2.3.1 Çekme/Akma Mukavemeti Değerleri

Östempereleme ısısal işlemi yapılan numuneler ile ısısal işlem yapılmamış döküm haliyle bulunan numunelerin mekanik değerlerinin tespiti için EN ISO 6892-1 standardına göre çekme testine tabi tutulmuştur. Çekme testi öncesi hazırlanan numunelerin örnek görüntüsü Şekil-3'te gösterilmiştir.



Şekil-3) Çekme testi yapılan numunelere ait görüntü

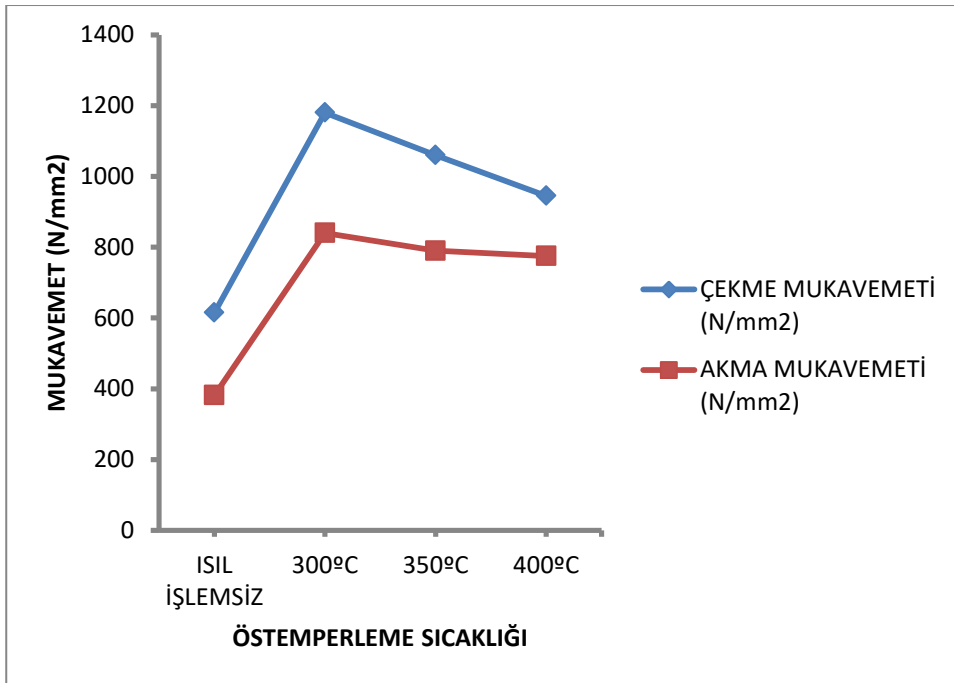
Çekme testi sonrasında malzemelerin çekme mukavemeti, akma mukavemeti ve %uzama değerleri tespit edilmiştir. Her numune grubu için hazırlanan 4 numunede elde edilen değerlerin ortalamaları alınarak Şekil-4 ve Şekil-5'de gösterilmiştir.

2.3.2 Çentik Darbe Mukavemeti Değerleri

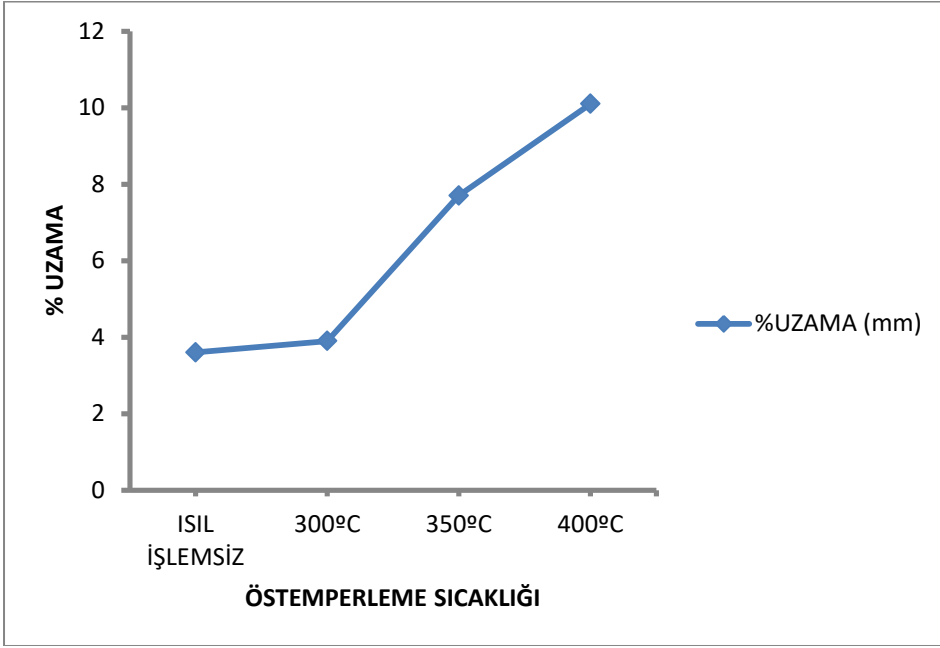
Farklı sıcaklıklarda östempereleme ısısal işlemi yapılan numune grupları ile ısısal işlem yapılmamış numunelere darbe mukavemeti değerlerinin tespiti için test yapılmıştır. Testler sonrasında elde edilen değerler Şekil-6'da gösterilmiştir. Değerler her ürün grubu için 4 numunenin ortalaması alınarak elde edilen değerlerdir.

2.3.3 Sertlik Ölçüm Değerleri

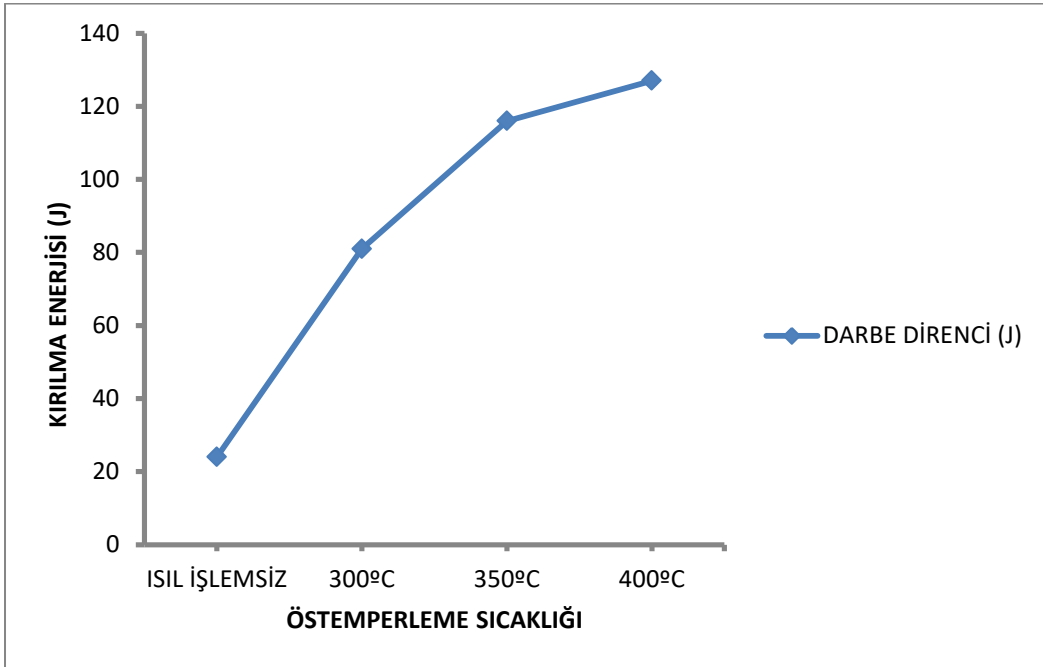
Isısal işlem yapılmamış ve farklı sıcaklıklarda östempereleme ısısal işlemi yapılmış numunelerin sertlik ölçümleri yapılmıştır. Sertlik ölçümleri 3000 kg yük ve 10 mm bilya çapına sahip uç ile gerçekleştirilmiş olup bulunan değerler Şekil-7'de gösterilmiştir.



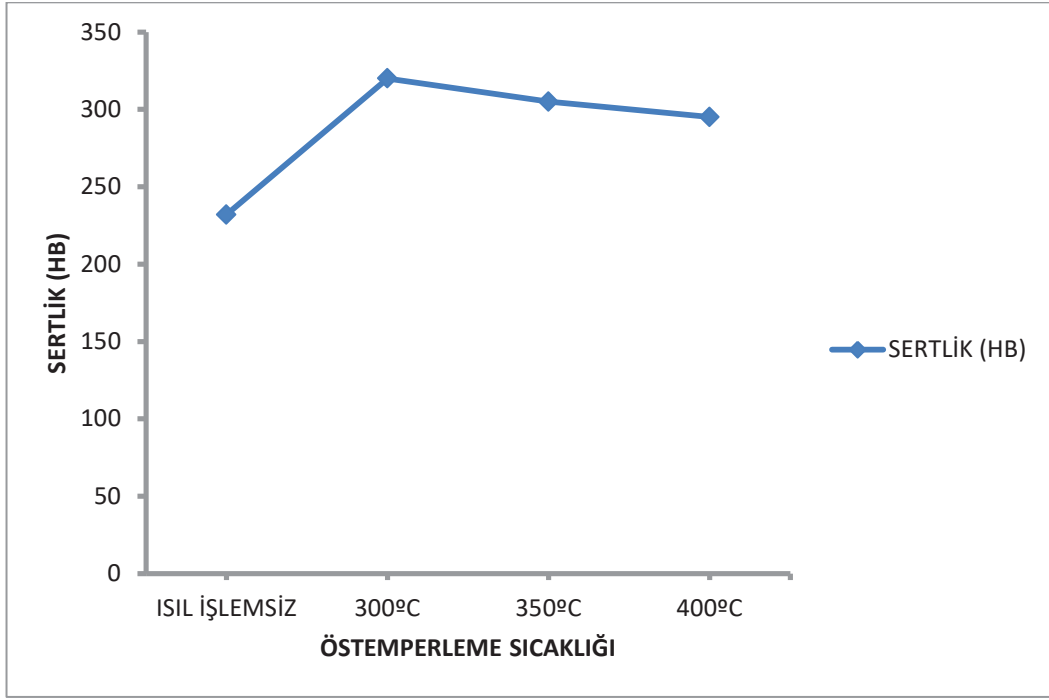
Şekil-4) EN GJS 600-3 kalite malzemede çekme ve akma mukavemeti değerlerinin ısısal işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi.



Şekil-5) EN GJS 600-3 kalite malzemede %uzama değerinin ısıtım işlem sıcaklığına bağılı olarak değişimi.



Şekil-6) EN GJS 600-3 kalite malzemede darbe direnci (J) değerinin ısıtım işlem sıcaklığına bağılı olarak değişimi.



Şekil-7) EN GJS 600-3 kalite malzemede sertlik değerinin ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi.

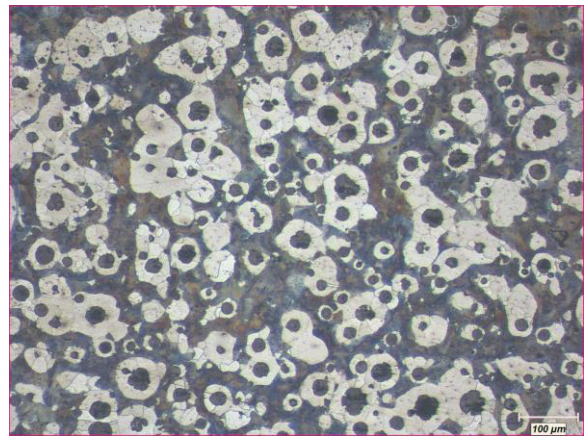
2.4. Mikroyapı Sonuçları

Tuz banyosunda 300⁰ C, 350⁰ C ve 400⁰ C de 1 saat östemperleme ısı işlemine tabi tutulan numuneler 80, 180, 320, 600, 800 grid zımpara ile zımparalanmış devamında 3 mikron tane boyutuna sahip elmas pasta ile parlatılmıştır. Yapı dağılımını tespit etmek için %4 nitrik asit konsantrasyonuna sahip dağlayıcı ile dağlanmış. Devamında mikroyapı resimleri optik mikroskop ile tespit edilmiş olup Şekil-8-9-10-11'de gösterilmiştir. Isıl işlem yapılmamış numunenin mikro yapısında ferrit ve perlit bulunurken, 300⁰ C ve 350⁰ C ısı işleme tabi tutulan numunelerde matris fazının martenzitik ağırlıklı, 400⁰ C de ısı işleme tabi tutulan numunenin ise çoğunlukla bey nitik yapıdan oluştuğu tespit edilmiştir.

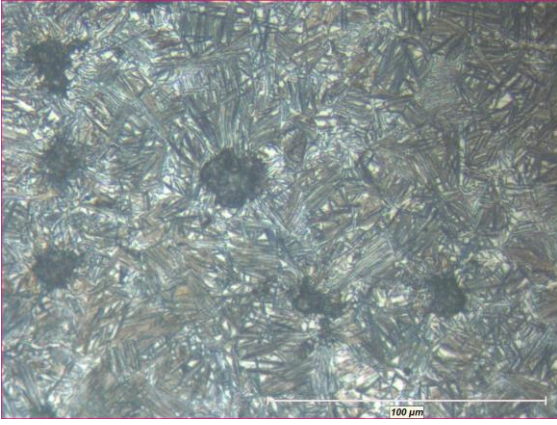
2.5. Hidrolik Direksiyon Kutusu Yapısal Analiz Sonuçları

Sonlu elemanlar paket programı kullanılarak ticari araçların hidrolik direksiyon sistemleri için tasarlanmış direksiyon gövdesi analiz edilmiştir. Analiz sırasında programın veri tabanına ısı işlem yapılmamış EN-GJS-600-3 malzemede bulunan mekanik değerler ile östemperleme ısı işlemi sonrasında 350⁰C elde edilen mekanik mukavemet değerleri kullanılmış ve iki farklı malzemenin nasıl davrandığı karşılaştırmalı olarak tespit edilmeye çalışılmıştır

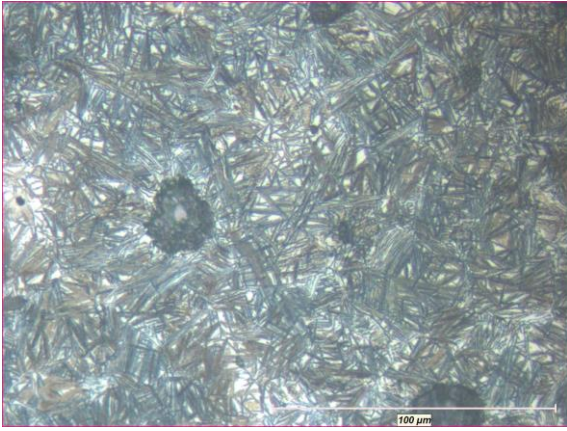
Sonlu elemanlar programındaki analiz sırasında parça üzerine çalışma prensibine paralel olarak 37425 N yük uygulanmış olup bu yük değeri araç üzerinde parça üzerine gerçekte gelecek yük değeri kadardır. Uygulanan yük sonrasında parçanın gerinme değerleri çıkarılmış, ayrıca emniyet katsayı değerleri ısı işlem uygulanmamış EN GJS600-3 malzemenin mekanik değerleri ile östemperleme ısı işlemi uygulanarak elde edilmiş değerler kullanılarak hesaplanmıştır. Karşılaştırma sonuçları Şekil-12-13'de gösterilmiştir.



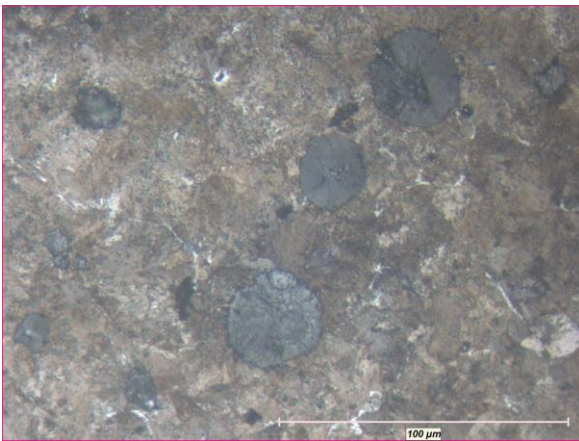
Şekil-8) Isıl işlem yapılmamış döküm parçasının 100X mikro yapı görüntüsü



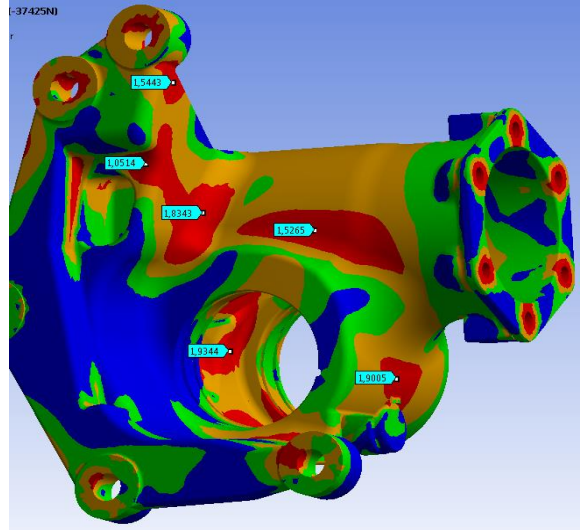
Şekil-9) 300°C'de östemperleme yapılmış döküm parçanın 500X mikro yapı görüntüsü



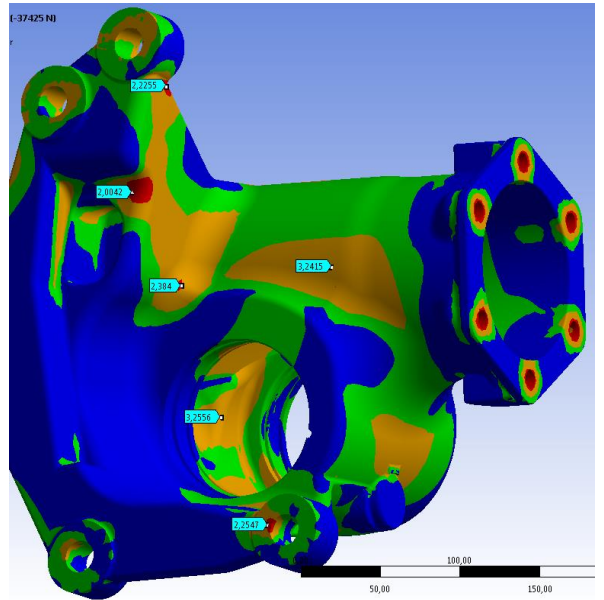
Şekil-10) 350°C'de östemperleme yapılmış döküm parçanın 500X mikro yapı görüntüsü



Şekil-11) 400°C'de östemperleme yapılmış döküm parçanın 500X mikro yapı görüntüsü



Şekil-12) 37425 N yük altında EN-GJS-600-3 malzemenin ısı işlemsiz mekanik değerleri kullanılarak yapılan analiz ve emniyet katsayısı görüntüsü



Şekil-13) 37425 N yük altında EN-GJS-600-3 malzemenin 350°C'de östemperleme ısı işleme sonrası elde edilen mekanik değerleri kullanılarak yapılan analiz ve emniyet katsayısı görüntüsü

3. SONUÇLARIN YORUMLANMASI

- Ham döküm haliyle çekme mukavemeti 600 N/mm² olarak bulunan dökme demir malzemeye östemperleme ısı işlemi uygulandığı takdirde çekme mukavemetinin 1100 N/mm² civarına çıkabileceği tespit edilmiştir. Çekme mukavemetindeki bu artışa paralel olarak akma mukavemeti değerlerinin de 800 N/mm²'ye ulaştığı görülmüştür.
- Östemperleme ısı işlemi sonrasında bulunan darbe direnci kırılma mukavemeti 120-130 J seviyelerine çıkarken ısı işlem görmemiş parçada bu değer 20-25 J seviyelerinde olduğu tespit edilmiştir. Artış yaklaşık 5 kattır.
- Yine malzemedeki %uzama değeri ham döküm malzemede %3-4 civarında iken östemperleme sonrasında bu değer %10 değerine kadar çıktığı tespit edilmiştir.
- Döküm haliyle mikroyapıda matris fazının ferrit ve perlitten oluştuğu, ısı işlem sonrası ise yapının martenzit ve beynite dönüştüğü tespit edilmiştir. Mukavemet artışındaki ana neden bu dönüşümden kaynaklanmaktadır.
- Sonlu elemanlar yöntemi ile östemperleme ısı işlemi sonrasında elde edilen değerlerin kullanılarak analiz edildiği hidrolik direksiyon kutusunun hiç ısı işlem görmemiş parçaya göre yaklaşık 2,5 kat daha emniyetli olarak çalışabileceği tespit edilmiştir.
- Sonuç olarak östemperleme ısı işlemi ile standart olarak dökülmüş olan EN-GJS-600-3 malzemenin mekanik değerleri artmaktadır. Böylece ağır yük altında çalışması gereken parçaların emniyetli bir şekilde çalışmasını sağlayacak gerekli mekanik değerlerin sağlanabileceği tespit edilmiştir.

KAYNAKÇA

1. Putatunda SK.MaterSciEng—Struct MaterProp Microstruct Process 2001;315:70–80.
2. Eric O, SidjaninL, MiskovicZ, ZecS, JovanovicMT. MaterLett 2004;58:2707–11.
3. Kim YJ, ShinH, ParkH, LimJD.MaterLett 2008;62:357–60.
4. Lerner YS, KingsburyGR.J Mater Eng Perform 1998;7:48–52.
5. Chapetti MD. IntJFatigue 2007;29:860–8.

6. Magalhaes L, MartinsR, SeabraJ. TribolInt 2012;46:97–105.
7. Lefevre J, HayrynenKL. JMater Eng Perform 2013;22:1914–22.
8. Davenport ES, Bain EC. Transformation of austenite at constant sub-critical temperatures. Trans Am Inst Mining Metallurg Eng, Iron and Steel Division 1930:117–54.
9. Liu SF, ChenY, ChenX, MiaoHM. JIronSteelResInt 2012;19:36–42.
10. PutatundaSK, GadicherlaPK. Material Sci. Eng Struct Mater Prop Microstruct Process1999;268:15–31.
11. Rao PP, PutatundaSK.MaterSciEng—Struct Mater Prop Microstruct Process 2003;349:136–49.
12. Putatunda SK,KesaniS, TackettR, LawesG.MaterSciEng —StructMaterProp Microstruct Process 2006;435:112–22.
13. Hsu CH, LinKT.MaterSciEng—StructMater Prop Microstruct Process 2011;528:5706–12.
14. J.E. Hurst, R.V. Riley, The microstructure of commercial acid resisting silicon-iron alloys, Iron Steel Trades J. (1947) 172–181.
15. B.V. Kovacs, Increased wear resistance and toughness in grey cast irons, Modern Cast. (1990) 38–41.
16. J. Aranzabal, I. Gutierrez, J.M. Rodriguez-Ibabe, J. Urcola, Influence of the amount of the amount and morphology of retained austenite on the mechanical properties of an austempered ductile iron, Mater. Sci. Technol. 8 (1992) 263–273.
17. P.P. Rao, S.K. Putatanda, Influence of microstructure on fracture toughness of austempered ductile iron, Metall. Mater. Trans. A 28 (1997) 1457–1470.
18. A. Trudel, M. Gagne, Effect of composition and heat treatment parameters on the characteristics of austempered ductile irons, Can. Metall. Quart. 36 (5) (1997) 289–298.
19. P.P. Rao, S.K. Putatanda, Dependence of fracture toughness of austempered ductile iron on austempering temperature, Metall. Mater. Trans. A 29 (1998) 3005–3016.
20. S.C. Lee, C.H. Hsu, C.C. Chang, H.P. Feng, Influence of casting size and graphite nodule refinement on fracture toughness of austempered ductile iron, Metall. Mater. Trans. A 29 (1998) 2511–2521.

Küçük ve Orta Ölçekli Makine İmalat Firmaları İçin Dış Ticaret Kabiliyeti Analizi

Yusuf Tansel İç
Doç. Dr.

Başkent Üniversitesi Mühendislik
Fakültesi Endüstri Müh. Bölümü
Ankara

İrem Apaydın

Alpay Mekanik Isı Sistemleri Dış
Ticaret LTD. ŞTİ., Macunköy,
Ankara.

Ülkemizde son yıllarda gerçekleşen ekonomik gelişmeler doğrultusunda dış ticaret hacmi ve ilişkili olarak cari işlemler dengesindeki açık günümüzde en önemli ekonomik faktörlerden biri olmuştur. Özellikle ülkemizin ihracatının yüksek teknoloji ürünlere önceliklendirilmesiyle dış ticaret açığının ve dolayısıyla cari işlemler açığının kapatılması en önemli hedeflerden biri olmuştur. Bu amaçla çalışma kapsamında Ankara İvedik Organize Sanayi Bölgesinde faaliyet gösteren firmalara uygulanmış olan anketlerden elde edilen veriler kullanılarak özellikle Küçük ve Orta Ölçekli firmaların ihracat kabiliyetlerini geliştirmeleri konusunda hangi faktörlerin önemli olduğu belirlenmeye çalışılmıştır. Bu doğrultuda firmaların gelecekteki ihracat kabiliyetlerini artırmada öncelik vermeleri gereken unsurların ortaya konması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Makine İmalat Sanayii, KOBİ, Dış Ticaret, İhracat, AHP, TOPSIS, Performans Ölçümü

1. GİRİŞ

Ekonomilerde imalat sanayinin önemi çok büyüktür. İmalat sanayii, ülkelerin kalkınma sürecinin başarı ile tamamlanıp ekonomik olarak gelişmiş ülke standartlarına ulaşmasındaki en temel sektörlerden biridir. İmalat sanayii, ülke ekonomisinde sürükleyici bir güç görevini üstlenerek, istihdam yaratarak büyümeyi desteklemekte ve nitelikli ihracatın artırılması konusunda önemli rol oynamaktadır.

Ankara'da doluluk oranı yüksek olan sanayi bölgelerinden İvedik Organize Sanayi Bölgesi (İVEDİK OSB), Türkiye'nin imalat sanayii için iyi bir örnek teşkil edebilecek bir niteliğe sahiptir. İVEDİK OSB'deki makine imalat alt sektöründe faaliyet gösteren Küçük ve Orta Büyüklükteki (KOBİ) firmaların ihracat, büyüme ve teknolojik yeterlilik açısından önemli bir gösterge sunan dış ticaret kabiliyetlerinin analizi, bu firmaların geleceğe yönelik gelişme planları açısından da faydalı bilgiler sunabilecektir.

Bu amaç doğrultusunda, İVEDİK OSB Yönetimi'nce "Makine Üreticileri Sektörü Mevcut Durumunun Analizi ve Markalaşma, Yenilikçi ve Rekabet Gücünün Artırılması" [1] başlıklı bir anket çalışması gerçekleştirilmiş olup, bu çalışma sonucunda; İVEDİK OSB'deki makine imalat sektöründe faaliyet gösteren KOBİ'lerin sektördeki kapasitesi, talep koşulları, firma stratejileri ve rekabet yöntemleri, ilgili ve destekleyici kuruluşlar, inovasyon ve girişimcilik becerisi, şirket ihtiyaçları,

işgücü piyasası, şirketler arasındaki işbirliği, fiziki altyapı, çalışan sayısı ve eğitim durumları, ilgili sektörler, hizmet ve ürün sağlayıcıları, devlet kurumlarının sektöre etkisi ve sektörün üniversiteler ile ilişkileri gibi alt başlıklarda bilgiler toplanmıştır. Bu bilgiler araştırma çalışması kapsamında bölgedeki 249 firma ile yapılan anketten elde edilen veriler ışığında oluşturulmuştur. İVEDİK OSB Müdürlüğü ve Kalkınma Ajansı işbirliği ile yürütülen çalışma, Türkiye'nin Organize Sanayi Bölgelerine yönelik politikaların geliştirilmesi konusundaki faaliyetlere yol gösterici bir nitelikte hazırlanmaya çalışılmıştır. Bizim çalışmamızın amacı ise, yukarıda bahsedilen anket çalışması kapsamında derlenen nicel verileri kullanarak, İVEDİK OSB'de faaliyet gösteren makine imalat sektöründeki KOBİ'leri dış ticaret performanslarını etkileyen alt faktörler doğrultusunda değerlendirmektir. Anket çalışması sonucunda derlenen verileri bilimsel yöntemlerle sistematik bir yapıda ele alarak, İVEDİK OSB firmaları örneğinde makine imalat sanayiinin dış ticaret kabiliyetinin geliştirilmesine yönelik atılacak adımlarda faydalı ve yol gösterici bilgileri makro düzeyde politika geliştirici kurumların kullanabileceği nitelikteki sonuçlara ulaştırmak bu çalışmanın temel amacıdır. Çalışmanın ikinci bölümünde imalat sanayii ve Türkiye'nin dış ticaret performansına ilişkin bilgilere yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) ve AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) yöntemlerinin kullanılması ile KOBİ ölçeğinde makine imalat firmaları üzerine dış ticaret

kabiliyetlerinin değerlendirildiği çalışmanın detayları sunulmaktadır. Sonuç bölümü olan dördüncü bölümde ise elde edilen bilgiler ışığında saptanan sonuçlar açıklanmıştır.

2. İMALAT SANAYİİNİN SON ONBEŞ YILI

2001'deki ekonomik krizin ardından yaşanan toparlanma süreci ile imalat sanayii büyüme hızı istikrarlı bir seyir izlemese de, genel olarak pozitif değerler almış ve 2010 yılında son 10 yılın en yüksek değerine ulaşmıştır. Çalışan başına verimlilik artışının da etkisiyle 2005 ile 2010 yılları arasında imalat sanayii üretim endeksi %14 artış göstermiştir. Diğer taraftan hızlı büyümenin etkisiyle 2005 ile 2010 yılları arasında ihracat %54, ithalat ise %57 artış göstermiş (cari fiyatlarla Milyar dolar USD değeri baz alındığında), imalat sanayi dış ticaret açığı ise ithalattaki daha yüksek artışın etkisiyle yükselmiştir [2]. İthal makine ve donanım kullanımı ile ara malı ithalatındaki yükselişler imalat sanayinde yaşanan dış ticaret açığının başlıca nedenleri olmuştur.

Son 5 yıl içerisinde ise imalat sanayinde rekabet gücünü artırmak ve dünya ticaretinden daha fazla pay almak üzere yüksek katma değerli makine-ekipman-ulaşım araçları sektörleri ve ilişkili alt sektörlerin nitelikli üretimini artırarak, yapısal dönüşümün hızlandırılması hedeflenmiştir. Bu çerçevede; Türkiye'nin belirli sektörlerde üretim merkezi olmasına yönelik olarak sanayi ihracatının artırılabilmesi ve yapısal dönüşüme katkı sağlayacak sanayi stratejisi ile sektörel stratejilerin uygulamaya geçirilmesi önceliklendirilmektedir. Üretim ithalata olan bağımlılığını azaltmak için ihracat katma değerini artırıcı, ara malı ithalatını azaltıcı yöndeki sektörel politikalar geliştirilmeye çalışılmaktadır. Özellikle Sanayi Bakanlığının ilgili kuruluşları ve özelde KOSGEB tarafından KOBİ'lerde büyüme, işbirliği-güç birliği ve birleşmeleri özendirme, verimliliklerini artırma, iş kurma ve geliştirme faaliyetleri desteklenmektedir.

2.1. Türkiye'nin dış ticaretinde makine imalat alt sektörünün yeri

Son yıllardaki gelişmeler doğrultusunda ülkemiz ithalat rakamları incelendiğinde TÜİK resmi verileri dikkate alındığında yaklaşık olarak toplam ithalat rakamının %23'ünü "petrol ve petrolden elde edilen ürünler", "doğalgaz ve mamül gazlar", "taş kömürü ve kok" gibi enerji girdilerini de kapsayan "mineral yakıtlar, yağlar vb. ürünler" oluşturmaktadır. Diğer önemli kalemleri ise %11 ile "kazanlar, makineler, mekanik cihazlar vb.", %7 "demir-çelik", %7 "elektrikli makine ve cihazlar" ve %6 ile "motorlu kara taşıtları" oluşturmaktadır. Diğer

taraftan ihracat rakamları incelendiğinde tüm ihracat içerisinde %11 ile en büyük pay "motorlu kara taşıtları" na aitken, %9 ile ikinci en büyük fasıl "kazanlar, makineler, mekanik cihazlar ve aletler"e, %6'lık 3. sıradaki fasıllar ise sırasıyla "örme giyim eşyası ve aksesuarları", "elektrikli makine ve cihazlar" ile "demir-çelik" fasıllarına aittir [3,4].

Mart 2016 verileri incelendiğinde Türkiye'nin toplam ithalatının %68'inin hammadde (ara mallar) ekonomik grubuna, %14'lük kısmının ise tüketim malları ekonomik grubuna (binek otomobiller, dayanıklı-dayanıksız tüketim malları) ait olduğu, dolayısıyla toplamda ithalatın %82'sinin hammadde ve tüketim mallarına ait olduğu görülmektedir. Bu rakamlar içerisinde yatırım (sermaye) mallarının payı ise %18 düzeyindedir [3]. İmalat sanayi ürünlerinin toplam ithalattaki payı %84,5, yüksek teknolojlü ürünlerin imalat sanayi ithalatı içindeki payı %17,3'tür. İmalat sanayii ithalatında orta yüksek teknolojlü ürünlerin payı ise %46,7'dir. Diğer taraftan sektörler bazında ihracatın görünümü değerlendirildiğinde ihracatın yaklaşık %94,2'sinin imalat sanayiine ait olduğu görülmektedir. Yüksek teknolojlü ürünlerin imalat sanayiinin ihracat içindeki payı %3,9, orta yüksek teknolojlü ürünlerin payı ise %32 düzeyinde gerçekleşmektedir.

Yukarıdaki verilerden de görüldüğü gibi Türkiye'nin dış ticaret açığının kapatılması ve dolayısıyla cari işlemler dengesinin kontrol altında tutulabilmesinin en önemli yolu nitelikli ürünlerin ihracatının artırılması, ithal ürünlerin payının ise azaltılmasıdır. Özellikle imalat sanayii ithalatında %46,7'lik paya sahip olan orta yüksek teknolojlü ürünlerin ithalatının azaltılmasında yurt içerisindeki KOBİ'lerin ikame ürünleri üretebilmelerinin önemi büyüktür. Diğer taraftan %3,9 düzeyindeki yüksek teknolojlü ürünlerin imalat sanayi ihracatı içindeki payının artırılmasında makine imalat sanayiinde faaliyet gösteren KOBİ'lere önemli görevler düşmektedir. KOBİ'lerin önemli bir kısmı imalat firmalarından oluşmaktadır. Dolayısıyla nitelikli ihracat için; başta KOBİ'ler olmak üzere, firmaları ihracata yönlendirecek teknolojik alt yapının geliştirilmesine yönelik olarak destek mekanizmalarının hızlandırılması ve katma değeri yüksek ürünlerin ihracatına yönelik olarak yaygınlaştırılmaya çalışılan Ar-Ge destek mekanizmalarının etkinliğinin sürdürülebilirliği önemlidir.

Yukarıdaki bölümlerde de vurgulandığı üzere Türkiye ekonomisinde önemli bir yeri bulunan ve özellikle cari işlemler dengesi açısından anahtar role sahip imalat sanayii ve özelinde makine imalat sektörü firmalarının AR-GE alt yapıları ve dış ticaret kabiliyet ve kapasiteleri büyük öneme sahiptir. Bu

çalışmamızda İVEDİK OSB makine imalat firmaları bazında bir analiz gerçekleştirilerek firmaların teknolojik alt yapı durumları ve AR-GE yetenekleri açısından mevcut durumu ortaya konmaya çalışılmış ve gelecek dönemlere ilişkin ihracat performansının geliştirilmesine yönelik önerilere yer verilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmanın detayları sonraki bölümlerde sunulmuştur.

3. KOBİLERİN DIŞ TİCARET KABİLİYETİNİN ANALİZİ

Bu bölümde makine imalat sektöründe faaliyet gösteren İVEDİK OSB'deki 249 adet KOBİ'yle gerçekleştirilen anket çalışmasından elde edilen veriler kullanılarak firmaların mevcut dış ticaret kabiliyetleri belirlenmeye çalışılmış ve kabiliyetlerin artırılmasına yönelik tedbirlerin neler olabileceğine ilişkin bilgilerin sunulması hedeflenmiştir.

3.1 Analizde Kullanılan Yöntemler

3.1.1 TOPSIS Yöntemi

TOPSIS yöntemi Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) yöntemlerinden birisidir. Bu nedenle birçok alanda bu yöntem kullanılarak çok farklı alanlarda alternatifler arasından en uygun olanın seçilmesi veya performans değerlendirmeye yönelik çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Literatürde TOPSIS yöntemi kullanılarak bir çok çalışma gerçekleştirilmiştir. Örneğin İç ve Yurdakul [5] TOPSIS yöntemini kullanarak Türk otomotiv firmalarının performansının değerlendirildiği bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Başka bir çalışmada Yurdakul ve İç [6], Türk imalat firmalarının performansının ölçümüne yönelik olarak AHP-TOPSIS bütünleşik modelini kullanarak bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada Türkiye'de faaliyet gösteren tekstil firmaları bazında bir uygulama çalışması sunulmuştur. Ertuğrul ve Karakaşoğlu [7], Türkiye'de faaliyet gösteren çimento sektöründeki firmaların performans ölçümüne yönelik olarak TOPSIS yönteminin kullanıldığı bir çalışma sunmuşlardır. Diğer bir çalışmada İç ve diğerleri [8] Borsa İstanbul'da (BİST) işlem gören firmaların finansal performanslarının değerlendirilmesinde TOPSIS yönteminin kullanıldığı bir bilgisayar uygulaması sunmuşlardır. Ömürbek ve Kınay [9] çalışmalarında havayolu taşımacılığında finansal göstergeleri baz alarak bir TOPSIS uygulaması gerçekleştirmiştir. Çalışmada ele alınan iki farklı havayolu firmasının verileri doğrultusunda çeşitli performans ölçütleri kıyaslanıp finansal performans açısından en önemli ölçütler ortaya konmaya çalışılmıştır. Soba ve Eren [10], TOPSIS yöntemini kullanarak finansal ve finansal olmayan oranlara göre firmaların performans değerlendirmesi çalışmasını

sunmuşlardır. Bir diğer örnek çalışmada Eleren ve Ersoy [11] mermer bloklarının kesimlerinde alternatif kesim yöntemlerini TOPSIS metodunu kullanarak sıralama gerçekleştirdikleri çalışmadır. Başka bir çalışmada ise Abalı ve diğerleri [12], TOPSIS yöntemiyle yüksek öğrenim gören öğrencilerin önceliklendirilmesine yönelik bir model sunulmuştur. Çalışma kapsamında, Yüksek Öğrenim Kredi ve Yurtlar Kurumu başta olmak üzere diğer kamu kurum ve kuruluşları tarafından burs verilecek öğrencilerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Benzer şekilde literatürde mevcut olan çalışmalardan bazıları Çizelge 1'de sunulmuştur.

Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilen TOPSIS yöntemi 6 adımdan oluşan bir işlem sürecini içerir [6].

Adım 1: Karar Matrisinin Oluşturulması

Satırlarında alternatifleri, sütunlarında ise karar vermede kullanılacak değerlendirme kriterlerinin yer aldığı bir başlangıç karar matrisi oluşturulur (Eş.(1))[6]:

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} i=1, \dots, m; \text{ alternatifler.} \\ j=1, \dots, n; \text{ kriterler,} \end{array} \quad (1)$$

Adım 2: Normalize Karar Matrisinin (R) Oluşturulması

A karar matrisinin elemanları ve aşağıdaki Eş.(2) kullanılarak normalize karar matrisi (R) elde edilir.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n \quad (2)$$

R matrisi;

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

şeklinde elde edilir.

Çizelge 1. TOPSIS yönteminin kullanıldığı çalışmalarından örnekler

Yıl	Yazarlar	Konu	Kullanılan Yöntem
2014	Çakin ve Özdemir [13]	Bölgesel Gelişmişlikte AR-GE ve İnovasyon Rolü	TOPSIS
2015	Acar ve diğerleri [14]	Tekstil endüstrisinde sürdürülebilirlik ölçümü	TOPSIS
2015	Kazan ve diğerleri [15]	TEOG (Temel Eğitimden Orta Eğitime Geçiş Uygulaması) sınavı için başarı değerlendirmesi	AHP, TOPSIS
2014	Ar ve diğerleri [16]	Rize Organize Sanayi Bölgesi için öncelikli sektörlerin belirlenmesi	AHP, TOPSIS
2015	Coşkun ve Akbulut [17]	Borsa İstanbul'daki imalat sektöründeki işletmelerin finansal performanslarının ölçümü	TOPSIS
2013	Karabıçak [18]	Havayolu taşımacılığı sektöründe finansal performans değerlendirmesi	TOPSIS
2008	Önüt ve Soner [19]	Katı atık aktarma bölgesi seçimi	AHP, TOPSIS
2015	Okay ve Köse [20]	Borsa İstanbul'daki işletmelerin finansal performanslarının ölçümü	TOPSIS
2015	Parakash ve Barua [21]	Tersine lojistik uygulaması	AHP, TOPSIS
2016	Ebrahimi ve Modam [22]	Acil servisler için yer seçimi	AHP, TOPSIS
2016	Zyouda, Kaufmann, Shaheen, Samhan, Fuchs-Hanusch [23]	Gelişmekte olan ülkeler için su dağıtım sistemlerinin seçimi	AHP, TOPSIS
2015	Kusumawardani, Agintiara [24]	İnsan kaynakları yöneticisi seçimi	AHP, TOPSIS
2015	Singaravel, Selvaraj [25]	Tornalama işleminde işleme parametrelerinin optimizasyonu	AHP, TOPSIS
2015	Pazand, Hezarkhani [26]	Potansiyel maden alanı belirleme ve seçimi	AHP, TOPSIS
2016	Hanine, Boutkhoun, Tikniouine, Agouti [27]	Yazılım alternatifleri seçimi	AHP - TOPSIS

Adım 3: Ağırlıklı Normalize Karar Matrisinin (V) Oluşturulması

Değerlendirme kriterlerine ilişkin ağırlık değerleri (w_j) belirlendikten sonra ($\sum_{j=1}^n w_j = 1$), R matrisinin her bir sütunundaki elemanlar ilgili w_j değeri ile çarpılarak V ağırlıklı normalize karar matrisi oluşturulur [6].

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Adım 4: İdeal ve Negatif İdeal Çözümlerin Belirlenmesi

Elde edilen matris V kullanılarak, her bir kolonda yer alan maksimum (A^*) ve minimum (A^-) değerler (Eş. 5 ve 6) her kriter için sırasıyla pozitif

ideal ve negatif ideal değerleri belirler. Eğer kriter kazanç kriteri değil de maliyet kriteri ise A^* için minimum değerler, A^- için maksimum değerler kullanılır.

$$A^* = \left\{ (\max_i v_{ij} | j \in J), (\min_i v_{ij} | j \in J') \right\}$$

$$A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\} \quad (5)$$

$$A^- = \left\{ (\min_i v_{ij} | j \in J), (\max_i v_{ij} | j \in J') \right\}$$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} \quad (6)$$

Adım 5: Alternatiflerin İdeal Çözümlere Uzaklıklarının Hesaplanması

İdeal noktalar tanımlandıktan sonra, V matrisinde her bir alternatifin her bir kriter için sahip olduğu değerlerin pozitif ideal noktaya olan uzaklık değeri (Eş.7) ve negatif ideal noktaya olan uzaklık değerleri (Eş.8) hesaplanmaktadır [6].

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (7)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (8)$$

Adım 6: İdeal Çözüme Göreli Yakınlığının Hesaplanması

Alternatiflerin ideal çözümlere göreli yakınlığının (C_i^*) hesaplanmasında ideal ve negatif ideal ayırım ölçüleri kullanılmaktadır. Negatif ideal ayırım ölçüsünün toplam ayırım ölçüsü içindeki payı burada kullanılan ölçüttür (Eş.9).

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (9)$$

Elde edilen değerler büyükten küçüğe doğru sıralanarak alternatiflerin sıralaması belirlenmektedir [6].

3.1.2 Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

AHP yöntemi Saaty tarafından ortaya konan ve özellikle kriterlerin ikili karşılaştırma matrisleri kullanılarak ağırlıklarının hesaplanmasında oldukça kullanışlı bir yöntemdir [21]. Kriterler arasında ikili karşılaştırmalar yapılırken, Saaty tarafından ortaya konan 1-9 ölçeği uygulanmaktadır (Çizelge 2) [28].

Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde öncelikle $n \times n$ boyutlu bir kare matris şeklinde ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur. Bu matriste, köşegen üzerindeki matris bileşenleri 1 değerini alır. İkili karşılaştırma matrisi oluşturulduktan sonra matrisin her bir elemanı ait olduğu sütunun toplamına bölünerek normalize matris oluşturulur. Ardından normalize matrisin her bir satırındaki elemanlar toplanıp tekrar normalize edilerek her bir kriterin ağırlık puanları (W matrisi) elde edilir. Kriterlerin ağırlıklarının toplamının 1'e eşit olması gerekir.

Çizelge 2. Saaty'nin ikili karşılaştırma ölçeği

Önem Dereceleri	Derece Tanımları
1	Her iki kriterin eşit öneme sahip olması durumu
3	1. kriterin 2. kriterden daha önemli olması durumu
5	1. kriterin 2. kriterden çok önemli olması durumu
7	1. kriterin 2. kriterden nazaran çok güçlü bir öneme sahip olması durumu
9	1. kriterin 2. kriterden nazaran mutlak üstün bir öneme sahip olması durumu
2,4,6,8	Ara Değerler

AHP yönteminde elde edilen kriter ağırlıklarının tutarlılığı, karar vericinin kriterler arasında yaptığı ikili karşılaştırmadaki tutarlılığa bağlıdır. Bu ikili karşılaştırmalardaki tutarlılığın ölçülebilmesi için AHP yöntemi bir süreç önermektedir. AHP yönteminde, CR (Consistency Ratio) ile simgelenen tutarlılığın belirlenme sürecinin temelini, kriter sayısı ile öz değer olarak adlandırılan (λ) katsayının karşılaştırılmasına dayandırmaktadır. λ 'nın hesaplanması için öncelikle ikili karşılaştırma matrisi olarak ifade edilen B matrisiyle W öncelik vektörü arasında aşağıdaki gibi matematiksel bir ilişki bulunmaktadır [21]:

$$B \cdot W = \lambda \cdot W \quad (10)$$

$$B \cdot W \cdot W^{-1} = \lambda \cdot W \cdot W^{-1} \quad (11)$$

$$(B \cdot W)/W = \lambda \cdot I \quad (12)$$

$$(B \cdot W)/W = \lambda \quad (13)$$

Kriter sayısı n'e en yakın λ değeri en tutarlı karar olacaktır. Bunun yanısıra $\lambda - n$ farkı tutarlılık ölçüsü için kullanılır. Bu fark mükemmel tutarlılık için sıfır olacaktır. λ değeri hesaplandıktan sonra tutarlılık indeksi (CI) aşağıda gösterilen formül ile hesaplanır (Eş.13) [28]:

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (14)$$

Son aşamada CI, rassal indeks (RI) olarak tanımlanan ve Çizelge 3'de gösterilen standart düzeltme değerine bölünerek CR elde edilir.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (15)$$

Çizelge 3. RI Değerleri [28]

Kriter Sayısı (n)	RI	Kriter Sayısı (n)	RI
1	0	8	1,41
2	0	9	1,45
3	0,58	10	1,49
4	0,90	11	1,51
5	1,12	12	1,48
6	1,24	13	1,56

Bulunan CR değerinin 0,10'dan küçük çıkması karar vericinin yaptığı karşılaştırmaların tutarlı olduğunu ifade eder.

Çalışma içeriğinde AHP ve TOPSIS yöntemleri bütünlük olarak uygulanmıştır. Bütünlük uygulamanın en önemli gerekçesi her iki yöntemin avantajlı yönlerini birleştirerek karar verme sürecinin

daha etkin bir hale getirilmesidir. TOPSIS yöntemi Hwang ve Yoon tarafından önerilen 1-10 ölçeğini kullanarak kriter ağırlıklandırma işlemini gerçekleştirmektedir. Burada her bir kriter tekil olarak ve 1-10 (1: en düşük önem, 10: en yüksek önem) arasında bir puan verilerek ağırlıklandırılmaktadır. AHP yönteminde ise kriterler; ikili karşılaştırma matrisleri kullanılarak ve kriterlerin birbirine göre göreceli önemleri dikkate alınarak bir ağırlıklandırmaya tabi tutulmaktadır. Ayrıca AHP yönteminde ikili karşılaştırma matrisinin tutarlılığı da ölçüldüğünden göreceli ağırlıklandırma işleminde bir tutarlılık kontrolünün yapılma imkanı da sunulabilmektedir. Diğer taraftan TOPSIS yöntemi ise alternatiflerinin kriterler bazındaki değerlerinin ideal değerlere göre mesafelerini hesaplayarak tüm kriterler açısından ideal değere en yakın (negatif ideal değere ise en uzak) alternatif ilk sırada olacak şekilde bir sıralama gerçekleştirmeye olanak sağlamaktadır.

3.2. Verilerin AHP ve TOPSIS Yöntemleriyle Değerlendirilmesi

AHP-TOPSIS uygulamasında anketin uygulandığı firmalar alternatifleri (m) oluşturmaktadır. Böylelikle, 249 adet karar noktası tanımlanmıştır. Kriterler(n) ise ankette yer alan dört farklı kabiliyet olarak belirlenmiştir.

Her bir kabiliyetin önem düzeyleri 3 adet uzman tarafından değerlendirilmiş ve bu şekilde ikili karşılaştırma matrisleri elde edilmiştir. Her bir kabiliyet (kriter) için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi değerlerinin geometrik ortalamaları alınarak “grup ikili karşılaştırma matrisi” elde edilmiş ve AHP yöntemi adımları takip edilerek her bir kabiliyet için ağırlık puanları hesaplanmıştır (Çizelge 4). İkili karşılaştırma matrislerinin tutarlılık oranları (CR) her üç matris için de %10’un altında gerçekleşmiştir.

Ardından, anketteki firmalara uygulanan anket sonuçlarında elde edilen kabiliyet değerleri kullanılarak TOPSIS yöntemi için karar matrisi oluşturulmuştur. TOPSIS yönteminin adımları takip edilerek, önce karar matrisi normalize edilmiş, ardından kriter ağırlıkları (AHP yönteminden elde edilen) kullanılarak ağırlıklı normalize matris oluşturulmuştur. Bu matriste ideal çözümlere uzaklıklar (A^+ , A^*) ve firmaların sıralama puanları (C_i^*) elde edilerek TOPSIS işlemi tamamlanmıştır (Çizelge 5).

Bulunan C_i^* değerleri doğrultusunda firma sıralaması elde edilmiş olup, Kabiliyet 1'e göre ilk 30 firma sıralaması Çizelge 6'da verilmiştir. 4 kabiliyet için tekrarlanan hesaplama sonucunda elde edilen firmaların sıralamaları ise Çizelge 7'de sunulmaktadır.

Kabiliyet 1-3 için ilk 8 sıralamasında aynı firmalar yer alırken, Kabiliyet 4'te (Teknolojik alt yapı) ilk 8 firma sıralamasında değişkenlikler gözlenmektedir. Bununla birlikte son 10 firma sıralamasında ise hemen hemen tüm kabiliyetlerde aynı firmalar yer almaktadır. Bu durum, değerlendirme yapılan 249 adet firma için bütün kabiliyetlerde yeterli düzeye sahip olmayan firmaların yer alabildiğini, 249 adet firma arasından bazı firmaların ise tüm kabiliyetlerde başarı gösterebildiğini göstermektedir. Sıralamadaki asıl değişkenlikler orta sıralarda artmaktadır. Bu ise bazı firmaların her kabiliyeti yeterince karşılayabilecek düzeye sahip olmadığını, ancak kabiliyetlerin bir veya bir kaç için yeterli düzeye sahip olabildiğini gösterebilmektedir.

Diğer taraftan 249 firmanın 4 kabiliyete göre sıralamaları Spearman'ın Sıra İlişkisi Testi ile test edilmiş ve sıralama tutarlılıkları analiz edilmiştir (Çizelge 8). Spearman'ın Sıra İlişkisi Testi'ne göre iki sıralama arasındaki tutarlılıktan bahsedilmek için, korelasyon katsayısı r_s 'in 1'e yakın olması iki sıralama arasında tam tutarlılığı ifade etmektedir [6].

$$r_s = 1 - \left[\frac{6 \times \sum_{j=1}^K (d_j)^2}{K \times (K^2 - 1)} \right] \quad (6)$$

Eşitlikte d_j , sıralama tutarlılığı analiz edilen iki farklı hedefe göre elde edilen j firmasının sıralama farkını; K, firma sayısını ve r_s , Spearman'ın sıra ilişkisi katsayısını ifade eder.

Çizelge 8'e göre 4 kabiliyet için elde edilen sıralamalar birbiriyle tutarlı gözükmemektedir. r_s değerleri her bir karşılaştırma için de 0,95'in üzerindedir. Ancak tutarlılık oranı diğer durumlara göre daha düşük seviyede gerçekleşen kabiliyetler “rekabet gücünü artırma” ile “teknoloji ve yenilik düzeyini artırma” ve “ihracat gelirlerini artırma” ile “teknoloji ve yenilik düzeyini artırma” kabiliyetleri arasında gözlenmiştir.

En yüksek tutarlılık ise 0,996 ile “rekabet gücünü artırma” ile “ihracat gelirlerini artırma” kabiliyeti arasındaki sıralamada gerçekleşmiştir. Buna göre rekabet gücünü artırmaya yönelik çabaların içerisinde olan firmaların aynı zamanda ihracat gelirlerini de yükseltebildiği söylenebilir.

Sıralama sonuçları arasındaki tutarlılığın gözlenmesi açısından bir başka analiz olarak; 249 adet firmanın tüm kabiliyetler için sıralamaları grafikler üzerinde gösterilerek sıralama sonuçları arasındaki farklılıklar gözlemlenmeye çalışılmıştır.

Çizelge 4. Uzman Görüşleri doğrultusunda kabiliyetlerin ağırlıklarının hesaplanması

Rekabet gücünü arttırmak	UZMAN 1				UZMAN 2				UZMAN 3				GEOMETRİK ORTALAMA				NORMALİZE MATRİS				AHP Puanı
	ÜK	KK	AR-GE	SPK	ÜK	KK	AR-GE	SPK	ÜK	KK	AR-GE	SPK	ÜK	KK	AR-GE	SPK	ÜK	KK	AR-GE	SPK	
Üretim Kabiliyeti (ÜK)	1,00	8,00	0,33	5,00	1,00	8,00	0,33	5,00	1,00	8,00	0,33	5,00	1,00	8,00	0,33	5,00	0,231214	0,496552	0,168675	0,294118	0,2976395
Kurumsal Kabiliyet (KK)	0,13	1,00	0,14	9,00	0,13	1,00	0,14	9,00	0,13	1,00	0,14	9,00	0,13	1,00	0,14	9,00	0,028868	0,062073	0,07215	0,529412	0,1731259
Ar-Ge Kabiliyeti (AR-GE)	3,00	7,00	1,00	2,00	3,00	7,00	1,00	2,00	3,00	7,00	1,00	2,00	3,00	7,00	1,00	2,00	0,692841	0,434513	0,505051	0,117647	0,4375127
Satış ve Pazarlama Kabiliyeti (SPK)	0,20	0,11	0,50	1,00	0,20	0,11	0,50	1,00	0,20	0,11	0,50	1,00	0,20	0,11	0,50	1,00	0,046189	0,006897	0,252525	0,058824	0,0911088
İhracat gelirlerini arttırmak																					
Üretim Kabiliyeti (ÜK)	1,00	9,00	0,20	3,00	1,00	0,14	3,00	0,20	1,00	9,00	0,20	3,00	1,00	2,26	0,49	1,22	0,26662	0,334211	0,201596	0,118505	0,2302328
Kurumsal Kabiliyet (KK)	0,11	1,00	0,33	0,50	7,00	1,00	5,00	0,33	0,11	1,00	0,33	0,50	0,44	1,00	0,82	0,44	0,117898	0,14771	0,335539	0,042572	0,1609299
Ar-Ge Kabiliyeti (AR-GE)	5,00	3,00	1,00	7,00	0,33	0,20	1,00	9,00	5,00	3,00	1,00	7,00	2,03	1,22	1,00	7,61	0,54064	0,179681	0,408163	0,741877	0,4675905
Satış ve Pazarlama Kabiliyeti (SPK)	0,33	2,00	0,14	1,00	0,20	3,00	0,11	1,00	0,33	2,00	0,14	1,00	0,28	2,29	0,13	1,00	0,074972	0,338173	0,053623	0,097466	0,1410584
Nitelikli iş gücünü arttırmak																					
Üretim Kabiliyeti	1,00	5,00	3,00	0,14	1,00	0,14	3,00	5,00	1,00	5,00	3,00	0,14	1,00	1,53	3,00	0,47	0,242276	0,269885	0,259447	0,05928	0,2077222

Çizelge 5. Kabiliyet 1 : Rekabet gücünü artırmak için TOPSIS yöntemiyle firmaların sıralama puanlarının hesaplanması

No	FİRMALAR	KARAR MATRİSİ					NORMALİZE MATRİS					AĞIRLIKLIL NORMALİZE MATRİS					SIRALAMA PUANI		
		KRİTERLER					w1	w2	w3	w4	KRİTERLER					S ⁻ (Min)	S [*] (Mak)	C _i [*]	
		ÜK	KK	AR-GE	SPK	ÜK					ÜK	KK	AR-GE	SPK	ÜK				KK
1	F1	39	19	2	11	0,032090517 ¹	0,057323136	0,005216672	0,038130298	0,009530883 ²	0,009922635	0,002282294	0,00347367	0,010779 ³	0,228723	0,045004 ⁴			
2	F2	57	23	5	8	0,046901525	0,069391165	0,01304168	0,027731126	0,013929753	0,012011611	0,005705735	0,002526306	0,015656	0,234354				
3	F3	23	22	5	7	0,018925177	0,066374158	0,01304168	0,024264735	0,005620777	0,011489367	0,005705735	0,002210517	0,010955	0,227049				
4	F4	44	12	7	7	0,009874005	0,036204086	0,018258352	0,024264735	0,00293258	0,006266927	0,007988029	0,002210517	0,008242	0,225038				
5	F5	15	9	4	2	0,012342506	0,027153065	0,010433344	0,006932781	0,003665724	0,004700195	0,004564588	0,000631576	0,004379	0,223664				
.				
.				
.				
245	F245	76	26	11	16	0,062535468	0,078442186	0,028691695	0,055462252	0,018573034	0,013578342	0,012552617	0,005052611	0,023006	0,242048				
246	F246	33	15	3	5	0,027153558	0,045255108	0,007825008	0,017331954	0,008064607	0,007833659	0,003423441	0,001578941	0,008133	0,227474				
247	F247	299	33	32	39	0,246027696	0,099561237	0,08346675	0,135189239	0,073070226	0,01723405	0,036516703	0,01231574	0,080896	0,301699				
248	F248	129	47	78	44	0,106145729	0,141799337	0,203450202	0,152521193	0,031525281	0,024545465	0,089009464	0,013894681	0,096058	0,243633				
249	F249	777	25	61	33	0,639342877	0,075425179	0,159108492	0,114390894	0,189884834	0,013056099	0,069609965	0,01042101	0,199653	0,419382				
									A ⁻ (Min)	0,00293258	0,002088976	0,001141147	0,000315788						
									A [*] (Mak)	0,189884834	0,025589953	0,10156208	0,018947292						

$${}^1r_{11} = \frac{39}{\sqrt[3]{59^2+57^2+23^2+\dots}} = \mathbf{0,0320}$$

$${}^2V_{11} = w_1 \cdot r_{11} = 0,297 \cdot 0,032 = \mathbf{0,0095}$$

$${}^3S_1^* = \sqrt[2]{(0,029 - 0,0095)^2 + (0,0020 - 0,0099)^2 + (0,0011 - 0,0022)^2 + (0,0003 - 0,0034)^2} = \mathbf{0,010779}$$

$${}^4C_1^* = (0,010779 / (0,010779 * 0,228723)) = \mathbf{0,045004}$$

Çizelge 6. Kabiliyet 1 için AHP-TOPSIS bütünleşik yöntemi kullanılarak elde edilen ilk 30 firma sıralaması

Sıra	FİRMALAR	Sıralama Puanı(C_i^*)
1	F249	0,322523735
2	F236	0,259703334
3	F244	0,250787364
4	F243	0,246154028
5	F248	0,243632546
6	F220	0,240766534
7	F241	0,237199501
8	F86	0,232936458
9	F240	0,230770054
10	F219	0,228552276
11	F223	0,228442299
12	F237	0,227393179
13	F235	0,225634036
14	F82	0,225307647
15	F227	0,225199326
16	F242	0,223161448
17	F230	0,221946449
18	F231	0,21430067
19	F228	0,21310753
20	F85	0,212497568
21	F247	0,211439296
22	F234	0,208498304
23	F233	0,20828578
24	F229	0,206524588
25	F84	0,206090184
26	F239	0,203776513
27	F238	0,197833645
28	F224	0,197699636
29	F226	0,196609495
30	F83	0,194056107

Buna göre kabiliyet 1 ve kabiliyet 2 için sıralamalarda büyük ölçüde bir tutarlılık gözlenirken, kabiliyet 3 için kabiliyet 1 ve kabiliyet 2'ye göre özellikle ilk 30, 90-100. sıralar arası ve 200-210. sıralar arasında değişkenlikler göze çarpmaktadır. Kabiliyet 4 içinse, kabiliyet 1-3'e göre önemli ölçüde sıralamalarda değişkenlikler yaşandığı gözlenmektedir. Kabiliyet 4 için ilk 30 sıralaması, 110-155. sıralar arası ve 220-250. sıralar arasında diğer 3 kabiliyetteki sıralamalara göre farklılıklar göze çarpmaktadır. Her 4 kabiliyet için çizilen grafiklerde farklılık gözlenen sıraların işaretlendiği kareler gözlemlendiğinde ise, karelerin boyutlarının 1 ve 2. kabiliyetlerde hemen hemen aynı olduğu, ancak 3. ve 4. kabiliyet grafiklerine doğru ilerlendiğinde karelerin boyutlarında artış gözlemlendiği görülmektedir. Bu durum kabiliyet 1 ve 2'den kabiliyet 3 ve kabiliyet 4'de doğru ilerlendiğinde sıralamalar arasındaki değişkenliğin arttığına bir göstergesidir (Şekil 1).

Bu analizlerden elde edilen en önemli sonuç; özellikle orta sıralardaki firmaların rekabet düzeyi ve ihracat gelirlerine göre kıyaslandığında elde ettikleri sıralamayı nitelikli iş gücünü artırma ve teknolojik yenilik düzeyini artırmada aynı düzeyde sağlayamadıklarıdır. Dolayısıyla orta sıralardaki firmaların nitelikli iş gücü ve teknolojik yenilik düzeyi geliştirildiğinde bu firmaların daha nitelikli üretim sonucunda rekabet gücünün artması ile daha yüksek ihracat geliri elde etme imkanları da artabilecektir.

4. SONUÇ

Yapılan araştırma sonucunda elde edilen veriler, firmaların ihracatlarını artırmak ve dolayısıyla dış ticaret performanslarında olumlu gelişmeler kaydetmeleri için öncelikle Ar-Ge ve inovasyon kabiliyetlerini artırmalarını gerektiğini göstermektedir. Bunları kurumsallık kabiliyetinin artırılması ve üretim kabiliyetinin iyileştirilmesi takip etmeli; son aşamada ise satış pazarlama kabiliyetinin artırılması gerektiği saptanmıştır.

Bu çalışmada elde edilen sıralama puanları anket çalışmasındaki kabiliyet matrisleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sıralama sonuçlarının daha detaylı analiz edilmesi için ilk ve son sıralarda yer alan firmaların belirtilen kriterler doğrultusundaki gerek üretim bazlı, gerekse finansal tabloları bazındaki bilgileri de değerlendirilebilir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar makro düzeyde bir perspektif yansıtmakta olup, İVEDİK OSB' deki hangi firmaların ihracat kabiliyetlerinin daha iyi olduğu ve hangi firmaların orta vadede kabiliyetlerini artırma kapasitesine sahip olduğuna ilişkin önemli bilgiler sunabilmiştir.

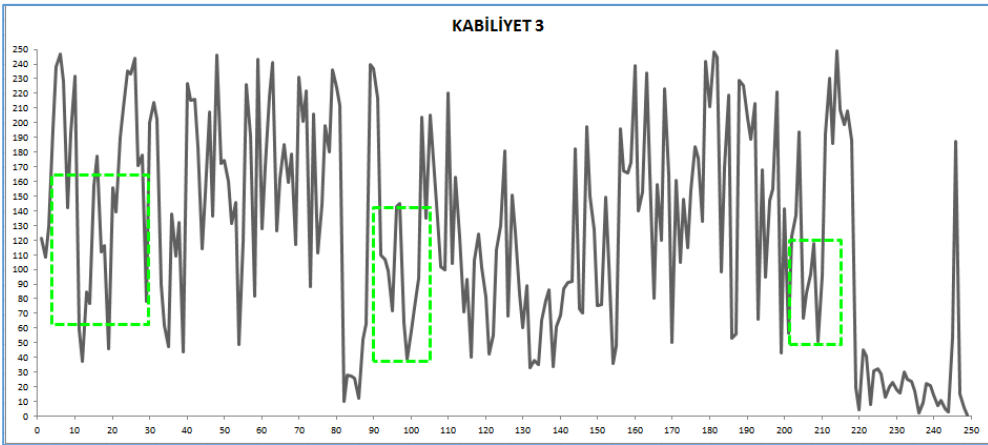
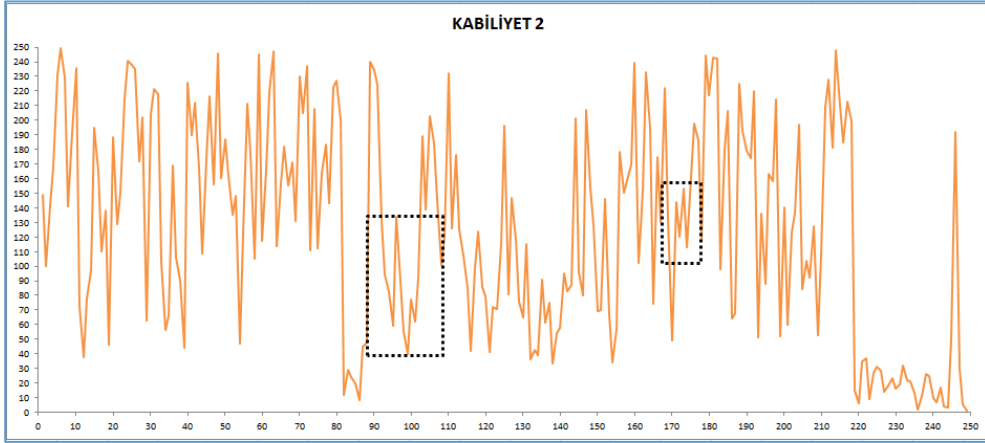
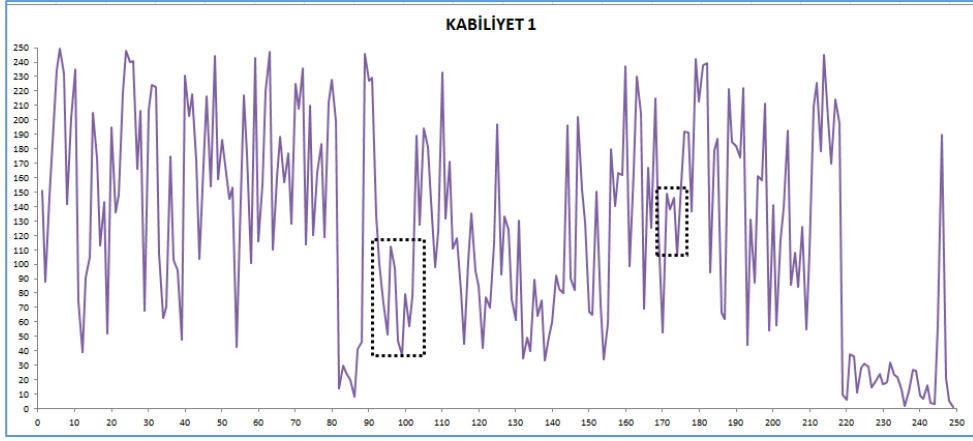
Çalışma kapsamında uygulanan yöntem Ankara veya Türkiye'nin farklı bölgelerindeki organize sanayi bölgeleri veya farklı sektörler için de kolaylıkla uyarlanabilir. Böylece hangi imalat alt sektöründeki firmaların hangi kritik alanlarda gelişmeye açık olduğu, hangi firmaların dış ticaret gelişimi açısından potansiyel taşıdığı veya hangi firmaların teknolojik yatırım açısından desteklenmesi durumunda hızla ihracat potansiyelini artırabileceği gibi konularda önemli bilgiler ve göstergeler ortaya konabilir. Diğer taraftan ekonomik kalkınma açısından firmaların mevcut potansiyellerinin görülmesi ve bu potansiyelin ekonomik katma değere dönüşmesi açısından hangi alt sektörlerin hangi alt alanlar açısından desteklenmesi gerektiğine yönelik de önemli bilgiler politika geliştirici kurumlara sunulabilecektir.

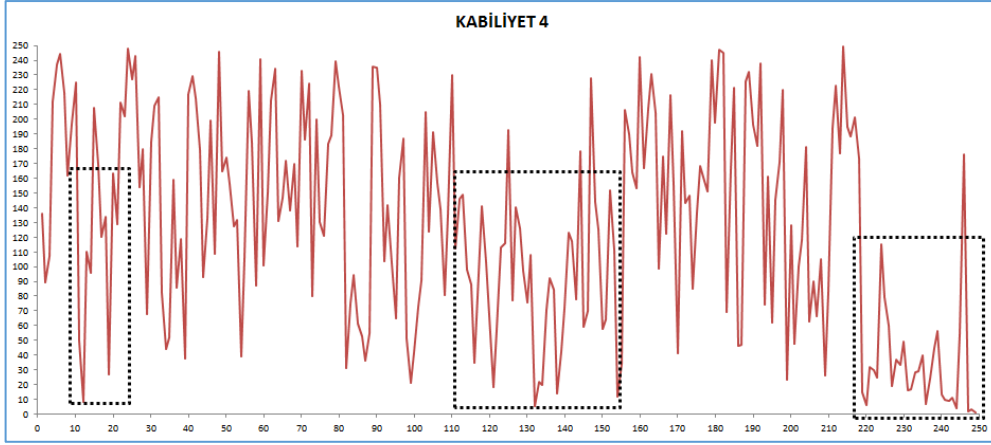
Çizelge 7. Kabiliyetler doğrultusunda firmaların TOPSIS puanına göre sıralamaları

Sıra	Kabiliyet 1		Kabiliyet 2		Kabiliyet 3		Kabiliyet 4	
	FİRMALA R	TOPSIS Puanı	FİRMALA R	TOPSIS Puanı	FİRMALA R	TOPSIS Puanı	FİRMALA R	TOPSIS Puanı
1	F249	0,322523735	F249	0,317423	F249	0,317445	F249	0,323343
2	F236	0,259703334	F236	0,285333	F236	0,264095	F247	0,22325
3	F244	0,250787364	F244	0,274303	F244	0,263116	F248	0,214457
4	F243	0,246154028	F243	0,273168	F220	0,262901	F244	0,210032
5	F248	0,243632546	F248	0,268394	F243	0,256739	F132	0,206735
6	F220	0,240766534	F220	0,265546	F248	0,250398	F220	0,20427
7	F241	0,237199501	F241	0,262844	F241	0,247938	F236	0,204103
8	F86	0,232936458	F86	0,259643	F223	0,244739	F12	0,193769
9	F240	0,230770054	F223	0,256315	F237	0,243708	F242	0,192539
10	F219	0,228552276	F240	0,256283	F82	0,238125	F241	0,184693
11	F223	0,228442299	F237	0,255334	F242	0,236799	F243	0,178969
12	F237	0,227393179	F82	0,253045	F86	0,234151	F154	0,17856
13	F235	0,225634036	F235	0,252335	F227	0,232633	F240	0,177854
14	F82	0,225307647	F227	0,252147	F240	0,231709	F138	0,1733
15	F227	0,225199326	F219	0,250196	F247	0,229988	F219	0,172172
.
.
.
230	F163	0,022010696	F70	0,022791	F212	0,032042	F110	0,037002
231	F40	0,021266211	F5	0,022607	F70	0,031719	F163	0,036839
232	F7	0,020450507	F110	0,022327	F10	0,031037	F189	0,036034
233	F110	0,019837984	F163	0,021884	F25	0,030511	F70	0,034192
234	F5	0,019202532	F90	0,0216	F163	0,03032	F63	0,033656
235	F10	0,019186127	F26	0,021398	F24	0,028281	F90	0,033337
236	F72	0,018916421	F10	0,021353	F79	0,027932	F89	0,032624
237	F160	0,018793865	F72	0,020816	F90	0,026639	F5	0,032446
238	F181	0,018698384	F25	0,020555	F5	0,025861	F192	0,03206
239	F182	0,018403981	F160	0,020186	F160	0,025588	F79	0,031098
240	F25	0,018059796	F89	0,018403	F89	0,024866	F179	0,029894
241	F26	0,017959771	F24	0,017251	F63	0,024581	F59	0,029791
242	F179	0,017608726	F182	0,017198	F179	0,023483	F160	0,029301
243	F59	0,017557399	F181	0,017195	F59	0,02277	F26	0,026354
244	F48	0,017246372	F179	0,017012	F26	0,022199	F6	0,026259
245	F214	0,017121079	F59	0,016837	F182	0,020943	F182	0,026088
246	F89	0,016240792	F48	0,016835	F48	0,020665	F48	0,024879
247	F63	0,015748094	F63	0,015832	F6	0,019699	F181	0,022812
248	F24	0,015566366	F214	0,015543	F181	0,019291	F24	0,021533
249	F6	0,011156866	F6	0,012469	F214	0,016157	F214	0,017915

Çizelge 8. Spearman'ın sıra ilişkisi testi sonuçları

FİRMALAR	TOPSIS PUANLARI				SIRALAMA				SIRA FARKI					
	Kabiliyet 1	Kabiliyet 2	Kabiliyet 3	Kabiliyet 4	Kabiliyet 1	Kabiliyet 2	Kabiliyet 3	Kabiliyet 4	1-2	1-3	1-4	2-3	2-4	3-4
F1	0,045	0,04953	0,08421	0,09261	151	149	121	136	2	30	15	28	13	-15
F2	0,06262	0,06467	0,0925	0,11253	88	100	108	89	-12	-20	-1	-8	11	19
F3	0,04603	0,0515	0,08202	0,10378	147	142	129	107	5	18	40	13	35	22
F4	0,03533	0,04314	0,05299	0,0525	184	168	195	212	16	-11	-28	-27	-44	-17
F5	0,0192	0,02261	0,02586	0,03245	234	231	238	237	3	-4	-3	-7	-6	1
F6	0,01116	0,01247	0,0197	0,02626	249	249	247	244	0	2	5	2	5	3
F7	0,02045	0,0228	0,03456	0,04488	232	229	228	218	3	4	14	1	11	10
F8	0,04775	0,05245	0,07399	0,07525	142	141	142	162	1	0	-20	-1	-21	-20
F9	0,03094	0,03645	0,05354	0,06269	201	191	193	197	10	8	4	-2	-6	-4
F10	0,01919	0,02135	0,03104	0,03928	235	236	232	225	-1	3	10	4	11	7
.														
F241	0,2372	0,26284	0,24794	0,18469	7	7	7	10	0	0	-3	0	-3	-3
F242	0,22316	0,24883	0,2368	0,19254	16	17	11	9	-1	5	7	6	8	2
F243	0,24615	0,27317	0,25674	0,17897	4	4	5	11	0	-1	-7	-1	-7	-6
F244	0,25079	0,2743	0,26312	0,21003	3	3	3	4	0	0	-1	0	-1	-1
F245	0,0868	0,09339	0,12312	0,1312	56	50	54	54	6	2	2	-4	-4	0
F246	0,03452	0,03632	0,0558	0,06969	190	192	187	176	-2	3	14	5	16	11
F247	0,21144	0,21304	0,22999	0,22325	21	30	15	2	-9	6	19	15	28	13
F248	0,24363	0,26839	0,2504	0,21446	5	5	6	3	0	-1	2	-1	2	3
F249	0,32252	0,31742	0,31745	0,32334	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
								d ²	9124	62466	128348	46654	125918	79836
								r _s	0,996	0,976	0,950	0,982	0,951	0,969





Şekil 1. Kabiliyetler için firma sıralamaları grafikleri (yatay eksen firmaları, dikey eksen sıralamaları temsil etmektedir)

A FOREIGN TRADE CAPABILITY ANALYSIS FOR SMALL AND MEDIUM SIZE MACHINE MANUFACTURER FIRMS

As an outcome of the economic developments in Turkey in recent years, international trade, especially the deficit between import and export revenues (trade balance), has become the most important economic factor in nowadays. To reduce the trade balance the state supports manufacturing companies to produce high-tech (high value added) and exportable goods instead of low-tech and domestically consumed products. In this study, the small- and medium- sized manufacturing companies located in İvedik, Ankara are analyzed in terms of their export capabilities and capacities. The necessary information is collected with the questionnaires filled by the managers of the companies. The results obtained in this study are organized to prepare recommendations for the companies to improve their export capabilities and capacities.

Keywords: Machine Industry, SME, Foreign Trade, Export, AHP, TOPSIS, Performance Measurement.

KAYNAKÇA

- İvedik Organize Sanayi Bölgesi Müdürlüğü, Ankara İvedik Organize Sanayi Bölgesi Makine Üreticileri Sektörü Mevcut Durumunun Analizi ve Markalaşma, Yenilikçi Ve Rekabet Gücünün Artırılması Projesi Araştırma Raporu, Ankara, 2011.
- Tuncer, I., Özügürlü, Y., Türkiye Ekonomisinde Büyüme Ve Sektörel Üretkenlik Analizleri: Bölgesel Karşılaştırmalar-1980-2000, Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, 2004.
- Türkiye İstatistik Kurumu Dış Ticaret Verileri, www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1046
- Apaydın, İ., Küçük ve Orta Ölçekli Firmalar İçin Dış Ticaret Performans Faktörlerinin Değerlendirilmesi: Ankara İvedik OSB İçin Bir Durum Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2016.
- Yurdakul, M., İç, Y.T., Türk Otomotiv Firmalarının Performans Ölçümü Ve Analizine Yönelik Topsis Yöntemini Kullanan Bir Örnek Çalışma, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol.18, no.1 (2003), s.1-18.
- Yurdakul, M., İç, Y.T., Development of Performance Measurement Model for Manufacturing Companies Using the AHP and TOPSIS Approaches, *International Journal of Production Research*, vol.23, no.21 (2005),s.4643-4659.
- Ertugrul, I., Karakasoglu, N., Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci ve TOPSIS yöntemleri ile Türk Çimento Şirketlerinin Performans Değerlendirmesi, *Expert Syst Appl*, vol. 36, (2009), s.702-715.
- İç, Y.T., Tekin, M., Pamukoğlu, F.Z., Yıldırım, E., Kurumsal Firmalar İçin Bir Finansal Performans Karşılaştırma Modelinin Geliştirilmesi, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol.30, no.1, (2015), s.71-85.
- Ömürbek, V., Kınay, B., Havayolu Taşımacılığı Sektöründe Topsis Yöntemiyle Finansal Performans Değerlendirmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, vol.18, no.3, (2012), s.343-363,
- Soba, M., Eren, K., Topsis Yöntemini Kullanarak Finansal Ve Finansal Olmayan Oranlara Göre Performans Değerlendirilmesi, Şehirlerarası Otobüs Sektöründe Bir Uygulama, *SÜ İİBF Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*,vo.21, (2011), s.23-40.

11. Eleren, A., Ersoy, M., Mermer Blok Kesim Yöntemlerinin Bulanık Topsis Yöntemiyle Değerlendirilmesi, *Madencilik Dergisi*, vol.46, no.3, (2007), s.9-22.
12. Abalı, Y.A., Kutlu, B.S., Eren, T., Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri İle Bursiyer Seçimi: Bir Öğretim Kurumunda Uygulama, *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, vol.26, no.3-4, (2012), s. 259-272.
13. Çakın, E., Özdemir, A., Bölgesel Gelişmişlikte AR-GE ve İnovasyon Rolü, *Dokuz Eylül Üniversitesi İİBF Dergisi*, vol.30, no.1, (2015), s.115-144.
14. Acar, E., Kılıç, M., Güner, M., Measurement of Sustainability Performance in Textile Industry by using a Multi-Criteria Decision Making Method, *Tekstil ve Konfeksiyon* vol.25, no.1, (2015), s.3-9.
15. Kazan, H., Kanama, E., AKÇALI, B.Y., ŞİŞMANOĞLU, E., Assessment of TEOG Examination Success: Topsis Multi-Criteria Decision-Making Method Practice, *World Conference on Technology, Innovation and Entrepreneurship*, vol.195, (2015), s.915-924.
16. Ar, İ. M., Özdemir, F., Baki, B., Öncelikli Sektörlerin Belirlenmesinde AHS-TOPSIS ve AHS-VIKOR Yaklaşımlarının Kullanımı: Rize Organize Sanayi Bölgesi Örneği, *Yaşar Üniversitesi Dergisi*, vol.9, no.35, (2014), s.6159-6174.
17. Coşkun, A., Akbulut, R., BİST'te İmalat Sektöründeki İşletmelerin Finansal Performansları Üzerine Bir Araştırma, *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, s.65,(2015),s.117-136.
18. Karabıçak, M., Havayolu Taşımacılığı Sektöründe Topsis Yöntemiyle Finansal Performans Değerlendirmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi İİBF Dergisi*, vol.18, no.3, (2013), s.343-363.
19. Önüt, S., Soner, S., Transshipment Site Selection Using The AHP and TOPSIS Approaches Under Fuzzy Environment, vol.28,no.9, (2008), s.1552-1559.
20. Okay, G., Köse, A., Financial Performance Analysis of Brokerage Firms Quoted on the Istanbul Stock Exchange Using The TOPSIS Method of Analysis, *International Journal of Business and Social Science*, vol.6, no.8,(2015), s.68-77.
21. Parakash, C., Barua, M.K., Integration of AHP-TOPSIS method for prioritizing the solutions of reverse logistics adoption to overcome its barriers under fuzzy environment, *Journal of Manufacturing Systems* vol.37, no. 3, (2015), s.599-615.
22. Ebrahimi, M., Modam M. M., Selecting the best zones to add new emergency services based on a hybrid fuzzy MADM method: A case study for Tehran, *Safety Science*, vol. 85, (2016), s. 67-76.
23. Zyouda, S. H., Kaufmann, L.G., Shaheen, H., Samhan, S., Fuchs-Hanusch, D., A framework for water loss management in developing countries under fuzzy environment: Integration of Fuzzy AHP with Fuzzy TOPSIS, *Expert Systems With Applications*, vol. 61, (2016), s. 86-105.
24. Kusumawardani, R. P., Agintiara, M., Application of Fuzzy AHP-TOPSIS Method for Decision Making in Human Resource Manager Selection Process, Third Information Systems International Conference, *Procedia Computer Science*, Vol. 72, (2015), s. 638-646.
25. Singaravel, B., Selvaraj, T., Optimization Of Machining Parameters in Turning Operation Using Combined TOPSIS and AHP method, *Tehnicki Vjesnik-Technical Gazette*, Vol. 22, no. 6, 2015,s. 1475-1480 Published: DEC 2015.
26. Pazand, K. & Hezarkhani, A. Porphyry Cu potential area selection using the combine AHP - TOPSIS methods: a case study in Siahroud area (NW, Iran), *Earth Sci Inform*, vol.8, no.1, (2015), s.207-220.
27. Hanine, M., Boutkhoul, O., Tikniouine, A., Agouti,T. Application of an integrated multi-criteria decision making AHP-TOPSIS methodology for ETL software selection, *SpringerPlus*, vol. 5, (2016), s.263-270.
28. Saaty, T.L., *Fundamentals of Decision Making With The Analytic Hierarchy Process*, RWS Publications, 2006.

Eren Billur
Yrd. Doç. Dr.

Otomotiv Mühendisliği Bölümü
Metal Şekillendirme
Mükemmeliyet Merkezi
Atılım Üniversitesi, Ankara

Billur Makine Dış Tic. ve San. Ltd.
İvedik / Ankara

Barış Çetin

Lider Malzeme ve Özel İşlemler
Mühendisi

FNSS Sav. Sis. AŞ
Gölbaşı / Ankara

M. Mutlu Yılmaz

Otomotiv Mühendisliği Bölümü
Atılım Üniversitesi, Ankara

Oğuzhan Onaylı

Otomotiv Mühendisliği Bölümü
Atılım Üniversitesi, Ankara

Anıl Atay

Otomotiv Mühendisliği Bölümü
Atılım Üniversitesi, Ankara

Ali Gökhan Oğuz

Otomotiv Mühendisliği Bölümü
Atılım Üniversitesi, Ankara

Geliştirilmiş Yüksek Mukavemetli Çeliklerin Servo Pres Kullanılarak Bükülmesi

Geleneksel olarak bir çeliğin mukavemetinin artması ile beraber şekillenebilirliği azalmaktadır. Son yirmi yılda çelik üreticileri hem yüksek mukavemeti hem de yüksek şekillenebilirliği elde etmek amacıyla çok sayıda yeni sınıf çelikler üretmişlerdir. Üretilen bu yeni sınıf çeliklerin, çarpışma performansları ve yorulma ömürleri önemli ölçüde geliştirilmelerine rağmen, geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelikler (AHSS) pres hatlarında hâlâ çok yüksek pres tonajlarına ve kontrolü zor geri yaylanma problemlerine sebep olmaktadır. Ayrıca, bazı geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelikler, -örnek olarak TRIP ve TBF sınıfı çelikler- dönüşüm kaynaklı plastisite özelliği göstermektedirler. Bu olguya göre, mikro yapıdaki kalıntı östenit, plastik deformasyon altında mukavemeti çok daha yüksek olan martenzite dönüşmektedir. Çift fazlı (DP) çelikler ile ilgili önceki yapılan çalışmalar, optimize edilmiş şekillendirme hızı profilinin, AHSS çeliklerin şekillenebilirliğini arttırdığını göstermiştir. Bu çalışmada, TWIP, TBF ve Q&P çeliklerinin büküm sonrası geri yaylanmalarının servo presler ile sağlanan farklı kurs profillerindeki değişimi deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Geliştirilmiş Yüksek Mukavemetli Çelikler, Servo Presler, Geri Yaylanma

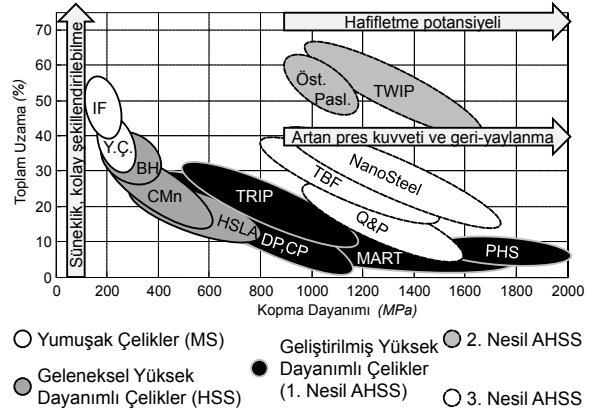
GİRİŞ

Yeni Nesil Çelikler

Geleneksel olarak bir çeliğin mukavemeti artırıldığında şekillenebilirliği azalmaktadır. Bu durum, Şekil 1’de, “muz eğrisi” olarak bilinen grafikte gösterilmiştir. Son birkaç yılda çelik üreticileri mukavemeti ve şekillenebilirliği arttırmak amacıyla çok sayıda yeni nesil çelikler üretmişlerdir.

Twinning Induced Plasticity (TWIP), TRIP-Aided Bainitic Ferrite (TBF) ve Quenching & Partitioning (Q&P) çeliklerinin ortaya çıkmasıyla beraber son zamanlarda, otomotiv endüstrisinde, karmaşık geometrilere, 1 GPa çekme mukavemetini aşan soğuk şekillendirilmeye müsait çelikler kullanılmaya başlanmıştır.

Bu çalışmada, yeni nesil geliştirilmiş yüksek mukavemetli çeliklerden üç tanesi üzerinde çalışılmıştır: (1) 1,0 mm TWIP 980, (2) 1,0 mm TBF 1050 ve (3) 1,2 mm Q&P 1180.



Şekil 1. “Muz eğrisi” Çeşitli çelik sınıflarının çekme dayanımı-toplam uzama eğrisi [1].

Bahsedilen yeni sınıflar arasında TWIP (Twinning Induced Plasticity) birçok Fiat modelinde kullanılmakla beraber, Panda modelinde de ekonomik kazanç sağlamayı başarmıştır [2,3]. TWIP çeliklerini

incelemek üzere beş firma ve kuruluşun (DYNAmore GmbH, ESI GmbH, Faurecia Autositze GmbH, Swerea KIMAB AB ve Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH) ortak olduğu bir AB projesi, Fraunhofer IWM tarafından koordine edilmiştir. TWIP4EU adındaki bu proje, bu malzemelerin koltuk bileşeninde uygulanabilirliğini araştırmış ve 2015 yılında tamamlanmıştır [4]. Volkswagen ise, 2014 yılında, otomobil koltuklarında bu çeliklerin kullanımı üzerinde çalışmıştır [5]. Yine 2014 yılında Renault, menteşe sütununun (A-sütununun alt kısmı) ve kapı eşiğinin dış kısımlarının TWIP 980 çeliği ile üretildiği EOLAB konsept arabasını tanıtmıştır [6]. “Materials in Car Body Engineering-2012” Konferansı’nda (Mayıs 2012, Bad Nauheim, Almanya, Automotive Circle Intl. sponsorluğunda) yapılan ankete göre, otomotiv sektöründeki katılımcıların yüzde 87’si, TWIP çeliklerinin daha da geliştirilmesi halinde seçili uygulamalarda seri üretime uygun olduğunu belirtmişlerdir [7].

Şu anda çelik üreticilerinden üç firma seri imalat koşullarında TWIP çelikleri üretmektedir. Koreli çelik üreticisi POSCO şu anda pazara TWIP 980 çeliğini sunmaktadır [8], POSCO yeni versiyonlarını pazara sunmak için çalışmalarını “daha yüksek şekillendirilebilir TWIP 900” ve daha yüksek dayanımdaki versiyonu (1200 MPa, UTS) ile devam etmektedir [9,10]. TWIP çeliğinin maksimum 1700 MPa çekme dayanımına ulaşması öngörülmektedir [11]. Çinli BaoSteel firması ise şu anda TWIP 950 çeliğini pazara sunmaktadır ve 1180 MPa seviyesine ulaşmak için geliştirmeler yapmaktadır. Son olarak başka bir Çinli çelik üreticisi olan AnSteel, şu anda 980 MPa TWIP üretmekte olup ve 1180 MPa’lık versiyonu geliştirmektedir [13]. Salzgitter Mannesmann firması ise 3 farklı TWIP çeliği daha tanıtmış olup çelikleri, 600, 900 ve 1100 MPa’daki akma gerilmesi değerlerine göre isimlendirmişlerdir. Çelikler, çekme mukavemeti değerlerine göre ise, TWIP 980, TWIP 1150 ve TWIP 1250 olarak isimlendirilebilir [14].

TBF (TRIP Aided Bainitic Ferrite) çelikler ilk olarak Kobe Steel tarafından geliştirilmiştir [15]. 2012 yılında, Renault-Nissan grubu gelecekteki araçlarında [16] bu çeliği kullanmaya karar vermiştir. 2013 yılında piyasaya sürülen Infiniti Q50 modelinin ‘A’ ve ‘B’ sütunu takviyeleri ve yan tavan rayı (canrail) TBF 1180 çeliğinden üretilmiştir. Üretilen bu parçalar gövde ağırlığının %4’lük kısmını oluşturmaktadır [17]. 2015 yılında ise Nissan Murano tanıtılmış ve bu araçta da bazı parçalar TBF 1180 kullanılarak üretilmiştir [18]. Eylül 2014 yılında ArcelorMittal firması FortiForm çelik ailesini tpiyasa sunmuştur. Şu anda FortiForm 1050 piyasadan temin edilebilir durumda olmakla beraber Arcelor Mittal, şu anda 980 ve 1180 MPa versiyonlarını geliştirmektedir [19].

Son olarak, Q&P (Quenching and Partitioning) çelikleri şu anda BaoSteel [11] ve AnSteel [13] firmaları tarafından 980 ve 1180 MPa seviyelerinde piyasaya sunulmuştur. 2012 yılında Great Wall firması, B-sütununun soğuk şekillendirilmesi için Q&P 980 üzerine çalışmıştır [20]. Yine 2012 yılında (American Auto/Steel Partnership) Amerikan Oto-çelik Ortaklığı, ThyssenKrupp ve US Steel’in ürettiği DP 980’e karşı, BaoSteel firmasının ürettiği Q&P 980’i test etmiştir. Bu çalışmada, Q&P 980 hem şekil alabilirlik hem de kenar kırılmalarında DP 980’den daha iyi bir performans göstermiştir. Ancak, geri yaylanmayı tahmin etmek bir sorundur [21]. Gelecekteki Q&P kaliteleri açısından BaoSteel, Q&P 1300 için çalışmaktadır [12]. AK Steel ise çalışmalarında 15% toplam uzamaya sahip Q&P 1800 çeliğini ve 13% toplam uzamaya sahip Q&P 2100 çeliğinin laboratuvar ölçeğinde üretildiğini göstermiştir [22].

Servo Presler

Servo motorlar 1950’li yıllardan bu yana takım tezgâhlarında kullanılmaktadır. Ancak servo motorlar yakın bir zamana kadar şekillendirmede gerekli pres kuvvetlerini oluşturmak için yeterince güçlü değillerdi [25]. Bugün, bir servo pres 5 farklı şekilde üretilmektedir:

- Servo-hidrolik pres: geleneksel AC motor, standart bir pompa ve bir dizi oransal valf (servo-hidrolik) kullanılarak kontrol edilebilir [23].
- Servo hidrolik pres üretmenin başka bir yolu ise en az iki servo motor (inme ve dönüş hareketleri için) ve basit dişli pompaları kullanmaktır. Bu yapıda kontrol sistemi için yön valfleri bulunmamaktadır [24].
- İlk servo mekanik pres, 1997 yılında Komatsu tarafından üretilmiştir ve sahip olduğu vidalı mekanizma, yüksek devir-düşük torklu servo motor ile tahrik edilmektedir [25]. Bugün bu tip presler 1000 ton kuvvete kadar üretilmektedir [26].
- Servo motor teknolojisindeki gelişmelerle birlikte düşük devir-yüksek torklu motorlar kullanılmaya başlanmıştır. Dördüncü yöntemde ise eksantrik ya da mekanik preslerden volan sökülerek, yüksek torklu motor doğrudan kranka ya da dişliye hareket vermektedir. Bu yöntem en yaygın kullanılan servo pres tipidir. İlk ticarileşmesinden bu yana, bu preslerden 1000’den fazla üretilmiş ve satılmıştır. Mevcut durumda bu servo presler 2500 tondan daha yüksek kuvvetler üretebilmektedir [27].
- Son yöntem ise lineer motorlar kullanmaktır. Bu sistem şu anda çekme testi cihazları ve mikro şekillendirme işlemlerinde kullanılmaktadır. 2014 yılından beri mevcut olan bu sistem 10 tona kadar olan kuvvetleri üretebilmektedir [28].

Bu çalışmada Komatsu H1F-80 OS tipi servo pres kullanılmıştır ve bu pres mafsal mekanizmasına

ve 130 mm kurs mesafesine sahiptir (Şekil 10a'da çalışma aralığı görülebilir). Tam hızda 37,5 SPM'yi (Strokes per minute) etkin olarak yakalayabilen bu pres: (1) kızaklarında doğrusal konum sensörüne (2) krank açısı ölçen bir enkodere ve (3) presin iki yan kolonlarında birer adet yük hücresine sahiptir. Presin maksimum kapasitesi 80 tondur (800 kN). Ancak, yan kolonlardan herhangi birine [press uprights] 440 kN'dan fazla yük gelirse, aşırı yük koruması aktif hâle geçmektedir. Bunlara ek olarak pres, veri toplama kabiliyetine sahiptir. Deneysel çalışmalardaki, veri toplama işlemleri, Komatsu'nun Visual Inspection System v2.2.2.0 programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

MALZEME KARAKTERİZASYONU

Malzeme karakterizasyonu için gerekli deneyler, Atılım Üniversitesi Metal Şekillendirme Mükemmeliyet Merkezi'nde yürütülmüştür.

Çekme Testi

Standart çekme testi numuneleri, tel erozyon (EDM) makinesi kullanılarak, ASTM E8 standartlarına [29] göre kesilmiştir. Testler oda sıcaklığında, üst çene çekme hızı sabit ve 10 mm/dak olarak gerçekleştirilmiştir. Çekme testi boyunca uzunlamasına ve yan ekstensometreler eş zamanlı olarak kullanılmıştır. Tutma - bırakma etkisini (slip/stick effect) ortadan kaldırmak için testin başlangıç noktasında, ön yükleme olarak 1000 N uygulanmış ve ön yükleme uygulandıktan sonra ekstensometreler kenetlenmiştir. Bu durum nedeniyle, gerçek gerilme ve gerçek genleme denklemleri aşağıdaki gibi değiştirilmiştir.

$$\Delta = \frac{PG}{P + A_0 E} \quad (1)$$

$$\sigma_{true} = \left(\frac{F}{A_0} \right) \left(\frac{G + \Delta L}{G - \Delta} \right) \quad (2)$$

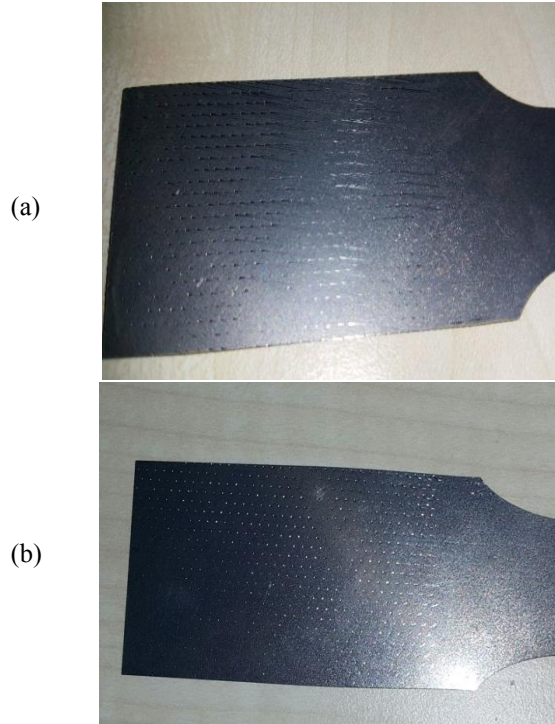
$$\varepsilon_{true\ plastic} = \ln \left(\frac{G + \Delta L}{G - \Delta} \right) - \left(\frac{\sigma_{True}}{E} \right) \quad (3)$$

Δ ön yüklemeye karşılık gelen uzama, P ön yük, G uzunluğun başlangıç ölçüsü, F kuvvet, A_0 başlangıç kesit alanı ve ΔL ekstensometre tarafından kaydedilen boyuna uzamadır.

Ön yükleme için yapılan düzeltme Lankford parametreleri (r) hesaplamak için de yapılmıştır. Denklem 4'teki w_0 başlangıç kalınlığı ve Δw , ekstensometre tarafından kaydedilen kalınlıktaki değişimdir.

$$r = \frac{-\ln \left(\frac{w_0 - \Delta w}{w_0} \right)}{\ln \left(\frac{G + \Delta L}{G - \Delta} \right) + \ln \left(\frac{w_0 - \Delta w}{w_0} \right)} \quad (4)$$

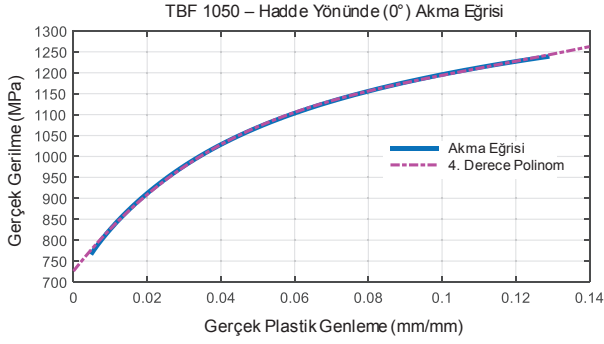
Buna ek olarak, testten sonra numunelerin kenetlenme bölgeleri görsel olarak kontrol edilmiştir. Bazı test numunelerinde Şekil 2a 'da gösterildiği gibi kayma gözlenmiştir. Bu özel durum için çekme testi Şekil 2b'deki sonuçlar elde edilene kadar tekrarlanmıştır.



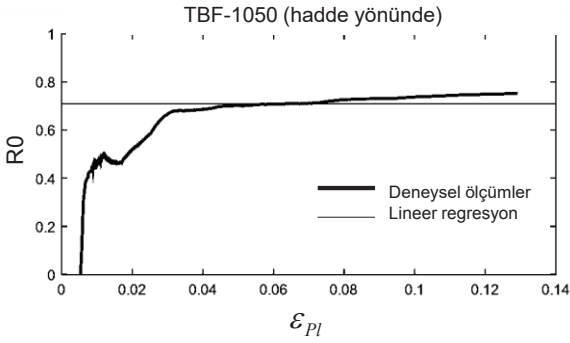
Şekil 2. Bağlama noktaları (a) kayma gözlenmiş numune (b) kayma gözlenmemiş numune

Numunelerin akma dayanımı, akma eğrisinin sıfır gerçek plastik genleme değerine ekstrapolasyonu ile hesaplanmıştır. Şekil 3'te gösterildiği gibi, bu ekstrapolasyon için, 4. derece polinom eğrisi yerleştirilerek, akma eğrisi oluşturulmuştur.

Son olarak, Lankford parametrelerinin, kararlı bölgede hesaplanmasını sağlanması için, eğrinin elastik ve kararsız bölgeleri silinmiştir. Şekil 4'te hesaplamalar gösterilmektedir.



Şekil 3. TBF 1050 (hadde yönünde) 'nin akma mukavemetinin hesaplanması

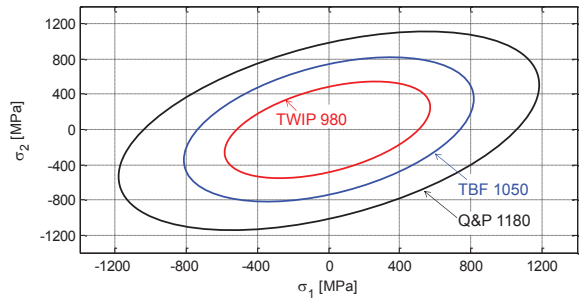


Şekil 4. Lankford parametresinin TBF -1050 (hadde yönünde) 'e göre hesaplanması

Gerçekleştirilen mekanik testler ile elde edilen Lankford parametreleri ve hadde yönündeki akma mukavemeti ile Hill-48 akma yüzeyi (yield surface) 5 numaralı denklem kullanılarak tanımlanabilmektedir. TWIP 980 ve Q&P 1180 çeliklerine ait Hill 48 eğrileri aşağıda gösterilmiştir.

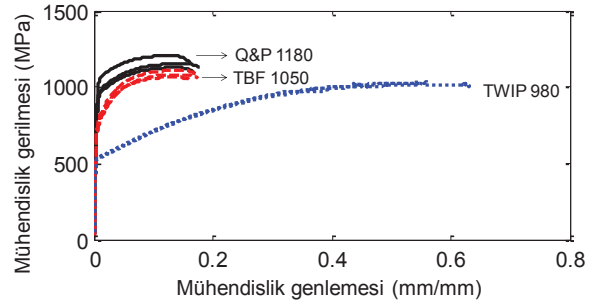
$$\sigma_1^2 - \left(\frac{2 * r_0}{1 + r_0} \right) \sigma_1 \sigma_2 + \frac{r_0 (1 + r_{90})}{r_{90} (1 + r_0)} \sigma_2^2 = \sigma_0^2 \quad (5)$$

σ_1 majör asal gerilme (major principal stress), σ_2 minör asal gerilme, r_0 hadde yönündeki Lankford parametresi, r_{90} haddeye dik yöndeki Lankford parametresi ve σ_0 hadde yönündeki akma mukavemetini göstermektedir.



Şekil 5. Test edilen çeliklerin Hill 48 akma yüzeyi

Son olarak deneyde kullanılan malzemelerin mühendislik gerilme-gerinim değerleri Şekil 6'de gösterildiği gibidir. Tüm hesaplamaların özeti ise Tablo 1'de gösterilmiştir.



Şekil 6. Deneylerde kullanılan üç çeliğin mühendislik gerilme ve gerinim değerleri

Tablo 1. Test edilen malzemelerin mekanik özellikleri

	TWIP 980	TBF 1050	Q&P 1180
Akma Mukavemeti (MPa)	519 ⁺⁶ ₋₅	745 ⁺²¹ ₋₁₉	981 ⁺⁴⁴ ₋₆₂
Çekme Mukavemeti (MPa)	1042 ⁺¹⁶ ₋₃₄	1085 ⁺²⁴ ₋₂₀	1162 ⁺⁴⁴ ₋₃₄
Toplam Uzama (%)	58 ⁺⁵ ₋₄	17 ⁺¹ ₋₁	17 ⁺¹ ₋₁
r ₀	0.95	0.72	0.96
r ₄₅	0.96	0.97	0.84
r ₉₀	0.78	0.89	0.86
K (MPa)	2247	1717	1646
n	0.44	0.16	0.11

Bombe Yüksekliği Testi

Malzeme hakkında daha fazla bilgi edinmek için Zwick Roell BUP 600 makinesi üzerinde sürtünmesiz bombe yüksekliği testi yapılmıştır. Deneyler boyunca sayısal görüntü analiz sistemi olan GOM ARAMIS kullanılmıştır. Beklendiği gibi bombe yüksekliği en şekillendirilebilir çelik olan TWIP 980'de elde edilmiştir. Burada beklenmedik sonuç Q&P 1180'nin TBF 1050'ye göre daha yüksek bombe yüksekliğine sahip olmasıdır. Örnekler ve bombe yüksekliği değerler Şekil 7'de gösterilmiştir.



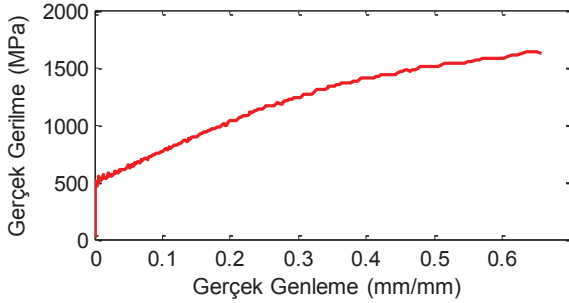
Q & P1180 TBF 1050 TWIP 980
42.05±0.45mm 38.45±1.15mm 61.90±1.50mm

Şekil 7. Bomba yüksekliği testi sonuçları

Hidrolik Şişirme Testi

Tek eksenli çekme testi, çelik şekillenebilirliği ve sertleşme eğrisini karakterize etmekte yeterli olmadığından ayrıca hidrolik şişirme testi planlanmış olup bu test için yine Zwick Roell BUP600 makinesi ve Gom Aramis sistemi kullanılmıştır.

Deneyler bazı mekanik problemlerden dolayı tamamlanamamıştır. Sadece TWIP 980 bir kez test edilmiş olup ARAMIS ölçümleri ve Metal Şekillendirme Mükemmeliyet Merkezinde geliştirilen bir kod sayesinde, iki eksenli akış gerilmesi Şekil 8'da gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

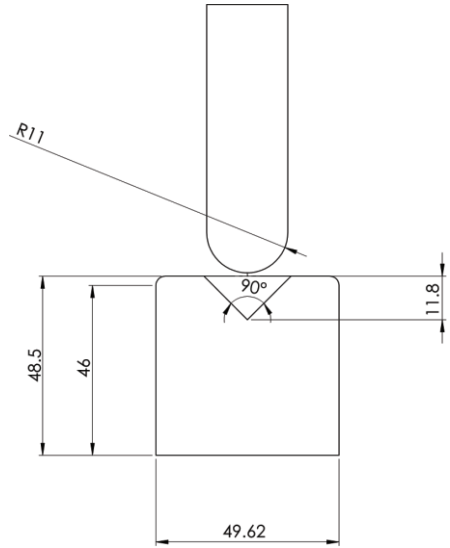


Şekil 8. Hidrolik şişirme testinden hesaplanan iki eksenli (biaksiyel) akış eğrisi.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

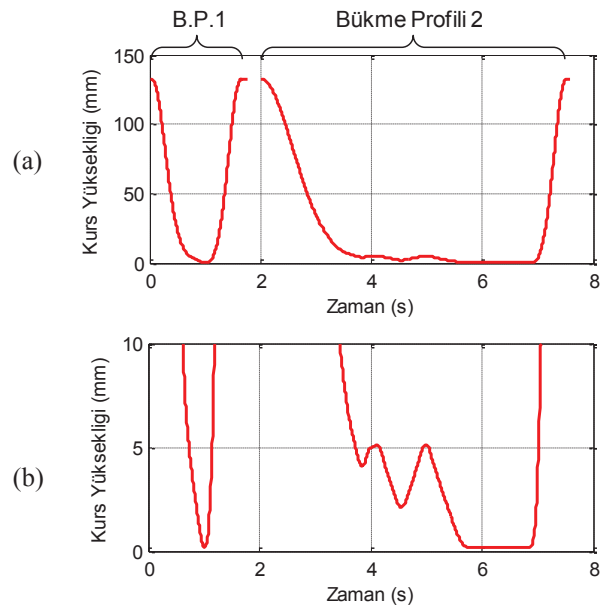
Bükme deneyleri için basit V biçimli kalıp kullanılmıştır (bk. Şekil 9).

Bükme deneyleri KOMATSU H1F-80 OS tipi servo mekanik presle yapılmıştır. Deneyler sırasında iki farklı hız profili kullanılmıştır. İlk hız profili presin mekanik hareketi değiştirilmeden kullanılmış, ikincisinde ise koç alt ölü noktaya (A.Ö.N.) yavaşlatılarak gelmiş ve A.Ö.N.'den önce iki kez yukarı hareket ettirilmiş, en son A.Ö.N.'de 1 saniye bekletilmiştir. Detaylı hız grafikleri Şekil 10'de görülebilir. Üç malzeme de hadde yönünde (HY) ve hadde yönüne dik (HYD) yönlerde üçer kez tekrarlı olarak test edilmiştir.

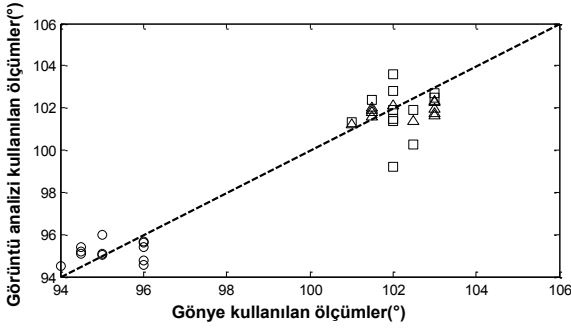


Şekil 9. Deneylerde kullanılan V biçimli kalıbın teknik çizimi.

Vernier ölçekli elde kullanılan gönyeler, geri yaylanma ölçümlerinde kullanılmıştır. Buna ek olarak görüntü analiz tekniği kullanılarak da bükülme açıları ölçülmüştür. El ölçümleri ve görüntü analizlerinin karşılaştırılması, Şekil 11'de gösterildiği gibidir. İki yöntem arasında, R^2 ile gösterilen regresyon başarı değeri 0,9332 olarak bulunmuştur. Açılma ölçerinin Vernier ölçeğine sahip olmasından ve bükülmüş parçaların 1 mm kalınlığında olmasından dolayı el ölçümleri sübjektif olmuştur. Bu nedenle detaylı karşılaştırmalar için görüntü analiz verileri kullanılmıştır.



Şekil 10. Kurs- zaman profilleri (a) Tam kurs (130 mm), (b) BDC (Alt ölü nokta)'dan önceki son 10 mm

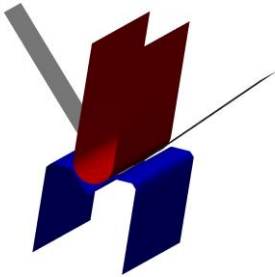


Şekil 11. Gönye ve görüntü analiz açı ölçümlerinin karşılaştırılması

Görüntü analiz tekniği, [30] ve [31]'deki çalışmalar göz önünde bulundurularak benzer şekilde video analizleri için geliştirilebilecektir. Mevcut durumda kalıp bağlantı elemanları, büküm sırasında kameranın görüşünü kapatmaktadır. Bir sonraki çalışmada kalıp bağlantıları kamera gözününe alınarak revize edilecektir. Ayrıca siyah arka plan ve ek ışıklandırma ile görüntü kalitesine dikkat edilecektir. Bu geliştirmeler sayesinde, pres işlemi sırasında, parça yük altındayken (bükülme süresince ve geri yaylanma öncesinde) bükülme açılarını ölçmek mümkün olabilir. Bu da simülasyonlarla karşılaştırılmasına daha iyi bir katkı sağlayabilir.

SİMÜLASYON

Sonlu elemanlar analizleri, ESI PamStamp yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Tablo 1'deki malzeme özellikleri elle girilmiştir. Bükme simülasyonları ilk bükme profili kullanılarak yapılmıştır ve kalıplar üzerindeki tepki kuvveti, ortalama pres kuvveti aralığındaki değere ulaşana kadar simülasyonlar devam ettirilmiştir. İkinci aşamada, eksplisit geri yaylanma simülasyonları yapılmıştır. Numunenin kalınlığı boyunca 9 entegrasyon noktası kullanılmıştır. Pres kuvvetini simüle edebilmek için yazılımdaki ütüleme opsiyonu da etkinleştirilmiştir. Sürtünme katsayısının etkisi bir dizi deneme simülasyonları ile çalışılmış ve sürtünme katsayısının bükülme ve geri yaylanma açılarını değiştirecek kadar bir etkiye sahip olmadığı tespit edilmiştir. Geri yaylanmadan sonraki açı, x - y koordinatları kullanılarak bir önceki görüntü analizinde kullanılan aynı kodla hesaplanmıştır.

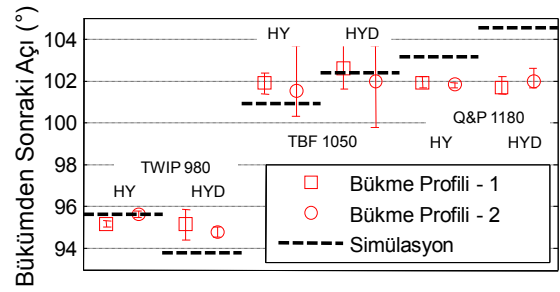


Şekil 12. Bükme simülasyonlarına ait bir görüntü

Simülasyon ve deney sonuçları ise bir sonraki bölümde ele alınacaktır.

SONUÇ

Bükme deneyleri ve simülasyon sonuçları Şekil 13'te görüldüğü gibi karşılaştırılmıştır. TWIP çeliklerinin geri yaylanmadan sonraki açıları yaklaşık 95° civarında iken TBF ve Q&P numunelerinde ise 101°'nin üzerinde olmuştur. Bu da TWIP 980'in akma mukavemetinin göreceli olarak düşük olduğuyla açıklanabilir. Seçilen geometri ve yapılan deneysel çalışmalar, zorlayıcı şekillendirme yöntemlerini (derin çekme, ters çekme, vb.) kapsamadığından, kurs profilinin değiştirilmesinin şekillenebilirliğe etkisi net olarak ortaya çıkarılamamıştır.



Şekil 13. Bükme deneylerinin ve simülasyonlarının karşılaştırılması

Görüldüğü üzere, TWIP ve TBF çeliklerinde geri yaylanma sonuçları çeşitli deneylerin simülasyonları ile tahmin edilebilmiştir. Bununla birlikte, Q&P çeliklerinde tahmin edilen geri yaylanma değerleri Q&P çelik ailesinin akma mukavemetlerinin daha fazla olmasından dolayı daha fazla bulunmuştur. Bu çeliğin beklenmedik performansı, Q&P alaşımlarının plastik deformasyonu ve elastik malzeme davranışının değişikliği nedeniyle olabilir, bu konunun ileri bazı test yöntemleriyle araştırılması düşünülmektedir.

Ek olarak, malzeme anizotropisinin geri yaylanma davranışında önemli bir rol oynadığı, Şekil 13'te gösterilmiştir. Ayrıca TWIP ve TBF çeliklerinin geri yaylanma değerleri simülasyonlar ile başarılı bir şekilde tahmin edilebilmiştir.

Bu çalışmada, servo pres kullanarak üç farklı AHSS çeliğin geri yaylanma davranışları incelenmiştir. İlk verilere göre aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Bombe yüksekliği ve çekme testindeki yüksek uzama değerleri sonucunda TWIP980, üstün şekillenebilirlik özelliği taşımaktadır.
- Basit bükme kalıbı ile yapılan bu çalışmada, servo pres kullanımının, geri yaylanmanın

azaltılmasında bir miktar iyileştirme sağlayabileceği gösterilmiştir.

- TBF ve TWIP alaşımlarında simülasyon sonuçları ve deneysel ölçümler birbirine yakın çıkmıştır.
- Q&P çeliğinin geri yaylanma davranışının başarılı bir şekilde simüle edilememesi ile ilgili detaylı ilave çalışmalara yapılması gerekmektedir.

Aşağıdaki çalışmalar sayesinde mevcut sonuçların daha da iyileştirilmesinin mümkün olacağı düşünülmektedir:

- Servo presin avantajlarını daha ileri düzeyde çalışabilmek için, kenar bükme ve/veya derin çekme işlemini mümkün kılan yeni bir kalıp tasarlanması.
- Sayısal görüntü analiz sistemleriyle malzeme karakterizasyon çalışmalarına devam edilmesi. (Burada, yüksek gerinim ve çift eksenli koşullar altında malzeme davranışını görmek için hidrolik şişirme testi önemli bir rol oynamaktadır.)
- Bu çeliklerin önemli bir kısmında kalıntı östenit mevcut olduğundan, TRIP etkisi gözlenmiştir. Bu nedenle değişen plastik deformasyona göre elastik modülü sabit olmayabilir. Buna ek olarak, bu çeliklerin geçirdiği faz dönüşümü homojen olmayacağı için deformasyon sonrasında bölgesel mekanik özellik farklılıklarının oluşması kuvvetle muhtemeldir. Malzeme içindeki bu mekanik heterojenlik, başlı başına bir kalıntı gerilme oluşturma nedeni olabilir. Bununla birlikte yalnızca servo presle uygulanabilen yüklü-yüksüz-yüklü döngüsü gibi bir plastik deformasyon geçmişi, mekanik heterojenlikler içeren bir malzemede kalıntı gerilmeye önemli ölçüde etki edebilir. Sonuç olarak, faz değişimine bağlı elastik modülündeki değişim ve çevrimsel deformasyon içeren (cyclic deformation) servo pres uygulamalarının, kalıntı gerilme seviyesine etkisinin kısa bir süre içinde araştırılması hedeflenmektedir.
- İnce plakaların minimum büküm radyuslarını, servo pres teknolojisi ile azaltmaya yönelik bir diğer çalışma da planlanmaktadır.

FORMING OF NEW GENERATION AHSS USING SERVO PRESSES

Conventionally, as the strength of a steel grade was increased, its formability was decreased. Over the last two decades, steelmakers have developed a number of new steel grades with the aim of improving both the strength and the formability. Although the crash performance and fatigue life of these grades have been significantly improved; in the press shop, higher strength steels still cause higher press forces and difficulty in controlling the

springback. Furthermore, some Advanced High Strength Steels (AHSS) such as TRIP and TBF grades exhibit “Transformation Induced Plasticity” phenomenon. Under plastic deformation, the retained austenite microstructure is transformed into martensite which is relatively dominant on mechanical properties. Earlier studies with Dual Phase (DP) steels have shown that an optimized forming speed profile may also improve the formability of AHSS. In this paper, the possible advantages of servo presses in forming of TWIP, TBF and Q&P grades are investigated by theoretical and experimental studies.

Keywords: Advanced High Strength Steels, Servo press, Springback

TEŞEKKÜR

Yazarlar, AHSS çeliklerin temindeki yardımları için General Motors firmasından Dr. Jeff Wang ve Gestamp Kuzey Amerika’dan Sn. Paul Belanger’e, Komatsu Industries’den Sn. Yoshiaki Ikeda’ya, projeye sağladıkları finansal destekleri için FNSS Sav. Sis. A.Ş. Yönetim Kurulu’na ve son olarak projeye yazılım, donanım ve altyapı desteği sağlayan, Atılım Üniversitesi Metal Şekillendirme Mükemmeliyet Merkezi’ne teşekkür eder.

KAYNAKÇA

1. Billur, E.; Dykeman, J.; Altan, T.: Three generations of advanced high strength steels for automotive applications. In: Stamping Journal, Mar/Apr issue, 2014, p. 12-13
2. FCA Turkey: Private Communication, 2015.
3. Maggi, S.; Federci, C.; D’aiuto, F.: TWIP Steel application on the Fiat Nuova Panda body. Presented in: Materials in Car Body Engineering 2012
4. Butz, A.; Zapara, M.; Helm, D.: Modeling High-Strength and Highly-Ductile Sheet Metals from TWIP-Steels. In: Fraunhofer IWM, 2015
5. Busch, C.; Hatscher, A.; Behrens, B.-A.; Bouguecha, A.; Vucetic, M.; Bonk, C.; Huinik, S.: Numerical and experimental investigations of deformation behavior of high-manganese TWIP-steels in automotive industry. Presented in: Posco Global EVI Forum, 2014
6. Renault Media Services, In: <http://media.renault.com>
7. Automotive Circle International: How do you judge the market potential of TWIP steels in car body series production? Presented in: Materials in Car Body Engineering, 2012
8. POSCO: Automotive Steel Handbook, 2015

9. Lee, K.: Introduction to Development and Application of Automotive Steels of POSCO. Presented in: Posco Gloval EVI Forum, 2014
10. Nam, J-B.: Development of new auto steels and application technology. Presented in: China Automotive Steel Conference, 2013
11. BaoShan Iron and Steel Co., Ltd.: Automotive Advanced High Strength Steels, Catalogue, 2013.
12. Gao, M.: Sustainable steel solutions for Chinese cars. Presented in: Green Manufacturing – the Future of Steel and Automobile, WorldAutoSteel, 2013
13. AnSteel Group: Progress of Advanced High Strength Steel in AnSteel. Presented in: Vehicle and Home Application Steel Research Institute, 2014
14. Schneider, M.; Gramling, M.: High Strength and Ductility – A New Steel Generation for Further Developments. Presented in: Automotive Expo, 2013
15. Kimura, T.: Formability of TRIP Type Bainitic Ferrite Steel Sheet. In: Kobelco Technology Review, 2011, p. 85-89
16. Jacque, S.; Obayashi, K.: Renault and Nissan Light weight body engineering strategy. Presented in: Strategies in Car Body Engineering, 2012
17. Kondo, T.; Ishiuchi, K. : 1.2GPa Advanced High Strength Steel with High Formability. In: SAE Technical Paper, 2014-01-0991, January 2014
18. Worldautosteel: 2015 Nissan Murano Redesigns with AHSS. In: <http://www.worldautosteel.org/why-steel/steel-muscle-in-new-vehicles/2015nissan-murano-redesigns-with-ahss/>
19. [19] ArcelorMittal: Steels for cold stamping - Fortiform®, Catalogue, 2014
20. Huijin, D.; Shuli, L.; Jie, Y.; Hongxin, Y.; Kebin, B.; The automobile steel of the third generation in B-pillar reinforced panel. In: Engineering Sciences, 10-6, 2012, p. 20-22
21. Hsiung, G.: Advanced High-Strength Steel Stamping. Presented in DOE Merit Review, 2012
22. Thomas, G.A.; De Moor, E.; Speer, J.G.: Tensile Properties Obtained by Q&P Processing of Mn-Ni Steels With Room Temperature Quench Temperatures, In: Proceedings of Intl. Symp. on New Developments in Advanced HighStrength Sheet Steels 2013, p. 153-165
23. Bosch Rexroth AG: 4/3 servo directional control valve with mechanical position feedback, Catalogue, 2010
24. Voith Turbo H + L Hydraulic GmbH & Co. KG: Hydraulic Press Drive PSH, Catalogue, 2013
25. Osakada, K.; Mori, K.; Altan, T.; Groche, P.: Mechanical servo press technology for metal forming. In: CIRP Annals - Manufacturing Technology, 60, 2011, p. 651–672
26. Hoden Seimitsu Kako Kenkyusho Co. Ltd.: ZenFormer Direct Drive Digital Servo Press, Catalogue, 2013.
27. Yadav, A.; Kaya, S.; Groseclose, A.: Electromechanical Servo-Drive Presses. In: Sheet Metal Forming – Fundamentals, Editors: Altan, T.; Tekkaya, A.E., 2012, p. 161-180
28. Wegener, K.: Forming Presses (Hydraulic, Mechanical, Servo). In: CIRP Encyclopedia of Production Engineering, Editors: Laperrière, L.; Reinhart, G., 2014, p. 547-553
29. ASTM International: Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, Designation E8/E8M-09, 2009.
30. Mori, K.; Akita, K.; Abe, Y.: Springback behaviour in bending of ultra-highstrength steel sheets using CNC servo press. In: International Journal of Machine Tools & Manufacture 47, 2007, p. 321–325
31. Yang, X.; Kardes, N.; Choi, C; Altan, T.: Investigating springback in bending of advanced high strength steel. In: Stamping Journal, Nov/Dec 2010, p. 8-9

Yüksek Mukavemet Çeliklerinin Derin Çekme Oranlarının Geliştirilmesi İçin Yapılan Deneysel Çalışmalar

Erdem Kayhan

Dr.

ATILIM Üniversitesi
Otomotiv Mühendisliği Bölümü
Ankara

Bilgin Kaftanoğlu

Prof. Dr.

ATILIM Üniversitesi
İmalat Mühendisliği Bölümü
Ankara

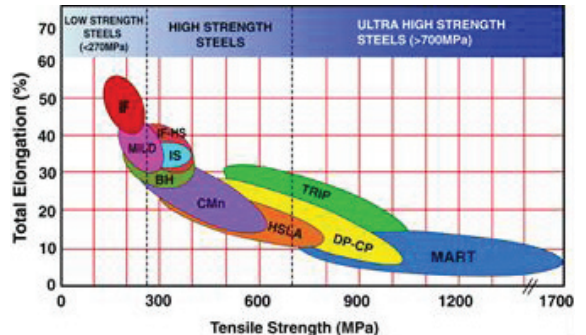
Yapılan deneysel çalışmada; sıcaklığın, çelik malzemelerin şekillendirilmesine olan olumlu etkisinden faydalanılarak DP600, IF ve HSLA çeliklerine ait derin çekme sınır oranlarının artırılması araştırılmış ve yeni bir uygulama yöntemi geliştirilmiştir. Uygulanan yöntem şu şekilde açıklanabilir; derin çekme uygulaması öncesinde; test parçasının flanş bölgesinde 275 - 180 °C aralığında sıcaklık değişimi; numunenin kenar bölgesinden, indüksiyon ile ısıtılması ve numune merkezine, zimba deliğinden su damlatılarak kısmen soğutulması suretiyle elde edilmiştir. Derin çekme işlemi, kalıbın alt tarafından çekilmekte olan numunenin ortasına doğru uygulanan yoğun su soğutması ile birlikte uygulanmıştır. Ön ısıtma sonucunda numunenin yüzey sıcaklığındaki değişim flanş bölgesi içinde iki farklı noktaya odaklanmış kızıl ötesi sıcaklık ölçüm cihazlarından alınan veriler ile takip edilerek kontrollü ısıtma uygulanmıştır. DP600, IF ve HSLA çelikleri ile gerçekleştirilen ılık deneylerde, derin çekme sınır oranlarında (LDR), oda sıcaklığında elde edilen değerlere göre %25,58 e kadar artış sağlanmıştır. Derin çekme işleminin ılık sıcaklık seviyesinde yapılması, malzemenin iç yapısında belirgin bir değişimin gerçekleşmesini önlenmiş, diğer bir deyişle malzeme özelliklerinin üst seviyede korunması sağlanmıştır. Zimba tarafından numuneye uygulanan kuvvet, zımbanın ilerleyişine, derin çekme yüksekliğine karşılık olacak şekilde kayıt edilmiştir. Oda ve farklı sıcaklıklarda DP600, IF ve HSLA çeliklerinin malzeme karakterizasyonları, yapılan çekme testleri sonucunda elde edilmiştir. Ayrıca, derin çekme öncesi ve sonrasında iç yapı, sertlik ve geri yaylanma miktarlarındaki değişimler incelenmiştir..

Anahtar Kelimeler: Metal şekillendirme, Derin çekme, Ilık derin çekme.

GİRİŞ

Araç imalat endüstrisinde; hafif metallerin ve kompozit malzemelerin kullanılması ile toplam araç ağırlıklarının ve yakıt tüketimlerinin, azaltılması amaçlanmaktadır. Yüksek mukavemet çeliklerinin düşük kalınlıkta kullanılması araç ağırlıklarının azaltılmasına olan olumlu etkisine ek olarak araç emniyet gereklilikleri için de çözüm olmaktadır. Çelikler; fiyat/performansı ile rekabet gücü yüksek malzemelerdir. Araç imalat sanayisinin ihtiyaçlarını karşılayacak yeni tip çeliklerin geliştirilme çalışmalarına; gerek yapısal değişiklikler gerekse farklı alaşım malzemelerinin ilave edilmesi ile devam edilmektedir. Şekil 1 de yeni nesil çelik malzemeler özetlenerek gösterilmiştir. Düşük mukavemete sahip IF ve HSLA çelikleri, düşük alaşımlı yüksek uzama

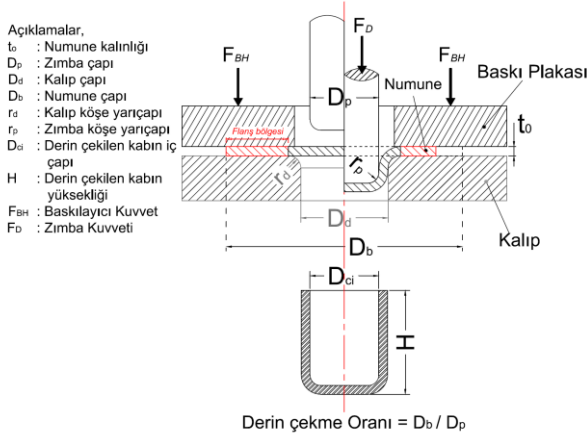
oranına sahip malzemelerdir. Yüksek ve çok yüksek mukavemete sahip çeliklerin özelliği ise yüksek dayanımlarına rağmen düşük uzama oranlarına sahip olmalarıdır. Bunlardan bazıları ise DP, TRIP ve Mart serisi sac çelik malzemelerdir.



Şekil 1. Çelik malzemelerin özellikleri

Düşük süneklığe sahip yüksek mukavemet çeliklerinin derin çekilerek oda sıcaklığında şekillendirilmeleri için yüksek baskı ve zımba kuvvetlerinin sağlandığı büyük kapasitede preslere ihtiyaç vardır. Yüksek kapasiteye sahip preslerin tasarım, üretim ve işletme maliyetleri yüksektir. Soğuk şekillendirilmiş parçalarda bazı önemli sorunlar mevcuttur. Bu sorunlardan bazıları, parçanın istenilen mukavemette olmaması, baskı sonrası oluşan yüksek kalıntı gerilimleri, malzeme geri yaylanmasından kaynaklanan şekil ve ölçü bozukluklarıdır.

Derin çekme işlemine ait temel terimler ve açıklamalar Şekil 2 de verilmiş olup buna göre (LDR, Limiting Drawing Ratio) derin çekme sınır oranı $LDR = D_b/D_p$ formülü ile tanımlanır.



Şekil 2. Derin çekme terimleri ve açıklamalar

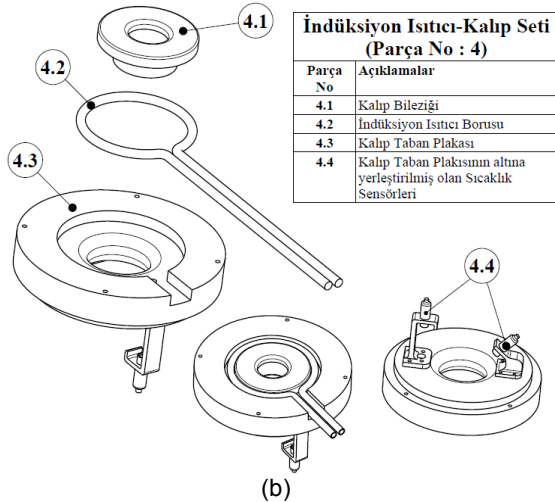
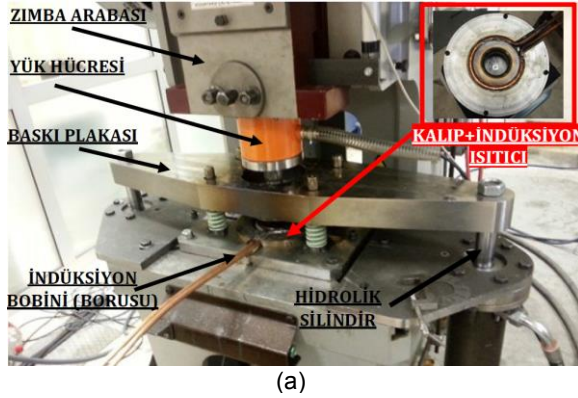
Yüksek sıcaklıklarda sac metal şekillendirmenin sağladığı avantajlar olan malzemenin süneklığının geliştirilmesi, şekillendirme kuvvetlerinde ve geri yaylanma oranlarında azalma buna bağlı olarak yatırımsal ve enerji sarfında meydana gelecek kazançlar Neugebauer ve arkadaşları [1] tarafından belirtilmiştir. Kleiner ve arkadaşları [2] bölgesel ısıtılan alüminyum sac malzemelerin şekillendirmesinde yüksek derin çekme oranlarına ulaşıldığı gösterilmiştir. Bölgesel ısıtmanın; alüminyum, titanyum ve yüksek mukavemete sahip çelik malzemelerin derin çekme oranına etkilerinin ayrıca araştırılması gerektiği vurgulanmıştır. Mori ve arkadaşları [3] elektrik direnci ile 800 °C' a kadar ısıttıkları kalıpta derin çekme deneyleri yapmışlardır. Isıtıcı elektrodların kalıba yerleşiminde meydana gelen sorunlardan dolayı numune eş sıcaklık dağılımı sağlanamamıştır. Ayrıca, derin çekilen parçalarda oksitlenme oluşumu gözlemlenmiştir. Bruschi ve arkadaşları [4] oda ve yüksek sıcaklıklarda malzeme modellemesi ve test yöntemleri konularında geniş bir değerlendirmede bulunmuşlardır. Kaya ve arkadaşları [5]; kalınlıkları 1,2 – 1,3 mm arasında, Al 5754-O, Al 5052-H32, ve Mg AZ31-O, Alüminyum ve Mağnezyum alaşım

malzemelerini kullanarak eş sıcaklık dağılımsız derin çekme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Kalıp ve baskı plakasını, elektrik kartuş ısıtıcılar ile 310 °C' a kadar ısıtıp, oda sıcaklığında zımba kullanarak yaptıkları deneylerin sonucunda sınır oranlarında artış sağlamışlardır. Yoshihara ve arkadaşları [6] yaptıkları çalışmada bölgesel ısıtma ve soğutma uygulayarak Mağnezyum alaşımlarının derin çekme sınırının geliştirilmesinde başarılı sonuçlar almışlardır. Aynı çalışmanın sonuçları, baskı kuvvetinin kontrollü olarak uygulanmasının, derin çekme sınır oranına olumlu etkisinin olduğunu göstermiştir. Gelin ve arkadaşları [7] ise yüksek sıcaklıklarda visko plastik davranış modellemesini, ılık sıcaklıkta sac metal şekillendirme işleminin sayısal analizinde kullanmışlar, elde ettikleri sayısal analiz sonuçlarını deneysel sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Shipton ve arkadaşları [8] Titanyum (IMI 125) ve Titanyum bakır alaşım (IMI 230) malzemelerinde sıcaklığın anizotropiye olan etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında, işlem sıcaklığının artırılması ile derin çekilen parçalarda anizotropiden kaynaklanan kulak sayılarında ve kulak yüksekliklerinde azalma meydana geldiğini gözlemlenmişlerdir. Ayrıca, yüksek derin çekme oranlarına, ısıtılmış kalıp ve soğuk zımba kullanılarak ulaşıldığı belirtilmiştir. Takuda ve arkadaşları [9] ılık sıcaklık seviyesinde yapılan derin çekme işleminin derin çekme sınır oranına olan olumlu etkisini göstermişlerdir. 304 paslanmaz çelik malzeme kullanarak yaptıkları derin çekme deney sonuçlarını sayısal analiz sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Derin çekme sınırında en büyük artış 150 °C' in altındaki sıcaklıklarda soğuk zımba kullanarak yaptıkları deneylerde meydana gelmiştir. Doege ve arkadaşları [10]; deneylerde ticari Mağnezyum alaşım malzemelerinin derin çekme sınırlarının geliştirilmesini araştırmışlardır. Kalıp ve baskı plakasını birlikte ısıtırak yaptıkları derin çekme deney sonuçları; flanş bölgesini hedefleyen ön ısıtmanın derin çekme sınır oranının geliştirilmesine olumlu etkisinin olduğunu göstermiştir. Moon ve arkadaşları [11] sıcaklık kontrollü derin çekme yöntemini uygulayarak, Al-1050 malzemesinin derin çekilme sınırının geliştirilmesini deneysel olarak araştırmışlardır. Isıtılmış numunenin sürekli soğutulan zımba ile çekilmesi, çekilen numunenin yan yüzeylerinde oluşan gerilmeyi azaltarak derin çekme sınır oranında artış meydana geldiğini belirtmişlerdir. Sıcak derin çekilerek şekillendirmede lazer ile ısıtmanın zımba kuvvetinde %25 e kadar azalma meydana getirdiği D. Schuöcker [12] tarafından bildirilmiştir. Önerilen lazer ile ısıtmanın, düşük şekillendirilme kabiliyetine sahip malzemelerin şekillendirilmesinde uygulanabilecek bir yöntem olduğu fakat konu hakkında daha çok araştırma yapılması gerektiği ayrıca bildirilmiştir. Ota ve

arkadaşları [13] yaptıkları sayısal analizlerde sıcak derin çekilmekte olan malzemenin yırtılma potansiyeli yüksek bölgelerinin soğutulduğu model kullanmışlardır. Önerilen model ile yapılan sayısal analiz sonuçları, eş değer sıcaklık dağılımına sahip benzer analiz sonuçlarına göre şekillendirme sınır derinliklerinde % 71 e ulaşan gelişme elde etmişlerdir. El-Morsy ve arkadaşları [14] alaşım Magnezyum AZ31' in sıcak derin şekillendirme sınır oranının geliştirilmesini yaptıkları sonlu elemanlar analizleri ile araştırmışlardır. Sayısal analiz sonuçları, kalıp ve baskılayıcı plakanın 300 °C sıcaklığında zımbanın ise oda sıcaklığında uygulanması, AZ31 malzemesinin derin çekme sınır oranını artırdığını göstermiştir. Bölgesel ısıtmanın önemi, Kopp, R. [15] tarafından hazırlanan “Metal şekillendirme teknolojisinde gelişme sağlayacak eğilimler” başlıklı makalesinde sunulmuştur.

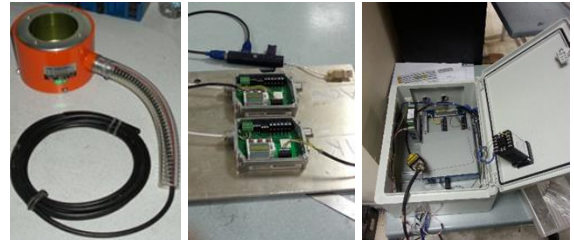
DENEY DÜZENEGİ

Yüksek mukavemet çeliklerinin derin çekme deneyleri için bir mekanik pres gerekli ekipmanlar, ölçüm cihazları ve sistemler ile donatılarak geliştirilmiştir. Şekil 3 (a) da geliştirilen deney düzeneği pres ile birlikte gösterilmiştir.



Şekil 3. (a) Deney düzeneği genel, (b) İndüksiyon ısıtıcı-kalıp seti ve sıcaklık sensörleri

Deney düzeneğinde kullanılan presin kapasitesi 800 kN olup 1 MN kapasitesinde yük hücresi ile donatılmıştır. Baskı kuvveti, iki adet eş-simetrik hidrolik silindir tarafından tahriklenen baskı plakası ile numuneye uygulanır. Pres arabasına yük hücresi, yük hücresine de zımbanın bağlanması ile pres tarafından derin çekilen numuneye uygulanan kuvvet verileri kayıt altına alınmıştır. Zimba, kalıp ve kalıp bileziği krom, molibden ve vanadyumdan oluşan alaşım soğuk iş takım çeliğinden imal edilmiştir.



Şekil 4. Deney düzeneği ölçüm cihazları; (a) TML merkez bölgesi boşluklu tip baskı algılayıcı yük hücresi, KCE - 1MNA (b) OPRIS CT Lazer (OPTCT3MH1CF3) sıcaklık sensörleri (c) National Instrument NI USB - 6259 M Series DAQ Device; BNC Veri kayıt cihazı

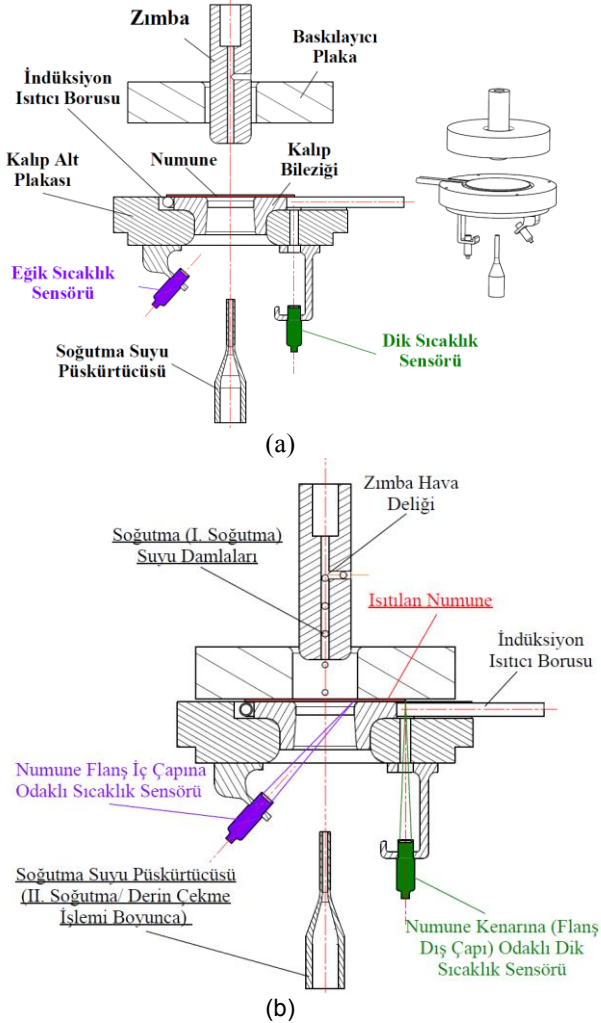
İki adet OPRIS CT Lazer (OPTCT3MH1CF3) sıcaklık sensörü ve TML marka KCE-1 MN model numaralı yük hücresinin yaptığı ölçümler, veri sinyalleri olarak NI USB - 6259 M serisi veri toplama cihazına gönderilmiştir. Taşınabilir bir bilgisayara yüklenen ticari yazılım aracılığıyla sensör okumaları görüntülenmiş ve kayıt edilmiştir. Sıcaklık sensörleri kalıp plakasının alt yüzeyine odaklanma geometrisi gözetilerek en uygun konumda sabitlenmiştir. Yüzeye dik pozisyonda yerleştirilen sensör, flanş dış çap bölge sıcaklığını; diğeri ise açılı konumlandırılarak iç çap bölge sıcaklığını derin çekme süresince ölçmüştür. Derin çekme deneylerinde kullanılan kalıp ve zimba geometrisi Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. Zimba ve kalıp geometrisi

Numune Kalınlıkları	d_{Zimba}	$d_{Kalıp}$	$r_{Kalıp Köşe} = r_{Zimba Köşe}$
$t_0=0,8 \text{ mm}$	43,00 mm	45,00 mm	4,00 mm
$t_0=1,2 \text{ mm}$	42,12 mm	45,00 mm	6,12 mm
$t_0=1,5 \text{ mm}$	40,89 mm	44,63 mm	8,13 mm
$t_0=1,57 \text{ mm}$			

Numune çapında bükülen indüksiyon bobinin (Şekil 3 (b) Parça No: 4.2) elektrik yalıtımı, dış yüzeyine sarılan yumuşak mika ile yapılmış olup; kalıp taban plakasının içine kalıp bileziği ile sınırlandırılacak (Şekil 3 (b)) şekilde yerleştirilmiştir. Isıtılan numunenin flanş bölgesi

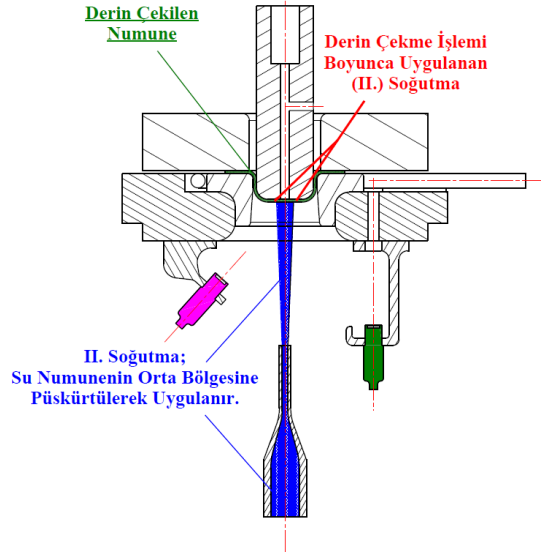
sıcaklık ölçümü, kalıp taban plakasının altına sabitlenmiş ve iki farklı noktaya odaklı, kızılötesi sıcaklık sensörleri (bakınız Şekil 5 (a)) ile yapılmıştır. Zımbanın ortasına açılan hava giriş deliği (bakınız Şekil 5 (b)), ısıtma işleminde parçanın merkezine su damlatılarak soğutulması amacıyla da kullanılmıştır. Isıtılmakta olan parçaya kısmi soğutma uygulanmasının amacı flanş bölgesinde istenilen sıcaklık dağılımını oluşturmak içindir.



Şekil 4. (a) Zınba, baskı ve kalıp sistemi detay gösterimi (b) Ön ısıtma-soğutma uygulaması

Bu deneysel çalışma; temel olarak yüksek mukavemet, DP600, HSLA ve IF çeliklerinin bölgesel ısıtma ile derin çekme sınır oranının artırılmasının sağlanacağı yeni bir uygulama yönteminin geliştirilmesine odaklıdır. Geliştirilen uygulama yöntemi şöyle açıklanabilir; derin çekilecek numunenin her iki yüzeyi sürtünmenin olumsuz etkilerini azaltmak için flanş bölgesi ile sınırlı olmak üzere grafit ya da grafit+teflon ile yağlanır, numune daha sonra kalıp bileziğinin üzerine uygun pozisyonda yerleştirilir. Kalıbın üzerine yerleştirilen numuneye baskı kuvveti

hidrolik pistonların tahrik ettiği baskı plakası tarafından uygulanır. Numune baskı kuvvetinin etkisi altında ısıtılır, çünkü sıcaklık artışı malzemede mevcut kalıntı gerilmelerini etkinleştirerek parçanın şekil değiştirmesine (Distortion) ve kalıp üzerindeki konumunun değişmesine neden olur. Derin çekme öncesi istenmeyen bu değişikliklerin önlenmesi için test numunesi baskı kuvvetinin etkisi altında ısıtılır. Derin çekme işleminde numunenin flanş bölgesinde yarıçap doğrultusunda oluşan baskı kuvvetlerinin büyüklüğü belirli bir değeri aştığında parçanın buruşmasına neden olur. Buruşmanın engellenmesi için parçanın flanş bölgesine baskı kuvveti uygulanır. Geliştirilen yöntemde baskı kuvveti, ısıtma ile uygulanmaya başlar ve derin çekme işleminin sonuçlanmasına kadar devam eder. Derin çekme işleminde numunede farklı tipte birçok deformasyon meydana gelmektedir. Deformasyonların kaynağı farklı gerilmelerdir. Çekilmekte olan numune yarıçap doğrultusunda baskı, bükülme, geri yönde bükülme, tek ve çift yönlü gerilmelere maruz kalır. Isıtma işleminin sonlandırılmasının ardından derin çekme işlemi soğuk zımbanın numuneye doğru hareketiyle başlar.



Şekil 6. Derin çekilmekte olan numuneye soğutma uygulaması

Soğuk zınba, derin çekilmekte olan sıcak numunenin kalıp içine doğru çekilen kısmının sıcaklığını, ilerleyişe paralel olarak iletim yolu ile ısı transferinin sonucunda sıcaklığında azalmaya neden olur. Sıcaklığı azalan numune bölgesinin mukavemeti artar, böylece yan yüzeylerde oluşan gerilmelerden kaynaklanan yırtılmalar önlenerek parçanın daha derin çekilmesi mümkün olur. Numunenin, çekilmekte olan kısmının mukavemetinin artırılması, yüksek oranlarda başarılı derin çekme yapılması için çok önemlidir. Geliştirilen yöntemde zımbanın soğuk olmasının yanında kalıbın alt tarafından kalıp içine doğru

çekilmekte olan parçanın taban merkez bölgesine su püskürtülerek soğutma hızı artırılır. Soğuk su püskürtülerek uygulanan soğutma işlemi soğuk zınbanın derin çekme için parçaya doğru hareketiyle başlar.

MALZEME KARAKTERİZASYONLARI

Araştırmaya esas olan malzeme, bir çift faz çeliği olan DP600 yüksek mukavemet çeliği olup özellikle araç imalat sanayisinde yaygın kullanımı olan bir çelik malzemedir. Tablo 1 de içeriğindeki alaşım oranları yüzde olarak gösterilmiştir. Araştırmada kullanılan malzeme kalınlıkları 0,8, 1,2 ve 1,6 mm dir.

Tablo 2. DP600 çeliğinin kimyasal analiz sonucu

Kimyasal Bileşenler* (%)					
Cr	0,808	Al	0,0468	Ni	0,0477
Mn	1,47	C	0,0833	Cu	0,0291
Co	0,0123	Si	0,366	Fe	97

*DP 600 malzemenin, düşük yüzdeliklerdeki diğer bileşenleri

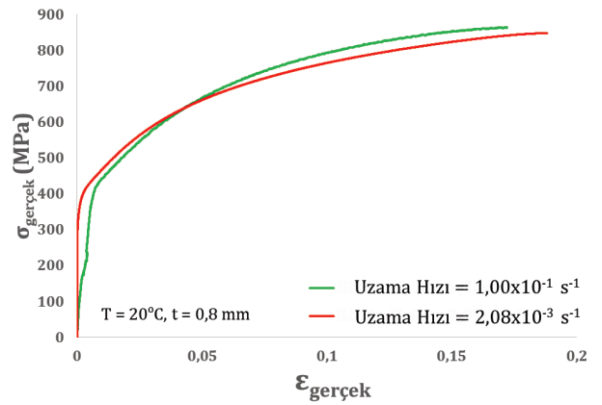
Pb, Sn, Mg, As, Zr, Bi, Ca, Ce, Se, La, Sb,
Ta, N, B, Zn, Te, Ti, Nb, Mo, W, S, V, P

Araştırmada kullanılan 7128 ve 7140 sınıfı yüksek mukavemet düşük alaşım çelikleri ve DC04 standart numaralı serbest arayer (IF) sınıfı tek faz çelikleri, geliştirilen derin çekme yönteminin doğruluğunun karşılaştırmasında kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan malzemelerin çekme testleri 300KN Zwick tek eksenli çekme test cihazında yapılmıştır. Ilık, 150-300 °C sıcaklık aralıklarında çekme testleri ise Şekil 7'de gösterilen Baehr deformasyon dilatometresinde yapılmıştır. Malzemelerin bütün kalınlıkları için oda ve ılık sıcaklıklarda akış eğrileri elde edilmiştir. Yapılan testler hadde yönünde, hadde yönüne dik ve 45° derece açılı yönde tekrarlanmış, malzemelerdeki anizotropi ayrıca araştırılmıştır. Farklı birim uzama hızlarında, 1×10^{-1} ve $2 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$, gerçekleştirilen testlerde ise şekillendirme hızının etkisi (Strain Rate Dependency) araştırılmıştır. DP600 malzemenin derin çekme öncesinde ve sonrasında farklı bölgelerinden alınan örnekler incelenerek içyapı (Microstructure) analizleri ve sertlik değerlerindeki değişiklikler araştırılmıştır.



Şekil 7. Baehr deformasyon dilatometresi ve test numunesi

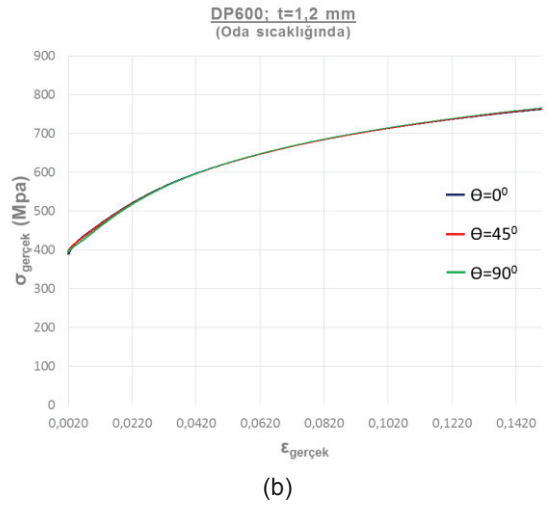
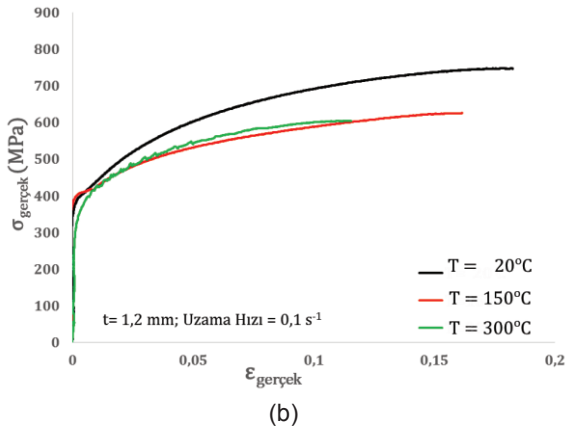
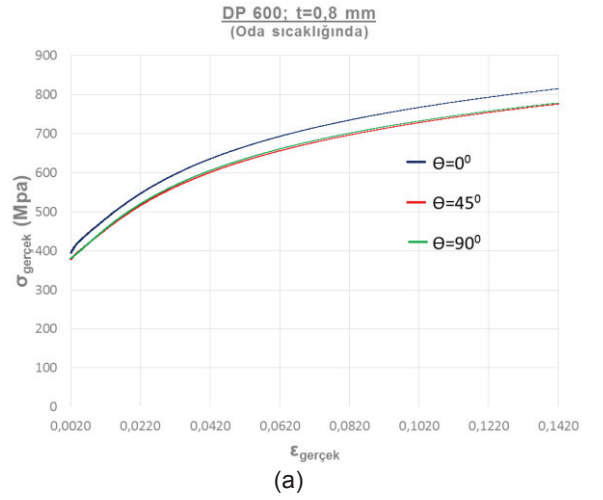
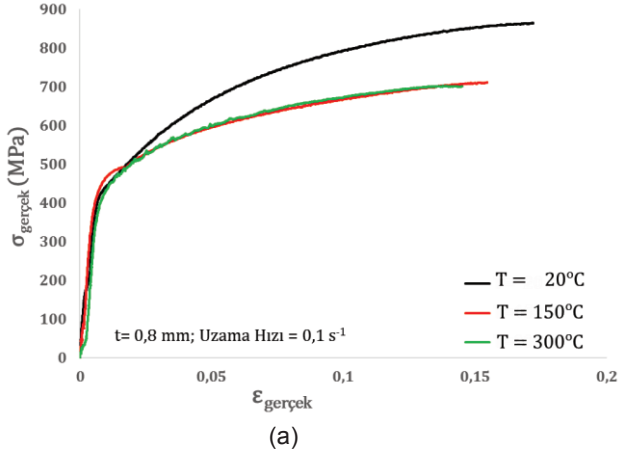
Malzeme karakterizasyonları için oda ve ılık sıcaklıklarda yapılan çekme testlerinde deformasyon hızı, derin çekme deneylerinin gerçekleştirildiği 80 ton kapasitesindeki eksantrik presin karakteristik hız eğrisi gözetilerek $0,1 \text{ s}^{-1}$ seçilmiştir. Şekil 8 de iki farklı birim uzama hızında, 0,8 mm kalınlığında DP600 çift faz çelik malzemenin çekme test sonuçları grafik olarak gösterilmiştir. Benzer sonuçlar diğer kalınlıklardaki DP600 çeliğinin test sonuçlarında elde edilmiştir. Şekil 8 den anlaşılacağı gibi farklı deformasyon hızlarında gerçekleştirilen çekme test sonuçları birbirine yakın akış grafikleri vermiştir. Derin çekme deneyleri, 80 ton kapasitesindeki eksantrik pres üzerinde kurulan düzenekte yapılmıştır. Deformasyon hızındaki değişim malzeme akma eğrisinde sınırlı oranda farklılık yaratmış olması ve derin çekme deneylerinin aynı düzenek kullanarak yapılma gerekliliğinden dolayı deformasyon hızındaki değişiminin etkileri detaylı olarak incelenmemiştir.



Şekil 8. DP600 çeliği için, deformasyon hızındaki değişimin akma eğrisine olan etkisi

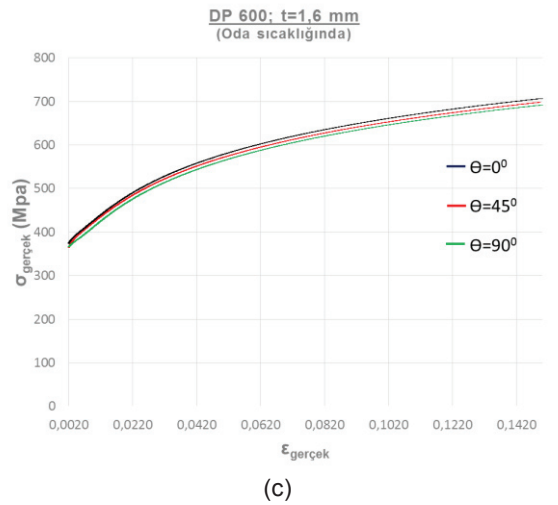
Ayrıca, derin çekme boyunca malzeme farklı deformasyon hızlarında şekillendirilir, bir başka söyleyiş ile malzemenin her noktası zamana bağlı farklı deformasyon hızlarında değişime uğrar. Bu çalışma için deformasyon hızının ortalama $1 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$ yakın bir değerde olduğu söylenebilir.

Sıcaklığın DP600 sac çelik malzemenin akış eğrilerine olan etkisi incelenmiş, oda, 150 ve 300 °C sıcaklıklarında yapılan çekme test sonuçları, Şekil 9 (a) ve (b) verilmiştir. Benzer test verileri $t=1,6 \text{ mm}$ için de bulunmuştur. Bu sonuçlara göre; DP600 çeliğinin akma dayanımında, ılık sıcaklık seviyesinde, 150 ve 300 °C, önemli bir azalma meydana geldiği belirlenmiştir.



Şekil 9. Farklı sıcaklıklarda DP600 çift faz çeliğinin akış eğrileri (a) t=0,8 mm (b) t=1,2 mm

DP600 çeliğinin hadde yönü, hadde yönüne dik ve 45° derece açı yönünde farklı kalınlıkları için oda sıcaklığında yapılan çekme testlerinin sonuç grafikleri Şekil 10' da verilmiştir. Farklı üç yönde yapılan çekme test sonuçları 1,2 mm için aynı 1,6 mm için ise çok yakındır. Kalınlığı 0,8 mm olan malzemede hadde yönünde diğer iki yöndeki değerlerine göre daha yüksek değerlerde akma eğrisine sahiptir. Şekil 11 te görüldüğü gibi oda sıcaklığında derin çekilen parçalarda, anizotropinin göstergesi olan kulak şekillenmesi oluşmamış olup 1,6 kalınlıkta DP600 çeliğinde ise dört adet, az bir yükseklikte oluşmuştur. Bununla beraber derin çekme sıcaklığının artması ile beraber kulak oluşumları meydana gelmiştir. Oluşan kulak sayısı dördü geçmemiş fakat sıcaklığın ve numune çapının artması ile beraber kulak yükseklikleri de artmıştır. Kulaksız derin çekme işlemi gerçekleşmesi için numunenin flanş bölgesine uygulanan baskı kuvvetinin ve uygulama yöntemi başta olmak üzere, deformasyon hızı, sıcaklık ve ısıtma konularında yeni araştırmaların yapılması gerekmektedir.



Şekil 10. DP600 çeliğinin hadde yönü, hadde yönüne dik ve 45° dereceli açı yönündeki akma grafikleri; 0,1 s⁻¹. (a) t=0,8 mm (b) t=1,2 mm (c) t=1,6 mm

SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

DP600, HSLA ve IF çelikleri ile yapılan derin çekme deneylerinin sonuçları, kalınlık, derin çekme sınır oranı, uygulama sıcaklığı ve uygulanan yağlayıcı bilgileri ile birlikte Tablo 4 te özetlenerek verilmiştir. Oda sıcaklığında yapılan deneylerde Grafit yağlayıcı kullanılmıştır., Flanş bölgesinin sıcaklığı 275- 180 °C ılık sıcaklık aralığında gerçekleştirilen deneylerde önce tek yağlayıcı grafit, daha sonra karışık yağlayıcı grafit ve Teflon (PTFE) birlikte kullanılmıştır. Deney sonuçları ılık sıcaklık seviyesinde grafit ve Teflon nun birlikte kullanıldığı karışık tip yağlamanın derin çekme sınır oranını artırılmasına olumlu etkisinin olduğunu göstermiştir. Bunun nedeninin; kullanılan kağıt formundaki Teflonun ısı yalıtımı sağlayarak flanş bölgesinde ısının kalınlık yönünde dengeli dağılmasını,

sonucunda da malzemenin akma dayanımında belirgin bir azalmanın sağlandığı böylece derin çekilme işleminde flanş bölgesindeki malzemenin akışına karşı oluşan direncin zayıfladığı düşünülmektedir. Benzer etkiler diğer deney malzemeleri olan HSLA ve IF çelikleri ile yapılan derin çekme deneylerinde de gözlemlenmiştir.

Yapılan bu deneysel çalışmanın sonuçları özet olarak Tablo 3 te verilmiştir. Derin çekme sınır oranında, oda sıcaklığında elde edilen değerlere göre en yüksek oranda artış 25,58 % ile 1,2 mm kalınlığındaki DP600 çeliğinde olmuştur. DP600 malzemelerin bütün kalınlıklarında derin çekme sınır oranlarında artış diğer HSLA ve IF çeliklerine oranla daha yüksek olmuştur. Geliştirilen yöntemin sanayi uygulamasında, parçaların daha az aşamada derin çekilerek üretimleri sağlanabilecektir.

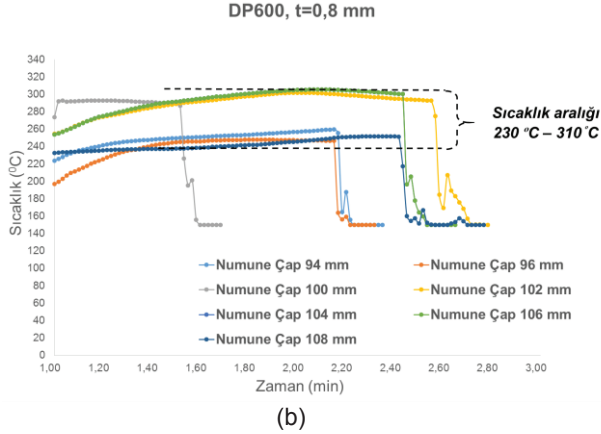
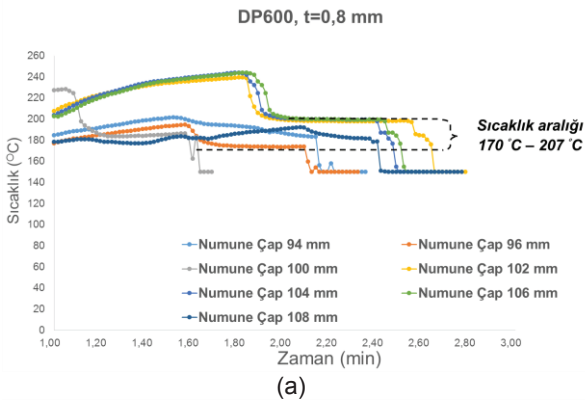
Tablo 3. DP600, HSLA ve IF çeliklerine ait derin çekme sınır oranları

Malzeme		AHSS (DP600)		HSLA (Erd 7128)		HSLA (Erd 7140)		IF (DC04)	
Yağlayıcı	Sıcaklık	D _{Numune}	DÇSO*	D _{Numune}	DÇSO*	D _{Numune}	DÇSO*	D _{Numune}	DÇSO*
Kalınlık		t₀=0,8 mm		t₀=0,8 mm		t₀=0,8 mm		t₀=0,8 mm	
Grafit	Oda Sıcaklığı	90,0 mm	2,09					102,0 mm	2,37
Grafit	Ilık	107,0 mm	2,49					112,0 mm	2,60
Grafit + PTFE	Ilık	110,0 mm	2,56					114,0 mm	2,65
Yüzde Artış		22,22%						11,76%	
Kalınlık		t₀=1,2 mm		t₀=1,2 mm		t₀=1,2 mm		t₀=1,5 mm	
Grafit	Oda Sıcaklığı	86,0 mm	2,04	90,0 mm	2,14	90,0 mm	2,14	97,0 mm	2,30
Grafit	Ilık	100,0 mm	2,38	102,0 mm	2,42	96,0 mm	2,28	108,0 mm	2,57
Grafit + PTFE	Ilık	108,0 mm	2,57	110,0 mm	2,61	104,0 mm	2,47	116,0 mm	2,76
Yüzde Artış		25,58%		22,22%		15,56%		19,59%	
Kalınlık		t₀=1,6 mm		t₀=1,5 mm		t₀=1,5 mm		t₀=1,57 mm	
Grafit	Oda Sıcaklığı	88,0 mm	2,09	88,0 mm	2,15	88,0 mm	2,15	95,0 mm	2,32
Grafit	Ilık	98,0 mm	2,33	94,0 mm	2,30	92,0 mm	2,25	97,0 mm	2,37
Grafit + PTFE	Ilık	104,0 mm	2,47	106,0 mm	2,59	106,0 mm	2,59	116,0 mm	2,84
Yüzde Artış		18,18%		20,45%		20,45%		22,11%	

*DÇSO : Derin Çekme Sınır Oranı



Şekil 11. Oda ve ılık sıcaklıklarda derin çekilen numuneler



Şekil 11. DP600, t=0,8 mm çeliğine uygulanan ön ısıtma-soğutma sonucunda numunenin flanş bölgesinde oluşan sıcaklık değişimi (a) Flanş iç çap bölgesine ait sıcaklık grafiği (b) Flanş dış çap bölgesine ait sıcaklık grafiği

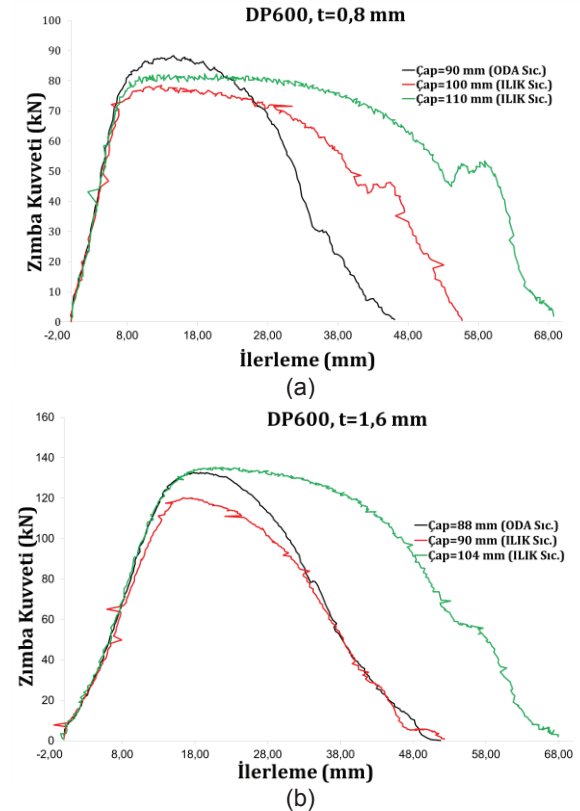
Uygulanan ısıtma-soğutma sonucunda flanş bölgesinin sıcaklığında meydana gelen değişim, sıcaklık sensörleri tarafından iki farklı noktadan yapılan okumalar ile kayıt edilmiştir. Flanş iç ve dış çap bölge sıcaklıkları sırayla açılı (Şekil 12 (a)) ve dik (Şekil 12 (b)) konumlandırılan sensörler tarafından ölçülmüştür. Şekil 12 (a) da görüleceği gibi numunenin sıcaklığında meydana gelen az miktardaki düşüşün nedeni; indüksiyon ile ısıtılmakta olan numunenin merkezine, zımbanın hava deliğinden soğutma amacıyla su damlatılmasıdır. Numune dış çap bölgesinin sıcaklığında meydana gelen küçük miktardaki azalmaların (Şekil 12 (b)) nedeni numunenin merkezine uygulanan soğutmanın iletilen bağıl etkisinden kaynaklanmaktadır. Flanş bölgesi sıcak değişimi istenilen değerlere ulaşınca derin çekme işlemi kalıbın alt tarafından numunenin merkezine doğru püskürtülerek uygulanan yoğun su soğutması ile eş zamanlı olarak başlar ve derin çekme işleminin sonlandırılmasına kadar devam eder. Çekme işlemi boyunca uygulanan bu yoğun su soğutmanın etkisi ile sıcaklık grafiklerinde ani düşüş meydana gelmiştir. Kullanılan sıcaklık sensörleri 150 °C altındaki sıcaklıklar için okuma yapmamaktadır. Derin çekme sınırının artırıldığı; araştırmada

kullanılan bütün malzemelere ait flanş sıcaklık aralıkları Tablo 4 te özetlenerek verilmiştir.

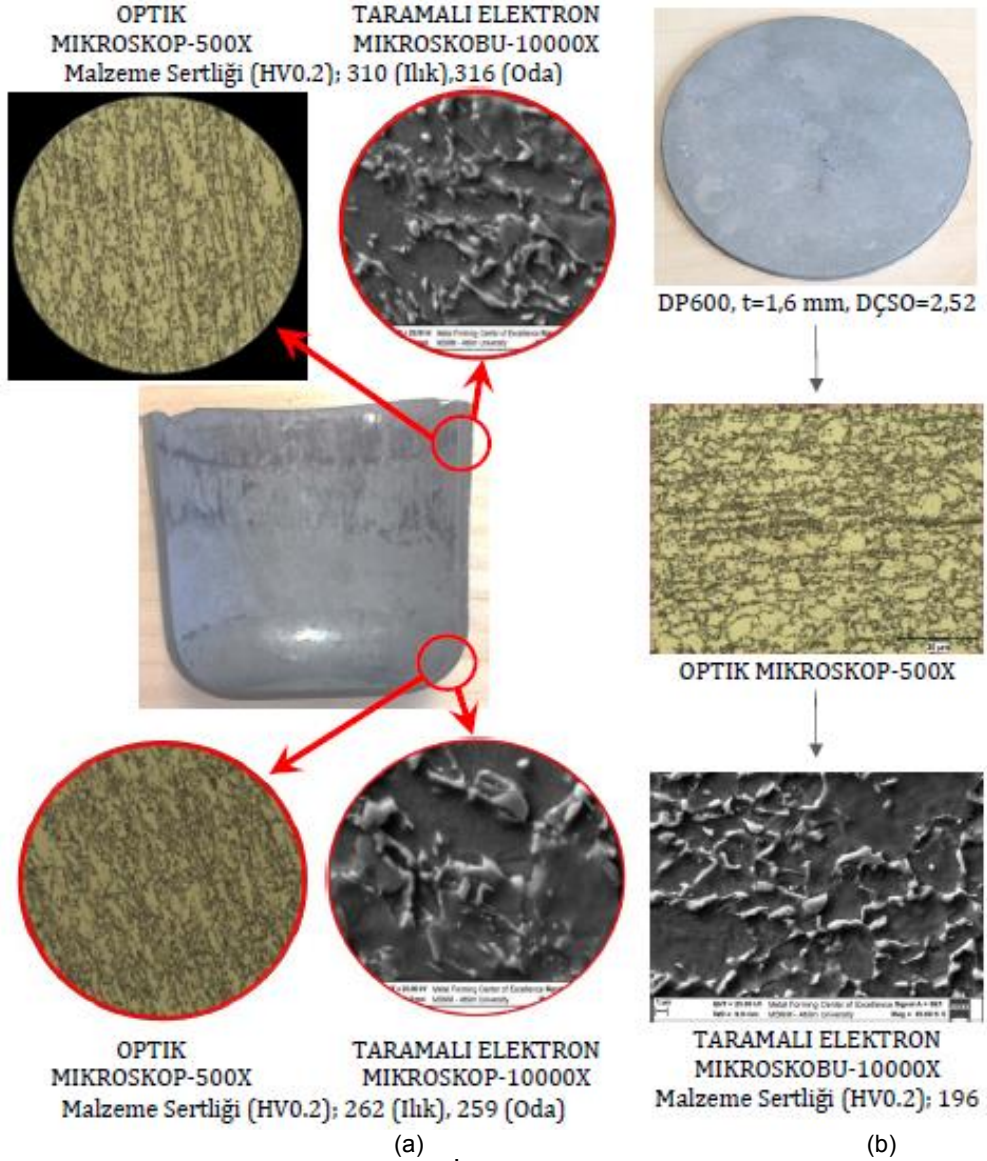
Tablo 4. DP600, HSLA ve IF çeliklerine ait derin çekme öncesi flanş bölgesi sıcaklık aralıkları

Malzeme Standardı	Kalınlıklar	Acılı konumlandırılan kızılötesi sıcaklık ölçer	Dik konumlandırılan kızılötesi sıcaklık ölçer
		Sıcaklık Aralığı	Sıcaklık Aralığı
DP600	0,80	170 - 207	230 - 310
	1,20	165 - 195	245 - 295
	1,60	180 - 225	220 - 300
ERD 7128	1,20	170 - 200	245 - 290
	1,50	175 - 210	235 - 295
ERD 7128	1,20	170 - 190	250 - 295
	1,50	165 - 190	220 - 275
DC04 (IF Steel)	0,80	165 - 195	215 - 305
	1,20	170 - 195	250 - 290
	1,57	160 - 195	235 - 278

0,8 ve 1,6 mm kalınlıklarında DP600 çelikleri için zımba tarafından numuneye uygulanan derin çekme kuvvet ölçümleri Şekil 11b' de verilmiştir. Ölçümler zımbaya bağlı yük hücresi tarafından yapılmıştır. Benzer sonuçlar diğer malzemeler ile yapılan deneylerde de elde edilmiştir. Derin çekme işleminde numunenin sıcaklığındaki artış, zımba tarafından uygulanan kuvvetin azalmasını sağlar. Oda ve ılık sıcaklık seviyesinde gerçekleştirilen deneylerde; derin çekme oranının artması ile şekillendirme kuvvetinin yükseldiği gözlemlenmiştir.



Şekil 13. DP600 çeliğinin, oda ve ılık derin çekme işlemlerinde zımba tarafından uygulanan kuvvet grafikleri (a)t=0,8 mm (b)t=1,6 mm



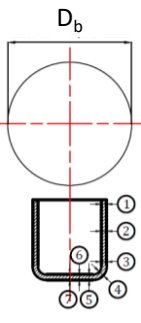
Şekil 14. DP600 çeliğinin, DP600 Çeliğinin iç yapı görüntü analizleri ve bölgesel sertlik değerleri

İlk sıcaklık seviyesinde başarılı bir şekilde derin çekilen 1,6 mm kalınlığında DP600 çeliğinde meydana gelen mikro içyapı değişimleri optik mikroskop ve taramalı electron mikroskobundan elde edilen görüntüler kullanılarak incelenmiştir. Şekil 14 (b) de derin çekilmek için hazırlanan numunenin 500 kat büyütülen optik mikroskop görüntüsü ve 10.000 kat büyütülen taramalı electron mikroskobu görüntüleri, ölçülen mikro viker sertlik (HV_{0,2}) değeri 196 ile birlikte verilmiştir. Şekil 14 (a) da ise derin çekilmiş numunenin en çok deformasyona uğrayan bölgesinin analizleri benzer şekilde yapılarak bölgesel sertlik değerleri ile birlikte belirtilmiştir. Mikro Vickers sertlik ölçüm sonuçları; ılık derin çekilen parçanın taban kenar bölgesinde (196 dan 262 ye) sertliğin arttığını, daha büyük artışın ise (196 dan 310 a) derin çekilen parçanın ağzına yakın bir başka söyleyiş ile flanşın çekilen son

bölgesinde meydana geldiğini göstermektedir. Benzer karşılaştırma oda sıcaklığında derin çekilen parçanın taban kenar bölgesinde (196 dan 259 a) sertliğinin arttığını, daha büyük artışın ise (196 dan 316 ya) parçanın ağız bölgesinde meydana gelmiştir. Derin çekme sınırında ılık yapılan uygulamanın, oda sıcaklığında yapılan uygulamaya göre 18% in üzerinde artış meydana gelmiş olmasına rağmen sertlik değerlerindeki artış miktarının aynı olduğu görülmüştür. Ayrıca, optik mikro içyapı görüntüleri karşılaştırıldığında belirgin bir değişimin meydana gelmediği gözlemlenmiştir. Derin çekilmek üzere hazırlanan numune % 26 martensitik ve % 74 ferritik içyapı oluşumları tespit edilmiş, derin çekme sonrasında bu yapılarda meydana gelen değişim \pm %2,3 gibi sınırlı bir oranda kalmıştır. İlık derin çekilen parçanın iç malzeme yapı değişimlerinin sınırlı seviyede gerçekleşmiş olmasının nedeninin

kalcı şekil değiştirmenin tahmin edilebilecek etkilerinden olup sıcaklık artışından kaynaklanmamaktadır. Derin çekilen parçanın kalınlığındaki değişim Tablo 5 te verilmiştir. Farklı sıcaklık ve yağlayıcı kullanarak derin çekilerek elde edilmiş kapların ağız bölgesinin kalınlığının arttığı diğer bütün bölgelerde azaldığı görülmüştür. Kalınlıkta olan azalma oranı uygulanan her üç durum için birbirine yakın sonuçlar vermiştir. Bu sonuçlar derin çekme sınır oranının artırılması için ısıtmanın önemini ve ısıtmanın flanş bölgesi ile sınırlı olması gerekliliğini göstermiştir.

Tablo 5. DP600 1,6 mm, derin çekilen parçanın kalınlığının değişimi

DP 600, t=1,6 mm				
D _b	Bölge No	D _b		
		88,0	98,0	104,0
		Ölçümler		
		Oda (grafit)	Ilık (Grafit)	Ilık (Grafit+PTFE)
	1	2,03	2,11	1,87
	2	1,66	1,61	1,58
	3	1,54	1,52	1,49
	4	1,26	1,30	1,34
	5	1,37	1,34	1,44
	6	1,40	1,45	1,37
	7	1,43	1,42	1,43

SONUÇLAR

Ilık sıcaklık seviyesinde numune flanş bölgesi ısıtılarak derin çekme yöntemi DP600, HSLA ve IF çeliklerine uygulanmıştır. Derin çekme öncesinde test parçasının flanş bölgesinde 275- 180⁰ C aralığında sıcaklık değişimi elde etmek için numune indüksiyon ile ısıtılmış, gereğinde de merkezine zımba deliğinden su damlatılmıştır. Geliştirilen yöntem ile derin çekme sınır oranında % 25,58' e varan artış sağlanmıştır. Bahr deformasyon dilatometresi ile 150- 300⁰ C sıcaklıklarında çekme deneyleri yapılarak malzeme karakteristikleri bulunmuştur. Araştırmanın diğer sonuçları ise numunenin sıcaklığının artırılması ile uygulanan zımba kuvveti azalmış, numunenin ılık sıcaklık seviyesinde ısıtılmış olmasından dolayı malzeme içyapısında belirgin bir değişim gerçekleşmemiş, yapılan sertlik ve kalınlık ölçümlerinde kabın taban bölgesine yakın bölgelerde birbirine yakın, ağız bölgesinde ise sınırlı oranda farklılık tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde derin çekmenin gerçekleştiği flanş bölgesinin akma dayanımı işlem öncesinde ılık seviyede ısıtılmak suretiyle düşürülmelidir. Ayrıca, derin çekilmekte olan numunenin kalıbın içine çekilen kısmının süratle soğutulması oluşan gerilmelere karşı dayanımı artırılmalıdır. Derin çekilen parçalarda gözlemlenen en yaygın hata kabın taban radyus ve/veya yan yüzey bölgelerinde

meydana gelen yırtılma ile derin çekme işleminin tamamlanmamış olmasıdır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu tarafından 111M448 numaralı ve Atılım üniversitesi tarafından ATÜ-BAP-1011-13 numaralı projelerle ile sağlanan finansal destek, ATILIM Üniversitesi, Metal Şekillendirme Mükemmeliyet Merkezi'ne ve çalışanlarına, deneylerin yapılması için sağlanan olanaklar için teşekkür ederler

KAYNAKÇA

1. Neugebauer, R., Altan, T., Geiger, M., Kleiner, M., Sterzing, A., 2006, Sheet metal forming at elevated temperatures, Annals of the CIRP, 55/2: 793-816
2. Kleiner, M., Geiger, M., Klaus, A., 2003, Manufacturing of Lightweight Components by Metal Forming, Annals of the CIRP, 52/2: 521-542
3. Mori, K. Maki, S., Tanaka, Y., 2005, Warm and Hot Stamping of Ultra High Tensile Strength Steel Sheets Using Resistance Heating, Annals of the CIRP, 54/1: 209-212
4. Bruschi, S., Altan, T., Banabic, D., Bariani, P.F., Brosius, A., Cao, J., Ghiotti, A., Khraisheh, M., Merklein, M., Tekkaya, A.E., 2014, Testing and modelling of material behaviour and formability in sheet metal forming., Annals of the CIRP, 63/2: 727-749
5. Kaya, S., Spampinato, G., Altan, T., 2008, An Experimental Study on Nonisothermal Deep Drawing Process Using Aluminium and Magnesium Alloys, Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2008, 130 / 061001-1: 061001-11
6. Yoshihara, S., Nishimura, H., Yamamoto, H., Manabe, K., 2003, Formability enhancement in magnesium alloy stamping using a local heating and cooling technique: circular cup deep drawing process, Journal of Materials Processing Technology, 142: 609-613
7. Gelin, J.C., Moisan, A., 1986, Application of a Thermo-Viscoplastic Model to the Analysis of Defects in Warm Forming Conditions, Annals of the CIRP, 35/1:157-160
8. Shipton MH, Roberts WT., 1991, Hot deep drawing of titanium sheet. Materials Science and Technology Volume 7, Issue 6 pp. 537-540
9. Takuda H, Mori K, Masachika T, Yamazaki E, Y Watanabe, 2003, Finite element analysis of the formability of an austenitic stainless steel sheet in warm deep drawing. Journal of

- Materials Processing Technology, Volumes 143–144, 20, Pages 242–248
10. Doege E, Kurz G, Gong R L, 2001, Development of a formulation to describe the work softening behaviour of magnesium sheets for heated deep drawing processes. CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 50, Issue 1, 2001, Pages 177–180
 11. Moon YH, Kang YK, Park JW, Gong SR, 2001, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 41, Issue 9, July 2001, Pages 1283–1294
 12. Schuöcker D, 22 August 2001, Mathematical modeling of laser-assisted deep drawing, Journal of Materials Processing Technology, Volume 115, Issue 1, Pages 104–107.
 13. Ota, E. , Yogo, Y., Iwata, T., et al., 2014, Formability improvement technique for heated sheet metal forming by partial cooling, Key Engineering Materials, Volume 622-623, 2014, Pages 279-283
 14. El-Morsy, A.-W. , Manabe, K.-I., July 2006, Finite element analysis of magnesium AZ31 alloy sheet in warm deep-drawing process considering heat transfer effect, Materials Letters, Volume 60, Issue 15, Pages 1866-1870
 15. Kop, R., 15 June 1996, Proceedings of the 6th International Conference on Metal Forming, Some current development trends in metal-forming technology, Journal of Materials Processing Technology, Volume 60, Issues 1–4, Pages 1–9.

Hakan Kalkan
M.Sc.

ATILIM Üniversitesi
İmalat Mühendisliği Bölümü
Ankara

Tuğçe Hacaloğlu
M.Sc.

ATILIM Üniversitesi
Metal Şekillendirme Mükemmeliyet Merkezi
Ankara

Bilgin Kaftanoğlu
Prof. Dr.

ATILIM Üniversitesi
İmalat Mühendisliği Bölümü ve
Metal Şekillendirme Mükemmeliyet Merkezi
Ankara

Sac Şekillendirme İşleminde Sürtünmenin İncelenmesi

Derin çekme işleminde sürtünme, baskı plakası-sac metal-kalıp yüzeyleri arasında "radyal çekme bölgesinde" ve zimba-sac metal arasında "gerdirme bölgesinde" bölgelerinde gerçekleşmektedir. Bu bölgelerde oluşan sürtünme katsayısı, zimba kuvveti değerleri ve optik tarayıcıdan elde edilen genleme dağılımları kullanılarak iki yöntemle hesaplanmıştır. Bu hesaplama yöntemleri hem oda sıcaklığında hem de yüksek sıcaklıklarda kullanılabilir. Elde edilen sürtünme katsayısı değerleri diğer yöntemlerden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Konunun incelenmesi, elde edilecek sonuçların sürecin teorik modellenmesinde kullanımı ve kullanılan yağlayıcı maddelerin değerlendirilmesi açılarından da oldukça önemlidir.

Anahtar Kelimeler: Sürtünme, Derin Çekme, Triboloji

1. GİRİŞ

Sac metal şekillendirme işlemlerinde sürtünme, şekillendirme esnasında malzeme akışını ve ürün kalitesini etkileyen önemli süreç parametrelerindedir. Sürtünmenin büyüklüğünü bilmek bir çok nedenden dolayı önemlidir. İşlem esnasında gerekli olacak kuvvet ve enerji gereksinimleri, takımlardaki aşınmalar gibi önemli konular ancak sürtünmenin bilinmesiyle tahmin edilebilir.

Şekillendirme süreçlerinin optimizasyonunda ve geliştirilmesinde sonlu elamanlar yöntemi temelli nümerik simülasyonların kullanımı gün geçtikçe gelişerek artmaktadır. Böylece sanal imalatla zaman, maliyet gibi parametreler azaltılarak önemli fayda sağlanmaktadır.

Sac metal şekillendirme simülasyonlarının sonuçlarının verimliliği birkaç parametrenin doğru modellenmesi ile ilgilidir. Bunlardan en önemli olanları malzeme karakterizasyonu, malzeme akma kuralları, kontak koşullarının tanımlanması ve sürtünme koşullarının modellenmesidir. Bu çalışma ile sac metallerin şekillendirilmesinde oluşan sürtünme gerçekte olana en yakın olarak bulunması amaçlanmaktadır. Deformasyon esnasında oluşan sürtünmeyi modellemek oldukça zor bir konudur ve bu nedenle şimdiye kadar yapılan çalışmalar gerçek

süreç koşullarında yapılamadığından ve varsayımlara dayandığından alınan sonuçlar yetersiz kalmıştır.

Bu çalışmanın amacı, sac metal şekillendirme işlemlerinde verimliliği arttırmak için genleme dağılımı ve zimba kuvveti gibi deneysel verilerin kullanıldığı yeni bir sürtünme katsayısı hesaplama yöntemi geliştirmektir. Yüzey pürüzlülüğü değerleri, yüzey karakterizasyonunun belirlenmesinde yardımcı olabilir. Geliştirilen yöntem ile yağlayıcıların ve sıcaklığın etkisi de araştırılabilir.

Sac metal şekillendirme işlemlerinde sürtünmeyi inceleyen ve bu çalışmanın temeli olan daha önceki bir çalışmada, sürtünme katsayısı hesaplamaları doğrusal olmayan ekstrapolasyon ve manuel genleme ölçümleri ile hesaplanmıştır. Sadece oda sıcaklığında yapılan bu testlerde elde edilen sonuçların hata oranı ölçümlerin hassasiyeti nedeniyle daha yüksekti [1].

Geçmiş yıllardaki çalışmalarda "şerit çekme testi (strip draw test)" gibi testler yağlayıcı etkisini araştırmak için kullanılmıştır. Bu çalışmalarda su bazlı yağlayıcılar, petrol bazlı yağlayıcılardan daha iyi etki göstermiş ve diğer koşullar değişmeden baskı plakası kuvvetinin artmasına karşın sürtünme katsayısının düştüğü görülmüştür, [2].

Bir diğer çalışmada sürtünme katsayısı değerleri yüksek sıcaklıkta ve yağlayıcı ortamda hesaplanmıştır. Çalışmanın sonucunda yağlayıcı

kullanımının şekillendirme kuvvetinin ve kalıp aşınmasının azalmasını sağladığı görülmüştür, [3]. “şerit çekme testi ” den elde edilen sürtünme katsayısı değerleri sac metal şekillendirme işlemlerinde yağlayıcının önemini göstermek içinde kullanılmıştır, [4].

Yüzey koşulları da sürtünme katsayısını etkileyen unsurlardandır. Bu etkiyi inceleyen bir çalışmada, sac metalin şekillendirme esnasında oluşan deformasyona bağlı olarak yüzey parametreleri 3 boyutlu ölçümler ile elde edilmiştir, [5]. Diğer bir çalışmada kalıpların yüzey topografyası ve sürtünme arasındaki ilişki incelenerek sürtünme ile yüzey karakterizasyonu parametreleri elde edilmiştir.

Bu testlerden elde edilen sonuçlar sonlu elemanlar yönetimi temelli simülasyonlar da kullanılmıştır. Bu simülasyonların elde edilmesinde sürtünmenin önemi ve simülasyonların sac metal şekillendirme sanayi için önemi vurgulanmıştır, [7].

2. TEORİ

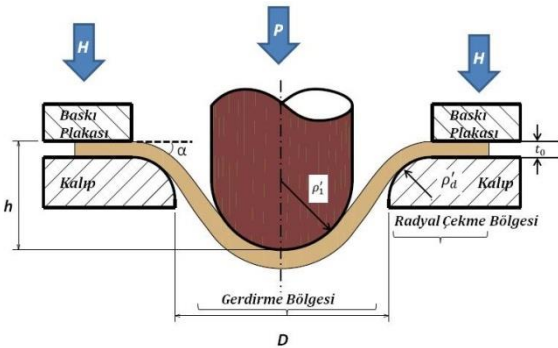
2.1 Radyal çekme bölgesinde:

Derin çekme işleminde, baskı plakası-sac metal-kalıp yüzeyleri arasında " radyal çekme bölgesi" olarak bilinen bölge Şekil-1 de görülebilir. Bu bölgede oluşan sürtünme dikey ve yatay denge denklemlerinden elde edilmiş aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir, [1].

$$\mu = \frac{\delta P \cot \alpha}{2\delta H + \delta P} \quad (1)$$

Burada sac metalin zımbaya sarım açısı “ α ” ile çekme derinliği “ h ” arasında aşağıdaki gibi bir denklem eşitliği vardır.

$$h = \left(\frac{D}{2} + \rho'_d\right) \tan \alpha - (\rho'_1 + \rho'_d + t_0)(\sec \alpha - 1) \quad (2)$$



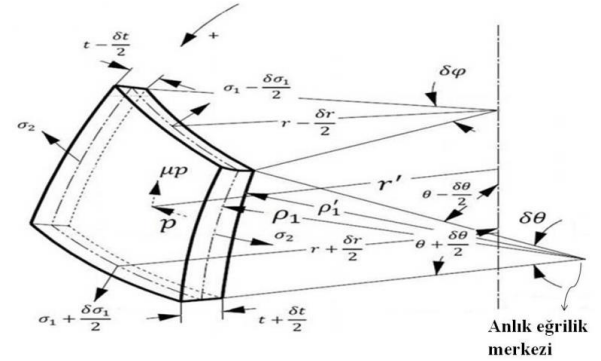
Şekil 1. Derin çekme işlemi.

Diğer koşullar aynı kalmak kaydıyla sadece baskı plakası kuvvetinin değiştirilmesiyle yapılacak derin çekme testleriyle değişen zımba kuvveti

değerleri kullanılarak eşitlik (1) yardımıyla sürtünme katsayısı değerleri hesaplanabilir. Bu yöntem hem oda sıcaklığında hem de yüksek sıcaklıklarda elde edilen veriler için kullanılabilir.

2.2 Gerdirme Bölgesinde:

Zımba ve sac metal arasında kalan gerdirme bölgesinde sürtünme denge ve plastisite denklemleri kullanılarak hesaplanabilir. Şekil-2 derin çekme işleminde eleman üzerinde oluşan gerilmeler görülebilir.



Şekil 2. Eleman üzerindeki gerilmeler.

h: çekme derinliği

k: gerilme oranı (stress ratio) = $\frac{\sigma_3}{\sigma_1}$

x: gerilme oranı (stress ratio) = $\frac{\sigma_2}{\sigma_1}$

R: çekme yönündeki anizotropi parametresi

r: şekillenmiş sac metal duvarının anlık yarıçapı

r_0 : şekillenmiş sac metalin orijinal yarı çapı

t: şekillendirme esnasındaki kalınlık

t_0 : orijinal kalınlık

$\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$: meridyenel, çevresel ve kalınlık yönlerinde gerçek plastik genleme (true plastic strain) değerleri

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$: meridyenel, çevresel ve kalınlık gerilmeleri (stresses)

θ : sac metal üzerindeki elemanın normalinin dikey eksen ile yapmış olduğu açı

μ : sürtünme katsayısı

ρ : sac metal üzerindeki elemanın eğrilik yarıçapı

Radyal yöndeki denge denklemi:

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} (\sigma_1 t r) + \left[p \rho_1' \frac{r'}{r} (\tan \theta - \mu) - \sigma_1 t \tan \theta - \sigma_2 \frac{\rho_1 t}{r \cos \theta} \right] \frac{d\theta}{dr} \quad (3)$$

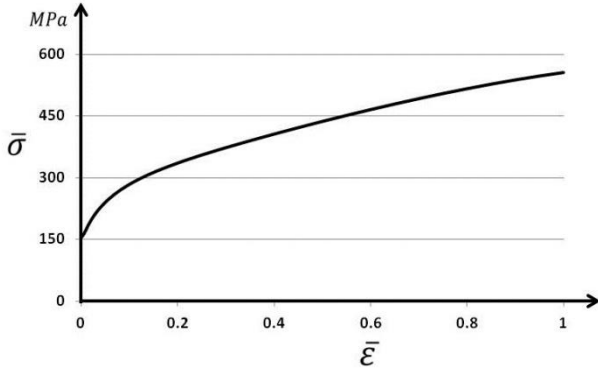
Dikey yöndeki denge denklemi:

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} (\sigma_1 t r) + \left[\sigma_1 t \cot \theta - p \rho_1' \frac{r'}{r} (\cot \theta + \mu) \right] \frac{d\theta}{dr} = 0 \quad (4)$$

Eşitlik (4), eşitlik (3)'den çıkarılır ise;

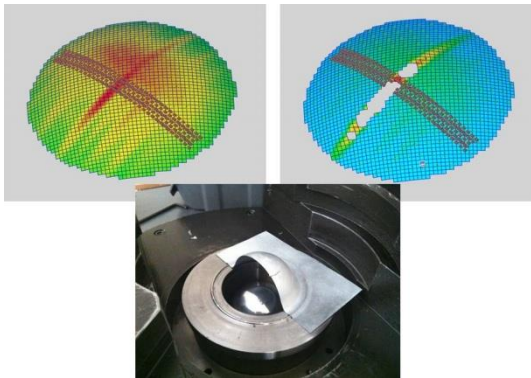
$$p = \frac{t}{\rho r} (\sigma_1 r + \sigma_2 \rho_1 \sin \theta) \quad (5)$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitlikten açıkça görüleceği üzere ara yüzeyde oluşan basınç p , θ açısı ile değişmektedir. Ara yüzey basıncının hesaplanması için θ açısının yanında σ_1 ve σ_2 gerilme değerlerinin de bilinmesi gerekir. Bu iki gerilmenin deformasyon esnasında ölçülmesi mümkün olmadığı için malzeme genleme dağılımları ve malzeme akma eğrisi kullanılarak yaklaşık olarak hesaplanabilir.



Şekil 3. EN 10346/ DX54D+Z çelik malzeme için akma eğrisi (eşdeğer gerilme-eşdeğer genleme).

Zimba ve sac metalin temasıyla oluşan deformasyondaki genleme dağılımlarına ait farklı aşamalarda 3 boyutlu optik tarayıcı görüntüleri Şekil-4 de görülebilir.



Şekil 4. Optik tarayıcı ölçümlerine ait görüntüler.

Ara yüzey basıncının hesaplanması için ihtiyaç duyulan σ_1 ve σ_2 gerilmeleri yaklaşık olarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

Eşdeğer genleme denklemi;

$$\bar{\epsilon} = \sqrt{\frac{2}{3} (\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2 + \epsilon_3^2)} \quad (6)$$

denklemler ile elde edilen değerlere karşılık gelen Eşdeğer gerilme değerleri Şekil-3 'de gösterilen malzeme akma eğrisi yardımıyla bulunabilir. Burada ;

$$\frac{\sigma_3}{\sigma_1} \cong 0 \quad (7)$$

kabulu ile eşdeğer gerilme denklemi aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\{\sigma_1^2 - \sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2^2\}} \quad (8)$$

σ_1 ve σ_2 gerilme değerleri arasındaki ilişki genleme dağılımları ile elde edilebilir.

$$\frac{d\epsilon_1}{d\epsilon_2} = \frac{\frac{2}{3} d\lambda \left[\sigma_1 - \frac{1}{2} (\sigma_2 + \sigma_3) \right]}{\frac{2}{3} d\lambda \left[\sigma_2 - \frac{1}{2} (\sigma_1 + \sigma_3) \right]} = r_\epsilon \quad (9)$$

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{2r_\epsilon + 1}{2 + r_\epsilon} \quad (10)$$

Sac metal üzerindeki gerilmeler arasında elde edilen ilişki yardımıyla ara yüzey basıncı aşağıdaki denklem yardımıyla yaklaşık olarak hesaplanabilir.

$$p = \sigma_1 t \left[\frac{1}{\rho} + \frac{x \sin \theta}{r} \right] \quad (11)$$

Eşitlik (3) ve (4)'ün dikey ve radyal yönde denge denklemleri olduğunu hatırlarsak. Yarı küresel zimba ve ince saclar için;

$$r = \rho_1 \sin \theta \quad \text{and} \quad dr = \rho_1 \cos \theta d\theta \quad (12)$$

$$r \sim r' \quad \text{and} \quad \rho_1 = \rho_1' \quad (13)$$

olarak kabul edilebilir.

Eşitlik (12) ve (13) eşitlik (4) içinde kullanılır ise;

$$\frac{d(\sigma_1)}{d\theta} + 2(\sigma_1 t) \cot \theta = p \rho (Cot \theta + \mu) \quad (14)$$

elde edilir. Burada eşitlik (14) birinci dereceden lineer diferansiyel denklemdir. Bu denklemin çözümü her terimin $e^{\int 2 \cot \theta d\theta}$ ile çarpılması ile mümkündür.

$$(\sigma_1 t)'(\sin \theta)^2 + 2(\sigma_1 t) \cot \theta (\sin \theta)^2 = p\rho(\cot \theta + \mu)(\sin \theta)^2 \quad (15)$$

$$(\sigma_1 t)'(\sin \theta)^2 + 2(\sigma_1 t) \frac{\cos \theta}{\sin \theta} (\sin \theta)^2 = p\rho \left(\frac{\cos \theta}{\sin \theta} + \mu \right) (\sin \theta)^2 \quad (16)$$

$$(\sigma_1 t)'(\sin \theta)^2 + 2(\sigma_1 t) \sin \theta \cos \theta = p\rho \sin \theta \cos \theta + p\rho\mu(\sin \theta)^2 \quad (17)$$

$$(\sigma_1 t)'(\sin \theta)^2 + (\sigma_1 t) \sin 2\theta = p\rho \sin \theta \cos \theta + p\rho\mu(\sin \theta)^2 \quad (18)$$

$$v'u + u'v = (uv)'$$

$$(uv)' = p\rho \sin \theta \cos \theta + p\rho\mu(\sin \theta)^2$$

burada $u = (\sin \theta)^2$, $v = (\sigma_1 t)$

$$(\sigma_1 t(\sin \theta)^2)' = p\rho \sin \theta \cos \theta + p\rho\mu(\sin \theta)^2 \quad (19)$$

$$\sigma_1 t(\sin \theta)^2 = \int p\rho \sin \theta \cos \theta d\theta + \int p\rho\mu(\sin \theta)^2 d\theta \quad (20)$$

$$\sigma_1 t(\sin \theta)^2 = \rho \int p \sin \theta \cos \theta d\theta + \rho\mu \int p(\sin \theta)^2 d\theta \quad (21)$$

$$p = a\theta^2 + b\theta + c \quad (22)$$

$$\int p \sin \theta \cos \theta d\theta = \frac{1}{8} [(-4c(\cos \theta)^2) + (a - 2b\theta - 2a\theta^2) \cos(2\theta) + (b + 2a\theta) \sin(2\theta)] \quad (23)$$

$$\int p(\sin \theta)^2 d\theta = \frac{2\theta(6c + 3b\theta + 2a\theta^2) - 3(b + 2a\theta) \cos(2\theta) - 3(-a + 2c + 2b\theta + 2a\theta^2) \sin(2\theta)}{24} \quad (24)$$

$$\sigma_1 t(\sin \theta)^2 = \rho A + \rho\mu B \quad (25)$$

$$\sigma_1 t(\sin \theta)^2 = \rho(A + \mu B) \quad (26)$$

$$\sigma_1 = \frac{\rho}{t(\sin \theta)^2} (A + \mu B) \quad (27)$$

$$\sigma_2 = \frac{p\rho}{t} - \sigma_1 \quad (28)$$

$$\sigma_2 = \frac{p\rho}{t} - \frac{\rho}{t(\sin \theta)^2} (A + \mu B) \quad (29)$$

$$\sigma_2 = \frac{\rho}{t} \left[p - \frac{1}{(\sin \theta)^2} (A + \mu B) \right] \quad (30)$$

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{p - \frac{1}{(\sin \theta)^2} (A + \mu B)}{\frac{1}{(\sin \theta)^2} (A + \mu B)} = x \quad (31)$$

Sürtünme katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\mu = \frac{p - \frac{A}{(\sin \theta)^2} (x + 1)}{\frac{B}{(\sin \theta)^2} (x + 1)} \quad (32)$$

$$A = \frac{1}{8} [(-4c(\cos \theta)^2) + (a - 2b\theta - 2a\theta^2) \cos(2\theta) + (b + 2a\theta) \sin(2\theta)]$$

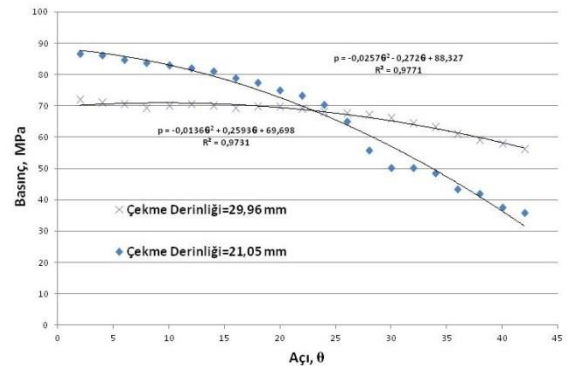
$$B = \frac{1}{24} [2\theta(6c + 3b\theta + 2a\theta^2) - 3(b + 2a\theta) \cos(2\theta) - 3(-a + 2c + 2b\theta + 2a\theta^2) \sin(2\theta)]$$

3. DENEYLER

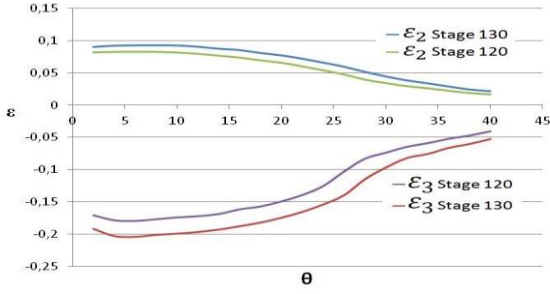
3.1 Gerdirme Bölgesinde:

Zımba-sac metal temasında oluşan sürtünmenin hesaplanmasında kuru ve parafin yağlayıcılar kullanılarak 9 farklı test yapılmıştır. Testlerde 1,2 mm kalınlığında 250 mm genişliğinde kare sac parçalar kullanılmıştır.

Şekil-5 de görüleceği üzere ara yüzey basınç değerleri eşitlik (11) kullanılarak hesaplanabilir. İki farklı aşamada elde edilmiş genleme dağılımları ise Şekil-6 da görülmektedir. Ara yüzey basıncı θ ya bağlı olarak ikinci dereceden bir eğri ile ifade edilirse. Bu denklemin eşitlik (32) de kullanılması ile sürtünme katsayısı değerleri elde edilebilir.

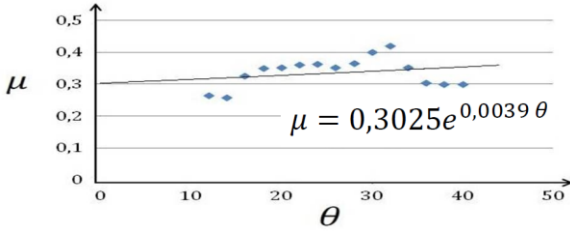


Şekil 5. EN 10346/ HX220BD+Z malzeme için ara yüzey basınç dağılımları.



Şekil 6. EN 10346/ HX220BD+Z çelik malzeme için genleme dağılımları.

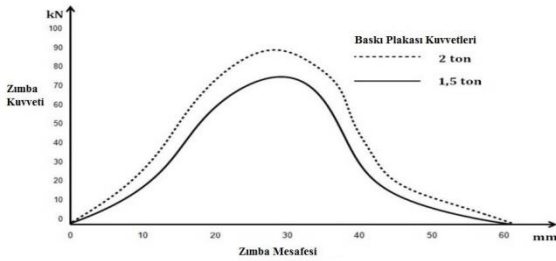
3 boyutlu optik tarayıcıdan elde edilen Şekil-6 daki genleme dağılımlarıyla hesaplanan gerilme oranı ve elde edilen basınç değerleri kullanılarak hesaplanmış sürtünme katsayısı değerlerine Şekil-7 örnek olarak gösterilebilir.



Şekil 7. Eşitlik (32) kullanılarak hesaplanmış EN 10346/ HX220BD+Z çelik malzemeye ait sürtünme katsayısı değerleri.

3.2 Radyal çekme bölgesinde:

Derin çekme testleri, 1,5 mm kalınlığında EN 10268 çelik malzeme ile kuru ve grafit yağlayıcı ortamlarda 42 mm çapında yarı küresel zımba ile gerçekleştirilmiştir. Testler hem oda sıcaklığında hem de yüksek sıcaklıklarda yapılmıştır.



Şekil 8. EN 10268 çelik malzemeye ait farklı baskı kuvvetlerinde zımba kuvveti değerleri.

Diğer parametreler aynı kalmak kaydıyla sadece baskı plakası kuvvetinin değiştirilmesiyle farklı zımba kuvveti değerleri Şekil-8 görüleceği üzere elde edilebilir.

Şekil-9 da derin çekme presi, yük hücresi ve veri toplama cihazı görülmektedir. Baskı plakası kuvveti ve zımba kuvveti eşitlik (1) de kullanılarak

sürtünme katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo-2 de görülebilir.



Şekil 9. Derin çekme işleminde kullanılan mekanik pres ve test düzeneği.

4. DENEY BULGULARI

4.1 " Gerdirme Bölgesinde " ve " Radyal çekme " bölgesinden elde edilen sonuçlar:

9 farklı test sonucundan elde edilmiş sonuçlar Tablo-1 de görülebilir. Sürtünme katsayısı değerleri farklı aşamada elde edilmiş genleme dağılımlarından hesaplanmıştır. Tablo-1 deki çekme derinliği değerleri iki farklı aşamayı göstermektedir.

Tablo 1. Gerdirme bölgesi için elde edilen sürtünme katsayısı değerleri

Test	Malzeme	Yağlayıcı	Çekme Derinliği (mm)
1	EN 10346/ DX54D+Z	Kuru	21,50-19,08
2	EN 10346/ DX54D+Z	Kuru	29,96-25,13
3	EN 10346/ HX380LAD+Z	Kuru	17,11-14,73
4	EN 10346/ HX380LAD+Z	Kuru	21,85-19,47
5	EN 10346/ HX220BD+Z	Kuru	20,64-18,25
6	EN 10346/ HX220BD+Z	Kuru	25,44-23,03
7	EN 10346/ DX54D+Z		23,76-22,59
8	EN 10346/ HX380LAD+Z		14,62-12,81
9	EN 10346/ HX380LAD+Z		17,94-16,34

Radyal çekme bölgesinde yüzey pürüzlülüğü Alicona® sistemi kullanılarak kalıp için $R_a = 0,20 \mu\text{m}$, sac metal için $R_a = 1,82 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

Testlerde kullanılan çelik malzemelere ait kimyasal bileşenler Tablo-3 de görülebilir.

Tablo 2. Radyal çekme bölgesi için elde edilen sürtünme katsayısı değerleri

Malzeme	Yağlayıcı	Açı	Baskı Kuvveti (N)
EN 10268	Kuru	15	22350-14900
		30	
		35	
		40	
EN 10268	Kuru	15	29800-22350
		30	
		35	
		40	
EN 10268	Grafit	15	22350-14900
		30	
		35	
		40	
EN 10268	Grafit	15	29800-22350
		30	
		35	
		40	

4.2 Diğer kaynaklardan elde edilmiş sonuçlar:

Oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıkta elde edilmiş sonuçlar daha önceki çalışmalardan elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırılabilir.

5. SONUÇLAR

Derin çekme işleminde sürtünme katsayısı değerleri zımba-sac metal ve kalıp-baskı plakası-sac metal arasında iki bölge için incelenmiştir. Tablo-4 de "şerit çekme testi" ve "çekme altında eğme(bending under tension)" gibi test koşullarında elde edilmiş sonuçlar görülmektedir. Ancak bu çalışma da gerçek bir derin çekme işlemi için sürtünme katsayısı değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 3. Testlerde kullanılan çelik malzemelere ait kimyasal kompozisyon.

Eşdeğer Standart			C	Si	Mn	P	S	Al	V	Nb	Ti
Standart	Benzer Standart	Erdemir	max.	max.	max	max	max	max	max	max	max
EN 10268	-	7140	0.14	0.50	1.60	0.030	0.025	0.015	-	0.090	0.15
EN 10346/ HX220BD+Z	52814/9.52873	380 ⁽¹⁾⁽²⁾	0.007- 0.06	0.50	0.15- 0.70	0.05- 0.09	0.03	0.02- 0.07	-	-	-
EN 10346/ HX380LAD+Z	52811/9.52873	368 ⁽³⁾	0.12	0.50	1.50	0.030	0.030	0.015 (min)	0.10	0.10	
EN 10346/ DX54D+Z	52806/9.52873	326	0.008	0.03	0.30	0.025	0.020	0.02 (min)		0.035	0.11

1) % Ni+%Cu+%Cr+%Mo≤0.5, 2) % C+% P≤0.16 3) % Nb+Ti+V≤0.22

Tablo 4. Daha önceki çalışmalardan elde edilmiş sonuçlar .

Test türü	Yağlayıcı	Malzeme	Sürtünme Katsayısı	Kaynak
Strip Drawing	Mineral yağlayıcı	AI99.5	0,15-0,32	[8]
Bending Tension	Yağ	DP 600	0,14-0,16	[5]
Strip drawing	Mineral yağlayıcı	A1100	0,2-0,23	[9]
Draw bead	Baskı yağlayıcısı	DP 600	0,12-0,16	[10]
Strip tension	Kuru	AA 1050	0,29	[11]
Draw bead	Yağ	AKDQ steel	0,08-0,17	[12]
Flat drawing	Kuru	SPHC	0,45 (600°C) 0,44 (700°C) 0,48 (800°C)	[13]
Hot stamping	Su bazlı yağlayıcı	SPHC	0,12 (600°C) 0,14 (700°C) 0,13 (800°C)	[13]

Tablo-1 de görüleceği üzere "gerdirme bölgesi" testlerinden elde edilen sürtünme katsayısı değerleri çekme derinliği arttıkça az da olsa bir artış göstermiştir. Parafinin yağlayıcı olarak kullanılması sürtünme katsayısının düşmesinde önemli rol oynamıştır. Genleme dağılımı değerleri yüksek sıcaklıklarda da elde edilir ise bu yöntem yüksek sıcaklıklarda da sürtünme katsayısının hesaplanmasında kullanılabilir.

Radyal çekme bölgesinde oda sıcaklığında yapılan testlerde, kuru ve grafit yağlayıcı durumlarda sürtünme katsayısı deformasyonun artışıyla az düşüş göstermiştir. Bu durum yüzey pürüzlülüğünü oluşturan çıkıntılarla deformasyonla düzleşmesiyle açıklanabilir. Benzer bir durum daha az belirgin olmakla birlikte 300° de gözlemlenmiştir. Yağlayıcı, kuru durumda 300° de yapılan testlerde elde edilen sonuçların, oda sıcaklığına göre sürtünme katsayısı değerlerinin düştüğü görülmüştür. Grafit yağlayıcı hem oda sıcaklığında hem de yüksek sıcaklıkta sürtünme katsayısını önemli ölçüde düşürmüştür.

İnceleme yapılan her iki bölge için hesaplanan sürtünme katsayısı değerleri benzer aralıktadır. Kuru ve yağlayıcı ortamlarda elde edilen sonuçlar daha önceki çalışmalar ile karşılaştırıldığında kabul edilebilir seviyededir. Literatürde karşılaştırılan sonuçların aynı aralıklarda değişimler göstermesi, bu testlerin farklı simülatif testler olması sebebiyledir.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF FRICTION IN DEEP DRAWING

Investigation of friction is carried out in the radial drawing region between the die and blank holder and also in the stretching zone over the punch in deep drawing. Two methods are developed to calculate the coefficient of friction in each zone using the experimentally determined data such as punch force diagrams and strain distributions obtained by an optical scanning system. The current methods differ from the existing techniques which are obtained in simulative tests. The proposed methods can be applied in room temperature and at elevated temperatures. Comparisons of friction coefficients are made with those obtained by other techniques.

Keywords: Friction , Deep drawing, Tribology

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Atılım Üniversitesi tarafından ATU-BAP-A-1213-06 proje numarası ile Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında desteklenmiştir.

Bu çalışmadaki katkılarından ötürü Atılım Üniversitesi Metal Şekillendirme Mükemmeliyet Merkezi ve BOREN Bor Kaplamalar Yetkinlik Merkezi'ne teşekkürü bir borç biliriz.

KAYNAKÇA

1. Kaftanoğlu B., 1973, Determination of coefficient of friction under conditions of deep-drawing and stretch forming, *Wear*, 25/2:177-188.
2. Subramonian S, Kardes N, Demiralp Y, Jurich M, Altan T., 2011, Evaluation of Stamping Lubricants in Forming Galvannealed Steels for Industrial Application, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 133/6:061001-9.
3. Yanagida A, Azushima A., 2009, Evaluation of coefficients of friction in hot stamping by hot flat drawing test, *Annals of the CIRP*, 58/1:247-250.
4. Bech J, Bay N, Eriksen M., 1998, A Study of Mechanisms of Liquid Lubrication in Metal Forming, *Annals of the CIRP*, 47/1:221-226.
5. Schmoedel D, Prier M, Staevs J., 1997, Topography Deformation of Sheet Metal during the Forming Process and Its Influence on Friction, *Annals of the CIRP*, 46/1:175-178.
6. J Berglund J, Brown CA, Rosén BG, Bay N., 2010, Milled die steel surface roughness correlation with steel sheet friction, *Annals of the CIRP*, 59/1:577-580.
7. Makinouchi A, Teodosiu C, Nakagawa T., 1998, Advance in FEM Simulation and its Related Technologies in Sheet Metal Forming, *Annals of the CIRP*, 47/2:641-649.
8. Vollertsen F, Hu Z., 2006, Tribological Size Effects in Sheet Metal Forming Measured by a Strip Drawing Test, *Annals of the CIRP*, 55/1:291-294.
9. Azushima A, Kudo H., 1995, Direct Observation of Contact Behaviour to Interpret the Pressure Dependence of the Coefficient of Friction in Sheet Metal Forming, *Annals of the CIRP*, 44/1:209-212.
10. Figueiredo L, Ramalho A, Oliveira MC, Menezes LF, 2011, Experimental study of friction in sheet metal forming, *Wear*, 271/9-10:1651-1657.
11. Fratini L, Lo Casto S, Lo Valvo E., 2006, A technical note on an experimental device to measure friction coefficient in sheet metal forming, *Journal of Materials Processing Technology*, 172/1:16-21.
12. Weinmann KJ, Kernosky SK., 1996, Friction Studies in Sheet Metal Forming Based on a Unique Die Shoulder Force Transducer. *Annals of the CIRP*, 45/1:269-272.
13. Yanagida A, Azushima A., 2009, Evaluation of coefficients of friction in hot stamping by hot flat drawing test. *Annals of the CIRP*, 58/1:247-50.