

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YAPISAL PROFİL ÜRETİMİNDE BİYET BİYETE ALIN KAYNAMA
KARAKTERİSTİĞİNİN İNCELENMESİ VE KALIP GEOMETRİSİNİN ENİNE
KAYNAMA MESAFESİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sadık Mutlu AYAN

EKİM 2019
TRABZON



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YAPISAL PROFİL ÜRETİMİNDE BİYET BİYETE ALIN KAYNAMA
KARAKTERİSTİĞİNİN İNCELENMESİ VE KALIP GEOMETRİSİNİN ENİNE
KAYNAMA MESAFESİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**

Makina Müh. Sadık Mutlu AYAN

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“MAKİNA YÜKSEK MÜHENDİSİ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06.09.2019
Tezin Savunma Tarihi : 02.10.2019**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hasan SOFUOĞLU

Trabzon 2019

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Makina Mühendisliği Anabilim Dalında
Sadık Mutlu AYAN Tarafından Hazırlanan**

**YAPISAL PROFİL ÜRETİMİNDE BİYET BİYETE ALIN KAYNAMA
KARAKTERİSTİĞİNİN İNCELENMESİ VE KALIP GEOMETRİSİNİN ENİNE
KAYNAMA MESAFESİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 17/09/2019 gün ve 1819 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Hasan SOFUOĞLU

Üye : Prof. Dr. Fazlı ARSLAN

Üye : Doç. Dr. Ömer Necati CORA


.....

.....

.....

**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU
Enstitü Müdürü**

ÖNSÖZ

Alüminyum; kullanımı sürekli artan, nispeten genç bir metaldir ve otomotiv, taşımacılık, raylı sistemler, havacılık ve savunma sanayi vb. gibi sektörlerde özellikle çeliğin bir alternatifi olarak tercih edilmektedir. Alüminyum kullanımında ekstrüzyon yöntemiyle yapılan profil üretimi de önemli bir yer tutmaktadır. Yüksek mukavemet/ağırlık oranından dolayı özellikle yapısal uygulamalarda da sıkça tercih edilen ekstrüzyonla üretilmiş alüminyum profiller, işlem gereği biyet biyete alın kaynama, boyuna dikiş kaynağı ve biyet kabuk kusuru gibi bazı kusurlara sahiptirler. Bu işlem kusurlarının tespiti ve iyileştirilmesi profillerin performansı için kritik önemdedir. Yapısal profillerde biyet biyete alın kaynama kusurunun tespiti, kaynama kalitesinin karakteristiğinin analiz edilmesi ve kalıp tasarımının bu kusura etkisinin belirlenmesi ve nihayetinde kesitin kusurdan ayrıştırılmasına yönelik yöntemlerin irdelenmesi ve geliştirilmesi bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır.

Çalışmalarım sırasında tezime yön veren ve desteğini esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof. Dr Hasan SOFUOĞLU'na, teşekkür ederim.

Çalışmalarımı gerçekleştirirken her türlü imkânımı kullandığım, ülkemizin çok önemli sanayi kuruluşlarından biri olan Asaş Alüminyum Sanayi Ticaret A.Ş. şirketine, çalışmalarım sırasında desteğini esirgemeyen mesai arkadaşlarım Yavuz Çınar, Berk Yörüker, Bahadır Gürbüz ve Ercan Zayim'e ve ismini yazamadığım diğer arkadaşlarıma, Almax firmasından Tommaso Pinter'e, sabrı ve desteği için eşime teşekkürü borç bilirim.

Sadık Mutlu AYAN
Trabzon, 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Yapısal Profil Üretiminde Biyet Biyete Alın Kaynama Karakteristiğinin İncelenmesi ve Kalıp Geometrisinin Enine Kaynama Mesafesine Etkisinin Belirlenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Hasan SOFUOĞLU’nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

02/10/2019

Sadık Mutlu AYAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XV
SEMBOLLER DİZİNİ	XVI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Metal Şekillendirme İşlemleri.....	2
1.3. Ekstrüzyon Yöntemleri	4
1.3.1. Direkt Ekstrüzyon Yöntemi	7
1.3.2. İndirekt Ekstrüzyon Yöntemi.....	10
1.4. Alüminyum Ekstrüzyon Tekniği.....	11
1.4.1. Alüminyum Ekstrüzyon İşlemi Ekipmanları	15
1.4.1.1. Biyet Magazini	16
1.4.1.2. Gazlı Biyet Isıtma Fırını	17
1.4.1.3. İndüksiyonlu Biyet Isıtma Fırını	17
1.4.1.4. İndüksiyonlu Biyet Isıtma Fırını	17
1.4.1.5. Sıcak Biyet Testere ve Giyotini	18
1.4.1.6. Kalıp Isıtma Fırınları.....	18
1.4.1.7. Ekstrüzyon Presi	18
1.4.1.8. Şok Soğutma Ünitesi.....	21
1.4.1.9. Ekstrüzyon Masaları ve Ekipmanları	21
1.4.1.10. Suni Yaşlandırma Fırını	22
1.4.2. Alüminyum Ekstrüzyon Kalıp Tekniği ve Kalıp Tasarım Prensipleri.....	23
1.4.2.1. Kalıptaki Metal Akışının Dengelenmesi.....	27
1.4.3. Ekstrüzyon İşleminin Modellenmesi	28
1.4.4. Alüminyum Ekstrüzyon Kusurları	31
1.4.4.1. Ekstrüzyon Birleşmeleri.....	35

1.4.4.2.	Biyet Biyete Alın Kaynama Kusuru	42
1.4.4.2.1.	Biyet Biyete Alın Kaynama Mesafesi Tayini	58
1.5.	Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	68
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	70
2.1.	Basit Kutu Profil Ekstrüzyonunda Biyet Biyete Alın Kaynama Mesafesinin Simülasyon ile Tayini ve Kalıp Geometrisinin Etkisi.....	70
2.1.1.	Kalıp Göz Hacimlerinin Biyet Biyete Alın Kaynama Mesafesine Etkisinin Simülasyon ile Analizi.....	71
2.1.2.	Ekstrüzyon Simülasyon Parametreleri	72
2.2.	Karmaşık Endüstriyel Profil Kesitinde Biyet Biyete Alın Kaynama Mesafesinin Tayini ve Kalıp Geometrisinin Etkisi.....	73
2.2.1.	Deneyde Kullanılan Vagon Taban Köşe Profilinin Kalıp tasarımı.....	74
2.2.2.	Profilin Endüstriyel Şartlarda Üretimi	79
3.	BULGULAR VE İRDELEME	83
3.1.	Basit Kutu Profil Simülasyon Bulguları	83
3.1.1.	Kalıp 1 İçin Elde Edilen Bulgular	83
3.1.2.	Kalıp 2 İçin Elde Edilen Bulgular.....	85
3.1.3.	Kalıp 3 İçin Elde Edilen Bulgular.....	87
3.1.4.	Kalıp 4 İçin Elde Edilen Bulgular.....	89
3.1.5.	Dört Kalıp Tasarımının Simülasyon Bulgularının Karşılaştırılması.....	92
3.2.	Endüstriyel Kalıptan Yapılan Profil Üretimine Ait Bulgular	100
3.3.	Endüstriyel Kalıp Birinci Sayısal Modellemesi.....	114
3.4.	Endüstriyel Kalıp Deneme Bulguları	116
3.5.	Endüstriyel Kalıp Tasarım Değişiklikleri ve Sayısal Modellemesi.....	117
4.	SONUÇLAR	126
5.	ÖNERİLER.....	128
6.	KAYNAKLAR	129
7.	EKLER.....	133
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans

ÖZET

YAPISAL PROFİL ÜRETİMİNDE BİYET BİYETE ALIN KAYNAMA KARAKTERİSTİĞİNİN
İNCELENMESİ VE KALIP GEOMETRİSİNİN ENİNE KAYNAMA MESAFESİNE ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI

Sadık Mutlu AYAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Hasan SOFUOĞLU
2019, 132 Sayfa, 4 Sayfa Ek

Bu çalışmada statik ve dinamik yük altında çalışan raylı sistemler gibi bir yapısal uygulamalarda kullanılan odacıklı karmaşık alüminyum profillerin direk ekstrüzyon yöntemiyle üretimi sırasında oluşan biyet biyete alın kaynama kusuru incelemiştir. Bunun için hurda mesafesini belirleyen ana parametreleri olarak kalıp gözlerinin geometrisi ve göz kesit alanı ile profil kesitinde her bir kalıp gözünün beslediği alan arasındaki ilişki ele alınmış ve biyet biyete alın kaynama mesafesine etkisi incelenmiştir. Enine kaynama olarak da adlandırılan biyetin biyete kaynaması sırasında oluşan bu kusurun profil kesitinde ne kadar devam edeceğinin tespiti ve bu sebeple hurdaya ayrılacak mesafenin en aza indirgenmesi yapısal profil endüstrisi için kritik öneme sahiptir.

Bu çalışmanın ilk aşamasında, öncelikle basit bir kutu profilinde farklı kalıp tasarımları yapılarak kalıp gözlerinin geometrisinin biyet biyete alın kaynama mesafesine etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Bu inceleme sonucu elde edilen veriler değerlendirilerek gerçek enine kaynama mesafesini belirlemek için endüstriyel şartlarda ekstrüzyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar hem birbirleriyle hem de daha önceki çalışmalarda belirtilen deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Simetrik kalıp gözlerinin kesit alanının küçük olması ve dolayısıyla da kalıp göz hacminin küçük olmasının enine kaynama mesafesini azalttığı tespit edilmiştir. Gözleri simetrik olmayan kalıplardaki kalıp göz alanlarının küçük olmasının değil, kalıp göz alanları ile beslediği profil alanı arasındaki oranın etkili olduğu belirlenmiştir. Her bir kalıp gözü için hesaplanan bu oranın birbirine yakın olması durumunda hurda mesafesini azaltacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum ekstrüzyon, Yapısal profil, Enine kaynama, Biyet biyete alın kaynağı, Ekstrüzyon simülasyonu, Biyet biyete alın kaynama mesafesi tayini, Ekstrüzyon birleşmeleri.

Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION ON TRANSVERSAL WELD CHARACTERISTICS (CHARGE WELD)
FOR STRUCTURAL PROFILE PRODUCTION AND INFLUENCE OF DIE GEOMETRY ON
THE TRANSVERSAL WELD LENGTH

Sadık Mutlu AYAN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mechanical Engineering Program
Supervisor: Prof. Dr Hasan SOFUOĞLU
2019, 132 Pages, 4 Pages Appendix

In this study, billet to billet welding defect which occurs in direct extrusion during the production of the complex multi holes closed aluminum profiles that are subjected to static and dynamics loading conditions as in railway systems was studied. To this goal, the die porthole geometry and port section area relation between the areas fed by the die port in profile section were considered as main parameters. It is crucially important for structural profile industry to determine how long the billet to billet welding scrap continues and minimizing the scrap length.

In the first phase of this study, a numerical study was conducted to determine the influence of the die porthole geometry on the transverse welding length by means of four different die designs with simple square hollow profiles. In the second phase of this study, the above obtained data was evaluated and extrusion trials in industrial conditions were carried to determine the exact transverse welding length. Obtained results were compared both with each other and with the experimental results of the previous studies. Consequently, it was noted that small section area of symmetrical die ports which has smaller port volume has shortened the transverse welding length. Ratio between die port area and profile part section area fed by the die port is more effective than the small die port size in the dies which have unsymmetrical die ports. It is concluded that if this ratio for all die ports is close to each other the billet to billet transverse weld length decreases.

Key Words: Aluminium extrusion, Structural profile, Transverse weld, Charge weld, Extrusion simulation, Transverse weld length calculation, Extrusion welding.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Alüminyum döngüsü	1
Şekil 2. Temel şekillendirme işlemleri	4
Şekil 3. Ekstrüzyon prensibi, a) dış macunu tüpünde ekstrüzyon [3], b) oyun hamurunun ekstrüzyon işlemiyle şekillendirilmesi	5
Şekil 4. Direkt ekstrüzyonun temel prensibi	6
Şekil 5. Ekstrüzyon işlemleri. a) direkt ekstrüzyon, b) indirekt ekstrüzyon, 1. ürün, 2. kalıp, 3. biyet, 4. genişleyen baskı bloğu, 5. kovan, 6. zımba, 7. genişleyen baskı bloğu ve kalıp, 8. sızdırmazlık elemanı	6
Şekil 6. Ekstrüzyon işlemlerinin sınıflandırılması, a) ileri ekstrüzyon, b) geri ekstrüzyon, c) hidrostatik ekstrüzyon, d) özel ekstrüzyon işlemleri	7
Şekil 7. Direkt ekstrüzyon presi, 1. destek, 2. matris ve matris takımları, 3. ara iş makası, 4. kovan, 5. zımba montaj plakası, 6. zımba, 7. hareketli silindir kafası, 8. yağ tankı ve sürücü kontrol bölümü	8
Şekil 8. Direkt ekstrüzyon şematik şekli	9
Şekil 9. İndirekt ekstrüzyon şematik şekli	10
Şekil 10. Profil tipleri ve üretimlerinde kullanılabilecek kalıp tasarım tipleri	12
Şekil 11. Ekstrüzyon yöntemleri ve akış tipleri	13
Şekil 12. Direkt ve indirekt ekstrüzyon işleminde alüminyum ve alüminyum alaşımlarının yağsız sıcak ekstrüzyonda akış tiplerinin sınıflandırması ve biyet kabuk akışının gösterimi	15
Şekil 13. Modern bir ekstrüzyon pres hattı yerleşimi	16
Şekil 14. Kısa stroklu önden yüklemeli pres işlem adımları	19
Şekil 15. 55 MN direkt alüminyum ekstrüzyon presi	20
Şekil 16. Direkt ekstrüzyon presi için 3 parçalı kovan	20
Şekil 17. Modern ekstrüzyon pres hattı germe ve soğutma masası	22
Şekil 18. Kalıp tipleri, a) düz kalıp, b) bindirmeli kalıp, c) zıvanalı kalıp	24
Şekil 19. Direkt ekstrüzyon pres takımları, a) kaset ve kalıp seti [8], b) mührü ve kalıp	25
Şekil 20. 13 MN pres ve kalıp takımları	25
Şekil 21. Alüminyum ekstrüzyon kalıp üretim aşamaları	26
Şekil 22. Alüminyum ekstrüzyonunda yeni kalıp test ve seri profil üretim döngüsü	27
Şekil 23. Kovan içinde sıcaklık, akma direnci, basınç, hız dağılımı	28
Şekil 24. Malzeme ve kalıp seti için ağ örgüsü (mesh) hazırlama	30

Şekil 25.	Ekstrüzyon simülasyonu (Q-form).....	30
Şekil 26.	Risk durumuna göre profillerin sınıflandırılması, a) Vagon gövdesi, b) aydınlatma direği, c) kapı çerçeve profilleri	33
Şekil 27.	Açık (dolu) ve kapalı (boşluklu) profillerde kalıp tekniğine bağlı oluşan bazı ekstrüzyon kusurları	34
Şekil 28.	Boru kesitinde a) biyet biyete alın kaynama (transverse weld), b) biyet kabuğu kusuru (coring, back end defect), c) boyuna kaynama kusuru (seam weld)	35
Şekil 29.	Alın birleşmesi: a) yeni biyetin basılması, b) alın birleşmesinin ilerlemesi	37
Şekil 30.	Kalıp ceplerinden veya portlarından ekstrüzyon kalıntısının kesilmesi yöntemleri; a) itici, b) ince ekstrüzyon artığı, c) ekstrüzyon artığının içinden kesme	38
Şekil 31.	Katı hal yapışması (solid state bonding)	39
Şekil 32.	Lifli iç bölgeler ve lif yapısı oluşmamış çevre tabakaları: a) ayrı ayrı T ve köşegen olarak ekstrüze edildiklerinde, b) içi boş bir kesit olarak ekstrüze edildiklerinde	39
Şekil 33.	Ekstrüzyon birleşmesi içeren kenar boyunca kesit, a) dikiş birleşmesi boyunca ağır bir şekilde işlenmiş çevresel bölge, b) çevre bölgelerden ve bölgelerinden başlayan yeniden kristalleşme	40
Şekil 34.	Katı durum yapışmasını aşamalarının şematik gösterimi	42
Şekil 35.	Germe sırasında kopan enine kaynaklı alüminyum boru profili	47
Şekil 36.	Biyet kabuğunun makro dağlanmış biyet artığı kesitindeki akışı	47
Şekil 37.	Enine kaynama mukavemeti ekstrüzyon oranı değişim grafiği	48
Şekil 38.	Basit lama profilinde biyet biyete alın kaynama evrimi	49
Şekil 39.	Açık ve kapalı profil ekstrüzyonunda biyet biyete alın kaynama aşamaları	50
Şekil 40.	Yüksek et kalınlığına sahip profilde enine kaynama kusuru ve 4 gözlü profil kalıbı. a)kalıp alüminyum girişi, b) profil çıkış tarafı, c), d), e), enine kaynama noktasından kopan profil numuneleri	51
Şekil 41.	Boru kesitinde a) enine kaynama kusuru ve kesitte kaynamama, b) Yeni biyetten gelen malzeme uçları	52
Şekil 42.	Boru kesitinde a) biyet kabuğu kusuru (coring- back end defect), b) enine kaynama ve biyet kabuğu kusuru birlikte.....	52
Şekil 43.	Boru kesitinde enine kaynamanın başlangıcı ve biyet kabuk kusurunu temizleyerek yerini alması	52
Şekil 44.	Basit çubuk profilinde biyet biyete alın kaynama kusuru ve yeni biyet eski biyet ayrışması	53
Şekil 45.	Kuru şartlar altında oksidasyon için ağırlık artış eğrisinin karşılaştırılması	56

Şekil 46.	Biyet biyete alın kaynama mekanizması.....	57
Şekil 47.	Kalıp içinde kalan alüminyum ve yeni biyetin kalıba basılma başlangıcı.....	58
Şekil 48.	Biyet biyete alın kaynama.....	61
Şekil 49.	Zıvana gözlerine biyet malzemesi besleme.....	62
Şekil 50.	Geçiş boyu, biyet biyete alın kaynama mesafe hesaplama	62
Şekil 51.	Üç farklı kalıp tasarımı tip I: küçük gözler, ön havuz yok, tip II: küçük gözler ve kalıpta ön havuz, tip III: büyük gözler ve ön havuz yok.....	64
Şekil 52.	Biyet biyete alın kaynama evrimi.....	64
Şekil 53.	a) Eski ve yeni biyet birleşimi ve oluşan boşluk, b) biyet biyete alın kaynamada hız profili, W noktası her iki biyetin kaynama başlangıcı	65
Şekil 54.	Dört figürlü kapalı profil kesitinin biyet biyete alın kaynama mesafesi tayini, d_1 : kalıp durma izinden itibaren mesafe, d_2 : biyet biyete alın kaynağı başlangıcı, d_3 : biyet biyete alın kaynağı bitiş mesafesi.....	67
Şekil 55.	Kutu profil için küçük gözlü kalıp 2 tasarımı imalat detay resmi.....	71
Şekil 56.	Aynı kutu profil içi yapılmış alüminyum giriş gözleri farklı dört tip kalıp tasarımı.....	72
Şekil 57.	Sayısal modelleme için hazırlık ve ağ örgüsü (mesh) hazırlama.....	73
Şekil 58.	Karmaşık kesitli alüminyum profillerden oluşan tramvay gövdesi	74
Şekil 59	a) Alüminyum profili, b) kesiti oluşturan birleşim parçaları	74
Şekil 60.	a) Profil kalıp tasarımında göz yerleşimi, b) Farklı kalıp gözlerinden beslenen kesitler	76
Şekil 61.	Endüstriyel kalıp, a) Kalıptan profil çıkışı, b) kalıp zıvanası profil çıkış tarafı, c) zıvana alüminyum giriş tarafı.....	76
Şekil 62.	Endüstriyel kalıp, a), b) 3D tasarımı, c) alüminyum girişi tarafı d) alüminyum çıkışı tarafı.....	76
Şekil 63.	Endüstriyel kalıp 3d tasarımı kalıbın iç parçası (zıvana) ön ve arka görünüşü.....	77
Şekil 64.	Kalıp ayak önündeki kaynama odası genişlikleri.....	77
Şekil 65.	Kalıp ayak genişlikleri	78
Şekil 66.	Kalıp ayakları ve kaynama odası ölçüleri	78
Şekil 67.	Endüstriyel deney çalışmalarının akış şeması	79
Şekil 68.	Kalıp 1, a) kalıp gözleri ve besledikleri profil parçacıkları, b) kaynama odasında malzeme akışı, c) boyuna kaynak dikiş pozisyonları	84
Şekil 69.	Kalıp 1 için biyet biyete alın kaynama başlangıç ve bitiş mesafesi.....	84
Şekil 70.	Kalıp 1 için enine kaynama mesafesi analizi	84

Şekil 71.	Kalıp 1 için oransal olarak biyet biyete alın kaynama mesafesi	85
Şekil 72.	Kalıp 2, a) kalıp gözleri ve besledikleri profil parçacıkları, b) kaynama odasında malzeme akışı, c) boyuna kaynak dikiş pozisyonları	86
Şekil 73.	Kalıp 2 için biyet biyete alın kaynama başlangıç ve bitiş mesafesi	86
Şekil 74.	Kalıp 2 için enine kaynama mesafesi analizi	86
Şekil 75.	Kalıp 2 için oransal olarak biyet biyete alın kaynama mesafesi	87
Şekil 76.	Kalıp 3, a) Kalıp gözleri ve besledikleri profil parçacıkları, b) kaynama odasında malzeme akışı, c) boyuna kaynak dikiş pozisyonları	88
Şekil 77.	Kalıp 3 için biyet biyete alın kaynama başlangıç ve bitiş mesafesi	88
Şekil 78.	Kalıp 3 için enine kaynama mesafesi analizi	89
Şekil 79.	Kalıp 3 için oransal olarak biyet biyete alın kaynama mesafesi	89
Şekil 80.	Kalıp 4, a) kalıp gözleri ve besledikleri profil parçacıkları, b) kaynama odasında malzeme akışı, c) boyuna kaynak dikiş pozisyonları	90
Şekil 81.	Kalıp 4 için biyet biyete alın kaynama başlangıç ve bitiş mesafesi	90
Şekil 82.	Kalıp 4 için enine kaynama mesafesi analizi	91
Şekil 83.	Kalıp 4 için oransal olarak biyet biyete alın kaynama mesafesi	91
Şekil 84.	Biyet biyete alın kaynama mesafesi ve başlangıç bitiş mesafe karşılaştırma grafiği.....	93
Şekil 85.	Dört kalıptaki kalıp geometrisi-biyet biyete kaynama ilişkisi grafiği.....	93
Şekil 86.	Kalıplar arası boyuna kaynama pozisyonlarındaki değişim grafiği	94
Şekil 87.	Kalıp kaynama odaları malzeme akışı	95
Şekil 88.	Kalıp 1, kalıp 2, kalıp 3 ve kalıp 4'te profil akış simülasyonu ve profil formu	95
Şekil 89.	Enine kaynama mesafesi karşılaştırma grafiği.....	99
Şekil 90.	Alüminyum giriş gözleri ve besledikleri parça alanları	100
Şekil 91.	Alüminyum giriş göz merkezlerinin kalıp merkezine uzaklıkları.....	101
Şekil 92.	Ekstrüzyon boyundan alınan biyet başı ve biyet sonu numuneleri	102
Şekil 93.	Ekstrüzyonun şematik gösterimi ve analiz için analiz için alınan numuneler.....	102
Şekil 94.	Biyet başı ve biyet sonundan kesilip numaralandırılan numuneler.....	103
Şekil 95.	Fiili boyuna kaynama pozisyonlarının teorik boyuna kaynak dikiş pozisyonlarında sapma yönü ve miktarı (mm), kaynama pozisyonları, mor: teorik, yeşil: gerçekleşen	103
Şekil 96.	Her bir kalıp gözü ve profil kesiti için teorik ve gerçekleşen yerel redüksiyonu	104

Şekil 97.	Kalıp duruş izinden itibaren 680-835 mm aralığındaki makro dağlanmış profil numunesinde biyet kabuğu etkisi ve eski ve yeni malzeme akışı başlangıcı.....	105
Şekil 98.	Profil kesitinde makro dağlanmış numunelerde biyet biyete kaynama kusuru gelişimi a) 3.numune, b) 6. numune, c) 7.numune, d) 10. numune.....	106
Şekil 99.	Enine kaynak teorik ve fiili başlangıç mesafesi karşılaştırma (%95 oranlı).....	108
Şekil 100.	Enine kaynamanın her bir kalıp gözü için profil boyunca oransal değişimi.....	109
Şekil 101.	Enine kaynak mesafeleri gerçek, deneysel ve teorik karşılaştırma.....	110
Şekil 102.	Enine kaynak mesafeleri teorik hesap gösterimi.....	111
Şekil 103.	Enine kaynak mesafeleri gerçek ve teorik başlama ve bitiş şematik gösterimi.....	111
Şekil 104.	Biyet numarasına bağlı olarak ekstrüzyon hızı (profil hızı).....	112
Şekil 105.	Numune numarasına bağlı olarak biyetlerin basınç değerleri.....	112
Şekil 106.	Biyetlerin profil çıkış sıcaklıkları.....	113
Şekil 107.	Profillere ait ekstrüzyon süreleri ve ölü zaman.....	113
Şekil 108.	31 biyetlik üretimin biyet ve ara iş uzunlukları grafiği.....	114
Şekil 109.	Simulasyon yapılan profilde yeni biyet ile eski biyetin kesitte evrimi, kırmızı: yeni biyet, mavi: eski biyet, a) yeni biyetten malzeme akışı başlangıcı b, c, d, e) eski, yeni biyet birlikte akış, f) eski biyetin tamamen temizlenip yeni biyetin kesiti kaplaması.	115
Şekil 110.	4 numaralı kalıp gözü ve beslediği profil parçacığı.....	117
Şekil 111.	4 numaralı kalıp gözü kesit alanı % 30 daraltılmış hali.....	118
Şekil 112.	İlk kalıp tasarımı (referans kalıp) biyet biyete alın kaynama mesafesi.....	119
Şekil 113.	Kalıp göz alanı küçültülen kalıptaki biyet biyete alın kaynama mesafeleri.....	119
Şekil 114.	a) Referans kalıp, b) 4 numaralı kalıp gözü küçültülmüş kalıp.....	120
Şekil 115.	Sekiz gözlü kalıp tasarımı ve boyuna kaynak dikiş pozisyonları.....	121
Şekil 116.	8 ve 9 gözlü kalıp karşılaştırması, a) 8 gözlü kalıp, b) kalıp göz alanları karşılaştırma, c) 9 gözlü kalıp tasarımı.....	121
Şekil 117.	Endüstriyel kalıp için yapılan tasarımlar, a) ilk kalıp, b) 4 numaralı gözü küçültülmüş kalıp, c) kalıp gözü 9 dan 8 e indirilen daha büyük gözlü kalıp tasarımı.....	122
Şekil 118.	8 gözlü yeni tasarım kalıpta a) kalıp gözleri ve besledikleri profil parçacıkları, b) kaynama odasında malzeme akışı, c) boyuna kaynak dikiş pozisyonları.....	123
Şekil 119.	8 gözlü kalıbın biyet biyete alın kaynama mesafeleri.....	123

Şekil 120. Endüstriyel profil için yapılan kalıp tasarımlarında biyet biyete alın kaynama mesafesi grafiği..... 125



TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Hacim şekillendirme yöntemlerinin sınıflandırması	4
Tablo 2. Direkt ve indirekt ekstrüzyonun karşılaştırması.....	11
Tablo 3. Tipik alüminyum ekstrüzyon presleri pres gücü, biyet çap ve boyu tablosu	19
Tablo 4. Alüminyum ekstrüzyon kusurları.....	33
Tablo 5. Alüminyum üzerindeki oksit tabakasının kalınlığı	57
Tablo 6. Kutu profil için tasarlanan kalıpların geometrik boyutları.....	72
Tablo 7. Kutu profil kalıbı simülasyon parametreleri	73
Tablo 8. Kaynama odası ve kalıp ayakları ölçü ve özellikleri.....	79
Tablo 9. Üretime ait biyetlerin kimyasal analizleri	82
Tablo 10. Analiz kalıpları tasarım boyutları ve biyet biyete alın kaynama analizleri sonuç tablosu	92
Tablo 11. Alüminyumun kovandan profil kesitine olan kademeli evrimi.....	101
Tablo 12. Her bir kalıp gözü ve profil kesiti için teorik ve gerçekleşen yerel redüksiyon oranı.....	104
Tablo 13. Enine kaynamanın “kalıp durma izine” göre her bir gözde profil boyunca değişimi.....	107
Tablo 14. Alın kaynağı ve biyet kabuk akış mesafesi teorik & fiili karşılaştırma tablosu	108
Tablo 15. Her bir göz için enine kaynak mesafeleri hesap tablosu	109

SEMBOLLER DİZİNİ

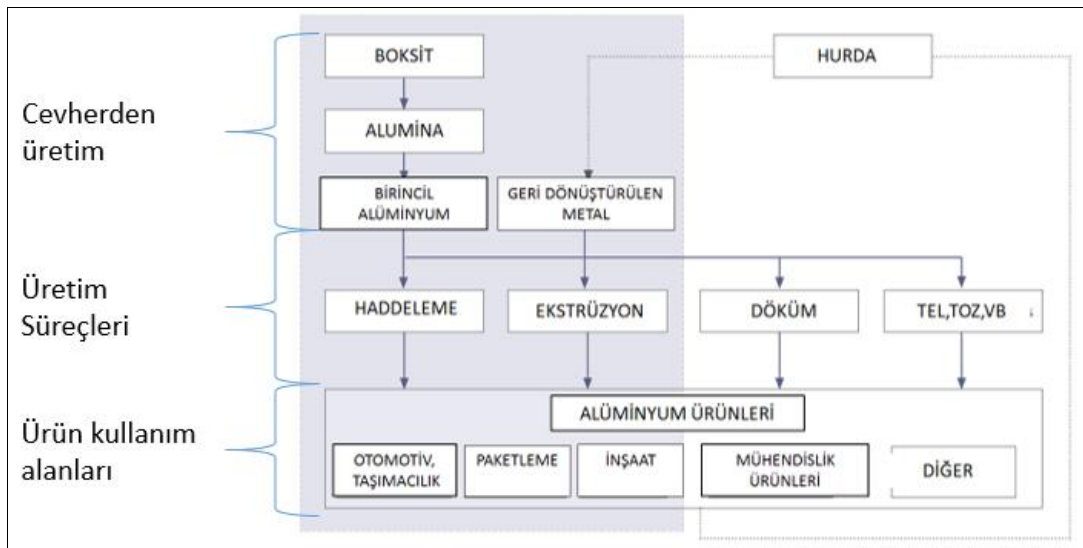
A	: Biyet biyete alın kaynama sürecinde yeni biyetin tüm kesiti kaplaması
A₀	: Profilin toplam kesit alanı,
A_E	: Ekstrüzyon profil kesit alanı
B	: Deneysel verilerden çıkartılan kalıp geometrisine bağlı sabit
FE	: Finite Element, (Sonlu elemanlar)
ICEB	: International Conference on Extrusion and Benchmark
n	: Kalıba işlenen profil sayısı
R	: Ekstrüzyon oranı
UTS	: Ultimate Tensile stress, (Çekme dayanımı)
V₁	: Biyet #1 in kalıp gözleri ve kaynama havuzunda kalan toplam metal hacmi
V₂	: Biyet #2 den kalıp gözlerine giren toplam metal hacmi
V_T	: Kalıp göz ve havuzlarının toplam hacmi
x	: Biyet biyete alın kaynamanın başlangıçtan mesafesi
3D	: 3 boyutlu çizim
MIG	: Metal inert gas welding, (Gaz metal ark kaynağı)
TIG	: Tungsten inert gas, (Koruyucu gazaltı tungsten ark kaynağı)
CMT	: Cold Metal Transfer, (Soğuk Metal Transferi Kaynağı)

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının farklı sektörlerde yaygın bir kullanım alanı vardır ve sahip olduğu teknik özelliklerden ve avantajlarından dolayı da tüketim miktarı sürekli artmaktadır. Dünyada alüminyumun kullanım alanlarına göre sıralaması; inşaat sektöründe % 25, ulaşım sektöründe % 24, ambalaj sektöründe % 15, makine sektöründe % 12, elektrik elektronik sektöründe % 10, mobilya ve ofis eşyaları sektöründe % 6, kimya ve tarım ürünleri sanayinde % 1 ve diğer sektörlerde % 7 civarındadır [1].

Kişi başına alüminyum kullanımı bir gelişmişlik göstergesi olarak da değerlendirilmektedir. Gelişmiş ülkelerde kişi başına alüminyum tüketimi yıllık 25 kg'ın üzerindedir. Dünya Alüminyum Derneği'nin (World Aluminium Association) 2010 verilerine göre kişi başına Avrupa Birliği 27 kg, Almanya 39 kg, Türkiye 8,8 kg'lık bir tüketime sahiptir [1]. Alüminyum ürünler; döküm, haddeleme, ekstrüzyon gibi yöntemler ile üretilerek kullanıma sunulurlar. Ürünlerin hurdaları da geri dönüştürülerek sürekli bir geri dönüşüm döngüsü içinde tekrar tekrar kullanılırlar. Şekil 1'de bu dönüşüm şematik olarak verilmiştir.



Şekil 1. Alüminyum döngüsü [2].

Yüksek mukavemet / ağırlık oranından dolayı alüminyumun çelik yerine yapısal uygulamalarda kullanımı da sürekli artmaktadır. Özellikle taşımacılık sektöründe aynı mukavemet ve ömür ihtiyacını karşılayabilecek daha hafif malzemenin kullanılması enerji ihtiyacını azaltacağı için tercih edilmektedir. Çeliğe göre 3 kat daha hafif olan alüminyumun kolay şekillendirilebilme özelliği ile imalat avantajı da sunmaktadır. Bu sebeple ekstrüzyon yöntemiyle üretilen alüminyum profiller raylı sistemler, otomotiv, savunma sanayi, havacılık vb. sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Alüminyumun genel olarak malzeme avantajları; geri dönüştürülebilir, hafiflik, yüksek mukavemet/ağırlık oranına sahip olması, esnekliği, yüzey kaplamayla estetik bir görünüm kazanabilmesi (eloksal vb.) yüksek korozyon direnci, yüksek ısı iletkenliği, ışığı yüksek oranda yansıtması, yüksek elektrik iletkenliğine sahip olması, mıknatıslanmaması, kıvılcım çıkartmaması, alev almaması, çok düşük sıcaklıklarda yüksek mukavemete sahip olması (kriyojenik olarak güçlü) olarak sıralanabilir [3].

1.2. Metal Şekillendirme İşlemleri

Metal şekillendirme, bir iş parçası ve malzemenin, kütlesini ve kimyasal kompozisyonunu değiştirmeden bir başka şekle dönüştürülmesi işleminin yapıldığı bir dizi imalat yöntemini kapsar. Seçilen bir malzemedен istenen geometrik şekilde parçalar elde etmek için dört temel üretim yöntemi vardır. Bunlar; döküm, talaşlı imalat, birleştirme işlemleri (kaynak, toz metalürjisi vb.) ve metalin plastik deformasyonla şekillendirildiği metal şekillendirme işlemleridir. Metal şekillendirme işlemleri ise kesme, haddeleme, dövme, derin çekme ve ekstrüzyon olarak beş ana guruba ayrılabilir. Bu işlemlerle basit bir parça, bir presin veya uygun şekillendiricilerin birkaç hareketi (stroğu) ile kısa sürede geometrik olarak karmaşık bir parçaya dönüştürülür. Metal şekillendirme işlemlerinde malzemelerin tamamına yakını kullanıldığı için verim yüksek olur ve malzeme kaybı minimum olur [4].

Tüm üretim yöntemleri içinde metal şekillendirme teknolojisi özel bir yere sahiptir. Bu teknikle kaliteli ve yüksek mekanik özelliklere sahip parçalar minimum malzeme kaybıyla üretilebilir. Metal şekillendirmede başlangıç malzemesi (ham malzeme) çoğunlukla basit bir geometriye sahiptir ve bu malzeme bir veya birkaç operasyonla plastik olarak şekillendirilerek daha karmaşık şekilli parçalar haline kolayca dönüştürülebilir. Parçanın son şekline getirilmesi için çok daha az malzeme talaş kaldırılmasına ihtiyaç

vardır ve bu şekilde malzeme ve enerjiden büyük bir tasarruf sağlanabilir. Metal şekillendirme kalıpları genellikle pahalı kalıplardır. Bununla birlikte metal şekillendirmeyle ulaşılabilecek yüzey kalitesi, mekanik özellikler ve nihai ölçü ve toleransların uygun olması durumunda büyük miktarda üretim adetleri için çok ekonomik ve tercih edilen bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Malzeme ve enerji maliyetlerinin artması, daha esnek üretim tekniklerine doğru yöneliş, metal şekillendirme işlemlerinin ve takımalarının minimum test ve hurda ile üretim yapabilecek şekilde tasarlanmasını gerektirmektedir.

Bu tekniklerin pratik olarak kullanımı, metal şekillendirme işlemlerinin temel prensip değişkenleri ve bunlar arasındaki etkileşimin iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu değişkenler ise; üretim şartlarında form verilen malzemenin akışı, kalıp-takım malzemesi ve geometrisi, sürtünme, deformasyon mekanizması, form verme ekipmanlarının özellikleri, ürün geometrisi, toleransları, yüzey kalitesi ve mekanik özellikleri ve üretim işleminin çevreye olan etkisi olarak sıralanabilir.

İmalat işlemlerinde genellikle şekilsiz veya basit geometriye sahip malzeme istenen ve bir amaca yönelik kullanılabilir şekle sokulur. Nihai ürün parçası genellikle daha karmaşık şekle sahiptir ve şekli, boyutları, hassasiyeti ve toleransları, görünümü, mekanik özellikleri çok iyi tanımlanmıştır.

Üretim teknolojilerinin gelişmesi üretim tekniği seçeneklerini de arttırmaktadır. Aynı malzemenin farklı yöntemler ile birbirine yakın özelliklerde üretilmesi mümkündür. Nihai ürünün hangi üretim teknolojisi-tekniği ile üretileceği; ürünün malzeme ve geometrisine, istenen mekanik özelliklerine, toleranslarına, görüntüsüne ve üretim miktar ve maliyetine bağlı olarak karar verilir.

Metal şekillendirme işlemlerini değişik şekillerde sınıflandırmak mümkündür. Ancak genel olarak sıcak şekillendirme (yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerinde şekillendirme-hot forming) , ılık şekillendirme ve soğuk şekillendirme (oda sıcaklığında şekillendirme-cold forming) olarak üç gruba ayrılabilir. Karmaşık şekilli nihai ürünlere her iki işlem ile de ulaşmak mümkündür fakat şekillendirilen malzemenin yüksek sıcaklıkta daha düşük akma gerilmesine sahip olması soğuk işlem sırasında oluşan takım üzerindeki gerilmelerin sıcak şekillendirmeye göre daha büyük olmasına sebep olmaktadır [5].

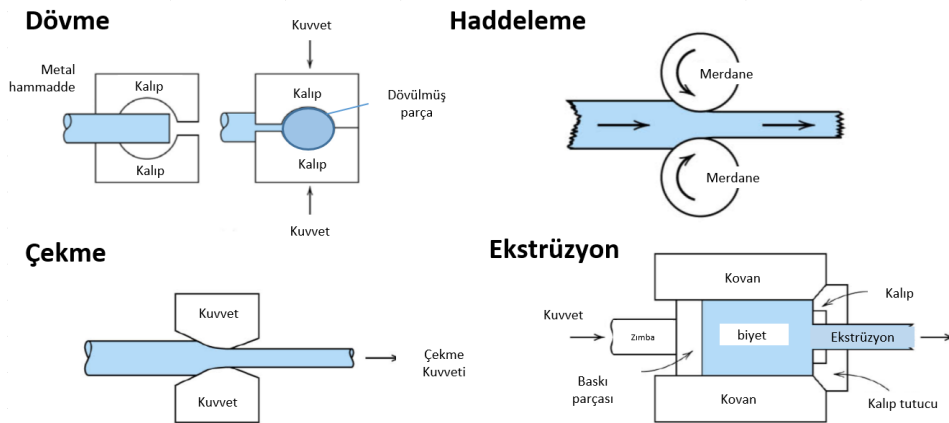
Metal şekillendirme işlemlerini;

- a. Hacimli malzemelerin şekillendirildiği (Massive forming) örneğin; dövme, haddeleme, ekstrüzyon, çekme (Tablo 1),

b. Levhadan şekillendirme (Sheet forming), bükerek şekillendirme, derin çekme, gererek şekil verme vb. işlemleri, şeklinde de sınıflandırmak mümkündür. Hacim şekillendirme işlemleri şematik işlemi Şekil 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Hacim şekillendirme yöntemlerinin sınıflandırması [5].

Dövme	Haddeleme	Ekstrüzyon	Çekme
Kapalı kalıp dövme çapaklı	Levha haddeleme	Yağsız sıcak ekstrüzyon	Çekme
Kapalı kalıp dövme çapaksız	Form haddeleme	Yağlı direkt sıcak ekstrüzyon	Rulolu çekme
Pul basma	Boru haddeleme	Hidrostatik ekstrüzyon	İncelterek çekme
Elektro patlatma	Yüzük haddeleme		Mandrelsiz boru çekme
İleri ekstrüzyon dövme	Döner boru delme		
Geri ekstrüzyon dövme	Dişli haddeleme		
Vida açma-Ovalama	Yuvarlayarak dövme		
İzotermal dövme	Çapraz haddeleme		
Açık kalıba dövme	Yüzey haddeleme		
Radyal dövme	Sivama		
Şişirme	Boru çap düşürme		

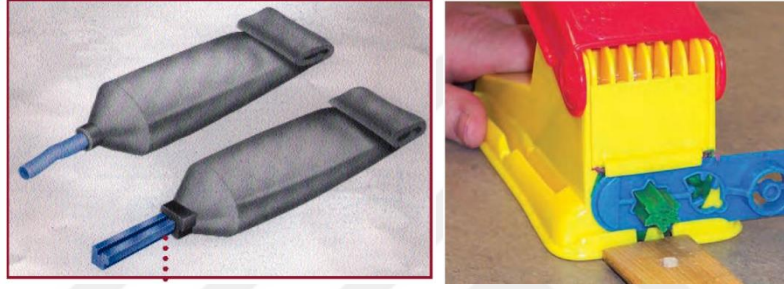


Şekil 2. Temel şekillendirme işlemleri

1.3. Ekstrüzyon Yöntemleri

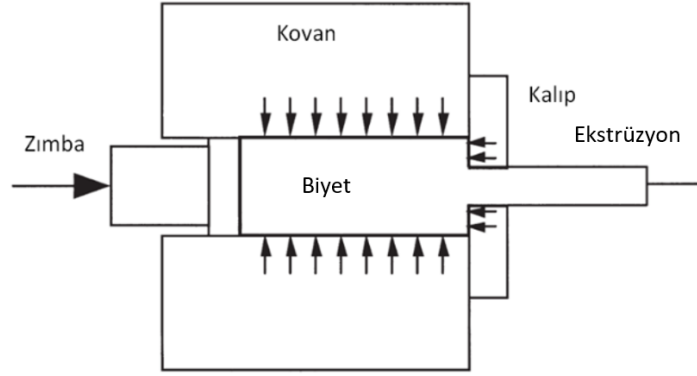
Ekstrüzyon yöntemi, genellikle alüminyum ve bakır alaşımlarından çubuk, tel, boru ve profillerin üretildiği bir plastik şekil verme yöntemidir. Ağırlıklı olarak üretilen alüminyum ve bakırın yanında paslanmaz çelik boru, muhtelif çelik kesitleri, magnezyum, titanyum gibi diğer alaşımların da nispeten daha az miktarda ekstrüzyonu yapılabilmektedir.

Ekstrüzyonun temel prensibi kısaca bir diş macunu tüpünün sıkılıp macunun tüpten şekil alarak çıkması ile açıklanabilir. Macun tüpünün kapalı olan kısmına basınç uygulandığında tüpün içindeki macun tüpün açık olan ağzından dışarıya doğru akar. Macun veya profil, basınç ile geçirilmeye zorlandığı tüpün ucundaki açıklığın veya kalıbın şeklini alır. Basit çıkış açıklığı ile basit şekiller, karmaşık çıkış açıklığı ile de karmaşık şekiller üretilir (Şekil 3-a). Alüminyum da benzer bir şekilde şekillendirilir. Ekstrüze edilen alüminyum, üretim sırasında sıvı değildir fakat oyun hamuru gibi şekillendirilebilir (Şekil 3-b).



Şekil 3. Ekstrüzyon prensibi, a) diş macunu tüpünde ekstrüzyon [3], b) oyun hamurunun ekstrüzyon işlemiyle şekillendirilmesi [6].

Metal ekstrüzyonu, ısıtılarak bir kovan içerisine yüklenen yuvarlak (veya oval) biyetin bir zımba ve ucundaki genişleyen baskı bloğu (dummy block) yardımıyla yüksek basınç altında istenen profil açıklığına sahip kalıptan geçirilmesiyle şekillendirilmesi işlemidir. Ekstrüzyon yöntemi; sadece sıkıştırma gücüne tabi tutarak biyetin döküm yapısını değiştirdiği en ideal yöntemdir. Ekstrüzyon, alaşım ve yonteme bağlı olarak sıcak veya soğuk olabilir. Sıcak ekstrüzyonda biyet önceden ısıtılarak akma direnci düşürülür ve bu şekilde daha kolay bir plastik şekillendirme işlemi yapılabilir. Direkt ekstrüzyon prensibinin temeli Şekil 4' te gösterilmektedir [7].



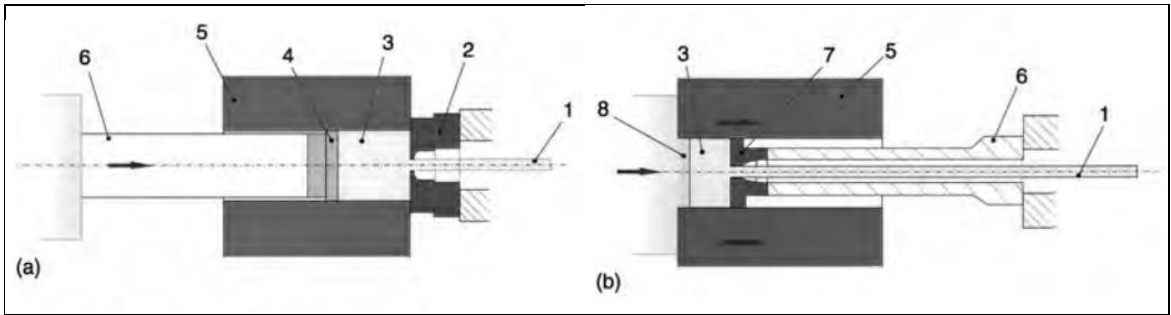
Şekil 4. Direkt ekstrüzyonun temel prensibi [7].

Üretilecek ürünün geometrik ve mekanik özelliklerine ve ekstrüze edilecek malzemeye göre farklı ekstrüzyon yöntemleri kullanılabilir. Malzemeyi şekillendirebilmek için gerekli güç, nihai ürün toleransları, ürün boyutları, ürünün çalışma şartları vb. gibi parametreler değişik tiplerdeki ekstrüzyon işleminin kullanımını gerektirir.

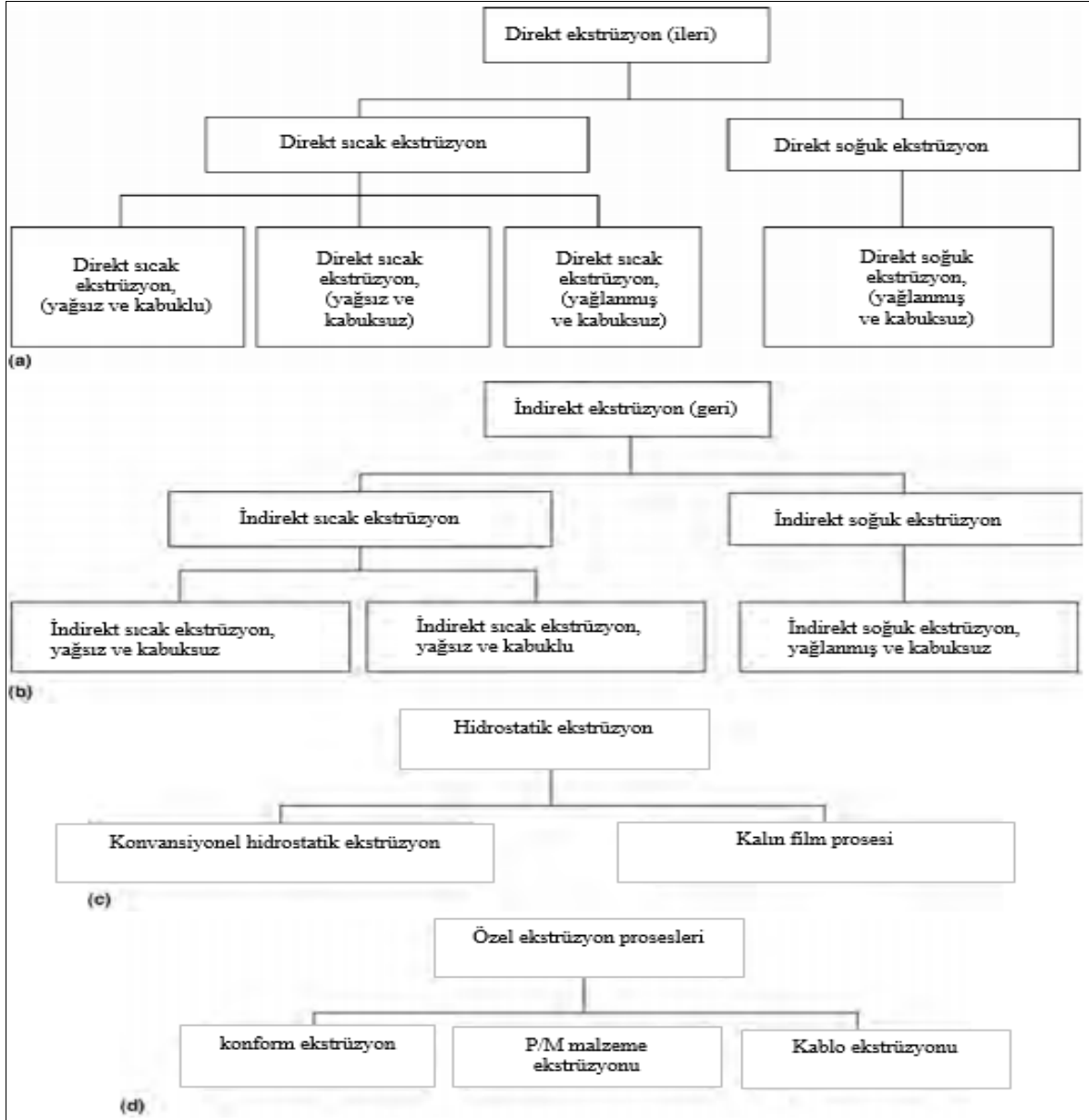
Ekstrüzyon işlemi temel olarak direkt ve indirekt ekstrüzyon olarak sınıflandırılabilir da genel olarak dört gruba ayrılır [8].

- Direkt Ekstrüzyon
- İndirekt Ekstrüzyon
- Hidrostatik Ekstrüzyon
- Özel Ekstrüzyon işlemleri

En yaygın kullanılan ekstrüzyon yöntemlerinden direkt ve indirekt ekstrüzyon yönteminin şematik prensibi Şekil 5'te, ekstrüzyon yöntemlerinin detay sınıflandırılması da Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 5. Ekstrüzyon işlemleri. a) direkt ekstrüzyon, b) indirekt ekstrüzyon, 1. ürün, 2. kalıp, 3. biyet, 4. genişleyen baskı bloğu, 5. kovan, 6. zımba, 7. genişleyen baskı bloğu ve kalıp, 8. sızdırmazlık elemanı [8].



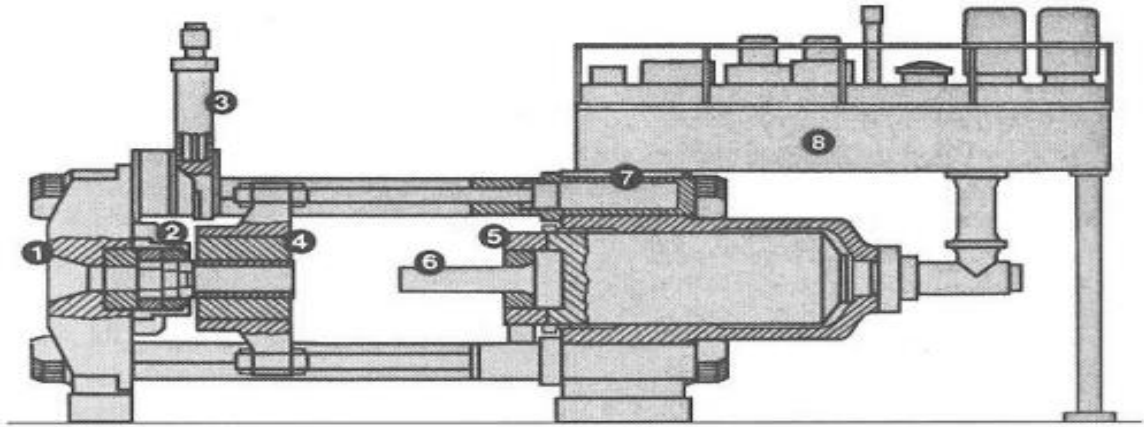
Şekil 6. Ekstrüzyon işlemlerinin sınıflandırılması, a) ileri ekstrüzyon, b) geri ekstrüzyon, c) hidrostatik ekstrüzyon, d) özel ekstrüzyon işlemleri [8].

1.3.1. Direkt Ekstrüzyon Yöntemi

Ekstrüze etme şekillerinden biri olan direkt ekstrüzyon yönteminde, alıcı (kovan) içerisindeki biyet ıstampa (zımba) tarafından itilerek, diğer uçta bulunan kalıptaki aralık içerisinde geçirilir ve üretim gerçekleştirilir (Şekil 7). Malzeme akışı ve zorlama yönü aynıdır. Kalıp sabittir, ıstampa ve alıcıya göre bağlı hareket yapar. Bu bağlı hareketten dolayı alıcı ile biyet arasında sürtünme meydana gelir. Sürtünme kuvveti, biyetin kalıba

doğru hareket etmesini önlemeye çalışır ve böylece gerekli ekstrüzyon kuvveti ve ekstrüzyon artığı artar. Bununla birlikte, biyet ile alıcı arasındaki sürtünmeden dolayı biyet çevresinin yavaş, merkezinin hızlı hareket etmesiyle, biyet sonunda huni şeklinde bir boşluk meydana gelmektedir. Büyük ekstrüzyon kuvvetleri uygulanıp biyetin tamamı ekstrüzyon edilse dahi, yarı mamulün sonu hatalı olmaktadır. Bu nedenle direkt ekstrüzyon yönteminde bir miktar ekstrüzyon artığı bırakılmalıdır. Genelde bu miktar biyetin %3-10'u civarındır.

Direkt ekstrüzyonda sürtünme, ekstrüzyon kuvvetini artırdığı gibi, düzensiz bir malzeme akışına da neden olmaktadır. Sürtünmenin bu etkisi, ekstrüzyon profilinin uzunluğu boyunca özelliklerinin değişmesine ve bazı hatalara neden olmaktadır. Direkt ekstrüzyon presi genel yapısı Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Direkt ekstrüzyon presi, 1. destek, 2. matris ve matris takımları, 3. ara iş makası, 4. kovan, 5. zımba montaj plakası, 6. zımba, 7. hareketli silindir kafası, 8. yağ tankı ve sürücü kontrol bölümü [7].

Arkadan yüklemeli direkt ekstrüzyon presi şematik gösterimi Şekil 8'de verilmiştir. Direkt ekstrüzyon yöntemi dezavantajlarına rağmen, takım düzenlemesinin basit olması ve işletme yönünden kolay olmasından dolayı çok tercihe dilen bir yöntemdir. Bu yöntemle çeşitli uzunluk, çap ve kalınlığa sahip; çeşitli içi dolu ve boş profiller kolaylıkla elde edilebilmektedir. Bu yöntemde kalıp çapı, kovan tarafından sınırlandırılmamaktadır. Ancak bu avantajlara karşılık takım ömrü, indirekt ekstrüzyona göre daha sınırlıdır. Kovan ile arasındaki sürtünmelerden dolayı uzun biyetlerin kullanılmasının önlenmesi, ekstrüzyon artığının fazla olması, malzeme akışının indirekt ve hidrostatik ekstrüzyon

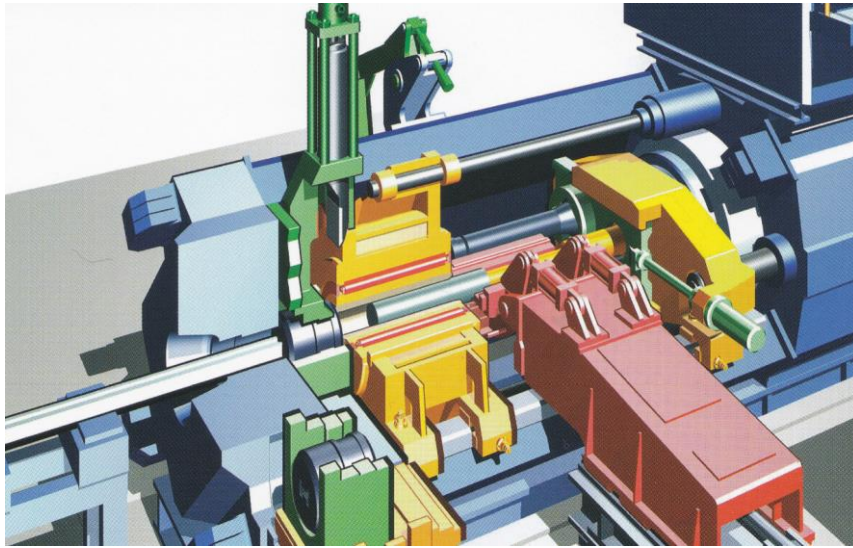
yöntemlerindeki daha düzensiz olması, direkt ekstrüzyon yönteminin diğer dezavantajlarından [9].

Direkt ekstrüzyon yönteminin avantajları şunlardır:

- İstenilen uzunluk, çap ve kalınlıkta yan mamul imal olanağı sağlar.
- Çeşitli dolu ve içi boş profiller kolaylıkla elde edilir.
- Takım düzenlenmesi kolaydır.
- İşletme yönünden kolaylıklar sağlar.
- Kalıp çapı zımbayla sınırlanmamaktadır.

Direkt ekstrüzyon yönteminin dezavantajları ise şunlardır:

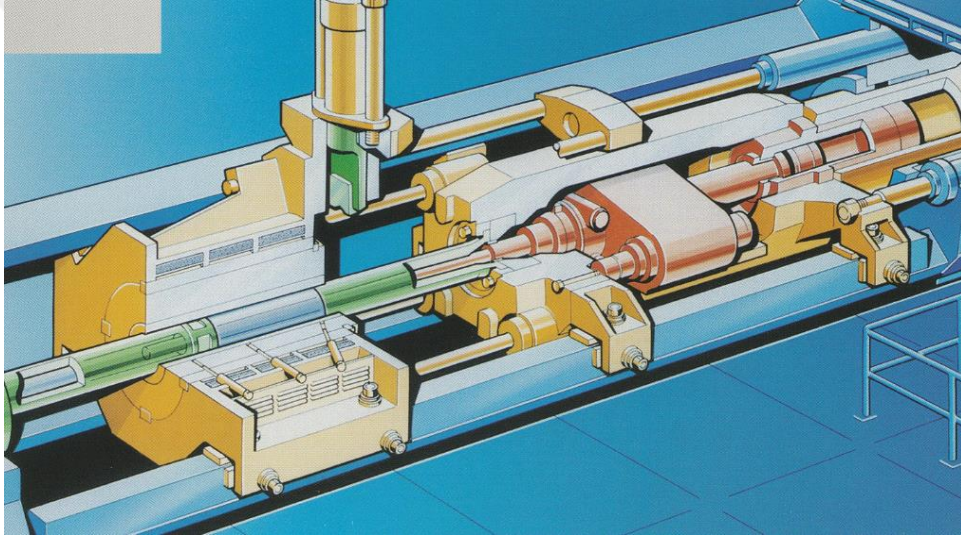
- Gerekli ekstrüzyon kuvveti, indirekt ve hidrostatik ekstrüzyon yöntemlerinden daha yüksektir. Bundan dolayı da ekstrüzyon oranı ve hızı istenildiği kadar yükseltilememektedir.
- Biyet ile kovan arasındaki sürtünme uzun blokların kullanılmasını önlemektedir.
- Ekstrüzyon artığı fazladır.
- Malzeme akışı indirekt ve hidrostatik ekstrüzyon yöntemlerinden daha düzensiz olmaktadır.
- Ekstrüzyon hataları oluşabilmektedir.
- Takım ömrü kısadır
- Kapalı (hollow) profillerin üretiminde boyuna kaynak birleşmesi kaçınılmazdır ve yapısal profillerin üretiminde önemli riskler oluşturur [9].



Şekil 8. Direkt ekstrüzyon şematik şekli [10].

1.3.2. İndirekt Ekstrüzyon Yöntemi

Diğer bir ekstrüzyon yöntemi indirekt ekstrüzyondur. Bu ekstrüzyon yönteminde kalıp, içi boş bir zımbanın ucuna monte edilir ve birlikte hareket eder. Kalıp hareketli biyet sabit olduğundan zımba kovana göre bağıl hareket yaparken, biyet ile kovan arasında bağıl hareket yoktur. Biyet ile kovan cidarı arasında izafi hareket olmadığından sürtünme oluşmamakta ve dolayısıyla ekstrüzyon artığı azalmaktadır. İndirekt ekstrüzyonda; daha az ekstrüzyon artığı oluşmakta ve daha düşük ekstrüzyon sıcaklıkları ile çalışıldığından yüksek ekstrüzyon hızlarına çıkılabilmektedir [9]. Şekil 9'da indirekt ekstrüzyon presi örneği kesiti ve çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 9. İndirekt ekstrüzyon şematik şekli [10].

İndirekt ekstrüzyon yönteminin avantajları şunlardır:

- Direkt ekstrüzyon yöntemine göre yaklaşık %20-30 arasında kuvvet kazancı sağladığından; daha büyük ekstrüzyon oranları, daha yüksek ekstrüzyon hızları, daha düşük blok sıcaklığında çalışma imkânı sağlamaktadır.
- Kullanılan yüksek zımba kuvveti ya ince et kalınlıklı profillerin ekstrüzyonunda, ya daha sert alaşımların ekstrüzyonunda veya daha düşük biyet sıcaklıklarında çalışmayı sağlamak için kullanılır.

- Merkezi kabuğa göre daha hızlı akmadığı için biyet uzunluğu zımba basıncından bağımsızdır. Bu nedenle blok uzunluğu ekstrüzyon kuvveti tarafından sınırlanmayıp, içi boş zımbanın uzunluğu ve rijitliği ile sınırlanmaktadır.
- Ekstrüzyon artığı daha kısa olmaktadır.
- Malzeme akışı daha ideal olmaktadır.
- Kovan çekirdeğinin ömrü, cidar sürtünmesinin önlenmesi nedeniyle artmaktadır.
- Dikişsiz üretim yapılır.

İndirekt ekstrüzyon yönteminin dezavantajları ise şunlardır:

- Profil veya çubuk boyutları, içi delik zımbanın delik çapı ile sınırlanmaktadır.
- Zımbanın uzunluğu, eğme gerilmesiyle sınırlanmaktadır.
- Matris ölçüsü, kovan çapı ile sınırlanmaktadır.
- Karmaşık kesitlerin ekstrüzyonuna uygun bir yöntem değildir [9].

Direkt ve indirekt ekstrüzyonun kısaca karşılaştırılması Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Direkt ve indirekt ekstrüzyonun karşılaştırması

	Direkt Ekstrüzyon	İndirekt Ekstrüzyon
Avantaj	Daha az karmaşık ve kullanımı kolay donanım	Karmaşık ve kullanımı zor ekipman
	Daha zor ve büyük kesitli profillerin üretilmesi mümkün	Biyet ile kovan arası sürtünme tok. Büyük çaplı veya daha uzun biyet kullanmak mümkün
Dezavantaj	Kovan ile biyet arası sürtünmeden dolayı biyet boyu uzunluğu sınırlı	Ekstrüzyon ölçüleri zımbanın iç çapıyla sınırlı.
	Kapalı profillerde mutlaka ekstrüzyon dikişi var	Biyetlerin kabuk temizliği daha önemli

1.4. Alüminyum Ekstrüzyon Tekniği

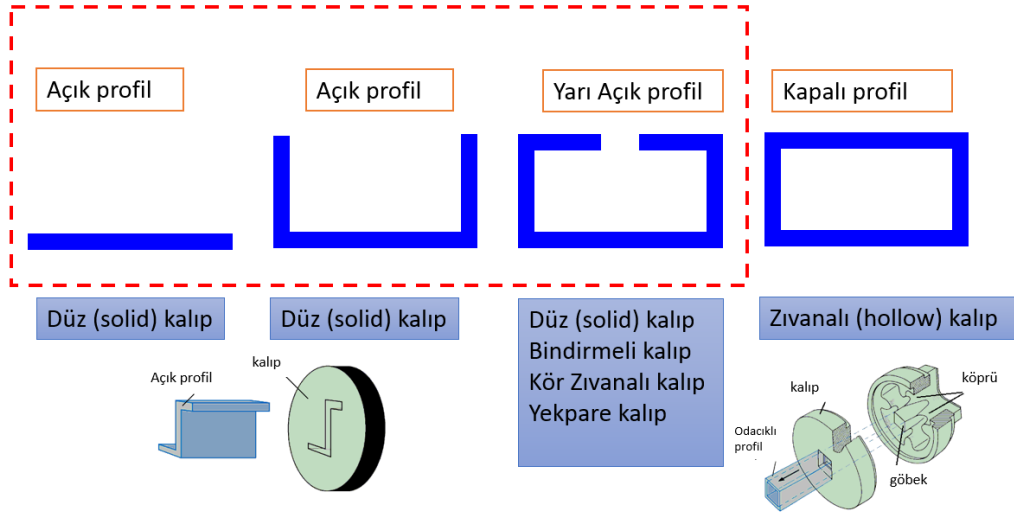
Alüminyum ve alüminyum ekstrüzyonu ile üretilmiş profiller ürün tasarımcılarına, dayanıklı tüketim malzemelerinden taşımacılığa, elektronikten inşaatı kadar değişik sektörlerde diğer üretim yöntemleri ve malzemelere göre güvenilirlikte, performansta ve verimlilikte belirgin avantajlar sunmaktadır

Alüminyumun göreceli düşük yoğunluğu, yüksek mukavemet-ağırlık oranı, kolay şekillendirilebilirliği, işlenebilirliği ve değişik yüzey kalitesine uygunluğu ile ekstrüzyon

yönteminin avantajlarıyla birlikte tasarımcılara daha özgür ve çok yönlü tasarım yapabilme kabiliyetini sağlamaktadır. Alüminyum ve ekstrüzyon üretim tekniği tasarımcılara sunduğu esneklik ile tasarımın sınırlarını genişletmiştir [3].

Alüminyum ekstrüzyon işlemi karmaşık kesitli profillerin üretilmesine imkân sağlayan ve yaygın olarak kullanılan bir tekniktir.

Ekstrüzyon ürünü olan profiller de açık, yarı açık ve kapalı profil olarak sınıflandırılır. Açık görüntü, yarı açık profil ve kapalı profillerin üretiminde muhtelif kalıp teknikleri ve üretim yöntemleri kullanılabilir (Şekil 10). Profillerin istenen genel özelliklerine, boyut ve toleranslarına, malzeme ve mekanik özelliklerine bağlı olarak uygun ekstrüzyon yöntemi seçilir. Her bir tip ekstrüzyonun diğerine göre avantajı ve dezavantajları bulunmaktadır. Direkt ekstrüzyon yöntemiyle, ekstrüzyon pres kabiliyeti ve pres çıkış ağzına bağlı olarak çok karmaşık şekilli açık, yarı açık ve kapalı profillerin üretilmesi mümkündür.

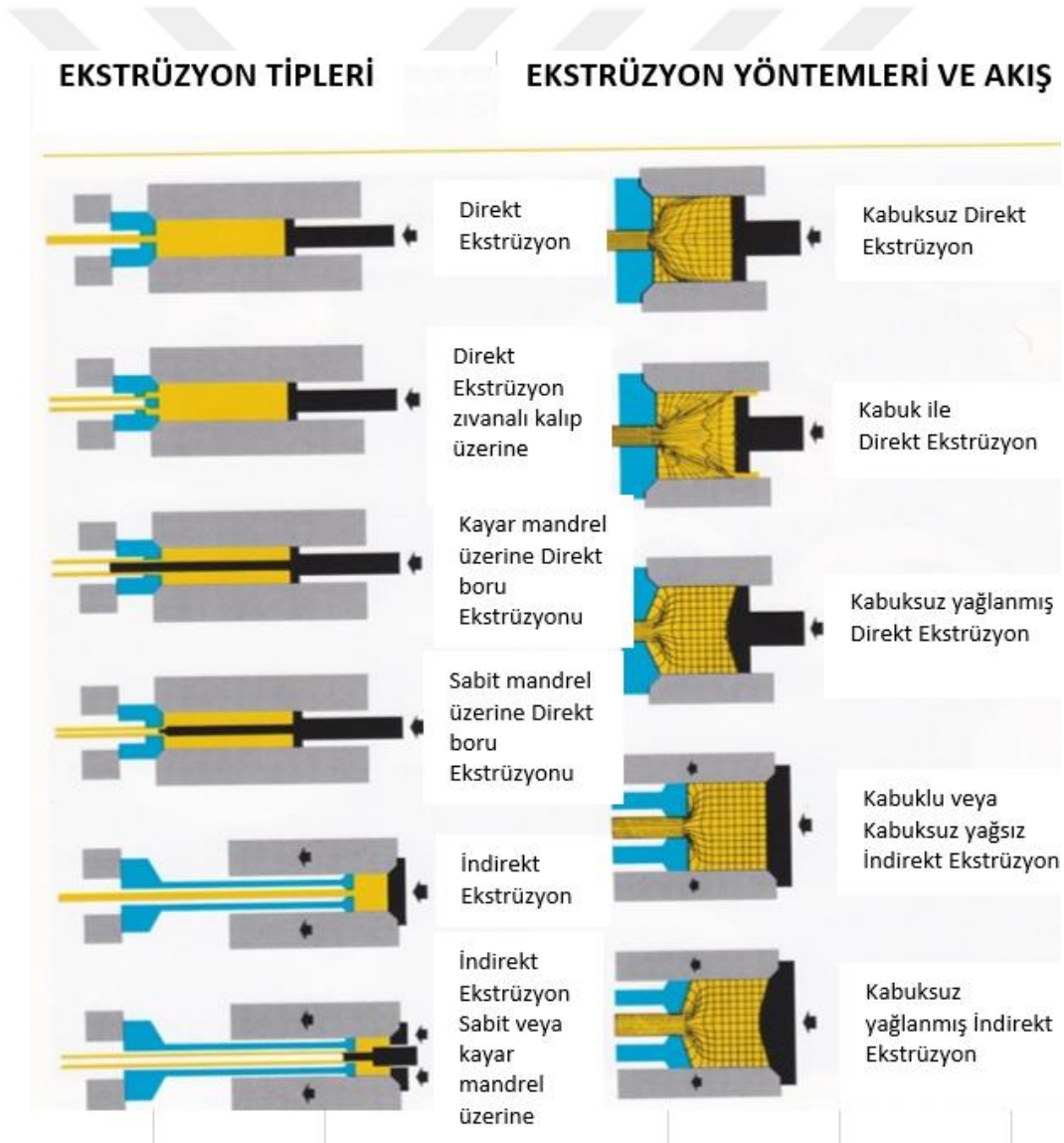


Şekil 10. Profil tipleri ve üretimlerinde kullanılacak kalıp tasarım tipleri [11].

Açık ve kapalı profiller geniş bir işlem seçeneği ile üretilbilirler (Şekil 11). Bunlar;

- Direkt ekstrüzyon yöntemiyle dolu biyetten üretilen açık kesitler, çubuk, lamalar,
- Direkt ekstrüzyon yöntemiyle dolu biyetten zıvanalı kalıp yardımıyla üretilen boru ve içi boş kesitler,

- Direkt ekstrüzyon yöntemiyle dolu veya içi boş biyet ile (preste ileri kayan zımbayla delinerek) üretilen boru ve içi boş kesitler,
- Direkt ekstrüzyon yöntemiyle dolu veya içi boş biyet ile (preste sabit zımbayla delinerek) üretilen boru ve içi boş kesitler,
- İndirekt ekstrüzyon yöntemiyle, zımbanın ucuna monte edilmiş kalıp ile kovana kilitlenerek sızdırmazlığı sağlanan dolu biyetten üretilen kritik dolu kesitler, lamalar, rotlar,
- İndirekt ekstrüzyon yöntemiyle, zımbanın ucuna monte edilmiş kalıp ile kovana kilitlenerek sızdırmazlığı sağlanan dolu veya içi delik biyetten (veya preste delinmiş) sabit iç zımba (mandrel) yardımıyla üretilen boru ve kapalı kesitlerdir.



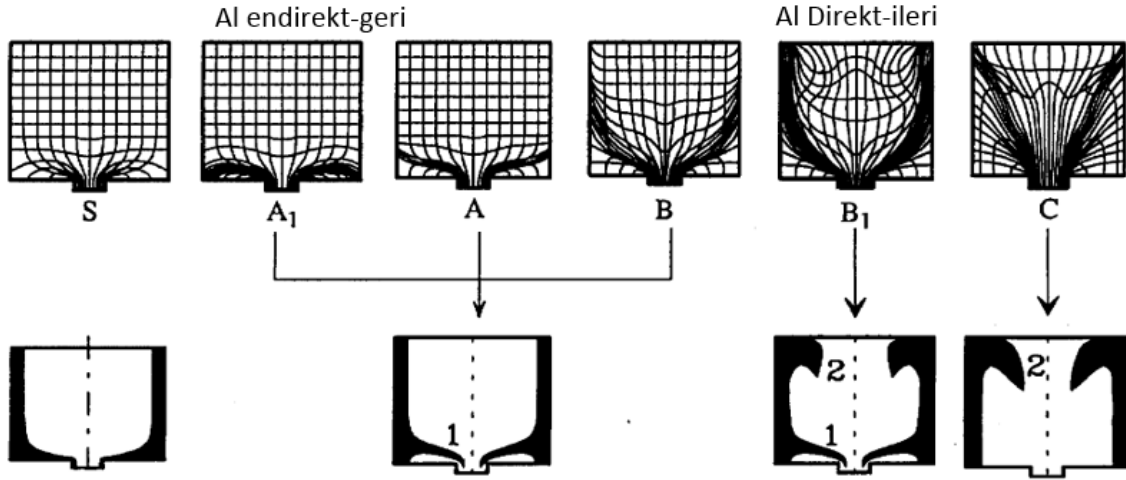
Şekil 11. Ekstrüzyon yöntemleri ve akış tipleri [12].

Ekstrüzyon preslerinin gücü üretilecek biyetin çapı ve boyuna bağlı olarak, belirlenir. Presin ana karakteristiklerinden olan biyet çap ve boyu kovana bir seferinde yüklenebilecek malzemeyi sınırlar. Üretimin sürekliliğinin sağlanabilmesi için pres kovana yüklenen biyet ekstrüze edilip biyet ara işi kesildikten sonra yeni bir biyet kovana yüklenerek bir önceki biyetin arkasından ekstrüze edilir. Alüminyum çok hızlı oksitlendiğinden biyetin yüzeylerinde her zaman bir oksit tabakası bulunur ve bu tabaka biyetlerin alın altına birbirine kaynamasını, yapışmasını engeller. Alın birleşmesi (charge weld- transverse welding) olarak tanımlanan bu birleşme farklı alaşımlarda değişik kaynak kalitesine sebep olur ve genel olarak biyet başından ve biyet sonundan kaynamanın uygun olmadığı kısımlar üretim kusuru olarak kesilip atılarak kusursuz üretim boylarının alınması sağlanır. Biyet biyete alın birleşmesi tüm profil tiplerinin üretiminde (açık, yarı açık ve kapalı) her yeni biyet alındığında karşılaşılan bir durumdur ve profilin üzerinde kalıp duruş izinin gerisinde metalürjik olarak tespit edilip ayrıştırılması gereklidir. Profilin alaşımına, ekstrüzyon oranına ve et kalınlığına bağlı olarak değişmekle birlikte bu kusurun özellikle yapısal profillerde çok hassas bir şekilde tespiti ve seçimi kritik öneme sahiptir.

Direkt ekstrüzyonda yarı açık (semi hollow) profillerin üretiminde tercihen, fakat kapalı (hollow) profillerin üretiminde zorunlu olarak zıvanalı kalıp tekniği kullanılmaktadır ve profilin içindeki odacık/odacıklar veya yarı açık profildeki kritik dil, kalıp köprüleri (bridge) ile profilin merkezinde/pozisyonunda tutulur. Zıvanalı kalıp tekniğinde profilin iç odacığını oluşturan mandrel, en az bir ayak (genelde 2 veya daha fazla) ile pozisyonunda tutulur. Bu şekilde bir veya birden çok ayaklı kalıplar ile üretilen profilin kesitinde kalıptaki ayak sayısı kadar boyuna kaynak dikişi (seam weld-longitudinal weld seam) oluşur. Profil kesiti bu dikişler arası parçacıkların birleşiminden oluşur.

Zıvanalı (köprülü - pothole) kalıplarda malzeme girişi kalıp giriş gözlerinden olur (portlar) ve her bir kalıp gözü (port) arasındaki zıvana ayakları (bridge) profilin iç odacıklarını pozisyonunda tutar. Kovan içinde kovan çapına kadar şişirilmiş biyet pres baskısıyla kalıptaki göz âdetince bölünerek kalıp gözlerine girer ve kalıp ayaklarının altında kaynama odasında basınç ve sıcaklığın etkisiyle tekrar birleşip kalıp geçişlerinden (bearing) geçerek nihai şeklini alır. Bu birleşmenin kalitesi malzeme özelliğine, kaynama odasındaki kaynama basıncına, malzemenin sıcaklığına, kaynama odası ve geçiş kanalı boyu ve geometrisine, malzemenin yüzey temizliği ve oksit tabakası durumuna vb. bağlı olarak değişir. Alaşımın akma direnci yükseldikçe, malzemenin kaynama kalitesi düşer.

Alüminyum ekstrüzyon işlemlerinde uygulanan yöntemlere göre akış formları değişiklik gösterir. Direkt ekstrüzyonda kovanın merkezindeki akış kovanın cidarındaki sürtünmeden dolayı daha hızlıdır ve malzeme homojen bir şekilde akmaz. Bu durum da kalıp gözlerinin kalıp merkezine olan mesafesine bağlı farklı akış hızlarının dengelenebilmesi ihtiyacını doğurur. Basit bir rot profilinde akış çizgileri ve biyet kabuğunun akış tipleri Valberg [13] tarafından yeniden tasnif edilmiş ve Şekil 12’de verilmiştir.

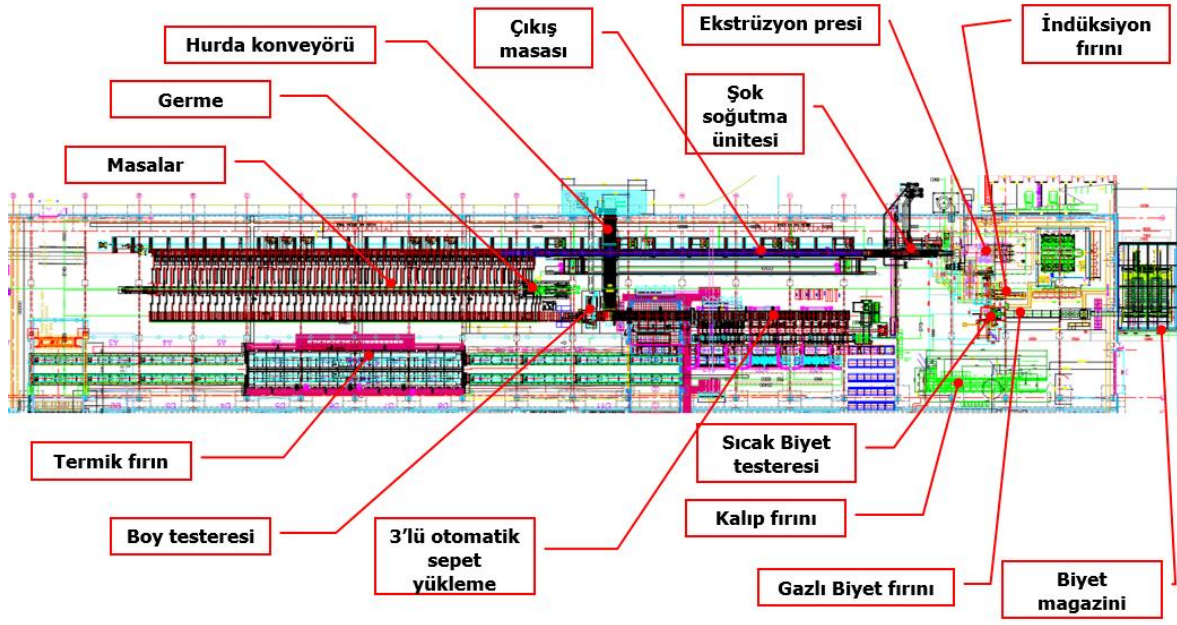


Şekil 12. Direkt ve indirekt ekstrüzyon işleminde alüminyum ve alüminyum alaşımlarının yağsız sıcak ekstrüzyonda akış tiplerinin sınıflandırılması ve biyet kabuk akışının gösterimi [13].

1.4.1. Alüminyum Ekstrüzyon İşlemi Ekipmanları

Alüminyumun kullanımının sürekli artmasıyla beraber temel üretim yöntemlerinden biri olan ekstrüzyon işlemi ve teknolojisi de sürekli gelişmiştir. Teknolojik gelişmeler ürünlerden beklentilerin artmasına sebep olmuş ve bunları karşılayacak ekipmanların çok daha hassas ve kontrollü olması gereğini doğurmuştur. Özellikle statik ve dinamik yük altında çalışan, yüksek mukavemetli ve uzun ömürlü olması istenen alüminyum profiller “yapısal profil” olarak adlandırılır. Otomotiv, raylı sistemler, havacılık, makine sanayi vb. sektörlerde kullanılan bu yapısal profillerin üretimini gerçekleştirebilecek şekilde tam otomasyonlu ve ürünün tüm teknik özelliklerini karşılayacak kabiliyette ekstrüzyon hatları tasarlanıp üretilmiştir. Modern ekstrüzyon pres hatlarının yanında hala daha konvansiyonel ekipman ve yöntemler ile üretim yapan ekstrüzyon hatları da mevcuttur. Genel olarak

modern bir ekstrüzyon hattında olması gereken ekipmanlar ve yerleşimi Şekil 13, 14 ve 15’ te gösterilmiş ve detayları aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 13. Modern bir ekstrüzyon pres hattı yerleşimi [ASAŞ].

1.4.1.1. Biyet Magazini

Farklı alaşımdaki biyetlerin biyet ısıtma fırını öncesi stoklandığı ve üretimin ihtiyacına göre biyet fırın besleme konveyörüne aktarıldığı ekipmanlardır. Yatak, dikey, raflı vb. şekillerinde olabilir. Manuel, yarı otomatik veya tam otomatik olarak çalışan tipleri mevcuttur. Presin öncesi biyet stoğu olarak kullanılır. 1000 mm -7000 mm arası kısa veya uzun olarak biyetler stoklanabilir.

Alüminyum ekstrüzyon işlemi, yarı sürekli bir işlem olarak adlandırılabilir. Preslerin boyutları ve pres güçleri, tek seferde pres kovanına yüklenebilecek malzeme miktarının şekillendirilebilmesine göre belirlenir. Biyet boyu, biyet çapı ve pres gücü birbirine bağlı olarak hesaplanır. Ekstrüzyonda üretimin sürekliliği art arda üretilen biyetlerin birbirine kaynaması/yapıştırılmasıyla sağlanır. Ekstrüzyon sonrasında pres durur ve pres kovanına yeni bir biyet yüklenerek üretim devam eder. Çıkan ürün birbirine eklenmiş biyetlerden oluşur. Preslerin spesifik basıncı pres gücünün kovan alanına oranıyla tanımlanır ve 1 mm^2 ye uygulanan basınç olarak hesaplanır. Tipik ekstrüzyon presleri ve bu preslerde kullanılan

biyet çap ve boyları Tablo 3'te verilmiştir. Pres gücünün kovan kesit alanına bölünmesiyle hesaplanır, birimi kg/mm^2 dir. Yumuşak alaşımlar daha düşük spesifik basınç gerektirirken sert alaşımlar ancak yüksek spesifik basınca sahip preslerde üretilir.

1.4.1.2. Gazlı Biyet Isıtma Fırını

Biyetlerin ekstrüzyon sıcaklığına kontrollü olarak ısıtıldıkları çok bölgesi, PLC kontrollü gazlı ısıtma fırınlarıdır. Tahrik ve taşıma sistemine göre rulolu veya zincirli tipte olabilirler. Kademeli ısıtma sağlayabilecek ve baca gazıyla biyetlerin n ısıtılmasını sağlayacak donanımlara sahip olabilirler. Biyetleri tam konik ısıtmasalar bile burun ısıtma kabiliyetine sahip olanlar biyetlerin nlerini biraz daha fazla ısıtarak kısmi konik ısıtma sağlayabilirler.

1.4.1.3. İndüksiyonlu Biyet Isıtma Fırını

Kararlı bir işleme sahip olabilmek ve sabit profil çıkış sıcaklığı için izotermal ekstrüzyonun yapılabilmesi gereklidir. Bunun için hassas konik ısıtmanın yapılabilceği fırınlar indüksiyonlu biyet ısıtma fırınlarıdır. 150-250 mm genişliğindeki bobinler ile ısıtma yapılarak çok daha hassas ve kontrollü biyet ısıtma yapılması sağlanır. Biyetin başı ile biyetin sonu arasında istenen konik ısıtmayı sağlayarak profilin sabit çıkış sıcaklığıyla üretilmesini ve dolayısıyla kararlı mekanik özelliklerin yakalanabilmesini sağlar. Gazlı biyet ısıtma fırınından sonra kullanıldığı gibi yalnız olarak da kullanılabilir. Gaz fırınıyla aynı hat üzerine eř zamanlı çalışacak şekilde modern çözümler de ekstrüzyon sektöründe kullanılmaya başlanmıştır.

1.4.1.4. İndüksiyonlu Biyet Isıtma Fırını

Uzun boy olarak biyet fırınında ısıtılan kütüğün (log) hesaplanan biyet boyuna kesilmesi gerekir. Bu işlem biyetin ekstrüzyon sıcaklığına yakın olarak ısıtıldıktan sonra sıcak kesme giyotiniinde yapılır. Sıcak kesme giyotiniyle kesilen biyelerde talaş olmadığı için hurdasız bir kesim gerçekleştirilerek verimlilik açısından avantaj sağlanmış olur. Sıcak kesme işleminde kesim çapağı olmamasına rağmen giyotin ile kesme

gerçekleştirildiğinden çapta belirli bir deformasyon kaçınılmazdır. Kesim ekipmanı kalitesiyle bu deformasyon minimumda tutulmalıdır.

1.4.1.5. Sıcak Biyet Testere ve Giyotini

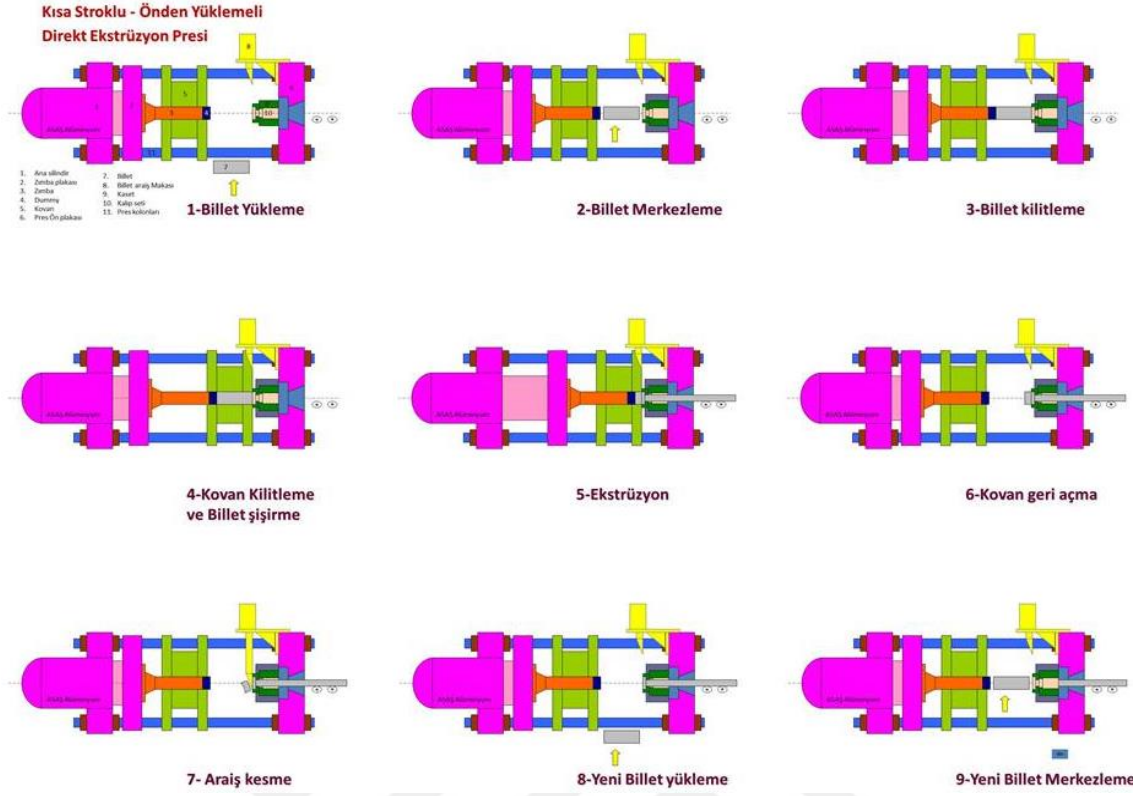
Sıcak giyotine alternatif olarak sıcak biyet testeresi de özellikle otomotiv profilleri üreten tesislerde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Düzgün bir kesim yüzeyi ve hassas bir kesim kalitesi sağlamasına rağmen 450 °C ve üzeri sıcaklıklarda kesim yapmanın zorluğu ve 4-8 mm kalınlığındaki testere çapağı işlemin dezavantajlarıdır.

1.4.1.6. Kalıp Isıtma Fırınları

Kalıp ısıtma fırınları kalıpların 450-480 °C sıcaklıklarına ısıtıldığı fırınlardır. Tekli ve çok gözlü olarak kullanılan seçenekleri mevcuttur. Yükleme tipine göre alttan yüklemeli, çekmece tipi veya konvansiyonel tip olarak sınıflandırılabilirler. İndirekt veya radyasyonla ısıtma yapılmaktadır. Kalıpların homojen ve istenilen sıcaklıkta olması üretim için kritik özelliğindedir. Tek hücreli ocaklarda ısıtılan kalıplar daha kararlı ve homojen ısıtılırlar.

1.4.1.7. Ekstrüzyon Presi

Direkt Ekstrüzyon presleri, kısa strok önden yüklemeli, uzun strok arkadan yüklemeli, kısa strok arkadan yüklemeli ve kayar zımbalı, kısa strok önden yüklemeli şeklinde değişik tiplere ayrılabilirler. Son zamanlarda yaygın olarak kısa stroklu ve önden yüklemeli presler üretilmektedir. Daha rijit ve basitleştirilmiş yapıları ve biyetin kovanın merkezine yüklenebilme kabiliyetiyle konvansiyonel preslere üstünlük sağlamaktadırlar. Modern preslerdeki lineer kızak sistemiyle zımba-kovan-kalıp eksenleri çok daha hassas ve iyi ayarlanabilmektedir. PLC kontrollü hidrolik presler biyet boyunca sabit zımba hızını sağlayabilecek şekilde donatılmıştır. Modern presler çeşitli işlem kontrol ve yönetim yazılımlarıyla izotermal ekstrüzyon yapabilme kabiliyetine sahiptirler. Kısa stroklu önden yüklemeli preslerde kovana biyet yükleme ve bir ekstrüzyon işleminin biyet yükleme döngüsü şematik olarak Şekil 14'te verilmiştir.



Şekil 14. Kısa stroklu önden yüklemeli pres işlem adımları

Ekstrüzyon preslerinin güçleri kullanılacak biyetin çapı ve boyuna göre hesaplanır. Bazı ekstrüzyon preslerinin biyet çapına göre hesaplanmış pres güçleri ve biyetin 1 mm^2 'sine uyguladıkları basınçlar Tablo 3'te verilmiştir.

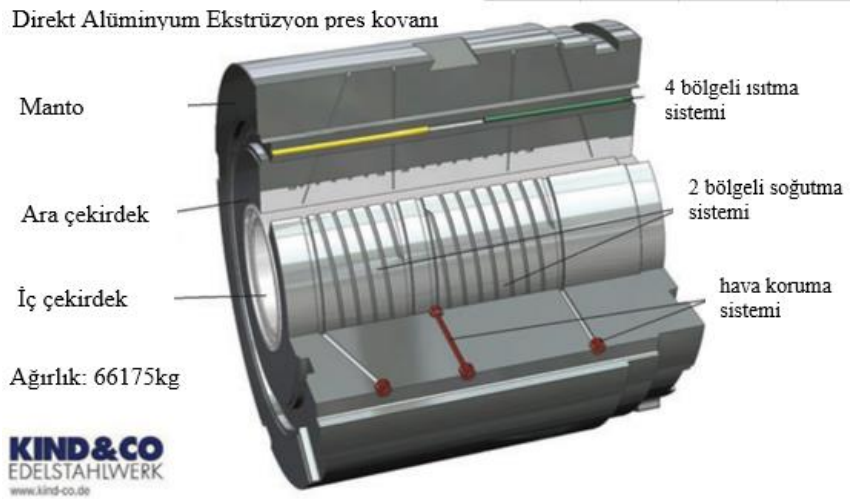
Tablo 3. Tipik alüminyum ekstrüzyon presleri pres gücü, biyet çap ve boyu tablosu

PRES SPESİFİK BASINCI (kg/mm2) TABLOSU																			
	2"	3"	4"	5"	6"	7"	8"	9"	10"	12"	14"	16"	18"	19"	20"	21"	22"	24"	32"
kovan çapı (inc)	2,06	3,09	4,12	5,15	6,18	7,21	8,24	9,27	10,3	12,36	14,42	16,48	18,54	19,57	20,6	21,63	22,66	24,72	32,96
kovan çapı hesap (mm)	52,3	78,5	104,6	130,8	157,0	183,1	209,3	235,5	261,6	313,9	366,3	418,6	470,9	497,1	523,2	549,4	575,6	627,9	837,2
kovan alanı (cm2)	23,7	45,3	81,7	126,6	181,4	248,7	324,1	410,2	506,5	729,3	992,6	1296,5	1640,9	1828,3	2025,8	2233,4	2451,2	2917,2	5186,1
PRES GÜCÜ (TON)	Kalıp yüzeyindeki mm2 ye gelen Pres Basıncı -Specific Pressure (kg/mm2)																		
200	84,2	44,1	24,5																
300	126,3	66,2	36,7	23,7															
600		132,3	73,5	47,4	33,1														
1.000			122,4	79,0	55,1														
1.250				98,7	68,9	50,3													
1.450					79,9	58,3													
1.600					88,2	64,3	49,4												
2.000					110,3	80,4	61,7	48,8											
2.200						88,5	67,9	53,6											
2.500							100,5	77,1	60,9	49,4									
2.700								83,3	65,8	53,3									
3.500									108,0	85,3	69,1	48,0							

Ağırlıklı olarak yapısal alüminyum profillerin üretildiği 55 MN'luk kısa stroklu önden yüklemeli direkt ekstrüzyon presi tam otomatik olarak üretim yapabilmektedir (Şekil 15). Ekstrüzyon kovani biyetin içerisine yüklendiği ve tüm ekstrüzyon basıncına dayanabilecek şekilde mukavim olarak iki veya üç parçalı şekilde sıcak iş takım çeliklerinden üretilir. Isıtma ve soğutma sistemine sahip ekstrüzyon kovani Şekil 16'te gösterilmiştir.



Şekil 15. 55 MN direkt alüminyum ekstrüzyon presi [ASAŞ].



Şekil 16. Direkt ekstrüzyon presi için 3 parçalı kovani (Üretici: Kind &Co).

1.4.1.8. Şok Soğutma Ünitesi

Profilleri istenen nihai fiziksel özelliklere ulaşabilmesi için şok soğutma üniteleri çok kritik öneme sahiptirler. Farklı alaşımlar farklı soğutma hızlarında soğutulmaya ihtiyaç duyarlar. Alaşıma ve profilin kesitine bağlı olarak profiller çıkış sıcaklığından (500-560 °C arası) 250 °C altına uygun soğutma hızlarında soğutulmalıdır. İstenenden daha yavaş soğutulan profiller termik işleminden sonra istene mekanik özellikleri yakalayamaz. Gerektiğinden daha hızlı soğutulan profiller de aşırı deformasyona uğrayacaklarından çarpılarak kullanılamaz hale gelebilirler. Bunun için profilleri mekanik özelliklerini yakalayabilecek kadar hızlı, çarpılmayacak kadar da yavaş soğutmak için çok bölgeli PLC kontrollü şok soğutma üniteleriyle soğutulmaları gerekir. Şok soğutma üniteleri, hava, sisleme, spreyci soğutma ve su havuzundan geçirme modüllerine sahip olabilirler. Şok soğutma üniteleri soğutulacak profillerin tipine, ebatlarına ve alaşımına göre tasarlanırlar. Uygun çıkış sıcaklığı ile şok soğutmasına girmeyen ve gerekli soğutma hızıyla soğutulmayan profillere istenen hassas mekanik özellikler yakalanamaz.

1.4.1.9. Ekstrüzyon Masaları ve Ekipmanları

Çekiciler (puller) profilleri presten çıktıktan sonra yakalayıp çekerek ekstrüzyona yardım eden ekipmanlardır. Çekici (puller) ile çekildiği, ortam sıcaklığına kadar soğutulduğu, ekstrüzyon boyuna kesilerek germe masalarına aktarıldığı ekipmanlardır. Yüksek otomasyon gerektirirler. Yüksek verimlilik ve kalite için önemli ekipmanlardır. Çok figürlü kalıplarda figürleri bir arada tutup çekerek problemsiz ekstrüzyona yardım eder. Kesilen profili soğuma ve germe masasına hızlı bir şekilde aktararak presi duruşunu en aza indirir.

Germe presi ortam sıcaklığına kadar soğuyan profilleri önce doğrultup daha sonra da plastik deformasyon sınırı üzerinde gererek profilin iç gerilmelerinin alınmasını ve kısmi olarak da deformasyon sertleşmesini sağlar. Profillerin büyüklüğü ve alaşımına göre profili gerebilmek için gerekli güç hesap edilir. Soğuma sırasında oluşan çarpılma ve eğrilikleri giderir ve profilleri % 1-3 arasında germe işlemine tabi tutar.

Hassas ölçülerde kesim yapabilen soğuk testere; gerilmiş uzun profillerin istenen boya guruplar halinde kesilmesini sağlar. Ekstrüzyonun verimliliği için en uzun boyda üretim yapılabilmesi için en uzun masa boyu kullanılmalıdır. Genel olarak 6 metre

boyunda talep edilen profiller tipik masa boyu olan 63 metre uzunluğunda üretilebilir ve baştan ve sondan germe hurdaları ayrılarak 10 adet 6 metre boyunda profil boy testeresinde kesilerek termik sepetine konabilir. Çoğunlukla PLC kontrollü olan testereler pres hattının kabiliyetine göre 1 metre ile 30 metre arasında muhtelif boylarda hassas kesim yapabilir. Testerede sipariş boylarına kesilen profiller yükleme robotlarıyla termik sepetlerine konarak suni yaşlandırma fırınına sevk edilirler.

Ekstrüzyon hattında üretilen profillerin soğutulduğu, gerilerek müşterinin talep ettiği nihai boya kesildiği tipik çift boylu ekstrüzyon masaları Şekil 17’te gösterilmiştir.



Şekil 17. Modern ekstrüzyon pres hattı germe ve soğutma masası [ASASŞ].

1.4.1.10. Suni Yaşlandırma Fırını

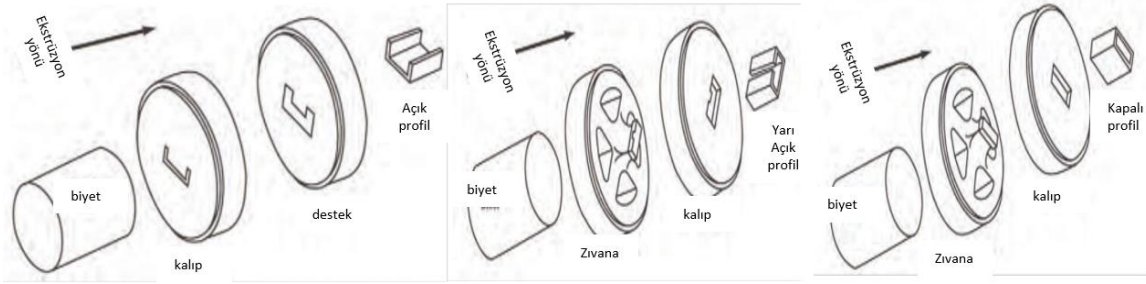
Profiller ekstrüzyon edilip soğutulmasına ve germe işlemine tabi tutulmasına rağmen yumuşaktırlar ve nihai mekanik özelliklerine ulaşabilmeleri için sun'i olarak yaşlandırılmaları gereklidir. Profilleri ortam şartlarında bekleyerek zamanla çok yavaş bir şekilde sertlik kazanmaya başlarlar. Endüstriyel olarak profilin üretim sonrası nihai sertlik ve mukavemet şartlarına ulaşabilmesi için şok soğutmada uygun hızlarda soğutulup termik fırında uygun reçeteye ısıtılarak işleme tabi tutulması gereklidir. Farklı alaşımlar için farklı reçeteler gereklidir. Termik fırınlarının rampalama, tutma sıcaklıkları ayarlanarak profiller 150-200 °C arasında ve 2-20 saate kadar ısıtılarak işleme tabi tutularak profilleri suni olarak yaşlandırılırlar.

Sipariş boylarına kesilen profillerin termik sepetlere yüklenip yaşlandırma fırınına taşınması, profillerin mühendislik hurdalarının pres hattından uzaklaştırılması (dökümhaneye veya fabrika dışına taşınması) için yardımcı ekipmanlara ihtiyaç var. Yoğun olarak yapılan bu taşıma işlemini iş güvenliğine uygun olarak ve verimli ve hızlı bir şekilde yapabilmek için, konveyörler, vinçler, taşıma aparatları, sepetler vb. gereklidir. Fabrikalar kendi işlem adımları ve yerleşimlerine göre kendi çözümlerini üretirler.

1.4.2. Alüminyum Ekstrüzyon Kalıp Tekniği ve Kalıp Tasarım Prensipleri

Kalıp ekstrüzyon işleminin en kritik elemanlarından biridir. Kalıp tasarımı, uygun profil geometrisini ve fiziksel şartları sağlayabilecek şekilde, profil ekstrüzyonunun yapılacağı pres şartları (pres gücü, kovan çapı, kovan boyu, pres takımları ebatları, pres çıkış ağız geometrisi, presin diğer yardımcı ekipmanlarının durumu vb.) dikkate alınarak yapılır. Profilin kesiti kalıp tasarımının başlangıcını oluşturur. Temel olarak profilin geometrisinin istenen formda olabilmesi için değişik tasarım teknikleri ve akış dengeleme yöntemleri uygulanır. Uygun profil akışının sağlanabilmesi için kalıp tasarımı tamamlandıktan sonra yapılacak sayısal modelleme ile akış simüle edilerek kalıp uygun kalıp tasarımı elde edilebilir. Simülasyon tekniği sürekli gelişerek gerçeğe daha yakın değerler vermektedir. Endüstriyel uygulamalarda genel olarak kalıbın tasarımı belirli temel hesaplar ile birlikte kalıpçılarının tecrübesi temeli üzerine kurulmuştur. Kalıp tasarımında profilin geometrisi ve ebatları, et kalınlıkları, alaşımı, mekanik özellikleri diğer temel girdi parametreleridir. Kalıp tasarımcısı, kalıbın maruz kalacağı yük ve strese bağlı olarak kullanacağı kalıp çeliğini, kalıp çap ve paket kalınlığını hesaplar. Sıcak bir şekillendirme işlemi olan ekstrüzyonda kalıbın ve profilin ekstrüzyon şartlarındaki (yüksek sıcaklık altında) sıcak genişmesi neticesinde ölçü değişikliği, profilin toleransları, akışla öngörülen geometrik değişiklikler hesaplanarak profilin kalıptaki ölçüleri belirlenir. Profil ekstrüze edilip soğutulduktan ve germe işlemine tabi tutulduktan sonra istenen tolerans aralığında olması kalıp tasarımı ve imalatının başarısını gösterir.

Alüminyum profil kalıpları profilin tipine bağlı olarak tasarlanır. Açık ve yarı açık profillerin tasarımında hem düz hem zıvanalı kalıp tekniği kullanılabilir. Kapalı profillerde ise sadece zıvanalı kalıp tekniği kullanılır. Şekil 10'de profil tipleri ve bunların üretilmesi için kullanılacak kalıp tipleri belirtilmiştir.



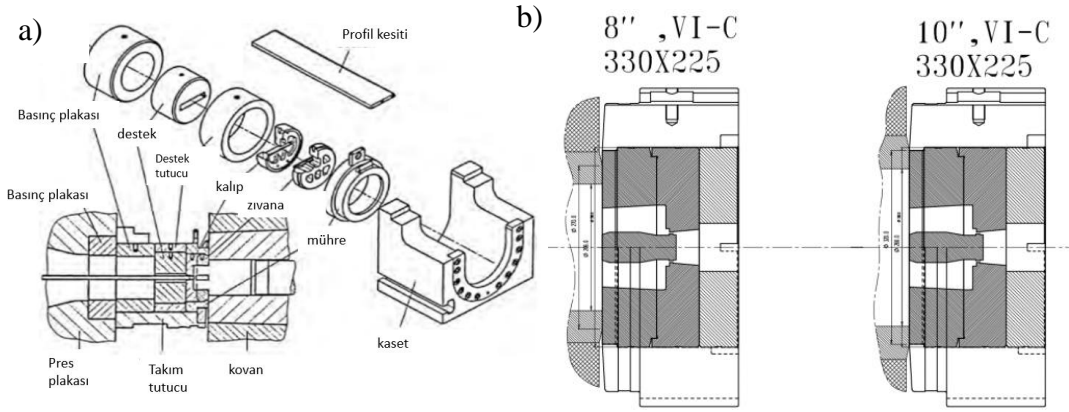
Şekil 18. Kalıp tipleri, a) düz kalıp, b) bindirmeli kalıp, c) zıvanalı kalıp [6].

Açık profillerin üretimi için tek profilli veya çok profilli (çok figürlü) düz kalıp tipi kullanılır. Yarı açık profillerin üretiminde bindirmeli kalıp veya yekpare kalıp tekniği kullanılır. Bu durumda iç göbeği tutan kalıp ayaklarından boyuna ekstrüzyon dikişi ile üretilirler. İçinde bir veya daha fazla odacık bulunan profiller zıvanalı (hollow dies) kalıp tekniği ile üretilirler (Şekil 18).

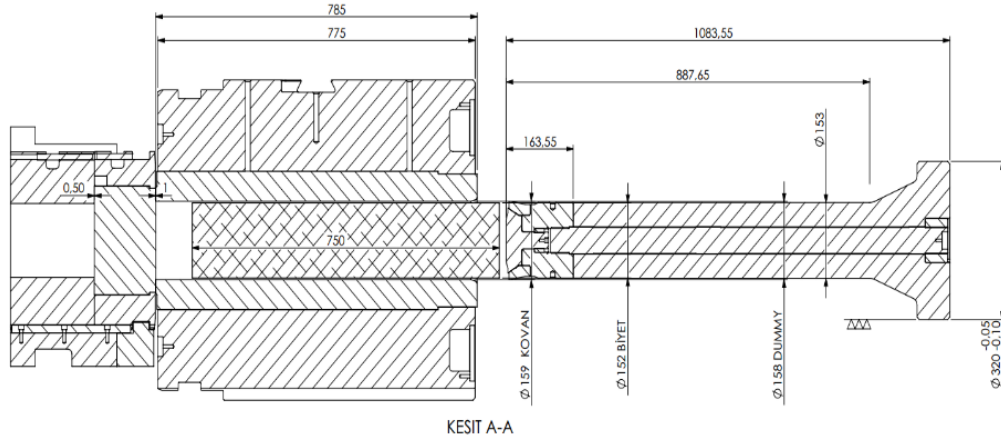
Ekstrüzyon işlemi kovan, zımba, baskı yüzüğü, kaset vb. gibi pres takımları ile mührer, ara destek, destek gibi kalıp takımlarının uygun çalışmasıyla gerçekleştirilir. Ekstrüzyon pres takımları, ekstrüzyonda yüksek ısı ve basınca maruz kalan ve belirli periyotlarda değiştirilmesi gereken presin ana ekipmanlarına göre daha kısa ömürlü ekipmanlar olarak ta tanımlanabilirler.

Kovan, zımba, genişleyen baskı bloğu, kalıp sürgüsü, biyet artığı giyotin makası, pres basınç plakası vb. gibi pres takımları profilin şekillendirilmesinde direkt etkili olmamalarına rağmen kalıbın uygun pozisyon ve destek şartlarında tutulabilmesi, ekstrüzyon işleminin gerçekleştirilmesi için gerekli temel takımlardır.

Kalıp sürgüsü kalıp takımlarını pres ekseninde tutmaya yarayan, hızlı kalıp değişimine imkân tanıyan ve muhtelif çaplardaki kalıpları adaptör ve mührerler yardımıyla prese bağlanmasını sağlayan, presin ve kalıp ebatlarının büyüklüğüne göre prese özel tasarlanan ekipmanlardır (Şekil 19 a). Kalıp kasetinin içine yerleştirilerek farklı çaplardaki kalıpların her zaman pres eksenine yerleştirilmesini sağlamaya yarayan kalıp tutucu olarak ta tanımlanan takımlara yüzük veya mührer denilmektedir (Şekil 19 b). 13 MN luk bir ekstrüzyon presinde pres ve kalıp takımlarının birlikte kullanımı Şekil 20'de verilmiştir.



Şekil 19. Direkt ekstrüzyon pres takımları, a) kaset ve kalıp seti [8], b) mühre ve kalıp



Şekil 20. 13 MN pres ve kalıp takımları (direkt pres-ASAŞ).

Mühreler sıcak iş takım çeliğinden imal edilirler. Alüminyum ile temas eden veya etmeyen tasarımları mevcuttur. Dış çapı sürgü ebatlarında, iç çapı da muhtelif kalıp ebatlarında olarak gerekmedikçe kaset iç çapında kalıp yapmadan da kalıp setinin tamamlanmasını sağlar.

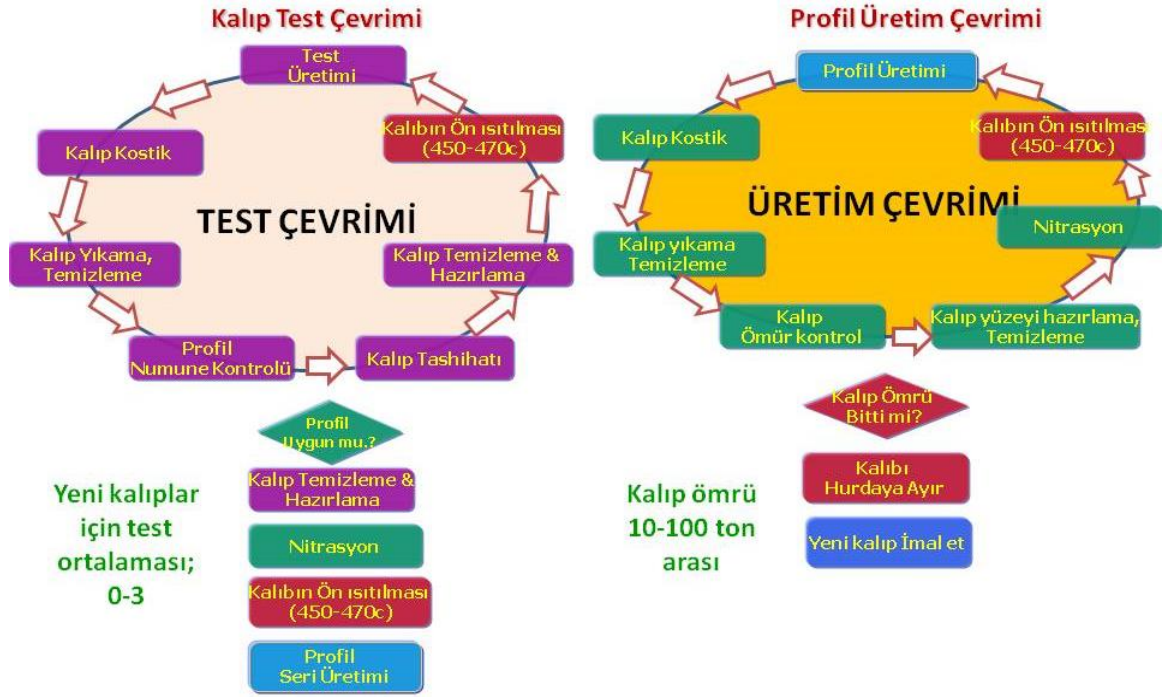
Ekstrüzyon kalıpları konvansiyonel ve CNC işleme tezgâhları kullanılarak üretilir. Şekil 21'de örnek bir zıvanalı kalıbın üretim süreçleri verilmiştir. 1) Çelik kesme, 2) tornalama, 3) CNC'de işleme, 4) konvansiyonel detay işleme, 5) ayak açları işleme, 6) ısıl işlem sonrası taşlama, 7) tel erozyon, 8) ark erozyon, 9) besleme kanalları işleme, 10) geçiş parlatma, 11) tesviye, 12) kasete yerleştirme, 13) alıştırma, 14) paketleme, 15) profil ekstrüzyonunda ilk çıkış, 16) profil ekstrüzyonu.

Ekstrüzyon kalıpları, profil geometrisinin uygunluğunun kontrol edilebilmesi ve gerekli tamir ve düzeltme işlemlerinin yapılabilmesi için test edilir. Test üretimi öncesinde

kalıplar ön ısıtma fırınlarında ısıtılarak ekstrüzyon presine bağlanır ve deneme üretimi gerçekleştirilir. Üretimi tamamlanan kalıplar soğuduktan sonra içindeki alüminyumun çıkartılması için kostik banyosuna atılarak alüminyum ergitilir. Daha sonra kalıplar yıkama ve kumlama yapılarak tamire hazır hale getirilir. Profil geometrisi ve alüminyum akışına bağlı gerekli tamirler yapılarak kalıbın tekrar test edilmesi sağlanır. Üretilen profilin istenen şartlara ulaşması durumunda kalıp nitrasyon işlemine tabi tutularak seri üretimde kullanıma hazır hale getirilir. Kalıptan profil üretim döngüsü kalıbın hurdaya ayrılmasına kadar devam eder. Kalıp test aşamaları ve profil üretim çevrimi Şekil 22’de verilmiştir.



Şekil 21. Alüminyum ekstrüzyon kalıp üretim aşamaları [ASAŞ].



Şekil 22. Alüminyum ekstrüzyonunda yeni kalıp test ve seri profil üretim döngüsü

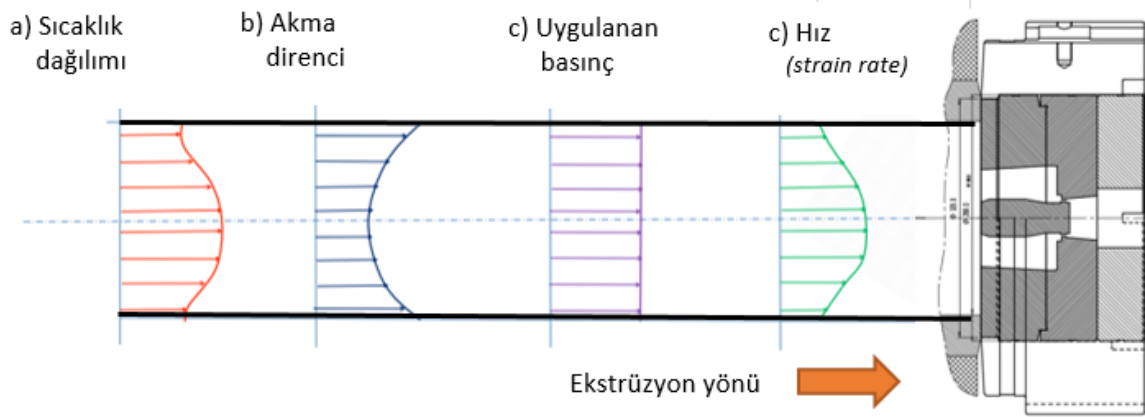
1.4.2.1. Kalıptaki Metal Akışının Dengelenmesi

İçinde odacık olmayan profiller ile (solid) içinde odacık olan profillerin (hollow) kalıp tasarımları ve akışları farklılık göstermektedir. Tasarımcı, kovan çapı ölçülerindeki alüminyum, kalıbın alüminyum girişi olan ön besleme haznesi veya köprü (zıvana) ile yönlendirerek kaynama odasına iletir. Kapalı (odacıksız - solid) profillerde art arda ekstrüze edilen biyetler alın altına birleşerek bir sürekli form elde edilir. Açık profillerde ise ekstrüze edilen biyet önce kalıp ayakları âdeti kadar parçalara bölünür ve kalıp gözlerinden içeri girerek kalıp kaynama odasında yeniden birleşir. Birleşen alüminyum profilin hesaplanmış açıklık kesiti olan aralıktan geçerek profilin kesit şeklini alır. Profil nihai şeklini kalıptaki bu açıklıktan alır. Profilin son şeklini aldığı kısma “kalıp geçişi” (bearing) denir ve profilin et kalınlığına, et kalınlığı farkına, kesitin kalıp merkezine olan mesafesine, kalıp göz ve ayak pozisyonlarına göre akışı dengelemek ve profilin kesitinin tamamının tüm ekstrüzyon boyunca kalıptan aynı hızla çıkmasını sağlayabilmek üzere farklı yüksekliklerde yapılır. Kalıp geçişlerindeki farklılıkları hesaplayan algoritmalar geliştirilmiş olmakla birlikte genel olarak bu işlem de tasarımcının hesap kabiliyeti ve tecrübesiyle belirlenir. Kalıp geçişleri profil kesitini bölgesel olarak yavaşlatıp

hızlandırarak genel profilin hızını kontrol eder ve profilin geometrisinin uygunluğuna yardım eder.

Kovan merkezi ve cidarı arasında sıcaklık ve s¼rt¼nme farkından dolayı merkezdeki akış ile cidardaki akış hızları farklı olacaktır (Şekil 23) ve bu da kalıp tasarımıyla dengelenebilmek amacıyla merkezin yavaş akması, cidarın da uygun beslemeyle daha hızlı akması sağlanarak akış dengesi oluşturulmaya çalışılır. Akışta üniform olmayan noktalar şöyle sıralanabilir.

- Merkez ile cidar arasında sıcaklık farkı vardır.
- Sıcaklık düşt¼kçe al¼minyumun akma direnci artar,
- Kalıp yüzeyine uygulanan basınç üniform- sabittir ve pres spesifik basıncına karşılık gelir. Cidardaki basınç etkisi ihmal edilebilir.
- Kalıp merkezinden uzaklaştıkça alaşımanın akma direnci de artar.
- Kalıp merkezindeki akış hızının değişkenliği sıcaklık farkı ve kovan cidarının s¼rt¼nme etkisinden kaynaklanır.



Şekil 23. Kovan içinde sıcaklık, akma direnci, basınç, hız dağılımı

1.4.3. Ekstrüzyon İşleminin Modellenmesi

Ekstrüzyon sim¼lasyonu gelişen yazılım ve donanım teknolojisiyle daha kısa zamanda modelleme yapabilmeyi, ağ örg¼s¼ hazırlama ve sayısal modelleme sürelerini de kısaltarak end¼stride artan oranda tasarım doğrulama ve karar verme aracı olarak kullanılmaktadır.

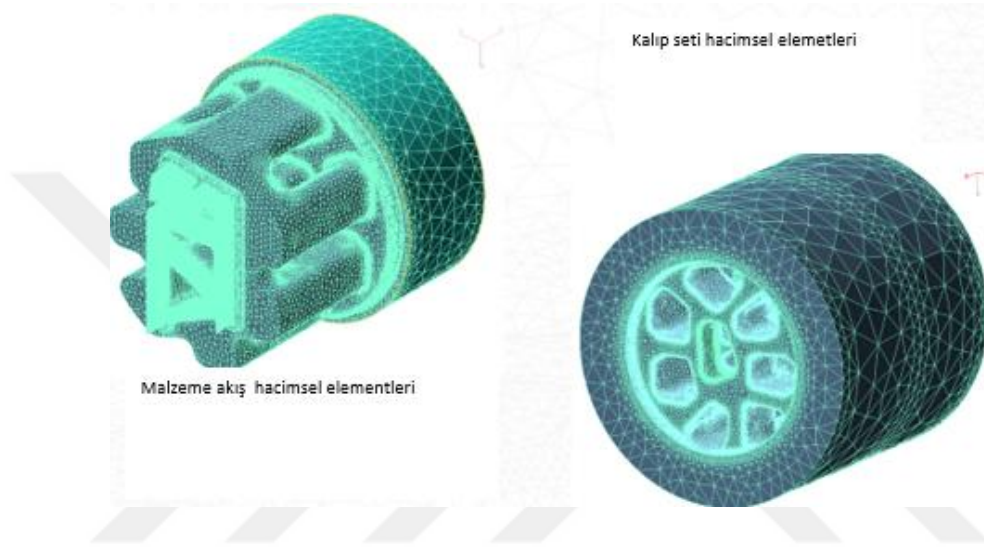
Ekstrüzyon sayısal modelleme programları da gelişerek ekstrüzyon işleminin tüm değişkenliklerini dinamik olarak hesaplayabilecek algoritmaları geliştirip kullanıma sunmaktadırlar. Bu şekilde gerçeğe daha yakın sayısal modellemeler yapılmasına imkân sağlanmaktadır. Simülasyon programlarının kullanımının kolaylaşması ve doğruluğunun artması yaygınlığını arttırmaktadır. Endüstriyel uygulamalar henüz sayısal modelleme ile yapılan öngörülerini taşıdığı riskten dolayı kabul etmemektedir bu yüzden hala yapısal uygulamalarda üretilmiş profillerin her bir ekstrüzyon boyunun başından ve sonundan kesilen numuneler dağılıp incelenerek kusurdan arındırılmış ürünler tespit edilmektedir.

Sayısal modellemenin gelişmesi ve yaygınlaşması seri üretilmiş profillerin uygunluk kararının verilmesinde kullanılmasa bile kalıp tasarımında kalıbın en uygun hız ve verim şartlarında tasarlanması ve minimum kusur ve maksimum verime uygun tasarlanmasına hizmet edecektir. Kalıp yapım maliyeti, kalıp yapım süresi, tamir edilebilir kalıp tasarımı, zamanında üretim, ilk seferinde doğru üretimin yapılabilmesi, endüstriyel kuruluşların müşteri tatmini ve memnuniyeti için odaklandığı ve sürekli geliştirme yaptıkları konulardır.

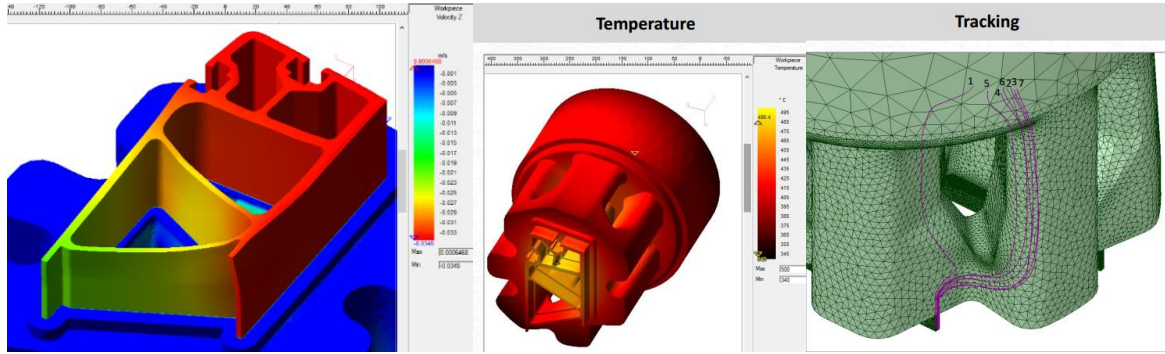
Genel amaçlı yazılımlar ile ekstrüzyonun sayısal analizi yapılabildiği gibi daha özelleşmiş Q-Form, D-Form, HyperXtrude® vb. gibi ticari yazılımlar ile de sayısal analiz yapılmaktadır. Bu ticari yazılımlar hem bilimsel çalışmalarda yaygın olarak kullanılmış ve ayrıca endüstride de kalıp imalatı öncesi kalıp tasarımlarının doğrulaması ve düzeltilmesinde etkin bir araç olarak kullanılmaya başlanmıştır. Donanım ve yazılımlardaki gelişmeler hem ağ örgüsü hazırlamayı kolaylaştırmış ve hazırlık aşamasını kısaltmış hem de sayısal analiz süresini günlerden saatlere indirmiştir. Özellikle, tasarımı karmaşık ve maliyeti yüksek ekstrüzyon kalıplarından yapılacak üretimi önceden simüle etmek kalıpların başarısı ve performansını arttırmış ve imalat öncesi tasarımın optimizasyonunun sağlanmasına imkân sağlamıştır. Kalıbın zorluğu ve boyutuna bağlı olarak 500€ - 50.000€ arasında bir maliyete sahip olan kalıplar daha iyi bir öngörü ile daha doğru bir tasarım ile üretilebilmektedir. Hatalı yapılan kalıp tasarımlarıyla üretilen kalıpların düzeltilmesi bazen mümkün olmamakta ve bu yüzden kalıbın yeniden farklı bir tasarım ile yapılması ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu da kalıbın büyüklüğüne bağlı yüksek maliyetler ile karşı karşıya kalınmasına sebep olmaktadır.

Ekstrüzyon simülasyonu hazırlık için kalıp ve malzemenin modellenmesi Şekil 24'de, bazı simülasyon analiz örnekleri Şekil 25'te verilmiştir.

Ekstrüzyon sayısal modelleme teknolojisindeki gelişmeler bütün dünyada yapılan kongrelerde (Almanya ve İtalya’da dönüşümlü olarak yapılan “International Conference on Extrusion and Benchmark” konferansı gibi) tartışılmakta ve kriterleri konferans komitesi tarafından belirlenen bir kalıp üzerinde sayısal analiz ve gerçek neticeler karşılaştırılarak sayısal modelleme yazılımlarının performansı değerlendirilmektedir. Bu şekilde sayısal analiz tekniğindeki gelişmeler akademisyenlere ve endüstriyel kullanıcılara sunulmaktadır



Şekil 24. Malzeme ve kalıp seti için ağ örgüsü (mesh) hazırlama



Şekil 25. Ekstrüzyon simülasyonu (Q-form)

Ekstrüzyon için hazırlanan sayısal modelleme yazılımlarının bazı özellikleri aşağıda sıralanmıştır [14].

- Karmaşık açık ve kapalı profillerin sayısal modellemesi
- Mekanik ve termal analiz
- Kalıp esnemelerinin akışa etkisi veya akışın kalıp esnemmesine etkisinin analizi

- Profil baş ve son kesit şeklinin tahmini
- Kalıbın veya profilin herhangi bir kesitindeki sıcaklık, gerilme, şekil değiştirme, hız dağılımının analizi
- Kalıp ömrü tahmini
- Profilin soğutmadaki çarpılmasının analizi
- Ekstrüzyon için gerekli gücünün hesabı
- Kalıp kanal yüksekliği (geçiş yüksekliği) optimizasyonu
- Boyuna kaynama yeri ve kalitesi tahmini
- Biyet biyete alın kaynama mesafesi tayini
- Kalıp durma izinden itibaren profilin kesitinde yeni biyet malzemesinin evriminin oransal olarak tahmini
- Tüm biyet sıcaklık dağılımının hesabı
- Otomatik mesh hazırlama ve malzeme akışı ve Kalıp simülasyonu için uyarlanmış mesh hazırlama
- Kullanıcıya özel tanımlanacak alt programlarının hesaplanması
- Herhangi bir noktanın akış evriminin takip ve analizi
- Görsel, grafiksel vb. raporlama

Metal şekillendirme yöntemlerinin pek çoğu, model malzeme kullanmak suretiyle simüle edilebilir. Bunun için Fiziksel Modelleme Tekniği kullanılabilir Ekstrüzyon işleminin iki boyutlu ve üç boyutlu fiziksel modelleme teknikleri ve numerik analizleri üzerine muhtelif çalışmalar yapılmıştır. Plasticine model malzemesi kullanılarak metal şekil verme yöntemleri modellenmiş ve ekstrüzyon işlemi ve malzeme akışları analiz edilmiştir [15-22].

1.4.4. Alüminyum Ekstrüzyon Kusurları

Özellikle statik ve dinamik yük altında çalışan, yüksek mukavemetli ve uzun ömürlü olması istenen yapısal alüminyum profillerin ekstrüzyonunda ürünün kusursuz olması gerekir. Yüksek mekanik özellikler gereksinimi olan bu tip profillerde boyuna kaynak kalitesi ve biyet biyete alın kaynak kalitesinin uygunluğu çok önemlidir ve üretim sırasında bu kusurların değişik yöntemler ile tespit edilmesi ve kusursuz nihai ürünün elde edilmesi

ekstrüzyon işleminin temel konularından birisidir. Alüminyum profiller kullanım alanlarının önemi ve riskine göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir.

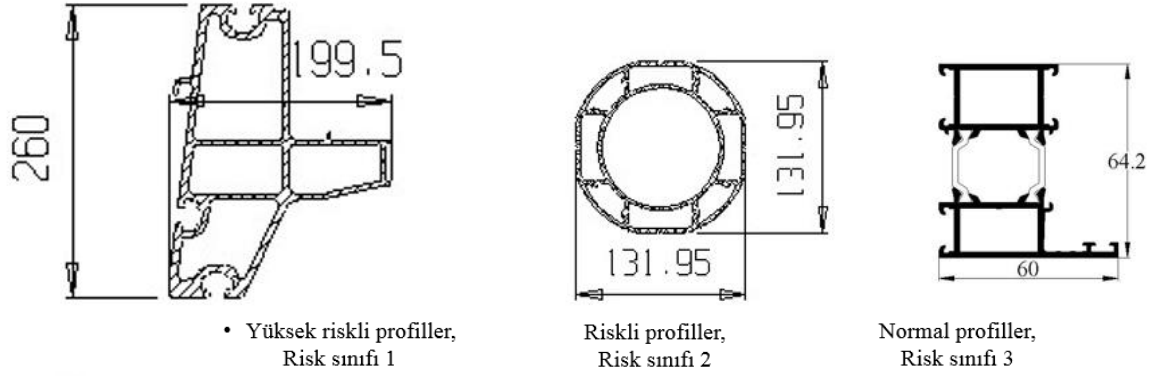
1. derece güvenlik riskine sahip profiller; kullanım alanı olarak yüksek risk taşıyan ve güvenlik gereksinimi yüksek olan ürünlerdir. Statik ve dinamik yük altında çalışan ağır konstrüksiyon ihtiyaçları veya yüksek mekanik özellikler gerektiren alanlarda kullanılan ve kullanım sırasında oluşabilecek ürün kusuru sonucu yaralanmalara veya ölüme sebebiyet verebilecek bir fonksiyona sahip olan profillerdir. Otomotiv sanayi için fren sistemleri, alüminyum gövde, bağlantı elemanları, vibrasyon ve darbe sönümlenme ekipmanları olarak, demir yolu vagonlarında ağır hizmet elemanları olarak, kamyon çerçeveleri, şasisi, gemi inşaatları, köprüler, bisikletler, soba, ocak ve kazan yapımlarında, platformlar, flanşlar, hidrolik sistemler, maden ekipmanları, direkler ve kuleler, deniz botları, nükleer teknoloji, uzay ve havacılık uygulamaları, helikopter ve havacılık uygulamaları, gemi direkleri ve kirişleri, iskele malzemeleri, çadır ve büyük salonlar için iskelet yapılarında, perçinler vb. gibi uygulamalarda kullanılırlar.

2. derece güvenlik riskine sahip profiller; kullanım alanı olarak risk taşıyan ve güvenlik gereksinimi yüksek olan profillerdir. Statik yük altında çalışan yüksek mekanik özellikler gerektiren alanlarda kullanılan ve kullanım sırasında oluşabilecek ürün hatası-kusuru sonucu yaralanmalara veya ölüme sebebiyet verebilecek bir fonksiyona sahip olan profillerdir. Karmaşık kesitli demir yolu ve otobüs profilleri, yapısal mühendislik uygulamaları, platformlar, boru hatları, elektriksel ve mekanik hassas endüstrilerdeki uygulamalar, yelkenli gemiler ve botlar için direkler, mobilyacılık vb. uygulamalarda kullanılırlar.

3. derece güvenlik riskine sahip profiller; normal uygulamalarda kullanılan profillerdir. Kullanım alanı olarak güvenlik riski taşımayan muhtemel ürün hatası sonucu yaralanma ve ölüm gibi riskleri oluşturmayan profillerdir. Kapı, pencere, çerçeve ve iç dekorasyon sistemleri, aydınlatma sistemleri, merdivenler, parmaklıklar, elektronik modüller, elektromotor çerçeve ve levhaları, esnek montaj sistemleri, özel makine elemanları, kamyon ve römork döşemeleri, pnömatik tesisatlar, demiryolu uygulamaları, sulama, ısıtma ve soğutma sistemleri, mobilyacılık, beyaz eşya, ofis ekipmanları vb. gibi yerlerde kullanılan profillerdir [11].

1. derece güvenlik riskli olan yapısal profiller ile birlikte 2. derece güvenlik riskli olan profil uygulamalarında da mukavemet ihtiyacını zaafa uğratacak bir kusurun bulunması kabul edilmez. Bu yüzden 1. derece güvenlik riskli ürünlere uygulanan üretim

ve kalite kontrol süreci bu profillerin üretiminde de uygulanır. Farklı güvenlik riskine sahip profil örnekleri Şekil 26’da verilmiştir.



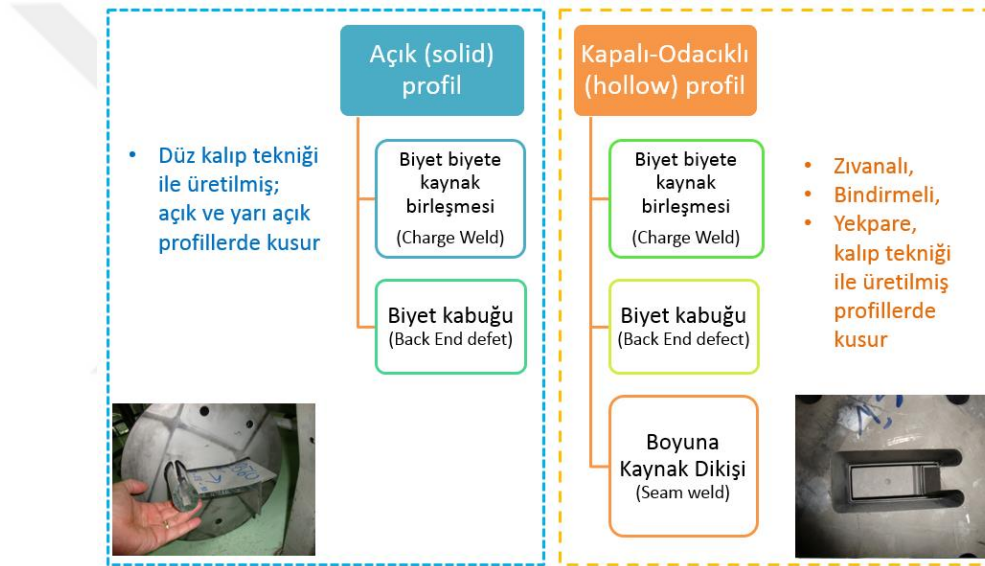
Şekil 26. Risk durumuna göre profillerin sınıflandırılması, a) Vagon gövdesi, b) aydınlatma direği, c) kapı çerçeve profilleri

Alüminyum ekstrüzyon yöntemiyle üretilmiş profillerdeki kusurlar; ekstrüzyon kusurları, metalürjik kusurlar, yüzey kusurları ve geometrik hataların sınıflandırılması Tablo 4’te verilmiştir. Bu tez kapsamında biyet biyete alın kaynama kusuru incelenmiş ve birbiriyle yakın ilişkisi bulunan biyet kabuğu kusuru ve boyuna kaynama kusurları da kısmi olarak ele alınmıştır. Diğer ekstrüzyon kusurları ele alınmamıştır.

Tablo 4. Alüminyum ekstrüzyon kusurları [23].

Ekstrüzyon Kusurları	Metalürjik kusurlar	Yüzey hataları	Geometrik Hatalar
Tanecik & oksit kalkması	Kaba ve ya çözünmemiş Mg Si	Atmosferik korozyon	Ölçü hatası
Kabarcık	Tane sınırında Mg Si çökeltisi	Asit korozyonu	Et kalınlığı ölçü dışı
Hız çatlağı	Kaba tane	Alkali korozyon	Boyda eğrilik
Kalıp çizgisi	Portakallaşma	Durulama suyu korozyonu	Boyda dönüklük
Yırtma	Yoğuşma lekesi korozyonu	Sepet çitası lekesi	Açısal sapma
Mikro kalıp çizgisi	Parmak izi korozyonu	Klor kirliliği	Form hatası
Çekme veya soğuma izi	Sürtünme korozyonu	Parlak yüzeydeki matlık	Düzlemsellik hatası
Kalıp esneme izi	Su lekesi	Renklendirme hatası	
Biyet biyete alın kaynağı	Sepet çitası izi	Beyaz aşındırma lekesi	
Biyet kabuğu kusuru	Aşırı yağlama kusuru	Pullanma	
Boyuna dikiş kaynağı	Döküm kalıntı hatası	Uyumsuz durulama	
Bölgesel yanma kusuru	Ekstrüzyon işlem kalıntı hatası		

Ekstrüzyon işleminin belirtilen tüm avantajlarının yanında elbette işlem kabiliyetinden gelen boyuna dikiş kaynağı, biyet biyete alın kaynama, biyet kabuğu kusuru vb. gibi bazı kısıtları da mevcuttur. Açık profil ve kapalı profildeki bu kusurların gruplandırılması Şekil 27’te verilmiştir. Ekstrüzyon ile yapılan profil üretimlerinin çoğunda üretim kesintisiz değildir. Direkt ekstrüzyonda üretim; içinde tekrarlanan malzeme yüklemeleriyle kısmi-sürekli bir üretim olarak gerçekleştirilir. Direk ekstrüzyon yönteminde hammadde olarak kullanılan alüminyum alaşımından mamul biyet, pres kovanına yüklenir ve kovanın önünde bulunan basit veya karmaşık şekilli kalıptan geçirilerek şekillendirilir ve profil haline dönüşür.



Şekil 27. Açık (dolu) ve kapalı (boşluklu) profillerde kalıp tekniğine bağlı oluşan bazı ekstrüzyon kusurları

Direkt ekstrüzyon yöntemi ile üretilen açık veya odacıklı profillerin kesitlerinde tasarlandıkları kalıp tipinin ve üretildikleri pres boyutu ve tipinin neticesi olarak üretimde bazı kusurların oluşumu kaçınılmazdır. Açık profillerde (düz kalıp tekniği ile üretildikleri ve gözlü besleme haznesi kullanılmadığı sürece) boyuna kaynak dikişi bulunmaz. Odacıklı profillerde ise boyuna dikiş kaçınılmazdır ve kalıp ayak sayısı kadar boyuna kaynak dikişi bulunur (Şekil 28). Biyet kabuğu kusuru ve biyet biyete alın kaynama kusuruysa tüm profillerde kaçınılmazdır.



Şekil 28. Boru kesitinde a) biyet biyete alın kaynama (transverse weld), b) biyet kabuğu kusuru (coring, back end defect), c) boyuna kaynama kusuru (seam weld) [24].

1.4.4.1. Ekstrüzyon Birleşmeleri

Ekstrüzyon birleşmeleri, ekstrüzyon edilmiş içi boş profillerde hem dikiş birleşmesi olarak hem alın birleşmesi olarak görülürler. Dolu kesitte ise sadece alın birleşmesi olarak görülürler [25]. İçi boş profillerin ekstrüzyonu esnasında katı durum yapışması, zıvana destekleri altında aynı biyetten gelen metalin laminer akımları arasında meydana gelir ve kesit uzunluğu boyunca ilerler. Bu birleşmelere dikiş birleşmeleri denir.

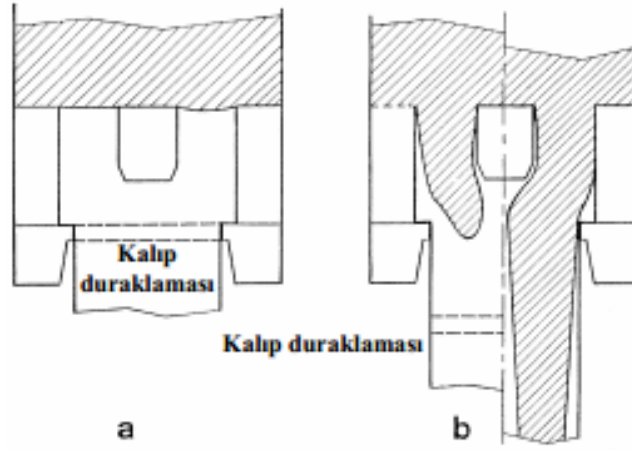
Buna benzer olarak birleşmeler, birbirini takip eden biyetlerin metalleri arasında da oluşur. Bu birleşmelere de alın birleşmeleri denir. Dikiş birleşmelerinde yeterli olmayan metal beslemesi dolayısıyla problemler ortaya çıkabilir. Alın birleşmeleri, deformasyon esnasında bozulan ve böylece metalik yapışmanın gerçekleşmesine izin veren oksit ve diğer yüzey tabakalarıyla kaplı iki yüzey arasında meydana gelir. Bununla birlikte, bazı yüzeylerde birleşen yüzeylerin genişlemesi çok küçüktür, hatta ekstrüzyon esnasında kendini çekmeler bile meydana gelebilir. Bu nedenle, içi boş profillerin kalite problemleri

sık sık alın birleşmelerinin gevrek kırılmasıyla ortaya çıkar. Kalite kontrol amaçları için birleşmelerin yeri, kalıp dizaynı, yeni biyet basılmadan önce ekstrüzyon kalıntısının uygun bir şekilde kesilmesi ve temiz çalışma koşulları dikkate alınmalıdır [26].

Ekstrüzyon birleşmesi bir katı durum yapışmasıdır. Bu işlemde, iki dolu hacim yüzeyleri içten birbirine temas etmeye başlar ve daha sonra yapışır. Tam bir yapışmanın meydana gelebilmesi için karşılaşan yüzeyler arasındaki boşluk, herhangi bir noktada atomlar arası mesafe mertebesinde olmalıdır. Mükemmel ve temiz yüzeyler haricinde, bunu sağlamak için; pürüzlülükler ezilmeli, yüzey tabakaları parçalanmalı ve temiz metale sahip yeni yüzeyler karşılaştırılmalıdır [26].

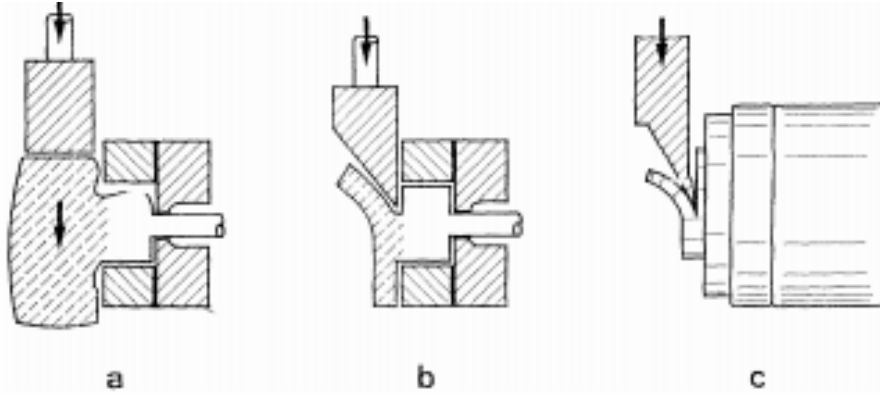
Biyet biyete alın birleşmeleri; Sürekli ekstrüzyonda birden fazla biyet ekstrüze edilmektedir. Her ekstrüzyon stroğunun sonunda ekstrüzyon kalıntısı (ara iş) kesilip uzaklaştırıldıktan sonra, kalıp gözleri hala metal ile dolu kalmaktadır. Aynı durum birleşme plakalı ve cepli kalıplara da uygulanır. Önceki biyetten kalan ekstrüzyon kalıntısı uzaklaştırılarak bir sonraki biyet ekstrüze edildiğinde; biyetin ön yüzü, daha önce gözlerde kalmış metal (önceki biyetten kalan) ile temasa geçer. Sonradan ekstrüzyon edilen biyet ile kalıpta kalan metal ile birleşme meydana gelir. Temas yüzeyleri sırasıyla; kalıp gözleri, birleşme odaları boyunca ve ekstrüzyon edilen ürünün içerisine girip yayılırlar. Ekstrüzyon birleşmelerinin bu ikinci tipine alın birleşmesi denir. Yeni ve temiz bir kalıptan ilk biyetle ekstrüzyon edilecek kesit, sadece dikiş birleşmesi taşıyabilir. Ancak, ilk biyetten sonra yapılacak bütün ekstrüzyonlar alın birleşmesi taşıyacaktır. Ekstrüze edilen dolu kesitler, sadece alın birleşmesi taşırlar.

Kalıp durma izi ve alın birleşmelerinin yeri birbirinden farklıdır. Ekstrüze edilmiş ürünlerin dış yüzeyinde görülebilen kalıp durma izinin, alın birleşmesi olarak adlandırılması yanlıştır. Ekstrüzyon stroğunun sonunda kalıp hala bir önceki biyetten kalan metalle doludur. Bir önceki biyetten kalıpta kalan metalin üçte biri ile üçte ikisi arasındaki metal, yeni biyetin metaliyle yer değiştirmedikçe alın birleşmesinin uç kısmı kalıptan çıkmaz [26]. Bir profildeki alın birleşmesinin yerini tespit etmek çok zordur. Alın birleşmesinin yerini tespit etmek için bir yol; her ekstrüzyon stroğunun sonunda görülebilen, profil yüzeyindeki kalıp durma izini bulmaktır. Ekstrüzyon işleminde önce kalıp durma izi görülür ve onun arkasından da alın birleşmesi kalıptan geçer (Şekil 29).



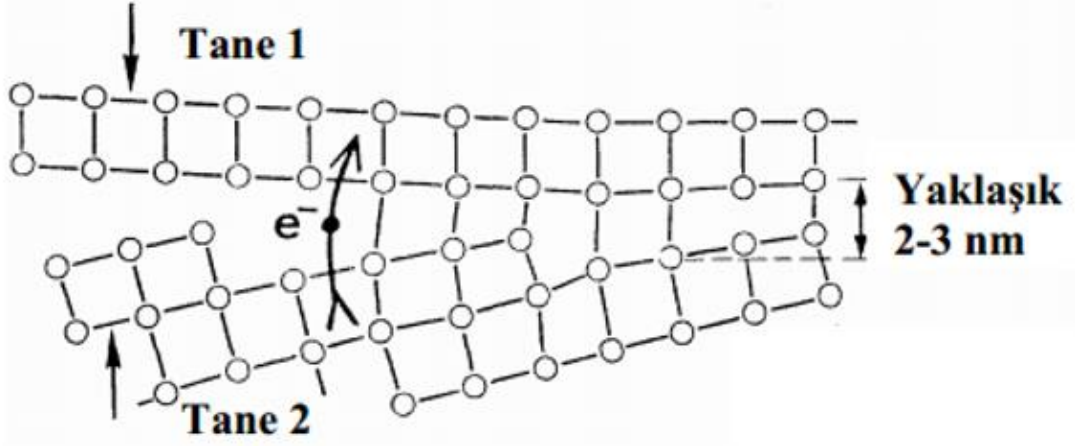
Şekil 29. Alın birleşmesi: a) yeni biyetin basılması, b) alın birleşmesinin ilerlemesi [26].

Direkt ekstrüzyon yönteminde genellikle biyetin tamamı ekstrüzyon edilmez. Biyetin bir miktarı ekstrüzyon kalıntısı olarak bırakılır. Daha sonra bu ekstrüzyon kalıntısı kesilerek hurdalığa sevk edilir. Alın birleşmelerinde kalite problemlerine yol açmayacak şekilde, temiz bir kesme işlemi yapabilmek çok güçtür. Bundan dolayı kalıp gözlerinde ekstrüzyon kalıntısının kesilmesi oldukça önemli bir işlemdir. Ekstrüzyon kalıntısı; bir taraftan makas diğer taraftan da kalıp yüzü tarafından kesilir (Şekil 30 a). Bu tür kaba bir kesme işlemi esnasında, bir kısım metalin porttan dışarı doğru çekilmesi mümkündür. Bunun sonucunda da, yeni biyetin ekstrüzyonu sırasında hava kabarcıkları görülebilir. Diğer bir yöntem, gerçek bir kesme kenarı bulunan bir makas bıçağı kullanmaktır. Kullanılacak bu bıçak, kalıp yüzeyine çok yakın hareket edecektir. Bu düzenleme, ince bir ara iş gerektirir. Ekstrüzyon artığı ince olunca, kıvrılacağından dolayı makasın hareketi yönünde makasa yol açacaktır (Şekil 30 b). Diğer iki yönteme göre yeni olan bir yöntemle; kesme işlemi kalıp gözleri boyunca yapılmak yerine, doğrudan doğruya ara iş içerisinde yapılmaktadır (Şekil 30 c). Böylece kalıp yüzeyinde bir tabaka kalmaktadır. Bu yöntem mantıklı olmasına rağmen, daha fazla kesme kuvvetlerini de beraberinde getirebilir.



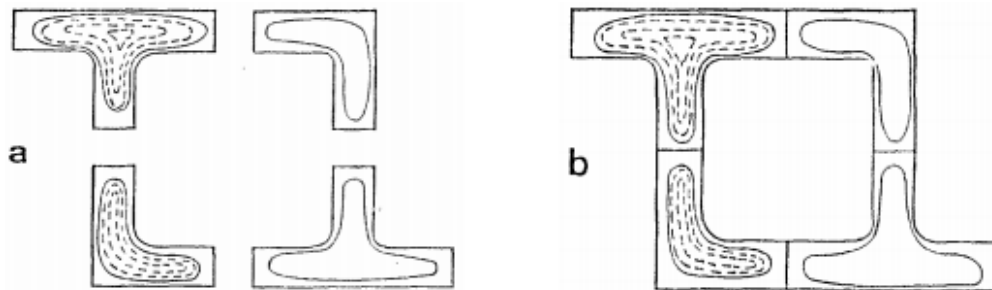
Şekil 30. Kalıp ceplerinden veya portlarından ekstrüzyon kalıntısının kesilmesi yöntemleri; a) itici, b) ince ekstrüzyon artığı, c) ekstrüzyon artığının içinden kesme [26].

Akeret ekstrüzyon birleşmelerinin metalürjisini çalışmalarında kapsamlı olarak ele almıştır. Ekstrüzyon birleşmeleri esas olarak, suni tane sınırlarının bir düzlemidir. Diğer katı hal yapışmalarında olduğu gibi, ekstrüzyon birleşmelerinde de yapışan ara yüzeylerin küçük ya da büyük kesit alanı; birbirleriyle karşılaşan ara yüzeylerin genişlemesine bağlı olarak, hala daha önceki yüzey tabakalarının partiküllerinden oluşmaktadır. Ayrıca, komşu bölgelerdeki malzeme, daha uzak bölgelerdeki malzemeden; bölgesel şekil değiştirmeler, tane ve alt tanelerin ölçüleri ve tane yönlendirmeleri bakımından ve ayrıca boyut ve intermetalik dağılımlarına göre farklılık gösterebilir. Suni tane terimi, herhangi bir noktada birbirine olan mesafeleri atomlar arası ölçülerde olan iki metal hacmi arasındaki ara yüzeyi belirtir (Şekil 31). Serbest elektronlar, bu tür ara yüzeyi herhangi bir diğer tane sınırını geçebildikleri kadar kolay geçebilirler. Bunun sonucunda meydana gelen yapışma, mükemmel bir yapışma olur. Katı halde mükemmel yapışmanın meydana gelmesindeki esas engel, birbirleriyle karşılaşacak yüzeylerdeki kalıntı ve kirliliklerdir. Alüminyum oksit, ana metalden serttir; birleşme yüzeyi gerildiği zaman ince parçacıklara ayrılır ve bu parçacıklar arasındaki boş alanlardan temiz metale sahip olan bölgeler birbirleriyle temas ederek katı hal yapışmasını oluştururlar (Şekil 46). Yapışmanın oluşmasını önleyen ana engel olan yüzey kirlilikleri çoğu zaman grafit ya da biyet yüzeylerinden veya ekstrüzyon biyet artığının kesilmesi sırasında makastan gelen yağlayıcı kalıntılardır. Bu kirlilikler kolaylıkla alın birleşmesinin ara yüzeyine yayılabilirler. Şayet bu kirliliklerden dolayı moleküler kalınlıkta bir tabaka meydana gelirse; bu tabaka, birbirleriyle karşılaşacak yüzeyler arasına girebilir ve bunun sonucunda da yapışmayı önleyebilir.



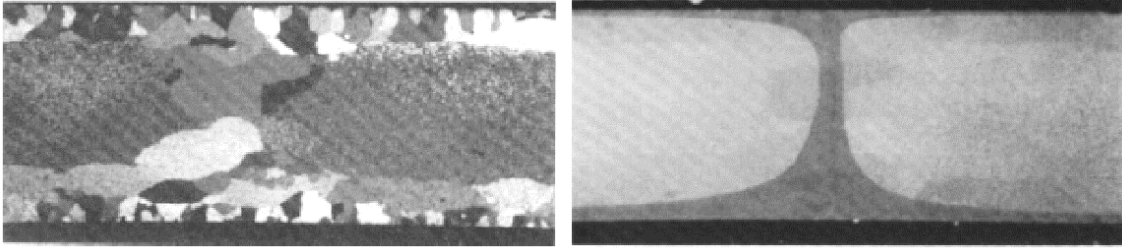
Şekil 31. Katı hal yapışması (solid state bonding) [26].

İçi boş bir kesit gerçekte, birçok düz parça ve köşegen, T veya I şekillerinin bir bileşimidir. Bu bileşimlerin her biri aynı şekillerin ayrı ayrı ekstrüzyon edilmeleri halinde taşıyacakları tipik yapısal karakteristiklerin tümüne sahiptir (Şekil 32 a). En önemli özellik, daha az deformasyona uğramış iç kısımlar ile daha fazla deformasyona uğramış çevresel kısımlardır. İç kısımda, döküm yapısının taneleri düz şeritler şeklinde deforme olmuş ve kalınlık yönleri en yakın ekstrüzyon yüzeyine dik olacak şekilde düzenlenmiştir. Döküm yapısının tane sınırındaki metaller arası parçacık yığılını, uzun kırışler içerisine çekilmiştir. Bununla birlikte dikiş birleşmeleri, iki çevre tabakanın arasında bulunmaktadır (Şekil 32 b). Bu tür malzemelerin mikro yapı karakteristikleri, düzgün tane sınırının olmaması ve metaller arası parçacıkların gelişi güzel dağılımıdır.



Şekil 32. Lifli iç bölgeler ve lif yapısı oluşmamış çevre tabakaları: a) ayrı ayrı T ve köşegen olarak ekstrüze edildiklerinde, b) içi boş bir kesit olarak ekstrüze edildiklerinde [26].

Birleşme bölgeleri, ekstrüzyon işlemi sırasında ya da daha sonraki ısıl işlemler sırasında ilk önce, yeniden kristalleşirler. Eğer kısmi bir yeniden kristalleşme olursa, birleşme bölgesinin bütünü boyunca kaba tane yapısı oluşur. Bu durumda birleşme bölgeleri lifli bölgelerle karşılaştırıldığında, daha zayıf bir yapıya sahip olacaktır (Şekil 33). En çok istenen durum, yeniden kristalleşmenin tamamen meydana geldiği durumdur. Bu durumda, birleşme bölgesindeki tane boyutu en iyi tane boyutudur ve dolayısıyla akma dayanımı en yüksek değerine ulaşacaktır.



Şekil 33. Ekstrüzyon birleşmesi içeren kenar boyunca kesit, a) dikiş birleşmesi boyunca ağır bir şekilde işlenmiş çevresel bölge, b) çevre bölgelerden ve bölgelerinden başlayan yeniden kristalleşme [26].

Ekstrüzyon kaynaklarının oluşumu ve davranışı Akeret [26] tarafından oldukça ayrıntılı bir şekilde tartışılmıştır. Akeret'in bu çalışmasında enine kaynama olarak da bilinen biyet biyete ekstrüzyonun pratik yönleri üzerinde durulmuştur. Değişken kaynama odası geometrilerine sahip dolu kesitler üzerinde yapılan deneysel çalışmaların sonuçları incelenerek enine kaynakların mukavemetini tahmin etmeye yarayacak basit formül ve kurallar elde edilmiştir. İçi boş profillerin kalıplarının tasarımı ve üretimi konuları irdelenerek problemler ve çözüm yöntemleri gerçek bir kalıp üzerinde vaka çalışması yapılarak gösterildi.

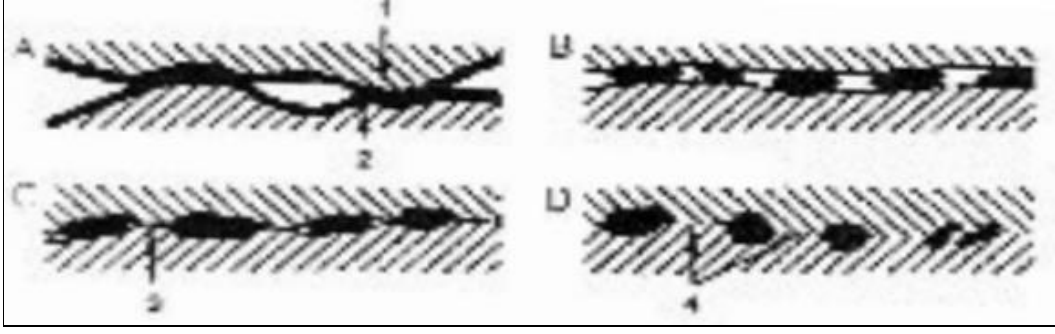
Pürüzlü iki yüzeyin birbirine temas etmesi halinde, basınç altında birleşen yüzeylerdeki ceplerde az da olsa hava kalacaktır. Birbirine temas eden yüzeylerdeki oksit tabakaları deformasyonla kırılacak ve oksit tabakası altında temiz metal ortaya çıkacaktır. Bu temiz metal yüzeylerde kalan oksijen ile birleşerek yeniden oksit tabakası oluşturacak ve oksijen bitinceye kadar bu durum devam edecektir. Yüzeylerdeki oksit filmlerinin kırılması; oksit filmi ana malzemeden daha az sünektir ve plastik deformasyon sırasında oksit tabakaları kırılarak oksit adacıkları oluşacaktır. Oksit adacıkları arasından temiz malzeme basınç altında deformasyon bölgesinde akarak birbiriyle birleşecektir. Bağ

dokusunun oluşması; oksitli adacıklar arasından akıp bir araya gelen malzemeler yerel olarak birbirine atomik seviyede birleşerek kaynak oluşturacaktır. Tüm bu katı durum yapışması bağlantıları gerçekte sentetik tane sınırlarında oluşacaktır. Bu bağlantılar temiz ve düz yüzeylerin atomik mesafede bir araya gelmesiyle (yaklaşık 1nm) oluşacaktır. Bağ dokusu; serbest elektronlar bir malzemedeki diğerine transfer olduğunda oluşacaktır. Bu mekanizma alın altına biyet kaynağının başında geçerli olacaktır.

Biyet biyete alın kaynağında “öpüşme yapışması” (kissing bond) kaynağın ucunda, tepesinde yer alacaktır. Bu durumun kabul edilmiş gerekçesi ise kalıp içinde kalan malzeme ile yeni biyetin temas yüzeyleri arasında başlangıçta ne kesme ne de germe vardır. Bir araya gelen yüzeyler gerçekten birbiriyle temas etse bile metal yapışması oluşmaz. Alın altına birleşmenin ilerlemesiyle temas eden yüzeyler arasında germenin ve kesmenin miktarının hızlıca artmasıyla öpüşme yapışması etkisinden uzaklaşılır ve daha uygun metalik bağ oluşur. Alın altına kaynağın tepesinden uzaklaştıkça hala öpme yapışması etkisi yüzeylerdeki yağ ve atıklardan dolayı devam edebilir [27].

Oosterkamp ve arkadaşları üç farklı “katı durum yapışması” “solid state-bonding” olayını birbirine aşırı yaklaşmış iki yüzeyin basınç ve sıcaklık altında (500-600 °C) arası fakat ergime sıcaklığına ulaşmadan atomlar arasında metalik bağ oluşturması olarak açıklamış ve boyuna ekstrüzyon dikiş kaynağı, biyet biyete alın kaynağı ve sürtünme karıştırma kaynağındaki mekanizmayı incelemişlerdir.

Katı durum yapışmasının olduğu yüzeylerde farklı yüzey filmleri ve kalıntıları mevcuttur. Bunlar doğal oksit filmi; normalde sert ve gevrek ve atmosferik şartlarda oluşur ve kalınlığı 5 nm civarındadır. Bu film deformasyon işleminin başında kırılır. Diğer yüzey filmi ise su buharının soğurulduğu veya organik örneklerin olduğu yüzey filmidir veya kullanılan endüstriyel yağların temas yüzeyinde oluşturduğu yüzey filmidir [27]. Bu filmler katı durum yapışmasının sağlıklı olmasını engelleyen tabakalardır. Akeret katı durum yapışmasını dört aşamada gerçekleştirdiğini Şekil 34’de şematik olarak açıklamıştır.



Şekil 34. Katı durum yapışmasını aşamalarının şematik gösterimi [26].

1.4.4.2. Biyet Biyete Alın Kaynama Kusuru

Alüminyum ekstrüzyon işlemi kullanılarak otomotiv, raylı sistemler, savunma sanayi ve havacılık, vb. gibi yüksek teknik özellikler ve mukavemet gerektiren basit ve karmaşık geometrilili dolu ve içi odacıklı profil kesitleri üretilmektedir. Ekstrüzyon işlemi kesit tasarımında sağladığı avantajlarının yanında yöntemin teknik kısıtlarından dolayı da belirli limitlere sahiptir. Şekillendirilecek alaşımın ihtiyaç duyduğu ekstrüzyon gücü, bir baskıda pres kovanına yüklenecek şekillendirilebilecek malzeme miktarı gibi kısıtlar üretimde art arda biyetlerin birbirine eklenerek ekstrüze edilmesini gerektirmektedir. Biyetlerin ardışık ekstrüzyonunda biyetlerin alın yüzeyinde bulunan oksit tabakası kaliteli birleşmeye engel olmaktadır. Özellikle dinamik yük altında çalışan ve bu malzemelerin kesitinin herhangi bir yerinde hiç bir kusur kabul edilmemektedir ve kusurun ayrıştırılması zorunludur.

Biyet biyete alın kaynama mesafesi olarak tanımlanan (transverse weld length-charge weld length) bu kusurlu kısmın tespitine ilişkin laboratuvar ölçeğinde ve endüstriyel ölçekte pek çok çalışma yapılmıştır ve nihai kullanıcıların teknik şartnamelerinde bu kusurlu kısımların kesin tespiti ve ayrıştırılması değiştirilemez şart olarak bulunmaktadır. Endüstriyel uygulamalarda kusurun tespiti biyet başı ve sonundan alınan numunelerin kostik ile dağlanması sonrasında tespit edilmekte ve ayrıştırılmaktadır. Kusurun tespiti ve ayrıştırılmasının yanında biyet biyete alın kaynama kusurunun oluşum mekanizmasının anlaşılması ve ekstrüzyonun daha verimli hale getirilebilmesi için kusurlu kaynama mesafesinin azaltılması araştırmacıların ana çalışma konularından biri olmuştur.

Yapısal profil uygulamalarında enine kaynama kusurunun miktarı profilin kesit ağırlığı ve üretildiği pres boyutuna bağlı olarak değişmektedir ve bu mesafesinin tespiti ve azaltılması alüminyum ekstrüzyonunu daha verimli ve işlemi de ürün kalitesi açısından

daha güvenli hale getirecektir. Bu mesafenin azaltılması profilin üretim maliyeti üzerinde direk etkisi bulunmaktadır. Biyet biyete enine kaynama mesafenin önceden tespiti ve kalıp tasarımının optimize edilerek azaltılması ile 1.000-50.000€ arasında değişen kalıp maliyetlerinin de iyileştirilmesine hizmet edecek ve ilk seferde veya daha az denemeyle ve daha uzun ömürlü kalıplar ile ürün üretilmesini sağlayacaktır. Bu da ürünlerin daha rekabetçi olmasını sağlayacak ve müşteri tatminini arttıracaktır.

Açık veya kapalı profillerin çoğunluğu sıcak direkt ekstrüzyon işlemi kullanılıp biyetler art arda eklenerek sürekli boylar elde edilerek üretilir. Bu bağlantının varlığının kalite, verimlilik ve iyileşme üzerine etkileri vardır. Biyetlerin art arda eklenerek oluşturduğu bu bağlantı ekstrüzyonda uygulanan germe işlemindeki gerilmeye dayanacak kadar güçlü ise (uzamıyor veya kopmuyorsa), o zaman birçok uygulama için yeterli olan ve enine kaynak birleşimi bulunan ürünler satılabilir malzemeye dönüşebilir. Yapısal uygulamalar için kullanılacak profillerde içinde enine kaynak malzemesini bulunan profiller kesilerek hurdaya ayrılmalıdır. Verimlilik açısından da bu hurdaya ayrılacak mesafe mümkün olduğunca kısa olmalıdır.

Biyetler arasında sağlıklı enine (alın) kaynağı elde etmek için giyotin, sıcak veya soğuk testere ile kesilen biyetlerin alın yüzeyleri temiz olmalı biyetler arası birleşim olabildiğinde iyi olmalıdır. Biyetlerin kesim yüzeyinde de kirletici maddelerin olabildiğince az olması gerekir. Enine kaynak mesafesinin azaltılabilmesi ve üretim veriminin artırılabilmesi için kalıp gözleri içerisinde kalan alüminyum miktarı, kaynama odalarındaki ve besleyici haznelerdeki alüminyum miktarı olabildiğince azaltılmalıdır. Oysaki alüminyum besleme gözlerinin boyutlarının küçültülmesi profilin üretim hızını da yavaşlatacak ve ayrıca kaynama gücünü (kalitesini) de düşürecektir. Bu yüzden kalıp gözleri ve kaynama odasının tasarımı verimlilik ve biyet başı hurdası miktarı göz önüne alınarak yapılır [28].

Kovan içindeki biyetin akışının doğası nedeniyle, biyetin sonunda kalıbın içinde kalan alüminyum biyetin kabuğunun akışından kaynaklanmaktadır. Bir sonraki biyetin ortasındaki malzeme ile bu metalin karıştırılması özellikle profil eloksallıysa kaliteyi olumsuz yönde etkileyebilir. Bu yüzden enine kaynağın kendisi mukavemet vb. gibi diğer açılardan elverişli olsa bile çok farklı metalürjik yapılar arasındaki sınırı ortaya çıkarttığı için hurdaya ayrılması gerekir. Ek olarak, 6063 üretimine özgü ara iş boyu küçük alındığında (short butt length), kalıp gözleri ve kaynama odalarının enine kaynama kusurunu içermesi kaçınılmazdır (coring and back end defect) [28].

Ekstrüzyoncu biyetin % 85 inin ekstrüze edildiğinde biyet kabuk kusurunun (coring) ürüne geçmeye başladığının ve basılan profilin ekstrüzyon boyunun ilk % 10 luk kısmında bu kusurun ortaya çıkacağına farkına varması ve bilincinde olması çok önemlidir. Biyetin başında ortaya çıkan iki farklı kusurun oluşum sebepleri birbirinden farklı olmasına rağmen görüntüleri birbirine çok benzerdir ve karıştırılma riskleri vardır [28].

Biyet biyete alın kaynağı (“transverse weld” – veya “charge weld) ile biyet kabuk kusuru (“coring” veya “back end defect”) birbiriyle karıştırılabilmektedir. Biyet ve kalıptaki akışın doğası gereği, göbek veya biyet sonu kusuru; kirleticilerin oluşturduğu halkalardan meydana gelmektedir. Ancak, her ikisi arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. İç içe geçmiş havuç gibi görülen halkalar biyet kabuk yüzeyinden kaynaklanmaktadır ve biyetin sonuna yakın ekstrüzyona girer. Biyet kabuğunda biriken oksitler, intermetalik fazlar ve segregasyon (fazların düzensiz dağılması) ekstrüzyon işlemi sırasında kalıp içine geçişi biyet biyete alın kaynamayı ve boyuna kaynak dikişini olumsuz etkilemektedir.

Öte yandan, enine kaynaklar giyotin veya testereyle kesilmiş biyetin arka yüzü ile yeni biyetin ön yüzünün birleşiminden oluşmaktadır ve biyetlerin birleşme yüzeylerinde kirlilik ve yağ vb. gibi maddeler olmadıkça biyetin yüzeyinde oluşan ince oksit filminin kırılması şeklinde karakterize edilmektedir. Havuç yüzeylerinin içi içe geçmesi gibi biyet kabuğundan dolayı oluşan halkalar işlemin kaçınılmaz bir parçasıdır her zaman biyetin boyunun yaklaşık % 85 ile % 88 arası ekstrüze edildiğinde kalıba girer. Kabuk akışı soğuk genişleyebilir basınç bloğu kullanımıyla geciktirilebilir. Fakat çok kalın ekstrüzyon artığı kullanılmadıkça ortadan kaldırılamaz. 6000 serisi ticari alaşım ekstrüzyonun çoğunda, biyet boyunun % 15’i uzunluğunda Ekstrüzyon artığının hurdaya atılması verimlilik açısından kabul edilemez dolayısıyla kabuğun bir kısmı ürünün içine girer. % 2 ile % 5 aralığında ekstrüzyon artığı kullanıldığında kabuk malzemesinin bir kısmı kalıbın gözlerinde ve besleme havuzlarında bulunur [28].

Bu temel gereksinime ek olarak, verimlilik, hurda (geri kazanım) ve enine kaynakların kalite unsurları özellikle içi boş kalıplar tasarlanırken göz önüne alınmalıdır. Kalıp göz hacimleri ile bu gözlerin profil kesitinde besledikleri alanları arasındaki oran mümkün olduğunca birbirine yakın olmalıdır. Bu durum hem ekstrüzyon hızının arttırılmasını sağlar hem de enine kaynama uzunluğunu ve dolayısıyla hurdaya ayrılacak mesafeyi azaltır.

Eğer enine kaynaklar kesilip atılarak mümkün olan en küçük göz hacmiyle hurda minimuma indirilir ve verim maksimuma çıkarılır. Güçlü enine kaynama için (enine kaynama kalitesinin uygunluğu için) biyet kesim yüzeylerinin temiz olması ve yüzeyde kirlilik ve boşluk olmaması gereklidir.

Veikko ve arkadaşları dolu profillerdeki enine kaynama davranışlarını farklı çaplarda dolu çubuklar kullanarak ve farklı kaynama odası geometrileriyle 4 farklı alaşım için denemiş ve çıkan sonuçları içi boş kalıp ve işlem tasarımında referans olarak kullanmıştır. İçi boş kalıp ile yapılan üretim denemesinde enine kaynama mesafeleri tespit edilmiş daha sonra kalıp gözleri ile besledikleri alanlar arasındaki oranlar eşitlenmeye çalışılarak enine kaynama mesafesinin ve ekstrüzyon hızının değişimi gözlemlenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre göz hacmi ile beslediği alanlar arasındaki oranlar birbirine yaklaştıkça hız artmış ve hurda mesafesi azalmıştır. Ayrıca kalıp gözlerinin küçültülmesinin de enine kaynama mesafesini kısalttığı gözlemlenmiştir. Kalıp gözlerinin küçültülmesinin her zaman ekstrüzyon hızına olumsuz etki etmediği genel kanaate aykırı olarak tespit edilmiştir [28].

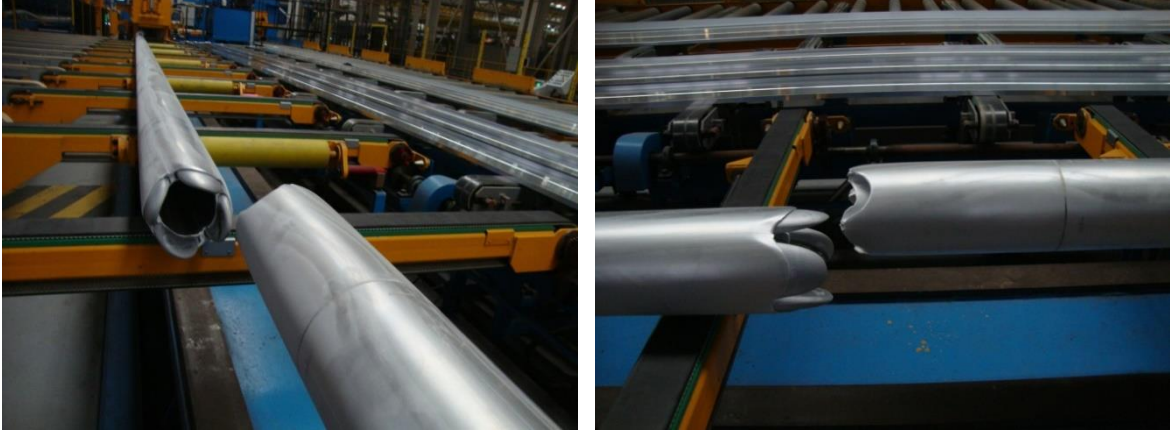
Ekstrüzyonda kullanılacak biyetlerin boyutları ekstrüzyon preslerinin ana teknik özelliklerindedir ve presin gücü ve kovanın boyutu buna bağlı hesaplanır. Kovan boyutuna bağlı olarak bir seferde pres kovanına yüklenebilecek malzeme miktarı sabittir ve bu miktar pres gücüne bağlı olarak tasarlanan kovan boyutlarıyla belirlenir. Örneğin 1250 tonluk preste kovan ebatları 158 mm çapında 850 mm boyundan en fazla 39 kg'lık biyet alırken, 5500 tonluk preste 365 mm çapında 1600 mm boyunda en fazla 429 kg'lık biyet yüklenebilmektedir. Ekstrüzyon yapılarak kalıptan geçirilen ve kesitin şeklini alan alüminyum biyet, profil haline dönüşür. Üretimin devamı için kovanın içerisine yeniden aynı şartlarda ısıtılan biyetin yüklenmesi gerekir. Kovana yüklenecek biyetler ya önceden kısa kesilmiş ya da ekstrüzyon sırasında sıcak olarak giyotin veya testereyle kesilmiş biyetlerdir.

Profilin kullanım yerine bağlı olarak bazı basit kesitli solid profillerde biyet ile ekstrüzyon artığı bırakmadan (butt discard) birlikte ekstrüzyon yapılarak tek biyet ekstrüzyonu gerçekleştirilir. Bu tip bir üretim yaklaşımı, ya yüksek mukavemetli alaşımlarda ya da yüksek yüzey kalitesi beklentilerinde gerçekleştirilir [28]. Yüksek mukavemetli alaşımlarda biyet biyete alın kaynama kusurundan arındırılmış üretim için her biyet kendi başına üretilir ve bir sonraki biyete kaynaması beklenmez. Kalıp tasarımı ve üretimi, üretilen profilin ekstrüzyon sonunda çekici ile çekilerek içinin boşaltılabileceği ve

kalıp içinde malzeme kalmayacağı şekilde yapılır. Kabuğuyla birlikte ekstrüze edilmiş biyetten üretilmiş profilin biyet sonuna karşılık gelen kusurlu kısım makro dağlamayla tespit edilerek hurdaya ayrılır. Bu şekilde sadece biyet kabuğu kaynaklı biyet sonu hurdası ayrıştırılarak üretim gerçekleştirilebilir.

Karmaşık şekilli kalıplarda profilin şeklinin üretilmesi için kaynama haznesi veya kalıp gözleri ve kaynama havuzuyla alüminyum yönlendirilerek profilin şeklini alması sağlanır. Bu durumda ekstrüzyon sonunda kalıbın içinde kalan alüminyum miktarı çekmeyle boşaltılamaz ve her zaman kalıp içinde kalıp gözlerini ve kaynama odasını dolduracak kadar alüminyum kalır. Her bir biyet ekstrüzyonu sonunda biyet kabuğunun içinde biriktiği ve yaklaşık biyet boyunun %5'i miktarındaki biyet ara işi (butt end, discard) kesilip atılır. Biyet ara işinin ara iş makasıyla kesilip atılmasına rağmen kalıbın içinde alüminyum kalır. Üretimin devamı için kovana yüklenen bir sonraki biyetin ön yüzü kalıbın içindeki alüminyuma yapıştırılarak yeni bir ekstrüzyon gerçekleştirilir. Bu birleşmeye biyet biyete alın kaynak birleşmesi, enine kaynak birleşmesi, alın birleşmesi, “transverse welding” veya “charge weld” denir ve bir sonraki üretilmiş olan profilin başlarında ortaya çıkar. Enine kaynak birleşmesi kalıbın ekstrüzyon oranına, biyetin alınıdaki oksit tabakasına, biyetin temizliğine, kesme sırasındaki yağlanma durumuna vb. bağlıdır.

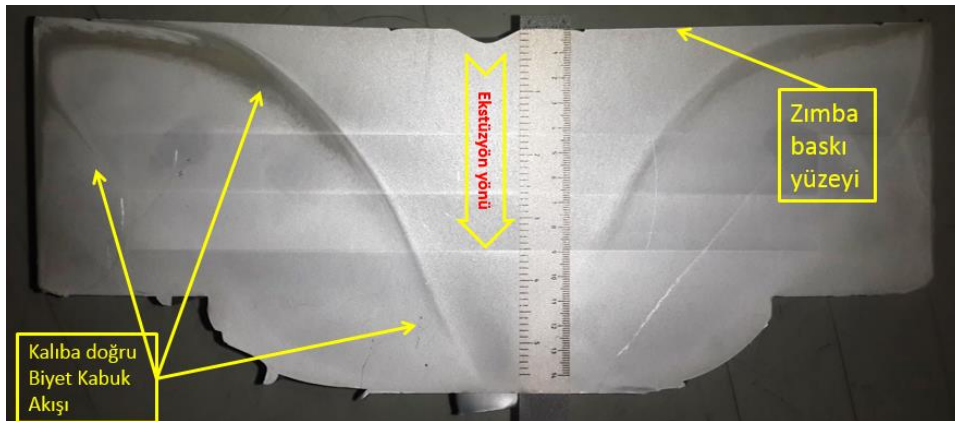
İster açık profil (solid) olsun ister kapalı (hollow profil), direkt ekstrüzyon yöntemiyle üretilmiş profillerin-ürünlerin büyük bir kısmında birbirine eklenerek üretilmiş biyetlerin oluşturduğu kaynak birleşimleri bulunur. Ekstrüzyonda üretilmiş profiller soğuduklarında ekstrüzyonda gelen eğriliklerin düzeltilmesi ve kalıcı şeklini alması için ve plastik deformasyon sınırının hemen üzerinde (% 1-3 oranında) germe işlemine tabi tutulurlar. Bu germe işlemine tabi tutulan profillerde bulunan enine kaynak birleşimleri germe kuvvetini karşıladığı sürece pek çok uygulama için kullanımında bir sakınca yoktur. Mimari sistemler için üretilmiş olan pek çok profilde enine kaynak kalitesi beklentilerin üzerindedir ve ürünler rahatlıkla kullanılabilir. Ancak yapısal uygulamalarda bu kısımlar akma mukavemetini karşılasalar bile kesilerek hurdaya ayrılmaları gerekir. Ekstrüzyon işleminin bir alt işlemi olarak presten çıkan profiller soğutulduktan sonra önce doğrultma, sonra da germe işlemine tabi tutulur. Şekil 35'te germe işlemi sırasında biyet biyete alın kaynama yerinden kopan boru profili gösterilmiştir.



Şekil 35. Germe sırasında kopan enine kaynaklı alüminyum boru profili [ASAŞ].

Biyet biyete alın kaynamanın istenen kalitede gerçekleşebilmesi için ara işin kesiminin düzgün ve pürüzsüz olması, kesim yüzeyinde yağ, hava boşluğu olmaması, ön havuz veya alüminyum giriş gözlerinde alüminyumun kesim sırasında boşaltılmayacak tasarımda olması, göz ve havuz alanlarının nispeten küçük olması gereklidir. Enine kaynama mesafesi ya da biyet biyete alın kaynama mesafesi her durumda hurdaya ayrılacak ise havuz ve kalıp göz hacimlerinin küçük olması hurdaya atılacak profil mesafesini kısıltacaktır.

Kovan içindeki alüminyumun akışının bir sonucu olarak biyetin kabuğu biyet sonuna birikir ve sona doğru yapılan ekstrüzyon ile kısmi olarak kalıbın içine girer (Şekil 36). Kabuğun kalıbın içine girmesini minimumda tutabilmek için biyet artığının boyu; biyet boyu, kovan ve biyet sıcaklığının bir parametresi olarak tespit edilir ve kesilerek hurdaya ayrılır.

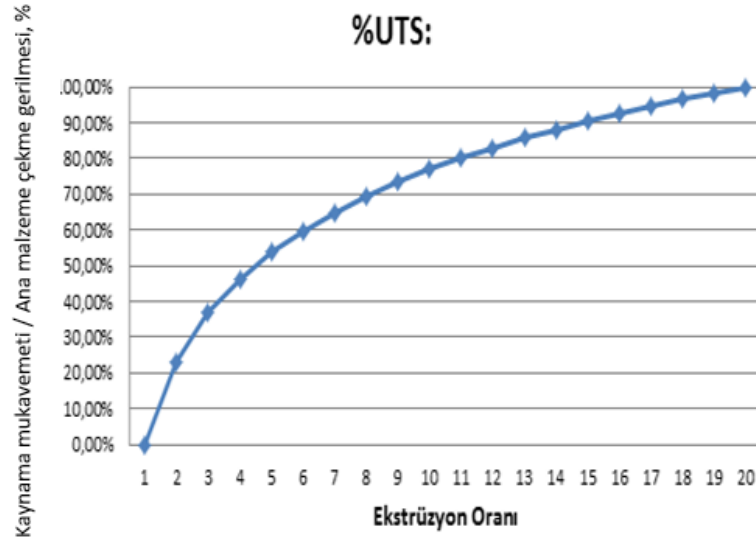


Şekil 36. Biyet kabuğunun makro dağlanmış biyet artığı kesitindeki akışı [ASAŞ].

Kalıbın içinde kalan alüminyum ile yeni biyetin birleşmesi enine kaynak birleşmesidir ve bu birleşimden üretilmiş profil kesitinde eski ve yeni malzeme aynı anda bulunur. Enine kaynamanın mukavemeti üzerinde daha önce yapılan çalışmalar sonucu aşağıdaki formül elde edilmiştir. Basit kaynama odası kullanılarak üretilmiş solid kesitlerde enine kaynak birleşmesinin minimum çekme gerilmesi değeri (temizlenmiş ve yağlanmış biyetler ile) aşağıdaki formül ile tahmini olarak hesaplanabilir [28].

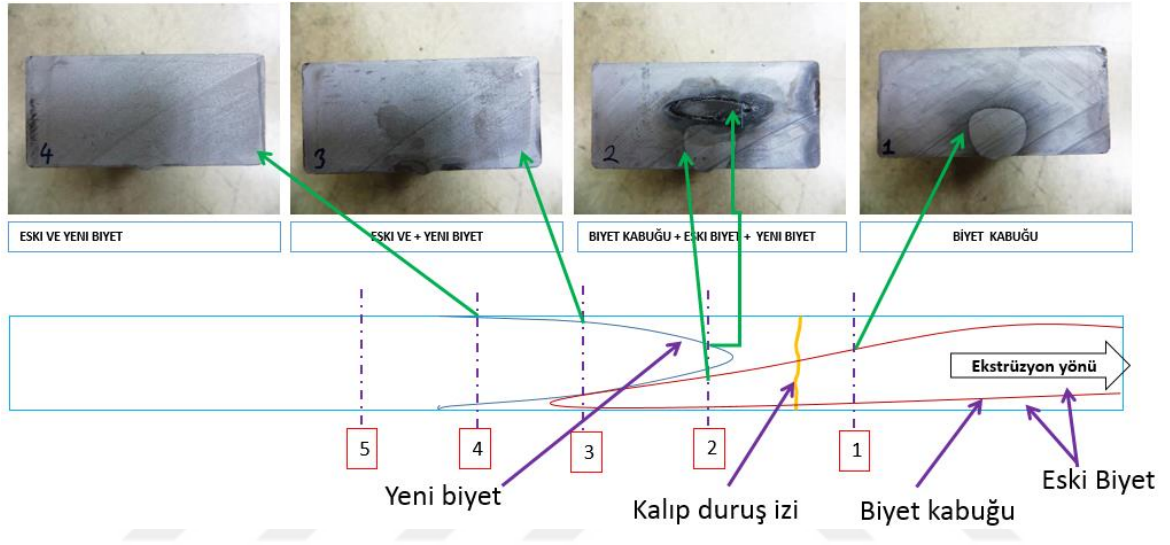
$$\begin{aligned} \%UTS_{\min} &= 100 \log (R) / \text{Log} (20), & R \leq 20 \\ \%UTS_{\min} &= 100, & R > 20, \end{aligned} \quad (1)$$

$\%UTS_{\min}$: ön görülen minimum kaynama mukavemetinin ana malzeme çekme gerilmesine yüzdesel olarak oranı, R: Ekstrüzyon oranı. Bu eşitlik ile kalın çubuk profilleri kaynama kalitesi tahmini doğru bir şekilde yapılabilir. Ekstrüzyon oranı 20'nin üzerindeyse kaynama mukavemeti ana malzemenin çekme gerilmesi değerine ulaşır. Ekstrüzyon oranı 0 ile 20 arasında logaritmik olarak artarak R=20 ana malzeme çekme gerilmesi değerine ulaşır. Basitçe ekstrüzyon oranı arttıkça kaynama mukavemeti de artar. $\% UTS_{\min}$ ekstrüzyon oranı ile değişimi Şekil 37'te verilmiştir.



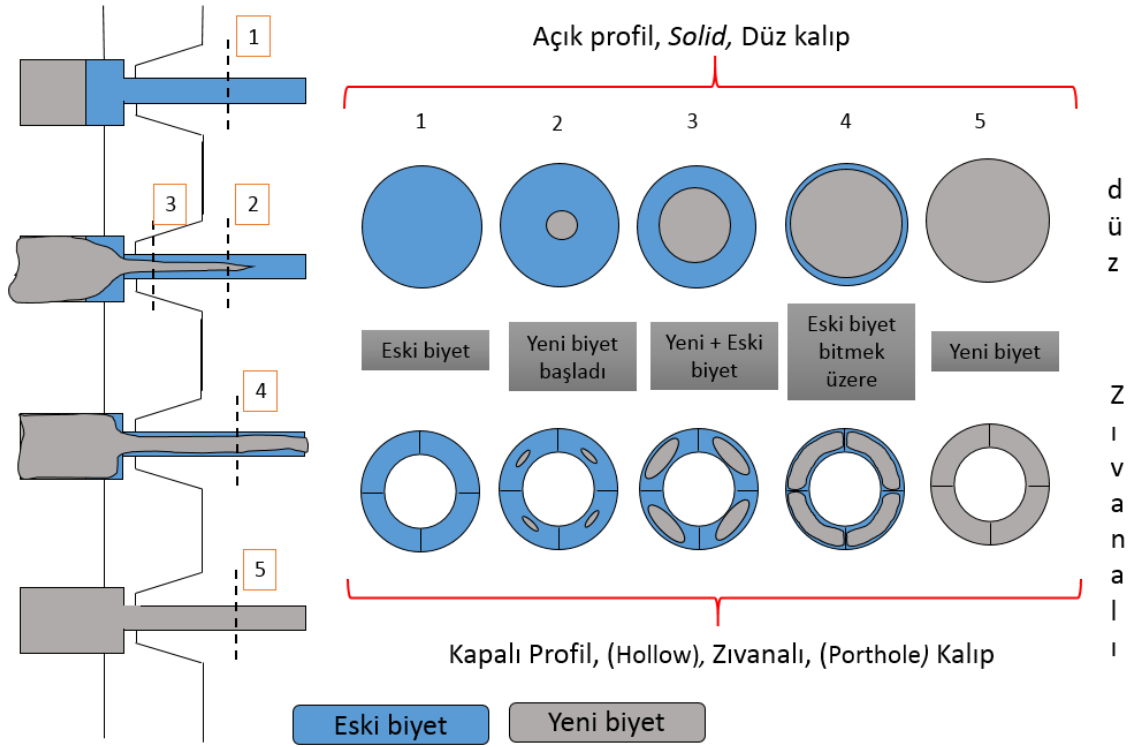
Şekil 37. Enine kaynama mukavemeti ekstrüzyon oranı değişim grafiği

Açık ve kapalı profillerin kalıp tasarım tekniğine ve ekstrüzyon üretim tekniğine bağlı olmakla birlikte açık (solid) profillerde; biyetin ilk %10 una yakın kısmında biyet kabuk kusuru ve enine kaynama kusuru olmasına rağmen, kapalı (hollow) profillerde bunlara ilave olarak tüm kesitte her zaman boyuna kaynama kusuru etkisi mevcuttur. Şekil 38'dE basit bir lama profilinin numuneleri makro dağlanarak biyet kabuğu ve biyet biyete alın kaynama gelişimi gösterilmiştir.



Şekil 38. Basit lama profilinde biyet biyete alın kaynama evrimi

İçinde odacık olmayan basit çubuk profili ve içinde tek odacık olan ve dört adet kalıp gözüne sahip boru profilindeki biyet biyete alın kaynaması gelişim evreleri şematik olarak Şekil 39'de açıklanmıştır.



Şekil 39. Açık ve kapalı profil ekstrüzyonunda biyet biyete alın kaynama aşamaları

Buna göre 1. evrede eski biyet ile başlayan akış 5. evrede yeni biyetin kesitin tamamını kaplamasıyla tamamlanmıştır. Boru profilinin tüm evrelerinde boyuna kaynak dikişi mevcut olmasına rağmen eski biyetten kalan malzeme 4. evrede tamamıyla yerini yeni biyetten gelen malzemeye bırakmıştır.

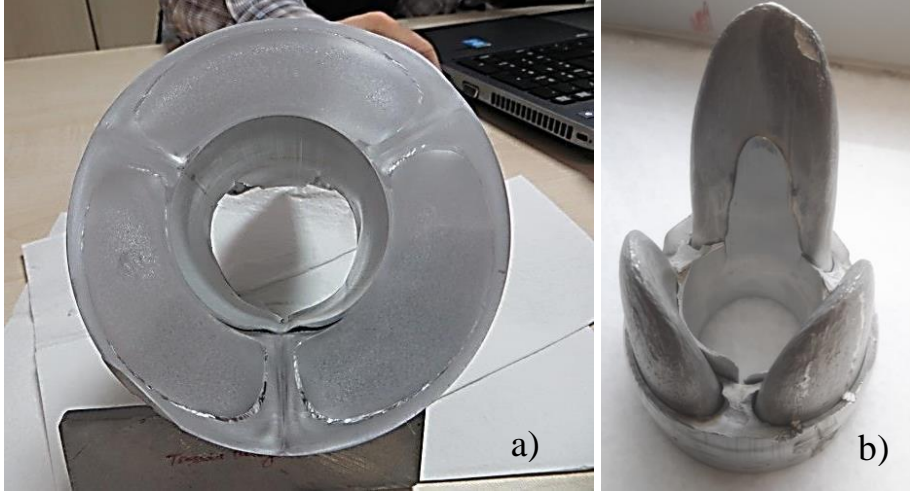
Şekil 40'ta 4 gözlü profil kalıbının alüminyum giriş ve çıkışı ve bu kalıptan üretilen profillerdeki biyet biyete kaynama kusurunun olduğu kopan profil numuneleri gösterilmiştir.



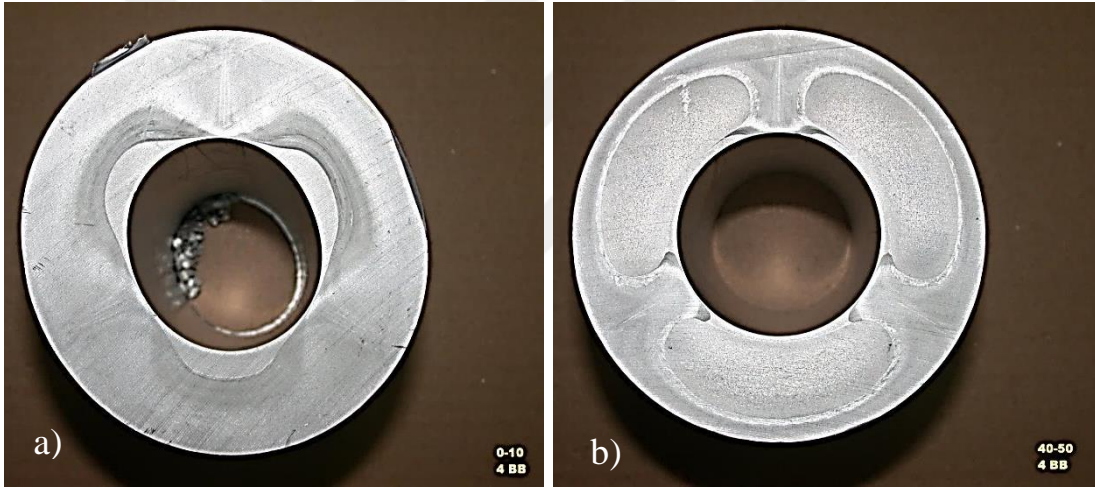
Şekil 40. Yüksek et kalınlığına sahip profilde enine kaynama kusuru ve 4 gözlü profil kalıbı. a)kalıp alüminyum girişi, b) profil çıkış tarafı, c), d), e), enine kaynama noktasından kopan profil numuneleri

Üç gözlü kalıp ile üretilen başka bir profilin kesitinin makro dağlama numunesinde kesitteki eski yeni biyet arası ayrışma ve gözler arası uç mesafesinin farklı başlangıç mesafeleri görülmektedir (Şekil 41).

Şekil 42 a'da boru profilinin kesitinde biyet kabuğunun kalıptan geçmesiyle oluşan biyet sonu kusuru ve boyuna kaynama kusuru birlikte görülmektedir. Yeni biyetin kalıptan geçmesiyle biyet kabuğu kusurunun üzerine biyet biyete alın kaynama kusuru eklenerek aynı anda hem biyet kabuğu, biyet biyete alın kaynama ve boyuna kaynak dikişi kusurları bir arada bulunduğu görülmüştür (Şekil 41, 42). Çubuk profilinde eski ve yeni biyet küçük bir kuvvet ile birbirinden kolayca ayrışır (Şekil 43).



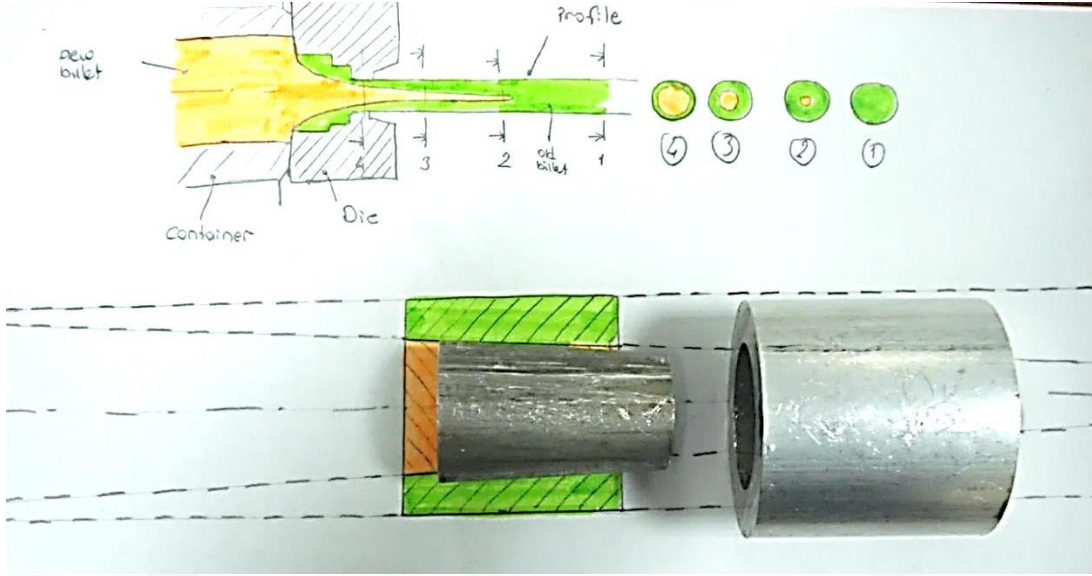
Şekil 41. Boru kesitinde a) enine kaynama kusuru ve kesitte kaynamama, b) Yeni biyetten gelen malzeme uçları [ASAŞ].



Şekil 42. Boru kesitinde a) biyet kabuğu kusuru (coring- back end defect), b) enine kaynama ve biyet kabuğu kusuru birlikte [ASAŞ].



Şekil 43. Boru kesitinde enine kaynamanın başlangıcı ve biyet kabuk kusurunu temizleyerek yerini alması



Şekil 44. Basit çubuk profilinde biyet biyete alın kaynama kusuru ve yeni biyet eski biyet ayrışması

Biyet kabuğu kusuru (coring-back end defect) ile biyet biyete alın kaynama kusurunun (transverse weld- charge weld) birbirinden ayır edilmesi oldukça önemlidir.

Tipik 6063 alaşımı üretiminde küçük ara iş boyu kullanıldığında kaçınılmaz olarak kalıbın gözlerinde ve kaynama odasında bulunan biyet kabuğu ve bir önceki biyetten kalma malzeme profilin kesitine geçecektir. Ekstrüzyonlar, birbirine benzer görünümünde olan bu iki kusuru (enine kaynama ve biyet kabuğu kusuru) ayırt edebilmelidirler. Biyet kabuğundan kaynaklanan ve içerisinde düzensiz fazlar, kaba intermetalikler ve kaba oksitler içeren biyet sonu kusuru biyetin % 85 - % 88'i ekstrüze edildiğinde kalıba geçmeye başlar ve kesitte ortaya çıkar. Soğuk dummy blok kullanılarak ortaya çıkması geciktirilebilir fakat çok büyük ara iş boyu kullanılmadığı sürece ortadan kaldırılamaz. Çoğu ticari 6000 serisi profil üretimlerinde, % 15'lik bir kısmın ekstrüze edilmemesi söz konusu değildir. Bunun kesilip atılması yüksek hurda oranı anlamına gelir ve verimi düşürüp ürün maliyetini çok yükseltir. Ticari uygulamaların büyük bir kısmında biyet kabuğunu içeren ara iş boyu, biyet boyunun % 2- %5 arasında belirlenir ve uygulanır [28].

Yeni biyet ekstrüze edildiğinde ilk olarak kalıbın içindeki biyet kabuğu kusurunu temizler. Her iki kusur katmanı birbirine çok yakın ve benzer olduklarından kolayca karıştırılabilirler. Biyet kabuk etkisi yeni basılan biyet ile büyük oranda temizlenmesine rağmen içi boş profil kalıplarında (hollow dies) bazı kaba partiküller kalıp ayaklarının altındaki ölü bölgelerde birikebilir ve boyuna kaynama kalitesini olumsuz etkileyebilirler.

Diğer yandan yeni biyetin alınyla kalıbın arkasındaki kesilmiş biyetin yüzeyinin birleşmesinden oluşan enine kaynak birleşmesi, biyetin kesimi sırasında kullanılan yağlayıcıları ve kirleri içerir. Yeni biyet ekstrüzyonunda birleşme biyetin yüzeyindeki oksit filminin parçalanarak kırılması ile oluşur. Biyet biyete alın birleşme de ekstrüzyon boyunun yaklaşık ilk %10-15 inde ortaya çıkar. Yeni biyet ekstrüze edildiğinde ilk olarak kalıbın içindeki biyet kabuğu kusurunu temizler. Her iki kusur katmanı birbirine çok yakın ve benzer olduklarından kolayca karıştırılabilirler. Şekil 42 a'da biyet kabuğu kusurunun başlangıcı gösterilmiştir. Yeni biyetin gelmesiyle Şekil 42 b'de biyet kabuk etkisi azalmış ve yeni malzeme kesiti kaplamaya başlamıştır. Her iki kusurun görünüşleri birbirine benzer olmakla birlikte birbirinden çok farklı sebep ve mekanizmalar ile ortaya çıkarlar.

Rijkom ve arkadaşları araştırmalarında biyet biyete alın kaynağı üzerinde yeni yaklaşımları denemişler ve biyet yüzeyindeki oksit tabakasının kırılması ve kaldırılması veya oluşumunun engellenmesi teknikleri üzerinde çalışmış ve alın kaynağındaki metalürjik yapışmanın mikro yapısal muayenesi incelenmiştir. Çalışmada özet olarak özetinde biyet yüzeyindeki kirlilikler ve oksit tabakalarında kaçınılması ve mümkünse biyetin yüzeyinin bunlardan arındırılması biyet biyete ekstrüzyonun kalitesi ve tekrarlanabilirliği için gerekli olduğu değerlendirilmiştir. Ekstrüzyon kaynak kalitesi, biyet geçiş mesafesi, alın alına biyet kaynağı ve indirekt olarak ekstrüzyon dikiş kalitesini belirleyen faktörler aşağıdaki şekilde sıralanmıştır:

1. Alaşım,
2. Biyet kalitesi (döküm + homojenleştirme),
3. Biyetin ön ısıtması (indüksiyon, gaz, konik),
4. Ekstrüzyon oranı,
5. Profil kesitinin geometrisi, karmaşıklığı,
6. Biyet sıcaklığı,
7. Kalıp tasarımı ve kalıp türü (köprülü kalıp, gözlü kalıp, kalıp geometrisi),
8. Ekstrüzyon hızı,
9. Biyet ara iş uzunluğu (butt length),
10. Ara iş makası tasarım ve toplam makas modeli (itici, kesici vb.),
11. Ara iş kesme işleminin temizliği, yağlama durumu,
12. Biyetin alın temizliği (oksitler ve yağ) [29].

Qiang Li ve arkadaşları ekstrüzyon işleminde biyet biyete alın kaynama olgusunu Deform programı kullanarak FEM simülasyonu ile çalışmışlar. Ekstrüzyon işleminde biyet biyete alın kaynama mesafesinin olabildiğince kısa tutulması verimlilik açısından çok önemlidir. Hurda mesafesi eski biyet malzemesinin kalıp ölü bölgelerinden ne kadar hızlı akıp uzaklaştığına çok bağlıdır. Kalıp ölü bölgelerinden eski malzemenin ne kadar hızlı uzaklaşacağı kalıp geometrisine ve ölü bölgelerin tasarımına bağlıdır [30]. Bununla birlikte kalıp gözlerinin hacminin azaltılması ölü metal bölgelerinin de azaltılmasında direkt etkilidir fakat Johannes'e göre küçük kalıp gözleri ekstrüzyon hızını, kaynama kalitesini ve verimliliği de düşürecektir [31].

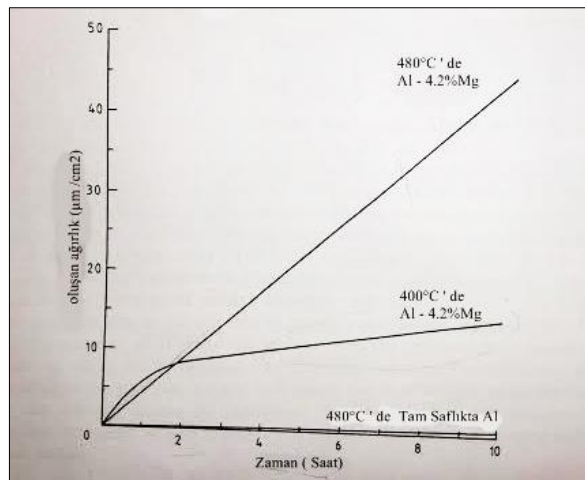
Mahmoodkhani ve arkadaşları biyet biyete ekstrüzyon sırasında enine kaynama formunun matematik modellemesi üzerinde çalışmışlar, plasticity modülü geliştirmişler ve çalışmalarını deneyle doğrulamışlardır. Geliştirdikleri matematiksel modeli kullanarak ön besleme havuzu geometrisini ve yüksekliğini değiştirerek biyet biyete alın kaynama mesafesine etkisini incelemişlerdir. Düz besleme havuzu ve ölü bölgeleri azaltılmış açılı besleme havuzuyla denemeler yapılmış ve açılı-konik besleme havuz ile çok daha kısa bir kaynama mesafesi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Biyet biyete ekstrüzyonda biyet biyete alın kaynama mesafesinin, besleme havuzunun geometrisine ve ölü bölgelerin geometrisine bağlı olduğu gözlemlenmiştir [32].

Ekstrüzyon işleminde biyet biyete alın kaynama davranışı ile aynı karakteristikte akış davranışı gösteren iki parçalı biyet ekstrüzyonu üzerine de muhtelif çalışmalar yapılmıştır. İki parçalı biyet kullanımı ekstrüzyon işleminde kütük boyları ile biyet boylarının optimize edilememesinden kaynaklı, verimliliği arttırabilmek ve kütük sonunda arta kalan parça biyetlerin birleştirilerek ihtiyaç duyulan biyet boyunu oluşturacak şekilde özel bir yazılım kontrolü ile giyotin (hot shear) veya sıcak testere (hot saw) ile kesilmesi sonucu oluşur. Bu şekilde farklı profil gramajı (kg/m) ve farklı sipariş boylarını karşılayacak biyet boyları mevcut kütüklerden kesilerek kullanılır ve arta kalan parça da bir sonraki kütükten parça kesilerek iki parçalı biyet halinde sabit biyet boyu oluşturulur ve normal ekstrüzyon gerçekleştirilmiş olur. Bu şekilde iki parçalı biyetten ekstrüze edilen ürünlerde biyet biyet kaynama kusuru oluşur. Yapısal uygulamalar için kesinlikle kullanımı uygun olmayan iki parçalı biyet kullanımı yapısal olmayan ve germe mukavemetini karşılayabilen belirli uygulamalar için kullanılabilir.

Tony Da Silva, iki parçalı biyet ekstrüzyon denemeleri yapmış ve kabarcık oluşumu, biyet şişirmenin etkisi ve iki parçalı biyetin akış analizi hakkında detaylı araştırmalar iki

parçalı biyet kullanımının riskleri ve olası kullanım potansiyellerini ve verimliliğe olumlu ve olumsuz etkilerini gözler önüne sermiştir [33].

Yeni oluşan alüminyum metal yüzeyi atmosferde kaldığında, ince bir oksit tabakası ile hemen kaplanır ve bu film bozulduğunda hızlıca yeniden şekillenir. Oksidasyonda moleküler hacimde stiokimetrik oranın 1.5 katı metalin kullanılmış olması bu oksit film tabakasının önemli ve faydalı bir özelliğidir. Bu oksit film tabakası basınç gerilmesi altında kalır ve sadece metali devamlı korumayacak anlamına gelmiş olsa da ayrılmak olmaksızın belli bir miktarda alt katmanlardaki deformasyon ile başa çıkabilir. Alüminyum endüstrisinin var oluşu bu koruyucu yüzey tabakalarının olması sayesinde. Bu düşük sıcaklıklardaki yapı, hava ile oluşan film değişken genişlikte olmasına rağmen dış yüzeyde alüminyum oksit hidratlanmasıyla genellikle amorf olduğu farz edildiği görünür. Yüksek sıcaklıklarda ($450\text{ }^{\circ}\text{C}$ üzerindeki) $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ kristal halde ve sonradan $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ eriyik halde olur. Saf alüminyumun oksitlenme kinetiğinin büyümesi karışıktır. Mevcut kabul gören mekanizma Wefer tarafından yapılmıştır. Ortam sıcaklıklarında 2 -3 nm ile sınırlan oksit film kalınlıkları bir gün içinde üretilir; $\sim 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ in üzerindeki sıcaklıklarda oksijen ve alüminyum iyonlarının difüzyonu ile termal oksidasyon kontrol edilir ve bu sıcaklık aralığında asimptotik olarak azalan hız yasası gözlenir. Buna rağmen sıcaklık artığında ve $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ üzerinde olduğunda, oluşma miktarı ve zaman arasında üssel oksidasyon hızı lineer olarak değişir. Zamanla alüminyum oksit tabakasının ağırlığındaki değişim Şekil 43'te verilmiştir. Tablo 5'de kimyasal ve eloksal oksidasyon kaplama ile tipik doğal oksit kaplamalarının kalınlığının kıyaslanması gösterilmiştir [34].



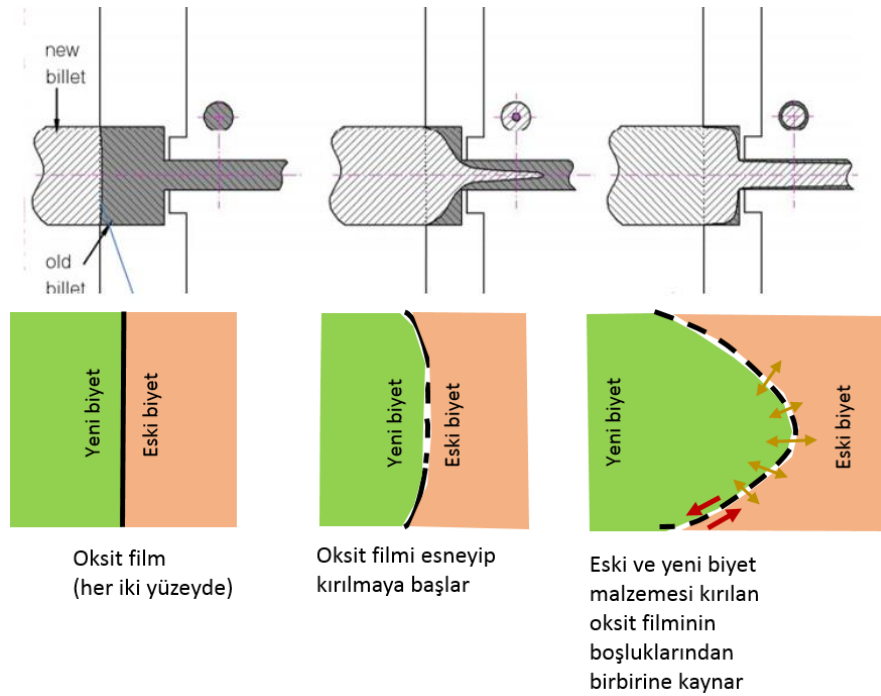
Şekil 45. Kuru şartlar altında oksidasyon için ağırlık artış eğrisinin karşılaştırılması [34].

Tablo 5. Alüminyum üzerindeki oksit tabakasının kalınlığı

Oksit kaplama tipi	Tabaka kalınlığı
Saf Al veya Al-Mg alaşımı üzerindeki doğal oksit filmi (300 °C nin altındaki sıcaklıklarda)	1-3 nm
Saf Al veya Al-Mg alaşımı üzerindeki doğal oksit filmi (300 °C nin üzerindeki sıcaklıklarda)	30 nm'ye kadar
Al-Mg alaşımı üzerindeki doğal oksit filmi (300 °C nin üzerindeki sıcaklıklarda)	3.000nm (3 µm) ye kadar (sıcaklık ve Mg yığının içeriğine bağlı olarak)
Normal kimyasal oksit kaplama	2.5-5 µm
Normal bariyer tabaka eloksal	0.25-0.75 µm
Korumalı normal eloksal kaplama (sülfürik asit eloksal kaplama)	5-30 µm
Sert eloksal kaplama	25-100 µm

Ekstrüze edilen biyetlerin kabuğunda ve altında alüminyumun oksijen ile birleştiğinde çok hızlı oluşan oksit tabakası bulunur. Bu oksit tabakası, birbiri üzerine ekstrüze edilmiş biyetlerde biyetlerin birbirine yeterince yapışmamasına sebep olur. Yapısal profil üretiminde ekstrüze edilmiş biyetin başında bu oksit tabakasından dolayı yeterince kaynamamış biyetten üretilen profiller tespit edilerek hurdaya ayrılır.

Şekil 46'da eski ve yeni biyet arasındaki oksit tabakasının kırılarak oksitsiz yüzeylerin birbirine yapışma mekanizması şematik olarak anlatılmıştır.



Şekil 46. Biyet biyete alın kaynama mekanizması [35].

Biyet biyete alın ekstrüzyonda yüzeylerinde oksit filmleri ve diğer kalıntı ve kirlilikler olan yüzeyler birbiriyle temas eder. Ekstrüzyon başladığında yeni biyet eski biyete doğru itilir ve sert ve kırılğan olan oksit tabakaları akış ile birlikte uzayamadığı için kırılır. Oksit tabakası uzayamaz ve kırılan tabakalar arasında üzerinde oksit filmi, kalıntılar ve kirliliklerin olmadığı temiz yüzeyler birbirine temas ederek kaynamayı oluşturur (Şekil 46).

Şekil 47’da içinde bir önceki biyetin ekstrüzyonundan kalan alüminyumun olduğu kalıp üzerine yeni biyetin basılmaya çalışılıp geri alınması sonrasında kalıp gözlerine doğru akış başlangıcı görülmektedir. Yüzeydeki oksit filmi yeni biyetin yapışmasını engellemiş ve kovanın geri çekilmesiyle her iki biyet birbirine yapışmadan birbirinden kolayca ayrılmıştır.



Şekil 47. Kalıp içinde kalan alüminyum ve yeni biyetin kalıba basılma başlangıcı [ASAŞ].

1.4.4.2.1. Biyet Biyete Alın Kaynama Mesafesi Tayini

Biyet biyete alın kaynama mesafesinin tayini ve etkileyen parametrelerin araştırılması üzerine çok sayıda çalışma yapılmıştır. Endüstride fiili olarak güvenlik riski olan profillerin kesitlerinin kusurdan arındırılmış olduğunun her bir ekstrüze edilen biyet için test edilmesi ve raporlanması zorunludur. Bunun için firmalar kendi kalite kontrol talimatlarına göre işlem yapmaktadır. Kalıptaki enine kaynama mesafesinin tayini üç farklı yöntem ile yapılabilir;

- Daha önce yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen deneysel formüller yardımıyla hesaplama,
- Makro dağılamayla tespit,
- Ekstrüzyon sayısal modelleme yardımıyla.

Hurdaya ayrılacak biyet biyete alın kaynama mesafesi tayini için kalıbın içinde kalan alüminyum miktarı temel belirleyici parametredir. Ampirik formüller kullanılarak basit hesaplama yapılabilir. Yapılacak bu hesabın sapmasında iki şey etkilidir. Birincisi, bir sonraki biyetin başında kalıptan çıkan alüminyum miktarı kalıbın içinde kalan miktardan daha azdır. Kalıp gözlerinin hacminin % 60 ile % 90 arasında olan bu miktar, kalıbın içindeki ölü bölgelerin etkisini ortaya koyar. Özellikle büyük kalıp gözlerinde ve kovan çapından daha büyük kesitli profillerin üretilmesinde kullanılan genişletilmiş kalıp tipinde, (spreader die) biyet biyete alın kaynama mesafesi tayininde ölü bölgelerin etkisi daha da artacaktır. İkinci olarak ta; kalıp gözlerinin içindeki malzeme girdiği şekilde kalıp gözünden çıkmaz. Alüminyum akış hızı kalıp gözü merkezi ile dış taraf arasında belirgin bir şekilde farklıdır. Boyuna kaynama çizgisine yakın olan kısımdaki alüminyum en geç kalıp gözünü terk eder. Bu faktörler dikkate alındığında enine kaynak mesafesi olarak hesaplanan kusurlu mesafenin iki katına yakınının dikkate alınması gerekecektir. Bahsedilen oranlar ve etkileyen faktörler birleştirildiğinde (% 60 - % 90'ın ortalaması olan %75'in 2 katı) = % 150' ye eşit olur ve bu değer endüstride kabaca hurda edilmesi gereken biyet biyete alın (enine) kaynama mesafesi olarak standardize edilebilir. Bu şekilde enine kaynama mesafesi; kalıp içindeki alüminyum miktarının profilin toplam kesit alanına oranının 1.5 katı olarak hesaplanabilir. Biyet başı hurdası veya ardışık biyetlerin ekstrüzyonuyla oluşan biyet biyete alın kaynama hurdası (transverse weld) , genel olarak basılan biyet sonrasında kalıp gözleri ve kaynama odalarında kalan alüminyumun hacmi-miktarıyla ilişkilidir [36].

Üretilmiş olan boydan hurdaya ayrılacak olan kısım kalıp içindeki bu hacimle ilişkili olmasına rağmen kalıptaki akış üniform olmayacak şekilde değişkenlik gösterebilir ve hurdaya ayrılacak boyda da değişkenliklere sebep olur. Bu değişken akış biyet biyete alın kaynama kusurunun olduğu boyu da değiştirebilir. Biyetin sonuna doğru da biyetin kabuk akışı başlar ve biyet kabuğu kalıp içine girer. Bu akış biyetin sıcaklığı, kovan sıcaklığı, dummy blok sıcaklığı ve profilin geometrisine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Biyet başının tamamlanma mesafesi ve biyet sonu kusurunun başlangıç mesafesi tahmini olarak hesaplanabilir fakat tam pozisyonlarının tespiti fiziksel olarak profilin kesitinin kostik ile

makro dağlanması sonucu tam olarak belirlenir. Jowett ve arkadaşları biyet baş hurdası ve biyet son hurda mesafe tayininde kullanılan formülleri detaylı açıklamışlar ve çalışmalarında biyet başı ve biyet sonu hurda mesafesinin tayininde kullanılan basit kuralın doğrulamasını amaçlamışlardır [36].

$$\text{Biyet baş hurda mesafesi (Enine kaynama)} = \frac{1,5 \cdot \text{kalıp gözleri hacmi } m^3}{\text{figğr sayısı} \times \text{profil kesit alanı } m^2} \quad (2)$$

$$\text{Biyet sonu hurda mesafesi (back end condition, coring)} = \frac{(\text{Biyet hacminin } \%14'ü - \text{kalıp gözleri hacminin } \%75'i - \text{Ana iş hacmi})}{\text{profil kesit alanı } m^2} \quad (3)$$

Bunun için dokuz adet köprülü (hollow) kalıp ve dört adet düz (solid) kalıbının üretim istatistiklerini kullanarak detaylı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu iki temel kusurun oluşum nedenleri birbirinden oldukça farklı olmasına rağmen üretilen kalıba bağlı olarak farklı etkileşim gösterdikleri gözlemlenmiştir. Verilen kural ile her iki kusurun ayrıştırılması için gerekli mesafenin belirlenmesini amaçlamıştır. Çalışmaları sonucunda:

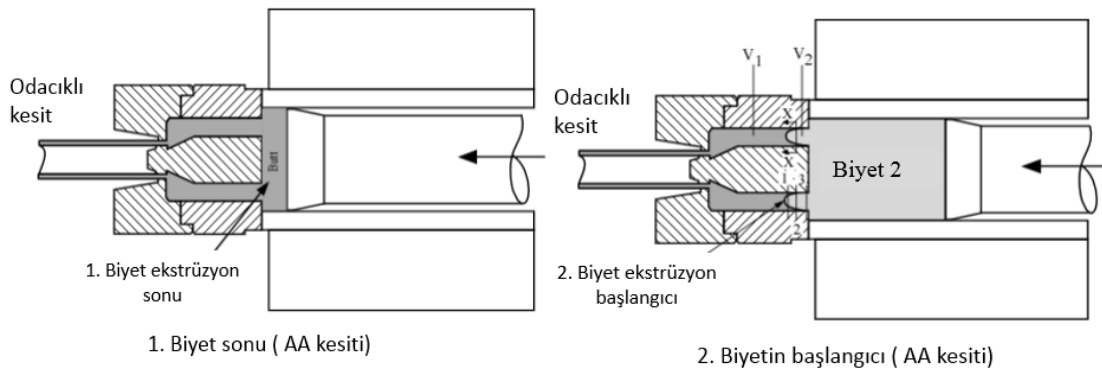
- Biyet baş ve son hurdasının yapısal uygulamalarda kullanılamayacağı için ayrıştırılması gerektiği ve bunun için yapılacak hesaplamada fiziksel şartlar farklı olacağından her bir kalıp ayrı ayrı değerlendirilmesinin gerekliliği,
- 13 kalıpta yapılan çalışmada biyet biyete alın kaynama mesafesi için kullanılan basit kuralın geçerli olduğunun teyit edildiği,
- Biyet biyete alın kaynama mesafesinin minimuma çekilebilmesi için kalıp besleme gözleriyle besledikleri profil kesit parçacığı arasındaki oranlar birbirine yakın olması gerektiği,
- Kalıpların, kaynama çizgileri istenen yere gelecek şekilde dengeli akışı sağlayacak şekilde tasarlanması gerektiği fakat merkez besleme gözleri gerektiği durumlarda besleme gözü bu kuralı sağlayacak şekilde her zaman genişletilememesi durumunda akış dengesi için kalıp geçişlerinin değiştirilmesine ihtiyaç olacağı,
- Test edilen kalıpların büyük çoğunluğunda biyet sonu hurdasının basılan biyetin son %14 ünde ortaya çıktığı fakat yine de basılan profile göre bu oranın

değişebileceği ve çok figürlülerde biyet kabuğu üstteki figürlerde daha erken akma eğilimi gösterdiği,

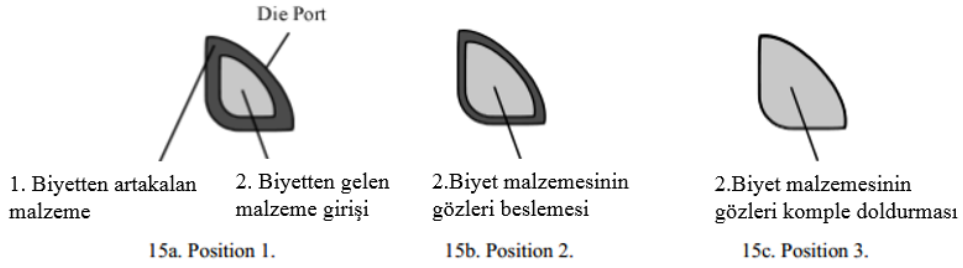
- Biyet sonu hurdasının azaltılmasında yöntemle bağlı bir limitin var olduğu ve sıfırlanamayacağı,
- Kalıpların çoğunda enine kaynak kusurunun biyet sonu kusurunu da kapsadığı,
- Biyet biyete alın kaynama kusuru sebebiyle hurdayı azaltabilmek için kalıp gözlerindeki akışın dengelenmesi gerekliliği ve göz boyutlarının azaltılması gerektiği fakat bu durumda biyet kabuk akışından kaynaklı biyet sonu hurda mesafesi artarak verimliliğin azalacağı ve kalıp tasarımı yapılırken her iki durumun da göz önüne alınması gerektiği sonuçlarına ulaşılmıştır [36].

Üretim verimliliği dikkate alındığında, biyet başında enine kaynak kusurundan dolayı hurdaya atılacak mesafenin azaltılabilmesi için kalıp göz hacminin mümkün olduğunca küçültülmesi tercih edilebilir. Fakat bu durumda da daha küçük gözler ve kaynama odası üretim hızının düşmesine sebep olabilir. Tasarımcılar her iki durum arasında dengeyi gözeterek uygun kalıp tasarımını yapmalıdırlar. Yapılan çalışmada kalıp gözlerinin boyutunun etkisi detaylı olarak incelenmiştir.

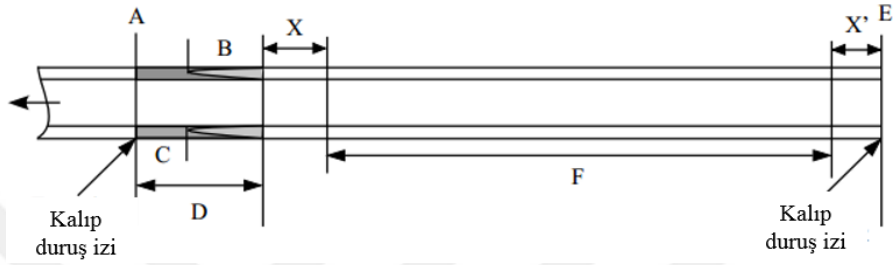
Saha yaptığı çalışmada, biyet biyete alın kaynama olayını modelini oluşturarak geçiş bölgesinin mesafesinin hesabını ve dolayısıyla kusurlardan arındırılmış ürünün nasıl hesaplanacağına ilişkin detaylar açıklanmıştır. 1.ekstrüzyon sonunda kalıp gözlerinde kalan malzeme ile yeni biyetin alını arasında sıcaklık farkı ve yüzeyde oksit ve yağ kalıntılarında dolayı ideal bir kaynama oluşmaz. Sabit hacim dengesi hesabı kullanılarak kalıp içinde kalan hacmin kesitten geçinceye kadarki oluşan mesafesi geçiş mesafesi olarak Şekil 48, 49 ve 50’de belirtildiği şekilde hesaplanır [37].



Şekil 48. Biyet biyete alın kaynama



Şekil 49. Zıvana gözlerine biyet malzemesi besleme



Şekil 50. Geçiş boyu, biyet biyete alın kaynama mesafe hesaplama

A – 1. biyet ekstrüzyon sonu

B – 2. biyetin başında düzensiz alın kaynaması başlangıcı

C – 1. biyetin kalıp gözlerinden arta kalan malzemenin 2. biyetteki malzeme ile birleşmeden önceki ekstrüzyon mesafesi boyu

D – iki biyetin geçiş boyu

E – 2. biyet ekstrüzyon sonu

F – Kabul edilebilir ekstrüzyon boyu

X – Yağ nüfuz etmesi vb. kaynaklı ilave hurda mesafesi (Ekstrüzyoncu öngörüsü)

X' – Biyet kabuğundan kaynaklı ilave hurda mesafesi (Ekstrüzyoncu öngörüsü)

Geçiş boyu hesaplaması; D olarak tanımlanan geçiş boyu mesafesi sabit hacim ilişkisi kullanılarak hesaplanabilir (Şekil 50),

$$D = (V1 + V2) / A_E \cdot n \quad (4)$$

V1 = biyet #1 in kalıp gözleri ve kaynama havuzunda kalan toplam metal hacmi

V2 = biyet #2 ten kalıp gözlerine giren toplam metal hacmi

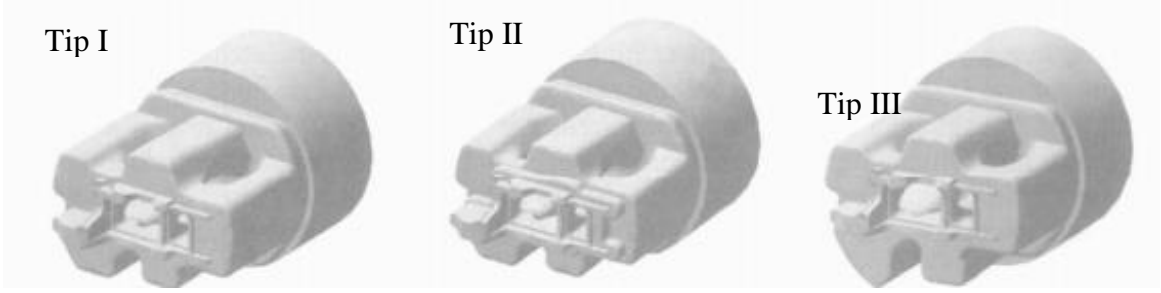
A_E = ekstrüzyon profil kesit alanı

n = kalıptaki figür sayısı

Bu hesapta ($V1 + V2$) toplam hacme eşittir, kalıp gözlerinin toplam hacmi VT ve kaynama odası hacmi CAD programları kullanılarak hassas olarak hesaplanabilir [37].

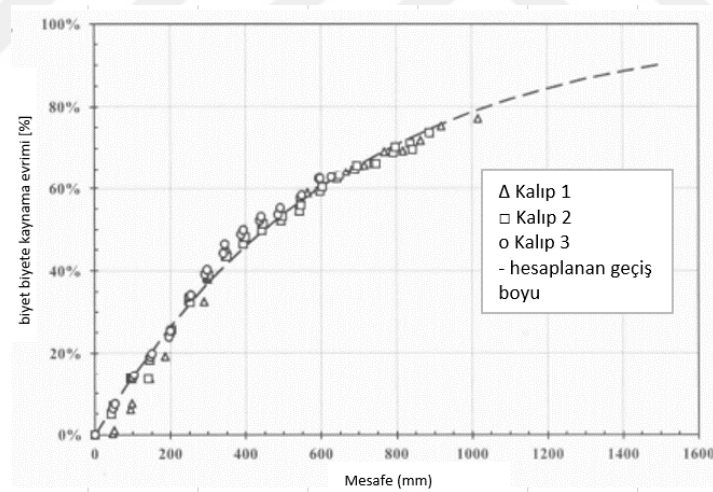
Pinter ve arkadaşları direkt ekstrüzyon yönteminde içi boş profile ait köprülü (hollow die) kalıp tasarımı değiştirerek kalıp içindeki ölü bölgelerinin dinamiğini sonlu elemanlar analizi (FEA) kullanarak araştırmış ve toplam işlem verimliliğini azaltmadan biyet başı hurdasını minimize etmek üzerine çalışmışlardır. Başlangıç olarak ta endüstriyel olarak üretilmiş bir kalıbın biyet başı hurdası gelişimini sonlu elemanlar yöntemini kullanarak doğrulamaya çalışmıştır. Daha sonra da doğrulamadan elde edilen bilgi ve yenilikçi kalıp tasarımı yaklaşımını kullanarak elde yeni kalıp tasarımları yapılarak verimlilik ve biyet başı hurdanın azaltılmasını sağlayacak uygun kalıp tasarımları oluşturulmuştur. İşlem parametreleri (zımba hızı, biyet sıcaklığı, alaşım) de hassas olarak değiştirilerek etkileri irdelenmiştir. Pinter yaptığı çalışma sonucunda kullandıkları sonlu elemanlar yönteminin biyet başı mesafesinin tayininde yeterince hassas neticeler verdiğini ifade etmiştir. Biyet başı hurda mesafesinin sadece kalıp göz hacminin azaltılmasına bağlı olmadığı aynı zamanda gözlerin geometrisi, şekliyle de direkt ilişkili olduğu gözlemlenmiştir. Simetrik olmayan profillerin kalıplarında kalıp göz hacminin silindirik olarak azaltılması gözlerdeki akış dengesizliğini arttırmakta ve biyet baş hurda mesafesini de arttırmakta olduğu, konik gözlerdeki akışın dinamik baskısının toplam hacmi değiştirmeden biyet başı hurdasını azalttığı görülmüştür. Biyet başı hurda mesafesinin tayininde kullanılan (göz hacmi / kesit alanı x 1,5) deneysel olarak daha önce sunulan formülün bu kalıp için doğrulanmadığı ve FE kodlar kullanılarak nümerik olarak hesaplanan biyet başı mesafesinin zımba hızı, biyet ön ısıtma sıcaklığı ve alaşım ile değişmediği gözlemlenmiştir [38].

Bakker ve arkadaşları kalıp geometrisinin biyet biyete alın kaynama evrimine etkisini incelemek üzere aynı profil kesitini üretebilmek için 3 farklı kalıp tasarımı üzerinde çalışmıştır (Şekil 51). 1. kalıpta küçük gözler ve ön havuz olmadan yapılan kalıp temel alınmış, 2. Kalıpta aynı kalıp gözleri kullanılarak kapakta ön havuz yapılmış, 3. Kalıpta ise kalıp gözleri büyütülmüş ve ön havuz iptal edilmiştir. Kalıplardan iki farklı alaşımdan oluşan parçalı biyetler ile üretim yapılmış ve üretilen profil kesitleri dağlanarak kesitteki alaşım geçişleri gözlenebilir hale getirilmiştir. Daha sonra fotoğrafları çekilen kesit görüntüleri “görüntü işleme - image processing” ile işlenmiş ve kesitteki iki farklı alaşım evrimi incelenmiştir. İnceleme sonunda malzeme iç içe geçiş evrimi 3 farklı deneme neticesinde basit bir deneysel formül ile belirlenmiştir.



Şekil 51. Üç farklı kalıp tasarımı tip I: küçük gözler, ön havuz yok, tip II: küçük gözler ve kalıpta ön havuz, tip III: büyük gözler ve ön havuz yok

Farklı kalıp tasarımları profil kesit geometrisinde önemli farklar oluşturmamıştır. Farklı kalıp tasarımlarında ön havuzun enine kaynama mesafesi üzerinde az bir etkisi olduğu görülmüş, asıl etkinin ise kalıp gözlerinin geometrisinden kaynaklandığı gözlemlenmiştir [39]. Üç farklı kalıptaki biyet biyete kaynama eğrisi birbirine yakındır (Şekil 52).



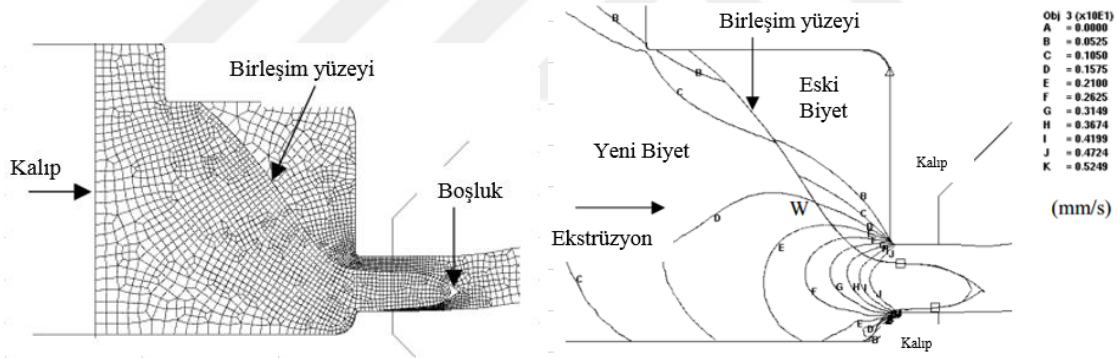
Şekil 52. Biyet biyete alın kaynama evrimi

Biyet biyete alın kaynama evriminde yeni biyetin tüm kesiti kaplamasını ifade eden A, aşağıdaki eşitlik ile formüle edilmiştir.

$$A=A_0 [1-\exp[x/B]] \quad (5)$$

A_0 toplam kesit alanı, x biyet biyete alın kaynamanın başlangıçtan mesafesi, B deneysel verilerden çıkartılan kalıp geometrisine bağlı sabit, (Örnek çalışmada B değeri 3 farklı kalıbın verilerinden çıkartılmış ve $B = 646$ olarak bulunmuştur) [39].

Qiang Li ve arkadaşları, karmaşık 3D geometrisi için ekstrüzyon işlemini, kalıp ön havuz tasarımı ve biyet biyete alın kaynama olgusunu FEM ve deneysel yöntemler kullanarak incelemişler ve kalıp tasarımının biyet biyete alın kaynama mesafesini etkilediği gözlemlenmiştir. FEM çalışmasında eski ve yeni biyet patternleri gözlemlenmiş ve her iki biyetin kaynama ucundaki boşluk oluşumu gözlemlenmiştir (Şekil 53 a). Eski biyet ile yeni biyetler arasında hız profilinde farklılıklar mevcuttur ve her iki biyet arasında izafi hareketi oluşmaktadır (Şekil 53-b). Bu da temas yüzeyleri arasında kaymanın oluştuğunu bunun da kaynama kalitesi üzerinde direkt etkisinin olduğunu göstermiştir. FEM analizi her iki biyet yüzeyinde oksit tabakasının olmaması durumu gibi ideal bir durumda bile biyet biyete alın kaynama işleminde yüzeyler arasında bir kayma hareketinin olduğunu göstermiştir [40].



Şekil 53. a) Eski ve yeni biyet birleşimi ve oluşan boşluk, b) biyet biyete alın kaynamada hız profili, W noktası her iki biyetin kaynama başlangıcı

Johannes ve arkadaşları tarafından yapılan başka bir çalışmada da kalıp modifikasyonunun biyet biyete alın kaynama mesafesini etkilediği gözlemlenmiştir. Bu çalışmada kalıp göz hacmi ile profil kesitinde beslediği kesit alanı arasındaki oran azaldıkça biyet biyete alın kaynama mesafesi azalmış ve hızın daha da artırılmasına imkân sağlamıştır [31].

Endüstriyel uygulamalarda genel pratik olarak 1000 mm'lik kısmı kalıp durma izinden önce hurdaya ayırmak veya diğer bir uygulamada ise biyet biyete alın kaynama kusuru içeren ve hurdaya ayrılacak olan kısmın tespitinde ekstrüzyon oranına bağlı bir

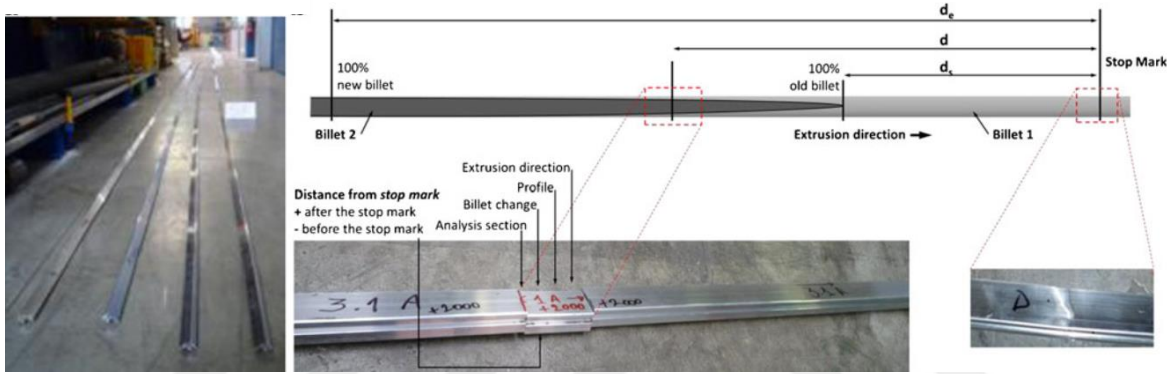
kural kullanılmaktadır. Hurdalanacak profil mesafesi; ekstrüzyon oranı R olarak tanımlanırsa, $R < 30$ için 1000 mm, $30 < R < 40$ için 2000 mm ve $R > 40$ için 3000mm hurdalanmaktadır [41].

Otomotiv, raylı sistemler, havacılık ve yüksek mukavemet gerektiren diğer yapısal uygulamalarda bu tahmini yaklaşımın kullanımı kabul edilemez dolayısıyla ilgili sektörlerin kendi standartları gereği içerisinde yapısal kusur bulunabilecek tüm profil kesitlerinin tam % 100 uygun olduğunu garanti edecek bir ölçme ve kontrol yönteminin kullanılması zorunludur. Bu yüzden raylı sistemler için “EN 13981-1:2003, Alüminyum ve alüminyum alaşımları- yapısal demiryolu uygulamaları için mamuller-muayene ve teslim için teknik şartlar ve Bölüm 1: Ekstrüzyona tabi tutulmuş mamuller” standardında ekstrüzyon dikişlerinin test edilme yöntemleri ve uygunluk kabul kriterleri açıklanmıştır. Standart maddeleri 5.6 “Ekstrüzyon dikişleri” ve 7.8’de ise “Ekstrüzyon dikişlerinin sağlamlığının doğrulanması”, boyuna ve enine dikişlerin özellikleri ve nasıl test edilecekleri özellikle belirtilmiştir [42].

Standarda yapılan atıfların yanı sıra müşteri taleplerine göre boyuna ve enine (biyet biyete alın kaynama) kaynakların nasıl tespit ve test edileceğine ilişkin özel maddeler ve şartnameler mevcuttur ve tüm üretimler herhangi bir ürün riski oluşturmayacak şekilde bu standartlara uygun yapılmalıdır. Genel olarak uygulanan ve tüm riskleri ortadan kaldırarak müşteriye doğru ürünün sevk edilmesini sağlayan yöntem şu şekildedir. Kalıbın ilk üretiminde biyet biyete alın kaynama mesafesi; ekstrüze edilen tüm boylarda kalıp durma izinin önü ve arkasından 15-20 cm’lik boylarda ardışık numuneler kesilerek ve numunelerin makro dağlanmasıyla (Kostik konsantrasyonu ortalama %50 NaOH ve sıcaklığı 55-65°C olmalıdır) tespit edilir ve tespit edilen bu mesafeye işlem değişkenliğinin riskini de ortadan kaldıracak bir emniyet mesafesi eklenerek hurdaya ayrılması gereken nihai hurda mesafesi tespit edilir. Seri üretimde önceden tespit edilen bu mesafe her biyet ekstrüzyonu için kesilerek hurdaya ayrılır. Biyet biyete alın kaynama mesafesinin tespit edildiği üretimdeki işlem parametrelerinin seri üretimde de sağlandığı ayrıca kontrol edilmeli ve aynı parametreler ile üretim gerçekleştirilmelidir. Ekstrüzyon işleminde oluşabilecek değişkenlikler (Ekstrüzyon artığı boyu, alaşım, biyet sıcaklığı vb.) biyet biyete alın kaynama mesafesinin değişmesine sebep olabilir. Parametrelerin etkileri ayrı birer çalışma konusu olabilir.

Çok figürlü, odacıklı (hollow) profil ekstrüzyonunda FEM ve gerçek ekstrüzyon denemesiyle biyet biyete alın kaynama mesafesi ve pozisyonunun tahmini üzerinde

Reggiani ve arkadaşları hem numerik ve deneysel çalışmalar yapmışlar ve çalışmanın sonucunda üretim verimliliğini % 82.6 dan % 88.3 e çıkartmışlardır. Reggiani'nin deneyinde kesilen numuneler zımparalanıp parlatılıp %10 konsantrasyonlu hidroflorik asit ile dağladıktan sonra optik mikroskop altında incelenmiş ve Axion Visio görüntü işleme programı kullanılarak her bir kesitteki oransal olarak yeni biyetin evrimi hesaplanmıştır (Şekil 54). Yeni biyetin oranı %100 oluncaya kadar numune incelemesi devam etmiştir. Dört farklı profildeki biyet biyete alın kaynama evriminde kalıp gözlerini boyutu, profillerin kalıba yerleşimi ve yönünün belirgin bir etkisi olduğu görülmüştür [41].



Şekil 54. Dört figürlü kapalı profil kesitinin biyet biyete alın kaynama mesafesi tayini, d : kalıp durma izinden itibaren mesafe, d_s biyet biyete alın kaynağı başlangıcı, d_e biyet biyete alın kaynağı bitiş mesafesi [31].

Alüminyum ile dolu olan kalıp gözlerine girecek olan yeni biyet, gözün tamamında homojen olarak akmaz. Gözün cidara yakın kısmında akış daha yavaş, merkezde daha hızlıdır. Dolayısıyla alüminyum tüm göz kesiti boyunca farklı akış gösterir. Yeni malzeme gözün merkezinden erken akar, cidarlarda daha geç akarak her iki biyetten olan malzemenin aynı anda gözden akmasına sebep olur. Akış ideal ve homojen olsaydı (cidar ile merkez arası hız farkı olmasaydı) yeni biyet malzemesi eski malzemeyi bir rijit katı gibi öteleyerek kalıptan geçirmesi beklenirdi. Bu durumda kalıp göz hacmi ile profil kısmi kesit parçacığı arasındaki oran tam olarak enine kaynama mesafesini verebilirdi.

Kalıp gözünün içindeki gecikmeli akışa göz ve kaynama odalarındaki ölü bölgeler de ayrıca sebep olur. Kalıp gözüne girdiği andan itibaren zaten homojen olmayan malzeme akışı, göz ve kaynama odalarındaki ölü bölgelere takılarak daha da gecikir. Bu durumda da eski ve yeni biyetten olan karışık akış daha fazla uzayarak devam eder.

Kalıp içerisinde bulunan malzemenin kalıptan geçmesi mesafesinin tayininde kalıba giren ve kalıptan çıkan malzeme dengesine göre hesap yapılır.

1.5. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Alüminyum ekstrüzyon işlemi kullanılarak otomotiv, raylı sistemler, savunma sanayi ve havacılık gibi sektörler için yüksek mekanik ve fiziksel özellikler gerektiren basit ve karmaşık şekilli, içi dolu veya odacıklı kesite sahip profiller üretilmektedir. İster içi dolu veya boş olsun, profillerin çoğunluğu sıcak direkt ekstrüzyon işleminde biyetler art arda eklenerek istenen boylarda üretilirler. Bu şekilde üretilen profillerde oluşan bu birleşmenin (kaynamanın) varlığı ürün kalitesini ve işlem verimliliğini önemli derecede etkilemektedir. Dolayısıyla, ekstrüzyon işlemi kesit tasarımında sağladığı avantajlarının yanında bazı teknik kısıtlarından dolayı da alüminyum profil üretiminde belirli limitlere sahiptir. Örneğin, biyetlerin ardışık ekstrüzyonunda biyetlerin alın yüzeyinde bulunan oksit tabakası ve kirlilikler kaliteli birleşmeye engel olmaktadır. Özellikle dinamik yük altında çalışan bu profillerin kesitinin herhangi bir yerinde hiçbir kusur kabul edilmemekte ve işlem gereği oluşan bu kusurların tespiti ve ayrıştırılması yapısal profiller için hayati önem arz etmektedir.

Bu çalışmada kalıp geometrisinin, alüminyum ekstrüzyon işleminde istenmeyen fakat biyetlerin art arda birleşmesi sebebiyle kaçınılmaz olan biyet biyete alın kaynama (enine kaynama) kusuru üzerine olan etkileri incelenmiş ve profil kesitinde ortaya çıkan enine kaynama kusuru mesafesinin tayini ve azaltılabilmesi üzerine deneysel ve sayısal modelleme çalışmaları yapılmıştır. Çalışmanın birinci bölümde sıcak şekillendirme işlemlerinden olan direkt ekstrüzyon işlemi ve alüminyum ekstrüzyon tekniği ve ekipmanları, alüminyum ekstrüzyon kalıp tekniği, ekstrüzyonun sayısal modellenmesi, alüminyum ekstrüzyon kusurları, biyet biyete alın kaynağının oluşum mekanizmaları ve biyet biyete alın kaynağının tespiti ve onu etkileyen parametrelerin araştırılması üzerine yapılan önceki çalışmalar hakkında bilgiler verilmiştir.

İkinci bölümde ilk olarak basit bir (kutu) profil kesitini üretebilecek 4 farklı kalıp tasarımı yapılmış ve biyet biyete alın kaynama mesafesini etkileyen parametrelerden olan kalıp göz geometrisinin etkilerini incelemek üzere sayısal modelleme çalışmaları yürütülmüştür. Yapılan dört kalıpta kalıp gözleri sırasıyla kalıp 1’de simetrik ve küçük, kalıp 2’de simetrik ve iki kat büyütülmüş, kalıp 3’te simetrik küçük ve büyük ve son olarak

ta, kalıp 4'te dört farklı göz boyutuna sahip kalıplar tasarlanmıştır. Sonrasında, her bir kalıbın kullanıldığı alüminyum ekstrüzyonu sayısal olarak modellenmiş ve elde edilen bulgular birbirleriyle karşılaştırılarak endüstriyel uygulamalar için gerekli kalıp göz geometrisi parametreleri belirlenmiştir.

Daha sonra birinci kısımda edinilen bilgiler ışığında alüminyumdan mamul bir tramvay vagonunun alt taban köşesinde kullanılan karmaşık kesitli ve çok odacıklı alüminyum profili üretebilecek kalıp geometrisi tasarlanıp üretilmiştir. Üretilmiş olan bu kalıp ile endüstriyel şartlarda 31 biyetlik ekstrüzyon gerçekleştirilip alüminyum profili üretilerek ekstrüzyon kalıp göz geometrisinin biyet biyete alın kaynama mesafelerine olan etkileri incelenmiştir. Ayrıca, bu endüstriyel kalıbın sayısal modellemesi yapılarak biyet biyete alın kaynama mesafesi üzerindeki etkileri belirlenerek endüstriyel bulgularla karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümde hem basit kutu profili için yapılan sayısal modelleme hem de endüstriyel kalıpla elde edilen üretim bulguları irdelenmiş, çalışmanın dördüncü bölümde ise bir önceki bölümden elde edilen bulgular ışığında, endüstriyel kalıp tasarımı için, alüminyum ekstrüzyon işlemini geliştirici tasarım sonuçları çıkarılmıştır. Son olarak, bundan sonraki çalışmalar için öneriler sıralanmıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada direkt ekstrüzyon yöntemi ile üretilen alüminyum profillerdeki ekstrüzyon kusurlarından olan biyet biyete alın kaynama mesafesinin tayininde kalıp geometrisinin etkisini incelemek üzere iki aşamalı çalışma yürütülmüştür.

Birinci aşamada 100 x 100 x 6 mm'lik bir basit bir kutu profil kesitini üretilen şekilde 4 farklı kalıp tasarımı (kalıp 1, kalıp 2, kalıp 3 ve kalıp 4) yapılmış ve bu kalıplardaki biyet biyete alın kaynama mesafesi sayısal modellemeyle analiz edilerek kalıp gözlerinin etkileri incelenmiştir. Aynı profil için birbirinden farklı gözlere sahip 4 farklı kalıp tasarımı yapılmış ve aynı ekstrüzyon parametreleriyle Q-form programı kullanılarak ekstrüzyon simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada elde edilen sonuçlar ışığında raylı sistemlerde vagon gövdeli tabanında kullanılmakta olan gerçek bir profil kesitini üretebilecek ekstrüzyon kalıbı üzerinde biyet biyete alın kaynama mesafesi tayininde kalıp geometrisinin etkisi hem endüstriyel şartlarda ekstrüzyon işlemi gerçekleştirilerek üretilerek incelenmiş hem de ekstrüzyon simülasyonu yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca ekstrüzyon simülasyonu sonucunda kalıp tasarımında yapılacak değişiklikler öngörülerek tasarım revize edilmiş, revize edilen ve yeni yapılan kalıp tasarımları ekstrüzyon simülasyon programı kullanılarak yeniden analiz edilmiştir.

2.1. Basit Kutu Profil Ekstrüzyonunda Biyet Biyete Alın Kaynama Mesafesinin Simülasyon ile Tayini ve Kalıp Geometrisinin Etkisi

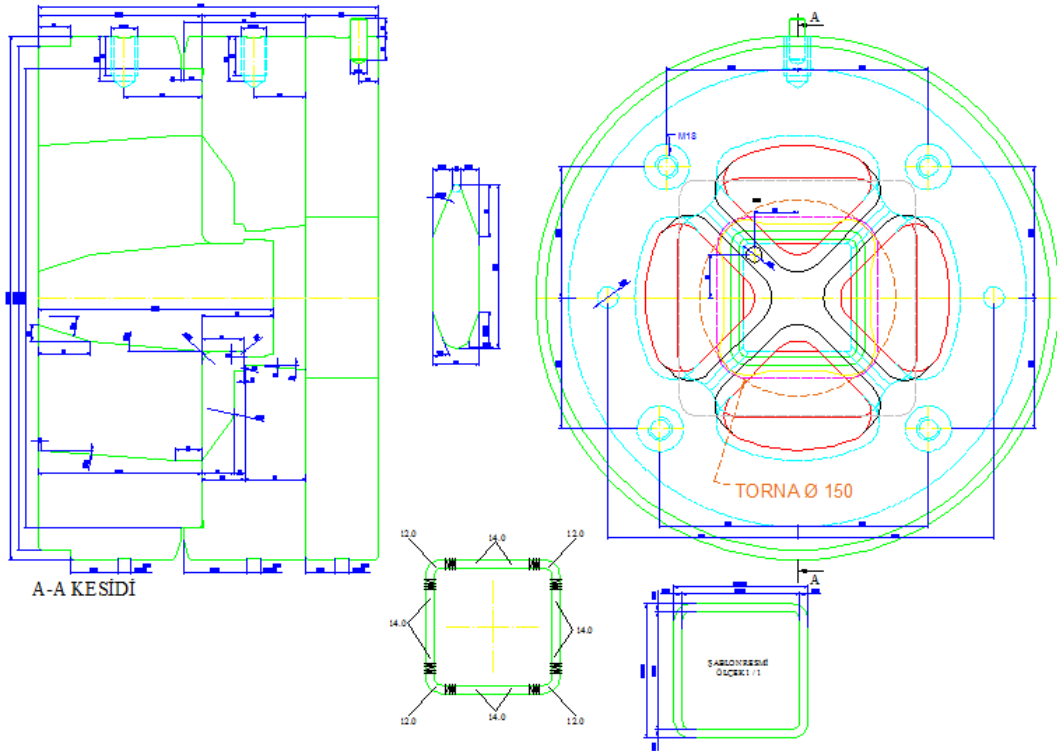
Bu çalışmada 100 x 100 x 6 mm'lik bir basit bir kutu profil kesitinin üretimi için kalıp giriş gözleri birbirinden farklı 4 kalıp (kalıp 1, kalıp 2, kalıp 3 ve kalıp 4) tasarlanmış ve simülasyon tekniği kullanılarak analiz edilmiştir. Gözleri simetrik ve küçük olan kalıba ait imalat resmi Şekil 55'te verilmiştir.

Kalıp tasarımları yapılırken geometrik değişkenler sadece kalıp göz geometrileri ve hacimleriyle sınırlı tutulmuş, kalıp kaynama odası yüksekliği, kalıp ayak yüksekliği, kalıp geçiş yüksekliği ve görüntü kesiti sabit tutulmuş ve her bir kalıp aynı ekstrüzyon parametreleri kullanılarak sayısal olarak analiz edilmiştir.

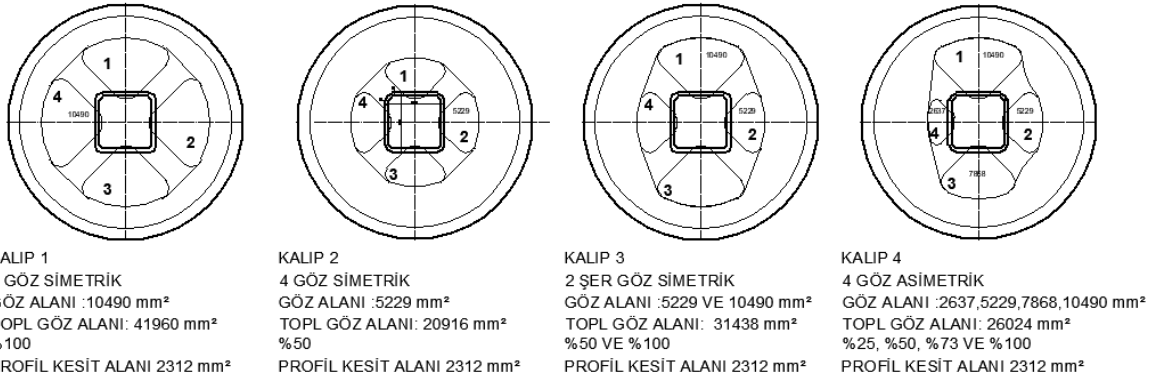
2.1.1. Kalıp Göz Hacimlerinin Biyet Biyete Alın Kaynama Mesafesine Etkisinin Simülasyon ile Analizi

Enine kaynama mesafesinin belirlenmesinde kalıp göz hacimlerinin enine kaynama mesafesi üzerine etkisi daha önceki literatür çalışmalarında belirtilmiş idi. Bu çalışmayla aynı profil kesiti ve aynı kalıp geçiş yüksekliği kullanılarak farklı göz hacminde 4 farklı kalıp tasarımı yapıldı (Şekil 56), Q-form programıyla aynı parametreler kullanılarak sayısal modelleme ve analiz edildi. Her bir kalıptaki enine kaynama mesafesi değişimi ve yeni malzemenin kesite hâkimiyet oranı incelenerek birbirleriyle yüzdesel olarak karşılaştırıldı.

Kalıp 1, tasarımında 4 eşit göz tasarımı kullanılmış, her bir göz alanı 10490 mm^2 ve toplam göz alanı da 41960 mm^2 olarak tasarlanmıştır. Bu kalıp diğer kalıplar için referans kalıp olarak kullanılmış ve diğer 3 kalıbın kalıp gözleri bu kalıbın gözlerine oranla % 25, % 50 ve % 75 oranında küçültülerek hazırlanmıştır (Tablo 6).



Şekil 55. Kutu profil için küçük gözlü kalıp 2 tasarımı imalat detay resmi



Şekil 56. Aynı kutu profil içi yapılmış alüminyum giriş gözleri farklı dört tip kalıp tasarımı

Tablo 6. Kutu profil için tasarlanan kalıpların geometrik boyutları

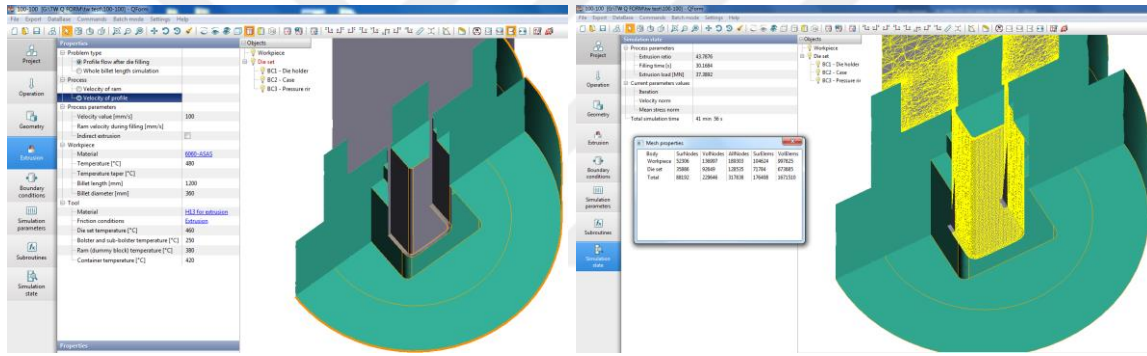
KALIP TASARIM TANIMI	1. GÖZ (mm ²)	2. GÖZ (mm ²)	3. GÖZ (mm ²)	4. GÖZ (mm ²)	TOPLAM GÖZ ALANI (mm ²)	TOPLAM GÖZ ORANI (KALIP1'E GÖRE)	TOPLAM GÖZ / PROFİL KESİT ALANI ORANI
KALIP 1	10490	10490	10490	10490	41960	100%	18,1
KALIP 2	5229	5229	5229	5229	20916	50%	9,0
KALIP 3	10490	5229	10490	5229	31438	75%	13,6
KALIP 4	10490	5229	7668	2637	26024	62%	11,3
Göz oranları							
KALIP 1	100%	100%	100%	100%	100%		
KALIP 2	50%	50%	50%	50%	50%		
KALIP 3	100%	50%	100%	50%	75%		
KALIP 4	100%	50%	73%	25%	62%		

2.1.2. Ekstrüzyon Simülasyon Parametreleri

Ekstrüzyon sayısal modellemesi için Q-form vx 8.2.4 yazılım programı kullanılmıştır. Simülasyon için kullanılan parametreler Tablo 7'de verilmiştir. Ağ örgü yapısı için kalıp seti ve biyet malzemesi için toplam 1.671.510 hacim elementi kullanılmıştır. Toplam sayısal modelleme zamanı 41 dakika 56 sn. sürmüştür. Sayısal modelleme için kalıpların ağ örgüleri örneği Şekil 57'de verilmiştir.

Tablo 7. Kutu profil kalıbı simülasyon parametreleri

No	Simülasyon Parametreleri	Değer
1	Biyet Çapı, mm	360
2	Biyet Boyu, mm	1200
3	Profil kesit alanı, mm ²	2312
4	Alaşım	6060
5	Exstrüzyon Oranı	44
6	Zimba Hızı, mm/s	100
7	Biyet sıcaklığı, °C	480
8	Kovan sıcaklığı, °C	420
9	Kalıp seti sıcaklığı, °C	460
10	Dummy blok sıcaklığı, °C	380
11	Isı transfer katsayısı, W/m ² K	5000



Şekil 57. Sayısal modelleme için hazırlık ve ağ örgüsü (mesh) hazırlama

2.2. Karmaşık Endüstriyel Profil Kesitinde Biyet Biyete Alın Kaynama Mesafesinin Tayini ve Kalıp Geometrisinin Etkisi

Taşımacılık sektörünün genelinde olduğu gibi raylı sistemlerde de karbon salınımını azaltabilmek için araçlar daha hafif yapılmak istenmektedir. Bunun için de istenen mukavemet değerlerini karşılayan alüminyum alaşımları kullanılarak metro, tramvay, hızlı tren vb. vagon gövdelerinin yapıldığı profiller üretilmektedir. Bir alüminyum vagon 20-30 farklı profil kesitinin kaynak, perçin, yapıştırma vb. yöntemler ile birleştirilmesinden oluşmaktadır. Bu vagonlar değişik hızlarda seyahat ederek hem statik hem de sürekli bir dinamik yüke maruz kalmaktadırlar. Raylı sistemler için tasarlanan vagonların 30 yıllık çalışma süresine göre ömürleri hesaplanmaktadır. Bu vagonların gövdesini oluşturan çok odacıklı alüminyum profil kesitlerinin kusursuz olması gereklidir. Bu sebeple basit kutu

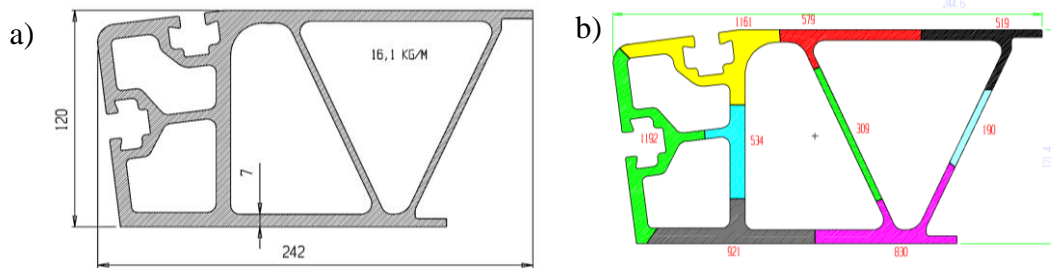
profili için yapılan tasarımlar ve modelleme çalışmaları sonrasında edinilen bilgiler ışığında bir tramvay setinin vagonunun tabanının her iki yanında kullanılan 4 odacıklı alüminyum profilin kalıp tasarımı ele alınarak profil üretimi incelenmiştir. Kalıp göz geometrisinin üretilen profil kesitlerindeki biyet biyete alın kaynama mesafesi üzerindeki etkileri analiz edilerek uygun ürünün sağlanacağı şartlar belirlenmiştir (Şekil 58). Çalışmada ayrıca profil üretiminin gerçekleştirildiği kalıbın ekstrüzyon simülasyonu yapılarak deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bulguların irdelenmesinden elde edilen neticeler kullanılarak kalıp gözlerinde değişiklik yapılmış ve yeniden sayısal modelleme yapılarak olası değişikliklerin etkileri irdelenmiştir.



Şekil 58. Karmaşık kesitli alüminyum profillerden oluşan tramvay gövdesi

2.2.1. Deneyde Kullanılan Vagon Taban Köşe Profiline Kalıp tasarımı

Alüminyum ekstrüzyonunda genel olarak profil tipleri, içinde odacık olup olmamasına göre belirlenir. Üzerinde çalışılan vagon profili, içinde 4 odacık olan ve “kapalı profil” olarak adlandırılan profil tipindedir (Şekil 59).

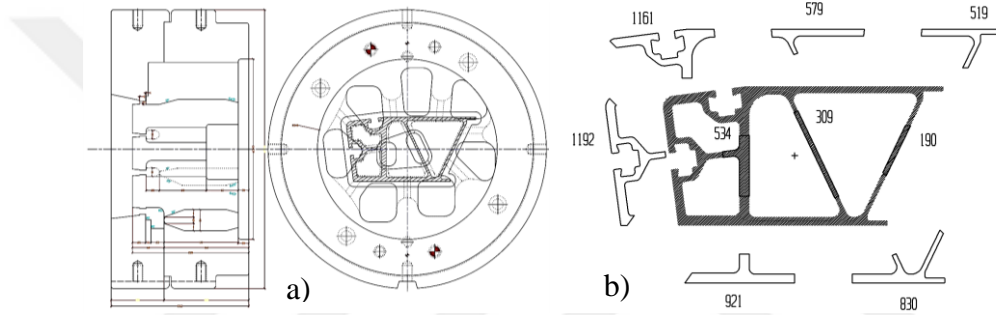


Şekil 59 a) Alüminyum profili, b) kesiti oluşturan birleşim parçaları

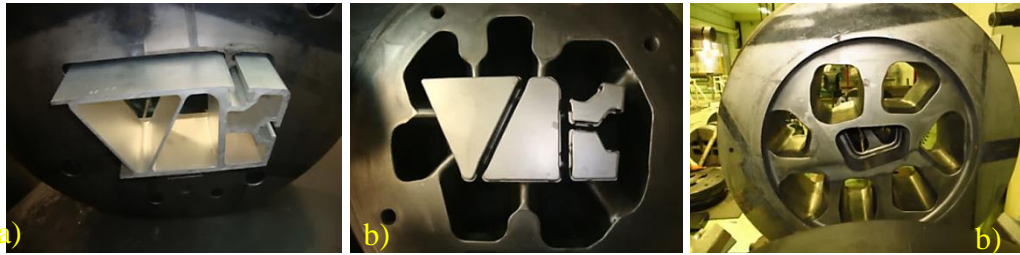
Üretim denemesinde kullanılan profilin kalıbı zıvanalı kalıp tekniği (hollow die, porthole) ile yapılmış, 365 mm kovan çapına sahip 5500 tonluk prese uygun olarak tasarlanmıştır. Kalıp tasarımında maksimum alüminyum giriş çapı 340 mm olacak şekilde 9 farklı alüminyum giriş gözüyle kullanılarak üretimi yapılmıştır. Kalıp tasarımı, profilin kesitinde bulunan ve profilin iç şeklini oluşturan 4 adet odacığı kalıbın merkezinde tutacak şekilde tasarlanmıştır. Kovanın içinde bulunan biyetler maksimum 52 kg/mm²'lik pres basıncıyla kalıptan geçirilmeye zorlanır. Alüminyum biyet 9 parçaya bölünerek kalıp gözlerinden geçirilir ve kalıp ayakları üzerinden akan malzeme ayak önündeki kaynama odası ve havuzda birleşir. Kaynama odasında ve havuz da profil formuna doğru akan alüminyum kalıptaki zıvana ve kapak arasındaki açıklık olan kalıp geçişlerine (bearing) sürtünerek profil şeklini alır.

Direkt ekstrüzyonda kovanın merkeziyle cidarları arasındaki hız cidar sürtünmesinden dolayı eşit değildir (Şekil 11, Şekil 23). Alüminyum kovana göre izafi hareket eder ve merkezde akış daha hızlı, cidarlara yaklaştıkça daha yavaştır. Ayrıca profilin kesitindeki et kalınlıkları da homojen değildir. Profilin tüm kesitinin aynı hızda akmasının sağlanabilmesi için kalıp gözlerinin boyutları, kalıp geçiş boyları (bearing length) , kaynama odası ve havuz boyutları, birbirinden farklı ölçülerde tasarlanabilir. Kalıp içindeki malzeme ve kalıbın sıcaklık dağılımının değişimi, ölü bölgelerin etkisi vb. gibi faktörleri kontrol edebilmek için kalıp geometrisi simetrik olmayacak şekilde tasarlanmak durumundadır. Deneyde kullanılan profil kesitindeki et kalınlıkları 3,5 mm ile 10 mm arasından değişmektedir. Kalıbın çıkışındaki profilin akışını dengelemek için yapılan düzenlemeler kalıbın içinde farklı akışların oluşmasına sebep olur. Üretimin sürekliliği için ardışık biyetlerin üretiminin gerçekleştiği ekstrüzyon işleminde birbirine eklenerek kalıptan geçirilen biyetlerin kalıp gözlerindeki akışı da aynı hızda değildir. Kalıbın genel akış ve mukavemet dengesi için kalıp gözlerinin giriş alanları, ayak kalınlıkları ve yükseklikleri farklıdır. Bunun sonucu olarak kalıbın girişinde parçalara bölünen biyetin her bir gözden geçerken izleyeceği yol, sıcaklık dağılımı, akış özellikleri, ölü bölgelerdeki birikme ve malzeme akış davranışları farklı farklı olur. İdealde tüm alüminyumun kalıp içinde homojen bir şekilde, sabit çıkış sıcaklığında (izotermal ekstrüzyon) ve eşit hızda akması istenir fakat kalıp geometrisinin etkisinden dolayı bu şekilde gerçekleşmez. Kalıp tasarımı ve üretim parametrelerinin optimizasyonu yapılarak işlem çıktısı olan profilin kalitesini kabul sınırları içerisinde tutulur.

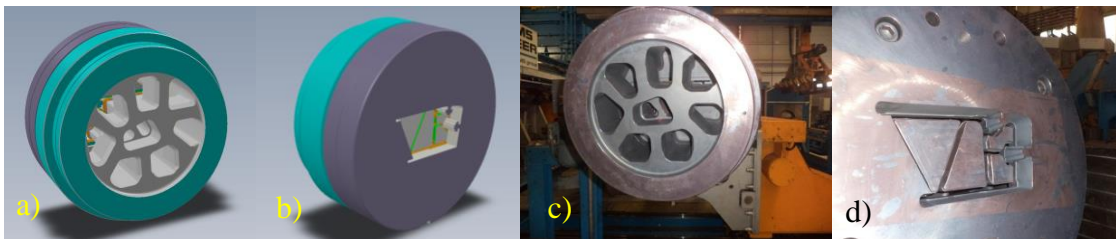
Şekil 60, 61 ve 62’de görüleceği gibi profilin kesitini besleyecek kalıp gözlerinin tamamı birbirinden farklı geometride, kalıp merkezinden farklı uzaklıkta ve farklı kesit alanında tasarlanmıştır. Kalıp gözlerinin pozisyonuna bağlı olarak ta kalıbın ayak yerleri belirlenmiş ve profilin kesitinin oluşmasında yeniden bir araya gelen malzemenin birleşme noktaları belirlenmiştir. Farklı gözlerden beslenen profil kesiti; aslında göz sayısı kadar farklı profil parçacığının bir araya gelmesinden oluşmaktadır ve bu da boyuna kaynak birleşmesi (longitudinal weld, seam weld) olarak adlandırılır. Şekil 60 a’da kalıp gözleri ve kalıp ayaklarının profil kesitine karşılık gelen yerleri, Şekil 60 b’de ekstrüzyon dikişi ile birleşen parçaların birleşerek oluşturduğu profil kesiti görülmektedir.



Şekil 60. a) Profil kalıp tasarımında göz yerleşimi, b) Farklı kalıp gözlerinden beslenen kesitler

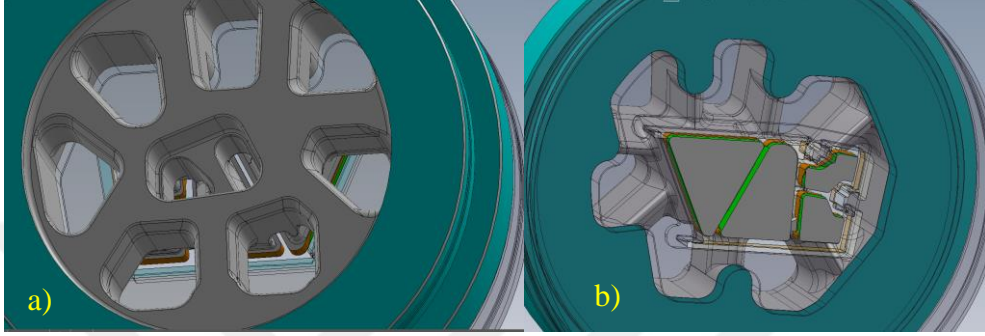


Şekil 61. Endüstriyel kalıp, a) Kalıptan profil çıkışı, b) kalıp zıvanası profil çıkış tarafı, c) zıvana alüminyum giriş tarafı

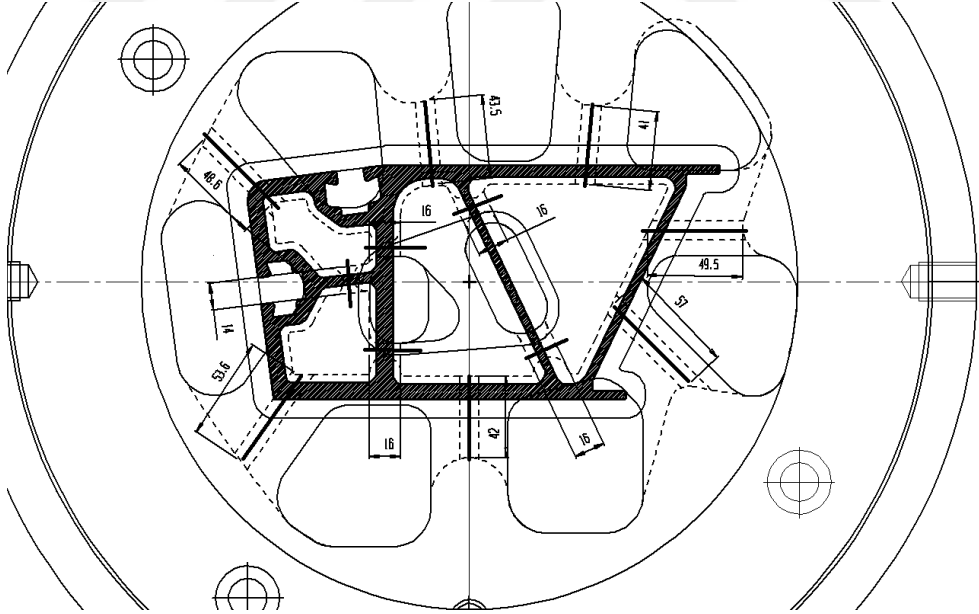


Şekil 62. Endüstriyel kalıp, a), b) 3D tasarım, c) alüminyum girişi d) alüminyum çıkışı

Odacıklı profile iç şeklini veren köprü ve zıvana (bridge-mandrel) olarak adlandırılan parçanın alüminyum girişi ve profil çıkış tarafı Şekil 63’de gösterilmiştir. İç odacıkları kalıp gövdesine bağlayan ayaklar biyetin parçalanmasını ve ayağın ön tarafındaki kaynama odasında yeniden birleşmesini sağlar. Kaynama odası genişlik ölçüleri boyuna dikiş kalitesi ve mukavemeti için belirleyici parametrelerden biridir (Şekil 64).



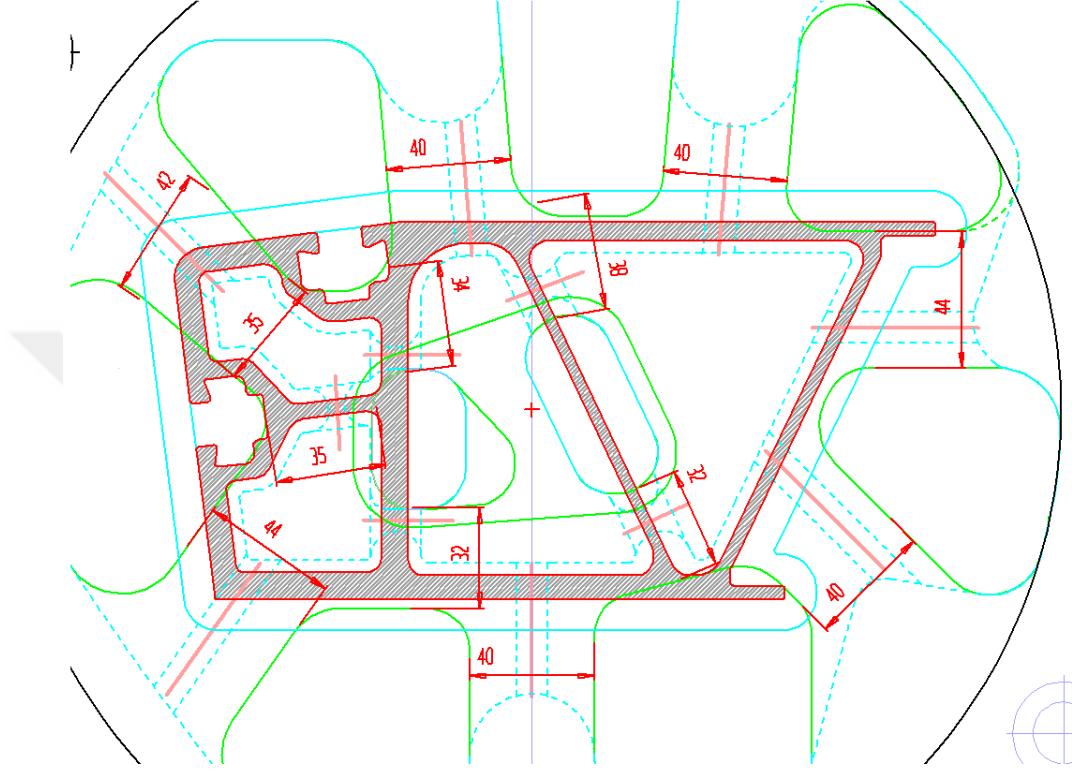
Şekil 63. Endüstriyel kalıp 3d tasarımı kalıbın iç parçası (zıvana) ön ve arka görünüşü



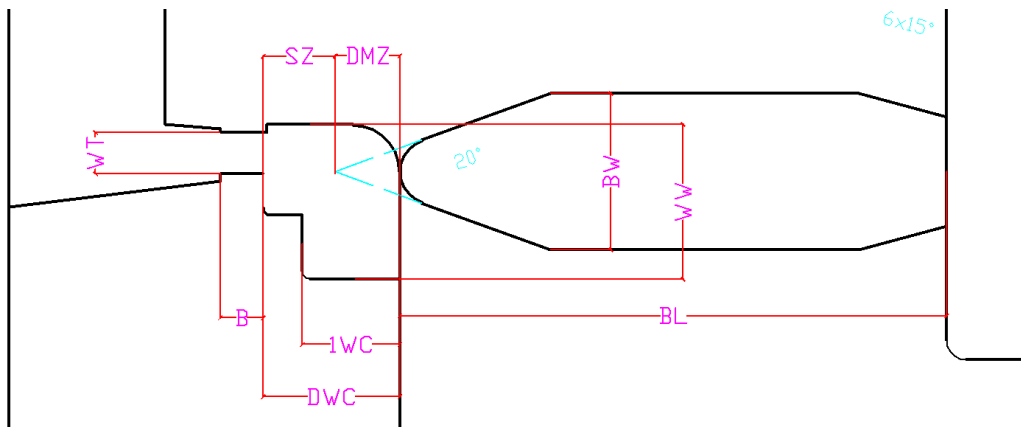
Şekil 64. Kalıp ayak önündeki kaynama odası genişlikleri

Ayak boyları ve ayak genişlikleri de Şekil 65’te verilmiştir. Kalıp tasarımına göre boyuna kaynama dikişlerinin teorik yerleri (ayakucunun izdüşümü olarak) Şekil 65’te profil kesiti üzerinde belirtilmiştir. Kalıp gözlerinden akan alüminyumun belirtilen bu

yerlerde olması beklenir. Bu kalıp 9 gözden ve 12 boyuna kaynama dikişinden oluşur. Kalıp ayakları ve kaynama odası ölçüleri ayrıca kalıp gözlerinin komşu olduğu boyuna dikiş numarası Şekil 66 ve Tablo 8’de verilmiştir.



Şekil 65. Kalıp ayak genişlikleri (BW: Bridge width).



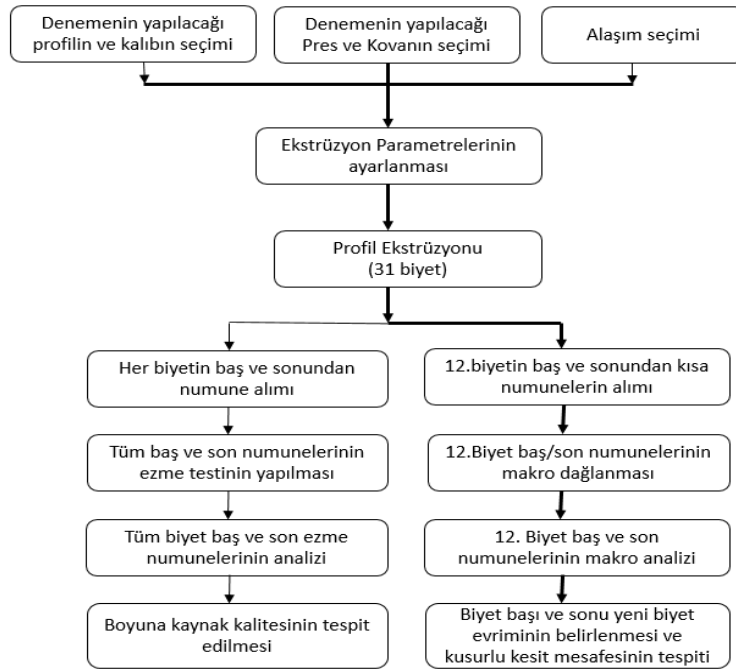
Şekil 66. Kalıp ayakları ve kaynama odası ölçüleri

Tablo 8. Kaynama odası ve kalıp ayakları ölçü ve özellikleri

Simge	BW	BL	WT	WW	DWC	BL	B/WT		WW/WT
Boyuna Kaynak dikiş numarası	Ayak genişliği (mm)	Ayak Yüksekliği (mm)	Kaynama noktasındaki profil Et kalınlığı (mm)	Kaynama odası genişliği (mm)	Kaynama odası yüksekliği (mm)	Kalıp geçiş yüksekliği (mm)	Geçiş Boyu/Et kalınlığı oranı	Dikişin her iki yanındaki göz numarası	Kaynama Odası genişliği Et kalınlığı Oranı
S1	42	140	8,00	48,6	35	16	2,00	7 ve 1	6,08
S2	40	140	6,90	43,5	35	14	2,03	2 ve 1	6,30
S3	40	140	5,90	41,0	35	12	2,03	2 ve 3	6,95
S4	44	140	4,04	49,5	35	8	1,98	4 ve 3	12,25
S5	40	140	4,04	57,0	35	8	1,98	4 ve 5	14,11
S6	32	150	3,73	16,0	25	6	1,61	9 ve 5	4,29
S7	38	150	3,73	16,0	25	6	1,61	2 ve 9	4,29
S8	32	150	8,58	16,0	25	14	1,63	6 ve 8	1,86
S9	34	150	8,58	16,0	25	16	1,86	1 ve 8	1,86
S10	35	150	4,94	14,0	25	10	2,02	7 ve 8	2,83
S11	44	140	8,68	53,6	35	20	2,30	7 ve 6	6,18
S12	40	140	7,68	48,6	35	16	2,08	6 ve 5	6,33

2.2.2. Profilin Endüstriyel Şartlarda Üretimi

Deneysel çalışmanın aşamaları belirlenerek 31 biyetlik bir üretim gerçekleştirilmiş ve 12. biyetten alınan numuneler detaylı olarak analiz edilmiştir (Şekil 67).



Şekil 67. Endüstriyel deney çalışmalarının akış şeması

Malzeme: Profil üretimi 6000 serisi alaşım grubundan olan ve yapısal uygulamalardaki teknik beklentileri karşılayabilecek mekanik özelliklere sahip AA 6082 alaşımı kullanılmıştır. Ek 3 ve Ek 4’te 6082 alaşımın mekanik özellikleri ve kimyasal bileşimi verilmiştir. Deneme üretiminde aşağıdaki malzeme ve ekipmanlar kullanılmıştır.

Biyet; üretimde 355 mm çapında (14”) muhtelif boylarda biyetler kullanılarak üretim gerçekleştirilmiştir. Biyetler dikey döküm tesisinde 20’şer tonluk partiler halinde 6,5 metre boylarında üretilmiş ve bant tipi homojen fırınıyla homojenizasyon yapılmıştır. Biyetler döküm sonrası % 100 ultrasonik test ile çatlak kontrolünden geçirilmiştir çatlak kusuru olmayan biyetler kullanılmıştır.

Ekstrüzyon presi; profil ekstrüzyonu; SMS MEER marka önden yüklemeli 5500 ton gücünde 1600 mm boyunda 365mm çapında biyet ekstrüze edebilme kapasitesine sahip direkt ekstrüzyon presinde yapılmıştır. Ekstrüzyon öncesi biyetler çok bölgeli gazlı biyet ısıtma fırınında ön ısıtmaya tabi tutularak sıcak kesim makasında istenen boya kesilmiş, daha sonra da 6 ısıtma bölmesine sahip PLC kontrollü indüksiyonlu biyet ısıtma fırınında konik ısıtma yapılarak nihai sıcaklığına ısıtılmıştır. Biyetin prese yükleninceye kadar geçen süredeki sıcaklık değişimleri transfer süresine bağlı olarak hesap edilerek ısıtma derecesi belirlenmiştir.

Kalıp; odacıklı profilin üretimi zıvana, kalıp, kalıp arkası, bolster ve destek parçasından oluşan kalıp setiyle gerçekleştirilmiştir. Kalıp DIN 1.2343, 1.2344 ve 1.2714 kalitesinde sıcak iş takım çeliğinde imal edilerek 46-48 HRC sertliğine kadar sertleştirilmiştir. Üretim öncesi kalıp 450-460 °C sıcaklığına kadar kalıp ısıtma fırınında ısıtılarak üretime alınmıştır.

Sıcaklık kontrolleri; ekstrüzyonda biyet ısıtma fırınından itibaren biyetin, kovanın, kalıbın, çıkan profilin şok soğutma öncesi ve sonrası sıcaklıkları temaslı termoelementler ve lazer sıcaklık ölçüm cihazlarıyla ölçülerek kaydedilmiştir.

Üretilmiş profiller özel suni yaşlandırma işleminden geçirilmiştir. Üretilen profiller daha sonra 3 ile 10 metre boyları arasında muhtelif boylarda kesilerek işlenmeye hazır hale getirilmiştir. Profil; farklı kullanım boylarına bağlı olarak montajdaki son şekline getirebilmek için CNC tezgâhlarda işlenerek montajın diğer profilleri ile kaynak yöntemi ve cıvatalı bağlantıyla bağlanarak kullanılmaktadır. Yapısal profil kategorisinde olan bu profil dinamik ve statik yük altında minimum 30-40 yıllık bir çalışma ömrüyle çalışması beklenmektedir.

Üretim 355 mm çapında muhtelif boylarda biyetler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Biyetler dikey döküm tesisinde 20'şer tonluk partiler halinde 6,5 metre boylarında üretilmiş ve bant tipi homojen fırınında homojenizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Biyetler döküm sonrası homojenizasyon işlemine girmeden önce % 100 ultrasonik testten geçirilerek çatlak kontrolü yapılmıştır.

Odacıklı profilin üretimi zıvana, kalıp, kalıp arkası, bolster ve destek parçasından oluşan kalıp setiyle gerçekleştirilmiştir. Kalıp DIN 1.2343, 1.2344 ve 1.2714 kalitesinde sıcak iş takım çeliğinden imal edilerek 46-48 HRC sertliğine kadar sertleştirilmiştir. Üretim öncesi kalıp 450-460 °C sıcaklığına kadar kalıp ısıtma fırınında ısıtılarak üretime alınmıştır.

Profillerin soğutma sırasında çarpılmadan istenen mekanik özelliklerinin sağlanabilmesi için presin çıkışında solüsyona alma sıcaklığı olan 530 °C tan 250 °C'nin altına uygun hızlarda soğutulması gereklidir. Aşırı soğutma profilin çarpılmasına, yavaş soğutma da profilin istenen mekanik özelliklerinin yakalanamamasına sebep olacaktır. Bu yüzden özellikle yapısal profillerin soğutulması iyi tasarlanmış, çok kontrollü soğutma üniteleriyle gerçekleştirilmesi gereklidir.

Profil üretimi presin çıkışında bulunan PLC kontrollü, iki bölgeci hava ve sprey soğutma kabiliyetine sahip, çepeçevre 10 ayrı sprey nozul hattı olan ve her biri PLC kontrollü oransal valf ile kontrol edilen şok soğutma ünitesiyle gerçekleştirilmiş ve ekstrüzyon sırasında solüsyona alınan profilin minimum çarpılma (distorsiyon) ile uygun soğuma hızlarında soğutulabilmesi sağlanmıştır.

Ekstrüzyonda biyet ısıtma fırınından itibaren biyetin, kovanın, kalıbın, çıkan profilin şok soğutma öncesi ve sonrası sıcaklıkları temaslı termoelementler ve lazer sıcaklık ölçüm cihazlarıyla ölçülmüştür.

Endüstriyel profil kalıbından 31 biyetlik üretim gerçekleştirilmiş ve yapılan bu üretimde profillerin boyuna kaynak kalitesi (longitudinal welding), enine kaynak kalitesi (transverse welding) ve biyet kabuğu mesafesi (back end defect) incelenmiştir.

Üretimler süresince; kalıp giriş sıcaklığı, indüksiyon fırını çıkışı her biyetin ön sıcaklığı, ekstrüzyon biyet çıkış sıcaklıkları, biyet üretim hızları takip edilmiştir. Üretim öncesi 6060 alaşımı kullanıldığından 6082 alaşımli profil üretimine geçmeden önce kovan temizliği yapılmıştır.

Kalıp azot atmosferli kalıp ısıtma fırınında kalıp sıcaklığı 476 °C olacak şekilde ısıtılmıştır. Kalıpların fırın çıkış sıcaklığı 476 °C'dir. Kalıp fırında 13 saat beklemiştir.

Kovan sıcaklığı 425 °C, biyet gaz fırın sıcaklığı 415 °C ve biyet indüksiyon fırın sıcaklık değerleri konik biçimde 465, 475, 485, 495, 505, 515 °C'dir. Biyetlerin demlenme süresi (soaking time) 300 saniye olarak ayarlanmıştır.

Üretime ait biyetlerin EN AW 6082 alaşımından üretilmiştir ve kimyasal analiz sonuçları Tablo 9'da gösterilmiştir. Alaşıma ait kimyasal bileşim standardı Ek 3'te, alaşımın mekanik özelliklere ait standart ise Ek 4'te verilmiştir.

Tablo 9. Üretime ait biyetlerin kimyasal analizleri

Alaşım	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr
EN AW 6082	0,989	0,175	0,02	0,460	0,624	0,01	0,021	0,115

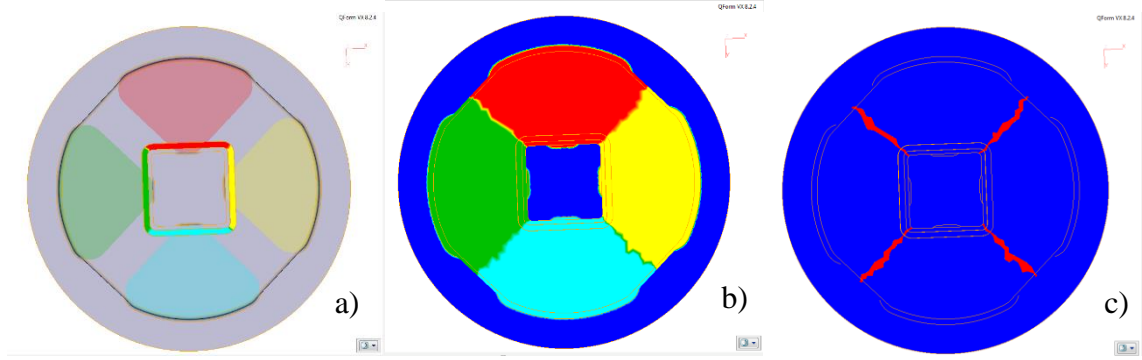
3. BULGULAR VE İRDELEME

Basit kutu profili için tasarlanan dört farklı kalıbın sayısal modelleme bulguları irdelenmiştir. Bu bulgularla geliştirilen endüstriyel vagon profili ekstrüzyonu ve referans kalıbın sayısal modellemesi bulguları aşağıda sırasıyla değerlendirilmiştir. Endüstriyel kalıptaki enine kaynama mesafesini en aza indirebilmek için hazırlanmış kalıp tasarımlarının sayısal modellemesi bulguları irdelenmiştir.

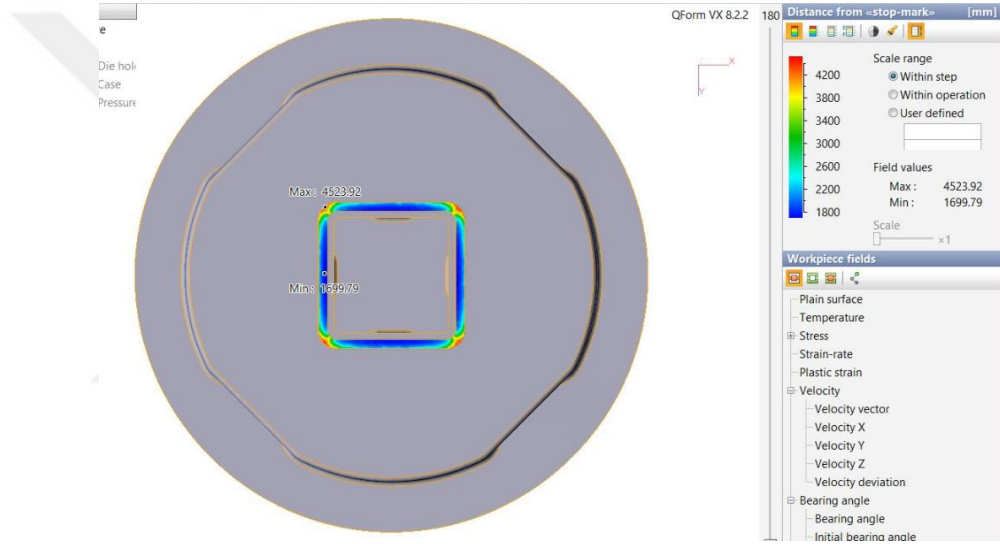
3.1. Basit Kutu Profil Simülasyon Bulguları

3.1.1. Kalıp 1 İçin Elde Edilen Bulgular

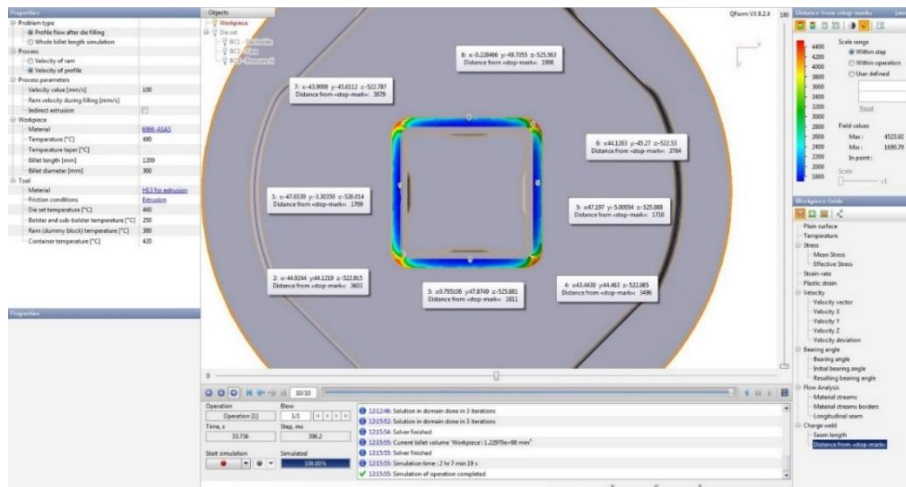
Kalıp 1 kesit alanları birbirine eşit olan simetrik ve 4 göze sahip olacak şekilde tasarlanmıştır ve dolayısıyla da kalıp ayaklarının şekilleri de aynıdır. Toplam göz alanının profil kesit alanına oranı (yerel ekstrüzyon oranı) 18.1'dir (Tablo 6). Gözlerdeki akış aynı hıza sahiptir ve homojendir. Kalıp göz alanları ve her bir gözün beslediği profil kesit parçacığı aynı renk ile gösterilmiştir (Şekil 68 a). Kalıp gözlerinden geçerek kaynama odasında birleşen malzeme ile bu gözlerden beslenen profil parçalarının görüntüsü Şekil 66 b'de verilmiştir. Boyuna kaynak dikişleri profilin köşelerinde meydana gelmiştir (Şekil 66 c). Biyet biyete alın kaynamada gözler arasında farklılık yoktur. Profil akışı ve geometrisi düzgündür. Her kalıp gözü profilin kesitinde eşit alanı beslemektedir (Şekil 68). Biyet biyete alın kaynama kalıp durma izinden itibaren 1699 mm de başlayıp 4523 mm'de tam olarak bitmektedir. Biyet biyete alın kaynama 2824 mm boyunca devam etmektedir (Şekil 69, 70). Yaklaşık 3300 mm de biyet biyete alın kaynama % 90 oranında tamamlanmıştır (Şekil 71). Bundan sonra daha yatay bir eğim ile eski biyetten gelen malzeme kesitten temizlenmektedir.



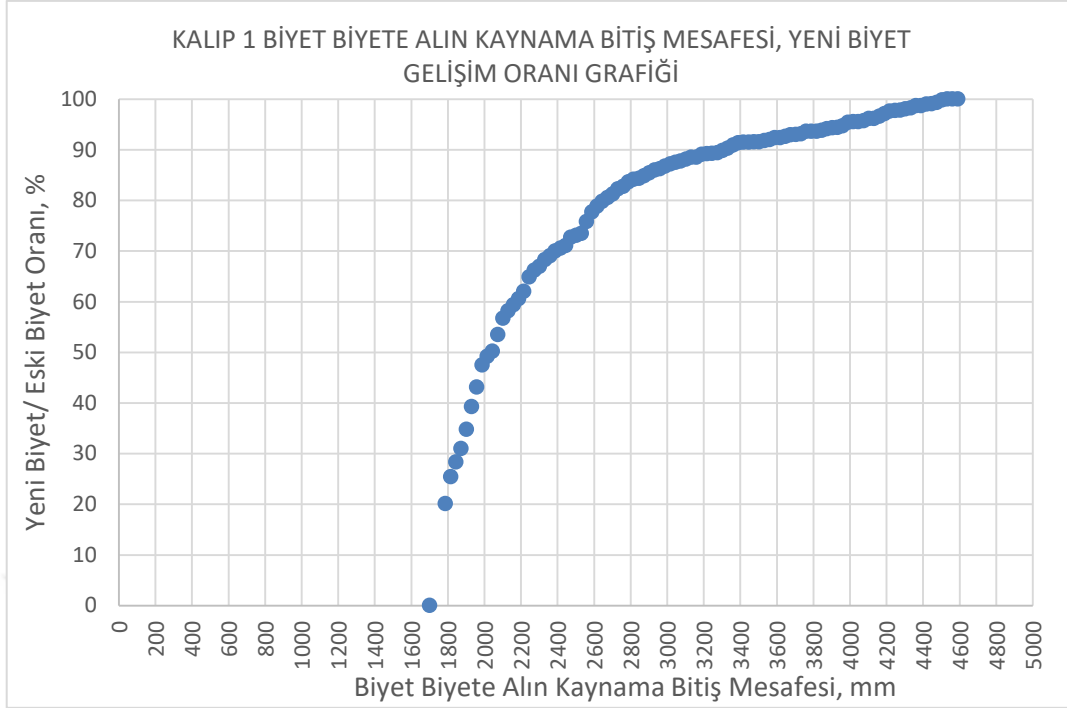
Şekil 68. Kalıp 1, a) kalıp gözleri ve besledikleri profil parçacıkları, b) kaynama odasında malzeme akışı, c) boyuna kaynak dikiş pozisyonları



Şekil 69. Kalıp 1 için biyet biyete alın kaynama başlangıç ve bitiş mesafesi



Şekil 70. Kalıp 1 için enine kaynama mesafesi analizi

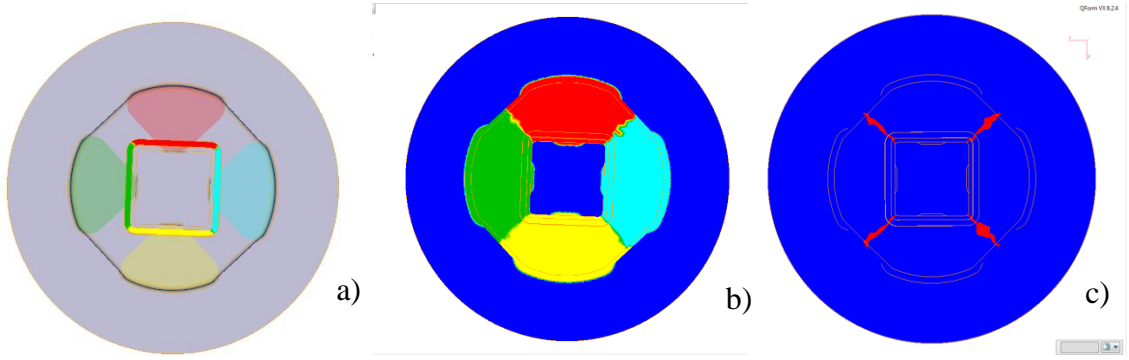


Şekil 71. Kalıp 1 için oransal olarak biyet biyete alın kaynama mesafesi

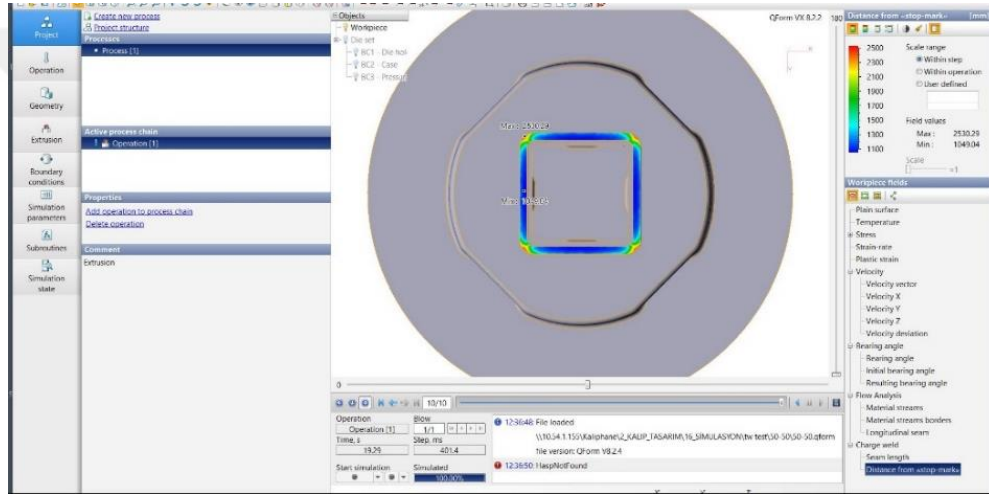
3.1.2. Kalıp 2 İçin Elde Edilen Bulgular

Kalıp 2, kalıp 1'deki gibi kesit alanları birbirine eşit olan simetrik ve 4 göze sahip olacak şekilde tasarlanmasına rağmen yerel ekstrüzyon oranı ise 9'dur (Tablo 6). Kalıp 2'nin gözleri kalıp 1'deki gözlerin alan olarak yarısına eşittir. Gözlerdeki akış hızı eşit ve homojendir. Boyuna kaynama dikişi profilin köşelerinde meydana gelmiştir (Şekil 72). Biyet biyete kaynamada gözler arasında farklılık yoktur. Profil akışı ve geometrisi düzgündür. Her kalıp gözü profilin kesitinde eşit alanı beslemektedir. Biyet biyete alın kaynama kalıp durma izinden itibaren 1049 mm de başlayıp 2430 mm'de tam olarak bitmektedir. 1481 mm boyunca (kalıp 1'deki mesafe 2824 mm) devam etmektedir (Şekil 73, 74). Görüldüğü üzere kalıp 2'nin tasarımı kalıp gözlerinin küçülmesi durumunda biyet biyete alın kaynama mesafesinin neredeyse aynı oranda azalacağını göstermiştir. 4523 mm'de biten kaynama 2350 mm de bitmiştir. Gözler % 50 oranında küçülmüş, biyet biyete alın kaynama mesafesi de % 46 oranında azalmıştır (Tablo 6).

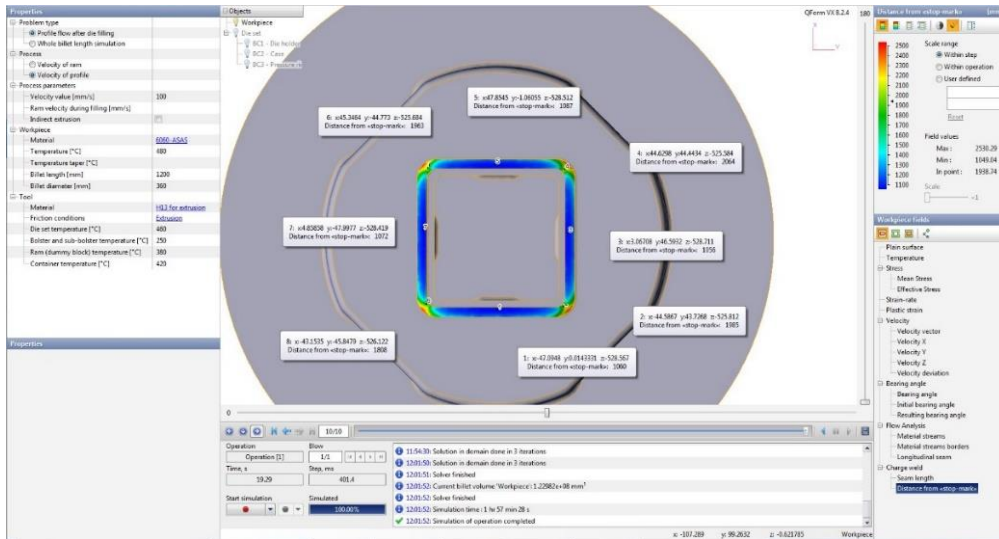
Yaklaşık 1650 mm'de biyet biyete alın kaynama % 90 oranında tamamlanmıştır (Şekil 75). Geri kalan eski biyet malzemesinin kesitten temizlenmesi daha yavaş gerçekleşmiştir.



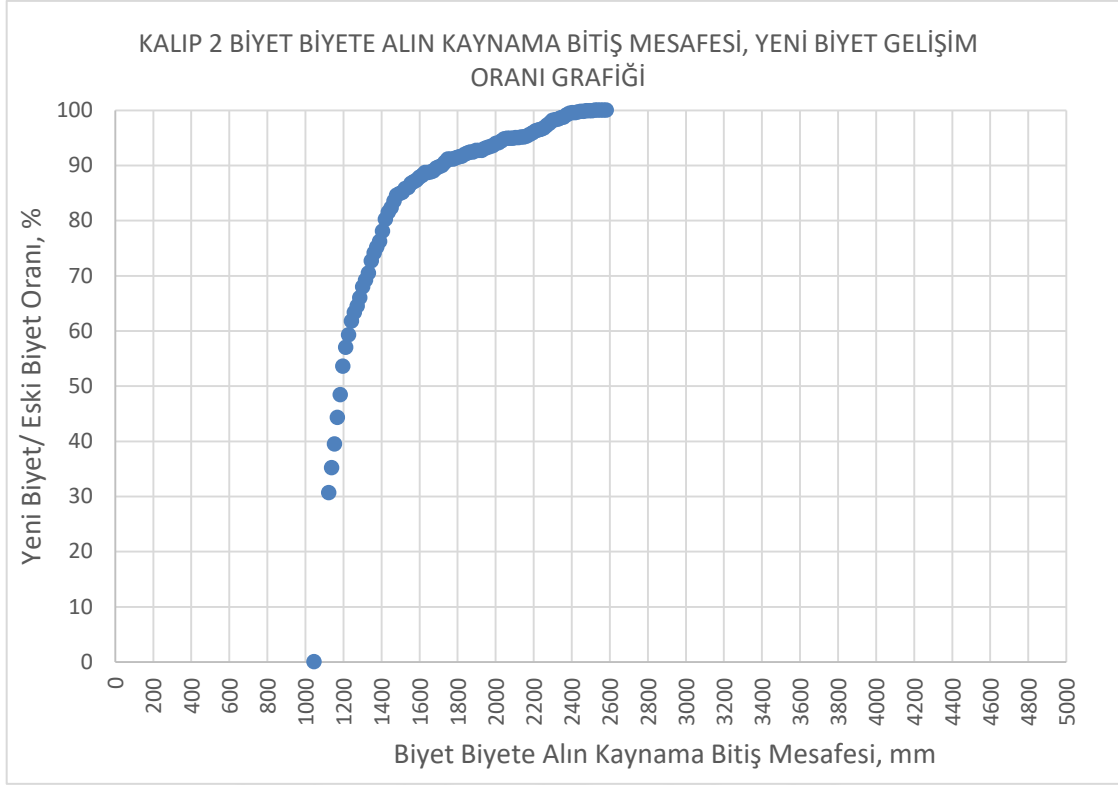
Şekil 72. Kalıp 2, a) kalıp gözleri ve besledikleri profil parçacıkları, b) kaynama odasında malzeme akışı, c) boyuna kaynak dikiş pozisyonları



Şekil 73. Kalıp 2 için biyet biyete alın kaynama başlangıç ve bitiş mesafesi



Şekil 74. Kalıp 2 için enine kaynama mesafesi analizi

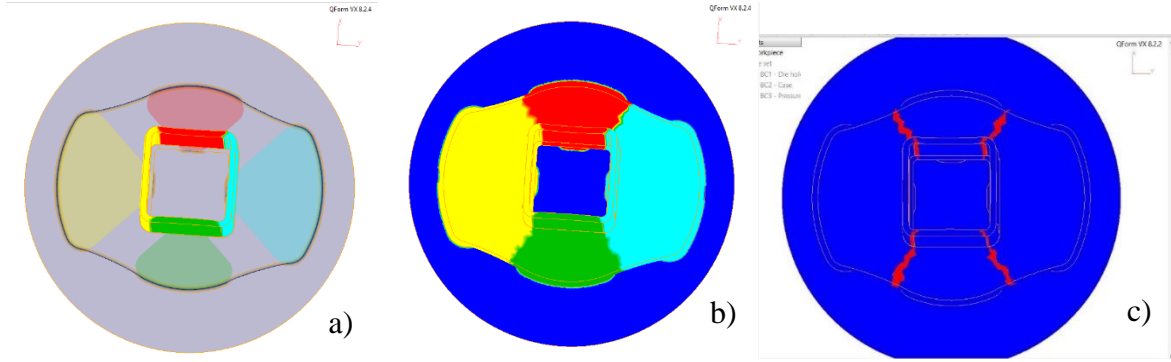


Şekil 75. Kalıp 2 için oransal olarak biyet biyete alın kaynama mesafesi

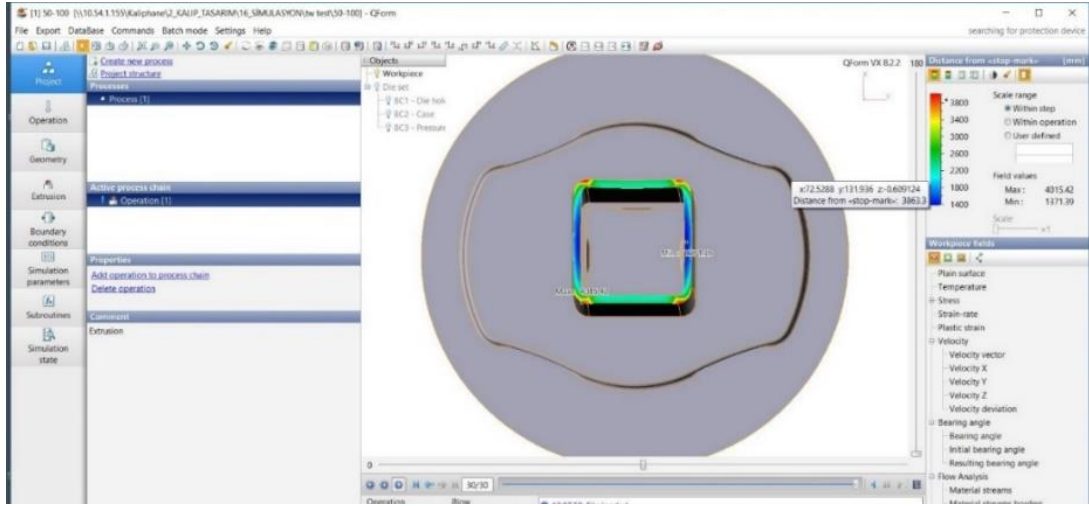
3.1.3. Kalıp 3 İçin Elde Edilen Bulgular

Kalıp 3 kesit alanları birbirinden farklı ve kalıp 1 ve kalıp 2'nin göz boyutlarında 4 göze sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Kalıp ayaklarının şekilleri de gözlerin formundan dolayı ikiye ikiye simetrik. Yerel ekstrüzyon oranı 13.6'dır (Tablo 6). Kalıp gözlerinin ikisi kalıp 1'deki, diğer 2'si de kalıp 2'deki gibidir. Simetrik gözlerdeki akış kısmen homojendir fakat profil akışı ve geometrisi küçük göz beslemesinden dolayı düzgün değildir. Boyuna kaynama; profilin köşelerinde meydana gelmemiş ve oransal olarak küçük olan göze doğru kayma meydana gelmiştir (Şekil 76).

Biyet biyete alın kaynamada gözler arasında farklılık vardır. Büyük gözler profil kesitinde daha fazla alanı beslemekte, küçük gözler ise daha küçük bir alanı beslemektedir. Gözler arasındaki boyutsal farklılık boyuna kaynama pozisyonunun da küçük göze doğru kaymasına sebep olmuştur. Kaynamalar köşelerden içe doğru kaçık gerçekleşmiştir. Biyet biyete alın kaynama kalıp durma izinden itibaren 1371 mm'de başlayıp 4015 mm'de tam olarak bitmekte ve 2644 mm kaynama boyuna sahiptir (Şekil 77).



Şekil 76. Kalıp 3, a) Kalıp gözleri ve besledikleri profil parçacıkları, b) kaynama odasında malzeme akışı, c) boyuna kaynak dikiş pozisyonları

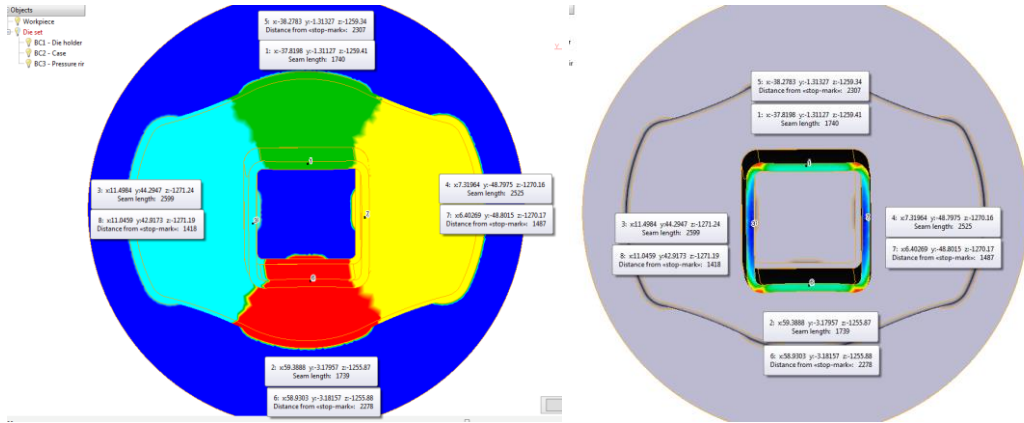


Şekil 77. Kalıp 3 için biyet biyete alın kaynama başlangıç ve bitiş mesafesi

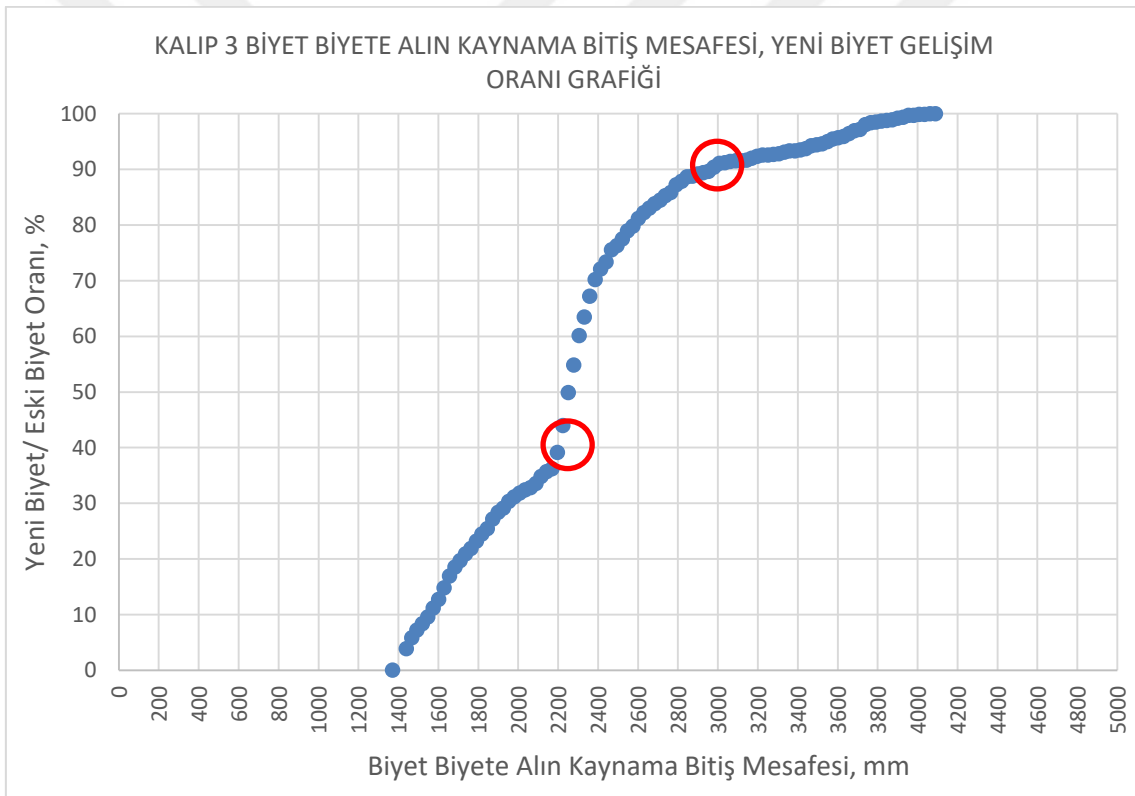
Kalıp 3'ün toplam göz alanı kalıp 1'e göre % 25 azalmasına rağmen biyet biyete alın kaynama mesafesi % 11 oranında azalmıştır.

Küçültülen simetrik gözler dolayısıyla bu kalıp gözlerinin beslediği profil parçacığı da küçülmüş ve boyuna kaynama yerleri köşelerden içeriye doğru kaymıştır (Şekil 78).

Yaklaşık 2170 mm'de kalıp akışı değişmiş ve biyet biyete alın kaynama mesafesi artmış ve 3000 mm'de % 90 oranında kaynama gerçekleşmiştir (Şekil 79). Biyet biyete alın kaynama oranı % 100 olarak 4015 mm'de gerçekleşmiştir.



Şekil 78. Kalıp 3 için enine kaynama mesafesi analizi



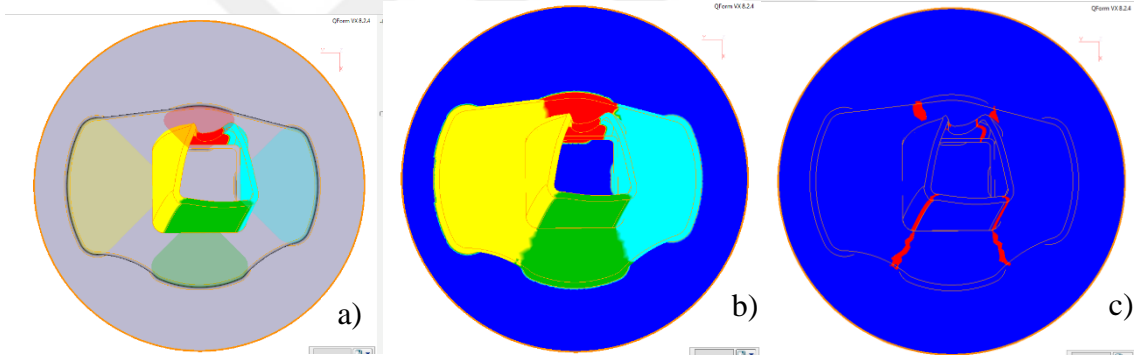
Şekil 79. Kalıp 3 için oransal olarak biyet biyete alın kaynama mesafesi

3.1.4. Kalıp 4 İçin Elde Edilen Bulgular

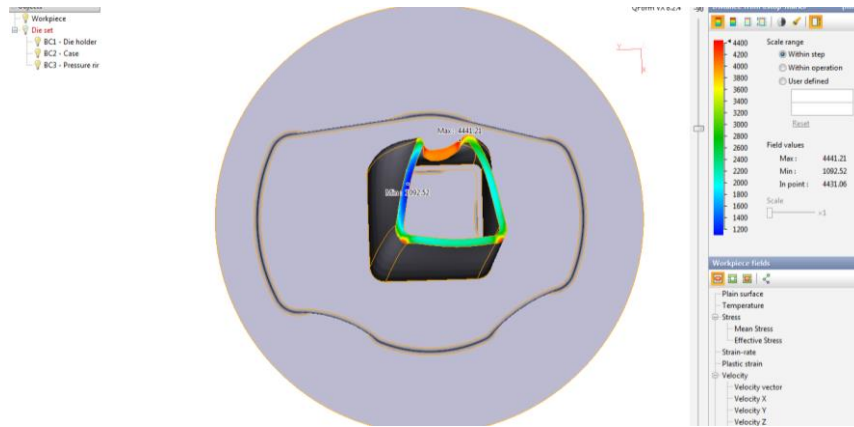
Kalıp 4 kesit alanları birbirinden farklı dört adet kalıp gözünden oluşturulmuştur. Kalıp 4'ün gözlerinin alanları kalıp1'in gözlerine oranla sırasıyla % 25, % 50, % 73 ve %

100 oranındadır ve toplam kalıp gözlerinin alanı kalıp 1'in toplam gözlerine göre % 62 oranında azaltılmıştır.

Kalıp ayaklarının şekilleri ve kalıp gözlerinin şekilleri simetrik değildir. Yerel ekstrüzyon oranı 11.3'tür (Tablo 6). En küçük gözün olduğu yerdeki profil kesitinde akış dengesizliği ve form bozukluğu oluşmuştur. Profil akışı ve geometrisi düzgün değildir. Boyuna kaynama dikişleri profilin köşelerinden kaçık olarak meydana gelmiş ve oransal olarak küçük olan göze doğru kayma oluşmuştur. Bunun sonucu olarak ta büyük gözler profil kesitinde daha fazla alanı beslemekte, küçük gözler ise daha küçük bir alanı beslemektedir. Göz geometrisindeki değişim boyuna dikişlerin yerlerini değiştirmiş ve beslenen profil parçacığının alanını da değiştirmiştir (Şekil 80). Biyet biyete alın kaynama kalıp durma izinden itibaren 1092 mm'de başlayıp 4441 mm'de tam olarak bitmektedir ve biyet biyete alın kaynak dikiş boyu 3349 mm'dir (Şekil 81).

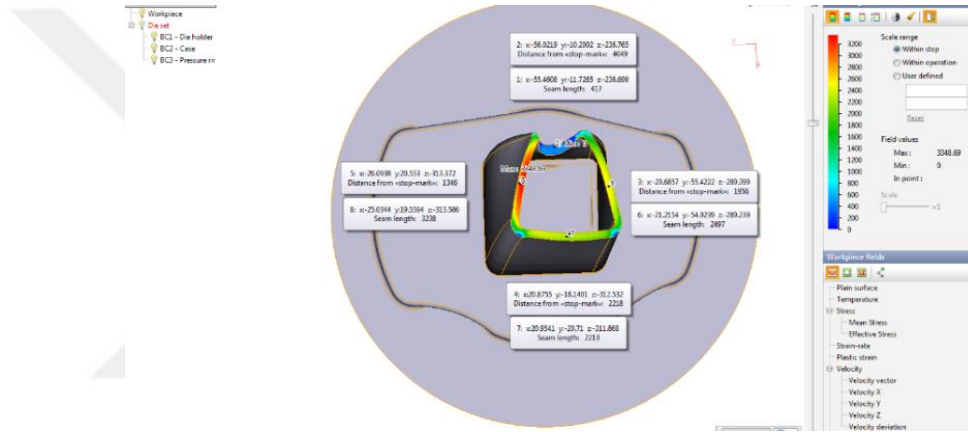


Şekil 80. Kalıp 4, a) kalıp gözleri ve besledikleri profil parçacıkları, b) kaynama odasında malzeme akışı, c) boyuna kaynak dikiş pozisyonları

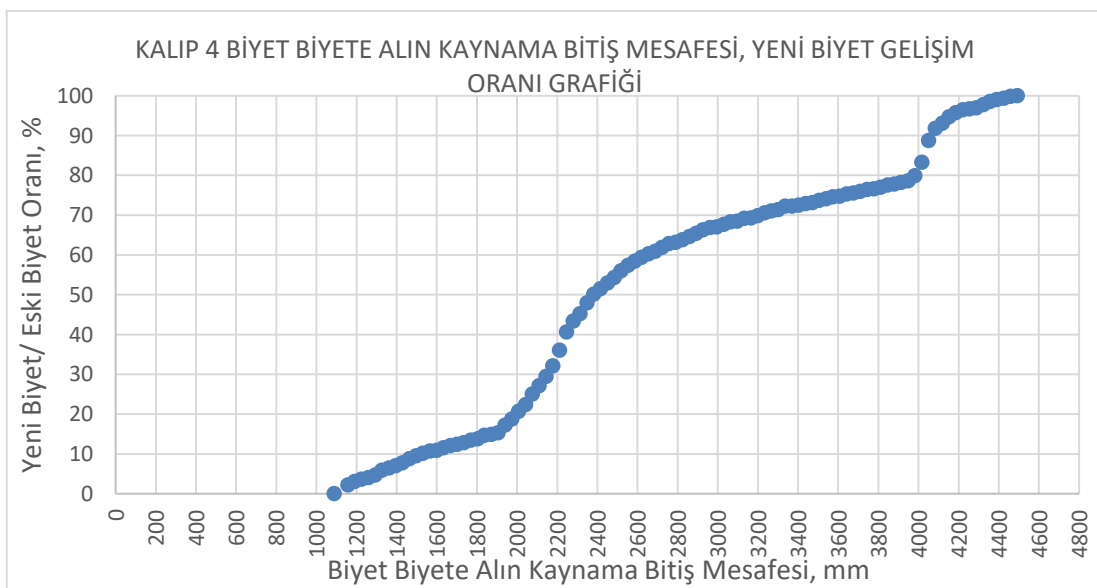


Şekil 81. Kalıp 4 için biyet biyete alın kaynama başlangıç ve bitiş mesafesi

Kalıp 4'ün toplam göz alanı kalıp 1'e göre % 38 oranında azalmasına rağmen biyet biyete alın kaynama mesafesi sadece % 2 oranında azalmıştır. Bu da kalıp gözlerindeki dengesizliğin profil akışı ve biyet biyete alın kaynama mesafesi üzerindeki olumsuz etkisini göstermektedir. Toplam kalıp göz alanı ve dolayısıyla kalıp göz hacminin yanında gözlerin her birinin geometrisi yerel ekstrüzyon oranını belirlemekte ve bu oran da her bir farklı gözde farklı bir akışın oluşmasına sebep olmaktadır. Şekil 82'de biyet biyete alın kaynama dikiş boyu verilmektedir. 1900 mm 'civarında de kalıp akışı değışmiş, biyet biyete alın kaynama mesafesi artmış ve 3000 mm'de de % 68, 4000 mm'de de % 90 oranında kaynama gerçekleşmiştir (Şekil 83).



Şekil 82. Kalıp 4 için enine kaynama mesafesi analizi



Şekil 83. Kalıp 4 için oransal olarak biyet biyete alın kaynama mesafesi

3.1.5. Dört Kalıp Tasarımının Simülasyon Bulgularının Karşılaştırılması

Belirlenmiş basit kutu profilinin üretilmesi için yapılabilecek 4 farklı kalıp tasarımında farklı göz büyüklüklerinin birbiriyle etkileşimi ve kalıptaki profil akışı ve boyuna kaynama dikişlerinin pozisyonu ve biyet biyete alın kaynama üzerine etkisi irdelenmiştir. Göz alanları toplam değeri referans alınan kalıp 1'e göre;

Kalıp 2'de toplam göz alanının % 50 azalmasına karşılık

- biyet biyete alın kaynama başlama mesafesi % 38 azalmış,
- biyet biyete alın kaynama bitiş mesafesi % 44 azalmış,
- biyet biyete alın kaynama mesafesi % 48 azalmıştır.

Kalıp 3'te toplam göz alanının % 25 azalmasına karşılık,

- biyet biyete alın kaynama başlama mesafesi % 19 azalmış,
- biyet biyete alın kaynama bitiş mesafesi % 11 azalmış,
- biyet biyete alın kaynama mesafesi % 6 azalmıştır.

Kalıp 4'te toplam göz alanının %3 8 azalmasına karşılık,

- biyet biyete alın kaynama başlama mesafesi % 36 azalmış,
- biyet biyete alın kaynama bitiş mesafesi % 2 azalmış,
- biyet biyete alın kaynama mesafesi azalmamış aksine % 18 artmıştır (Tablo 10).

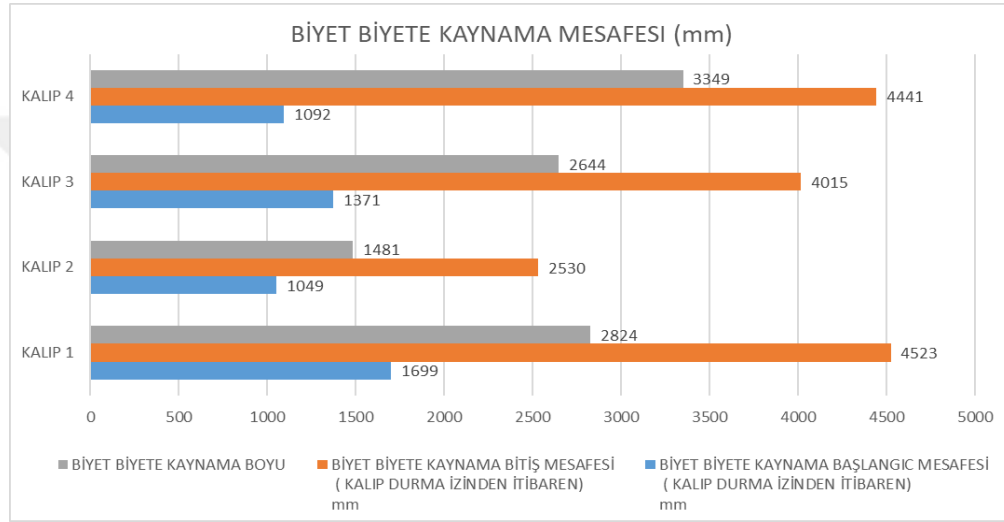
Tablo 10. Analiz kalıpları tasarım boyutları ve biyet biyete alın kaynama analizleri sonuç tablosu

	KALIP TASARIM TANIMI	1. GÖZ (mm ²)	2. GÖZ (mm ²)	3. GÖZ (mm ²)	4. GÖZ (mm ²)	TOPLAM GÖZ ALANI (mm ²)	TOPLAM GÖZ ORANI (KALIP1'E GÖRE)	TOPLAM GÖZ / PROFİL KESİT ALANI ORANI	BIYET BIYETE KAYNAMA BAŞLANGIC MESAFESİ (KALIP DURMA İZİNDEN İTİBAREN) mm	BIYET BIYETE KAYNAMA BİTİŞ MESAFESİ (KALIP DURMA İZİNDEN İTİBAREN) mm	BIYET BIYETE KAYNAMA BOYU	
KALIP 1	100-100	10490	10490	10490	10490	41960	100%	18,1	1699	4523	2824	
KALIP 2	50-50	5229	5229	5229	5229	20916	50%	9,0	1049	2530	1481	
KALIP 3	50-100	10490	5229	10490	5229	31438	75%	13,6	1371	4015	2644	
KALIP 4	25-50-75-100	10490	5229	7668	2637	26024	62%	11,3	1092	4441	3349	
		Göz oranları							Biyet biyete Kaynama mesafesindeki değişim oranları			
KALIP 1		100%	100%	100%	100%	100%		100%	100%	100%	100%	
KALIP 2		50%	50%	50%	50%	50%		50%	62%	56%	52%	
KALIP 3		100%	50%	100%	50%	75%		75%	81%	89%	94%	
KALIP 4		100%	50%	73%	25%	62%		62%	64%	98%	119%	

Kalıp 2 biyet biyete kaynamanın en erken başlayıp en erken bittiği ve biyet biyete kaynama mesafesinin en kısa olduğu kalıptır. Kalıp gözleri simetrik ve göz alanları toplamı

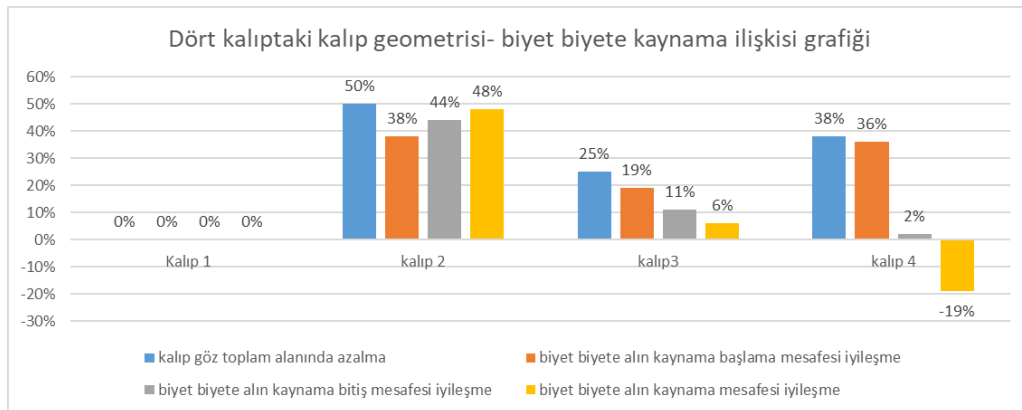
en küçüktür. Kalıp 1 kalıp gözleri simetrik olduğu halde toplam göz alanı en büyük kalıptır ve biyet biyete kaynamanın en geç bittiği kalıptır. Biyet biyete kaynamanın en geç bitmesine rağmen kaynama boyunun en uzun olduğu kalıp 4 numaralı birbirinden farklı gözlerle sahip olan kalıptır.

Kalıp 4 'te biyet biyete kaynama neredeyse kalıp 2 ye yakın başlamasına rağmen (kalıp 2'den 43 mm sonra başlamıştır) kaynama boyu en uzun olan kalıptır ve biyet biyete kaynama bitiş mesafesi referans kalıptaki mesafeden sadece 82 mm kısadır (Şekil 84).



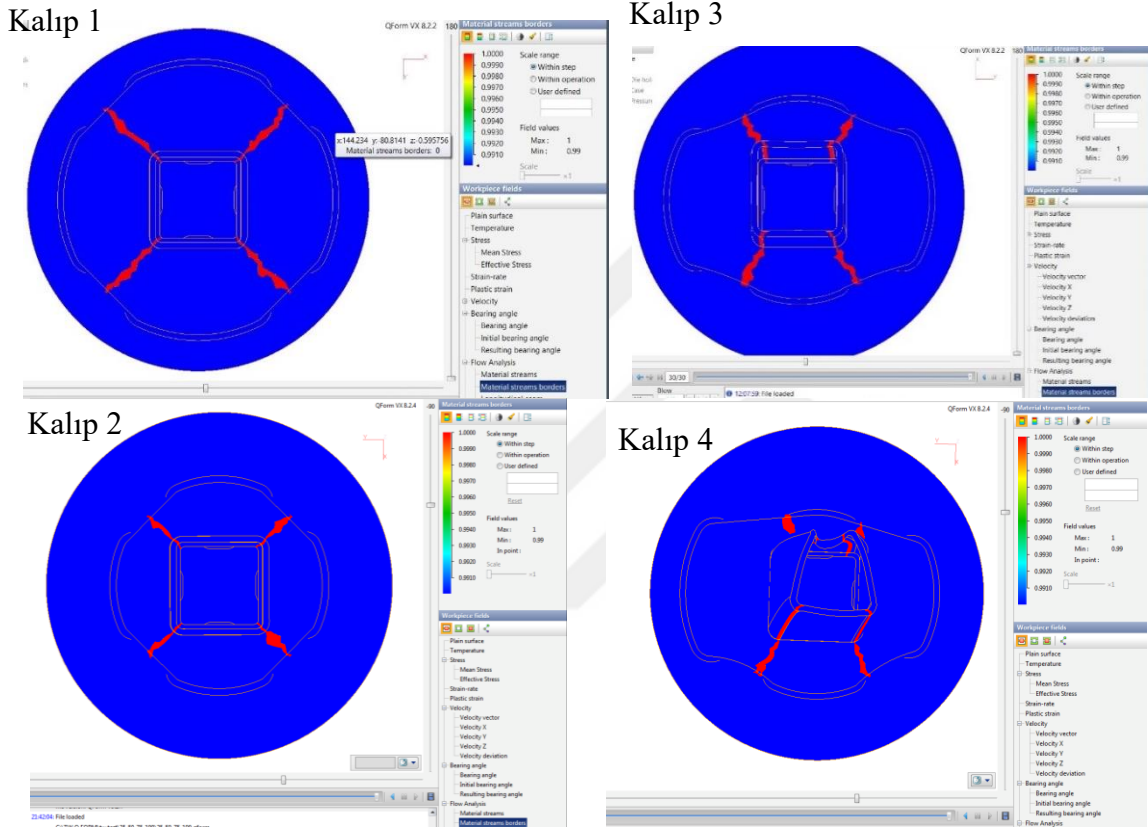
Şekil 84. Biyet biyete alın kaynama mesafesi ve başlangıç bitiş mesafe karşılaştırma grafiği

Dört kalıp için kalıp 1 referans alınarak karşılaştırmalı kalıp geometrisi ile biyet biyete kaynama ilişkisi Şekil 85'te verilmiştir.



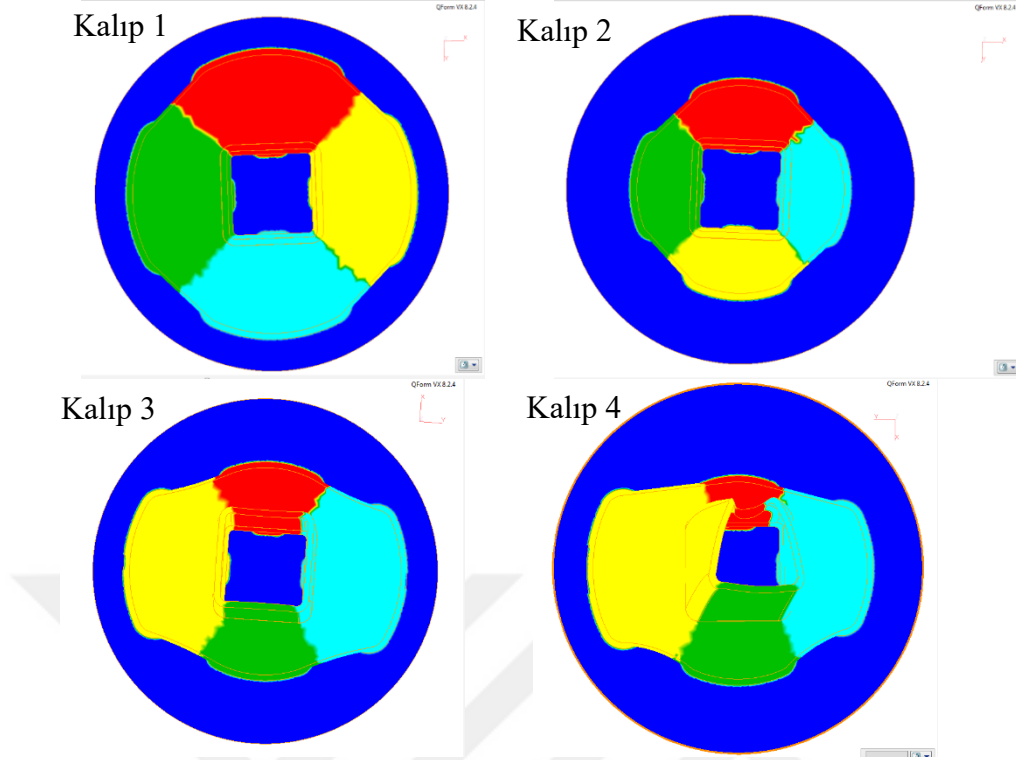
Şekil 85. Dört kalıptaki kalıp geometrisi-biyet biyete kaynama ilişkisi grafiği

Kalıp gözlerinin boyutu ve simetrik olup olmaması profilin kesitindeki boyuna kaynak dikişi pozisyonlarının değişmesine sebep olur. Simetrik gözlü kalıplarda (kalıp 1 ve kalıp 2) boyuna dikişler tasarımda öngörüldüğü gibi profilin köşelerinde oluşurken boyutları birbirinden farklı ve asimetric gözlere sahip kalıplarda köşelerden küçük kalıp gözleri tarafına kaymıştır (Şekil 86).

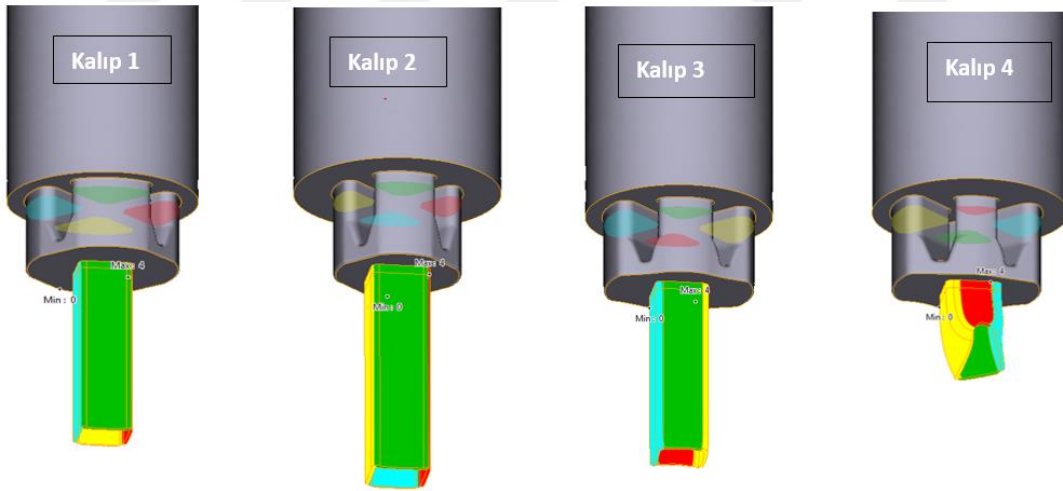


Şekil 86. Kalıplar arası boyuna kaynama pozisyonlarındaki değişim grafiği

Her bir gözden akan alüminyum farklı renkler ile gösterilmiş ve besledikleri profil parçası da göz ile aynı renkte verilmiştir. Buna göre kalıp içindeki alüminyum gözleri simetrik olan kalıplarda homojen ve dengeli, gözleri simetrik olmayan kalıplarda ise dengesiz olduğu görülmektedir (Şekil 87). Gözleri asimetric olarak küçülen kalıp 4 te profil kalıptan çıktıktan sonra küçük gözdeki daha zorlanmış akışta dolayı büzüşme oluşmuş ve profil küçük göz tarafına doğru kıvrılmıştır (Şekil 88).



Şekil 87. Kalıp kaynama odaları malzeme akışı



Şekil 88. Kalıp 1, kalıp 2, kalıp 3 ve kalıp 4'te profil akış simülasyonu ve profil formu

Bu çalışmayla aynı profil kesitini üretebilmek için yapılan ve geometrileri oransal olarak birbirinden türetilen 4 farklı kalıp tasarımı yapılmış ve biyet biyete alın kaynama performansları ekstrüzyon simülasyonu kullanılarak analiz edilmiştir. Temel amaç ekstrüzyonda yapısal uygunsuzluk ve süreksizlik olan biyet biyete alın kaynama kusurunu ekstrüzyon genel verim ve performansını etkilemeden minimize edebilecek kalıp tasarımı

ve geometrisini belirlemektir. Yapısal profil üretiminde biyet biyete alın kaynama kusurunun uygun ürün için hatasız bir şekilde belirlenmesi ve ayrıştırılması zorunludur. 4 kalıbın sayısal modelleme sonucunda kalıp geometrisinin biyet biyete alın mesafesine etkileri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir (Şekil 89).

Bulgular neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir

- Ekstrüzyon simülasyonu enine kaynama mesafesi tahmini tayininde uygun bir araç olarak kullanılabilir. Bu analizin yapılacağı kalıp tasarımlarının 3D modellemesi gereklidir.
- Kalıp gözlerinin tümünün hacmi ve beslediği profil kesit alan oranı ne kadar küçük ise biyet biyete alın kaynama mesafesi benzer oranda azalmaktadır. (Toplam kalıp göz alanı / profil kesit alanı azaldıkça biyet biyete alın kaynama mesafesi azalmaktadır).
- Her bir kalıp gözünün beslediği profil kısmi kesit alanı oranı birbirine yakın olmaması durumunda kalıp gözlerindeki malzeme akışı boyuna kaynama dikiş pozisyonunu değiştirerek bu oranı dengelemeye çalışır (Şekil 87).
- Simetrik kalıp tasarımında kaynama pozisyonları öngörülen yerde oluşmakta, asimetrik kalıp gözlerinde ise kalıp içi akış dengesinden dolayı kaynak dikiş pozisyonlarının yeri değişmektedir (Şekil 87).
- Yeni biyetten gelen malzeme % 90'a kadar daha hızlı kesiti kaplamakta, bundan sonra eğimi azalmaktadır. Yeni biyetten gelen malzemenin kesiti % 99.5 ten fazla kaplaması durumunda kaplaması analiz ile elde edilen değerlerden daha fazladır.
- Simetrik olmayan kalıp gözlerinde biyet biyete alın kaynama kusurunun başlangıcı ve bitişi ve dolayısıyla biyet biyete alın kaynama dikiş boyu her bir göz için ayrı ayrı incelenmeli ve eski biyetten kalıntının profil kesitinde % 0.5 in altında olduğu mesafeye güvenlik mesafesi eklenerek pratikteki biyet biyete alın kaynama mesafesi belirlenmelidir.
- Kalıp gözlerinin boyutunun yanında gözlerin geometrisi de biyet biyete alın kaynamada çok etkilidir. Küçük ve büyük kalıp gözlerinden oluşan kalıp tasarımında (kalıp 4) referans kalıba (kalıp 1) göre toplam hacmin % 38 oranında küçülmesine rağmen biyet biyete alın kaynama mesafesi neredeyse aynı kalmıştır (Tablo 6).
- Kalıp gözleri ve geometrisinin belirlenmesinde biyet biyete alın kaynamanın minimize edilmesi hedeflenirken profil hızı, akışı ve profilin geometrik uygunluğu

dikkate alınmalıdır. Kalıp 4'te küçülen gözler hem biyet biyete alın kaynama mesafesine olumlu katkı sağlamamış hem de profilin akışını ve geometrisini bozmuştur (Şekil 82).

- Gözlerin boyutu ve geometrisi hem enine kaynama mesafesinde hem de Malzeme akışında ana belirleyici faktörlerden biridir (Şekil 88).
- Bu çalışmada farklı alaşımlar, farklı ekstrüzyon hızları, farklı geçiş yükseklikleri, konikleştirilmiş gözler, kalıp ön form havuzu, düz ve radiuslu ölü bölgelerin etkileri incelenmemiştir.
- Simetrik ve eşit et kalınlığına sahip basit bir içi boş profil kesiti üzerinde yapılan Kalıp tasarımlarıyla Kalıp gözlerinin boyutu ve formunun biyet biyete alın kaynamaya etkisi simülasyon ile analiz edilmiştir. Fakat simetrik olmayan çok odacıklı ve farklı et kalınlığına sahip yapısal profillerde kalıp gözlerinin ve geometrisinin etkisi ikinci kısımda hem endüstriyel üretim denemesiyle hem de FE simülasyonu ile analiz edilecektir.

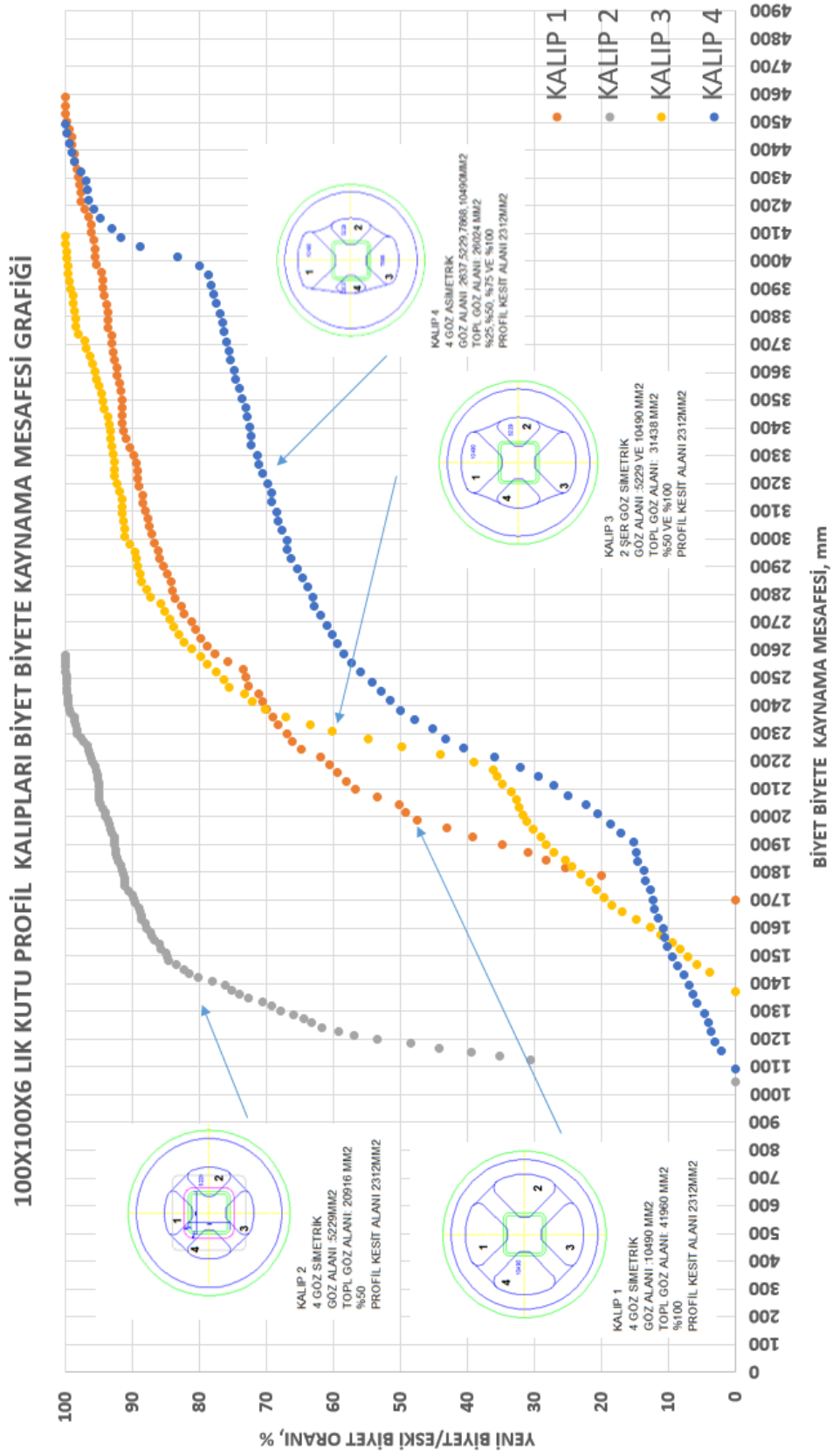
Basit kutu profil üretimi için dört farklı kalıp tasarımı yapılarak değişken olarak sadece kalıp gözlerinin geometrisi ve boyutları değiştirilmiş ve etkileri irdelenmiştir. Bu çalışma neticesinde aynı profil kesitini besleyen homojen ve küçük kalıp gözlerine sahip kalıbın en kısa biyet biyete alın kaynama mesafesine sahip olduğu belirlenmiştir. Küçük ve simetrik gözlü kalıp üretimden uygunsuz ürün miktarının en az olduğu en uygun kalıptır. Kalıp gözleri ne kadar küçük ise biyet biyete alın kaynama kusurunun kesitte bulunduğu mesafe de o kadar küçük olmaktadır. Bunun aksine kalıp gözleri büyük ve homojen olan kalıpta biyet biyete alın kaynama mesafesi daha uzun olmaktadır.

Kalıp gözlerinin geometrisi tek başına belirleyici değildir. Her bir kalıp gözünün profil kesitinde beslediği alan ve bu kesit parçacığının geometrisi de biyet biyete alın kaynama mesafesinde etkilidir.

Yapılan bu çalışma kalıplarında profil kesiti basit kutu ve et kalınlıkları da homojen olduğu için kalıp gözlerinin değişim etkisi daha net görülebilmektedir. Aynı kesiti besleyen küçük ve büyük kalıp gözleri toplam hurdalanacak boyu azaltmamıştır. Uygun profil üretebilmek için her bir gözün beslediği kesit parçacığının üretim kusurlarından arındırılmış olması gerekmektedir. Bu yüzden kalıptaki göz sayısı kadar farklı profil parçacığının her birinin ayrı ayrı birer profil gibi değerlendirilip analiz edilmesi gerekmektedir. Her bir parçacık kusurdan arındırılıncaya kadar profil hurdalanmalıdır. Bu da tasarım aşamasında genel üretim şartları, akış dengesi, üretim hızı, geometrik uygunluk

gibi şartları sağlarken biyet biyete alın kaynama kusurunun azaltılmasına daha az önem verilmesine sebep olmaktadır.

Profil üretiminde ticari olarak iki temel parametre dikkate alınmaktadır. Birincisi profilin verimliliği, yani net satılan profil miktarıyla bu satış için üretilen brüt profil miktarının oranı, diğeri ise üretimin yapıldığı ekstrüzyon presinin hedef saatlik üretimine göre bir saatte kaç kg net satılabilir ürün üretilmiştir. Yüksek saatlik üretim değerlerine ulaşabilmek için profilin üretim hızının yüksek olması gereklidir. Küçük kalıp gözlerine sahip kalıplar ile yapılacak üretimde kalıptaki dirençten dolayı üretim hızı düşük ve fakat biyet biyete alın kaynağı kusurlu ürün de az olacaktır. Dolayısıyla saatlik net üretim düşük fakat verimlilik nispeten daha yüksek olacaktır. Kalıp tasarımcıları ve ekstrüzyonlar kalıp tasarımını yaparken hem daha hızlı üretimi hem de en aza indirgenmiş üretim hurdasını hedeflemeleri gereklidir. Birbiriyle çelişen bu durumda tasarımcılar uygun kalıp tasarımı bulmak için alternatifli tasarımlar yaparak üretim öncesi sayısal modelleme ile verimli ve hızlı tasarımı belirleyebilirler.

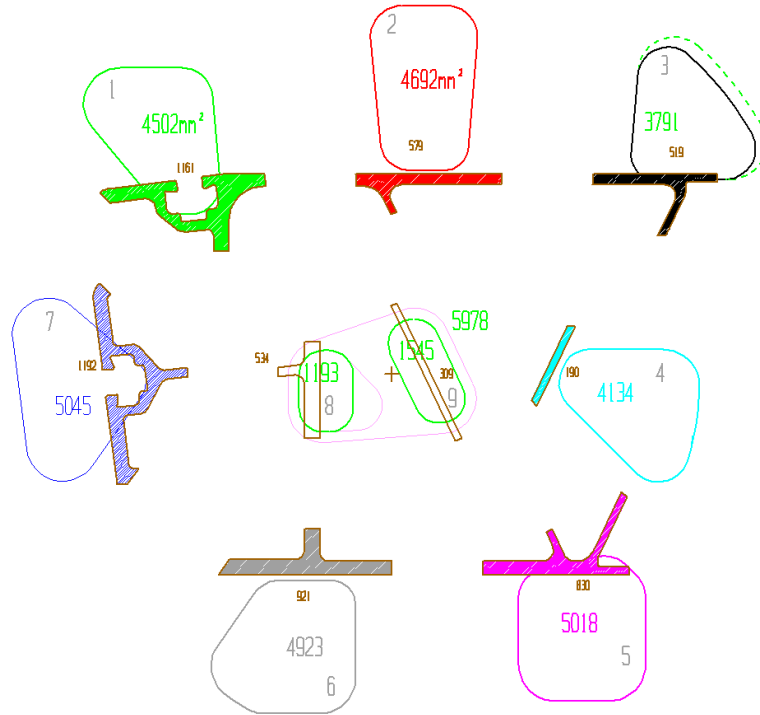


Şekil 89. Enine kaynama mesafesi karşılaştırma grafiği

3.2. Endüstriyel Kalıptan Yapılan Profil Üretimine Ait Bulgular

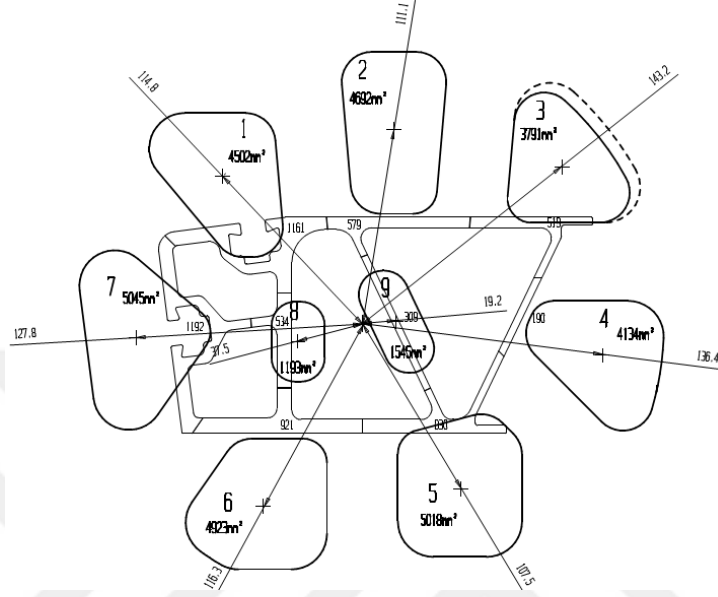
Basit kutu profili için yapılan dört farklı kalıp tasarımları ve sayısal modellemeleri sonucunda simetrik ve küçük kalıp gözlerinin beslediği profilin daha kısa biyet biyete kaynama mesafesi oluşturduğu belirlenmişti. Ayrıca asimetrik kalıp gözlerinin biyet biyete kaynama mesafesine olumlu katkı sağlamadığı görülmüştür. Endüstriyel olarak incelenecek olan profil kesiti kullanım yerindeki ihtiyaca uygun olarak optimize edildiğinden değiştirilemez. Bu şekilde tasarım optimizasyonu sonucu kesiti belirlenen profillerin uygun kalıp tekniği kullanılarak tasarlanması gereklidir. Simetrik olmayan profil kesitinin üretilmesi için kalıp göz geometrilerinin besleyecekleri profil parçacıklarıyla orantılı olması gerekmektedir. Tasarımı önceden yapılmış olan profil kalıbı bu bilgiler ışığında analiz edilmiş ve bulgulara uygun olarak tasarım değişiklikleri yapılmıştır.

Bu çalışmada profil üretiminde ikinci biyetten başlayarak ortaya çıkan ve bir önceki biyete eklenerek devam eden üretimde alın altına yapışan biyetlerin kalıbın farklı gözlerindeki evrimi detaylı olarak incelenmiştir. Şekil 90'da kalıp üzerindeki her bir gözün profilin hangi parçacığını beslediği gösterilmiştir. Kalıp gözleri G1 den G9 a kadar numaralandırılmış ve bunların beslediği kesit parçacıkları da aynı numarayla incelenmiştir.



Şekil 90. Alüminyum giriş gözleri ve besledikleri parça alanları (mm²)

Kalıp gözlerinin geometrik merkezinin kalıp merkezine olan mesafeleri de Şekil 91’de gösterilmiştir. Merkeze yakın gözlerdeki akış daha hızlı, kenardaki gözlerde daha yavaştır.



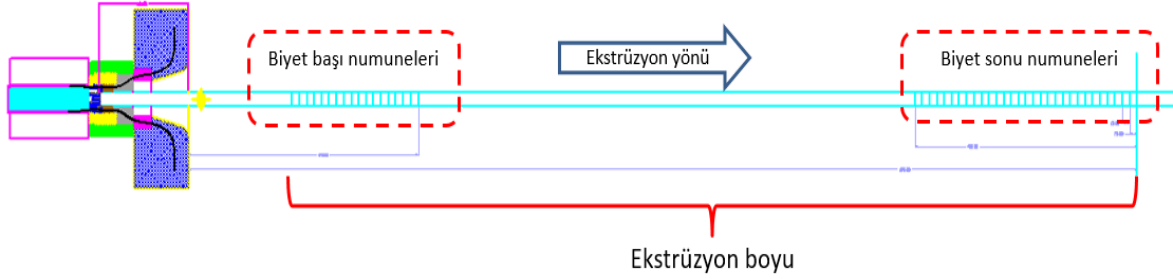
Şekil 91. Alüminyum giriş göz merkezlerinin kalıp merkezine uzaklıkları (mm)

Biyetin toplam kalıp gözlerine girerek parçalanır, kalıp gözlerinden de geçerek profil kesitine dönüşür. 1. kademede biyet önce kalıp ayakları vasıtasıyla parçalara bölünür. Bu şekilde malzeme kovan kesit alanından daha küçük olan toplam kalıp göz alanından geçer. 2. kademede de kaynama odasında birleşen alüminyum kalıp ile zıvana arasındaki profil şeklindeki açıklıktan geçer. Bu da malzemenin şekillenmesinin son aşamasıdır. Her bir kademedeki alüminyumun daralması sonucunda biyet 16.77 oranında küçük bir açıklıktan geçmiş olur. Bu kısaca ekstrüzyon oranı olarak ta adlandırılır. (Tablo 11).

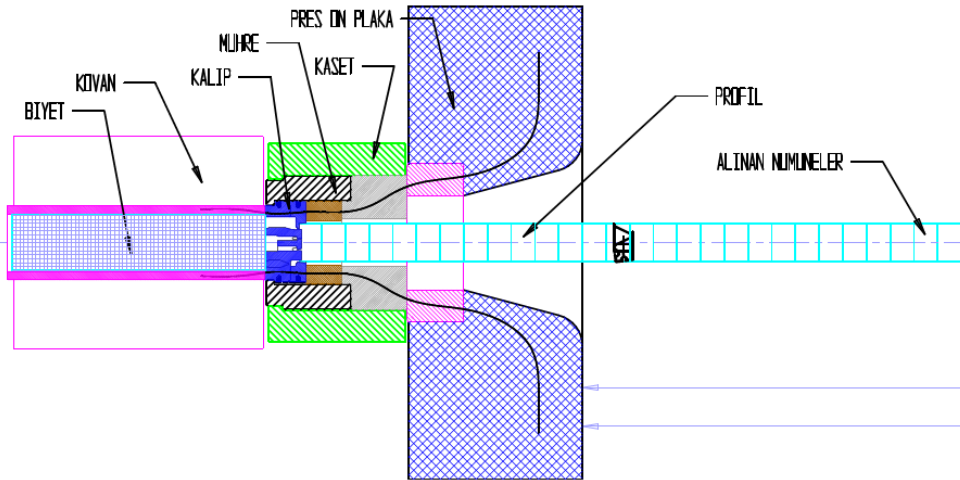
Tablo 11. Alüminyumun kovandan profil kesitine olan kademeli evrimi

Ø365mm’lik Kovan kesit alanı (mm ²)	1.kademe, Toplam Kalıp Göz Kesit alanı, (mm ²)	2. Kademe, Toplam Profil Parça Kesit Alanı (mm ²)	Ekstrüzyon Oranı
104582	34843	6235	
	Kovan alanı / Toplam göz Alanı	Toplam göz Alanı / Profil kesit alanı	Kovan alanı / Profil Kesit Alanı
	3.00	5.59	16.77

Yapılan ekstrüzyon denemesinde 12. biyetten üretilen profilden biyet başından 26 numune, biyet sonunda 8 numune kesilmiş, kesilen numuneler sırasına göre numaralandırılarak ekstrüzyon boyundan kesildiği mesafe numuneler üzerine yazılmıştır (Şekil 92, 93).



Şekil 92. Ekstrüzyon boyundan alınan biyet başı ve biyet sonu numuneleri

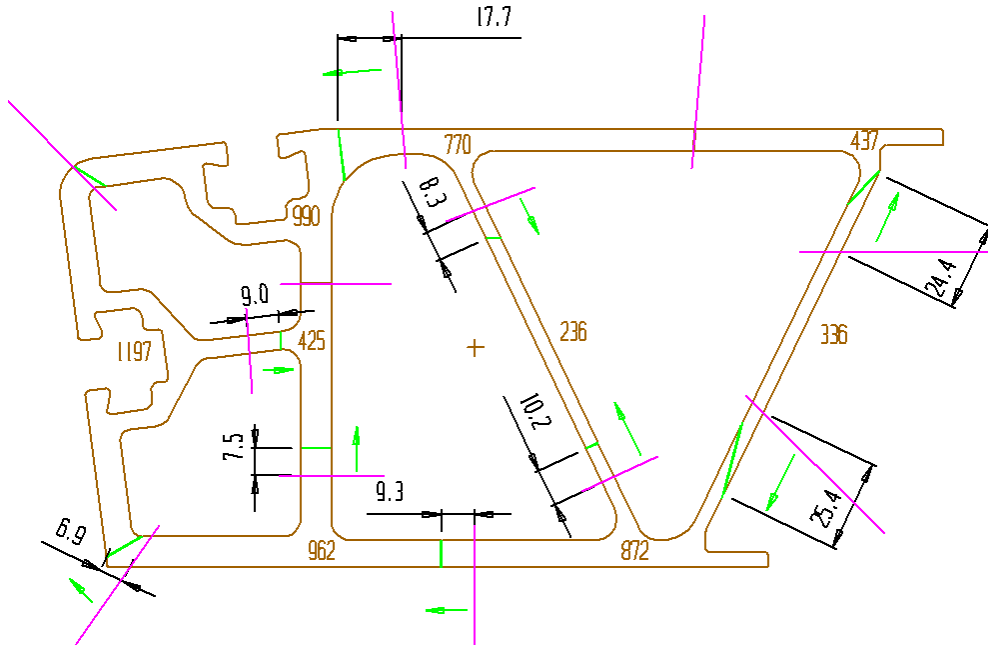


Şekil 93. Ekstrüzyonun şematik gösterimi ve analiz için alınan numuneler

Alınan numuneler 9-10gr/lt'lik NaOH (kostik) banyosunda 15 dakika bekletilerek makro dağlama işlemine tabi tutulur (Şekil 94). Dağlanmış numunelerin kesitleri incelenerek boyuna kaynama bölgelerinin gerçekleşen yeri ve biyet biyete alın kaynamasının gerçekleşme aşamaları tespit edilmiştir. Şekil 95'de farklı gözlerden beslenen kesitlerin teorik (mor çizgi - tasarımda öngörülen, yeşil çizgi - gerçekleşen) boyuna kaynama pozisyonlarındaki kayma ve değişim gösterilmiştir. Tespit edilen yeni kaynama pozisyonlarına göre yeşil çizgiler ile bölünmüş profil kesit parçalarının alanları yeniden hesaplanarak teorik tasarımdan sapmalar belirlenmiştir (Tablo 12).



Şekil 94. Biyet başı ve biyet sonundan kesilip numaralandırılan numuneler

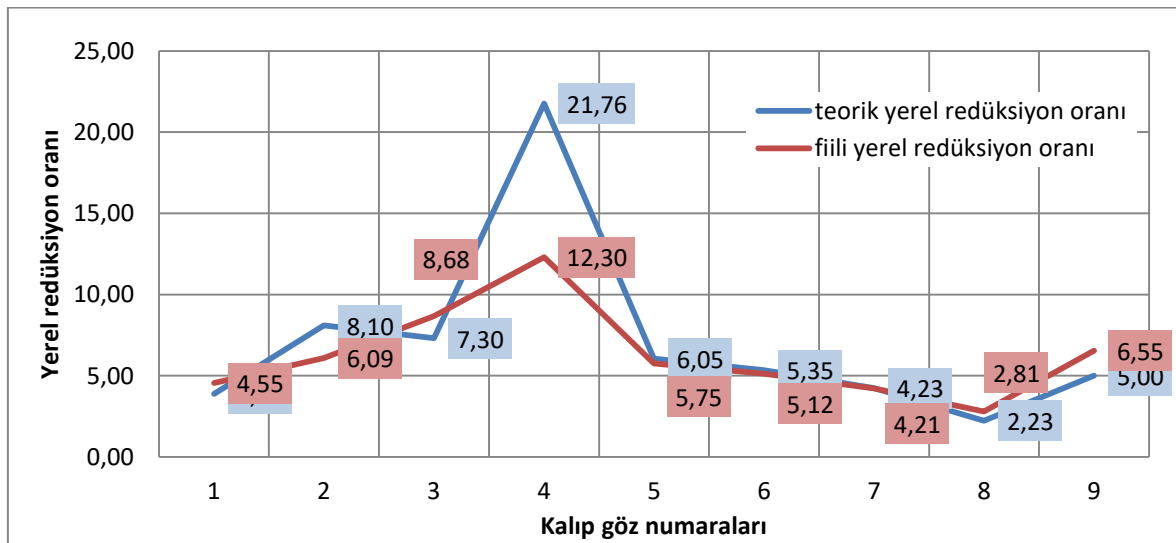


Şekil 95. Fiili boyuna kaynama pozisyonlarının teorik boyuna kaynak dikişi pozisyonlarında sapma yönü ve miktarı (mm), kaynama pozisyonları, mor: teorik, yeşil: gerçekleşen

Tablo 12. Her bir kalıp gözü ve profil kesiti için teorik ve gerçekleşen yerel redüksiyon oranı

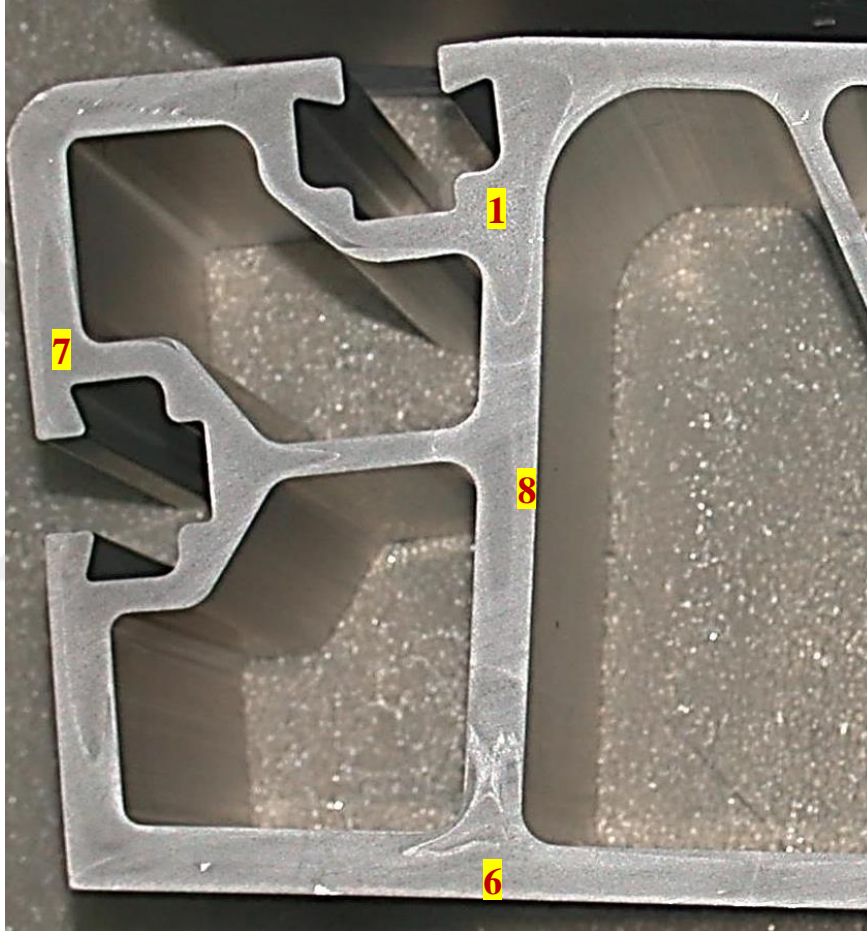
	A	B	A/B	B1	A/B1	B1-B
Alüminyum Giriş Gözü Numarası	Göz kesit alanı (mm ²)	Profil parça kesit alanı (mm ²)	Göz kesit alanı / Profil parça alanı (Teorik)	Profil parça kesit alanı (mm ²)	Göz kesit alanı / profil parça kesit alanı (Gerçekleşen)	Fark
1	4502	1161	3.88	990	4.55	-171
2	4692	579	8.10	770	6.09	191
3	3791	519	7.30	437	8.68	-82
4	4134	190	21.76	336	12.30	146
5	5018	830	6.05	872	5.75	42
6	4923	921	5.35	962	5.12	41
7	5045	1192	4.23	1197	4.21	5
8	1193	534	2.23	425	2.81	-109
9	1545	309	5.00	236	6.55	-73
	34843	6235	Ortalama Oran	6225	Ortalama Oran	
			7.10		6.23	

Yapılan analizlerde her bir kalıp gözü için teorik profil parça kesit alanı (Tablo 12, B sütunu) ve gerçekleşen profil parça kesit alanı (Tablo 12, B1 sütunu) verilmiş ve her iki değer de kalıp göz alanına sırasıyla oranlanarak yerel redüksiyon oranı hesaplanmıştır (Tablo 12 A/B, A/B1 sütunları). Hesaplanan teorik ve gerçekleşen yerel redüksiyon oranlarının kalıp gözlerine göre değişim grafiği Şekil 96’te verilmiştir.



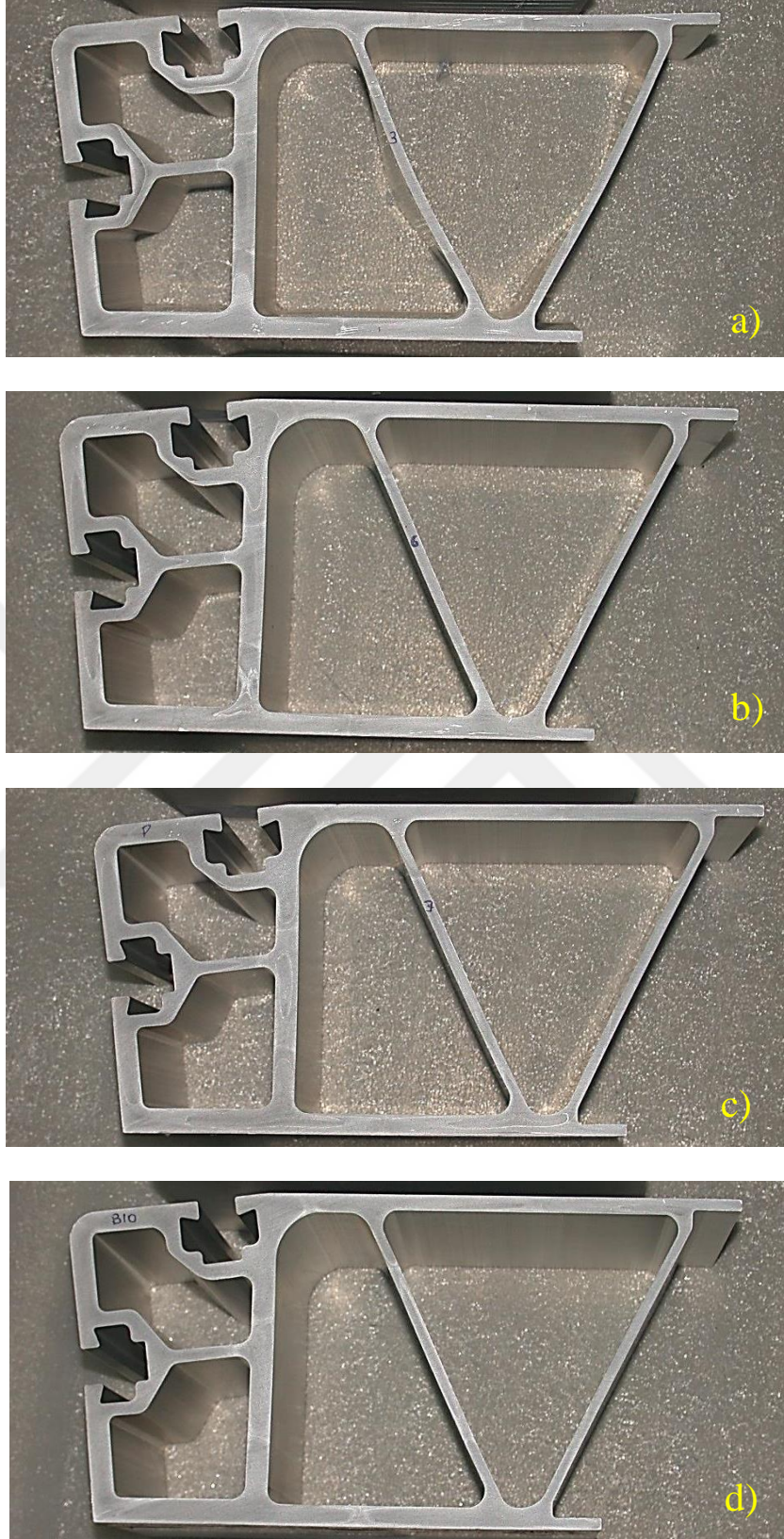
Şekil 96. Her bir kalıp gözü ve profil kesiti için teorik ve gerçekleşen yerel redüksiyonu

Kesitleri makro dağlanan numunelerde biyet biyete alın kaynama gelişimi ve boyuna kaynak birleşimleri gözle görülebilecek netlikte ortaya çıkmıştır. Şekil 97’de kalıp duruş izinde itibaren 680-835mm aralığındaki numunede 1, 6, 7 ve 8 numaralı gözlerden beslenen profil parçacıklarındaki biyet biyete kaynama evrimi ve yeni biyetin kesitteki kapladığı alan gösterilmiştir.



Şekil 97. Kalıp duruş izinden itibaren 680-835 mm aralığındaki makro dağlanmış profil numunesinde biyet kabuğu etkisi ve eski ve yeni malzeme akışı başlangıcı

Dağlanmış numunelerde biyet sonundaki kabuk kalıntıları ve boyuna kaynama dikişleri Şekil 98 a’da, yeni biyetin biyet kabuk kalıntıları üzerine gelişimi ve boyuna kaynama dikişleri 6, 7 ve 10. numunelerde Şekil 98 b, c ve d’de verilmiştir. Yeni biyetin profilin kesitini aşamalı olarak kapladığı görülmektedir.



Şekil 98. Profil kesitinde makro dağlanmış numunelerde biyet biyete kaynama kusuru gelişimi a) 3.numune, b) 6. numune, c) 7.numune, d) 10. numune

Makro dağılmış numuneler üzerinde yapılan incelemeyle her bir numunenin biyet biyete alın kaynaması oransal olarak hesaplanarak Tablo 13'te verilmiştir. Kalıp durma izi öncesi biyet sonu numuneleri, kalıp durma izi sonrası da biyet başı numuneleri eski biyet, biyet kabuğunu içeren eski biyet, eski ve yeni biyet birlikte ve yeni biyet olarak sırasıyla açık yeşil, sarı kırmızı ve koyu yeşil olarak belirtilmiştir.

Tablo 13. Enine kaynamanın “kalıp durma izine” göre her bir gözde profil boyunca değişimi

NUMUNE BAŞLANGIÇ MESAFESİ	NUMUNE BİTİŞ MESAFESİ	NUMUNE	1	2	3	4	5	6	7	8	9										
17780	17920	S8	99,9%	1	100,0%	1	99,9%	1	100,0%	1	100,0%	1	99,9%	1	99,9%	1	100,0%	1	100,0%	1	8
17925	18080	S7	99,9%	1	100,0%	1	99,9%	1	100,0%	1	100,0%	1	99,9%	1	99,9%	1	100,0%	1	100,0%	1	7
18085	18220	S6	99,9%	1	100,0%	1	99,9%	1	100,0%	1	100,0%	1	99,9%	1	680	2	100,0%	1	100,0%	1	6
18225	18370	S5	99,9%	1	100,0%	1	99,9%	1	100,0%	1	100,0%	1	99,9%	1	0,0%	4	100,0%	1	100,0%	1	5
18375	18525	S4	0,0%	2	100,0%	1	99,9%	1	100,0%	1	100,0%	1	99,9%	1	0,0%	4	0,0%	2	100,0%	1	4
18530	18675	S3	0,0%	3	100,0%	1	99,9%	1	100,0%	1	100,0%	1	99,9%	1	0,0%	4	0,0%	2	100,0%	1	3
18680	18825	S2	0,0%	3	100,0%	1	99,9%	1	100,0%	1	100,0%	1	0,0%	2	0,0%	4	0,0%	1	100,0%	1	2
18830	18900	S1	0,0%	3	100,0%	1	99,9%	1	100,0%	1	100,0%	1	0,0%	2	0,0%	3	0,0%	1	100,0%	1	1
0	75	B1	0,0%	5	0,0%	1	0,0%	1	0,0%	3	0,0%	3	0,0%	5	0,0%	5	0,0%	1	0,0%	1	1
80	230	B2	0,0%	5	0,0%	2	0,0%	1	0,0%	3	0,0%	3	0,0%	5	0,0%	5	0,0%	2	0,0%	1	1
235	375	B3	0,0%	5	0,0%	2	0,0%	1	0,0%	3	0,0%	2	0,0%	5	0,0%	5	0,0%	2	0,0%	1	1
380	525	B4	0,0%	5	0,0%	2	0,0%	1	0,0%	3	0,0%	2	0,0%	5	0,0%	5	0,0%	3	0,0%	1	1
530	675	B5	5,0%	5	0,0%	2	0,0%	1	0,0%	2	0,0%	2	0,0%	4	0,0%	3	0,0%	3	0,0%	1	1
680	835	B6	60,0%	2	0,0%	1	0,0%	1	0,0%	2	0,0%	2	10,0%	3	70,0%	3	0,0%	2	0,0%	1	1
840	980	B7	85,0%	1	0,0%	1	0,0%	1	0,0%	1	40,0%	2	65,0%	2	80,0%	2	50,0%	2	0,0%	1	1
985	1135	B8	90,0%	1	40,0%	1	0,0%	1	0,0%	1	60,0%	2	85,0%	2	90,0%	2	80,0%	1	0,0%	1	1
1140	1285	B9	95,0%	1	75,0%	1	0,0%	1	0,0%	1	90,0%	2	90,0%	2	95,0%	2	95,0%	1	20,0%	2	1
1290	1440	B10	97,0%	1	80,0%	1	80,0%	1	0,0%	1	95,0%	2	95,0%	2	97,0%	1	96,0%	1	80,0%	2	1
1445	1610	B11	98,0%	1	90,0%	1	75,0%	1	0,0%	1	96,0%	2	97,0%	2	98,0%	1	97,0%	1	90,0%	2	1
1615	1750	B12	98,0%	1	95,0%	1	80,0%	1	0,0%	1	97,0%	1	98,0%	1	99,0%	1	98,0%	1	95,0%	1	1
1755	1920	B13	99,0%	1	97,0%	1	80,0%	1	0,0%	1	97,5%	1	99,0%	1	99,0%	1	99,0%	1	96,0%	1	1
1925	2035	B14	99,2%	1	98,0%	1	93,0%	1	0,0%	1	98,0%	1	99,0%	1	99,2%	1	99,5%	1	97,0%	1	1
2060	2220	B15	99,3%	1	98,5%	1	94,0%	1	0,0%	1	98,5%	1	99,0%	1	99,3%	1	100,0%	1	98,0%	1	1
2225	2370	B16	99,4%	1	99,0%	1	95,0%	1	0,0%	1	99,0%	1	99,0%	1	99,4%	1	100,0%	1	99,0%	1	1
2375	2520	B17	99,5%	1	99,3%	1	99,0%	1	0,0%	1	99,3%	1	99,0%	1	99,5%	1	100,0%	1	99,3%	1	1
2525	2670	B18	99,5%	1	99,5%	1	99,5%	1	30,0%	1	99,5%	1	99,0%	1	99,5%	1	100,0%	1	99,5%	1	1
2675	2820	B19	99,8%	1	99,5%	1	99,5%	1	80,0%	1	99,5%	1	99,5%	1	99,5%	1	100,0%	1	99,5%	1	1
2825	2963	B20	99,8%	1	99,5%	1	99,8%	1	90,0%	1	99,8%	1	99,5%	1	99,8%	1	100,0%	1	99,8%	1	1
2968	3110	B21	99,9%	1	100,0%	1	99,8%	1	95,0%	1	99,8%	1	99,8%	1	99,9%	1	100,0%	1	99,9%	1	1
3115	3250	B22	99,9%	1	100,0%	1	99,8%	1	98,0%	1	99,8%	1	99,9%	1	99,9%	1	100,0%	1	99,9%	1	1
3255	3407	B23	99,9%	1	100,0%	1	99,9%	1	99,0%	1	99,8%	1	99,9%	1	99,9%	1	100,0%	1	100,0%	1	1
3412	3565	B24	99,9%	1	100,0%	1	99,9%	1	99,9%	1	99,9%	1	99,9%	1	99,9%	1	100,0%	1	100,0%	1	1
3570	3713	B25	99,9%	1	100,0%	1	99,9%	1	100,0%	1	100,0%	1	99,9%	1	99,9%	1	100,0%	1	100,0%	1	1
3718	3865	B26	99,9%	1	100,0%	1	99,9%	1	100,0%	1	100,0%	1	99,9%	1	99,9%	1	100,0%	1	100,0%	1	1

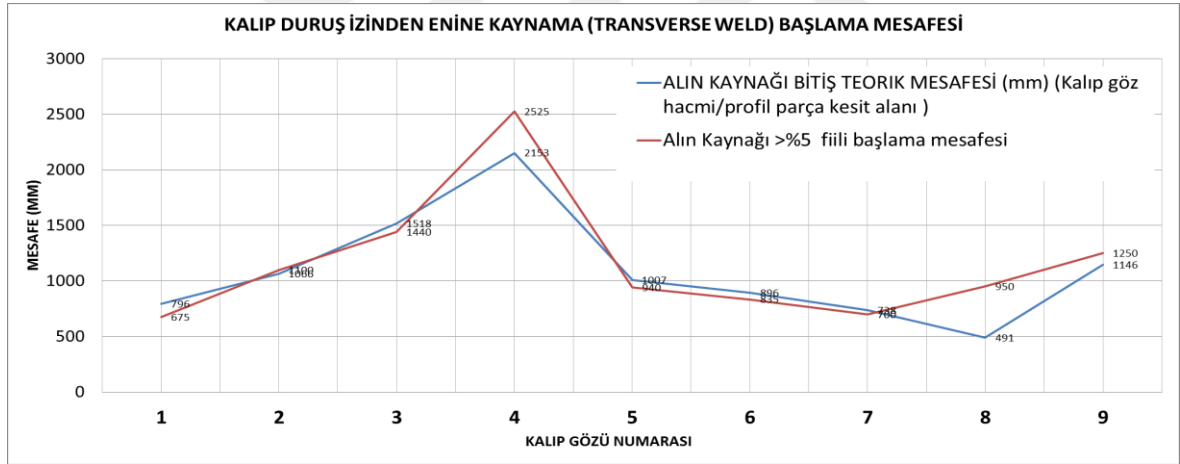
ESKİ BİLLET
ESKİ BİLLET + BİLLET KABUĞU
ESKİ + YENİ BİLLET
YENİ BİLLET

Kalıp gözlerine göre yeni biyetin profil kesitini tamamen kaplamasının yüzdesel değişimi (% 95, % 99 ve % 100) analiz edilmiş ve buna karşılık gelen mesafeler belirlenmiştir (Tablo 14).

Tablo 14. Alın kaynağı ve biyet kabuk akış mesafesi teorik & fiili karşılaştırma tablosu

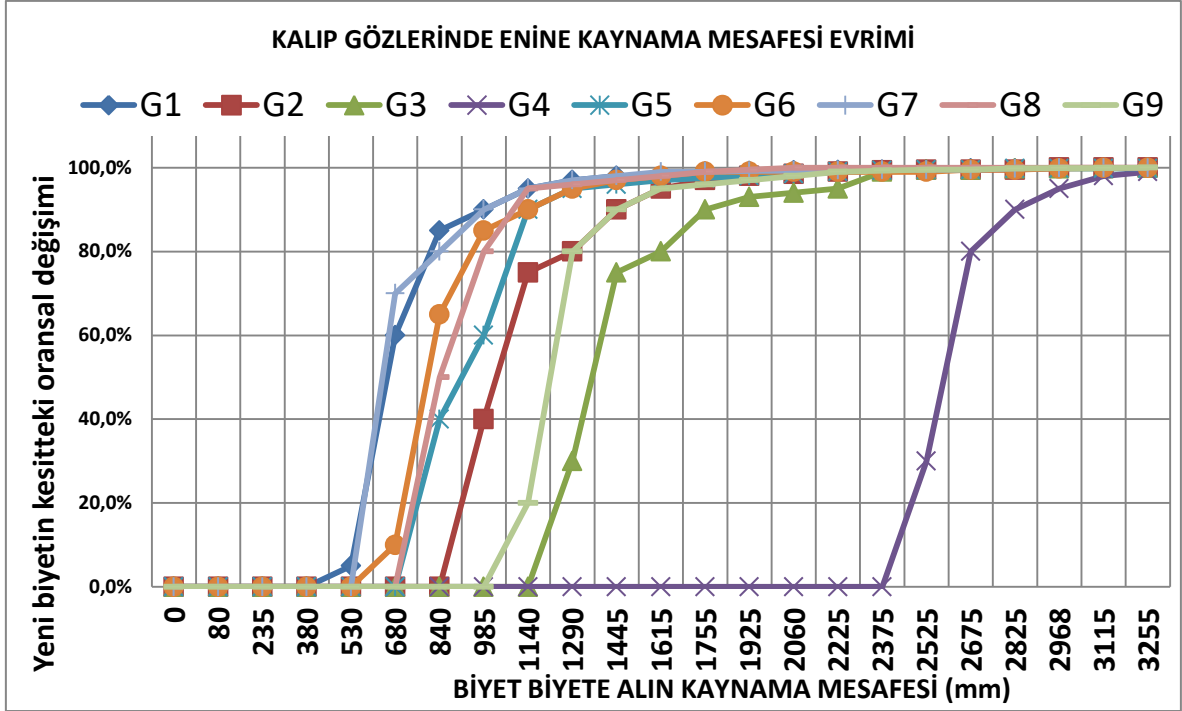
KALIP GÖZÜ NUMARASI	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9
ALIN KAYNAĞI BİTİŞ TEORİK MESAFESİ (mm) (Kalıp göz hacmi/profil parça kesit alanı)	796	1066	1518	2153	1007	896	738	491	1146
Alın Kaynağı >%5 fiili başlama mesafesi	675	1100	1440	2525	940	835	700	950	1250
Fiili/ teorik mesafe (Oran)	1,179	0,969	1,054	0,853	1,071	1,073	1,054	0,517	0,917
Alın Kaynağı %95 bitiş mesafesi (2mm kaynama çizgisinden)	1285	1750	2370	3110	1440	1440	1285	1285	1750
Fiili/ teorik mesafe (Oran)	1,614	1,642	1,561	1,444	1,430	1,607	1,741	2,617	1,527
Alın Kaynağı %99 bitiş mesafesi (1mm kaynama çizgisinden)	1920	2370	2520	3407	2370	1920	1750	1920	2370
Fiili/ teorik mesafe (Oran)	2,412	2,223	1,660	1,582	2,354	2,143	2,371	3,910	2,068
Alın Kaynağı %100 bitiş mesafesi (2mm kaynama çizgisinden)		3110		3713			3407	2220	3407
Billet kabuk akışı %100 bitiş mesafesi, (BED-Back End Defect)	835	675	0	835	1610	1610	1285	980	1440

Kalıp durma izinden itibaren biyet biyete alın kaynamanın başlama mesafeleri ölçülmüş ve hem teorikte hem de fiili durumda 4 numaralı kalıp gözünden beslenen profil parçacığı kesitinde yeni biyetin en geç başladığı (2525 mm'de) belirlenmiştir (Şekil 99).



Şekil 99. Enine kaynak teorik ve fiili başlangıç mesafesi karşılaştırma (%95 oranlı)

Tüm kalıp gözlerinde yeni biyetin % 100 olarak profil kesitini kapladığı mesafelerin kalıp göz numaralarına göre değişimi Şekil 98'de verilmiştir.

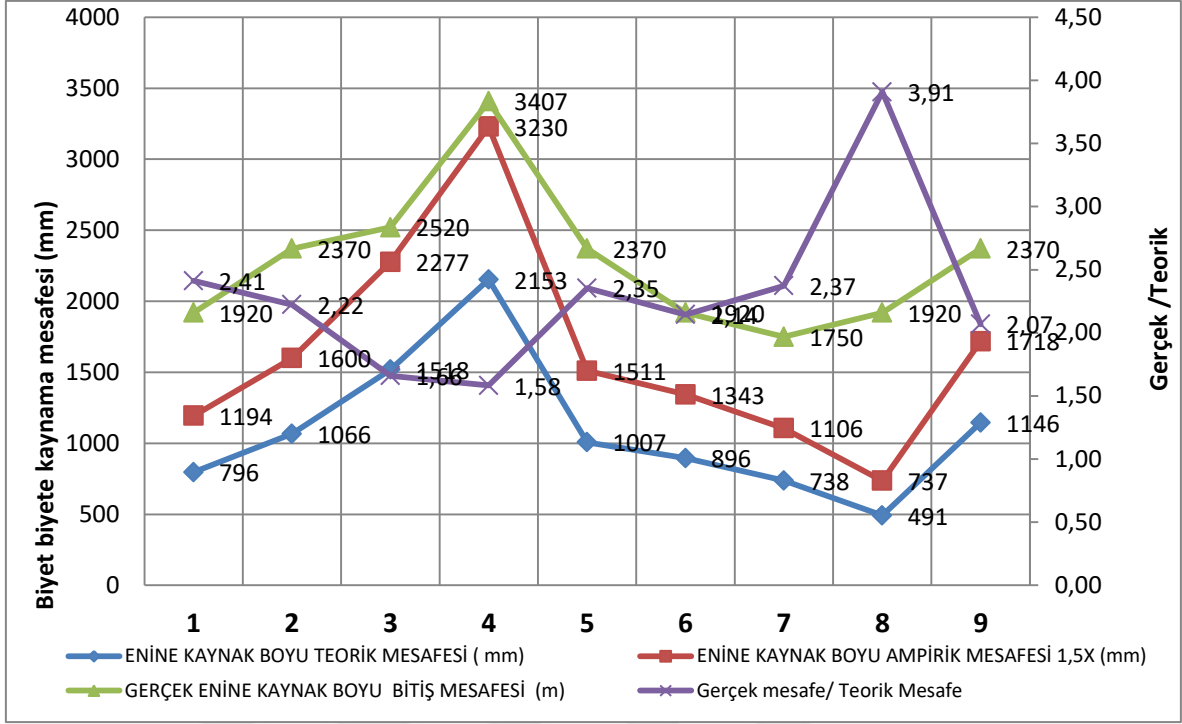


Şekil 100. Enine kaynamanın her bir kalıp gözü için profil boyunca oransal değişimi

Tablo 15'te kalıp gözlerine göre biyet biyete alın kaynamanın teorik, gerçek ve daha önce literatürde belirlenen ampirik mesafe olarak karşılaştırması yapılmış ve grafiksel olarak ta Şekil 101'da gösterilmiştir.

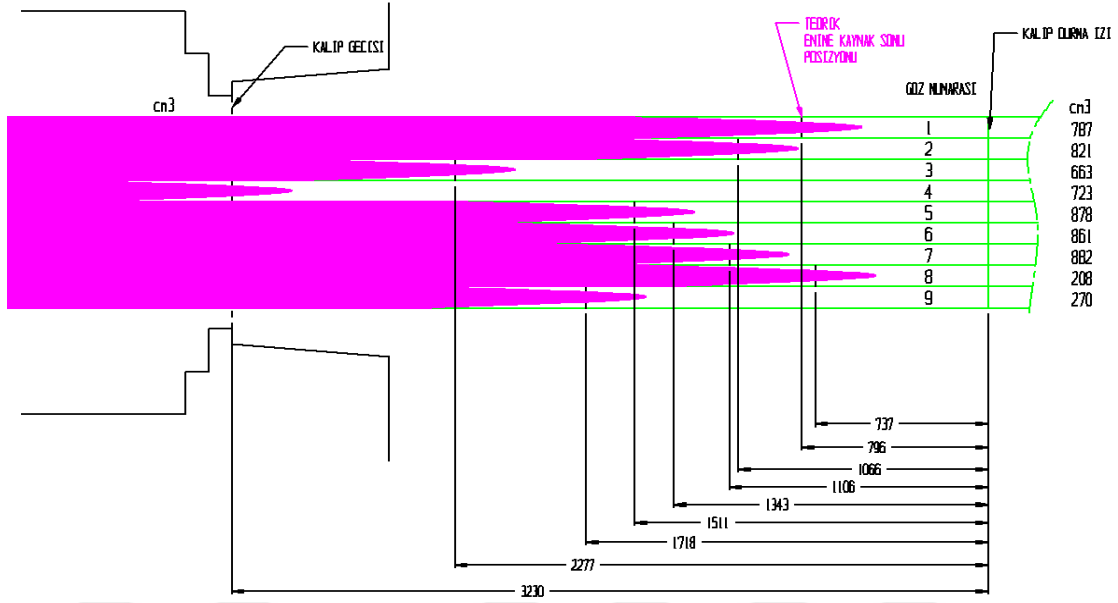
Tablo 15. Her bir göz için enine kaynak mesafeleri hesap tablosu

	A	B	A/B	B1	A/B1	B1-B	G	C=G/B1	D=C*1,5	R	R/C
Alüminyum Giriş Gözü Numarası	Göz kesit alanı (mm ²)	Profil parça kesit alanı (mm ²)	Göz kesit alanı / Profil parça alanı (TEORİK)	Profil parça kesit alanı (mm ²)	Göz kesit alanı / profil parça kesit alanı (GERÇEK)	FARK (mm ²)	Göz + Kaynama odası hacmi (mm ³)	Enine kaynama boyu teorik mesafesi (mm)	Enine Kaynama Boyu Ampirik mesafesi 1,5 Kat (mm)	Gerçek enine kaynama bitiş mesafesi (mm)	Gerçek mesafe/ Teorik Mesafe
1	4502	1161	3,88	990	4,55	-171	787.850	796	1194	1920	2,41
2	4692	579	8,10	770	6,09	191	821.100	1066	1600	2370	2,22
3	3791	519	7,30	437	8,68	-82	663.425	1518	2277	2520	1,66
4	4134	190	21,76	336	12,30	146	723.450	2153	3230	3407	1,58
5	5018	830	6,05	872	5,75	42	878.150	1007	1511	2370	2,35
6	4923	921	5,35	962	5,12	41	861.525	896	1343	1920	2,14
7	5045	1192	4,23	1197	4,21	5	882.875	738	1106	1750	2,37
8	1193	534	2,23	425	2,81	-109	208.775	491	737	1920	3,91
9	1545	309	5,00	236	6,55	-73	270.375	1146	1718	2370	2,07
	34843	6235	Ortalama	6225	Ortalama Oran						
			7,10		6,23						

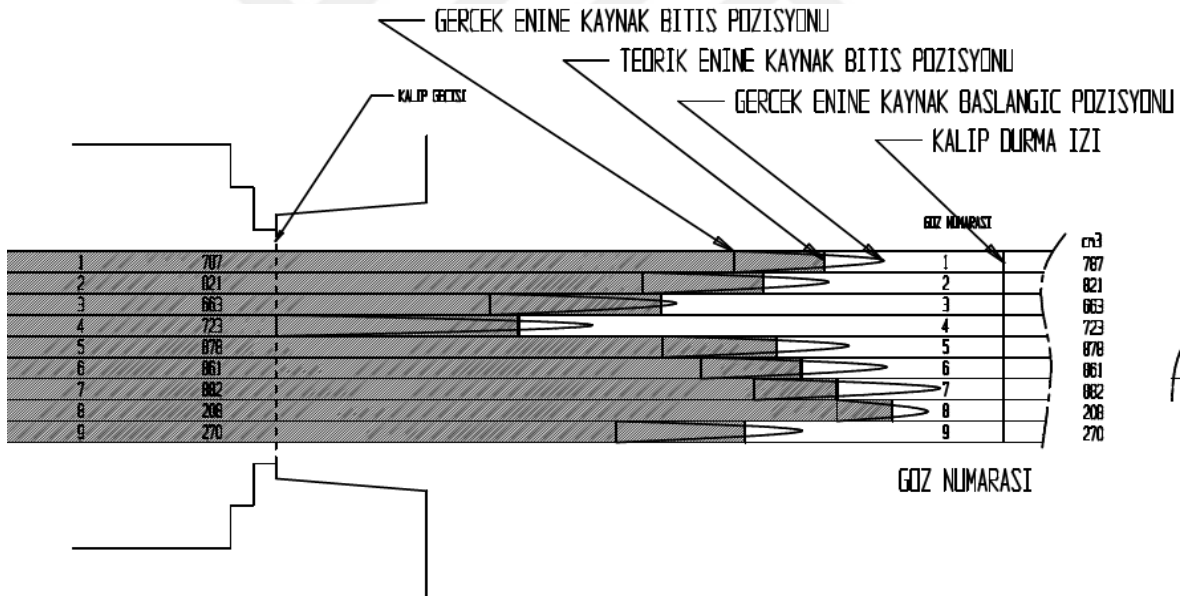


Şekil 101. Enine kaynak mesafeleri gerçek, deneysel ve teorik karşılaştırma

Dokuz parçacığın birleşiminden oluşan profilin biyet biyete alın kaynamasının şematik açılımı ve kaynama mesafesinin teorik değeri (Tablo 15, C sütünü) Şekil 102 ve 103'te gösterilmiştir. Buna göre 8 numaralı gözde yeni biyet en erken kesitten geçmeye başlamış, 4 numaralı gözün beslediği kesit ise en geç başlayıp en geç bitmiştir. 4 numaralı gözdeki biyet biyete alın kaynamasının diğer gözlere yakın başlayıp bitmesi kusurlu kesit miktarını azaltacaktır.



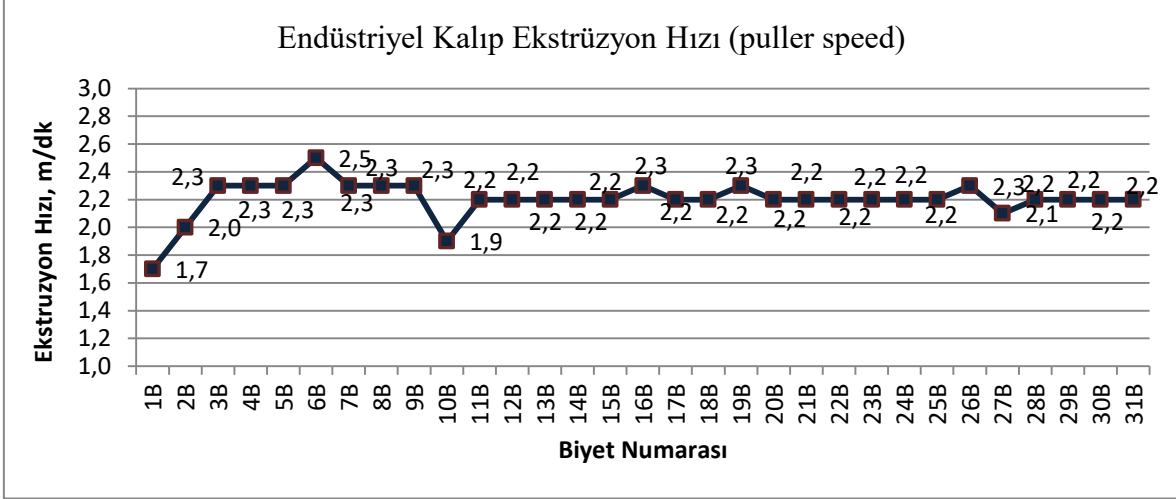
Şekil 102. Enine kaynak mesafeleri teorik hesap gösterimi



Şekil 103. Enine kaynak mesafeleri gerçek ve teorik başlama ve bitiş şematik gösterimi

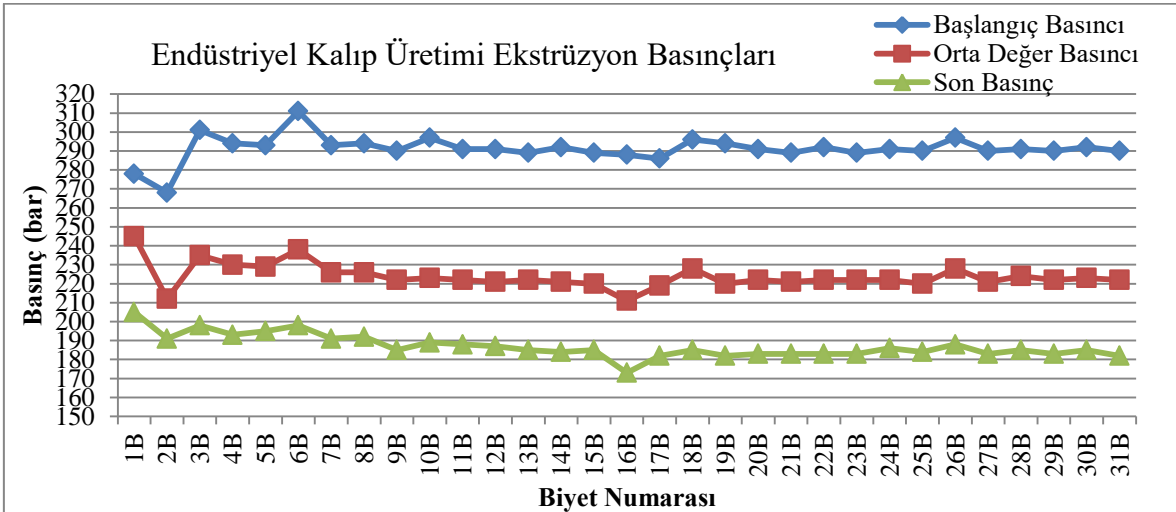
Endüstriyel olarak yapılan 31 biyetlik profil üretiminde aşağıda parametreleri elde edilmiştir. Makro dağlama yapılan numuneler üretimin kararlı olduğu 12. biyetten alınmıştır. Üretim hızı, ekstrüzyon basınçları, profil çıkış sıcaklıkları, ekstrüzyon süresi ve biyet değişimlerinin yapıldığı ölü zaman, biyet ve biyet artığı (ara iş boyu) sırasıyla Şekil

104, 105, 106, 107 ve 108’de verilmiştir. Biyet numarasına bağlı olarak ölçülen ekstrüzyon hızı ortalama 2.2 m/dk olarak gerçekleşmiştir (Şekil 104).



Şekil 104. Biyet numarasına bağlı olarak ekstrüzyon hızı (profil hızı)

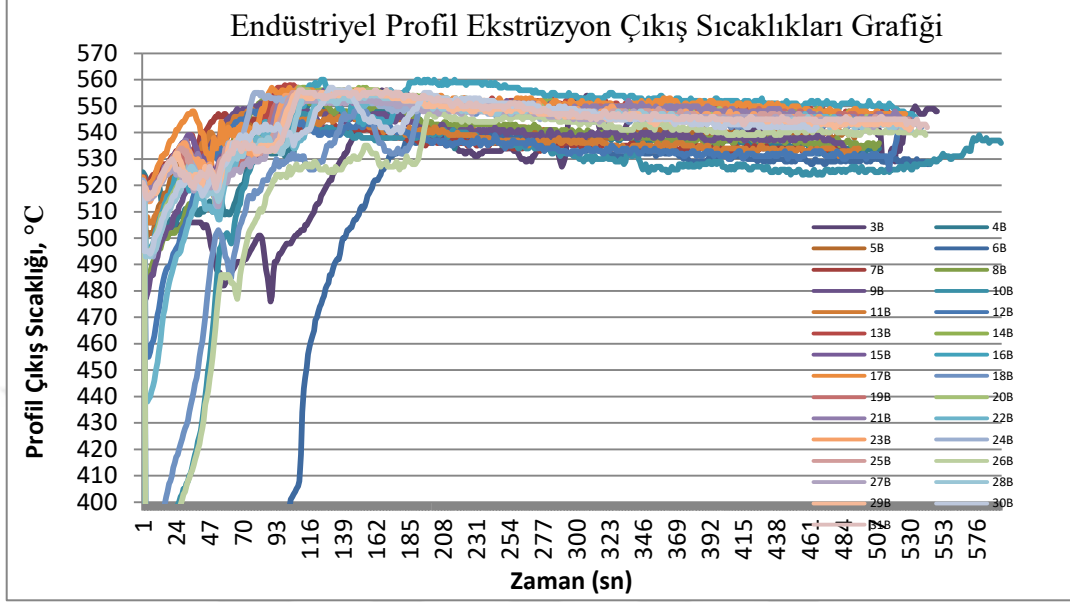
Profilin ilk çıkış basınç ortalaması 290 bar’dır. Üretim dengeye ulaşıncaya kadar ilk biyetlerde daha yüksek basınç değerleri görülmüştür (Şekil 105).



Şekil 105. Numune numarasına bağlı olarak biyetlerin basınç değerleri

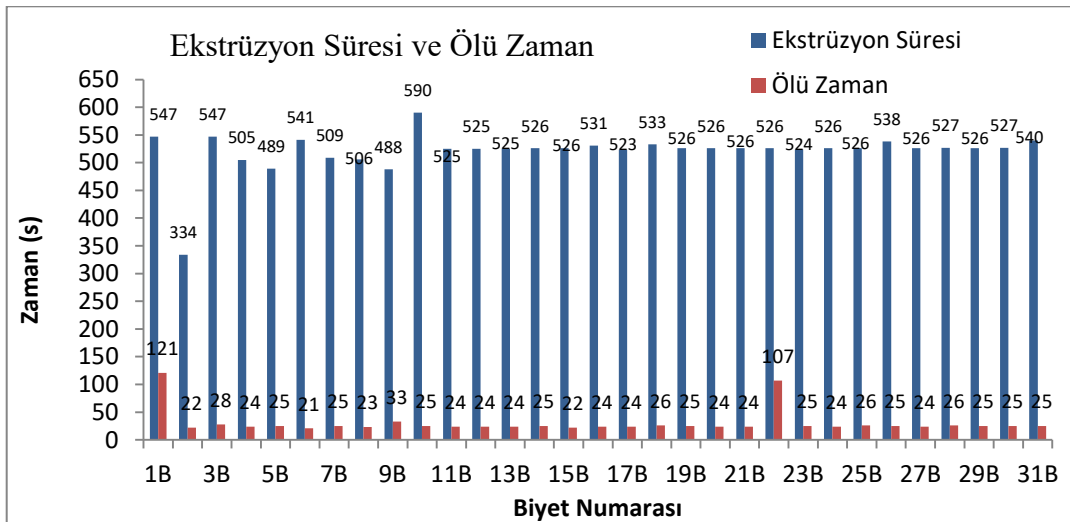
Üretim sonucunda profil çıkış sıcaklıkları ölçülmüş ve genel olarak 530 ile 550 °C arasında gerçekleşmiştir. İzotermal ekstrüzyondan beklenen daha dar bir sıcaklık aralığında

profilin çıkış sıcaklığına sahip olmasıdır. Değişken sıcaklıklar mekanik özelliklerin de değişkenliğini artırır (Şekil 106).



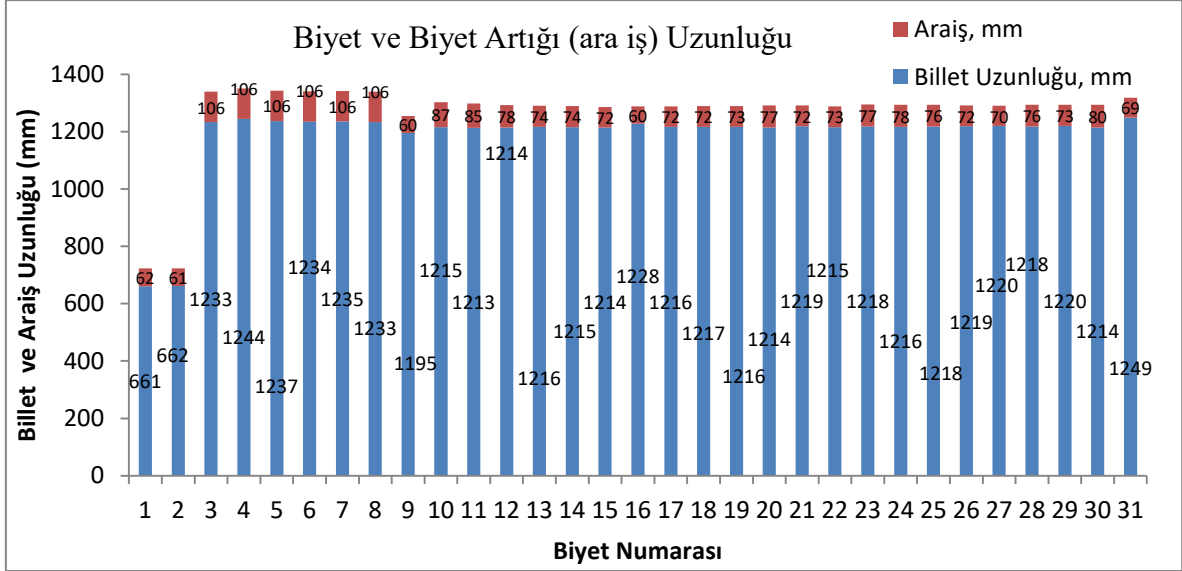
Şekil 106. Biyetlerin profil çıkış sıcaklıkları

Her biyete ait ekstrüzyon süreleri 509 - 590 saniye arasında değişmiş, biyet değişim sırasındaki duruş süreleri (ölü zaman) de ortalama 25 saniye olarak gerçekleşmiştir (Şekil 107).



Şekil 107. Profillere ait ekstrüzyon süreleri ve ölü zaman

Üretimde kullanılan biyet boyları 1250 mm civarındadır. İlk 2 biyet kalıp dengeye gelebilmesi için kısa olarak alınmıştır. Biyet uzunlukları ve biyet artığı boyları Şekil 108'de gösterilmiştir.

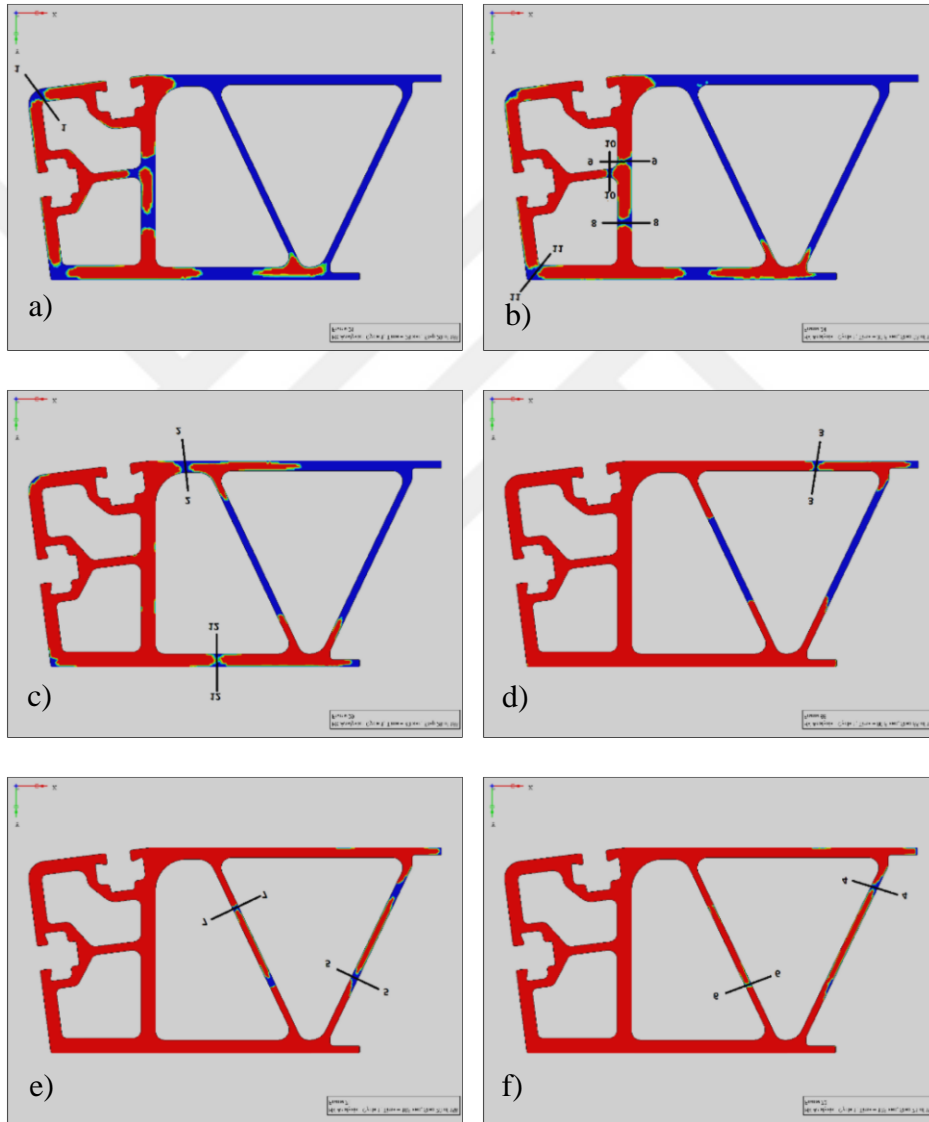


Şekil 108. 31 biyetlik üretimin biyet ve ara iş uzunlukları grafiği

3.3. Endüstriyel Kalıp Birinci Sayısal Modellemesi

Birinci sayısal modelleme çalışmalarında HyperXtrude® programı kullanılmıştır. HyperXtrude® ile yapılan analizde biyet biyete alın kaynama evrimi her bir saniye için incelenerek Şekil 109'da kalıp gözlerindeki gelişim irdelenmiştir. Kalıbın endüstriyel denemesiyle bu değerler karşılaştırılmıştır. HyperXtrude® programı, ALE yaklaşımının adapte edildiği akış-dinamik formülasyonu temel alınarak FE kodlarıdır. Kalıbın ilk 3d modeli "steady state" konfigürasyonunun bir kopyası olmasına rağmen HX zımba ilerlemesi sırasında biyet boyunun kışalmasına müsaade eden zaman bağı (transiend hareket) sınır şartlarını kullanır. Numerik simülasyon için gerekli olan sınır şartları tecrübi değerlerden alınmıştır. 365 mm çapında, 1300 mm boyundaki AA 6005 alaşımından oluşan alüminyum biyet ASAŞ Alüminyum'un 55 MN direkt ekstrüzyon pres şartlarında üretilmiştir. Biyet ısıtma sıcaklığı 470 °C olarak sabit alınmıştır. Kalıp sıcaklığı 470 °C ve kovan sıcaklığı 440 °C olarak sabitlenmiştir. Simülasyon programı ekstrüzyon sırasında kalıp esnemesini simüle edebiliyor olmasına rağmen tüm simülasyon boyunca kalıp "rijit"

olarak (ekstrüzyon ile esnemediği kabul edilmiştir) değerlendirilmiştir. Kalıp ile iş parçası arasındaki etkileşimde HTC (ısı iletim katsayısı) $500 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$, biyet ile kovan arasındaki ısı iletim katsayısı da $2000 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ olarak alınmıştır. Genişleyebilir baskı bloğu sıcaklığı $470 \text{ } ^\circ\text{C}$ olarak alınmış ve biyet ile “dummy blok” arasında ısı transferinin olmadığı kabul edilmiştir. 602 saniyede 1200 mm biyet ekstrüzyonu 156 parçaya bölünmüş çözümlenme yapılarak simülasyon gerçekleştirilmiştir.



Şekil 109. Simulasyon yapılan profile yeni biyet ile eski biyetin kesitte evrimi, kırmızı: yeni biyet, mavi: eski biyet, a) yeni biyetten malzeme akışı başlangıcı b, c, d, e) eski, yeni biyet birlikte akış, f) eski biyetin tamamen temizlenip yeni biyetin kesiti kaplaması.

3.4. Endüstriyel Kalıp Deneme Bulguları

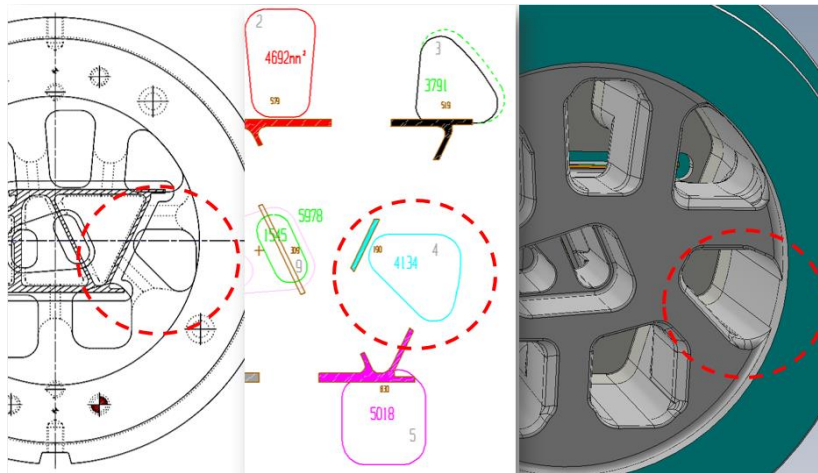
Analiz edilen endüstriyel kalıbın tüm gözlerindeki eski biyetten gelen malzeme 1925 mm'lik mesafede % 95 oranında temizlenirken 4 numaralı gözde yeni biyet 2375 mm mesafede başlamış ve 2968 mm ancak % 95 oranında temizlenmiştir. 4 numaralı gözün % 99 oranında temizlenmesi 3255 mm de gerçekleşmiştir (Şekil 100). 4 numaralı kalıp gözündeki akış dengelenmesi durumunda biyet biyete alın kaynama başlangıcı erkene alınması sağlanabilir. Bu çalışmanın ana odağında kalıptaki bu aşırı dengesizliğinin sebeplerinin analiz edilerek kalıp gözlerinin geometrisinin etkisinin kalıp tasarım kriteri olarak belirlenmesi ve yeni tasarımlara uygulanmasıdır. Yapılabilecek geliştirmeler ile 4. gözdeki biyet biyete alın kaynağı kusuru 1100 mm civarına çekilerek diğer gözler ile yaklaşık bir mesafede bitmesi sağlanabilir. 4 numaralı kalıp gözüne en yakın biyet biyete alın kaynama mesafesi olan kalıp gözü 3 numaralı gözdür ve bu gözdeki mesafe 2520 mm dir (Tablo 15). 4 numaralı kalıp gözünde gerçekleşen yerel ekstrüzyon oranı 12.3 iken 3 numaralı gözde 9 farklı göz içinde ikinci en büyük değer olan 8.68 yerel ekstrüzyon oranıyla ikinci en uzun biyet biyete kaynama mesafesine sahip gözdür. Bu değerler yerel ekstrüzyon oranının yüksek olması durumunda biyet biyete alın kaynamanın daha kadar geç başlayıp daha geç bittiğini göstermiştir (Şekil 101, 102, 103). 3, 4, 5 ve 9 numaralı kalıp gözlerinde yapılacak geometrik değişiklik ile kalıp akış dengesi ve biyet biyete alın kaynama mesafesi diğer gözler gibi daha kısa yapılabilir. 4 numaralı kalıp gözündeki kusurun bitiş mesafesinin azaltılması her biyette atılacak hurda mesafesini etkileyecektir. Endüstriyel kalıp için yapılan tasarım önerileriyle bu mesafenin kısaltılabilme seçenekleri kalıp göz geometrilerinin değiştirilmesiyle irdelenmiştir.

Endüstriyel üretim denemesinde 4 numaralı kalıp gözü ile bu gözün beslediği profil kesit parçası oranı teorik olarak en yüksek değere sahiptir. Üretimde kalıp içi akış dengesi oluşurken göz geometrisi değişmeyeceği için bu gözün beslediği profil kesit parçasının açıklığı değişme eğilimine girmiştir. Kesit parçasının sınırını belirleyen boyuna kaynak dikişleri yanlara doğru kayarak yerel ekstrüzyon oranını azaltmayı ve diğer gözlerle yakınsamaya doğru bir yönelim göstermiştir (Şekil 95). Bu yanal akış ile boyuna kaynama çizgileri de tasarımda öngörülen pozisyondan ötelenmiştir. Yapısal profil üretiminin bir diğer önemli konusu da boyuna kaynama dikişlerinin pozisyonu ve kaynama kalitesidir. Kalıp gözü ile beslediği kesit parçası arasındaki oran kalıpta dengeli değilse boyuna kaynama pozisyonlarının da kaymasına ve kaynama kalitesinin de zayıflamasına sebep

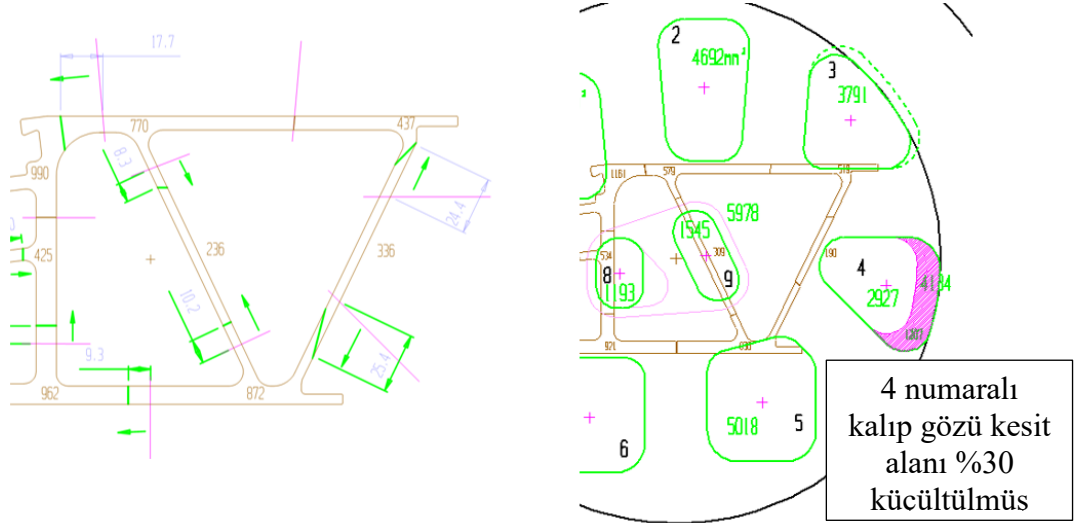
olmaktadır. Odacıklı yapısal profil üretimi genel uygulamasında biyet biyete alın kaynak kusuru kesilip ayrıştırılır, fakat direk ekstrüzyon ile üretilen odacıklı profilde boyuna kaynak dikişlerinden kaçınmak mümkün olmadığı için ezme ve genişletme testiyle kırma testine tabi tutularak uygunlukları onaylanır. Bu ekstrüzyon dikişlerinin de profilin montaj yapılırken uygulanan diğer birleştirme kaynak dikişlerinin olduğu yere denk gelmemesi gereklidir. MIG (gaz altı kaynağı), CMT (soğuk metal transferi kaynağı) veya TIG (argon kaynağı) ile yapılacak kaynakta ekstrüzyon dikişlerinin uygunsuzluğu üründe risk oluşturacaktır. Bu yüzden boyuna dikişler profil kesitinde kalıpta tasarlandığı pozisyonda olmalı ve müsaade edilen sınırlar içinde kalmalıdır. Endüstriyel uygulama yapılan profil kesitinde 4 numaralı gözlerdeki dikişler her iki yana kaymış ve vagon gövdesindeki birleştirme için yapılacak montaj kaynağının olduğu alana girmiştir (MIG kaynağı yapılacak alana doğru kaymıştır). Buna da 4 numaralı kalıp gözü ile beslediği alanın diğer yerel ekstrüzyon oranlarına göre yüksek olması sebep olmuştur. Bu oranı düşürebilmek ve diğer gözler ile dengeleyebilmek için iki değişiklik önerisi hazırlanıp sayısal modellemesi yapılmış ve sonuçlar irdelenmiştir.

3.5. Endüstriyel Kalıp Tasarım Değişiklikleri ve Sayısal Modellemesi

İlk öneri olarak 4 numaralı kalıp gözü küçültülerek yerel ekstrüzyon oranı diğer gözler ile dengelenmelidir. Göz kesit alanı % 30 oranında küçültülerek üretimde biyet biyete alın kaynakma ve üretim hızına etkisi incelenmiştir (Şekil 110, 111).



Şekil 110. 4 numaralı kalıp gözü ve beslediği profil parçacığı



Şekil 111. 4 numaralı kalıp gözü kesit alanı % 30 daraltılmış hali

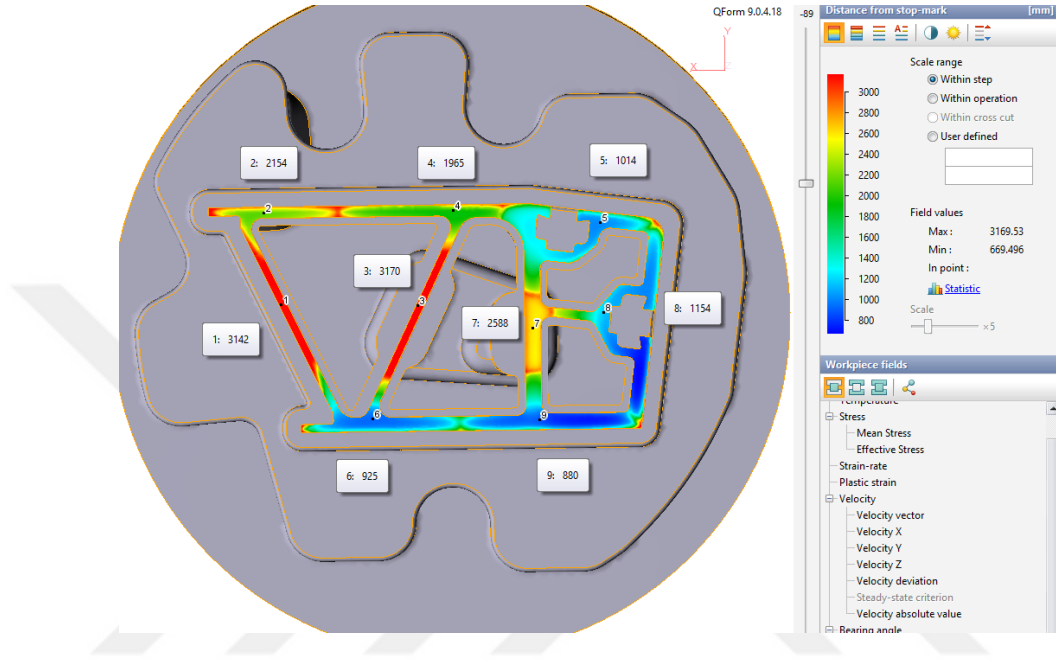
Kalıp gözünün daraltılması gerçek kalıp üzerinde ancak kaynak ile doldurulup yeniden işlenerek yapılabilir. Bunun yerine kalıp tasarımının 3d çizimi üzerinde gerekli tasarım değişiklikleri yapılmıştır. Endüstriyel kalıp ile yapılan üretim deneyi neticesinde kalıp tasarımı daha yeni bir sürümüne sahip olan Q-form programı kullanılarak yeniden sayısal modelleme analizi yapılmıştır. Ayrıca yeni kalıp tasarımının sayısal modellemesinde de Q-form programı kullanılmıştır.

Endüstriyel denemede kalıptan üretilen profillerin makro dağılımı sonrası yapılan analizine göre biyet biyete alın kaynama kusurunun tüm gözlerde tamamen bittiği mesafe 3407 mm olarak tespit edilmişti (4 numaralı gözde en uzun). Simülasyon neticesine göre 4 numaralı kalıp gözündeki mesafe 3169 mm olarak hesaplanmıştır. Gerçek mesafeyle simülasyon mesafesinin yakın değerlerde olduğu ve sayısal modellemenin belirli bir yanılma ve payıyla kullanılabileceği değerlendirilebilir.

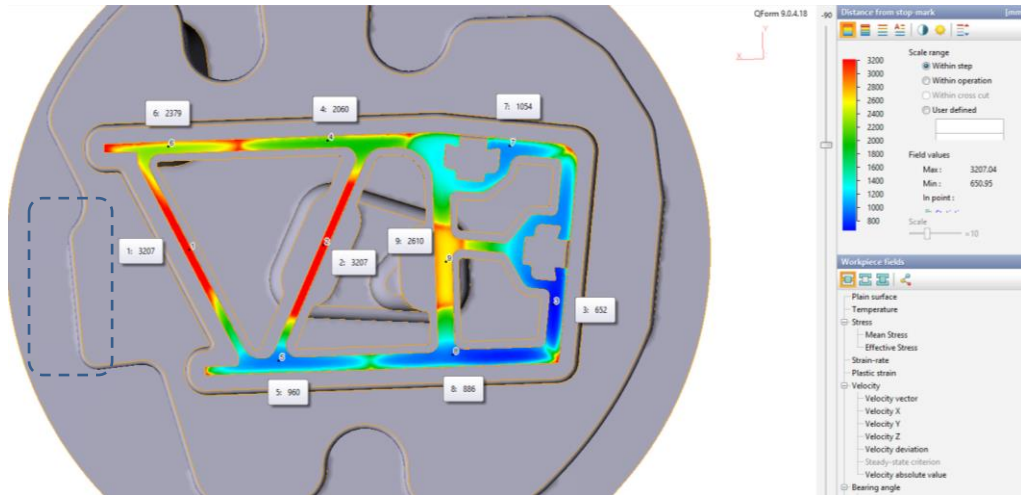
Yerel ekstrüzyon oranını dengeleyebilmek için 4 numaralı kalıp gözünün geometrisi değiştirilerek göz kesit alanı ve dolayısıyla hacmi % 30 daraltılarak aynı şartlarda yeniden sayısal modelleme yapılmış ve sadece 4 numaralı kalıp gözünde yapılan bu değişikliğin etkisi incelenmiştir.

Şekil 112 ve Şekil 113'te görüleceği gibi 3142 mm olan kalıp durma izinden itibaren olan biyet biyete alın kaynama mesafesi 3207 mm'ye çıkmıştır. Kalıp gözünün geometrisi küçülmesi ve dolayısıyla beslediği kesit parçasığına olan yerel ekstrüzyon oranı azalmasına rağmen biyet biyete alın boyuna kaynama mesafesine olumlu etki yapmamış hatta % 2 oranında mesafenin uzadığı görülmüştür. Bu sonuç küçülen kalıp gözlerinin

biyet biyete kaynama mesafesinin azalmasına olumlu etkisiyle çelişmektedir. Diğer kalıp gözlerine oranla daha fazla küçülen kalıp gözündeki biyet akışı yavaşlamış ve ölü bölgelerin etkisinin arttığı söylenebilir. Kalıp gözlerinde yapılacak değişikliğin genel akış dengesini gözeterek yapılması gerektiği görülmüştür.



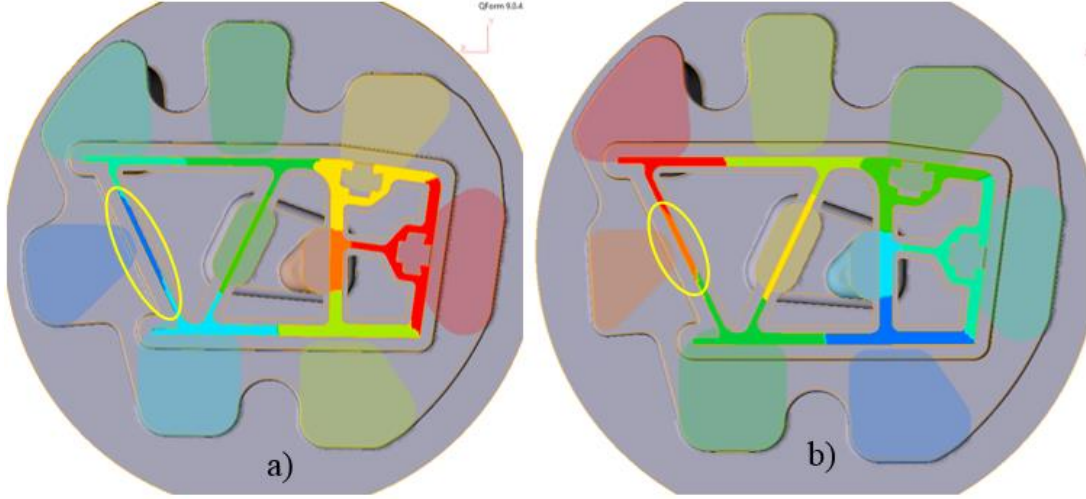
Şekil 112. İlk kalıp tasarımı (referans kalıp) biyet biyete alın kaynama mesafesi



Şekil 113. Kalıp göz alanı küçültülen kalıptaki biyet biyete alın kaynama mesafeleri

İlk olarak yapılmış olan referans kalıpta 4 numaralı kalıp gözünün beslediği alan ayak önlerindeki yanal akıştan dolayı daha fazladır. Revize edilen kalıpta ise kalıp

gözünün küçülmesiyle kalıp ayak önlerindeki yanal akış ta azalarak beslenen profil parçacığının kesit alanını azaltmıştır. Boyuna kaynak dikişleri istenen pozisyona yakın oluşmuş fakat biyet biyete alın kaynama mesafesi azalmamıştır (Şekil 114).

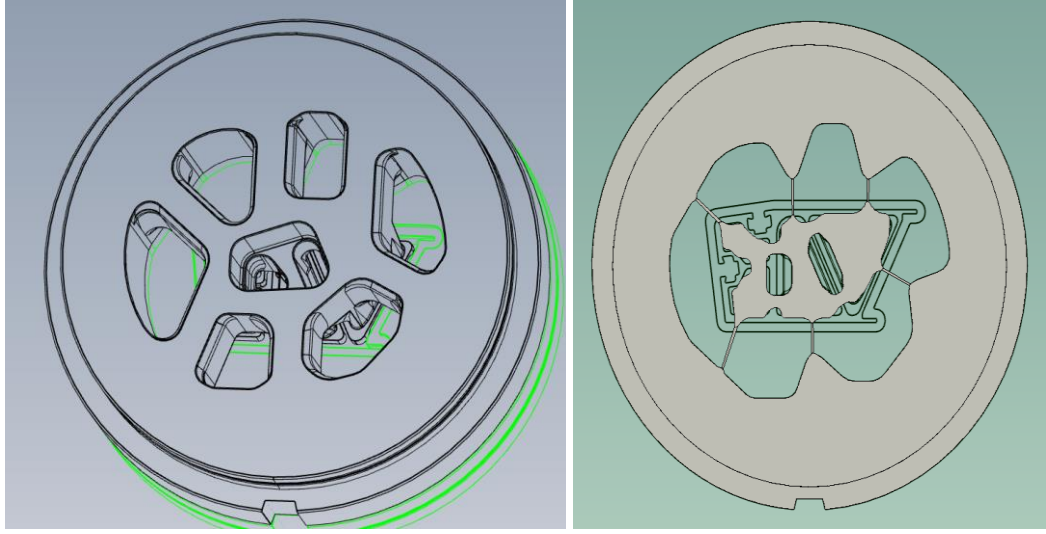


Şekil 114. a) Referans kalıp, b) 4 numaralı kalıp gözü küçültülmüş kalıp

Yeni kalıp yapılırken hem göz geometrileri değiştirilebilir hem de göz hacimleri küçültülerek ve yerel ekstrüzyon oranları düşürülerek dengelenir. Bu şekilde tüm gözlerdeki enine kaynama mesafesinin daha erken başlayıp yakın bitmesi sağlanabilir.

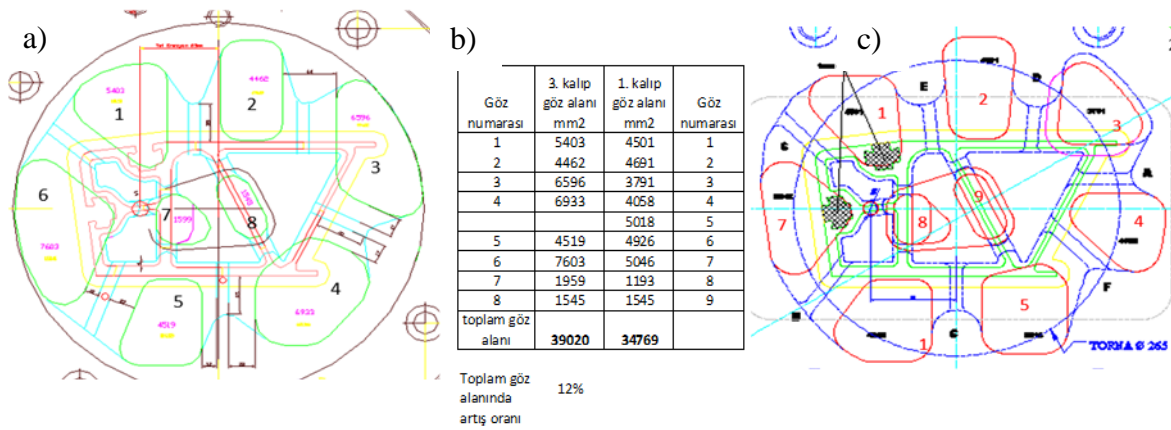
Hem endüstriyel bulgular hem de modelleme neticesinde akış dengesinin daha iyi olacağı düşüncesiyle yeni bir kalıp tasarımı yapılarak sayısal modellemeyle biyet biyete kaynama mesafesi analiz edilmiştir. Yeni kalıp tasarımı yapılarak 4 numaralı kalıp gözü ortadan kaldırılır ve bunun yerine 9 göz değil 8 gözlü kalıp yapılarak hem kalıp gözü, profil kesit alanı dengesi saplanır hem de boyuna kaynak dikişlerinin köşelerdeki MIG kaynağı dikişlerinin olduğu yere gelme riski ortadan kaldırılabilir. Yeni kalıpta 3, 4, 5 numaralı gözleri yerine yeni kalıpta iki kalıp gözlü kalıp gözlü tasarım Şekil 115'de verilmiştir.

Yapılan tasarım önerileri 3 boyutlu kalıp tasarımına aktarılarak sayısal modelleme yapıp biyet biyete alın kaynama mesafesindeki değişim irdelenmiştir. Kalıp tashihati veya yeni kalıp yapımı sayısal modelleme analiz neticesine göre uygulanabilir.



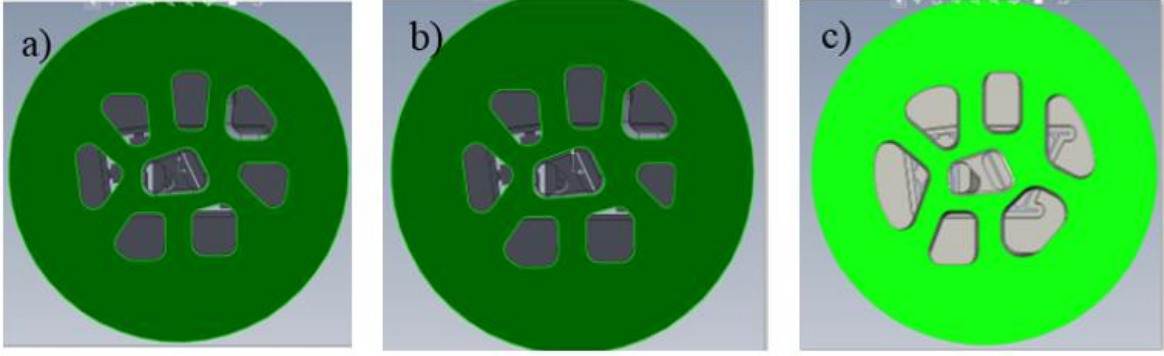
Şekil 115. Sekiz gözlü kalıp tasarımı ve boyuna kaynak dikiş pozisyonları

Tasarlanan yeni kalıpta kalıp göz âdeti 9'dan 8'e düşürülmüş fakat toplam kalıp göz alanı (dolayısıyla da hacmi) % 12 oranında arttırılmıştır (Şekil 116). Bu tasarımdan beklenen enine kaynama mesafesinin artması ve boyuna kaynak dikişlerinin profilin kesitinde mahsurlu olan yerden uzaklaştırılmasıdır.



Şekil 116. 8 ve 9 gözlü kalıp karşılaştırması, a) 8 gözlü kalıp, b) kalıp göz alanları karşılaştırma, c) 9 gözlü kalıp tasarımı

Endüstriyel kalıbın ilk tasarımı, 4 numaralı kalıp gözünün kesit alanının %30 oranında azaltıldığı düzeltilmiş kalıp ve yeni tasarlanan 8 gözlü kalıp Şekil 115'te verilmiştir.



Şekil 117. Endüstriyel kalıp için yapılan tasarımlar, a) ilk kalıp, b) 4 numaralı gözü küçültülmüş kalıp, c) kalıp gözü 9 dan 8 e indirilen daha büyük gözlü kalıp tasarımı

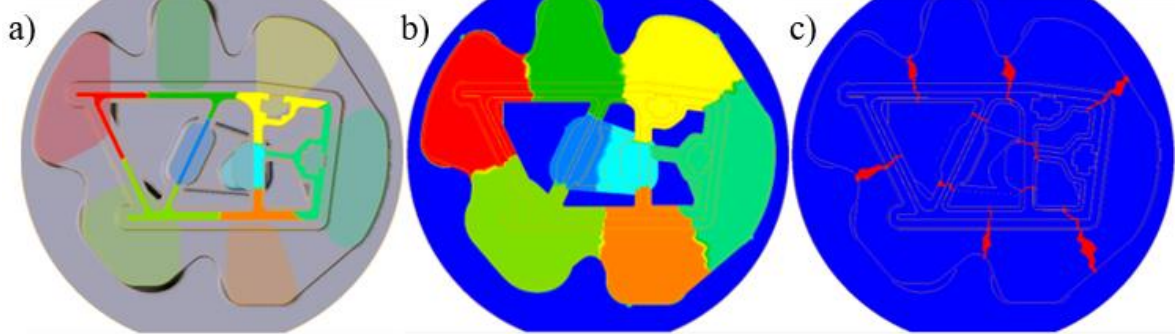
Yeni tasarlanan göz sayısı azaltılmış kalıbın gözlerinden alüminyum akışı, boyuna kaynak dikişi pozisyonları ve kalıp gözlerinin besledikleri profil parçacıkları Şekil 118’da verilmiştir.

Kalıp göz boyutları büyütülen ve sayısı azaltılan bu kalıbın analizinde biyet biyete alın kaynama mesafesi büyüyen gözler ile artmış ve 3906 mm ye çıkmıştır (Şekil 119). Toplam kalıp göz alanının % 12 artmasına karşılık biyet biyete alın kaynama mesafesi 3142 mm’den 3906 mm’ye çıkarak % 20 artmıştır. Boyuna kaynak dikişleri istenen pozisyonda oluşmuş ve kullanım açısından riskli olan bölgeden uzaklaşmıştır. Biyet biyete alın kaynama kusurunun mesafesinin uzun olduğu kalıp gözleri kalıbın merkezindeki diğer gözlere göre küçük olan ve akış hızı ve ölü bölge açısından problemlili olan gözlerdir. Bu gözlerin tasarımı kalıbın genel akış dengesi ve beslemeleri dikkate alınarak iyileştirilmelidir.

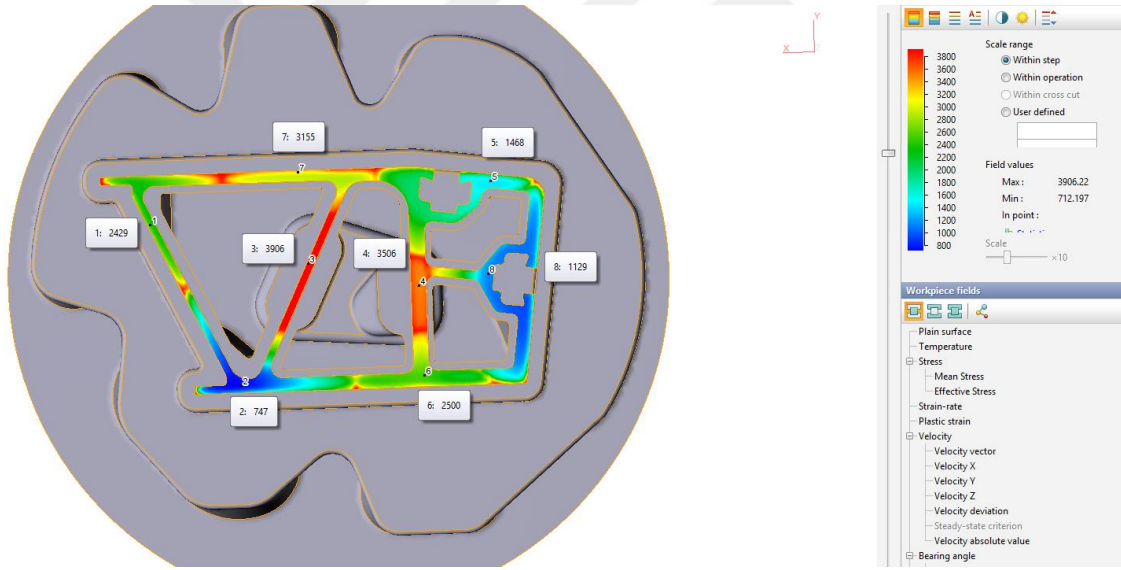
Vagon gövdesinde kullanılan yapısal profil için yapılan ve kısmi revize edilen kalıp ile gözleri büyütülüp sayısı azaltılan kalıbın biyet biyete alın kaynama evrimi ve grafiği Şekil 120’de verilmiştir. Buna göre sadece bir kalıp gözünün geometrisinin değiştirilmesi, kalıp enine kaynama mesafesinde belirgin bir iyileşmeye sebep olmamış hatta kötüleştirmiştir. Bunun için daha köklü tasarım değişiklikleri gereklidir. Bu tasarım değişikliği kalıp göz geometrisinin küçültülmesinin tek başına yeterli olmadığını göstermiştir.

Yeni yapılan 8 gözlü kalıp tasarımıdaysa biyet biyet mesafenin artan kalıp göz hacmiyle beraber arttığı görülmüştür. Kalıp tasarımı genel olarak önceki kalıp tasarımına benzemekle birlikte her bir gözün biyet biyete alın kaynama evrimi öncekilerden tamamen

değişmiştir. Kalıbın merkezindeki gözler eski malzemenin en geç kesitten temizlendiği gözlerdir.



Şekil 118. 8 gözlü yeni tasarım kalıpta a) kalıp gözleri ve besledikleri profil parçacıkları, b) kaynama odasında malzeme akışı, c) boyuna kaynak dikiş pozisyonları



Şekil 119. 8 gözlü kalıbın biyet biyete alın kaynama mesafeleri

Endüstriyel denemede kalıp göz kesit alanı / profil kısmi kesit alanı arasındaki oranın bu kalıptaki 9 farklı gözde 1.58 ile 3.91 arasında değiştiği görülmüştür. Genel hesap için kullanılan deneysel 1.5 oranı, her bir kalıp için biyet başından alınacak numuneler makro test ile analiz edilerek doğrulanması gerekir. Yapısal olmayan profillerde ve profilin kullanım yerine bağlı olarak enine kaynama mesafesi tahmini için deneysel değer olan 1.5 katsayısı kullanılabilir fakat özellikle yapısal profil üretiminde kusursuz ürünün (her bir profil kısmi kesit parçacığının kusurdan arınmış) belirlenebilmesi için kalıp duruş izinden

itibaren alınacak numunelere makro test uygulanması zorunludur. Ancak uygulanacak makro test ile enine kaynama mesafesinin gerçek evrimi ve kesitten tamamen temizlendiğinin tespiti yapılabilir.

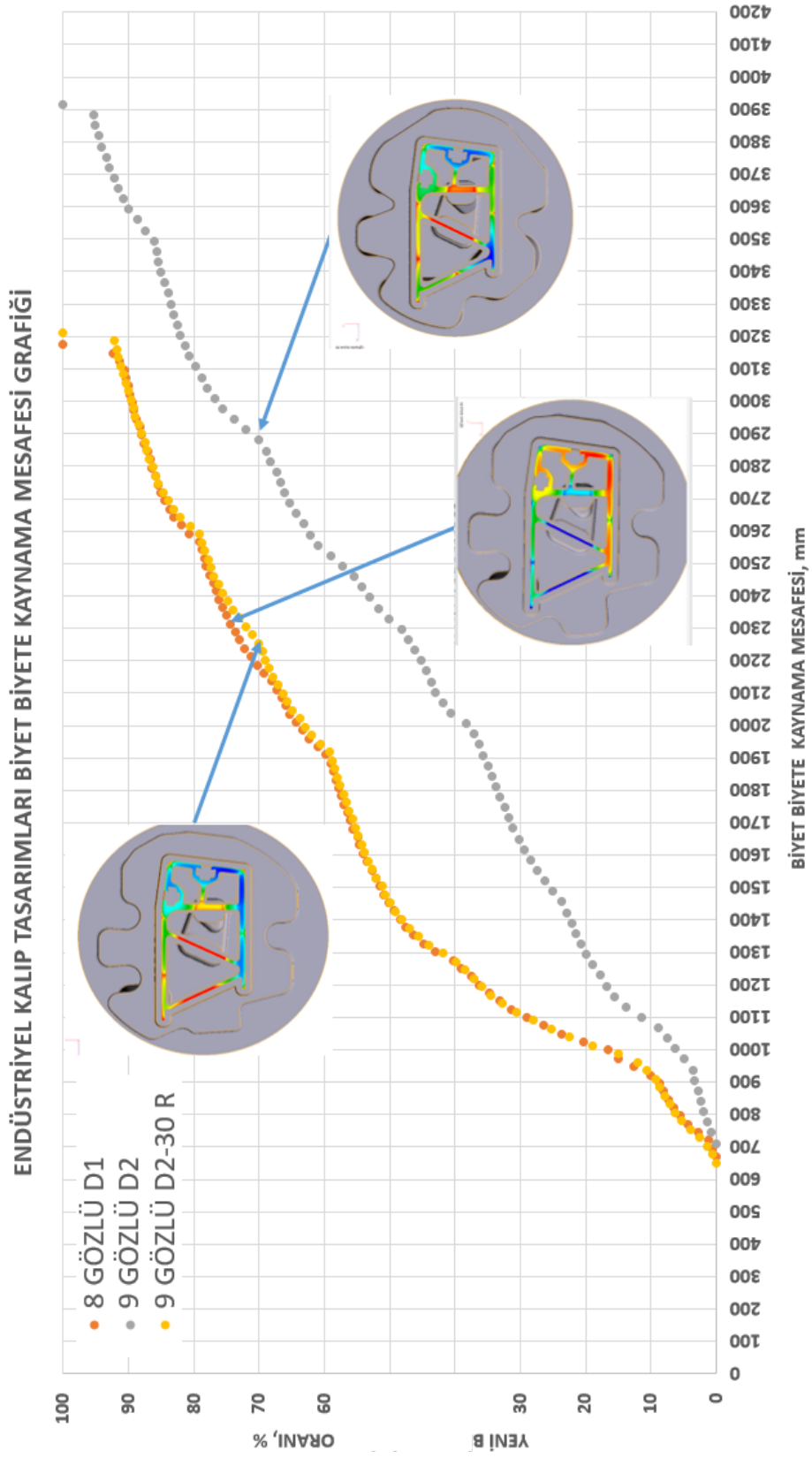
Hem basit kutu için yapılan dört farklı kalıp tasarımı, hem de endüstriyel olarak tasarlanan ve üretilen tramvay gövdesinde kullanılan profilin kalıp tasarımında kalıp geometrisinin biyet biyete alın kaynama mesafesinde etkili olduğu görülmüştür. Bununla birlikte biyet biyete alın kaynama kusurunu azaltmak için yapılacak kalıp tashihatı veya tasarım değişiklikleri üretimin hızını ve akış dengesini olumsuz etkileyebilmektedir.

Kalıp gözlerindeki alüminyum hacmi ile bu gözün beslediği yerel profil parçacığı arasındaki oran idealde tüm gözlerde eşit veya birbirine yakın olmalıdır. Kalıp tasarımında gözlerde akış dengesi, kaynama havuzunda akış dengesi ve profil kesitinde akış dengesini sağlayacak şekilde kalıp tasarımı yapılmalıdır. Profilin homojen olmayan geometrisi bu konuda kalıp tasarımcılarını kısıtlamakta ve zaman zaman biyet biyete alın kaynama mesafesini öncelikli iyileştirilmesi gereken parametre olmaktan uzaklaştırmaktadır.

Bu çalışma eski biyetin tüm profil kısmi kesit parçacıklarından tamamen bitip yeni biyetin profil kesitlerini kaplama hızının her bir gözde farklı olduğunu göstermiştir.

Yapısal profil üretiminde enine kaynama mesafesinin tayininde eski biyetin tüm gözlerden tamamen arındırılma mesafesi belirlendikten sonra ilave bir emniyet mesafesi eklenmesi tercih edilmektedir. Bu ekstrüzyon şartlarından gelen değişkenliğin oluşturacağı riski ortadan kaldıracaktır.

Enine kaynama mesafesi tayininde makro test en etkili ve gerçek neticeyi veren yöntemdir fakat bunun yanında geliştirilen ekstrüzyon analiz programlarıyla enine kaynama mesafesinin tayini sayısal modelleme ile de mümkün hale gelmiştir. Sayısal modellemelerde gerçek üretim işlemini yansıtmaya oranına ve üretim sırasındaki değişkenliğin etkisinin simüle edilebilmesine bağlı olarak daha sağlıklı neticeler alınabilecektir.



Şekil 120. Endüstriyel profil için yapılan kalıp tasarımlarında biyet biyete alın kaynama mesafesi grafiği

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada geometrik parametrelerin alüminyumun direk ekstrüzyonu sırasında oluşan enine kaynama kusurunun oluşum mekanizması üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Bu sebeple, basit bir kutu profili için değişik kalıp göz geometrisine sahip dört farklı kalıp tasarlanıp sayısal yöntemlerle modellenerek enine kaynama davranışı incelenmiştir. Sonrasında bu kısımdan elde edilen bulgular yardımıyla, endüstride vagon gövde tabanında kullanılan çok odacıklı karmaşık şekilli yapısal bir profilin hem endüstriyel denemesi ve analizi yapılmış hem de sayısal modellemeyle tasarım önerileri çalışılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Enine kaynama mesafesinde kalıp göz tasarımı göz boyutları ve göz kesit alanı profil kısmı kesit alanı oranı ana belirleyici parametrelerden biri olmuştur. Endüstriyel kalıpta bu oranın en yüksek olduğu 4 numaralı kalıp gözünde enine kaynama mesafesi en uzun, (yerel ekstrüzyon oranı 12.9, enine kaynama mesafesi 3407 mm), en düşük olduğu 8 numaralı gözde de mesafe en kısa olmuştur (yerel ekstrüzyon oranı 2.81, enine kaynama mesafesi 1920 mm).
2. Enine kaynama mesafesi tayininde daha önceki çalışmalarda hesaplanan enine kaynama mesafesinin 1.5 katı olarak tespit edilen deneysel enine kaynak mesafesi (kalıp göz hacmi / profil kısmi kesit alanı = enine kaynama mesafesi), bu çalışmada kullanılan endüstriyel kalıpta 1.58 ile 3.91 arasında değiştiği görülmüştür. Bu sebeple literatürde verilen deneysel bağıntıların tahmini değer olarak kullanılabileceği ancak, her bir profil kalıbı ve her bir kalıp gözü için ayrı ayrı doğrulanması gerektiği gerçeği ortaya çıkmaktadır.
3. Basit kutu profili için tasarlanan küçük gözlü kalıpta (kalıp 1) kalıp göz alanı 20916 mm² iken enine kaynama mesafesi 2530 mm dir. Toplam kalıp göz kesit alanı % 49.8 artarak 41960 mm ye çıktığında enine kaynama mesafesi, 4520 mm ye çıkarak % 56 artmıştır. Enine kaynama mesafesini en az olabilmesi için kalıp tasarımında göz hacimleri olabildiğince küçültülmelidir. Fakat bu durumun, üretim hızının ve veriminin düşmesine sebep olabileceği de unutulmamalıdır.
4. Çok gözlü kalıplarda kalıp gözlerinin gelen akış dengesini bozmayacak şekilde küçültülmesi gereklidir. Yapılan yeni tasarımda kalıp gözlerinin toplam alanının artması enine kaynama mesafesini arttırmıştır. Endüstriyel kalıp tasarımında

sadece bir gözün % 30 oranında küçültülmesi ise enine kaynama mesafesini kısaltmamış fakat % 2 oranında arttırmıştır (Şekil 120). Yerel ekstrüzyon oranını bire bir eşitlemek mümkün değildir fakat birbirine olabildiğince yakın olması gereklidir.

5. Profildeki hurda mesafesinin tayininde her bir kalıp gözü farklı davrandığı için kalıbın tüm gözlerindeki akışlarının teker teker analiz edilmesi gerekliliği bu çalışmada da görülmüştür. Profilin tüm kesitinin kusursuz kısmının belirlenebilmesi kısmi kesit parçacıklarındaki en uzun enine kaynama mesafesine bağlıdır.
6. Simetrik profillerin eşit gözlü kalıp tasarımlarında kalıp göz alanlarının küçük seçilmesi enine kaynama mesafesini düşürmekte fakat oluşan karşı direnç profilin akışını yavaşlatmaktadır.
7. Asimetrik ve farklı et kalınlığına sahip kalıp tasarımlarında sabit kalıp göz alanı/profil kesit alanı oranı kullanmak her zaman mümkün olmamaktadır. Dengeli bir akışın sağlanabilmesi profilin kesit ölçü kararlılığı için daha öncelikli olmaktadır.
8. En aza indirgenmiş enine kaynama mesafesi için; kalıp gözleri ile o gözden beslenen kısmi kesit parçacıkları arasındaki oran birbirine yakın olmalıdır. Farklı olan kalıp gözleri, tasarım değişikliği ile optimize edilebilir.
9. Profil kısmi kesit parçacıklarında yeni biyet evrimi aşamalı gerçekleşir ve ölü bölgelerdeki malzeme akışı köşelerde en az seviyede de olsa devam eder.
10. Yapılan 31 biyetlik üretimde üretim parametrelerin eşit olmadığı ve biyetler arasında az da olsa farklılıkların olduğu görülmüştür. Bu farklılıkları enine kaynama mesafesine etki edebilir. Bunun için tüm gözler için yapılan makro analiz neticesinde tespit edilen enine kaynama kusurunun bitiş mesafesine emniyet payı ilave edilmesi güvenli bir yaklaşımdır.
11. Enine kaynama mesafesi tayininde ekstrüzyon işleminin sayısal modelleme sonuçlarının kullanılabilceği gösterilmiştir. Gerçek neticeler ile modelleme neticelerinin karşılaştırılarak çalışmaların yapılması, kalıp tasarımı aşamasında üretim hurda miktarlarının tayini ve optimizasyonu için yararlı olmuştur. Ancak gerçek enine kaynama mesafesi tayini için en güvenli yöntemin makro dağlama yöntemi olduğu unutulmamalıdır.

5. ÖNERİLER

Bu çalışmada elde edilen bulgular ve çıkarılan sonuçlar ışığında mevcut çalışmanın kapsamını genişletmek için aşağıdaki öneriler yapılmıştır:

1. Simülasyon ile etkileri ortaya konan basit kutu kalıbındaki enine kaynama mesafesi gerçek kalıplar yapılarak doğrulanabilir.
2. Alüminyum vagon gövdesinde kullanılan deneyde üzerinde çalışılan endüstriyel kalıp için önerilen biyet biyete alın kaynama mesafesini azaltacak tasarım değişiklikleri gerçek kalıp üzerine kalıp üzerine işlenerek ve sayısal modellemesi yapılan yeni kalıp fiili olarak üretilerek çalışmanın doğrulaması yapılabilir.
3. Kalıp gözlerinin kalıp merkezine olan uzaklıklarının enine kaynama mesafesi üzerindeki etkileri araştırılabilir.
4. Alnı oksitten arındırılarak ideale yakın şartlardaki biyetler ile yapılan ekstrüzyon işleminde enine kaynama davranışı incelenip bu çalışmanın sonuçlarıyla karşılaştırılabilir.
5. Kalıp gözleri, kalıp ayaklarının altı, kaynama odası ve ön havuzdaki ölü bölgelerin ayrı ayrı enine kaynama mesafesine ve ürün kalitesine etkileri incelenebilir.
6. Farklı alüminyum alaşımlarının (örneğin 6060, 6005, 6082, 7020 ve 7050) enine kaynama mesafesine ve ürün kalitesine etkileri araştırılabilir.
7. Düz kalıp kullanılarak üretilen karmaşık açık profillerle, zıvanalı kalıp kullanılarak üretilen karmaşık kapalı profillerin enine kaynama davranışları incelenebilir.
8. Kovan çapından daha büyük profillerin üretilebilmesi için alüminyum girişinden sonda açılı olarak alüminyum haznesi büyütülen kalıplardaki enine kaynama davranışı araştırılabilir.

6. KAYNAKLAR

1. <https://www.aluminum.org/aluminum-advantage>. 5 Ağustos 2019.
2. Sustainability of the European Aluminum Industry 2010 Report, European Aluminium Association, Brüksel, Belçika, 2011.
3. Aluminum Extrusion Manual, Third Edition. AEC Printings, 1998.
4. Sofuoğlu H., Metal Şekil Verme Proseslerini Modellemede Kullanılan Bir Model Malzemesi: Plasticine, Birinci Ulusal Deneysel Mekanik Sempozyumu, Eylül 1994, İstanbul, Türkiye, 259-267.
5. Altan, T., Oh, S.I. ve Gegel, H. L., Metal Forming Fundamentals and Application, Harold L. Gegel, Sixth Printing, American Society For Metals, Metal Park OH 44073, 1995.
6. Aluminum Extrusion Manual - 4th Edition [9-A], AEC, <http://www.nxtbook.com/nxtbooks/aluminumextruders/aluminumextrusionmanual4/index.php#/156>, 22.05.2017.
7. Saha, K.P., Aluminum Extrusion Technology, First Printing, ASM International, Ohio, 57, 2000.
8. Bauser, M., Sauer, G., Siegert, K., Extrusion, Second Edition, ASM, International Materials Park, Ohio 44073-0002:180-183, 2006.
9. Sönmez, H., Metal Ekstrüzyonu, Eğitim Yayınları A.Ş., İstanbul, 1989.
10. Extrusion Lines For Heavy Metals, SMS Meer Brochure, Germany, 2011.
11. Ayan, S. M., Alüminyum Ekstrüzyon Profil Tasarım Prensipleri ve Ürün Tasarım İyileştirme Tavsiyeleri -Pratik İyileştirme Önerileri, 6. Alüminyum Sempozyumu, Ekim 2013, İstanbul, Türkiye, Bildiriler Kitabı: 214-225.
12. Extrusion Tooling Made of Marker Hot Work Steel, Schmith+Clemens Edelstahlwerk Brochure, 2005.
13. Valberg, H., Modified Classification System for Metal Flow Adapted to Unlubricated Hot Extrusion of Aluminum and Aluminum Alloys, ET'96 Seminar, May 1996, Chicago, USA, Extrusion Technology Seminar Proceedings, II: 95-100.
14. <http://www.qform3d.com/products/qfextrusion>, 20 Ağustos 2019.
15. Sofuoğlu H., Gedikli H., Physical And Numerical Analysis of Three Dimensional Extrusion Process, Computational Materials Science, 31 (2004) 113-124.

16. Sofuoğlu H., Rasty J., Flow Behavior of Plasticine Used In Physical Modeling of Metal Forming Processes, Tribology International, 33 (2000) 523-529.
17. Sofuoğlu H., Rasty J., Three-Dimensional Analysis of Extrusion Process By Utilizing The Physical Modeling Technique, Journal of Energy Resources Technology-Transactions of The ASME, 115 (1993) 32-40.
18. Sofuoğlu H., Özer A., İki Boyutlu Ekstrüzyon Prosesinin Model Malzeme Kullanılarak Simulasyonu, XII. Ulusal Mekanik Kongresi, Eylül 2001, Konya, Türkiye, Bildiriler Kitabı: 669-678.
19. Sofuoğlu H., Metal Şekil Verme Proseslerinin Analizinde Yeni Bir Yöntem, Altıncı Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu, Eylül 1993, Trabzon, Türkiye, Bildiriler Kitabı: 603-610.
20. Sofuoğlu H., Rasty J., Three-Dimensional Analysis of Extrusion Process By Utilizing The Physical Modeling Technique, Engineering Systems Design and Analysis Conference, Temmuz 1992, İstanbul, Türkiye, Bildiriler Kitabı, 47,1, 377-386.
21. Sofuoğlu H., Rasty J., On The Validity of Plasticine as A Modeling Medium For Simulation of Metal Forming Processes, Society for Experimental Mechanics Spring Conference on Experimental Mechanics, June 1990, Albuquerque, ABD, Bildiriler Kitabı: 638-639.
22. Sofuoğlu H., Rasty J., Flow Characteristic of Various Types of Plasticine Used In Physical Modeling of Large Deformation Processes, Society for Experimental Mechanics Spring Conference on Experimental Mechanics, Haziran 1990, Albuquerque, ABD, Bildiriler Kitabı: 34-43.
23. Aluminium Extrusion Defects V.2.0, Rio Tonto Alcan, USA, 2015.
24. Ayan, S. M., Çınar, Y., Yörüker, B., Öztürk, H., Keleş, Ö. ve Sofuoğlu, H., Yapısal Profil Üretiminde Billet Billete Kaynama Karakteristiğinin İncelenmesi ve Kalıp Geometrisinin Enine Kaynama Mesafesine Etkisinin Analizi, 7. Alüminyum Sempozyumu, Ekim 2015, İstanbul, Bildiriler Kitabı: 508-516.
25. Akeret, R., Properties of Pressure Welds in Extruded Aluminum Alloy Section, The Effective and Economic Use of The Special Characteristics of Aluminum and Its Alloys, Sept 1972, Zurich, İsviçre, Bildiriler Kitabı: 95-100.
26. Akeret, R., Extrusion Welds Quality Aspects are Now Center Stage, ET'92 Seminar, Chicago, USA, May 1992, Extrusion Technology Seminar Proceedings, I, 319-336.
27. Oosterkamp, A., Oosterkamp, L. Djapic ve Nordeide, A., Kissing Bond Phenomena in Solid –State Weld of Aluminium Alloys, Welding Research, 8 (2004) 225-231.
28. Veikko, M., Johannes I. ve Jowet, W. C., Transverse Weld Defect, ET'96 Seminar, May 1996, Chicago, USA, Extrusion Technology Seminar Proceedings, I, 89-100.

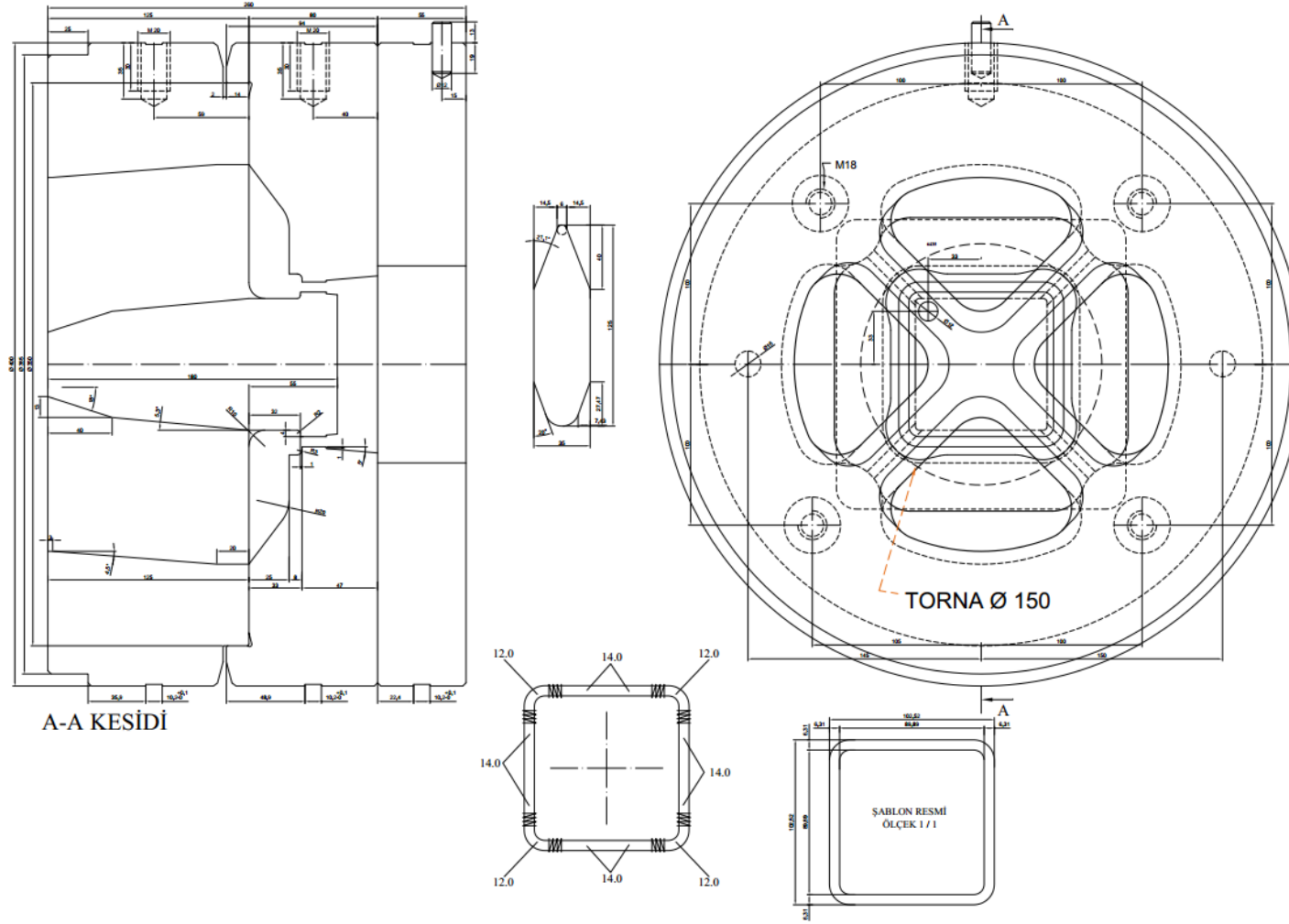
29. Rijkom, J. K., ve Bolt, P. H., A Review of New Approaches And Technologies In Extrusion Welds Related To The Background of Existing Knowledge, ET'00 Seminar, May 2000, Wauconda, USA, Extrusion Technology Seminar Proceedings, I, 249-260.
30. Li, Q., Harris, C., ve Jolly, M. R., Finite Element Modelling Simulation of Transverse Welding Phenomenon In Aluminium Extrusion Process, Science Direct, Material and Design, 24 (2003) 493-496.
31. Jonannes, V.I., C.W., Jowett, ve R.F., Dickson, Temperature Distribution in Aluminum Extrusion Billets, ET'96 Seminar, Chicago, USA, May 1996, Extrusion Technology Seminar Proceedings, II, 89-94.
32. Mahmoodkhani, Y., Wells, M. ve Poole, W. J., Modelling the Formation of Transverse Welding During Billet-on-Billet Extrusion, Materials, 2014, Bildiriler Kitabı: 7, 3470-3480.
33. Da Silva, T., The Extrusion of Two-Pieces Billets, ET'16 Seminar, May 2016, Chicago, USA, Extrusion Technology Seminar Proceedings, I, 239-253.
34. Wernick, S., Pinner, R., and Sheasby P.G., The Surface Treatment and Finishing of Aluminium of Its Alloys, Fifth edition, I, ASTM International. Metal Park Ohio USA, 5-8, 1987.
35. Segatori, A, Charge Weld and Process Performance, Technical Course-Process Analysis and Optimisation, Bologna, 2011.
36. Jowett, C., Adams, J., Lea, G., Huff, O. A. ve Fossil, N., Scrap Allocation, ET'08 Seminar, May 2008, Orlando, USA, Extrusion Technology Seminar Proceedings, I, 223-244.
37. Saha, P. K., Quality Issues of Hollow Extrusion For Aerospace Application, ET'08 Seminar, May 2008, Orlando, USA, Extrusion Technology Seminar Proceedings, I, 441-458.
38. Pinter, T., Antonios, D., Reggiani, B. ve Gamberoni, A., Charge Weld Scrap Minimization By Means of Dead Metal Flow Control In Die Design, ET'16 Seminar, May 2016, Chicago, USA, Extrusion Technology Seminar Proceedings, I, 827-845.
39. Bakker, A.J., Werkhoven, R.J. ve Nolle, R., Influence of Die Geometry on Charge Weld Evolution, ICEB 2013 Seminar, October 2013, Dortmund, Germany, International Conference on Extrusion and Benchmark Seminar Proceedings, 57-64.
40. Li, Q., Harris, C. ve Jolly, M. R., FEM Investigations For Practical Extrusion Issues, Extrusion Process For Complex 3-D Geometries; Pocket Designs of Die: Transverse Weld Phenomenon, ET'04 Seminar, May 2004, Wauconda, USA, Extrusion Technology Seminar Proceedings, II, 151-169.

41. Reggiani, B., Sagetori, A., Donati, L. ve Tomesani, L., Prediction of Charge Weld In Hollow Profiles Extrusion By FEM Simulations And Experimental Validation, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 11, 69 (2013) 5-8..
42. TS EN 13981-1, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları-Yapısal Demiryolu Uygulamaları İçin Mamuller-Muayene ve Teslim İçin Teknik Şartlar, TSE, Ankara, Nisan 2004.

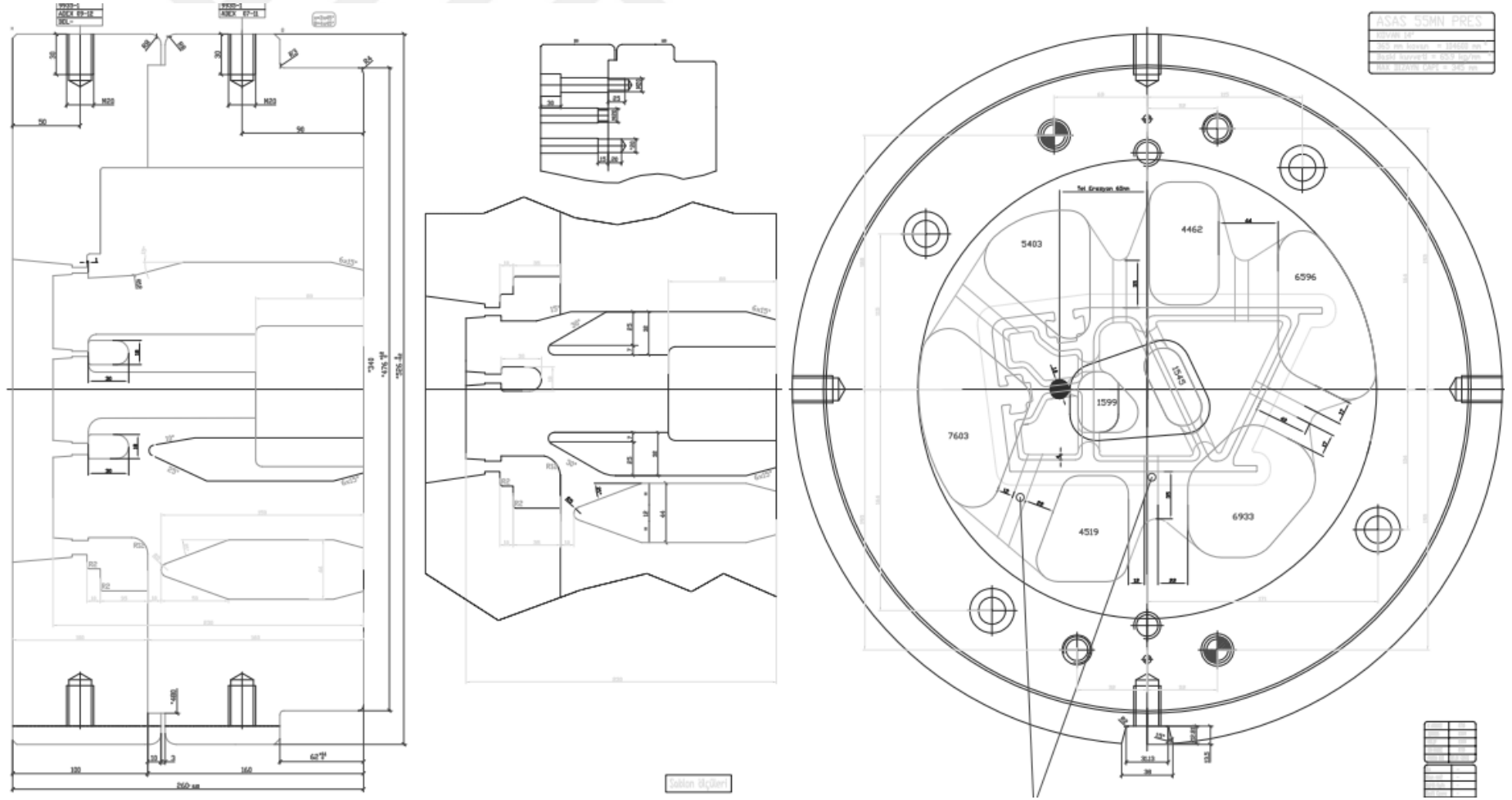


7. EKLER

Ek 1. 100x100x6 mm'lik Kutu Profil Kalıp Tasarımı



Ek 2. Vagon Gövdesinde Kullanılan Endüstriyel Profilin Kalıp Tasarımı



Ek 3. 6000 Serisi Alüminyum Alaşımları Künyasal Bileşim tablosu (TS EN 573-3, Ocak 2010)

Table 6 — Aluminium alloys — 6 000 series — Al MgSi (continued)

Alloy designation		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Ga	V	Remarks	Others ^a		Aluminium min.
Numerical	Chemical symbols													Each	Total ^b	
EN AW-6081	EN AW-AI Si0,9MgMn	0,7-1,1	0,50	0,10	0,10-0,45	0,6-1,0	0,10	-	0,20	0,15	-	-	-	0,05	0,15	Remainder
EN AW-6082	EN AW-AI Si1MgMn	0,7-1,3	0,50	0,10	0,40-1,0	0,6-1,2	0,25	-	0,20	0,10	-	-	-	0,05	0,15	Remainder
EN AW-6082A	EN AW-AI Si1MgMn(A)	0,7-1,3	0,50	0,10	0,40-1,0	0,6-1,2	0,25	-	0,20	0,10	-	-	e	0,05	0,15	Remainder
EN AW-6101	EN AW-AI MgSi	0,30-0,7	0,50	0,10	0,03	0,35-0,8	0,03	-	0,10	-	-	-	0,06 B	0,03	0,10	Remainder
EN AW-6101A	EN AW-AI MgSi(A)	0,30-0,7	0,40	0,05	-	0,40-0,9	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,10	Remainder
EN AW-6101B	EN AW-AI MgSi(B)	0,30-0,6	0,10-0,30	0,05	0,05	0,35-0,6	-	-	0,10	-	-	-	-	0,03	0,10	Remainder
EN AW-6106	EN AW-AI MgSiMn	0,30-0,6	0,35	0,25	0,05-0,20	0,40-0,8	0,20	-	0,10	-	-	-	-	0,05	0,10	Remainder
EN AW-6110A	EN AW-AI Mg0,9Si0,9MnCu	0,7-1,1	0,50	0,30-0,8	0,30-0,9	0,7-1,1	0,05-0,25	-	0,20	-	-	-	0,20 Ti+Zr	0,05	0,15	Remainder
EN AW-6181	EN AW-AI SiMg0,8	0,8-1,2	0,45	0,10	0,15	0,6-1,0	0,10	-	0,20	0,10	-	-	-	0,05	0,15	Remainder
EN AW-6182	EN AW-AI Si1MgZr	0,9-1,3	0,50	0,10	0,50-1,0	0,7-1,2	0,25	-	0,20	0,10	-	-	0,05-0,20Zr	0,05	0,15	Remainder
EN AW-6201	EN AW-AI Mg0,7Si	0,50-0,9	0,50	0,10	0,03	0,6-0,9	0,03	-	0,10	-	-	-	0,06 B	0,03	0,10	Remainder
EN AW-6261	EN AW-AI Mg1SiCuMn	0,40-0,7	0,40	0,15-0,40	0,20-0,35	0,7-1,0	0,10	-	0,20	0,10	-	-	-	0,05	0,15	Remainder
EN AW-6262	EN AW-AI Mg1SiPb	0,40-0,8	0,7	0,15-0,40	0,15	0,8-1,2	0,04-0,14	-	0,25	0,15	-	-	f	0,05	0,15	Remainder
EN AW-6262A	EN AW-AI Mg1SiSn	0,40-0,8	0,7	0,15-0,40	0,15	0,8-1,2	0,04-0,14	-	0,25	0,10	-	-	0,40-0,9Bi;0,40-1,0Sn	0,05	0,15	Remainder
EN AW-6351	EN AW-AI SiMg0,5Mn	0,7-1,3	0,50	0,10	0,40-0,8	0,40-0,8	-	-	0,20	0,20	-	-	-	0,05	0,15	Remainder
EN AW-6351A	EN AW-AI SiMg0,5Mn(A)	0,7-1,3	0,50	0,10	0,40-0,8	0,40-0,8	-	-	0,20	0,20	-	-	e	0,05	0,15	Remainder
EN AW-6360	EN AW-AI SiMgMn	0,35-0,8	0,10-0,30	0,15	0,02-0,15	0,25-0,45	0,05	-	0,10	0,10	-	-	-	0,05	0,15	Remainder
EN AW-6401	EN AW-AI 99,9MgSi	0,35-0,7	0,04	0,05-0,20	0,03	0,35-0,7	-	-	0,04	0,01	-	-	-	0,01	-	Remainder
EN AW-6463	EN AW-AI Mg0,7Si(B)	0,20-0,6	0,15	0,20	0,05	0,45-0,9	-	-	0,05	-	-	-	-	0,05	0,15	Remainder
EN AW-6951	EN AW-AI MgSi0,3Cu	0,20-0,50	0,8	0,15-0,40	0,10	0,40-0,8	-	-	0,20	-	-	-	-	0,05	0,15	Remainder

^a "Others" includes listed elements for which no specific limit is shown as well as unlisted metallic elements. The producer may analyze samples for trace elements not specified in the registration or specification. However, such analysis is not required and may not cover all metallic "Other" elements. Should any analysis by the producer or the purchaser establish that an "Others" element exceeds the limit of "Each" or that the aggregate of several "Others" elements exceeds the limit of "Total", the material shall be considered non-conforming.

^b The sum of those "Others" metallic elements 0,010 % or more each, expressed to the second decimal place before determining the sum.

^c 0,40-0,7 Bi; 0,40-1,2 Pb.

^d 0,20 max. Zr + Ti.

^e 0,003 max. Pb.

^f 0,40-0,7 Bi; 0,40-0,7 Pb.

Ek 4. 6082 Alaşımı Mekanik Özellikleri (TS EN 755-2 Aralık 1997)

ICS 77.120.10

TÜRK STANDARDI

TS EN 755-2/Aralık 1997

ÇİZELGE 42 - Alaşım : EN AW - 6082 [Al Si1Mg Mn]

Ekstrüzyonla İmal Edilmiş Telik Çubuk/Çubuk								
Temper	Boyutlar (mm)		R _m (MPa)		R _{p0.2} (MPa)		A (%)	A _{50mm} (%)
	D ¹⁾	S ²⁾	min	max	min	max	min	min
O,H111	≤ 200	< 200	-	160	-	110	14	12
T4 ⁵⁾	≤ 200	< 200	205	-	110	-	14	12
T6 ⁵⁾	≤ 20	< 20	295	-	250	-	8	6
	20 < D ≤ 150	20 < S ≤ 150	310	-	260	-	8	-
	150 < D ≤ 200	150 < S ≤ 200	280	-	240	-	6	-
	200 < D ≤ 250	200 < S ≤ 250	270	-	200	-	6	-
Ekstrüzyonla İmal Edilmiş Boru								
Temper	Boyutlar (mm) e ³⁾	R _m (MPa)		R _{p0.2} (MPa)		A (%)	A _{50mm} (%)	
		min	max	min	max	min	min	
O,H111	≤ 25	-	160	-	110	14	12	
T4 ⁵⁾	≤ 25	205	-	110	-	14	12	
T6 ⁵⁾	< 5	290	-	250	-	8	6	
	5 < e ≤ 25	310	-	260	-	10	8	
Ekstrüzyonla İmal Edilmiş Profil								
Temper	Boyutlar (mm) e ³⁾	R _m (MPa)		R _{p0.2} (MPa)		A (%)	A _{50mm} (%)	
		min	max	min	max	min	min	
O,H111	Et kalınlıklarının tümü	-	160	-	110	14	12	
T4 ⁵⁾	≤ 25	205	-	110	-	14	12	
Açık profil T5	≤ 5	270	-	230	-	8	6	
T6 ⁵⁾	≤ 5	290	-	250	-	8	6	
	5 < e ≤ 25	310	-	260	-	10	8	
Çi boş profil T5	≤ 5	270	-	230	-	8	6	
T6 ⁵⁾	≤ 5	290	-	250	-	8	6	
	5 < e ≤ 15	310	-	260	-	10	8	
<p>1) D : Yuvarlak çubuk için çap 2) S : Kare ve altgen çubuklar için paralel yüzler arasındaki mesafe, dikdörtgen çubuklar için kalınlık 3) e : Et kalınlığı 5) Özellikler basınçlı su verme ile sertleşme yoluyla elde edilir. 10) Bir profil kesitinde birden fazla grupta belirtilen özellik değerleri olan farklı kalınlıklar varsa, profil kesiti için belirlenmiş en düşük değer geçerli olarak dikkate alınmalıdır.</p>								

ÖZGEÇMİŞ

Sadık Mutlu AYAN 20.03.1975'te Trabzon aykara'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini aykara ve Trabzon'da tamamlayarak 1991 de Trabzon Lisesi'nden mezun oldu. Aynı yıl başladığı Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden 1995 yılında mezun oldu. 1996-1997 arası yedek subay olarak askerlik görevini Kırklareli'nde tamamladıktan sonra Trabzon'da bir süre TİSAŞ ve GİZ Bisküvi fabrikalarında çalıştı. Nisan 1999'da çalışmaya başladığı ASAŞ Alüminyum Tic. San. A.Ş.'de sırasıyla Kalıp Ar-Ge Mühendisliği, Kalıphane ve Teknik Büro Şefliği ve Müdürlüğü, Proses Geliştirme Müdürlüğü ve Ekstrüzyon Üretim Müdürlüğü, Ekstrüzyon ve Kompozit Panel Ar-ge Müdürlüğü görevlerinde bulundu. Halen aynı fabrikada Teknik Koordinasyon Grup Müdürü olarak çalışmaktadır. Evli, Nevval ve Mehmet Eren adında iki çocuk babasıdır. İngilizce bilmektedir.