

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALÜMİNYUM EKSTRÜZYON KALIPLARI İÇİN KULLANILAN
DAĞLAMA ÇÖZELTİLERİNE ALTERNATİF YÜKSEK
PERFORMANSLI YENİ ÜRÜN ELDESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Barış AKIN

Kimya Anabilim Dalı

Anorganik Bilim Dalı

OCAK 2023

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALÜMİNYUM EKSTRÜZYON KALIPLARI İÇİN KULLANILAN
DAĞLAMA ÇÖZELTİLERİNE ALTERNATİF YÜKSEK
PERFORMANSLI YENİ ÜRÜN ELDESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Barış AKIN

Kimya Anabilim Dalı

Anorganik Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Esra ALTINTIĞ

OCAK 2023

Barış AKIN tarafından hazırlanan “Alüminyum Ekstrüzyon Kalıpları İçin Kullanılan Dağlama Çözeltilerine Alternatif Yüksek Performanslı Yeni Ürün Eldesi” adlı tez çalışması 23.01.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı Anorganik Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : **Unvan Adı SOYADI**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Unvan Adı SOYADI (Danışman)**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Unvan Adı SOYADI**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Unvan Adı SOYADI**
(Gerekliyse) Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Unvan Adı SOYADI**
(Gerekliyse) Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “Alüminyum Ekstrüzyon Kalıpları İçin Kullanılan Dağlama Çözeltilerine Alternatif Yüksek Performanslı Yeni Ürün Eldesi” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(23/01/2023).

(imza)

Barış AKIN







TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, beni çalışmaya teşvik eden, tezin hazırlanmasında hiçbir yardımını esirgemeyen ve yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Esra ALTINTIĞ'a sonsuz teşekkür ederim.

Çalışmalarımı tamamlayabilmek adına gerekli altyapı ve imkanlarını kullandığım ASAŞ Alüminyum kurumuna, çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemeyen Ar-Ge müdürü Görkem ÖZÇELİK'e ve tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Desteklerini hep hissettiğim testlerin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen Esra KAYMAK AKSU, Mehmet Buğra GÜNER, Mustafa Serkan ÖZCAN, Cem MEHMETALİOĞLU, Emre ÇANKAYA başta olmak üzere tüm ASAŞ AR-GE ekibine teşekkürlerimi sunarım

Son olarak, beni bugünlere getiren tüm eğitim hayatım boyunca maddi manevi desteklerini esirgemeyen babam Kenan AKIN, annem Zeliha AKIN ve kardeşim Burak AKIN ve kıymetli ailem eşim Sedanur AKIN, oğlum Baturalp AKIN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bariş AKIN



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SİMGELER	xv
TABLO LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. ALÜMİNYUM ÖZELİKLERİ KULLANIM ALANLARI VE ÜRETİMİ	3
2.1. Alüminyum	3
2.2. Alüminyum Özellikleri	3
2.3. Alüminyum Üretimi	4
2.3.1. Boksit	5
2.3.2. Alümina	6
2.3.3. İkincil alüminyum üretimi	6
2.4. Alüminyum Alaşımları	7
2.4.1. Alüminyum alaşım sınıflarının özellikleri	8
2.5. Alüminyum Kullanım Alanları ve Uygulamaları	10
2.6. Alüminyum Ekstrüzyon Prosesi	12
2.6.1. Direkt ekstrüzyon yöntemi	13
2.6.2. İndirekt ekstrüzyon yöntemi	15
2.7. Ekstrüzyon Pres ve Birleşimleri	16
2.8. Kalıp	17
2.9. Kalıp Temizleme Prosesi	19
3. TAGUCHI YÖNTEMİ	23
3.1. Taguchi Nedir	23
3.2. Taguchi Deney Tasarımı	23
3.3. Taguchi Yöntemi Uygulama Adımları	24
3.4. Ortogonal Dizin Seçimi	25
4. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI	27
5. METARYAL VE METOT	31
5.1. Kullanılan Kimyasal Malzemeler	31
5.2. Kullanılan Cihazlar	31
5.3. Alüminyum Parça Hazırlanması	31
5.4. Taguchi Metodu Çözelti Hazırlama	32
5.5. Taguchi Metodunun Kimyasal Aşındırma İşlemi	32
5.6. Taguchi Kimyasal Aşındırma İşleminde Optimum Şartları Belirleme Çalışmaları	33
5.7. Farklı Katkılar Eklenmiş Çözeltiler	34

5.7.1. Titrasyon.....	35
5.7.2. pH ve iletkenlik ölçümleri.....	36
5.7.3. Kurutma.....	37
5.8. Karakterizasyon.....	37
5.8.1. SEM.....	37
5.8.2. FT-IR.....	38
5.8.3. Optik mikroskop.....	38
5.8.4. XRF	39
6. DENEYSEL SONUÇLAR VE YORUMLANMASI.....	41
6.1. Taguchi Kimyasal Aşındırma Sonuçları	41
6.2. Farklı Tip Çözeltilerin Aşındırma Performansı Sonuçları	43
6.3. Karakterizasyon Sonuçları.....	48
6.3.1. SEM analiz sonuçları	48
6.3.2. FT-IR analiz sonuçları.....	50
6.3.3. XRF Analiz Sonuçları	53
6.3.4. Optik Mikroskop	54
7. TARTIŞMA VE ÖNERİLER	57
KAYNAKLAR.....	59
ÖZGEÇMİŞ.....	65

KISALTMALAR

Au/Pd	: Altın/Paladyum
Al(OH)₃	: Alüminyum Trihidroksit
CVD	: Kimyasal Buhar Biriktirme
CNC	: Sayısal Kontrollü Bilgisayar
Dk	: Dakika
FTIR	: Fourier transform infrared spektroskopisi
FF	: Fenolftalein
g	: Gram
g/mol,	: Gram Bölü Mol
g/lt,	: Gram Bölü Litre
g/cm³	: Gram Bölü Santimetreküp
KF	: Potasyum Florür
kV	: Kilo Volt
M	: Molarite
Mpa	: Megapaskal
mmol/L	: Milimol Bölü Litre
mm	: Milimetre
ml	: Mililitre
nm	: Nanometre
N	: Normalite
Ph	: Potansiyel Hidrojen
PVD	: Fiziksel Buhar Biriktirme
Psi	: Pounds Per Square
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
S/N	: Sinyal Bölü Gürültü
ICP	: İndüktif Eşleşmiş Plazma Spektrometresi
XRF	: Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	: X Işını Kristalografisi
μS/cm	: MikroSiemens Bölü Santimetre
%	: Yüzde



SİMGELER

H₂SO₄	: Sulfirik Asit
NaOH	: Sodyum Hidroksit
NaAl(OH)₄	: Sodyum Alüminat
OH⁻	: Hidroksi İyonu
°C	: Santigrat derece





TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Döküm alaşım sınıfları [6].	8
Tablo 2.2. Dövme alaşım sınıfları [6].	9
Tablo 5.1. Sodyum hidroksit kimyasal analizi	32
Tablo 5.2. Taguchi deney parametreleri ve seviyeleri	32
Tablo 5.3. Taguchi l16 deney matrisi.....	33
Tablo 6.1. Deneysel Sonuçlar.....	41
Tablo 6.2. Değişkenlerin Etki Analizi.....	42
Tablo 6.3. TİP-1 Çözeltisi Deneysel Sonuçları	43
Tablo 6.4. TİP-2 Çözeltisi Deneysel Sonuçları	43
Tablo 6.5. TİP-3 Çözeltisi Deneysel Sonuçları	44
Tablo 6.6. TİP-4 Çözeltisi Deneysel Sonuçları	44
Tablo 6.7. TİP-5 Çözeltisi Deney Sonuçları	44
Tablo 6.8. Çözeltilere Ait XRF Sonuçları	53



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Alüminyumun genel özellikleri [10].	4
Şekil 2.2. Alüminyum üretim akış diyagramı [12]	5
Şekil 2.3. Dünya alüminyum üretimde ülkelerin payı [14].	6
Şekil 2.4. İkincil alüminyum hurdaları [16].	7
Şekil 2.5. Alüminyum geri dönüşüm hedefleri [14]	7
Şekil 2.6. Dünya alüminyum kullanım alanları	11
Şekil 2.7. Alüminyum ekstrüzyon yöntemi ile üretilmiş bina parçaları [26]	12
Şekil 2.8. Alüminyum ekstrüzyon prosesi [28].	12
Şekil 2.9 Alüminyum ekstrüzyon pres kesit görünümü [30].	13
Şekil 2.10. Direkt ekstrüzyon şeması [32].	14
Şekil 2.11. Direkt ve indirekt ekstrüzyon sırasındaki basınç değişimi [28].	14
Şekil 2.12. İndirekt ekstrüzyon şeması [32].	15
Şekil 2.13. Alüminyum ekstrüzyon pres ve parçaları [35].	16
Şekil 2.14. Kalıp seti ve ekstrüzyon presinde kullanımı [37].	17
Şekil 2.15. Düz Kalıp ve Açık Profiller [31].	18
Şekil 2.16. Zıvanlı Kalıp ve Boşluklu Profil [31].	18
Şekil 2.17. Kalıp Üretim Süreçleri [31]	19
Şekil 2.18. Temizleme İşlemi Öncesi ve Temizleme İşlemi Sonrası	19
Şekil 2.19. Kalıpların Temizleme Öncesi Sepet İçeri Yerleşimleri	20
Şekil 2.20. Kalıp Temizleme Ünitesi	20
Şekil 2.21. Kalıp Ayırma İşlemi	21
Şekil 2.22. Sodyum Hidroksit Çözeltilerin Sıcaklığa Karşı Aşındırma Oranı	22
Şekil 2.23. a) Kostik dağlama işlem sonrası b) Sodyum hidroksit banyo	22
Şekil 3.1. Deney tasarımı uygulama adımları [29]	24
Şekil 3.2. Faktör ve parametre sayılarına göre ortogonal dizilim tablosu [45].	25
Şekil 5.1. Alüminyum Parça	32
Şekil 5.2. Deney düzeneği	33
Şekil 5.3. Aşındırma işlemi sonrası çözelti	34
Şekil 5.4. Analitik tartım cihazı	35
Şekil 5.5. Çözelti alüminyum reaksiyonu	35
Şekil 5.6. Titrasyon analizi	36
Şekil 5.7. pH metre	36
Şekil 5.8. Kurutma işlemi	37
Şekil 5.9. Quorum SC7620 sputter coater cihaz	37
Şekil 5.10. Au/Pd kaplı toz numuneler	37
Şekil 5.11. SEM cihazı	38
Şekil 5.12. FT-IR cihazı	38
Şekil 5.13. a) Mikroskop b) Aşındırılmış alüminyum parçalar	39
Şekil 5.14. XRF cihazı	39
Şekil 6.1. a) Serbest Alüminyum b) Serbest NaOH c) Parça Alüminyum	42
Şekil 6.2. a) TİP-1 b) TİP -4 c) TİP-5	45

Şekil 6.3. Çözünen Alüminyuma Karşı Harcanan NaOH miktarı	46
Şekil 6.4. TİP-1 Çözeltisi pH-İletkenlik Dengesi	46
Şekil 6.5. TİP-2 Çözeltisi pH-İletkenlik Dengesi	47
Şekil 6.6. TİP-3 Çözeltisi pH-İletkenlik Dengesi	47
Şekil 6.7. TİP-4 Çözeltisi pH-İletkenlik Dengesi	47
Şekil 6.8. TİP-5 Çözeltisi pH-İletkenlik Dengesi	47
Şekil 6.9. TİP-1 a) 1 Kx Büyütme b) 5 Kx Büyütme.....	48
Şekil 6.10. TİP 1.2.3.4 Kx büyütme.....	49
Şekil 6.11. TİP 5. Kx büyütme.....	50
Şekil 6.12. TİP-1 FT-IR Görseli	50
Şekil 6.13. TİP-2 FT-IR Görseli	51
Şekil 6.14. TİP-3 FT-IR Görseli	51
Şekil 6.15. TİP-4 FT-IR Görseli	51
Şekil 6.16. TİP-5 FT-IR Görseli	52
Şekil 6.17. FT-IR Pikleri Üst Üste Birleştirmiş Görüntüsü	52
Şekil 6.18. Aşındırma İşlemi Görmemiş Alüminyum Yüzeyi.....	54
Şekil 6.19. TİP-1 Çözeltisi ile Aşındırılmış Yüzey	54
Şekil 6.20. TİP-2 Çözeltisi ile Aşındırılmış Yüzey	54
Şekil 6.21. TİP-3 Çözeltisi ile Aşındırılmış Yüzey	55
Şekil 6.22. TİP-4 Çözeltisi ile Aşındırılmış Yüzey	55
Şekil 6.23. TİP-5 Çözeltisi ile Aşındırılmış Yüzey	55

ALÜMİNYUM EKSTRÜZYON KALIPLARI İÇİN KULLANILAN DAĞLAMA ÇÖZELTİLERİNE ALTERNATİF YÜKSEK PERFORMANSLI YENİ ÜRÜN ELDESİ

ÖZET

Küresel ölçekte artan alüminyum ekstrüzyon profil ihtiyacı ve üretime dair oluşan zaman baskısı ile çevrim sürelerinin kısaltılması adına ekstrüzyon prosesi için kullanılan kalıpların yeniden üretime kazandırılması için hazırlık işlemleri gerekmektedir. Alüminyum ekstrüzyon prosesinde çevrim süresinin arttıran ve darboğaz oluşturan kullanılmış kalıbın yeniden üretime kazandırılması incelendiğinde, ekstrüzyon sonrası kalıp içerisinde kalan artık alüminyumun öncelikle giderilmesi gerekmektedir. Bu işlem için ekstrüzyon endüstrisinde sodyum hidroksit esaslı çözücüler yaygın olarak kullanılmaktadır. Alüminyum amfoterik bir metal olması ve sodyum hidroksit çözeltileri içerisinde hızla reaksiyona girebilme özelliği ile, uygun sıcaklık ve konsantrasyon şartları sağlandığında çözünerek, kalıplar yeni bir ekstrüzyon üretimine hazır hale getirilmektedir. Bu çalışma, sodyum hidroksit esaslı dağlama çözeltilerine ilişkin en verimli koşulların belirlenmesi için Taguchi deneysel tasarım yöntemi kullanılarak uygun konsantrasyon, sıcaklık, alüminyumun çözünme hızını simule edebilecek en uygun parametrik koşullar belirlenmiştir. Yapılan metot çalışması sonrasında, ekstrüzyon kalıpların içerisinde kalan alüminyumun çözünme hızını etkileyecek, işlem süresini kısaltacak ve ekstrüzyon kalıplarının üretime daha hızlı kazandırılmasını sağlayacak sodyum hidroksit esaslı çözeltilere farklı kimyasal katkıların etkilerinin incelenmesi ve yenilikçi ürün elde edilmesi amaçlanmıştır. Sodyum hidroksit esaslı çözeltileri şelatlama ajanı, yüzey aktif madde ve peroksit katkıları eklendi. Çözünme reaksiyonu sırasında belirli zaman aralıklarında numuneler alındı. Çözeltilerin 6XXX serisi alaşımlı alüminyum parçalar üzerinde çözünme reaksiyonu ile birlikte, titrasyon yöntemi kullanılarak, sodyum hidroksit ve alüminyum konsantrasyonların zamana karşı değişimleri ile pH ve İletkenlik ölçümleri yapılarak çözeltilerin zamana karşı değişimleri takip edildi. Reaksiyon tamamlanıktan sonra, her çözeltiden belirli bir miktar numune alınarak kurutma işlemine tabi tutuldu. Kurutulmuş toz haline getirilen numunelerde çeşitli karakterizasyon teknikleri uygulandı. Numunelerin görsel olarak oluşturdukları yapıların analizi için SEM yöntemi kullanıldı. Yapıların oluşturdukları bağların tanımlanması ve kıyaslaması adına FTIR yöntemi kullanıldı. Numunelerin yapılarında oluşan oksit birleşiklerinin ağırlıkça derişimlerini belirlemek için XRF tekniği ile kimyasal kompozisyon ölçümleri yapıldı. Parça alüminyum yüzeyin de kimyasal aşındırma sonrası oluşabilecek yüzey porozitesi ve yüzey şekilleri Optik Mikroskop altında incelendi. Tüm bu yöntemler kullanılarak sonuçlar değerlendirilmiş ve prosese uygun bir çözelti tavsiye edilmiştir.



OBTAINING HIGH PERFORMANCE NEW PRODUCT ALTERNATIVE TO ETCHING SOLUTIONS USED IN ALUMINUM EXTRUSION MOLDS

SUMMARY

Aluminum extrusion is a method that aims to produce profiles from aluminum and its alloys by applying plastic deformation. Molds made of steel are preferred to produce designs specific to the geometry targeted by aluminum extrusion production. These molds are expressed as commonly used solid or tenoned. While solid molds are mostly preferred in the production of solid flat profiles tenoned molds are preferred in the production of profiles with spaces inside. When we look at today, aluminum takes its place with its value-added products in many sectors such as automotive, defense industry, aviation, rail systems and maritime. Aluminum is the thirdly element in the earth's crust. The reason why aluminum cannot be found in pure form in the earth's crust is its desire to bond with oxygen. General properties of aluminum and reasons for preference, Different mechanical strength values can be obtained with the alloying process. Due to the affinity of aluminum for oxygen, its corrosion resistance is high thanks to the natural oxide layer formed on its surface. Aluminum has the ability to reflect most of the heat and light waves falling on it. Although there is a 39% loss in conductivity compared to copper, aluminum is approximately 70% lighter than copper. That is, an aluminum wire with the same electrical resistance is twice as light as a copper wire. Through the electrolyte and mechanical processes applied to the surface with its natural color and shine, an elegant appearance can be obtained by adding color and pattern. Aluminum is also widely recognized as one of the most energy efficient metals. The contribution of many factors to energy saving, such as the use of environmentally friendly building materials, the durability of aluminum, high strength-to-weight ratio and design flexibility, has made it a product that can be preferred by architects and designers. In addition to alloying and sizing, it is used in many automotive parts, door-window frames, engines, tanker and truck body panels, computer chips, and is among those who prefer aluminum in many international markets. Extruded aluminum profiles are preferred in doors, windows and industrial applications, roof, facade, panel, ceiling and many other building construction materials sector. When the sectoral markets are evaluated, when the aluminum usage areas in the world are examined, it is known that the construction sector has the largest usage area with 25%, followed by the automotive and railway sectors with a wide range of uses. In this case, it actually shows the demand for aluminum profiles.

The aluminum extrusion process is carried out at high temperatures. For the aluminum alloys produced, 304 H11 hot work steel molds are preferred. These molds are cooled and then annealed at high temperature. With global increase of need in aluminum extruded profiles there is pressure building up on the production of extruded profiles with this dies that are used in extrusion needs preparation in order to be used again. When the investigation about reprocessing of dies which increases the cycle time and creates bottleneck in production is done, it can be seen that there is aluminum inside

the die that is needed to be ridded in order to use the die again. For this process sodium hydroxide-based solvents are widely used in aluminum industry. Since the aluminum is amphoteric and reacts easily in sodium hydroxide solution with the proper temperature and concentration conditions are met, sodium hydroxide solution can dissolve aluminum thus making die ready for new extrusion production. During the cleaning process of the dies in sodium hydroxide-based solutions, the different diameters and sizes dies are exposed to cleaning. The aluminum die cleaning process is a demand for rapid cleaning of the molds required for production and to ensure the continuity of extrusion production, rather than a planned and desired process. Considering these situations, it is possible to go beyond the standard conditions during the mold cleaning process. These conditions are exothermic heating that occurs naturally during the dissolution reaction of aluminum in aqueous sodium hydroxide solution. Continuous temperature increase is not a very desirable situation, and when the data revealed in previous studies are examined, it is necessary to provide an optimum reaction temperature. In cases where there are sudden temperature increases and the temperature does not remain constant, there is a decrease in the volume of the solution with evaporation. In fact, this situation can indirectly reduce the reaction rate as it affects the balance of water amount that should be in the environment in the reaction of aluminum with sodium hydroxide. Separate from the temperature increase, another parameter that affects the dissolution process of aluminum in alkaline baths and the reaction rate is the amount of dissolved sodium hydroxide present in the aqueous solution. The amount of dissolved sodium hydroxide should be in balance with the amount of aluminum with which it will react. In die cleaning baths, the sodium hydroxide concentration initially present tends to decrease over time as the treatment time increases. As a result of the decrease in the concentration and the prolongation of the processing times, the operators working in the process can go beyond the standard job description. Additional liquid sodium hydroxide solution is added to the cleaning baths by the operators during the cleaning process so that the molds can be quickly removed from the bath and reprocessed. Although this situation seems to be a desirable situation in terms of the continuity of the production and the effectiveness of the cycle times, it is actually an undesirable situation for the die cleaning process. By increasing the amount of sodium hydroxide added to the solution, it creates much more waste environmentally and provides a cost disadvantage. During the mold cleaning process, the molds of different sizes thrown into the cleaning baths generally contain different amounts of aluminum by weight. This situation theoretically reveals that small diameter molds can be cleaned more quickly and gained into production than a large diameter mold during the process period. As a requirement of the processes, the cleaning levels of the dies are checked during the cleaning process between the average usage periods of 4 hours. Due to the different diameters of the dies, the duration of the cleaning process for each dies and how long it will be kept in the bath are not clear. While this situation of uncertainty may seem like standard business, it means that a die that has been cleaned to a processable level is still subject to cleaning in bath solutions. In this situation, the sodium hydroxide concentration cannot be used effectively in the solution, and subsequently, less number of molds are cleaned in the same time instead of the number of molds that can be cleaned in a shorter time. All measurements that can simulate real conditions were made in the laboratory environment as a prototype in order to have a new formula that will increase the optimization and then the process performance of the sodium hydroxide solution for all these parameters involved in the process and extending the processing time.

First of all, Taguchi method has been used to identify the most efficient condition for sodium hydroxide based etching solution. The parametric conditions of most appropriate concentration and temperature to achieve simulate the aluminum's dissolving rates has been defined. With this methodic work we have aimed to investigate the effects of the different additives that are added to the sodium hydroxide solutions and to attain an innovative product for effecting the aluminum's dissolve rates those are left in the dies, shortening the process times and making the dies ready for production faster. Chelation agents, surface active matter and peroxide additives were added. Comparison of dissolution reaction and reaction rates on 6xxx series aluminum has been investigated. Time variation of sodium hydroxide and aluminum concentrations using the titration method with the dissolution reaction of solutions on 6XXX series alloyed aluminum parts together the variation of the solutions against time was monitored by pH and conductivity measurements. After the reaction was completed, a certain amount of sample was taken from each solution and subjected to drying process. Various characterization techniques were applied to dried powdered samples. SEM method was used to analyze the structures visually formed by the samples. FTIR method was used to define and compare the bonds formed by the structures. Chemical composition measurements were made with the XRF technique to determine the weight concentrations of the oxide compounds formed in the structures of the samples. Surface porosity and surface shapes that may occur after chemical etching on the part aluminum surface were examined under an Optical Microscope. Using all these methods, the results were evaluated and a suitable solution was recommended for the process.

1. GİRİŞ

Alüminyum ekstrüzyon, plastik deformasyon uygulayarak alüminyum ve alaşımlarından profil üretilmesi amaçlayan yöntemdir. Alüminyum ekstrüzyon üretimi ile hedeflenen geometriye özgü tasarımları üretmek için çelikten imal edilen kalıplar tercih edilmektedir. Bu kalıplar yaygın kullanılan solid ya da zıvanalı olarak ifade edilmektedir. Solid kalıplar daha çok içi dolu lama profillerin üretiminde tercih edilirken; zıvanalı kalıplar ise içinde boşluk bulunan profillerin üretiminde tercih edilir [1]. Alüminyum ekstrüzyon işleminde yaklaşık 500°C’de üretilen alüminyum alaşımlar için 304 H11 sıcak iş çeliği kalıplar kullanılmakta olup, bu kalıplar soğutulup yüksek sıcaklıkta tavlanaştırılmaktadır[2]. Ekstrüzyon üretimi sonrası kalıpların içerisinde kalan artık alüminyumu temizlenmesi için sodyum hidroksit esaslı çözeltiler tercih edilir [1]. Temizlenen kalıpların yeniden yüzeylerinin hazırlanması sonrasında nitrasyon işlemi yapılarak yeniden üretime hazır hale getirilir. Bu yöntem PVD ve CVD yöntemlerine kıyasla daha ekonomik ve avantajlı bir yöntemdir[3]. Literatür incelemelerinde sodyum hidroksit çözeltilerin kalıp temizlemede performanslarına bakıldığında süresinin 60°C’de 6 saat olarak tarif edilmiştir [4]. Diğer bir çalışmada NaOH konsantrasyonu, karıştırma hızı, kalıbın temizleme solüsyonunda kalma süresi ve sıcaklığın, alüminyum çözünme hızına etkilerini incelemiş ve sıcaklık ile sürenin alüminyumu aşındırmada en etkili faktörler olduğunu belirtilmiştir. Bu faktörlerden harici çözeltinin başlangıç NaOH konsantrasyonu önemli bir parametredir[5]. Bu çalışma ile literatürde aktarılan noktalar da ki gelişmelere katkı sunularak, sodyum hidroksit esaslı çözeltilerin kostik konsantrasyonu, süre, sıcaklık parametrelerinin en optimum koşullarının taguchi metodu ile belirlenmesi sonrasında farklı kimyasal katkıları eklenerek ve hazırlanan yeni çözeltilerin alüminyumu aşındırma yönünden daha yüksek performanslı hale getirmesi ve her bir çözeltinin mevcut prosesi simüle edebilmesi adına 6XXX serisi alüminyum parçalar kullanılarak, alüminyumun çözünme hızı reaksiyonun titrimetrik ve aletli analizler kullanılarak en uygun kimyasal kompozisyona sahip yüksek performanslı endüstrinin ihtiyacına çözüm bulacak yenilikçi ürün geliştirilmesi amaçlanmıştır.



2. ALÜMİNYUM ÖZELİKLERİ KULLANIM ALANLARI VE ÜRETİMİ

2.1. Alüminyum

Alüminyum 1886'da Charles Martin Hall ve Paul T. Herolt'un isimlerini verdiği Hall-Heroult prosesi olarak geçen, elektroliz yöntemi kullanılarak metalik alüminyum alüminadan üretim yöntemidir. Bu yöntem ile yaklaşık %99 saflıkta alüminyum üretilebilmektedir [6]. Yine bir diğer üretim yöntemi olan Bayer prosesi olarak bilinen boksitten alümina elde etme yöntemi 1888 yılında K.J. Bayer tarafından bulunan alüminyumun endüstriyel alanda üretimi daha kolay bir hal alarak, dünyada en çok kullanılan metaller arasında ikinci sırada yer almaktadır [7].

Benzin ve dizel gibi motorlu araçların ortaya çıkması ile birlikte, otomotiv endüstrisi içerisinde alüminyumun katma değerli ürünlerde kullanımı ve mühendislik değeri giderek artmaya başlamıştır. Yüksek gerilim, enerji hatları gibi sektörlerde iletken malzeme ihtiyacını karşılayan alüminyum, havacılık üzerine yapılan çalışmalar ile birlikte güçlü, hafif ve dayanımı yüksek olması ile bir çok sektörün ihtiyacını karşılamakta yerini almıştır [8].

Günümüze baktığımızda, alüminyumun otomotiv, savunma sanayii, havacılık, raylı sistemler, denizcilik gibi birçok sektörde katma değerli ürünleri ile yerini almaktadır. Alüminyum üretimi genel olarak boksit madenciliği veya sekonder malzeme olarak adlandırılan hurdadan yapılmaktadır. Günümüzde boksit yataklarından üretilen alüminyum üretimi geri dönüştürülen sekonder alüminyum üretiminin iki katıdır [9].

2.2. Alüminyum Özellikleri

Alüminyum yer kabuğunda yaklaşık olarak %8 ile %8,5 arasında bulunmaktadır. Alüminyum yer kabuğunda saf halde bulunamamasının sebebi oksijen ile bağ yapma isteğidir. Bu durumda alüminyum silikat ve sülfat formlarında doğada sıkça karşımıza çıkmaktadır. Alüminyum, atom ağırlığı 26,98 g/mol olup, şekil 2.1'de alüminyumun temel özellikleri verilmiştir [10].

Atom Numarası	13	Atom ağırlığı	26,98
Kaynama noktası, °C	2519	Yükseltgenme basamakları	+3,+2,+1
Ergime Noktası, °C	660	Sembölü	Al
Yoğunluğu (g/cm ³)	2,70	Elektron dizilimi	[Ne]3s ² 3p ¹
	Alüminyum	Elementin adı	

Şekil 2.1. Alüminyumun genel özellikleri [10].

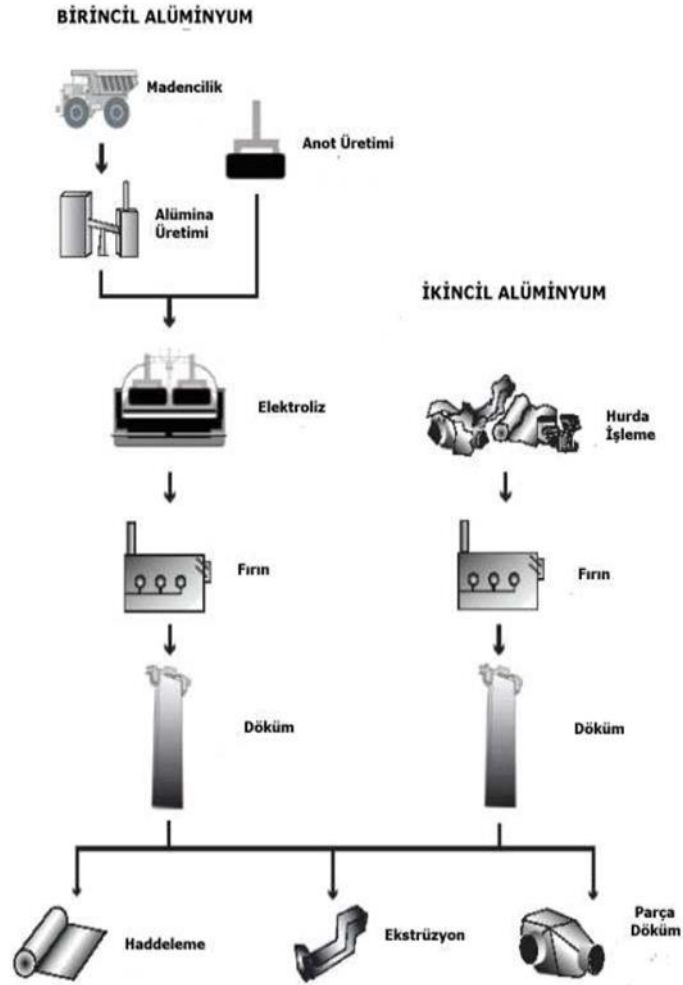
Alüminyumun genel özellikleri ve tercih edilebilme nedenleri aşağıda sıralanmıştır;

- *Mekanik Özellikler:* Alaşımlandırma işlemi ile farklı mekanik kuvvet değerleri elde edilebilir.
- *Korozyon Dayanımı:* Alüminyum oksijene karşı afinitesi sebebi ile yüzeyinde oluşan doğal oksit tabakası sayesinde korozyon dayanımı yüksektir.
- *Yansıtma Özelliği:* Alüminyum üzerine düşen termal ve ışık dalgalarının büyük bir kısmını yansıtabilme özelliğine sahiptir. Yüzeyine çarpan ışının %80'ni, ısınn ise %90'nı yansıtabilir.
- *İletkenlik:* Alüminyumun iletkenlik yönünden bakır ile karşılaştırıldığında %39'luk bir kayıp oluşsa dahi, bakırdan yaklaşık olarak %70 daha hafiftir. Yani aynı elektrik direncine sahip bir alüminyum tel, bakır telden iki kat daha hafiftir.
- *Estetik Görünüm:* Doğal rengi ve parlaklığı ile yüzeyine uygulanan, elektrolit ve mekanik işlemler sayesinde renk, desen kazandırılarak şık bir görünüm elde edilebilmektedir.

2.3. Alüminyum Üretimi

Günümüzde alüminyum üretimi, cevherden üretilen ve hurdadan üretilen olarak ikiye ayrılmakta olup, alüminyum üretiminde kullanılan boksit cevherinden alümina üretimi Bayer prosesine göre temelde 5 adımda gerçekleştirilmekte olup, sırasıyla bu işlemler kırma, öğütme, çözömlendirme, çöktürme, kalsinasyondur. Hall-Heroult prosesi ise alüminadan elektroliz yolu ile sıvı alüminyum üretimi olarak karşımıza çıkmaktadır. Sıvı alüminyum daha sonrasında alaşımlandırarak dökme, dökme ürünlerinden

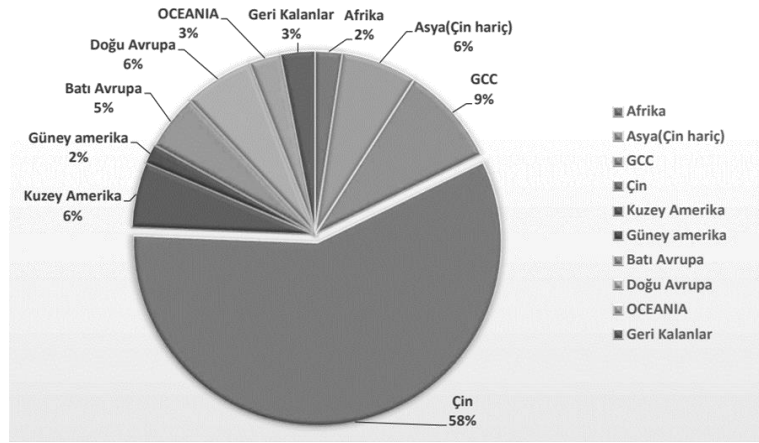
ekstrüzyon veya haddeleme gibi işlemler uygulanmaktadır [11]. Şekil 2.2’de alüminyum üretim akış diyagramı verilmiştir [12].



Şekil 2.2. Alüminyum üretim akış diyagramı [12]

2.3.1. Boksit

Boksit ($Al_2O_3 \cdot nH_2O$) mineraller topluluğu ve alüminyum cevherlerine verilen genel isimdir. Boksitler içerisinde bulunan demir elementinin türü ve oranına göre farklı renk, fiziksel görünüme sahiptir. Açık ocak olarak işletilen boksit cevherinde, Al_2O_3 mineral oranı %30-65 arasında olup, cevherin %70'in den fazlası birincil alüminyum üretiminde kullanılmaktadır. Birincil alüminyum üretiminde kullanılan boksitlerin bileşenlerine bağlı olmak koşulu ile ortalama 4-5 ton boksitten 1 ton alüminyum elde edilmektedir [13]. Şekil 2.3’de dünya alüminyum üretiminde ülkelerin payı verilmiştir [14].



Şekil 2.3. Dünya alüminyum üretimde ülkelerin payı [14].

2.3.2. Alümina

Boksit cevherinden alümina üretimi incelendiğinde, yüksek ısı ve basınçlı bir ortamda sodyum hidroksit solüsyonu ile muamele edilerek cevherdeki alümina, yoğunluk olarak sodyum alüminat (NaAlO_2) ayrıca demir, silis, titanyum vb. gibi safsızlıkları içeren çözelti içine alınır. Çözelti içerisinde yer alan hidratlı kısım, yüksek ısılarla ulaşabilen fırınlarda yaklaşık 1100-1200 °C kavrulma işlemine tabi tutularak kimyasal bağlı sulu kısmı elimine edilerek katı madde halinde alümina elde edilmektedir [15].

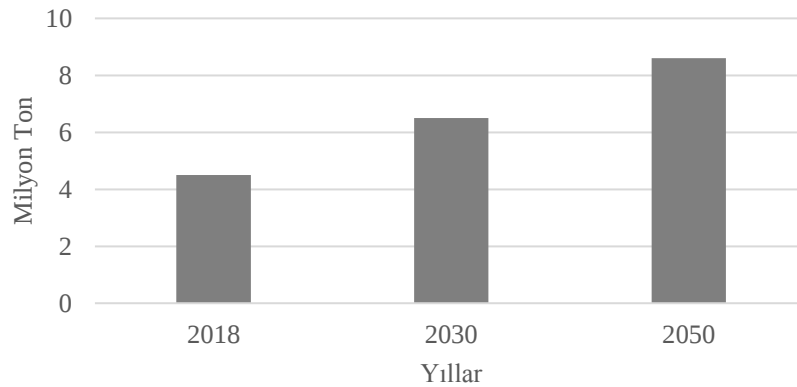
2.3.3. İkincil alüminyum üretimi

İkincil üretimin payı 1950’li yıllarda % 15 iken günümüze baktığımızda bu oran % 30’lara kadar ulaşmıştır. Alüminyum hurdanın sadece yeniden değerlendirilebilir oluşundan ziyade, bir diğer taraftan taşıdığı ekonomik değer de oldukça önemlidir. Dünya’da özellikle sınırlı enerji kaynaklarında sahip ülkeler çok yüksek oranda hurda alüminyumun yeniden değerlendirmesi konusunda toplum bilinci oluşmuştur. Alüminyum malzemelerin yeniden işlenebilir olması ve ikincil alüminyumunu daha çok kullanılması ile karbon salınımının azalması sayesinde küresel ısınma riskinin düşmesi ve enerji verimliliği sağlanması hedeflenmektedir. Şekil 2.4.’de ikincil alüminyum hurdaları gösterilmiştir [16].



Şekil 2.4. İkincil alüminyum hurdaları [16].

Sektör bazında yayınlanan içerikler incelendiğinde, küresel anlamda gelecek yıllar ile beraber 2050 yılına kadar talebin iki katına artması beklenmektedir. Alüminyum alaşımları içerisinde bakıldığında yüksek dayanım gösteren alaşımlar 2019 yılında 31,15 milyar dolar değerinde pazar büyüklüğü ve 2027 yılına kadar ise %3,5'lik her yıl bileşik büyüme oranında artış beklenmektedir [17]. Şekil 2.5.'de alüminyum geri dönüşüm hedefleri gösterilmiştir [14].



Şekil 2.5. Alüminyum geri dönüşüm hedefleri [14]

2.4. Alüminyum Alaşımları

Alüminyum alaşımlı ürünlere şekil ve yön verebilmek adına yapılan uygulamalara göre sınıflandırılabilir. Bu ayrımlara bakıldığında döküm ve dövülebilir alüminyum alaşımları iki ana grup altında değerlendirilir. Alaşımlar ısıtılma işlemi gören ve ısıtılma işlemi görmeyen alaşımlar olarak kendi içlerinde ayrıca ayrılmaktadır. Isıtılma işlemi gören alaşımlar çöktürme sertleşmesi, ısıtılma işlemi görmeyen alaşımlara ise mekanik özelliklerinin istenilen seviyeye ve kondisyonda olması için deformasyon ve yaşlandırma yöntemleri uygulanır[18].

Alüminyum alaşımları, alaşım elementleri, kimyasal kompozisyonu ve mekanik özelliklerine göre değişkenlik göstermekte olup, alaşımlandırma işleminde en çok kullanılan elementler silisyum, bakır, magnezyum, mangan ve çinkodur. Alüminyum alaşımlarında kullanılan alaşım elementlerinin etkisi ile döküm ve dövme alaşım olarak ikiye ayrılan alaşımların mikro yapıları arasında da çeşitli farklar oluşmaktadır [19].

Dövülebilen alaşımlar kütük şekilde dökülüp plastik deformasyon sonucu istenilen şekil verilirken, döküm alaşımlar ise üretilecek parçanın şekline sahip kalıba döküm işlemi gerçekleştirilerek katılaştırma işlemine maruz bırakılır. Bu durumda plastik deformasyon etkisi ile dövülebilen alaşımların mikro yapılarında ki süreksizler giderilir. Dökme alaşımlarda bu durumu ortadan kaldırmak adına ayrıca ısıtıl işlem uygulaması yapılarak istenilen mekanik özellik değerleri yakalanabilmektedir [20].

2.4.1. Alüminyum alaşım sınıflarının özellikleri

Alüminyum alaşımlarında sınıflandırmada kullanılan yöntem dört haneli numaralandırma sistemi olup, özellikle dört hanenin ilk hanesi alüminyum alaşımının temel alaşım elementini gösterir. Tablo 2.1’de döküm alaşımları, Tablo 2.2’de dövme alaşımları gösterilmiştir [6].

Tablo 2.1. Döküm alaşım sınıfları [6].

Alaşım kategorisi	Temel alaşım elementi
1xx.x	-
2xx.x	Cu
3xx.x	Si + Cu ve/veya Mg
4xx.x	Si
5xx.x	Mg
6xx.x	Kullanılmayan seriler
7xx.x	Zn
8xx.x	Sn
9xx.x	Diğer elementler

Tablo 2.2. Dövme alaşım sınıfları [6].

Alaşım kategorisi	Temel alaşım elementi
1xxx	-
2xxx	Cu
3xxx	Mn
4xxx	Si
5xxx	Mg
6xxx	Mg ve Si
7xxx	Zn
8xxx	Diğer elementler
9xxx	Kullanılmayan seriler

- 1XXX Serisi Alaşımlar

Bu alaşım serisi alüminyumlar minimum %99 oranında alüminyuma sahip olduklarından saf alüminyum serisi olarak nitelendirilir. Bu alaşımlar dar ergime sıcaklığı aralığına sahip olup, ayrıca zayıf mekanik özelliklere sahiptir [21].

- 2XXX Serisi Alaşımlar

2xx.x serisi alaşımlar, alüminyum/bakır alaşımları olarak belirtilmekte olup, bakır elementi ortalama %0,7 ile %6,8 oranında alaşımın içinde bulunabilir. Bu alaşımlar özellikle yüksek dayanıklılık ve geniş bir sıcaklık aralığında gösterdiği yüksek mukavemet değerleri ile havacılık ve uzay sanayisinde tercih edilirler. 2XXX serisi alüminyumların korozyon direnci ise diğer alüminyum alaşımlarına göre düşük olup, farklı koşullar altında taneler arasında korozyon oluşabilmektedir [21].

- 3XXX Serisi Alaşımlar

3xx.x serisi alaşımlar, alüminyum/manganez alaşımları olarak bilinen ve içeriğinde %0,05'ten % 1,8 kadar manganez barındıran alaşımlardır. İçeriğinde ki mangan sayesinde orta kuvvette uzama, iyi şekillendirebilme ve korozyon direncine sahip yüksek sıcaklıklarda kullanabilme özellikleri, tencere ve tavalar, araçlar için ısı eşanjörleri gibi alanlarda tercih edilme sebebidir [21].

- 4XXX Serisi Alaşımlar

4xx.x serisi alaşımlar, alüminyum/silisyum alaşımları olarak bilinen ve kimyasal kompozisyonunda %0,6'dan % 21,5 kadar silisyum içerebilen alaşımlardır. Bu seri

alaşımlar hem ısıt işlemleri hem de ısıt işlemsiz tek alaşımlardır. Silisyum ilavesi ile alüminyumun ergime noktası düşürölür. Ayrıca anodik oksidasyon işlemlerinde siyah ve koyu gri tonların eldesinde silisyum içeren alaşımlar tercih edilebilir [22].

- 5XXX Serisi Alaşımlar

5xx.x serisi alaşımlar, alüminyum/magnezyum alaşımları olarak bilinen ve içeriğinde %0,2'dan % 6,2 kadar magnezyuma sahip olabilen alaşımlardır. Isıt işlem görmeyen alaşımlarda en yüksek dayanıklılığa sahiptir. Ayrıca bu alaşımlar kolayca kaynaklanabilme ve korozyon direnci özelliklerinden dolayı geniş bir kullanım alanına sahiptir [22].

- 6XXX Serisi Alaşımlar

6xx.x serisi alaşımlar, alüminyum/magnezyum-silisyum alaşımları içeren ve kimyasal kompozisyonunda Mg_2Si fazını oluşturan alaşımlardır. Ağırlıklı olarak kaynaklı imalat uygulamaları ve ekstrüzyon üretim proseslerinde tercih edilir. Korozyon ve yorulma dayanımı yüksek iyi işlenebilir özellikleri ile ön plana çıkmaktadır [22].

- 7XXX Serisi Alaşımlar

7xx.x serisi alaşımlar, alüminyum/çinko alaşımları içeren ve kimyasal kompozisyonunda %0,8'den % 12 kadar çinkoya sahip olabilen alaşımlar olup en yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarından biridir. Bu alaşımlar yüksek performanslı ürün beklentisi olan havacılık ve uzay sanayisinde tercih edilmektedir [23].

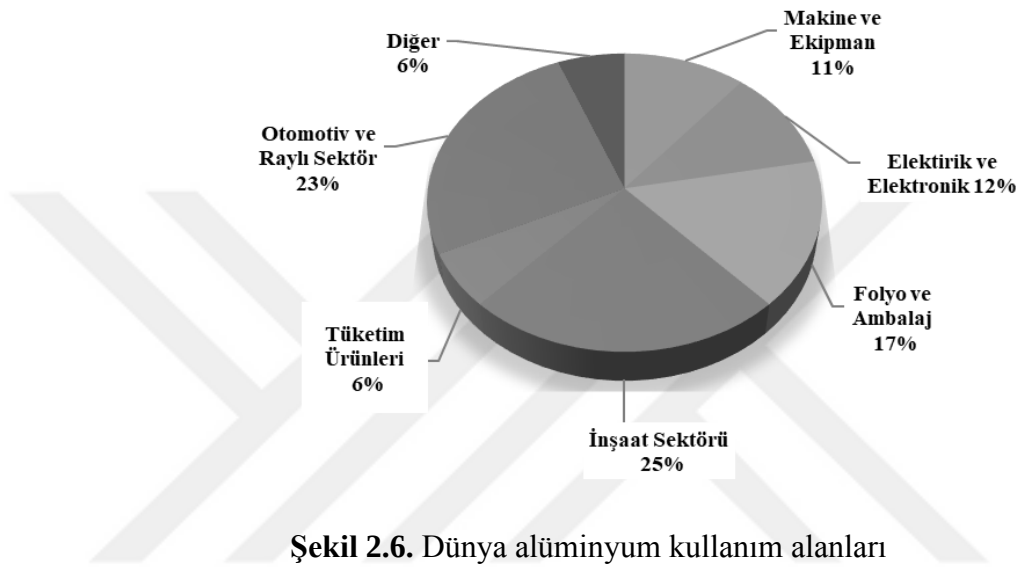
- 8XXX Serisi Alaşımlar

8xx.x serisi alüminyum/lityum-kalay içeren alaşımlardır. Alaşım içeriğine ayrıca demir, nikel gibi elementlerin eklenmesiyle elektriksel iletkenlik kaybı yaşamadan dayanımı artırılabilir. Son zamanlarda uçak ve uzay sanayisinde kullanılan bu alaşımlar, yüksek tokluk ve yorulma direnci olmasına rağmen diğer alaşım gruplarına göre üretim maliyetleri yüksektir [23].

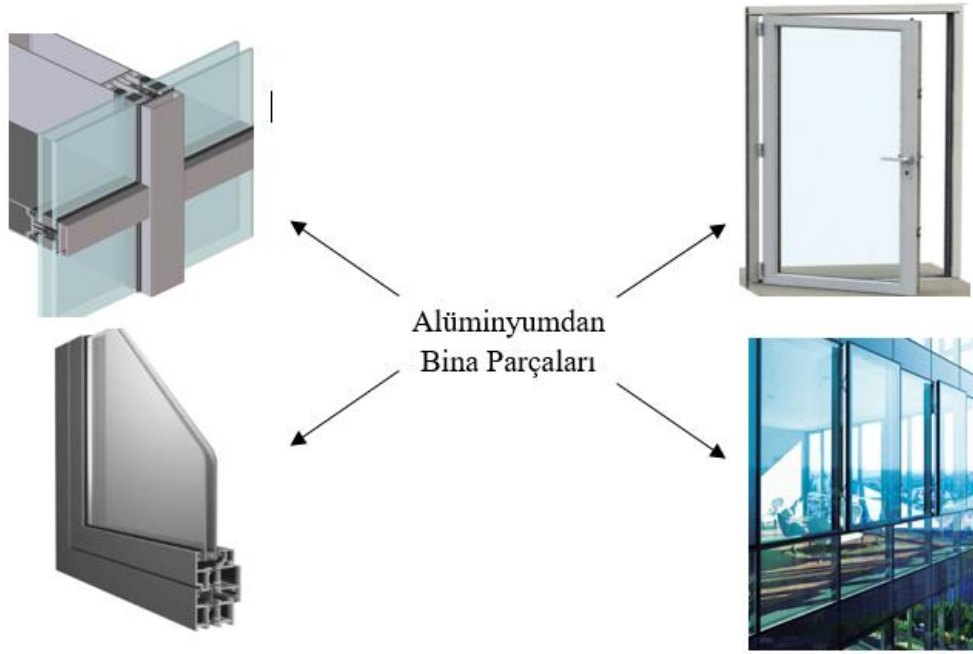
2.5. Alüminyum Kullanım Alanları ve Uygulamaları

Alüminyum alaşımları, geniş bir ürün yelpazesine sahip olabilen olağanüstü özelliğe sahiptir. Korozyon ve oksidasyon direnci dahil olmak üzere bir çok uygulamada, yüksek elektriksel ve termal iletkenlikler, düşük yoğunluk, yüksek yansıtma ve süneklik ile oldukça iyi mukavemet ve nispeten düşük maliyet avantajı sağladığı

ortaya çıkmaktadır [24]. Alüminyum gıdadan, kimyaya, ev eşyasından, inşaat sektörüne, otomotivden dekorasyon malzemelerine kadar geniş bir kullanım alanı sunmaktadır. Şekil 2.6. pasta grafiği dünyada alüminyum kullanım alanlarını göstermekte olup, en büyük kullanım %25 ile inşaat sektörü alırken, bunu takiben %23 ile otomotiv ve raylı sektör, %17 folyo ve ambalaj, %12 elektrik ve elektronik, %11 makine ekipman, %6 tüketim malları ve %6 diğer olmak üzere geniş bir yelpazede kullanıma sahip olduğu gözlemlenmektedir [24].



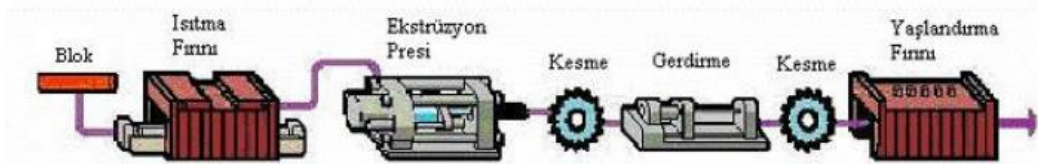
Alüminyum, yaygın olarak enerji verimliliği en yüksek olan metallerden biri olarak kabul edilmektedir. Çevre dostu olarak yapı malzemelerinde kullanımı alüminyumun dayanıklı olması, yüksek mukavemet-ağırlık oranı ve tasarım esnekliği gibi birçok etmenin enerji tasarrufuna katkıları, mimarlar ve tasarımcılar tarafından tercih edilebilir bir ürün haline getirmiştir. Alaşımlandırma ve şekillendirme kabiliyeti sayesinde bir çok otomotiv parçasında, kapı-pencere çerçeveleri ürünlerinde motorlar, tanker ve kamyon gövde panelleri, bilgisayar çipleri vb. birçok alanda alüminyum tercih eden pazarlar arasında bulunulur. Ekstrüze alüminyum profiller, kapılar, pencereler, duşlar ve diğer endüstriyel uygulamalar arasında iskele, çatılar, cepheler, paneller, bileşenler, tenteler, kaplama olukları ve iniş boruları, tavanlar ve daha birçok yapı ve inşaat malzemeleri sektörün kullanır [26]. Şekil 2.7.'de alüminyum ekstrüzyon yöntemi ile üretilmiş bina parçaları gösterilmiştir [26].



Şekil 2.7. Alüminyum ekstrüzyon yöntemi ile üretilmiş bina parçaları [26]

2.6. Alüminyum Ekstrüzyon Prosesi

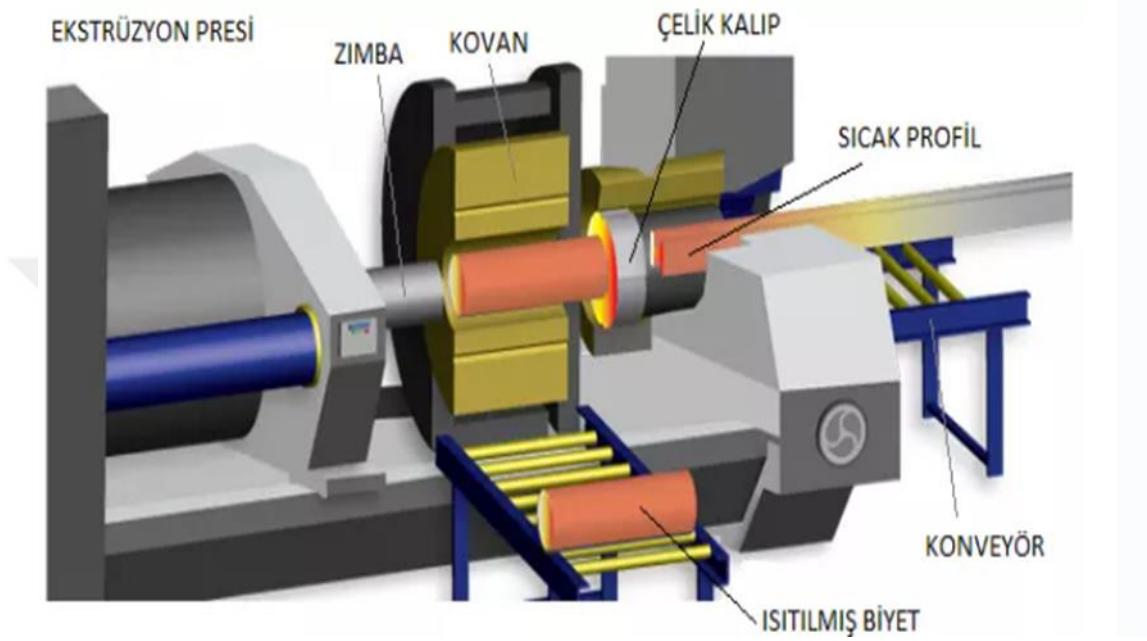
Ekstrüzyon üretimi 5-200 mm çapında 1,3-8 mm et kalınlığına varana kadar profiller, borular ile daha karmaşık geometriye sahip şekiller ve kesitler üretilebilen, çok popüler ve çok yönlü bir üretim sürecine sahip olup, çok sayıda otomotiv, havacılık ve inşaat sektörlerine yönelik ürünler ekstrüzyon yöntemi ile üretilmektedir [27]. Alüminyumun ekstrüze edilebilirliği için sektörel olarak tercih edilen en yaygın yöntem direkt ekstrüzyon yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Ekstrüzyon işleminin gerçekleştirilmesi için proses adımları; Billet Dökümü- Ekstrüzyon – Suni yaşlandırma (Termik) – İhtiyaca göre yüzey işlem şeklinde sıralanabilir. Şekil 2.8’de bir ekstrüzyon prosesi iş akış adımları gösterilmiştir [28].



Şekil 2.8. Alüminyum ekstrüzyon prosesi [28].

Ekstrüzyon, işlemini özetlemek gerekirse biyet adı verilen metal kütük parçanın, belli bir yük altında belirlenen kuvvet yönünde basılarak kalıp içerisinde bulunan boşluklardan ilerlemesi sağlayan bir plastik şekillendirme yöntemidir. Ekstrüzyonu

özetlemek gerekirse bir basma işlemidir. Basma işlemi sırasında oluşan kuvvetler kovan, kalıp, kütük (yani biyet) arasındaki tepki sayesinde ortaya çıkar. Biyet ile kalıp ve kovan arasında oluşan yüksek bası gerilmeleri biyetin şekil değiştirmesine ve malzeme içinde çatlak oluşumunu engellemekte etkisi yüksektir. Ekstrüzyon, biyetin döküm yapısını değiştirmede kullanılabilecek en iyi yöntemdir [29]. Şekil 2.9’da alüminyum ekstrüzyon pres kesit görüntüsü verilmiştir [30].

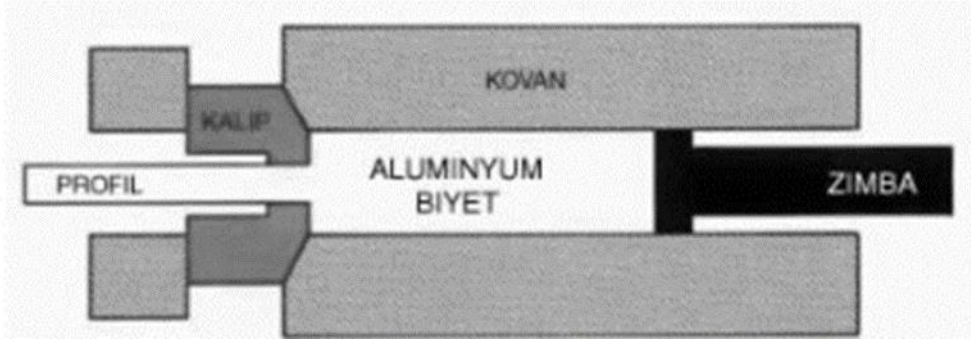


Şekil 2.9 Alüminyum ekstrüzyon pres kesit görünümü [30].

Alüminyum ekstrüzyon pres parametreleri incelendiğinde en önemli üretim parametrelerden biri yüksek ısı altında yapılması ve biyet ortalama 430-485 °C’ye kadar, kullanılan kalıpların ise 440-450 °C civarına kadar ısıtılmış olması beklenir. Ekstrüzyon sonrası profil çıkış sıcaklığı beklentisi 450 °C’nin üzerinde olmasıdır. Sıcaklık parametreleri, kullanılan alaşım, istenilen geometrik şekil, pres hızı ve mekanik özellik beklentilerine göre değişebilmektedir [31]. Ekstrüzyon da kullanılan en yaygın yöntem direkt ve indirekt üretimdir.

2.6.1. Direkt ekstrüzyon yöntemi

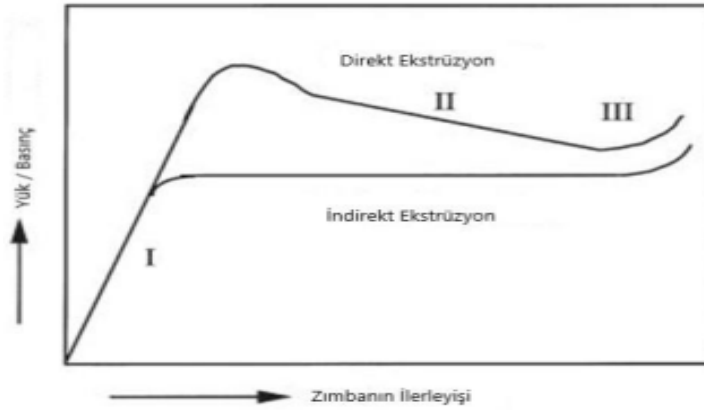
Direkt ekstrüzyon yöntemi genel olarak incelendiğinde kalıp kovanın (konteynır) son kısmında bulunur ve kalıbın bulunduğu yöne doğru zimba yardımı ile belirli bir kuvvet uygulanarak profil elde edilmesi sağlanır. Şekil 2.10’da direkt ekstrüzyon şeması verilmiştir [32].



Şekil 2.10. Direkt ekstrüzyon şeması [32].

Prosesi üç aşamada açıklayabiliriz:

- Alüminyum biyet kovana yüklendikten sonra uygulanmaya başlanan basınç zirve en üst noktaya ulaşır.
- Alüminyum metali, kalıp içerisinden akmaya başladığı noktada basınç en yüksek değerden düşmeye başlar ve biyet prosesi süresi boyunca optimum şekilde basınç uygulanmaya devam eder.
- Basıncın gittikçe düşmesi ile biyet uzunluğunun bitmesine yakın olduğu anda uygulanan basınçta son bir keskin basınç gözlemlenir [33]. Şekil 2.11’de direkt ve indirekt ekstrüzyon sırasındaki basınç değişimi gösterilmiştir [28].



Şekil 2.11. Direkt ve indirekt ekstrüzyon sırasındaki basınç değişimi [28].

Avantajları;

- İstenilen dış ölçülere sahip geniş bir alanda profil üretimi sağlanır.
- İstenilen geometriye sahip boşluklu veya boşluksuz profiller üretilebilir
- Kalıp dizaynı çapı, kovanın sahip olduğu iç ölçülerden bağımsızdır.

2.6.2. İndirekt ekstrüzyon yöntemi

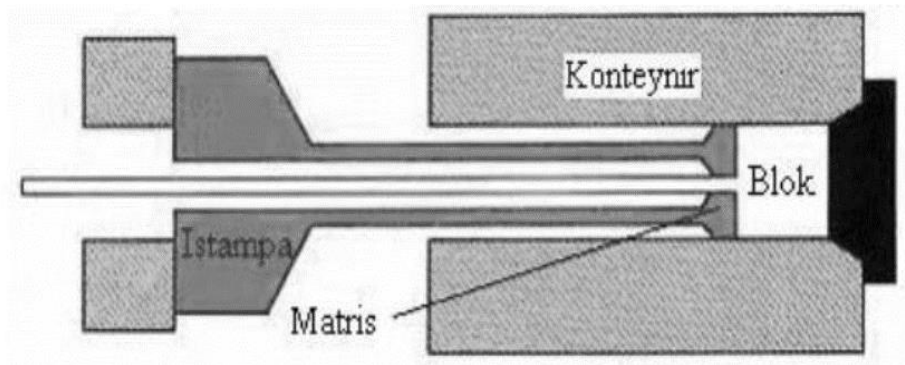
İndirekt ekstrüzyon yönteminde kalıp ıstampanın son kısmında yer alır ve konteynır (kovan) kalıba doğru hareketi esnasında alüminyum metali kalıp içerisinden çıkmasını sağlar. Direkt ekstrüzyona ve indirekt ekstrüzyonun arasında ki farklar aşağıda özetlenmiştir.

Avantajları;

- İndirekt ekstrüzyonda billet içinde bulunduğu kovan ile aynı yönde hareketi sayesinde sürtünme kuvvetinin oluşmaması ve bu nedenle indirekt ekstrüzyona prosesinde ihtiyaç duyulan kuvvet daha az olup, düzgün ürün akışı sağlanabilmektedir.
- İndirekt ekstrüzyon yönteminde biyet boyu konteynır boyu ayarlanarak istenilen uzunlukta kullanılabilir.
- Konteynır içerisinde üretim esnasında sürtünme kuvveti nedenli oluşabilen sıcaklığın az olması nedeni proses hızı daha yüksek seviyede üretim sağlanabilir.

Dezavantajları;

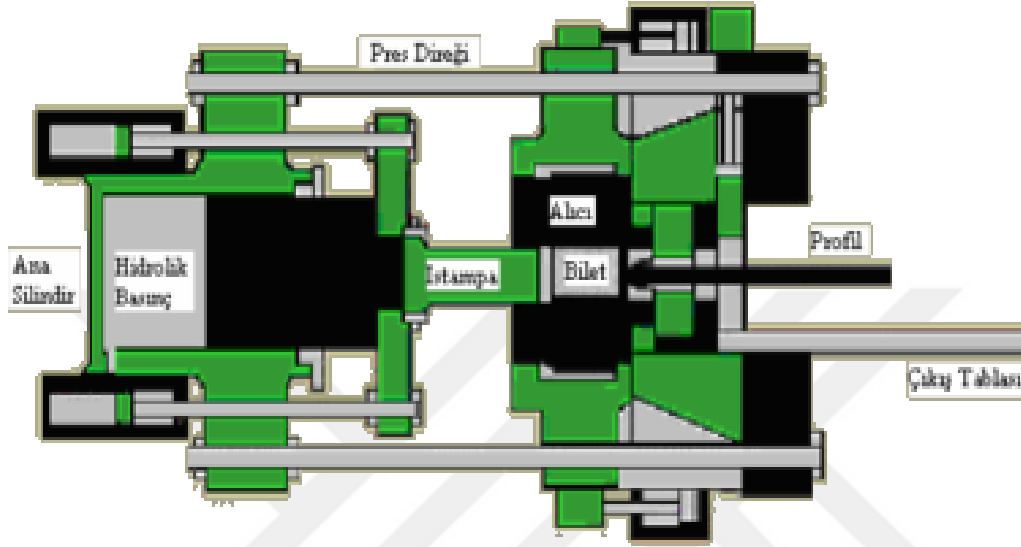
- Kalıbın, kovan (konteynır) içinde konumlandırılması, üretilecek profillerin kesit alanlarının, direkt ekstrüzyon yöntemine göre daha sınırlıdır.
- Biyet yüzeyinde ortaya çıkabilecek kalite problemlerinin giderilmesi indirekt üretim yöntemi ile pek mümkün değildir [34]. Şekil 2.12’de indirekt ekstrüzyon şeması gösterilmiştir [32].



Şekil 2.12. İndirekt ekstrüzyon şeması [32].

2.7. Ekstrüzyon Pres ve Birleşimleri

Presler, biyetin kalıptan geçmesi ve şekillenebilmesi için gerekli baskıyı uygular. Bir ekstrüzyon presinin çalışma prensibi gerekli pres parçalarının bir araya gelmesi ile ortaya çıkmaktadır. Şekil 2.13’de alüminyum ekstrüzyon presine ait ana parçalar gösterilmiştir [35].



Şekil 2.13. Alüminyum ekstrüzyon pres ve parçaları [35].

Ana Silindir: Arzu edilen ram (ıstampa) basıncı ve hareketinin oluşturulması için içerisinde hidrolik akışkanın pompalandığı silindirdir.

Hidrolik Basınç: Gerekli kuvvete sahip ram (ıstampa) ilerlemesini sağlamak için basınç kullanılır.

İstampa: Büyüklük, şekil ve zorlanma şartlarına göre ana silindirden gücü alarak biyete basınç uygular ve biyeti kalıp içerisindeki boşluklara doğru iter.

Ön Levha: İstampanın önünde bulunan ve ekstrüzyon sırasında ıstampayı birçok etkiden koruyan basma ve eğilme gerilmelerine dayanıklı yapıdır. Biyete direk temas halinde olduğundan ıstampa ile birlikte hareket eder.

Biyet: Alüminyum kütük halinde döküm yapılarak magazinden beslenir ve istenilen uzunlukta kesilerek biyet olarak prese beslenir.

Alıcı (Konteynır): Biyetin ekstrüzyon presine uygun bir şekilde yerleştiği silindirik bölümdür.

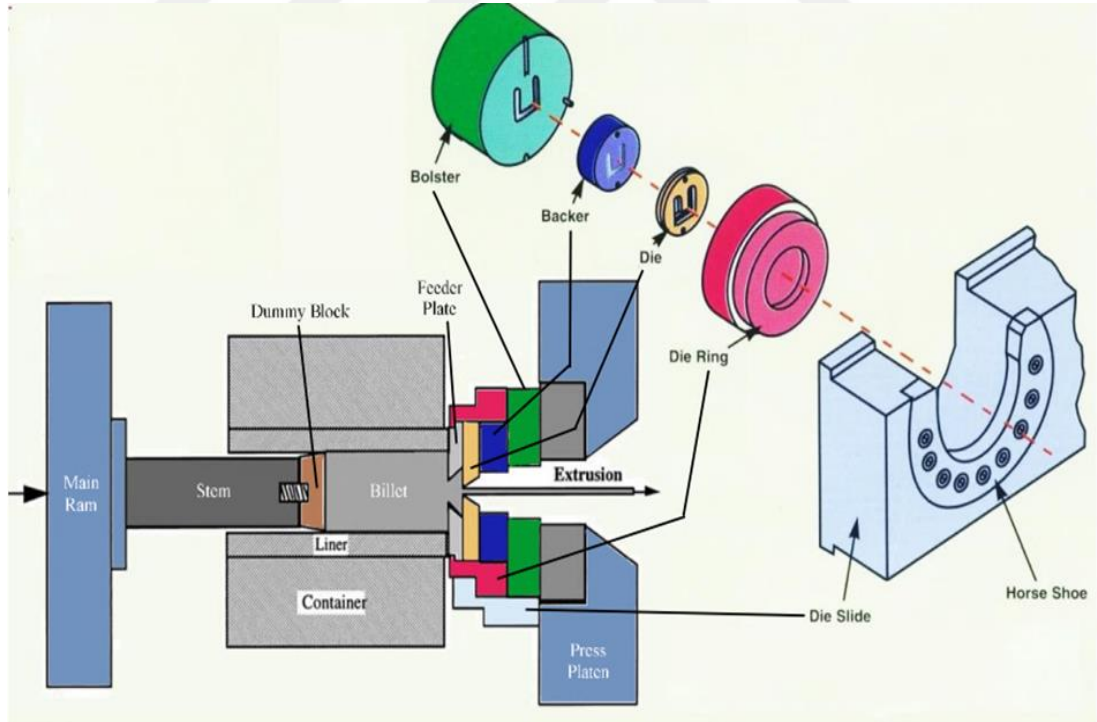
Kalıp: Belirli bir geometrik şekle sahip ve profile şekil vermeye yarayan çelikten ihmal edilen parçalardır. Kalıplarda destek, tutucu, besleyici gibi kısımlar bulunur.

Çıkış Tablası: Presten çıkan profillerin üzerinde boylu boyunca ilerlediği konveyörlerdir [36].

2.8. Kalıp

Kalıp, alüminyum alaşımlarının ekstrüze edilmesinde, istenilen malzemenin şekline göre ince detayları ve ölçü toleransları referans alınarak dizayn, hız, basınç ve sürtünme gibi birçok değişken kuvvet göz önünde bulundurularak tasarlanmış çelikten üretilen bloklardır.

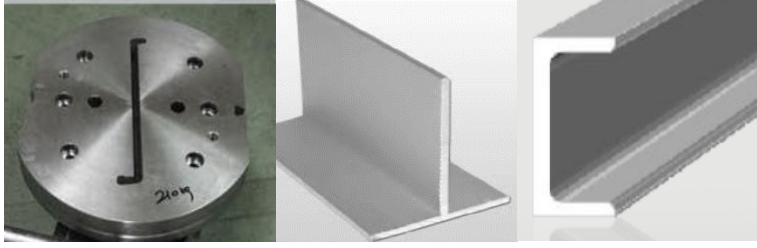
Alüminyum sıcak ekstrüzyon sürecinde genellikle düz yüzlü kalıplar tercih edilmekte olup, tercih edilen kalıp ve seti ekstrüzyon performansını ve maliyetini belirler. Kalıplar, kovan, köprü ve ayak olmak üzere birkaç bölümden oluşmaktadır [37]. Şekil 2.14’de kalıp setinin ekstrüzyon presi içerisinde kullanılırken sahip olduğu tüm parçalar gösterilmektedir [37].



Şekil 2.14. Kalıp seti ve ekstrüzyon presi içerisinde kullanımı [37].

Kalıp üretim metotları istenilen profilin yapısına ve geometrik gereksinimlerine göre açık, yarı açık, kapalı (boşluklu) olarak üretilmektedir. Dolu profiller de kullanılan kalıplar, kalıp ve destek kısmından oluşan daha kolay geometrilere sahip lama, rot, u,

t diye tabir edilen içi dolu profillerdir. Şekil 2.15’de düz kalıp ve açık profiller gösterilmiştir [31].



Şekil 2.15. Düz Kalıp ve Açık Profiller [31].

Boşluklu kalıplar (hollow die), kutu, boru vb. profillerin üretilmesinde kullanılan kalıplar olup özellikle profilin içinin boş çıkartılmasını sağlayan zıvanalı kalıp tekniği ile kalıp üretimi sağlanmaktadır. Şekil 2.16’da zıvanalı kalıp ve boşluklu profil gösterilmiştir.



Şekil 2.16. Zıvanalı Kalıp ve Boşluklu Profil [31].

Alüminyum ekstrüzyon kalıpları CNC makinelerinde tornalama işlemi sonrasında zıvana, kapak ve kalıp arkaları CNC tezgahlarda işlenir. Isıl işleme tabi tutulduktan sonra profil kesitine göre tel erozyonda hassas kesim ile ark erozyonda detay işçilikleri tamamlanır. Kalıp içerisindeki geçiş ve akış bölgelerindeki tasviye ve parlatma işlemi sonrasında kalıp test işlemlerine tabi tutulur [38]. Bu süreçler Şekil 2.17’de kalıp üretim süreçleri olarak gösterilmiştir [31].



Şekil 2.17. Kalıp Üretim Süreçleri [31].

2.9. Kalıp Temizleme Prosesi

Alüminyum ekstrüzyon prosesinden sonra kalıpların üzerinde alüminyum artıkları kalır. Kalıplar tercihe göre ara iş olarak tabir edilen üzerinde alüminyum ile saklanırken, müşteri beklentisi ve profil yüzey kalitesine göre kalıpların alüminyumdan temizlenmesi ve yeniden ekstrüzyon prosesine kazandırılması için NaOH çözeltilerinde temizleme işlemine tabi tutulur. Şekil 2.18’de a) Temizleme işlemi öncesi b) Temizleme işlemi sonrası kalıp görüntülerine ait görselledir.



a)

b)

Şekil 2.18. Temizleme İşlemi Öncesi ve Temizleme İşlemi Sonrası

Kalıp temizleme prosesinde yaklaşık olarak %20 ile %30 arasında sulu NaOH esaslı çözeltiler tercih edilmektedir. Çözeltiler için %48 likit sodyum hidroksit tercih edilir ve belirli hacme sahip kapaklı tanklarda hazırlanır ve uygun görülen şekilde kalıplar tank içine bir sepet yardımı ile yerleştirilerek temizleme işlemine tabi tutulur. Şekil 2.19’da kalıpların temizleme öncesi sepet içi yerleşimleri gösterilmiştir.



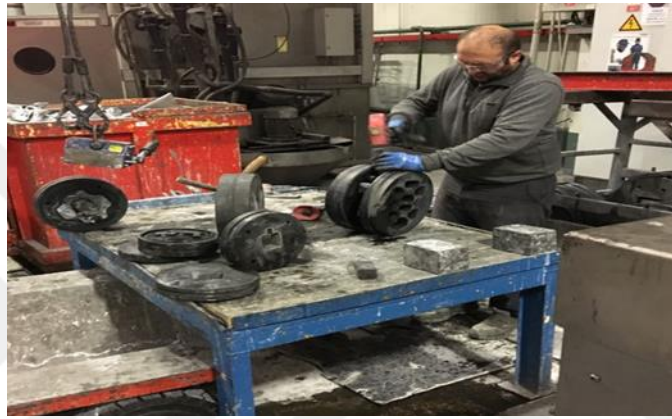
Şekil 2.19. Kalıpların Temizleme Öncesi Sepet İçi Yerleşimleri

Tank içerisinde bulunan sodyum hidroksit esaslı çözelti alüminyum ile reaksiyona girerek, kalıp içerisinde ve etrafında kalan alüminyumı çözemeye başlar. Bu kimyasal reaksiyon incelendiğinde, $2Al(k) + 2NaOH(aq) + 2H_2O(aq) \rightarrow 2NaAlO_2(k) + 3H_2(g)$ reaksiyon ürünü olarak sodyum alüminat ve hidrojen gazı açığa çıktığı gözlemlenmiştir. Ekstrüzyon kalıpları çelikten mamul edildiğinden, kostik alüminyum çözerken kalıplara zarar vermemektedir. Şekil 2.20’de kalıp temizleme ünitesi gösterilmiştir.



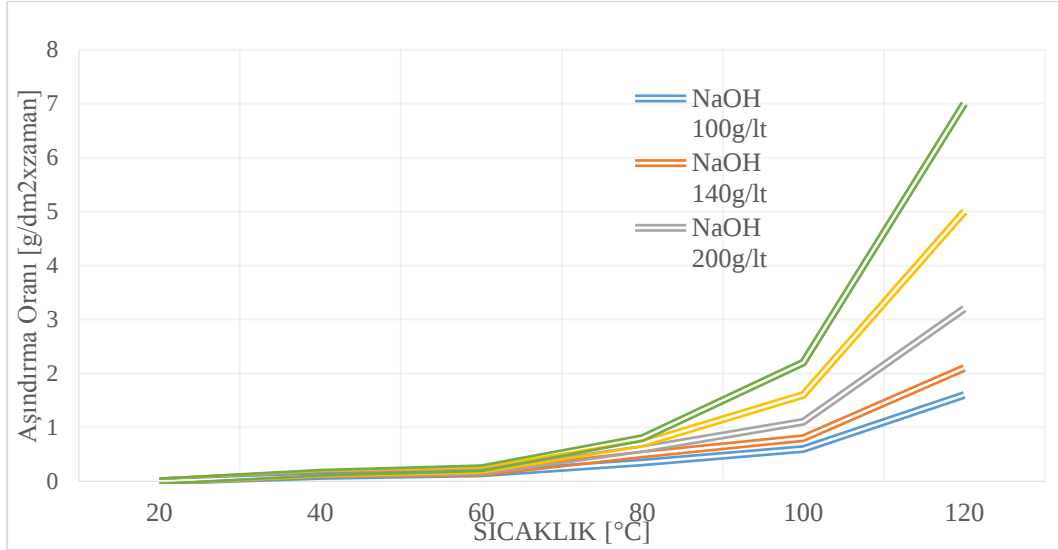
Şekil 2.20. Kalıp Temizleme Ünitesi

Kalıp temizliği işlemi belirli saat aralıklarında tamamlandıktan sonra, sodyum hidroksit çözeltisi başka bir tanka çekilir. Kalıplar çıkarılıp, durulama tankına alınır. Kalıplara manuel olarak açma işlemi uygulanır. Kalıp, kalıp arkası ve zıvana kısımlarından ayrılır, ayrılmadan geri kalan kalıplar tekrar kostik kazanlarına atılarak işleme devam edilir. Bu işlem yakım olarak değerlendirilir ve ortalama yakım çevrim toplam süresi 24 saat olarak belirtilir. Yakım çevrim sürelerinin uzun olması proses gereği kostik çözeltisinde muamele edilecek kalıpların farklı çaplarda olması, farklı ağırlıklarda alüminyum ihtiva etmesi kalıpların açılma sürelerini uzatabilmektedir. Şekil 2.21’de kalıp ayırma işlemi gösterilmiştir.



Şekil 2.21. Kalıp Ayırma İşlemi

Kalıp temizleme prosesinin kritik parametreleri bulunmaktadır. Bu parametreler özellikle kullanılan sodyum hidroksit miktarının g/lt olarak ölçümü ile proses sıcaklığıdır. Sodyum hidroksit çözeltisi su ile endotermik bir reaksiyon verir. Sodyum hidroksit çözeltilerin ısıları ilk 10 dakika içerisinde yaklaşık olarak 50 °C’leri bulabilir. Bu bir ekzotermik reaksiyondur. Sodyum hidroksit sıcaklıkla aktivasyon enerjisi artarak alüminyum ile daha hızlı tepkimeye girebilmektedir. Şekil 2.22’de farklı tip konsantrasyonlarda hazırlanan sodyum hidroksit çözeltilerinin sıcaklık artmasıyla birlikte zamana karşı aşındırdığı yüzey alanın ağırlıkça oranı gösterilmiştir.



Şekil 2.22. Sodyum Hidroksit Çözeltilerin Sıcaklığa Karşı Aşındırma Oranı

Özellik yüksek konsantrasyon içeren NaOH esaslı çözeltilerde, aşındırma hızının çok daha etkili olduğu gözlemlenebilmektedir. Bu durum bir diğer açıdan bakıldığında kalıp başınatüketilen kostik miktarını arttırabilir ve proses işletme maliyetlerini olumsuz yönde etkilenebilir. Bu durumların oluşmaması adına en optimum şartları sağlamak önemli bir kriter olarak karşımıza çıkmaktadır. Aşındırma işlemi devam ettikçe sodyum alüminat çözeltisi hidroliz olarak $2NaAlO_2 + 4H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3 + 2NaOH$ alüminyum oksit ve hidroksit formunda çökeltme eğilimi göstermektedir. Çökelti taşlaşarak tankın etrafına ve alt kısmını kaplayabilir. Bu durumun bertarafı için işlem tamamlandıktan sonra tankların içi su veya asit çözeltisi ile temizlenmelidir. Bu şekilde tankın içerisine alınacak yeni sodyum hidroksit çözeltisi bir önceki prosesten kalan çökelmiş haldeki alüminyum hidroksit kalıntılarından etkilenmeyecektir [39]. Şekil 2.23’de a)kostik dağlama işlemi sonrasında kazan içerisinde kalan alüminyum oksit çökeltileri b) sodyum hidroksit banyosu gösterilmiştir



a)



b)

Şekil 2.23. a) Kostik dağlama işlem sonrası b) Sodyum hidroksit banyo

3. TAGUCHI YÖNTEMİ

3.1. Taguchi Nedir

Taguchi deney tasarımı yöntemi ilk olarak Ronald Fisher tarafından ortaya çıkarılmış fakat Taguchi tarafından ortogonal dizinler yöntemi ile deney sayılarını önemli ölçüde azaltarak zaman ve maliyet avantajı sağlaması ile ilk defa kullanılmış ve taguchi deney tasarımı ismini almıştır. Fisher, toprak verimliliği üzerine çalışmaları kapsamında, toprağı bölümlere ayırarak yetiştirmek istediğı ürünleri çeşitliliğine göre bu bölümlerde yetiştirmiştir. Fisher yapmış olduğı deneme sonuçlarını analiz etmek için ayrıca anova yöntemini de geliştirme fırsatı bulmuştur [40].

Günümüzde Taguchi yöntemi en yaygın kullanımı kalitenin tasarım aşamasında ki sistemler üzerinde kullanılması olmuştur. Bu yöntem ile arzulanan durum, üretilmesi istenilen ürünün fonksiyonel özellikleri, ürününün kalitesini ortaya çıkarması ve bu özelliklerin nihai üründe kullanılabilmesi aslında planlama kısmında ele alınmalı ve böylece istenilen özellikte ürünlerin üretilmesi sağlanabilmektedir [41]. Bu çerçevede Taguchi deney tasarımı yöntemi, değişken parametrik değerlerin farklı seviyeler arasında en uygun eşleşmeleri belirlemek adına faydalı bir uygulamadır. Parametrik tasarımlar kısmında, kontrol altında olan ve kontrol dışı kalabilen faktörlerin nihai ürüne olan etkilerini saptamak için kullanılabilecek en faydalı yöntem istatistiksel model deney tasarımlardır. Her bir parametrik değer ve seviye için oluşturulan kombinasyonlar mevcut durumda çok daha fazla deneme yapılması gereken durumlarda, Taguchi yöntemi kullanılarak, çok daha az ve deneme yapılarak hedeflene ulaşmak daha kolay olmaktadır. Taguchi deney tasarımı metodu bazı kavramlar üzerinden kurgulanmakta olup bunlar sistem, parametre ve tolerans tasarımıdır [42].

3.2. Taguchi Deney Tasarımı

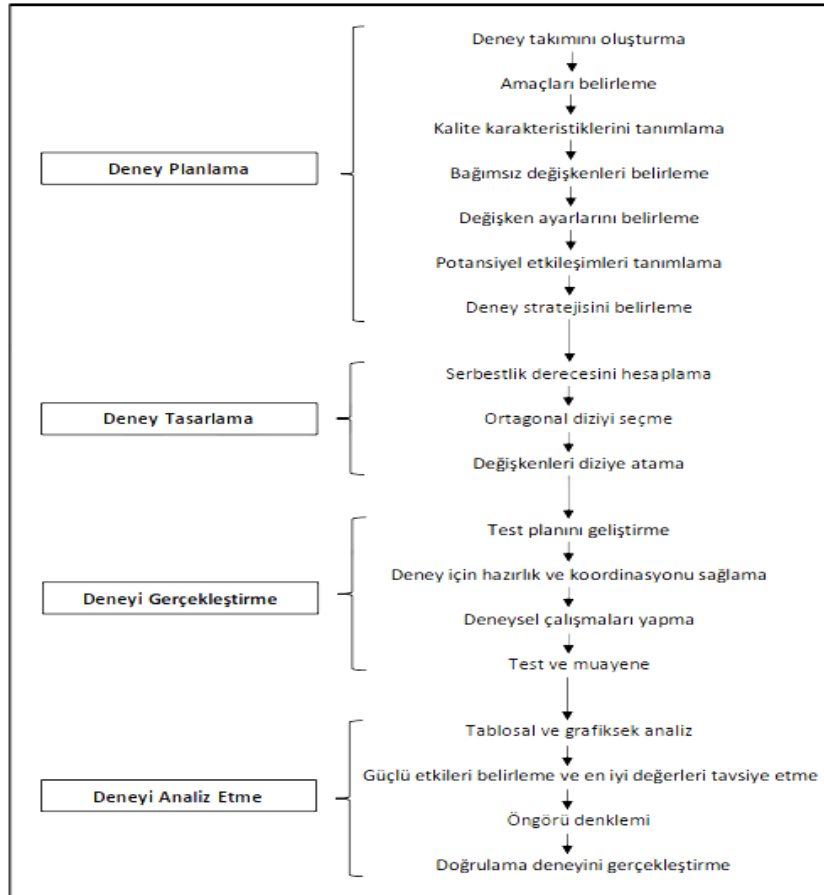
Taguchi deney tasarımı ile hedeflenen değerler kontrol edilebilen parametrik seviyeleri içinde bulunduran ortogonal dizinler ile belirlenmektedir. Seçilen ortogonal dizin ile deney veya çalışma adetleri azaltılarak hangi parametrelerin sonuçları daha

çok etki ettiği araştırılabilmektedir. Ayrıca bu yöntemin bir avantajı, tekrarlanmamış denemelerin sonuçları ile ilgili değerler üzerinden tahmin yürütülebilmektedir. Taguchi yöntemi, son yıllardaki yazılım teknolojisinin ilerlemesi ile birlikte, deney tasarımını içeren minitab gibi programlar ile bilimsel araştırmalarda, ürün tasarımlarında ve deney tasarımlarında kullanılmaktadır.

Ortogonal dizinlerin en belirgin özelliği tam faktöriyel kuralının kullanılmasıdır. Tam faktöriyel matematiksel modelin çalışma prensibi minimum iki veya daha fazla parametrenin belirlenmesi ve parametreleri destekleyici yönde minimum iki veya daha fazla seviyelerin bulunduğu denemelerde seviyelerin çarpımları ile ortaya çıkan sonuçlardır [43].

3.3. Taguchi Yöntemi Uygulama Adımları

Deneyisel tasarımın planlaması, başlaması ve sonuçların elde edilerek tüm bu adımların yorumlanmasına kadar izlenecek 4 ana başlık aşağıda Şekil 3.1’de deney tasarımı uygulama adımlarında gösterilmiştir [29].



Şekil 3.1. Deney tasarımı uygulama adımları [29].

3.4. Ortogonal Dizin Seçimi

Taguchi, deneylerini tasarlarlarken özel bir dizin seti kullanmıştır. Bu dizin seti latin kareler ortogonal dizinleri olup, tarihçesi II. Dünya Savaşına kadar uzanmaktadır. Deney tasarımında kullanılacak ortogonal dizinin belirlenmesi, her bir faktörün serbestlik derecelerinin toplamı ile bulunur [44].

Bir deney için standart parametre ve bu parametrelerin seviye arasında ki ilişkiyi açıklayan denklem $\text{seviye}^{(\text{parametre})} = \text{deney sayısı}$ dır. Örneğin 4 parametrelili ve bu parametrelerin 5 seviyeli bir deney optimizasyonunda $4^5=1024$ deney yapılması gerekir. Taguchi deney tasarımı uygulaması ile bu deney optimize edilerek yapılırsa 16 deney yapmak yeterli olmaktadır. Yine bir başka uygulama yöntemi olarak Örneğin 2 seviyeli 3 parametrenin olduğu bir deney tasarımı düşündüğümüzde $3^2=9$ olacaktır. Bu durumda yapılacak deney sayısı en az 4 olmalıdır. Ortogonal dizimler L harfi arkasına deney sayısı eklenerek gösterilir. Şekil 3.2' de faktör ve parametre sayılarına göre ortogonal dizilim tablosu gösterilmiştir [45].

Designs	Single-level designs			
	2 level	3 level	4 level	5 level
L4	2-3			
L8	2-7			
L9		2-4		
L12	2-11			
L16	2-15			
L16			2-5	
L25				2-6
L27		2-13		
L32	2-31			

Şekil 3.2. Faktör ve parametre sayılarına göre ortogonal dizilim tablosu [45]

Kontrol edilebilen faktör ve parametrelerin karşılaştırılması en uygun kombinasyonunun seçilmesini sağlamak için sonuçların değerlendirme metodu kullanılır. Sonuçların performans istatistiklerinin değerlendirme yöntemleri arasında S/N olarak adlandırılan ortalamanın standart sapmaya oranını veren istatistiktir [45]. En yaygın olarak kullanılan S/N oranları; a) Daha büyük daha iyi b) Daha küçük daha iyi c) Nominal en iyi ile deney sonucunda elde edilen değerler beklenen güven aralığının içinde ise bulunan parametre seviye kombinasyonu en iyi performans veren kombinasyondur ve deney amacına ulaşmıştır.



4. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Tansens ve arkadaşlarının 2011 yılında yayınladıkları makalede, alüminyum ekstrüzyon işlemi için kullanılan kalıpların, alüminyumdan arındırılıp tekrardan proses edilebilmesi için kullanılan sodyum hidroksit banyolarında yüksek alüminyum içeren banyo sularından alüminyumun geri kazanılması ve alkali sodyum hidroksit çözeltisi olarak tekrar kullanılması içerir. Atık suların seyrelterek, filtre edip, çökeltme işlemine tabi tutarak ile %82 oranında alüminyum kazanmışlardır. Çöktürme işleminde soğutularak sülfirik asit ilavesi ve daha sonrasında yıkama işlemi yapılmıştır. Çöktürülen katı numunelerde $Al(OH)_3$ (Alüminyumtrihidroksit) beklentisi TGA (termogravimetrik), FTIR (fourier dönüşümlü kızılötesi spektromesi) ve XRD (X-ışını kırınımı) analizleri yapılarak değerlendirilmiştir [46].

Miadokova ve arkadaşları 1984 yılında yayınlanan makalede, alüminyumun sodyum hidroksit ile olan reaksiyon kinetiğini ve mekanizmaları incelenmiştir. Çözünmüş alüminyum miktarı UV-spektrofotometre kullanılarak ölçülmüştür. Alüminyum sodyum hidroksit içerisinde reaksiyonu 2 saat süre, sıcaklık, ortam, oksijen konstrasyonu yönünden değerlendirilmiştir. Yapılan ölçümlerde viskozitenin artması çözelti reaksiyonu olumsuz yönde etkilerken, iletkenlik ölçümlerinde OH^- iyonlarının yüksek kalması reaksiyon hızını olumlu yönde etkilediği belirtilmiştir. Çözelti performansları 1 M ve 5 M sodyum hidroksit konsantrasyonu ve 15 – 45 °C arasındaki sıcaklık aralığında 0,1 MPa oksijen basıncı altında daha hızlı olduğu ölçümlenmiştir [47].

A. S. Aadli 2019 yılında yayınladığı çalışmasından, kalıp dağlama prosesinin atık sularında karbonatlaşma reaksiyonu sırasında ki sıcaklık ve pH etkisini incelemiştir. CO_2 0,1 psi dan az bir basınç ile 2 saat süre ile kalıp dağlama atık suyuna verilerek pH ve sıcaklıkları takip edilip ölçülmüştür. Bu işlem sırasında çözeltide oluşan tanecikler çökeltme işlemine tabi tutulmuştur. Çökelti kurutulduktan sonra Karakterizasyon analizleri için FTIR, XRD, ICP, SEM analizleri yapılmıştır. pH 10'un üzerinde aşırı doymuş sodyum alüminat çözeltisinde ki alüminat iyonlarının ayrıldığı ve alüminyum hidroksit olarak çöktüğü gözlemlenmiştir. Kurutulmuş numune XRD sonuçları

alüminyum hidroksitin gipsit formu ile sodyum karbonat ve az miktarda sodyum alüminat tespit edilmiştir [48].

Watts ve arkadaşları 1956 yılından yayınladıkları makalede, alüminyum içerikli alkali çözeltilerde kompleks ajan olarak sodyum glukonat volumetrik analizleri incelenmiştir. Çözeltide alüminyum miktarı potasyum florid eklenmesi ile alüminyum başına üç mol eş değer serbest hidroksit titre edilerek volumetrik olarak hesaplanarak bulunmuştur. Alüminyum sodyum glukonat ile kompleks reaksiyonu verdiği alüminyum hidroksit birleşğine bağlandığı gözlemlenmiştir [49].

Barakat ve arkadaşları 2005 yılında yayınladıkları makalede, alüminyum ürünlerinin sodyum hidroksit banyolarında işlem gördükten sonra bu reaksiyonun doğal çıktısı olan sodyum alüminatı hidrolize edilebilmesi sodyum alüminatı çökeltme işlemini hızlandıracak ajanlar kullanılarak sodyum hidroksitin geri kazanılması sağlanmıştır. Çöktürme işlemi için kalsiyum hidroksit (sulu kireç) , hidrojen peroksit, hidrojen peroksit/kalsiyum hidroksit karışımı ve kalsiyum oksit (kuru kireç) kullanılmıştır. Sodyum hidroksitin geri kazanılmasında en etkin yöntemin 100 g/L kalsiyum oksitin 60 °C’de, 30 dakika muamelesi ile %96 verim ile sodyum hidroksitin geri kazanılmıştır. Bu verimleri sırası ile %90 oranında $H_2O_2/Ca(OH)_2$ karışımı, sonrasında %83 H_2O_2 en düşük geri kazanım veriminin ise $Ca(OH)_2$ kullanımda olduğu fakat H_2O_2 kullanımında $pH < 12$ sodyum alüminat molekülünde ki anyon grubu ayrılarak alüminyum hidroksit olarak çökmesine ve sodyum hidroksitin çözelti içerisinde tekrardan oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu reaksiyon alüminyum hidroksit çekirdeklenmesi, sonrasında kristal büyümesi ve daha sonrasında topaklaşarak çökme reaksiyonudur [50].

Sahu ve arkadaşları 2014 yılında yayınladıkları makalede, sodyum alüminat çözeltilerinde, sodyum hidroksit ve hidrazin kullanılarak, alüminyum hidroksit çökmesini incelemiştir. Çalışmada ayrıca organik polimerler, sürfaktanlarında çökelti reaksiyonlarında verim arttırdığı gözlemlenmiştir. Hidrazin etkisinin 24-40 mmol/L aralığında alüminyum trioksit çökmesinde daha etkin olduğu, kullanılan miktar arttığından hidrazinin inhibe edici özelliği ortaya çıkmıştır. Ayrıca yüksek sıcaklık alüminyum hidroksit çökmesini olumlu yönde etkilemiştir. Düşük miktarlarda 1-3 mmol/L glukonatın ikincil çekirdeklenmeyi arttırmıştır. Çökme reaksiyonunda 350 mmol/L hidrojen peroksit ilavesinin en etkin olduğu, çalışma içerisinde XRD sonuçlarına bakıldığında kurutulmuş çökelti numunelerinde gibbst

varlığı gözlemlenmiştir. Ayrıca ek katkı kimyasalları eklenmiş haldeki çökelme performansının, sodyum hidroksit atık çözeltisine göre %13 performanslı olduğu, bu parametrik değerin yüksek sıcaklıklar ile arttığı optimum çalışma sıcaklığın 80°C olduğu gözlemlenmiştir [51].





5. METARYAL VE METOT

Bu çalışmada kullanılan tüm kimyasallar, alüminyum parçalar ve kullanılan analiz ekipmanları ASAS Alüminyum San. ve Tic. A.Ş. tarafından sağlanmıştır.

5.1. Kullanılan Kimyasal Malzemeler

Çalışmada kullanılan sodyum hidroksit kimyasalı Koruma Klor Alkali San. ve Tic. A.Ş. firmasından temin edilmiştir. H_2SO_4 , KF, FF, Merck (Germany) şirketinden alınmıştır. Şelatlama ajanı olan sodyum glukonat, oksidatif ajan olan hidrojen peroksit Merck (Germany) şirketinden temin edilmiştir. Yüzey aktif madde olan Triton X-100 Sigma-Aldrich (Amerika) firmasından temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan tüm kimyasallar analitik saflıkta olup, tekrar bir saflaştırma işlemine tabi tutulmamıştır.

5.2. Kullanılan Cihazlar

Deneyssel çalışmalarda, Precisa (model no: LS220A) marka analitik terazi, Stuart (model: SB162-3) magnetik karıştırıcı ve ısıtıcı, bağıt tipi termometre (Isolab), otomatik şeffaf musluklu büret (Isolab), pH metre Inolab_IDS (model no: Multi 9420), Quorum Sputter (model no:SC7620) marka coater cihazı, ZEISS EVO (model no: MA15) marka SEM taramalı elektron mikroskobu, PERKİN ELMAR Spectrum Two marka FTIR cihazı, BRUKER (model no: S8 Tiger) marka XRF X-ışını floresansı, Zeiss Axio (model no:Scope A1) marka optik mikroskop ile ölçümleri yapılmıştır.

5.3. Alüminyum Parça Hazırlanması

Bu çalışmada, sodyum hidroksit çözeltileri içerisinde çözünme reaksiyonu gösterecek alüminyum bloklar için 6XXX serisi bileşimi ağırlıkça % 0,45 Si, % 0,303 Fe, % 0,04 Mn, % 0,38 Mg, % 0,02 Cu, % 0,01 Ti, % 0,01 Cr, % 0,021 Zn içeren alüminyum alaşım alaşımlar tercih edilmiştir. Alüminyum parçalar ortalama ağırlıkça 100 gr olarak hazırlanmıştır Alüminyum parça Şekil 5.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Alüminyum Parça

5.4. Taguchi Metodu Çözelti Hazırlama

Taguchi metodu için optimum reaksiyon şartlarının belirlenmesi adına ticari olarak alınan %48 likit sodyum hidroksit çözeltisi, saf su ile ağırlıkça seyreltme işlemine tabi tutularak 4 farklı konsantrasyonda çözeltiler hazırlanmıştır. Çözeltiler 5M, 7M, 9M, 14 M sodyum hidroksit konsantrasyonlarına sahip olacak şekilde 500 ml hacimde hazırlanmıştır. Tablo 5.1’de %48 ‘lik sodyum hidroksitin kimyasal analizi verilmiştir.

Tablo 5.1. Sodyum hidroksit kimyasal analizi

NaOH [%m/m]	Na ₂ CO ₃ [% m/m]	Cl [ppm]	Fe [ppm]	Si [ppm]
48,6	0,35	43	0,5	1,3

5.5. Taguchi Metodunun Kimyasal Aşındırma İşlemi

Taguchi metodu için 4 seviyeli 3 parametrelili bir deney tasarımı hazırlanmıştır. Deney parametreleri sodyum hidroksit konsantrasyonu, sıcaklık ve zaman olarak belirlenmiştir. Tablo 5.2.’de deney parametreleri ve seviyeleri gösterilmiştir.

Tablo 5.2. Taguchi deney parametreleri ve seviyeleri

Seviye	Molarite [M]	Sıcaklık [°C]	Zaman [Dk]
1.Seviye	5	75	30
2.Seviye	7	80	60
3.Seviye	9	80	90
4.Seviye	14	85	120

4 seviyeli 3 parametrelili bir deney için Taguchi yöntemi kullanılmadığında 64 adet deney yapılması gerekirken, belirlenen deneysel plana göre MİNİTAB programı ile L16 deney matrisi seçilmiş, sodyum hidroksitin alüminyum reaksiyonunda en uygun

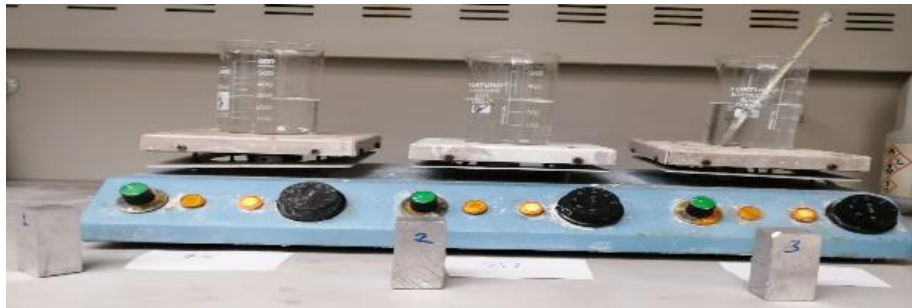
parametrik şartların belirlenmesinde sinyal/gürültü oraları içerisinde nominal en iyisidir yaklaşımı ile analiz edilmiştir. Tablo 5.3.'de Taguchi L16 deney matrisi gösterilmiştir.

Tablo 5.3. Taguchi l16 deney matrisi

Molarite [M]	Sıcaklık [°C]	Zaman [Dk]
5	75	30
5	80	60
5	80	90
5	85	120
7	75	120
7	80	90
7	80	60
7	85	30
9	75	60
9	80	30
9	80	120
9	85	90
14	75	90
14	80	120
14	80	30
14	85	60

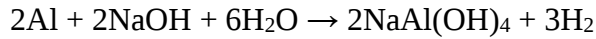
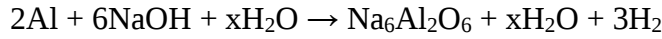
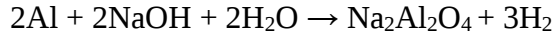
5.6. Taguchi Kimyasal Aşındırma İşleminde Optimum Şartları Belirleme Çalışmaları

Deneyisel çalışmaların yapılabilmesinde ısıtıcı ve manyetik karıştırıcı özelliğine sahip STUART SB162-3 model cihaz kullanılmış olup, reaksiyon sırasında çözeltilerin sıcaklık takibi ISOLAB baget tipi Termometre kullanılarak sağlanmıştır. Şekil 5.2.'de 500 ml beherde hazırlanmış sodyum hidroksit çözeltileri ve alüminyum parçaları gösteren deney düzeneğidir.

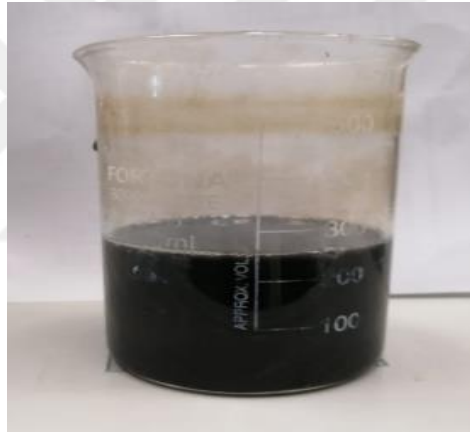


Şekil 5.2. Deney düzeneği

Alüminyumun sodyum hidroksit çözeltisi içerisinde ki reaksiyonu ekzotermik olup, alüminyum çözünme işlemi sırasında çözeltileri belirli sıcaklıklarda tutmak için soğuk su banyosuna daldırılarak beherlerin dış yüzeyleri ısıtılmıştır. Sodyum hidroksit alüminyum reaksiyon mekanizması aşağıda reaksiyon basamağı şeklinde oluştuğunda, sodyum alüminat molekülleri alüminyum hidroksit olarak çökelme eğilimi gösterir ve ortama hidroksi anyonu verir.



Reaksiyon süresine bağlı olarak, alüminyumun sodyum hidroksit çözeltisinde çözünme miktarı arttıkça çözelti rengi açık berrak renkten koyu kahverengi ile siyah tonlarına döner. Şekil 5.3.'de aşındırma işlemi sonrası çözelti gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Aşındırma işlemi sonrası çözelti

5.7. Farklı Katkılar Eklenmiş Çözeltiler

Bu çalışmada 5 farklı tipte sodyum hidroksit esaslı çözeltiler hazırlanmıştır. Hazırlanan çözeltilerin sodyum hidroksit konsantrasyonları aynı tutulup, 9 M yaklaşık %24'lük sıvı sodyum hidroksit olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan çözeltilerin içerikleri aşağıda ki gibidir;

TİP 1 ; %24 Sodyum Hidroksit

TİP 2; %24 Sodyum Hidroksit + Şelatlama Ajanı

TİP 3; %24 Sodyum Hidroksit + Peroksit

TİP 4; %24 Sodyum Hidroksit + Şelatlama Ajanı + Peroksit

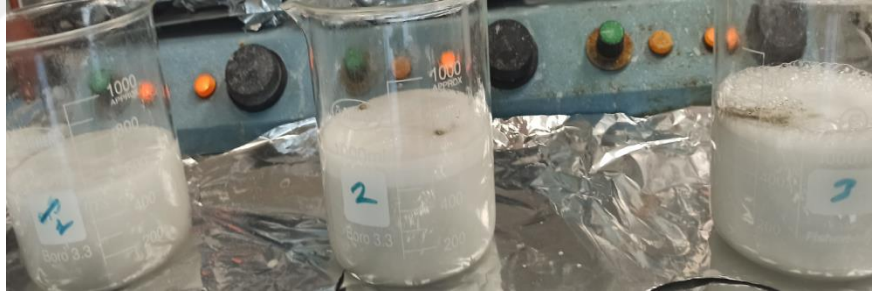
TİP 5; %24 Sodyum Hidroksit + Şelatlama Ajanı + Peroksit + Yüzey Aktif Madde

Çözelti içerisine eklenen katkı maddeleri ağırlıkça olarak hesaplanmış olup, tartımlarda Precisa LS220A Analitik Terazi kullanılmıştır. Şekil 5.4’de analitik tartım cihazı gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Analitik tartım cihazı

Alüminyum parçalar çözelti içerisinde 120 dk, 80 °C işlem görmüştür. Bu zaman dilimin her 15 dakikalık bölümlerinde, çözeltilerden numune alınarak titrasyon yöntemi ile serbest NaOH ve Al miktarı, pH ve iletkenlik ölçümleri ve ayrıca parça alüminyum da çözünme kaynaklı oluşan ağırlık kayıpları da analitik terazide ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Şekil 5.5 ‘de çözelti alüminyum ile reaksiyonu gösterilmiştir



Şekil 5.5. Çözelti alüminyum reaksiyonu

5.7.1. Titrasyon

Titrasyon analizleri, reaksiyon sırasında serbest NaOH ve çözünmüş metalik alüminyum g/lt birimden hesaplamak için kullanıldı. Titrasyon yönteminde titrant olarak 1 N H₂SO₄, indikatör olarak fenolftalein ve %50 KF kullanıldı. 1 N Sülfirik Asit çözeltisi hazırlanmasında 1000 ml’lik balonjojede bir miktar saf su koyulup, üzerine 27,4 ml %97’lik H₂SO₄ çözeltisinden balonjojeye ilave edilmiş ve üzeri 1000 ml kadar su ile tamamlandı. Kimyasal aşındırma işlemi görmüş çözeltilerden bir behere 1 ml alınıp üzerine 10 ml su ilave edilerek seyreltilti. Hazırlanan bu çözeltiye 1 ml FF indikatörü eklendi. Çözelti rengi pembeden açık beyaza dönüşüne kadar 1 N H₂SO₄ ile titre edilip

ilk sarfiyat (V_1) olarak kayıt edildi. Titre edilen çözelti üzerine 1 ml % 50 KF çözeltisi eklendi ve çözelti tekrar 1 N H_2SO_4 ile renk dönüm noktasına kadar titre edildi. Burada harcanan ikinci sarfiyat (V_2) olarak kayıt edildi. Kayıt edilen V_2 sarfiyatı çözelti içerisinde çözünen alüminyum miktarını (g/lt) göstermektedir. Çözelti içerisinde kalan serbest sodyum hidroksit miktarı (Denklem 5.1) hesaplanmıştır.

$$NaOH \text{ g/lt} = \left(V_1 - \frac{V_2}{3} \right) \times 0,042 \times 100 \quad (5.1)$$

Burada V_1 ilk titrasyon sarfiyatını, V_2 ise ikinci titrasyon sarfiyatını ifade etmektedir. Şekil 5.6’da titrasyon analizi gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Titrasyon analizi

5.7.2. pH ve iletkenlik ölçümleri

Hazırlanmış sodyum hidroksit esaslı çözeltilerin pH ve iletkenlik ölçümleri mikrosievert ölçüm birimi kullanılarak ($\mu S/cm$) Inolab_IDS Multi 9420 model Şekil 5.7’de gösterilen otomatik pH metre cihazı ile yapılmıştır.



Şekil 5.7. pH metre

5.7.3. Kurutma

Hazırlanan 5 farklı TİP çözeltide alüminyum çözünme işlemi tamamlandıktan sonra, çözeltilerden alınan numuneler cam petri kaplarında 120 °C’de ısıtıcı karıştırıcı üzerinde 8 saat süre ile kurutuldu ve daha sonrasında ezilerek tane boyutları küçültüldü. Şekil 5.8’de a)kurutma işlemi b) kurutulan numuneler gösterilmiştir.



a) Kurutma işlemi

b) Kurutulan numuneler

Şekil 5.8. Kurutma işlemi

5.8. Karakterizasyon

5.8.1. SEM

Kurutulmuş numunelerden alınan toz örnekler, çift tarafı yapışkanlı özel siyah bant üzerine tatbik edildi. Analiz için hazırlanan numuneler Şekil 5.9 Quorum SC7620 Sputter Coater cihazında yaklaşık 10 nm boyutlarında Au/Pd ile kaplandı. Şekil 5.10 Au/Pd kaplı toz numuneler gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Quorum SC7620 sputter coater cihaz



Şekil 5.10. Au/Pd kaplı toz numuneler

Numunelerin SEM görüntüleme işlemi ZEISS EVO MA 15 taramalı elektron mikroskobu kullanılarak yapılmıştır. Numuneler 20 kV altında 1 kx ve 5kx büyütme altında incelenmiştir. Şekil 5.11’de SEM cihazı gösterilmiştir.



Şekil 5.11. SEM cihazı

5.8.2. FT-IR

Hazırlanan toz numunelerin fonksiyonel grup analizi için fourier dönüşüm kızılötesi (FT-IR) spektroskopisi için PERKİN ELMAR Spectrum Two ile ATR tekniği kullanıldı. Fonksiyonel grupların analizi $400-4000\text{ cm}^{-1}$ dalga boyu aralığında analiz edildi. Toz numuneler kristal merceği kapatacak şekilde sıkıştırma işlemi yapılarak force gauge değeri yaklaşık olarak 60 kuvvet ayarlanmış ve tüm ölçümler bu şekilde gerçekleştirildi. Şekil 5.12 FT-IR Cihazı gösterilmiştir.

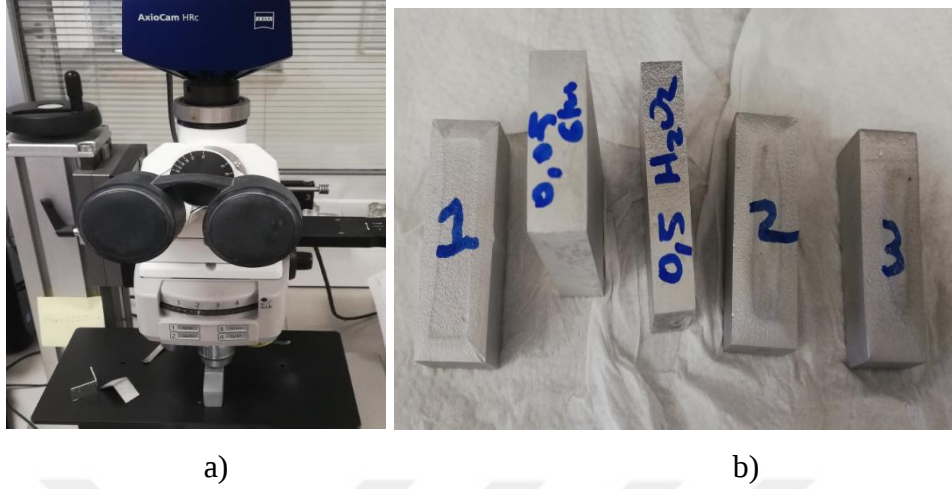


Şekil 5.12. FT-IR cihazı

5.8.3. Optik mikroskop

Alüminyum parçalar 120 dk aşındırma işlemine maruz bırakılmış numunelerin yüzeyinden makro 20x büyütme ile Zeiss Axio Scope A1 mikroskop altında yüzey

görüntüleri incelendi. Şekil 5.13’de a) Mikroskop b) Aşındırılmış alüminyum parçalar gösterilmiştir.



Şekil 5.13. a) Mikroskop b) Aşındırılmış alüminyum parçalar

5.8.4. XRF

Aşındırma işlemine tabi tutulmuş çözeltiden alınan kurutulmuş numunelerin kimyasal bileşim analizi, Bruker S8 Tiger X-ray Floresan (XRF) cihazı ile analiz edildi. Çalışma hakkında daha doğru bir yorumunun yapılabilmesi için oksit yapılar gözlemlendi. Şekil 5.14 XRF Cihazı gösterilmiştir.



Şekil 5.14. XRF cihazı



6. DENEYSEL SONUÇLAR VE YORUMLANMASI

6.1. Taguchi Kimyasal Aşındırma Sonuçları

Taguchi deney tasarımına göre yapılan titrasyon analizleri ve ağırlık ölçümleri Tablo 6.1’de deneysel sonuçlar olarak gösterilmiştir.

Tablo 6.1. Deneysel Sonuçlar

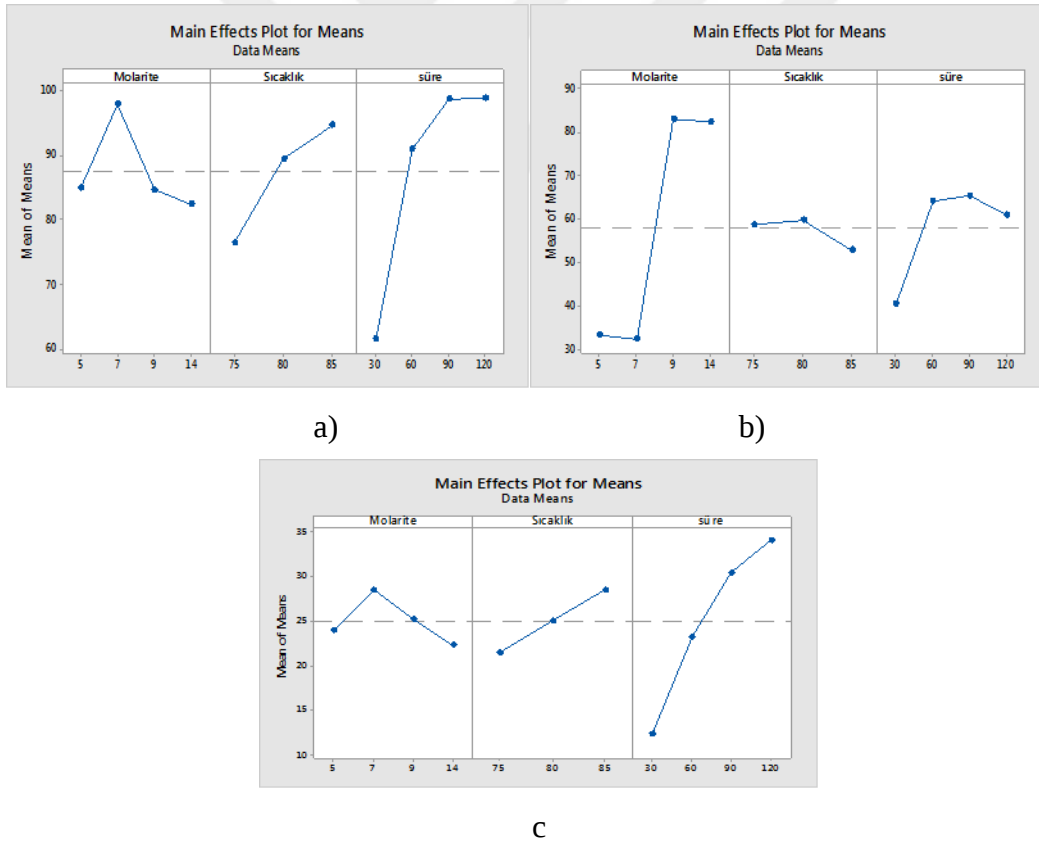
Molarite [M]	Sıcaklık [°C]	Zaman [dk]	Serbest Alüminyum [g/lt]	Serbest NaOH [g/lt]	Parça Alüminyum [g]
5	75	30	46	35	11,41
5	80	60	97	60,2	22,25
5	80	90	102	33,6	28,28
5	85	120	95	42	34,04
7	75	120	101	36,4	32,93
7	80	90	102	32,4	34
7	80	60	102	40,8	27,69
7	85	30	87	19,8	19,34
9	75	60	72	71,4	19,32
9	80	30	63	67,2	6,08
9	80	120	100	89,6	38,39
9	85	90	104	103,6	37
14	75	90	87	92	22,34
14	80	120	100	114	30,7
14	80	30	50	39,8	12,73
14	85	60	93	83,8	23,47

Deneysel sonuçlar incelendiğinde değişkenler açısından “nominal en iyisidir” yaklaşımı göz önünde bulundurularak sonuçlarının yorumlanabilmesi için serbest alüminyum, serbest NaOH ve parça alüminyum yönünden istatistiksel etki analizi yapıldı ve sonuçlar Tablo 6.2’de paylaşılmıştır.

Tablo 6.2. Değişkenlerin Etki Analizi

Seviye	Serbest Alüminyum			Serbest NaOH			Parça Alüminyum		
	Molarite [M]	Sıcaklık [°C]	Zaman [dk]	Molarite [M]	Sıcaklık [°C]	Zaman [dk]	Molarite [M]	Sıcaklık [°C]	Zaman [dk]
1	85,00	76,50	61,50	33,25	58,70	40,45	23,99	21,50	12,39
2	98,00	89,50	91,00	32,35	59,70	64,05	28,49	25,01	23,18
3	84,75	94,75	98,75	82,95	52,85	65,40	25,20	28,46	30,41
4	82,50	93,50	99,00	82,40	52,90	61,05	22,31	27,90	34,02
Aralık	15,50	18,25	37,50	50,60	6,85	24,95	6,18	6,96	21,63

Kontrol edilen değişkenlerin Şekil 6.1 'de verilmiştir a) serbest alüminyum, b) serbest NaOH c) parça alüminyum üzerine ortalama değer etki grafikleri gösterilmiştir.

**Şekil 6.1.** a) Serbest Alüminyum b) Serbest NaOH c) Parça Alüminyum

Şekil 6.1 ve Tablo 6.2 yer alan üstteki grafikler nominal en iyisidir yaklaşımı ile incelendiğinde grafikler üzerinde oluşan kesikli çizgi üzerinde kalan pikler değerlendirildiğinde çözeltide bulunan çözünmüş serbest alüminyum incelendiğinde

en etkili parametrelerin sırasıyla zaman, sıcaklık ve molarite olduğu, çözelti içerisinde serbest halde bulunan NaOH yönünden incelendiğinde molarite, zaman ve sıcaklık, alüminyum parça ağırlığındaki değişim yönünden ise en tekili parametrenin zaman, sıcaklık ve molarite olduğu bulunmuştur. Sürecin devamında nihai olarak hedeflenen alternatif ürün çalışmalarında sıcaklık, süre, sodyum hidroksit konsantrasyonu bu bulgular ışığında yürütülmüştür.

6.2. Farklı Tip Çözeltilerin Aşıdırma Performansı Sonuçları

5 TİP olarak hazırlanan çözeltiler Taguchi deney tasarımında belirlenen optimum şartlar ve 80 °C sıcaklık ve 120 dk süre içerisinde, parça alüminyumun ağırlıkça kaybı, çözeltide sodyum hidroksit ve alüminyum miktarı ile, reaksiyon sırasında pH, iletkenlik, yoğunluk değerleri Tablo 6.3 TİP-1, Tablo 6.4 TİP-2, Tablo 6.5 TİP-3, Tablo 6.6 TİP-4, Tablo 6.7 TİP-5 deney sonuçlarında gösterilmiştir.

Tablo 6.3. TİP-1 Çözeltisi Deneysel Sonuçları

Zaman [dk]	İletkenlik [μ S/cm]	pH	Yoğunluk g/cm ³	Serbest NaOH [g/lt]	Serbest Alüminyum [g/lt]	Parça Alüminyum [g]
0	425	11,61	1,2676	310,8	0	95,6231
15	360	11,33	1,3703	301,42	25	87,2319
30	314	11,13	1,4213	295,4	44	81,5397
45	260	11,01	1,4923	289,8	66	74,5695
60	234	10,72	1,4652	288,4	85	71,751
75	163	10,5	1,5222	284,76	100	67,7308
90	144	10,35	1,5432	280,14	120	63,8138
120	81	10,22	1,5666	271,6	157	58,9364

Tablo 6.4. TİP-2 Çözeltisi Deneysel Sonuçları

Zaman [dk]	İletkenlik [μ S/cm]	pH	Yoğunluk g/cm ³	Serbest NaOH [g/lt]	Serbest Alüminyum [g/lt]	Parça Alüminyum [g]
0	415	11,55	1,25	310,8	0	101,60
15	355	11,20	1,33	303,1	22	93,33
30	310	10,70	1,39	296,8	40	88,33
45	260	10,65	1,43	294,56	62	83,35
60	232	10,54	1,46	290,5	82	77,61
75	212	10,45	1,49	284,2	91	72,10
90	157	10,40	1,53	280	109	68,54
120	88	10,35	1,55	273	141	64,55

Tablo 6.5. TİP-3 Çözeltisi Deneysel Sonuçları

Zaman [dk]	İletkenlik [μS/cm]	pH	Yoğunluk g/cm ³	Serbest NaOH [g/lt]	Serbest Alüminyum [g/lt]	Parça Alüminyum [g]
0	425	11,65	1,249	310,8	0	96,08
15	370	11,3	1,3425	301	22	86,85
30	330	11	1,41	296,8	40	80,9719
45	270	10,95	1,45	293,86	64	76,0535
60	242	10,68	1,47	290,08	85	71,0535
75	203	10,45	1,5	286,3	94	68,0535
90	181	10,32	1,53	281,4	111	63,0629
120	83	10,2	1,55	274,4	143	58,15

Tablo 6.6. TİP-4 Çözeltisi Deneysel Sonuçları

Zaman [dk]	İletkenlik [μS/cm]	pH	Yoğunluk g/cm ³	Serbest NaOH [g/lt]	Serbest Alüminyum [g/lt]	Parça Alüminyum [g]
0	420	11,71	1,2479	310,8	0	95,4252
15	338	11,53	1,3339	302,82	24	86,4854
30	285	11,3	1,4067	297,08	46	79,5004
45	233	11,12	1,4591	291,9	69	73,1278
60	196	10,95	1,46	287,7	84	68,3742
75	144	10,78	1,5072	284,2	110	63,7861
90	127	10,57	1,528	281,96	128	60,4906
120	89	10,6	1,5422	278,6	153	56,1766

Tablo 6.7. TİP-5 Çözeltisi Deney Sonuçları

Zaman [dk]	İletkenlik [μS/cm]	pH	Yoğunluk g/cm ³	Serbest NaOH [g/lt]	Serbest Alüminyum [g/lt]	Parça Alüminyum [g]
0	416	11,79	1,2302	310,8	0	94,8498
15	334	11,56	1,274	302,4	24	84,8937
30	284	11,53	1,288	296,8	46	78,156
45	233	11,4	1,3371	291,2	68	71,982
60	193	11,17	1,42	287,7	84	66,5559
75	149	11,11	1,45	285,6	110	61,7397
90	131	10,82	1,486	283,78	124	58,3603
120	93	10,78	1,5369	281,54	152	53,5059

Yapılan deneysel sonuçlara bakıldığında, parça alüminyum üzerinde en etkin aşındırma reaksiyonu gösteren çözelti TİP-5 olduğu gözlemlenmiştir. TİP-1 çözeltisinde sodyum hidroksit miktarının çok daha çabuk çözelti içinde tükendi. TİP-4 ve TİP-5 numunelerinde bu durumundan biraz daha farklı olarak sodyum hidroksit miktarında ki azalmanın daha kontrollü ve yavaş olduğu gözlemlendi. Çözeltiye ilave edilen hidrojen peroksit in suda ayrışma reaksiyonu sırasında ortama verdiği OH-

iyonları ile sodyum alüminat molekülünden ayrılan sodyum atomlarına bağlanması ile sistemde sodyum hidroksit varlığını sürdürdüğü düşünülmektedir. TİP-2 ve TİP-3 çözeltileri içerisinde yer alan katkı kimyasalların tek başına uygulandıklarında alüminyum çözünme reaksiyonunda ortalama etkilerinin aynı olduğu gözlemlenirken, bu katkıların beraber kullanıldığı formüle durumda çok daha etkin olduğu sonucuna varılmıştır. Sodyum glukonat varlığının çözelti içerisinde ise çökelme eğilimi gösteren yapıları aglomere ederek daha büyük taneciklerin elde edilerek, bu reaksiyonun doğal bir ürünü olan çökelti çamurunun oluşum hızının yavaşlattığı ve yüzey aktif maddelerinde reaksiyon sırasında alüminyum parçalar üzerinde kalan kirlilik ve yağ esaslı birleşenleri çözdüğüdür. Şekil 6.2’de a)TİP-1, b)TİP -4 ve c)TİP-5 aşındırma işlemi sonrası çözelti görselleri paylaşılmıştır.



a)

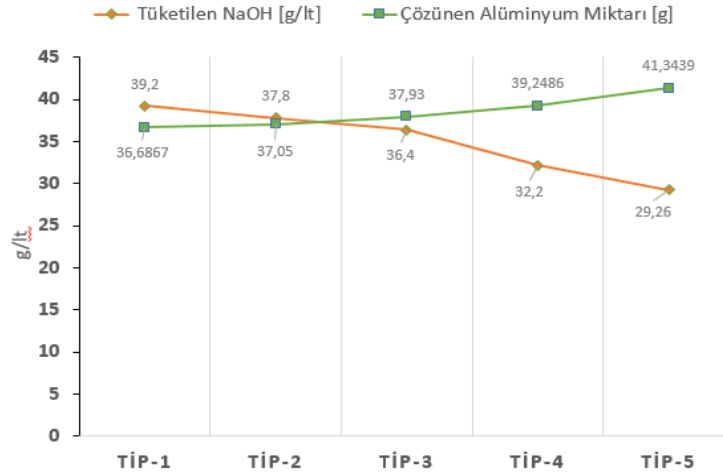
b)

c)

Şekil 6.2. a) TİP-1 b) TİP -4 c) TİP-5

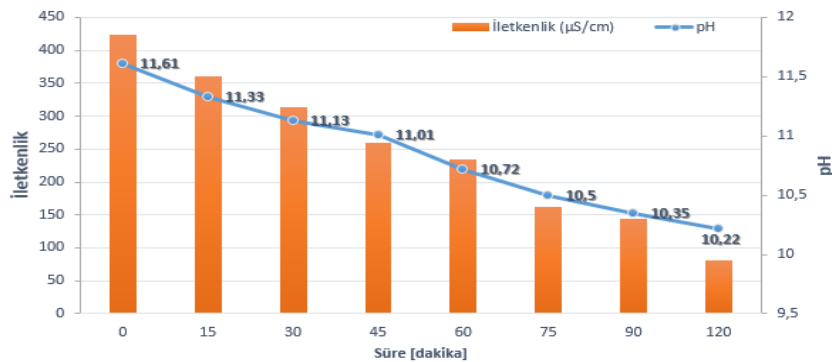
Yukarıda yer alan şekillerde görüleceği üzere çözeltiler arasında aşındırma işlemi sonrası oluşan çökelme eğilimdeki yapıların TİP-4 ve TİP-5 de tane büyümesi gözlemlenirken, TİP-1 de ise bu durum yığın halinde gözükmemektedir. TİP-1 reaksiyonunda yığın oluşumunun arttıkça reaksiyon hızını ve alüminyum aşındırma performansı olumsuz yönde etkilediği gözlemlenmiştir. Ayrıca TİP-1 çözeltisinde kullanılan cam malzemenin tabanında Alüminyum Hidroksit çökelti olarak bildiğimiz kirliliklerin çok net bir şekilde gözlemlendiği bu durumun diğer çözeltilerde daha az oluşmasının nedeninin aglomere ve şelatlama olduğu gözlemlendi. Hazırlanmış çözeltilerde tüketilen sodyum hidroksit miktarına göre alüminyumun

çözünme performansı grafiği Şekil 6.3’de çözünen alüminyuma karşı harcanan NaOH miktarı gösterilmiştir.

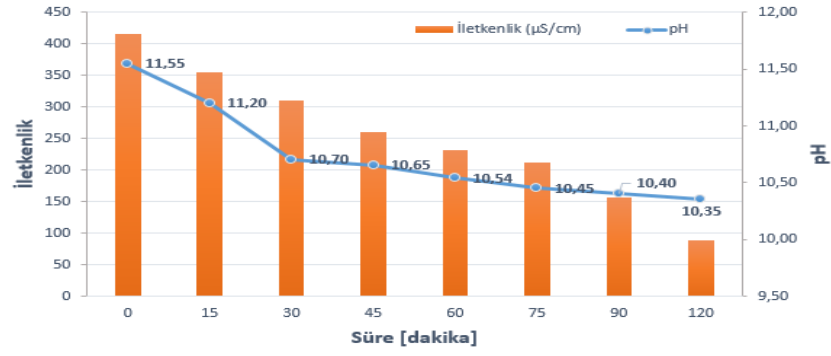


Şekil 6.3. Çözünen Alüminyuma Karşı Harcanan NaOH miktarı

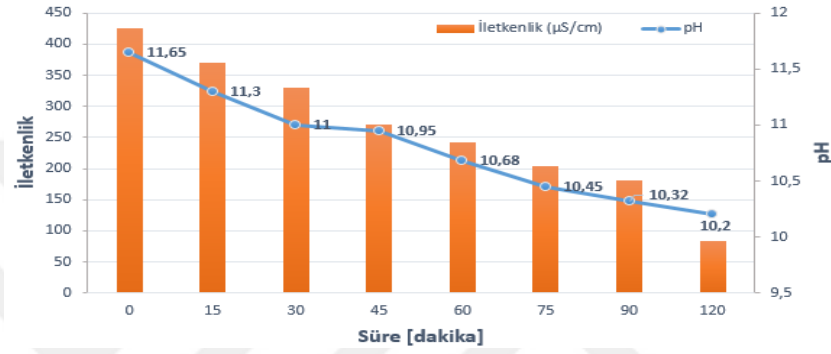
Grafik değerlerine bakıldığında, TİP-1 ürünü için çok daha fazla NaOH harcanırken alüminyum parçadan çözünen ağırlıkça kaybın en az olduğu gözlemlendi. TİP-2 ve TİP-3 için bu sonuçların birbirine daha yakın olduğu ölçümlenirken, TİP-4 ve TİP-5 çözeltilerinde NaOH varlığının çözelti içinde daha fazla kalarak, çözünme reaksiyonunda daha az tüketildiği ve harcanan sodyum hidroksit başına çözünen alüminyum oranının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum dolaylı olarak çözelti ömrünün uzamasını sağlayacaktır. Bu sonuçlarla ilişkili olarak çözeltilerin pH ve iletkenlik grafikleri Şekil 6.4, Şekil 6.5, Şekil 6.6, Şekil 6.7, Şekil 6.8’de gösterilmiştir.



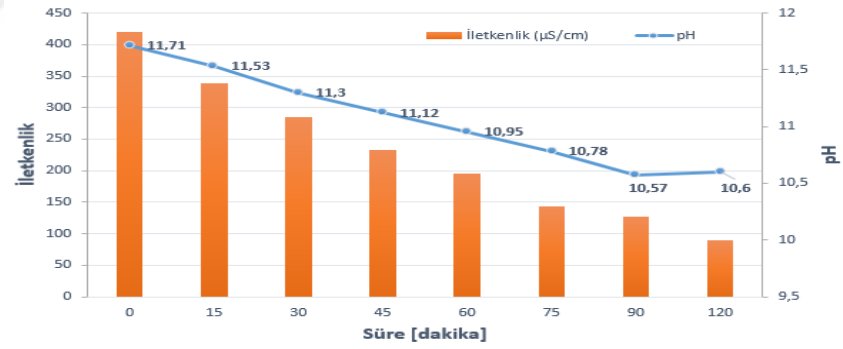
Şekil 6.4. TİP-1 Çözeltisi pH-İletkenlik Dengesi



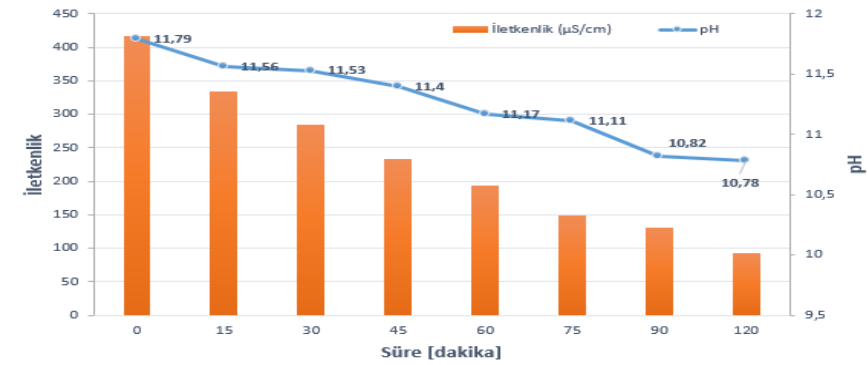
Şekil 6.5. TİP-2 Çözeltili pH-İletkenlik Dengesi



Şekil 6.6. TİP-3 Çözeltili pH-İletkenlik Dengesi



Şekil 6.7. TİP-4 Çözeltili pH-İletkenlik Dengesi



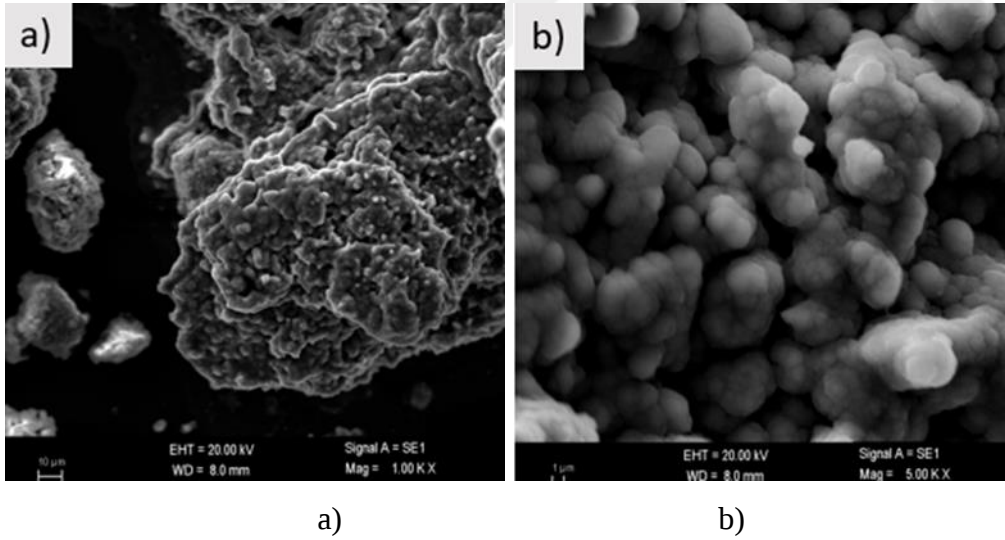
Şekil 6.8. TİP-5 Çözeltili pH-İletkenlik Dengesi

Çözeltilerde pH ve İletkenlik değerlerinin incelendiğinde, bazik karakterli olan NaOH moleküllerin suda iyonlarına ayrıştığına ortama verdiği OH^- iyonlarından kaynaklı başlangıç pH'ları baziktir. Reaksiyon gereği zamanla tükenmekte olan sodyum hidroksit ile tüm çözeltilerde pH'ın azaldığı gözlemlendi. İletkenlik ve pH değerleri karşılaştırıldığında ise TİP-4 ve TİP-5 numunelerinin diğer örneklerden değer olarak yukarıda kaldığı görülmüştür. Bu durumda aslında çözeltilerin alüminyum çözme eğilimlerinin devamlılığının olduğu göstergesidir. Çözeltilerde çözünmüş madde miktarının artması ile birlikte başlangıç yoğunluk değerlerinden daha yüksek seviyelerde yoğunluk ölçümlerinin oluşması, çözeltinin daha akışkan halden daha viskoz hale dönüşerek peltek form aldığı gözlemlenmiştir.

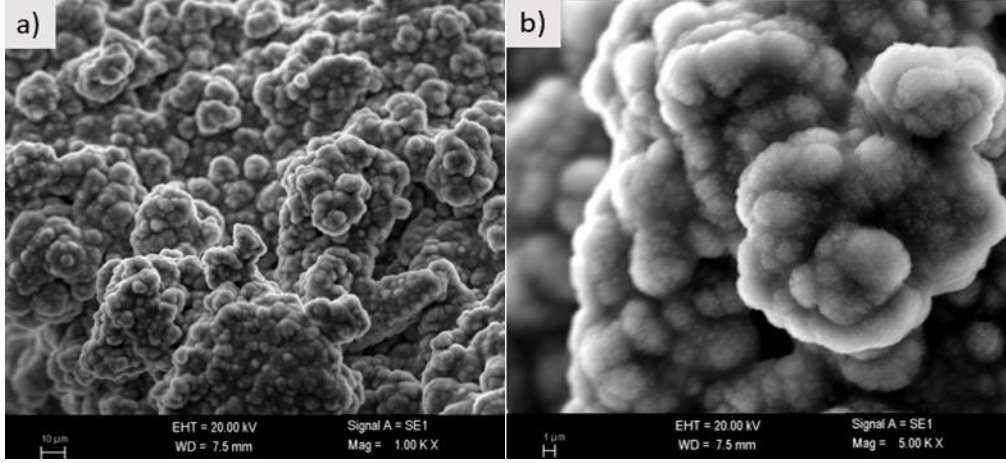
6.3. Karakterizasyon Sonuçları

6.3.1. SEM analiz sonuçları

Alüminyum aşınma işlemi tamamlanmış çözeltilerden kurutularak toz hale getirilen numunelerin 1 mikron ve 10 mikron SEM görüntüleri Şekil 6.9, Şekil 6.10, Şekil 6.11'de gösterilmiştir.

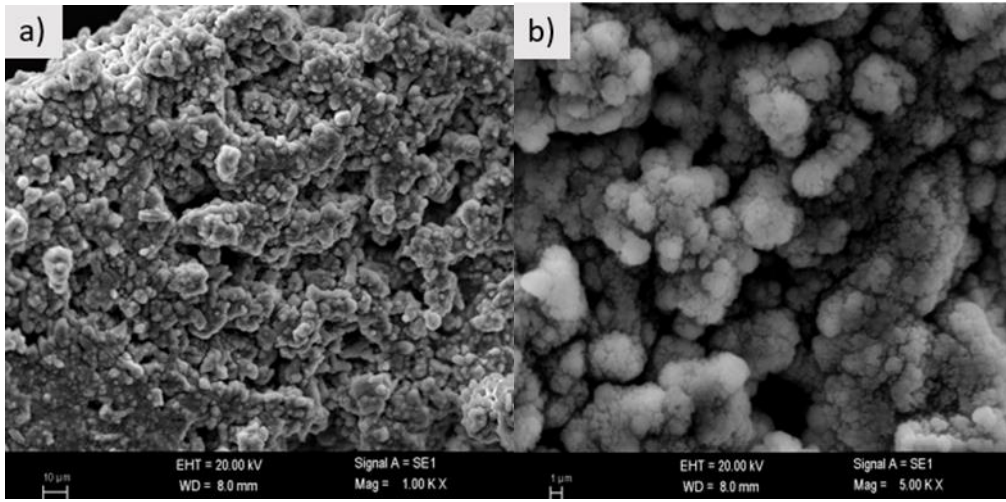


Şekil 6.9. TİP-1 a) 1 Kx Büyütme b) 5 Kx Büyütme



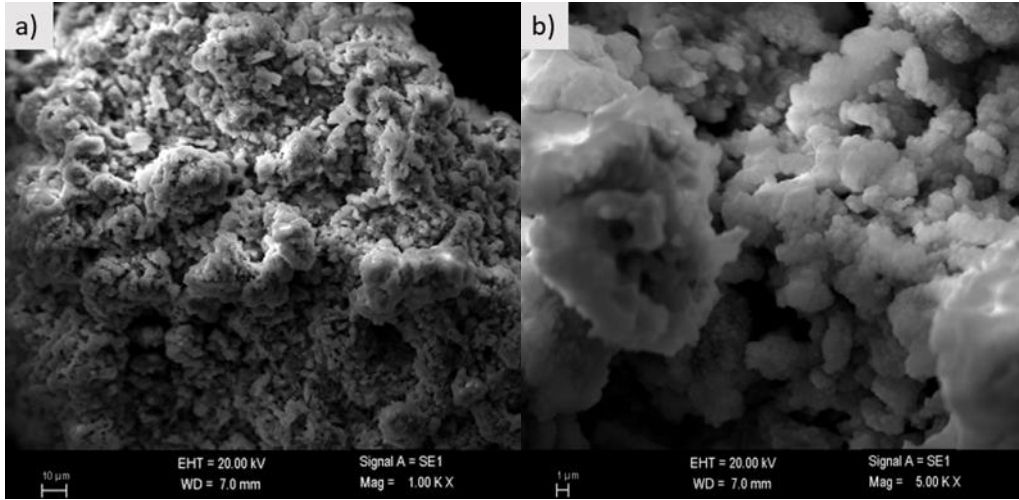
TİP-2 a) 1 Kx Büyütme

b) 5 Kx Büyütme



TİP -3 a) 1 Kx Büyütme

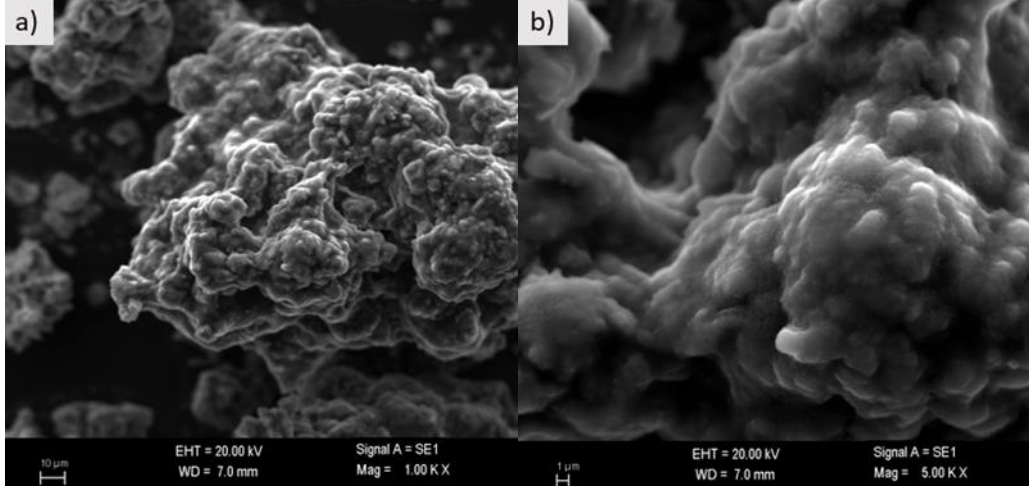
b) 5 Kx Büyütme



TİP-4 a) 1 Kx Büyütme

b) 5 Kx Büyütme

Şekil 6.10. TİP 1.2.3.4 Kx büyütme



TIP-5 a) 1 Kx Büyütme

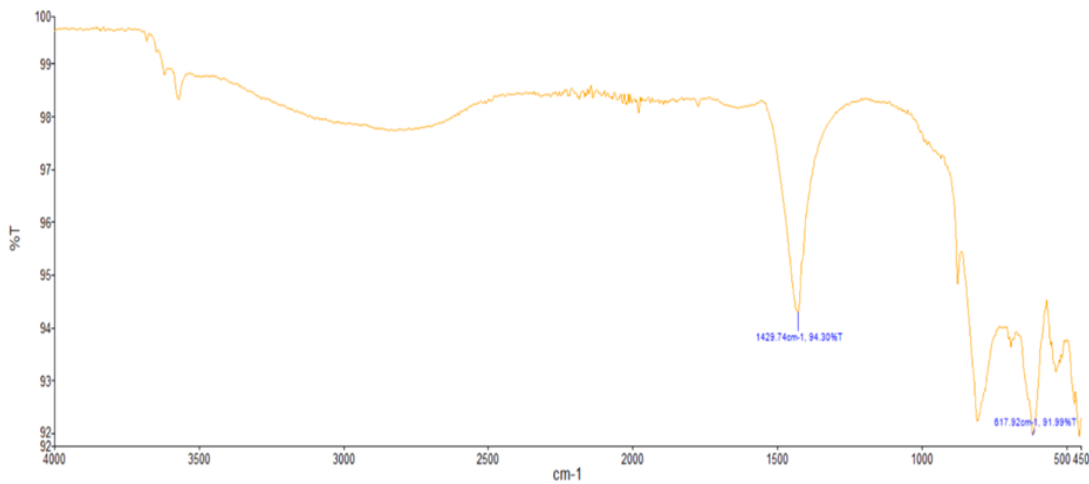
b) 5 Kx Büyütme

Şekil 6.11. TİP 5. Kx büyütme

SEM görüntüleme sonuçları incelendiğinde, yapıların gibsit ve alüminyum hidroksit oluşumuna ait yapılar benzerlik göstermekte olup, TİP-1 SEM görüntülerinde yapıların yüzey alanlarının açık ve dağınık olduğu gözlenirken, TİP-2, TİP-4 ve TİP-5 görüntülerinde yapıların bir araya toparlanarak daha büyük tanecik boyutlarına ulaştığı gözlemlendi. TİP-3 ve TİP-1 tanecik yapıları ise birbirine benzerdir.

6.3.2. FT-IR analiz sonuçları

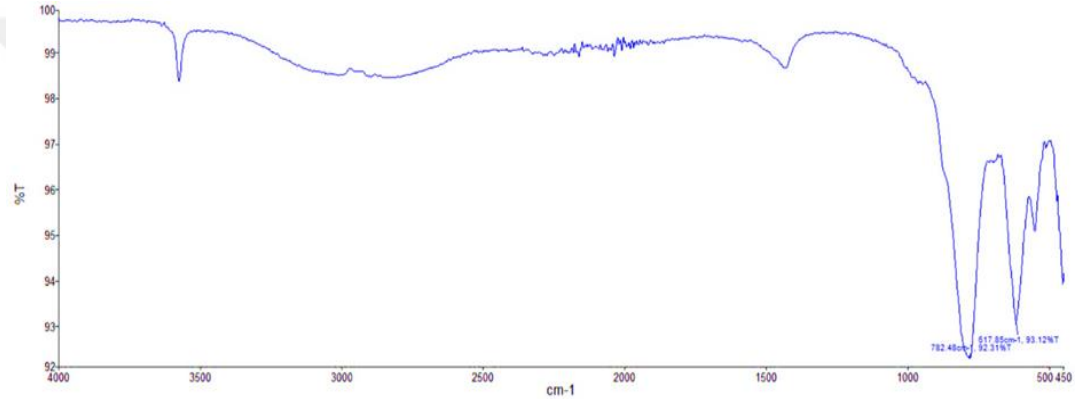
Alüminyum aşınma işlemi tamamlanmış çözeltilerden kurutularak toz hale getirilen numunelerin FT-IR ATR görüntüleri Şekil 6.12, Şekil 6.13, Şekil 6.14, Şekil 6.15, Şekil 6.16'de gösterilmiştir.



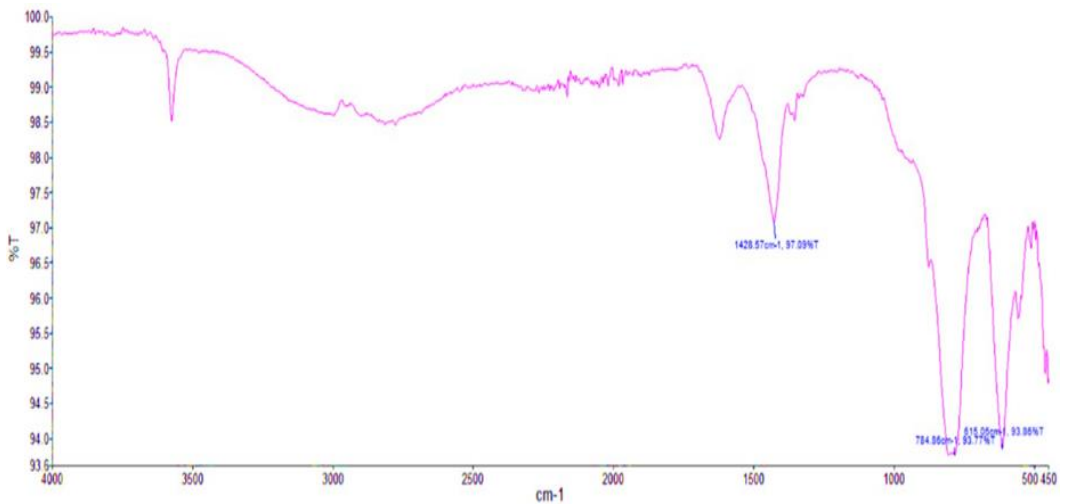
Şekil 6.12. TİP-1 FT-IR Görseli



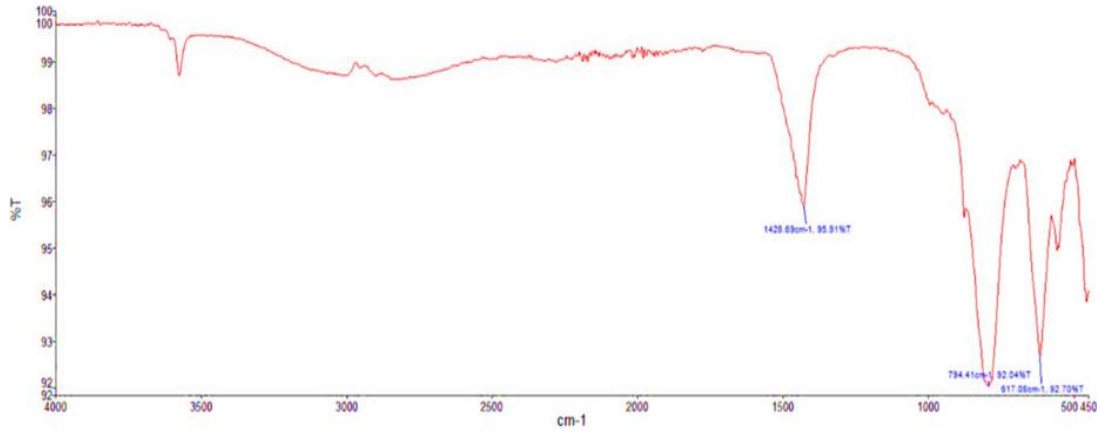
Şekil 6.13. TİP-2 FT-IR Görseli



Şekil 6.14. TİP-3 FT-IR Görseli

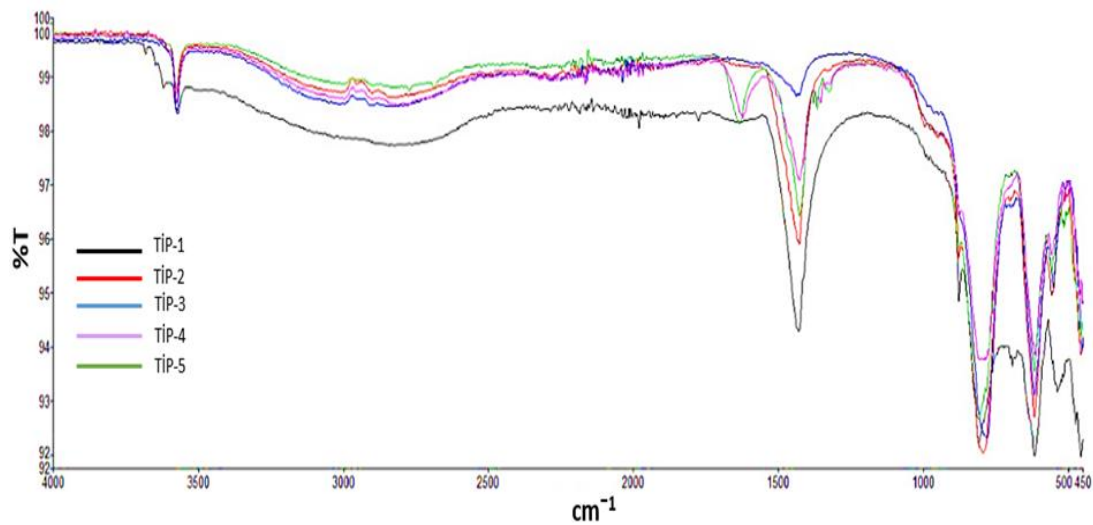


Şekil 6.15. TİP-4 FT-IR Görseli



Şekil 6.16. TİP-5 FT-IR Görşeli

FT-IR sonuçları incelendiğine 3600 cm^{-1} ile 3650 cm^{-1} arasında gözükten pikin tüm numunelerde ölçümlendiğı, bu pikin OH^- gerilme piki olduğı yani alüminyum hidroksit ve gipsit karışımına bağılı gruplar olduğı söylenebilir. OH^- pikleri TİP-1 için daha yayvan oluşurken geri kalan numunelerde keskin pikler örtüşmektedir. 900 cm^{-1} ile 750 cm^{-1} arasında oluşan üst üste örtüşen pikler alüminyum oksit ve tetra oksit uzamaları veya diğerk metalik oksit pikleri olarak görölmektedir [52]. 1400 cm^{-1} ile 1450 cm^{-1} oluşan pikler Na_2CO_3 varlığını göstermekte olup en yüksek geçirgenliğin TİP-1 en düşük ve yayvan pikin gözlemlendiğı pik ise TİP-3’de oluşmuştur. TİP-4 ve TİP-5 numunelerde 1600 cm^{-1} ile 1650 cm^{-1} piklerine rastlanmış olup, su molekülüne ait hidrojen oksijen eğilme titreşimidir. Tüm FT-IR sonuçları Şekil 6.17 ‘de birleştirilmiş halleri gösterilmiştir.



Şekil 6.17. FT-IR Pikleri Üst Üste Birleştirmiş Görüntüsü

6.3.3. XRF Analiz Sonuçları

Alüminyum aşınma işlemi tamamlanmış çözeltilerden kurutularak toz hale getirilen numunelerin XRF analizi ile oksit yapıları Tablo 6.8’de verilmiştir.

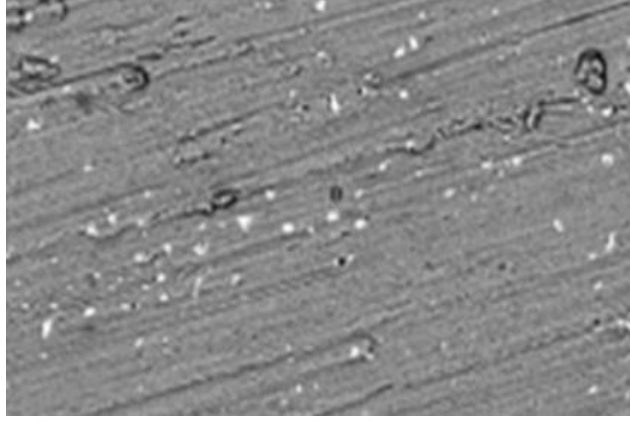
Tablo 6.8. Çözeltilere Ait XRF Sonuçları

Kimyasal Yapı	Numune TİP-1	Numune TİP-2	Numune TİP-3	Numune TİP-4	Numune TİP-5
% Na ₂ O	54,4	58,09	57,54	59,56	64,05
% Al ₂ O ₃	36,71	29,75	33,21	27,49	20,7
% B ₂ O ₃	7,89	9,96	8,23	10,2	12,8
% SiO ₂	0,58	0,55	0,67	0,96	0,84
% Cl	0,17	1,11	0,14	1,21	1,1
% MgO	0,12	0,21	0,1	0,24	0,17
Partikül Boyutu	34 mm	34 mm	34 mm	34 mm	34 mm

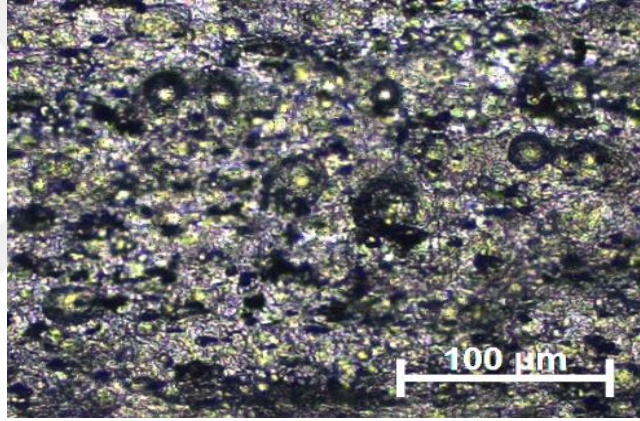
Tablo 6.8’de yer alan sonuçlar incelendiğinde, numuneler toz haline getirilmeden önce hiçbir yıkama ve filtre işlemine tabi tutulmamış olup Cl (klor), B₂O₃ (Bor oksit) gibi yapıların kirlilik kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Sodyum hidroksitin alüminyum reaksiyonun doğası gereği oluşan sodyum alüminat yapılarından kaynaklı oksit birleşimleri Al₂O₃ (Alüminyum Oksit) ve Na₂O (Sodyum Oksit) olarak karşımıza çıkmaktadır. Sonuçlar kendi içlerinde kıyaslandığında, sodyum alüminat oluşumunun TİP-1 çözeltisi içerisinde daha yüksek konsantrasyon gösterirken, bu durum ek kimyasalların katıldığı çözeltilerde düşüş trendine girmektedir. Özellikle TİP-4 ve TİP-5 numunelerinde Al₂O₃ konsantrasyonunun daha düşük olmasının sebebi sodyum glukonat katkısının varlığından olduğu düşünülmektedir. TİP-4 ve TİP-5 numunelerinde Al₂O₃ varlığının azalması ve Na₂O konsantrasyonunun artması çözelti içerisinde sodyum hidroksit konsantrasyonuna paralel bir yükseliş eğiliminde olacağı ve sodyumun alüminat molekülünden ayrılması ile hidrolizi sonucu oksit ve hidroksit gruplarına bağlandığı düşünülmektedir.

6.3.4. Optik Mikroskop

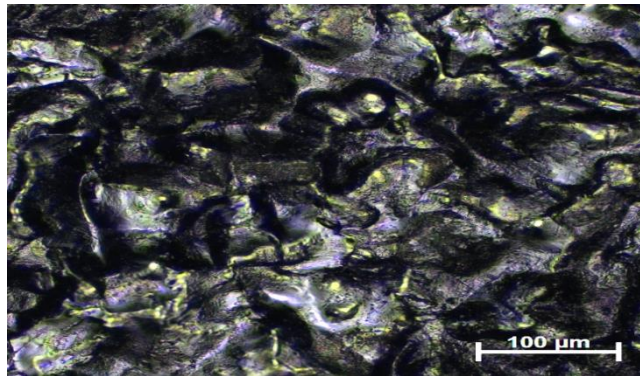
Çözeltiler de işlem görmüş parçalar üzerinden yapılan makro görüntümler Şekil 6.18, Şekil 6.19, Şekil 6.20, Şekil 6.21, Şekil 6.22, Şekil 6.23’de paylaşılmıştır.



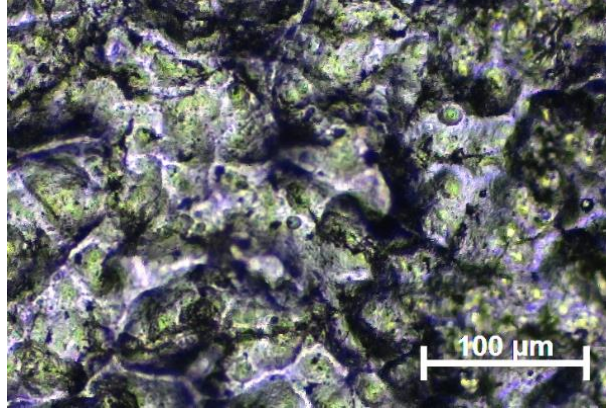
Şekil 6.18. Aşındırma İşlemi Görmemiş Alüminyum Yüzeyi



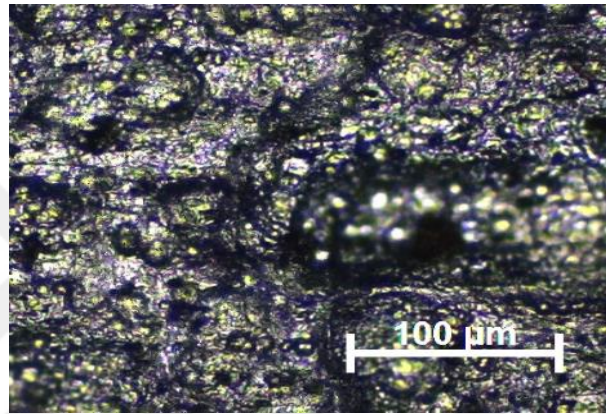
Şekil 6.19. TİP-1 Çözeltisi ile Aşındırılmış Yüzey



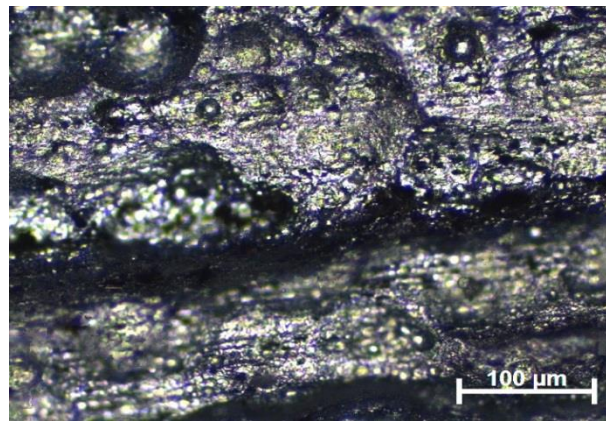
Şekil 6.20. TİP-2 Çözeltisi ile Aşındırılmış Yüzey



Şekil 6.21.TİP-3 Çözeltisi ile Aşındırılmış Yüzey



Şekil 6.22. TİP-4 Çözeltisi ile Aşındırılmış Yüzey



Şekil 6.23. TİP-5 Çözeltisi ile Aşındırılmış Yüzey

Yüzeylerde aşındırma işleminin oluşturduğu görüntüler incelendiğinde TİP-4 ve TİP-5 porozitesi, TİP-2 ve TİP-3 porozitesi kendi aralarında benzerlik taşımaktadır. TİP-1 porozitesi ise diğerlerinden farklı olarak daha düşük bir poroziteye sahip olduğu gözlemlenmiştir.



7. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada alüminyum ekstrüzyon prosesinde kullanılan kalıplarda, kalıp içinde kalan artık alüminyumun sodyum hidroksit banyolarında çözünme işlemine alternatif yenilikçi bir ürün hedeflenmiştir. Bu amaçla sıvı sodyum hidroksit ile alüminyum arasında oluşan kimyasal reaksiyon incelenerek reaksiyon hızını arttırmada farklı katkı kimyasalların etkisi ortaya konmaya çalışılmıştır. İlk olarak optimum çalışma şartları taguchi metodu ile belirlenmiştir. Ek katkı olarak şelatlama ajanı, peroksit ve yüzey aktif maddeler kullanılarak, titrasyon, pH ve iletkenlik ölçümleri yapılmıştır.

Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Öncelikle, taguchi deney tasarımı ile deney sayısı ve kimyasal kullanımı azaltılarak, uygun şartlarda gerçek prosese yakın deneysel tasarım belirlenmiştir.
- Taguchi deney tasarım sonuçlarına göre hazırlanmış sıvı sodyum hidroksit çözeltisinin alüminyum aşındırma işleminde en uygun parametrelerin 7 M, 80 °C ve 120 dakika olarak bulunmuştur.
- Hazırlanan çözeltilerin FTIR, XRF, SEM analiz teknikleri ile farklılıkları yorumlanmış ve titrasyon sonuçları ile aşındırma süresi içerisinde harcanan sodyum hidroksit miktarı ile harcanan alüminyum miktarlarına bakıldığında alüminyum başına tüketilen sodyum hidroksit miktarının en az olduğu çözelti TİP-5 olduğu görülmüştür.
- pH ve iletkenlik ölçümlerinde, tüm çözeltilerin reaksiyon sırasından pH ve iletkenlik değerlerinin birbirine paralel olarak azalım trendine girdiği gözlemlenmiştir. Bu durumun sodyum hidroksit konsantrasyonuna bağlı olduğu yapılan titrasyon denemeleri ile örtüştüğü görülmüştür.

Bütün bu sonuçlardan yola çıkarak hazırlanan 5 farklı çözelti içerisinde alüminyumun çözünme hızının artırılması ve kalıp çevrim süresinin azaltılması ile ekstrüzyon üretim prosesinde dar boğaza neden olabilecek istenmeyen durumun ortadan kaldırılması ve üretim devamlılığını sağlaması için uygun maliyetli ve kolay kullanım

avantajlarına sahip TİP-5 çözeltisinin kalıp dağlama prosesinde kullanılması önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] Akın, B., Aksu, Kaymak, E., Güner, M.B., Özçelik, G., Nüman, Ç. (2022, Mart, 3-4) Optimization of Extrusion Die Etching Process According to Solute Aluminium Content, [Poster Sunumu], 10. Uluslararası Alüminyum Sempozyumu, İstanbul, Türkiye
- [2] Kugler, G., Turk, R., Večko-Pirtovšek, T., Tečelj M. (2006). Wear behaviour of nitrided microstructures of AISI H13 dies for hot extrusion of aluminium, *Metalurgija* 45(1): 21-29
- [3] Borowski, J., Justyna W. (2016). The phenomenon of durability variable dies for aluminum extrusion profiles. *Metalurgija.*, 55(2), 229-232
- [4] R. Silvia., C. Carmine., C. Domenico., D.G.Bruno. (2004). Process for recovering caustic soda solutions from pickling of aluminium extrusion die. EP Patent No. EP1730324B1
- [5] Sheasby, P. G., Wernick, S., Pinner, R. (1987). Surface treatment and finishing of aluminum and its alloys. Volumes 1 and 2.
- [6] Davies, J.R. (1993). *Aluminium & Aluminium Alloys*, ASM, Materials Park, Ohio, 3-4
- [7] Sheasby, P., G., Pinner, R. (2001) *The Surface Treatment and Finishing of Aluminium and Its Alloys*, (Sixth Edition), USA, Finishing Publications Ltd. and ASM International, 245-251
- [8] Sarı, A., İ. (2022) Yüksek İşlenebilirlik Kabiliyetine Sahip 2011 Alüminyum Alaşımının Geliştirilmesi İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi
- [9] Cullen JM, Allwood JM. (2013). Mapping the global flow of Aluminium: from liquid aluminum to end-use goods. *Environ Sci Technol*, 47(7), 3057–64, doi:10.1021/es304256s
- [10] Roth, J.P. (1966). Diagnosis of Automata Failures: A Calculus and a Method, *IBM Journal of Research and Development*, 10: 278-291, doi: 10.1147/RD.104.0278
- [11] Alüminyum Komisyonu (2013). *Alüminyum Raporu*, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, (ss 2-17)
- [12] <http://www.aluminyumdokum.org/aluminyum-uretimi-akis-semasi/aluminyum-uretimi-akis-semasi/>. 11 Eylül 2022 tarihinde alınmıştır.

- [13] Demirci, K. M. (2012). Dünya Alüminyum Ticaretinde Türkiye'nin Yeri, Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Metalurji Mühendisleri Odası, Erişim adresi https://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi161/d161_1729.pdf
- [14] Talsad. (2021). Dünyada ve Türkiye'de Alüminyum Sektör Raporu, Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği, http://talsad.org.tr/wpcontent/uploads/2022/08/TALSAD_Dunyada_ve_Turkiyede_Aluminyum_Sektor_Raporu_Ozet_2021.pdf
- [15] Bayis, E. (2019). Alüminyum Eloksoal Atıklarının Yanmaz Kompozit Malzemelerde Değerlendirmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi
- [16] Car, E. (2010). İkincil Alüminyum Üretimine Genel Bakış, Türk Mühendis ve Mimarlar Odası Birliği, Metalurji Mühendisleri Odası, Erişim adresi https://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi160/d160_4250.pdf
- [17] High strength Aluminium alloys market report, 2020-2027. High Strength Aluminium Alloys Market Report, 2020-2027. (n.d.). Retrieved March 10, 2022, Erişim adresi <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/high-strength-Aluminium-alloys-market>
- [18] Ak, S. (2012). AA206 Alüminyum Döküm Alaşımında Empürite Demirin Mekanik Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji Malzeme Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2012
- [19] Kalyoncu, S. (2020). Alüminyum Alaşımlarında Alçak Basıncılı Döküm Simülasyonu, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi
- [20] Eken C. (2016). A356 Alüminyum Döküm Alaşımında Mekanik Özelliklerin Geliştirilmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2016
- [21] Anderson, T. (2004b). Understanding the alloys of aluminum. Retrieved May 11, 2004, <http://www.alcotec.com>, 11 Eylül 2022 tarihinde alınmıştır.
- [22] Pakdil, M. (2005). Determination Of The Mechanical Properties and Fatigue Crack Propagation Of The Laser Welded New Generation Aluminium Alloys, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi
- [23] Özçetin, Y. (2022). 3005 Alüminyum Alaşımı Levhaların Derin Çekilme Kabiliyetinin Araştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi
- [24] Campbell, E.F.C. (2008). "Elements of Metallurgy and Engineering Alloys," ASM International, 666-127

- [25] “Aluminium facts” Natural Resources Canada, 2020. <https://www.nrcan.gc.ca/our-natural-resources/minerals-mining/minerals-metals-facts/aluminum-facts/20510>., 30 Eylül 2022 tarihinde alınmıştır.
- [26] Kale, D. (2022) Improvement Of Interface in PVC and Aluminium Structures, İzmir Katip Çelebi University, Natural and Applied Sciences, Department of Material Science and Engineering, Doctoral Thesis
- [27] Qamar, S. Z., Pervez T., Chekotu C.C. (2018). Die Defects and Die Corrections in Metal Extrusion, Sultan Qaboos University, 8(6), 380, <https://doi.org/10.3390/met8060380>
- [28] Bayram, H. (2008). Ekstrüzyon Yönteminde Sıcaklık Ekstrüzyon Hızı ve Sürtünme Parametrelerin Profil Kalitesine Etkisinin Araştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi
- [29] İncel E. (2016). Deney Tasarımı ve Yapay Sinir Ağları Yöntemleriyle Alüminyum Ekstrüzyon Prosesinin İyileştirilmesi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi
- [30] Yalıtımlı Alüminyum Bilgi Bankası, <https://yalitimli-aluminyum.com/aluminyum-ekstruzyon>.30 Eylül 2022 tarihinde alınmıştır.
- [31] Ayan M. (2022). Alüminyum Ekstrüzyonunda Nitrasyon ve Yüzey Tamamlama Parametrelerinin Kalıp Performansına Etkisinin İncelenmesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İmalat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi
- [32] Almin Alüminyum Profil, Profil, <https://www.alminprofil.com.tr/ekstruzyon-profil-ozellikleri.html>.30 Eylül 2022 tarihinde alınmıştır.
- [33] Uğurlu, U. R. (2022). Farklı Isıl İşlemler Uygulanmış 60XX Alüminyum Alaşımlarının Mekanik Özelliklerinin Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi, Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi
- [34] Sheppard, T., Extrusion Of Aluminium Alloys, Springer-Science Business Media, B.V., Berlin, 7-24, 69-90,1999.
- [35] Bingöl, S. (2006). Çeşitli Ekstrüzyon Şartlarında Üretilen Alüminyum Alaşımı Ürünlerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi
- [36] Sebiboğa, T. (2019). Direkt Ekstrüzyon Metoduyla Üretilmiş EN AW-ALSiMg Alüminyum Alaşımlarında Kimyasal Kompozisyon Ürün Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi
- [37] Sofuoğlu H., Özer A. (2001). İki Boyutlu Ekstrüzyon Prosesinin Model Malzeme Kullanılarak Simulasyonu, XII. Ulusal Mekanik Kongresi, Konya, Türkiye, Bildiriler Kitabı
- [38] Ayan, M., S. (2017). Alüminyum Ekstrüzyon Profil Tasarım Prensipleri ve Ürün Tasarım İyileştirme Tavsiyeleri, Alüminyum Yapı Dergisi, 76: 246-251

- [39] Enzo S., Silvia B., Alkaline Etching of Aluminum Its Alloys A New Caustic Soda Recovery System, Italecno S.r.l., Modena, Aluminum Finishing Div, Italy, 2002
- [40] Aytek, A.G. (2010). Kalite Geliştirme Sürecinde Eniyileme Problemlerine Deney Tasarımı Yönteminin Uygulanması, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Doktora Tezi
- [41] G. Taguchi, System of Experimental Design, Quality Resources, New York, 108, 1987
- [42] S. Gokce, B. Tasgetiren. (2009). Taguchi Optimizasyon Yöntemi İle Anten Tasarımı, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi
- [43] Kısık H. (2014) Bazik Liç İle Boksit Atığından Alüminyum Hidrooksit Ekstraksiyonu, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi
- [44] Bahrami, T. (2022) Ürün Tasarım Geliştirilmesinde Taguchi Deney Tasarımın Uygulanması, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstriyel Tasarım Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi
- [45] Antony, J. and Antony F.J. (2001). Teaching the Taguchi Method to Industrial Engineers, Work Study, 50(4), 141-149. doi:10.1108/00438020110391873
- [46] Tansens, P., Rodal, T.A., Machado, C.,M.,M., Soares, H.,M.,V.,M. (2011). Recycling Of Aluminum And Caustic Soda Solution From Waste Effluents Generated During The Cleaning Of The Extruder Matrixes Of The Aluminum Industry, *Journal Of Hazardous Metarial*, 187(3), 459-465, doi:10.1016/j.jhazmat.2011.01.048
- [47] Mladoková, M., Molnárová P. M. (1985). Kinetics And Mechanism Of The Reaction Of Aluminium In Aqueous Solution Of Sodium Hydroxide, Department of Physical Chemistry, *Faculty of Natural Sciences*, Chem. Papers, 39(2), (pp. 229-235)
- [48] Aadli A. S. (2019). The Effect Of Ph And Temperature During Carbonation Process On Spent Die Cleaning Solution From Aluminium Extrusion Industry, *The Minerals, Metals & Materials Society*, USA, 39-49, https://doi.org/10.1007/978-3-030-05861-6_4
- [49] Watts, H. L., Utley, D. W. (1956). Sodium Gluconate As A Complexing Agent In The Volumetric Analysis Of Aluminum Compounds, *American Chemical Society*, 28(11), 1731–1735, <https://doi.org/10.1021/ac60119a025>
- [50] Barakat, M.A., El-Sheikh, S.M., Farghly F.E. (2005). Regeneration Of Spent Alkali From Aluminum Washing, Separation and Purification Technology;, 46(3), 214–218, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2005.05.010>
- [51] Sahu, N.K., Sarangi C.K., Dash B., Tripathy B.C., Satpathy B.K., Meyrick, D., Bhattacharya, I. N. (2015). Role Of Hydrazine And Hydrogen Peroxide In Aluminium Hydroxide Precipitation From Sodium Aluminate Solution, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*; 25(2), 615-621, [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(15\)63644-5](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(15)63644-5)

- [52] Zolfaghari, R., Bahram, R., Bahri, Z., Mahmoudian, M. (2020). Influences of New Synthesized Active Seeds and Industrial Seed on the Aluminum Hydroxide Precipitation from Sodium Aluminate Solution, *The Minerals, Metals Materials Society, Juurnal of Sustainabilty Metallurgy*, USA, 6, 643-658, <https://doi.org/10.1007/s40831-020-00302-6>





ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Barış AKIN

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, Sakarya Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya
- **Yükseklisans** : 2022, Sakarya Üniversitesi , Kimya, Anorganik Kimya

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2017-2018 yılları arasında Neutec İlaç firmasında Kalite Güvence Uzmanı olarak çalıştı.
- 2018-Halen ASAŞ Alüminyum Ar-Ge Fikri Haklar Uzmanı Olarak Çalışmakta.

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Akın, B., Altıntığ, E., Ozcelik, G., (2022- 18-19, Aralık) Investigation of the effect of different chemical additives in alkaline aluminum etching solutions, International Scientific Research Congress, Ankara, Turkey

DİĞER ESERLER: