T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

ÇİNKO MADENCİLİĞİ ve METALURJİ ENDÜSTRİSİ: TÜRKİYE'DE ÇİNKO İZABE TESİSİ FİZİBİLİTESİ VE PLANLAMASI

Umut Doğan TURUNÇ

Doç. Dr. Cem KAHRUMAN

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2021

Bu çalışma, 20.08.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Programında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Doç. Dr. Cem KAHRUMAN
Bursa Teknik Üniversitesi
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi

Prof. Dr. Gökhan ORHAN
İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Özgül KELEŞ
İstanbul Teknik Üniversitesi
Kimya Metalurji Fakültesi

Doç. Dr. Sedat İLHAN
İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Mehmet Şeref SÖNMEZ
İstanbul Teknik Üniversitesi
Kimya Metalurji Fakültesi

ÖNSÖZ

Doktora öğrenimim boyunca bilgi ve tecrübeleriyle bana destek olan tez danışmanım, değerli hocam Doç. Dr. Cem Kahruman'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Doktora sürecimde bilgi ve tecrübesiyle beni aydınlatan sayın hocalarım; Prof. Dr. Gökhan ORHAN, Prof. Dr. Özgül KELEŞ, Prof. Dr. Suat YILMAZ, Prof.Dr. İlven MUTLU ve Doç.Dr. Başak DOĞRU MERT'e ayrı ayrı teşekkürü bir borç bilirim.

Doktora tez çalışmam boyunca gösterdikleri her türlü destek ve yardımdan dolayı kıymetli Eczacıbaşı ESAN ailesine en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Doktora çalışmam boyunca ve hayatımın tüm dönemeçlerinde beni yalnız bırakmayan, varlığıyla her zamandestek olan eşim Bahar DOĞRU TURUNÇ'a sonsuz sevgilerimi sunarım.

Dünyaya gözlerimi açtıktan sonra eğitimimin temel taşlarını dizmeye başlayan; sevgiyi, saygıyı, adaleti, paylaşmayı, çalışma ahlak ve disiplinini bana öğreten, her türlü desteklerini bana sunan, akademik hayatımı sürekli teşvik edip, bu günlere gelmemi sağlayan sevgili annem İdil DOĞAN ve babam Ahmet Mithat TURUNÇ'a en içten dileklerimle teşekkür ederim.

İTÜ 54 mezunları buluşmalarıyla beni hep İstanbul Teknik Üniversitesi kültürünün içine sokmaya çalışan, lisansüstü eğitim konusunda teşvik eden, doktora tezimi koşa koşa kendisine götürmeyi çok isteyeceğim, hep gülüryüzü ve nazikliğiyle hatırlayacağım betonun duayeni çok sevgili dedem Dr. İnş. Müh. Ruşen DOĞAN'a bana kattıkları için çok teşekkür ederim. Beni sürekli aydınlatan ve yanımda olan sevgili halam Prof. Dr. Nermin UYSAL ve sevgili teyzelerim Işın DOĞAN ve Aslı DOĞAN'a çok teşekkür ederim.

Bu aşamaya gelmemde çok önemli rolleri olan İstanbul Teknik Üniversitesi ve İstanbul Üniversitesi'ndeki çok değerli hocalarıma en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Ağustos 2021 Umut Doğan TURUNÇ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **viii**
TABLO LİSTESİ ..... **xiii**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xvi**
SUMMARY ..... **xix**
1. ÇİNKO MADENCİLİĞİNE VE METALURJİSİNE GİRİŞ VE GENEL PERSPEKTİF **1**
1.1 ÇİNKO MİNERALLERİ 4
1.1.1 Sülfürlü Mineralleri 4
1.1.2 Karbonatlı Mineralleri 5
1.1.3 Oksitli Mineralleri 5
1.2 ÇİNKO KULLANIM ALANLARI 8
2. ÇİNKO MADENCİLİĞİ VE METALURJİSİ **15**
2.1 ÇINKO CEVHERLERİNİN ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ VE PRENSİPLERİ 18
2.1.1 Gravite Yöntemi 19
2.1.2 Flotasyon Yöntemi 19
2.1.2.1 Sülfürlü Çinko Minerallerinin Flotasyonu *20*
2.1.2.2 Oksitli Çinko Minerallerinin Flotasyonu *21*
2.1.2.3 Türkiye'deki Çinko Cevheri Zenginleştirme Tesisi: ESAN Balya Balıkesir Çinko - Kurşun Flotasyon Tesisi *21*
2.2 ÇİNKO METAL ÜRETİM YÖNTEMLERİ VE PRENSİPLERİ 26
2.2.1 Kavurma Ön İşlemi 26
2.2.2 Pirometalurjik Üretim Yöntemleri – İzabe Ergitme 31
2.2.2.1 Yatay ve Dikey Retort Prosesi *32*
2.2.2.2 Imperial Smelting Process (ISP) *32*
2.2.3. Hidrometalurjik/Elektrolitik Proses 37
2.2.3.1 Cevherin konsantre hale getirilmesi *37*

2.2.3.2 Cevherin havada kavrulması *38*
2.2.3.3 Çinko oksidin çinko sülfata dönüştürülmesi *38*
2.2.3.4 Çinko sülfat çözeltisinin elektrolizi *43*
2.2.4 Çinko Üretimindeki Endüstriyel Trendler 48
2.2.5 İkincil Çinko Üretimi 60
2.3 ÇİNKO MADEN VE METAL ÜRETİM DÜNYASINDAKİ GENEL GÖRÜNÜM VE TRENDLER 63
2.3.1. Çin'deki çinko madenciliği ve metal üretimindeki genel görünüm 69
2.3.1.1. İç Moğolistan Bölgesi *78*
2.3.1.2. Hunan Bölgesi *80*
2.3.1.3. Huoshaoyun Bölgesi *84*
2.3.2. Avustralya'daki çinko madenciliği ve metal üretimindeki genel görünüm 86
2.4 ÇİNKO METAL FİYATLAMASI 87
2.5 KÜRESEL EN BÜYÜK ÇİNKO ÜRETİCİLERİ 90
2.5.1 Glencore 92
2.5.2 Nexa Resources 96
2.5.3 Trafigura Nyrstar 96
2.5.4 Teck Resources 99
2.5.5 Boliden 100
2.5.6 Hindustan Zinc 101
2.5.7 Korea Zinc 103
3. TESİS PLANLAMA VE FİZİBİLİTE 104
3.1 PAZAR ARAŞTIRMASI 105
3.2 ÜRÜN TASARIMI VE SÜREÇ SEÇİMİ 106
3.3 KAPASİTE SEÇİMİ VE PLANLAMASI 107
3.3.1 İşletme Büyüklüğü ve Kapasite 108
3.3.2 Kapasite Seçimini Etkileyen Etmenler 109
3.4 YER SEÇİMİ 110
4. KONU HAKKINDA DAHA ÖNCEDEN YAPILMIŞ OLAN ÇALIŞMALAR 113
5. ÇİNKO İZABE TESİS KURULUMU FİZİBİLİTE ÇALIŞMASI VE TESİS PLANLAMA 121
5.1 PAZAR ARAŞTIRMASI 121
5.2 ÜRÜN TASARIMI VE SÜREÇ SEÇİMİ 129
5.2.1 Kavurma 131
5.2.2 Sülfürik asit üretimi 132

5.2.3 Liç – Çözelti Temizleme 133
5.2.4 Elektroliz 135
5.2.5 Döküm Süreci 139
5.2.5.1 Ergitme 139
5.2.5.2 Döküm Hattı 140
5.2.5.2.1 Jumbo döküm makinesi 141
5.2.5.2.2 Doğrudan döküm hattı 141
5.2.5.2.3 Külçe döküm makinesi 142
5.2.5.2.4 Alaşım döküm 143
5.2.5.2.5 Geri dönüşüm süreci ve fırını 143
5.2.5.2.6 Granülasyon 144
5.2.6 Çinko Ürünlerinin Kalitesi 145
5.3 KAPASİTE SEÇİMİ VE PLANLAMASI 149
5.4 YER SEÇİMİ 150
6. PROJE SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ 153
6.1 YATIRIM AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ 164
6.2 MİLLİ EKONOMİ YÖNÜNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ 168
KAYNAKLAR 172
EKLER 185
ÖZGEÇMİŞ 186

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1: Çinkonun sektörel kullanım alanlarının şematik gösterimi 1

Şekil 1.2: Sfalerit minerali 5

Şekil 1.3: Smithsonit minerali 5

Şekil 1.4: Hemimorfit minerali 6

Şekil 1.5: Zinkit minerali 6

Şekil 1.6: Villemit minerali 7

Şekil 1.7: Franklinit minerali 7

Şekil 1.8: Çinko'nun İlk Kullanım Alanları 9

Şekil 1.9: Çinko'nın Son Kullanım Alanları 12

Şekil 2.1: Yeraltı Üretiminden Flotasyona Süreç Akışı 16

Şekil 2.2:Hidrometalurjik ve Pirometalurjik Akım Şeması 17

Şekil 2.3: Elektrolitik çinko üretimi prensip akım şeması.....18

Şekil 2.4:Knelson Konsantratör şematik gösterimi 19

Şekil 2.5: Kurşun – Çinko Flotasyon Tesisi. 20

Şekil 2.6: ESAN Balya Kurşun-Çinko Flotasyon Tesisi. 22

Şekil 2.7: Türkiye'nin En Derin Kurşun ve Çinko Madeni.....23

Şekil 2.8:Esan Kurşun – Çinko Flotasyon Tesisi Süreç Akışı 25

Şekil 2.9:Zn – O – S sistemi denge diyagramı 27

Şekil 2.10: Zn-Fe-S-O sisteminin termodinamik denge diyagramı.....28

Şekil 2.11: Akışkan Yataklı Kavurucu. 29

Şekil 2.12: Akışkan Yataklı Kavurucu Sistemi 29

Şekil 2.13: Nexa - Cajamarquilla çinko izabe tesisinde bulunan akışkan yataklı kavurucu sistemi.....30

Şekil 2.14: Sinterleyici Kavurma Sistemi 31

Şekil 2.15: ISP Yöntemi. 33

Şekil 2.16: Zn – S – O sistemi 1000K/727°C.....35

Şekil 2.17: ZnO – CO reaksiyonu denge sistemi.....35

Şekil 2.18: Pirometalurjik Yöntemle Sülfürlü Çinko Konsantresinden Çinko Metal Üretimi.....36

Şekil 2.19: Forth Flotasyon Yöntemi 38

Şekil 2.20: Hidrometalurjik Yöntemle Sülfürlü Çinko Konsantresinden Çinko Metal Üretimi.....39

Şekil 2.21: Hidrometalurjik Yöntemle Sülfürlü Çinko Konsantresinden Çinko Metal Üretimi.....39

Şekil 2.22: Bazı empürite iyonların çinko elektrolizi akım verimine etkileri 42

Şekil 2.23: Çinko elektroliz sistemi.....43

Şekil 2.24: Hidrojen Gelişimi ve Çinko Birikimi Koşullarının Potansiyel ve Akım Yoğunluğu İlişkisinin Şematik Diyagramı.....45

Şekil 2.25: Hidrometalurjik Çimko Metal Üretiminde (RLE Prosesi) Çeşitli Metallerin Süreçteki İlişkisinin Şematik Diyagramı.....48

Şekil 2.26: Çin'deki çinko metal üretimi ve izabe tesisi kapasite kulanım oranı 49

Şekil 2.27: Hidrometalurjik Yöntemlerde Çinko Metal Üretimindeki farklı teknolojilere göre oluşan çinko atıkları 50

Şekil 2.28: Jarosit yönteminin kullanılmısnın kök nedenleri 51

Şekil 2.29: Jarosit yöntemini içeren çinko metal üretiminin şematik gösterimi 52

Şekil 2.30: Jarosit yöntemini içeren çinko metal üretiminin şematik gösterimi. 57

Şekil 2.31: Çin'deki Xingan Ausmelt Tesisi 59

Şekil 2.32: Birincil ve İkincil Hammaddelerle Birlikte Çinko Metal Üretiminin Süreç Akış Şeması 61

Şekil 2.33: Karbonatlı Çinko Hammaddelerinden Çinko Metal Üretimi Süreç Akış Şeması 62

Şekil 2.34: Waelz Tesisi Süreç Akış Şeması 63

Şekil 2.35: Çinko Maden ve Metal Üretim Miktarıları 65

Şekil 2.36: Çinko Rezerv ve Üretiö Miktarına Sahip Olan İlk 10 Ülke 66

Şekil 2.37: Ülkelere Göre Çinko Maden Üretim Miktarı 67

Şekil 2.38: Çin Çinko Maden Üretimi Operasyonel Maliyet Gösterimi 70

Şekil 2.39: Çin'in Maliyetlerinin Diğer Ülkelere Göre Rekabet Gücü. 71

Şekil 2.40: Çin'deki bölgesel üretim kesintileri ve yeni kapasite durumu 72

Şekil 2.41: Çin'deki Çinko Madeni ve İzabe Tesisleri. 73

Şekil 2.42: Çin ve Çin dışındaki çinko madenlerinin büyüklük dağılımı 74

Şekil 2.43: Çin dışındaki çinko madenlerinin büyüklüğüne göre maliyet yapısı 74

Şekil 2.44: Çin dışındaki çinko madenlerinin büyüklüğüne göre maliyet yapısı 75

Şekil 2.45: Çin'in İç Moğolistan Eyaletindeki Kurşun - Çinko Maden ve İzabe Tesisleri 78

Şekil 2.46: Küresel, Çin ve İç Moğolistan Eyaletindeki Kurşun - Çinko Madencilik ve Öğütme Maliyetlerinin Karşılaştırılması 79

Şekil 2.47: Çin'in İç Moğolistan Eyaletindeki Kurşun - Çinko Maden Metal Üretiminin Payı 80

Şekil 2.48: Çin'in Hunan Bölgesinde Çinko Maden ve Metal Üretimi 81

Şekil 2.49: Çin'in Hunan Bölgesindeki Çinko İzabe Tesisleri 82

Şekil 2.50: Çin'in Huoshaoyun Bölgesindeki Çinko Projesi ve Tesisleri 85

Şekil 2.51: Avustralya'daki Çinko Projeleri 86

Şekil 2.52: Avustralya'daki Çinko Projeleri ve Üretim Miktarları 87

Şekil 2.53: Çinko Metal LME Fiyatı 88

Şekil 2.54: Küresel en büyük çinko maden ve metal üreticileri 91

Şekil 2.55: Glenore çinko operasyonları 92

Şekil 2.56: Glenore çinko operasyonları 93

Şekil 2.57: Glenore'un İspanya'daki çinko operasyonları 93

Şekil 2.58: İspanya'daki San Juan de Nieva çinko izabe tesisi 94

Şekil 2.59: San Juan de Nieva çinko izabe tesisinin geçmişten günümüze üretim miktarı 95

Şekil 2.60: San Juan de Nieva çinko izabe tesisinin proses akış şeması 95

Şekil 2.61: Nexa Resources çinko operasyonu.....96

Şekil 2.62: Nexa Resources çinko operasyonu.....97

Şekil 2.63: Trafigura Nyrstar çinko operasyonu 98

Şekil 2.64: Teck Resources Operasypnlarının Genel Görünümü.....99

Şekil 2.65: Dünya'nın en büyük çinko madeni Red Dog madeninim yıllık operasyonu 100

Şekil 2.66: Boliden Kokkola Çinko İzabe Tesisi 100

Şekil 2.67: Hindustan Zinc Operasypnları 102

Şekil 2.68: Hindustan Zinc Debari Çinko İzabe Tesisi 102

Şekil 2.69: Küresel En Büyük Üretici, Korea Zinc Onsan Çinko İzabe Tesisi Proses Akışı 103

Şekil 3.1: Tesis Planlama ve Fizibilite Akış Adımları 105

Şekil 5.1: Çinko İzabe Tesis Kurulumu Fizibilite Çalışması ve Tesis Planlama Adımlarının Tespit Edilmesi 121

Şekil 5.2: Çinko Maden Üretimi ve Metal Üretimi Projeksiyonu.....124

Şekil 5.3: Yerel Çinko Maden Üretim Bölgeleri.....126

Şekil 5.4: Glencore San Juan de Nieva Çinko İzabe Tesisi.....128

Şekil 5.5: RLE Yönemiyle çinko metal üretimi 129

Şekil 5.6: RLE Yönemiyle çinko metal üretimi detaylı süreç akışı 131

Şekil 5.7: RLE Yönemiyle çinko metal üretimi detaylı süreç akışı 131

Şekil 5.8: Glencore San Juan de Nieva Tesisi Kavurma Ünitesi.....132

Şekil 5.9: Sülfürik asit üretimi süreç akışı 132

Şekil 5.10: Liç – Çözelti Temizleme süreç akışı 133

Şekil 5.11: Glencore San Juan de Nieva Tesisi Çözelti Temizleme Ünitesi 134

Şekil 5.12: Elektroliz süreç akışı 135

Şekil 5.13: Boliden Kokkola Çinko İzabe Tesisi Elektroliz Ünitesi.....136

Şekil 5.14: Boliden Kokkola Çinko İzabe Tesisi Elektroliz Ünitesi Tasarımı.....137

Şekil 5.15: Glencore San Juan de Nieva Çinko İzabe Tesisi Elektroliz Ünitesi 138
Şekil 5.16: Glencore San Juan de Nieva Çinko İzabe Tesisi Elektroliz Ünitesi. 139
Şekil 5.17: Boliden Kokkola İzabe Tesisi Ergitme ve DökümÜnitesi 140
Şekil 5.18: Boliden Kokkola İzabe Tesisi Döküm Ürünleri.....142
Şekil 5.19: Boliden Kokkola İzabe Tesisi Cüruf metal çinko 144
Şekil 5.20: Nihai Ürün külçe metalik çinko. 145
Şekil 5.21: Külçe çinko ve jumbo çinko ürünleri.....146
Şekil 5.22: Boliden Kokkola İzabe Tesisi Çinko Ürünleri 147
Şekil 5.23: % 99,995 Zn içeren külçe çinko.....148
Şekil 5.24:% 99,995 Zn içeren jumbo çinko 148
Şekil 5.25: Çinko İzabe Tesisi Kapasite ve Süreç Adımları.....150
Şekil 5.26: İl Bazında Bölgesel Teşvik Alanları 151
Şekil 6.1: Satış ve Brüt Kar 162
Şekil 6.2: Brüt Karlılık 163
Şekil 6.3: İşletme Giderlerinin Dağılımı (Amortisman Hariç).....163
Şekil 6.4: İşletme Gelirlerinin Dağılımı 163
Şekil 6.5: Tesis üretim miktarı ve kapasite kullanım oranı 164
Şekil 6.6: İlk Yatırım Maliyeti Duyarlılığı.....166
Şekil 6.7: Enerji Teşviği Duyarlılığı 166
Şekil 6.8: Satış Fiyatı Duyarlılığı 167
Şekil 6.9: Türkiye Çinko Ticaret Açığı 169
Şekil 6.10: Sürdürülebilir Metal Çinko. 171

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Çinko ve kurşun ergime ve buharlaşma sıcaklıkları 344

Tablo 2.2: Çeşitli metallerin standart potansiyelleri.....41

Tablo 2.3: Çeşitli standart potansiyeller (25ºC'de H^+elektrot için).....46

Tablo 2.4: Sadece nört liç yöntemi kullanılarak, çinko konsatresinden teorik çinko kazanımı ve kurşun ergime ve buharlaşma sıcaklıkları.....53

Tablo 2.5: Outotec firmasının çalışmarında test edilen çinko içerikleri.....58

Tablo 2.6: 2019 yılında en çok üretim artışı gösteren çinko madeni.....68

Tablo 2.7: 2019 ve 2020 yılları aylık ortalama çinko metal fiyatı 88

Tablo 2.8: Örnek çinko konsantre fiyatı hesaplaması 89

Tablo 2.9: Küresel en büyük çinko madencileri ve çinko metal üreticileri.....91

Tablo 5.1: Küresel çinko maden ve metal arz – talep dengesi 122

Tablo 5.2: Küresel çinko metal üretimi 122

Tablo 5.3: Avrupa'daki çinko izabe tesisleri.....123

Tablo 5.4: Avrupa'daki çinko izabe tesisleri üretim ve kapasite.....123

Tablo 5.5: Küresel ve Türkiye çinko metal talebi 124

Tablo 5.6: Küresel galvaniz üretim miktarları.....125

Tablo 5.7: Türkiye galvaniz üretim miklarları 125

Tablo 5.8: Türkiye çinko ve kurşun cevher ve konsantresi ihracatı 134

Tablo 5.9: Türkiye çinko ve kurşun metal ithalatı.....127

Tablo 5.10: Çinko izabe tesisi yatırım iş planı 149

Tablo 5.11: Çinko izabe tesisi yıllık üretim kapasitesi.....149

Tablo 6.1: Metal fiyat seti.....155

Tablo 6.2: Toplam yatırım ve finansman tablosu.....156

Tablo 6.3: Ekonomik ömür ve amortisman tablosu 157

Tablo 6.4: Nakit akış tablosu 158

Tablo 6.5: Ürün bazında karlılık tablosu 159

Tablo 6.6: Kar ve zarar tablosu 160

Tablo 6.7: Yatırım karlılığı tablosu 161

Tablo 6.8: Geri ödeme süresi tablosu 161

Tablo 6.9: İşletme karlılık tablosu 164

Tablo 6.10: Senaryo analizleri tablosu 165

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler **Açıklama**

$: Amerikan Doları
T : Sıcaklık

Kısaltmalar **Açıklama**

ISP : Imperial Smelting Process
LME : London Metal Exchange
RC : Refining Charge
RLE : Roasting Leaching Electrolysis
RMB : Renminbi Çin'in resmi parası
SHFE : Shanghai Futures Exchange
SHG : Special High Grade
SSHG : Super Special High Grade
TC : Treatment Charge
TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu

ÖZET

DOKTORA TEZİ

Çinko Madenciliği ve Metalurji Endüstrisi: Türkiye'de Çinko İzabe Tesisi Fizibilitesi ve Planlaması

Umut Doğan TURUNÇ

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Cem KAHRUMAN

Çinko metali, demir, alüminyum ve bakırdan sonra kullanımı en yaygın dördüncü metaldir. Çinko metali, çok çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılmasını sağlayan bir dizi çekici fiziksel, elektro-kimyasal ve kimyasal özelliğe sahiptir. Çinko metali, bakır, alüminyum ve magnezyum gibi diğer metallerle kolayca alaşım yapar. Demir ile kolayca reaksiyona girerek galvanizli veya uygulamalı kaplama olarak kullanıldığında çelik yüzeylere iyi bir korozyon direnci verir. Çinko; binalar, arabalar, köprüler ve liman tesislerinde kullanılan çelik ürünlerin bakım maliyetlerini azaltır ve son yıllarda kullanımı da artmıştır.

Küresel çinko metal üretiminin %85lik büyük bir çoğunluğu sülfürlü çinko cevherlerinden yapılmaktadır. Türkiye'de önemli miktarda sülfürlü çinko-kurşun cevheri üretimi yapılmakla birlikte, bu cevherleri işleyebilecek herhangi bir izabe tesisi bulunmamaktadır. Dolayısıyla, çinko madenciliği katma değeri olmadan yurt dışına çinko konsantresi olarak (yaklaşık %50-52) ihraç edilerek, ülkemize tekrar çeşitli sektörlere yurtdışından metalik olarak (yaklaşık % 99) ithal edilmektedir. 2018 yılında TÜİK verilerine göre ülkemizden 971.000 ton çinko

cevheri ve konsantresi ihraç edilmiş olup bu değer yaklaşık 450 milyon Amerikan Dolarına tekabül etmektedir. Öte yandan, 2018 yılında çinko metali ithalatına, yaklaşık 800 milyon Amerikan Doları harcanmış, ülkemiz çinko ticaretinde yıllık yaklaşık 330 milyon dolar açık vermiştir. 2011 – 2020 yılları arasındaki çinko dış ticaret açığı yaklaşık 3 milyar dolar seviyesine erişmiştir.

Demir - çelik, kurşun, bakır ve çinko gibi sanayilerde kendi kendine yetebilmemiz çok önemlidir. Yeteriz kaldığı noktada bu metallerin hepsi dışarıdan satın alınmaktadır. Kendimize yetebilecek kadar üretebildiğimiz takdirde, gerekli metalleri satın almak için harcanan kaynaklar ülkemizde kalacaktır. Kendi pazarımıza yetecek şekilde, organize olmamız çok önemlidir. Ayrıca, hammaddede dışa bağımlılık ülkemiz için en büyük handikaplardan biridir. Dışa bağımlığı ve olası yaptırımların önlenmesi için en büyük fırsat yerli üretimin gerçekleştirilmesidir. Çinko metal üretimi için kurulacak bir izabe tesisinin, kurşun, kadmiyum, bakır, gümüş ve altın gibi diğer metallerin de kazanımına katkı sağlayabilecek olması başka bir olumlu noktadır.

Dolayısıyla, bu çalışma ışığında, kalkınma planı programlarımızda süregelen ve önemi vurgulanan, ülkemizin katma değeri yüksek ürün üretme hedeflerine ek olarak, 7 Eylül 2016 tarihli ve 29824 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren 6745 Sayılı "Yatırımların Proje Bazında Desteklenmesi ile Bazı Kanun ve Kanun Hükmünde Kararnamelerde Değişiklik Yapılmasına dair Kanun"un 80 inci maddesi ile "Proje Bazlı Teşvik Sistemi"ne ilişkin usul ve esasları belirleyen 2016/9495 Sayılı "Yatırımlara Proje Bazlı Devlet Yardımı Verilmesine İlişkin Karar" kapsamındaki hedefleri örtüşmektedir. Söz konusu destek sistemi ile Kalkınma Planları ve yıllık programlarda öngörülen hedefler doğrultusunda, asgari 100 milyon dolar tutarındaki, ülkemizin mevcut veya gelecekte ortaya çıkabilecek ihtiyaçlarını karşılayacak, arz güvenliğini sağlayacak, dışa bağımlılığı azaltacak, teknolojik dönüşümünü sağlayacak, yenilikçi, Ar-Ge yoğun ve katma değeri yüksek yatırımlar proje bazlı olarak desteklenmektedir.

Tez kapsamında, çinko konsantresinden çinko metali üretiminde küresel olarak en yaygın üretim yöntemi olan, kavurma, liç ve elektroliz adımları temel alınarak planlama ve fizibilite yapılmıştır. Fizibilite aşamasında üretici verileri, ekonomik rakamlar, arz-talep dengeleri incelenmiştir. Tez kapsamında bir çinko tesisinin kurulma fikrinden başlayıp, metalik çinko üretimine kadar olan süreçte, çinko tesisi planlamasına dair; pazar araştırması, ekonomik ve teknolojik irdelemeler, çinko tesis projesinin hazırlanması, tesis için yer seçimi ve diğer tüm

konular ayrıntılı olarak ele alınarak, doğru bir endüstriyel alanda doğru bir yer seçilerek doğru bir düzenleme ile istihdam oluşturan sürdürülebilir tesis yaratılması amacıyla yapılmış bir çalışmadır.

Bu çalışma uzmanlık alanı itibariyle, metalurji, maden ve işletme mühendisliği bilgilerini içermekte olup, metalurji ve maden üretimi tesislerinin yatırım ve/veya planlama aşamalarının en etkin şekilde yapılabilmesi için de bir kılavuz olacaktır. Ayrıca, ülkemiz için stratejik bir yatırım olarak görülen ve teşvik planında yer alan çinko izabe tesisi kurulumu için temel oluşturacaktır.

Ağustos 2021, 207. sayfa.

Anahtar kelimeler: Çinko madenciliği, çinko metalürjisi, çinko ekonomisi, fizibilite, yatırım.

SUMMARY

Ph.D. THESIS

Zinc Mining and Metallurgy Industry: Feasibility and Planning of Zinc Smelter Plant in Turkey

Umut Doğan TURUNÇ

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Metallurgical and Materials Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Cem Kahruman

Zinc is the fourth most common metal to use after iron, aluminum and copper. Zinc metal has a range of attractive physical and chemical properties that enable it to be used in a wide variety of industrial applications. Although these properties have resulted in its use in a wide variety of applications, the primary end use of zinc has been in construction. Galvanizing is the predominant first use for zinc. Zinc maintains its popularity as an anti-corrosion material because it not only provides a protective barrier but galvanic action results in the zinc being sacrificed rather than the underlying steel substrate and this provides superior protection even if the coating surface becomes damaged and exposes the steel. Zinc has no equal, as a protective coating for steel, Zinc lengthens the lifetime of steel up to 12 time.

The vast majority of 85% of global zinc metal production is made from sulfide zinc ores. Although a significant amount of sulphurous zinc-lead ore is produced in Turkey, there is no smelter that can process these ores. Therefore, zinc mining is exported abroad as zinc

concentrate (approximately 50-52%) without added value, and it is imported to Turkey as metallic (approximately 99%) from abroad to various sectors. According to Turkish Statistical Institute, 971,000 tons of zinc ore and concentrate were exported from Turkey in 2018, which corresponds to approximately 450 million USD. On the other hand, approximately 800 million USD was spent on zinc metal imports in 2018, and Turkey had an annual deficit of approximately 330 million dollars in zinc trade. The zinc foreign trade deficit between 2011 and 2020 reached approximately 3 billion dollars

It is very important for Turkey to be self-sufficient in industries such as iron and steel, lead, copper and zinc. At the point where it is insufficient, all of these metals are purchased from abroad. If the country can produce enough for itself, the resources spent on purchasing the necessary metals will remain in the country. It is very important that if the country is being organized sufficient for its own market. In addition, being dependent on raw materials is one of the biggest handicaps for Turkey. The biggest opportunity to prevent dependency on foreign supply and possible sanctions is the realization of domestic production. Another positive point is that a smelting plant to be established for the production of zinc metal can also contribute to the recovery of other metals such as lead, cadmium, indium, copper, silver and gold.

By the way, According to Turkish Statistical Institute, Turkey exported 320 thousand tonnes zinc ore & conc in 2020. Import was 250 k t in 2019. / 700 mil USD. Considering that zinc metal imports and zinc concentrate exports have a foreign trade deficit of 2 billion dollars for zinc since 2014, the establishment of a zinc smelter enables significant savings.

Therefore, in the light of this study, Turkey's goals of producing products with high added value, which are ongoing and emphasized in our development plan programs, coincide with the legal regulations on Project-Based Support of Investments, Project-Based Incentive System and State Aid. With the said support system, in line with the targets envisaged in the Development Plans and annual programs, an innovative, R&D-intensive and value-added value of at least 100 million dollars will be provided to meet the current or future needs of our country, to ensure security of supply, to reduce foreign dependency, to ensure technological transformation. high investments are supported on a project basis.

Within the scope of the thesis, planning and feasibility were made on the basis of roasting, leaching and electrolysis steps, which are the most common production methods globally in the

production of zinc metal from zinc concentrate. At the feasibility stage, producers' data, economic figures, supply-demand balances were examined.

From the idea of establishing a zinc plant to the production of metallic zinc, regarding the planning of the zinc plant; market research, economic and technological investigations, preparation of the zinc plant project, site selection for the plant and all other issues were discussed in detail, and it was aimed to create a sustainable facility that creates employment with the right arrangement by choosing the right place in the right industrial area.

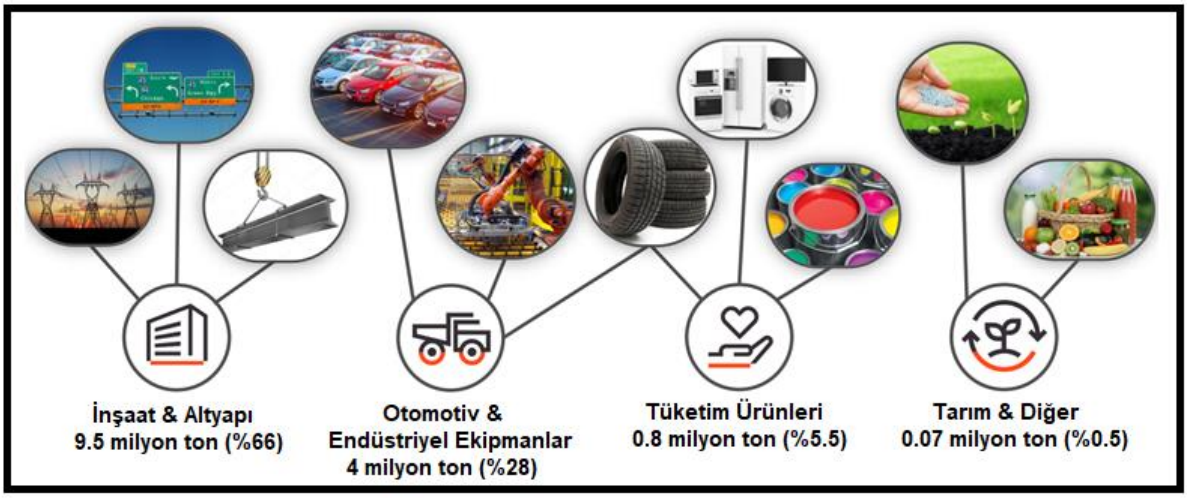
This study includes information on metallurgy, mining and industrial engineering in terms of specialization, and it will also be a guide for the most effective investment and/or planning stages of metallurgical and mining production facilities. In addition, it will form the basis for the building of a zinc smelting plant, which is seen as a strategic investment for Turkey and included in the incentive plan.

August 2021, 207 pages.

Keywords: Zinc mining, zinc metallurgy, economics of zinc, feasibility, investment.

1. ÇİNKO MADENCİLİĞİNE VE METALURJİSİNE GİRİŞ VE GENEL PERSPEKTİF

Çinko, sırasıyla, demir, alüminyum ve bakırdan sonra küresel olarak en çok ihtiyaç duyulan dördüncü metaldir. Çinko metali, çok çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılmasını sağlayan bir dizi çekici fiziksel ve kimyasal özelliğe sahiptir. Çinko metali, bakır, alüminyum ve magnezyum gibi diğer metallerle kolayca alaşım yapar. Dayanıklıdır ve demir ile kolayca reaksiyona girerek galvanizli veya uygulamalı kaplama olarak kullanıldığında çelik yüzeylere iyi bir korozyon direnci verir. Bu üç metal başlıca, demir ve çeliğin korozyona karşı direncinin artırılmasında, döküm sanayinde kullanılan özel alaşımlar ile pirinç alaşımların yapımında kullanılmaktadır. Çinkonun bu özellikleri, Şekil 1.1'de gösterilen çok çeşitli uygulamalarda kullanılmasına neden olmasına rağmen, çinkonun birincil nihai kullanımı inşaat ve altyapı olmuştur. Çinko, inşaat, altyapı ve ulaşım sektörlerinde kullanılan; çelik ürünlerin bakım maliyetlerini azaltır. [1-6]



Şekil 1.1: Çinkonun sektörel kullanım alanlarının şematik gösterimi [7].

Küresel çinko üretimi 1970 yılında 5 milyon ton seviyelerineyken, 2000'li yıllarda 10 milyon ton seviyelerine gelmiştir. 2018 yılında Dünya'da toplam 48 ülke çinko cevheri üretmiş olup, bunlardan 9 tanesi, toplam üretimin 2/3'ünü gerçekleştirmiştir. International Zinc Study Group verilerine göre, en büyük ve düzenli çinko cevheri üretici ülke Çin'dir. Çin'in 2018 yılındaki üretimi yaklaşık 4.5 milyon ton seviyelerine ulaşmıştır. Çin'den sonra 1.4 milyon ton ile Avustralya gelmektedir. Avustralya'yı 1.3 milyon ton ile Peru takip etmektedir. Genel olarak,

Dünya'nın her yerinde çinko maden üretiminin arttığı gözlenmektedir. Nitekim 2018 yılında, yaklaşık toplam 12.9 milyon ton çinko maden üretimi yapılmıştır. [5]

Dünya'da 6 ülke toplam çinko metal üretiminin %69'unu karşılamaktadır. Bunların arasında 2018 yılında toplam 5.6 milyon ton üreten Çin, birinci sırada gelmektedir. İkinci sırada bulunan Güney Kore, 987 bin tona ulaşmıştır. Hindistan 760 bin ton, Kanada 674 bin ton, İspanya ve Japonya 521'er bin ton, üretim yapmışlardır. Dünya metalik çinko üretimi 2018 yılında, 13.2 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. [4 -8]

Dünya genelinde yaşanan çinko cevher ve konsantre arz eksikliğinden dolayı ve bazı metal ergitme tesislerindeki kapasite artışlarına bağlı olarak, çinko pazarında darboğaza neden olmuştur. Fiyatlar son 2016 – 2018 yılları arasında ciddi şekilde artmıştır. Bu seviyelerde devam ettikten sonra yeni devreye alınan maden projelerine bağlı olarak, fiyatlar düşüşler yaşanmaya başlamış, olağan seviyelerine inmiştir.

2018 yılında yeniden devreye alınan en önemli projeler;

- Skorpion Zinc'in Namibya'da maden ve izabe tesisi büyüme yatırımı. Metalik çinko 90.000 ton'dan 130.000 tona artışı.
- Çin'li MMG Gamsberg Madenin Güney Afrika'da, 2018 ortalarından itibaren 250.000 ton/yıl üretim seviyesine gelmesi.
- Çin'li MMG Dugald River Avustralya'da 2018 ortalarından itibaren 140.000 ton/yıl üretim seviyesine gelmesi.
- Glencore – Lady Loretta Avustralya'da 2018 ortalarından itibaren 350.000 ton/yıl üretim seviyesine gelmesi.
- New Century Avustralya'nın 2018 Temmuz'dan itibaren atıklardan geri üretim yapmaya başlaması.

Toplam çinko tüketiminin hemen hemen %60'ı galvanize çelik üretiminde kullanılmakta, %24'ü pirinç ve döküm alaşımlarında, %9'u çinko oksit üretiminde, %5' i haddelenmiş yarı mamül ürünlerde, %2'si ise besin takviyelerinde kullanılmaktadır. [4 - 6]

2018 yılından itibaren birçok yeni madenin açılması ve madenlerdeki kapasite artışlarına rağmen çinko izabe tesislerindeki darboğazlar nedeniyle pazara sunulan metal çinko miktarında

yeterince artış gerçekleşmemektedir. İzabe aşamasındaki darboğazların başında Çin dışındaki izabe tesislerinin yakın gelecekte yetersiz kalması durumu gelmektedir. [4]

Cevher yataklarının oluşumuna paralel olarak, Türkiye'de çinko-kurşun cevher ve konsantreleri oksitli ve sülfürlü olarak bulunmaktadır. Türkiye'nin toplam çinko rezervi, metal çinko olarak, 5,471,338 ton olarak belirtilmektedir. Ne yazık ki küresel üretimin temelini oluşturan ve ülkemizde de üretilen sülfürlü cevher ve konsantreler, yurt içinde izabe imkanı bulunmadığından, zenginleştirilmiş çinko-kurşun cevherleri veya konsantreleri doğrudan ihraç yolu ile yurt dışına satılmaktadır, ülkemizde ilave katma değer yaratılamamaktadır. Ayrıca cevher, konsantre ve kalsine ürün olarak da çinko ihracatı yapılmaktadır. [4]

Ülkemizde farklı kökenlerde ve farklı bölgelerde kurşun-çinko cevherleşmesi bilinmektedir. Türkiye'de sektörde Esan (Balya) , Çayeli Bakır (Rize) İşletmeleri, Ölmez Madencilik (Hakkari Çukurca – Uludere Dicle), Akmetal Pasinex (Kozan), Dedeman (Yahyalı), CVK (Yenice), Etigümüş Nesko (Akdapmadeni, Şebinkarahasir ve Tavşanlı), Güçüştaş Esen (Gümüşhane ve Ulukışla), Aksu (Dursunbeyli) ve Oreks (Yenice ve Aladağ) faaliyetlerini sürdürmektedirle önemli miktarda sülfürlü çinko-kurşun cevheri üretimi yapılmakla birlikte, bu cevherleri işleyebilecek herhangi bir izabe tesisi bulunmamaktadır. Ayrıca, Marzinc, Turkmex, Çinkom Erbosan ve Befesa vb. Waelz oksit üretimi yapan önemli firmalar da mevcuttur. Dolayısıyla, çinko madenciliği katma değeri olmadan yurt dışına çinko konsantresi olarak ihraç edilerek, ülkemize tekrar çeşitli sektörlere yurtdışından metalik olarak ithal edilmektedir. 2018 yılında TÜİK verilerine göre ülkemizden 971.000 ton çinko cevheri ve konsantresi ihraç edilmiş olup bu değer yaklaşık 450 milyon Amerikan Dolarına tekabül etmektedir. Öte yandan, 2018 yılında çinko metali ithalatına, yaklaşık 800 milyon Amerikan Doları harcanmış, ülkemiz çinko ticaretinde yıllık yaklaşık 330 milyon dolar açık vermiştir. 2019 yılında yaklaşık 734 bin ton çinko cevher ve konsantresi ihraç edilirken, 350 milyon dolarlık bir ihracat geliri elde edilmiştir. Diğer taraftan, yaklaşık 252 bin tonluk çinko metal ithalatına 681 milyon dolarlık bir bedel ödenmiştir. Yurtiçi metal talebi açığı, çinko metal ve alaşımları olarak ithalatla karşılanmaktadır. Maden ürünleri katma değeri en yüksek olan ürünlerdir. Bu nedenle madencilik kaynak yaratmada birinci sırada gelen bir sektördür ve uç ürünlere gidildikçe katma değeri büyük oranlarda artma eğilimi gösterdiğinin en iyi örneklerindendir. 2011 – 2020 yılları arasındaki çinko dış ticaret açığı yaklaşık 2,5 milyar dolar seviyesine erişmiştir.

TÜİK verilerine göre, 2018 ve 2019 yılında sırasıyla 971.270 ton ve 734.011 ton çinko cevher ve konsantresi ihracatı olmuştur. İhracat verilerinin ürün hiyerarşisinde çinko cevheri ve çinko konsantresi (%48-52 Zn içerir) aynı kodla konsolide edilmektedir. Ülkemizden cirosal olarak, Belçika, İran, İspanya Meksika, Çin ve Japonya'ya yapılmaktadır. Miktarsal olarak ise en büyük ihracat tonajı güney doğu Anadolu bölgesinden İran'a ihracat edilen çinko cevherlerinden ileri gelmektedir.

Dünya ekonomisindeki gelişmelere istinaden, Londra Metal Borsasındaki çinko metal fiyatı değişiklik gösterebilmektedir. Bunun da etkisiyle, 2018 ve 2019 yılında sırasıyla 450 milyon dolar ve 350 milyon dolar çinko cevher ve konsantresi ihracatı olmuştur.

Bu tez kapsamında ülkemizde maden ve metalurji sektörü başta olmak üzere birçok sektöre ışık tutabilecek bilgiler ve buna bağlı olarak ülkemizin stratejik bir yatırım olarak görülen ve teşvik planında yer alan çinko izabe tesisi kurulumu için temel oluşturan esaslar verilmektedir.

1.1 ÇİNKO MİNERALLERİ

Çinko maden üretimi öncelikle, kurşun, çinko ve gümüş içeren sülfür yataklarından yapılmaktadır. Çinko tipik olarak sfalerit, kurşun ise galenit olarak bulunur. Gümüş genellikle galenitle ilişkilendirilir ancak tetrahedrit ve pirargirit gibi bir dizi gümüş minerali de bulunabilir. Çinko'nun tek başına bulunabilir. Ayrıca, kurşun ve bakır ile birlikte de yer alabilir. Kadmiyum çinko yataklarında, gümüş de kurşun içeren yataklarda sıklıkla bulunur. Birçok farklı çinko minerali varolsa da, sadece bazıları ekonomik değer taşımaktadır. Bunların en önemli örneği sfalerittir (ZnS). [1-2, 8 - 15]

1.1.1 Sülfürlü Mineralleri

Sfalerit (Sphalerite): En yaygın olarak bulunan çinko minerali olup, Şekil 1.2'de gösterilmiştir. Küresel üretimin %85'ten fazlası sfaleritten (ZnS) yapılmaktadır. Kuram olarak %64 Zn ihtiva etmektedir. [1-2, 8 - 17]



Şekil 1.2: Sfalerit minerali [17].

1.1.2 Karbonatlı Mineralleri

Smitsonit (Galmei, Calamine): Smitsonit ($ZnCO_3$) kuramda, % 52,1 Zn ihtiva etmektedir. Endüstriyel fırında ısıtılan karbonatlı çinko cevheri çinko oksit ve karbondioksit olarak ayrışmaktadır. Smitsonit minerali Şekil 1.3'te gösterilmiştir. [1,2, 18]



Şekil 1.3: Smithsonit minerali [18].

1.1.3 Oksitli Mineralleri

Hemimorfit: Teorik olarak yaklaşık %55 Zn ihtiva etmektedir. Yüksek tenörde çinko içermesi ve üretimde kullanıldığında kavurma operasyonu gerektirmemesi sebebiyle tercih edilen bir hammadde olan Hemimorfit minerali Şekil 1.4'te gösterilmiştir.[1,2, 19]



Şekil 1.4: Hemimorfit minerali [19].

Zinkit (Zn, Mn)O: Nadir bulunan, Zinkit minerali Şekil 1.5'te gösterilmiştir. [1,2, 20]



Şekil 1.5: Zinkit minerali [20].

Villemit (Willemite): Formülü Zn_2SiO_4 olup, genellikle renksiz, bazen yeşilimsi sarı renkli olan Villemit minerali Şekil 1.6'da verilmiştir. [1,2, 21]



Şekil 1.6: Villemit minerali [21].

Franklinit (çinkoferrit): Yaklaşık %20 ZnO ihtiva etmektedir, ayrıca yaklaşık %25-30 oranında mangan oksit ve demir oksit içermektedir. miktarları ise %20-35 arasında değişmektedir. [1,2, 22]

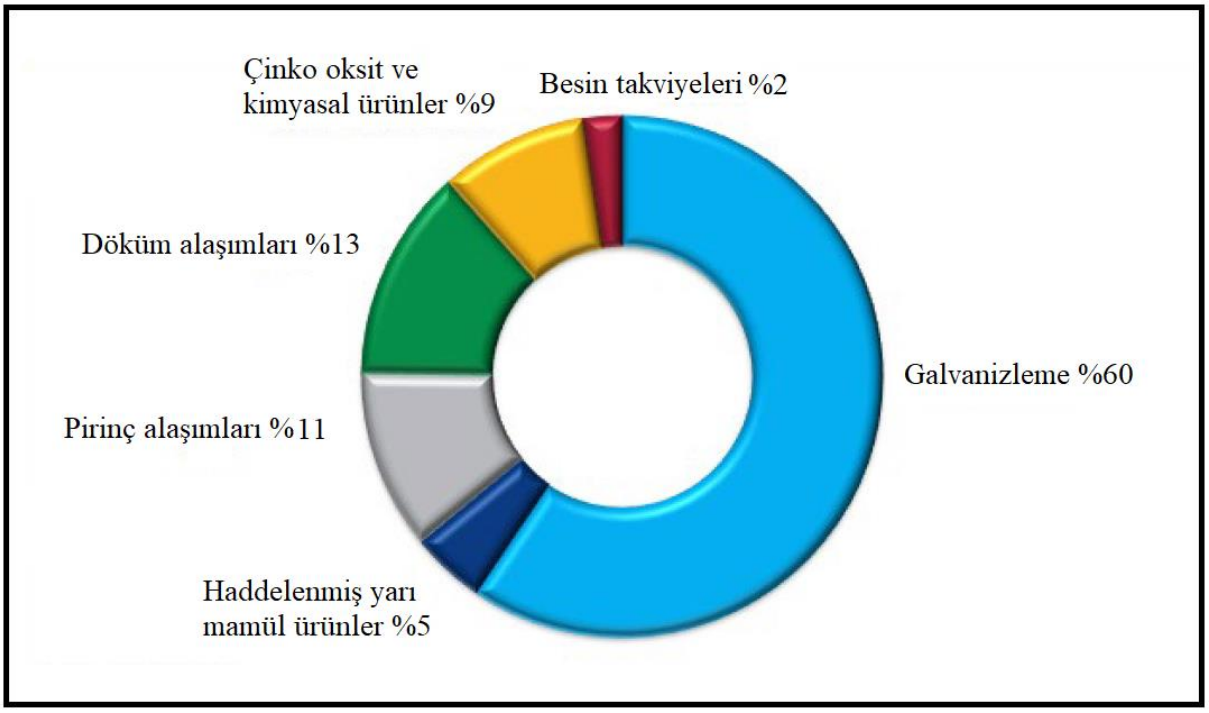


Şekil 1.7: Franklinit minerali [22].

1.2 ÇİNKO KULLANIM ALANLARI

Çinko metali, çok çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılmasını sağlayan bir dizi çekici fiziksel, elektro-kimyasal ve kimyasal özelliğe sahiptir. Çinko metali, bakır, alüminyum ve magnezyum gibi diğer metallerle kolayca alaşım yapar. Dayanıklıdır ve demir ile kolayca reaksiyona girerek galvanizli veya uygulamalı kaplama olarak kullanıldığında çelik yüzeylere iyi bir korozyon direnci verir. Çinko nispeten serttir. Düşük erime noktası onu ve alaşımlarını kalıp dökümü için çok uygundur, ancak yine de şekillendirilecek, haddelenecek veya ekstrüde edilecek kadar yumuşaktır. Çinkonun bu özellikleri, çok çeşitli uygulamalarda kullanılmasına neden olmasına rağmen, çinkonun birincil nihai kullanımı inşaat ve altyapı olmuştur. II. Dünya Savaşı'nın ardından çinkonun kullanım yoğunluğu, özellikle pirinç ve döküm parçalar şeklinde arttı. Ancak 1970'lerde yaşanan petrol şokları ve alüminyum ve plastik gibi diğer malzemelerle artan rekabet, çinkonun küresel düzeyde ve özellikle otomotiv sektöründe kullanım yoğunluğunun azalmasına neden oldu. Bununla birlikte, Çin'deki soğuk savaşın ve ekonomik reformların sona ermesi, dünyanın birçok gelişmekte olan ekonomisinin kentleşme ve sanayileşme sürecinde bir hızlanma ile sonuçlandı. Bu süreç çinko yoğun olmuştur ve sonuç olarak çinkonun küresel kullanım yoğunluğu 1990'ların sonlarından bu yana istikrarlı bir şekilde artmıştır. Orta ve uzun vadede, Çin gibi ekonomiler geliştikçe ve odak sermaye yatırımlarından ve imalattan hizmet sektörüne kaydırıldıkça, çinkonun kullanım yoğunluğu yavaşlayacak ve ardından daralma riski içermektedir. [16, 24, 25]

Galvanizleme, çinko tabakasının demir-çelik malzemelerin üzerine kaplamanması işlemidir ve çinko için ilk kullanım alanıdır. Şekil 1.8'de gösterildiği üzere, tüm formlarda küresel kullanımın %60'ını oluşturur. Çok ince, 10 ila 15 μm kalınlığında galvanizli çinko tabaka, bir çelik yapının hizmet ömrünü uzatabilir. Bir sonraki en büyük çinko kullanımı, kalıp döküm alaşımları % 13 ve ardından % 11 ile pirinç üretimidir. Çinko ayrıca % 5 oranında haddelenmiş ve ekstrüde edilmiş yarı mamul ürünlere dönüştürülür ve % 9 oksit ve kimyasal yapımında kullanılır. Hem mutlak hem de yüzde olarak, galvanizlemenin inşaat ve otomotiv endüstrilerinde bulunan ana uygulamalarla birlikte en hızlı büyüyen ilk kullanım olacağı tahmin edilmektedir. Bununla birlikte, mikro besin maddesi olarak çinko kimyasallarının kullanımı, uzun vadede ilk kullanım tüketimi üzerinde dönüşümsel bir etkiye sahip olma potansiyeline sahiptir.[25]



Şekil 1.8: Çinko'nun İlk Kullanım Alanları [25].

Otomobil üreticilerinin taleplerini karşılamak için geliştirilen galvanneal geniş çapta kabul gördü. Otomobil üreticilerinin zorlu standartlarını daha ucuz bir ürünle karşılamak için orijinal sıcak daldırma işlemini iyileştirmesi sonucu ortaya çıkan bir yöntemdir. Galvanneal işlemi çinko-demir alaşımına dönüştüren bir ısıl işlem aşamasını içermektedir. Bu alaşım, elektrolitik kaplamadan daha ucuz olduğu, ancak benzer özelliklere sahip olduğu ve bitmiş ürünün kaynaklanması daha kolay olduğu için birçok uygulama için bir kaplama olarak tercih edilir. [8,15,25]

Sherardizing, küçük, fabrikasyon ürünlerin çinko tozu içinde yuvarlanarak kaplandığı bir işlemdir. Ürünler, çinko tozu ve kumla dolu bir tambura yerleştirilir. Daha sonra bir elektrik yükü uygulanır ve tambur, birkaç saat boyunca çinkonun erime sıcaklığının 420ºC'nin hemen altına ayarlanan sabit bir sıcaklıkta döndürülür. Elde edilen kaplamalar çok serttir ve aşınmaya dayanıklıdır. İşlemin bir avantajı, karmaşık parçaları kaplama yeteneğidir. [8,15,16,25]

Çelik sac kaplamada da kullanılan çinko-alüminyum alaşımları otomotiv sektörünün dışında galvalume ve galfan alaşımları niş pazarları gelişmiştir. Çinko-alüminyum alaşımı (% 45 çinko ve% 55 alüminyum) olan galvalume, boyasız yüzeylerin korozyon direncinin ön planda tutulduğu uygulamalarda esas olarak inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Avustralya'da,

kaplamalı çeliğin kullanımı inşaat endüstrisinde iyice yerleşmiştir ve tercih edilen malzeme galvalume'dur. Galfan, ILZRO tarafından çinko endüstrisi adına geliştirilmiştir ve yalnızca %5 ilave alüminyum içerir. Alaşım, alüminyumun iyi korozyon direncinden yararlanır, ancak diğer çinko kaplamalara göre daha iyi şekillendirilebilirlik özelliklerine sahiptir, dolayısıyla mimari amaçlar için kullanılır. Sürekli galvanizlemede en son gelişme, magnezyum ve alüminyum (tipik olarak% 5-15) içeren çinko alaşımları olmuştur. Bu alaşımlar, aynı kalınlıktaki geleneksel bir kaplamaya kıyasla korozyon korumasında önemli bir artış (on kata kadar) sunar.

Çinko ayrıca çeliğe püskürtme, çinko tozu içeren boya sistemleri, parçalama ve mekanik kaplama kullanılarak da uygulanabilir. Daha doğru bir şekilde metalleştirme olarak bilinen püskürtme, çinko tel veya tozun eritildiği ve ardından doğrudan uygulandığı bir püskürtme tabancasını kullanır. Bu yöntemin avantajı, uzun vadeli korozyon koruması sağlayacak olan 355 μm'ye kadar oldukça kalın bir kaplama elde edilebilmesidir. [8,15,25]

Çinko boya ile uygulanabilir Çinko bakımından zengin boya genellikle % 75'in üzerinde çinko içerir ve çinko kaplamanın tüm faydalarını sağlar, ancak alt tabakanın özenle hazırlanmasını gerektirir. Diğer boyalarda çinko bazlı kimyasalların kullanılması anti bakteriyel ve fungal özellikler sağlayabilir. [8,15,25]

Çinkonun diğer bir ilk kullanım alanlarından birisi de döküm alaşımı (Zamak) olarak kullanımıdır. Çinko kullanımının %13'ünü oluşturur ve özel çinko alaşımları kullanır. 1970'lerin sonlarında, otomobil üreticileri araç ağırlıklarını azaltarak yakıt verimliliğini artırmaya çalıştıklarında, çinko döküm, plastikler de dahil olmak üzere rakip malzemelere karşı önemli pazar payını kaybetti, ancak çinko endüstrisi, çinkonun daha hafif ile rekabet etmeye devam etmesini sağlayan ince cidarlı dökümler geliştirerek yanıt verdi. Alüminyum ve magnezyum gibi malzemeler ve hurda oluşumunu azaltan direkt enjeksiyonlu döküm ile üretilen parçalar, geleneksel çinko alaşımları ile yapılan parçalardan %30-50 daha hafiftir. [8,15,25]

Çinkonun diğer bir ilk kullanım alanlarından birisi de Bakırlı Alaşımlarda (Pirinç, Tunç) olarak kullanımıdır. Çinko kullanımının %11'ini oluşturur. Çinko ve bakır alaşımlarına pirinç denir. Bakır-çinko alaşımı (tipik olarak% 65 Cu,% 35 Zn) olan Pirinç, çinko pazarı için de büyük önem taşır. Pirinç, yüksek değerli bir üründür, üretimi basit ve ucuzdur. Pirinç dökülebilir, dövülebilir, levha, tel ve çubuk olarak biçimlendirilebilir ve yüksek gerilme ve akma

mukavemeti nedeniyle pirinç işlenebilir, dolayısıyla karmaşık şekillere iyi uyum sağlar. Pirinç, yüksek bir hurda değerine sahiptir, bu da yüksek düzeyde bir geri dönüşümü teşvik eden, genellikle gerçek metal değerinin en az % 80'idir. Bununla birlikte, yüksek bakır fiyatları ve çinko fiyatları, özellikle pirinç bağlantı bağlantılarının ve valflerin ikame ürün olarak plastiklerle değiştirilmesine yol açmaktadır. [8,15,16,25]

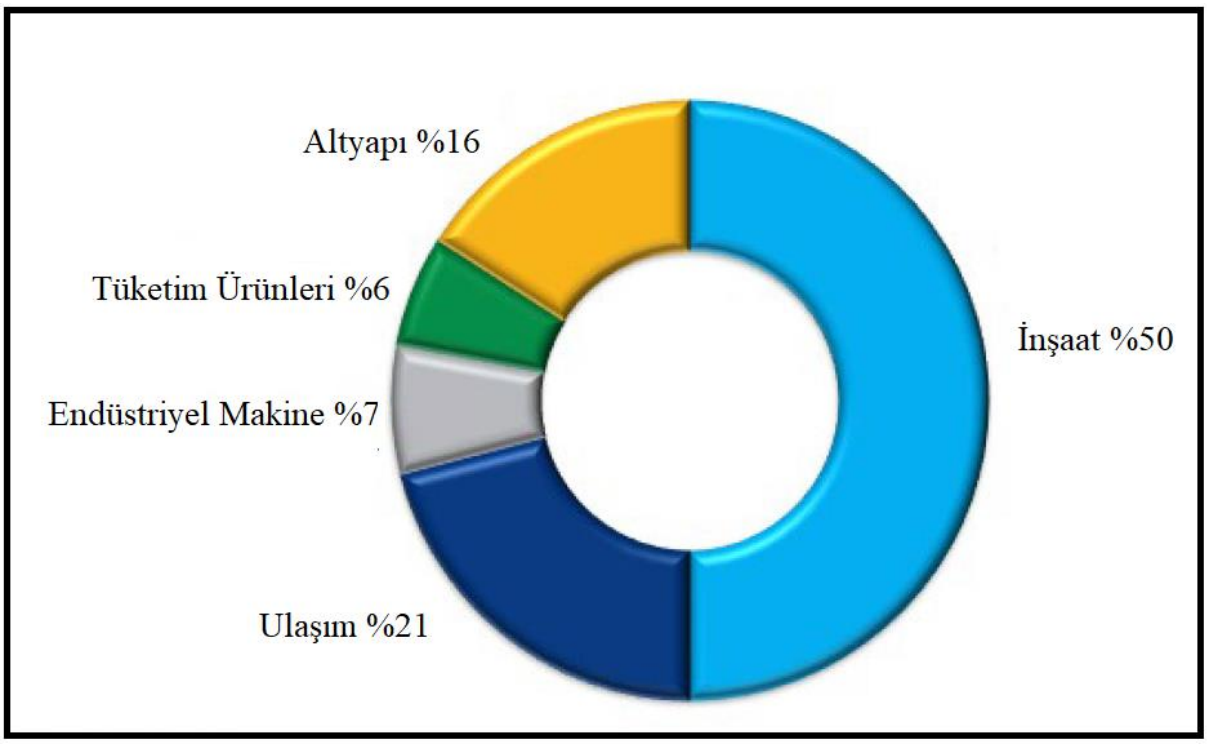
Çinkonun diğer bir ilk kullanım alanlarından birisi de kimyasallar olarak kullanımıdır. Şekil 1.8'de gösterilen çinko kullanımının %9'unu oluşturur. Çinko oksidin yaklaşık % 60'ı kauçuğun vulkanizasyonunda kullanılır, diğer başlıca kullanımlar ise kimyasalların üretiminde, tarımda (hayvan yemlerinde ve gübrelerde) ve boyalarda kullanılan denge ile seramikte frit ve sırlarda (% 20) kullanımıdır.

Çinkonun diğer bir ilk kullanım alanlarından birisi de besin takviyeleri olarak kullanımıdır. Çinko kullanımının %2'sini oluşturur. Çinkonun gübrelerde mikro besin olarak kullanılması önümüzdeki yıllarda önemli ölçüde genişleme potansiyeline sahip bir alan olarak öngörülmektedir. Araştırmalar, geleneksel toplu nitrojen-fosfor-potasyum gübreye katkı maddesi şeklinde veya yaprak yemi olarak büyüyen bitkilere püskürtülen çinko ilavesinin mahsul veriminde önemli bir artışa yol açabileceğini göstermektedir. Gıda üretiminin giderek daha önemli bir küresel sorun haline gelmesiyle birlikte, çinko mikro besin maddeleri gibi teknolojilerin, toprakların doğal olarak çinko eksikliği olduğu alanlarda daha yaygın bir şekilde benimsenmesi muhtemeldir. Uluslararası Çinko Birliği (International Zinc Association) tarafından yapılan araştırmaya göre, dokuz ülkede 217 milyon hektarlık çinko eksikliği olan ekilebilir arazi var. Bu alanlar, 1.33 milyon ton/yıl çinko için potansiyel bir pazarı temsil etmektedir. Gübrelerde çinko kullanımı, 2010 yılında yaklaşık 100.000 ton iken, 2015 yılında yaklaşık 140.000 ton çinko olmuştur. Bu talebin büyük bir kısmı, galvaniz külü ve cüruf gibi ikincil çinko kaynaklarının kullanımıyla karşılanmıştır. Bununla birlikte, Hindistan'da talep, ikincil malzeme arzını çoktan geride bırakmıştır. Bu, galvanizlemeden üretilen ikincil malzemelerde kurşun ve bizmut varlığını çevreleyen sorunlarla birlikte, ortalama talep, birincil rafine çinkonun çinko oksitlere ve sülfatlara dönüştürülmesinden karşılanacaktır. [8,15,25]

Çinkonun diğer bir ilk kullanım alanlarından birisi de haddelenmiş ve ekstrüzyonlu ürünlerin çinko yarı imalatı olarak kullanımıdır. Çinko pazarının %5'ini oluşturan haddelenmiş ve ekstrüzyonlu ürünlerin çinko yarı imalatı, Avrupa'da çinko levhanın Fransa ve Almanya, ABD

ve diğer ülkelerde madeni para ve diğer ülkelerde kullanılan geleneksel çatı kaplama ve kaplama malzemesi olduğu önemli bir sektördür. [25]

Yukarıda belirtilen birinci sektörlerin sonrasında, çinkonun nihai kullanım alanları ise sırasıya inşaat, ulaştıma ve altyapı, tüketim ürünleri ve endüstriyel cihazlardır ve Şekil 1.9'da gösterilmiştir. [25]



Şekil 1.9: Çinko'nın Son Kullanım Alanları [25].

Çinkonun en önemli son kullanım alanı olan inşaat, galvanizli çeliğin büyük payını oluşturmaktadır. Galvanizli çelik, köprüler, elektrik iletim kuleleri ve aydınlatma direkleri dahil olmak üzere çeşitli altyapı projelerinde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Son yıllarda hücresel telekomünikasyon ağlarının yaygınlaşması ve rüzgar türbinlerinin artan popülaritesi de galvanizli çeliğin yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer önemli kullanımlar korkuluk, güvenlik çitleri, endüstriyel ve ticari binaların imalatındadır. Ayrıca ısıtma havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) kanallarında ve çatı kaplama, kaplama ve bölme ve zemin sistemlerinde kullanılır. Galvanizli çelik zemin kaplaması ile yüksek hızlı beton ayarı kullanıldığında inşaat süreleri kısalır ve bu, inşaat maliyetlerinin azaltılmasını sağlar. Kuzey Amerika'nın, galvanizli çelik dikmelerin konutlarda kullanılan geleneksel ahşap çerçevelerin yerini aldığı ve ABD'nin

termit ve kasırga eğilimli güney eyaletlerinde en popüler olduğu bazı bölgelerinde potansiyel bir pazar açılmaya başladı.

Çinkonun diğer bir son kullanım alanlarından birisi ulaşım ve otomotiv endüstrisidir. En büyük çinko pazarı olmasa da, bol miktarda büyüme potansiyeli sunmaktadır. OECD ülkelerindeki küresel araç filosunun %80'ine sahip olan gelişmekte olan ülkelerdeki araç yoğunluğu şu anda düşük ancak artıyor. Otomobil gövdesinde galvanizli çelik kullanım yoğunluğu, ülkeden ülkeye korozyon standartlarına göre değişir. ABD ve Avrupa standartları yüksektir, çünkü ömür boyu korozyon direnci garantisi, otomotiv üreticileri tarafından yaygın olarak kullanılan çekici bir satış noktasıdır, ancak bu evrensel değildir, örneğin Brezilya gibi ülkelerde çelik araba panellerinin yalnızca % 30-40'ı çinko kaplıdır. Rusya'da bir arabada kullanılan çeliğin sadece % 4'ü galvanizlenirken, Çin'de kullanımı etkin bir şekilde yalnızca lüks otomobil pazarlarıyla sınırlıdır. Çinkonun pazar payını dengeleyen bir faktör, alüminyum ve kompozit panellerin devam eden ikame tehdididir. Galvanizleyicilerin rekabetçi stratejisi, ultra hafif çelik otomobil gövdesi (ULSAB) gibi projeler aracılığıyla otomotiv endüstrisi ile bağlar oluşturmak ve gerektiğinde galvanizleme hatlarının araştırma ve geliştirme ve iyileştirme maliyetlerini üstlenmektir. Daha önce tartışıldığı gibi farklı galvanizleme işlemleri, malzeme spesifikasyonundaki çeşitliliğin karşılanmasını sağlar ve çinko kaplı çeliğin çok çeşitli pazarlarda geçerli kalmasına izin verir. Beyaz eşya da önemli bir nihai kullanım pazarıdır. Beyaz eşya sektörü içerisinde galvanizli sac, çamaşır makinesi ve bulaşık makinesi gibi ürünlerin dayanıklılığına önemli katkı sağlamıştır. Çinko kaplı çelik kasalar, deterjan, ağartıcı ve kimyasal çözelti kullanımının neden olduğu korozyon ve erozyona karşı dayanıklıdır. Düz panel televizyonların kasalarında da elektro galvaniz çelik kullanılır. [15,16,25]

Kimya sektöründe, çinko oksit yaygın kullanım ve önemli bir büyüme alanıdır. Özellikle, lastik endüstrisinde çinko oksit kauçuğun sertleştirme işleminde hızlandırıcı olarak kullanılmaktadır. Talep, değişim ihtiyaçları ve özellikle gelişmekte olan ekonomilerde dünya araç filosunun genişlemesinden kaynaklanmaktadır. Çinko oksit, çinko sülfat, çinko sülfür ve çinko fosfat tarımda, seramikte, boyalarda, pigmentlerde, plastiklerde ve ilaçlarda kullanılır. [15,16,25]

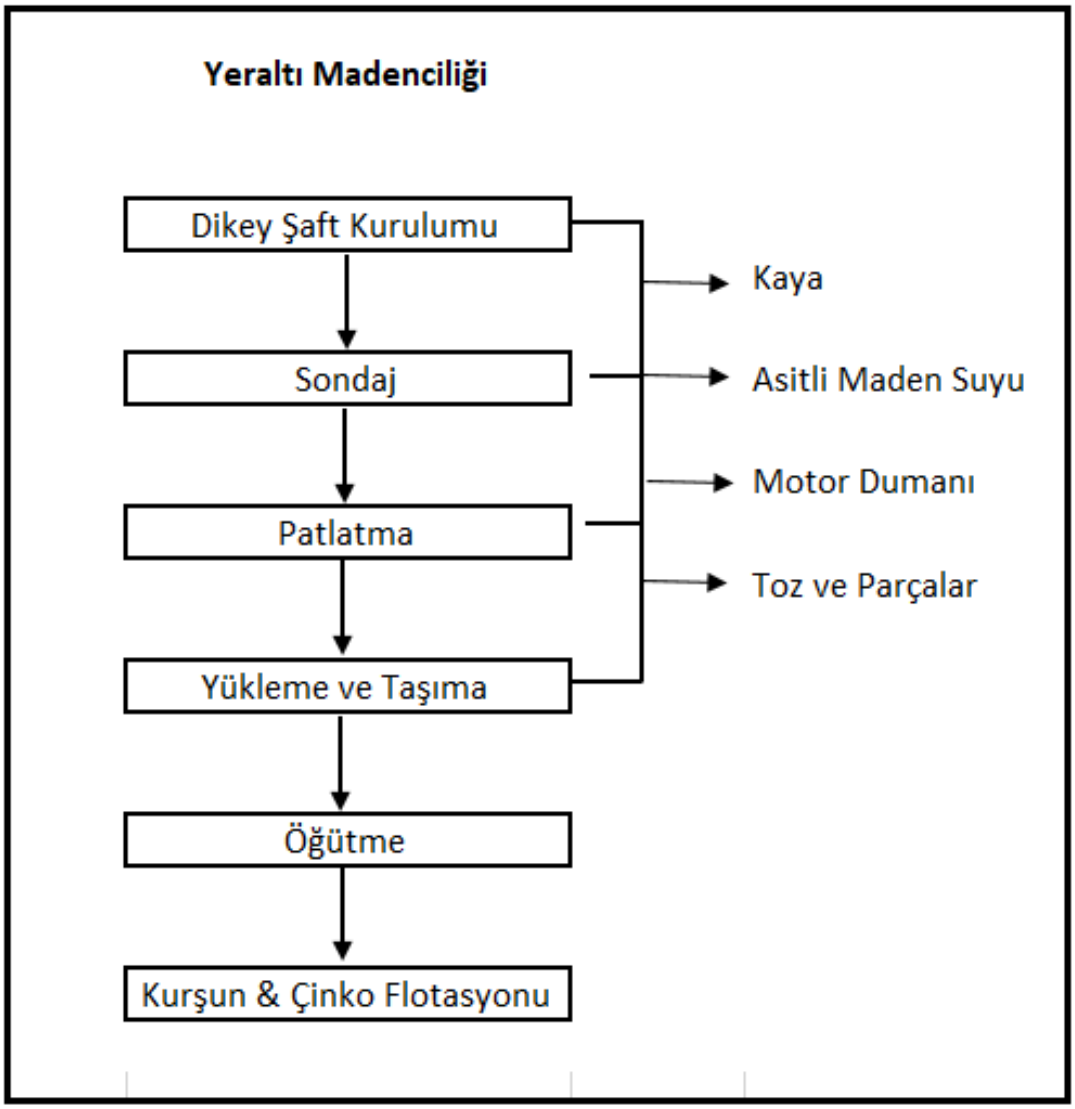
Uzun senelerdir kullanılan çinko pillerin yanında, telekomünikasyon ve kamu hizmetleri sektörlerinde yeni çinko bazlı pil teknolojileri kullanılmaya başlanmıştır. Yenilenebilir enerji projeleri için enerji depolaması sağlamak için kullanılmaya başlanan üç yeni çinko bazlı pil teknolojisi de vardır. Ayrıca, şu anda kurşun asit ve lityum iyon teknolojilerinin hakim olduğu

telekomünikasyon sektöründe yedek güç uygulamaları için kullanılma potansiyeline sahiptirler. En çok ticarileştirilenler, yedek güç sağlamak için dünya çapında bir dizi telekomünikasyon şirketi tarafından takılan çinko-hava pilleridir (zinc air batteries). Elektrik depolamak için çinko içeren bir sıvının kullanıldığı çinko akış pilleri (zinc flow batteries), ticari kullanım ölçekli uygulamalarda halihazırda kullanılmaktadır. Diğer bir teknoloji olan çinko hibrit katot piller de ticari olarak kullanılmakadır. Üç teknolojinin de lityum iyon temelli enerji depolamayla maliyet açısından rekabet gücü yüksek olduğu söylenmektedir. [15,16,25]

2. ÇİNKO MADENCİLİĞİ VE METALURJİSİ

Küresel çinko metal üretiminin %85lik büyük bir çoğunluğu sülfürlü çinko cevherlerinden yapılmaktadır. Kurşun ve çinko cevherleri genellikle bir arada bulunduğundan dolayı çinko üretiminde kurşunun da rolü büyüktür. ZnS – Sfalerit en önemli hammadde kaynağıdır. Sülfürlü mierallerin rezerv miktarlarının ve tenörlerinin giderek azalmasına rağmen, birincil çinko metal üretiminin büyük bir çoğunluğu sülfürlü çinko konsantrelerinden hidrometalurjik / elektrometalurjik olarak gerçekleştirilmektedir. 1960 yılındaki verilere göre pirometalurjik ve hidrometalurjik yöntemler neredeyse aynı oranda kullanılmaktaydı ancak 2008 yılındaki istatistiğe göre küresel üretimin %86'sı hidrometalurjik yöntemle yapılmaktadır. Kurşun ve çinko üretiminin birlikte yapılabilmesine olanak sağlayan ISP yöntemiyse Dünya'daki üretimimin %10'unu sağlamaktadır ve tercih edilme oranı ilk yatırımındaki yüksek maliyet ve üretimindeki metalurjik kok gereksinimi nedeniyle düşmektedir. [1,26]

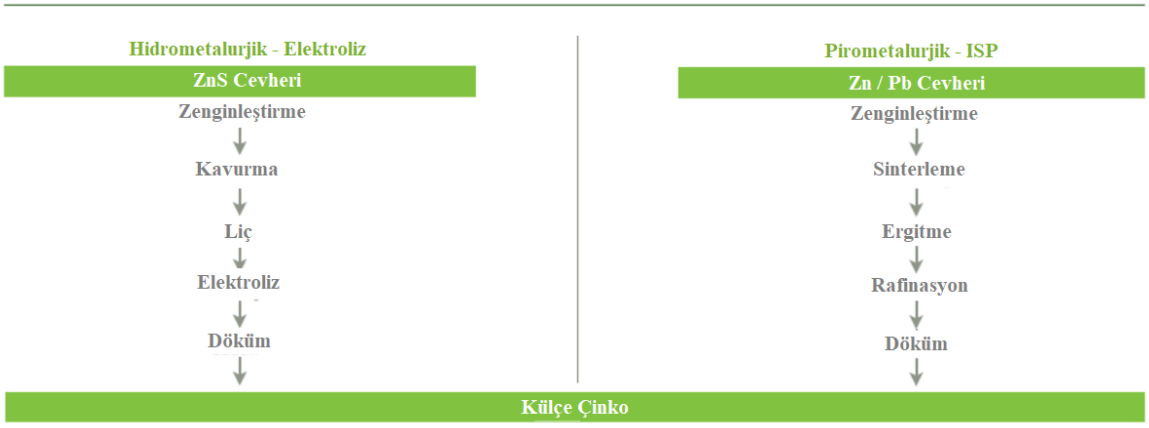
Türkiye'de, Kayseri Yöresindeki oksitli kurşun-çinko cevherlerini değerlendiren ÇinKur AŞ'nin maden yataklarının tükenmesi nedeniyle tasfiye edilmesi sonrasında, herhangi bir kurşun-çinko metal üretim tesisi kalmamıştır. Ülkemizde bugün itibariyle kurşun- çinko madenciliği alanında oksitli ve sülfürlü cevher üretimi yapılmaktadır. Üretilen tüvenan cevherler zenginleştirme işleminden geçirilerek kurşun ve çinko konsantresi ürünler elde edilmektedir. Türkiye toplam çinko rezervi 5.149.600 ton olarak öngörülmektedir. Ülkemizde farklı kökenlerde ve farklı bölgelerde yaklaşık 600'den fazla kurşun-çinko cevherleşmesi bilinmektedir. Bu cevherleşmelere çoğunlukla bakır ve gümüş eşlik etmektedir. Fakat ülkemizdeki kurşun-çinko-bakır yataklarının genellikle küçük-orta ölçekli yataklar olması nedeniyle, yurtiçi sanayi tüketimi yurtiçi üretimden karşılanamamaktadır. Bu nedenle, sanayisi hızlı bir şekilde büyüyen ülkemizin kurşun-çinko ihtiyacına paralel olarak yeni yatakların aranması-bulunması, mevcut cevherleşmelerin tekrar değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Ülkemizin değerli kaynağı olan sülfürlü çinko ve kurşun madenlerinden, çinko ve kurşun metal üretimi ne yazık ki yapılmamaktadır. Çinko konsantreleri ihracatla yurtdışına gönderilmektedir. [27, 28,29]



Şekil 2.1: Yeraltı Üretiminden Flotasyona Süreç Akışı[1].

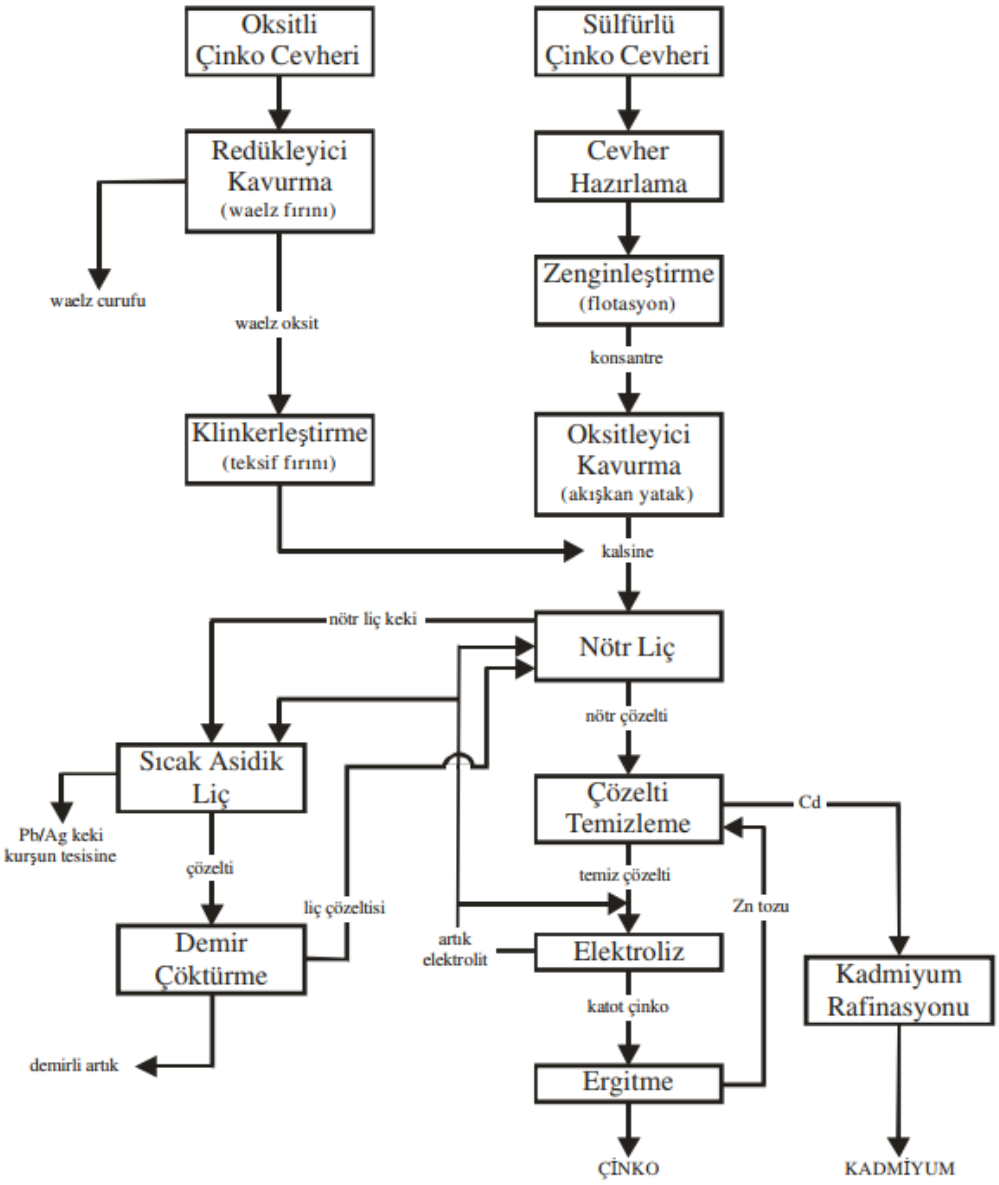
Çinko cevheri, sırasıyla; kırılır, öğütülür ve flotasyona işlemine tabi tutulur. Ocak (yeraltı / yerüstü) üretiminde maksimum 400-500 mm boyutlu tuvenan cevher, kırıcı öncesi ızgara ile kontrollu bir siloya alınmaktadır. Silo altında titreşimli besleyici ile ızgaraya beslenen, ızgara üzerinden geçen malzeme çeneli kırıcıya verilerek kırılacak çeneli kırıcıdan kırılan malzeme ile ızgara altına geçen malzeme bant ile birinci konik kırıcıya beslenir. Tüm eleklerden geçen malzeme ince cevher silosuna gelir. İnce cevher silosuna gelen malzemenin boyutu 15 mm altındadır. Üç kademeli kırıcı (Çeneli ve konili kırıcılar) devresinden geçirilen cevher 15 mm boyutu altına kırılmış olarak değirmen devresi öncesinde ince cevher silosuna alınır. Kapalı devre halinde çalışan bilyalı değirmenlerde, malzeme, flotasyon için gerekli 100 mikron altına

öğütülür ve flotasyona beslenir. Yeraltı maden üretiminden, çinko konsantresi üretimine kadar olan süreç Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Şekil 2.2'deki gibi çinko konsantresi hidrometalurjik veya pirometalurjik süreçler izlenerek üretilebilir. Çinko metali %99.995 saflığa sahip olacak şekilde Şekil 2.3'deki gibi sülfürlü veya oksitli cevherlerinden üretilebilmektedir. [27,30]



Şekil 2.2: Hidrometalurjik ve Pirometalurjik Akım Şeması [10].

Hidrometalurjik işlemlerin (liç, çözücü ekstraksiyonu ve elektroliz) son zamanlardaki gelişimi, sülfür olmayan çinko cevherlerini daha cazip araştırma hedefleri haline getirmiştir ve gelecekte önemli çinko kaynakları olma kapasitesine sahiptir. Bu şekilde daha düşük tenöre sahip çinko cevherleri de, düşük maliyetlerle geri kazanılabilecektir. Ayrıca, işlem içersinde kükürt bulunmaması nedeniyle daha yüksek çevresel sürdürülebilirlik sağlayabilecektir. Dolayısıyla da madencilik şirketleri arasında bu cevherlere yönelik ilgi oluşması beklenmektedir. [1,2]



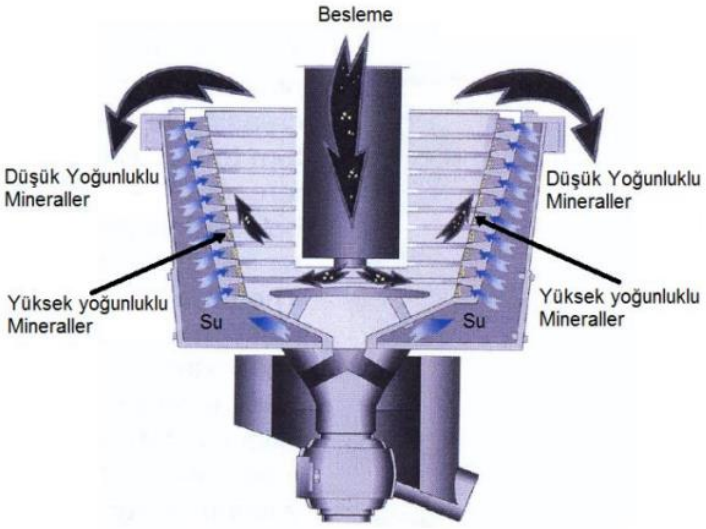
Şekil 2.3: Elektrolitik çinko üretimi prensip akım şeması [10].

2.1 ÇİNKO CEVHERLERİNİN ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ VE PRENSİPLERİ

Madencilik yöntemleri ile üretilen çinko cevherlerini doğrudan izabe edilmeleri ekonomik olmadığından, bunların önce çeşitli cevher zenginleştirme yöntemleriyle çinko konsantresi haline getirilmesi gerekmektedir. Çinko cevherlerinin, çinko konsantresi olarak zenginleştirilmesinde başlıca iki yöntem olan gravite ve flotasyon yöntemleri uygulanmaktadır. [30]

2.1.1 Gravite Yöntemi

Gravite zenginleştirilmesi, minerallerin farklı özgül ağırlıklarından faydalanılarak uygulanan bir yöntemdir. Minerallerin serbestleşme tane boyutunun büyüklüğüne bağlı olarak jig, ağır ortam ayırıcıları, spiral ve sarsıntılı masalar, tek başına veya birlikte kullanılır. Gravite yöntemlerinin diğer zenginleştirme yöntemlerine göre, gerekse yatırım maliyetleri açısından oldukça ucuz olmasına karşılık, metal kazanma verimlerinin düşüklüğü, kaçakların önlenememesi ve selektif ayırmaya uyum sağlayamaması dezavantaj olmaktadır. Bu yöntem daha çok ön zenginleştirme için kullanılmaktadır. [30]



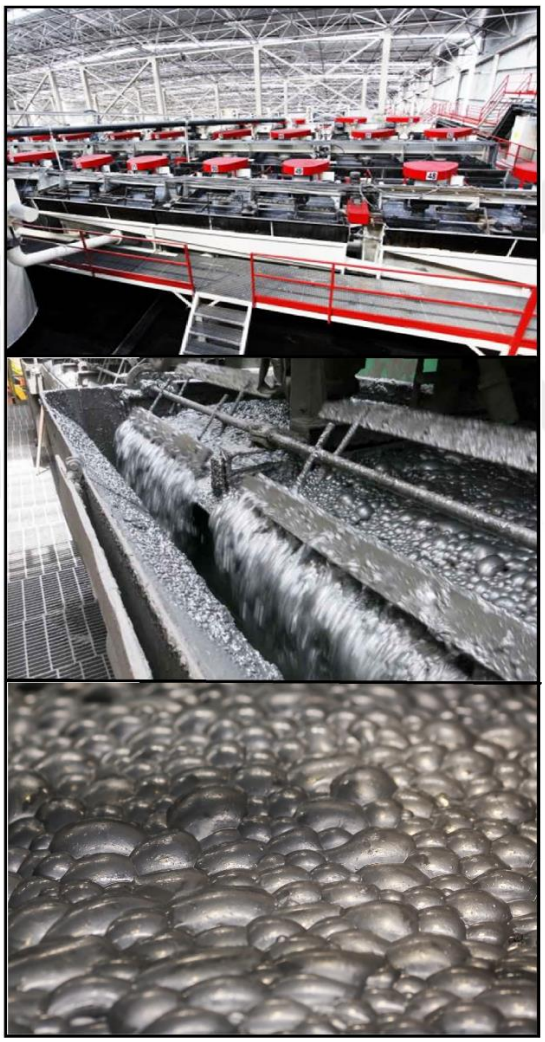
Şekil 2.4: Knelson Konsantratör şematik gösterimi [31].

2.1.2 Flotasyon Yöntemi

Günümüzde düşük tenörlü çinko ve kurşun cevherlerinin zenginleştirilmesinde kullanılan ve küresel olarak başarıyla uygulanan en yaygın yöntem flotasyondur. Bu çerçevede, özellikle sülfürlü çinko ve kurşun cevherlerinde zenginleştirme hemen hemen tümüyle flotasyon yöntemiyle yapılmaktadır. Diğer yöntemlere oranla daha pahalı ve fazla enerji gerektiren bir yöntem olmasına rağmen, düşük tenörlü cevherlerde bile yüksek metal kazanma verimiyle, yüksek tenörlü konsantreler elde edilmesi, flotasyonu en yaygın zenginleştirme yöntemi haline getirmiştir. [30,32]

2.1.2.1 Sülfürlü Çinko Minerallerinin Flotasyonu

Kurşun-çinko cevherleri sülfür halinde bulundukları zaman geçerli zenginleştirme yöntemi flotasyondur. Cevherde bulunan kurşun ve çinkonun selektif olarak birbirinden ayrılması ve altın, gümüş, bakır gibi yan elementlerin kurşun konsantresi içinde toplanması maksimum gelir sağlanmaktadır. Ayrıca çinko konsantresinin mümkün olduğu kadar az piritli olması istenmektedir.



Şekil 2.5: Kurşun – Çinko Flotasyon Tesisi [33].

Şrkil 2.5'te gösterilen kurşun – çinko flotasyon tesisinde, bu nitelikleri istenen ölçüde sağlamak cevherin mineralojik özelliği nedeniyle güç olabilmektedir. Ayrıca bakır fazla ise bunun bakır konsantresi halinde eldesi mümkündür Pirit içeren sülfürlü kurşun-çinko cevherlerinin

flotasyonunda genellikle kurşun yüzdürülür, sonra çinko, gerekli ise üçüncü kademede pirit alınır.[30]

2.1.2.2 Oksitli Çinko Minerallerinin Flotasyonu

Kurşun-çinko yataklarının az veya çok oksitlenmesinin sonucu, galenin bir kısmı veya tamamı seruzit ve anglezite dönüşülebilmektedir. Çinkonun oksidasyon mineralleri, simitsonit, hemimorfit ve hidrozinkit gibi minerallerdir. Cevherin ilk bileşiminde bakır sülfürler mevcut ise, malakit, azurit, kurpit, gibi oksit bakır mineralleri de bulunabilmektedir. Bu tür cevherlerin flotasyonunda, bütün minerallerin yüzdürülmesi güçtür. Ayrıca bu tip mineraller suda çok fazla çözündükleri için, kurşun ve çinkonun selektif olarak birbirinden ayrılması da güçleşmektedir. Oksit mineraller, ya sülfürlerle beraber bir konsantre halinde, veya sülfür flotasyonundan sonra oksit flotasyonu yapılarak, ayrı konsantreler halinde elde edilmektedir. Tüvenan oksitli çinko cevherlerine liç uygulanmasının ekonomik olmaması muhtemeldir.[30]

Flotasyon maliyetinde, cevherin tenörü ve mineralojik özellikleri en etkili faktördür. Bu özelliklere bağlı olarak maliyet giderleri ve metal kurtarma randımanları %60-95 arasında değişir. Aynı nedenle, bugün dünyada üretilen kurşun konsantrelerini tenörü %50-78; çinko konsantrelerinin %48-60 Zn ve bulk konsantrelerinin ise %15-35 Pb ve %20-30 Zn olabilmektedir. [30]

2.1.2.3 Türkiye'deki Çinko Cevheri Zenginleştirme Tesisi: ESAN Balya Balıkesir Çinko - Kurşun Flotasyon Tesisi

Esan, 1978 yılında seramik karo fabrikalarına hammadde sağlamak amacıyla başladığı kil, feldspat, kuvars, bentonit, kaolen ve hallyosit vb. endüstriyel mineral üretim yolculuğuna ek olarak, Balya Balıkesir bölgesinde 2009 yılında üretime geçen kurşun-çinko işletmesiyle metalik maden sektöründe de faaliyet göstermeye başlamıştır. 2010 yılında Balya flotasyon tesisinde 240,000 ton ham cevherden 30,000 ton kurşun-çinko konsantresi elde edilmesi planlanmıştır. Günümüzde, 1 milyon ton üzerinde ham cevherden, 130 bin ton üzerinde kurşun ve çinko konsantresi üretilmektedir.[30] Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6: ESAN Balya Kurşun-Çinko Flotasyon Tesisi [33].

Balya kurşun - çinko maden yatağı, Marmara Bölgesi içinde, Balıkesir - Çanakkale, Balıkesir - Gönen devlet karayolları kavşağında, Balıkesir il merkezinin 49 km kuzeybatısındaki Balya ilçesi sınırları içinde yer almaktadır. Cevher Hazırlama Tesisi'nde işlenen mineraller galen ve sfalerit olup, galenden kurşun sfaleritten de çinko elde edilmektedir. Cevherde ortalama olarak % 3-4 Pb, % 5-6 Zn bulunmaktadır. Cevherde bunun dışında pirit, hematit de tespit edilmiştir. [30] Türkiye'nin en derin kurşun – çinko madeni Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



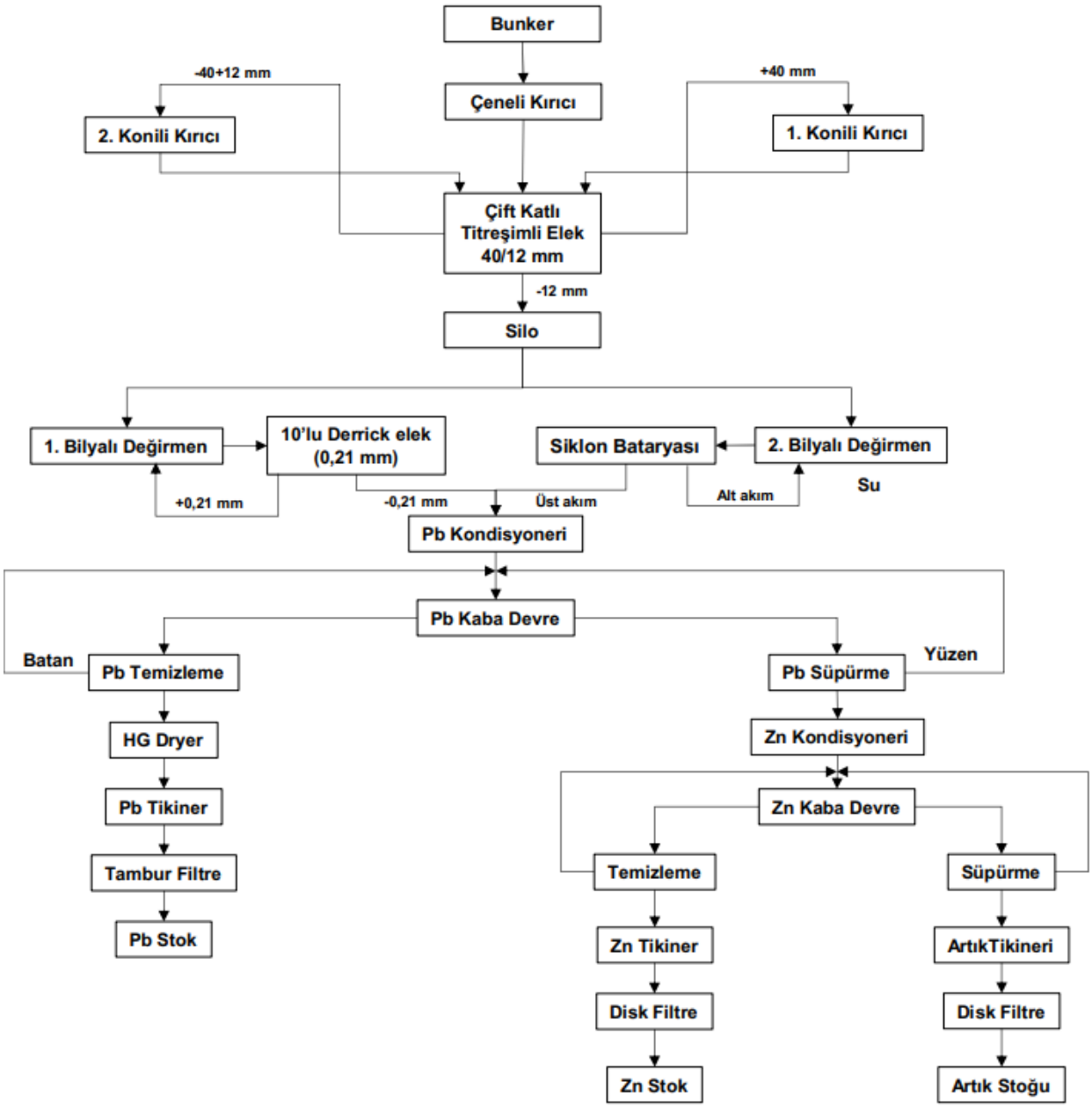
Şekil 2.7: Türkiye'nin En Derin Kurşun ve Çinko Madeni [33].

Cevher kırma tesisleri; Madenden gelen ham cevherin boyut küçültme ve işlemlerinin yapıldığı tesistir. 1 adet çeneli kırıcıdan (primer kırıcı olarak), 2 adet ince malzemeyi kıran konik kırıcıdan, 1 adet iri malzemeyi kıran konik kırıcıdan, 1 adet çatal ayırıcıdan, 3 adet manyetik seperatörden (hareketli mıknatıs), 1 adet sabit mıknatıstan, 4 adet elekten, 1 by-pass ızgaradan, 2 adet bunkerden ve bantlardan oluşmaktadır. [30]

Öğütme Prosesi; öğütme, boyut küçültme prosesinin son aşamasıdır. Tesiste öğütme işlemi, silindirik bir değirmende, bilyenin (öğütücü ortamın) kinetik enerjisinin kullanılmasıyla sulu olarak yapılan bir boyut küçültme işlemi olarak uygulanmaktadır. İşletmede değirmen içerisine su haricinde çinko sülfat da eklenmektedir. Bu reaktifin kurşun flotasyonunun bir önceki prosesi olan değirmende kullanılmasının sebebi, kurşun flotasyonunda çinkonun yüzmesini engellemektir. Kırıcı tesisinden çıkan -16 mm'lik malzeme boyut küçültmenin öğütme kısmına gelir. Kırılan cevherin olduğu stoktan stok durumuna göre çinko ve kurşun yığınları toplam kurşun çinko tenörü %5-7 olacak şekilde harmanlanır ve kepçe yardımı ile yapılarak silolara beslenir. Malzeme beslenen silolar 4 adettir. Birinci silo beton silodur ve değirmen 1 ve 2'yi besler. Diğer bütün silolar metaldir ve silo 2 değirmen 3'ü, silo 3 değirmen 4'ü, silo 4 değirmen 5'i besler. Beton silo 3000 ton malzeme alabilmektedir ve metal siloların kapasiteleri 150 tondur. [30]

Flotasyon Prosesi, Balya tesisinde flotasyon devresi kurşunun flotasyonu ile başlar ve kurşundan gelen atık, çinko flotasyonunun beslemesini oluşturur. Eleklerden -212 µm elek altı malzeme dağıtıcı tanka gider ve burada PEX, sodyum silikat, demir sülfat, çinko sülfat ve bütil glikol ilave edilerek 3 adet kondisyoner tankına gönderilir. Buradan kurşun devresindeki 3 hatta dağılır. Çinkonun bastırılması uzun zaman aldığından dolayı malzemeye çinko sülfat, dağıtıcı tanktan önce değirmende katılır. Kondisyoner tanklarına gelen malzeme ilk evre olan kaba flotasyon devresinin selüllerine boşalır. Bu devrede kazanılmak istenen cevherin saklandığı köpük alınıp temizleme devresine verilirken bu devrenin atığı ise süpürme devresine yollanır. Böylece atık içine karışmış olan kurşun tekrar kazandırılır. Temizleme devresinden alınan malzeme konsantreye verilmek üzere kurşun tikinerine beslenir. Süpürmeden gelen atık çinko devresinin başlangıcını oluşturur ve gelen malzeme çinko kondisyoner tanklarına boşalır. Kurşun süpürme devresinden gelen atık 3 adet çinko kondisyoner tankına gelip 3 hatta dağıtılır. Bu evrede gelen malzeme içindeki çinko bastırılmıştır. Atıktaki çinkoyu canlandırmak için bakır sülfat eklenir. Ayrıca pH ayarı için kireç kullanılır. Böylece kurşun flotasyonundaki 10-10,5 civarındaki pH seviyesi 11-12 civarına ayarlanır. Çinkonun canlanması da uzun zaman aldığından önce kireç ve bakır sülfat kullanılır. Ardından gang minerallerini bastırmak için silikat ve derba 5 kullanılırken çinkonun toplanması için ortama PAX (toplayıcı-kollektör) ilave edilir. Kondisyoner tanklarına gelen malzeme selüllere dağıtılır. Burada kaba flotasyondan alınan köpük temizleme devresine, atık ise süpürme devresine verilir. Süpürme devresinde çinko tekrar kazanılır. Süpürmenin atığı pompalar ile buradan atık barajına yollanır.

Temizlemeden gelen malzeme ise çinko tikinerine boşalır. Esan Balya flotasyon tesisinin akım şeması Şekil 2.8'de verilmiştir. [30]



Şekil 2.8: Esan Kurşun – Çinko Flotasyon Tesisi Süreç Akışı [30].

2.2 ÇİNKO METAL ÜRETİM YÖNTEMLERİ VE PRENSİPLERİ

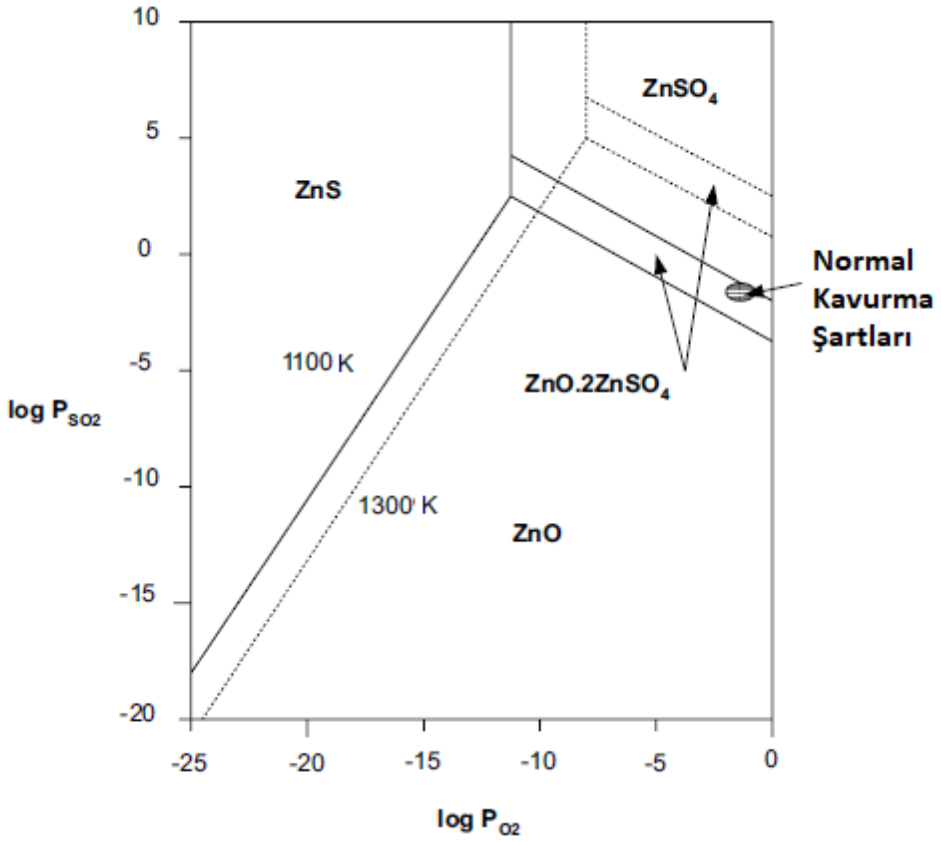
Küresel çinko metal üretimi genellikle, çinko sülfürlü cevherlerinden üretilmektedir. Bu cevherlerde çinkonun yanı sıra kurşun, kadmiyumun, demir ve gümüş de bulunmaktadır. Çinko, hidrometalurjik ve pirometalurjik olarak üretilebilir. Hidrometalurjik olarak Roasting Leaching Electrolysis (RLE) prosesi ve pirometalurjik olarak ise ISP kullanılmaktadır.

Sülfürlü çinko konsantreleri, hem pirometalurjik hem de hidrometalurjik proseslerle metal kazanım için önce kavurma işlemine tabi tutulmaktadır. Düşük tenörlü oksitli çinko cevherlerinin, curufların ve baca tozlarının flotasyon ve mecevherkanik cevher hazırlama yöntemleriyle zenginleştirilmesi mümkün olmadığından "Waelz" prosesi gibi termik zenginleştirme yöntemleri ile zenginleştirilmektedir. [10,11,12,27,32]

2.2.1 Kavurma Ön İşlemi

Hem elektrolitik hem de pirometalurjik çinko üretimi için çinko oksitli halinde olmaldıır. Bu yüzden, liç veya redüksiyon sürecinden önce, sülfürlü çinko, kalsine adı verilen oksitli haline dönüştürülmelidir. Çinko metalurjisinde kavurma işlemlerinin büyük çoğunluğu akışkan yatakta ve sinter bantlarında yapılmaktadır. Gerek hidrometalurjik gerekse pirometalurjik proseslerle çinko kazanımında çinkonun oksit formunda olması gerektiğinden, sülfürlü konsantreler, liç işleminden veya redüksiyondan önce oksit forma dönüştürülmelidir. [10]

Şekil 2.9'daki Kellog diyagramında, normal çalışma koşullarında çinko sülfatın 827°C ve çinko oksitin ise 1027°C'de oluşabildiğini göstermektedir. Kavurma işlemi ortamda bulunabilen demir dolayısıyla süreç sırasında çözünmeyerek liç verimini olumsuz etkileyen çinko ferrit oluşumunu engellemek için proses şartlarının uygun şekilde ayarlanması gerekmektedir. Asit dengesini olumsuz etkilemesi nedeniyle sülfat oluşumu istenmemektedir. Bu bileşiklerin oluşum şartları Şekil 2.9'da Zn-S-O sisteminin denge diyagramı üzerinde gösterilmektedir. [10,13,32,34]

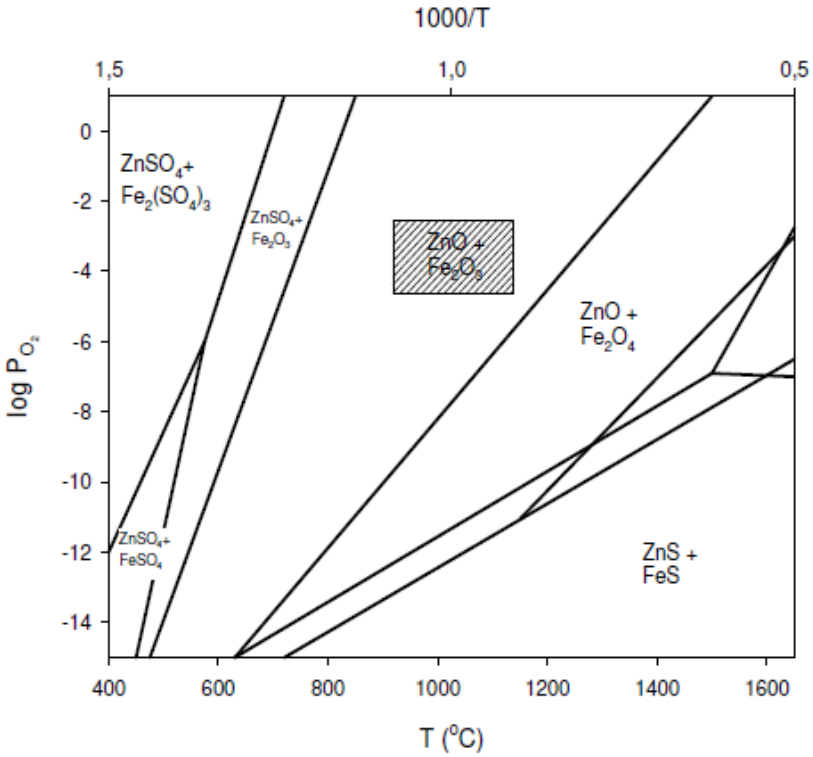


Şekil 2.9: Zn – O – S sistemi denge diyagramı [1].

Şekil 2.10'da belirtilen taranmış bölüm, endüstriyel bir kavurucunun çalışma koşullarını vermektedir. Bu şartlarda kararlı bileşikler ZnO ve Fe_2O_3'tür. Aşağıdaki reaksiyon gereği teorik olarak demirin tamamının ferrite dönüşmesi beklenir ancak bu reaksiyon zamanın bir fonksiyonudur. [26]

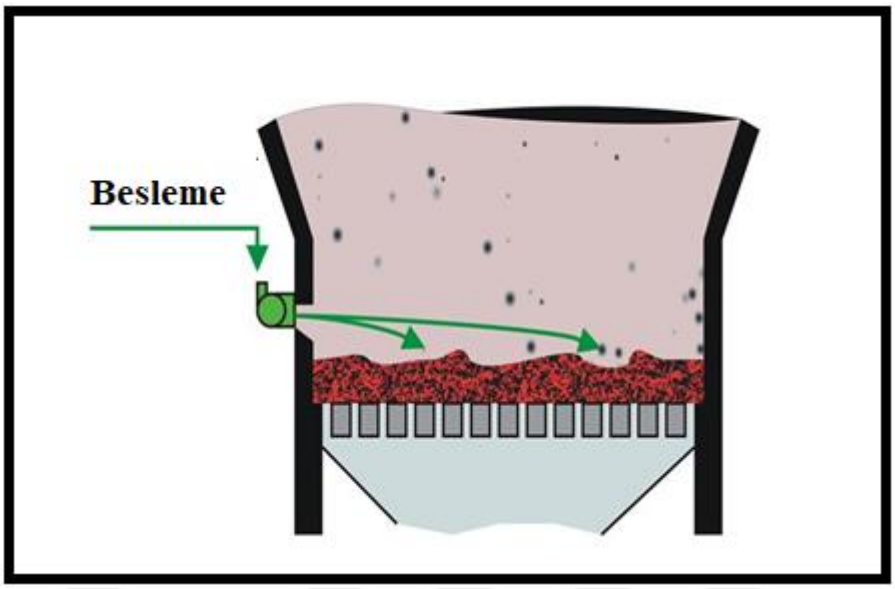
$$ZnO + Fe_2O_3 \rightarrow ZnFe_2O_4 \qquad (2.1)$$

Ayrıca Şekil 2.10'da görüldüğü gibi sıcaklığın düşmesi $ZnSO_4$ oluşumuna neden olmaktadır.



Şekil 2.10: Zn-Fe-S-O sisteminin termodinamik denge diyagramı [9].

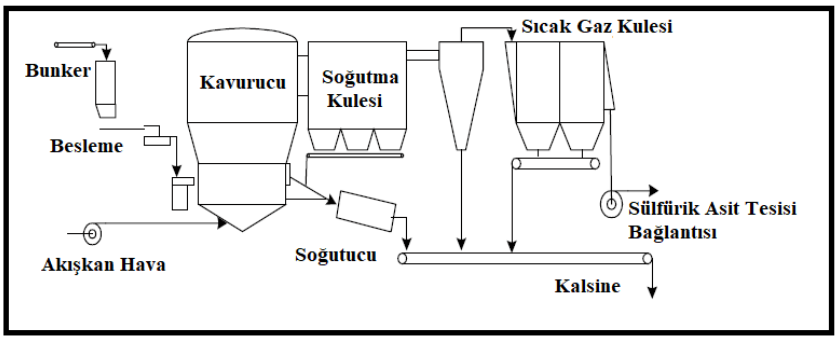
Vieille Montagne tarafından geliştirilen akışkan yataklı çinko konsantre kavurma sistemi Şekil 2.12'de gösterilmektedir. Şekil 2.13'de gösterilen bu sistem, özel dikkat gerektiren ve şu anda elektrolitik çinko tesislerinde kullanılan en yaygın kavurma şeklidir. Kavurma odası, gaz hızını düşürmek ve bir boşaltma bölgesi olarak hizmet etmek aynı zamanda kazan sistemine katı madde taşınmasını azaltmak için daha geniş çaplı bir üst bölümle inşa edilmektedir. Endüstriyel örneklerinde 53 m^2 ile 123 m^2 arasında değişken akışkan yatalı kavurma sistemleri mevcuttur. Akışkan yataklı kavurucular genellikle günde 1000 tona kadar kapasiteye sahiptir. Akışkan yataklı kavuruculardа, sülfürlü konsantre kavurucuya Şekil 2.11'deki gibi yan taraftan beslenmektedir. Aşağıdan beslenen basınçlı hava malzemeyi akışkan hale getirilmektedir. Kavurucu içinde yüksek sıcaklıkta sülfürlü konsantre havanın oksijeniyle oksitlenerek Şekil 2.12'deki gibi diğer taraftan dışarı alınmaktadır.



Şekil 2.11: Akışkan Yataklı Kavurucu [35].

Reaksiyon sonucu oluşan SO_2 gazı kavurucunun üst kısmından dışarı alınarak genellikle H_2SO_4 üretiminde kullanılmaktadır. Aşağıdaki reaksiyon ekzotermik bir reaksiyondur.

$$2\ ZnS + 3O_2 \rightarrow 2\ ZnO + 2\ SO_2 \quad \Delta H = -943\ kJ/mol \tag{2.2}$$



Şekil 2.12: Akışkan Yataklı Kavurucu Sistemi [1].

Reaksiyon şartları çerçevesinde dışarı atılan ısı, kavurma fırınındaki borularla buhar olarak muhafıza edilmektedir. Toplanan buhar ise genellikle elektrik enerjisi olarak tesiste kullanılmaktadır. Şekil 2.13'te Güney Amerika'nın en büyük tesisi olan Nexa - Cajamarquilla çinko izabe tesisinde bulunan akışkan yataklı kavurucu sistemi gösterilmiştir. [8 - 11]



Şekil 2.13: Nexa - Cajamarquilla çinko izabe tesisinde bulunan akışkan yataklı kavurucu sistemi [36].

Bir diğer yöntemse, Şekil 2.14'te gösterilen, sinterli kavurma yöntemidir. Hidrometalurjik veya pirometalujik süreçle üretilecek çinko konsatresinin optimum tenör ve boyut değerine gelmesini amaçlamaktadır. Optimal sinter özellikleri, sinter harmanının ve sinterleme koşullarının çok hassas kontrolü ile sağlanmaktadır. 1350-1450°C'de uygulanan sinterleyici kavurmada, kavurma reaksiyonlarının ekzotermik ısısı nedeni ile açığa çıkan ısıyı kontrol etmek için kükürdü giderilmiş sinterin yaklaşık %50'si çinko konsantresi ile karıştırılarak sinterleme cihazına beslenmekte ve sinter miktarında azalma olmaktadır. Sinterde kireçtaşı % 4-8 arasında tutulmaktadır. Çünkü sinterin sertliği, artan CaO miktarı ile artmakta, CaO ilavesi ile sinter yatağının ergime sıcaklığı düşürülmektedir. Ancak sinterde sülfat halinde bağlı kükürtte, oluşan $CaSO_4$ nedeni ile bir artış olmaktadır Ayrıca, uygulamada, artan SiO_2 içeriği, yatağın ergime sıcaklığının düşmesine ve yatakta sülfür ve sülfat halinde bağlı kükürt miktarının artmasına neden olmaktadır. Demir içeriği, sinterde %16-18 arasında değişmektedir, %7,5'ten fazla demir içeren sinter karışımlarının sertliği demirli flokun bileşimsel şekli ile belirlenmektedir. Örneğin pirit külü ilavesi sülfürlü ilavelere göre daha sert sinter üretimine olanak sağlamaktadır. Böylece sülfürlü konsantrede %30 civarında olan kükürt içeriği sinterlemeden sonra sinter harmanında %5-6,5 düzeyine indirilmektedir. Geri dönen sinterin boyutu 1-5 mm arasında tutulmakta ve yüksek porozite sağlamak için sinter harmanında %4-7 oranında nem bırakılmaktadır.

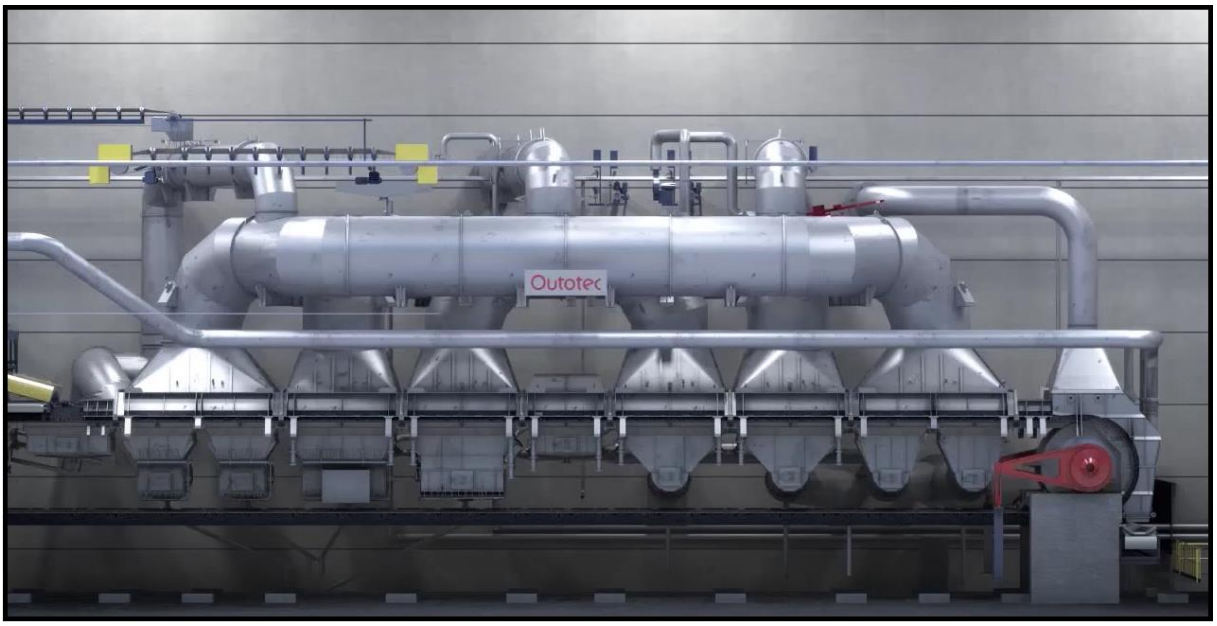
Sinterleme süreci üç aşamada gerçekleştirilmektedir:

• Ateşleme ve sinter harmanının beslenmesi,

• Sinter bandı üzerinde sinterleme ve sinter üretimi,

• Kırma ve elemeyi takiben 1-5 mm'lik parçaların sinter harmanına gönderilmesi.

Sinterleme işlemi sırasında üretilen ve SO_2 içeren gazlar, toplama sistemi aracılığıyla toplanıp, tozlarından arındırıldıktan sonra asit üretim tesisine gönderilmektedir. [9-12,26]



Şekil 2.14: Sinterleyici Kavurma Sistemi [36].

2.2.2 Pirometalurjik Üretim Yöntemleri – İzabe Ergitme

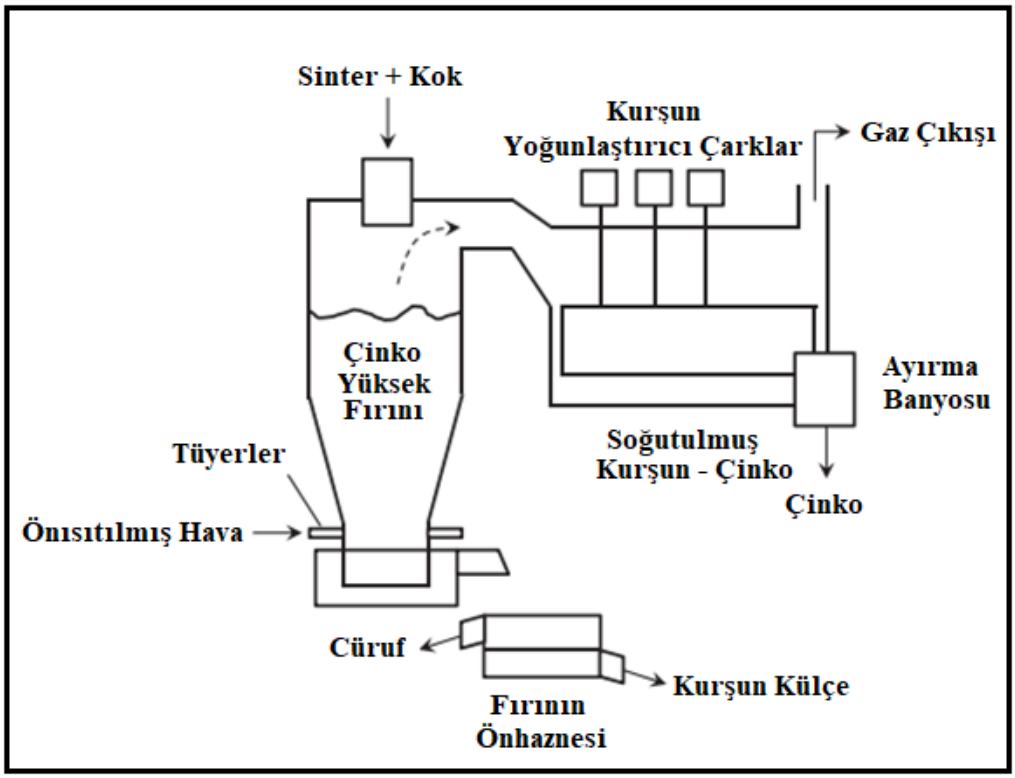
Pirometalurjik üretim süreçlerinde karbon ile çinko cevher veya konsantresinin içindeki çinkonun buharlaştırılarak gaz fazına geçirilmesi ve fırın dışında tekrar oksitlenerek ZnO haline dönüştürülmesi amaçlanmaktadır. Endüstride hakim yöntem Imperial Smelting Process'tir. [28,32,34] Besleme malzemesi olarak sülfürlü konsantreler kullanılıyorsa, önce kükürdün kavurma yoluyla uzaklaştırılması gerekir. Sinterleyici kavurma, makul ölçüde gözenekli bir yapıya sahip sert, iri boyutlu veya topak malzeme ürettiği için kullanılan olağan kavurma yöntemidir.

2.2.2.1 Yatay ve Dikey Retort Prosesi

Retort prosesi temel olarak çinko oksitin (ZnO), karbon (C) ile indirgenerek çinko gazının kondanse edilerek çinko metal üretilmesine dayanır. Geliştirilen ilk teknolojilerden biri olarak 1859 – 1930 yılları arasında yoğun olarak kullanılmıştır. Esas olarak çinko oksitli cevherlerinden, çinko metali üretmek için bulunmuş ve geliştirilmiştir. Harici ısıtmalı yatay retortlar kullanılmaktaydı. Bu yöntem, retortların operasyonunda yüksek işçilik gerektirmesi ve düşük çinko kazanım verimi (%60) nedenlerinden dolayı artık pek kullanılmamaktadır. Bu prosesin sınırlamalarının üstesinden gelmek için New Jersey prosesi geliştirilmiştir. New Jersey prosesinde, dışarıdan ısıtmalı retort dik olarak yer almaktadır ve kok biriketler retortun üst kısmından aşağıya doğru beslenmektedir. Retortun orta kısmnda reaksiyon bölgesimde çinko oksitin karbon ile indirgenmesi 1523–1573K (1250–1300°C) gerçekleşir. Oluşan çinko buharı ve karbon monoksit ters yönde hareket eder. Sıvı çinko 773 K (500°C) kondansörden alınır. New Jersey prosesi sürekli üretim yapılabilmekte, yatay retort prosesine göre termal verimi daha fazla ve manüel işçilik gereksinimiyse daha azdı. Ancak sistemdeki tüm bü iyileştimelere rağmen retort prosesleri endüstriyel çinko metal üretimlerinde pratik olarak kullanılmamaktadır. [1, 26]

2.2.2.2 Imperial Smelting Process (ISP)

Günümüzde kullanılan termal proses, Imperial Smelting Furnace (ISF) ile gerçekleştirilen ve nispeten yüksek enerji gerektiren bir prosestir. Bu yöntemle sinterden (aglomere oksitler) çinko ve kurşun elde edilmektedir. Ayrıca, kurşun ve çinkonun birlikte kazanılması imkansız olmaktaydı. ISP prosesi, kurşun şaft fırınını gibi düşey bir fırında gerçekleştirilir. Kurşun standart yollarla indirgenirken çinko buharı baca gazlarında yer alır. Ardından çinko buharı sıvı kurşun tarafından absorbe edilerek bu gazların içinden yoğunlaştırılır. Sıvı kurşun içindeki çinkonun çözünürlüğü azalan sıcaklıkla düşmekte ve 450ºC'nin altındaki sıcaklıklarda iki sıvı ayrışmaktadır (Şekil 2.15). Bu süreç kurşun ve çinko içeren cevherlerin işlenmesinde önemli ekonomik üstünlüklere sahiptir. [1,26,37]



Şekil 2.15: ISP Yöntemi [1].

• Sinter, çinko ve kurşun kavrulmuş konsantreleri olup flaks olarak silika ve CaO kullanılır.

• ISP yönteminde yüksek fırın sinter ve sıcak kok ile şarj edilir. Fırına tüyerlerden sıcak hava (blast air, 1000-1100°C) üflenir. Fırında gerçekleşen temel reaksiyonlar;

$$2C(k) + O_2(g) \rightarrow 2CO(g) \quad (2.3)$$

$$ZnO(k) + CO(g) \rightarrow Zn(g) + CO2(g) \quad (2.4)$$

$$CO_2(g) + C(k) \rightarrow 2CO(g) \quad (2.5)$$

Fırındaki koşullar altında çinko buhar fazına geçerken kurşun aynı reaksiyonlarla sıvı faz oluşturur.

• Silika, CaO, alumina ve demir oksitler ise ergimiş silikatlar formunda curufu oluşturur.

• Buhar fazındaki çinko üzerine yoğunlaştırıcıda sıvı kurşun spreylenerek, adsorbsiyon ile yoğunlaştırılır.

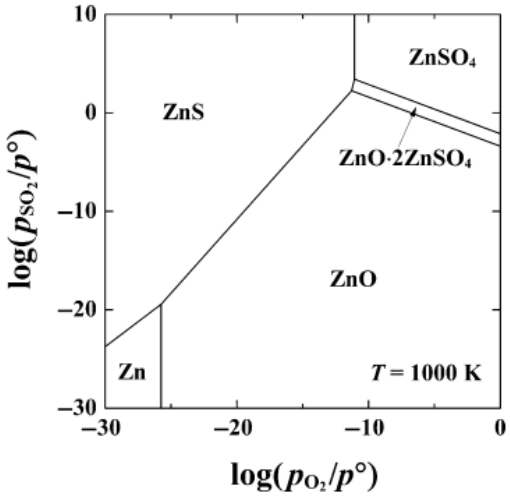
• Oluşan çinko/kurşun karışımı yoğunlaştırıcıdan ayırma banyosuna pompalanır ve orada su soğutmalı soğutucular daldırılarak soğutulur. Bu banyoda çinko yüzeyde toplanır.

• ISP yöntemiyle elde edilen çinko içinde % 1-1.3 Pb bulunabilir. ISP yöntemi, kurşun şaft fırınında ihtiva ettiği bazı olumsuzlukları barındırmaktadır. Bu yöntem, sinter ve metalurjik koka ihtiyaç duymaktadır. Sinterleme ünitesinin operasyonu karmaşık ve kontrolü de zordur. Ayrıca, oksidasyondaki egzotermik ısı malzemenin ön ısıtması olarak kullanılmazsa boşa gimektedir. Kok ise, maliyeti ve gaz emisyonu oldukça arttırmaktadır. [34,37]

Tablo 2.1: Çinko ve kurşun ergime ve buharlaşma sıcaklıkları [1].

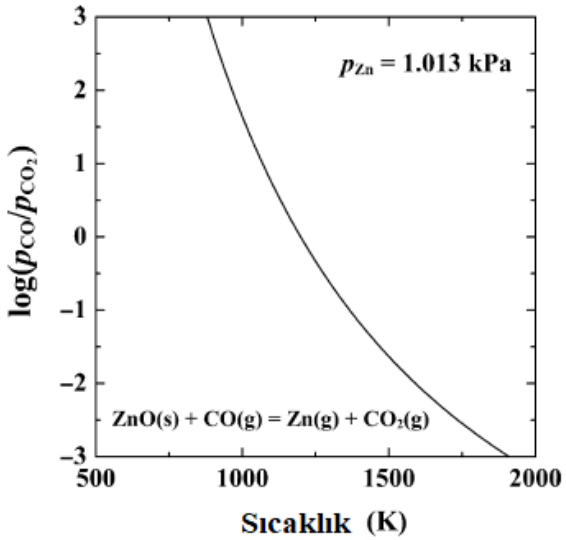
	Çinko (Zn)	**Kurşun (Pb)**
Ergime Sıc.(°C)	420	327
Buharlaşma Sıc.(°C)	908	1751

Pirometalurjik çinko üretimindeki en kritik nokta sıvı – gaz reaksiyonlarınanın kimyasıdır. Çinko üretiminin temeli sfalerit olduğundan Çinko – Sülfür – Oksijen (Zn – S – O) sisteminin kimyasal dengesi üzerinde birçok araştırma yapılmıştır. Şekil 2.16'da gösterilen, Zn – S – O sistemi için 1000 K'da (727 °C) sabit bir sıcaklık ağırlıklı alan (Kellog) diyagramını göstermektedir. Bu sıcaklıkta, çinko sadece çok düşük kısmi basınçlarda ($<10^{-23}$ kPa) oksijen oluşturur ve bu nedenle pratikte bu sıcaklıkta üretilemez. Bu şema aynı zamanda çinko sülfitin kavrulmasının gerçekleştirildiği koşulları tanımlamaya yardımcı olur. Kavurma, hem hidrometalurjik çinko işlemi hem de ISP tarafından çinko üretiminde ilk adımdır.



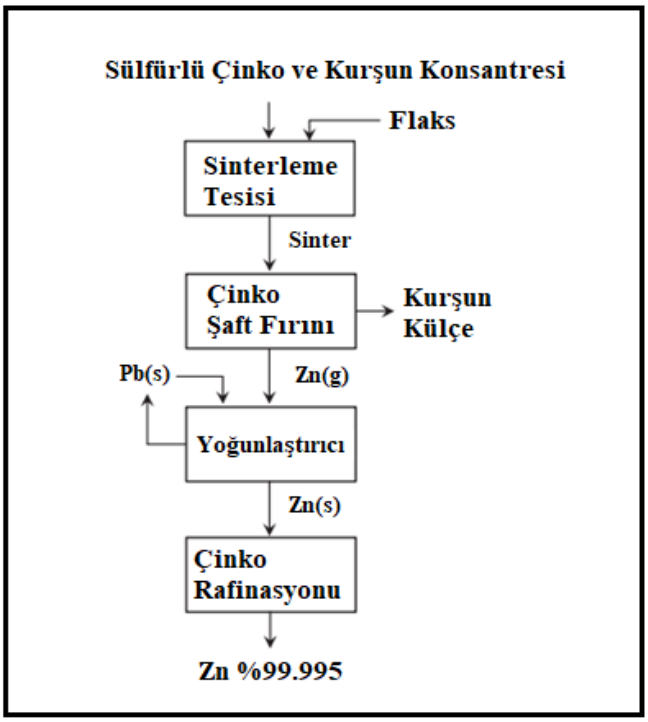
Şekil 2.16: Zn – S – O sistemi 1000K/727°C [26]

ISP'de, çinko sülfit önce sinter tesisinde 1223 K (950 °C) üzerindeki sıcaklıklarda oksitlenir. Elde edilen ZnO daha sonra, reaksiyon bölgesinde CO ile çinko buharına indirgenir. ZnO – CO reaksiyonu denge sınırlıdır. Şekil 2.17 reaksiyon için CO kısmi basıncını ve CO / CO_2 oranını göstermektedir (1.013 kPa 0.01 atm değerinde). Dolayısıyla, Şekil 2.17 düşük kısmi basınç oranlarında indirgeme reaksiyonu için 1200 K (927 °C) 'den yüksek bir sıcaklığın gerekli olduğunu göstermektedir. [26,32]



Şekil 2.17: ZnO – CO reaksiyonu denge sistemi (çinko kısmi basıncı 1.013 kPa 0.01 atm değerinde). [26]

Şekil 2.18'de yüksek sıcaklıkta birincil çinko üretiminin akış şeması görülmektedir. ISP, prosesinde gerçekleştirilen bu üretim süreci, ilk olarak sinter tesisinde sülfürlü çinko konsatresinin kavrulmasıyla başlar. Sinterleme sonucunda çinko oksit ve az miktarda sülfatlar (ZnO_2ZnSO_4 ve $ZnSO_4$) oluşmaktadır ve çinko şaft fırınında karbonmonoksitle indergenirler. Metalik çinko, reaksiyon şaftını ters akımda bırakır ve bir kondansatör içinde erimiş kurşun ile temas ederek yoğunlaşır. Ham çinko, aşağıda açıklandığı gibi,% 99.995 çinko içeren bir ürün elde etmek için son olarak rafinasyon işlemine tabi tutulur. [26,37]



Şekil 2.18: Pirometalurjik Yöntemle Sülfürlü Çinko Konsantresinden Çinko Metal Üretimi [26]

Ham çinko ürünü az miktarda kurşun, demir, kadminyum ve arsenik gibi diğer empüriteleri içermektedir. Dolayısıyla, birincil ergitme işlemi ile üretilen çinko, bir rafinasyon işlemine tabi tutulmalıdır. ISP yöntemi iki aşamada gerçekleştirilir (sütunlar): ilk sütunda erimiş ham çinko, 1373 K (1100°C) 'de çinko ve kadmiyum ve artık çinko sıvısından oluşan bir buhar halinde ayrılır. Çinko ve kadmiyumun ayrılması, ikinci kolonda 1223 K (950°C) 'de fraksiyonel damıtma ile gerçekleştirilir. Kadmiyum, kolonun tepesinden bir toz halinde toplanır ve çinko, kolon dibinde % 99.995 saflıkta bir sıvı halinde elde edilir. Artık çinko yaklaşık olarak % 20 Pb ve % 2 Fe içerir. [13,26]

2.2.3. Hidrometalurjik/Elektrolitik Proses

Dünya çinko metal üretiminin yaklaşık %86'sı, hidrometalurjik yöntemle gerçekleştirilmektedir. Kullanılan hammadde sülfürlü çinko konsantresi ise "Kavurma Ön İşlemi" başlığı altında ayrıntılı olarak anlatılan kavurma yöntemiyle oksit haline getirilmektedir. [9 - 11]

Karbonatlı cevher kullanılması durumunda, Waelz prosesi ve bunu takiben klinkerleştirme işlemi sonucu kalsine üretilmektedir.

Her iki yöntemle elde edilen kalsine aynı hidrometalurjik çinko kazanım aşamalarından geçirilmektedir. Kalsineden hidrometalurjik yöntemle çinko kazanımı çözeltme (liç), çözelti temizleme (çöktürme+sementasyon), elektroliz ve ergitmedöküm aşamaları sonucunda gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.20'de elektrolitik çinko üretimin prensip akım şeması görülmektedir. [9 - 11]

Hidrometalurjik yöntemle, çinko cevherinden, çinko metali üretilmesi dört temel kademeden oluşur;

1. Cevherin konsantre hale getirilmesi

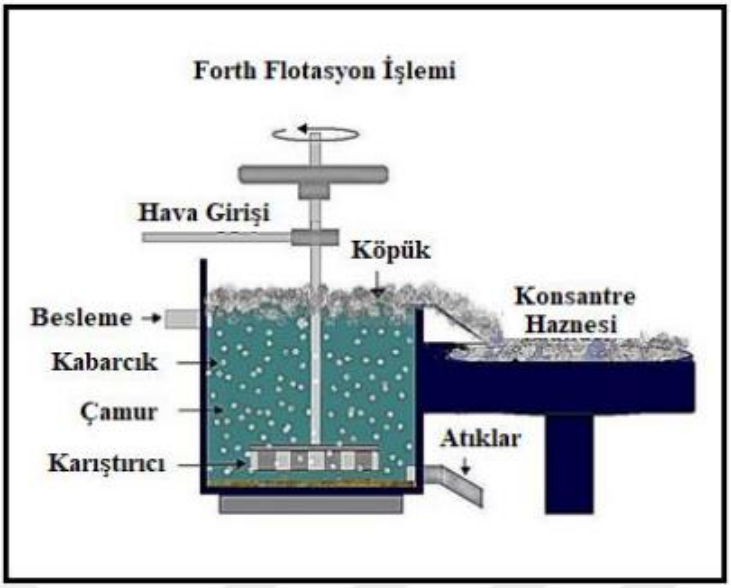
2. Cevherin havada kavrularak, çinko sülfürden çinko oksite dönüştürülmesi

3. Çinko oksidin, çinko sülfata dönüştürülmesi

4. Çinko sülfat çözeltisinin elektrolizi [13,37]

2.2.3.1 Cevherin konsantre hale getirilmesi

Cevher kırma ve öğütme işlemlerinden sonra bölüm 2.1.2.'de detayı verilen flotasyon yöntemiyle konsantre hale getirilir. Kurşun bileşikleri ve silika gibi kısımlar bu kademede ayrıştırılır. [8-10,29]



Şekil 2.19: Forth Flotasyon Yöntemi [37]

2.2.3.2 Cevherin havada kavrulması

Cevherin kavurma işlemi genelde akışkan yataklarda yaklaşık 1000-1100°C de havayla gerçekleştirilmektedir. En önemli reaksiyon, çinko sülfürün çinko okside dönüşümüdür.

$$2ZnS(k) + 3O_2(g) \rightarrow 2ZnO(k) + 2SO_2(g) \quad (2.6)$$

Ancak cevherde bulunabilecek demir sülfür de oksitli hale geçer ve akabinde ZnO ile reaksiyona girerek çinko ferriti oluşturur. Basit liç prosesinde bu çinko bileşiği çözünmez, bu nedenle düşük demir içeren cevherler tercih edilir.

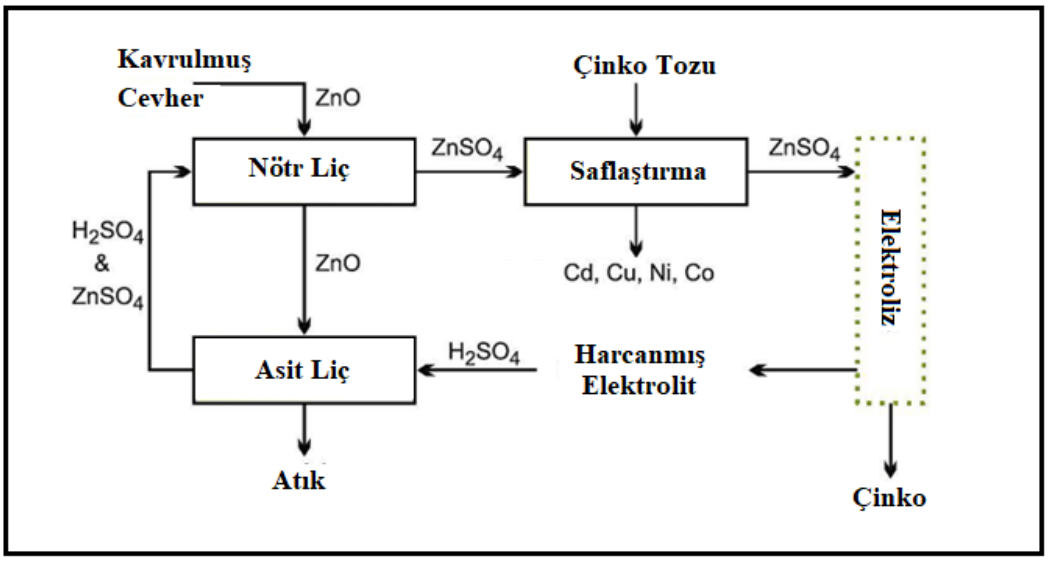
$$Fe_2O_3 + ZnO \rightarrow ZnFe_2O_4 \quad (2.7)$$

Bu kademede ortaya çıkan SO_2 den de sülfürik asit üretimi yapılır. [8-10,29]

2.2.3.3 *Çinko oksidin çinko sülfata dönüştürülmesi*

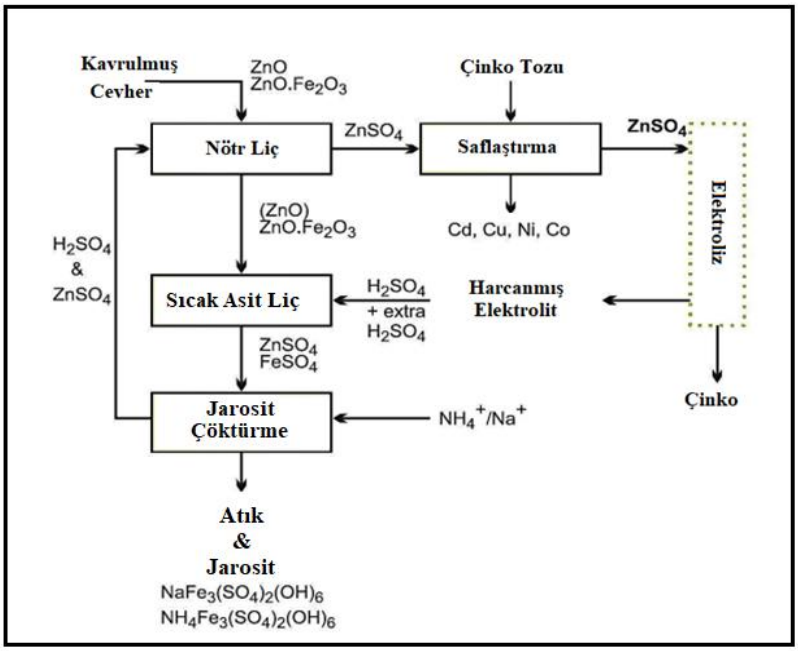
Ham ZnO, harcanmış elektrolit (spent electrolyte) ile liç edilir. Bu çözeltide oksidi çözecek yeterli asit miktarı bulunmaktadır. Temel reaksiyon;

$$ZnO(k) + H_2SO_4 \rightarrow ZnSO_4 + H_2O \quad (2.8)$$



Şekil 2.20: Hidrometalurjik Yöntemle Sülfürlü Çinko Konsantresinden Çinko Metal Üretimi [39]

Ortamda demir oksitte bulunursa, ZnO ile reaksiyona girerek çinko ferrit ($ZnFe_2O_4$) oluşturur. Bu empüritelerden çinkoyu ayırmak için birkaç yöntem kullanılır. Sıcak asit liçiyle çinko ve demir sülfatlar oluşturulur. Akabinde demir sülfat uzaklaştırılabilir. Aşağıdaki şekil demirin jarosit olarak çöktürülmesini vermektedir. Jarosit, demir sülfat bazlı maddelerdir. [10-13,37,38]



Şekil 2.21: Hidrometalurjik Yöntemle Sülfürlü Çinko Konsantresinden Çinko Metal Üretimi [39]

Sıcak asit liçinden sonra jarositin çöktürülmesi amonyum ve sodyum bileşikleri kullanılarak gerçekleştirilir. Bu reaksiyon asit üretir. Asitliği ayarlamak için ortama kavrulmuş cevher ilavesi yapılır.

$$3Fe_2(SO_4)_3 + (NH_4)_2SO_4 + 12H_2O \rightarrow 2NH_4Fe_3(SO_4)_2(OH)_6 + 6H_2SO_4 \quad (2.9)$$

Çinko sülfat içeren karışım, daha sonra askıda kalan katıları uzaklaştırmak için filtre edilir ve akabinde ortama çinko tozu katılarak Cd (kadmiyum) gibi bileşenler uzaklaştırılır. Bu madde, çinko üretiminde elde edilen bir başka yan üründür.

$$Cd^{+2}(çöz) + Zn^0(k) \rightarrow Zn^{+2}(çöz) + Cd^0(k) \quad (2.10)$$

Nötr liç pH 3.1'de başlar ve 3.8'de sonlanır. Bu şekilde demir çökelmesi gerçekleşir ve liç ürünü l1mg dan daha az demir içerir. Nötr liç çoklu tanklarda 65-80°C de işlenir. Flokülantlar kalınlaşmayı arttırmak için kullanılır. Saf olmayan sıvı çözelti saflaştırmasına gider.

ZnO'yu daha fazla çözmek için asit liç (bazı tesislerde düşük asit liç olarak da adlandırılır) gerçekleştirilir. Çözeltinin pH değeri, elektroliz işleminden gelen kullanılmış elektrolitte asit kullanılarak tipik olarak 1.0-1.5'tir. Asit liç 85°C'de gerçekleştirilir. Manganez, nötr süzdürme işleminde demirin çökelmesini kolaylaştırmak için demiri Fe^{2+} demirli durumdan Fe^{3+} demir durumuna yükseltmek için elektroliz işleminden döndürülen MnO_2 olarak eklenir. Ferritlerden çinkonun süzülmesi için daha agresif koşullara ihtiyaç vardır. Tükenmiş elektrolit ve taze asit, çok düşük bir pH değerini korumak için kullanılır. Liç işlemi sıcaklıkları 100°C'ye yakın veya daha yüksektir. Sıcak asit liç, demiri jarosit veya goetit gibi çökeltecek şekilde gerçekleştirilir.

Liç işlemi tortuları demir fazları ve birçok ağır metal içerir. Bu katıların stabilize edilmesi ve sahada depolanması gerekir. Stabilizasyon genellikle Portland çimentosu ilavesi kullanılarak yapılır. Depolama atık birikintilerinde meydana gelir. Liç işleminden sonra sulu çözelti, elektroliz işlemine zararlı kirleri çıkarmak için saflaştırılır. Çözelti saflaştırması, zararlı elementleri uzaklaştırmak için üç aşamalı bir sementasyonu süreci kullanır. Sementasyon sürecinde itici güç Tablo 2.2'de verilen metallerin elektrot potansiyel farklarıdır. Standart elektrot potansiyeli açısından çinkodan büyük bir farka sahip metaller daha büyük bir itici güce sahip olacaktır. Genel olarak, bakır ve kurşun gibi hızlı ve verimli bir şekilde süreçte yer alırlar. Nikel, kobalt ve kadmiyum gibi çinkoya daha yakın metallerin ayrıştırılması ise daha zor olacaktır. Proses elektrokimyasal biriktirme olduğundan, elektroliz hakkındaki verilen ilkelerin

çoğu geçerli olacaktır. Sementasyon, çinko tozu ve antimon oksit veya arsenik oksit ilavesiyle kolaylaştırılır. Çinkoya göre daha elektropozitif olan metal iyonları, çözeltiden elektron alarak çökerlerken, çinko da elektron vererek çözeltiye geçmektedir. Metal çöktürmenin yanı sıra oluşan diğer bir reaksiyon da H^+ iyonlarının H_2 gazı oluşturmasıdır. Bu reaksiyonun oluşumunu en aza indirmek amacıyla sementasyon işlemi pH 4-5 gibi düşük asit konsantrasyonlarında gerçekleştirilmektedir. Bir çinko rafinerisi, saflaştırma için çinko tozu olarak üretilen çinkonun% 1-7'sini geri dönüştürür.

Me^{2+}(çöz) + Zn^0(k) → Zn^{2+}(çöz) + Me^0(k) (Me: Cd, Cu, Co, Ni vb.) (2.11)

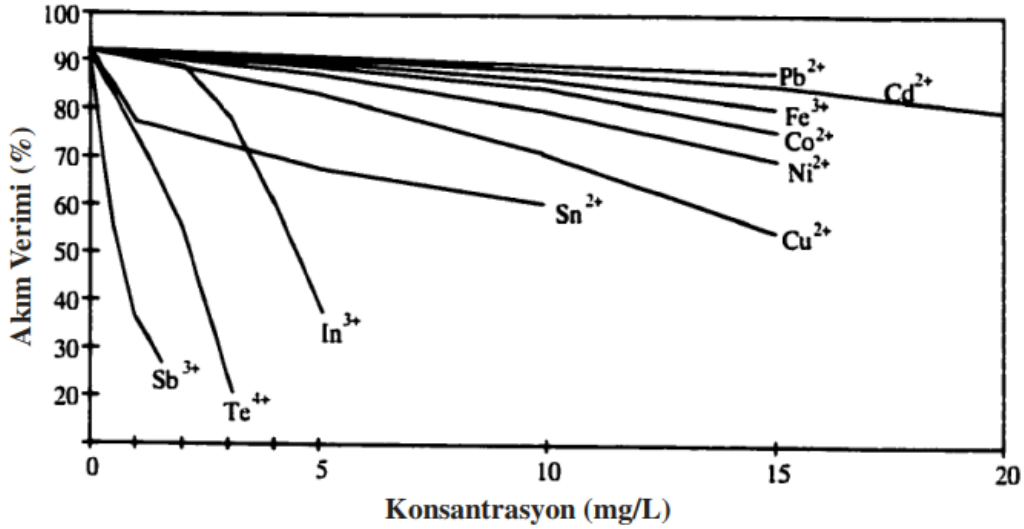
$CdO + ZnSO_4 = ZnO + CdSO_4$ (2.12)

Tablo 2.2: Çeşitli Metallerin Standart Potansiyelleri [1]

Elektrot Reaksiyonu	Potansiyel Değeri -Volt
Ag^+ / Ag^0	+ 0.7996
Cu^{2+} / Cu^0	+ 0.3402
As^{3+} / As^0	+ 0.30
Sb^{3+} / Sb^0	+ 0.10
H^+ / H^0	0
Pb^{2+} / Pb^0	- 0.1263
Sn^{2+} / Sn^0	- 0.1364
Ni^{2+} / Ni^0	- 0.24
Co^{2+} / Co^0	- 0.28
Cd^{2+} / Cd^0	- 0.4026
Fe^{2+} / Fe^0	-0.447
Zn^{2+} / Zn^0	- 0.7628
Mn^{2+} / Mn^0	- 1.105
Al^{3+} / Al^0	-1.662
Mg^{2+} / Mg^0	-2.375

Birinci aşama çözelti saflaştırma işleminde bakır, çinko tozu ilavesiyle çıkarılır. Katı tortu, bakır bir kek olarak süzülür ve bakır izabe tesislerine satılır. İkinci aşamada çözelti saflaştırmasında, nikel ve kobalt çözeltiden ayrılır. Zn tozu tek başına bu metalleri çözeltiden uzaklaştıramaz. Antimon oksit veya arsenik oksit gibi hızlandırıcılar kullanılır. Kobaltı çözeltiden etkili bir şekilde çıkarmak için az miktarda bakır sülfat da gereklidir. Üçüncü aşama çözelti saflaştırmasında kadmiyum uzaklaştırılır. Kadmiyum sıvılaştırılmış bir çinko tozu

yatağı kullanılarak çıkarılabilir. Üçüncü aşama saflaştırma ürünleri nötr besleme veya ilerletme elektroliti adı verilen elektrolizleme için uygun bir çözeltidir ve yan ürün olarak satılabilen >%80 Cd'lik bir kektir. Nötr beslemede, zararlı metalik safsızlık konsantrasyonları 1 mg/l'den daha az olan 160 g/1 Zn'lik bir bileşim olacaktır.



Şekil 2.22: Bazı empürite iyonların çinko elektrolizi akım verimine etkileri [10]

Sementasyon reaksiyonları, elektrolite ilave edilen -150 µm boyutundaki çinko partikülleri üzerinde meydana gelmektedir. Çinko, partiküllerinden elektron vererek çözündükçe, serbestleşen elektronlar empürite iyonlarıyla birleşerek, çinko partikülünü bir kabuk gibi saran metal halinde çökmelerine neden olmaktadır. Zn partikülü ile empürite metal kabuk arasındaki elektriksel kontak sürekli olmalıdır. Elektriksel kontağın kesilmesi durumunda, bu kabuk oksitleyici ortamda asit etkisiyle tekrar çözünecektir. Sementasyon reaksiyonunun hızı, empürite iyonlarının Zn partikülüne difüzyon hızına ve çözünmemiş Zn iyonlarının partikülden dışarıya difüzyon hızına bağlıdır. Empürite iyonları Zn partikülü üzerinde geçirgen olmayan bir kabuk oluşturursa, Zn iyonları kabuk dışına difüze olamayacak ve reaksiyon duracaktır. Aynı şekilde, reaksiyon sırasında pH'ı 5,4'ün üzerine çıkaracak kadar H+ iyonları tükenirse bazik çinko sülfat çökerek iyon difüzyonu duracaktır. Sementasyon işlemindeki teknolojik parametreler, sementasyonu hızlandırıcı farklı reaktifler, sıcaklık ve reaksiyon süresidir. Çinko tozu tüketimi, liç çözeltisinin içerdiği safsızlıkların konsantrasyonuna, elektroliz hücrelerinin işletme koşullarına ve temizlenen nötr çözeltinin kalitesine bağlı olarak katodik çinko üretiminin %3-8'i kadardır. Bilindiği üzere elektroliz işlemleri için çözeltinin içerisindeki empüritelerin belli bir konsantrasyonun altında olması gerekmektedir. Bu konsantrasyonların

yüksek olması durumunda bu empürite iyonlar (Pb, Cd, Fe, Co, Ni, Cu, Sn, Sb, Te vb.), elektroliz işlemlerinde akım verimi üzerine olumsuz etki yapmaktadır. Empürite iyonların konsantrasyon değişimine bağlı olarak akım verimine etkileri Şekil 2.22'de verilmektedir. [10-13,37-41]

2.2.3.4 *Çinko sülfat çözeltisinin elektrolizi*

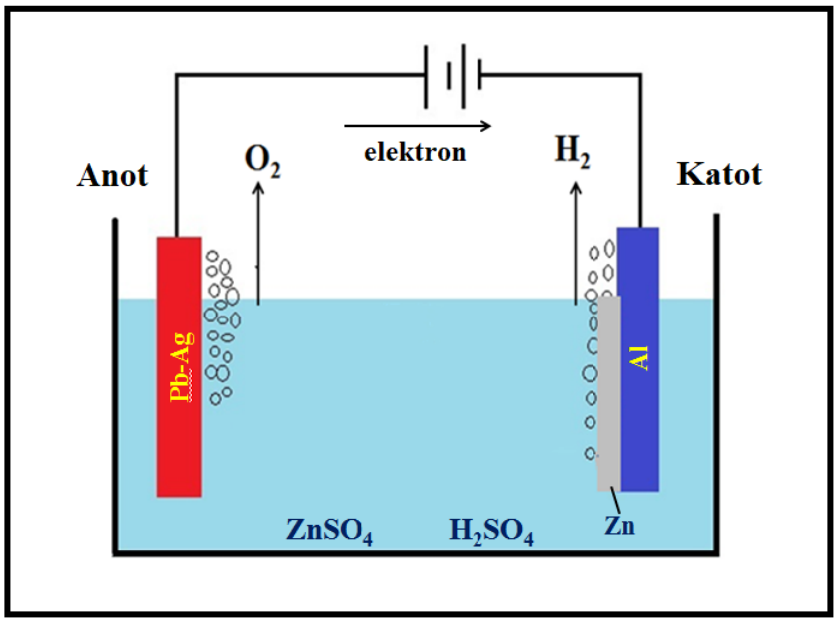
Son kademe çinko sülfat çözeltisinin elektrolizi ve saf çinko eldesidir. Aluminyum katotlar üzerinde çinko toplanır ve her 24 – 72 saatte bir katotlardan sıyrılarak alınır. Daha sonra ergitilir ve ingotlar halinde dökülür. [1,38]

Çinko, bir katı metal katot olarak elektroliz yoluyla çözeltiden geri kazanılır. Hücrelere doğru akım uygulanır. Genel olarak, akım katotta çinko metal ve anotta oksijen gazı üretir:

Katot : $Zn^{2+}{}_{(\text{çöz})} + 2e^{-} \rightarrow Zn^{0}{}_{(\text{k})}$ (2.13)

Anot : $H_2O_{(s)} \rightarrow 1/2O_{2(g)} + 2H_{(\text{çöz})} + 2e^{-}$ (2.14)

Net : $Zn^{2+}{}_{(\text{çöz})} + H_2O_{(s)} \rightarrow Zn_{(s)} + 1/2\ O_{2(g)} + 2H_{(\text{çöz})}$ (2.15)



Şekil 2.23: Çinko elektroliz sistemi [42]

Anotta:

$(SO_4)^{2-} + H^+ + (OH)^- \rightarrow H_2SO_4 + ½\ O_2 + 2e^-$ E° = -1.229 V (2.16)

Katotta:

$Zn^{2+} + 2e^- \rightarrow Zn^o\ (s)$ E° = -0.763V (2.17)

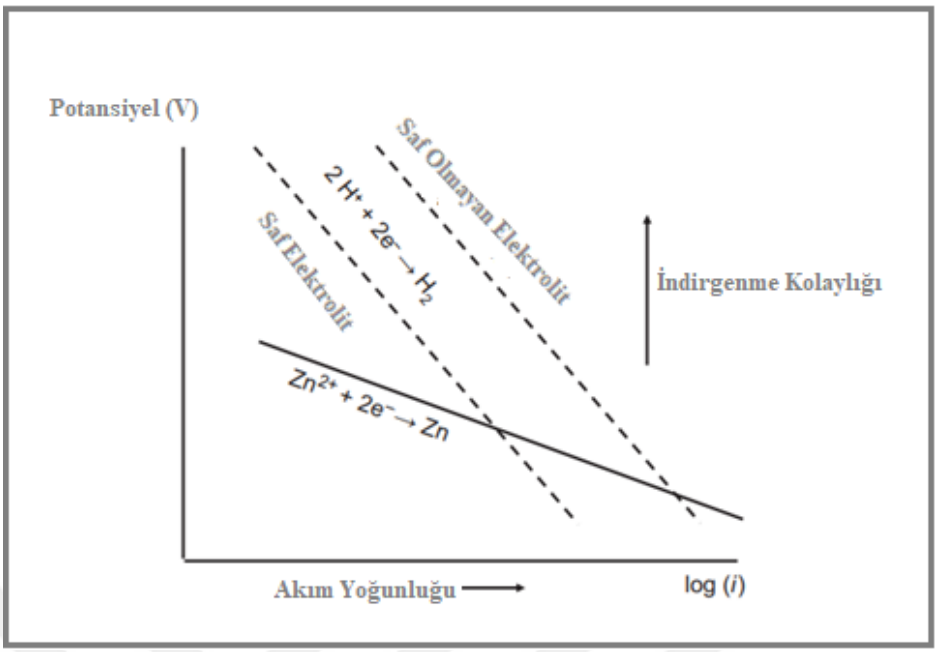
Hücre Reaksiyonu:

$ZnSO_4 + H_2O \rightarrow H_2SO_4 + ½\ O_2 + Zn^0$ E° = -1.992V (2.18)

2.13 – 2.15 reaksiyonlarında görülebileceği gibi çinkodan daha elektropozitif olan hidrojenin katotta deşarj olacağı gerekçesiyle teorikte çinkonun sulu çözeltilerinden kazanılamaz.

Ancak bu reaksiyonlarda verilen denge potansiyelleri, katodun Pt olması durumunda ölçülmüş değerlerdir. Katodun Al olması durumunda, çözeltinin Zn ve asit konsantrasyonuna, çözelti sıcaklığına ve çözeltinin sirkülasyon hızına bağlı olarak denge potansiyelleri değişmektedir. Katodun üzeri Zn ile kaplandığında H potansiyeli çok yüksek olduğu için hidrojen deşarjı teorik olarak gerçekleşmemektedir. Çinkonun standart indirgeme potansiyeli, hidrojen gazının oluşum potansiyelinden önemli ölçüde daha düşüktür (örn., Termodinamiğe bağlı olarak ortaya çıkma olasılığı daha azdır). Bu sebepten, kinetik kontrol katottaki hidrojen oluşumunu azaltmak ve çinkonun birikmesine izin vermek için kullanılır. Çinko birikimi ve hidrojen gelişimi için mevcut yoğunluğa karşı akım yoğunluğunun şematik bir grafiği Şekil 2.24'te gösterilmiştir.

Elektroliz tank depoları 400 ila 600 A/m^2 arasında %90 verimle çalışır. Akım yoğunluğu çok düşükse, çinko plakada birikemeyecek ve / veya yeniden çözülecektir. Elektroliz işlemi kısmen çinkosu alınmış elektrolitin temiz nötr çözelti ile karıştırılmasıyla elde edilen çözeltiden yapılmaktadır. Bu karışım çözeltinin çinko konsantrasyonu 60-70 g/l arasında değişmektedir. Aşırı konsantrasyon düşüşü enerji tüketimini arttırdığı için işlemsonunda elde edilen elektrolitte 6-7 g/l kadar çinko bulunmaktadır



Şekil 2.24: Hidrojen Gelişimi ve Çinko Birikimi Koşullarının Potansiyel ve Akım Yoğunluğu İlişkisinin Şematik Diyagramı [38].

Düşük akım yoğunluklarında hidrojen gazı gelişimi tercih edilen reaksiyondur. Çinkonun yeterli verimle birikmesini sağlamak için daha yüksek akım yoğunlukları (i) kullanılır

Elektrolit safsızlıklarının çinko elektroliz verimi üzerinde önemli bir etkisi vardır. Çözeltide çinkodan daha elektropozitif metal iyonları bulunması durumunda, bu metal iyonları da çinko gibi katotta toplanmaktadır. Bu safsızlıklar bir taraftan katodik çinkonun kalitesini bozarken diğer yandan katotta çinkoyla birlikte galvanik hücreler oluşturmaktadır. Galvanik hücrelerde çinko geri çözüneceği için bu durum elektrot yüzeyinin delikli olmasına ve akım veriminin düşmesine neden olmaktadır. Elektroliz sonucunda 1 mol Zn başına 1 mol asit üretilmektedir. Yüksek konsantrasyonda asit içeren artık elektrolit, liç işlemlerinde kullanılmaktadır. Çoğu metalik element tercihen çinko ile birikecektir. Bu elementlerin çinkodan daha düşük hidrojen aşırı potansiyeline sahip olması (ve çoğunun), Şekil 2.24'te gösterildiği gibi hidrojen oluşumu olasılığını artıracaktır. Bu nedenle çözelti saflaştırması, çinko elektrolizinden önce kritik bir adımdır. Bu safsızlıklar çinko katodundaki düzensizlikler üzerinde birikmektedir. Böylece düzensizlikler hidrojenin oluşumu daha kolay gerçekleşir.

Tablo 2.3: Çeşitli Standart Potansiyelleri (25ºC'de H^+ elektrot için)[1]

Elektrot Reaksiyonu	Potansiyel Değeri - Volt
Au^{2+} / Au^0	+1.42
Cl^2 / Cl^-	+1.36
Hg^{2+} / Hg^0	+0.85
Ag^+ / Ag^0	+0.80
Fe^{3+} / Fe^{2+}	+0.77
Sb^{5+} / Sb^{3+}	+0.75
As^{5+} / As^{3+}	+0.58
O^2 / OH^-	+0.40
Cu^{2+} / Cu^0	+0.34
As^{3+} / As^0	+0.30
Sb^{3+} / Sb^0	+0.10
H^+ / H^0	0
Pb^{2+} / Pb^0	-0.13
Sn^{2+} / Sn^0	-0.14
Ni^{2+} / Ni^0	-0.25
Co^{2+} / Co^0	-0.28
In^{3+} / In^0	-0.34
Cd^{2+} / Cd^0	-0.41
Fe^{2+} / Fe^0	-0.44
Ga^{3+} / Ga^0	-0.56
Zn^{2+} / Zn^0	-0.76
Mn^{2+} / Mn^0	-1.10
Al^{3+} / Al^0	-1.66
M^{g+} / Mg^0	-2.39

Katot birikiminin kalitesini artırmak ve dendrit oluşumunu azaltmak için arap zamkı ve tutkal gibi organik katkı maddeleri elektrolite eklenir. Çok az katkı maddesi ilavesi, dendritik formasyon (örn. Düzensizlikler), kısa devreye ve akım verimliliğinde bir azalmaya yol açar. Çok fazla katkı maddesiyse mevcut yoğunluk / potansiyel ilişkisinde (örneğin polarizasyon) bir kaymaya neden olur ve bu da daha fazla hidrojen oluşumuna yol açar. Bu nedenle, optimum miktarda katkı maddesi gereklidir. Katkı maddesi dozaj hızı, safsızlık konsantrasyonları ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak değişecektir. Elektroliz işleminde, nötr çözeltide bulunabilecek safsızlıkların işlem üzerinde değişik etkileri vardır. Çinkodan daha elektronegatif olan elementler (K, Na, Ca, Mg, Al, Mn vb.) elektroliz işlemini etkilememektedir. Ancak Mn, zamanla anot üzerinde oksitlenerek MnO_2 haline dönüşerek, kısmen elektroliz tankının dibine

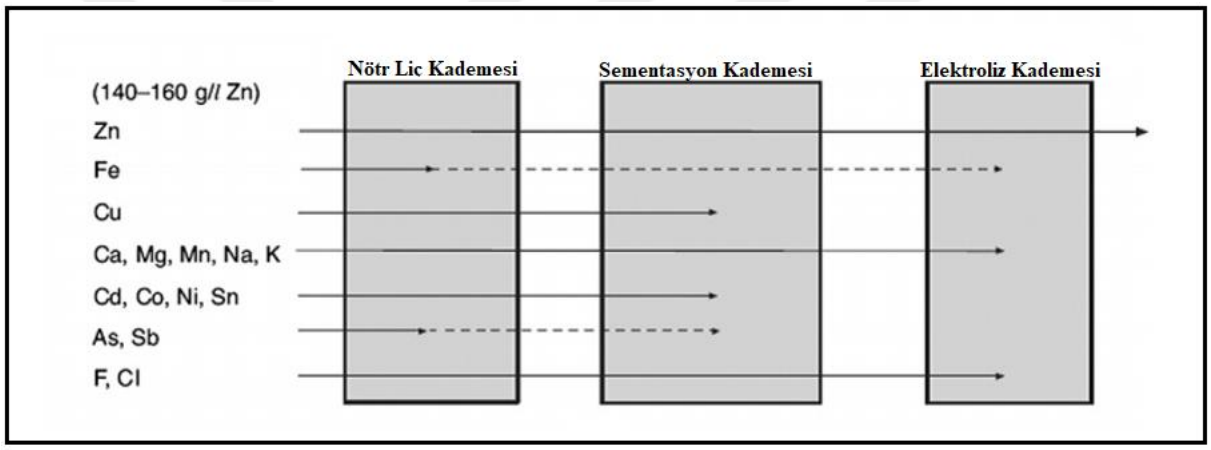
çökmektedir. Anot yüzeyinde biriken MnO_2 hücre potansiyelinin artmasına neden olacağından, anot yüzeyinin belirli aralıklarla yıkanması gerekmektedir. Ancak anot yüzeyinde biriken MnO_2, anot yüzeyinin Cl ve F tarafından korozyonunu önlemektedir

Hidrojen fazla voltajı çinkonun tekrar çözünmesine neden olacak potansiyelin üzerinde, fakat deşarj voltajları çinkonun deşarj voltajından az olan metaller Pb ve Cd'dur. Bu metallerin toplanma verimi üzerinde etkileri yoktur. Sadece katotta toplanan çinkonun saflığını bozmaktadır. Hidrojen fazla voltajı çinkonunkinden düşük, deşarj potansiyelleri sülfürik asitten fazla olan metaller Fe, Co ve Ni'dir. Bu metaller hem katotta toplanıp geri çözünerek katodun yüzey kalitesini bozmakta hem de akım verimini düşürmektedir. Geriye çözündükleri için katot çinkonun saflığını bozmamaktadır. Hidrojen fazla voltajı çinkonun tekrar çözünmesine neden olacak kadar düşük olan metaller Cu, As, Ge ve Sb'dir. Bu metaller çinko ile beraber toplanıp hidrojenin deşarj olduğu bölgeler oluşturmaktadır. Bu nedenle hem akım verimini düşürmekte hem de katot çinkonun kalitesini bozmaktadırlar. Nötr çözelti içinde bulunan florür ve klorürler anodun korozyona uğramasına ve çinkonun Al katoda yapışmasına neden olmaktadır. Florür iyonu konsantrasyonunun yüksek olduğu çözeltilerde çinkonun katot yüzeyinden sıyrılarak plakalar halinde alınması imkansız hale gelmektedir. Çözeltiye tiyoüre ve tutkal gibi organik maddeler ilave edilmesi ile katodun düzgün yüzeyli ve sert bir yapıda toplanması sağlanmaktadır. Aynı zamanda uzun sürede akım veriminin de düşmesi önlenmektedir. Elektroliz sıcaklığının artmasının; katotta hidrojen fazla voltajının azalması nedeniyle akım veriminin düşmesi, katotta toplanan çinkonun kristal yapısındaki değişmeler nedeniyle katot yüzeyine yapışması ve aşırı miktarda kurşunun katotta toplanması gibi bazı olumsuz etkileri vardır. Bu olumsuz etkileri önlemek amacıyla çözelti sıcaklığı en fazla 40°C olmalıdır. Çinko, alüminyum katottaki ana boşluklar üzerine biriktirilir ve periyodik olarak toplanır. Çinko birikme süresi 24 ila 72 saat ile sınırlıdır, bu sırada çinko katotları toplanır. Süre, kısa devreyi en aza indirmek ve safsızlıkların neden olduğu hidrojen gelişimini en aza indirmek için sınırlıdır.

Elektrot çıkartma sayısını en aza indirmek için, alüminyum kullanır. Alüminyum katotların hizmet ömrü 1-2 yıldır. Nötr beslemedeki florür içeriği arttıkça servis ömrü azalır.

Anodun çözünmeyen özellikte olması için kurşun - gümüş anotlar çinko elektrolizinde kullanılır. Pb - Ag anotlar korozyona saf kurşundan daha dayanıklıdır. Gümüş içeriği %0.5-1.0'dır. Kurşun anotlar yine de korozyona uğrayacak ve daha sonra elektrolitten katoda elektrot

biriktirecektir. Bu nedenle kurşun elektroliz sonrası çinkodaki ana safsızlıklardan biridir. Kurşun korozyonunu en aza indirmek için elektrolitte yüksek konsantrasyonlarda Mn kullanılır. Kurşun korozyonunu anot üzerindeki MnO_2 olarak birikimi sonucu manganez önlemektedir. Zamanla, MnO_2 ve kurşun oksit yüzeyi pul pul dökülerek hücrenin dibinde bir çamur oluşturur. Çamur, MnO_2'nin bir oksidan olarak kullanıldığı liç devresinde geri dönüştürülür. Elektrolit içindeki kurşun miktarı ayrıca stronsiyum veya baryum karbonat ilavesiyle de kontrol edilir. Bu tuzlar elektrolit içinde kolayca çözülür ve daha sonra kurşun konsantrasyonunu azaltan bir çift sülfat tuzu oluşturur. Elektrolit yüzeyinde oksijen kabarcıkları patladıkça, asit sisi oluşumu mesleki güvenlik sorunudur. Asit sisi oluşumunu en aza indirmek için çinko rafinerileri yüzey katıkıları ve meyan kökü gibi köpürtücü ajanlar kullanılmıştır.



Şekil 2.25: Hidrometalurjik Çimko Metal Üretiminde (RLE Prosesi) Çeşitli Metallerin Süreçteki İlişkisinin Şematik Diyagramı [38].

Daha yeni çinko elektroliz tesislerinde "jumbo" katotlar (1.5 m uzunluğunda 0.9 mm genişliğinde) ve polimer beton hücreleri kullanılmaktadır. Bu katotlar mekanik olarak hasat edilir. Her hücre hücre başına 35-50 katot içerir. Elektrik enerjisi, çinko rafinerisinin önemli bir maliyet bileşenidir. Bir çinko elektroliz hücresi 3.4-3.5 V'da çalışır. DC güç tüketimi 2800 ila 3400 kWh ton 1 katot arasında değişebilir. [10,13,37-44]

2.2.4 Çinko Üretimindeki Endüstriyel Trendler

Günümüzde çinko metal üretiminde en çok kullanılan ve geliştirilen yöntem elektrometalurjik yöntemdir. Diğer taraftan ise pirometalurjik yöntemin yüksek yatırım ve operasyonel maliyetinin azaltlması için çalışmalar da yapılmaktadır. Yapılan araştırmalara göre, birincil

çinko metal üretimideki çevresel düzenlemeler ve verim artış ihtiyacı yeni gelişmelere gebe olacak gibi görünüyor. Endüstri trendleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

✓ Daha büyük tesisler

✓ Çinko kazanımı artışı

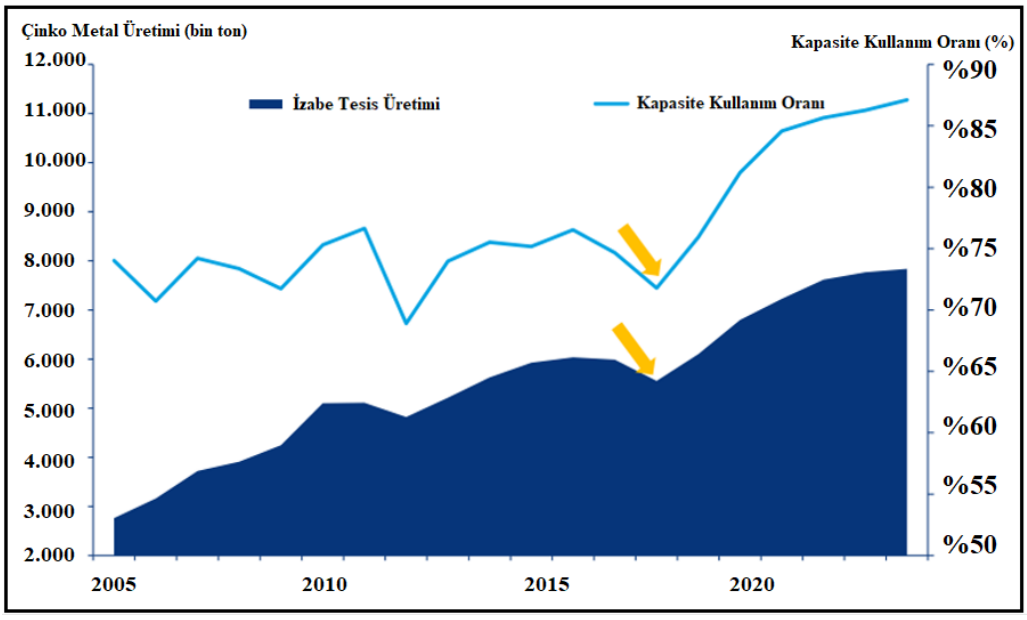
✓ Sinter tesisi – çinko blast/şaft fırını teknolojisi tercihini azalması

✓ Elektroliz aşamasında kazanım veriminde artış

✓ Elektrolizde daha büyük katot kullanımı

✓ Sülfürlü cevherler yerine oksitli, karbonatlı ve silikatlı cevherlerin değerlendirilmesi [1-6]

Çin'deki çevresel düzenlemeler tüm madencilik endüstrisinde iyiden iyiye uygulanmaya başlandıktan sonra Çin'deki madenler ve izebe tesisleri üretimlerini durdurmak zorunda kaldılar. Metalik çinko üretimindeki jarosit atığın fazla oluşu, çevresel kısıtlamalardaki en büyük problemi teşkil etmekteydi ve kapasite kullanım oranlarına etkisi Şekil 2.26'ta verilmiştir. [39]

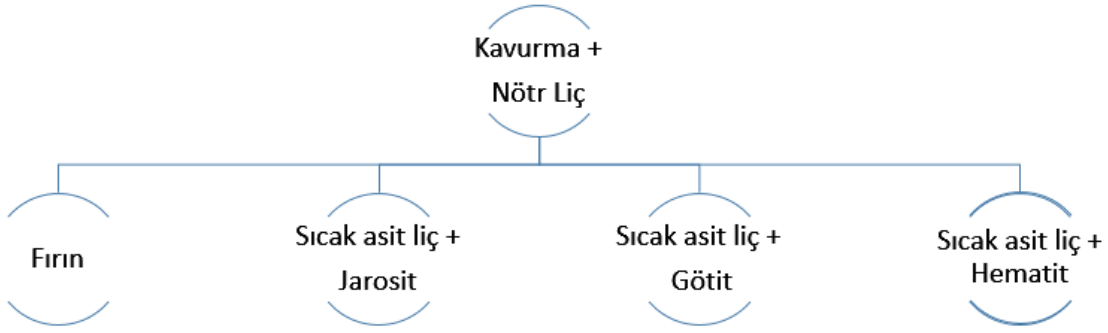


Şekil 2.26: Çin'deki çinko metal üretimi ve izabe tesisi kapasite kulanım oranı [45].

2018 yılında Çin metalik çinko üretiminin %91'i kavurma, liç ve elektrolitik (RLE) prosesini tercih etmiştir. RLE proses adımları aşağıda tekrar özetlenmiştir. Liç sürecinde nötr liç izlendiği takdirde, oldukça çinko kaybı yaşanmaktadır dolayısıyla bunun önüne geçmek için yönteme aşağıdaki şekilde belirtilen çeşitli varyasyonlar eklenebilmektedir.

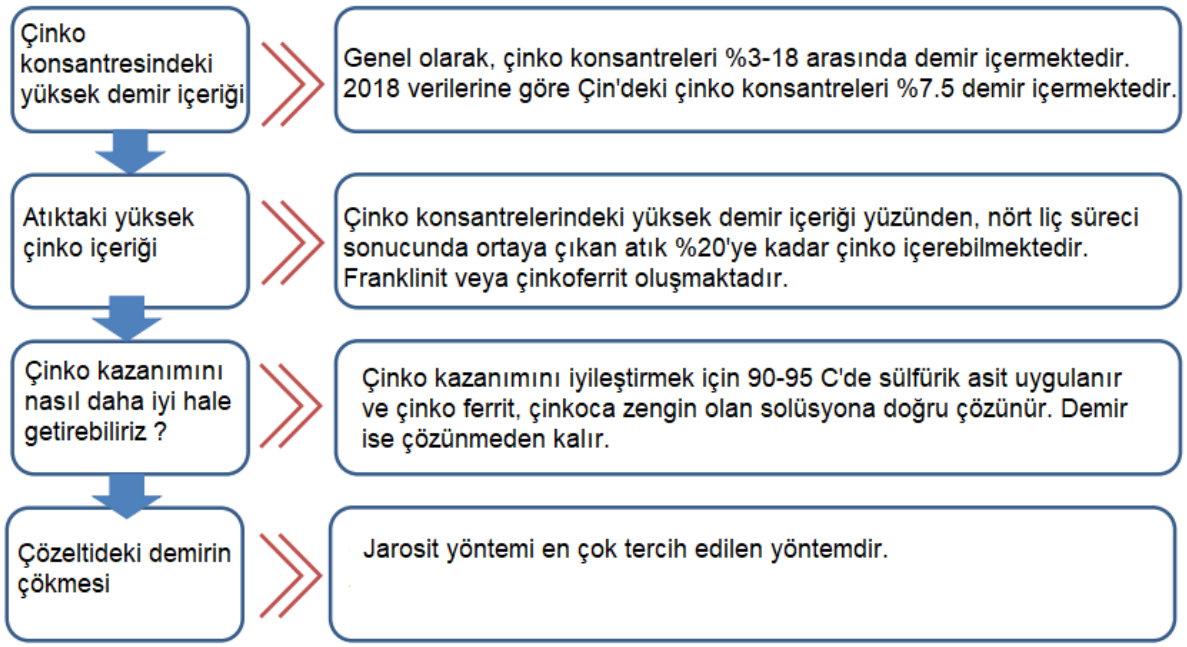
Temel RLE adımları;

- Sülfürlü konsantrenin kavrularak oksitli hale getirilmesi
- Çinko sülfat çözeltisi elde etmek için kalsinenin sülfürik asit ile liç edilmesi. Liç sonrası atık oluşur ancak çeşitli süreçlerle sisteme geri kazandırılır.
- Çözelti; kadmiyum, bakır, kobalt ve nikel vb. emprütelerin uzaklaştırmak için saflaştırılır.
- Çinkonun elektroliz edilerek katot olarak toplanması aynı zamanda sülfürik asidin rejenerasyonu. Sülfürik asit, bu proseste harcanmış asit olarak adlandırılır ve liç için geri dönüştürülür.
- Ergitilen katotun, saf çinko külçesi veya alaşımlı çinko külçeleri olarak dökülmesi. [39, 45]



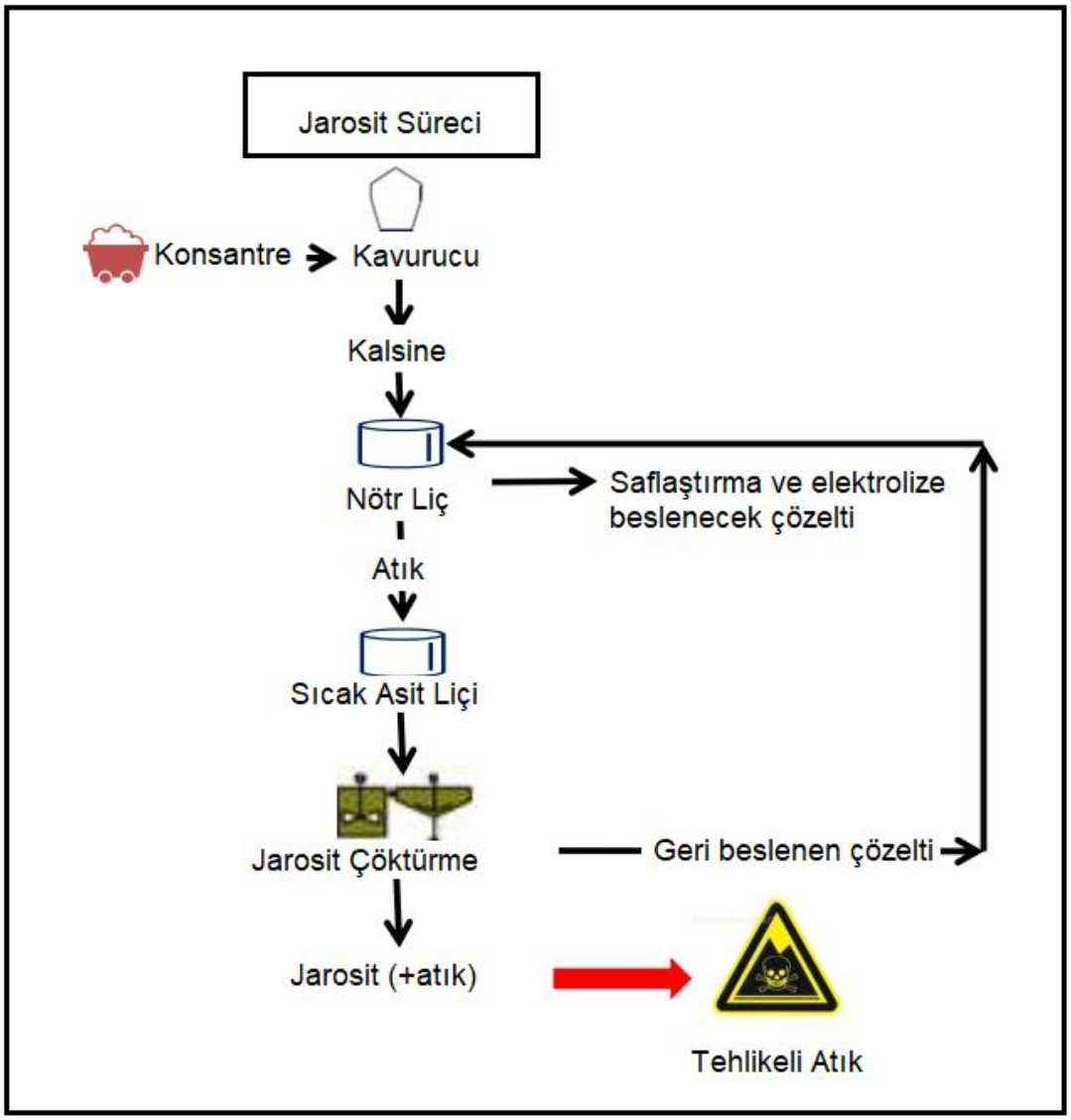
Şekil 2.27: Hidrometalurjik Yöntemlerde Çinko Metal Üretimindeki farklı teknolojilere göre oluşan çinko atıkları [39].

2018 yılında bu yöntemlerden, Jarosit yöntemi %26'lık bir kullanım oranına sahip olmuştur. Çin'li izabe tesislerinin jarosit yöntemini tercih etmesindeki esas neden çinko konsantrelerindeki yüksek demir içeriğidir. Şekil 2.28'deki grafikte kök nedenler sunulmaktadır.



Şekil 2.28: Jarosit yönteminin kullanılmısnın kök nedenleri [39].

Jarosit yöntemini kullanan Çin'li izabe tesisleri, 1 ton çinko üretirken yaklaşık 250 – 300 kg jarosit atığına neden olmaktadırlar. Jarosit atığı tehlikeli atıklar sınıfına girmektedir ve bertaraf edilmesi amacıyla çeşitli çevresel kısıtlamalar getirilmiştir. Jarosit atığındaki çinko içeriği yaklaşık %5 civarındadır. Bu atıktan çinko kazanımı veya geri dönüştürülmesi ekonomik olmamaktadır. Jarosit atığındaki çinko ve kurşun içeriği Çin hükümetince belirlenen limitlerin de üzerindedir. Dolayısıyla, Jarosit atığının atık barajlarında daha iyi depolanması ve/veya jarosit atıklarının içerğinin iyileştirilecek şekilde, izabe tesisi süreçlerinin optimize edilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, örnek olarak jarositin tekrar işlenmesini amaçlayan Ausmelt fırınları hayata geçirilmeye başlanmıştır. [39]



Şekil 2.29: Jarosit yöntemini içeren çinko metal üretiminin şematik gösterimi [39].

Tipik bir elektroliz çinko üretim sürecinde, kavrulan sülfürlü konsantreler, oksit formunda liç prosesine tabi tutulurlar. Asidik ortam altında çinko oksit, elektroliz işleminde çinko olarak kazanılacağı, çinko sülfat haline dönüşür. Ancak, ne yazık ki, liç prosesi %100 verimli olamamaktadır. Çünkü, kavurma sürecinde konsantre içerisindeki demir varlığı, çinko ile birlikte hiç de kolay liç edilemeyen çinko ferrit ($ZnO.Fe_2O_3$) bileşeğini oluşturmaktadır. Beslemeye giren konsantre içerisindeki, her yaklaşık %1.25 çinkonun, her %1 demir ile çinko ferrit olarak bağlanacağı bulunmuştur. Bunun çinko kazanımını nasıl etkildeği aşağıda görülebilmektedir.

Tablo 2.4: Sadece nört liç yöntemi kullanılarak, çinko konsatresinden teorik çinko kazanımı [45]

%Fe	%Kazanım (mevcut çinko)
2	97,5
4	95,0
6	92,5
8	90,0
10	87,5

Tablo 2.4'e göre, %2'den düşük demir ihtiva eden çinko konsantrelerinde nötr liç yönteminin uygulanabileceğini, günümüzde çinko konsantrelerinde artan demir içeriği sebebiyle, yöntemin uygulanabilirliğinin azaldığını göstermektedir. Bilinen en büyük madenlerin çinko içerikleri ise;

Glencore firmasının Avustralya'daki Mount Isa madeni > %8 demir ihtiva etmektedir.

Teck Resources firmasının küresel en büyük çinko madeni olan Alaska'daki Reg Dog mandei yaklaşık %5

Genel olarak %6-7 demir ihtiva eden, çinko kosantresi kullanan çinko izabe tesisi, konsantredeki çinkonun %10-15'inin, liç atıklarında geçtiği ve yaklaşık %20 Zn ve %25 Fe' nin liç kalıntılarında bulunduğu rapor edilmektedir. Ayrıca, sfaleritin içerisinde ((Zn,Fe)S) kalan ve kavurma işleminde oksitlenmeyen içerikler de liç prosesinde kazanılamamaktadır. Bu durum özellikle, demir içeriği yüksek çinko konsatrelerinde olmaktadır. [45]

Dolayısıyla, liç prosesinin atıkları daha sonra tekrar işlenmeli ve çinko kazanımı arttırılmalıdır. İster pirometalurjik ister hidrometalurjik yöntem tercih edilsin, liç prosesi için endüstriyel olarak kullanılan üç yöntem, Jarosite, Götit ve Hematit olarak öne çıkmaktadır.

Çin ve çoğu doğu Avrupa ülkesinde liç artıklarının geri kazanılması için, karbon kaynağı ve liç artıklarını birlikte işlendiği, Waelz döner fırınları kullanılmaktadır. Yöntemde, çinko gaz akışı

içerisinde hareket eder ve toz halinde kazanılır. Bu işlemde, tortudaki çinko, katı bir dumanın geri kazanıldığı, çıkan gaz akımı ile fırından çıkan bir dumana dönüştürülür. Bu duman daha sonra bir liç işlemine tabi tutulabilir. Bu, dumanda çinko oksit olarak bulunan çinkoyu sıvı çinko sülfata dönüştürür ve çinkodan daha sonra elektro kazanımla geri kazanılabilir. Kurşun, gümüş, altın gibi diğer gelir getirici elementler ve indiyum gibi daha nadir metaller, süzdürme işleminden katılara geri kazanılır. Bu katılar daha sonra daha fazla rafine edilmek üzere satılabilir. Bu nedenle Waelz fırın işleminin kullanılması gelirler üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir. Bununla birlikte, kok kullanımı, izabe tesisine önemli bir enerji maliyeti olduğu anlamına gelir. Bu nedenle, maliyet ve gelirler arasındaki denge, Waelz fırını kullanılırken her izabe tesisi için araştırılmalıdır. [45]

Çin dışında ve özellikle Batı Avrupa'da, liç kalıntısı hidrometalurjik işlemlerle işlenir. 3 tür işlem olmasına rağmen, bunların hepsi ilk kalıntıdan çinko ve demire ne olduğu açısından temelde aynıdır. İlk olarak, hafif asidik koşullar altında gerçekleştirilen orijinal liç işleminden elde edilen kalıntı, çok daha güçlü asidik koşullar altında ve yüksek sıcaklıklarda liç işlemine tabi tutulur. Bu, kalan çinko birimlerini katı tortudan sıvı faza çıkarır ve liç işleminden katı akışında kurşun ve gümüş gibi elementler bırakır. Bu malzeme daha sonra, izabe tesisine pozitif bir gelir akışı sağlayacak şekilde satılabilir. [45]

Ne yazık ki, daha aşırı liç koşulları altında demir de çinko ile birlikte sıvı faza çıkarılır. Bu nedenle, işlemdeki bir sonraki adım, demir ve çinkoyu ayırmaktır. Bu, farklı işlem koşulları altında yapılabilir ve farklı tiplerde nihai kalıntılara yol açar. Kullanılan üç işlem vardır: Jarosit, Götit ve Hematit, her biri farklı işlem koşullarını kullanan, nihai kalıntıdaki demirin formundan sonra adlandırılır. Bunlardan Jarosit süreci en baskın olanıdır, ekonomik ve kullanımı kolay görülmüştür. Bununla birlikte, üretilen Jarosit kalıntısı çevreye zararlı kabul edilir ve bu nedenle astarlı havuzlarda depolanmalıdır. Bunlar bir kez dolduğunda kapatılır ve böylece izabe tesisi için uzun vadeli bir çevresel miras haline gelir. [45]

Kalıntının stabilitesini iyileştirmek için Kanada'daki Valleyfield izabe tesisinde Jarofix olarak bilinen bir işlem geliştirildi. Süreç, esas olarak, Jarosit kalıntısı ile karıştırılan çimentoyu içerir. Bu, elde edilen karışımın, stabilize edilmemiş Jarosite ile karşılaştırıldığında daha stabil kalıntı depolama alanları oluşturmak için kullanılmasına izin verir ve böylece uzun vadeli çevresel riski azaltır. Bir nötralizasyon ajanı olarak görev yapan çimentonun zamanla Jarofix'in stabilitesinin gerçekten arttırdığına dair bazı kanıtlar vardır. Bununla birlikte, bu tür bir

çimentonun kullanılması, izabe tesisinin sarf malzemesi maliyetlerine katkıda bulunur. Çinko izabe tesisinin sahayı bir kurşun izabe tesisiyle paylaştığı durumlarda, örneğin Kanada'daki Trail tesisinde, her iki tesisin kalıntıları, ilgili kalıntılardan çinko ve kurşunu geri kazanmak için esasen birbirlerinden geçirilir. [45]

En büyük çinko izabe tesisi olan Güney Kore'deki Onsan, Waelz fırını kullanmak yerine "Top Submerged Lance" TSL işlemi olarak bilinen işlemi kullanıyor. Waelz döner fırını gibi çinko bir duman olarak gaz akımına geri kazanılır, ancak TSL'de sıcaklıklar ve kap içi aktivite çok daha yüksektir. Bu nedenle özellikle kurşun ve gümüş gibi diğer elementlerin geri kazanımlarının arttığı bildirilir. TSL işletme maliyetlerinin Waelz fırınında daha yüksek olmasına rağmen, potansiyel gelirler de telafi edici şekilde daha fazladır. Hindistan'daki Chanderiya Hydro II çinko izabe tesisi, şu anda Jarosit işleminden liç kalıntılarını işlemek için bir TSL eklentisi inşa etmektedir. Bunu yaparak çok az miktarda Götit ve ayrıca inşaat hammaddesi olarak uygun bir inert cüruf üretilecektir. Bu şekilde, izabe tesisinin fazladan çinko, kurşun ve gümüşü geri kazanmasını sağlamakla kalınmıyor, aynı zamanda çevresel etkiyi de büyük ölçüde azaltılır. [45,46]

Başta Çin'de olmak üzere bazı tesisler, herhangi bir kalıntı işleme operasyonu yürütmez ve liç kalıntısını diğer tesislere satar. Böylece, toplam gelir kaybetseler de işletme maliyetlerindeki düşüş ve satışta bir miktar geri kazanarak telafi ederler. Ayrıca Polonya'daki Boleslaw'da, kalıntı, bitişik bir sahada Waelz fırınlarını işleten yan kuruluşa gönderilir. Waelz fırınının kullanımının Çin'de çok yaygın ancak evrensel olarak pek yaygın olmamaktadır. Çin'de Jarosit işlemini kullanan da bazı tesisler var. Bununla birlikte, bu tesislerin, sınıflandırmasını tehlikeli bir maddeye dönüştüren Jarosit'in boşaltılmasına artık izin vermeyen Çin hükümetinin ağır baskısı altında kaldığını da belirtmek gerekir.

Bu sorunun üstesinden gelmek için bazı tesisler Jarosit'yi daha iyi huylu nihai kalıntı olarak üretmek için işleme yollarını araştırmaya başladı. Dahil edilen tekniklerin tümü, doğası gereği pirometalurjik gibi görünmektedir. Günümüzde, TSL fırını ve yeni yandan ilave fırın yapısının araştırıldığını ve faaliyete geçirildiğini görmekteyiz. [45]

Özetle, kalan çinko birimlerinin geri kazanılması için kalsine liçten kaynaklanan kalıntıların bir şekilde yeniden işlenmesi gerekir. Bunu yapmak için bir dizi yöntem vardır, ancak her birinin izabe tesisi işletme maliyetleri ve gelirleri üzerinde hem olumlu hem de olumsuz etkileri vardır.

Hangi yöntemin en uygun olduğunu görmek için bu dengenin her izabe tesisi için değerlendirilmesi gerekir. Şu anda, batının hidrometalurjiyi tercih ettiği, doğunun (özellikle Çin'in) pirometalurjiyi tercih ettiği görülmektedir. [39, 45]

Son yıllarda, Outotec, daha düşük işletme maliyetleri ve küçük ve değerli metal değerlerinin iyileştirilmiş geri kazanımı ile potansiyel bir alternatif işleme yolu olarak çinko sülfür konsantrelerinin doğrudan banyoda eritilmesi üzerine pilot ve ticari ölçekli geliştirme testleri gerçekleştirmiştir. Outotec firması, Doğrudan Çinko Eritme (Direct Zinc Smelting) yöntemiyle atık malzemelerin taşınması, depolanması ve / veya bertarafı ile ilgili sorunları da ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır. Böyle bir yaklaşım gelecekteki yeni çinko üretim kapasitesi için umut vaat etmektedir. Mevcut çinko sülfür izabe işlemlerinin önümüzdeki on yıllar boyunca hizmet vermeye devam etmesi bekleniyor. Ek olarak çinko, atık ve kalıntırının tekrar beslenmesiyle birlikte silikat veya karbonat cevherleri gibi çeşitli birincil oksit kaynaklarından da üretilmektedir. [46]

Çinko üretiminin çoğunluğu şu anda doğrudan birincil cevherlerin ve konsantrelerin işlenmesinden elde edilirken, modern çinko izabe tesisleri artık >% 97,5 çinko geri kazanımı sağlayabilmektedir. Çinko içeren kalıntıların ve cürufların işlenmesi beklenmektedir. Özellikle atıkların en aza indirilmesi ve kapalı döngü metal geri dönüşümü daha fazla odak noktası haline geldikçe giderek daha önemli hale gelecektir. Çelik fabrikası tozları gibi ikincil malzemelerden çinkonun geri kazanımı, çinko endüstrisinde bir başka önemli ve büyüyen ilgi alanını temsil etmektedir. [46]



Şekil 2.30: Outotec TSL fırını [46].

Çinko izabe süreçlerinde bir dizi hidrometalurjik prosesin geliştirilmesine ve test edilmesine rağmen, demir ve çinko içeren kalıntıların, cürufların ve tozların pirometalurjik ön işlenmesi, yaygın işlem yolu olmuştur. Geleneksel olarak Waelz fırını onlarca yıldır kullanılmaktadır. Daha yakın yıllarda, Top Submerged Lance (TSL), yandan üfleme ve plazma teknolojileri gibi bir dizi alternatif pirometalurjik işlemler benimsenmeye başlanmıştır. Bu yeni yöntemler, iyileştirilmiş verimlilik, daha yüksek küçük ve değerli metal geri kazanımı ve inşaat uygulamalarında atılmaya veya kullanıma uygun kararlı bir cüruf oluşumu gibi faydalar sağlayabilmektedir. [33]

Outotec'in Ausmelt TSL işlemi, Şekil 2.30'da görülmektedir, şu anda ticari olarak çok çeşitli demir dışı metallerin işlenmesi için uygulanmaya başlamıştır. Bu prosesin test edilmesi sırasında, çeşitli çinko içeren konsantreler, cüruflar, kalıntılar ve tozlar üzerinde uzun yıllar boyunca kapsamlı test çalışmaları yapılmıştır. Ausmelt pilot tesisinde başarıyla test edilen bazı çinko içeren malzemeler için kompozisyon verileri Tablo 2.5'te verilmiştir.

Tablo 2.5: Outotec firmasının çalışmarında test edilen çinko içerikleri [46]

	Çinko Konsantresi	Çinko Kurşun Konsantresi	ISP Atığı	Kurşun BF Atığı	Nört Liç Kalıntısı	Jarosit	Götit	EAF Kalıntısı
% Zn	43.6	26.9	12.0	14.3	20.6	2.6	14.3	19.5
% Pb	0.6	18.3	0.9	1.7	5.9	3.3	2.8	2.5
% Fe	12.4	12.5	34.5	22.0	23.5	24.5	36.0	32.0
% As	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.4
% S	30.4	29.7	–	–	5.9	12.2	4.7	< 0.1
%SiO_2	2.2	8.6	15.2	29.0	4.3	7.6	1.8	3.0
ppm Ag	600	185	–	20	270	100	100	100
ppm In	< 300	–	–	–	–	–	–	–
ppm Ge	< 200	13	–	–	–	–	–	–

Ausmelt pilot tesisinde yürütülen proses geliştirme ve optimizasyon çalışmasının ardından, şu anda çinko içeren hammaddelerin işlenmesi için lisanslı 24 adet ticari ölçekli Ausmelt fırını bulunmaktadır. Yakın tarihli bir örnek, çinko, kurşun, gümüş, indiyum ve kadmiyumun geri kazanılması için 160.000 ton çinko içeren çeşitli kalıntıların kazanılmasını sağlayan, Şekil 2.31'de gösterilen, İç Moğolistan Xingan Bakır ve Çinko Erime Limited Şirketi tarafından işletilen Ausmelt tesisidir. [46]



Şekil 2.31: Çin'deki Xingan Ausmelt Tesisi [46].

Ausmelt prosesi, hem yakıt hem de indirgeme ajanı olarak kömürü kullanmıştır. Proses sonucunda nispeten büyük miktarlarda sıcak atık gaz üretilmiştir. Birçok tesiste, atık ısı kullanılarak proses çıkış gazından enerji geri kazanımı veya elektrik enerjisi üretimi için kullanılabilen buhar üretimi olanağı sağlamaktadır. Bu uygulama yıllarca endüstriye iyi hizmet etmiş olsa da, günümüzde, tüm çevreye duyarlı şirketler tarafından desteklenen sürdürülebilirlik girişimlerinin bir parçası olarak endüstriyel süreçlerden kaynaklanan enerji tüketimini ve CO_2 emisyonlarını en aza indirmeye her zamankinden daha fazla odaklanılmaktadır

TSL fırını içeren Ausmelt prosesinin aşağıdaki iyileştirmeleri sağladığı belirtilmektedir. [46].

- Çinko uçurma proses adımlarının optimize edilmesi
- Oksijen zenginlinliğinin arttırılması
- Besleme rutubetinin azaltılması
- Gelişmiş yakıt ve indirgeyici kullanımı

2.2.5 İkincil Çinko Üretimi

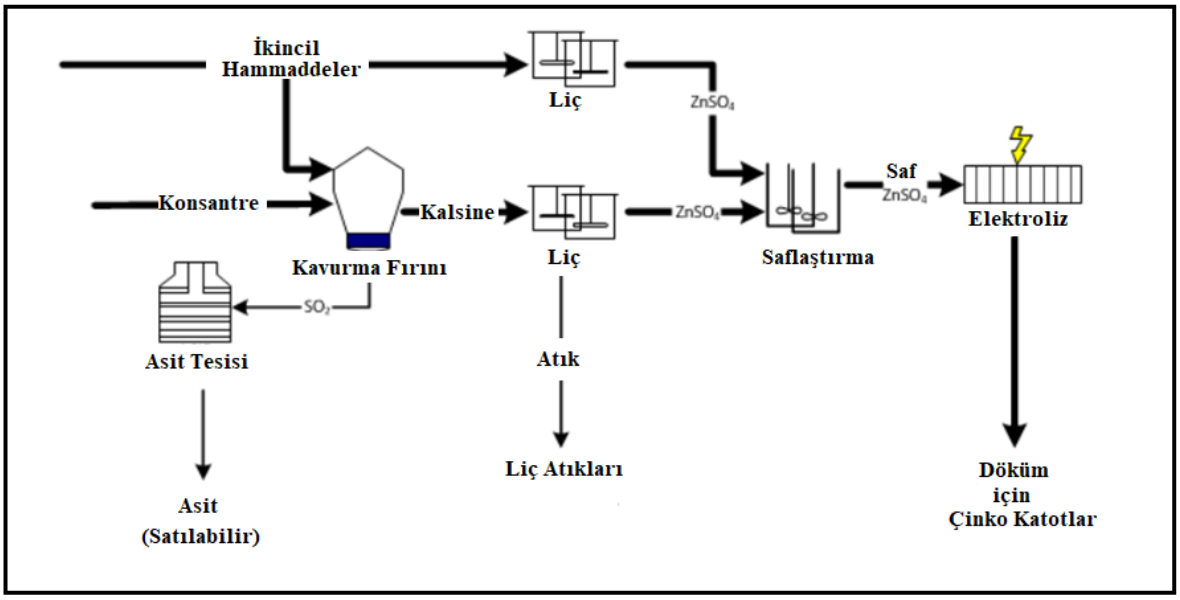
Her ne kadar çinko ergitme tesisleri sülfür konsantrelerini işleyerek çalışacak şekilde tasarlanmış olsa da, çinkonun diğer formlarını da başka şekillerde işleyebilirler. Tipik olarak. "İkincil" üretimin hammaddesi olarak bilinir hale gelen bu, demir ve çelik veya bakır gibi diğer endüstrilerin atıkları olarak üretilen bir oksittir. [47]

Bir çinko izabe tesisi, toplam konsantre beslemesini, akış şemasında büyük değişiklikler olmadan, tamamen ikincil maddeler ile değiştiremez. Ancak, önemli bir oranın yerini alabilir. Çinko ergitme tesisi tarafından kullanılan besleme karışımının analizinden sonra, beslemenin %20'sine kadar ikincil malzeme ikame edilebilir. İkincil malzeme tipik olarak, konsantreler ile birlikte elektrolitik çinko eritici tesisinin kavurma fırınına beslenir. [47]

Bununla birlikte, ikincil malzemenin kullanılma oranı, tesisten tesise değişecektir. Ayrıca, süreç altyapısının ikincil hammaddelerle başa çıkma yeteneğine ve beslenen ikincil malzemeye bağlı olacaktır. Birçok ikincil üretim yapan tesis, ikincil olarak besledikleri miktarın % 20'yi aştıklarında, proses akışlarında mevcut kimyasal elementler nedeniyle tankerde işletme güçlüğü yaşadıklarını bildirmektedir. İlave olarak, kavurma fırınında işlenebilecek ikincil oksitlerin miktarı iki operasyonel faktöre bağlı olacaktır. [47]

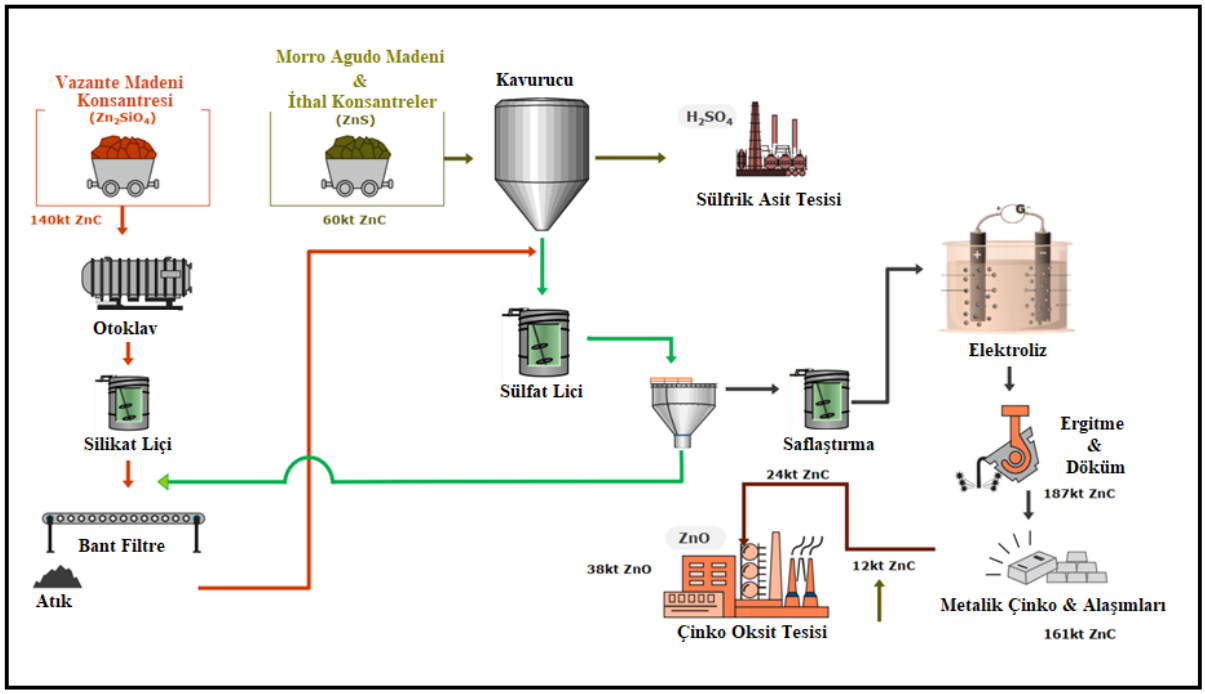
- Kavurma fırını için ısı dengesi; Oksitler aslında kavurma fırınında reaksiyona girmez, ancak bir ısı emici işlevi görürler ve bu nedenle kavurma üzerinde soğutma etkisi yaratırlar. Beslemede çok fazla oksit olması kavurma çalışmasını durduracaktır.
- Kavurma fırınından çıkan asit tesisine gönderilen kavurma gazına etkisi; Gaz kuvveti, çıkış gazının SO_2 içeriği cinsinden ölçülür. Sülfit konsantreleri çıkarılır ve oksitler ile değiştirilirse, gaz içindeki SO_2 miktarı düşer. Çok düşerse, asit tesisi çalışmayacaktır.

Çinko izabe tesisleri, daha fazla ikincil kaynak kullanabilmek için bir kavurma fırınını "bypas etmelidir". Bu, özellikle yeni bir ayrı liç bölümünün kurulmasıyla yapılabilir. Bunun nedeni, ikincil çinkoların doğada oksit olmalarıdır. Bu yüzden, liç edilmeden önce kükürtü çıkarmak için kavrulması gerekmemektedir. Ancak bu, sermaye yatırımı gerektirecektir. Örnek akış şeması Şekil 2.32'de görülebilir. [47]



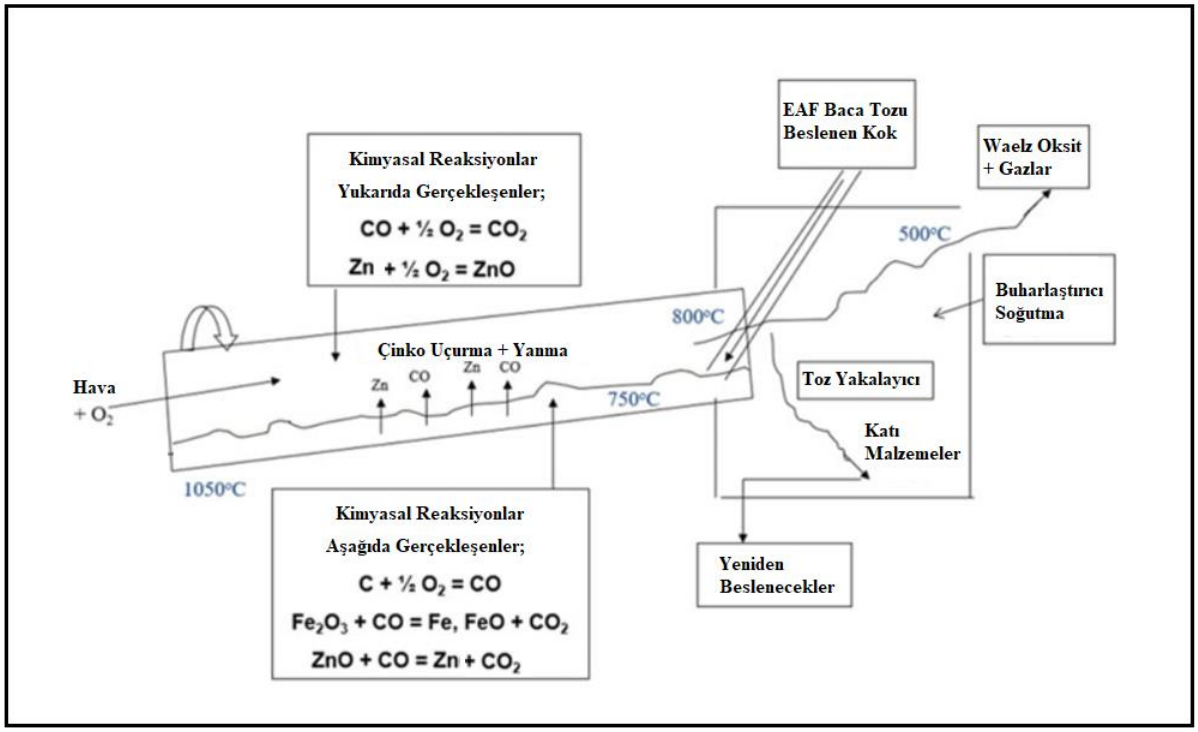
Şekil 2.32: Birincil ve İkincil Hammaddelerle Birlikte Çinko Metal Üretiminin Süreç Akış Şeması [47].

İkincil hammaddelerin bir elektrolitik çinko tesisi tarafından işlenebilmesi için önemli kimyasal kısıtlamaları vardır. Demirleri düşük olmalı ve halojen miktarı çok az olmalıdır. Demir içeriği, liç verimini etkilerken, halojenler ise refrakterlere zarar verebilir ve elektroliz işlemini olumsuz etkileyebilir. Bu durum malzemenin doğrudan atık üreticisinin kullanımını engeller. Şekil 2.34'te verilen Waelz üretim sürecinde, bir çelik fabrikasından gelen malzeme önemli miktarda demir ve muhtemelen halojen içerecektir. Ancak, ikincil çinko üreticilerinin taleplerine bağlı olarak, ikincil hammaddeleri çinko ergitme tesisine gitmeden işleyecek ve bunları çinko ergitme prosesi için uygun beslemeye dönüştürecek bir yan sanayi büyümektedir. Waelz, en yaygın kullanılan teknolojidir. Bu işlem için tipik yem, Elektrik Ark Fırını (EAF) kullanarak çelik üreten çelik fabrikalarından gelen tozdur. Toz genellikle "EAF Tozu" olarak bilinir ve % 20-30 çinko içerir. Karbon ile birlikte toz, esasen çok uzun bir döner tüp olan fırına beslenir. Çinko, çok uçucu ve fırın atmosferi altında olduğundan, gaz halinde, tozun geri kalan kısmından fırından ayrılır. Çinko, % 40-60 çinko içeriği olan kirli gazda, "Waelz oksit" olarak bilinen bir ürün oluşturmak üzere toplanabilen ince tanecikler halinde mevcuttur. Diğer taraftan, halojenler de çok uçucudur ve çinkonun toza dönüşmesini sağlar. Elektrolitik çinko izabe tesisleri, ham Waelz oksidi demir içermediğinden dolayı işlenebilir olmasına rağmen, Waelz oksidin içerdiği halojenlerden dolayı bu miktar sınırlıdır. Halojenleri uzaklaştırmak için Waelz oksit sodyum karbonat vb. kimyasallarla yıkanır. Bu yıkama, her seferinde daha fazla halojeni uzaklaştırmak için birkaç kez yapılabilir. [47]



Şekil 2.33: Karbonatlı Çinko Hammaddelerinden Çinko Metal Üretimi Süreç Akış Şeması [47].

Öte yandan, Waelz oksit yapmak için EAF tozunun bir fırında işlenmesi ve ardından bu oksidin yıkanmasının da bir bedeli vardır. Çinko izabe tesisi, yıkama prosesini kendi geçekleştirmiyorsa, Waelz oksidini satın alması ve ardından oksidin her yıkanmasından sonra daha fazla ödemesi gerekeceği anlamına gelmektedir. Dolayısıyla, çinko izabe tesisleri daha ucuz yıkanmamış Waelz okside erişmek için kendi bir yıkama tesisi kurabilir. Ancak, bu sadece ek bir sermaye maliyeti değil aynı zamanda ek bir işletme maliyeti demektir. Buradaki hesaplamalar iyi yapılmalı, çünkü bu durum ucuz hammadde almanın maliyet avantajını ortadan kaldırabilir.



Şekil 2.34: Waelz Tesisi Süreç Akış Şeması [47].

Geçmişten beri Waelz oksitler içerdikleri işleme ve yıkama maliyetine rağmen, birincil çinko konsantrelerinde uygulanan bir TC işlem ücreti ile satılmaktadır. Bu nedenle, sadece ikincil malzemeyi işleyen izabe tesisleri cazip bir fiyata hammadde bulabilme şansına erişmektedirler.

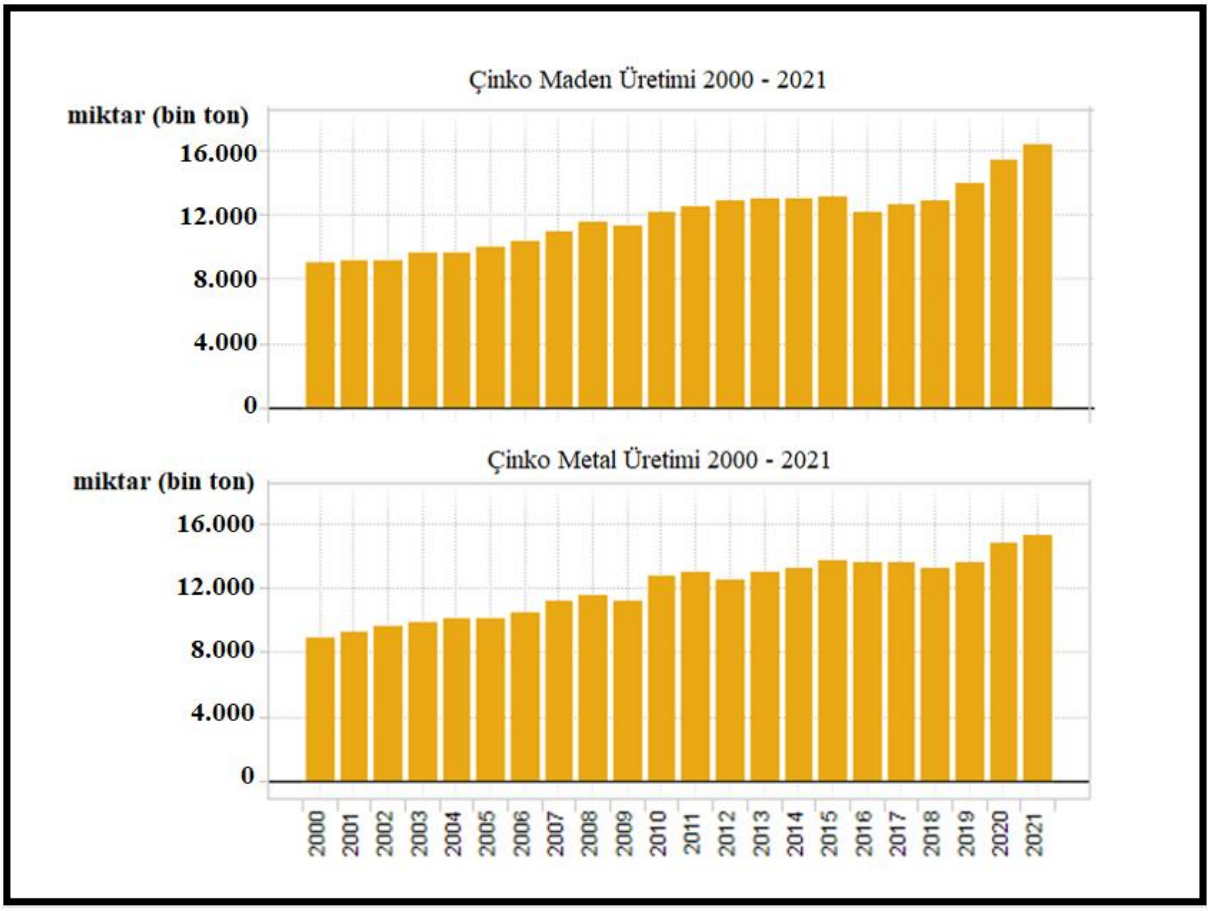
Ayrıca, birincil konsantre pazarının giderek sıkılaşıyor olmasından dolayı, çinko izabe tesislerinin, gün gittikçe daha fazla ikincil hammadde arama faaliyetlerini sürdürmektedirler. İkincil hammadde talebindeki bu artış, fiyatları arttırabilir. Aktif olarak ikincil hammadde arayışı olunan bazı yerlerde, ikincil hammadde maliyetinin artık birincil konsantre ile aynı seviyeleri geldiği söylenebilir. [47]

2.3 ÇİNKO MADEN VE METAL ÜRETİM DÜNYASINDAKİ GENEL GÖRÜNÜM VE TRENDLER

Küresel çinko üretiminde iki önemli dinamik öne çıkmaktadır. Şekil 2.35'te gösterilen, çinko maden üretimi ve çinko metal üretimi. Bu önemli iki parametrede yaşanan gelişmeler, çinko arz talebini, pazar dengesini, Londra Metal Borsası çinko fiyatını ve çinko metal fiyatlamasında kullanılan "Treatment Charge" (TC) izabe tesisi işleme ücretlerinin dengesini belirlemektedir.

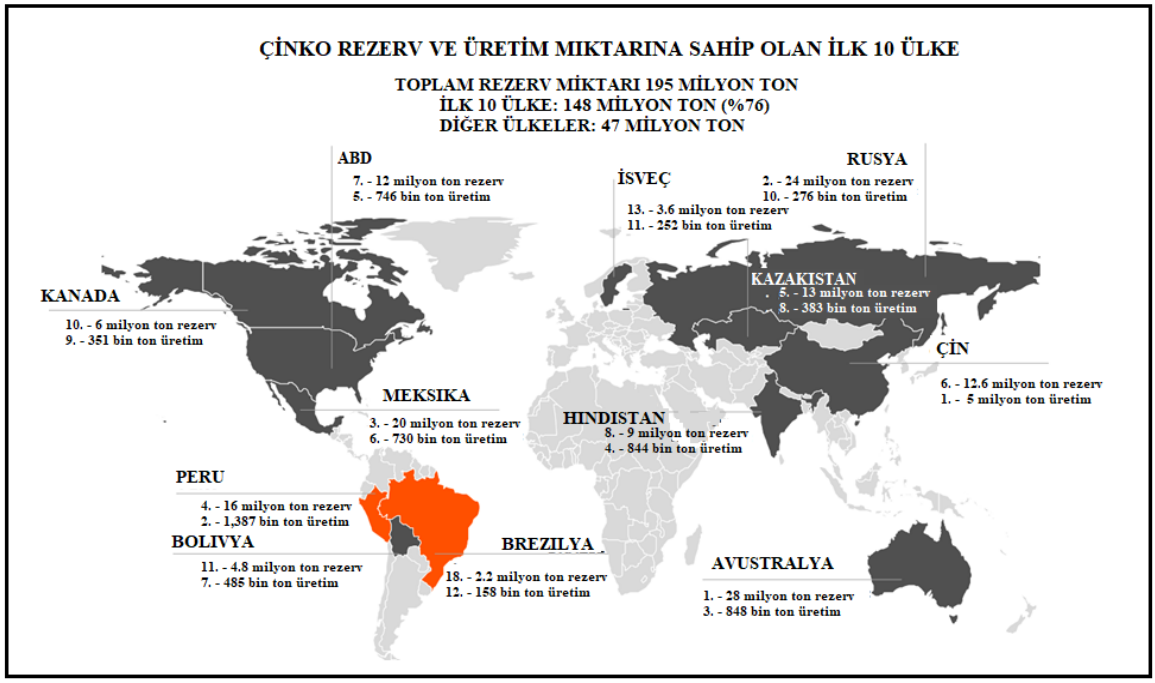
Küresel çinko metal üretimi 2000'de 8,9 milyon ton seviyelerinden, 2019'da yaklaşık 3 milyon ton artışla yaklaşık 11,8 milyon ton seviyelerine çıktı. Bu artışın sadece 530 bin tonu Çin dışında gerçekleşirken, Çin'in üretimi 2.4 milyon tonun üzerinde artış gösterdi. Çin'in metalik çinko üretim kapasitesindeki büyük artışın önemli kısmı 2010 yılına kadar iken 2010 - 2016 yılları arasında kapasitede daha az bir artış gerçekleşti; daha sonraları kapasitede net bir düşüş oldu. Küresel olarak metalik çinko kullanımı 2000'de 8,9 milyon ton seviyelerinden, 3,3 milyon ton artışla, 2019'da 12,2 milyon ton seviyelerine yükselmiştir. [48]

Çin'in küresel çinko talebindeki payı, ekonomisi olgunlaştıkça değişiyor ve son üç yılda Çin'in çinko talebi durgunlaştı hatta bazı yıllarda önemli ölçüde düştü. Daha yüksek maliyetler, daha kapsamlı ve daha sıkı uygulanan çevresel düzenlemeler ve ticaret anlaşmazlıklarının etkisiyle, Çin'in imalat endüstrisinin daha kısıtlandığını görüldü. 2002 sonunda Çin'in Dünya Ticaret Örgütüne girmesinden 10-15 yıl sonra bazı Çinli imalat şirketleri artık faaliyetlerini ülke dışında sürdürebilme yeteneğine sahip durumdadır. Son 9 yılda Çin dışında 13 çinko izabe tesisi, 1 milyon tona yakın kapasite kaybıyla kapandı. Çin çıkışlı en son sıfırdan çinko izabe tesisi 2010 yılında devreye alınmış ve başta Güney Kore, Meksika, Hindistan ve Norveç olmak üzere bir dizi fabrikada kapasite genişletmeleri gerçekleştirilmiştir. [48]



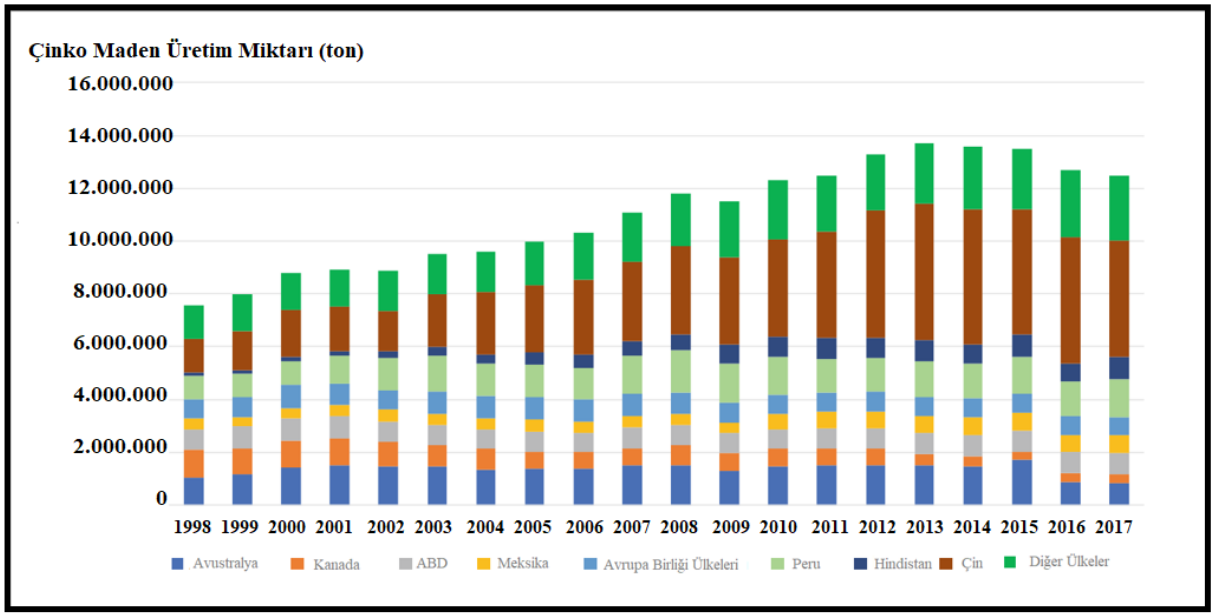
Şekil 2.35: Çinko Maden ve Metal Üretim Miktarları [50].

Önümüzdeki 5 yılda, çinko metal talebinde büyümenin Çin dışındaki ülkelerde yoğunlaşması ve Güney Asya, Orta Doğu ülkelerinin başı çekmesi bekleniyor. Bu durum çinko metali için ek gereksinimin nerede ve nasıl karşılanacağı ile Çin'in bu genişleyen pazarlara çinko tedariğinde herhangi bir rol oynayıp oynamayacağı sorusunu gündeme getirmektedir. [48]



Şekil 2.36: Çinko Rezerv ve Üretiö Miktarına Sahip Olan İlk 10 Ülke [50].

Çinko maden üretiminde ise tarihsel olarak, Avustralya ve Kanada başlıca çinko ve kurşun maden üreticileriydi, ancak son yirmi yılda üretimleri azaldı. 1996 yılında Dünyanın en büyük çinko madeni üreticisi olan Kanada, 2017 yılında 8. Sıraya kadar düşmüştür. Aynı şekilde, Kanada'da kurşun maden üretimi 2017 itibariyle neredeyse ortadan kalkmış görünmektedir. Bu durum Kanada'nın iki büyük madenin (Sullivan ve Runswick) tükenmesinden kaynaklanmaktadır. Avustralya çinko üretimi ise 2015 yılında zirve yaptı, ancak büyük Century madeninin kapanması nedeniyle 2016 yılı itibariyle önemli ölçüde düşüş göstermiştir. ABD, Meksika ve Avrupa Birliği ülkeleri de önemli tarihsel üreticiler olmuştur. ABD ve AB'de çinko üretimi nispeten tutarlı iken, kurşun üretiminde bir miktar düşüş meydana geldi. Meksika'da kurşun ve çinko üretimi, büyük ölçüde Penasquito madeninin faaliyete geçmesi nedeniyle 1990'ların sonlarından bu yana artmıştır. Avustralya ve Kanada üretimi düştükçe artan Çin ve Hindistan üretimi Şekil 2.37'de gösterilmiştir. 2017 itibariyle, Çin açık arayla en büyük kurşun ve çinko maden üreticisidir. Hindistan üretimi ise tek bir büyük çinko madenine (Rampura Agucha) odaklanmıştır. 2018'de MMG'nin Dugald River madeni ticari üretime geçmiş; New Century Resources firması çinko konsantresinin geri kazanımı için tarihi Century maden atıklarını yeniden işlemeye başlamıştır. Tablo 2.5'te gösterilen gelişmelerin birleşimi, Century madenindeki tarihsel üretimden daha az olsa da, Avustralya çinko konsantresi üretiminde bir miktar toparlanmaya yol açmıştır. [24]



Şekil 2.37: Ülkelere Göre Çinko Maden Üretim Miktarı [24].

Küresel çinko maden ve metal üretimine birlikte ele aldığımızda ise, çinko pazarı için 2017 heyecan verici bir yıl oldu. Bazı madenlerin zamanlanmış kapanışları, Glencore'un stratejik kesintileri ve Çin'deki çevre denetimlerinin etkisi küresel konsantre stoklarını tüketmiştir. Rafine üretimin getirdiği kısıtlamalar, 2016 yılında 2556 $/ton seviyesinden başlayan çinko fiyatındaki artışın, 2016 sonunda %29 artışla 3309 $/ton seviyesine yükselmesiyle son on yıldaki en yüksek seviyesine ulaşmıştır. [51]

2018 yılının başında 3600 $/ton'un üzerindeki fiyatların 2300 $/ton'un altına düşmesiyle, 2018 çinko için kargaşalı bir yıl oldu. 2018–2019 için çinko pazarının karşılaştığı en kritik konu çinko metal üretim tesislerinin ve özellikle Çin'deki çinko izabe tesislerinin performanslarıdır.

2018'de Çin'in izabe endüstrisinin gelirleri ve karları birçok cephede baskı altında kalmıştı. Yılın ilk yarısında konsantre piyasasının sıkışıklığı, ithal spot TC ücretlerinin çok düşük seviyelere düşmesine neden oldu. Birçok izabe tesisi, çinko fiyatından elde edilen gelirde düşük işlem masraflarını telafi edemeyen, ithal, pahalı ve kârsız konsantre satın almamayı buna karşılık kullanım oranlarını ve üretimini azaltmayı seçmişti.

Çin çevre kuruluşlarının incelemelerinin artmasıyla Çinli izabe tesislerinin karşılaştığı zorluklar daha da şiddetlendi. Çin'in çevresel denetimleri arttıran sıkı bir politika uygulamasıyla birçok izabe tesisi katı, gaz ve atık su emisyonları üzerindeki çeşitli çevresel kısıtlamalara uymak için

üretimi kısmaya hatta bazı durumlarda kapanmaya gitmek durumda kaldı. Zayıf kârlılığın ve çevresel düzenlemelere uyma zorluğunun bir arada olduğu bu süreçte, Çin çinko metal üretimi %7 azalarak, 2013'ten bu yana en düşük seviyesine, 5,6 milyon/tona kadar düşmesine neden oldu.

2019 yılı başlarken, konsantre pazarında beklenen fazlalıkla birlikte çinko fiyatındaki toparlanmanın, gerekli yatırımları yaparak tesislerini çevreye uyumlu hale getiren Çinli metal üreticilerinin rafine üretimlerinde yükselişe yol açacağı tahmin ediliyordu. [37] Bu süreçte, baskı altında olan sadece Çin izabe şirketleri değildi. Dünyanın en büyük ikinci rafine çinko üreticisi Nyrstar da düşük (TC) işlem masrafı gelirleri ve düşük fiyatlar nedeniyle zor duruma girdi. Sonuç olarak, 2019 yılına girerken, operasyonel kabiliyeti ile ilgili şüpheler artmıştı. Potansiyel bir yeniden yapılanma ve varlık satışına ilişkin spekülasyonlar da yapılmıştı. [51,52] Nihayetinde, Trafigura, Nyrstar'ı kontrolünü alıyordu. Ayrıca, 2019 yılında aşağıdaki madenlerin üretiminde de önemli artışlar bekleniyordu.

Tablo 2.6: 2019 yılında en çok üretim artışı gösteren çinko madeni [52]

	2018 Üretim Miktarı (bin ton)	2019 Üretim Miktarı (bin ton)	2018 - 2019 Net Değişim	Emprüte Elementler
Gamsberg, Güney Afrika	35	205	170	Mn
Mount Isa (Lady Loretta), Avustralya	280	430	150	Pb, SiO_2
Rampura Agucha, Hindistan	472	575	103	
Century, Avustralya	34	120	86	Pb, SiO_2
McArthur River, Avustralya	34	115	81	Pb, SiO_2
Penasquito, Meksika	160	230	70	

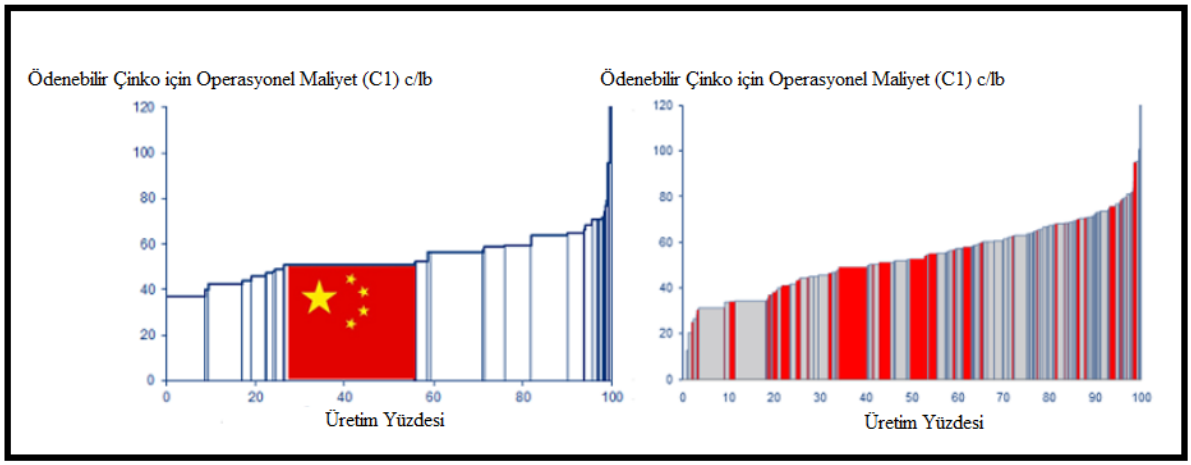
2020 yılıysa küresel anlamda felaketle başlamıştı. Çin'de başlayan COVID-19 salgını daha sonra küresel olarak yayılmıştı. Dünya Çinko maden üretiminin yaklaşık % 40'ını ve Çinko metal üretiminin ise yaklaşık %50'sini sağlayan Çin çinko piyasasının iş gücü kayıplarından ve olumsuz havadan etkilendiği belirtiliyordu. Ayrıca, Hubei (Wuhan) galvaniz üreticileri bölgesi olduğundan, talepteki yavaşlamanın çinko fiyatları üzerinde baskı yaratması muhtemel olarak görülüyordu. Lojistik sorunlarının konsantre ithalatının akışını engellediği, Çin'e konsantre sevkiyatları olsa da, gözetim ve analiz konusundaki personel sıkıntısı nedeniyle sorunlar olduğu, limanlarda konteyner birikmesine ve konsantrenin izabe tesislerine teslim edilememesine neden olduğu yer almaktaydı. Bu dönemde, Çin büyüme tahminlerini Koronavirüs dolayısıyla %5.8'ten %5.5'e çektiklerini ifade eden ekonmistler en son güncellemesinde ekonomik toparlanmanın biraz daha zor olacağını öngörerek beklentilerini %5.3 olarak revize etmişti. Çin'in genel üretim aktivitesi normale dönerken, salgın kaynaklı ekonomik durgunluk küresel olarak yayılmaya ve Dünya'nın geri kalanını etkilemeye

başlamıştı. Ağırlıklı olarak bakır ve çinko madenlerinde yaşanmakta olan arz kesintileri bakır ve çinko TC'lerinin düşüşüne neden oluyordu. Buna ilaveten, zayıflayan çinko fiyatlarının madenlerin sürekli kapanışına sebebiyet verebileceği hatta Peru ve Bolivya'daki büyük ve küçük ölçekli madenlerin kapandığını vurgulanmıştır. Çinli çinko izabe tesisleri bu dönemde kullanacak ithal hammadde bulmakta zorlandılar ve TC'lerin düşmesine neden oldu. Diğer bir önemli nokta ise, Çin yerel TC fiyatı, ithal TC fiyatından daha yüksekti. Çin ekonomisinin 1992 yılından bu yana ilk kez daraldığı açıklandı. Çin ekonomisinin 2020 yılı içerisindeki daralma oranı %6,8 ile beklentileri de aşsa da, 2020 üçüncü çeyrekten itibaren toparlanma yakalayarak 2020 yılını büyümeyle bitirmeyi başarmıştı. Koronavirüs pandemisinin neden olduğu küresel ekonomik krizin de adı 2020 yılındaki IMF toplantısının ardından konmuş oldu: The Great Lockdown nam-ı diğer 'Büyük Karantina'. IMF'ye göre Büyük Buhran'dan bu yana görülen en büyük ekonomik krizde küresel ekonomi % 3 daralma bekleniyordu. [54 - 59]

2020 yılı biterken, çinko maden üretimi henüz kendini toparlayamamıştı ve ikinci bir COVID dalgasıyla 2021 yılında yeni kısıtlamalar sonucu ilave maden kapanışları beklenmekte, çinko metal fiyatlarının yukarı yönlü ve TC kesinti ücretlerinin ise aşağı yönlü gideceği öngörülmekteydi.

2.3.1. Çin'deki çinko madenciliği ve metal üretimindeki genel görünüm

Çin, küresel çinko tedarik zincirinin %40'ını oluşturan dünyanın en büyük çinko maden ve konsante üreticisidir. Maliyetler açısından, madenleri maliyet eğrisine yayılmıştır. Bununla birlikte, Şekil 2.38'te gösterilen, Çin'in ortalama 51c/lb'lik C1 bileşik maliyeti, dünyanın geri kalanının ağırlıklı ortalamasından %6 daha düşük olan eğrinin ikinci çeyreğine denk düşer. Tipik olarak, düşük işgücü ücretleri, sarf malzemesi ve navlun maliyetleri, Çinli çinko madencilerine dünyanın diğer yerlerindeki emsallerine göre avantaj sağlıyor. Bununla birlikte, Çin'deki çoğu maden çok küçüktür ve daha yüksek güç maliyetleri ile birlikte düşük üretkenliğe sahiptir; bu dıurum bazı avantajların sıklıkla dengelenmesi anlamına gelmektedir. [60]



Şekil 2.38: Çin Çinko Maden Üretimi Operasyonel Maliyet Gösterimi [60].

İşgücü maliyeti: Çin çinko madenlerindeki ücretlerin dünya ortalamasının %80'inden daha düşük olduğu tahmin edilmektedir. Bununla birlikte, bu fayda, düşük verimlilik oranı ile büyük ölçüde dengelenmektedir.

Sarf malzemelerinin ve hizmetlerin maliyeti: Çin'in köklü bir madencilik endüstrisi mevcuttur. Sarf malzemelerinin çoğu, madencilik ekipmanları, lastikler, patlayıcılar, reaktifler ve öğütme ortamları dahil olmak üzere yerel tedarikçilerden elde edilir. Madencilik girdilerinin düşük maliyetli olması, madencilik müteahitlerinin projeleri daha düşük bedellerle ihaleye çıkarmasını sağlar.

Navlun maliyeti: Tüm konsantre yerel ev sahiplerine satıldığı için nakliye navlun bedeli yoktur. Metal izabe tesislerinin madenlere yakınlığı ve düşük kara taşımacılığı bedelleri düşük bir navlun maliyeti oluşturmaktadır.

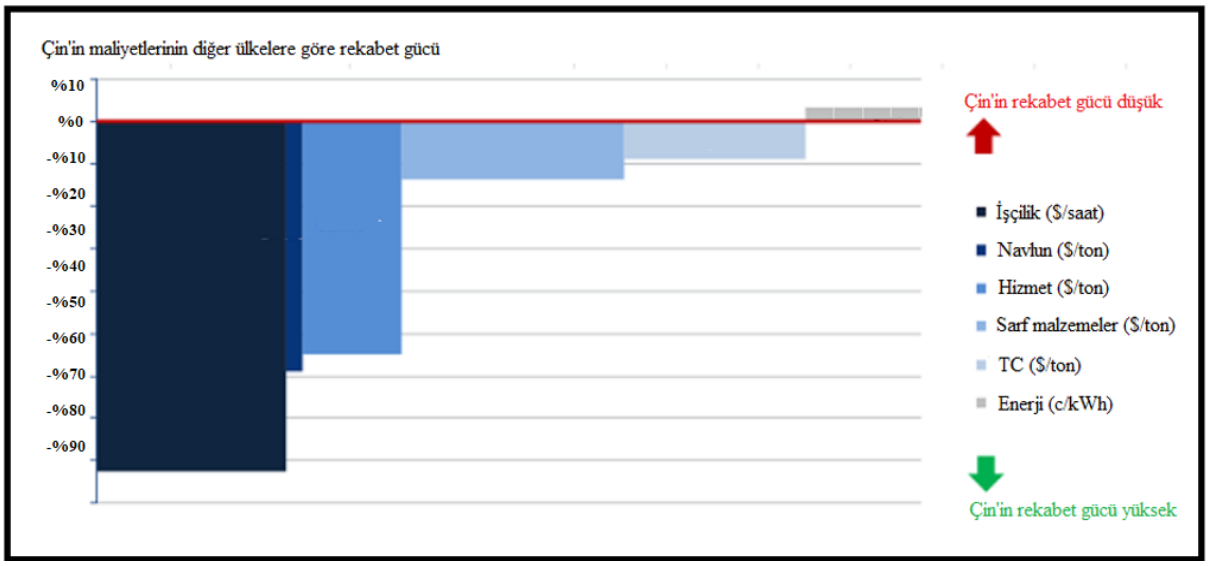
Konsantrelerin çoğunluğu yakındaki metal eriticilere ulaştırılarak kısa bir navlun mesafesi elde edilir. Örneğin, İç Moğolistan'da çok miktarda yerel konsantre tüketen tesis mevcuttur. Yurtiçi navlun oranı nispeten ucuzdur. 2016 yılında, Çin'in çinko madenlerinin nakliye maliyeti ortalama 24 USD/ton idi. Çin dışındaki çinko madenlerinin deniz navlun maliyeti ise yaklaşık 58 USD/ton olarak belirtilmekteydi.

Çin'in çinko madenleri aşağıdaki alanlarda ise daha az rekabetçidir;

Döviz kurları: Çin Yuanı (Renminbi) geçtiğimiz birkaç yıl içinde nispeten güçlü seyrederken, diğer üretici ülkeler para birimlerinde deflasyon yaşadı. Dalganan para birimi maliyetleri etkilemektedir.

Enerji maliyeti: Çin'in enerji fiyatı 7.6c / kWh ile küresel ortalamanın %3 üzerindedir. Bununla birlikte, hükümet güç sektörü reformlarını ilerlettiği için bu durum toplamda maliyete daha düşükyansımaktadır. [60]

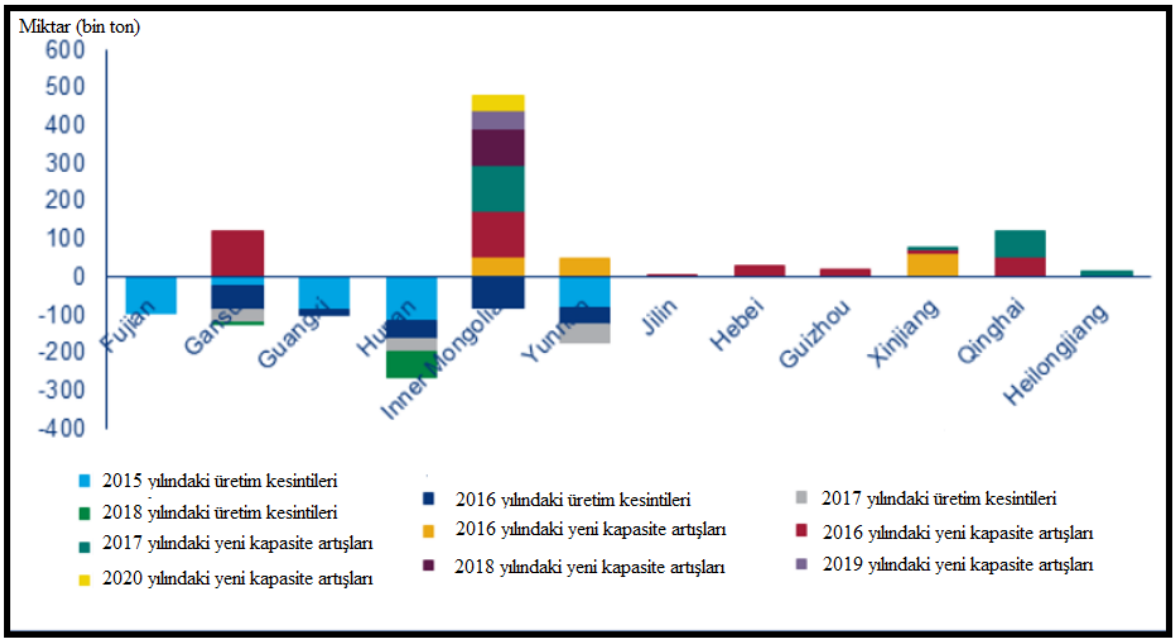
Tüm bu etkiler Şekil 2.39'da gösterilmiştir.



Şekil 2.39: Çin'in Maliyetlerinin Diğer Ülkelere Göre Rekabet Gücü [60].

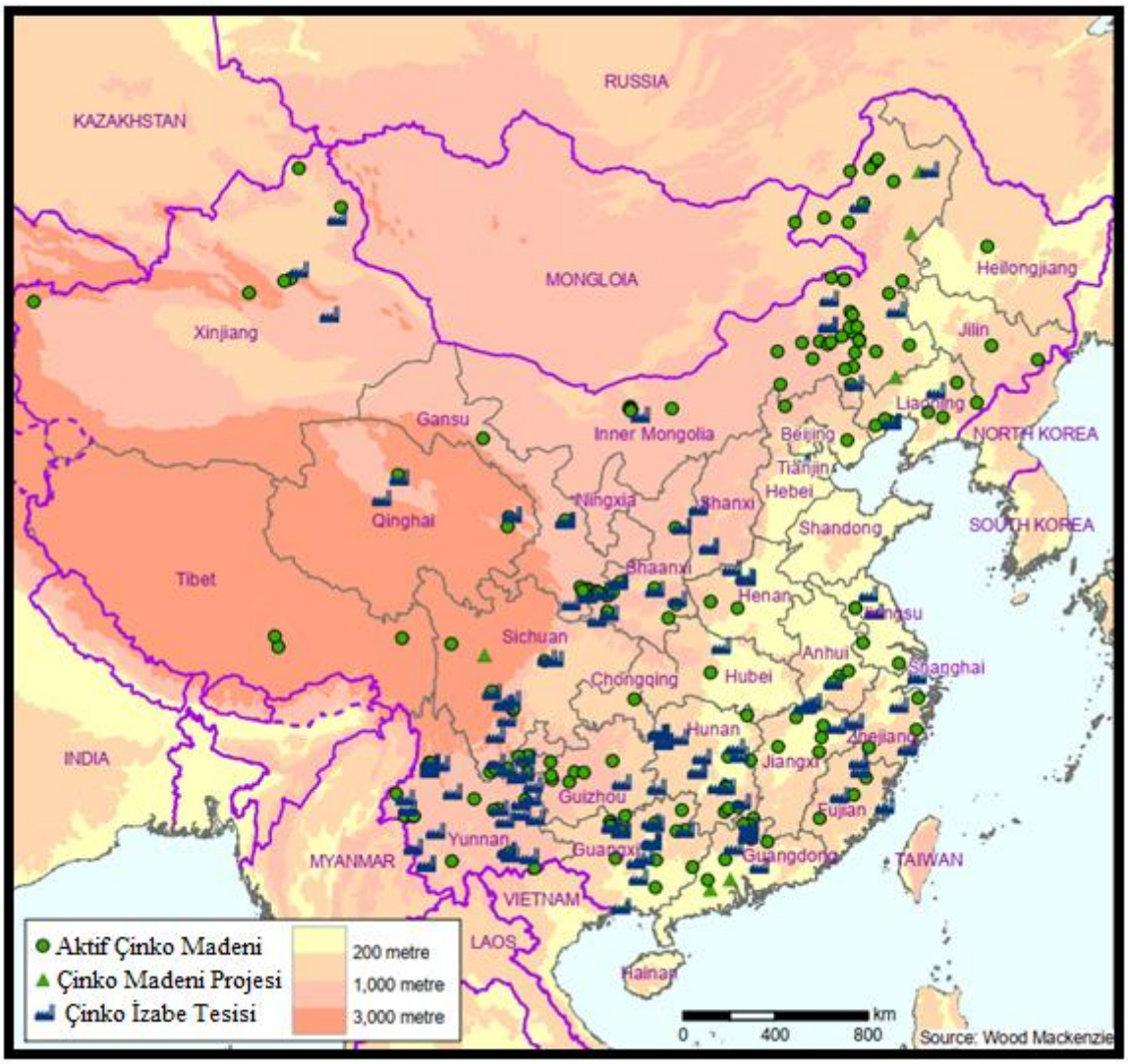
Çin makamları, 2015'ten beri çinko madenciliği konusunda giderek daha sert bir duruş sergilemektedir. Düşük metal fiyatları ile birlikte yapılan sıkı denetimler, uygulamaların daha fazla hissedilmesine neden olmuş; 2014 yılıyla birlikte geniş çaplı maden kapanmaları gerçekleşmiştir. Diğer taraftan, çevre ve güvenlik standartları işletme izinlerinin askıya alınma riskini de arttırdı. Denetimler özellikle madencilik ve öğütme kapasitesi, atık havuzu tasarımı,

patlayıcı maddelerin depolanması ve kullanılması, güvenlik tesisleri ve deşarj edilmiş su üzerine odaklanmıştır.



Şekil 2.40: Çin'deki bölgesel üretim kesintileri ve yeni kapasite durumu [60].

Şekil 2.40'da bölgesel dağılımı verilen Çin üretim kesintileri çerçevesinde, 2015 yılında 400.000 ton çinko maden üretim tesisinin kapatıldığı tahmin edilmektedir. Yetkililer, 2015'ten sonra bir süre daha sıkı çevre ve güvenlik denetimi turu başlattı. 2016 yılında 250.000 ton ve 2017 yılında ise 115.000 ton çinko üretim kaybına neden olacak uygun olmayan madenleri kapattı. Hunan eyaletindeki Huayuan ilçesinde, bölgedeki 162 konsantre üreticisi daha katı çevre düzenlemeleri nedeniyle 2018'in başında kapatıldı. Huayuan'daki çinko madeni üretiminin 2017'den 2018'de 70.000 ton düştüğü tahmin ediliyor. [60,61]

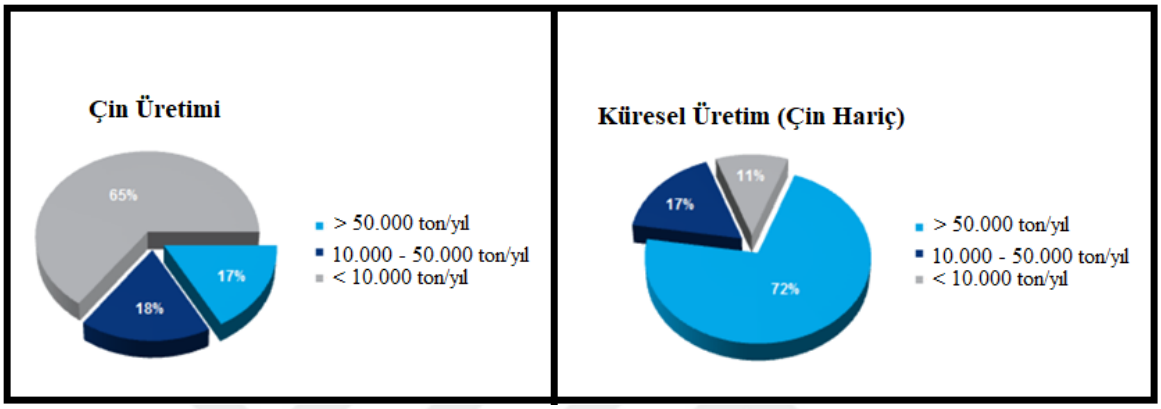


Şekil 2.41: Çin'deki Çinko Madeni ve İzabe Tesisleri [62].

Şekilde 2.41'de belirtilen, Çin'in çinko madenleri çeşitli bölgelere dağılmakla beraber çoğunlukla birkaç bölgede yoğunlaşmıştır Çinko üretimin büyük kısmı dört eyalette yapılmaktadır. Genel olarak, altı önemli metalojenik bölge vardır: İç Moğolistan, Çin'de çinko üretimine öncülük ediyor. İç Moğolistan, Çin üretiminin yaklaşık %29'unu ve küresel üretimin %11'ini oluşturan Çin'deki en büyük üreticisidir. Yunnan, Çin'in üretiminin yaklaşık %14'ünü oluşturan ikinci büyük üreticidir. Diğer büyük üreticiler Hunan, Guangxi, Sichuan, Shaanxi ve Gansu. Bu yedi özerk bölgeler veya eyaletler Çin'in üretiminin neredeyse %80'ine katkıda bulunuyor. [62,63]

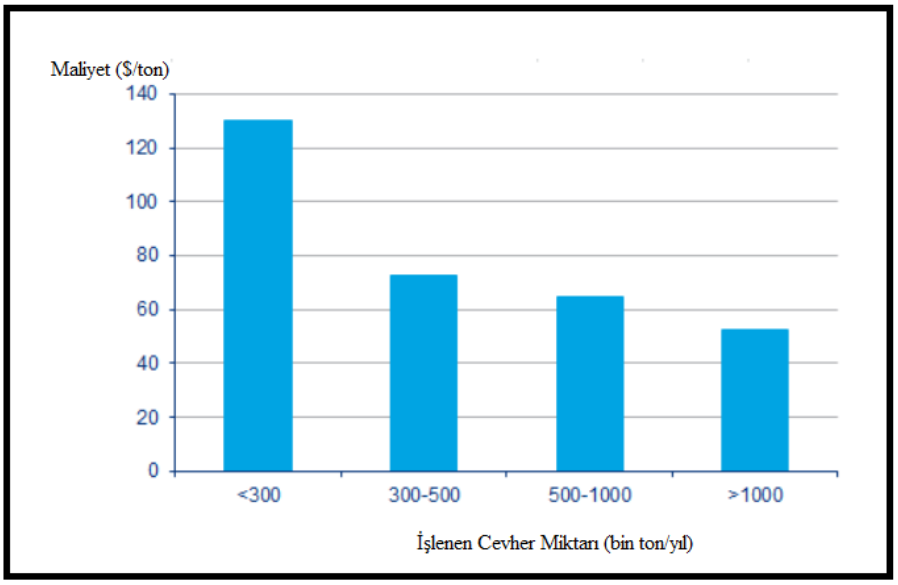
Çin dışındaki madenlerin ortalama 60.000 ton/yıl çinko konsantre üretim kapasiteleri oldukları bilinmektedir. Çin'deki ortalama maden üretimi bu seviyenin oldukça altındadır. Çin üretiminin

üçte ikisini 10.000 ton/yıldan daha az üretim yapan madenler oluşturmaktadır. Buna karşılık, 10.000 ton/yıldan daha fazla üretimi olan madenler, Çin dışındaki üretimin çoğuna katkıda bulunmaktadır. Çin'de daha sıkı çevresel düzenlemeler ve güvenlik teftişleri ile küçük çaplı madenlerde üretim giderek azalmaktadır. Artık, 50.000 ton/yıldan daha büyük ölçekli madenlerde üretim ağırlık kazanmaya başlamıştır.



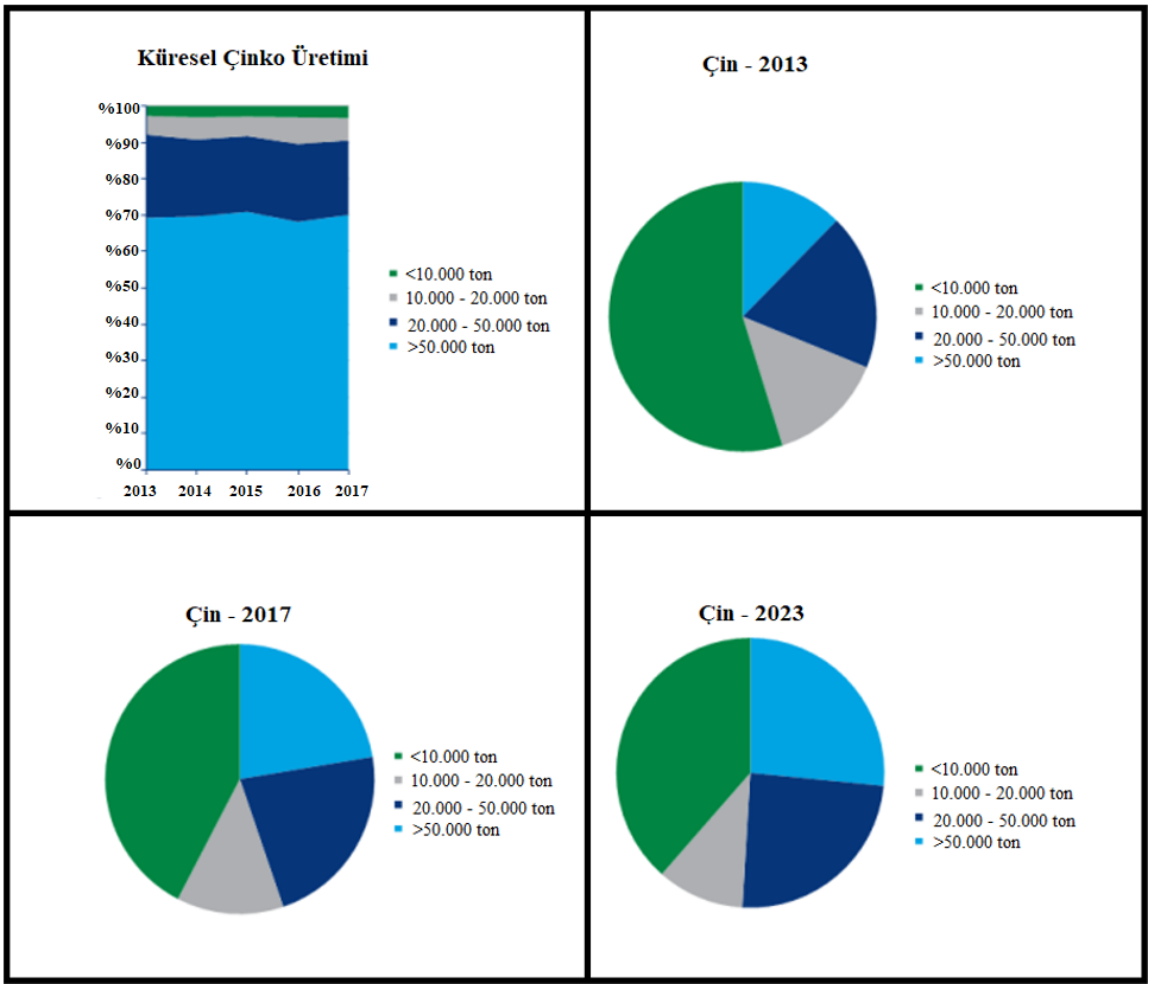
Şekil 2.42: Çin ve Çin dışındaki çinko madenlerinin büyüklük dağılımı [63].

300.000 ton/yıldan daha düşük cevher verimi olan madenlerin maliyeti 1.000.000 ton/yıldan büyük olanların iki katından fazladır. Çin ve Çin hariç çinko madenlerinin büyüklük dağılımı Şekil 2.42'te ve ekonomik boyutu ise Şekil 2.43'te belirtilmiştir.



Şekil 2.43: Çin dışındaki çinko madenlerinin büyüklüğüne göre maliyet yapısı [63].

Ruhsat ve mülkiyet yapısı nedeniyle Çin'de işletme ölçeği sıklıkla azalmaktadır (Şekil 2.44'te gösterilmiştir). Tek bir cevher bölgesinde birden fazla şirket tarafından madencilik yapılması yaygındır, bu da daha düşük bir ortalama ölçek içerisinde çalışmaya neden olmaktadır. Bayannur'da büyük bir çinko cevher birikimi olan Dongshengmiao'da, üç şirket, dört operasyon yürütmektedir. [60-64]



Şekil 2.44: Çin dışındaki çinko madenlerinin büyüklüğüne göre maliyet yapısı [63].

Çin madenlerinin bir başka özelliği de, birkaç büyük maden haricinde, çoğu yeraltı operasyonları olmasıdır. Ayrıca, çevresel ve güvenlik sorunları vardır. Yıllık çalışma günlerinin sayısı Çin'in çinko madenlerine göre değişmektedir. Ortalama olarak, Çin'de bir maden yılda 330 gün çalışmaktadır. Bununla birlikte, İç Moğolistan, Batı Sichuan ve Tibet gibi bazı yüksek irtifa ve yüksek enlem bölgelerinde, iklim çalışma günlerinin sayısını etkileyebilir. Bu bölgelerde, kışın sıcaklık -30 derecenin altına düşebilir ve bu da madenlerin çalışmasını zorlaştırabilir. Bu soğuk hava bölgelerinde, madenler genellikle yılda 300 gün, bazı aşırı

durumlarda ise 270 gün veya daha az süre ile çalışırlar. Sonuç olarak, kışın faaliyetlerini askıya alan bazı mayınlardan dolayı, Kuzey Çin'deki konsantre arzı da etkileniyor. Bu durumda, kuzeydeki eriticiler genellikle üretim tesislerine besleyecekleri konsantreleri netleştirmek için konsantre stoklarını kış mevsiminden önce oluşturmak zorundadır. [60-64]

Son zamanlarda, soğuk bölgelerdeki bazı büyük madenlerde, yılda 330 gün çalışabilmesi için ısıtma sistemleri kurulmuştur. Isıtma sistemleri, hem yatırım maliyetini hem de işletme maliyetlerini arttırsalar da, madenlerin ve kışlık konsantre arzın genel karlılığını arttırmaktadır. TC İşleme Ücreti (Treatment Charge) ve Rafinasyon Ücreti (Refining Charge). TC, izabe tesislerinin konsantre işleme masraflarına istinaden, konsantre temininde satıcılardan kuru ton başına yaptıkları kesinti tutarıdır. RC ise konsantre içinde ödenebilir kıymetli metal var ise buna karşılık onz başına yapılan kesintidir. TC, konsantre piyasasındaki arz ve talep ilişkisini yansıttığından, maden üreticileri için çok önemli bir parametredir. TC, Çin'de küresel piyasadan biraz daha farklı olarak fiyatlanmaktadır. Standart olarak konsantrenin %50 çinko içerdiğini varsayalım. Küresel piyasalarda, tipik bir TC hesaplaması, vergi hariç bir taban çinko fiyatı üzerinden $/t başına baz bir TC ve %85 ödenebilir metal miktarı parametrelerinden oluşacaktır. Fiyata göre belirlenmiş Escalator (üst limit) ve Desclatör (alt limit) farklı fiyat aralıklarına göre de etkisi gerçekleşir. Örneğin, 2016 yıllık benchmark (sözleşme koşulları karşılaştırma değeri) TC değeri, 2000$/ton fiyatı baz alarak, 203 $/ton olmuştur. Fiyat katılım faktörü (deskalatör) 1500-2000 $/ton için %-3, fiyat katılım faktörü (eskalatör) 2000-2500 $/ton için %9, 2500-3000 $/ton için %8 ve 3000-3500 $/ton için %8 olarak belirlenmişti. Çinko fiyatı 2.700 $/ton için TC; 203 + 500*%9 + 200*%8 = 264 $/ton olur. Çin'de ise uygulama biraz daha farklı, yurtiçinde TC hesaplaması vergi dahil bir taban çinko fiyatı üzerinden RMB/ton başına baz bir TC ve %100 ödenebilir metal miktarı parametrelerinden oluşmaktadır. Baz fiyat genellikle 15.000 RMB/ton çinkodur ve fiyat katılım faktörü %20 olarak sabitlenmiştir. Örneğin, 20.000 RMB/ton çinko fiyatıyla 5,300 RMB/ton temel TC hesaplaması için gerçekleştirilen TC, 5,300+ (20,000-15,000) *% 20 = 6,300 RMB /ton çinko olmaktadır. Çin yerel para biriminin rakamsal olarak daha büyük olması nedeniyle, Eskalatör ve deskalatör fiyat katılım etkisinin daha fazla gerçekleştiği açıktır. Wood Mackenzie analistleri Çin içindeki ve dışındaki çinko madenleri için TC'nin maliyetini eşdeğer TC'yi karşılaştırabilmek adına, $/ ton konsantre olarak hesaplıyorlar. Bir Çince terimin eşdeğer TC'sini küresel bir terim altında hesaplarsak, aşağıdaki formül kullanılabilir (KDV hariç hesaplanır):

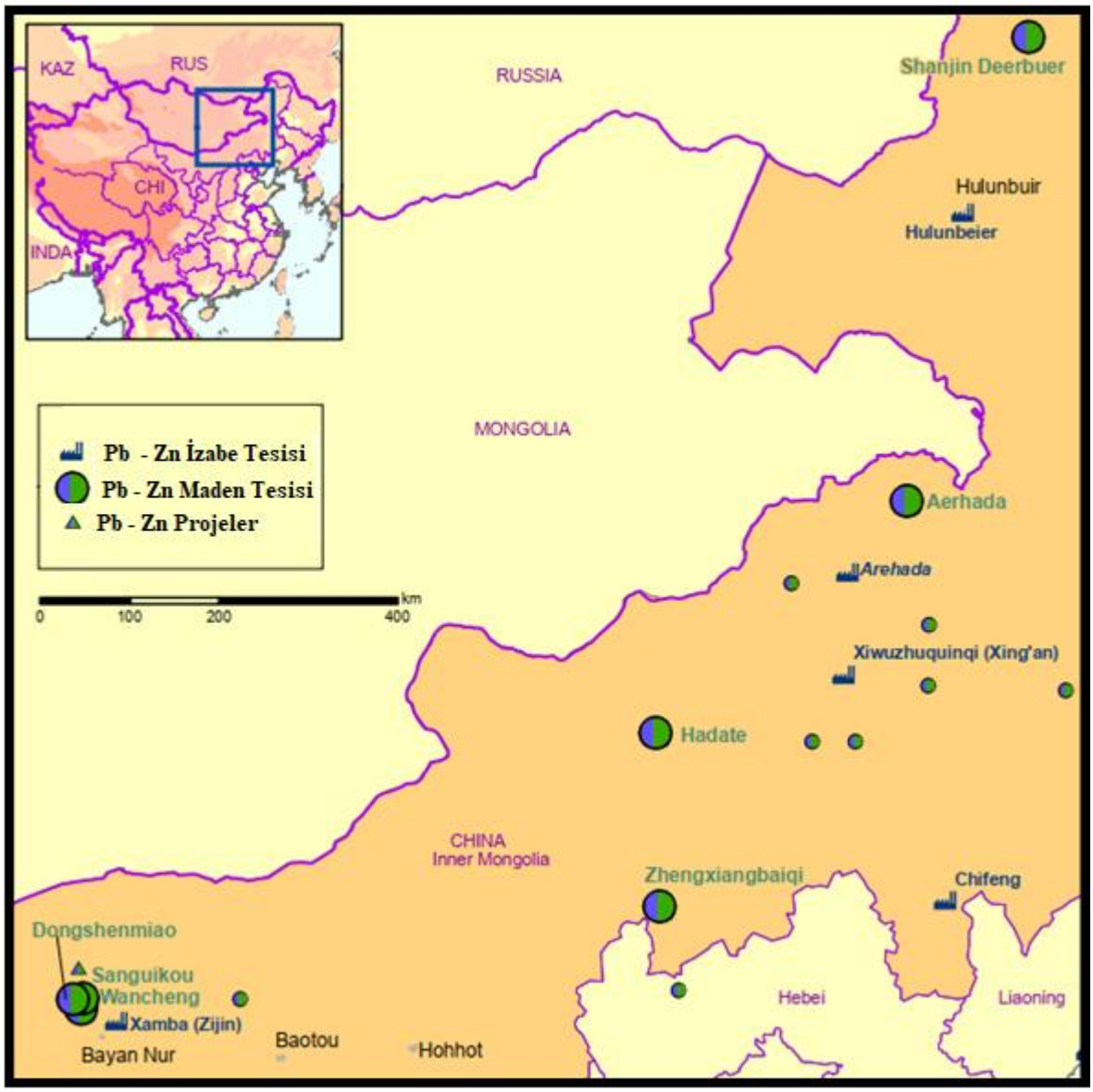
(SHFE çinko fiyatı *% 50 - gerçekleşen TC *% 50) - (SHFE çinko fiyatı *% 50 *% 85) = eşdeğer TC / t konsantre. Çoğu küresel maden, tedarik edeceği konsantreleri küresel referans TC (Benchmark) şartlarına göre satmaktadır. Çin madenleri yerel TC üzerinden ticaret yapmaktadır. Küresel madenleri, son birkaç yılda Çin madenlerinden daha yüksek bir TC bedeli ödemek durumunda kaldı. Çin'in yerel TC ücreti ile ithalat TC'si arasındaki fark önemli olabilir. Özellikle Çin'li izabe tesisi üreticilerinin değerleri karşılaştırması açısından, Çin'in yerel TC ücreti ve ithal spot TC'yi karşılaştırmak için, yerli TC'yi ödenebilirliği ve fiyat arbitrajını içeren ve vergiyi içermeyen ithal spot eşdeğerine dönüştürebiliriz. Eşdeğer TC: (SHFE çinko fiyatı *% 50 - gerçekleşen TC *% 50) = (LME çinko fiyatı *% 50 *% 85 - eşdeğer TC) * (1 +% 17) Eşdeğer TC, ithal edilen spot TC'den daha yüksekse, yerel konsantreler izabe tesisleri için daha uygundur. Bu durumun tersi de geçerlidir. [63-64]

2015 yılında, Çin dışından gelen yeterli tedarik nedeniyle, ithal edilen TC'nin izabe tesislerinin değeri, yerel TC'den %10 daha yüksekti. Sonuç olarak, Çinli izabe tesisleri mümkün olduğunca çok ithal konsantre tüketiyordu. Çin'in İç Moğolistan eyaletindeki izabe tesisleri, ithal edilen konsantreleri almak için kara navlununa daha fazla ödeme yapmak zorunda kalmalarına rağmen entegre olmayan madenlerden herhangi bir yerel konsantre almıyorlardı. Bu durum 2016 yılında, ithal konsantre arzının sıkılaşmasıyla değişti, ithal TC düştü, bu nedenle Çinli izabe tesislerinin çoğu ithal konsantre almak istemiyordu. 2016 yılında, bazı kıyı izabe tesisleri, 2015'te olduğu gibi ithal konsantre kullanmak yerine yerel konsantre satın almak için iç bölgelere gitti. 2016 yılının 4. çeyreğinde ithal edilen spot TC, yerli eşdeğer TC'ye kıyasla 144 $/ton konsantre 50 $/ton konsantre oldu. Çin'deki ağırlıklı olarak küçük madenlerden kaynaklanan ölçek ekonomilerinin olmamasına rağmen, düşük işgücü ücretleri, sarf malzemeleri ve hizmet maliyetleri, Çin'in madencilik sektörünün bir bütün olarak küresel bağlamda rekabetçi kalması anlamına geliyor. Bununla birlikte, yakın zamana kadar, sektör için çevresel uyum sorunları dünyanın başka yerlerinde olduğu kadar katı değildi. [63-64]

Çinli yetkililer artık çevre ve güvenlik düzenlemelerinin uygulanmasına odaklandığından, sektör potansiyel bir maliyet artışıyla karşı karşıya. Bununla birlikte, düzenlemeler aynı zamanda sektörde bir rasyonalizasyon ve modernizasyon sürecini başlatabilir ve bu da muhtemelen Çin çinko madenlerinin ölçek ve üretkenlik açısından büyümesiyle sonuçlanacaktır. [63-64]

2.3.1.1. İç Moğolistan Bölgesi

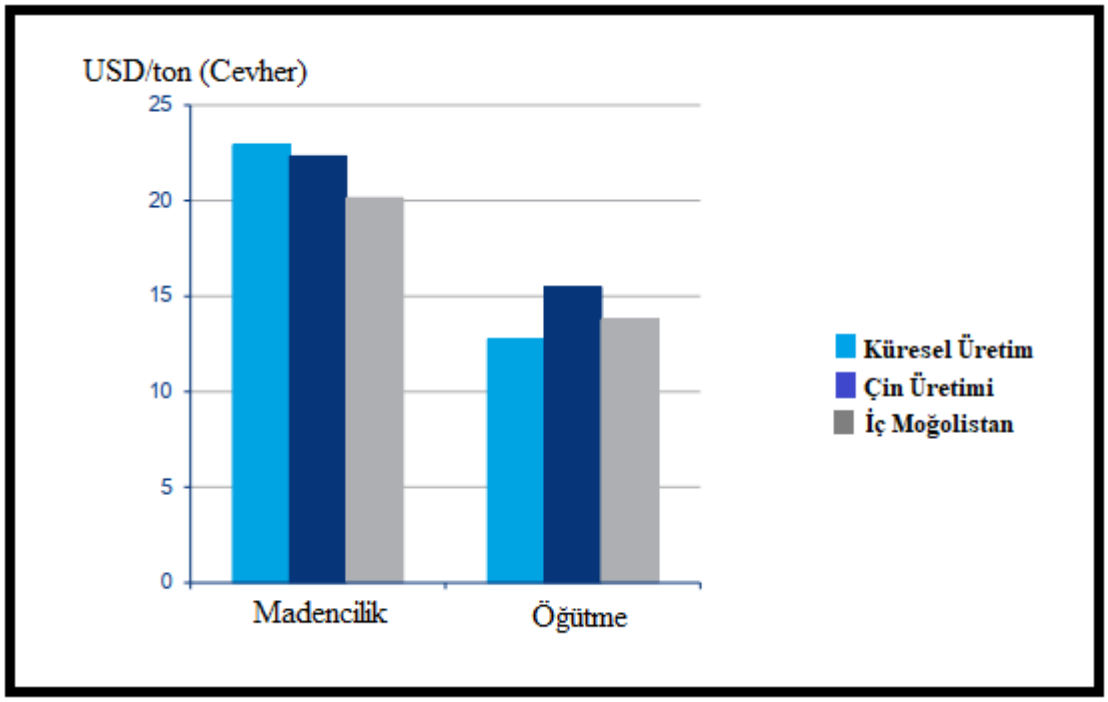
Çin'in en büyük çinko cevher üretim bölgesi olan ve Şekil 2.45'te gösterilen, İç Moğolistan eyaletinde, ortalama madencilik faaliyetleri 20 $/ton cevher işleme, yaklaşık 14 $/ton öğütme maliyeti ve 6 $/ton genel ve idari giderler olarak toplamda 40 $/ton olarak hesaplanmaktadır ve Şekil 2.46'ta gösterilmektedir. [62]



Şekil 2.45: Çin'in İç Moğolistan Eyaletindeki Kurşun - Çinko Maden ve İzabe Tesisleri [62].

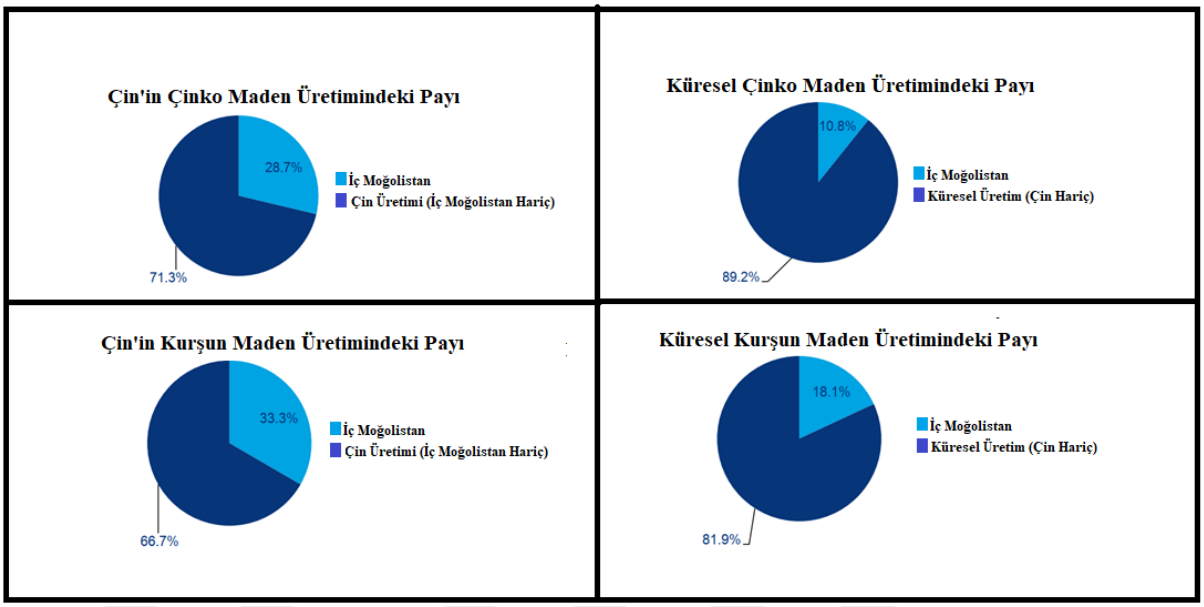
Şekil 2.45'te lokasyonları verilen İç Moğolistan bölgesinde kurşun ve çinko madenleri, soğuk iklim şartları dolayısıyla faaliyetlerini sınırlı günlerde gösterebilmektedir. Maden sahalarının bölgelerine ve operasyonel kabiliyetlerine bağlı olarak çalışma günlerinin sayısı 200 ile 330

arasında değişmekte olup, yıllık ortalama 270 gündür. Bu rakam, Çin'in başka yerlerindeki madenlerin faaliyet gösterdiği yıllık 349 günden %23 daha düşüktür. Madenlerin kış mevsiminde kapanmalarına rağmen, işçilere düzenli ödeme yapıldığından, bazı madenler, tüm yıl boyunca çalışabilecekleri ısıtma sistemleri kurmayı düşünmektedirler. Isıtma sistemlerinin kurma ve çalıştırma maliyeti yüksek olmadığından, çalışma günleri yılda 270'ten 349'a çıkarılabilirse, ham cevher üretiminde % 30'luk bir artışa neden olabilir. [62]



Şekil 2.46: Küresel, Çin ve İç Moğolistan Eyaletindeki Kurşun - Çinko Madencilik ve Öğütme Maliyetlerinin Karşılaştırılması [62].

Yılda çalışılabilen iş günlerinin artması ve teknik sorunların azalmasıyla, çinko konsantre üretimininde artış beklenmektedir. Ayrıca, yapım aşamasında olan veya yakın zamanda onayı alınan greenfield projeler bulunmaktadır. Tüm bu projelerin hayata geçirilmesiyle birlikte, Şekil 2.47'de belirtilen, İç Moğolistan bölgesindeki çinko ve kurşun üretiminin daha da artması beklenmektedir. Halihazırdaki konsantre üretimini, lokal izabe tesisleri kullanmaktadır. [62]

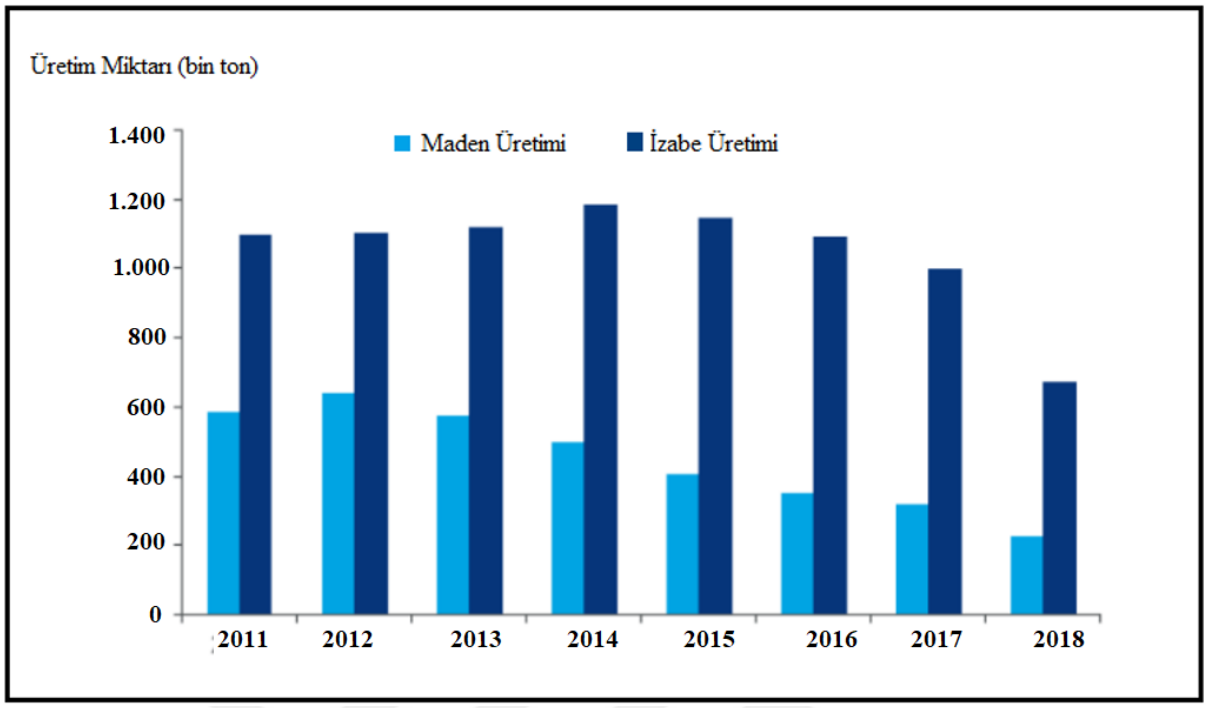


Şekil 2.47: Çin'in İç Moğolistan Eyaletindeki Kurşun - Çinko Maden Metal Üretiminin Payı [62].

2.3.1.2. Hunan Bölgesi

Hunan bölgesi, yaklaşık 1.1 milyon tonluk çinko izabe tesisi kapasitesiyle, 2016 yılına kadar Çin'in en büyük çinko külçe üretim bölgesiydi. Çin üretiminin yaklaşık %20'sini tek başına karşılıyordu. Buna rağmen 2014 yılına kadar Hunan eyaletinin çinko maden üretimi, çinko külçe üretiminden %50 daha az olmuştur. Eyaletteki çinko izabe tesisleri hammadde ihtiyaçlarını diğer illerden ya da diğer ülkelerden tedarik etmek durumunda kalmıştır. 2015 yılında başlayan çevresel regülasyonlar ve sıkı denetimler bölgedeki çinko izabe tesislerinin üretimlerini aşağıya çekmiştir.

2018 yılında Hunan bölgesindeki çinko külçe üretim miktarı %12 daha düşmüştür. Bu yüzden, ilk sıradaki olan konumunu kaybederek, üçüncü sıraya kadar gerilemiştir. Ayrıca, bölgedeki çinko maden üretimi de 225 bin ton düşüşle (2012 yılındaki en yüksek seviyesi 415 bin tondu) beşincilikten, sekizinciliğe gerilemesine yol açmıştır. [63]



Şekil 2.48: Çin'in Hunan Bölgesinde Çinko Maden ve Metal Üretimi [63].

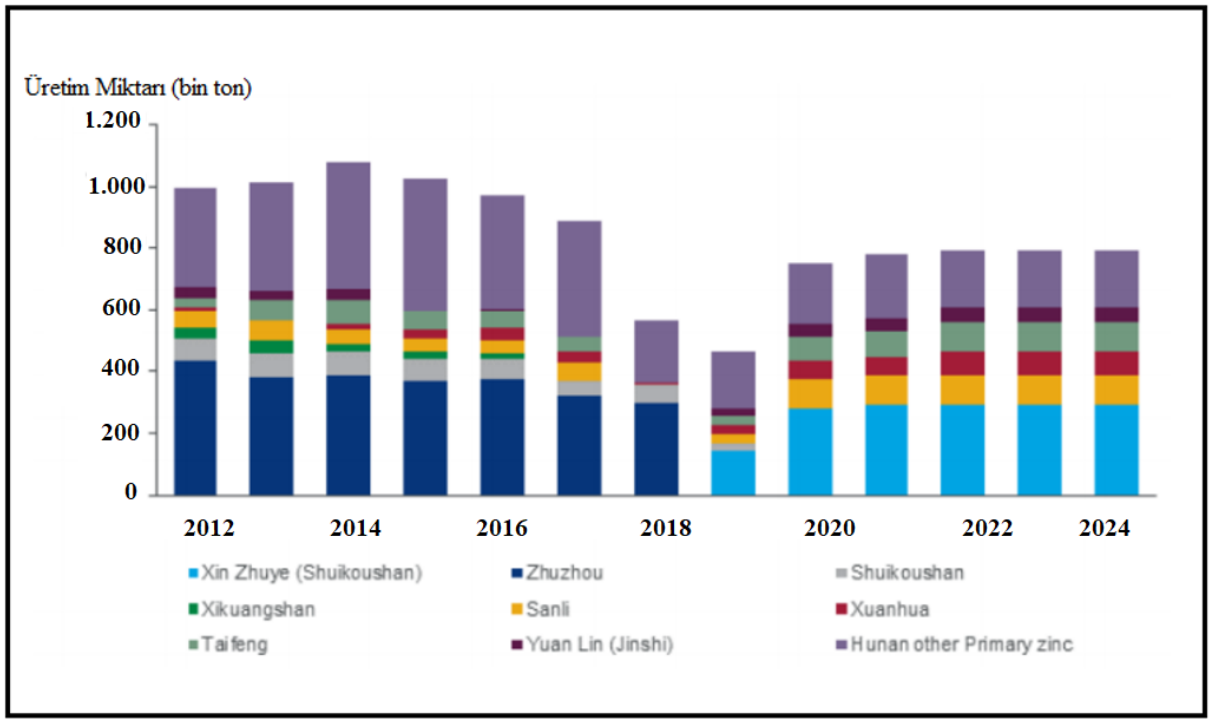
Çevresel regülasyonlar dolayısıyla üretim tesislerinde yapılan bakım ve iyileştirme çalışmalarının bitmesiyle, 2019 ve 2020 yıllarında Hunan bölgesinin çinko metal külçe üretimi yeniden ilk veya ikinci sıraya, maden üretimiyse beşinci sıraya gelmesi öngörülmektedir. Ayrıca bazı tesislerin kapasite arttırma planları da mevcuttur. Hunan bölgesindeki ikincil hammaddelerle üretim yapan ergitme tesisleri de mevcuttur. Ortalama kapasiteleri yaklaşık 50 bin ton/yıl olan tesisler, toplam Çin üretiminin yaklaşık üçte birini bu bölgeden yapmaktadır.

Çin Doğal Kaynaklar Bakanlığı'nın verilerine göre, Hunan eyaletindeki çinko mineral rezervleri 2016 yılında 0,7 milyon ton olarak açıklandı. Çin'in toplam rezervlerinin sadece %1,6'sını oluşturmaktadır. İç Moğolistan'da 14.5 milyon ton çinko ve Yunnan eyaletinde 9.8 milyon ton çinko içeren rezervler olduğundan, Hunan'ın rezervleri, bu bölgelere göre oldukça azdıe. Hunan eyaletinin sınırlı rezervleri, lider bir çinko konsantresi üreticisi olmasını engellemektedir. Bununla birlikte, Hunan ülkedeki en üst düzey çinko izabe üreticileri arasında yer aldığından, izabe tesislerinin diğer illerden ve dünyanın geri kalanından daha fazla hammadde sağlaması gerekmektedir

Hunan bölgesinde hem devlete hem de özel sektöre ait maden sahaları bulunmaktadır. Prosedürlere uygun üretim yapmayan Huayuan ilindeki yetkisiz ve özel sekttöre ait öğütme

tesislerinin kapatılmasının etkisiyle, Hunan bölgesindeki çinko maden üretimi 2017 senesinde 317 bin ton iken, 2018 senesinde 225 bin ton olarak gerçekleşmiştir. [63]

Önümüzdeki beş yıl boyunca, Hunan'daki çinko madeni üretiminin Huayuan ilçesinde çevresel regülasyonlara uyumlu öğütme tesislerinin devreye alınmasıyla istikrarlı bir şekilde artması beklenmektedir. Buna ek olarak, Huayuan ilinde gelişmemiş büyük kaynaklar var. Eğer madencilik faaliyetleri bu alanları hedeflemeye başlarsa daha fazla üretime katkıda bulunabilir



Şekil 2.49: Çin'in Hunan Bölgesindeki Çinko İzabe Tesisleri [63].

2019 yılında Hunan eyaletindeki birincil çinko üretim kapasitesi 1.1 milyon ton/yıl civarındadır. 1.1 milyon tonluk bu kapasite, 2016-2018 yılları arasında irili ufaklı izabe tesislerinde önemli kapasite kayıplarına neden olan devam eden çevresel baskılara rağmen Çin'deki ikinci en yüksek bölgeyi oluşturur . 2016 sonunda 40 bin ton/yıl, Xikuangshan, 2018 sonunda 450 bin ton/yıl Zhuzhou ve Mayıs 2019'da 90 bin ton/yıl Shuikoushan izabe tesisleri kapanmışlardır. Minmetals'e ait olan ve kısmen çevresel sorunlar kısmen de firma stratejisi nedeniyle kapatılan bu üç izabe tesisi de önemli etki yaratmıştır. Ayrıca, Huaihua ve Xinagxi illerindeki küçük izabe tesisleri de çevresel sıkıntılar nedeniyle kapanmışlardır. 2016 – 2018 yılları arasında 100 bin ton/yıllık üretim azalmasına yol açmışlardır. Hunan eyaletindeki tesislerin, sektördeki çevresel ve prosedürsel uyumları tamamlanmasından ve yetkisiz tesislerin

kapatılmış olmasından dolayı, çinko metal üretim miktarının önümüzdeki 10 yıl boyunca 1 milyon ton/yıl civarında seyretmesi beklenmektedir. [63]

Yıllık 300 bin ton kapasiteli Zhuzhou izabe tesisinin kapatılmasından sonra Xiangxi ve Hengyang birincil çinko üretimi için Hunan'da iki büyük bölge haline geldi. Xiangxi, her biri 90-105 bin ton/yıl kapasiteli üç orta ölçekli izabe tesisine sahiptir ve Hengyang'ın ise 300 bin ton/yıl kapasiteli Xin Zhuye (Shuikoushan) adlı büyük bir izabe tesisi vardır. Hunan eyaletindeki birincil çinko üretimi, 2017'de 897 bin ton/yıldan, 2017'de 575 bin ton/yıl seviyelerine düşmüştür. Bu süreçte Xiangxi'deki 90 bin ton/yıl kapasiteli Xuanhua, 105 bin ton/yıl kapasiteli Taifeng ve 105 bin ton/yıl kapasiteli Sanli izabe tesislerinde üretim bir yıl boyunca askıya alınmıştı. Taifeng, Sanli ve Xuanhua izabe tesislerinde üretim 2019 yılında yeniden başlamıştır. Üretimdeki dönemsel kesintilerin sebebiyse, bölgedeki yerel madenlerin kapanması neticesinde oluşan çinko konsantresi eksikliği olmuştu.

Zhuzhou izabe tesisinin kapanmasından sonra 2019 yılından itibaren bölgedeki üretimin temel parçası Xin Zhuye (Shuikoushan) izabe tesisidir. Xin Zhuye'de % 63.31 oranında Minmetals'e ait olup, bu süreçte yapılan iyileştirmelerle yıllık 300 bin ton kapasiteye sahiptir. Xin Zhuye izabe tesisinin toplam kapasitesinin, 180 bin tonu galvaniz alaşımı için, 120 bin tonu ise özel yüksek alaşımlı (Special High Grade) çinko üretimi içindir. Galvanizleme alaşımı doğrudan katot çinkodan üretilmektedir ve müşteri ihtiyacına göre istenilen kalite ve boyutta külçe dökülebilmektedir. Hunan, Çin'de önemli ikincil çinko üreten eyalettir. Bölgedeki beş ikincil çinko izabe tesisi 2019 yılında toplam 180 bin ton/yıl çinko üretim kapasitesine sahiptir. Kurşun ve bakır izabe tesislerinden ve çelik fabrikalarından satın alınan çinko oksit temel hammadde kaynaklarıdır. Hunan'ın ikincil izabe tesisleri çevresel regülasyonlar çerçevesinde üretim yaptıklarından ancak %56 kapasitelerini kullanabilmektedirler. 2018 yılında bölgedeki toplam ikincil çinko üretimi yıllık 100 bin olmuştur.

İkincil çinko üretiminin 2019 yılında daha yüksek kar marjıyla yaklaşık 130-140 bin ton/yıl seviyesine ulaşacanı tahmin edilmektedir. 2018'de, birincil çinko izabe tesisleri, çinko konsantresi sıkıntısını karşılamak için ham çinko oksit almak zorunda kaldı. Bu, ikincil çinko izabe tesislerinde, hammadde tedarik zincirini zorlaştırdı ve kar marjlarını daralttı. 2019 yılında artan çinko konsantresi arzı ile birincil çinko izabe tesisleri, ham çinko oksit alımlarını azaltmıştır, bu nedenle ikincil çinko izabe tesisleri, üretimleri için hammaddeyi daha kolay elde edebilmektedir. İkincil çinko izabe tesisleri hammadde fiyatının daha düşük olması nedeniyle

çinko konsantresini işleyen, birincil izabe tesislerinden çok daha yüksek kar marjlarına sahiptir. [63]

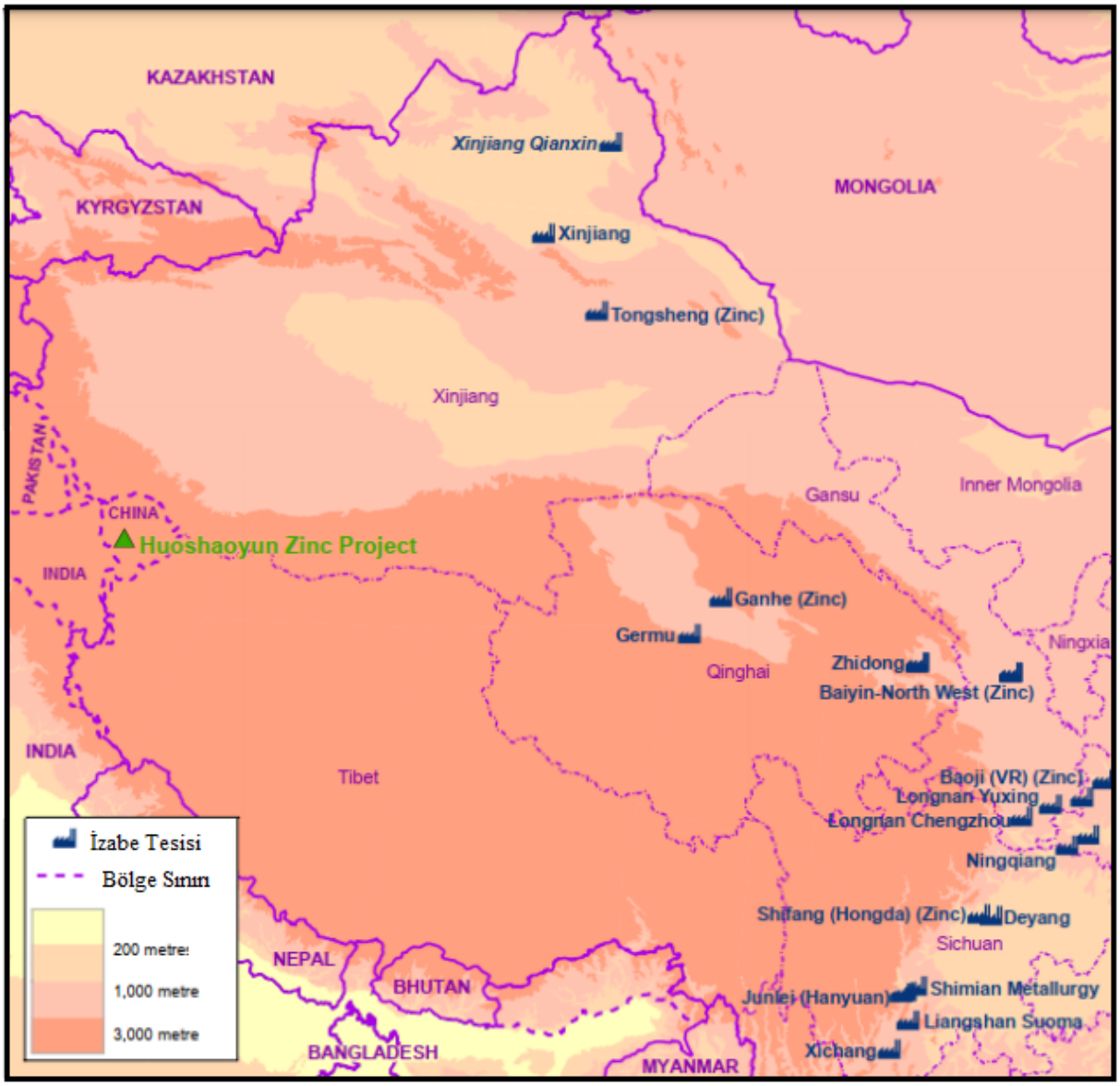
Oksitli ikincil hammaddelerin daha düşük fiyatının bir sebebi de, geleneksel RLE (kavurma-liç-elektroliz) işlemi ile bertarafı zor olan, elektroliz ekipmanına zarar ve çevreye zarar verebilecek daha yüksek florür ve klorür içermesidir. Bununla birlikte, ikincil izabe tesislerinin normal olarak florür ve klorürü çıkarmak için kendi tesisleri vardır, böylece ikincil malzemelerin daha düşük fiyatlarının avantajını sürebilmektedirler. Tipik olarak, %50 çinko içeriğine sahip ikincil malzemeler için, alıcılar yalnızca çinkonun %55'ini ödemektedirler. Buna karşılık, Çin yerel çinko konsantresinin aynı çinko içeriği için, çinkonun en az %62.5'i yani 6.500 RMB /ton Zn TC ücreti ve 20.000 RMB / ton çinko fiyatı temelinde fiyatlandırılıyor. Yüksek kar marjlarına rağmen, Hunan ikincil çinko kapasitesini önümüzdeki yıllarda mevcut 180 bin ton/yıl seviyelerinin üzerine çıkaramayacak gibi görünmektedir. İzabe tesislerinin birçoğu, ünlü bir turistik cazibe merkezinin yakınında yoğunlaşmaktadır, bu nedenle yerel yetkililer çevreye zarar verebilecek yeni kapasiteleri onaylamak konusunda isteksizdir. [63]

2.3.1.3. Huoshaoyun Bölgesi

Sincan eyaletindeki Huoshaoyun çinko ve kurşun yatağının, son yıllarda Çin'de keşfedilen türünün en büyüğü olduğu belirtilmektedir. Projenin en erken 2021 yılında başlayabileceği öngörülüyor. Çünkü çinko – kurşun yatağı erişime uzak bir yerde ve deniz seviyesinden 5500 metre yükseklikte bulunmaktadır. Dolayısıyla, maden işletme tesisi ve/veya izabe tesisi inşa edilmesi zor olacaktır. Ayrıca, Huoshaoyun sahası karbonatlı cevher içerdiğinden, işlenmesi daha karmaşık olacaktır ve geleneksel kavurma – liç – elektroliz (RLE) teknolojisini kullanarak işlemek için ideal değildir. Bu nedenle, doğrudan liç yapan izabe tesisi kurulması daha uygun görünmektedir. Bu çözüm de kurulum maliyetlerini daha da arttıracaktır. [64]

Huoshaoyun, Doğu Türkistan'ın güneybatısındaki Hotan'da bulunmaktadır. Tibet sınırlarına ve Hindistan'ın Keşmir bölgesine yakındır. Deniz seviyesinden 5.500 metreden daha yüksek bir yerde bulunur. Günlük tedarik miktarının ve işgücünün alınabileceği en yakın kasaba 710 km uzaklıktaki Yecheng'dir. Huoshaoyun cevherleşmesi 2011 yılında bulunmuştur ve 2014 yılında yapılan sondajlarla bölgenin zenginliği doğrulanmıştır. Çin Kaynak Bakanlığı'nın Çin Jeoloji Araştırması'na göre Huoshaoyun, Çin'deki en büyük çinko ve kurşun yatağıdır. Projenin

çoğunluğu Xinjiang Guanghui Sanayi Yatırım A.Ş.'ye ait olan Xinjiang Guanghui Zinc Co'ya ait olduğunu belirtilmektedir. [64]

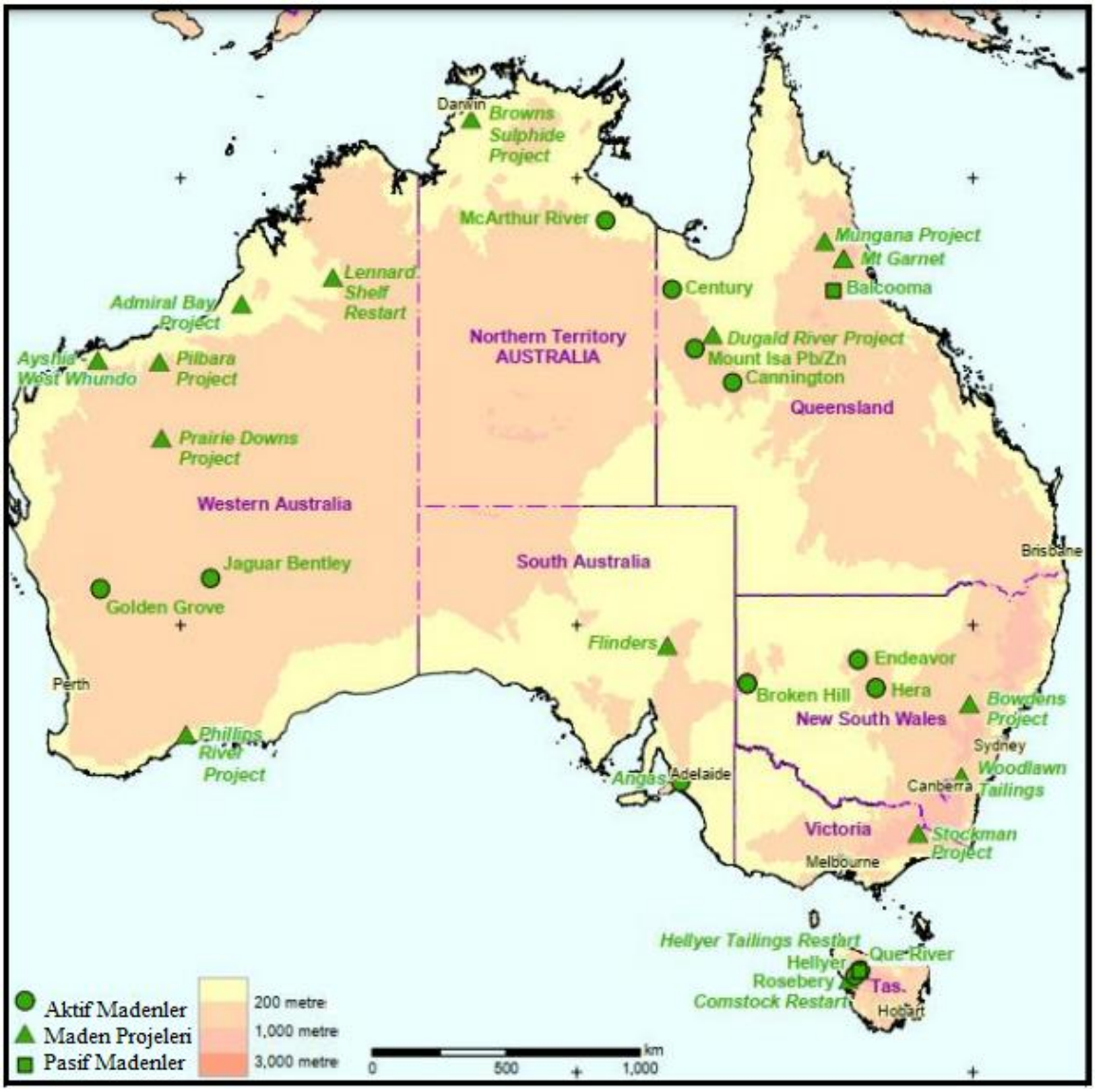


Şekil 2.50: Çin'in Huoshaoyun Bölgesindeki Çinko Projesi ve Tesisleri [63].

Şekil 2.50'de gösterilen, Huoshaoyun cevherleşmesi, 13 farklı cevher gövdesi içermektedir. Bunlardan en büyüğü kuzey güney boyunca 1900 metre, batıdan doğuya ise 1300 metre boyunca uzanmaktadır ve ortalama kalınlığı 6.68 metredir. Bu cevher bölgesi yaklaşık 14 milyon ton çinko ve kurşun içermektedir. Huoshaoyun hidrotermal metasımatik bir oluşumdur ve ana cevherler karbonatlı çinko kurşun mineralleri olan smitsonit ve serusittir. Projenin büyüklüğü, konumu ve çalışma şartlarının güçlüğü düşünüldüğü projenin 2022 yılından önce faaliyete geçmesi beklenmemektedir. [64]

2.3.2. Avustralya'daki çinko madenciliği ve metal üretimindeki genel görünüm

Avustralya, Çin'den sonraki en önemli çinko maden üreticisidir. Avustralya çinko üretiminin dinamoları, az sayıda ancak nispeten yaşlı madenler olan; Mount Isa (1931), Century (1999), Broken Hill (1936) ve Cannington (1997) madenleridir. Avustralya çinko maden üretim miktarı büyükten küçüğe olacak şekilde; Mount Isa, McArthur River, Dugald River, Century, Broken Hill, Rosebery, Rasp Hera-Nymagee 8 aktif madeni içermektedir. [65]



Şekil 2.51: Avustralya'daki Çinko Projeleri [65].

Avustralya çinko konsantresi üretimi Glencore, MMG ve South 32 firmalarının öncülüğünde devam etmektedir. Dugald River madenininde açılmasıyla üretim daha da güçlü hale gelmiştir.

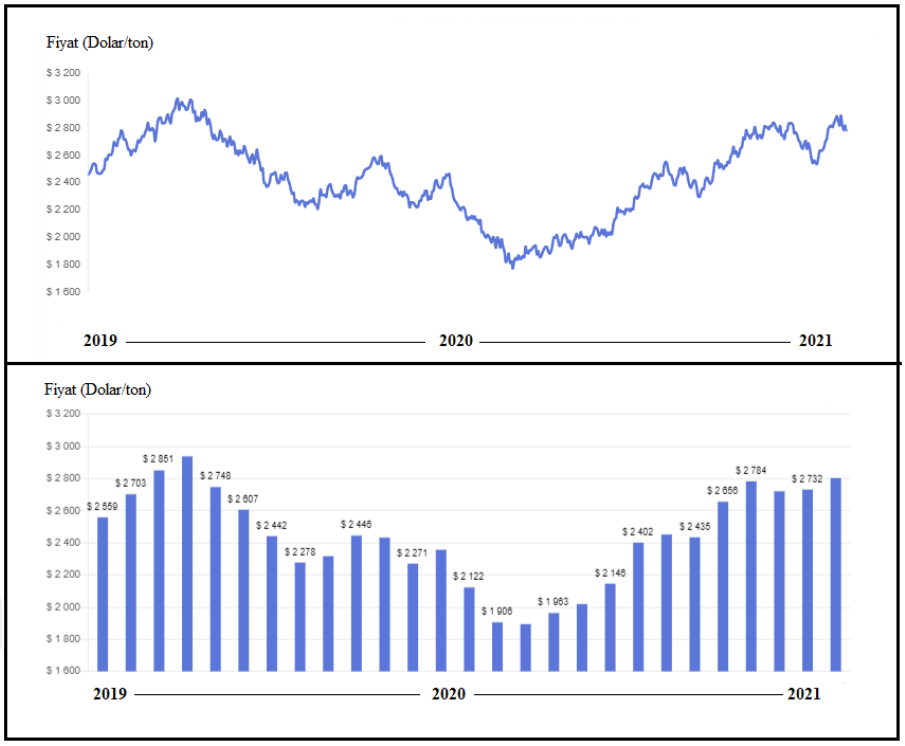
Dugald River'e ek olarak, Avusturalya'da tanımlanmış bir kaynağı olan 50'den fazla proje ve 100'den fazla da kurşun / çinko mineralizasyonu vardır. Bu maden projeleri arasında Bass Metals 'Que River madeni, Compass Resources Browns Sulphide yatağı ve daha önce Kagara Zinc'e ait olan Mungana'nın King Vol yatağı yer almaktadır. Çinko fiyatlarının güçlenmesine bağlı olarak bu projeler geliştirilebilir. Avustralya çinko endüstrisinde daha fazla konsolidasyonun daha küçük projelerin geliştirilmesini de desteklemesi mümkündür. Şekil 2.51 ve 2.52'de gösterildiği gibi, faaliyet gösteren on bir maden arasında Glencore ve MMG, Avustralya'nın toplam üretiminin %82'sinden fazlasını elinde tutmaktadır. Bu büyük şirketlerin, gelecekteki gelişmeleri takip etmek için diğer küçük şirketlerden, daha fazla cevher veya proje toplama şansına sahip olabileceğine inanılıyor. Konsantrenin kalitesi ve içerdiği yan ürünleri projelerin maliyetlerini etkilediğinden dikkate alınması gereken faktörlerdendir. [49]

Maden Projesi	Şirket	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Mount Isa Pb/Zn	Glencore	405	437	490	540	470	465	460	460	460	280	280
Century(*)	MMG	488	466	395								
McArthur River	Glencore	40	74	165	190	210	220	220	220	220	220	220
McArthur River - Bulk Conc	Glencore	163	150	155	155	145	145	145	145	145	145	145
Rosebery	MMG	88	84	83	85	85	85	83				
Broken Hill	Perilya/Zhongjin Longnin	73	75	82	85	89	84	81	71	63	63	45
Cannington	South 32 (BHP Billiton)	75	74	68	90	95	100	98	92	84	70	28
Golden Grove	MMG	24	38	48	45	45	35	35	35	35	35	35
Endeavor	CBH Resources/Tohu Zinc	46	41	47	28	28	14					
Jaguar Bentley	Independence Group	38	47	42	38	38						
Rasp	CBH Resources/Tohu Zinc	24	19	20	22	21	23	23	23	23	23	23
Hera - Bulk Conc	Aurelius		3	11	11	11	11	11	11	6		
Angas	Terramin	17										
Dugald River	MMG					50	210	210	210	210	210	210
Toplam		**1481**	**1507**	**1605**	**1290**	**1287**	**1392**	**1366**	**1267**	**1245**	**1046**	**986**

Şekil 2.52: Avustralya'daki Çinko Projeleri ve Üretim Miktarları [65].

2.4 ÇİNKO METAL FİYATLAMASI

Çinko metal fiyatları, Londra Metal Borsasında (LME) belirlenmekte olup, çinko cevher ve konsantre fiyatları da LME fiyatlarına göre hesaplanmaktadır. 2020 Kasım itibariyle metal çinko fiyatı 2.600 dolar/ton düzeyindedir.



Şekil 2.53: Çinko Metal LME Fiyatı [66].

2021 yılı ilk çeyrek itibariyle, çinko fiyatları 2.800 $/ton seviyelerine gelerek Mart 2019'dan beri en yüksek seviyelerindedir. Bakır ile birlikte bu yıl LME'de en iyi performans sergileyen baz metaldir. 2019 ve 2020 yılı için çinko metali günlük ve aylık ortalama fiyatları Şekil 2.53'te 2019 yılı ve 2020 aylık ve yıllık ortalama fiyatları ise Tablo 2.7'deki gibi olmuştur.

Tablo 2.7: 2019 ve 2020 yılları aylık ortalama çinko metal fiyatı [67]

ÇİNKO		ÇİNKO	
2019	LME (USD/TON)	2020	LME (USD/TON)
OCAK	2.559,18	OCAK	2.357,27
ŞUBAT	2.702,85	ŞUBAT	2.120,48
MART	2.851,40	MART	1.905,61
NİSAN	2.938,75	NİSAN	1.894,08
MAYIS	2.747,74	MAYIS	1.963,39
HAZİRAN	2.602,13	HAZİRAN	2.020,61
TEMMUZ	2.441,48	TEMMUZ	2.162,24
AĞUSTOS	2.275,14	AĞUSTOS	2.406,83
EYLÜL	2.319,64	EYLÜL	2.450,50
EKİM	2.445,59	EKİM	2.441,55
KASIM	2.432,95	KASIM	2.669,69
ARALIK	2.274,03	ARALIK	2.782,36
ORTALAMA	**$ 2.549,24**	**ORTALAMA**	**$ 2.264,55**

Tablo 2.8: Örnek çinko konsantre fiyatı hesaplaması [67]

	GEÇİCİ FİYATLAMA	ISLAK TON	KURU TON
ÇİNKO	USD 2.549,00	1000	900,000
GÜMÜŞ			
ALTIN			

GEÇİCİ ANALİZ			
	%, gr	ÖDENEBİLİR	
ÇİNKO (%)	51,000	43,0000	%
GÜMÜŞ (gr)	0,000	0,0000	oz
ALTIN (gr)	0,000	0,0000	oz

	ÖDENEBİLİR	
		KURU TON BAŞINA
Zinc (%)	43,0000	USD 1.096,070
SILVER (oz)	0,0000	USD 0,000
GOLD (oz)	0,0000	USD 0,000
		USD 1.096,070

KESİNTİLER – İZABE MASRAFI (TC)		
BAZ		USD 242,00
		USD 242,00

	KESİNTİLER – RAFİNASYON MASRAFI (RC)	
GÜMÜŞ		USD 0,000
ALTIN		USD 0,000
		USD 0,000

As	Pentaltı Oranı	ORTALAMA PENALTI
Bi		
Cd		
Hg		
Sb		
Fe		
S		

FINAL DEĞER / KURU TON BAŞINA	**USD 853,070**
FINAL DEĞER / ISLAK TON BAŞINA	**USD 767,763**

2019 yılı ortalama çinko fiyatı ve TC değeriyle örnek fiyatlama, Tablo 2.8'deki gibi hesaplanabilir. Çinko konsantresinin, 1000 wmt (ıslak ton), %51 Zn içeriği olduğu ve herhangi emprüte ve ona bağlı penaltı element değeri olmadığı varsayılmıştır.

TC / RC: İşleme Ücreti (Treatment Charge) ve Rafinasyon Ücreti (Refining Charge). TC, izabe tesislerinin konsantre işleme masraflarına istinaden, konsantre temininde satıcılardan kuru ton başına yaptıkları kesinti tutarı. RC ise konsantre içinde ödenebilir kıymetli metal var ise buna karşılık onz başına yapılan kesintidir. [24]

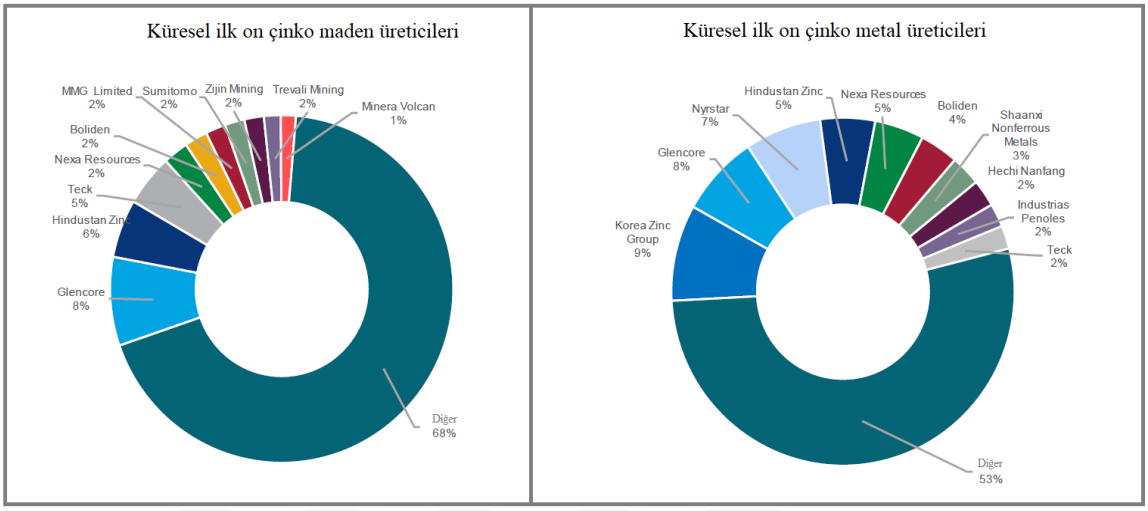
Küresel madenler ve izabe tesisleri, ödenecek, kurşun ve çinko konsantreleri için İşleme Ücreti TC ve Rafinasyon Ücreti RC için aşağıdaki kabülleri kullanmaktadır. Emtia dünyasındaki ve Tablo 2.7'deki hesaplamada kullanılan kabüller aşağıdaki gibidir:

- Çinko konsantreleri, içerilen Zn'nin minimum %85'i veya %8 kesinti üzerinden ödenir.
- Kurşun konsantreleri, içerdiği Pb'nin en az% 95'i veya % 3 kesinti ile ödenir.
- Kurşun konsantrelerinde gümüş, içeriğine bağlı olarak %90-95 oranında ödenir.
- Çinko konsantrelerindeki gümüş genellikle 90 g / ton kesintiye tabidir ve bunun üzerindeki Ag içeriğinin yalnızca% 65'i oranında ödenir.
- Pb konsantrelerindeki altın, yüksek Au konsantreleri için yaklaşık% 90 oranında ödenir, bu esas olarak Meksika'daki madenler için geçerlidir.
- Madenciler ve izabe tesisleri arasındaki arz ve talep dengesine bağlı olarak çinko ve kurşun konsantreleri (ton başına) için TC ücretleri yıllık olarak belirlenir.
- Madencilik şirketleri, konsantrelerin müşterilere taşınması için ödeme yapar [24].

2.5 KÜRESEL EN BÜYÜK ÇİNKO ÜRETİCİLERİ

Gelişmekte olan ülkelerin madencilik sektöründeki önemlerinin artışı, yalnızca tüketici nitelikleri ile sınırlı değildir. Bu ülkeler üretici olarak da sektörde ağırlıklı bir konum elde etme yönünde ilerlemektedir. Özellikle 20. Yüzyılın ikinci yarısından bu yana teknolojik gelişmelere, kolay üretilebilir kaynaklardaki azalmaya ve üretim koşullarının ağırlaşmasına bağlı olarak, her geçen gün madencilik sektörünün emek- yoğun niteliği gerilemiş, sektör giderek daha fazla sermaye ve teknoloji yoğun bir karakter kazanmaya başlamıştır. Büyük ölçüde bu durum nedeniyle, uzun zamandan bu yana, dünyada madencilik üretiminin %50'den daha büyük bir bölümünün sınırlı sayıda madencilik şirketi tarafından gerçekleştirildiği bilinmektedir. Söz konusu madencilik kuruluşları yakın zamana kadar ağırlıklı olarak, çok

uluslu ancak sermayeleri genel olarak gelişmiş ülkelere ait şirketlerden oluştuğu halde, son dönemde, bu şirketlerin arasına Çin ve Hindistan şirketlerinin de katılmaya başladığı izlenmektedir.



Şekil 2.54: Küresel en büyük çinko maden ve metal üreticileri [14].

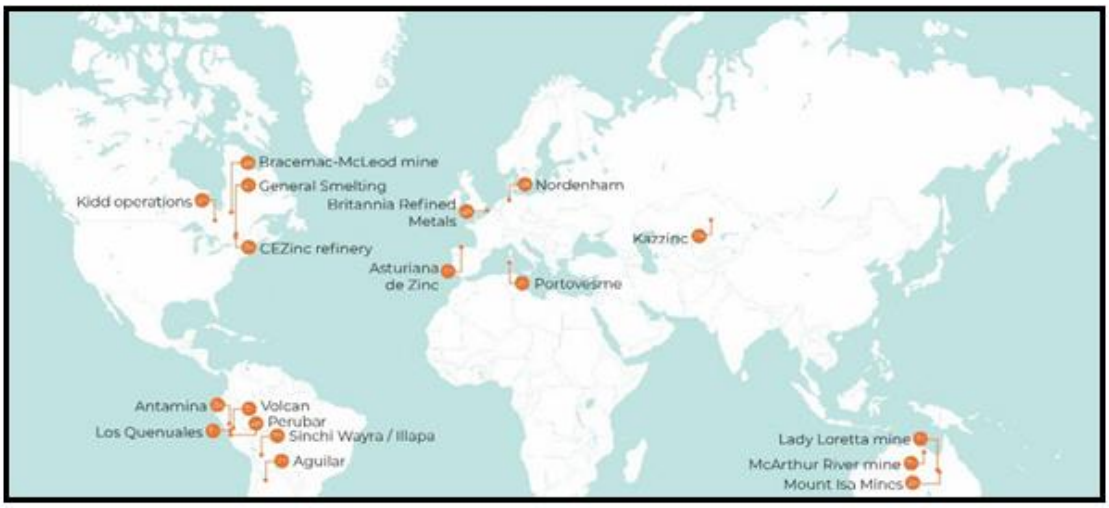
Şekil 2.54'te ve Tablo 2.9'da dünyanın en büyük çinko konsantresi ve metali üreticileri yer almaktadır. Farklı araştırmalar, büyük madencilik şirketlerinin sıralamadaki yerleri konusunda az çok birbirlerinden farklı sonuçlar ortaya koymakla birlikte, benzeri araştırmaların hemen tümü yukarıdaki değerlendirmeyi önemli ölçüde desteklemektedir. [14]

Tablo 2.9: Küresel en büyük çinko madencileri ve çinko metal üreticileri [14]

2019 Sıralama	Madencilik Şirketi	Üretim Miktarı bin ton (Zn)	Üretim Miktarı % Oran	Kümülatif % Oran	Metal Üretim Şirketi	Üretim Miktarı bin ton (Zn)	Üretim Miktarı % Oran	Kümülatif % Oran
1	Glencore	1230	8,8	9	Korea Zinc Group	1215	9,0	9
2	Hindustan Zinc	771	5,5	14	Nyrstar	1030	7,6	17
3	Teck	625	4,5	19	Glencore	1015	7,5	24
4	Nexa Resources	347	2,5	21	Hindustan Zinc	710	5,2	29
5	Boliden	297	2,1	23	Nexa Resources	608	4,5	34
6	Sumitomo	264	1,9	25	Boliden	488	3,6	37
7	MMG Limited	255	1,8	27	Shaanxi Nonferrous Metals	378	2,8	40
8	Zijin Mining	253	1,8	29	Industrias Penoles	335	2,5	43
9	Minera Volcan	220	1,6	31	Hechi Nanfang	333	2,5	45
10	Vedanta Resources	207	1,5	32	Teck	307	2,3	47
11	Industrias Penoles	187	1,3	33	Noranda Income Fund	275	2,0	49
12	Zhongjin Lingnan Metals	180	1,3	35	Yuguang Gold and Lead Co	260	1,9	51
13	Nyrstar	170	1,2	36	China Minmetals Corp	236	1,7	53
14	Trevali Mining	153	1,1	37	Huludao Zinc	229	1,7	55
15	Lundin Mining Corporation	152	1,1	38	Mitsui Mining & Smelting	229	1,7	57
16	Chihong Zinc & Germanium	150	1,1	39	Chihong Zinc & Germanium	208	1,5	58
17	Western Mining Company	143	1,0	40	Zhongjin Lingnan Metals	200	1,5	60
18	Trafigura	132	0,9	41	UGMK	195	1,4	61
19	Guosen Mining	126	0,9	42	Dongling Trade & Industry	177	1,3	62
20	New Century Resources	120	0,9	43	CITIC Guoan Group	176	1,3	64
21	Hualian Zinc and Indium Co	115	0,8	44	Chifeng	172	1,3	65
22	HudBay Minerals	110	0,8	44	Dowa Mining	170	1,3	66
23	Goldcorp	103	0,7	45	Gansu Provisional Asset	168	1,2	67
24	BHP Group	101	0,7	46	Yunnan Metallurgical Group	141	1,0	68
25	Yunnan Metallurgical Group	98	0,7	47	Zijin Mining	134	1,0	69
26	Southern Copper (ex SPCC)	98	0,7	47	Toho Zinc	122	0,9	70
27	Fresnillo Plc	96	0,7	48	Tongguan Chizhou	120	0,9	71
28	Tibet Summit	95	0,7	49	Hongda Group	116	0,9	72
29	UGMK	90	0,6	49	Xiangjun Feilong	115	0,8	73
30	Shenghua Mining	80	0,6	50	Jiangxi Copper Company	110	0,8	74
	Toplam	13972	100		Toplam	13530	100	

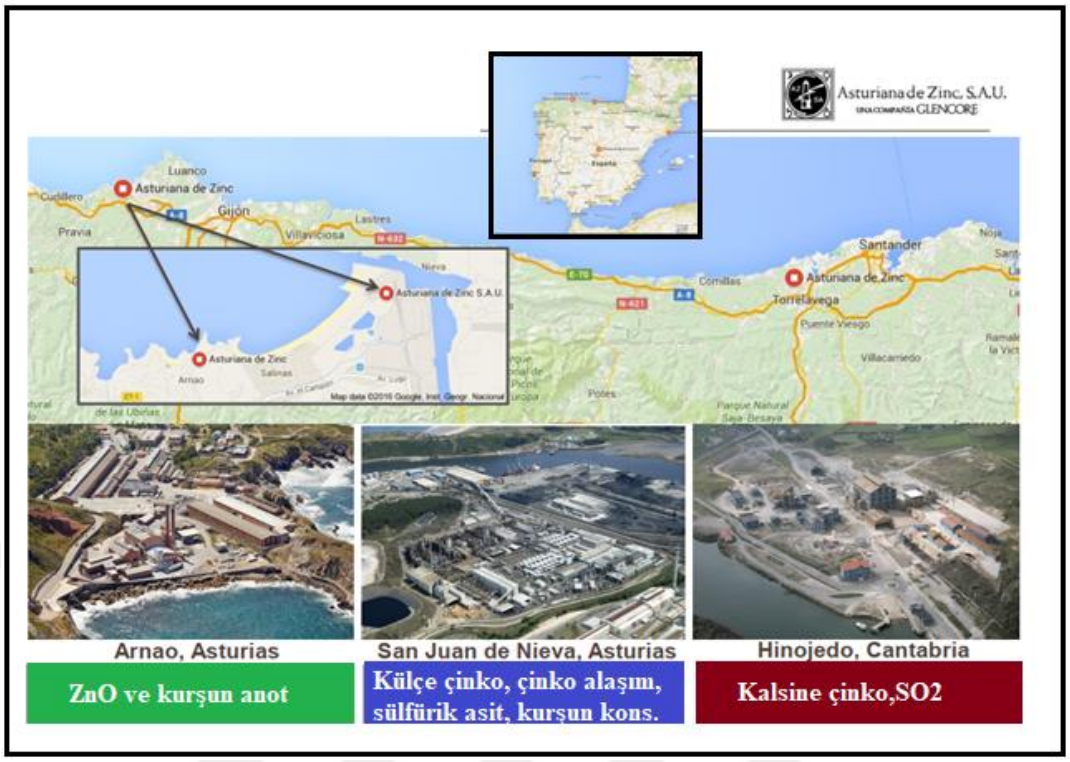
2.5.1 Glencore

Dünyanın en büyük küresel doğal kaynak şirketlerinden biri olan Glencore, 1970 yılında kurulmuştur. Dünya çapında 160.000 kişiyi istihdam eden büyük bir emtia üreticisi ve pazarlamacısı konumundadır. Glencore'un çinko operasyonları Şekil 2.55'te belirtilmiştir. [68].



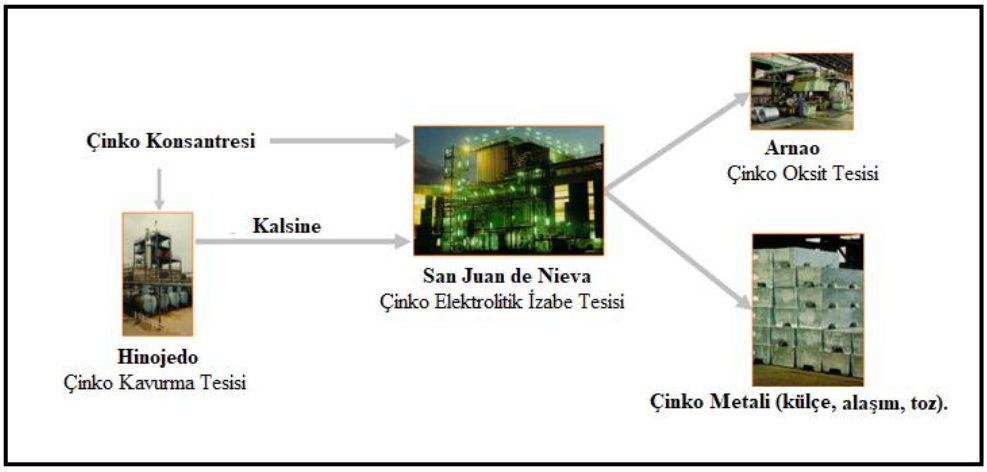
Şekil 2.55: Glenore çinko operasyonları [68].

Glencore, 35'ten fazla ülkede faaliyet gösteren kurum, yaklaşık 150 madencilik, metalurji tesisi ve petrol üretim varlıklarını içermektedir. 2019 yılı EBITDA değeri 11.6 milyar dolar olarak belirtilmektedir. Ayrıca, Avustralya, Afrika ve Güney Amerika'daki madenleriyle büyük bir kömür üreticisi ve pazarlamacısı olan Glencore. Ham petrol, rafine ürünler ve doğal gazın da önde gelen pazarlamacılarından biridir. Glencore; bakır, kobalt, çinko, nikel ve ferro alaşımlar gibi çok çeşitli metal ve mineralleri üretmekte ve pazarlamaktadır. [68].



Şekil 2.56: Glenore çinko operasyonları [69].

Glencore; Avustralya, Güney Amerika, Kazakistan ve Kanada'nın önemli maden bölgelerinde çinko ve kurşun cevherlerini çıkarmakta ve işlemektedir. Ayrıca Avustralya, Kanada, İspanya, İtalya, Almanya, İngiltere ve Kazakistan'daki izabe operasyonlarında çinko ve kurşun metali üretmektedir.



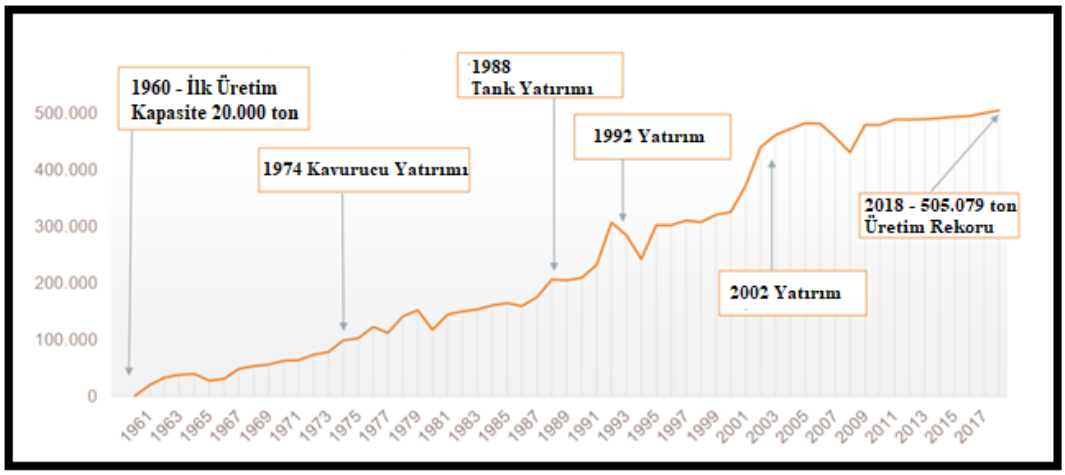
Şekil 2.57: Glenore'un İspanya'daki çinko operasyonları [69].

Glencore; Avustralya, Güney Amerika, Kazakistan ve Kanada'nın önemli maden bölgelerinde çinko ve kurşun cevherlerini çıkarmakta ve işlemektedir. Ayrıca Avustralya, Kanada, İspanya, İtalya, Almanya, İngiltere ve Kazakistan'daki işleme operasyonlarında çinko ve kurşunu eritmek ve tafine etmektedir. Yanısıra, Avrupa ve Kuzey Amerika'da çinko ve kurşun malzemeleri tedarik etmekte ve geri dönüştürmektedir.



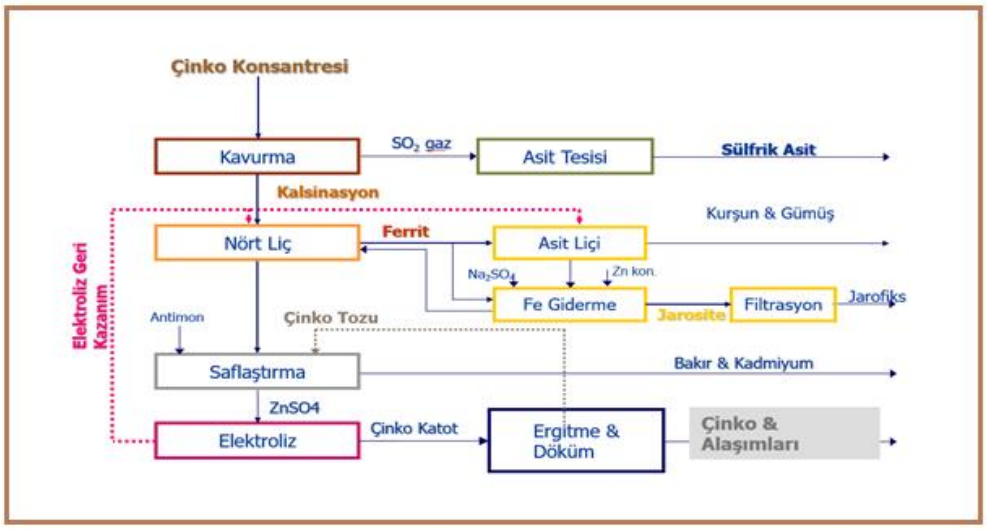
Şekil 2.58: İspanya'daki San Juan de Nieva çinko izabe tesisi [69].

Glencore pazarlama faaliyetleri aracılığıyla konsantrelerden üretilen çinko ve kurşun metalleri ve sülfürik asit gibi değerli yan ürünleri ve çinko ve kurşun cevherleri ile birlikte çıkarılmış altın ve gümüş ürünlerini de satmaktadır. Şekil 2.56 ve Şekil 2.57'de Glencore'un İspanya'daki çinko operasyonları, Şekil 2.58'de Dünya'nın en büyük ikinci çinko izabe tesisi olan, İspanya'daki San Juan de Nieva çinko izabe tesisi gösterilmiştir.



Şekil 2.59: San Juan de Nieva çinko izabe tesisinin geçmişten günümüze üretim miktarı [69].

2019 yılında, çinko ve kurşun iş kolunda 1.8 milyar dolarlık FAVÖK geliri ederken, 1078 bin ton çinko ve 280 bin ton kurşun üretmiştir. Bu dönemde, kurşun ve çinko iş kolunda 4.2 milyon tonluk ticaret hacmi yaratmıştır. 2019 sonuçlarına göre yaklaşık 1.1 milyon tonluk çinko konsantresi üretimiyle en büyük çinko madencisi konumunda, yaklaşık 1 milyon tonluk çinko metal üretimiyle en büyük 3. Çinko metal üreticisidir. [68]. Şekil 2.60'da San Juan de Nieva çinko izabe tesisinin proses akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.60: San Juan de Nieva çinko izabe tesisinin proses akış şeması [69].

2.5.2 Nexa Resources

Votorantim grup şirketlerinden olan Nexa, küresel bir madencilik ve metalurji şirketlerinden biridir. Nexa Resources, dünyanın en büyük çinko üreticilerinden biridir. Aynı zamanda bakır ve kurşun üretir. Brezilya ve Peru'da bulunan operasyonları ve Lüksemburg ve Amerika Birleşik Devletleri'ndeki ofisleri ile madencilik ve metalurji segmentlerinde 60 yılı aşkın deneyime sahiptir ve Şekil 2.61'de gösterilmiştir. Yaklaşık 320 bin tonluk çinko konsantresi üretimiyle en büyük 4. Çinko konsantre üreticisi ve yaklaşık 620 bin tonluk çinko metal üretimiyle küresel en büyük 4. Çinko metal üreticisidir. [70].



Şekil 2.61: Nexa Resources çinko operasyonu [70].

2.5.3 Trafigura Nyrstar

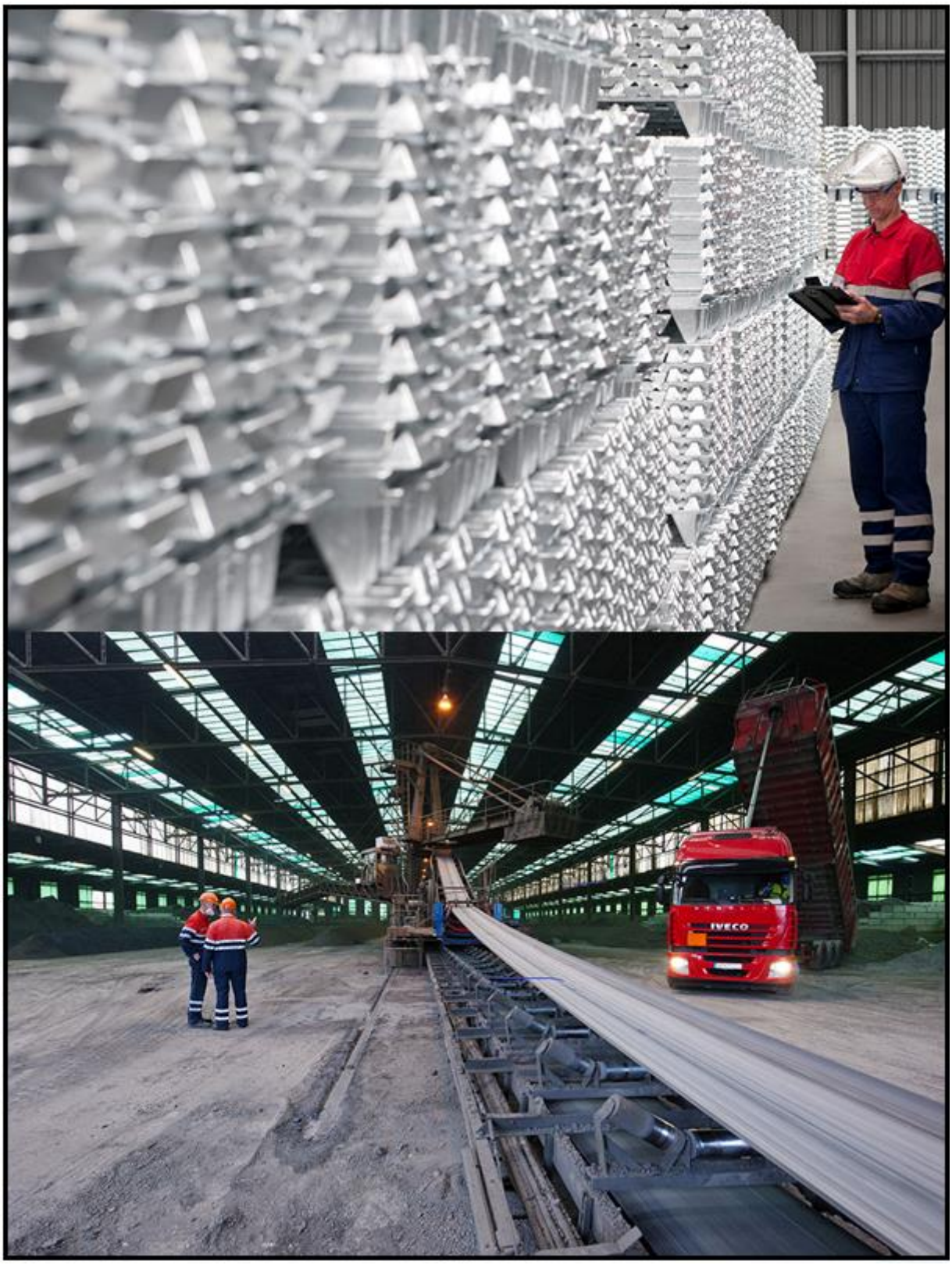
1993 yılında kurulan Trafigura, dünyadaki en büyük fiziksel emtia ticaret gruplarından biridir. Trafigura, dünya çapındaki müşterilere bir dizi hammadde (petrol ve rafine ürünler ile metaller ve mineraller dahil) tedarik eder, depolar, taşır ve sunar. Nyrstar organizasyonlarıyla birlikte, büyük bir emtia üreticisi ve pazarlamacısı konumundadır. Aynı zamanda, Vitol grubundan sonra küresel bir petrol oyuncusudur. Kurşun ve çinko ağırlıklı olan demir dışı metal ve konsantreleri portföyünde; bakır, alüminyum, kobalt ve nikel bulunmaktadır. İlave olarak,

kömür ve demir ticareti de yapmaktadır. Şirket, dünya çapında 41 ülkede 80 ofiste çalışan 8.000'den fazla çalışanına sahiptir. [71].



Şekil 2.62: Trafigura Nyrstar çinko madeni [71].

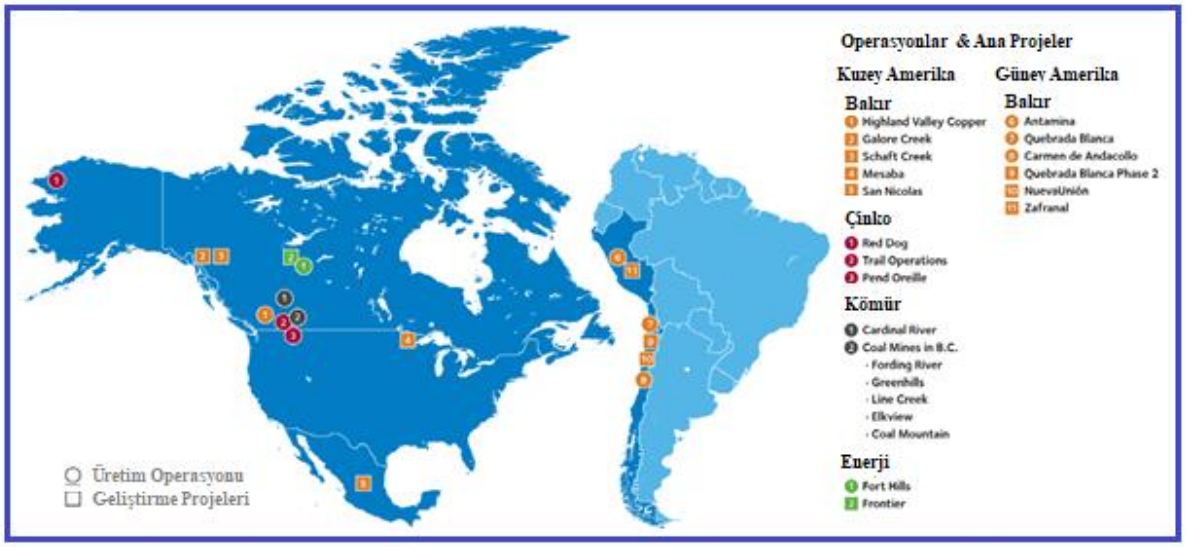
Trafigura, 2003'te 12 milyar ABD Doları olan gelirini 2019'da 171,5 milyar ABD Dolarına çıkararak son yıllarda önemli bir büyüme elde etti. Grup, yirmi yılı aşkın süredir müşterilerini küresel ekonomiye bağlayarak ticareti geliştirmektedir. Çeşitli lokasyonlarda lojistik terminalleri, depolama alanları ve enerji tesisleri de bulunmaktadır. Finli Terrafame isimli nikel ve kobalt metal üreticisini iştiraki edinerek, elektrikli araçlar için tedarik zinciri stratejisi oluşturmaktadır. [71]. Trafigura, Nyrstar operasyonlarıyle birlikte, Korea Zinc'ten sonra en büyük ikinci çinko metal üreticisi konumunda olup, çinko konsantresi üretiminde ise ilk 10 üretici içerisinde yer almaktadır. Trafigura Nyrstar çinko operasyonları Şekil 2.62 ve 2.63'te gösterilmiştir.



Şekil 2.63: Trafigura Nyrstar çinko operasyonu [71].

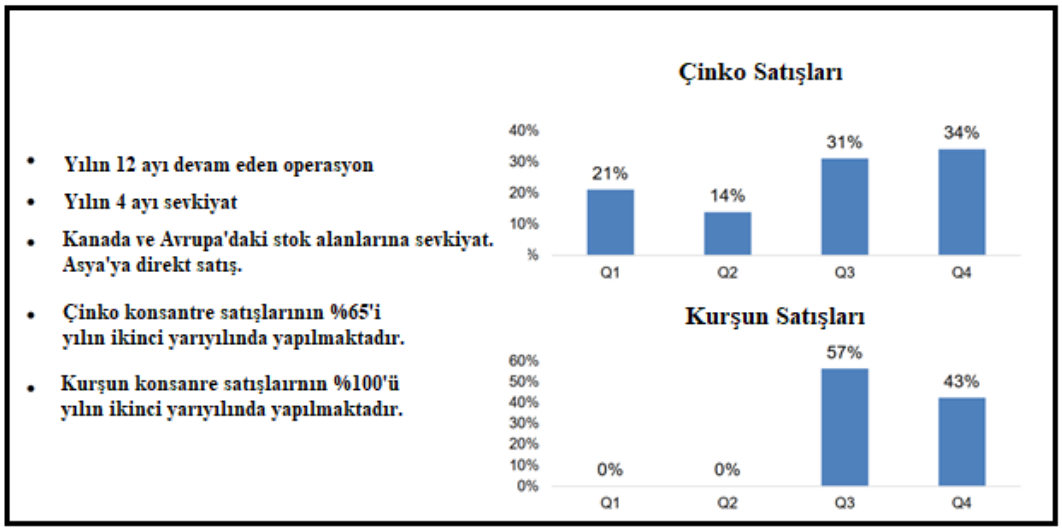
2.5.4 Teck Resources

1906 yılında kurulan Teck; bakır, çinko ve kömür üretimine odaklanan Kanadalı bir madencilik ve izabe şirketidir. 2008'in sonlarına kadar Teck Cominco olarak bilinen Teck Resources Limited, Şekil 2.64'te belirtilen, genel merkezi Vancouver'da bulunan, kömür, bakır, çinko ve enerji dahil olmak üzere madencilik ve maden geliştirme ile uğraşan, geniş portföylü bir doğal kaynaklar şirketidir. 2016 itibarıyla, Teck şirketinin gelirin% 44'ü kömüründen, gelirin %34'ü çinkodan ve kalan % 21'i ise bakırdan gelmektedir. Teck'in yaklaşık 11.000 çalışanı bulunmaktadır. [72].



Şekil 2.64: Teck Resources Operasypnlarının Genel Görünümü [72].

Yaklaşık 650 bin tonluk çinko konsantresi üretimiyle en büyük 3. Çinko konsantre üreticisi ve yaklaşık 300 bin tonluk çinko metal üretimiyle küresel ilk 10 Çinko metal üreticisinden biridir. Detayları Şekil 2.65'te verilen Dünya'nın en büyük çinko madeni olan Red Dog madeni Teck Resources'a aittir. Genel olarak, Korea Zinc ile yıllık anlaşma çerçevesinde Benchmark değerini oluşturduğundan, küresel çinko pazarında ayrı bir öneme sahiptir. [72].



Şekil 2.65: Dünya'nın en büyük çinko madeni Red Dog madeninim yıllık operasyonu [72].

2.5.5 Boliden

1931 yılında kurulan Boliden; bakır, çinko, kurşun, altın ve gümüş üretimine odaklanan İsveçli bir madencilik ve izabe şirketidir. 1980'lerde ve 1990'larda bir dizi satın almanın ardından şirket, 2003 yılında Fin madencilik ve izabe şirketi Outokumpu'nun madencilik ve izabe varlıklarını satın aldı. Anlaşmanın sonucu olarak, Outokumpu Boliden hisselerinin yüzde 49'unu kontrol etmektedir. [73]

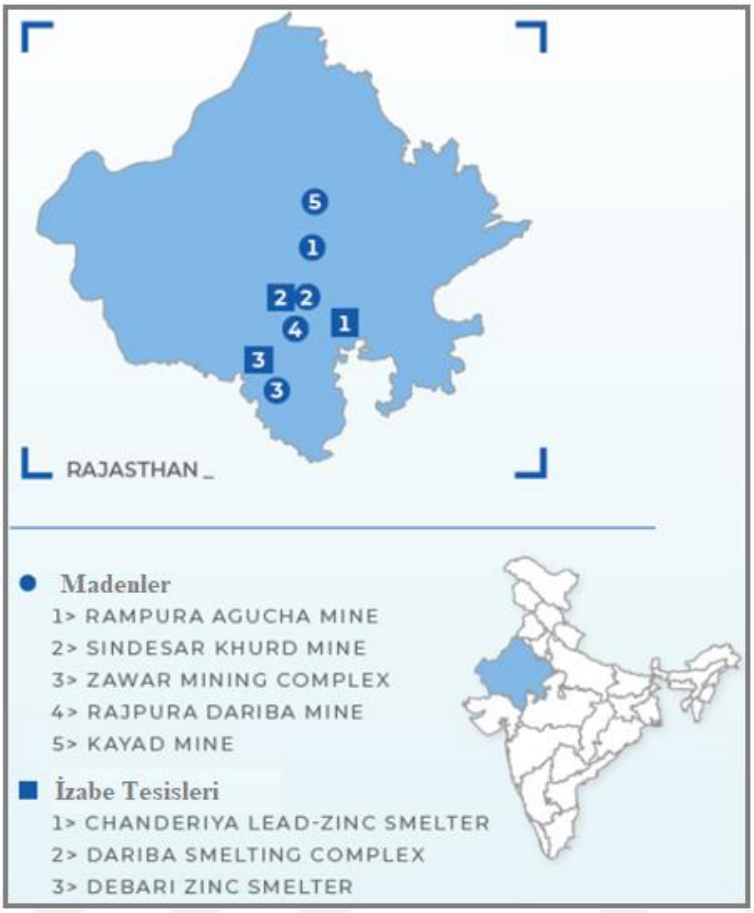


Şekil 2.66: Boliden Kokkola Çinko İzabe Tesisi [73].

Şirketin yaklaşık 4,500 çalışanı bulunmaktadır. İsim, 1924'te altının bulunduğu İsveç'in Skellefteå kasabasının yaklaşık 30 km kuzeybatısındaki Boliden madeninden geliyor. Bir zamanlar Avrupa'nın en büyük ve en zengin altın madeniydi, ancak 1967'den beri maden kapatıldı. Tara, Garpenberg ve Boliden bölgesindeki madenlerinden her yıl yaklaşık 350 bin ton çinko konsantresi üretmektedirler. Bunun büyük bir kısmı, her yıl yaklaşık 500 bin tonluk çinko metal ürettikleri Kokkola ve Odda'daki çinko izabe tesislerine gitmektedir. Ayrıca geri dönüştürülmüş çinkoyu da kullanmaktadırlar. Bugün dünyanın altıncı en büyük çinko üreticisi olan Boliden, çevreci ve yenilikçi çözümleryle önplana çıkmaktadır. Şekil 2.66'da gösterilen Boliden Kokkola Operasyonlarıyla Üretilen çinkonun büyük bir kısmı Avrupalı sac üreticilerine satılmaktadır. Son kullanıcıların çoğu inşaat ve otomotiv endüstrilerindedir ayrıca pil yapımında da kullanılabilir. [73].

2.5.6 Hindustan Zinc

1931 yılında kurulan Hindustan Zinc; çinko, kurşun ve gümüş üretimine odaklanan Hindistan bir madencilik ve izabe şirketidir. Hindustan Zinc, en büyük ikinci çinko maden üreticisi, en büyük dördüncü çinko metal üretcisi ve en büyük altıncı gümüş metal üreticisi olup, operasyonları Şekil 2.67'de gösterilmiştir.. Rampura Agucha madenleri en büyük yeraltı çinko madenidir. [74]. Portföyünde hem pirometalurjik hem de hidrometalurjik yöntemlerle çinko üreten izabe tesisleri mevcuttur. HZL tesisleri toplamda yaklaşık 700.000 ton çinko metali, 180.000 ton kurşun metali ve 610 ton gümüş metali üretmektedir. , Şekil 2.68'te Debari Çinko İzabe Tesisi gösterilmiştir.



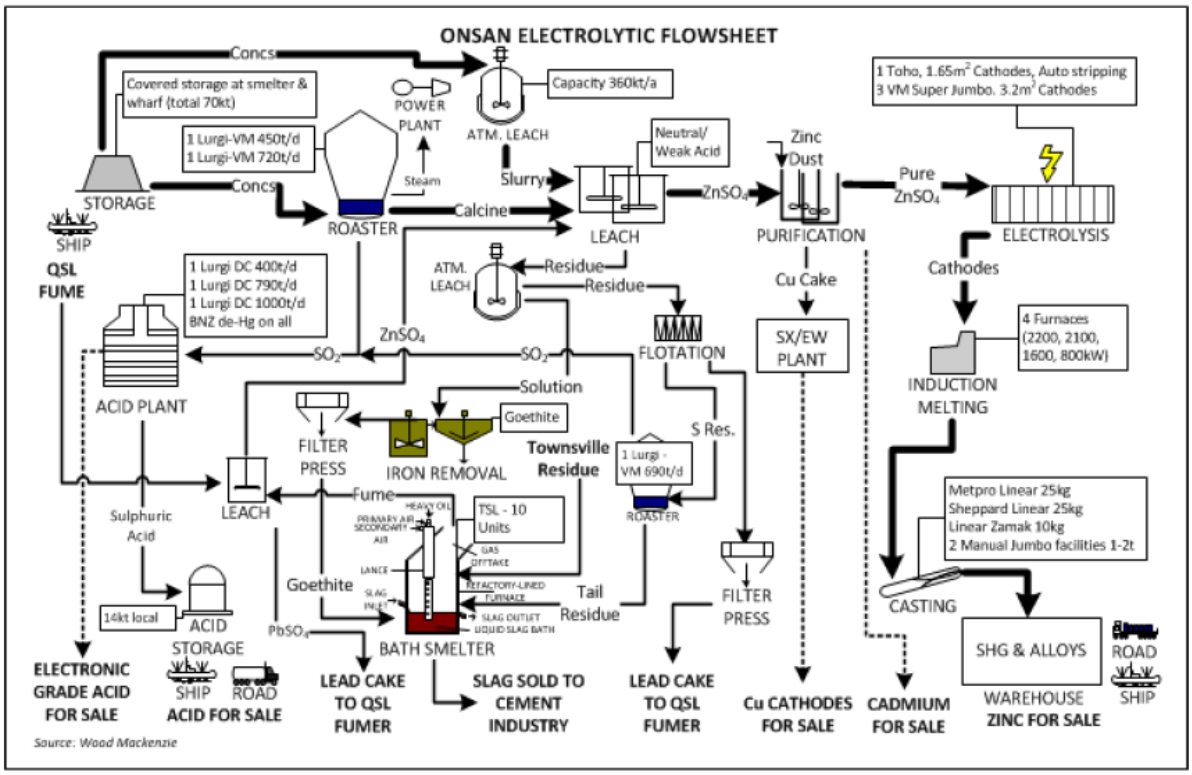
Şekil 2.67: Hindustan Zinc Operasypnları [74].



Şekil 2.68: Hindustan Zinc Debari Çinko İzabe Tesisi [74].

2.5.7 Korea Zinc

1974 yılında kurulan Korea Zinc; kurulduğunda 50.000 ton/yıl olan çinko üretim kapasitene sahipken, günümüzde 1.2 milyon ton/yıl 18 farklı demir dışı metali üreten küresel bir örnek olmuştur. kurşun ve kömür üretimine odaklanan Kanadalı bir madencilik ve izabe şirketidir. Korea Zinc'e ait olan, Onsan İzabe tesisi, Güney Kore'nin Ulsan şehri yakınlarında bulunmaktadır. Dünya'nın en büyük çinko izabe tesisi olarak bilinmektedir. Onsan tesisi, hidrometalurjik yöntemlerle çinko üreten izabe tesisiyle yıllık yaklaşık 650.000 ton çinko metali, 400.000 ton kurşun metali ve 25.000 ton bakır metali üretmektedir. Ayrıca, gelişmiş entegre operasyonlarıyla ile gümüş, altın, indiyum, kadmiyum vb. metalleri de geri kazanmaktadır. [75].



Şekil 2.69: Küresel En Büyük Üretici, Korea Zinc Onsan Çinko İzabe Tesisi Proses Akışı [76].

3. TESİS PLANLAMA VE FİZİBİLİTE

Tesis, kavram ve anlam olarak “kurulmuş olan yapılmış, meydana gelmiş şey, kurum” olarak sözlüklerde yer almaktadır. Dolayısıyla, tesisisin “fiziksel anlamda bir yapı olduğu, kurumsal bir yapı olduğu; bir başka deyişle, belli bir amaca yönelik örgütlenmiş bir yapı olduğu söylenebilir. Buna göre “tesis planlaması veya tasarımı”, kurumsal yapınun ilk fikir aşamasından başlayarak tüm yönleriyle somut olarak oluşturulmasına kadar geçen süreçir”.

Tesis planlama, potansiyel kuruluşla ilgili olarak yapılması gereken bir dizi çalışmadan önemli bir bölümünü oluşturur. Bir işletmede tesis planlama çalışmalarını etkili bir biçimde gerçekleştirebilmek için soruna sistem yaklaşımı içinde eğilmek gerekir. Bu da, işyeri tasarımı ve yerleşim planlama çalışmalarının kuruluş çalışmaları bütünü içindeki yerinin anlaşılmasını ve bu bütün içerisindeki karşılıklı etkileşimlerin göz önünde bulundurularak tasarımın gerçekleştirilmesini zorunlu kılar.

İşletme kuruluş çalışmaları denilince mal veya hizmet üretmek üzere üretim etmenlerinin bir araya getirilişi ve işleyişe geçirilişi ile ilgili etkinliklerin tümü anlaşılır. Bir başka anlatımla, bir işletmenin teknik, ticari, finansal, insansal ve yönetsel yapılarının bir bütün olarak tasarlanması etkinlikleri kuruluş çalışmalarını oluşturur.

Bu bölümde tesis planlama çalışmalaır içerisinde öncü netelikteki kuruluş çalışmalarından olan ve tesis planlamasında kullanılan temel bilgilerin elde edildiği “Pazar araştırması”, “ürün ve süreç tasarımı”, “kapasite seçimi ve planlaması”, “yer seçimi” ve “malzeme devinim işyeri tasarımı” konularına değinilerek şekil 2.70’de süreç adımları belirtilmişir. Böylece, tesis planlama sürecinin, kuruluş çalışmaları bütünü içrisindeki yeri, hangi altsistem tasarımı sonucunda elde edilen bilgilerden etkileneceği, hangi kuruluş çalışmalarını etkileyeceği temel çerçevede ele alınmış bulunmaktadır. [77]



Şekil 3.1: Tesis Planlama ve Fizibilite Akış Adımları [77].

3.1 PAZAR ARAŞTIRMASI

Mal ya da hizmet sunulacak potansiyel pazardaki sunu ve istem (arz ve talep) durumlarının nicelik ve nitelik açısından incelenerek değerlendirilmesiyle ilgili çalışmalar, Tesis planlama açısından pazar araştırmasını oluşturur. [77].

Pazar araştırması kuruluş ve tesis tasarımı çalışmalarının temelini oluşturan en önemli aşamalardan ilkidir; çinkü tesisin büyüklüğünü ve kapasitesini, üretilecek ürünün kalitesi ve diğer özelliklerini, tesis içerisindeki süreçlerin tür ve teknoloisini belirleyecek olan bilgiler

pazar araştırmasıyla elde edilir. 1950'lerden önce pazarlar üretime bağımlıydı, oysa günümüzde üretim pazarlara bağlı olarak olarak biçimlenmek durumundadır. Önceleri üretilen herşey satılırken, zamanımızda mal ve hizmetlerin son derece çeşitlilenmesi, birbirinin yerine kullanılabilen çok sayıda mal ya da hizmetin olması, alıcısı bulunabilecek malların üretilmesini zorunlu kılmaktadır. [77].

Günümüzde işletme etknlikleri pazarla başlar, pazarda son bulur. Pazardaki değişimler o denli hızlı olmaktadır ki pazarlama anlayışında da 3-5 yılda bir değişkenlikler olmaktadır. Dolayısıyla, Pazar araştırmasına dayanmadan kurulan bir işletme, dümensiz ve pusulasız olarak yapılmış bir gemiye benzer. Pazar araştırması, yatırıma yönelmeden önce üretilmesi düşünülen mevcut ya da yeni geliştirilecek ürüne ilişkin aşağıdaki nitelik ve nicelik bilgilerinin toplanması amacıyla yapılır. [77,78].

1. Tüketici, kullanıcı ya da hizmet alanların ürüne ilişkin istek ve beklentileri (yarar, işlev, çalışma, biçim, boyut, renk, fiyat vb.)

2. Ürüne olan istemin şu andaki ve gelecekteki niceliği (istemin bölgelere, ülkelere göre dağılımı ve gelişme eğilimi)

3. Özdeş veya benzer ürünlerin şu andaki ve gelecekteki sunum niceliklieri (yurtiçi ve yurtdışı takiplerin durumu, Pazar payları vb.)

4. Pazarlama kanal ve olanakları

Pazar araştırmasıyla sağlanan nitelik ve nicelik bilgiler aşağıdaki evrelerde kullanılır;

- Kapasite seçiminde
- Ürün tasarımında
- Süreç tasarımında
- Üretim planlamasında [77].

3.2 ÜRÜN TASARIMI VE SÜREÇ SEÇİMİ

Ürün tasarımı, ürünün kullanış ile ilgili özelliklerini belirlemek ve bu özellikleri gösteren ilk örneğini oluşturmak üzere yapılan çalışmaları belirtir. Yerleşim düzeninin üzerine kurulduğu temel ürün tasırmıdır. Çünkü ürün tasarımıyla belirlenen ürün özellikleri, üretim niceliği

bilgisiyle birlikte, süreç tasarımına girdi oluşturarak temel alınacak üretim süreçlerini belirler. Süre seçimi de sırasıyla makine ve donatım araçlarıyla yerleşim düzeni türünün seçimini etkiler. Bu nedenle, ürün tasarımının özenle değerlendirilmesi iyi bir yerleşim düzeni tasarımı için önkoşuldur. [77,79].

Pazarlamacıların ve Ar-Ge'nin ya da ürün mühendisliği bölümünün ortak çalışmasını gerektiren ürün tasarımı iki aşamalı bir çalışmayla gerçekleşir; işlevsel tasarımı ve üretim tasarımı. [77].

- İşlevsellik tasarımı, tüketici ya da kullanıcının istek ve gereksinimlerini gözönünde bulundurarak ürünün kullanım açısından göstereceği yararlı özellkleri belirlemek üzere yapılan çalışmalardır. Pazarlamacılar tarafından pazar araştırmasında bulunan nitelik bilgilerine dayanılarak gerçekleştirilen işlevsellik tasarımı sonucunda, ürüne ilişkin işlevsel belirlemeler çıktı olarak elde edilir.
- Üretim tasarımı, kullanış özelliklerini en ekonomik biçimde yerine getirecek teknik gereklilikleri belirleyerek, ürünün ilk örneğini oluşturmak üzere yapılan çalışmalardır.

Üretim tasarımı, ürün mühendisliği ya da Ar-Ge tarafından üstlenilen üretim tasarımı çalışmaları işlevsellik tasarımı sonucunda ortaya koyulan işlevsel belirlemelere dayanılarak gerçekleştirilir. Üretim tasarımı çalışmalarının çıktısını oluşturan teknik belirlemeler ise aşağıdakileri içerir.

- ✓ Malzeme listesi
- ✓ Parça listesi
- ✓ Parçalara ilişkin toleranslar
- ✓ Ürünün ilk örneği

Bu bilgiler süreç ve yerleşim düzeni tasarımında kullanılır. [77]

3.3 KAPASİTE SEÇİMİ VE PLANLAMASI

Bir işletmede belli bir sürede elde edilen çıktı niceliğine, işletmenin o süredeki kapasitesi denir. Kapasite yıllık, mevsimlik, aylık ve günlük olarak belirtilebilir.

Kapasite, üretim niceliği demek olduğuna göre kapasite seçimi pazar araştırmasıyla yakından ilgilidir. Pazar araştırmasıyla işletmenin elde edilebileceği pazar payı ve satış niceliği

öngörülür. Sağlanabilecek sermaye tutarı ve istemin geleceği ile gelişme gelişme eğilimi de göz önünde bulundurularak işletmenin kapasitesi belirlenir. İşte, mevcut ve gelecekteki istem nicelikleri ile sermaye olanaklarını göz önünde bulundurarak, işletmeyi kazançlı kılacak yıllık üreitm niceliğinin saptanması çalışmalarına "kapasite seçimi" denir.

İşletmede üretilecek ürün ve hizmetler seçilecek kapasiteyi, tesisisin kuruluş yerinin yerleşim biçimini, yapının türünü ve büyüklüğünü etkiler. İşletmeler, stratejik amaçlarıyla tutarlı bir biçimde, şimdiki ve gelecekteki istemi zaman ve nicelik cinsinden karşılamak için yeterli kapasiteye gereksinim duyarlar. Kapasite, işletmenin üretim yeteneğinin bir ölçüsüdür. "Bir işletmede belirli bir dönemde ulaşılabilecek çıktı hacmi ya da belirli bir dönemde işletmede kullanılan üretim etmenleri biçiminde açıklanabilir.

Tasarlanan ürüne pazarda oluşacak istem ve satış niceliklerinin öngörülmesinden sonra kurulacak olan tesis ölçeği belirlenebilecek duruma gelir. Kapasite, en genel anlamda bir tesisin üretim hacmini ve yeteneğini belirtmektedir. Bu açıdan tesis kapasitesi üretim kapasitesi olarak da belirtilebilmektedir.

Öte yandan kurulu tesislerde kapasite ölçüllmesi, üretim plan ve programlarının hazırlanması açısından büyük önem taşır. İstenilen nicelikte ürünün istenilen zamanda üretilmesini sağlayacak olan programların duyarlığı, kapasite değerlerinin gerçeğe uygun olması ile sağlanabilir. Kuşkusuz, bir işletmenin üretim kapasitesinde makine ve tesisler kadar önemli olan ikinci bir öğenin insan gücü olduğu unutulmamlıdır. Kapasitenin ayarlanması ve değişkenlik açısından, insan gücünün çok daha karmaşık bir yapıya sahip olduğu ve ciddi yönetim sorunları doğurduğu gerçektir. [77,80]

3.3.1 İşletme Büyüklüğü ve Kapasite

İşletme büyüklüğü bir girişimin başarıya ulaşmasında, birim maliyetlerin oluşumunda, pazardaki yarışma yeteneği üzerinde ve elde edilecek gelirin düzeyinde büyük bir etkiye sahip önemli bir kavramdır.

"İşletme büyüklüğü", bir işletmenin çalışma potansiyelinin ölçüşü olarak tanımlanabilir, nitel ve nicel yapıyı gösterir. İşletme kapasitesi, ise bir işletmenin toplam çalışma ya da üretim decesi olup nicel yapıyı gösterir.

Yıllık üretim niceliği, kapasite seçimi çalışmasının çıktısını, süreç tasarımı çalışmalarının ise girdisini oluşturur. Kararlaştırılan kapasite, süreç ve donanım araçlarının seçim kararlarını etkileyen en önemli etmen oludğundan, kapasite seçimi ve planlaması çalışmaları, süreç ve yerleşim düzeni tasarımı çalışmaları bakımından altyapı oluşturur. [77]

Dolayısıyla, işletme büyüklüğü işletme kapasitesini aşan, işletmenin üretim yeteneği ve hacmi kavramından öte işletmenin potansiyel olanaklarını ve potansiyel çalışabilme sınırlarını derecelendiren bir kavramdır. Buna göre işletme kapasitesi, işletme büyüklüğünü belirleyen kavram ve öğelerden ancak birini oluşturabilir.

İşletmeleri büyüklüklerine göre gruplandırmak kullanılcak ölçütün belirlenmesi bakımından güçlük gösterir. Bir tek ölçüte göre bir işletmeye büyük veya küçük demek yanıltıcı sonuçlara götürebilir. Kuramda işletme büyüklük ölçüleri olarak şunlar kullanılmaktadır.

- ✓ Pazarlama kapasitesi
- ✓ Çalışanların sayısı
- ✓ Üretim giderlerinin büyüklüğü
- ✓ Sermaye tutarı

İSO'nun "Türkiye'nin 500 Büyük Sanayi Kuruluşu" sıralamasında işletme büyüklüklerini belirlemede kullanılan ölçütler şunlardır: üretim tutarı (üretimden satışlar), satış tutarı, brüt katma değer, özsermaye, net aktiflerin toplamı, bilanço karı, ihracat ve ücretle çalışanların ortalama sayısı.

Bu ölçütlerden en önemli görüneni, işletme kapasitesi de belirten üretim tutarı olup, tüm işletmeler üretim tutarlarına göre en yüksekten en düşüğe doğru sıralanmaktadırlar. Ayrıca, yan kolonlarda, yukarıdaki ölçütlerden her birine göre işletmenin gerçekleştirdiği rakam ve bu rakama göre genel işletme sayısı içerisindeki sıralama sayısı verilmektedir. [77]

3.3.2 Kapasite Seçimini Etkileyen Etmenler

Bölüm 3.3'te belirtilidiği gibi kapasite seçimi pazar araştırmasıyla yakından ilgilidir. Pazar araştırmasıyla işletmenin elde edebileceği pazar payı ve satış niceliği öngörülür. Sağlanabilcek sermaye tutarı ve istemin geleceğe ilişkin gelişme eğilimi de göz önünde bulundurularak, diğer etmenlerin de dikkate alınmasıyla kapasite seçimi kararı verilir.

Bir işletmenin kapasitesini belirlerken, çok değişik sayıda etmenin göz önüne alınması gerekmektedir. Bunlardan en önemli olanlar aşağıda sıralanmıştır.

- Ürün ya da ürünlere ilişkin istem ve satış öngörüleri
- İstemin gelecekteki değişme eğilimi
- Tesisin gelecekteki büyüme olanakları
- Yönetimin gelecekte tesisi genişletmeye ilişkin planları
- Sektördeki rakiplerin pazar payları
- Tesiste öngörülen verimlilik, üretkenlik ve ekonomiklik hedefler
- Tesise yapılacak toplam yatırımla ilgili sermayenin tutarı
- Yararlanılacak teknoloji düzeyi ve üretim yöntemleri
- Yatırımın gerçekleştirilmesinde yararlanılacak finansman olanakları
- Ürün ve üretim türleri ve çeşitlilği
- Üretimde kalite güvenliği

Öte yandan, kapasite seçiminden sonra verilmesi gereken bazı tasarım kararları eğer kapasite seçiminden önce verilmişse ya da elde mevcut bir kuruluş yeri, yapılar ve bazı makineler varsa, o takdirde kuruluş yeri, tesis yapılarının durumu ve planlaması, üretim süreçlerinin ve donanım araçlarının durumu, yerleşim düzeni ile ilgili zorunluluklar kapasite seçimi üzerinde etkili olan önemli etmen durumunda olurlar.

Örneğin kuruluş yeri; insan gücü, enerji, su ve hammadde kaynaklarına yakınlık, genişlemeye uygun olma, pazarlara ve ulaşım yollarına yakınlık gibi nedenlerle maliyetler ve verimlilik üzerindeki etkisi sonucu, işletmenin hem kurulacak hem de ileride genişletilecek kapasiteleri üzerinde ana belirleyicilerden birisidir. Yapılar biçimi, alanı, kat sayısı, olanaları; donanım araçları teknolojisi, esnekliği, duyarlılığı, hızı gibi özellikleriyle ve yukarıda sayılan diğer kuruluş ve tasarım kararları benzer biçimlerde kapasite üzerinde belirleyici ve etkileyici olan etmenlerdir. [77]

3.4 YER SEÇİMİ

Yer seçimi, işletmenin kurulacağı bölgenin ve bu bölge içinde de yerleşim yerinin birim maliyetleri en aza indirecek ve genişlemeye, gelişmeye olanak verecek biçimde belirlenmesiyle ilgili çalışmaları kapsar.

Bir işletme için yer seçimi eş seçmeye benzer, ileride onu değiştirmek mümkün olabilir; ancak bu, hem pahalıya hem de üzüntüye mal olur. Nitekim kuruluş yeri;

- İç yerleşim düzenini
- Yatırım, üretim ve pazarlama maliyetlerini
- İşgören seçimini
- Pazarlama olanaklarını

önemli bir biçimde etkiler. İyi bir yer seçimi, işletmeyi düşük maliyet giderlerine dolayısıyla ekonomiklik ve kazançlılığa götürür. Kötü bir yer seçimiyse üretim etmenlerinin yüksek fiyatla sağlanmasına, genişlemenin güçleşmesine, üretim ve sürüm zorluklarına yol açar. [77]

İşletmeler, gerekli girdileri sağlayıp bunları belirli bir dönüşüm sürecinden geçirdikten sonra ürün ya da hizmet şeklinde çıktılara dönüştüren sistemlerdir. Hammadde satıcılarıyla başlayan, işletme, depo, toptancı, perakendeci zinciriyle tüketiciye ulaşan üretim –dağıtım sisteminin öğeleri, yer seçimi çözümlemelerinde kullanılan maliyetlerle yakından ilgilidir. Gerçekten de aşağıdaki maliyetler seçilen yere bağlı olarak değişirler. [77]

- Üretimde kullanılan hammadde, malzeme ve parçaların satınalma ve işletmeye ulaştırılması maliyeti.
- Hammadedenin ürüne dönüştürülmesi, üretim maliyeti (hammadde, malzeme, işgücü, enerji vb.).
- Ürünün tüketiciye ulaştırılması maliyeti.

Dolayısıyla, yer seçiminde satınalma, üretim ve dağıtım maliyetleri toplamının minimize edilmesi amaçlanmalıdır. Üretim ve dağıtım maliyetlerinin alt sınırını belirlemesi nedeniyle kuruluş yeri, işletmenin yarışmacı konumu üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Ayrıca, işletmenin yeri, işletme giderlerinin yanı sıra satış gelirlerini; arsa, inşaat gibi yatırım maliyetlerini de etkiler. Yer seçimi, değişen koşullara ayak uydurmak zorunda olan işletmeyi değişmeyen özellikleri bulunan doğanın olumlu ya da olumsuz koşullarına açık tutar. Yer seçimi birkez verilen ve 25- 30 yıldan önce değiştirilmesi çok zor olan bir karardır. [77]

Yer seçimi dört aşamalı bir çalışmayı gerektirir.

- Ülke seçimi

- Bölge seçimi
- Yöre seçimi
- Arsa (arazi, site yeri) seçimi

İlk aşamada kuruluş yerinin ülke sınırları içinde mi yoksa dışında mı olacağına, dışındaysa hangi ülkede olacağına karar verilir. Bölge seçimi, işletmenin kurulacağı coğrafi bölgenin belirlenme aşamasıdır. Bölge seçiminde ekonomik etkenler makro düzeyde değerlendirilerek karara varılır. Yöre seçimi, bölge içinde kuruluş yöresinin belirlenmei aşamasıdır. Arsa seçimi, yöre içinde işletmenin kurulacağı yerleşim alanının belirlenmesi aşamasıdır. Yöre ve arsa seçiminde genellikle teknik etmenler dikkate alınır. Bölge seçiminde etkili olan ekonomik etkenler de mikro düzeyde göz önünde bulundurulur. [77]

Öte yandan, arsanın kente göre durumu bakımından üç yer düşünülebilir. Kent içi, banliyö ve taşra. Yüksek nitelikli işgücü, kentteki işyerleriyle yakın ilişki, belediye hizmetlerinden yararlanmak veya çok katlı yapı gerekiyorsa kent içi yerleşimine gidilir.

Yarı nitelikli ya da kadın işgücü, çalışanların işletmeye yakın oturmaları, belediye vergilerinden kaçınmak, genişleme kolaylığı, kent olanaklarından uzak kalmamak isteniyorsa, arsa banliyöden seçilir.

Çok geniş bir alan, düşük bir arazi vergisi, az ücretli niteliksiz iş gücü isteniyorsa vet çevreye tehlike saçan, çevreyi kirleten bir üretim söz konusuysa arsa seçimi taşrada yapılır.

Sonuç olarak, kuruluş yeri seçiminde kullanılan yöntem ve teknikler ne olursa olsun, ekonomik, verimli ve üretken bir yer seçimi kararı için genellikle rakamların konuşacağı bir yol izlenmelidir. [77]

4. KONU HAKKINDA DAHA ÖNCEDEN YAPILMIŞ OLAN ÇALIŞMALAR

Çinko metali, altyapının ve inşaatın vazgeçilmez destekçisi olarak, 20. ve 21. Yüzyıl boyunca önemini korumuştur. günümüzde piyasaların büyük ölçüde Çin ve Hindistan başta olmak üzere Asya ekonomilerin denetimi altına girmekte olduğuna işaret etmektedir. Söz konusu ülkeler özellikle yüksek nüfuslarının yanı sıra sahip oldukları büyüme potansiyelleriyle gerek tüketim ve gerekse üretim açısından piyasa üzerinde önemli düzeyde ağırlıklarını koymuş görünmektedir. Buna karşılık, 20. Yüzyıl boyunca dünya ekonomisini yönlendiren, bu nedenle de madenciliğin gelişme çizgisini tayin eden gelişmiş Avrupa ve Atlantik ekonomilerin bu alandaki etkinliklerinin giderek arka plana düştüğü izlenmektedir. Türkiye tam da bu noktada küresel bir oyuncu olabilecek güce ve yetkinliğe sahiptir. Çinko metali ithalatı ve çinko konsantre ihracatı cari dengesinde 2019 yılı itibariyle çinko için 682 milyon dolar dış ticaret açığı verdiğini göz önüne aldığımızda, çinko izabe tesisi kurulumu ülke açısından çok önemli tasarruf potansiyeli taşımaktadır. Ayrıca, ülkemizde çinko metalinin bir numaralı kullancısı olan gelişmiş çelik – galvaniz endüstrisi bulunması da önemli bir avantajdır.

Çinko izabe tesisi konusunda ülkemiz arşivlerinde pek kaynak bulunmasa da, küresel literatürde mevcut izabe tesislerinde yapılan endüstriyel çalışmalar kısmen yer almaktadır. Onsan zinc smelter raporunda, Wood Mackenzie analistleri, Dünya'nın en büyük çinko – kurşun metali üretim tesisi olan Korea Zinc Onsan tesisini, kullanılan süreç sistemlerini ve malzeme içeriklerini incelemişler ve yaklaşık 750 bin ton çinko metaliyle birlikte 1 milyon ton sülfürik asit üretildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca tesiste entegre şekilde kurşun metali üretilen sistem olduğuna da değinmişlerdir. Onsan tesisinde 3 adet akışkan yataklı kavurucu ve bunlara entegre 3 adet asit tesisi olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca, çalışma içerisinde liç ve ergitme sistem bilgileri de paylaşılmıştır. Tesisin ana amacının çinko metal üretimi olmasına rağmen, çinko metalinin yanısıra, kurşun, kadmiyum, bakır ve indiyum metalinin de üretildiğini ve bu kazanımı sağlayan TSL sistemlerinin varlığını vurgulamışlardır. Hyundai Electric & Energy Systems ile yapılan yatırımlar sonucunda en büyük karbonmonoksit enerji depolama sistemini kurduklarını belirtmişlerdir. [76]

Ust-Kamenogorsk zinc smelter raporunda, Wood Mackenzie analistleri, Kazakistan'ın en büyük çinko metal üretim tesisi olan Ust-Kamenogorsk tesisini, kullanılan süreç sistemlerini ve malzeme içeriklerini incelemişler. Glencore firmasının Kazzinc iştiraki tarafından işletilen

tesis; 190 bin ton metal üretimi gerçekleştiriken, kavurma, liç ve elektroliz adımlarını izlemektedir. Ayrıca tesiste entegre şekilde waelz fırın sistemi olduğuna da değinmişlerdir. Ust-Kamenogorsk tesisinde 2 adet akışkan yataklı kavurucu ve bunlara entegr 1 adet asit tesisi olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca, çalışma içerisinde liç ve ergitme sistem bilgileri de paylaşılmıştır. Çinko metalinin yanısıra, kurşun ve kadmiyumun da üretildiğini vurgulamışlardır. [81]

Jacob Wood, David Wilson ve Stephen Hughes, "A New Era in Smelting" adlı çalışmalarında, bölüm 3.2.1'de de paylaşılan Ausmelt TSL teknolojisine değinmişlerdir. Çinko metal üretim yöntemleri incelemişler ve RLE yönteminin en çok tercih edilen sistem olduğuna değinmişlerdir. RLE sisteminin endüstride daha yaygın olmasına rağmen, TSL (Top Submerged Lance) sisteminin, daha az atık ve daha verimli üretim imkanı sağladığını dolayısıyla da endüstride daha fazla tercih edilmesini gerektiğini vurgulamışlardır. Ayrıca, TSL sisteminin götit, jarosit ve kurşun sülfat vb. çinko üretiminin artıklarını ve cürüflarını kazanmak için ekonomik çözümler önerdiğini de belirtiyorlar. Ausmelt işleminin çeşitli çinko içeren malzemelerin işlenmesinde yaygın olarak uygulandığını ve 24'ten fazla ticari fırının entegre edildiğini paylaşmışlardır. Tarih boyunca izabe sürecinin, enerji verimliliğini artırmak ve böylece işletme maliyetlerini ve fosil yakıt tüketimini azaltmak için sürekli geliştirme ve iyileştirme arayışında olduğunu, özellikle, Waelz fırını, Çin'de kullanılan yandan üfleme işlemi ve plazma teknolojisi gibi alternatiflere göre önemli ölçüde daha düşük kamu hizmetleri ve fosil yakıt tüketimi sağlayabildiği vurgulanmıştır. [46]

Olkkola A., Palola K., Rajala H., Lukkarila J., ve Wikstrın F. Boliden Kokkola çinko izabe tesisinde çeşitli çalışmalar gerçekleştirmeişlerdir. Olkkola A. katot üretim sürecinin sıcak asit süzdürmesindeki termal ihtiyaçları ele almıştır. Palola K., elektroliz işleminin tüm yönlerini kapsayacak şekilde eşdeğer devre etrafında daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulduğunu belirtmiştir. Rajala H. daha büyük katotların elektroliz sırasında çinko büyümesini nasıl etkilediğini araştırmış ve büyük katotların hemen hemen her açıdan normal boyutlu katotlardan daha iyi sonuçlar verdiğini; akım yoğunluğunun da aynı zamanda dendritik büyümeyi etkilediğini, bu nedenle genişletilmiş katotlarda daha az olduğunu saptamıştır. Bu çerçevede, akım yoğunluğunun uzatılmış katotlarla elde edilen daha iyi sonuçları etkileyen faktörlerden biri olduğunu açıklamıştır. Lukkarila J., çinko metal üretimindeki ergitme işlemi sırasında farklı ergitici katkılarının kullanılmasını araştırmıştır. Wikstrın F. ise Boliden Kokkola tesisinde

elektroliz ünitesinin proses kontrol sistemini optimize ederek aşamaları yeniden tanımlamış ve bir proses kontrol sistemi değişiminde yer alan farklı aşamaların kapsamlı bir açıklamasını elde etmiştir. [82 - 86]

University of British Columbia'lı araştırmacılardan, Zhang Y. Ve He F. Çinko baca gazı artıklarının Kivcet fırınında geri kazanılmasını incelerken, Lehmann M. Sülfürlü çinko cevherlerinin heap yöntemiyle bio-oksidasyon ile liç edilmesini araştırmıştır. Hawke M.I ise Kurşun – çinko izabe tesisi çevresindeki organik bileşikleri incelemiş ve karakterize etmiştir. Nelsen J.L. ise Kanada British Columbia'da bakır madenciliğinin gelişimini ekonomik ve politik olarak irdelemiş ve proje değerlendirme parametrelerini açıklamıştır. [87 - 91]

Gregurek ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarında, kurşun ve çinko endüstrisindeki üretim prosesleri sırasında yüksek sülfür ve demir sonucu yaşanabilen aşınma ve cürufun neden olduğu korozyon parametrelerini kısaca tanıtmışlar ve tartışmışlar; bunun aonucunda, refrakter malzemeleri seçiminin önemli bir konu olduğunu belirtmişlerdir. [92]

Gou P.H. ve arkadaşları, düşük tenörlü kurşun ve çinko oksit cevhererindeki, 1173 – 1473 K sıcaklık şartlarında gerçekleşen oksidasyon sırasındaki faz gelişimini, termogravimetrik ve diferansiyel termal analiz teknolojileriyle incelemişlerdir. Elde edilen ürünleri de X-Ray difraksiyon ile karakterize etmişlerdir. Çalışmanın sonucunda, artan reaksiyon sıcaklığıyla, üründeki kurşun içeriğinin giderek düştüğünü açıklamışlardır. [93]

Küresel olarak en büyük çinko izabe ürticilerinden Nexa Resources yıllık olarak 335 bin ton çinko metali üreten Cajamarquilla izabe tesisi ekibinden, Lima ve arkadaşları, Çinko konsantrelerini işlemede RLE yöntemini kullandıklarını belirtirken, elektroliz aşamasının tüm elektrik enerjisinin %80'ini tükettiği ve toplam maliyetteki payının ise %31 olduğunun altını çizmişler ve rekabet gücünü artırmaya yönelik gelecekteki temel gelişmeleri ve çözümleri sunmuşlardır. Çalışmaları sonucunda ise; harcanan elektrolitteki çinko konsantrasyonu ile akım verimliliği arasındaki doğrudan ilişki olduğunu, elektrolit manganez konsantrasyonu ile akım verimliliği arasındaki dolaylı ilişki olduğunu ve elektrolit manganez konsantrasyonları 10 g / L'ye yakınken bile mevcut verimlilik sonuçları % 92.00'den büyük olduğunu belirtmişlerdir. [94]

Nexa Resources ekibinden, Teixeira ve arkadaşlarının yaptığı bir diğer çalışmadaysa, Nexa Resources'un Juiz de Fora ünitesinde elektrik ark ocağı baca tozlarını ve diğer ikincil çinko

kaynaklarını, Waelz Süreci ile işlediklerini açıklılıyorlar. Vazante madeninde üretilen ve geleneksel RLE sürecine uygun olmayan düşük tenörlü konsantreden çinko geri kazanım süreci olan Waelz fırın beslemesini artırmayı, madenlerin stoklarını azaltmayı ve şirketin geri kazanım oranını iyileştirmeyi hedefleyerek, çinko içeriğinden dolayı bu çalışmada incelediklerini paylaşmışlardır. Yaklaşık %18-20 çinko içeren çinko konsantreleri, EAFD ile karıştırılmış %10 ve %40'lık beslemeyi pilot ölçekli bir Waelz fırınında test etmişler. Vazante madeninden elde edilen düşük tenörlü çinko konsantresinin, çinko oksit üretimi için Waelz fırınına beslemek için uygun olduğunu açıklamışlar. [95]

Nexa Resources firmasından Dias ve ekibi, çinko silikat konsantrelerine liç işlemini inceleyerek, uygulanabilir olduğunu ve geri kazanımı %0,64 daha arttırarak %98,47 kadar artırabileceğini deneyimlemişlerdir. [96] Nexa Resources ekibinden, Oliveira C.C.S.de ve arkadaşlarını yaptıkları çalışmada sülfatlama işlemiyle halihazırda kullanılan nötr liç ve jarosit süreçlerini karşılaştırmışlardır. Çinko kazanımı bakımından her iki süreçte birbirine yakın sonuç vermiştir. Ancak, sülfatlama sürecinin ekzotermik olması nedeniyle sıcaklık kontrolü gerektiği ve demir çözünümü azalsa da diğer emprüteler için daha fazla çalışma yapılması gerektiği belirtilmiştir. [97]

Michael Moats ve Timothy Hymer makalelerinde, elektroliz hücre evlerinde safsızlıkların ve katkı maddelerinin çinko elektrodepozisyonu üzerindeki etkileşiminin analiz edildiğini ancak genellikle tam olarak anlaşılamadığını vurguladıkları çalışmalarında, safsızlıklar ve katkı maddeleri arasındaki etkileşimleri basit terimlerle açıklamaya ve elektroliz hücre operasyonlarının nasıl kontrol edileceğine dair pratik tavsiyeler sunmaya çalışmışlardır. [98]

Bulgar KCM firması ekibinin yaptığı çalışmada ise çinko izabe tesislerinin 75.000 ton kapasitesine ve RLE prosesine sahip olduğunu belirterek, çelik endüstrisinden gelen ve çinko kaynağı olan elektrik ark baca tozlarını ve kurşun tesisi atıklarını daha iyi kazanabilmek için TSL fırın ve Waelz fırını yatırımı yaptıklarını açıklayarak, kurşun ve çinko izabe tesislerini bir arada en verimli şekilde kullandıklarının altını çizmişleredir. [99]

İkincil kaynaklardan çinko metal üretimi ve çinko içeren atık malzemelerin üretimde değerlendirimesine yönelik çalışmalar da literatürde yer almaktadır. Kerry T. ve arkadaşları çalışmalarında çinko izabe tesislerinin, çinko cevheri tedariğinin giderek zorlaştığını ve stabil olmayan bir pazar olduğundan zaman zaman yüksek fiyatlarla karşılaşabileceğini belirttikleri

çalışmalarında, daha makul fiyatlarla ikincil çinko kaynaklarının araştırılmasını ve kullanılmasını teşvik etmişlerdir. Çelik yapımından elde edilen çinko içeren elektrik ark baca tozu gibi kalıntıların, kullanım potansiyellerinden bahsetmişlerdir. [100]

Enfi ekibinden Liang Xu ve Shaobin Ma küresel çinko üretiminin ağırlıklı olarak hidrometalürjik olarak yapıldığını belirttikleri çalışmalarında, hidrometalurijk prosesin liç kademesinde ortaya çıkan atıkları da kazanılabilecek diğer metallerin eldesi konusunda çalışmışlardır. Yayınlarında, Waelz döner fırın, TSL fırını ve daha çok Çin'de yaygın olarak kullanılan fuming furnace yöntemlerini karşılaştırmışlar. Waelz yönteminin en yaygın ve basit yöntem olduğunu ancak kazanım oranı ve verim olarak dezavantaj sağladığını belirtmişlerdir. Fuming Furnace, TSL fırınına göre ilk maliyetinin daha az olduğu ama verim ve bakım konularında TSL fırınının daha iyi olduğunu yazmışlardır. TSL fırınının yüksek ilk yatırım maliyeti olması dolayısıyla da, submerged combustion furnace ve fuming furnace entegre ettikleri sistemi önerdiklerini ve yılda yaklaşık 150.000 ton çinko metali ve 80.000 ton kurşun metali üreten Çin'de Yunnan Chihong Zn & Ge Huize çinko izabe tesisinde, endüstriyel olarak da uyguladıklarını açıklamışlardır. [101] Enfi ekibinden Xin ve arkadaşları, Fuming Furnace adını verdikleri süreçle çinko izabe atıklarından çinko, kurşun ve antimonun yüksek verimle kazanılabildiğini göstermişlerdir. [102]

Yan Song ve arkadaşları, çinko pirometalurji ve hidrometalurji endüstrisinden gelen çinko ergitme ve çinko liç atıklarına ait bir çalışma yürütmüşler. Pirometalurjik işlemle üretilen çinko cürufun, ikincil kaynak olarak yüksek miktarda çinko, kurşun ve kobalt; Hidrometalurjik işlemde üretilen çinko liç artığı genellikle çinko, germanyum ve indiyum içerdiğinden hareketle, büyük miktarda çinko cürufu deşarjının, çevre kirliliğine ve kaynak israfına neden olabileceğini belirtmişler ve toksisitenin azaltılması ve çinko cürufunun kullanımının artırılmasını önermişlerdir. Çalışmalarında, metal geri kazanımı için pirometalurjik ve hidrometalurjik yöntemler özetlenmiştir. İnşaat malzemelerinde çinko cürufunun kullanımı da tartışılmaktadır. Sonunda, ilgili teknolojik zorluklar ve bunların olası çözümleri tartışılmıştır. [103] Kim J. ve ekibinin yaptığı çalışmada ise, alkali ortamda bir çinko tesisi kalıntısından (ZPR) kurşunun geri kazanılmasına odaklanılmaktadır. İlk olarak, Zn ve Pb, %56.9 Pb, %0.34 Ag, % 3.93 Zn ve %0.88 Cu içeren çinko tesisi kalıntısı, NaOH içinde liç edilmiş ve çözündürülmüş. % 59.5 Pb ve% 8.5 Zn. Nihai kalıntıdaki ilginç bir şekilde gümüş, % 0.3'ten%

1.17'ye zenginleştirilmiş ve bu da onu gelecek vaat eden bir gümüş kaynağı haline getirilmiştir. [104]

John F. Pusateri, J. R. de Wet ve Brandon Tirpak, ABD merkezli Advanced Zinc Recovery firması olarak, yıllık 650 bin ton elektrik ark baca tozu işleme kapasitesine sahip, 5 adet tesisleriyle yıllık 155 bin ton çinko metali üretim yöntemlerini ve tecrübelerini anlatmışlar. [105] Takaya ve arkadaşları, Shisaka Smelting firması olarak 1977'den beri Waelz fırın sürecini kullanarak elektrik ark ocağı (EAF) baca tozundan ham çinko oksidi geri kazandıklarını belirtmişler. Çalışmaları sonucunda, uzun zamandır EAF tozunu işleme konusunda yaşadıkları zorlukları iyileştirmek için, 2011 yılından itibaren yeni bir granülasyon sürecini başlattılarını ve böylece, döner fırında indirgeme işlemini ve çinko geri kazanım oranını büyük ölçüde arttırdıklarını paylaşmışlardır. [106] Xin, Liao ve arkadaşları ise çinko izabe tesisi atıklarının optimize edilmesi ve arsenik giderilmesini araştırmış, Liao ve ekibiyse bakır ve kurşun izabe tesislerini incelemişler. Bakır ve kurşun tesisleri entegrasyonundan bahsettikler çalışmalarında, tesislerde yapılan optimizasyon süreçlerini ele almışlardır. [107 - 109]

Massimo Maccagni ve Edoardo Guerrini ise Ezinex yöntemiyle çinko ikincil kaynaklarından çinko metali üretmenin Ezinex yöntemiyle mümkün olduğunu, yöntemin ISP ve klasik RLE yönteminin dezavantajlarını barındırmadığını belirmişlerdir. [110] Shafiq A. ve arkadaşları da galvanizli çelik hurdasından çinko geri kazanımını çalışmışlardır. [111] Wang ve ekibinin yaptığı çalışmada ise Sırbistan'da depolanan jarosit kalıntısının arıtılması için yeni bir klorür buharlaştırma süreci geliştirilmiş. Bu işlemde kurşun, çinko, bakır, gümüş ve indiyum gibi değerli metaller klorlanarak uçucu hale getirilmiştir. [112] Shinoda M. ve ekibinin çalışmasında sülfürik asit ile yüksek fırın baca tozundan sülfürik asit ve yüksek saflıktaki liç çinkonun geri kazanımı için yeni teknoloji tanıtılmıştır. Süreç, asit liç, saflaştırma ve alkali arıtma olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. [113] Kamimura G. ve Matsuura H. araştırmalarında, Elektrik ark ocağı (EAF) tozundan çinkonun geri dönüşüm sürecini geliştirmek için, EAF tozunun seçici klorlama ve buharlaştırma yöntemlerni incelemişlerdir. [114] Frias C. ve ardakaşları, rafinerilerde kazanılamayan polimetalik konsantrelerin kazanımı için yeni ve gelişmiş bir teknoloji tanıtmışlardır. Örnek konsantre içeriği olarak; %5-10 çinko, %3-5 kurşun, %2-4 bakır ve 100-200 ppm gümüş olarak belirtmişlerdir. [115] Sato ve arkadaşları, Mitsububishi izabe tesislerinde Harris cürufundan kurşun ve kalay ve arseniğin ayrımını gerçekleştirerek, Hosokura izabe tesislerinde ticari olarak kalay üretebildiklerini belirtmişlerdir. [116] Matsura

D. ve arkadaşları çinko içeren atıkların kazanılması ve hematit prosesinin optimize edilmesi üzerine çalışma gerçekleştirmişler. İleri dönemde atıktan geri kazanım çalışmalarının devam etmesi gerektiğini belirtmişlerdir. [117]

Araştırmacıların hidrometalurji alanında yaptığı çalışmalardan, Longyi Chen çalışmasında çinko hidrometalurjisinde demirin davranışını incelemiş ve demirin çinko ergitme işletmeleri için proses seçiminde dikkat edilmesi gereken en önemli faktörlerden biri olduğunu, sürecin uzunluğunu, çinko liç verimliliğini, geri kazanım yöntemlerini ve Ga, Ge, In gibi nadir metallerin geri kazanım etkisi üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olduğunu belirtmiştir. Makalesinin farklı geri kazanım çalışmaları için bir referans olduğunu belirterek, çinko sülfür konsantresinden çinko basınçlı süzme işleminde demirin farklı liç sıcaklığı, asitliği ve basıncı altındaki davranışını analiz etmiştir. [118] Wang H. ve arkadaşları çalışmalarında tipik çinko sülfür konsantresinin mineralojisini ayrıntılı olarak incelemiştir. Ana mineral bileşimi ve elementlerin oluşum durumu belirlerek, sıcaklık ve asitlik gibi etkiler araştırılmıştır. [119] Outotec ekibinden Tuomas Hirsi ve Björn Saxen çinko izabe tesislerinde, alçıtaşı giderme işleminin, elektroliz öncesi çözelti saflaştırma aşamasının önemli bir parçası olduğunu belirtmişler. Liç işleminden sonra alçıtaşı gidermenin ekipmanların bakım maliyetini kontrol etmek için önemli olduğunu belirtmeiştir. Outotec alçıtaşı giderme tesisi, Meksika, Torreón'daki çinko izabe tesisinde 2018 yılında faaliyete geçmiş. Tesis, çözelti soğutması için Outotec soğutma kulelerini ve çözelti akışından katı partikül ayırımı için Outotec yüksek hızlı kalınlaştırıcıyı (thickener) kullanıyor. Yazarlara göre ilk işlem sonuçları, alçı uzaklaştırmanın etkili olduğunu göstermektedir. [120] Yang ve arkadaşları, çinko hidrimetalurjisinde empritürlerin çinko ikamesi ile giderilmesinin maliyetli olduğunu, üstelik bakır ve kobalt gibi çinko cürufuna giden değerli metallerin kazanımının zor olduğunu savundukları çalışmalarında, geliştirdikleri yeni bir yöntemden bahsetmişlerdir. Çinko liç çözeltisindeki bakır, çinko ve bakır sülfidin çözünürlük farklılıklarına dayanan yavaş salınımlı bir mineralizasyon işlemi ile seçici olarak ayrıldığını belirtmişlerdir. Yöntemin kobalt için de başarılı olduğunu vurgulayan araştırmacılar, yaklaşımın çinko izabe işleminin ekonomik verimliliğini artırabileceğini göstermişlerdir. [121] Syeda A. çalışmasında ikincil kaynaklardan çinko geri dönüşümü ve kazanım yöntemlerini incelediği çalışmasında, hidrometalurjik yöntemlerin daha yeşil ve sürüdürülebilir olduğunu belirterek, metallerin %99,99' unun geri kazanıldığını belirtmiştir. [122] Alex Fraser ve Jean-Michaël Deschênes izabe tesislerinde üretilen, çinko metal külçelerin lazer sistemiyle isimlendirebileceği teknolisinin tanıtımını yapmışlardır. [123] Wang ve ekibi

araştırmalarında, Çin'in Guangdong Eyaleti, Fankou madeninden yüksek kükürtlü kurşun-çinko sülfit cevherinin zenginleştirilmesi için çevre dostu ve uygun maliyetli bir yaklaşım geliştirilmiştir. Hem reaktiflerin maliyetleri hem de güç gereksinimleri en aza indirilerek Fankou madeni için yıllık 4,5 milyon RMB tasarruf sağlandığını belirtmişlerdir. [124]

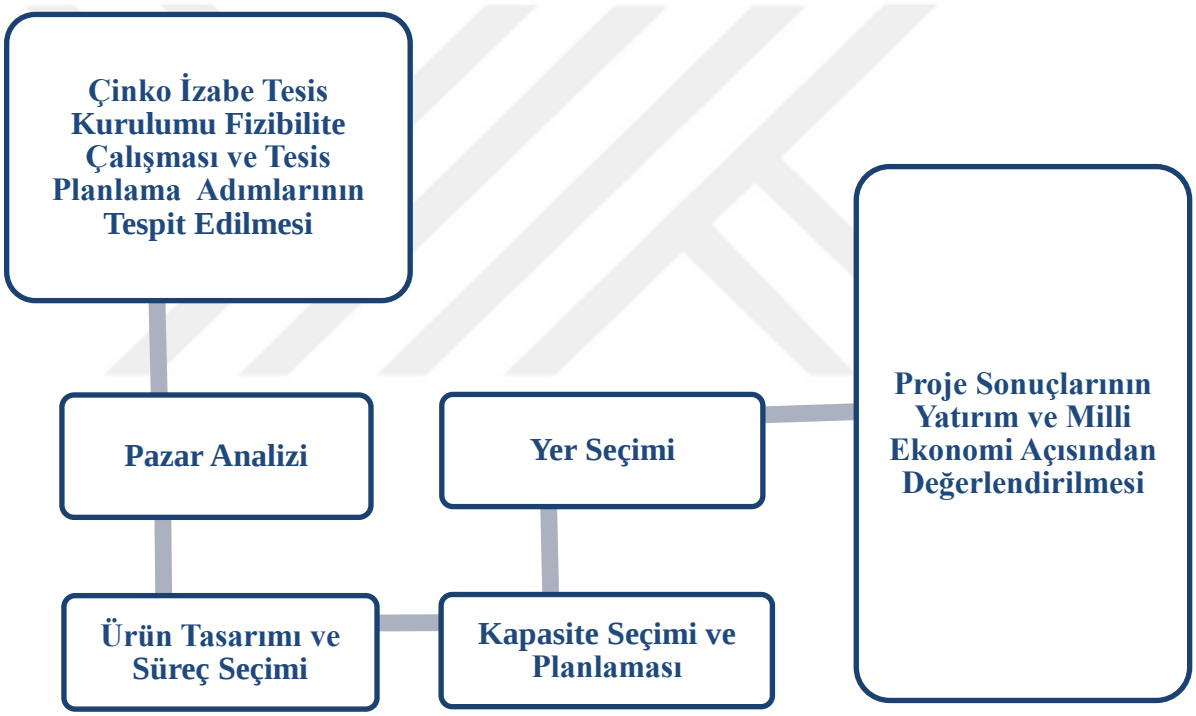
Reemeyer çalışmasında, madenlerin ve izabe tesislerinin konumsal yakınlığının stratejik bir avantaj olabileceğini belirttiği çalışmasında, Avustralya'daki Hobart izabe tesisi ve Rosebery madenini, Meksika'da Penoles madenleri ve Torreon izabe tesislerini, ABD'de Clarksville izabe tesisi ve Tennessee madenlerini ve Avrupa'da Boliden madenleri ve izabe tesislerini örnek göstermiştir. Ayrıca, kurşun ve çinko izabe endüstrisinde küresel eğilimin, artan geri dönüştürülmüş malzeme beslemelerine izin veren esnek akış çizelgelerine ve teknolojilere doğru olduğunu belirtmiştir. Çinko içeren elektrik ark baca tozları eğiliminin özellikle Kuzey Amerika ve Avrupa'da izabe tesisleri için devam etmesi beklendiğini dile getirmiştir. [24]

Güler E. Çinko tesisi liç artıklarından metal kazanım yöntemlerinin araştırılması çalışmasında, artık sahasında bulunan, yaklasık olarak 1,2 milyon ton, çesitli metal içeren bu artıklardan metal kazanımının (Zn, Pb, Ag), teknik olarak mümkün olup, elde edilecek katma degerlerle Türkiye ekonomisine katkı sağlanabileceğini belirtmiştir. [9]

Önümüzdeki 5 yılda, çinko metal talebinde büyümenin Çin dışındaki ülkelerde yoğunlaşmasının beklendiğini, Güney Asya, OrtaDoğu ve Gelişmekte olan ülkelerinin başı çekmesinin beklendiğini dile getirmiştir. 2023 yılına kadar Çin dışında yıllık çinko ergitme kapasitesindeki 0,8 milyon ton artışa ek olarak, beklenen talep artışlarını karşılamak için 0,3-0,5 milyon ton daha yeni yıllık kapasiteye ihtiyaç duyulacağını belirtmiş ve bu çinko için ek gereksinimin nerede ve nasıl karşılanacağı sorusunu gündeme getirmiştir. Son olarak, önümüzdeki 5 yıldaki talebe paralel olarak, Çin dışındaki çinko izabe kapasitesinin arttırılması için daha fazla yatırım yapılmasını gerektiğini vurgulamıştır. [48] Literatür incelendiğinde çinko madenciliği ve metalürjisi, tesis fizibilitesi ve tesis planlaması konusunda ayrı ayrı değerli çalışmalar bulunmaktadır. Ancak; çinko madenciliği, metalürjisi, ekonomisi ve çinko izabe tesisi konularını bir arada ve uçtan uca ele alan bir çalışma bulunmadığından, çalışmamızın kılavuz olabilecek bir çalışma olacağını ifade etmek mümkündür. İzabe tesisi konusunda yapılmış çalışmalara literatürde sıklıkla rastlanmamaktadır. Endüstriyel bir uygulama olması nedeniyle akademik anlamda yapılmış çalışma sayısı oldukça azdır. Bu çerçevede, ülkemizde çinko izabe tesisi kurulması çalışmalarına ışık tutacağından son derece önemlidir.

5. ÇİNKO İZABE TESİS KURULUMU FİZİBİLİTE ÇALIŞMASI VE TESİS PLANLAMA

Ülkemizde halihazırda çinko metal üretimi için hammadde kaynağı bulunmaktadır. Sahip olunan sülfürlü çinko konsantresi ve waelz oksit kaynaklarından, elektrolitik üretim metodu kullanılarak, Çinko (Zn) metal üretimi amaçlanmaktadır. Şekil 5.1'de belirtilen süreç adımları takip edilecek olan çalışma kapsamında, gerekli olan yatırım, nakit akış durumu ve tesisin değeri raporda detaylı bir şekilde analiz edilmektedir.



Şekil 5.1: Çinko İzabe Tesis Kurulumu Fizibilite Çalışması ve Tesis Planlama Adımlarının Tespit Edilmesi

5.1 PAZAR ARAŞTIRMASI

Çinko, demir, alüminyum ve bakırdan sonra en çok talep gören dördüncü metal olarak önemli bir yere sahiptir. Küresel çinko maden ve metal arz talep dengesi Tablo 5.1'de gösterilmiştir.

Tablo 5.1: Küresel Çinko Maden ve Metal Arz – Talep Dengesi [14].

	2019	%	2020	%	2021	%	2022	%
Küresel Miktar (bin ton)								
Maden Üretim	12964	0,5	12527	-3,4	13216	5,5	13613	5,5
Metal Üretim	13357	0,8	13562	1,5	13833	2,0	14108	2,0
Metal Tüketim	13868	-1,9	13101	-5,5	13619	4,0	13890	4,0
Cevher & Konsantre Pazar Dengesi	281		-218		307		507	
Metal Pazar Dengesi	-511		461		214		218	

Küresel çinko metal üretiminde en büyük üretim bölgeleri sırasıyla; Asya, Avrupa ve Kuzey Amerika olup, Tablo 5.2'de gösterilmiştir. Asya kıtasının en büyük üretim bölgesi olmasının en önemli neden ise küresel üretimin lokomotifi olan Çin'dir. Çin, çinko izabe tesisleri üretim miktarı ve çevresel politikalarıyla sektöre yön vermektedir.

Tablo 5.2: Küresel Çinko Metal Üretimi [14].

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030	2035	2040
AFRİKA	256	170	139	134	83	94	94	77	73	21	10	10	10	10	10			
ASYA	7464	7141	7626	7974	8406	8359	8415	7977	8209	8378	9067	9587	9867	10047	10037	10037	10037	10037
AVRUPA	2166	2094	2113	2215	2230	2181	2160	2238	2193	2220	2266	2266	2271	2271	2271	2271	2271	2271
GÜNEY AMERİKA	633	599	653	619	619	616	583	610	624	576	606	611	615	615	615	615	615	615
ORTA DOĞU	89	103	103	103	108	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109
KUZEY AMERİKA	1236	1231	1230	1106	1186	1138	1051	1105	1142	1240	1355	1355	1290	1290	1290	1290	1290	1290
AVUSTRALYA	517	498	499	484	489	464	459	489	432	488	530	530	530	530	530	530	530	530
RUSYA VE TÜRKİ CUMHURİYETLER	609	617	572	599	599	625	649	640	575	580	590	590	590	590	590	590	590	590
TOPLAM	12969	12453	12935	13233	13720	13586	13519	13245	13357	13612	14533	15058	15282	15462	15452	15442	15442	15442
ÇİN	5110	4820	5214	5627	5927	6036	6011	5642	5909	6118	6642	7157	7437	7617	7617	7617	7617	7617
DİĞER ÜLKELER	7859	7634	7722	7606	7794	7550	7509	7603	7448	7494	7891	7901	7845	7845	7835	7825	7825	7825

Avrupa Bölgesindeki Çinko İzabe Tesisleri Tablo 5.3'te verilmiştir Tablo 5.4'te kapasite ve üretim miktarlarının detayları verilen izabe tesisleri incelendiğinde; İspanya'daki Glencore firmasına ait San Juen de Nieve Çinko İzabe Tesisi, Finlandiya'daki Boliden firmasına ait Kokkola Çinko İzabe Tesisi ve Belçika'daki Trafigura – Nyrstar firmasına ait Balen Çinko İzabe Tesisi önplana çıkmaktadır.

Tablo 5.3: Avrupa'daki Çinko İzabe Tesisleri [14].

	Üretim Yöntemi	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030	2035	2040
Balen	RLE	282	250	252	262	260	236	249	275	261	260	260	260	260	260	260	260	260	260
Belçika		**282**	**250**	**252**	**262**	**260**	**236**	**249**	**275**	**261**	**260**	**260**	**260**	**260**	**260**	**260**	**260**	**260**	**260**
Kardjali	RLE	17	0																
Plovdiv	RLE	73	73	72	74	74	76	74	72	74	72	72	72	72	72	72	72	72	72
Bulgaristan		**90**	**73**	**72**	**74**	**74**	**76**	**74**	**72**	**74**	**72**	**72**	**72**	**72**	**72**	**72**	**72**	**72**	**72**
Kokkola	RLE	307	315	312	302	305	291	285	295	291	298	310	310	310	310	310	310	310	310
Finlandiya		**307**	**315**	**312**	**302**	**305**	**291**	**285**	**295**	**291**	**298**	**310**	**310**	**310**	**310**	**310**	**310**	**310**	**310**
Auby	RLE	164	161	152	171	169	149	166	155	141	160	160	160	160	160	160	160	160	160
Fransa		**164**	**161**	**152**	**171**	**169**	**149**	**166**	**155**	**141**	**160**	**160**	**160**	**160**	**160**	**160**	**160**	**160**	**160**
Nordenham	RLE	147	144	145	146	147	148	155	165	167	162	165	165	165	165	165	165	165	165
Almanya		**147**	**144**	**145**	**146**	**147**	**148**	**155**	**165**	**167**	**162**	**165**	**165**	**165**	**165**	**165**	**165**	**165**	**165**
Portovesme El	RLE	111	98	115	136,3	138	138	129	132	133	118	137	137	137	137	137	137	137	137
İtalya		**111**	**98**	**115**	**136**	**138**	**138**	**129**	**132**	**133**	**118**	**137**	**137**	**137**	**137**	**137**	**137**	**137**	**137**
Budel	RLE	261	257	275	290	291	291	248	268	249	285	285	285	285	285	285	285	285	285
Hollanda		**261**	**257**	**275**	**290**	**291**	**291**	**248**	**268**	**249**	**285**	**285**	**285**	**285**	**285**	**285**	**285**	**285**	**285**
Odda	RLE	155	153	143	166	163	171	172	195	195	188	195	195	195	195	195	195	195	195
Norveç		**155**	**153**	**143**	**166**	**163**	**171**	**172**	**195**	**195**	**188**	**195**	**195**	**195**	**195**	**195**	**195**	**195**	**195**
Boleslaw	RLE	69	65	73	78	80	80	80	81	82	82	82	82	87	87	87	87	87	87
Miasteczko Slaskie	ISF	72	71	71	74	81	80	80	78	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77
Polonya		**142**	**136**	**144**	**152**	**161**	**160**	**160**	**159**	**159**	**159**	**159**	**159**	**164**	**164**	**164**	**164**	**164**	**164**
San Juan de Nieva	RLE	489	490	485	499	504	504	504	503	507	500	505	505	505	505	505	505	505	505
Diğer		18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
İspanya		**507**	**508**	**503**	**517**	**522**	**522**	**522**	**521**	**525**	**518**	**523**	**523**	**523**	**523**	**523**	**523**	**523**	**523**
Avrupa Toplam		**2166**	**2094**	**2113**	**2215**	**2230**	**2181**	**2160**	**2238**	**2193**	**2220**	**2266**	**2266**	**2271**	**2271**	**2271**	**2271**	**2271**	**2271**

Küresel ve Avrupa'daki çinko izabe tesislerinin büyük çoğunluğu hidrometalurjik yönetmlerle elektrolitik çinko metal üretimi yapmaktadır. Bu verilerin ışığında, güncel ve etkin yöntem olarak, RLE prosesi öne çıkmaktadır.

Tablo 5.4: Avrupa'daki Çinko İzabe Tesisleri Üretim ve Kapasite Miktarları [14].

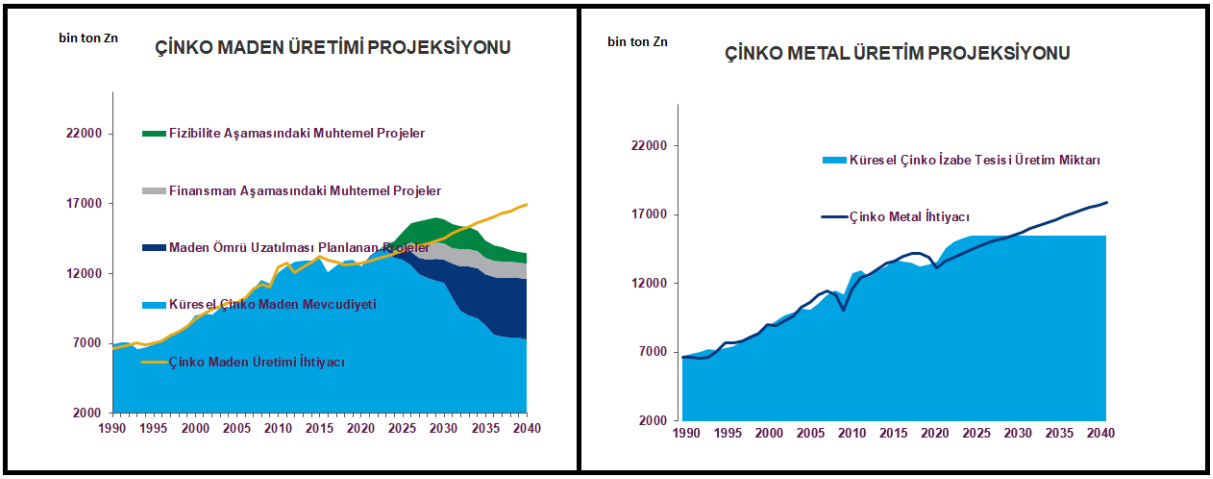
		Kapasite (bin ton Zn)						Üretim Miktarı (bin ton Zn)						Kapasite Kullanım Oranı (%)					
Ülke	**İzabe Tesisi**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**
Belçika	Balen	270	270	270	270	270	270	275	261	260	260	260	260	102	97	96	96	96	96
Bulgaristan	Plovdiv	75	75	75	75	75	75	72	74	72	72	72	72	96	98	96	96	96	96
Finlandiya	Kokkola	315	315	315	315	315	315	295	291	298	310	310	310	94	92	95	98	98	98
Fransa	Auby	165	165	165	165	165	165	155	141	160	160	160	160	94	86	97	97	97	97
Almanya	Nordenham	180	180	180	180	180	180	165	167	162	165	165	165	92	93	90	92	92	92
İtalya	Portovesme El	140	140	140	140	140	140	132	133	118	137	137	137	94	95	84	98	98	98
Hollanda	Budel	290	290	290	290	290	290	268	249	285	285	285	285	92	86	98	98	98	98
Norveç	Odda	200	200	200	200	200	200	195	195	188	195	195	195	98	98	94	98	98	98
Polonya	Boleslaw	80	85	85	85	85	90	81	82	82	82	82	87	102	96	96	96	96	97
	Miasteczko Slaskie	80	80	80	80	80	80	78	77	77	77	77	77	98	96	96	96	96	96
İspanya	San Juan de Nieva	510	510	510	510	510	510	503	507	500	505	505	505	99	99	98	99	99	99
	Diğer	22	22	22	22	22	22	18	18	18	18	18	18	82	82	82	82	82	82
Avrupa Toplam		**2327**	**2332**	**2332**	**2332**	**2332**	**2337**	**2238**	**2193**	**2220**	**2266**	**2266**	**2271**	**96**	**94**	**95**	**97**	**97**	**97**

Küresel ve ülkemizin çinko metal talebi Tablo 5.5'te gösterilmiştir. Küresel çinko metal talebinin artması öngörülmektedir. Günümüzde Çin, Hindistan, Rusya ve Brezilya (BRİC Ülkeleri) gibi gelişmekte olan ülkelerin artan nüfusu, refah düzeyi, sanayileşmesi ve kentleşmeyle birlikte özellikle çinko metal talebinde yukarı yönlü bir hareket meydana gelmesi beklenmektedir.

Tablo 5.5: Küresel ve Türkiye Çinko Metal Talebi [14].

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030	2035	2040
ASYA	**7477**	**7838**	**8298**	**8686**	**8822**	**9163**	**9420**	**9364**	**9372**	**9126**	**9466**	**9646**	**9865**	**10101**	**10302**	**11092**	**12006**	**12813**
RUSYA VE TÜRKİ CUMHURİYETLER	**251**	**270**	**267**	**252**	**234**	**234**	**252**	**261**	**250**	**238**	**250**	**256**	**260**	**263**	**266**	**285**	**306**	**330**
Türkiye	196	221	229	233	239	238	264	250	252	241	249	258	263	282	288	340	397	459
AVRUPA	**2372**	**2225**	**2219**	**2278**	**2353**	**2341**	**2399**	**2403**	**2283**	**1987**	**2097**	**2134**	**2151**	**2185**	**2203**	**2319**	**2436**	**2558**
KUZEY AMERİKA	**1271**	**1356**	**1346**	**1419**	**1369**	**1418**	**1375**	**1375**	**1297**	**1147**	**1209**	**1230**	**1239**	**1241**	**1243**	**1255**	**1263**	**1266**
GÜNEY AMERİKA	**444**	**452**	**438**	**410**	**381**	**373**	**361**	**364**	**339**	**304**	**291**	**308**	**320**	**330**	**339**	**376**	**413**	**456**
ORTA DOGU	**180**	**176**	**179**	**193**	**194**	**170**	**162**	**137**	**112**	**103**	**105**	**109**	**117**	**137**	**141**	**164**	**181**	**203**
AVUSTRALYA	**224**	**182**	**147**	**131**	**133**	**108**	**94**	**103**	**78**	**80**	**82**	**82**	**84**	**84**	**85**	**87**	**90**	**97**
AFRİKA	**175**	**150**	**137**	**138**	**158**	**140**	**143**	**136**	**137**	**116**	**120**	**124**	**134**	**140**	**144**	**154**	**170**	**180**
TOPLAM	**12394**	**12649**	**13033**	**13508**	**13644**	**13947**	**14206**	**14144**	**13868**	**13101**	**13619**	**13890**	**14169**	**14481**	**14722**	**15732**	**16867**	**17902**
Büyüme Oranı	*7,1%*	*2,1%*	*3,0%*	*3,6%*	*1,0%*	*2,2%*	*1,9%*	*-0,4%*	*-1,9%*	*-5,5%*	*4,0%*	*2,0%*	*2,0%*	*2,2%*	*1,7%*	*1,6%*	*1,3%*	*1,1%*

Ayrıca, Covid-19 sonrası güçlenen yeşil ekonomi teşvikleri ve yenilebilir enerjiye geçiş politikaları da birçok metale olan talebi arttıracaktır. Güneş enerjisi üretiminde kullanılan paneller, rüzgar tribünleri ve elektrikli araçlarda yoğun olarak kullanılan demir cevheri, bakır, çinko ve alüminyum başta olmak üzere çeşitli metallerin çevreci ekonomiden destek görmesi beklenmektedir. Yeşil teknoloji de dahil olmak üzere tüketici odaklı teşvik ve hızlandırılmış altyapı yatırımların da metallere olan endüstriyel talebi canlandırması öngörülmektedir. Dünyada üretilen birçok emtianın çok büyük bir bölümünü tek başına tüketen Çin ve Hindistan gibi diğer Asya ülkelerinin inşaat ve imalat sanayisini canlı tutmak adına metallere olan ihtiyacı da çinko talebini diri tutması öngörülmektedir.



Şekil 5.2: Çinko Maden Üretimi ve Metal Üretimi Projeksiyonu [14].

Şekil 5.2'deki gibi artması beklenen çinko metal talebi karşısında, mevcut çinko metal üretimi yetersiz görünmektedir, çinko metal üretim projeksiyonuna göre ilave çinko metal üretim ihtiyacı yeni projelerin yapılmasını gerektirmekedir.

Tablo 5.6: Küresel Galvaniz Üretim Miktarları [14].

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2025	2030
ASYA	**79613**	**82583**	**85483**	**87901**	**90741**	**89991**	**91241**	**92566**	**92971**	**92971**	**92971**	**92311**	**92311**
Türkiye	2100	2450	2450	2450	2450	2450	2450	4050	4050	4050	4050	4050	4050
AVRUPA	**24540**	**26800**	**27400**	**27400**	**27400**	**26830**	**25655**	**27255**	**27255**	**27255**	**27255**	**27255**	**27255**
RUSYA VE TÜRKİ CUMHURİYETLER	**4495**	**4895**	**4895**	**5295**	**5295**	**5295**	**5425**	**6575**	**6675**	**6675**	**6675**	**7125**	**7125**
KUZEY AMERİKA	**30665**	**30665**	**31443**	**31573**	**31607**	**32257**	**32002**	**31968**	**31814**	**32244**	**32972**	**32927**	**32927**
GÜNEY AMERİKA	**5555**	**5556**	**5557**	**5648**	**5649**	**5650**	**5571**	**6322**	**6323**	**6324**	**6325**	**6330**	**6335**
ORTA DOĞU	**1240**	**1820**	**1880**	**1880**	**1880**	**2080**	**2330**	**2080**	**2080**	**2080**	**2080**	**2080**	**2080**
AFRİKA	**2551**	**2701**	**2871**	**2871**	**2871**	**2871**	**2871**	**2871**	**2871**	**2871**	**2871**	**2871**	**2871**
AVUSTRALYA	**1870**	**1870**	**1870**	**1870**	**1870**	**1870**	**1870**	**1870**	**1870**	**1870**	**1870**	**1870**	**1870**
TOPLAM	**150529**	**156890**	**161399**	**164438**	**167313**	**166844**	**166965**	**171507**	**171859**	**172290**	**173019**	**172769**	**172774**

Ülkemizin gelişmiş demir çelik endüstrisi ve galvanizleme altyapısının büyüme potansiyelinin çinko talebini diri tutacağı öngörülmektedir.

Tablo 5.7: Türkiye Galvaniz Üretim Miktarları [14].

Tesis	Sahibi	Yöntem	Hat Sayısı	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2025	2030
Kartal,Assan Galvaniz Industry and Trade Inc	Kibar Holdings AS	HDG	1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Kartal,Assan Galvaniz Industry and Trade Inc	Kibar Holdings AS	HDG		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Borcelik	Borusan (60%) ArcelorMittal (40%)	HDG	1	430	430	430	430	430	430	430	430	430	430	430	430
Borcelik	Borusan (60%) ArcelorMittal (40%)	HDG	2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Borcelik	Borusan (60%) ArcelorMittal (40%)	HDG	3	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370
Bekap, Kartal	Bekap AS	ELG	1	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Eregli Iron & Steel	Erdimir	HDG/Galvanneal	1	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Organize Sanayi Bölgesi, Arslanbey	Tezcan Corp	HDG	1	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
Organize Sanayi Bölgesi, Arslanbey	Tezcan Corp	HDG	2	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
Organize Sanayi Bölgesi, Arslanbey	Tezcan Corp	Galvalume	1							350	350	350	350	350	350
Organize Sanayi Bölgesi, Eregli	Tatmetal	HDG	1	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Organize Sanayi Bölgesi, Eregli	Tatmetal	HDG	2							500	500	500	500	500	500
Osmaniye	Tosyali Holding 51%, Toyo Kohan (Japan) 49%		1							750	750	750	750	750	750
Türkiye Toplam				**2450**	**2450**	**2450**	**2450**	**2450**	**2450**	**4050**	**4050**	**4050**	**4050**	**4050**	4050

Ülkemizdeki potansiyel çinko izabe tesisini besleyebilecek, yerel çinko madeni üreticilerine baktığımızda, Balıkesir Balya bölgesinde ESAN yıllık 80.000 ton çinko konsantresi üretimi yaparken, Yıldızlar SSS – Nesko Maden yaklaşık 100.000 ton/yıl çinko üretimini Şebinkarahisar - Giresun, Akdağ –Yozgat, İvrindi – Balıkesir, Midi – Gümüşhane ve Gümüşköy – Kütahya bölgelerinde gerçekleştirmektedir. Üretilen çinko tenörü yaklaşık % 45 – 50 olarak bilinmektedir. Gümüştas firması, Gümüşhane'de yaklaşık 30.000 ton/yıl çinko (%50 Zn tenörüne sahip) üretmektedir. Oreks, Yenice ve Kalkım Çanakkale'de üretim yapmaktadırlar. Yıllık 25.000 ton çinko üretimi gerçekleştiriken, Niğde bölgesinde de oksitli çinko üretimi yapmaktadır. CVK firması, Yenice – Çanakkale bölgesinde %48 -52 çinko tenöründe üretim gerçekleştirmektedir. AKSU firmasının üretimi son yıllarda azalsa da Balıkesir Durdunbeyli bölgesinde yıllık yaklaşık 5.000 ton çinko üretimi yapmaktadır. Dedeman firması Kayseri'de gerçekleştirdikleri çinko cevher üretimini İran'a ihraç ederken, kurşun konsantresi içerisindeki %10-%15 çinko içerikli satılabilir ürünleri mevcuttur. Çinkom, Kayseri'de yaklaşık 70.000 ton/yıl Waelz oksit üretimi yapmaktadır, yaklaşık çinko tenörü %70'dir. Turkmex iştirakı, Çinkom ve Meksikalı ZINC Nacional ortaklığında olup, Aliağa –

İzmir'de yaklaşık 60.000 ton/yıl çinko oksit üretimi gerçekleştirmektedir. Erbosan, yaklaşık 40.000 ton/yıl üretimlerini, Kayseri'de gerçekleştirmektedir. Çinko tenörü, %65-70'dir. Marzinc, yıllık yaklaşık 50.000 ton, %65 – 75 Zn tenörlü, waelz oksit üretimini Karabük'te yapmaktadır. İskenderun'da Befesa Silvermet, Ankara'da Ceylanlar ve Çorum'da Ekmekçioğlu diğer çinko oksit üreticileridir. Pasinex – Akmetal iştiraki, Adana'da oksitli çinko cevheri üretimi gerçekleştirmektedir. Ölmez Madencilik ise Hakkari'de yüksek miktarda oksitli çinko cevheri üretimi yapmakta ve İran izabe tesislerine ihraç etmektedir.



Şekil 5.3: Yerel Çinko Maden Üretim Bölgeleri [14].

Tablo 5.8'de yer alan veriler, 2019 yılı itibariyle, kurşun ve çinkoda 937 milyon dolar düzeyinde bir açığın varlığına işaret etmektedir. 2019 yılı itibariyle kurşunda 255 milyon dolar, çinkoda ise 682 milyon dolar dış ticaret açığı verilmiştir.

Tablo 5.8: Türkiye Çinko ve Kurşun Cevher ve Konsantresi İhracatı

		2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011
Çinko	Miktar (bin ton)	435	734	972	765	423	367	423	400	418	317
	Değer (milyon $)	180	350	450	390	189	169	238	203	195	203
Kurşun	Miktar (bin ton)	107	120	127	125	107	129	106	130	94	66
	Değer (milyon $)	133	148	195	178	118	157	143	200	138	89

Tablo 5.8'de yer alan veriler, 2019 yılı itibariyle, kurşun ve çinkoda 937 milyon dolar düzeyinde bir açığın varlığına işaret etmektedir. 2019 yılı itibariyle kurşunda 255 milyon dolar, çinkoda ise 682 milyon dolar dış ticaret açığı verilmiştir. Öte yandan, mevcut cevher üretiminin yurtiçinde değerlendirme imkanının olmaması, katma değer, istihdam ve arz güvenliği

açılarından sorunu daha da ciddi hale getirmektedir. 2019 sonu itibariyle yaklaşık 850.000 tonu bulan kurşun-çinko cevher konsantresi üretimi ağırlıklı olarak Güney Marmara, Doğu Karadeniz ve Güney Doğu Anadolu bölgelerinde gerçekleşmiştir. Bu nedenle, özellikle Marmara ve/veya Karadeniz bölgesinde sülfürlü cevherleri işleyebilecek çinko izabe tesislerinin kurulması sorunun hafifletilebilmesi açısından önemli düzeyde katkı sağlayabilecektir.

2011- 2020 döneminde yapılan kurşun ve çinko metal ithalatı miktar ve değer olarak aşağıdaki Tablo 5.9'da gösterilmiştir.

Tablo 5.9: Türkiye Çinko ve Kurşun Metal İthalatı

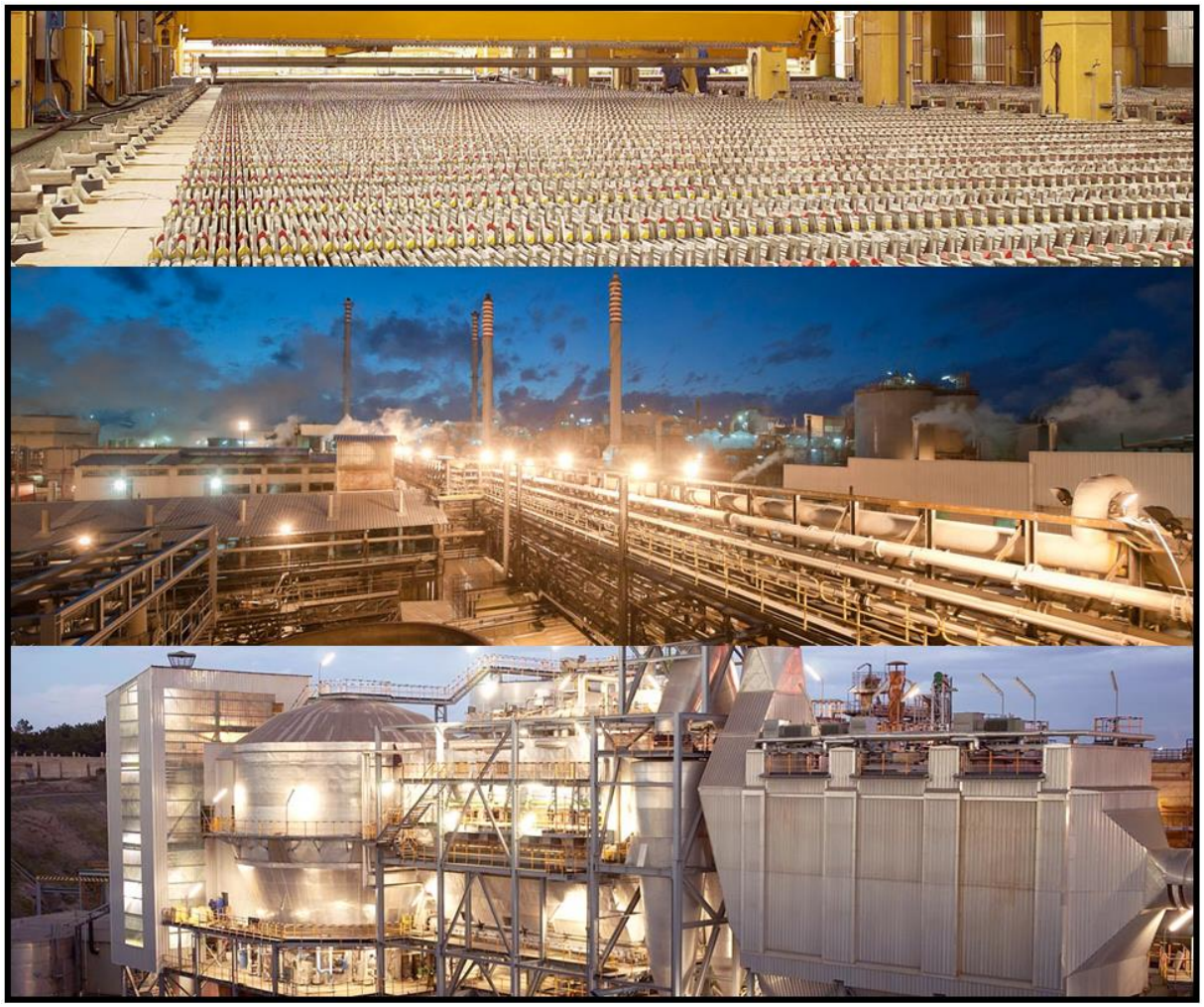
		2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011
Çinko	Miktar (bin ton)	200	253	249	268	236	232	238	235	225	201
	Değer (milyon $)	456	682	782	804	512	497	549	477	459	463
Kurşun	Miktar (bin ton)	75	115	118	111	93	88	95	84	91	82
	Değer (milyon $)	150	255	296	273	188	175	222	201	208	216

Tablo 5.9'da yer alan verilen bilgiler Türkiye'nin özellikle kritik öneme sahip metal madenlerinin kaynak ve üretim miktarları açısından kendi kendine yeterli durumda olmadığını açık bir şekilde ortaya koymaktadır. Özellikle kurşun ve çinko gibi baz metal madenlerde, ülkemiz ithalata bağımlı durumdadır. Bilinen kaynakların analizi ve yeni kaynakların keşfi yapılarak, yakın bir gelecekte, bağımlılığın hangi düzeye yükseleceği analiz edilmelidir. Metal kaynakların dışa bağımlı olarak devam etmesi durumu enerji konusunda olduğu gibi, ülke ekonomisinin hammadde güvenliği açısından da önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra, mevcut düşük tenörlü veya başka türden sorunları bulunan maden potansiyelinin değerlendirilmesi konusunda da etkin çözümlerin geliştirildiğinin ileri sürülebilmesi güçtür.

Ülkelerin sanayileşme düzeyi ile maden ve özellikle metal tüketimleri arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Ülkelerin kişi başına düşen milli geliri ve sanayileşme düzeyi arttıkça metal tüketimleri de artmaktadır. Teze konu olan emtialara ihtiyaç düzeyi yükselmektedir. Bu bağlamda ülkemizin sanayileşmesi ve gelişmesi, daha fazla metal tüketimini zorunlu kılmaktadır. Ülkemizde halen metalik madenler büyük ölçüde cevher ve konsantre ağırlıklı olarak üretilmekte ve satışa konu edilmektedir. Sanayimizin ihtiyaç duyduğu birçok metalik madende net ithalatçı konumunda olduğumuz için maden ithalatına her yıl 30-35 milyar dolar döviz ödemekteyiz. Dolayısıyla emtia fiyatlarındaki yükseliş ve dalgalanmalar ülkemizi olumsuz etkilemektedir. Türkiye, halen altın ve gümüş gibi kıymetli madenler ile bakır, kurşun,

çinko, alüminyum ve nikel gibi emtialara ödenen döviz yüzünden ciddi cari açık veren bir ülke konumundadır.

Ülkemizin metalik madenlerde cevher ve konsantre üretip satan ülke olmaktan çıkarak metal üreten ülke konumuna gelmesi için altın, gümüş, bakır, kurşun, çinko ve nikel gibi metal madenlerine özel önem verilerek desteklenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda öncelikle metal madenciliğinde uç ürün hedeflenerek öncelikle çinko izabe yatırımları teşvik edilmelidir.



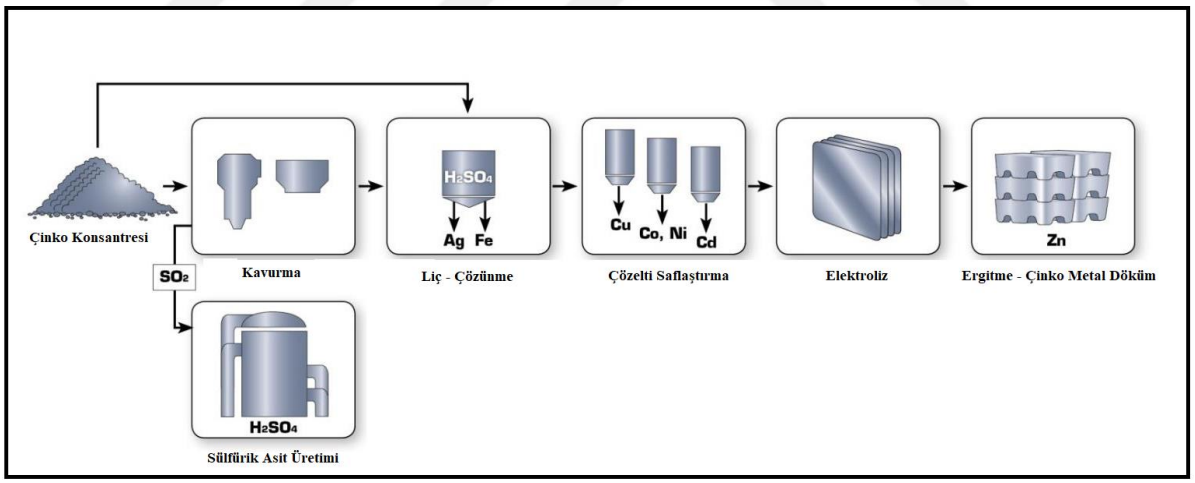
Şekil 5.4: Glencore San Juan de Nieva Çinko İzabe Tesisi [69].

Türkiye'de kayda değer düzeyde çinko madenciliği yapılmakla birlikte, herhangi bir izabe tesisinin mevcut olmaması nedeniyle üretilen konsantreler ihraç edilmekte, metal talebi ise özellikle çinkoda hemen tümüyle ithalat yoluyla karşılanmaktadır. Bu nedenle hem yerli üretimin değerlendirilmesi ve çinko madenciliğinin desteklenmesi, hem de yurtiçi metal talebinin karşılanması amacıyla çinko izabe tesislerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kapsamda

öncelikli olarak kurşun - çinko madenciliğinin en yoğun olarak yapıldığı Güney Marmara, Ege ve Doğu Karadeniz bölgelerinde sülfürlü cevherleri işleyebilecek çinko izabe tesislerinin kurulması madenciliğin gelişmesi ve hammadde arz güvenliğinin geliştirilmesi bakımından önemli düzeyde yarar sağlayacaktır.

5.2 ÜRÜN TASARIMI VE SÜREÇ SEÇİMİ

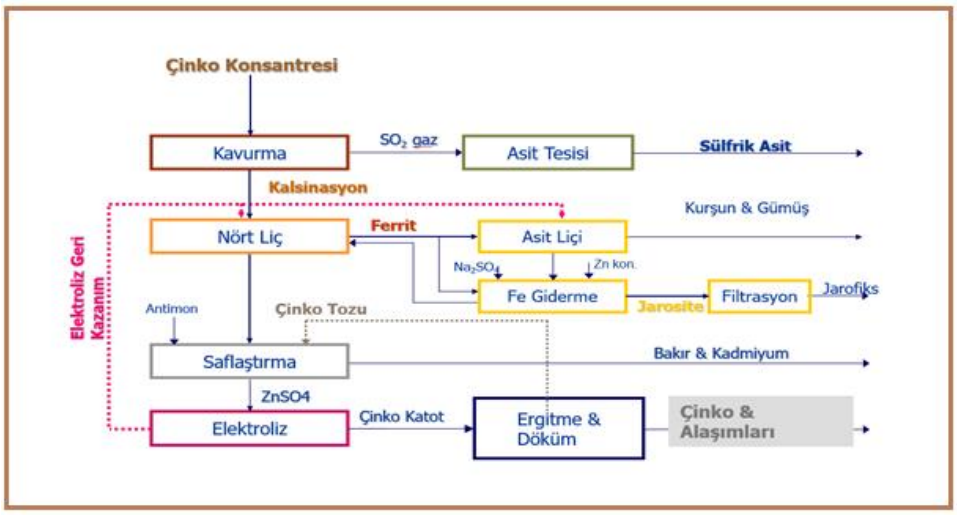
Dünya çinko üretiminin yaklaşık %86'sı, oksit bileşikli cevher veya konsantrelerdeki çinkonun sulu sülfürik asitli çözeltilere alındıktan sonra elektroliz yöntemiyle kazanılması şeklindedir. Hidrometalurji yoluyla çinko metal üretimi, Şekil 5.5'te gösterilen, RLE elektroliz yöntemiyle gerçekleştirilmektedir. Küresel en büyük çinko metal üreticileri kullandıkları, RLE sisteminin endüstride daha yaygın olmasına rağmen, sürecin sonuna eklenen ve sistemin daha az atık vermesine ve daha fazla artık metal kazanarak daha verimli bir üretim imkanına olanak veren, TSL (Top Submerged Lance) fırın sistemlerini ekleyerek başarılı bir şekilde entegre etmişlerdir. Ayrıca, TSL sisteminin götit, jarosit ve kurşun sülfat vb. çinko üretiminin artıklarını ve cürüflarını kazanmak için ekonomik çözümler önerdiği de bilinmektedir.



Şekil 5.5: RLE Yönemiyle çinko metal üretimi [82].

Çinko üretim sürecinde beş farklı aşama öngörülmektedir; kavurma, süzdürme, çözelti saflaştırma, elektroliz ve döküm. Şekil 5.6'da detayı verilen üretim süreci, çinko konsantresinin kavrulmasıyla başlar. Konsantrenin yaklaşık %55 çinko içermesi beklenir. Çinko konsantresi kavurucuda, önce çinko oksit ve çinko ferrite dönüşür, ardından çözelti saflaştırması için sülfürik asit içinde çözülür. Kavurma sırasında soğutulan kükürt dioksit gazı ve içindeki ısı buhar olarak geri kazanılır. Soğutulan kükürt dioksit gazı, Boliden'in Kokkola tesisinde ve

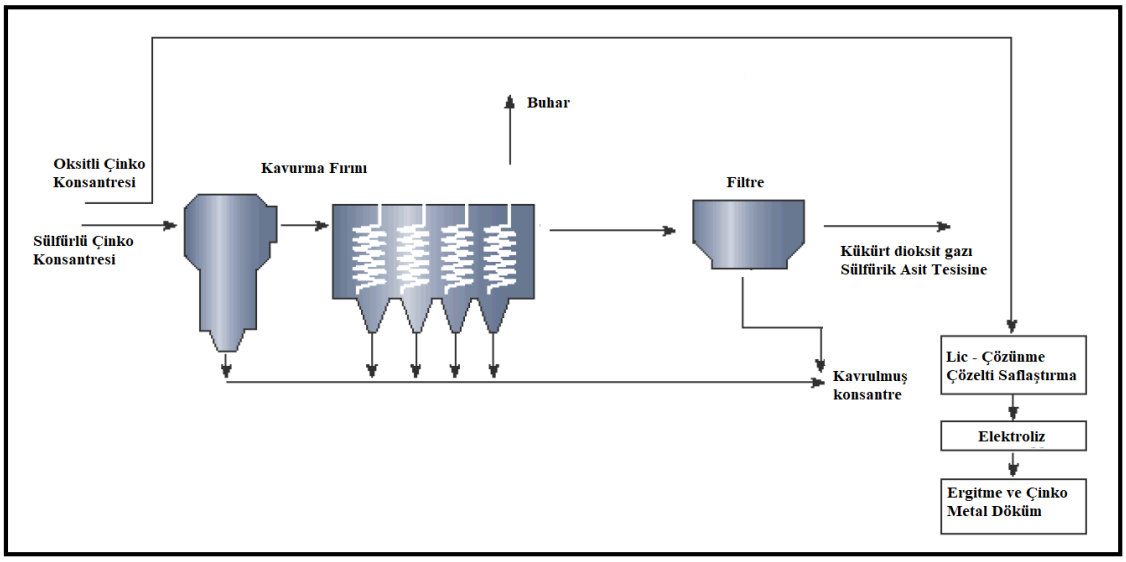
diğer tesislerde olduğu gibi ayrı bir sülfürik asit üretim sürecine hammadde olarak beslenir. Kavurma ve doğrudan süzdürme yöntemiyle işlenen konsantre, sülfürik asit içinde çözülür. Konsantre içeriğine göre çinko sülfata ek olarak; bakır, kobalt, kadmiyum ve manganez sülfatlar gibi birkaç başka sülfatta oluşacaktır. Çözeltideki demir çökeltilir ve jarosit olarak süzülür. Bu aşamada Boliden Kokkola tesisinde olduğu gibi kavrulmuş gümüş, gümüş konsantresi olarak geri kazanılabilir. Çözündürme aşamasını, her aşamaya çinko tozunun eklendiği üç aşamalı bir ham çözelti saflaştırma işlemi takip eder. İstenmeyen metal, çinko sülfat oluşturmak için tozda bulunan çinko ile değiştirilir ve metalik safsızlıklar çökeltiye geçirilir. Çözelti saflaştırmasından elde edilen son ürün, nötr çözelti olarak adlandırılır. Nötr çözelti soğutulur ve elektrolize pompalanır; burada çözünmüş çinko, bir elektrik akımı ile alüminyum katot plakalar üzerinde biriktirilir. Çinko levhalar yaklaşık 35 saat boyunca nötr bir çözelti içinde katod yüzeyinde büyütülür, ardından çözeltiden kaldırılır ve çöken çinko katot levhalarından otomatik ayırma makineleri ile çıkarılır. Katotların üretiminde kullanılan nötr çözelti, geri dönüş asidi olarak adlandırılan arıtma tesisine geri beslenir. Çinko metal üretim sürecinde, elektroliz ile katot üretimi süreci en önemli maliyet kalemi olacaktır, elektrolizin sürdürülmesi için çok büyük miktarda elektrik gereklidir. Bu nedenle elektroliz, üretim hızında belirleyici bir faktördür. Elektrolizden elde edilen çinko levhalar bir dökümhaneye taşınır, burada indüksiyon fırınında eritilir ve müşterinin ihtiyacına göre külçe halinde dökülür ve ardından çinko satışa hazır hale gelir ve çinko metal üretim süreci tamamlandır.



Şekil 5.6: RLE Yönemiyle çinko metal üretimi detaylı süreç akışı [69].

5.2.1 Kavurma

Konsantrenin kavrulması, çinko üretiminin ilk adımıdır. Şekil 5.7'de belirtilen kavurma sürecinde, çinko konsantresi, çinko oksit oluşturmak için yakıldığı bir kavurma fırınına beslenir. Kavurma aşamasında, çinko konsantresi havada oksijen ile 950°C'de yakılarak kükürt giderilir.



Şekil 5.7: RLE Yönemiyle çinko metal üretimi detaylı süreç akışı [83].

Kavurma işlemi yan ürün olarak, kükürt dioksit içeren gaz üretir, içerdiği ısı buhar olarak geri kazanılarak daha sonra işlenmek üzere bir sülfürik asit tesisine beslenir ve soğutularak sülfürik

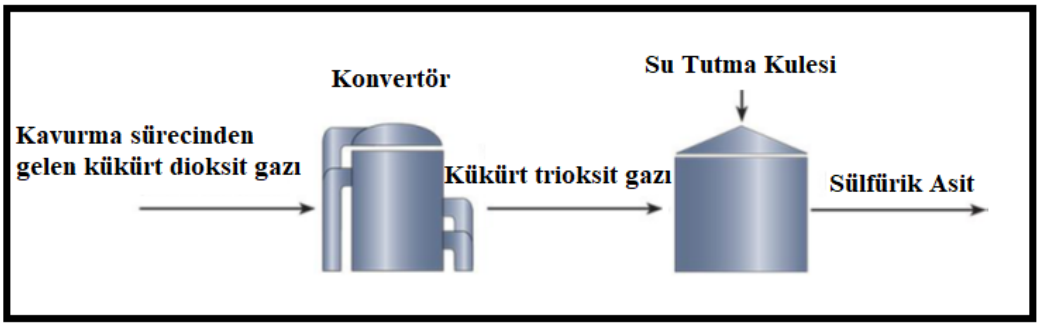
aside dönüştürülür. Şekil 5.8'de Glencore San Juan de Nieva Tesisi Kavurma Tesisi gösterilmiştir.



Şekil 5.8: Glencore San Juan de Nieva Tesisi Kavurma Ünitesi [69].

5.2.2 Sülfürik asit üretimi

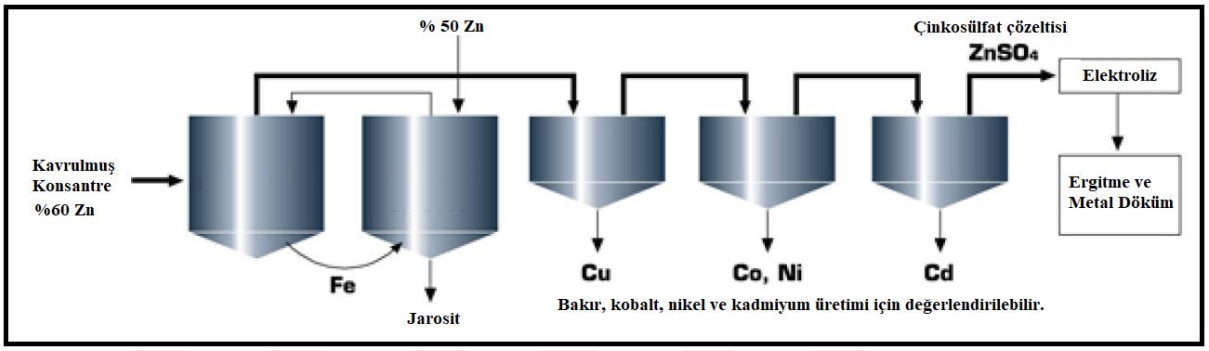
Kavurma işleminin yan ürünü olarak elde edilen kükürt dioksit gazı ilk olarak bir asit fabrikasındaki dönüştürücüde kükürt trioksite oksitlenir. Daha sonra sülfür trioksit suya emilir ve ardından sülfürik asit oluşur. Bir yan ürün olarak, süreçte büyük miktarda termal enerji üretilir ve bu da bölgesel ısı olarak geri kazanılır. Sülfürik asit üretimi süreç akışı şekil 5.9'da gösterilmiştir.



Şekil 5.9: Sülfürik asit üretimi süreç akışı [84].

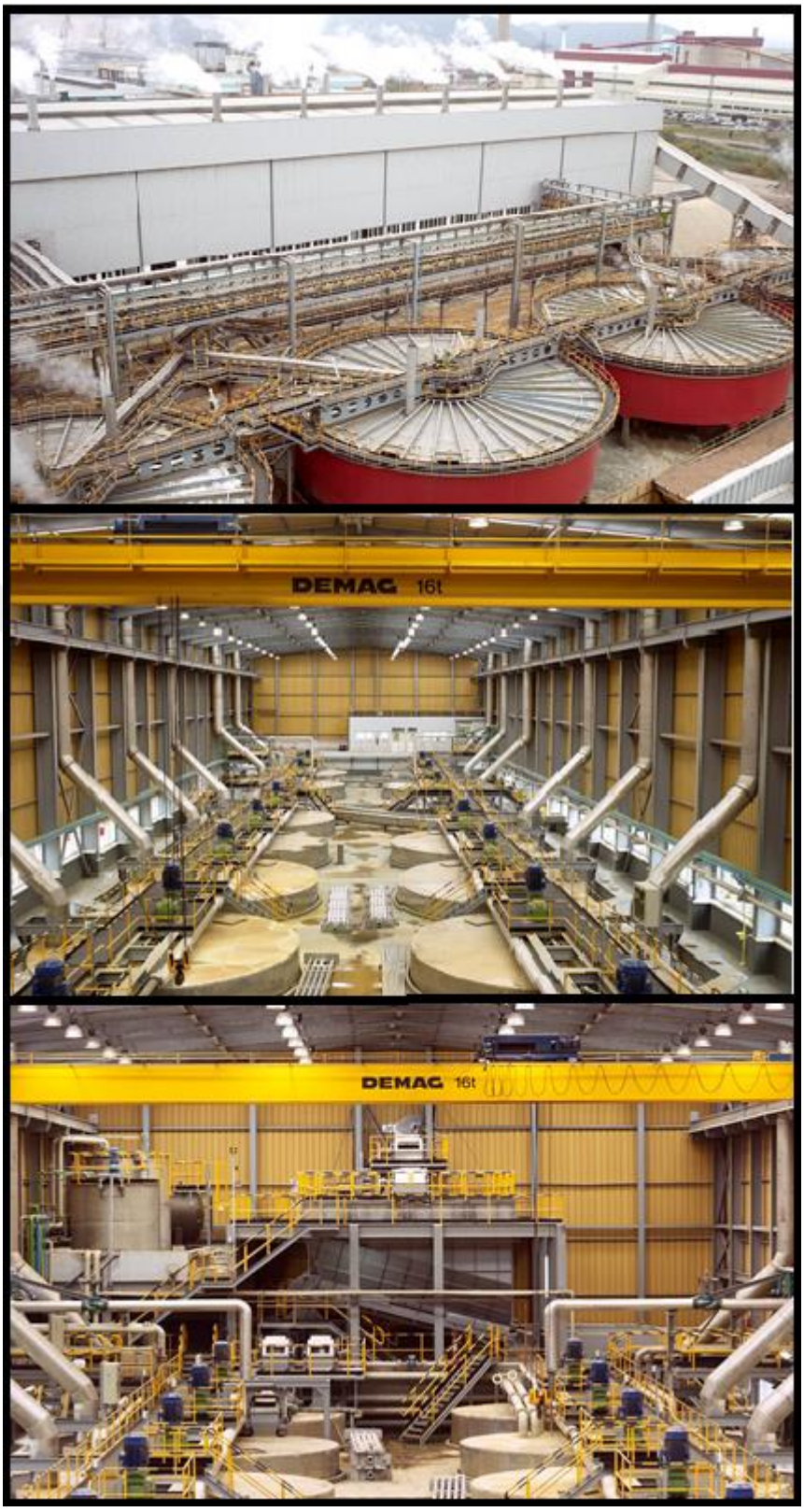
5.2.3 Liç – Çözelti Temizleme

Şekil 5.10'da verilen işlem adımında, doğrudan çözelti yöntemi ile işlenecek kalsine ve konsantre, çözelti içinde çözülür. İlk olarak, demir çökeltilir ve jarosit süzülür. Bu durumda çözelti bir çinko sülfat çözeltisi haline gelir. Kalsine içindeki gümüş, geri kazanılabilir.



Şekil 5.10: Liç – Çözelti Temizleme süreç akışı [84].

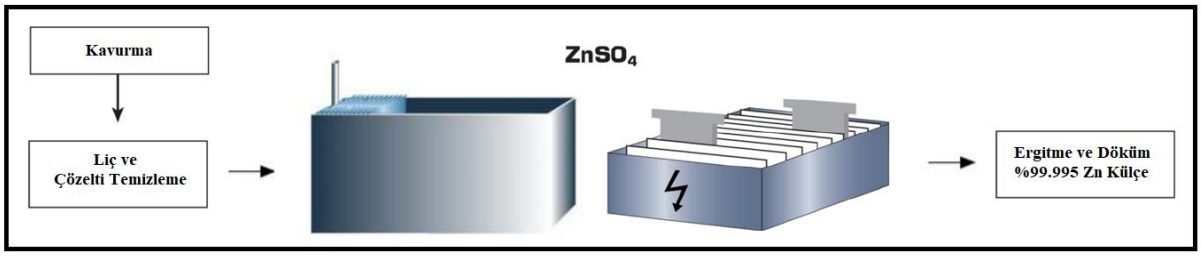
Liç işleminden sonra, çözelti hala çinko içinde çözülmüş küçük miktarlarda safsızlık içerir ve çözelti elektrolize aktarılmadan önce çözeltiden temizlenmesi gerekir. Bu saflaştırma işlemi üç adımda gerçekleşir. İlk aşamada, çözeltiden bakır çıkarılır, ardından çözeltiden kobalt ve nikel çıkarılır. Üçüncü adımda kadmiyum çıkarılır. İşlemden çıkarılan bakır, kobalt ve nikel, bakır üretimi için değerlendirilebilir. Üçüncü aşamadan sonra, çözeltiden tüm safsızlıkların giderilmesinden sonra, çinko sülfat çözeltisi 150 g / l çinko içerir. Saflaştırmadan sonra çözelti soğutulur, soğutulduktan sonra çözelti elektroliz için pompalanır. Şekil 5.11'de Glencore San Juan de Nieva Tesisi Kavurma Ünitesi gösterilmiştir.



Şekil 5.11: Glencore San Juan de Nieva Tesisi Çözelti Temizleme Ünitesi [69].

5.2.4 Elektroliz

Elektroliz, bir alüminyum katot plakasının yüzeyinde metalik çinko olarak sülfürik asit bazlı bir elektrolit çözeltisinde, çözünür çinkonun biriktirilmesi için elektrik akımının kullanıldığı süreçtir. Elektroliz departmanının 300 – 400 metre olması öngörülmektedir. Çökeltme reaksiyonu, salonu uçtan uca dolduran elektrolit havuzlarında gerçekleşir. Besleme solüsyonu olarak da adlandırılan bir elektrolit solüsyonunun geri dönüştürüldüğü toplam 840 cam elyaf elektrolit havuzu bulunmaktadır. Tek havuzda 44 katot plaka ve üretimde toplam 36.960 plaka bulunmaktadır. Bir devre (+/-) oluşturmak için bir akım çifti gereklidir. Her katot için, anot adı verilen bir kurşun levha vardır. Toplamda, üretimde yer alan yaklaşık 75.000 elektrot (anot, katot) vardır.



Şekil 5.12: Elektroliz süreç akışı [85].

Şekil 5.12'de de belirtildiği gibi elektroliz ve çözelti temizleme tesisi bölümleri elektrolit çözeltisi ile birbirine bağlıdır. Çözelti temizleme tesisinin amacı, elektroliz için saf ve çinko bakımından zengin bir çinko sülfat çözeltisi üretmektir. Arıtma tesisinde, konsantre / kalsin içindeki çinko, dönüş asidi adı verilen sülfürik asit bazlı (H_2SO_4) bir çözelti içinde çözülür. Bir sonraki işlem adımı, bakır, kobalt ve nikel dahil olmak üzere çözeltiden çinko dışındaki çözünmüş metallerin çıkarıldığı çözelti saflaştırmasıdır. Saflaştırılmış çözelti daha sonra elektroliz için pompalanmaya hazırdır. Bu çinko "zengin" çinko sülfat çözeltisine ($ZnSO_4$) nötr çözelti de denir.

Nötr çözeltinin çinko içeriği 150 ila 180 g/l arasında değişir. Çözelti, elektroliz havuz devresine pompalanır, böylece besleme çözeltisinde 61 g/l'lik bir çinko içeriğine ulaşılır. Elektroliz iki çözüm devresine ve dört evreye bölünmüştür. Bir çözelti devresinin iki ayrı çözelti eevresi vardır; çözeltinin elektrolit tankları ile sıcak tanklar arasında ve soğutma kuleleri ile soğuk tanklar arasında dolaştığı birincil çözelti devresi. İkincil çözelti devresinde, çinko açısından

fakir (50 g/l) dönüş asidi arıtıcıya pompalandığında elektrolize çinko bakımından zengin (170 g/l) nötr bir çözelti beslenir.

Elektroliz yöntemiyle biriktirilen çinko, büyük miktarda elektrik tüketir, ancak çok saf çinko üretimine izin verir. Boliden Kokkola, Glencore San Juan de Nieva ve Nyrstar Balen'de üretilen çinkonun kalite sınıflandırması gibi SHG (özel yüksek kalite) ve SSHG (süper özel yüksek kalite) üretilmesi öngörülmektedir. Kaliteli pil üreticileri, ürünleri için hammadde olarak en saf Çinko içeriği %99,995 olan SSHG kalitesine ihtiyaç duyarlar. Arıtma tesisinden gelen çözelti, elektrolizden ancak çok az etkilenebilir. Bununla birlikte, elektrolizdeki belirli kimyasal beslemeler, çinkonun sürekli büyümesine ve ayrıca optimum üretime ve iyi akım verimliliğine katkıda bulunabilir. Stronsiyum karbonat ($SrCo_3$), anotlardan çözünmüş kurşunun çözeltisinden çökelir. Camsuyu (Na_2SiO_3), katotların yüzeyinde çinkonun düzgün ve eşit büyümesini etkiler ve çinkodaki kurşun miktarı ile akım verimliliğini doğrudan etkileyen dendrit oluşumunu ve plakalar arasında kısa devre oluşmasını önler. Çözeltiye gerektiği kadar Sb tartrat (potasyum antimon (III) oksit tartrat) ilave edilir. Çözeltideki çok az antimon, çinko tabakaların katotlara yapışmasına neden olur.

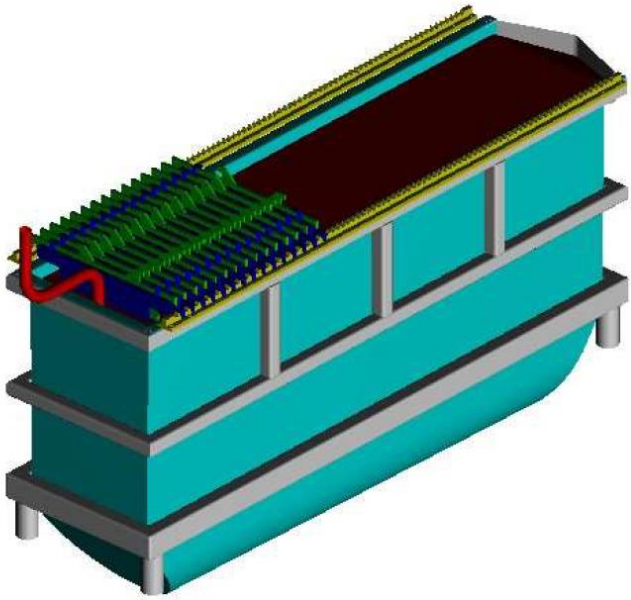


Şekil 5.13: Boliden Kokkola Çinko İzabe Tesisi Elektroliz Ünitesi [85].

Katot ayırma makinelerinde büyük problemler varsa, daha fazla büyüme yüzey alanına sahip olmak, katotlar için daha fazla büyüme süresi sağlayacağından, büyük katotlar da üretim için faydalı olacaktır. Daha büyük katotların diğer bir yararı, daha fazla çinko üretmeleridir.

Büyük katotlar hemen hemen her açıdan normal boyutlu katotlardan daha iyi sonuçlar vermektedir. Testler sırasında akım yoğunluğu düşükse, daha büyük bir katot alanı daha iyi

sonuçlar verir, çünkü düşük bir akım yoğunluğu, normal miktarda çinko üretmek için daha büyük bir temas yüzey alanı gerektirir. Akım yoğunluğu aynı zamanda dendritik büyümeyi de etkiler, bu nedenle genişletilmiş katotlarda daha azdır. Akım yoğunluğu, uzatılmış katotlarla elde edilen daha iyi sonuçları etkileyen faktörlerden biridir. Boliden Kokkola Tesisi elektoliz ünitesi Şekil 5.13'te verilirken, Boliden Kokkola tesisinin elektoliz tasarımı Şekil 5.14'te gösterilmiştir.



Şekil 5.14: Boliden Kokkola Çinko İzabe Tesisi Elektroliz Ünitesi Tasarımı [85].

Diğer şeylerin yanı sıra katotların üretim maliyetini hesaba katması gerektiğinden, katot uzatmalarının temel karlılığı konusunda bir pozisyon almak zordur. Ancak Rajala H. çalışmasının sonuçlarına dayanarak, katot uzatmanın üretim için karlı bir çözüm olacağını söylenebilir. Son olarak, Glencore San Juan de Nieva çinko izabe tesisinin elektroliz ünitesi Şekil 5.15'te gösterilmişir.



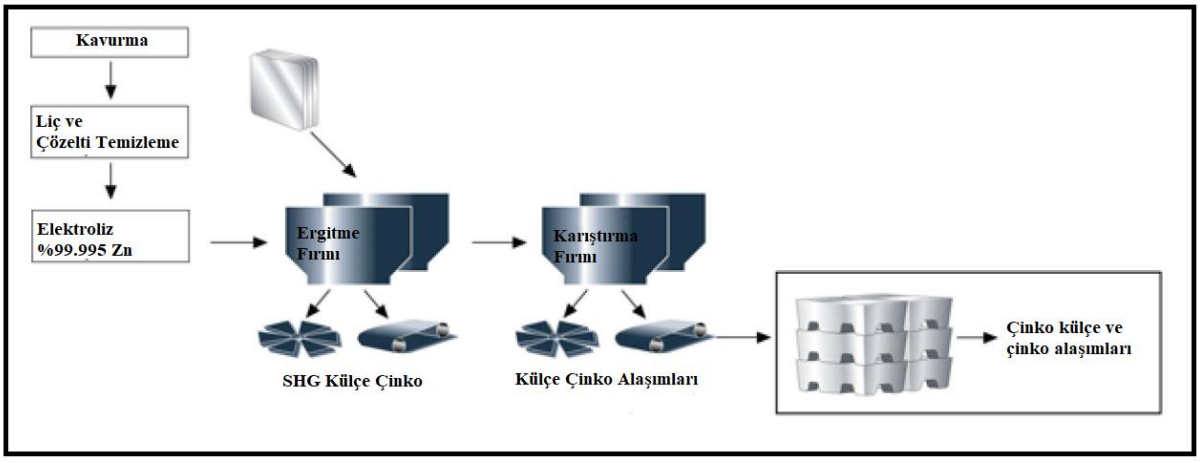
Şekil 5.15: Glencore San Juan de Nieva Çinko İzabe Tesisi Elektroliz Ünitesi [69].

5.2.5 Döküm Süreci

Çinko dökümhanesi, çinko metal üretiminde son noktadır. Şekil 5.16'da gösterildiği gibi, katot çinko, endüksiyon fırınlarıyla eritilerek saf çinko olarak veya çinko müşterinin istediği alaşıma göre alaşımlanarak kalıplara dökülür. Dökümhanenin ürünleri 25kg'lık saf çinko külçeleri, 1-4 tonluk saf çinko Jumbo külçeleri ve 1-4 tonluk alaşımlı çinko külçeleri olabilir.

Döküm hattı iki eritme fırınını takip eden, üç üretim hattıyla devam edecektir.

- Otomatik jumbo döküm makinesi
- Alaşımlı döküm parça
- Külçe döküm makinesi



Şekil 5.16: Glencore San Juan de Nieva Çinko İzabe Tesisi Elektroliz Ünitesi [69].

5.2.5.1 Ergitme

Elektrolitik katotlardan sıyırma makineleri ile çıkarılan çinko levhalar, katot üretimi ve eritme arasında bir ara depo görevi gören bir katot deposuna aktarılır. Çinko levhalar yaklaşık bir ve iki ton ağırlığındaki demetler halinde besleme şaftları vasıtasıyla ergitme fırınına besleme konveyörleri ile beslenir. Fırın yüzeyinin ve sıcaklığının amacı optimum beslemeyi bulmaktır.

Çinko katodun erimesini hızlandırmak için amonyum klorür salmia (NH_4Cl) fırına beslenir. NH_4Cl ayrıca erimiş çinko yüzeyinde kül birikmesine de katkıda bulunur. Kül, ısı yalıtımı görevi görür ve fırın yüzeyini yumuşak tutar. NH_4Cl beslenmesi de külün durumuna göre düzenlenir. Çinko eritme için kullanılan iki fırın vardır. Fırınlar benzerdir ve 75 ton kapasiteye sahiptir. Her bir fırın altı indüktör ile ısıtılır. Fırınların eritme kapasitesi yaklaşık 25 ton / saattir.

Çinkonun erime noktası 419.3 °C'dir. Fırınlarda çinkonun sıcaklığı 490-520 °C aralığında tutulur. Sıcaklık, çinko kaynağı ve eriyik dengede tutularak kontrol edilir. Erimiş çinko, elektrikle çalışan santrifüj grafit pompalarla eriyik eriyik aktarma deliklerine pompalanarak döküm sahalarına aktarılır. Boliden Kokkola çinko izabe tesisinin ergitme ve döküm ünitesi Şekil 5.17'de gösterilmişir.



Şekil 5.17: Boliden Kokkola İzabe Tesisi Ergitme ve DökümÜnitesi [82].

5.2.5.2 Döküm Hattı

Külçe döküm hattı üç temel üniteden oluşur: bir eritme fırını, bir döküm makinesi ve bir istifleme robotu. Döküm makinesi, 160 dökme demir kalıp ve destek makaralarına sahip iki çift

katlanır tekerlek arasında gerilmiş bir kalıp zinciri, yardımcı zincir aktüatörleri, bir otomatik cüruf oluşturma makinesi veya sıyırma robotu, bir soğutma suyu sistemi, bir soğutma konveyörü, robotu ve bir depolama konveyörü içerir.

Döküm makinesi için, erimiş çinko, eriyik transfer oluğu boyunca yönlendirilir ve açık oluktan dönen bir eksantrik mili aracılığıyla kalıplara boşaltılır. Transfer çarkından sonra, sıyırma robotu, erimiş çinko külçe yüzeyinden cürufu çıkarmak için spatula kullanır. Cüruflama işleminden sonra külçeler, kalıpların hem üstten hem de alttan soğutulduğu soğutma suyu nozulları arasından geçer. Kalıp zincirinin katlanır tekerleklerindeki ayırma çekiçleri, külçeleri kalıplardan uzaklaştırır, ardından külçeler döner tambur tepsilerinden soğutma konveyör zincirine geçer. Soğutma konveyörü ile, ayak külçeleri hariç, döndürme cihazı külçeleri döndürür.

Paketler, ürün kodu, yılın son rakamı, güncel tarih, döküm hat numarası ve seri numarasından oluşan bir iş numarası ile işaretlenir. Paketler daha sonra ürün deposuna aktarılır.

5.2.5.2.1 Jumbo döküm makinesi

Jumbo döküm makinesi, tam otomatik bir döküm makinesidir. Çeşitli alüminyum alaşımlarının yanısıra saf çinko dökümünde kullanılabilir. Çinko, oluk boyunca çinkonun kalıba aktığı bir kalıba boşaltılır. Kalıp dolduğunda, kap yükselir ve döküm tablası döner, ardından yeni bir boş kalıp gelir. Dolu kalıp cüruftan arındırılır ve soğuması için bir soğutma tankına alınır. Vinç daha sonra en uzun soğutma Jumbo kaldırma işlemi için havuzdan otomatik olarak çekilir. Çıkarıldıktan sonra, boş kalıp yeni bir dolumu beklemek için döküm masasına gider. Çıkarılan jumbo işaretlenir ve kamyonla depoya götürülür. Jumbo döküm makinesi, daha büyük 2.000 kilogram jumbo veya daha küçük 1.400 kilogram jumbo dökmek için kullanılabilir. Jumbo'nun boyutu müşterinin isteklerine bağlıdır

5.2.5.2.2 Doğrudan döküm hattı

Doğrudan döküm yolu manuel olarak çalıştırılır ve yarı otomatik bir döküm makinesidir. Drenajı izlemek için bir seferde bir işçi gerekir. Çinko, oluk boyunca bir döküm arabası içindeki bir tencereye akar. Araba ve oluk, düz raylar üzerinde ileri geri hareket eder. Taşıyıcı, bir önceki doldurulduğunda daima bir sonraki kalıba taşınır. Bitmiş kalıp sıyrılır. Soğutma tanklarında kalıplar düz bir çizgi halindedir ve arabayla aralarında hareket eder. Bitmiş soğutulmuş

dökümler bir vinç ile kaldırılır, böylece kalıp yerinde kalır ve sadece bitmiş döküm zemine kaldırılır. Oradan, ürün depoya doğru yolculuğuna devam eder ve nakliyenin ilerlemesini bekler. Direkt döküm yoluna 1.400 kg jumbo veya yaklaşık 4.000 kg ağırlığında büyük tomurcuk dökmek mümkündür. Daha küçük jumbolar için döküm hızı saatte yaklaşık 12 ton ve büyük bimbolar için saatte yaklaşık 20 tondur.

5.2.5.2.3 Külçe döküm makinesi

Külçe döküm makinesi, 25 kilogram çinko külçe dökümü için tam otomatik bir döküm makinesidir. Döküm makinesinde kalıplar üst üste dizilir ve kalıp zincirinde daire şeklinde dönerler. Çinko, silisyum boyunca fırından döküm makinesine akar ve çark, çinkoyu kalıplara dağıtır. Kalıp dolduğunda, bir seferde üç kalıp cürufu temizleyen otomatik bir cüruf temizleme makinesine doğru yolculuğuna devam eder. Kalıplar daha sonra hava ve su ile soğumaya geçer. Soğutma hattının sonunda, soğutulmuş külçenin kalıbını kıran çekiçler vardır. Külçe daha sonra soğutma konveyöründe tekerlek döndürülür. Külçe, hazır gri yığınlarını istifleyen bir robota gider. Bitmiş ürünlerden oluşan demet, depolama konveyörü ile işaretlemeye kadar yolculuğuna devam eder ve ardından bir forklift ile depoya sürülür.



Şekil 5.18: Boliden Kokkola İzabe Tesisi Döküm Ürünleri [82].

Şekil 5.18'de gösteridliği gibi külçede on tabaka ve her tabakada dört külçe olacaktır. Külçenin toplam ağırlığı 1000 kilogram olacaktır. Bir külçe döküm makinesi ile döküm hızı, saf çinko dökerken saatte ortalama 22 tondur. Karışımı dökerken, döküm hızı biraz daha yavaştır, yani saatte yaklaşık 18 ton. Bunun nedeni, alaşım külçesinin soğumasının daha uzun sürmesidir.

5.2.5.2.4 Alaşım döküm

Alaşım dökümünde çinko, bir eritme fırınında eritilir ve buradan alaşım fırınına giden bir oluğa pompalanır. Karıştırma fırınına alüminyum granüller eklenir. Granül, sürekli bir dozlama cihazı ile karıştırma fırınına beslenir. Fırınlarda çinko ve alaşımlar, bir indüktör akışı ve bir kanatlı karıştırıcı vasıtasıyla homojen yer alır. Fırından çıkan karışım oluk boyunca kalıba akar.

Alaşım döküm pisti, sürekli soğutma suyu sirkülasyonu olan yedi soğutma havuzuna sahiptir. Alaşım döküm parça ile jumbolar manuel olarak dökülür. Soğutma havuzları dökülecek ürünün kalıbına göre bir veya iki kalıba sahiptir. Tekerlek, el aletleri ile külçe yüzeyindeki cürufu temizler. Kalıp dolduğunda, teker transfer şutunu dökülecek bir sonraki kalıba taşır. Soğutulan jumbolar, bir köprü perdesi ile kalıptan kaldırılır ve mandalla vurularak kaldırma takozları çıkarılır. Çalışma numarası jumbo üzerinde işaretlenmiştir

5.2.5.2.5 Geri dönüşüm süreci ve fırını

Saf çinko sıyırma artıkları ve kusurlu ürünler sisteme geri kazandırılmalıdır. Saf çinko, hat üzerinde dökülerek beslenebilir. Alaşımlı çinkolar ise genellikle ayrı bir geri dönüşüm fırınından eritilir.

Saf çinko yüzey hızla oksitlenir: $Zn + 1\ ½\ O_2 \rightarrow ZnO$. Ortaya çıkan yoğun çinko oksit filmi ise oksidasyonun devam etmesini engeller ancak çinkonun erimesini çok daha zor hale getirir. Çinko oksidin erime noktası 1.950 ºC'dir.



Şekil 5.19: Boliden Kokkola İzabe Tesisi Cüruf metal çinko [82].

Yapısı gözenekli olan erimiş çinkonun yüzeyinde cüruf oluşur. Şekil 5.19'da cüruf metal çinko ve çinko oksitten oluşan yapo gösterilmiştir.

Geri dönüşüm fırınında, dökümlerde oluşan sıyırma haznelerinin bir kısmı eritilir, kalite değişikliğine bağlı olarak alaşım fırınının yıkanmasından elde edilen alaşım fırçalar, bilyalı değirmen besleme ızgaralarından hazneler ve bilyalı değirmen altlıkları, hatalı ürünler yeniden eritilir. Fırının kapasitesi 22 tondur.

5.2.5.2.6 Granülasyon

Öğütücü, rafinerinin ihtiyaçları için çinko tozu üretir. Granülasyon fırını, ergitme fırınından pompalanan erimiş çinkoya içerir, üç nozullu sıkıştırılmış hava vasıtasıyla granülasyon odasına aktarılır. Basınçlı hava, çinkoyu, granülasyon odasında katılaşan Pisa oluklarına ayrıştırır. Elde edilen çinko tozu üç farklı fraksiyona ayrılır: Fazla ürün, kaba toz ve ince toz. Fazla ürün bir elektroliz çözünme tankında çözülür. Elemeden sonra ince ve iri tozlar kendi silolarına götürülür ve buradan bir arıtma tesisine aktarılır.

Yardımcı Maddeler;

İzabe, döküm kalitesine doğrudan etkisi olduğu için önemli bir süreçtir. Erimiş metal veya eriyebilir alaşımlar ve herhangi bir yardımcı madde fırına eklenir. Erimiş metalin yüzeyi ısı kaybına ve oksidasyona eğilimlidir. Bunu önlemek için yüzey kaplanabilir veya yüzey üzerinde bir yalıtım tabakası oluşturan bir eksipiyan kullanılabilir.

Yardımcı maddeler, eritilen metalin veya eritme işleminin kalitesini iyileştirmek için kullanılan inorganik maddelerdir. Eritilecek metale bağlı olarak çeşitli eksipiyanlar kullanılır. Yardımcı madde, örneğin oksidasyonu önlemek, cüruf oluşumunu arttırmak veya azaltmak, eritilecek metali temizlemek veya iyileştirmek için kullanılabilir. Yardımcı maddeler ayrıca fırın astarı üzerinde zararlı bir etkiye sahip olabilir.

5.2.6 Çinko Ürünlerinin Kalitesi

Çinko dökümhanesinde üretilen ürünler doğrudan talepkar müşterilere gidecektir. Ürünlerin kalitesinin birinci sınıf kabul edilmesi müşteri ilişkilerinin sürdürülmesi ve şirket operasyonlarının sürekliliği açısından çok önemlidir.

Döküm ürünlerin kalitesi aşağıdaki özelliklerle karakterize edilir:

- ürünün kimyasal saflığı
- alaşım ürünlerinin analiz sınırları içinde olması
- ürünün fiziksel yapısı
- kama deliklerinin konumu
- ürün ağırlığı
- ürünün fiziksel görünümü



Şekil 5.20: Nihai Ürün külçe metalik çinko [84].

Tesisin ana ürünü Şekil 5.20'de gösterilen SHG külçe çinko olacaktır. Kalite standartları çerevesinde, 25 kg çinko külçe ile dört ton jumbo külçe arasında değişen SHG ürünleri

üretilecektir. En küçük 25 kg çinko külçeler 40 parçalık demetler halinde istiflenir ve yaklaşık 1000 kilogramlık bir yığın oluşturur. Külçelere ek olarak, Şekil 5.21'de verilen SHG çinko 1.400, 2.000 ve 4.000 kilogram çinko jumbo olarak üretilmektedir. Dökümhanede görsel sınıflandırma veya analizlere dayalı bir laboratuvar bilgi yönetim sistemi sınıflandırması sonucunda reddedilen ürünler ise yeniden eritilir.



Şekil 5.21: Külçe çinko ve jumbo çinko ürünleri [82].

Glencore, Boliden vb. firmaların çinko izabe tesislerinde olduğu gibi SHG çinkoya ek olarak çeşitli alaşım elementleri ile alaşımlı çinko ürünlerini de üretilebilecektir. Alaşım elementlerinden en yaygın kullanılanı alüminyumdur. Ürünlerdeki alüminyum içeriği Galfa ürünlerinde% 0,1 ile yaklaşık% 5 arasında değişmektedir. Alüminyum alaşımlı çinko ürünler, hem birinci hem de ikinci döküm hatlarında 1.400 kg ve 2.000 kg ağırlığında üretilebilecektir.

Ayrıca, Şekil 5.22'de verilen çinko (Zn), nikel (Ni) içeren Zinigal alaşımları da üretilebilir. Zinigal ürünlerin nikel içerikleri %0,1 ile %0,5 arasında değişmektedir ve az miktarlarda bizmut

(Bi) içerebilmektedir. Nikel-çinko alaşımları hem külçe demetlerine hem de 1.400 kilogram jumbo'ya dökülebilir.



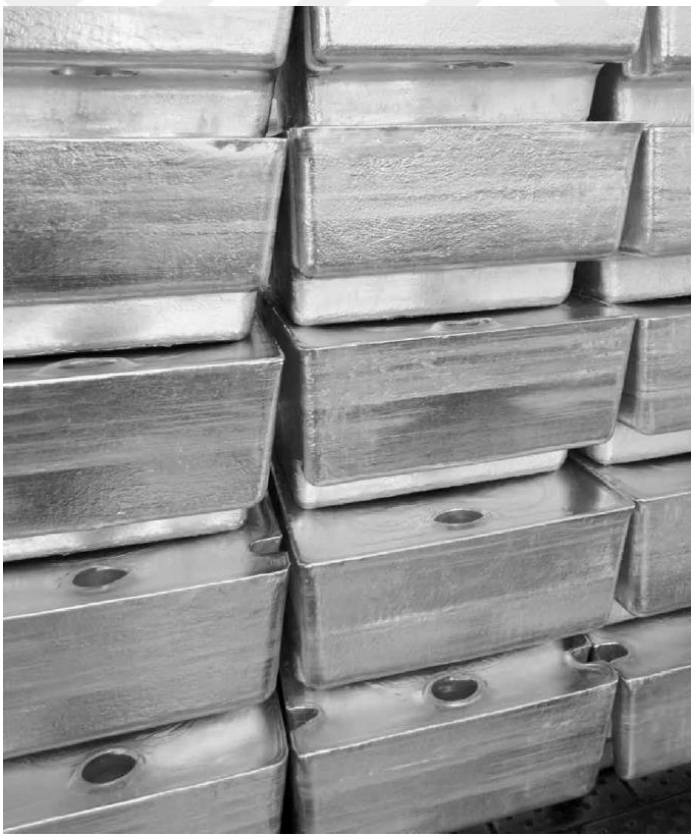
Şekil 5.22: Boliden Kokkola İzabe Tesisi Çinko Ürünleri [82].

Nikel içeren çinko alaşımları, Zinigal alaşımları, özellikle galvanizleme çeliği için uygun bir ön alaşımlı çinko sınıfı sağlamak üzere tasarlanmıştır. Bitmiş alaşımlama, müşterinin çinko kullanımındaki sürecini bir yandan hızlandırırken, diğer yandan da, gerekli olan alaşımlama adımını ortadan kaldırabilir; böylece müşterinin zamanından, çabasından ve maliyetinden tasarruf sağlayabilir. Zinigal alaşımlarının tanıtımı, proses değişiklikleri olmaksızın da mümkündür ve teknik özelliklerinden dolayı, kullanımı galvanizleme prosesine birkaç iyileştirme sağlar. Zinigal alaşımlarının elektro kaplamada kullanılması, saf çinko kullanımına kıyasla daha iyi yapışma, aşınma direnci ve daha parlak ve pürüzsüz bir kaplama sağlar. Zinigal plus, bizmut içeren çinko nikel alaşımı. Bu alaşım da, Zinigal alaşımları gibi, çelik elektro kaplama endüstrisini hedefliyor. Pek çok üründe kurşunun kullanımını azaltmak için çabalar sarf edilmektedir. Aynı yaklaşımlar çinkonun bir alaşımlama maddesi olarak kullanımı için de geçerlidir. Bizmut katkılamanın amacı, erimiş karışımdaki yüzey gerilimini azaltmak için kurşun kullanımının yerini almaktır.



Şekil 5.23: % 99,995 Zn içeren külçe çinko [125].

Tesisimiz tarafından üretilecek SHG ürünlerinin çinko içeriği, Londra Metal Borsası tarafından SHG çinko için belirlenen en az % 99,995 çinko içeriği gereksinimini karşılamalıdır. Üretilecek nihai ürünlerden külçe çinko Şekil 5.23'te, Jumbo çinko ise Şekil 5.24'te gösterilmiştir.



Şekil 5.24:% 99,995 Zn içeren jumbo çinko [103].

5.3 KAPASİTE SEÇİMİ VE PLANLAMASI

Ülkemizdeki çinko metal tüketimi ve çinko hammadde kaynakları göz önüne alındığında ve Korea Zinc, Boliden ve Glencore gibi küresel çinko izabe tesisleri ışığında; 200 bin ton çinko metal üretim kapasitesine sahip bir yatırımı öngörülmektedir. Tablo 5.10'da tesisin yatırım iş planı, Tablo 5.11'de ise yıllık üretim kapasitesi gösterilmiştir. Tesiste gerçekleştirilecek yatırımların kademeli olarak yapılması planlanmaktadır. Buna göre, '20-'21 yılları arasında yapılması planlanan birinci faz yatırım neticesinde tesisin 200.000 ton çinko/yıl seviyesine ulaşması düşünülürken, '30-'31 yılları arasında yapılması planlanan ikinci faz yatırım ile birlikte, ülkemizin ve tesisin ihtiyacına göre, tesisin kapasitesinin 300.000 ton çinko/yıl seviyesine ulaşmasına uygun planlama öngörülmektedir.

Tablo 5.10: Çinko İzabe Tesisi Yatırım İş Planı

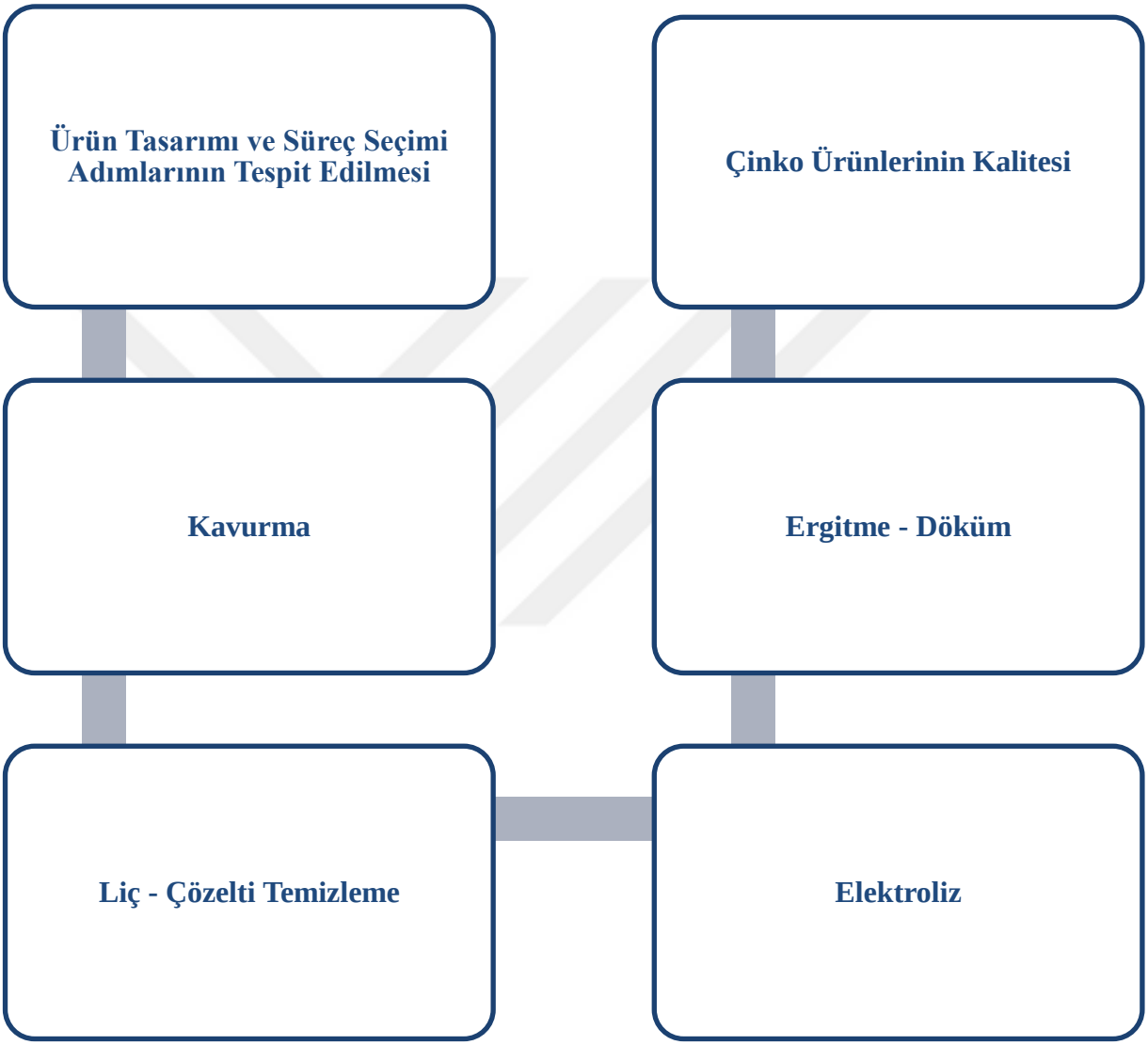
	2020											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
İhale Süreci	1 AY											
Yerleşim Planı Temel Projeler		2 AY										
Detay Projeler			2 AY									
Hafriyat ve İnşaat işleri				6 AY								
Montaj						6 AY						
Devreye Alma/ Performans Testleri										3 AY		

Tesisin ilk etapta 2030 yılına kadar faaliyetini sürdüreceği varsayılmış olup bu dönem içerisinde yaklaşık 4 milyon ton çinko hammaddesi kullanılacağı öngörülmektedir. Bu hammaddeden yaklaşık 2 milyon ton çinko metali üretimi planlanmaktadır. 2030 yılından sonra, planlanabilecek kapasite artışı yatırımı ile de, tesisin kapasitesi ve üretim miktarı ihtiyaç ve talebe paralel doğrultuda arttırılabilecektir.

Tablo 5.11: Çinko İzabe Tesisi Yıllık Üretim Kapasitesi

Yıllık Üretim Kapasitesi ('000 ton)																			
2021	**'22**	**'23**	**'24**	**'25**	**'26**	**'27**	**'28**	**'29**	**'30**	**'31**	**'32**	**'33**	**'34**	**'35**	**'36**	**'37**	**'38**	**'39**	**'40**
200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300

Tablo 5.11'de tesisin 2020 – 2030 yılları itibari ile öngörülen kapasite durumu ve 2030 – 2040 yılları itibari ile kapasite artış durumu gösterilmektedir. Şekil 5.25'de ise tesisin kapasitesini oluşturacak, tasarımı ve süreç evrelerinin süreç diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 5.25: Çinko İzabe Tesisi Kapasite ve Süreç Adımları

5.4 YER SEÇİMİ

Fizibilitede 1. faz olarak belirtilen yatırım, 2020 yılında başlatılıp 2021 yılında tamamlanacak şekilde Gemlik / Bursa'da planlanmıştır. İhtiyaç ve talebe bağlı olarak 2. Faz olarak belirtilen yatırım ise 2030 yılında başlatılıp planlanabilmektedir.

Gemlik seçiminin ana faktörleri olarak;

- Ülkemiz kurşun ve çinko madenciliği ihracatının en büyük lokasyonu olması ve gerekli olması durumunda ihracat için önemli bir ulaşım kolaylığı sunması.
- Batı Anadolu ve İç Anadolu cevher üretimi lokasyonlarına yakın olması,
- Nihai kullanıcı olacak çelik ve otomotiv endüstrisinin bölgede gelişmiş olması.
- TOGG vb. yeni nesil yatırımların bölgede teşvik alması ve potansiyel oluşturması.

Yukarıda belirtilen yer seçimi kriterleriyle, üretimde kullanılan hammadde, malzeme ve parçaların satınalma ve işletmeye ulaştırılması maliyeti, hammaddenin ürüne dönüştürülmesi, üretim maliyeti ve ürünün tüketiciye ulaştırılması gibi toplam maliyetin optimize edilmesi amaçlanmıştır. Dolayısıyla, yer seçiminde satınalma, üretim ve dağıtım maliyetleri toplamı minimize edilmeye çalışılmıştır. Gemlik'te kurulması öngörülen çinko izabe tesisi, üretim ve dağıtım maliyetlerinin alt sınırını belirlemesi nedeniyle kururluş yeri, işletmenin rekabetçi konumu üzerinde büyük bir etkiye sahiptir.

Şekil 5.26'da gösterilen, Gemlik, Bursa il sınırları içerisinde yer almakta ve il bazında bölgesel teşvik alanları içerisinde 1.bölgede bulunmaktadır. Bölgesel teşvik uygulamalarını incelediğimizde, yatırıma katkı oranı ve kurumlar vergisi veya gelir vergisi indirimlerine ek olarak, ülkemizde çinko izabe tesisi kurulması stratejik yatırım olarak öngörülebileceğinden, vergi indirimi oranı ve yatırıma katkı oranlarının artması, ayrıca enerji vb. teşviklerin alınması söz konusu olabilecektir. Bursa, yatırım teşviki sıralamasından ülkemizde ilk on sırada yer almaktadır. [126].



Şekil 5.26: İl Bazında Bölgesel Teşvik Alanları [126].

Sanayi Bakanlığı'nın katma değerli üretimin artırılması hedefine yönelik, orta-yüksek ve yüksek teknoloji düzeyine odaklanan Teknoloji Odaklı Sanayi Hamlesi Programı kapsamında, 7 odak sektörde yerli üretimin sağlanması veya üretim kapasitesinin artırılması için destek verilecek ürünlerin listesi yayımlanmıştır. Bu kapsamda, 11. Kalkınma Planı'nda belirlenen orta-yüksek ve yüksek teknoloji seviyesindeki odak sektörlerdeki 51 milyar dolarlık cari açığın azaltılması ve bu alanlarda yerli üretimin sağlanması veya üretim kapasitesinin artırılması için öncelik verilecek ürünler belirlenmiştir. Çinko izabe tesisi yatırımı bu plana hizmet etmektedir. [104].

6. PROJE SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Kürsesel çinko izabe tesisleri incelendiğinde, Dünya'da en çok tercih edilen ve ülkemize de en uygun yöntem olarak elektrolitik (RLE) esaslı yöntemin tercih edilmesi önerilmektedir. Bu çerçevede, küresel en büyük çinko izabe tesisi üreticilerinden Korea Zinc, Boliden, Glencore ve Nyrstar tesisleri incelenerek, tesisimizin kurulumunda temel alınmıştır. Kurşun ve Çinko Çalışma grubu verileri ve Wood Mackenzie çalışmalarına göre, Güney Kore'deki Korea Zinc' Ulju – Onsan çinko izabe tesisi için yatırım maliyeti 300 milyon Amerikan Doları olarak belirtilmiş, diğer bir ifadeyle yatırım maliyeti üretilen çinko metali başına yaklaşık 2.300 $/ton'a tekabül etmektedir. İlk yatırım maliyeti güncel kaynaklardan alınan referans veriler, çinko izabe alanında uzman danışman ve analistlerle yapılan görüşmeler neticesinde, %20 duyarlılık kabulüyle, 3.000 $/ton yıl olarak alınmıştır. [127 - 131].

200.000 ton/yıl kapasiteli çinko metal projesi toplam yatırım tutarı 586,5 milyon US$ olarak öngörülmektedir. İlerleyen dönemde ihtiyaç ve talebe göre yatırımın 2 aşamalı yapılması planlanabilecektir. Bu çerçevde, yatırımın 1. Aşamasına odaklanılacaktır. 200.000 ton/yıl kapasiteli olarak planlanan tesiste, US$ 586,5 milyon (arazi ve altyapı 300.000 ton/yıla göre seçilerek) yatırım planlanmıştır.

200.000 ton/yıl kapasiteli çinko metal tesisinde; 70 beyaz yakalı ve 210 mavi yakalı olmak üzere toplam 280 personelin çalışması planlanmaktadır.

Buna göre:

- 1. Faz Yatırım: '20-'30 yılları arasında yapılması planlanmaktadır. Bu aşamadaki yatırım toplam 586,5 Milyon $ değerinde olmaktadır. Bununla beraber, çinko metal üretimi olukça enerji yoğun bir iş olacaktır. Bunun için enerji teşviği vb. uygulamalar önemli bir avantaj sağlayacaktır. 2030 yılında 2. Faz ile devam edilmesi planlanmaktadır. Yatırımın değerlendirilmesi bölümünde, senaryo analizi çalışmalarıyla desteklenecektir.

Hazırlanan fizibiliteye göre projenin detaylı yatırım tablosu aşağıda gösterilmektedir.

Yapılan fizibilite çalışmasında kullanılan ve aksi belirtilmedikçe belirlenmiş olan varsayımlar şu şekildedir;

- Londra Metal Borsası'na (LME) bağlı olan çinko metal fiyatları için küresel danışmanlık firmalarından Wood Mackenzie'nin fiyat öngörüleri esas alınmıştır ve Tablo'da gösterilmektedir. Fiyatlandırma projeksiyonu 2021 -2025 yılları arasında değişken olup, 2025 – 2030 yılları arasında sabit tutululmuştur.
- Çinko endüstrisi ve izabe tesisi performansında alanında uzman kişiler olan; McKinsey Maxime Vandersmissen ve Ken Hoffman, Glencore San Juan de Nieva İşletme Müdürü Jaime Arias Zapico, Wood Mackenzie John Anderson ve Metso Outotec Jacob Wood ile referans görüşmeler gerçekleştirilmiştir. [69, 127 - 131].
- Yatırım süreci'20 – '21 yılları arasında yapılacak olup 586,5 Miyon $ bütçe ayrılmıştır. Bu yatırım neticesinde tesis 200.000 ton Zn/yıl kapasiteye ulaşacaktır.
- TÜİK ihracat ve ithalat rakamları göz önüne alınmıştır. Wood Mackenzie varsayım seti çalışmalarda baz alınmıştır.
- Ürünler yurtiçi ve yurtdışı olarak satılabilecek olup, tüm ürünlerin yurtiçindeki ihtiyacı karşılaması beklenmektedir. Satışlar, LME çinko fiyat hesaplaması ve kabüllerine göre yapılmıştır.
- Tesis için fizibilitede toplam 10 yıllık bir projeksiyon yapılmış olup (2020- 2030), 10 yıl içerisinde tesisin herhangi bir yatırım gideri kalmamaktadır.
- Tesiste toplam beyaz ve mavi yaka çalışan sayısı 280 kişi olarak düşünülmüştür.
- 2022 yılı için çinko metal konsantre hammadde üretim maliyeti 789 $/ton olarak varsayılmıştır.
- 2022 yılı için çinko metal üretimi için enerji maliyeti ise 286 $/ton olarak öngörülmüştür.
- Yatırımlar için amortisman oranı %10 olarak öngörülürken yatırımın toplam 10 yıl içerisinde amorti edeceği varsayılmıştır.
- Çinko metal üretimi sırasında, kurşun, kadmiyum ve gümüş vb. diğer metaller, arta kalan sülfürik asit ve curuf değerlendirilebilmektedir. Bu kazanımlar için gerekli yatırımlar projeye dahil edilirken, diğer metallerin kazanımında elde edilebilecek yıllık gelir fizibiliteye dahil edilmektedir.
- Net bugünkü değer hesaplamalarında iskonto oranı % 8,0 olarak hesaplanmış olup dönem karı üzerinden %22,0 oranında vergi öngörülmüştür.

Yukarıda verilen esaslara göre yapılan fizibilite çalışmalarına göre, Çinko Metal İzabe Tesis Projesi:

IKO : % 22,2

NBD : 441 milyon $

Geri Ödeme Süresi: 4,1 yıl olarak hesaplanmıştır ve ilgili hesaplamalar aşağıdaki

- Toplam yatırım ve finansman tablosu (Tablo 6.2)
- Ekonomik Ömür ve Amortisman tablosu (Tablo 6.3)
- Nakit akış tablosu (Tablo 6.4)
- Ürün bazında karlılık tablosu (Tablo 6.5)
- Kar / zarar tablosu (Tablo 6.6)
- Yatırım karlılığı tablosu (Tablo 6.7)
- Geri ödeme süresi tablosu (Tablo 6.8)
- Satış Gelirleri, Giderleri ve Brüt Kar (Şekil 6.1) – Brüt Karlılık (Şekil 6.2)
- İşletme Gider ve Gelilerinin Dağılımı (Şekil 6.3) ve (Şekil 6.4)
- Tesis üretim miktarı ve kapasite kullanım oranı (Şekil 6.5)

tablolarıyla gösterilmiştir. Projeksiyonda kullanılan fiyat tahmini Tablo 6.1'de belirtilmiştir.

Tablo 6.1: Metal Fiyat Seti

Metal	Birim	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Çinko	$/t	1928	2090	2893	2922	2546	2267	2252	2385	2397	2442	3065	3065	3065	3065	3065	3065
Bakır	$/t	5494	4861	6166	6523	5999	5184	5727	5393	5401	5512	7275	7275	7275	7275	7275	7275
Gümüş	$/oz	16	17	17	16	16	16	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Altın	$/oz	1160	1250	1258	1269	1394	1675	1650	1525	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350
Kurşun	$/t	1786	1870	2317	2243	1997	1712	1644	1688	1647	1653	1875	1875	1875	1875	1875	1875
Kadmiyum	$/t	31	31	19	29	28	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27

Tablo 6.2: Toplam yatırım ve finansman tablosu

TOPLAM YATIRIM VE FİNANSMAN TABLOSU	Başlangıç Yatırımı	İşletmeye Geçiş Sonrası										
$	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	TOPLAM
	586.500.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	645.150.000
Sabit Kıymet Yatırımları *	1.500.000											1.500.000
-Ön Çalışmalar	200.000											200.000
-Mühendislik ve Proje	1.000.000											1.000.000
-Lisans, İzin, Arazi, Altyapı vb. Giderler	300.000											-
												-
												-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
												-
		-										-
Tesis Temel Ekipmanlar*	585.000.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	585.000.000
Besleme, Kavurma ve Gaz Temizleme	96.580.189											-
Asit Tesisi, Liç ve Çözelti Temizleme	193.160.377	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	193.160.377
Elektroliz ve Döküm	165.566.038											165.566.038
Diğer tesis ve ekipmanlar	55.188.679											-
Mühendislik ve İnşaat	74.504.717											74.504.717
Tesisin Sürdürülebilirliği için Gerekli Yatırımlar		5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	58.650.000
Yatırım Dönemi Faizleri **		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Beklenmeyen Giderler												-
Toplam Yatırım	586.500.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	645.150.000
Kredi	-											-
Özkaynak	586.500.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	645.150.000
Toplam Finansman	586.500.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	645.150.000

Tablo 6.3: Ekonomik Ömür ve Amortisman tablosu

Ekonomik Ömür	*10*												
Elde Etme Zamanı (Kaçıncı Ay-Örn: Mart 3)	*12*	0											
	Yatırım Tutarı	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
2020	586.500.000,0	-	58.650.000,0	58.650.000,0	58.650.000,0	58.650.000,0	58.650.000,0	58.650.000,0	58.650.000,0	58.650.000,0	58.650.000,0	58.650.000,0
2021	5.865.000,0											
2022	5.865.000,0											
2023	5.865.000,0											
2024	5.865.000,0											
2025	5.865.000,0											
2026	5.865.000,0											
2027	5.865.000,0											
2028	5.865.000,0											
2029	5.865.000,0											
2030	5.865.000,0											
Toplam Amortisman Gideri		**-**	**58.650.000,0**	**58.650.000,0**	**58.650.000,0**	**58.650.000,0**	**58.650.000,0**	**58.650.000,0**	**58.650.000,0**	**58.650.000,0**	**58.650.000,0**	**58.650.000,0**

Tablo 6.4: Nakit Akış tablosu

NAKİT AKIŞ TABLOSU $	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Faaliyet Karı	114.613.481,3	109.958.893,8	104.889.094,6	95.299.092,0	135.788.594,1	135.267.209,6	135.151.620,8	135.154.988,1	135.096.144,1	135.091.122,3
Nakden Ödenen Vergi	25.214.965,9	24.190.956,6	23.075.600,8	20.965.800,2	29.873.490,7	29.758.786,1	29.733.356,6	29.734.097,4	29.721.151,7	29.720.046,9
Vergi Sonrası Net Faaliyet Karı	89.398.515,4	85.767.937,1	81.813.493,8	74.333.291,7	105.915.103,4	105.508.423,5	105.418.264,2	105.420.890,7	105.374.992,4	105.371.075,4
Amortisman gideri	58.650.000,0	58.650.000,0	58.650.000,0	58.650.000,0	58.650.000,0	58.650.000,0	58.650.000,0	58.650.000,0	58.650.000,0	58.650.000,0
Nakdi olmayan gider / (gelir) *	7.000.000,0	7.000.000,0	7.000.000,0	7.000.000,0	7.000.000,0	7.000.000,0	7.000.000,0	7.000.000,0	7.000.000,0	7.000.000,0
İşletme sermayesindeki değişim	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
İşletme faaliyetlerinden kaynaklanan net nakit	155.048.515,4	151.417.937,1	147.463.493,8	139.983.291,7	171.565.103,4	171.158.423,5	171.068.264,2	171.070.890,7	171.024.992,4	171.021.075,4
Sabit kıymet alımları	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sabit kıymet satışları										
Serbest nakit akışı	***155.048.515,4***	***151.417.937,1***	***147.463.493,8***	***139.983.291,7***	***171.565.103,4***	***171.158.423,5***	***171.068.264,2***	***171.070.890,7***	***171.024.992,4***	***171.021.075,4***
Finansal yatırımlardaki artış										
Finansal yatırımlardaki azalış										
Yatırım faaliyetlerinden kaynaklanan net nakit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alınan yeni krediler										
Kredilerin geri ödemesi										
Finansman gelirleri	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Finansman giderleri	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sermaye artışları	586.500.000,0	-	-	-		-	-	-	-	
Temettü ödemesi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Finansman faaliyetlerinden kaynaklanan net nakit	586.500.000,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Net nakit artış / (azalışı)	741.548.515,4	151.417.937,1	147.463.493,8	139.983.291,7	171.565.103,4	171.158.423,5	171.068.264,2	171.070.890,7	171.024.992,4	171.021.075,4
Dönem Başı Nakit	-	741.548.515,4	892.966.452,5	1.040.429.946,3	1.180.413.238,0	1.351.978.341,5	1.523.136.764,9	1.694.205.029,2	1.865.275.919,9	2.036.300.912,3
Dönem Sonu Nakit	741.548.515,4	892.966.452,5	1.040.429.946,3	1.180.413.238,0	1.351.978.341,5	1.523.136.764,9	1.694.205.029,2	1.865.275.919,9	2.036.300.912,3	2.207.321.987,7

Tablo 6.5: Ürün Bazında Karlılık tablosu

ÜRÜN BAZINDA KARLILIK											
$	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	% CAGR
Net Satış											
Zn	266.380.000,0	263.802.640,1	259.723.138,2	251.137.314,1	287.913.018,5	288.059.312,3	288.059.312,3	288.059.312,3	288.059.312,3	288.059.312,3	*2,0%*
Toplam	**266.380.000**	**263.802.640**	**259.723.138**	**251.137.314**	**287.913.018**	**288.059.312**	**288.059.312**	**288.059.312**	**288.059.312**	**288.059.312**	***2,0%***
SMM											
Zn	***151.766.518,7***	***153.843.746,3***	***154.834.043,6***	***155.838.222,2***	***152.124.424,3***	***152.792.102,7***	***152.907.691,4***	***152.904.324,2***	***152.963.168,2***	***152.968.190,0***	
Hammadde											
İzabe Opex	87.251.518,7	89.328.746,3	90.319.043,6	91.323.222,2	87.609.424,3	88.277.102,7	88.392.691,4	88.389.324,2	88.448.168,2	88.453.190,0	
Enerji Maliyeti	55.529.852,1	55.782.168,9	56.005.327,1	56.188.485,7	56.377.341,0	56.555.436,0	56.671.024,8	56.667.657,5	56.726.501,5	56.731.523,3	
Direk İşçilik	4.305.000,0	4.305.000,0	4.305.000,0	4.305.000,0	4.305.000,0	4.305.000,0	4.305.000,0	4.305.000,0	4.305.000,0	4.305.000,0	
Bakım Onarım	8.466.666,7	9.030.225,7	9.267.129,5	9.520.672,4	8.315.476,2	8.466.666,7	8.466.666,7	8.466.666,7	8.466.666,7	8.466.666,7	
Sarf Malzemeler	10.493.333,3	11.191.791,6	11.485.403,0	11.799.636,5	10.305.952,4	10.493.333,3	10.493.333,3	10.493.333,3	10.493.333,3	10.493.333,3	
Diğer Üretim Giderleri	8.456.666,7	9.019.560,1	9.256.184,1	9.509.427,5	8.305.654,8	8.456.666,7	8.456.666,7	8.456.666,7	8.456.666,7	8.456.666,7	
Diğer Üretim Giderleri Toplam	27.416.666,7	29.241.577,4	30.008.716,5	30.829.736,5	26.927.083,3	27.416.666,7	27.416.666,7	27.416.666,7	27.416.666,7	27.416.666,7	
Tesisin Sürdürülebilirliği için Gerekli Yatırımlar	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	5.865.000	
Ulaştırma Maliyeti											
Amortisman	58.650.000	58.650.000	58.650.000	58.650.000	58.650.000	58.650.000	58.650.000	58.650.000	58.650.000	58.650.000	
-											
Brüt Kar											
Pb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Zn	114.613.481,3	109.958.893,8	104.889.094,6	95.299.092,0	135.788.594,1	135.267.209,6	135.151.620,8	135.154.988,1	135.096.144,1	135.091.122,3	
Toplam	**114.613.481,3**	**109.958.893,8**	**104.889.094,6**	**95.299.092,0**	**135.788.594,1**	**135.267.209,6**	**135.151.620,8**	**135.154.988,1**	**135.096.144,1**	**135.091.122,3**	
% Brüt Kar											
Zn	*43,0%*	*41,7%*	*40,4%*	*37,9%*	*47,2%*	*47,0%*	*46,9%*	*46,9%*	*46,9%*	*46,9%*	
	43,0%	***41,7%***	***40,4%***	***37,9%***	***47,2%***	***47,0%***	***46,9%***	***46,9%***	***46,9%***	***46,9%***	

Tablo 6.6: Kar ve Zarar tablosu

KAR/ZARAR TABLOSU										
$	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Net Satışlar	266.380.000,0	263.802.640,1	259.723.138,2	251.137.314,1	287.913.018,5	288.059.312,3	288.059.312,3	288.059.312,3	288.059.312,3	288.059.312,3
Satılan Malın Maliyeti	151.766.518,7	153.843.746,3	154.834.043,6	155.838.222,2	152.124.424,3	152.792.102,7	152.907.691,4	152.904.324,2	152.963.168,2	152.968.190,0
Brüt Üretici Karı	114.613.481,3	109.958.893,8	104.889.094,6	95.299.092,0	135.788.594,1	135.267.209,6	135.151.620,8	135.154.988,1	135.096.144,1	135.091.122,3
Brüt Karlılık (%)	***43,0%***	***41,7%***	***40,4%***	***37,9%***	***47,2%***	***47,0%***	***46,9%***	***46,9%***	***46,9%***	***46,9%***
Satış Giderleri	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pazarlama Giderleri										
Lojistik Giderleri										
Genel İdare Giderleri	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Redevans Giderleri										
Diğer Faaliyet Gelir/(Gideri)										
Faaliyet Karı	114.613.481,3	109.958.893,8	104.889.094,6	95.299.092,0	135.788.594,1	135.267.209,6	135.151.620,8	135.154.988,1	135.096.144,1	135.091.122,3
Faaliyet Karlılığı (%)	***43,0%***	***41,7%***	***40,4%***	***37,9%***	***47,2%***	***47,0%***	***46,9%***	***46,9%***	***46,9%***	***46,9%***
Amortisman Gideri	58.650.000,0	58.650.000,0	58.650.000,0	58.650.000,0	58.650.000,0	58.650.000,0	58.650.000,0	58.650.000,0	58.650.000,0	58.650.000,0
AÖFK	173.263.481,3	168.608.893,8	163.539.094,6	153.949.092,0	194.438.594,1	193.917.209,6	193.801.620,8	193.804.988,1	193.746.144,1	193.741.122,3
AÖF Karlılığı (%)	***65,0%***	***63,9%***	***63,0%***	***61,3%***	***67,5%***	***67,3%***	***67,3%***	***67,3%***	***67,3%***	***67,3%***
Finansman Giderleri										
Finansman Gelirleri										
Diğer Gelir/(Gider)										
Dönem Karı	114.613.481,3	109.958.893,8	104.889.094,6	95.299.092,0	135.788.594,1	135.267.209,6	135.151.620,8	135.154.988,1	135.096.144,1	135.091.122,3
Dönem Karlılığı (%)	***43,0%***	***41,7%***	***40,4%***	***37,9%***	***47,2%***	***47,0%***	***46,9%***	***46,9%***	***46,9%***	***46,9%***
Vergi	25.214.965,9	24.190.956,6	23.075.600,8	20.965.800,2	29.873.490,7	29.758.786,1	29.733.356,6	29.734.097,4	29.721.151,7	29.720.046,9
Net Dönem Karı	**89.398.515,4**	**85.767.937,1**	**81.813.493,8**	**74.333.291,7**	**105.915.103,4**	**105.508.423,5**	**105.418.264,2**	**105.420.890,7**	**105.374.992,4**	**105.371.075,4**
Net Dönem Karlılığı (%)	***33,6%***	***32,5%***	***31,5%***	***29,6%***	***36,8%***	***36,6%***	***36,6%***	***36,6%***	***36,6%***	***36,6%***
Temettü										
İhtiyat Birikimi	89.398.515,4	85.767.937,1	81.813.493,8	74.333.291,7	105.915.103,4	105.508.423,5	105.418.264,2	105.420.890,7	105.374.992,4	105.371.075,4
Kümüle İhtiyat		89.398.515,4	175.166.452,5	256.979.946,3	331.313.238,0	437.228.341,5	542.736.764,9	648.155.029,2	753.575.919,9	858.950.912,3

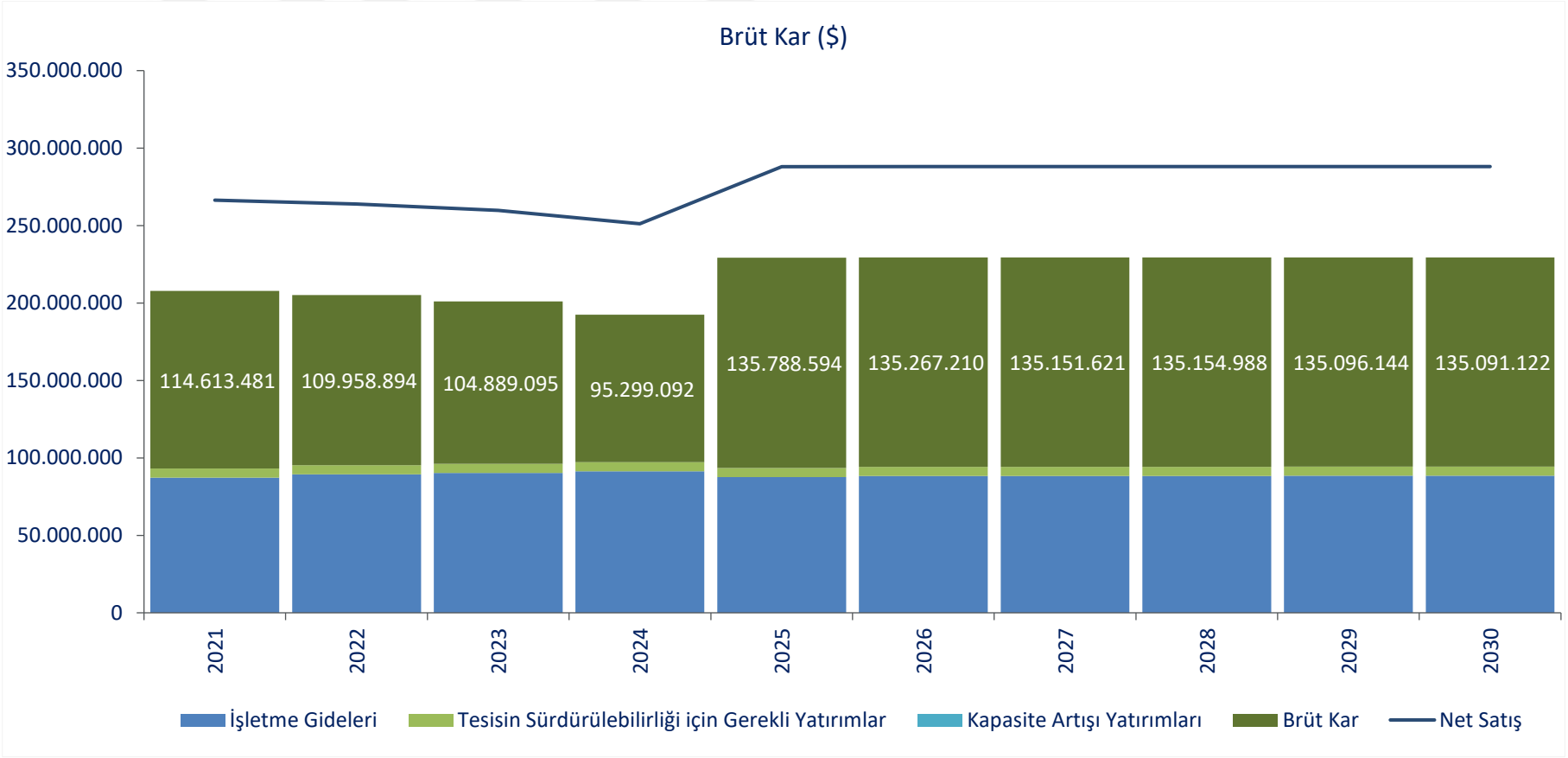
Vergi Oranı (%) *	22,0%	22,0%	22,0%	22,0%	22,0%	22,0%	22,0%	22,0%	22,0%	22,0%

Tablo 6.7: Yatırım Karlılığı tablosu

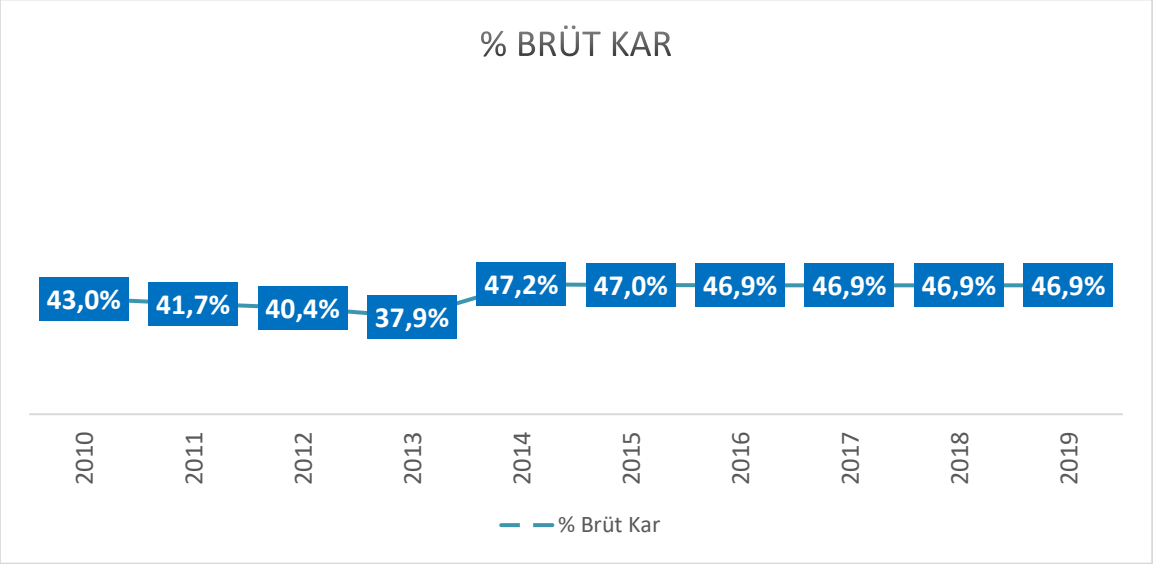
YATIRIM KARLILIĞI $	Vergi Sonrası Net Faaliyet Karı	Amortisman	Nakdi Olmayan Gider / (Gelir)	Toplam Yatırım Harcaması	İlave İşletme Sermayesi İhtiyacı	Net Nakit Akışı
	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	
2020				586.500.000		(586.500.000,0)
2021	89.398.515,4	58.650.000,0	-	-	-	148.048.515,4
2022	85.767.937,1	58.650.000,0	-	-	-	144.417.937,1
2023	81.813.493,8	58.650.000,0	-	-	-	140.463.493,8
2024	74.333.291,7	58.650.000,0	-	-	-	132.983.291,7
2025	105.915.103,4	58.650.000,0	-	-	-	164.565.103,4
2026	105.508.423,5	58.650.000,0	-	-	-	164.158.423,5
2027	105.418.264,2	58.650.000,0	-	-	-	164.068.264,2
2028	105.420.890,7	58.650.000,0	-	-	-	164.070.890,7
2029	105.374.992,4	58.650.000,0	-	-	-	164.024.992,4
2030	105.371.075,4	58.650.000,0	-	-	-	164.021.075,4
					İskonto Oranı (WACC)	8,0%
					NPV	441.497.579,1
					IRR	22,2%

Tablo 6.8: Geri Ödeme Süresi tablosu

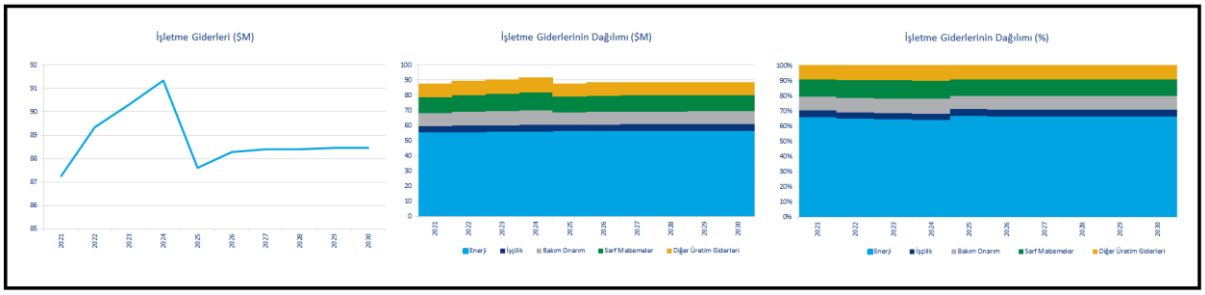
GERİ ÖDEME SÜRESİ $	Vergi Sonrası Net Faaliyet Karı	Amortisman	Nakdi Olmayan Gider / (Gelir)	Toplam Yatırım Harcaması	İlave İşletme Sermayesi İhtiyacı	Net Nakit Akışı	Kümüle Nakit Akışı	Geri Ödenen Yatırım Tutarı	Geri Ödeme Süresi
Başlangıç Yatırımı	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)			586.500.000,0	
								Geri Ödeme %	
2021	89.398.515,4	58.650.000,0	-	-	-	148.048.515,4	148.048.515,4	25,2%	1,0
2022	85.767.937,1	58.650.000,0	-	-	-	144.417.937,1	292.466.452,5	49,9%	1,0
2023	81.813.493,8	58.650.000,0	-	-	-	140.463.493,8	432.929.946,3	73,8%	1,0
2024	74.333.291,7	58.650.000,0	-	-	-	132.983.291,7	565.913.238,0	96,5%	1,0
2025	105.915.103,4	58.650.000,0	-	-	-	164.565.103,4	730.478.341,5	124,5%	0,1
2026	105.508.423,5	58.650.000,0	-	-	-	164.158.423,5	894.636.764,9	152,5%	(0,9)
2027	105.418.264,2	58.650.000,0	-	-	-	164.068.264,2	1.058.705.029,2	180,5%	(1,9)
2028	105.420.890,7	58.650.000,0	-	-	-	164.070.890,7	1.222.775.919,9	208,5%	(2,9)
2029	105.374.992,4	58.650.000,0	-	-	-	164.024.992,4	1.386.800.912,3	236,5%	(3,9)
2030	105.371.075,4	58.650.000,0	-	-	-	164.021.075,4	1.550.821.987,7	264,4%	(4,9)
								Geri Ödeme Süresi:	4,1



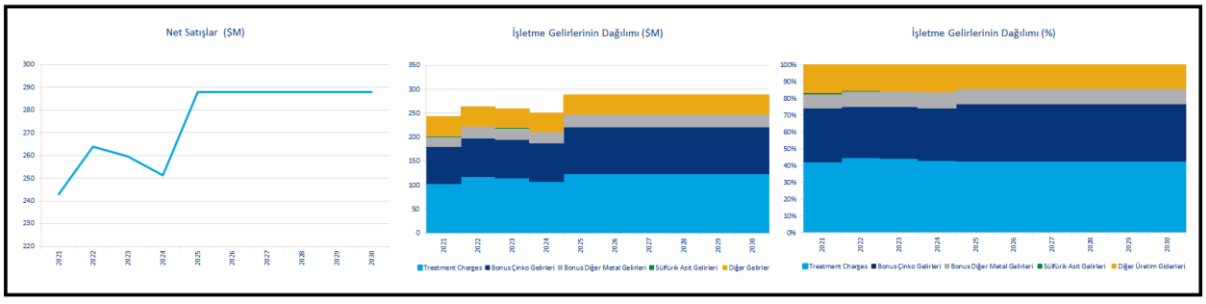
Şekil 6.1: Satış ve Brüt Kar



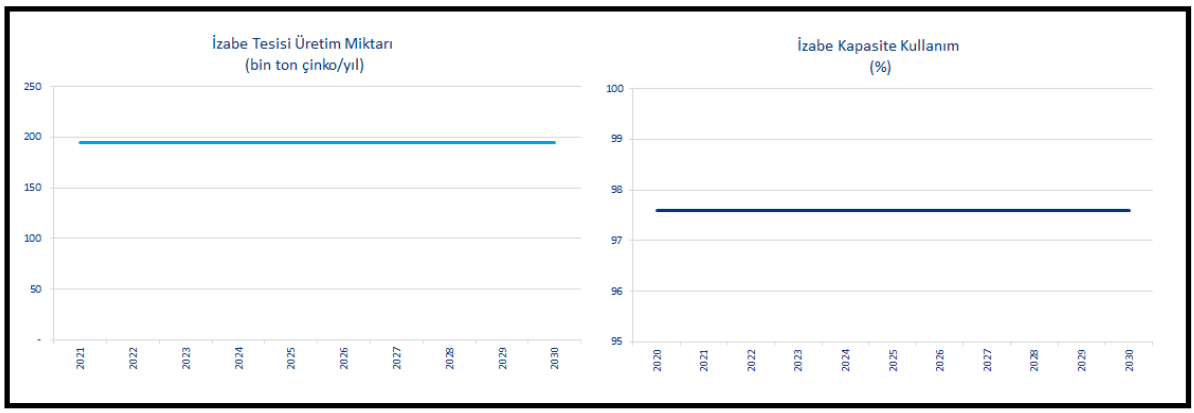
Şekil 6.2: Brüt Karlılık



Şekil 6.3: İşletme Giderlerinin Dağılımı (Amortisman Hariç)



Şekil 6.4: İşletme Gelirlerinin Dağılımı



Şekil 6.5: Tesis üretim miktarı ve kapasite kullanım oranı

6.1 YATIRIM AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Tablo 6.7 ve 6.8'den çıkan değer hesabına göre ise, çinko metal projesinin yatırım değeri 441 Milyon $ olarak hesaplanırken iç karlılık oranı (İKO%) ise %22,2 olarak bulunmuştur. Bu yatırımın geri ödeme yılı ise 4,1 yıl olarak hesaplanmaktadır. İşletme karlılık durumu ise Tablo 6.9'da gösterilmiştir.

Tablo 6.9: İşletme Karlılık Tablosu

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Net Satışlar (Milyon USD)	266	264	260	251	288	288	288	288	288	288
Brüt Kar %	43,0%	41,7%	40,4%	37,9%	47,2%	47,0%	46,9%	46,9%	46,9%	46,9%
Faaliyet Karı %	43,0%	41,7%	40,4%	37,9%	47,2%	47,0%	46,9%	46,9%	46,9%	46,9%
Amortisman %	22,0%	22,2%	22,6%	23,4%	20,4%	20,4%	20,4%	20,4%	20,4%	20,4%
AÖFK %	65,0%	63,9%	63,0%	61,3%	67,5%	67,3%	67,3%	67,3%	67,3%	67,3%

Bunun yanı sıra, Tablo 6.10'da verilen senaryo analizleri ve hesaplamaları kapsamında, kapasitenin ilk yatırım maliyetinin %20 seviyesinde azalma durumunda ise tesisin değeri 552 Milyon $ olarak bulunurken iç karlılık oranı da %29,2 seviyesinde oluşmaktadır. Diğer taraftan ilk yatırım maliyeti %20 seviyesinde artması durumunda ise, tesisin değeri 328 Milyon $ olarak bulunurken, iç karlılık oranı da %17,2 seviyesinde oluşmaktadır ve Şekil 6.6'da verilmiştir.

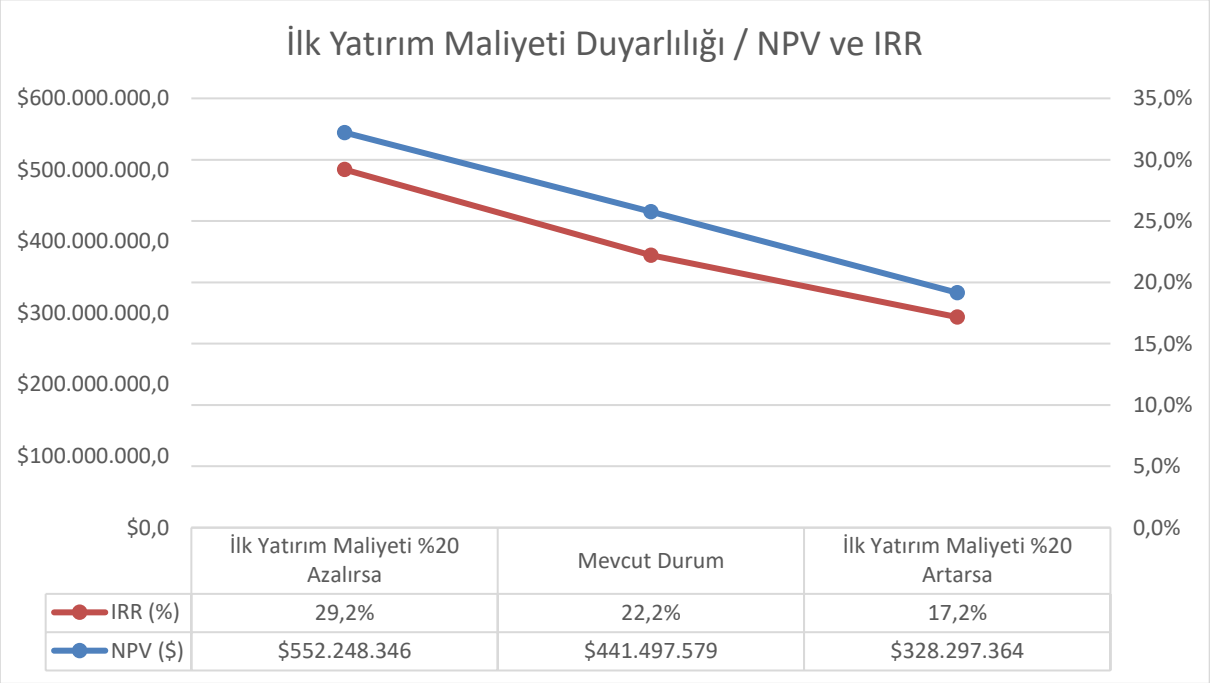
Enerji desteği alındığı durumlarının değere etkisi göz önünde bulundurulduğunda ise, %50 oranında alınan enerji desteğinin gerekli olan yatırımın tesise sağlayacağı marjinal değer 588 Milyon$ olarak bulunurken, iç karlılık oranı da %26,5 olarak hesaplanmıştır ve Şekil 6.7'de gösterilmiştir. Vergi muafiyeti sağlandığı zaman ise, oluşan marjinal değer 663 Milyon$ olarak bulunurken, iç karlılık oranı da %28,4 olarak hesaplanmıştır

Fizibilitede en hassas olan varsayım çinko metali için belirlenen fiyatlardır. Bu noktada, çinko metali fiyatlandırması için bir duyarlılık analizi çalışması da dahil edildiğinde aşağıdaki sonuç ortaya çıkmaktadır ve Şekil 6.8'de gösterilmiştir.

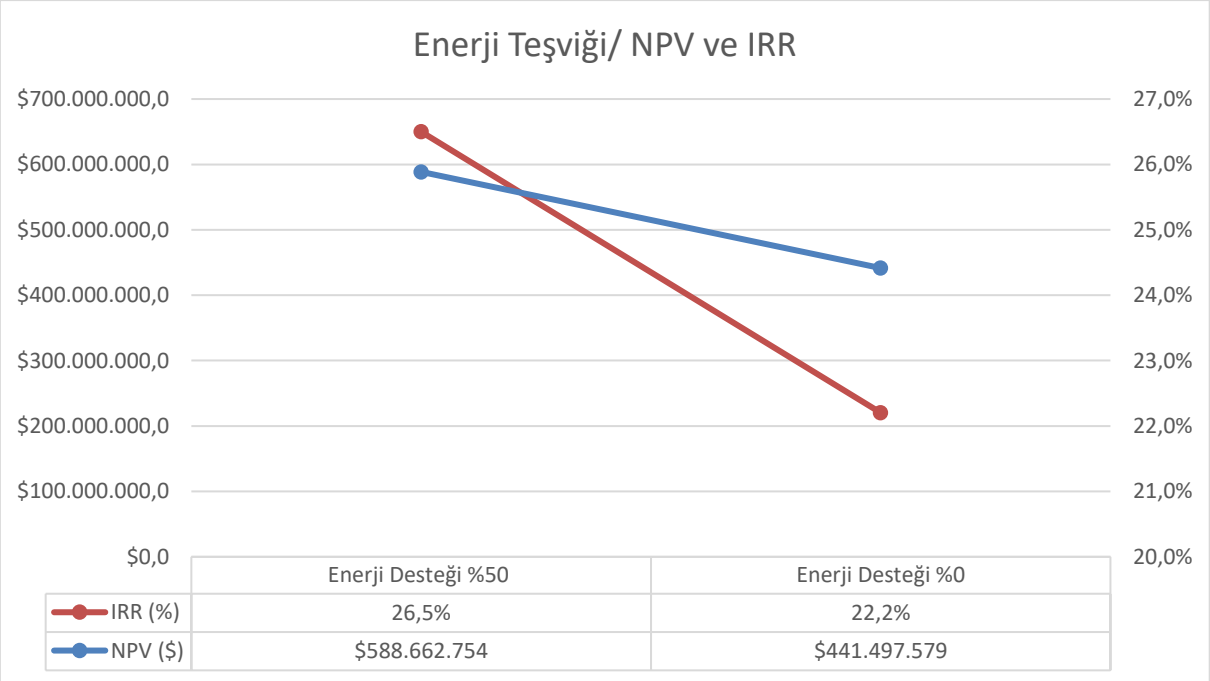
Tablo 6.10: Senaryo Analizleri Tablosu

SENARYO ANALİZLERİ HESAPLAMALARI				
SENARYO ANALİZi	Senaryo Açıklaması	NBD ($)	IKO (%)	Geri Ödeme Süresi (yıl)
Senaryo 1	İlk Yatırım Maliyeti %20 Azalırsa	$ 552.248.346	29,2%	3,3
Senaryo 2	İlk Yatırım Maliyeti %20 Artarsa	$ 328.297.364	17,2%	4,8
Senaryo 3	Zn 2250 Dolar/ton Sabit	$ 276.646.982	17,6%	4,6
Senaryo 4	Zn 3000 Dolar/ton Sabit	$ 511.401.558	24,9%	3,5
Senaryo 5	Enerji Desteği %50	$ 588.662.754	26,5%	3,6
Senaryo 6	Vergi Muafiyeti	$ 663.734.384	28,4%	3,4
Senaryo 7	Yatırım Teşviği %50	$ 706.127.256	47,8%	2,1
Senaryo 8	Yatırım Teşviği 25%	$ 573.812.418	31,2%	3,1
Senaryo 9	Yatırım Teşviği %50 + Enerji Desteği %50	$ 853.292.431	55,4%	1,8
Senaryo 10	Yatırım Teşviği %25 + Enerji Desteği %25	$ 647.395.005	33,9%	2,9
Mevcut Durum	Mevcut Durum	$ 441.497.579	22,2%	4,1

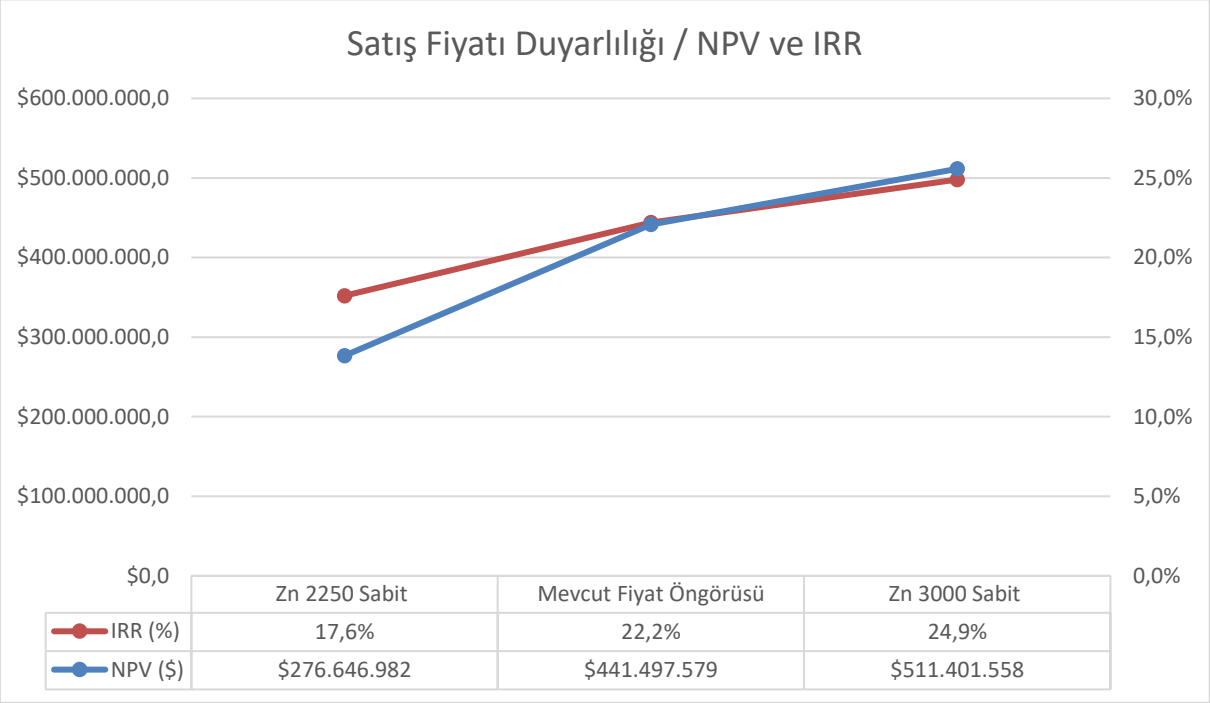
Buna göre, Zn metal fiyatı mevcut fiyat öngörüsü ile 2.250 $/ton ve 3.000 $/ton sabit fiyatları karşılaştırılmıştır. Net bugünkü değeri ve İKO %'si aşağıdaki grafikte gösterilmiştir:



Şekil 6.6: İlk Yatırım Maliyeti Duyarlılığı



Şekil 6.7: Enerji Teşviği Duyarlılığı



Şekil 6.8: Satış Fiyatı Duyarlılığı

Belirtilen varsayımlar dahilinde hazırlanan finansal tablolardan ve karlılık oranlarından görüleceği üzere, çinko metal üretimini amaçlayan yatırım karlı görünmektedir. Bu yatırım ile ülkemiz, faaliyetlerini çinko metal üretimi alanında büyüterek ilerleyecek ve bu alandaki bilgi birikimini arttırmış olacaktır.

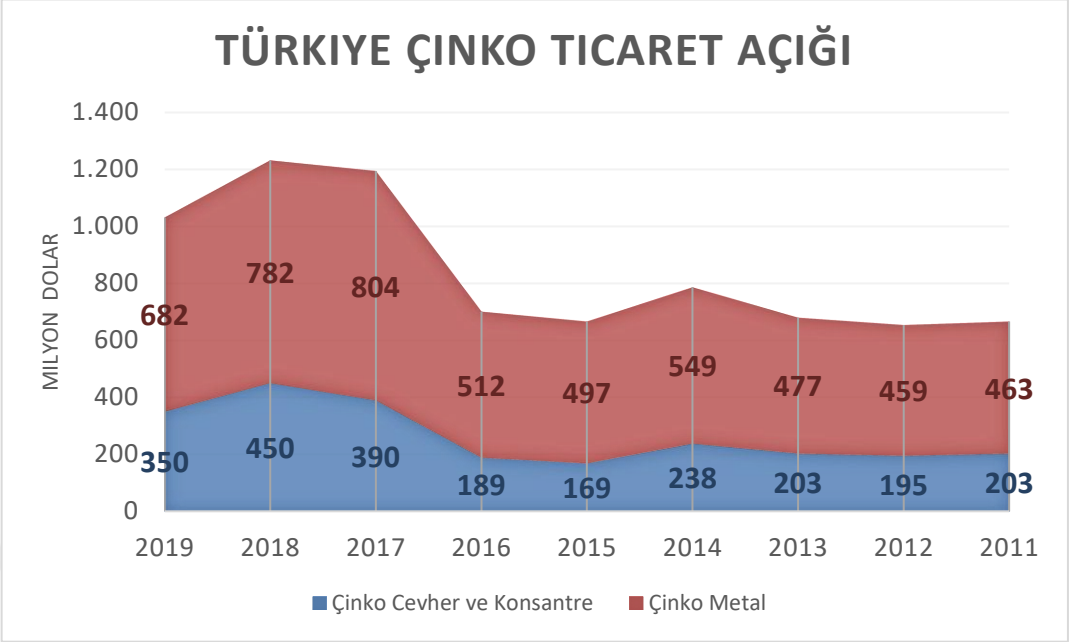
Bu bağlamda % 8,0 ile indirgenmiş, çinko metali üretim tesisinin net bugünkü değeri 441 Milyon $ seviyesinde oluşurken iç karlılık oranı ise %22,2 seviyesinde gerçekleşmektedir. Projenin geri ödeme yılının ise 4,1 yıl olarak gerçekleşmesi öngörülmektedir.

Senaryo analizinden çıkan sonuçtan da görüleceği üzere hem iyimser senaryonun hem de kötümser senaryonun karlı ve ülkemize değer katmasından dolayı çinko metal üretimi yatırımının gerçekleştirilmesi faydalı olacaktır. Ayrıca, unutulmamalıdır ki stratejik yatırımlar kapsamında olan çinko izabe tesisi yatırımı yatırım teşvik desteği alındığı durumlarının değere etkisi göz önünde bulundurulduğunda ise, %50 oranında alınan enerji desteğinin gerekli olan yatırımın tesise sağlayacağı marjinal değer 700 Milyon$ olarak bulunurken, iç karlılık oranı da %47,8, projenin geri ödeme süresi ise 2,1 yıl olarak gerçekleşmesi öngörülmektedir.

Çalışmanın sonrası için, gerekli talep ve ihtiyaç göz önüne alınarak, 2030 yılında 2. Faz ile devam edilmesi planlanmaktadır. Bu süreçte tesis kapasite artışı ile birlikte, enerji yoğun olan çinko metal üretimi tesisinin kendi enerjisini kendisi üretmesi de planlanabilir. Bunun için bir Trijenerasyon tesisine ihtiyaç duyulmakta olup bu yatırım da 2. Faz'da yapılabilir. Trijenerasyon tesisi ile üretilen elektriğin fazlasının, pahalı zaman dilimine denk gelen dilimde, şebekeyle de beslenerek diğer tesislerde kullanılması amaçlanmaktadır. Bu hususta, Nyrstar Budel tesisi çalışmaları örnek alınabilir. Budel tesisi, Ocak 2021'den beri çinko izabe tesisinin tüm elektrik ihtiyacını % 100 yeşil elektrik (kullanılan elektriğin %100'ünün yenilenebilir kaynaklardan üretilmesi) ile karşılamış ve sera gazı emisyonlarını sıfıra yakın bir seviyeye indirmiştir.

6.2 MİLLİ EKONOMİ YÖNÜNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

Türkiye'de önemli miktarda sülfürlü çinko-kurşun cevheri üretimi yapılmakla birlikte, bu cevherleri işleyebilecek herhangi bir izabe tesisi bulunmamaktadır. Bu durum nedeniyle, üretilen çinko-kurşun cevherleri ihraç edilmekte, çinko ve kurşun metal ihtiyacı ise ithalat yoluyla karşılanmaktadır. Bu çerçevede, söz konusu cevherleri işleyebilecek bir izabe tesisine ihtiyaç olduğu değerlendirilmektedir. Bunun yapılmasıyla, ülkenin çinko-kurşun metal ihtiyacının yurtiçinden karşılanması mümkün olacağı gibi, çinko-kurşun madenciliğinin metal piyasasındaki dalgalanmalara karşı daha dirençli hale gelmesi mümkün olabilecektirTez kapsamında belirtilen varsayımlar çerçevesinde çinko cevherlerinden, çinko metali üretimi gerçekleştirilmesi durumunda ülkemiz önemli bir ticaret açığını kendi değeriyle kapatma olanağı yakalayabilecektir.



Şekil 6.9: Türkiye Çinko Ticaret Açığı

Yukarıdaki tabloda yer alan verilerin cevher ve konsantre ihracatına ilişkin verilerle karşılaştırılması, 2019 yılı itibariyle, çinkoda 332 milyon dolar düzeyinde bir açığın varlığına işaret etmektedir. 2019 yılı itibariyle çinkoda ise 682 milyon dolar ithalat yapılarak, 332 milyon dolar seviyesinde dış ticaret açığı verilmiştir. 2011 – 2020 yılları arasındaki çinko dış ticaret açığı yaklaşık 2,5 milyar dolar seviyesine erişmiştir. Öte yandan, mevcut cevher üretiminin yurtiçinde değerlendirme imkanının olmaması, katma değer, istihdam ve arz güvenliği açılarından sorunu daha da ciddi hale getirmektedir.

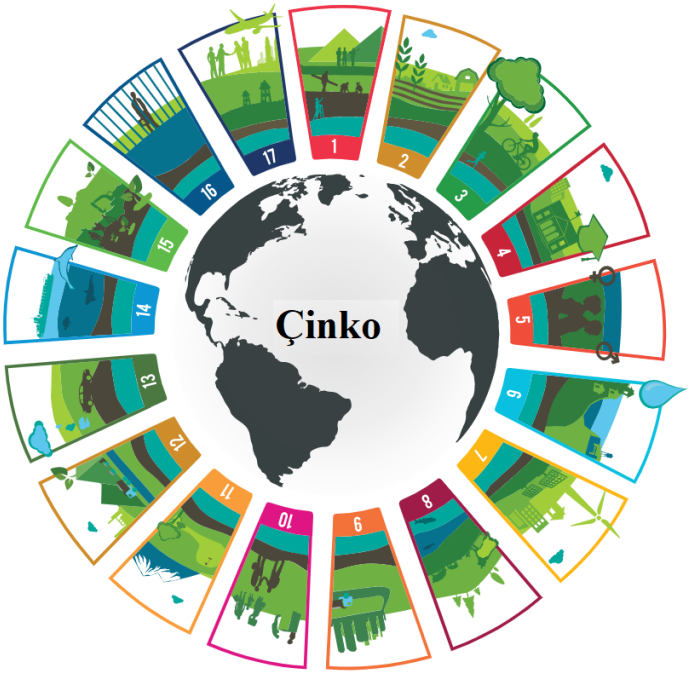
2020 gibi Covid-19 salgınının doğurduğu zorluklarla geçen bir yılda da bu rakamın düşük kalması sürpriz olmayacaktır. Talep yönünde ise ülkemizin ihtiyaç duyduğu katma değerli ürünleri üretmesin sağlayacak sanayi yatırımları arttıkça kurşun ve çinko talebinin artacağı düşünülmektedir. Ülke olarak kurşun çinko ihtiyacımızı karşılamak ve ithalat yoluyla ekonominin üzerine binen yükü azaltmak amacı ile üretim konusunda yeni çalışmalar gerçekleştirmemiz büyük önem taşımaktadır. Diğer bir önemli konu ise daha önceki yıllarda planlara alınan metal kurşun ve çinko metali üretimi için yeni tesis kurulumu projelerinin hayata geçirilmesi konusunda ivedilikle yeni adım atılması gerekliliği olarak karşımıza çıkmaktadır. Ülkemizde kurulacak çinko izabe tesisi ile ülke ekonomisine önemli derecede katkı sağlamanın yanı sıra halkımıza yeni istihdam imkanları da sağlayacaktır. Bunun yanında kurşun ve çinko

metaline ulaşımın kolaylaşması, maliyetin azalması ülkemizdeki tüm sanayi kuruluşlarının veriminin artmasına yardımcı olacaktır.

Demir - çelik, kurşun, bakır ve çinko gibi sanayilerde kendi kendine yetebilmemiz çok önemlidir. Yeteriz kaldığı noktada bu metallerin hepsi dışarıdan satın alınmaktadır, kendimize yetebileceğimiz kadar üretebildiğimiz takdirde, gerekli metalleri satın almak için harcanan kaynakları ülkemizde tutabiliriz. Kendi pazarımıza yetecek şekilde, organize olmamız çok önemlidir. Ayrıca, hammaddede dışa bağımlılık gelişmekte olan ülkeler için en büyük handikaplardan biridir, dışa bağımlığı ve olası yaptırımları uzaklaşması için en büyük fırsat, kendi üretimimizi gerçekleştirebilmemizdir. Çinko metal üretimi için kurulacak bir izabe tesisinin, kurşun, kadmiyum, bakır, gümüş, altın ve indiyum gibi diğer metallerin de kazanımına katkı sağlayabilecek olması başka bir olumlu noktadır.

Ülkemizin, Avrupa'nın lider (Küresel en büyük yedinci) demir – çelik endüstrisi olması, değer zincirinde bulunan çinko endüstrisi için de bir şanstır. Baca tozları ve çinko hammaddesi olarak elde edilmesi daha sonra çinko metali ile tekrar ülkemiz demir –çelik endüstrisine kazandırılması sürdürülebilirlik açısından çok faydalı olacaktır. Diğer taraftan, Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri tarafından, Dünyamızın sürdürülebilir bir yaşama ve çalışma biçimine hızla geçiş yaptığı ifade edilmektedir. Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri metalurji endüstrisini ileriye taşıyacak ve onu ortak gelecekte ayrılmaz bir bütün haline getirecek. Kurşun-çinko birincil üretimi, önemli bir teknoloji ve metal kaynağı olmaya devam ediyor. Ayrıca, kurşun-çinko metalurjisi, geniş bir metal ve ürün yelpazesinin döngüsel ekonomisini mümkün kılıyor.

Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri'nin gerçekleştirilmesi, önümüzde zorluklar olsa da, hem madencilik hem de metalürji endüstrisinde çok önemlidir. Birincisi, maden ve fabrika işletme ruhsatı ve ürün satma ruhsatı toplum tarafından verilmektedir. Toplum bunu ancak kurşun-çinko endüstrisini ortak geleceğin bir parçası olarak görürse yapacaktır. İkincisi, inovasyon ekonomisine endüstri çapında geçiş, Endüstri 4.0 kavramlarını, yöntemlerini ve araçlarını içeren eğitim, araştırma, teknoloji ve inovasyon konusunda ortak bir vizyonu ifade edeceğinden çok önemlidir. [132].



Şekil 6.10: Sürdürülebilir Metal Çinko [132].

Sonuç olarak, ülkemizin dış ticaret açığını azaltmak ve katma değeri yüksek ürün üretme hedefine hizmet eden, stratejik bir yatırım olarak görülen ve hem kalkınma hem de teşvik planında yer alan çinko izabe tesisinin, Gemlik'te kurulması mümkündür. Gemlik'te kurulabilecek çinko izabe tesisi, hidrometalurjik yöntemle, 200 bin ton/yıl kapasiteli olarak, 195 bin ton/yıl çinko metalinin üretebileceği öngörülmektedir.

Uygulanan senaryo analizleri kapsamında, farklı teşvikler alınarak, geri ödeme süresinin 2-5 yıl arasında değişebileceği belirtilmiştir.

Çalışma kapsamındaki sonuçlar, Uluslararası Muhasebeciler Federasyonu (IFAC) yatırım kabul koşulları içerisinde yer almaktadır.

KAYNAKLAR

[1] Sinclair R. J., (2005), The Extractive Metallurgy of Zinc, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy Spectrum Series Volume Number 13, 3 –267.

[2] Abkhoshk E., **Jorjani E., Al-Harahsheh M. S., Rashchi F., Naazeri.,** (2014), Review of the hydrometallurgical processing of non-sulfide zinc ores, Hydrometallurgy, 149, 153 –167.

[3] Warner N. A., (2009), Towards zinc metal at McArthur River, Minerals Engineering, 22, 727 –741.

[4] Madencilik Özel İhtisas Komisyon Raporu (2001), Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Metal Madenler Alk Komisyonu Kurşun – Çinko – Kadmiyum Çalışma Grubu Raporu, 85 – 86.

[5] International Lead and Zinc Study Group, (2017), Lead and Zinc New Mine and Smelter Projects, 28-42.

[6] Commodity Market Report (2019), Global Zinc Long-Term Outlook Q3 2019 Report, WoodMackenzie, Londra, İngiltere, 2 –49.

7- Nexa

[8] Tanner A. **O**., (2020), US Geological Survey, Mineral Commodity Summaries 2020, USGS, 190 – 191.

[9] Güler E., (2008), Çinko Tesisi Liç Artıklarından Metal Kazanım Yöntemlerinin Araştırılması, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2 – 70.

[10] Addemir O., Açma E., Arslan C., (1995), Çinko, Sistem Yayıncılık, ISBN No: 975-7397-41-5.

[11] Historical Zinc Smelting in New Jersey, Pennsylvania, Virginia, West Virginia, and Washington, D.C., with Estimates of Atmospheric Zinc Emissions and Other Materials, (2010), USGS, Open File Report, ABD, 22 – 102.

[12] Habashi F., (1997), Handbook of Extractive Metallurgy, Volume II, Wıley VCH, 641 – 682.

[13] Rusen A., (2007), Recovery of Zinc and Lead from Çinkur Leach Residues by Using Hydrometallurgical techniques, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, 3 –30.

[14] Commodity Market Report (2020), Global Zinc Long-Term Outlook Q4 2020 Report, WoodMackenzie, Londra, İngiltere, 2 –49.

[15] Zinc Essential For Life (2012), Uluslararası Kurşun ve Çinko Çalışma Grubu, 1 - 10

[16] Yener, L., (2017), Çinko Madenciliğimizi Nasıl Bir Gelecek Bekliyor, Emita Dünyası, Sektörden Haberler Bülteni, 42 – 71.

[17] 2021, Mintad Sphalerite, https://www.mindat.org/min-3727.html , Ziyaret tarihi: 17 Şubat 2021.

[18] 2021, Mintad Smithsonite, https://www.mindat.org/min-3688.html, Ziyaret tarihi: 17 Şubat 2021.

[19] 2021, Mintad Hemimorphite, https://www.mindat.org/min-4410.html, Ziyaret tarihi: 17 Şubat 2021.

[20] 2021, Mintad Zincite, https://www.mindat.org/min-4292.html, Ziyaret tarihi: 17 Şubat 2021.

[21] 2021, Mintad Willemite, https://www.mindat.org/min-1860.html, Ziyaret tarihi: 17 Şubat 2021.

[22] 2021, Mintad Franklinite, https://www.mindat.org/min-1598.html, Ziyaret tarihi: 17 Şubat 2021.

[23] 2021, MTA Türkiye Maden Yatakları Haritaları, https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/maden-yataklari, Ziyaret tarihi: 18 Şubat 2021.

[24] Reemeyer L., (2020), Effect of Deposit Types, Mine Development and Industry Structure on Primary Lead and Zinc Economics in Australia, North America and Europe, PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, 507 –516.

[25] Commodity Market Report (2020), Appendix Zinc first and end uses, Global Zinc Long-Term Outlook Q4 2020 Report, WoodMackenzie, Londra, İngiltere, 2 –8.

[26] Sohn, H. Y., Olivas – Martinez M., (2014), Lead and Zinc Production, Treatise on Process Metallurgy Volume 3, 671 –699.

[27] Madencilik Özel İhtisas Komisyon Raporu (2015), Onuncu Kalkınma Planı, Madencilik Politikaları Alt Komisyonu Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 79 – 81.

[28] Önal G., (2015), Türkiye'nin Maden Kaynakları ve Ekonomiye Katkısı, İTÜ Vakfı Dergisi, Sayı 69, 18 –21.

[29] Sarıkavak K. T., (2015), Türkiye'de Maden Aramaları, Maden Rezervleri ve Ekonomik Değeri, İTÜ Vakfı Dergisi, Sayı 69, 22 –27.

[30] Hakkari İlinde Maden Zenginleştirilmesine Yönelik Teknoloji Kullanım Alt Yapısının İncelenmesi Fizibilite Raporu (2020), Doğu Anadolu Kalkınma Ajansı, 14 – 81.

[31] Demir U., (2018), Kömürden İnorganik Kükürt Ve Kül Uzaklaştırmada Knelson Konsantrator Çalışma Parametrelerinin Etkisi, DPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı 41, 35- 47.

[32] Lead and Zinc Smelting, (1998), Pollution Prevention and Abatement Handbook, World Bank Group, 332 –336.

[33] 2021, Esan, https://www.esan.com.tr/tr/uretim/#metalik-maden-tesislerimiz, Ziyaret tarihi: 20 Şubat 2021.

[34] Yıldız K., (2014), Demir Dışı Metal Üretimi Çinko ve Kurşun Ders Notları, Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, 3 –15.

[35] Hughes S., (2018), Non Ferrous Smelting Processes, Outotec Presentation, Almanya 1 – 51.

[36] Hammerschmidt J., (2017), Roasting Technology, Outotec Presentation, Almanya, 1 – 33.

[37] Cöcen Ü., (2017), MMZ 210 Kimyasal Metalurji ders notları, Dokuz Eylül Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği 40 -42.

[38] Free M. L., **Moats M.,** (2014), Hydrometallurgical Processing, Treatise on Process Metallurgy, Volume 3, 950 – 981.

[39] Will jarosite residue continue to dampen China's refined zinc production (2019), Commodity Market Report, WoodMackenzie, Londra, İngiltere, 2 –10.

[40] Singh V., (1996), Technological innovation in the zinc electrolyte purification process of a hydrometallurgical zinc plant through reduction in zinc dust consumption, Hydrometallurgy, 40, 247 –262.

[41] Schwarz M. P., (2012), Improving zinc processing using computational fluid dynamics modelling–Successes and opportunities, Minerals Engineering, 30, 12 –18.

[42] Su C., (2017) Influence of lead impurity and manganese addition on main operating parameters of zinc electrowinning, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, 8 –9.

[43] Sethurajan M., Huguenot D., Jain R., Lens P. N. L., Horn H. A., Figueiredo L. H. A., Van Hullebusch E. D., (2017), Leaching and selective zinc recovery from acidic leachates of zinc metallurgical leach residues, Journal of Hazardous Materials, 324, 71 –82.

[44] Sadeghi N., Moghaddam J., Ojaghi Ilkhchi M., (2017), Kinetics of zinc sulfide concentrate direct leaching inpilot plant scale and development of semi-empirical model, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 27, 2272 –2281.

[45] Those last few zinc units (2017), Commodity Market Report, WoodMackenzie, Londra, İngiltere, 2 –4.

[46] Hughes S. Wilson D. Wood J., (2020), A New Era in Smelting Sustainability Intensification of the Outotec, Ausmelt Top Submerged Lance (TSL) Process for Zinc Production, 63 - 73

[47] Diminishing concentrates: what options are there for zinc smelters? (2017), Commodity Market Report, WoodMackenzie, Londra, İngiltere, 2 –4.

[48] Hassall C., (2020), Regional Changes in Refined Zinc Output and Demand, PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, 615 –622

[50] 2021, Wood Mackenzie, https://my.woodmac.com/tools, Ziyaret tarihi: 7 Mart 2021.

[51] Zinc 5 things to look for in 2018 (2018), Commodity Market Report, WoodMackenzie, Londra, İngiltere, 2 –4.

[52] Zinc 5 things to look for in 2019 (2019), Commodity Market Report, WoodMackenzie, Londra, İngiltere, 1 –2.

[53] Glencore slashes zinc mine production (2015), Commodity Market Report, WoodMackenzie, Londra, İngiltere, 2 –10.

[54] IZA conference news and views – coronavirus worries overshadow smelters' optimism (2020), Commodity Market Report, WoodMackenzie, Londra, İngiltere, 1 –4.

[55] Zinc mines in china characteristics and cost drivers (2012), Commodity Market Report, WoodMackenzie, Londra, İngiltere, 1 –12.

[56] Coronavirus COVID-19 (2020), Metals & Mining Sector Insıghts, McKinsey & Company, Londra, İngiltere, 1 –27.

[57] While Gold Might Shine, the Worst Looks Yet to Come for Most Commodities (2020), Commodity Market Outlook for 2Q 2020 Report, Citi research, Londra, İngiltere, 1 –135.

[58] Introducing a supply loss tracker for 16 commodities, including the industrial metals, bulk commodities and the PGMs (2020), Global Commodities Focus Report, Citi research, Londra, İngiltere, 1 –26.

[59] Zinc Fundamentals in an Out of Favour Environment (2019), BMO Global Commodities Research, BMO, Toronto, Kanada, 1 –7.

[60] Zinc mines in china characteristics and cost drivers (2012), Commodity Market Report, WoodMackenzie, Londra, İngiltere, 1 –12.

[61] China zinc mine consolidation will maintain output growth (2018), Commodity Market Report, WoodMackenzie, Londra, İngiltere, 1 –9.

[62] Inner Mongolia zinc and lead mine visits (2015), Commodity Market Report, WoodMackenzie, Londra, İngiltere, 1 –9.

[63] Can china's hunan province regain its zinc smelting superiority (2019), Commodity Market Report, WoodMackenzie, Londra, İngiltere, 1 –10.

[64] Is huoshaoyun to be the next major zinc mine (2017), Commodity Market Report, WoodMackenzie, Londra, İngiltere, 1 –4.

[65] Australian mined zinc output to fall to third plac after bumper 2015 (2015), Commodity Market Report, WoodMackenzie, Londra, İngiltere, 1–6.

[66] 2021, Open Mineral, https://platform.openmineral.com/analytics/metal-prices, Ziyaret tarihi: 9 Mart 2021.

[67] 2021, London Metal Exchange, https://www.lme.com/Metals/Non-ferrous/Zinc#tabIndex=3, Ziyaret tarihi: 10 Mart 2021.

[68] Glencore (2020), Investor Update 2020 Report, 1–20.

[69] Zapico J. A., (2019), Glencore, Plant Manager, Asturiana San Juan de Nieva Çinko İzabe Tesisi Görüşmesi, İspanya, 22 Mayıs 2019.

[70] 2021, Nexa Resources (2019) https://ri.nexaresources.com/List.aspx?idCanal=2nMaGM7QDkfOYhKgL7z6oA==&ano=2019, Nexa Annual Report 2019, 1–71 Ziyaret tarihi: 9 Mart 2019.

[71] Trafigura (2020), 2020 Trafigura Corporate Brochure, 1–35.

[72] Teck (2020), Teck Corporate Presantation, 1–20.

[73] Boliden (2020), Interim Report for the second quarter of 2020 1–30.

[74] Hindustan Zinc (2020), Hindustan Zinc Limited Annual Report 1–216.

[75] Korea Zinc (2019), Korea Zinc Corporate Report, 1–30.

[76] Onsan zinc smelter (2020), Commodity Asset Report, WoodMackenzie, Londra, İngiltere, 1 –8.

[77] Özden K., (2016), Tesis Planlaması, İşyeri Fabrika Tasarımı ve Yerleşim Düzeni, Papatya Yayıncılık Eğitim, İstanbul, 20–405.

[78] Şanlı H. E., (2010), An Alternative Approach To Facility Layout Planning: Spiral Facility Layout Planning, The Graduate Institute of Fatih University, 3 –50.

[79] Ryan A., Johanson E., Rogers D., (2005), Feasibility study plant design, Developments in Mineral Processing, Vol 15, 123 –155.

[80] Rad P. F., (2002), Project Estimating and Cost Management, Management Concepts, ABD, 1 –55.

[81] Ust-Kamenogorsk zinc smelter (2020), Commodity Asset Report, WoodMackenzie, Londra, İngiltere, 1 –8.

[82] Olkkola A., (2020), The Energy Efficiency of Heat Exchanger In Hot Acid Leaching, Centria University of Applied Sciences, Chemical engineering, 2 – 28.

[83] Palola K., (2020), Electrical Equivalent Circuit of An Industrial Zinc Electrolysis Process, Lappeenranta University of Technology, School of Energy Systems, 2 – 91.

[84] Rajala H., (2019), Effect of electrodes size change on zinc growth in electrolysis, Centria University of Applied Sciences, Chemical engineering, 2 – 24.

[85] Lukkarila J., (2015), Smelting Zinc in induction furnace by using different flux agents in Boliden Kokkola Ltd, Centria University of Applied Sciences, Chemical engineering, 2 – 24.

[86] Wikstrın F., (2018), Process Controlling System Changeover At Boliden Kokkola Electrolysis, Centria University of Applied Sciences, Information technology and communication, 2 – 26.

[87] He F., (2000), A Novel Method for Metal Recovery From Zinc Fuming Slags, Department of Metals and Materials Engineering, The University of British Columbia, 2 –50.

[88] Zhang Y., (2003), A Novel Method for Metal Reovery From Zinc and Lead Slags, Department of Metals and Materials Engineering, The University of British Columbia, 2 –130.

[89] Lehmann M., (2003), Biooxidation of a Zinc Sulphide Ore, Department of Metals and Materials Engineering, The University of British Columbia, 2 – 200.

[90] Hawke M.I., (2004), Elemental Characteristics of Organic Deposits From an Area Surrounding a Lead-Zinc Smelter: Concentration, Distribution, Mode of Occurence and Mobility, Department of Earth and Ocean Sciences, The University of British Columbia, 2 – 200.

[91] Nelsen J.L., (2015), British Columbia Copper Mining Development: A Sixty-Year Economic And Political Retrospective, Department of Mining Engineering, The University of British Columbia, 2 – 400.

[92] D. Gregurek, K. Reinharter, J. Schmidl and A., (2020), Spanring Refractory Challenges in Lead and Zinc Furnaces, PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, 19 –30.

[93] Gou H. P., Chou K. C., Pei Z. Y.,, Chen K.C., Chen X., Li M.C., (2020 Phase Evolution During the Oxidation Process of Low Grade Lead–Zinc Oxide Ore, PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, 51 – 60.

[94] Lima J. A., Martins E.L., Gonzales G.P.P., Filho T.T., (2020), Current Efficiency Increase in Zinc Electrodeposition at Cajamarquilla Refinery, PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, 101 –109.

[95] Teixeira F.M., Martins J.M., Martins E.L.C., Pina P.S., Leite T.O.N.,Penchel S.A, Takayama T., (2020), Zinc Recovery of Low Grade Concentrate from Vazante Mine by the Waelz Process, PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, 231 –236.

[96] Dias M.J., Souza A.D., Oliveira C.C.S., Pereira D.D., Araujo M.F.L., (2020), Increase in Zinc Recovery from a Silicate Concentrate by Pre-neutralization Process, PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, 247 – 252.

[97] Oliveira C.C.S., Pereira D.D., Peraira F.R., Araujo M.F.L., (2020), A New Route for Treating Neutral Leaching Residue, PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, 827 – 833.

[98] Moats M. Hymer T., (2020), To Polarize or Not to Polarize: Practical Advice on How to Control Zinc Electrodeposition, PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, 111 – 122.

[99] Stoychev S. Minchev E. Kyurkchiev A. Radonov G., (2020), Technologies for Treatment of Zinc-Containing Waste from Metallurgy in KCM AD, PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, 799 – 809.

[100] Kerry T. Peters A. Georgakopoulos E. Hosseini A. Offerman E. Yang Y.,., (2020), Zinc Reduction/Vaporisation Behaviour from Metallurgical Wastes, PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, 811 - 819.

[101] Xu L. Ma S., (2020), Zinc Residue Fuming Process in Side-Submerged Combustion Furnace + Fuming Furnace, PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, 265 – 274.

[102] Xin P. Wei J. Xu L. Wu W. Lan D., (2020), The Recovery of Pb and Zn in Antimony Smelting Slag, PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, 653 – 660.

[103] Song Y. Liang W. Xu L. Chen X. Zhang Ge., (2020) A Critical Review on Generation, Characteristics, and Utilization of Zinc Slag, PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, 275 – 281.

[104] Kim J. Kim M. Chung K.W. Lee K., (2020) Recovery of Lead from Zinc Plant Residue by Alkaline Leaching Process Followed by Cementation, PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, 253 – 263.

[105] Pusateri J. F. Wet J.R. Tirpak B., (2020) Production of SHG Zinc From 100% Recycled Materials, PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, 75 – 90.

[106] Takaya S. Kubota N. Watanabe H. Kudo T., (2020) Recent Development of EAF Dust Treating at Shisaka Smelting Co., Ltd., PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, 91- 97.

[107] Xin P. Wei J. Xu L. Wu Weiguo Lan D., (2020) The Recovery of Pb and Zn in Antimony Smelting Slag, PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, 655 – 660.

[108] Liao T. Luo Y. Qu H. Zhang T. Li J. Xi Y. Zou J. Zhang L. Cui K., (2020) Optimization of Arsenic Removal Process in Waste Acid from Zinc Smelting Plant Based on Orthogonal Experiment, PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, 707 – 717.

[109] Zschiesche C. Bauer I., (2020) Processing of Polymetallic Materials Requires Flexible and Capable Downstream Refining Technology: Aurubis Lead Refinery as Economic, Modern, and Well Integrated Plant at the Site Hamburg, PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, 739 – 717.

[110] Maccagni M. Guerrini E., (2020) The EZINEX® Process for Secondary Zinc Bearing Materials, PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, 785 – 796.

[111] Shafiq A. Lakshmanan V. I. Sridhar R., (2020) Recycling of Zinc from Galvanized Steel Scrap, PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, 821 – 824.

[112] Wang H. B. Zheng C. Z. Qi S. C., (2020) Study of a Novel Chloride Volatilization Process for the Treatment of Jarosite Residue, PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, 835 – 845.

[113] Shinoda M. Yamaguchi T. Murai R., Okuyama G. Sumi I., (2020) Development of the New Zinc-Separation Process for the Blast Furnace Dust, PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, 885 – 890.

[114] Kamimura G. Matsuura H., (2020) Refining of Zinc Chloride by the Combination of Cementation Reaction and Vacuum Distillation, PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, 905-912.

[115] Frias C. Gotor J. Sanchez F. Blanco J. Moreno N. Vera E., (2020) Advanced Concept "Poly Metallurgical Refinery" Developed by Cobre Las Cruces, PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, 913 – 922.

[116] Sato R. Hirata K. Tanaka F., (2020), Hydrometallurgical Recovery of Tin from Harris Dross, PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, 519 –529.

[117] Matsuura D. Usami Y. Ichiva K., (2020) Recent Operational Improvements of Hematite Plant at Akita Zinc Co., Ltd., PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, 865 – 876.

[118] Chen L., (2020) The Analysis of Fe Behavior in Zinc Pressure Leaching, PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, 877 – 882.

[119] Wang H. Qin S. Jiang K. Zhang B., (2020) Experimental Study on Pressure Leaching of Zinc Sulfide Concentrate and Discussion on the Latest Relevant Progress, PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, 853 – 864.

[120] Hirsi T. Saxen B., (2020) Outotec Gypsum Removal Circuit and Outotec Cooling Tower Performance in Neutral Solution Cooling, PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, 891 - 897.

[121] Yang Y. Song S. Tang H. Wang L. Sun W. Hu Y., (2020) Purification and Comprehensive Recovery Metal Values from Zinc Hydrometallurgical Solution, PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, 899 - 903.

[122] Syeda A., (2020) A Review on Recycling Technologies and Product Life Cycle Issues of Zinc and Lead, PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, 947 - 957.

[123] Fraser A. Deschênes J.M., (2020) True Traceability Enabled by In-Line Laser Marking of Lead and Zinc Ingots, PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, 767 – 775.

[124] Wang C. Liu R. Sun W. Hu Y. Ni Z., (2020), A New Innovative Method of Flotation Separation for High Sulfur Lead–Zinc Sulfide Ore, PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, 625 –632.

[125] Vandermissen M., (2020) McKinsey, Zinc Smelter Analyst Çevrimiçi Görüşme, 27 Kasım 2020.

[126] Hoffman K., (2020) McKinsey, Base Metals Analyst Çevrimiçi Görüşme, 27 Kasım 2020.

[127] Anderson J., (2020) Wood Mackenzie, Principal Analyst, Çevrimiçi Görüşme, 23 Aralık 2020.

[128] Lambrechts N., (2020) McKinsey, Zinc Smelter Analyst, Çevrimiçi Görüşme, 15 Ekim 2020.

[129] Wood J., (2020) Metso Outotec, Account Manager - TSL Smelting, Çevrimiçi Görüşme, 17 Kasım 2020.

[130] 2021, International Zinc Association (IZA) , https://sustainability.zinc.org/, Ziyaret tarihi: 4 Nisan 2021.

[131] Yatırım Teşvik Bülteni (2021), İstanbul Sanayi Odası, İstanbul, Türkiye, 1 –18.

[132] Van Camp M., (2020) Our Common Future in Metallurgy, PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing, The Minerals, Metals & Materials Series, xxii.

EKLER