



MADEN TETKİK ve ARAMA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

Dünyada ve Türkiye’de Platin Grubu Mineraller (PGM)



Maden Serisi : 40
Ankara



MADEN TETKİK VE ARAMA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

Dünyada ve Türkiye’de Platin Grubu Mineraller (PGM)

Hazırlayan

Ragıp Z. Fatih COŞKUN
Maden Yüksek Mühendisi

Fizibilite Etütleri Dairesi Başkanlığı

2024

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ	1
1.1. Platin Grubu Metallerin Genel Özellikleri	1
1.2. Platin Grubu Metallerin Tarihçesi	4
1.3. Platin Grubu Metallerin Kullanım Alanları	7
1.3.1. Otomotiv sektörü	9
1.3.2. Petrokimya sanayii	10
1.3.3. Cam sanayii	11
1.3.4. Kimyasal madde üretimi ve çevre uygulamalarında kataliz olarak kullanımı	11
1.3.5. Tıbbi ve biyomedikal uygulamalar	11
1.3.6. Elektrik/elektronik sanayii	13
1.3.7. Kuyum sektörü	13
1.3.8. Diğer kullanım alanları	14
1.3.9. Gelecekteki muhtemel kullanım alanları	15
1.4. Platin Grubu Metallerinin İkameleri ve Zorluklar	15
2. PLATİN GRUBU METAL YATAKLARININ OLUŞUMU	18
2.1. Platin Grubu Mineraller	18
2.2. Platinoid Yataklarının Oluşumu	19
2.2.1. Erken magmatik evre platin yatakları	19
2.2.2. Hidrotermal tip platin yatakları	25
2.2.3. Plaser tip platin yatakları	26
3. PLATİN GRUBU METALLERİN REZERV VE KAYNAK DURUMU	29
3.1. Dünya Platin Grubu Metallerin Rezervleri ve Kaynakları	29
3.2. Türkiye Platin Grubu Metallerin Rezervleri ve Kaynakları	34
3.2.1. Genel Müdürlüğümüzce yapılan platin grubu metalleri çalışmaları	35
4. PLATİN GRUBU METALLERİN ÜRETİM VE TÜKETİM DURUMU	36
4.1. Dünya Platin Grubu Metallerinin Üretim ve Tüketim Miktarları	36
4.1.1. Dünya platin üretim ve tüketim miktarları	38
4.1.2. Dünya paladyum üretim ve tüketim miktarları	44
4.1.3. Dünya rodyum üretim ve tüketim miktarları	50
4.1.4. Dünya rutenyum üretim ve tüketim miktarları	54
4.1.5. Dünya iridyum üretim ve tüketim miktarları	56
4.1.6. Dünya osmiyum üretim ve tüketim miktarları	59
4.2. Türkiye Platin Grubu Metallerinin Üretim ve Tüketim Miktarları	59
4.3. Dünyada Platin Grubu Metalleri Üretimi Yapan Şirketler	60
4.4. Türkiye’de Platin Grubu Metalleri Üretimi Yapan Şirketler	68
4.5. Platin Grubu Metalleri ile İlgili Uluslararası Birlikler (Kuruluşlar)	68

5. PLATİN GRUBU METALLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ	70
5.1. Artıklardan Platin Grubu Metalleri Üretimi.....	71
5.2. Platin Grubu Metallerinin İkincil Üretimi.....	72
6. PLATİN GRUBU METALLERİNİN TİCARETİ	76
6.1. Platin Grubu Metallerinin Piyasada Talep Edilen Nitelikleri.....	76
6.2. Platin Grubu Metallerinin Pazar/Piyasa ve Fiyat Durumu	76
6.3. Dünya Platin Grubu Metalleri İthalat ve İhracatı.....	82
6.3.1. Dünya platin grubu metalleri ithalatı.....	83
6.3.1.1. Dünya platin ithalatı	84
6.3.1.2. Dünya paladyum ithalatı	88
6.3.1.3. Dünya rodyum ithalatı.....	90
6.3.1.4. Dünya iridyum, osmiyum ve rutenyum ithalatı.....	94
6.3.2. Dünya platin grubu metalleri ihracatı.....	97
6.3.2.1. Dünya platin ihracatı	97
6.3.2.2. Dünya paladyum ihracatı	101
6.3.2.3. Dünya rodyum ihracatı.....	104
6.3.2.4. Dünya iridyum, osmiyum ve rutenyum ihracatı.....	108
6.4. Türkiye Platin Grubu Metalleri İthalat ve İhracatı.....	110
6.4.1. Türkiye platin grubu metalleri ithalatı.....	111
6.4.1.1. Türkiye platin ithalatı	111
6.4.1.2. Türkiye paladyum ithalatı	113
6.4.1.3. Türkiye rodyum ithalatı.....	114
6.4.1.4. Türkiye iridyum, osmiyum ve rutenyum ithalatı.....	116
6.4.2. Türkiye PGM ihracatı.....	117
6.4.2.1. Türkiye platin ihracatı	117
6.4.2.2. Türkiye paladyum ihracatı.....	119
6.4.2.3. Türkiye rodyum ihracatı.....	121
6.4.2.4. Türkiye iridyum, osmiyum ve rutenyum ihracatı.....	122
7. PLATİN GRUBU METALLERİN ÇEVREYE VE İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ ...	123
8. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER	126
KAYNAKLAR	128

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Platin Grubu Elementlerinin Fiziksel Özellikleri [1].	1
Tablo 2. PGM'lerin Kullanım Alanları ve İkameleri [19].	17
Tablo 3. Platin Grubu Minerallerin Yaygın olanları ve Kimyasal Bileşimleri [1, 10, 20, 21, 23, 24].	20
Tablo 4. Ülkelere Göre PGM Rezervleri ve Tenörleri [13].	31
Tablo 5. Yıllar İtibariyle Ülkelerin Birincil Platin Üretimi (ton) (2012-2023) [12].	39
Tablo 6. Yıllar İtibariyle Ülkelerin Birincil Paladyum Üretimi (ton) (2012-2023) [12].	45
Tablo 7. Yıllar İtibariyle Ülkelerin Rodyum Üretimi (ton) (2012-2023) [12].	51
Tablo 8. Yıllar İtibariyle Dünya Rutenyum ve İridyum Üretimi (ton) (2015-2023) [12].	54
Tablo 9. Platin Grubu Metallerinin Gümrük Tarife İstatistik Pozisyon Numaraları.	84
Tablo 10. Ülkeler Bazında Dünya Platin İthalatı (Milyon \$) (2014-2023).	85
Tablo 11. Ülkeler Bazında Dünya Paladyum İthalatı (Milyon \$) (2014-2023).	89
Tablo 12. Ülkeler Bazında Dünya Rodyum İthalatı (Milyon \$) (2014-2023).	91
Tablo 13. Ülkeler Bazında Dünya İridyum, Osmiyum ve Rutenyum İthalatı (Milyon \$) (2014-2023).	95
Tablo 14. Ülkeler Bazında Dünya Platin İhracat Değerleri (Milyon \$) (2014-2023).	98
Tablo 15. Ülkeler Bazında Dünya Paladyum İhracat Değerleri (Milyon \$) (2014-2023).	102
Tablo 16. Ülkeler Bazında Dünya Rodyum İhracat Değerleri (Milyon \$) (2014-2023).	105
Tablo 17. Ülkeler Bazında Dünya İridyum, Osmiyum ve Rutenyum İhracat Değerleri (Milyon \$) (2014-2023).	108
Tablo 18. Ülkeler Bazında Türkiye Platin İthalatı (Bin \$) (2014-2023).	111
Tablo 19. Ülkeler Bazında Türkiye Paladyum İthalat Değerleri (Bin \$) (2014-2023).	113
Tablo 20. Ülkeler Bazında Türkiye Rodyum İthalat Değerleri (Bin \$) (2014-2023).	115
Tablo 21. Ülkeler Bazında Türkiye İOR İthalat Değerleri (Bin \$) (2014-2023).	116
Tablo 22. Ülkeler Bazında Türkiye Platin İhracatı (Bin \$) (2014-2023).	118
Tablo 23. Ülkeler Bazında Türkiye Paladyum İhracatı (Bin \$) (2014-2023).	120
Tablo 24. Ülkeler Bazında Türkiye Rodyum İhracatı (Bin \$) (2014-2023).	122
Tablo 25. Ülkeler Bazında Türkiye İridyum, Osmiyum ve Rutenyum İhracatı (Bin \$) (2014-2023).	122

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Periyodik Tabloda PGE'ler.	2
Şekil 2. Platinyum.	2
Şekil 3. Paladyum.	2
Şekil 4. Rodyum.	3
Şekil 5. Rutenyum Metalinin Gaz Fazında Büyütülmüş Kristalleri.	3
Şekil 6. Saf İridyum Parçaları.	4
Şekil 7. Kimyasal Buhar Taşınmasıyla Oluşturulan Osmiyum Kristalleri.	4
Şekil 8. Platin, Paladyum ve Rodyumun Kullanıldığı Sektörlere Göre Dağılımı (2019 yılı).	8
Şekil 9. Endüstriyel Uygulamalara Yönelik Platin, Paladyum, Rodyum, Rutenyum ve İridyum Talebinin Dağılımı (2018 yılı) [12].	9
Şekil 10. Otomobilde Kullanılan Katalitik Konvertör ve İç Yapısı.	10
Şekil 11. Osmiyumdan yapılan kuyum örnekleri [5].	14
Şekil 12. ABD'deki Stillwater Madeninden Çıkarılan Platin-Paladyum Cevheri.	21
Şekil 13. Magmatik Cevher Yataklarının Kanal, Kontak ve Resif Tipi Oluşumları [8].	22
Şekil 14. Kolombiya'daki Choco Nehrinden çıkarılan plaser platin külçesi [1].	28
Şekil 15. Dünya'daki PGM Madenleri, Yatakları ve Kaynakları [1, 10].	30
Şekil 16. Dünya Egzoz Emisyon Düzenlemeleri.	37
Şekil 17. Dünya Birincil Platin, Paladyum ve Rodyum Üretim Miktarlarının Karşılaştırılması (ton) (1980-2023).	39
Şekil 18. Yıllar İtibariyle Dünya Platin Üretim, Tüketim ve Stok Miktarı (ton) (2012-2023).	40
Şekil 19. 2023 Yılında Birincil Platin Üretimi Yapan Ülkelerin Oranları.	40
Şekil 20. Yıllar İtibariyle Ülkelerin Birincil Platin Üretim Oranları (2012-2023).	41
Şekil 21. Dünya İkincil Platin Üretimine Sektörlere Göre Dağılımı (%) (2005-2023).	42
Şekil 22. Yıllar İtibariyle İkincil Platin, Paladyum ve Rodyum Üretimlerinin Dünya Üretimleri İçindeki Payları (%) (1984-2023).	43
Şekil 23. Dünya Platin Tüketiminin Sektörlere Göre Dağılımı (%) (1975-2023).	44
Şekil 24. Dünya Platin Tüketiminin Bölgelere Göre Dağılımı (%) (1975-2023).	45
Şekil 25. Yıllar İtibariyle Dünya Paladyum Üretimi, Tüketimi ve Stok Miktarı (ton) (2012-2023).	46

Şekil 26. 2023 Yılında Dünya Birincil Paladyum Üreten Ülkelerin Oranları.....	46
Şekil 27. Yıllar İtibariyle Ülkelerin Dünya Birincil Paladyum Üretim Oranları (%) (1980-2023).	47
Şekil 28. Dünya İkincil Paladyum Üretimine Sektörlere Göre Dağılımı (%) (2005-2023).	48
Şekil 29. Dünya Paladyum Tüketiminin Sektörlere Göre Dağılımı (%) (1980-2023).....	49
Şekil 30. Dünya Paladyum Tüketiminin Bölgelere Göre Dağılımı (%) (1980-2023).....	50
Şekil 32. 2023 Yılında Birincil Rodyum Üretimi Yapan Ülkelerin Oranları.....	52
Şekil 31. Yıllar İtibariyle Dünya Rodyum Üretim, Tüketim ve Stok Miktarı (ton) (2012-2023).	52
Şekil 33. Yıllar İtibariyle Ülkelerin Birincil Rodyum Üretim Oranları (2012-2023).	53
Şekil 34. Dünya Rodyum Tüketiminin Sektörlere Göre Dağılımı (%) (1985-2023).	54
Şekil 35. Yıllar İtibariyle Dünya Rutenyum Üretim, Tüketim ve Stok Miktarı (ton) (2012-2023).	55
Şekil 36. Dünya Rutenyum Tüketiminin Sektörlere Göre Dağılımı (%) (2015-2023).	56
Şekil 37. 2015 Öncesine Ait Dünya İridyum Tahmini Üretimi ve Tüketimi (ton) (1998-2014).	57
Şekil 38. Yıllar İtibariyle Dünya İridyum Üretim, Tüketim ve Stok Miktarı (ton) (2012-2023).	58
Şekil 39. Dünya İridyum Tüketiminin Sektörlere Göre Dağılımı (%) (2015-2023).	59
Şekil 40. Güney Afrika'nın Madenleri, Projeleri ve Bushveld Kompleksini Gösterir Kroki.	61
Şekil 41. Zimbabve Madenleri, Projeler ve Great Dayk'ı Gösterir Harita.	62
Şekil 42. Kuzey Amerika PGM Kaynakları, Duluth Kompleksini Gösterir Harita.	66
Şekil 43. Platinin Külçe Görünümü.....	76
Şekil 44. Yıllar İtibariyle Platin Fiyatının Değişimi (bin \$/ons) (1994-2024).....	79
Şekil 46. Yıllar İtibariyle Rodyum Fiyatının Değişimi (bin \$/ons) (1994-2024).....	80
Şekil 45. Yıllar İtibariyle Paladyum Fiyatının Değişimi (bin \$/ons) (1994-2024).	80
Şekil 47. Yıllar İtibariyle Rutenyum Fiyatının Değişimi (\$/ons) (1994-2024).....	81
Şekil 48. Yıllar İtibariyle İridyum Fiyatının Değişimi (bin \$/ons) (1994-2024).....	82
Şekil 49. Yıllar İtibariyle Osmiyum Fiyatının Değişimi (bin \$/g) (2012-2024).	83
Şekil 50. Dünya Platin İthalat Değerleri (Milyar \$) (2014-2023).	84
Şekil 51. Dünya İşlenmemiş veya Pudra Halinde Platin İthalatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).	87

Şekil 52. Dünya Yarı İşlenmiş Platin İthalatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).....	87
Şekil 53. Dünya Paladyum İthalat Değerleri (Milyar \$) (2014-2023).	88
Şekil 54. Dünya İşlenmemiş veya Pudra Halinde Paladyum İthalatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).	90
Şekil 55. Dünya Yarı İşlenmiş Paladyum İthalatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).	92
Şekil 56. Dünya Rodyum İthalat Değerleri (Milyar \$) (2014-2023).....	92
Şekil 57. Dünya İşlenmemiş veya Pudra Halinde Rodyum İthalatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).	93
Şekil 58. Dünya Yarı İşlenmiş Rodyum İthalatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).	94
Şekil 59. Dünya İridyum, Osmiyum ve Rutenyum İthalat Değerleri (Milyar \$) (2014-2023).	95
Şekil 60. Dünya İşlenmemiş veya Pudra Halinde İridyum, Osmiyum ve Rutenyum İthalatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).	96
Şekil 61. Dünya Yarı İşlenmiş İridyum, Osmiyum ve Rutenyum İthalatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).	97
Şekil 62. Dünya Platin İhracat Değerleri (Milyar \$) (2014-2023).	99
Şekil 63. Dünya İşlenmemiş veya Pudra Halinde Platin İhracatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).	100
Şekil 64. Dünya Yarı İşlenmiş Platin İhracatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).	100
Şekil 65. Dünya Paladyum İhracat Değerleri (Milyar \$) (2014-2023).....	101
Şekil 66. Dünya İşlenmemiş veya Pudra Halinde Paladyum İhracatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).	103
Şekil 67. Dünya Yarı İşlenmiş Paladyum İhracatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).	104
Şekil 68. Dünya Rodyum İhracat Değerleri (Milyar \$) (2014-2023).....	106
Şekil 69. Dünya Yarı İşlenmiş Rodyum İhracatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).	107
Şekil 70. Dünya İşlenmemiş veya Pudra Halinde Rodyum İhracatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).	107
Şekil 71. Dünya İridyum, Osmiyum ve Rutenyum İhracatı Değerleri (Milyar \$) (2014-2023).	109
Şekil 72. Dünya İşlenmemiş veya Pudra Halinde İridyum, Osmiyum ve Rutenyum İhracatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).	109

Şekil 73. Dünya Yarı İşlenmiş İridyum, Osmiyum ve Rutenyum İhracatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).	110
Şekil 74. Türkiye Platin İthalat Değerleri (Milyon \$) (2014-2023).	112
Şekil 75. Türkiye İşlenmemiş veya Pudra Halinde Platin İthalatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).	112
Şekil 76. Türkiye Yarı İşlenmiş Platin İthalatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).	113
Şekil 77. Türkiye Paladyum İthalat Değerleri (Bin \$) (2014-2023).	114
Şekil 78. Türkiye Rodyum İthalat Değerleri (Bin \$) (2014-2023).	115
Şekil 79. Türkiye İridyum, Osmiyum ve Rutenyum İthalat Değerleri (Bin \$) (2014-2023).	117
Şekil 80. Türkiye Platin İhracat Değerleri (Milyon \$) (2014-2023).	118
Şekil 81. Türkiye İşlenmemiş veya Pudra Halinde Platin İhracatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).	119
Şekil 82. Türkiye Yarı İşlenmiş Platin İhracatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).	120
Şekil 83. Türkiye Paladyum İhracat Değerleri (Milyon \$) (2014-2023).	121

KISALTMALAR VE BİRİMLER

4E	Pt, Pd, Rh, Au
6E	Pt, Pd, Rh, Ru, Ir, Au
APP	Anglo American Platinum
ARM	African Rainbow Minerals Mining
CRM	Kritik Hammaddeler (Critical Raw Materials)
GTİP	Gümrük Tarife İstatistik Pozisyon Numarası
IPA	International Platinum Group Metals Association
IRS	Impala Refining Services
ITC	Uluslararası Ticaret Merkezi (International Trade Centre)
İOR	İridyum, osmiyum ve rutenyum
JM	Johnson Matthey
LIP	Büyük Magmatik Bölgeler (Large Igneous Provinces)
LME	Londra Metal Borsası (London Metal Exchange)
LPPM	London Platinum&Palladium Market
MMTA	The Minor Metals Trade Association
NP	Northam Platinum
PGE	Platin Grubu Elementleri
PGM	Platin Grubu Mineralleri
USGS	ABD Jeoloji Araştırmaları Kurumu (United States Geological Survey)
kons	Kilo ons
Mons	Milyon ons
Myıl	Milyon Yıl
ppb	Milyarda bir (Particle per billion)
ppm	Milyonda bir (Particle per million)
ppt	Trilyonda bir (Particle per trillion)

1. GİRİŞ

Platin (Pt), platin grubu elementleri (PGE) olarak adlandırılan altı kimyasal elementten oluşan grubun üyesi ve bu gruba adını veren elementtir. Diğer PGE'ler paladyum (Pd), iridyum (Ir), osmiyum (Os), rodyum (Rh) ve rutenyumdur (Ru). Ayrıca, "PGE" kısaltması kullanılırken genellikle platin grubu metallere ve platin grubu minerallerine atıfta bulunulur. Her ikisi de sıklıkla "PGM" olarak kısaltılır. Bu çalışmada platin grubu minerallerine atıfta bulunmak için "PGM" kısaltması kullanılacaktır. Ayrıca metin içerisinde PGM'lerin ayrı başlıklar altında ele alındığı kısımlarda periyodik tablodaki sıra değil, genellikle platin, paladyum, rodyum, rutenyum, iridyum ve osmiyum sıralaması gözetilecektir.

Kimyasal olarak PGE'ler birbirlerine çok benzer, ancak fiziksel özellikleri önemli ölçüde farklılıklar göstermektedir (Tablo 1). Platin, iridyum ve osmiyum, altından daha yoğun ve aynı zamanda bilinen en yoğun metallerdir. Platin ve paladyum ticari olarak büyük öneme sahiptir, diğer PGE'lerden rodyum ise bunlardan sonraki en önemli olan elementtir.

PGE'ler yer kabuğunda çok nadir bulunmaktadır. Yer kabuğundaki platin ve paladyum mevcudiyetinin oranı birbirine yakın olup ağırlıkça yaklaşık 5 ppb'dir. Rodyum, iridyum ve rutenyum ise ağırlıkça yaklaşık 1 ppb ile daha da nadir görülmektedir [1].

1.1. Platin Grubu Metallerin Genel Özellikleri

PGE'ler, periyodik tabloda geçiş metalleri kısmında "d" blokta, 5-6. periyodun 8-10. grubunda 44-46 ve 76-78. atom numaralı aralıklarında sırasıyla rutenyum, rodyum, paladyum, osmiyum, iridyum ve platinyum şeklinde yer almaktadırlar (Şekil 1)¹.

Tablo 1. Platin Grubu Elementlerinin Fiziksel Özellikleri [1].

	Ru	Rh	Pd	Os	Ir	Pt	Au
Atomik ağırlık	101,07	102,91	106,42	190,23	192,22	195,08	196,97
Atom numarası	44	45	46	76	77	78	79
Yoğunluk (gr/cm ³)	12,45	12,41	12,02	22,61	22,56	21,45	19,3
Ergime noktası (°C)	2310	1960	1554	3050	2443	1769	1064
Elektriksel direnç (0°C'da mikro-ohm cm)	6,8	4,33	9,93	8,12	4,71	9,85	2,15
Sertlik (Mohs)	6,5	5,5	4,75	7	6,5	4-4,5	2,5-3

¹Şekil, [<https://mining.com.au/podium-minerals-demonstrates-ability-to-produce-saleable-pgm-concentrate-from-parks-reef-pgm-project-wa/>] adresinden 11.09.2024 tarihinde alınmıştır.

26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu
44 Ru ruthenium	45 Rh rhodium	46 Pd palladium	47 Ag
76 Os osmium	77 Ir iridium	78 Pt platinum	79 Au

Şekil 1. Periyodik Tabloda PGE'ler.

atom numarası 78'dir. Saf platin parlak, yoğun, dövülebilir, sünek, tepkimeye girmeyen, değerli, gümüşümsü beyaz renkli geçiş metalidir. Platin, altından, gümüşten veya bakırdan daha yumuşaktır, dolayısıyla saf metaller arasında en yumuşak metaldir. Fiziksel özellikleri ve kimyasal duraylılığı sanayii uygulamalarında kullanımını kolaylaştırır. Aşınma ve kararmaya karşı dayanıklılığı kıymetli mücevherlerde kullanıma uygunluk sağlamaktadır [2] (Şekil 2)².

Paladyum periyodik tabloda 10. gruba ait olup "Pd" harfleriyle bilinir. Atom numarası 46'dır.

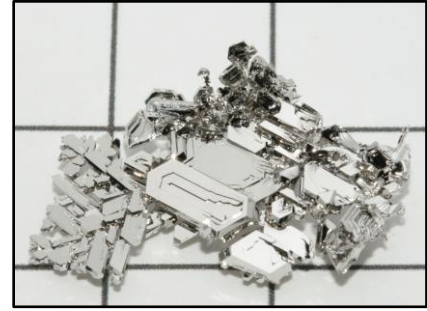
Paladyum standart sıcaklıkta oksijenle reaksiyona girmez ve dolayısıyla havada kararmaz. Platine benzer, gümüş gibi parlaktır. PGM içerisinde en düşük erime noktasına ve en az yoğunluğa sahip elementtir. Paladyum metali gruptaki metallerin en değerlisidir. Beyaz altın elde edilmesinde kullanılır [3] (Şekil 3)³.



Şekil 3. Paladyum.

PGM'ler, platin ve paladyum konsantrasyonlarının 10-20 ppb olduğu peridotit gibi ultramafik litolojilerde cevherleşmişlerdir. Rodyum, iridyum ve rutenyum yer kabuğunda yaklaşık 1 ppb ile bu grubun diğer elementlerinden çok daha da az bulunmaktadır [1].

Platinyum (Pt) periyodik elementler tablosunun 10. grubunun üyesi olup



Şekil 2. Platinyum.

Rodyum, sembolü "Rh" olup atom numarası 45'tir. Çok nadir bulunan, gümüşü beyaz renkli, sert, korzyona dayanıklı geçiş metalidir. Rodyum, yüksek yan-sıma özelliğine sahiptir. Rodyum metali normalde ısıtıldığında bile oksit oluşturmaz. Oksijen, atmosferden

² Şekil, [https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=9774375] adresinden 01.03.2024 tarihinde alınmıştır (Periodictableru'dan).

³ Şekil, [https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=28857836] adresinden 01.03.2024 tarihinde alınmıştır (Hi-Res Images of Chemical Elements'den).

yalnızca rodyumun erime noktasında emilir, ancak katılaşıma sırasında serbest kalır. Rodyum, platinden hem daha yüksek erime noktasına hem de daha düşük yoğunluğa sahiptir. Asitlerin çoğu tarafından etkilenmez. Nitrik asitte tamamen çözünmemesine rağmen kral suyunda⁴ hafifçe çözünür [4] (Şekil 4)⁵.



Şekil 4. Rodyum.

Rutenyumun sembolü “Ru” ve atom numarası 44’dür. Çok değerlikli sert beyaz renkli metal olan rutenyum, kimyasalların çoğundan etkilenmez. Diğer tüm 8. grup elementlerin en dış orbitalinde iki elektron bulunurken rutenyumun en dış orbitalinde yalnızca bir elektronu vardır. Bu anormallik komşu metaller olan niyobyum (41), molibden (42) ve rodyumda da (45) görülmektedir. Yer kabuğunda bulunma durumuna göre 78. element olan rutenyum oldukça nadirdir, yaklaşık 100 ppt oranında görülmektedir. Rutenyum, genellikle platin cevherleşmesinin küçük bileşeni olarak bulunur [5] (Şekil 5)⁶.

İridyum, sembolü “Ir” ve atom numarası 77 olan kimyasal elementtir. Platin grubuna ait çok sert, kırılğan, gümüşü beyaz geçiş metalidir. 22,56 g/cm³ yoğunluğuyla doğal olarak oluşan ikinci en yoğun metal olarak kabul edilir. İridyumun ölçülen yoğunluğu, bilinen en yoğun metal olan osmiyumunkinden yalnızca biraz daha düşüktür (yaklaşık %0,12). 2.000°C’ye kadar yüksek sıcaklıklarda bile korozyona en dayanıklı metallere birisidir. İridyum beyazdır, platine benzer ancak hafif sarımsı renk tonuna sahiptir. Sertliği, kırılğanlığı ve çok yüksek erime noktası nedeniyle katı iridyumun işlenmesi veya şekillendirilmesi zordur. Bu nedenle bunun yerine genellikle toz metalürjisinde kullanılır. 1.600°C’nin üzerindeki sıcaklıklarda, havada mekanik özelliklerini koruyan tek metaldir. Tüm elementler arasında 10. en yüksek kaynama



Şekil 5. Rutenyum Metalinin Gaz Fazında Büyütülmüş Kristalleri.

⁴ Hidroklorik ve nitrik asit karışımı.

⁵ Şekil, [<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7636785>] adresinden 05.03.2024 tarihinde alınmıştır (Alchemist’den). Şekilde 1 g toz, 1 g preslenmiş silindir, 1 g argon arkıyla yeniden eritilmiş pelet görülmektedir.

⁶ Şekil, [<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=9774316>] adresinden 04.03.2024 tarihinde alınmıştır (Periodictableru’dan).



Şekil 6. Saf İridyum Parçaları.

noktasına sahiptir. Ayrıca 0,14°K'nin ($-273,010^{\circ}\text{C}$) altındaki sıcaklıklarda süper iletken haline gelir. İridyum bilinen metaller arasında korozyona en dayanıklı metaldir, kral suyu da dahil olmak üzere asitlerden etkilenmez [6] (Şekil 6)⁷.

Osmiyum; sembolü “Os” olup atom numarası 76'dır. Sert, kırılmalı, mavimsi beyaz renkli geçiş metalidir. Osmiyum en yoğun doğal elementtir ($22,61\text{ g/cm}^3$) ve yüksek sıcaklıklarda bile parlaklığını

korumaktadır. Osmiyum sertliği, kırılmalılığı, düşük buhar basıncı (PGM'nin en düşüğü) ve çok yüksek erime noktası (karbon, tungsten ve renyumdan sonra tüm elementlerin içinde dördüncü) nedeniyle katı osmiyumun işlenmesi veya şekillendirilmesi zordur [7].

Osmiyum sadece en nadir bulunan değerli metal değil, aynı zamanda en nadir bulunan radyoaktif olmayan elementtir. Fiziksel özellikleri oldukça benzersiz olan osmiyuma değerli metallerin en seçkini veya en üstünü olarak adlandırılmaktadır. Bütün malzemeler arasında en yüksek sıkıştırma modülü (462 GPa) sebebiyle basınca direnme konusunda olağanüstüdür. Kristal yapısı nedeniyle yüksek yansıtma özelliği vardır ve etkileyici

derecede ışıltılı görünümü haizdir. Hiç şüphesiz Dünyanın en güzel mücevher metalidir [8] (Şekil 7)⁸.

Kral suyu da dahil olmak üzere çoğu asit ve baza karşı dayanıklıdır. Osmiyum, yer kabuğundaki en nadir elementler arasındadır ve yer kabuğunda 5 ppt olarak bulunmaktadır (200 bin tonda 1 gr). Kainatta yaklaşık 0,6 ppb olduğu tahmin edilmektedir ve bu nedenle en nadir değerli metaldir. Osmiyum ticari olarak platin, nikel ve bakır madenciliğinin yan ürünü olarak elde edilir [7].



Şekil 7. Kimyasal Buhar Taşınmasıyla Oluşturulan Osmiyum Kristalleri.

1.2. Platin Grubu Metallerin Tarihçesi

Eski Mısırlılar, 3.000 yıldan daha önce, platin izleri taşıyan altın takılar üretmişlerdir.

⁷ Şekil 6, [https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=9140766] adresinden 05.03.2024 tarihinde alınmıştır. Şekildeki saf iridyum parçaları, 1 gramdır. Orijinal boyut: her biri 0,1-0,3 cm'dir.

⁸ Şekil, [https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=9774411] adresinden 01.03.2024 tarihinde alınmıştır (Periodictableru'dan).

Ancak bu üretimi farkında olarak yaptıkları düşünülmemektedir. Bu durum Mısırlıların Nubia'dan ithal ettiği cevherlerin tabii bileşenlerinden kaynaklandığı varsayılmaktadır. Mısır'da platin, ilk bulgulardan MÖ 700'e kadar geçen zamanda çeşitli nesnelere görülmüştür. Örneğin ünlü “Teb⁹ Tabutu” altın, gümüş ve platinden yapılmış hiyerogliflerle süslenmiştir.

MÖ 100'de yerli Güney Amerikalılar törenlerde kullanmak amacıyla metal burun halkaları ve diğer eşyalar yapmak için platin kullanmışlardır [9]. Platin ve platin bakımından zengin alaşımlı kayalar, Amerika kıtasının keşfinden önce Kolombiya ve Ekvador'daki yerli halklar tarafından dere yataklarında tabii olarak bulunmuştur. 1500'lü yıllarda İspanyol sömürgeciler de aynı bölgedeki dere yataklarından çıkardıkları altın külçelerine karışmış şekilde bu alaşımlardan taneler halinde bulmuşlardır. O dönemde metalin bilinen kullanımı bulunmamaktaydı ve değersiz olduğu düşünülmekteydi. Platin bakımından zengin taneler, altın külçelerinden tava yöntemi ile ayrılabilmesi nedeniyle zorluklar çıkarmıştır. Aynı ülkelerin bazı bölgelerinde yerli halklar tarafından platin altınla sinterlenmiş şekilde küçük eşyaların yapımında kullanılmıştır [10]. Platinin adı, İspanyolca “plata” (gümüş) kelimesinin küçültülmüş hali olan “platina”dan gelmektedir [2].

Platine dair ilk Avrupa referansı, 1557'de İtalyan Julius Caesar Scaliger'in yazılarında, Darién (Orta Amerikanın güneyi) ile Meksika arasında bulunan ve "henüz hiçbir ateşin sivilaştıramadığı" bilinmeyen soy metal olarak tanımlanmış ve literatüre girmiştir.

1735'te Antonio de Ulloa ve Jorge Juan Santacilia isimli İspanyollar, Kolombiya ve Peru'da seyahat ederken yerli Amerikalıların platin madenciliği yaptığını görmüşler. Ulloa ve Santacilia beyazımsı metal külçeleri bulmuşlar ve İspanya'ya götürmüşler. Ulloa İspanya'ya döndüğünde İspanya'daki ilk mineraloji laboratuvarını kurmuş ve 1748'de platin sistematik olarak inceleyen ilk kişi olmuştur. Ulloa, 1748'de raporunu yayınladıktan sonra yeni metali araştırmaya devam etmemiştir.

1741'de İngiliz metalürji uzmanı olan Charles Wood, Jamaika'da platin örnekleri bulmuş ve bunların daha fazla araştırılması için William Brownrigg'e göndermiştir. Brownrigg, Royal Society'ye metalin ayrıntılı açıklamasını sunmuş ve bilinen minerallerle ilgili daha önceki hiçbir açıklamada bu metalden bahsedilmediğini belirtmiştir. Bu tarihten sonra Avrupa'da başka pek çok araştırmacı platin çalışmaya başlamıştır. Karl von Sickingen 1772'de dövülebilir platin yapmayı başarmış ve Franz Karl Achard ilk platin potasını 1784'te yapmıştır. 1786'da Pierre-François Chabaneau'nun platin araştırmaları

⁹ Eski Mısır'ın nekropölü olan Teb şehrindeki bulunan tabut (RC).

sonucunda tek bir metalle çalışıldığını bulmuştur. Ancak gerçekte cevher hala henüz keşfedilmemiş platin grubu metallerini içermekteydi. Dolayısıyla deneylerde tutarsızlıklar oluşuyordu. Zaman zaman platin dövülebilir gibi görünüyordu, ancak iridyum ile alaşımlandığında çok daha kırılğan oluyordu. Bazen metal tamamen yanmazdı, ancak osmiyum ile alaşımlandığında buharlaşıyordu [2].

Paladyumun ilk keşfi, İngiliz kimyager William Hyde Wollaston'un Temmuz 1802'de laboratuvar defterine yeni bir soy metal keşfettiğini yazmasıyla başlamıştır. Bu elemente, iki ay önce keşfedilen ve daha önce bir gezegen olarak kabul edilen asteroit Pallas'ın adını vermiştir [3].

Rodyum, paladyumun keşfinden kısa bir süre sonra 1803 yılında William Hyde Wollaston tarafından keşfedilmiştir. Güney Amerika'dan elde edilen ham platin cevherini kral suyunda çözmüş ve sonra bazı kimyasal işlemler uygulamıştır. Cevherdeki bakır, kurşun, paladyum ve rodyum gibi diğer metallerin çoğu çinko ile çökeltilmiştir. Seyreltilmiş nitrik asit, paladyum ve rodyum dışında hepsini çözmüştür. Bunlardan paladyum kral suyunda çözülmüş, ancak rodyum çözünmemiştir. Rodyum, sodyum klorürün eklenmesiyle çökeltilmiştir. Rodyum ismi, Yunanca "gül" anlamına gelmektedir [4].

Rutenyumun kimyasal olarak tespiti, Ural Dağları'ndaki ham platinin kral suyunda çözülmesinden sonra kalan kalıntıların incelenmesiyle başlamıştır. Birkaç bilim adamı bu kalıntıları incelemeye başlamış, fakat daha sonra bazı tutarsızlıklar sebebiyle çalışmalarını sonlandırmışlardır. 1844 yılında Alman kökenli Rus bilim adamı Karl Ernst Claus, ruble üretiminde kullanılan platin kalıntılarında rutenyumu izole etmiş ve rutenyum oksidin yeni bir metal olduğunu göstermiştir. Claus, yeni metale ismini geçmiş dönemlerde Rusya'nın Latince adı olarak kullanılan "Ruthenia" kelimesinden türeterek vermiştir [5].

İridyum, platin üzerine çalışan kimyagerlerin platini çözerken elde ettikleri koyu, çözünmeyen kalıntıyı irdelemeleri neticesinde bulunmuştur. 1803 yılında İngiliz bilim adamı Smithson Tennant çözünmeyen kalıntıyı analiz etmiş ve bunun yeni bir metal içermesi gerektiği sonucuna varmıştır. Aynı zamanda bu konuda çalışan başka bilim adamları da bulunmaktaydı. Fakat çok daha fazla miktarda kalıntıya (numuneye) sahip olma avantajı bulunan Tennant, araştırmasına devam etmiş ve siyah kalıntıda daha önce keşfedilmemiş iki element olan iridyum ve osmiyumu belirlemiştir. Koyu kırmızı kristaller elde etmiştir. İridyuma, Yunan kanatlı gökkuşağı tanrıçası ve olimpiya tanrıalarının habercisi olan "İris" in adını vermiştir [6].

Osmiyum, 1803 yılında Londra'da Smithson Tennant ve William Hyde Wollaston tara-

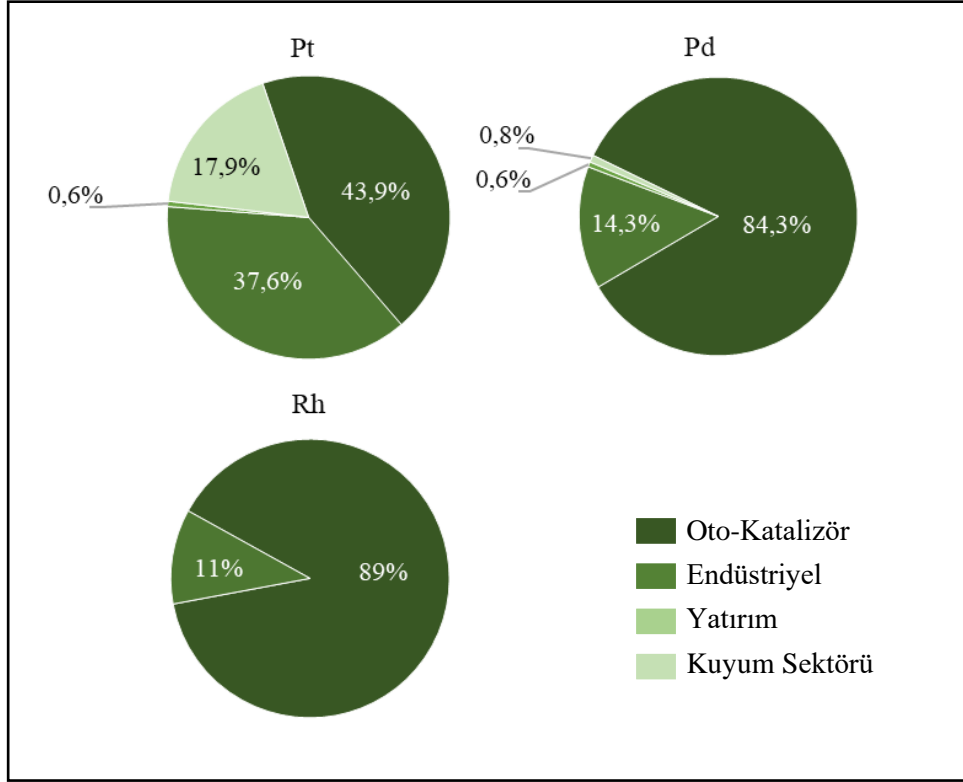
findan keşfedilmiştir. Osmiyumun keşfi, platinin ve platin grubunun diğer metallerinin keşfiyle iç içe geçmiştir. Platin üzerinde çalışan kimyacılar osmiyumu kral suyu içinde çözerek, çözünebilir tuzlar oluşturmuşlar. Her zaman az miktarda koyu, çözünmeyen bir kalıntının varlığını gözlemlemişler. 1803'te siyah platin kalıntısında iridyum gözlemlenmiş, ancak daha sonraki deneyler için yeterli miktarda malzeme elde edilememiştir. Aynı yıl Smithson Tennant çözünmeyen kalıntıyı analiz etmiş ve bunun yeni bir metal olması gerektiği sonucuna varmıştır. Tennant, araştırmasına devam ederek siyah kalıntıda daha önce keşfedilmemiş iki element olan iridyum ve osmiyumu tespit etmiştir. Uçucu osmiyum tetroksitin klor benzeri ve hafif sarımsağa benzer kokusu nedeniyle Yunanca "koku" anlamına gelen "osme"den dolayı osmiyum adını vermiştir [7].

1.3. Platin Grubu Metallerin Kullanım Alanları

PGM'ler çok benzer kimyasal özellikler gösterirken fiziksel özellikleri farklılıklar göstermektedir. PGM'lerin uygulamalarda kullanılmasına sebep oluşturan ortak özellikleri arasında; olağanüstü katalitik aktivite, korozyon ve oksidasyona karşı çok yüksek direnç, çok yüksek erime noktası, yüksek yoğunluk, mükemmel elektriksel iletkenlik, alaşım oluşturmaya yatkınlık, aşınma ve kararmaya karşı mükemmel direnç ve yüksek sıcaklıklara karşı duraylılığı yer almaktadır [11]. Dünya PGM talep miktarlarına ait veriler "Johnson Matthey (JM)" web sitesinden alınmıştır [12].

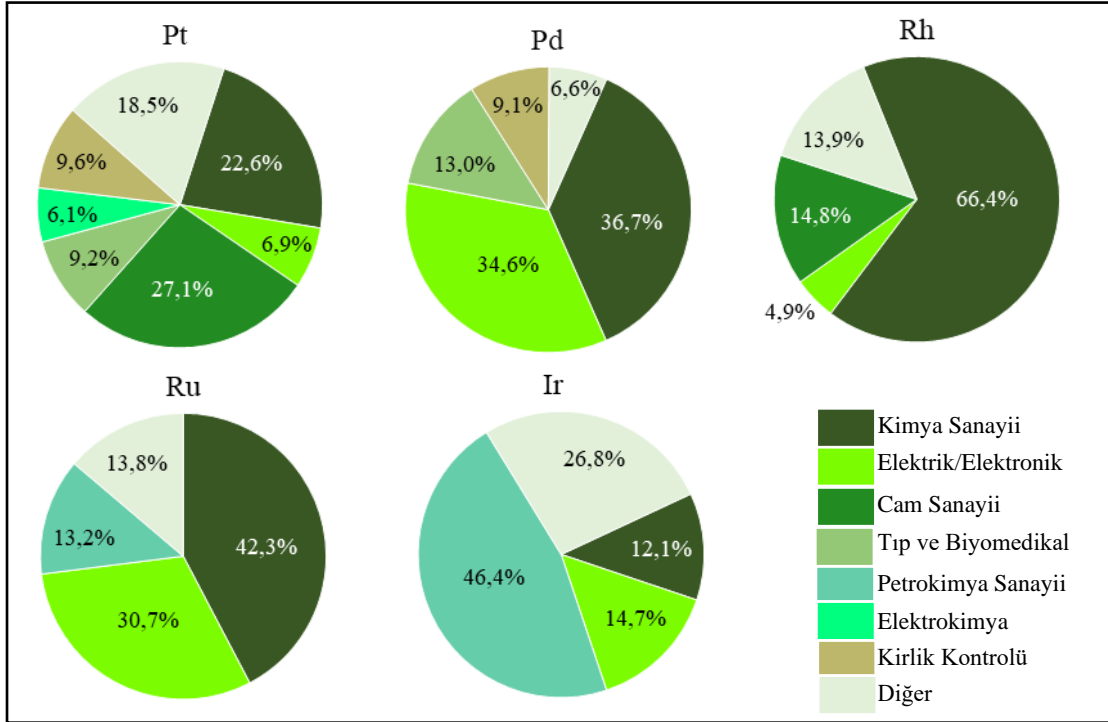
PGM'nin kullanım alanları oto-katalizör, endüstriyel, yatırım ve kuyum sektörü olarak öncelikle dörde ayrılmaktadır. 2023 yılında 236,6 ton platin, 322,5 ton paladyum, 34,6 ton rodyum, 31,3 ton rutenyum ve 7 ton iridyum talebinin dört ana sektöre göre dağılımı aşağıda verilmiştir (Şekil 8). Platinin %43,9'u oto-katalizör, %37,6'sı endüstriyel uygulamalarda, %0,6'sı yatırım aracı olarak ve %17,9'u kuyum sektöründe kullanılmıştır. Paladyum ise daha çok %84,3 oranında, oto-katalizörlerde uygulanmıştır. Paladyumun geri kalanı ise; %14,3'ü endüstride, %0,6'sı yatırım aracı olarak, %0,8'i kuyum sektöründe işlem görmüştür. Rodyumun %89'luk gibi büyük bir kısmı oto-katalizörlerde, geri kalan %11'i ise endüstride muameleye tabi tutulmuştur. Rutenyum ve iridyumun tamamı ise endüstriyel uygulamalarda tercih edilmiştir.

PGM'lerin endüstriyel kullanıma detaylı şekilde göz attığımızda; kimya sanayii, tıp ve biyomedikal, elektrik-elektronik, cam sanayii, petrokimya sanayii, elektrokimya sanayi ve kirlilik kontrolünde kullanımı öne çıkmıştır. Platin talebinin %22,6'sı kimya sanayiinde kullanılırken; paladyum üretiminin %36,7'si, rodyum üretiminin %66,4'ü, rutenyum üretiminin %42,3'ü ve iridyum üretiminin %12,1'i kimya sanayiinde kullanılmıştır. Bu



Şekil 8. Platin, Paladyum ve Rodyumun Kullanıldığı Sektörlere Göre Dağılımı (2019 yılı).

verilere göre kimya sektöründe PGM'ler içerisinde en çok paladyum tüketilmiştir. Tıp ve biyomedikal alanda ise; platin %9,2 ve paladyum %13 oranlarında yer almış, bu alanda da paladyumun miktar olarak daha fazla kullanıldığı anlaşılmaktadır. Bu alanda diğer PGM'lerin kullanılmadığı görülmüştür. Elektrik/elektronik sanayiinde ise durum şöyledir: Platin %6,9, paladyum %34,6, rodyum %4,9, rutenyum %30,7 ve iridyum %14,7. Bu sonuçlara göre; paladyumun PGM'ler içerisinde elektrik/elektronik sanayiinde de en çok kullanılan metal olduğu görülmektedir. Cam sanayiinde ise platin (%27,1) ve rodyum (%14,8) tüketilmiştir. Oran olarak rodyumun çok kullanıldığı görülmekle beraber; rodyum üretim miktarının platin üretim miktarı yanında düşük kaldığı dikkate alındığında, miktar olarak en çok platinin talep edildiği anlaşılmaktadır. Petrokimya sanayiinde ise sadece platin %6,1 oranında kullanılmıştır. Elektrokimya sanayiinde ise rutenyum %13,2 ve iridyum %46,4 oranında uygulama alanı bulmuştur. Kirlilik kontrolü amaçlı olarak; platin %9,6 ve paladyum %9,1 oranları ile kayda değer miktarlarda talep edilmiştir. Platin, paladyum, rodyum, rutenyum ve iridyumun endüstride kullanılan diğer uygulamaları sırasıyla: %18,5, %6,6, %13,9, %13,8 ve %26,8'dir. Platin hariç, rutenyum ve iridyumun üretim miktarlarının küçük olması sebebiyle büyük gibi görünen oranların miktarları nispeten bir hayli küçüktür (Şekil 9).



Şekil 9. Endüstriyel Uygulamalara Yönelik Platin, Paladyum, Rodyum, Rutenyum ve İridyum Talebinin Dağılımı (2018 yılı) [12].

Platin pek çok sanayii kolunda kullanıldığından dolayı diğer kullanımlarına yönelik burada detaya girilmeyecektir. Bununla birlikte rutenyumun diğer kullanımları; yakıt hücrelerinde proton değişim membranlarında, kuyum sektöründe, değerli ve baz metal rafinelerinde katalizör ve kaplama sektöründe iyon değiştirme reçinesi olarak kullanıldığı belirtilmektedir. İridyumun diğer kullanımları ise; özellikle diş hekimliğinde kaplamalar, kuyum sektöründe, değerli ve baz metal rafinelerinde katalizör ve kaplama sektöründe iyon değiştirme reçinesi sayılmaktadır [12].

1.3.1. Otomotiv sektörü

PGM'lere yönelik en büyük talep, özellikle egzoz gazı arıtımında kullanılan katalitik konvertörlerde kullanılmak üzere otomotiv endüstrisinden gelmektedir (Şekil 10)¹⁰. Buradaki miktara, otomobilin diğer bileşenlerinde kullanılan PGM'ler dahil değildir. Otomobil katalizörlerindeki PGM'lere olan talep, büyük ölçüde, yıllar içinde önemli ölçüde değişen ve değişmeye devam eden oto-emisyon düzenlemesinden kaynaklanmaktadır. Bu değişen düzenlemelere uygun olarak katalizörlerde değişiklikler yaşanmıştır.

¹⁰ Şekil, [<https://www.otopratik.com.tr/faydali-bilgiler/arac-bakimi/katalitik-konvertor-nedir-ne-ise-yarar>] adresinden 07.03.2025 tarihinde alınmıştır.



Şekil 10. Otomobilde Kullanılan Katalitik Konvertör ve İç Yapısı.

Oksidasyon katalizörleri platin ve rodyumu veya platin, paladyum ve rodyumu içerir. Burada paladyum, platinin yerine kullanılabilir. Rodyumlu katalizörler, daha düşük çalışma sıcaklığında NO_x'in daha fazla azaltılmasında etkilidir.

Tüm bu katalizörlerde PGM'lerin kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak metallerin ve katalizör türlerinin bileşimleri platin,

paladyum ve rodyum için karmaşık bir talebe yol açmıştır.

Elektrikli araçlarda ve bunların şarj ünitelerinde PGM'lere yönelik talep, elektronik bileşenlerdeki kullanımlarıyla sınırlı kalmaktadır.

Ayrıca otomobil gövdelerinde kullanılan kompozit malzemeler için cam elyafı ve polimer imalatı ile elektronik aksamlarda PGM'ler kullanılmaktadır [13].

1.3.2. Petrokimya sanayii

Ham petrolün işlenmesi, farklı alt ürünlere damıtılması, nafta üretimi önemli endüstriyel işlemlerdir. Paladyumun en önemli kullanımı; ham petrol ve nafta üretimi sırasında çıkan distilatların parçalanması ve özellikle yakıt üretimi için endüstriyel katalizde zeolit (mordenit) üzerine paladyumun monte edilmesidir. Ayrıca yakıt üretimi esnasında alkanlardan oluşan ürünler üretilirken oktan sayısını arttırmak için de PGM'ler kullanılmaktadır.

Hidrokarbon üretiminde kullanılan katalizörlerin yaşam döngüsü genellikle uzundur. Bu tür katalizörlerin devre dışı kalmasının ana sebebi; katalizörün içerisinde karbonlu malzemenin (kok) birikmesidir. Katalizörün yeniden aktivasyonu; genellikle katalizörün üzerinde biriken karbonu yakmaya yönelik oksidasyon döngüsüne tabi tutulması ve CO₂ çıkışı ile sonuçlanan rejenerasyon işlemidir. Biriken kokun uzaklaştırılması yüksek hidrojenli ortamda, yüksek sıcaklıkta işleme tabi tutularak da gerçekleştirilebilir. Bu işlemde metan çıkışıyla sonuçlanır. Oksidatif yöntemle tekrar elde edilen katalizör birkaç kez yeniden etkinleştirilebilir, bu da değiştirilmeden önce birkaç defa kullanılabilmesine imkan tanımaktadır [13].

1.3.3. Cam sanayii

Cam sanayiinde platin; fiberglas, fiber optik imalatı ve diğer cam imalatına yönelik pota ve özellikle yüksek sıcaklık ve oksidasyona dirençli kalıp yapımında alan bulmaktadır. Bunlar genellikle diğer katkı maddelerine bağlı olarak %40'a kadar rodyum içeren, platin ve rodyum alaşımlarından teşekküldür. Alaşımdaki daha yüksek rodyum içeriği, ekipmanın yüksek sıcaklıklara daha fazla dayanmasını sağlamaktadır [13].

1.3.4. Kimyasal madde üretimi ve çevre uygulamalarında kataliz olarak kullanımı

Modern kimya endüstrisinde tüm kimyasalların neredeyse %90'ı katalizörlerin yardımıyla üretilmektedir. Katalitik süreçler endüstriyel olarak büyük öneme sahiptir.

PGM'ler için en önemli uygulama alanlarından birisi de patlayıcı ve gübre üretimine yönelik amonyak ve amonyum nitrat üretimidir. Gübre üretiminde, amonyum nitrat imalinin bir parçası olan amonyağın nitrata oksidasyonunu sağlayan platin ve paladyum ağ yapıları yer almaktadır.

Diğer bir kimyasal endüstriyel süreç ise; plastik endüstrisinde plastikleştiricilerin öncüsü olarak kullanılan ftalik anhidritin üretimidir.

Hassas kimyasallar alanında yüksek seçicilik gerektiren ve düşük miktarlarda ürüne ihtiyaç olan çok sayıda uygulama bulunmaktadır. Bu alandaki üretimin %50'den fazlası farmasötiklere, %25'i tarıma yöneliktir. Geri kalan yaklaşık %25'i ise tatlar ve kokular, boya maddeleri ve pigmentler, gıda katkı maddeleri ve diğer buna benzer işlemler arasında dağılmaktadır. Buradaki işlemlerin çoğunluğu paladyum katalizörleriyle gerçekleştirilir.

Çevreye yönelik işlemlerde kullanılan kataliz; öncelikle koku kontrolü, uçucu maddeler, klorofloro hidrokarbonlar ve SO_x ve NO_x gibi zararlı gazlarla ilgili emisyon probleminin bulunduğu alanlarda uygulanmaktadır. Platin ve rodyum katalizörleri, bu kirleticilerin azaltılması veya oksidasyonu için kullanılmaktadır. Örneğin, platinin aktivitesi SO₂ tarafından kolayca indirgenir. Bu nedenle platin, iridyum ve rutenyum gibi diğer PGM'ler, farklı hassasiyetleri nedeniyle sıklıkla bu sektörde denenmektedir [13].

1.3.5. Tıbbi ve biyomedikal uygulamalar

Tıbbi alanda platin, çeşitli uygulamalarda sıklıkla diğer metaller veya PGM'ler ile alaşım şeklinde kullanılmaktadır. Örneğin; stentlerde baz metal alaşımlarının kullanılmasının yanı sıra platin krom alaşımı da yer bulmaktadır [13]. Platin inert olduğu için vücutta korozyona uğramazken platine karşı alerjik reaksiyonlar son derece nadir görülmektedir. Sonuç olarak; platin biyo-materyal olarak giderek daha fazla tercih

edilmektedir. Soy metal aynı zamanda iyi elektrik iletkenliğine sahiptir, bu da platini ideal elektrot malzemesi yapmaktadır.

Platin ve iridyum, sağırlıktan muzdarip kişilerde işitme sinirlerini elektrik ile uyararak işitme implantlarında kullanılmaktadır. Bu PGM'lerin elektrik iletkenliği, dayanıklılığı, biyolojik uyumluluğu ve oksidasyon direnci onları implantlardaki elektrotlar için mükemmel malzeme olmasını sağlamaktadır. Benzer şekilde, hasarlı veya bozulan görme duyusunu iyileştirmek için retina implantlarında platin ve iridyum yer alabilmektedir.

Yavaş veya düzensiz kalp atışıyla sonuçlanan kalp bozukluklarını tedavi etmek için kullanılan kalp pilleri, genellikle en az iki platin-iridyum elektrot içermektedir.

Arterlere uygulanan kateterler, kalp hastalıklarının tedavisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çoğu kateter, cerrahın cihazı tedavi bölgesine yerleştirmesine yardımcı olmak için kullanılan platin işaret bantları ve kılavuz teller içermektedir. Platinin röntgen görüntülerinde görünür olmasını sağlayan radyo-opaklığı, doktorların tedavi sırasında kateterin konumunu izlemesine imkan tanımaktadır.

Kardiyak stentler, genellikle paslanmaz çelik veya kobalt-krom alaşımları gibi malzemelerden yapılmaktadır. Günümüzde bazı üreticiler, platin-krom alaşımlarından yapılmış stentler de üretmektedir [14].

Hücre bölünmesini engelleme özelliğinden dolayı kanser tedavisinde kullanılan ilaçlarda da PGM'ler kullanılmaktadır. Platin, iridyum ve diğer PGM'lerin biyolojik uyumluluklarının iyi düzeyde olduğu bilinmektedir ve nispeten daha güvenlidirler. Platin bileşikleri cisplatin, karboplatin ve okzalipatin, kanserli hücrelerin bölünmesini ve büyümesini engelleme konusunda eşsiz bir niteliğe sahiptir [13]. PGM'lerin kansere karşı mücadelede; kemoterapi ilaçlarında aktif madde olarak ve radyasyon tedavisi (brakiterapi) için radyoaktif implantlarda kullanıldığı iki önemli rolü bulunmaktadır. Brakiterapide implantlar, iridyum izotoplarının etken maddesini içeren platinden yapılmaktadır. Bunlar doğrudan tümörlerin içine yerleştirilir ve tümöre yüksek radyasyon dozu verilirken çevredeki sağlıklı doku üzerinde olumsuz etki azaltılır. Ayrıca rodyum folyonun mamografi röntgen makinelerinde kullanımı söz konusudur. Bunlara ilaveten parkinson hastalığına karşı beyin hedeflenen bölgesini uyararak, titremeyi ve sertliği neredeyse anında azaltan elektrik uyarısı üreten platin ve iridyumdan yapılmış nöral implantlar son gelişmeler arasında yer almaktadır [14].

Elektronik sektöründe olduğu gibi tıp uygulamalarındaki kullanımı, toplam platin pazarının yalnızca %2-3'ü civarındadır. Bu kimyasalların kanalizasyona karışması nedeniyle bu uygulamanın enerji tüketen bir uygulama olduğu belirtilmektedir [13].

Diş hekimliği alanında paladyum ve çok daha az oranda kullanılan platin, diş restorasyonlarında kullanılan başlıca metallerdir. Metaller genellikle altın veya gümüşün yanı sıra bakır ve çinko ile farklı oranlarda karıştırılarak diş kaplamaları, kronlar ve köprüler için uygun alaşımlar üretilmektedir. Bazen az miktarda rutenyum veya iridyum eklenebilmektedir. En yaygın uygulama; alaşımın, porselen ve diğer malzemelerle yapay diş oluşturmak üzere bağlandığı çekirdeği oluşturan kronlardır. Diş alaşımlarında PGM'lerin kullanılmasının amacı mukavemet, sertlik ve dayanıklılık sağlarken diğer alaşımlı metaller dövülebilirliği artırmaktadır [14].

1.3.6. Elektrik/elektronik sanayii

PGM'ler çeşitli elektrik/elektronik sanayii uygulamalarında kullanılmaktadır. Platin ve rutenyum sabit disk üretiminde farklı amaçlarla örneğin; platin dikey manyetik kayıta kullanılan cilalı alüminyum alt tabakanın (disk) üzerine yerleştirilen ilk katmandaki CoCrPt alaşımında, rutenyum bu katmanı benzer bir katmandan (üçüncü katman) atomik (ince) olarak ayırmada ve bunlara benzer elektronik uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu teknoloji alanından gelen talep belirsizdir. Çünkü bu alanda karmaşık bir rekabet söz konusudur.

Paladyum, çok katmanlı kapasitör cihazlarında (MLCC) kullanılmaktadır. Kapasitörlere olan talep artarken tasarım iyileştirmelerinden dolayı daha az paladyuma ihtiyaç olmakta dolayısıyla paladyum talebi yavaş şekilde artmaktadır. Ayrıca termal olarak yapılan paladyum gümüş formundaki bir macun baskılı devre üretiminde yer almaktadır.

Cep telefonları, PGM'ler de dahil olmak üzere kritik metalleri içermektedir. Cep telefonu üretiminde 0,009 ila 0,015 g paladyum kullanılmakta olup gezegenimizde kişi başına bir telefon düştüğü varsayımı ile cep telefonlarında 135 ton kadar paladyum bulunduğu düşünölmektedir.

Platin ve paladyum, elektrik/elektronik sektöründeki yakıt hücresi uygulamasında katalizör olarak kullanılmaktadır (otomotiv sektöründen ayrı olarak) [13].

Ayrıca iridyum, elektronik sektöründe örneğin cep telefonlarında ve organik ışık yayan diyotlarda (OLED'ler) kullanılan kristallerin büyütöldüğü potalarda kullanılmaktadır [15]. Elektrik/elektronik sektöründe PGM kullanımı %2-3 kadar olup muhtemelen bu seviyede kalacağı tahmin edilmektedir [13].

1.3.7. Kuyum sektörü

Mücevherat sektörü, platine (%10 iridyum ile alaşımlı) yönelik ikinci en büyük talebi oluşturmaktadır. Platin mücevherler statü sembolü olduğundan platine olan talep, altın

fiyatına göre dalgalanmaktadır. Paladyum, rutenyum ve iridyumun hepsi (diğer metallerle birlikte) mücevher uygulamalarında platini sertleştirmek için kullanılmaktadır. Bu alaşımlarda platin genellikle ağırlıkça %85-92 arasında etkin şekilde yer almaktadır [13].



Şekil 11. Osmiyumdan yapılan kuyum örnekleri [5].

Platinden başka kuyum sektörünün parlayan yıldızı osmiyumdur. Paralel güneş ışığının mükemmel yansıtması, ışığı kırması ve bu nedenle yayılan ışığın ışık yoğunluğunu azaltması, mükemmel şekilde kesilebilmesi, hem çok sivri hem de çok yumuşak şekillerin elde edilebilmesini mümkün kılan sebeplerle mücevher sektöründe değeri düşmeyecek bir metaldir [8] (Şekil 11).

1.3.8. Diğer kullanım alanları

Platin, bilimsel uygulamalarda elektrokimyada elektrot olarak, ayrıca atomik taramalı mikroskopların uçlarında, malzemelerin yüksek sıcaklıkta işlenmesi için yapılan potalarda ve fırın imalatındaki ısıtma tellerinde kullanımı bulunmaktadır [13].

İridyum ve osmiyum, yüksek sıcaklık uygulamalarına yönelik potalarda özellikle platin ile alaşım olarak, dolma kalem uçlarında platinin sertleştirilmesi gibi farklı uygulamaları da bulunmaktadır [13].

Rutenyumun ana kullanım alanı, sabit disk sürücüsü üretiminde kullanılan dikey manyetik kayıt teknolojisidir. Diğer uygulamalar arasında elektronik ve kimya endüstrileri ile düz plazma ekranların üretimi yer almaktadır. Küçük miktarlarda takı yapımında da kullanılmaktadır.

İridyum esas olarak kimya endüstrisindeki proses katalizörlerinde ve buji uçlarında kullanılmaktadır [1]. Bunlardan başka endüstriyel uygulamalarda; yüksek erime noktası, sertliği ve korozyona karşı direnci sebebiyle 5G teknolojilerinde yaygın uygulama alanı bulmaktadır. Bu nitelikleri iridyumu, özellikle 5G teknolojisine geçilmesiyle birlikte cep telefonları için aranan ürün haline getirmiştir [16].

Osmiyum, genellikle diğer metallerle alaşım şeklinde kullanılmaktadır. Osmiridyum gibi alaşımlar çok dayanıklıdır ve esas olarak dolma kalemlerin, fonograf iğnelerinin, enstrüman pivotlarının ve elektrik kontaklarının uçlarında kullanılır. Osmiyum tetroksit, parmak izi tespitinde ve mikroskop slaytları için yağ dokusunun boyanmasındaki uygulamalarda yer almaktadır. Ayrıca, osmiyum atomları elektron açısından yoğun

olduğundan dolayı çok daha yüksek çözünürlük sağlaması sebebiyle; OsO₄ maddesi araştırma laboratuvarlarındaki elektron mikroskoplarında kullanılmaktadır. Sağlık alanında ise kalp pili ve yedek pulmoner kapak gibi cerrahi implantlarda platin ve osmiyum alaşımı (9/1) uygulanmaktadır [17].

1.3.9. Gelecekteki muhtemel kullanım alanları

Dünya, daha sürdürülebilir gelecek arzulanırken ortaya çıkan hidrojen ekonomisinde PGM'lerin kritik rol oynayacağına dair görüşler bulunmaktadır. Temiz ve bol enerji kaynağı olan hidrojen, fosil yakıtlara olan bağımlılığımızı önemli ölçüde azaltma potansiyeline sahiptir. PGM'ler özellikle platin, hidrojen ve oksijeni elektrige dönüştüren ve tek çıktısı su buharı olan hidrojen yakıt hücrelerinin temel bileşenleridir. Yakıt hücrelerinin ulaşım, enerji üretimi ve enerji depolama alanlarında uygulamaları bulunmakta olup bu da onları hidrojen ekonomisinin temel taşı haline getirmektedir.

Ayrıca PGM'ler, suyun hidrojen ve oksijene ayrıldığı elektroliz işlemi katalizör olarak kullanılır. Bu süreç, depolanabilen ve enerji üretimi, ulaşım ve endüstriyel süreçler gibi çeşitli uygulamalarda kullanılacak -yeşil enerji- hidrojenin üretilmesi için gereklidir [18].

İridyum, potansiyel olarak hidrojen yakıt hücrelerinde ve dolayısıyla elektrikli araçlara geçişte önemli bileşen olarak görülmektedir [16].

Osmiyumun muhtemel kullanım alanı olarak kanser tedavisi olduğu düşünülmektedir. Araştırmacılar, osmiyumu tek bir kanser hücresinde 100 nm ölçeğinde izlemeyi başarmışlar ve bu da metalin kanser tedavisinde umut verici potansiyele sahip olduğunun düşünülmesine yol açmıştır. Yeni çalışmalarda; osmiyumun hücre mekanizmasında kanserin ilerlemesine müdahale edecek ve onunla savaşacak şekilde modüle edebildiğinden bahsedilmektedir.

Başka bir alan olarak; yalnızca laboratuvar ortamında oluşturulabilen ve aşınmaya karşı daha mukavim dirence sahip kristalize osmiyumun mücevher endüstrisinde elmasların yerine geçebileceği belirtilmektedir [17].

1.4. Platin Grubu Metallerinin İkameleri ve Zorluklar

İkame materyal, herhangi bir malzemenin tedarik kısıtlamalarına ilişkin endişelere karşı potansiyel çözüm olarak sunulmaktadır. Ancak ikamenin bu endişeleri ne ölçüde azaltabileceği tam olarak açıklığa kavuşturulamamaktadır. Çoğunlukla PGM'ler için ikamenin çoğu zaman mümkün olmadığı veya çeşitli teknik ve ekonomik nedenlerden dolayı pratik görülmediği anlaşılmaktadır. Uygun ikameler mevcut olduğunda, bunlar

genellikle diğler PGM'ler veya çoğunlukla periyodik tablodaki PGM'lere komşu olan demir, kobalt, nikel, bakır, gümüş ve altın gibi elementlerdir (Şekil 1, ikameler mavi renkli oklarla gösterilmiştir). Periyodik tablodaki yakınlıkları göz önüne alındığında bu durum şaşırtıcı değildir. PGM'ler ve komşu elementler arasında önemli benzerlikler olsa da önemli farklılıklar da bulunmaktadır. Bu farklılıklar, ikame olabilmeyi sınırlandırmaktadır. Ancak çoğu zaman ikameyi imkansız kılan başka hususlar da söz konusudur. Potansiyel ikameler asıl elemente nazaran daha düşük performans göstermektedir. Çok yaygın kullanılan bir örnek, elektrik uygulamalarında bakır yerine alüminyum alaşımlarının kullanılmasıdır. Alüminyum alaşımı daha düşük elektrik iletkenliği göstermektedir.

İkame, aynı zamanda ana materyal ile onun potansiyel ikamesi arasındaki fiyat farkı gibi çeşitli ekonomik faktörlerle de sınırlanabilmektedir. Örneğin, gümüşün elektrik sektöründeki uygulamalarında bakırın yerine kullanılması, gümüşün daha büyük elektrik iletkenliğine rağmen fiyatının yüksek olması nedeniyle genellikle mümkün olamamaktadır. Bu genellikle yüksek fiyatlı PGM'ler için müşkül teşkil etmez. Aslında herhangi bir PGM'yi diğeriyle değiştirmek için teşvik edici etmendir. Örnek olarak; platin ve paladyum içten yanmalı motorlarda emisyonları oksitlemede aynı derecede etkili olduğu bilinmektedir. İki metal arasındaki seçim, genellikle söz konusu metallerin izafi fiyatlarına istinaden belirlenmektedir. Fiyat farklılıklarının ötesinde ikamenin kullanımından vazgeçilebilecek başka ekonomik hususlar da olabilir. Örneğin katalizde ikame ürün için ilave tesis veya yöntem değişiklikleri söz konusu olduğunda önemli yatırım harcamalarına yol açacaktır.

Yine ikamelerle ilgili olarak yeterli performansa ve olumlu ekonomik niteliklere sahip ikame belirlenmesine rağmen sınırlı kullanılabilirliği nedeniyle uygun bir ikame olmayabilir. Örneğin seçilen ikame, ana materyale göre daha yüksek tedarik kısıtlaması riski altında bulunabilir. Örneğin, iridyum bazlı bujiler, platin bazlı bujilerin yerini alabilmesine karşın; cam imalat sektöründe iridyumun platinin yerini tamamen alması büyük miktarlarda metal ihtiyacı nedeniyle pek mümkün gözükmemektedir.

Ayrıca bazı durumlarda çevreye yönelik hassasiyetler malzeme ikamesine yol açan itici güç olmuştur [19]. PGM'lerin ikameleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. PGM'lerin Kullanım Alanları ve İkameleri [19].

PGM	Sektör	Kullanım Alanı	İkamesi
Pt	Oto-katalizör	Araç egzoz emisyonlarını kontrolü için kullanılan katalizör	Pd
	Kuyum Sektörü	Mücevher imalatı	Pd veya Ni bazlı beyaz Au
	Kimya Sanayi	Çeşitli dökme ve özel kimyasalların, çok ince tel örgü üretiminde kullanılan proses katalizörü, nitrik asitin katalitik üretimi ve laboratuvar ekipmanı	Co, diğer PGM'ler
	Tıp ve Biyomedikal	Diş alaşımları, biyomedikal cihazlar ve kanser önleyici ilaçlar	Pd alaşımları, Ni-Cr, Co-Cr alaşımları
	Petrokimya Sanayi	Petrol rafinasyon proseslerinde kullanılan katalizör reformasyon ve izomerizasyon dahil	Mo
	Cam Sanayi	Çeşitli teknik, özel ve optik camların üretiminde kullanılan parçalar, astarlar ve ince katmanlı kaplamaların imalatı	Ir
	Elektrik ve Elektronik	Sabit disk sürücüler, sıcaklık sensörleri, kontak malzemeleri, dirençler, yakıt hücreleri	FePd alaşımları, Co/Pd çoklu katmanlı ortam
Diğer	Bujiler, oksijen sensörleri, sabit kirlilik kontrolü, türbin kanatlarında, deniz taşıtlarında ve derin denizde korozyona dayanıklı kaplamalar petrol sondaj platformları	Diğer PGM'ler	
Pd	Oto-katalizör	Araç egzoz emisyonlarını kontrolü için kullanılan katalizörler	Pt
	Elektrik ve Elektronik	Çok katmanlı seramik kapasitörler, hibrit entegre devreler, kaplama konnektörler ve kurşun çerçeveler	Ni, Au
	Kimya Sanayi	Hidrojen peroksit, asetaldehit, vinil asetat monomer, saflaştırılmış tereftalik asit üretiminde ve nitrik asit üretiminde proses katalizörü	Ni, diğer değerli metaller
	Tıp ve Biyomedikal	Kronlar, köprüler ve yedek dişler dahil olmak üzere diş restorasyonlarında imalat metali ve alaşım maddesi	Ni-Cr, Co-Cr, Au alaşımları, Seramikler
	Kuyum Sektörü	Pt ve beyaz-Au mücevherlerde fabrikasyon Pd mücevherler ve alaşım maddesi	Diğer Pt alaşımları, Ni bazlı beyaz Au
Diğer	Endüstriyel emisyon kontrolü, oksijen sensörleri ve petrol rafinasyonu dahil olmak üzere çeşitli kullanımlar	Diğer PGM'ler	
Rh	Oto-katalizör	NOx emisyonlarını kontrol etmek için kullanılan katalizör	Yok
	Kimya Sanayi	Hidroformilasyonda proses katalizörü, metanolün asetik asite karbonilasyonu, metil asetat veya dimetil eterin asetik anhidrite karbonilasyonu ve amonyakın katalitik oksidasyonunda Pt-Rh'li çok ince tel örgü imalatında	Co, Ir, Pt, Ru
	Cam Sanayi	Teknik ve özel cam üretiminde kullanılan Pt temelli alaşım maddesi	Pt tek başına veya Au veya Ir ile
	Elektrik ve Elektronik	Sıcaklık sensörleri, kayar ve basınç kontaklarında ve jet motoru kızdırma bujilerinde Pt içeren alaşım maddesi	Ni-Cr, Co-Cr
	Diğer	Özellikle mücevherat için metal yüzeylere elektrokaplama dahil olmak üzere çeşitli kullanımlar	Diğer PGM'ler
Ru	Elektrik ve Elektronik	Yakıt hücresi yığınlarında kalın film macunları, sabit disk sürücüler, elektrolizle kaplanmış manyetik kontaklar ve elektrot kaplama	Ir, Rh, Pd, Ag
	Elektro-kimya	Klor-alkali endüstrisi tarafından kullanılan boyutsal olarak stabil anotların kaplanması	Ir
	Kimya Sanayi	Hidrojenasyon, oksidasyon, hidrojenoliz, amonyak sentezi, hidrokarbon sentezi ve hidroformilasyonda kullanılan proses katalizörü	Fe ₃ O ₄ , Ni, Diğer PGM'ler
	Diğer	Korozyona dayanıklı borularda, bujilerde, mücevherlerde ve diş hekimliğinde alaşım maddesi	Diğer PGM'ler
Ir	Elektro-kimya	Boyutsal olarak kararlı anotların kaplanması, katodik koruma, elektro-galvanizleme ve elektro-kazanma	Ru, Pt
	Elektrik ve Elektronik	Metal oksitlerin yüksek saflıkta tek kristallerini büyütme için kullanılan potalar	Mo, W
	Kimya Sanayi	Hidrojenasyon, asetik asit sentezi ve hidroformilasyonda kullanılan proses katalizörü	Rh, Co
	Diğer	Buji uçlarında, mücevherlerde, kalp pillerinde ve kateterlerde alaşım maddesi	Pt
Os	Tıp	Elektron mikroskopunda boyama maddesi	Ru
	Kimya Sanayi	Syn-dihidroksilasyon dahil sınırlı sayıda işlemde kullanılan işlem katalizörü	Ru
	Diğer	Cerrahi implantlar, elektrik kontakları, mücevherler, dolma kalem uçları, alet milleri, fonograf iğneleri ve ışık filamanları dahil olmak üzere çeşitli kullanımlara yönelik alaşım maddesi	Diğer PGM'ler

2. PLATİN GRUBU METAL YATAKLARININ OLUŞUMU

PGM'ler de dahil olmak üzere oksijenden daha ağır tüm kimyasal elementler, süpernova patlamaları sırasında nükleer füzyon ve nükleo-sentez süreçleriyle oluşmuştur. Süpernova patlamalarıyla ortaya çıkan madde, yıldızlar arası ortama dağılmış, yıldız ve gezegen oluşum bölgeleri olan moleküler bulutları zenginleştirmiştir. Dünya, Güneşle aynı madde bulutundan oluşmuştur. Bu nedenle Dünyanın PGM bileşiminin güneş sistemindekine benzer olduğu düşünülmektedir. Karbonlu meteoritler (C1 kondritleri) güneş sisteminin bileşimlerini tahmin etmek için kullanılmaktadır. C1 kondritlerini en iyi temsil ettiği düşünülen Orgueil meteoriti 0,947 ppm platin içermektedir.

Dünya, oluşumunun erken dönemlerinde metalik çekirdek, silikat manto ve silikat kabuk olarak gelişmiştir. Bu ayrışma süreçleri PGM'lerin dağılımını etkilemiş, çekirdekten mantoya ve üst kabuğa doğru giderek azalan konsantrasyonlarla sonuçlanmıştır. Dünyanın çekirdeğinin bileşimi için belki de en iyi analog olan demirli meteorit örneklerindeki platin konsantrasyonu aralığı 2,4-16 ppm düzeyindedir. Üst manto örneklerinin ortalama platin konsantrasyonları yaklaşık 2 ila 5 ppb arasında değişmektedir. Buna karşılık, üst kabuğun sadece 0,5 ppb platin içerdiği tahmin edilmektedir. Günümüzde çıkarılan cevherlerdeki ortalama PGM konsantrasyonları 5 ila 15 ppm arasında değişmektedir [10].

2.1. Platin Grubu Mineraller

Platin grubu mineraller, metaller ve diğer geçiş metalleri (Bakır, demir, cıva, nikel ve gümüş gibi), geçiş sonrası metaller (Bizmut, kurşun ve kalay gibi), metaloitler (Antimon, arsenik ve tellür gibi) ve ametaller (Selenyum ve sülfür gibi) ile bileşikler oluşturmaktadır. Çoğu kayaçta platin grubu mineraller ince tanelidir ve boyutları birkaç yüz mikrondan başlayıp bir mikrondan daha küçük ebada kadar değişmektedir [10]. Platin grubu metallerin nabit şekilleri ve alaşımları, bileşik şeklinde oluşmuş minerallerden daha yaygın bulunmaktadır. En yaygın elemente göre yapılan adlandırmada, bu metallerin alaşımları platinyum ve osmiyum olmak üzere ikiye ayrılır. Platinyum alaşımlarında, gruptaki bütün metaller bulunabilir. Osmiyum alaşımlarında ise paladyum genellikle bulunmaz.

Platin grubu metallerin minerallerinde, alaşımlarına göre daha az sayıda metal bulunmaktadır. Bunlar daha çok sülfür, arsenür, antimonür, oksit veya tellür bileşikler şeklinde oluşmuştur. Platin grubu metallerin minerallerinde hemen her zaman bir miktar Cu, Pb, Sn, Ni ve Co bulunur. Bu metaller, kristal kafesi içinde genellikle katyon değişimleri şeklinde yerleşmiştir. Ayrıca iz element şeklinde Fe ve Cr içerebilmektedirler [20].

“Uluslararası Mineraloji Birliğinin”¹¹ (IMA) “Yeni Mineraller ve Mineral Adları Komisyonu”¹² (CNMMN) tarafından tanınan 109 farklı platin grubu minerali, mineralojik ve kimyasal olarak tespit edilmiştir. PGM’ler bakımından Noril’sk-Talnakh yatakları bol miktarda yeni veri içermektedir. Mineralojik detaylarıyla bilinen (sekiz kriter) ve adlandırılmış 49 PGM’nin (PGM’lerin %45’i) yanı sıra tanımlanamayan 21 PGM de rapor edilmiştir. Kalan diğer PGM’lerin ise tam manasıyla mineralojik tanımları henüz yapılamamıştır [21]¹³. Bunların büyük kısmının nadir bulunması ve çok ince taneler halinde genellikle birkaç mikron boyutunda rastlanılmaları nedeniyle yeterli şekilde karakterize edilememiştir. [1] (Tablo 3)¹⁴.

2.2. Platinoid Yataklarının Oluşumu

PGM’ler, daha önce magmanın nüfuz edemediği kısımlarda büyük miktarda manto malzemesinin erimesiyle oluşmuş magnezyum açısından zengin magmalar içerisinde mantodan kabuğa doğru geçerek oluşmuşlardır. Mantoda bulunan az miktardaki sülfür mineralleri veya alaşımlarından PGM’lerin eriyik içine salınması için yüksek derecede kısmi erime meydana gelmiştir. Kabuğa yerleştikten sonra magnezyum açısından zengin magma soğuyarak bazik ve ultrabazik kayalar oluşmuştur [10]. Platin grubu metallere platinyum, iridyum ve osmiyum ultrabazik kayalarda daha çok nabit alaşımlar şeklinde, platinyum ve paladyum ise bazik kayalarda bakır ve nikel ile beraber sülfid mineralleri halinde bulunurlar. Pinomatolitik ve hidrotermal süreçlerle de platin grubu metallere zenginleşmesi mümkündür [20]. Siderofil ve kalkofil özellikler gösteren platin elementi, esas itibarıyla magma döngüsünün likid magma evresinde, daha seyrek olarak hidrotermal evrede, fiziksel ve kimyasal özelliklerin uygun olduğu durumlarda platin plaserleri olarak da tortullaşma döngüsünde yataklanma göstermektedir [22]. Buna göre platin grubu metal yatakları oluşumlarına göre; erken magmatik evre, hidrotermal ve plaser yatakları olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır [20].

2.2.1. Erken magmatik evre platin yatakları

Platin grubu metallere, erken magmatik evrede hem fraksiyonel kristalleşme hem de liküasyon süreçleri ile zenginleşerek yatak oluşturabilmiştir [20].

¹¹ International Mineralogical Association

¹² The Commission on New Minerals and Mineral Names

¹³ Kaynak [16]’da 106 PGM’nin tamamının detaylı bilgileri bulunmaktadır.

¹⁴ Tablo oluşturulurken kullanılan kaynaklarda belirtilen ve o kaynaklarda yer alan mineraller (yaygın olanlar) tercih edilmiştir (RC).

Tablo 3. Platin Grubu Minerallerin Yaygın olanları ve Kimyasal Bileşimleri [1, 10, 20, 21, 23, 24].

Grup	Mineral Adı	Mineralin İngilizce Adı	Kimyasal Bileşim
Alaşım lar	Atokit	Atokite	Pd ₃ Sn
	Ferroplatin	Isoferroplatinum	Pt ₃ Fe (%71-81 Pt)
	İridyumlu platin		Pt, Ir (%10-15 Ir)
	Kuproarit	Kuproaurite	(Cu, Pd) ₃ Au ₂
	Nevyanskit	Nevyanskite	Ir, Os (%45-70 Ir) (%30-49 Os)
	Osmiridyum	Osmiridium	OsIr
	Paladyumlu platin		Pt, Pd (%10-40 Pd)
	Palovit	Paolovite	Pd ₂ Sn
	Polleksen		Pt, Fe (%77-89 Pt)
	Potarit	Potarite	PdHg
	Rustenburjit	Rustenburgite	Pt ₃ Sn
	Sissertskit		Os, Ir (%60 Os, %40 Ir)
	Stanopalladinit	Stannopalladinite	(Pd, Cu) ₃ Sn
	Stannoplatinit		Pt ₃ Sn ₂
	Tulamenit	Tulameenite	Pt ₂ FeCu
Ziyanjinsevit	Zviyagintsevit	Pd ₃ Pb	
Antimonitler	Genkinit	Genkinite	Pt ₄ Sb ₃
	Geversit	Geversite	PtSb ₂
	Isomertieyt	Isomertieite	Pd ₁₁ As ₂ Sb ₂
	Sadburit	Sudburyite	PdSb
	Stibiyoaladinit	Stibiopalladinite	Pd ₅ Sb ₂
Arsenitler	Arsenopaladinit	Arsenopalladinite	Pd ₈ As ₃
	İradarsenit	Iridarsenite	IrAs ₂
	Sperrilit	Sperryite	PtAs ₂ (%56,6 Pt)
	Stilvaterit	Stillwaterite	Pd ₈ As ₃
Bizmu tidler	Frodit	Froodite	PdBi ₂
	İnsizveyt	Insizwaite	PtBi ₂
Oksitler	Palladinit	Palladinite	PdO
Sülfürler	Brajit	Braggite	PdPt ₃ S ₄ (%32-58.Pt, %17-38.Pd)
	Erlihmanit	Erlichmanite	OsS ₂
	Holingvortit	Hollingworthite	(Rh, Pt, Pd)(As, S) ₂ (%20 Pt, %25 Rh)
	İrarsit	Irarsite	(Ir, Ru, Rh, Pt)(As, S)
	Kuperit	Cooperite	(Pt, Ni, Pd)S (%79-86 Pt)
	Laurit	Laurite	(Ru, Os)S ₂ (%61-65 Ru)
	Platersit	Platersite	PtAsS
	Ruarsit	Ruarsite	RuAsS
	Visotskit	Vysotskite	(Pd, Ni)S (%59, 5 Pd)
Tellüridler	Kotulskit	Kotulskite	Pd(Te, Bi) ₂
	Merenskit	Merenskyite	PdTe ₂
	Maslovit	Maslovite	PtBiTe
	Mişenerit	Michenerite	PdBiTe
	Monşeyit	Moncheite	Pt(Te, Bi) ₂
	Nijlit	Niggliite	Pt(Te, Se)

Fraksiyonel kristalleşme ile oluşan yataklar, ultrabazik bileşimli magmanın kristalleşmesi sırasında olivin, kromit, manyetit kristalleri ile birlikte platin grubu metal minerallerinin kristalleşmesi ve ağırlıkları sebebiyle dibe çökmesi şeklinde ortaya çıkmaktadır. Ultrabazik komplekslerin en yaygın kayaçları olan dunit, piroksenit, gabro üçlüsünde, platin grubu metaller esas olarak dunitlerin içinde zenginleşmektedir. Bu tip yataklarda cevher mineralleri, dunitleri meydana getiren olivinlerin arasında saçılmış halde gözlenmekte ve olivinlerle eş oluşum dokuları sunmaktadırlar. Piroksenitler ise; ancak dunitik bir çekirdek bulundurmaları durumunda platince önemli yatak olabilmektedir.

Oluşum benzerliklerinden dolayı hemen her zaman kromit yataklarında bir miktar platin grubu metal bulunmaktadır. Platin bakımından zengin kromitler, genellikle baca veya damarlar şeklinde meydana gelmiştir. Bunların boyutları 2 ile 30 m arasında değişmektedir. Oluşum zamanı içerisinde genellikle platin grubu metal mineralleri kromitlere göre daha geç oluşmuşlardır [20]. Rusya Urallar, Kanada Sadburry ve Güney Afrika Bushveld'deki yataklar bu tür yataklar olarak tanımlanmaktadır [22].

Liküasyon süreçleri ile gelişen platin grubu metal yatakları, daha çok gabroyik kayaçlarda bakır ve nikel sülfür cevherleşmeleri ile birlikte ve sülfür mineralleri şeklinde meydana gelmişlerdir. Cevherleşmeler az sayıda ve ince seviyeler halinde gelişmiştir. Kristalleşme sırasında sıvı halde karışmazlık süreçlerine bağlı olarak silikatlı ve sülfürlü kısımların birbirinden ayrılması ile oluşmuşlardır [20]. Zimbabve Geart Dyke, ABD Montana Stillwater Karmaşığı (Şekil 12)¹⁵ ve Rusya Sibirya'daki Norilski zuhurları tabaka biçimleri gösteren sülfürlü proksinetslere bağlı gelişen örneklerdir [22].

Magmatik intrüzyonlara bağlı gelişen ve büyük magmatik bölgelerle (LIP)¹⁶ ilişkili maden yatakları; magmatik kayaçların litoloji ve formu, yatak derinliği, sülfür minerallerinin bolluğu, metallerin nispi oranı ve intrüzyon içindeki cevherlerin konumu gibi kriterlere dayalı olarak türlere ayrılmaktadır. Sil¹⁷ [25] kompleksleri ve



Şekil 12. ABD'deki Stillwater Madeninden Çıkarılan Platin-Paladyum Cevheri.

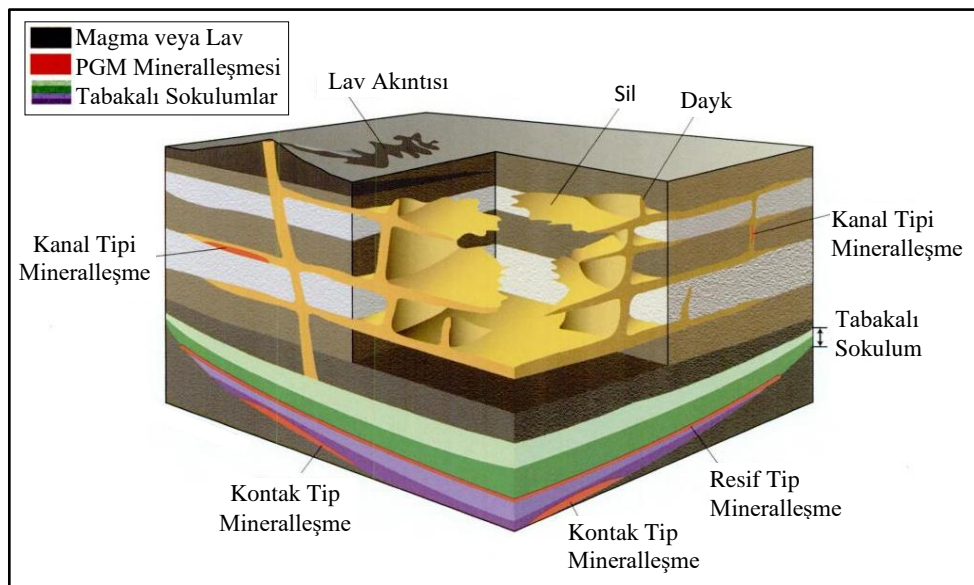
¹⁵ Şekil, [https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=90965721] adresinden 04.03.2024 tarihinde alınmıştır (James St. John'dan).

¹⁶ Kaynak [8]'de "Large Igneous Provinces (LIP)" olarak geçmektedir.

¹⁷ Sil (İngilizcesi Sill); intrüzif yaygı, tortul tabakalar arasında ara katkı durumunda düzenli bir yaygı halindeki magmatik kayaç [17].

dayk yığınlarnın bir parçası olan sokulumlarda meydana gelen kanal tipi yataklar ile tabakalı sokulumlarda oluşan resif tipi ve kontak tip yataklar birbirinden ayrılmaktadır (Şekil 13). Bu tür yataklara en önemli ve temsili örnekler: Rusya Noril'sk-Talnakh Bölgesi kanal tipi yataklar; Güney Afrika Merensky Resifi ve UG2 Kromititi, Zimbabve Ana Sülfür Bölgesi ve ABD Montana'daki J-M Resifi resif tipi yataklar; Güney Afrika'daki Platreef ve ABD Minnesota'daki Duluth Kompleksi kontak tipi yataklar.

Kanal tipi yataklara örnek olan Rusya'nın Noril'sk-Talnakh bölgesi, Dünyadaki en büyük kıtasal bazalt taşkını bölgesi olan Sibirya'yı oluşturan muazzam mafik magma akışıyla ilişkilidir. Noril'sk-Talnakh'taki 3,5 km kalınlığındaki bazalt istifi, 250 Myıl önce çok kısa süreli patlamalarla meydana gelmiştir. Bazalt akıntısı, Sibirya kratonunda yaklaşık 2,5 milyon km²'lik alana yayılarak kaplamıştır. Kalın volkanik akıntı dizisinin altında sil kompleksi yer almakta ve bazalt akıntılarının erozyona uğradığı yerlerde ortaya çıkmaktadır. Sil yapısı, büyük miktarlarda magmanın kabuk boyunca taşındığı yolları belirleyen binlerce sokulundan oluşmuştur. Önemli nikel-bakır-PGM yataklarının bulunduğu sil yapı, yalnızca Noril'sk-Talnakh bölgesinde tespit edilmiştir. Ancak sil yapılarıdaki bakır-nikel sülfür oluşumları çok daha geniş alanda dağılım göstermektedir. Tüm bu volkanik kayaç oluşumları ve ilgili sil yapıları Sibirya LIP'sini oluşturur. Cevher içeren girintiler uzun, parmak benzeri şekle, 1 km genişliğe, 500 m kalınlığa ve 15 km uzunluğa sahiptir. Talnakh bölgesindeki sokuluların çoğunun altında 45 m kalınlığa kadar ulaşan masif sülfür cevherler yataklanmıştır. Sülfür mineralizasyonu aynı zamanda yüksek konsantrasyonlarda PGM'ler içermektedir. Talnakh bölgesinde, sülfürlü akışkanların fraksiyonel kristalleşmesi,



Şekil 13. Magmatik Cevher Yataklarının Kanal, Kontak ve Resif Tipi Oluşumları [8].

mineralojik olarak cevher zonlu kütleleri oluşturmuştur. Sülfürlerin erken kristalleşmesiyle oluşan masif cevherler, fraksiyonel kristalleşme işleminin son ürünü olan sülfütlü akışkandan oluşan cevherlere göre daha az bakır ve PGM içermektedir. Bakır ve PGM bakımından zengin cevherler, Talnakh yataklarındaki PGM üretiminin kaynağıdır.

Resif tip ve kontak tip yataklar, katmanlı sokulumlar halinde yer kabuğunun derinliklerinde magmanın kristalleşmesiyle oluşur ve tabaka benzeri ile dayk benzeri şekillere sahiptirler. Bunlar öncelikle magmada kristalleşen minerallerin yoğunlaştığı kayaç yığınlarında oluşmuştur. Magma bu sokulumlarda kristalleştikçe, minerallerin şekilleri, kayaç dokuları, tane boyutu ve mineral bileşimlerindeki değişikliklerle tanımlanan katmanlaşma özellikleri gelişmiştir. Katmanlar yüzlerce metre kalınlığa ve yüzlerce kilometre uzunluğa kadar yayılabilmektedir. Resif tipi PGM yatakları, katmanlı magmatik sokulum içinde bir veya daha fazla katmanla ilişkili, dissemine bakır, demir, nikel ve PGM mineralleri içeren yataklardır. Cevherleşmiş kayaç birimleri neredeyse her zaman dissemine magmatik sülfür mineralleri içerir, ancak kayaç katmanlarında silikat mineralleri veya kromit, manyetit gibi oksit mineralleri hakimdir. "Resif" terimi, Avustralya ve Güney Afrika'da nispeten düz, tabla şeklindeki cevher kütlesi için kullanılan madencilik terimidir. Katmanlı magmatik bir sokulumda, resif tipi mineralizasyon yanal olarak kalıcıdır ve genellikle onlarca ila yüzlerce kilometre olan sokulum, bu yapının uzunluğu boyunca devam eder. Cevherleşme incedir (genellikle birkaç santimetreden bir metreye kadar).

Bakır-nikel-PGM kontakt tipi yataklar, tabakalı sokulumların alt kontağı veya kenarı yakınında bulunan saçılmış magmatik sülfür minerallerinden oluşur. Saçılımlı sülfür minerallerinin ana gövdesi, sokulumu oluşturan magmatik kayaçlar ve bitişiğindeki kontakt metamorfize olmuş yan kayaçlardır. Sülfür minerallerinin dağılımındaki düzensizlik özgündür; ancak sokulum içindeki sülfür minerallerinin konsantrasyonu genellikle bitişiğindeki kayaçlarla temas noktalarına doğru artar. Cevherleşme yanal olarak kalıcı olabilir ve genellikle katmanlı magmatik sokulum tüm yatak boyunca uzanabilir. Başlıca resif tipi (a-c) ve kontak tipi (a ve d) yatakların örnekleri ile ilgili kısa açıklamalar aşağıda sunulmuştur:

a) Güney Afrika'da Merensky Resifi ile UG2 Kromiti ve Plat resifini içeren Bushveld Kompleksi paleoproterozoyik yaşlı olup yaklaşık 69 bin km²'lik alanda yer alan büyük bir magmatik kayaç kütlesidir. Bu yapı, Molopo Farms Kompleksi (Botsvana ve Güney Afrika'daki başka bir sokulum), Bushveld Kompleksi ile irtibatlı büyük bir sil kompleks ve Güney Afrika'daki Dullstroom bazaltlarını da içerecek şekilde hepsi Bushveld LIP'in parçasıdır.

Bushveld Kompleksi birkaç magmatik takımdan (suit) oluşmaktadır. Ekonomik açıdan en önemli takım; kaliteli krom, PGM ve titanyum-vanadyum içeren birikintilerden oluşan ve yaklaşık 8.km kalınlığında “Rustenburg Takımı”dır. Katmanlı takımın birikintileri Bushveld Kompleksi'nin çevresindeki alanlarda aralıklı olarak açığa çıkmaktadır. Magmatik katmanlaşma, Bushveld Kompleksi'nin merkezine doğru hafif bir eğimle dalmaktadır. PGM açısından zengin iki resif, UG2 Kromititi ve Merensky Resifi, her biri farklı tekrarlanan kayaç dizileri tabanının yakınında meydana gelmiştir ve kompleksin doğu ve batı kolları boyunca sürekli olarak izlenebilmektedir. Her iki yatakta da 5 gr/t'un üzerinde PGM ve altın içeriği bulunmaktadır.

Kompleksin kuzeyinde Transvaal Süper Grubunun metasedimanter kayaçlarıyla alt dokanağının yakınında piroksenit, norit ve gabro bulunmaktadır. Bu magmatik kayaçlar, Bushveld Kompleksi'nin kontakt tipi bakır-nikel-PGE rezervlerine (Platreef olarak bilinir) yataklık yapmaktadır. Platreef yatakları için PGE ve altın tenörleri 0,55 ile 3,7 g/t arasında değişmektedir.

b) Zimbabwe Great Dyke Ana Sülfür Bölgesi, neorkean dönemi 2,5 Myıl yaşlı yaklaşık 550 km uzunluğunda ve yaklaşık 11 km genişliğinde katmanlı bir magmatik sokulumdur. Ana Sülfür Bölgesi tipik olarak 2 ila 3 m kalınlığındadır ve yatağın tenörü yaklaşık 3,5 ila 4 g/t PGE ve altın arasında değişmektedir.

c) ABD Montana Stillwater Kompleksi J-M Resifi, neorkean dönemi 2,7 Myıl yaşlı güney-orta Montana'da ortaya çıkan mafik ila ultramafik katmanlı bir sokulumdur. Doğrultu boyunca 48.km izlenebilen, 5.500 m'den fazla katmanlı bir yapı görülmektedir. Resif tipi PGM yatağı olan J-M Resifi, olivin içeren belirgin tekrarlı birimlerden ve hacimce yüzde 0,5-3 magmatik sülfid minerallerinden oluşmaktadır. J-M Resifi, kompleksin uzunluğunun 42 km'si boyunca ve tabakalanma ise en az 2 km derinliğe kadar takip edilmektedir. J-M Resifi ABD'deki birincil PGE üretiminin kaynağıdır. Genel olarak yatağın tenörü yaklaşık 15 g/t paladyum ve platindir.

d) ABD Minnesota Duluth Kompleksi, yaklaşık 1,1 Myıl yaşlı, lav patlaması ve magmatik girintilerin, Dünya kabuğunun çöktüğü doğrusal bir kuşak (Kıta Ortası Yarığı, “The Midcontinent Rift”) boyunca yerleşmesiyle oluşmuştur. Yarık Kansas'tan kuzeye, Superior Gölü'nün altına ve daha sonra güneydoğuya, Michigan'a doğru 2.500 km'den fazla uzanmaktadır. Ancak yarık ile ilgili kayaçların yüzeylenmesi yalnızca Superior Gölü bölgesinde bulunmaktadır. Bu LIP ile ilişkili magmatik kayaçlar 160 bin km²'den fazla alanı kaplamaktadır. Superior Gölü bölgesinde açığa çıkan LIP ve riftle ilişkili magmatik kayaçlar arasında bazalt akıntıları, mafik girintiler ve küçük riyolit lav akıntıları yer almaktadır.

Minnesota'daki mezoproterozoyik yaşlı Duluth Kompleksi, 1,1 Myıl önce paleoproterozoyik tortul kayaçlar ve arkean granit-greenstone katmanlarını içeren daha eski kayaçlara yerleşmiş mafik ve felsik magmadan oluşan çeşitli farklı sokulumlardan oluşmuştur. Yüzde birkaç sülfid minerali içeren kontakt tip cevherleşme, Duluth Kompleksi'nin batı kenarı boyunca bazı sokulumların tabanı boyunca yanal olarak yaygınlaşmıştır. Kontakt boyunca magmatik kayaçların mineralleşme aralığının kalınlığı onlarca ila yüzlerce metre arasında değişmektedir. 1950'lerin başından itibaren yapılan maden arama çalışmaları sonucu, %0,6 bakır, %0,2 nikel ve 0,655 g/t PGM içeren yaklaşık 4 milyar ton mineralli kayacın mevcut olabileceği düşünülmektedir [10].

2.2.2. Hidrotermal tip platin yatakları

Hidrotermal maden yatakları, sıcak su ve kayaçların etkileşimi sonucu oluşmaktadır. Hidrotermal sıvı olarak adlandırılan sıcak su; iyi çözücüdür ve bazı maden yataklarında oluşan malzemelerin verimli bir şekilde çözülmesine sebep olmaktadır. Su akışıyla beraber mineraller hareket etmekte ve başka uygun bir sahada birikmektedir. Birçok araştırmacı tarafından yapılan deneysel ve teorik çalışmalar neticesinde; PGM'lerin nispeten düşük sıcaklıklarda (yaklaşık 300°C veya daha düşük) akışkanlar tarafından harekete geçirilebileceği sonucu bulunmuştur. Platin ve paladyum, yüksek derecede oksitleyici veya yüksek derecede asidik şartlar altında yalnızca klorür kompleksleri halinde çözeltiye geçebilmektedir. Klorür kompleksleri;

- (a) Özellikle alkalın magmatik kayaçlarla ilişkili olan porfiri bakır-altın yataklarında,
- (b) Uyumsuzluğa bağlı uranyum-altın-platin-paladyum yataklarında ve
- (c) Sedimanter kalıntıların bulunduğu tabakalı bakır yataklarında PGM'lerin transferinde önemli rol oynamıştır. Ayrıca bisülfid kompleksleri;
 - (a) Kanada Sudbury Ontario'daki bakır-nikel-PGM cevherlerinin taban kayacındaki ve nikel-molibden-PGM ve altınca zengin şist yataklarındaki platin, paladyum ve altının taşınması,
 - (b) Serpantinleşme ve metamorfizma sırasında ofiyolitlerde ve diğer ultramafik kayaçlarda PGM'lerin yeniden kristalleşmesi veya yeniden hareketlenmesi,
 - (c) Döterik¹⁸ veya hidrotermal süreçlerle birincil magmatik kökenli mineralleşmenin sonrasında PGM'lerin yeniden harekete geçmesisüreçlerinde etkili olmuştur.

¹⁸ Magmanın veya lav katılaşmasının daha geç evrelerinin veya katılaşmanın dolaysız eseri olarak bir magma kayasında meydana gelmiş ayrışmalar [17].

Bunların yanı sıra; önemli nikel kaynağı olan lateritik yapılarda bu kısımda irdelenmektedir. Ultramafik kayalar üzerinde gelişen bazı lateritlerde PGM zenginleşmelerine rastlanmaktadır. Oluşumların mekanizması hakkında araştırmacılar arasında; bu zenginleşmenin laterizasyon süreci sırasında PGM'lerin taşınmasıyla mı, yoksa önceden var olan platin grubu minerallerin birikimiyle mi ilişkili olduğuna dair tartışmalar bulunmaktadır. Bu tür kaynaklara; Yeni Kaledonya'nın Pirogues Nehri bölgesindeki lateritleşmiş ofiyolitik seriler, Dominik Cumhuriyeti'ndeki Falcondo nikel-laterit yatağı ve Avustralya Yeni Güney Galler Fifield bölgesindeki Syerston lateritik nikel-kobalt-platin yatağı örnek olarak verilmektedir [10].

Ayrıca bazı pinomatolitik-hidrotermal kuvars damarlarında ender de olsa platin grubu metal zenginleşmeleri gerçekleşmiştir. Bunların oluşumu eski ultramafik masiflerin içinde bulunan birincil platin grubu metal birikimlerinin derine gömülme ve yeniden hareketlenme süreçleri ile hidrotermal olarak taşınmaları şeklinde açıklanmaktadır. Parajenezleri esas olarak sperrilit, kuperit, brajit, nijlit gibi minerallerle temsil edilmektedir. Ayrıca platin grubu metaller, diğer sülfid minerallerinin kristal kafeslerinde katyon değişimi şeklinde de yoğunlaşabilmektedir. Ekonomik önemleri oldukça azdır [20]. Bu tür yataklara Güney Afrika'daki Waterberg yatağı örnek olarak verilmektedir [22].

2.2.3. Plaser tip platin yatakları

Plaser maden yatakları, okyanuslarda, göllerde veya yeraltı rezervuarlarında doğrudan suyla oluşan tortul kayalarındaki ekonomik mineral birikimlerdir. Plaser birikintiler; aktif akarsularda, nehirlerde, okyanusların veya göllerin kıyı şeridinde oluşabilmektedir [10].

Platin grubu metallerin mineral ve alaşımları, yüzey şartlarında kimyasal ayrışma ve mekanik parçalanmaya karşı dayanıklıdır. Birincil platin zenginleşmeleri veya düşük konsantrasyonlarda platin grubu metal ihtiva eden ultrabazik ve bazik kayaların yüzey şartlarında ayrışması sırasında platin grubu metaller yerinde kalarak veya kısa mesafelerde taşınarak plaser yatakları meydana getirmektedirler. Plaserlerin yakınında kaynak kayaları bulmak mümkündür. Bu kesimlerde birincil zenginleşmeler de belirlenebilir [20]. Plaser yataklardaki PGM'ler, plaserlerin oluştuğu kayalar hakkında ipuçları vermektedirler. PGM'lerde platin-demir alaşımları hakimdir; ancak aynı zamanda bazı iridyum ve osmiyum alaşımlarının yanında az miktarda paladyum veya rodyumlu mineraller de bulunabilmektedir. Ayrıca mineral büyüklükleri açısından karşılaştırıldığında; kontak ve resif tipi PGM cevher yataklarındaki platin grubu minerallerin çapının nadiren birkaç yüz mikronu aştığı, plaser birikintilerindeki platin külçelerinin ise bir hayli büyük (çapı 10

cm'den fazla) olabildiği belirtilmektedir. Kırıntılı platin grubu minerallerinden bazıları, iç kristal yapılarını yansıtan kristal yüzeylere sahiptirler. Kristal yüzeyleri görünen minerallerin genellikle sıvı veya buhar süreçleriyle oluştuğu anlaşılmaktadır. Pek çok külçe, kromit ve olivin kalıntıları içermekte veya bazı durumlarda bu mineraller arasında bir matriks oluşturmaktadır. Bu dokular; platin-demir alaşımlarının kromit ve olivinin kristalleşmesi sırasında magmadan meydana geldiğini göstermektedir. Bu gözlemler neticesinde; platin külçelerinin magmatik sülfür minerallerinin yoğunlaşmasından oluşmadığını, daha ziyade külçelerin doğrudan silikat eriyiğinden veya magmatik buhardan kristalleştiğini ortaya çıkarmaktadır [10].

Platin grubu metallerin mineral ve alaşımları çok ağır olduğundan; yüzey suları tarafından taşınmaları çok güçtür. Bunların taşınabilmesi için su yüzeyindeki gerilim kuvvetlerinin yardımıyla yüzebilecekleri kadar ince taneli olmaları gerekmektedir. Dolayısıyla platin plaserleri ile kaynak kayacın arasındaki mesafe en fazla birkaç kilometreyi bulmaktadır. Kalıntı (elüvyal) ve alüvyal (daha çok taraça çökelleri şeklinde) plaserler platin grubu metallerin çökelebilmeleri için elverişlidir.

Kalıntı plaserlerinde platin grubu metallerin mineralleri, ana kayacın çatlakları boyunca 10 m derine kadar taşınabilirler. Demirli zonda demirli platin, platiniridyum, osmiridyum ve sperrilit zenginleşir. Kalıntı plaserinin tabanında tenör artmaktadır.

Alüvyal plaserlerde tenör daha düşüktür. Ancak büyük rezervlerin ortaya çıkma ihtimali daha yüksektir. Platinyum ve osmiyumun alaşımlarının farklı yoğunlukta olması sebebiyle; alüvyal plaserlerde bu iki grup alaşım, farklı kesimlerde veya seviyelerde konsantre meydana getirebilirler [20].

Bu yataklara misal olabilecek Rusya'nın orta Ural Dağları'ndaki Nizhny Tagil Masifi'nin kuzeyindeki Orulikha Nehri üzerinde plaser platin yatakları 1824 yılında keşfedilmiştir. Keşfinden 1922'ye kadar Urallardaki plaser tip yataklardan yaklaşık 330 ton metal elde edilmiştir. Kırıntılı platin mineralleri içeren bu yataklara mafik ila ultramafik plütonlar kaynaklık yapmıştır. Bu plütonlar, plan görünüşte dairesel veya eliptik, kesit görünümde bakıldığında boruya benzer ve genellikle boyutları yaklaşık 10 ila 40 km² arasında değişmektedir. Plütonları dünit bir çekirdek oluşturur ve çevresinde klinopiroksenit, hornblendit ve gabroik kayalar bulunmaktadır.

Rusya'da ayrıca 20. yüzyılın ikinci yarısında, doğu Sibirya'daki Kondyor'da ve Rusya'nın doğusundaki Kamçatka Yarımadası'nın kuzey ucundaki Koryak bölgesinde platin plaser yatakları keşfedilmiştir. Kondyor yatağının ortalama tenörü 1,6 g/m³ PGM'dir. İntrüsv bünyesinde bu oran 4 g/m³'e kadar çıktığı tespit edilmiştir. Koryak Bölgesinde ise tenör

0,28.g/m³ platin olarak belirtilmiştir. Kondyör plaser yataklarından 1984'ten 2011'e kadar yaklaşık 85 ton platin ve Koryak bölgesinde ise 1991'den başlayarak on yıllık madencilik faaliyetiyle yaklaşık 45 ton platin üretilmiştir.

ABD'deki en büyük alüvyon PGM kaynağı, Alaska'daki Goodnews Körfezi'nin güneyinde bulunmaktadır. Goodnews Körfezi plaser yatakları 1926'da keşfedilmiş ve 1975 yılına kadar yaklaşık 18.ton platin üretilmiştir. Bu yatağın tenörü en çok 1,6 g/m³, ortalama tenörü ise 0,192 g/m³'dür.

Bu kaynaklardan başka; Kanada Britanya Kolombiya'sı, Kolombiya Choco nehri (Şekil 14), Etiyopya ve Avustralya Yeni Güney Galler'de plaser yataklardan bahsedilmektedir. Etiyopya Yubdo yatağı 1926-1956 yılları arasında çalıştırılmıştır. Kalıntı (elüvyal) tenörü 0,3-0,5 g/m³, alüvyon tenörü 0,25-0,83 g/m³ arasındadır. Kanada Britanya Kolombiya'sındaki yatakların 1885-1932 ve Avustralya Yeni Güney Galler'deki yatakların 1893-1960 yılları arasında çalıştırıldıklarının bilinmesine rağmen başka bilgi bulunmamaktadır [10].



Şekil 14. Kolombiya'daki Choco Nehrinden çıkarılan plaser platin külçesi [1].

3. PLATİN GRUBU METALLERİN REZERV VE KAYNAK DURUMU

3.1. Dünya Platin Grubu Metallerin Rezervleri ve Kaynakları

PGM kaynaklarının bakır, demir gibi metal kaynaklarıyla karşılaştırıldığında daha küçük olduğu görülmektedir, bunun yanında tüketim de küçüktür. Bu nedenle platin için bilinen kaynakların önümüzdeki en az 200 yıl boyunca ihtiyaçları karşılamaya yeterli olduğu anlaşılmaktadır [13].

Jeolojik olarak altınla birlikte cevherleşme gösteren PGM'ler, baskın metalleri içerecek şekilde genellikle "4E" (Pt, Pd, Rh, Au) veya "6E" (Pt, Pd, Rh, Ru, Ir, Au) olarak anılmaktadır. Kullanılan bu tabirlerde altın mutlaka yer almaktadır. (Bu yataklardaki osmiyum konsantrasyonlarının çok düşük olması sebebiyle belirtilmemektedir.) [26].

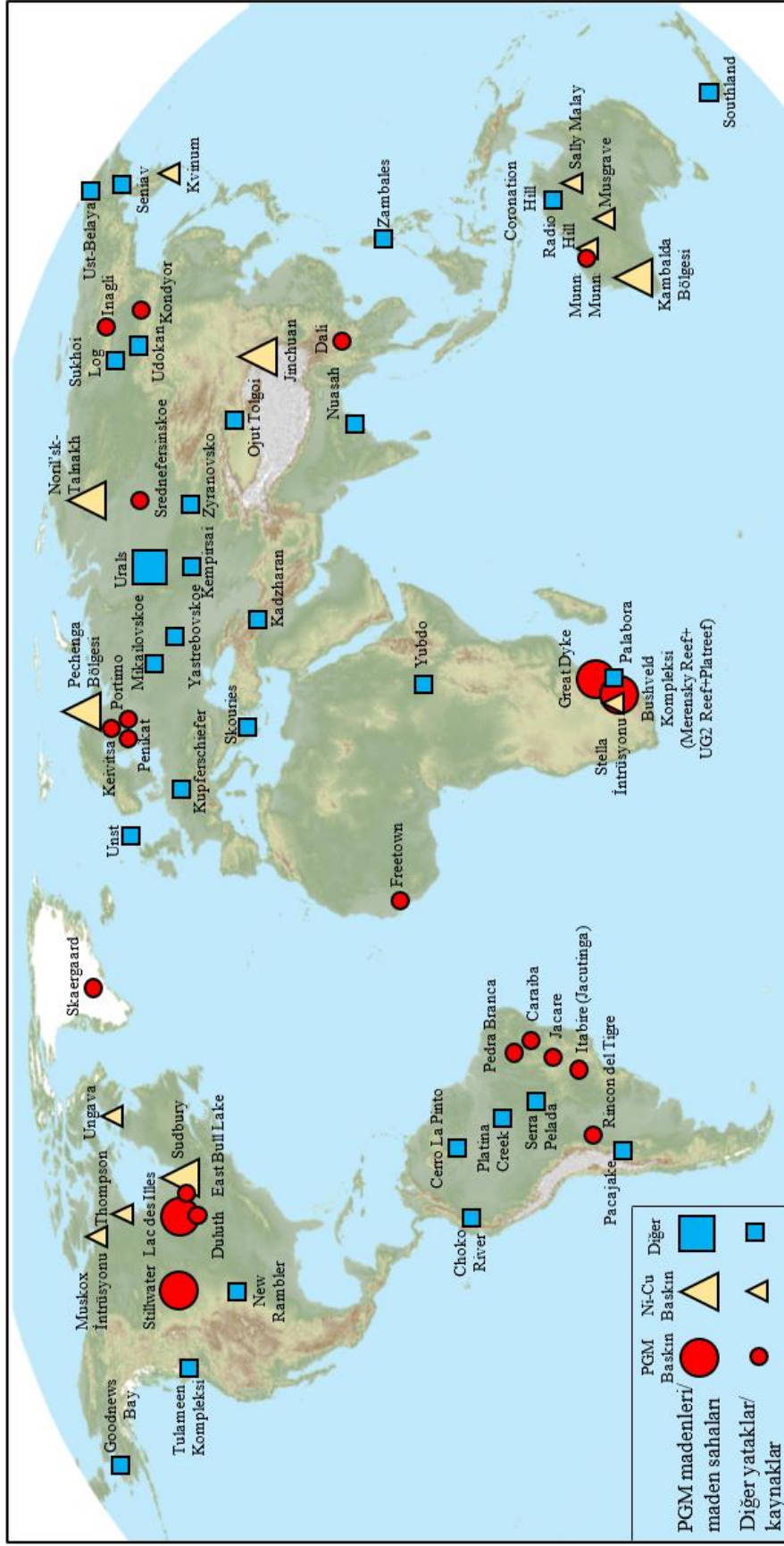
Üretim, cevher kütleindeki PGM konsantrasyonuna ve PGM'lerin fiyatına bağlıdır. Bazı cevher yataklarında PGM'ler birincil ürün olurken bazı yataklarda yan ürün olabilmektedir. Örneğin Kanada Ontario Sudbury kompleksinde üretilen PGM'ler, bakır nikel üretiminin yan ürünüdür. Rusya'daki PGM'ler bakır nikel madenciliğinin yan ürünleridir, çoğunluğu kuzeybatı Sibirya'dan (Noril'sk) ve bazı alüvyonlarda bulunmaktadır. Güney Afrika'daki PGM'lerin hepsi Bushveld kompleksinin bir parçası olan Merensky resifinden, UG2 resifinden ve Platreeftten çıkarılan birincil üründür. ABD'deki tek PGM kaynağı Montana'daki Stillwater kompleksidir ve burada yan ürün olarak üretilmektedirler. Zimbabwe'deki PGM'ler bozulmamış sülfür cevherleri üretilen Mimosa, Ngezi ve Unki'de yer almaktadır [13] (Şekil 15)¹⁹ (Tablo 4). Dünyada bilinen rezervlerin²⁰ toplamı 69.310 ton olarak belirtilmektedir. Bu rezervin yaklaşık %91'i Güney Afrika'da, %5,6'sı Rusya'da, %1,7'si Zimbabwe'de, %1,3'ü ABD'de ve %0,4'ü Kanada'da bulunmaktadır.

Güney Afrika ve Zimbabwe'deki yataklar Dünyadaki diğer yataklardan çok daha yüksek platin oranına sahiptir. Paladyum oranı Rusya'daki Noril'sk-Talnakh bölgesindeki yataklarda çok daha yüksektir.

İlave PGM kaynaklarının günümüz Dünya arzını karşılayan yataklara bitişik veya yakın bölgelerde mevcut olabileceği bildirilmektedir. Güney Afrika'daki Bushveld Kompleksinde, Merensky Resifi ve UG2 kromitit yataklarının nispeten daha az araştırılmış olan 3 km derinliğe kadar ki kısmında ilave 33 bin ton platin ve 32 bin ton paladyum içerebileceği

¹⁹ Şekil, [1] ve [10] numaralı kaynaklardaki verilerin harmanlanması ile yeniden oluşturulmuştur. British Geological Survey'den (BGS, [1]) alınan bazı kaynaklar haritada işaretlenmiş olmasına rağmen orijinal yayında bilgi bulunmaması sebebiyle bu kaynaklara metin içerisinde değinilmemiştir (RC).

²⁰ Sadece United States Geological Survey (USGS), bu rezervlere bazı kaynakları ekleyerek biraz daha yüksek bir rezerv belirtmektedir. Bununla beraber diğer yayınların kahir çoğunluğu rezerv miktarı olarak bu verileri kullanmaktadır (RC).



Şekil 15. Dünya'daki PGM Madenleri, Yatakları ve Kaynakları [1, 10].

Tablo 4. Ülkelere Göre PGM Rezervleri ve Tenörleri [13].

Ülke	Toplam PGM rezerv	Cevher Kütlesi	Pt (g/t)	Pd (g/t)	Rh (g/t)	Ru (g/t)	Ir (g/t)	Os (g/t)	Toplam (g/t)
Güney Afrika	63.000	Merensky Resifi	2,7	1,4	0,16	0,33	0,05	0,04	4,68
		Platreef	1,9	1,9	0,12	0,14	0,04	0,03	4,13
		UG2 (H)	2,0	1,3	0,34	0,45	0,13	0,05	4,27
Rusya	3.900	Noril'sk Talnakh	2,5	7,0	0,24				9,74
Zimbabve	1.200	Hartely Kompleksi	2,6	1,8	0,21				4,61
ABD	900	Stillwater Kompleksi	3,3	11,0	0,60	0,36	0,21		15,47
Kanada	310	Sudbury Kompleksi	0,3	0,4	0,03	0,04	0,01	0,01	0,79
		Lac des Iles	0,2	2,3					2,50
Toplam	69.310	Rezerv (ton)	32.374	24.433	3.909	6.731	1.530	333	
		Ömür (yıl)	202	116	166	201	224		

belirtilmektedir. Madencilik yüzeyde başlamış ve bazı yerlerde 2 km derinliğe kadar ilerlemiştir. Benzer şekilde, Bushveld Kompleksi'ndeki Platreef tahmini olarak 1.100 ton platin ve yaklaşık 1.400 ton paladyum içerebileceği belirtilmektedir.

Zimbabve'deki Great Dyke madeninde 6.900 tona kadar keşfedilmemiş platin, paladyum ve rodyum ihtiva edebileceği düşünülmektedir.

Rusya'daki Noril'sk-Talnakh bölgesindeki ilave olabilecek PGM kaynaklarının jeolojik veri noksanlığı sebebiyle değerlendirilmesinin zor olduğu bildirilmektedir. Eldeki kısıtlı bilgiler doğruysa; Talnakh bölgesindeki masif sülfür cevherleşmeleriyle bağlantılı ek kaynakların mevcut olabileceği raporlanmıştır.

Montana'daki Stillwater Kompleksi'ndeki J-M Resifinden yaklaşık 305 ton platin ve paladyum üretilmiş olup sondajlara dayalı tahminlerle 2.200 ton daha mevcut rezervin olduğunu görülmektedir.

ABD'deki Duluth Kompleksi'nin intrüzyonları ve Superior Gölü bölgesindeki Midcontinent Rift'in diğer küçük intrüzyon kompleksleri, keşfedilmemiş bakır-nikel-PGE sülfür yataklarını içermeye potansiyeline sahiptir. Bu bölge yakınında Kanada'da East Bull Lake oluşumları da aynı özellikleri göstermektedir. Ayrıca Alaska Goodnews Körfezi bölgesinde açık denizde platin kaynağı olabilecek ultramafik kayaların varlığına işaret eden bir jeofizik araştırmasına dayanılarak keşfedilmemiş deniz plaser yatakları olabileceği iddia edilmektedir [10].

Yukarıda belirtilen yatlardan başka PGM kaynaklarının da varlığı bilinmektedir. Bu

kaynakların açıklığa kavuşturulmasındaki zorluk; PGM'lerin varlığının bilindiği; ancak verilerin detaylı şekilde raporlara yansıtılmadığı projelerin olmasıdır. Örneğin, ABD'deki Eagle Ni-Cu yatağında PGM'lerin bulunduğu kabul edilirken bu madende üretilen bazı metal konsantrelerinin PGM içeriklerine ilişkin herhangi bir detay sunulmamıştır. Diğer misaller arasında Batı Avustralya'daki Kambalda sahası ve Savannah-Copernicus, Kanada'daki Thomson sahası, Kanada'nın Sudbury Havzasındaki Falconbridge maden grubu, Çin'deki bazı Ni sahaları (Mesela Jilin, Jinchuan, Baimazhai), İspanya'daki Aguablanca, Brezilya'daki Santa Rita veya Endonezya'daki Cempaka alüvyon kökenli elmas-Au-PGM projesi yer almaktadır. Bunlardan başka verilerin güvenilirliğinin zayıf olduğu ama en azından raporlanmış bazı projeler de bulunmaktadır (Örneğin Zimbabve'deki Serui gibi).

Ayrıca önemli keşif çalışmalarının yapıldığı ancak resmi olarak hiçbir verinin rapor edilmediği diğer projeler ise şunlardır: Zimbabve Darwendale, Finlandiya Sakatti, Rusya Malaya Pana, Kanada Muskox Kompleksi.

Bunların yanı sıra başka madenlerin içerisindeki PGM varlığı sebebiyle dolaylı olarak PGM kaynağı sayılabilecek yataklar ise kısaca şöyle belirtilmektedir: Bazı Ni lateritlerindeki platin (Örneğin Avustralya Syerston, Burundi Musongati), Cu madenlerindeki PGM'ler (Örneğin Rusya Peschanka), kromit kaynaklarındaki PGM'ler (Örneğin Rusya Aganozero), Fe-Ti-V kaynakları (Örneğin Rusya Kachkanar), Brezilya'daki Maracás vanadyum madeninden yan ürün olarak elde edilen PGM'ler [26].

İlave olarak ileride değerlendirilebilecek PGM'ler, yukarıdaki bölümde (Bölüm 2.2) açıklanan oluşum şekillerine bağlı olarak pek çok kayaç ve diğer cevher gruplarıyla birlikte bulunmaktadır. Bunlar arasında magmatik yataklarla ilişkili olmayan ancak belli (ümitvar) miktarda PGM konsantrasyonlarına sahip kayaç ve cevherlere ilişkin örnekler arasında; ABD Wyoming'deki New Rambler hidrotermal bakır damarları, Brezilya'daki Serra Pelada hidrotermal sistemlere bağlı gelişen cevher oluşumları, Yunanistan'daki Skouries porfiri bakır altın oluşumu, Rusya Sibirya'daki Sukhoi Log sedimanter altın arsenik yatağı, Avustralya'nın kuzeyindeki Coronation Hill platin ve paladyum içeren altın yatağı, Polonya Lubin Bölgesindeki tabakalı bakır cevherleşmesi üzerine ikincil oksitlenmeyle platin paladyum ve altının bulunduğu Kupferschiefer yatağı sayılabilmektedir. Buralardan numune alınmış ve asıl oluşumların yanı sıra PGM varlığına dair buluntular tespit edilmiştir.

Magmatik yataklarla ilişkili olarak Rusya Pechenga Bölgesindeki birkaç bakır nikel oluşumlarının verileri geleceğe dönük değerlendirilebilecektir. İlaveten Kanada'da magnezyumca zengin nikel sülfid yataklarıyla ilişkili Thompson ve Ungava Kuşaklarında platin ve paladyum varlığı bilinmektedir.

Yine önemli plaser platin üretiminin olduğu alanlar olarak bahsedilen alanlar; Rusya Ural Dağları bölgesinde 1824'den günümüze kadar; Kolombiya San Juan and Atrato Rivers'da 1778-1965 arası, Rusya Kondyor'da 1984-2011 arası, Rusya Kamchatka'da 1991'den başlayarak 10 yıl süreyle, ABD Alaska Goodnews Bay'da 1927-1975 yıllarında, Etiyopya Yubdo'da 1926'dan 1956'ya kadar, Kanada British Columbia'da Tulameen Bölgesi 1885-1932 yıllarında, Avustralya South Wales'de 1893-1960 yılları arasında işletilmiştir. Buralarda küçük çaplı üretimler yapılmış olup daha sonra terk edilmiştir. Buralarda şartlara bağlı ileriye dönük olarak işletmeye elverişli potansiyel yataklanma olabileceği düşünülmektedir [10]. Bunlardan başka Kolombiya'da Choco River ve Yeni Zelanda'da Southland plaser tip PGM varlığından bahsedilmektedir [1].

Tablo 4'de belirtilen magmatik intrüzif yataklara ek olarak potansiyel teşkil eden magmatik intrüzif oluşumlar ve intrüzif kompleksler ise şöyledir²¹: ABD Minnesota'daki Duluth Kompleksi (1.390 ton PGM); Rusya'daki Onega İntruzifi (837 ton PGM), Fedorov-Pana intruzifi (780 ton PGM), Burakovskaya İntruzifi (645 ton PGM); Finlandiya'daki Portimo Magmatik Kompleksi (524 ton PGM); Kanada'daki Wellgreen İntruzifi (421 ton PGM); Danimarka Greenland'daki Skaergard İntruzifi (227 ton PGM); Güney Afrika'daki Stella İntruzifi (210 ton PGM).

Resif tipi platin grubu elementlerin mevcut yataklarından başka tanımlanan yataklara girmeyen bazı büyük intrüzif örnekleri²² ise şöyledir: Mozambik ve Malavi'deki Tete Kompleksi, Güney Afrika'daki Molopo Farms Kompleksi, Avustralya'daki Windimurra Magmatik Kompleksi ve Munni Munni Kompleksi, Bolivya'daki Rincon del Tigre Kompleksi, Brezilya'daki Pedra Branca Kompleksi, Finlandiya'daki Penikat İntruzifi ve Keivitsa Kompleksi, Antarktika'daki Dufek İntruzifi... [10].

Ayrıca ofiyolitlerdeki platince zengin kromitlerin birkaç örneği bulunmaktadır. Bu nedenle maden aramalarında ofiyolitlerdeki magmatik sülfür minerallerinin konsantrasyonları araştırılmıştır. Filipinler'deki Zambales Bölgesindeki Acoje Ofiyoliti içindeki küçük bir magmatik sülfür yatağı, İngiltere'nin Shetland Ofiyolit kompleksinin (Unst) kümülatlarındaki oluşumlar ve Rusya'da Kempirsai bu duruma örnektir. Veriler ofiyolitlerde PGE zenginleşmesinin meydana gelebileceğini göstermektedir [1].

Sonuç olarak kaynaklar açısından bakıldığında; jeolojik literatüre göre Dünya'da 200 kadar katmanlı intrüzyonif yapı bulunmaktadır. Ancak gerçek sayının iki ila üç kat daha

²¹ USGS, Dünya PGM rezervini hesaplarken burada belirtilen magmatik intrüzifi oluşumlardaki rezervleri de dahil etmektedir. Bu çalışmada USGS'in verisi kullanılmamıştır (RC).

²² Burada verilen örneklere ait sadece alan büyüklükleri ve stratigrafik kalınlıklar mevcuttur (RC).

fazla olduğu düşünülmektedir. Bir intrüzyonun cevher yatağına sahip olması için büyük olması gerekmez. Örneğin, Finlandiya'da tespit edilen birkaç küçük yatakta 91 ton platin ve 237 ton paladyum üretilebileceği ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca yapılan bir değerlendirmede Finlandiya'da keşfedilmemiş yataklarda ortalama 5.500 ton platin ve 12 bin ton paladyum olabileceği tahmin edilmektedir [10].

Platin ve paladyum haricindeki PGM'lere baktığımızda: Osmiyum, Ural Dağları ile Kuzey ve Güney Amerika'daki platin içeren nehir kumlarında doğal şekilde oluşan iridyum ve osmiyum alaşımı olan iridiosmiyum olarak bulunmaktadır. Aynı zamanda diğer platin grubu metallere birlikte Sudbury Ontario bölgesinde bulunan nikel içeren cevherleşmelerde de meydana gelmiştir. Bu geçiş metalinin Bulgaristan'da yaklaşık 2.500 tonluk önemli bir rezervinin olduğu belirtilmektedir [17]. Dünya Osmiyum Konseyi'nin 2023 yılında Brezilya'da düzenlenen yıllık sempozyumunda yapılan son tahminlere göre; çıkarılabilecek osmiyum rezervleri yalnızca bir metreküp, yani 22 ton civarında olduğu açıklanmıştır [8].

3.2. Türkiye Platin Grubu Metallerin Rezervleri ve Kaynakları

Türkiye'de platin grubu metallerin ekonomik bir rezervi bulunmamakla beraber bazı kromitli sahalarda yapılan incelemeler sonucunda bazı platin grubu metallere rastlanılmıştır.

Guleman krom yataklarından alınmış örneklerde platin grubu metallere osmiyum, rutenyum, iridyum ve rodyum görülmüştür. Guleman'da; platin grubu minerallerinden rutheniridosmin, rutenosmiyum ve iridosmin minerallerinin varlığı belirlenmiştir

Muğla Köyceğiz Dalaman çayı kumları içerisinde yer yer eser miktarda platin tanelerine rastlanılmıştır. Platin taneleri üzerinde yapılan analizler sonucunda; bu tanelerin ferroplatin olduğu ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca Muğla Fethiye'de laurit minerali [23], Muğla Ortaca'da laurit, erlichmanit ve Os-Ir-Ru alaşımları saptanmıştır [27].

Mersin ofiyolitlerinden alınan kromitler içerisinde platin grubu metallerin 100 ppb'ye kadar çıktığı bildirilmiştir.

Öte yandan, Hatay Kızıldağ ofiyoliti içerisindeki kromitlerde osmiyum mineralinin varlığı tespit edilmiştir [23].

Kop Dağları kromitlerinde laurit, Rh-Ir-S, Os-Ir-Ru alaşımları, nabit platin, holingvortit, Pd-Sb-Te ve nabit platinden oluşan kompozit taneler görülmüştür [27].

Ayrıca; Türkiye'nin tahmini 127 bin ton osmiyum içeren cevher ile Dünyanın bilinen en büyük rezerve sahip [17] olduğuna dair iddialı bir açıklama bulunmaktadır.

3.2.1. Genel Müdürlüğümüzce yapılan platin grubu metalleri çalışmaları

Genel Müdürlüğümüzün derleme arşivinde “platin” konulu yapılan tarama neticesinde 1938.yılından günümüze 17 rapor²³ bulunduğu tespit edilmiştir. Bu araştırmaların 1960’lı yıllara kadar genellikle yabancı araştırmacılar tarafından yapıldığı, daha sonraki yıllarda kendi araştırmacılarımız dışında yabancılarla ortak (1991 yılında İtalya ile) çalışma da gerçekleştirildiği görülmüştür. Çalışma yapılan sahalardan bazılarının plaserleri içerdiği (Sinop İstanbul arası (2919), Türkiye sahilleri (4072), Karadeniz, Ege ve Akdeniz Sahil Plaseleri (5287) gibi), yanı sıra Fethiye, Marmaris ve Dalaman (Muğla) civarı ile Hatay çevresindeki bazik ve ultrabazik kayaçların incelendiği anlaşılmıştır. Projelerde genellikle sahalardan numuneler alınmış ve analiz çalışmaları yapılmıştır. Bu projelerde sadece PGM’ye odaklanılmamış; altın, gümüş, bakır, nikel, ağır mineraller ve kromitler de araştırmaların ana içeriğini oluşturmuştur. Raporların bazılarının sonuçlarında PGM varlığı tespit edilmiş olup ekonomik değer içermediği belirtilmiştir.

²³ MTA Derleme Raporlarının numaraları: 512, 118, 2399, 2841, 2919, 4636, 4702, 5287, 6569, 8343, 9398, 11223, 12851, 13429, 13435, 13442 ve 13456.

4. PLATİN GRUBU METALLERİN ÜRETİM VE TÜKETİM DURUMU

1920'ye kadar Dünya PGM üretiminin neredeyse tamamı Rusya ve Kolombiya'daki plaser tipi yataklardan elde edilmiştir. 1800'lerde Kanada'nın Ontario Eyaleti Sudbury bölgesindeki nikel yataklarının bulunması, çeliği güçlendirmek için nikel teknolojisinin geliştirilmesi aynı döneme denk gelmiştir. Bu teknolojik yenilik Sudbury yataklarının gelişmesine yol açmıştır. Buna bağlı olarak Sudbury'deki nikel madenciliğinin yan ürünü olan PGM'ler çıkarılmaya başlanmıştır. 1934 yılına gelindiğinde Kanada, Dünyanın önde gelen PGM üreticisi olmuştur.

Günümüzde üretilen PGM'lerin çoğu 1919 yılında Rusya'nın Noril'sk-Talnakh bölgesinde ve 1920'lerde Güney Afrika'da keşfedilen maden yataklarından elde edilmektedir. Bu yatakların gelişiminin hızlanması, PGM'lere yönelik endüstriyel talebin arttığı 1960'lardan sonra başlamıştır. Sonuç olarak, 1960'lardan itibaren Güney Afrika ve Sovyetler Birliği'nde (Rusya) PGM üretimi artmıştır. Güney Afrika, platin ve rodyumun önde gelen üreticisi haline gelmiş ve halen de bu durum böyle devam ettirmektedir. Rusya ise Dünyanın önde gelen paladyum üreticisidir.

1900'den 2011'e kadar yaklaşık 14.200 ton PGM üretilmiş ve bu miktarın yaklaşık %95'i (yaklaşık 13.500 ton) 1960'tan sonra üretilmiştir. Üretimin ülkelere göre dağılımına bakıldığında; 1900 yılından bu yana üretimin yaklaşık yüzde 90'ının Güney Afrika ve Rusya tarafından yapıldığı görülmektedir. Kanada, ABD ve Zimbabwe bu üretimin sırasıyla %5, %2 ve %1'ini gerçekleştirmiştir [10].

4.1. Dünya Platin Grubu Metallerinin Üretim ve Tüketim Miktarları

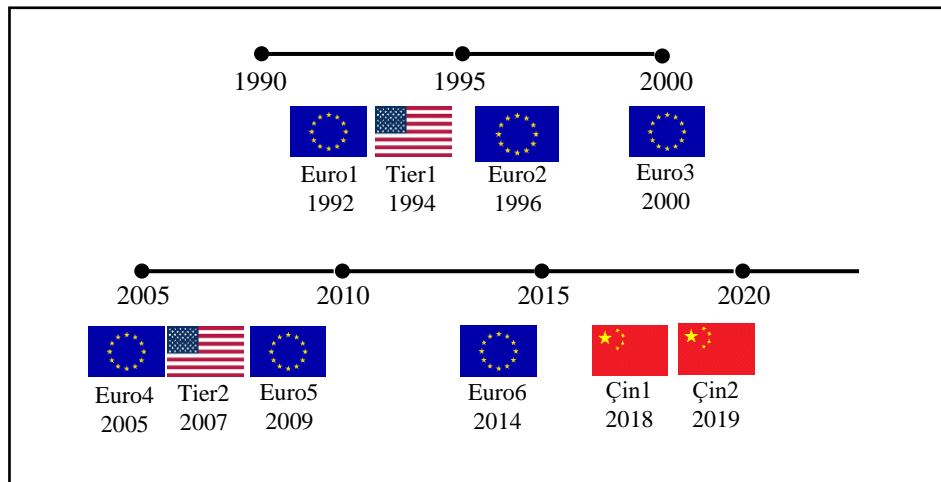
PGM rezervlerinin bulunduğu ülkeler itibariyle madencilik faaliyetleri çok az ülkede yoğunlaşmıştır. Çalıştırılan maden sayısının az olması ve yüksek düzeyde uzmanlaşmaya gerek duyulması, PGM madenciliği ve rafine etme işletmelerinin sayısının da az olmasına yol açmaktadır [11].

Dünya PGM üretiminde Güney Afrika, Bushveld Kompleksindeki üretimiyle baskın ülke olarak karşımıza çıkmaktadır. Güney Afrika'yı, Noril'sk-Talnakh sahasındaki üretimle Rusya izlemektedir. Bu iki ülkeyi daha az miktarlarla Zimbabwe, Kanada ve ABD (Kuzey Amerika) takip etmektedir [26].

Dünya PGM üretim miktarlarına ait veriler JM'nin web sitesinden temin edilmiştir [12]. Bu sitede osmiyum hariç diğer elementlerin hepsinin uzun yıllara sari verileri detaylı şekilde mevcuttur. "ABD Jeoloji Araştırmaları Kurumunun (USGS) National Minerals Information Center-Platinum-Group Metals Statistics And Information" [28] sayfasındaki ilgili yıllara

ait dokümanlardaki verilerle karşılaştırıldığında bazı farklılıklar bulunmaktadır. USGS'nin dokümanlarında platin ve paladyumun üretim değerleri verilmiş olup diğer PGM elementlerinin üretim değerleri bulunmamaktadır. Bu sebepten dolayı bu çalışmada JM'in verilerinin kullanılması tercih edilmiştir. Kaynakta ons olarak verilen değerler bu çalışmada tona çevrilmiştir. Bu sitede ABD ve Kanada verileri Kuzey Amerika başlığı altında toplanarak verilmiştir. Üretim değerlerinin Kuzey Amerika'daki iki ülkenin hangi oranlarda pay sahibi olduğunu takriben tahmin etmek için; USGS'nin sitesinden 2012-2023 arası bu iki ülkenin PGM üretim değerlerinin ortalaması hesaplanmıştır. Buna göre: Platinde ABD'nin üretimi %37,2, Kanada'nın üretimi %67,3; paladyumda ABD'nin üretimi %41,3, Kanada'nın üretimi %58,7 olarak tespit edilmiştir. Yine aynı sitede yapılan taramada; Kuzey Amerika'da rodyum, rutenyum ve iridyum üretimlerinin sadece Kanada'da yapıldığı bilgisi bulunmuştur²⁴. Ayrıca JM'nin sitesinde "diğer ülkeler" başlığı altındaki ülkelerin hangileri olduğu belirtilmediğinden bu ülkeleri bulabilmek amacıyla USGS'in sitesine başvurulmuştur.

PGM'nin üretim, tüketim, piyasa ve fiyat durumu gibi faktörler irdelenirken Dünya egzoz emisyon düzenlemelerini takip etmekte fayda bulunmaktadır (Şekil 16). Paladyum ve platinin en çok kullanım alanı olan oto-katalizörlerde hangi elementin tercih edileceği üretim, geri kazanım ve fiyat değişkenlerine bağlı olarak değişmektedir. Bu arada kısaca katalizör kullanımının geçmişine bakacak olursak, oto-katalizörlerin ilk olarak 1975'de kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Hemen ertesi yıl 1976'da bir firma ilk üç yollu katalitik konvertörü piyasaya sürmüştür (Volvo). İlk katalizörlerde platin ve paladyum tercih



Şekil 16. Dünya Egzoz Emisyon Düzenlemeleri.

²⁴ 2019.yılına kadar veri bulunmuştur. 2020-2023 arasının da aynı olabileceği tahmin edilmektedir (RC).

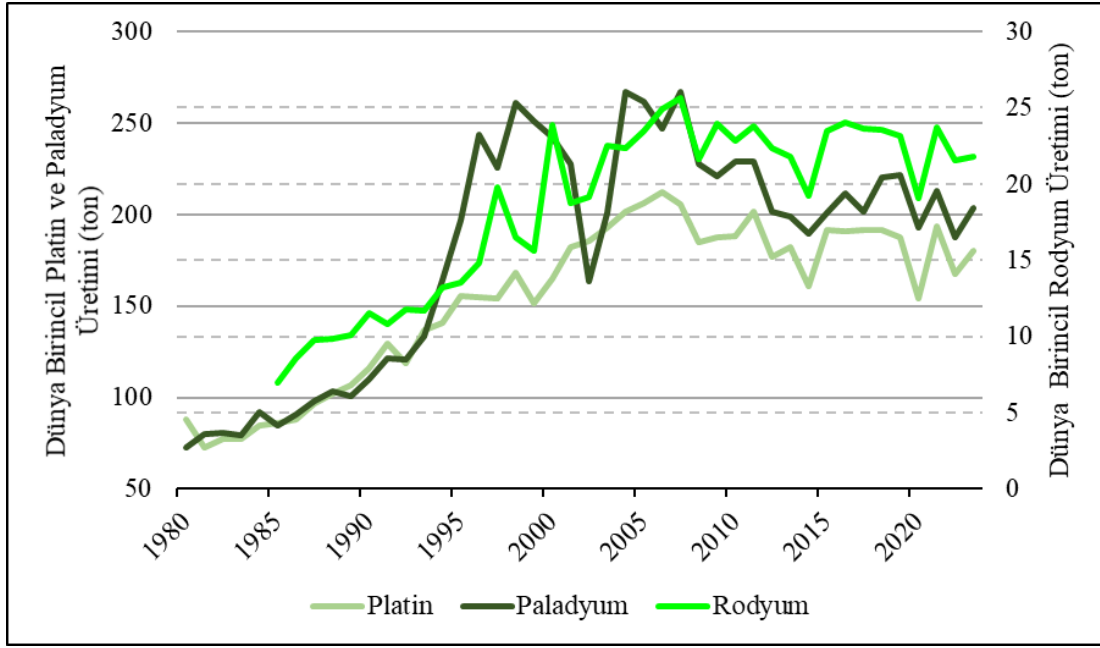
edilmiştir. Rodyum, ilk olarak 1991 yılında oto-katalizör sektöründe kullanılmaya başlanmıştır (Nissan). Yine bu yıl katalizörlerde paladyum platin oranı 2:1 olarak uygulanmıştır (Ford). Bu oran 2001 yılında 1:1 olarak tekrar düzenlenmiştir (Ford). 2006 yılında dizel oto-katalizörlerde platin yerine paladyum tercih edilmeye başlanmış ve 2008’de rodyumun paladyumla ikamesine dönülmüştür.

Bu bölümde PGM’lerden platin, paladyum ve rodyumun tüketimleri; kullanım miktarlarının büyüklüğü, elde edilen verilerin uzun yıllara ait olması ve bu elementlerinin kullanımlarının büyük oranda katalizör sektöründe olması sebepleriyle ayrı başlıklar altında incelenecektir. Rutenyum ve iridyum ise daha çok elektronik sektöründe kullanılır olması ve üstte sayılan elementlere nazaran daha az veriye sahip olunması nedenlerinden ötürü dördüncü ve beşinci sırada değerlendirilecektir. Osmiyum ise; PGM’ler içerisinde literatürde en az veriyi haiz ve piyasasının sığ olması nedeniyle ayrı başlık altında incelenecektir.

4.1.1. Dünya platin üretim ve tüketim miktarları

Platin üretimine yönelik veriler JM’nin sitesinde [12] 1975 yılına kadar geriye gitmektedir. Dünya birincil platin üretimi 1975 yılında 78,7 tonla başlamış ve düzenli artış göstermiş, yaklaşık 8-10 senelik devirlerle küçük düşüşler ve ardından tekrar düzenli yükselişle 2006 yılında 212,4 tonla zirve yapmıştır. Platin üretimi daha sonraki yıllarda hafif düşüşlerle 150-200 ton arasında olmuştur. Platin üretimi, 1993 yılına kadar paladyum üretimi ile hemen hemen aynı miktarlarda olmuş ve aynı oranda artış göstermiştir. Bu durum 1993’den sonra değişmiştir. Bu değişimde; oto-katalizörlerde paladyum kullanım oranının platine göre 2:1 oranına dönmesi ve 1992’de AB’nin “Euro1” ile 1994’de ABD’nin “Tier” (Şekil 16) egzoz düzenlemelerinin payının olduğu düşünülmektedir. Paladyum üretimi; 2001 yılına kadar platin üretiminin bir hayli üzerinde gerçekleşmiş olup bu tarihte kısa süreliğine platin üretiminin altına inmiştir. 2001’deki paladyum üretim düşüşünün başlıca sebebi olarak; yukarıda bahsedilen oranın 1:1’e indirilmesinin yanı sıra, paladyum fiyatının (Şekil 46) platin fiyatına (Şekil 44) nazaran aşırı artması da sayılabilir. Paladyum üretim miktarının 2003’den sonra tekrar platin üretim miktarını geçmesine rağmen önceki büyük fark giderek azalmış ve 2010’a gelindiğinde sabitlenmiş gibi görünmektedir. Bu aradaki farkın sabitlenmesinde platin fiyatının artışı etkili olmuş, yanı sıra 2005, 2007 ve 2009’daki (Şekil 16) egzoz düzenlemeleri ile 2008.krizi ve sonrasında araç satışlarının düşmesinin etken olduğu sanılmaktadır (Şekil 17).

Dünya birincil platin üretiminin son 12 yılına (2012-2023) bakıldığında (Tablo 5); 2021 yılında 193,2 tonla en yüksek ve 2020 yılında 154,3 tonla en düşük üretimin yapıldığı



Şekil 17. Dünya Birincil Platin, Paladyum ve Rodyum Üretim Miktarlarının Karşılaştırılması (ton) (1980-2023).

görülmektedir. Salgın yılında son yılların en düşük üretimi yapılmış hemen ertesi yıl %25'lik artışla en büyük üretim gerçekleştirilmiştir (Şekil 18).

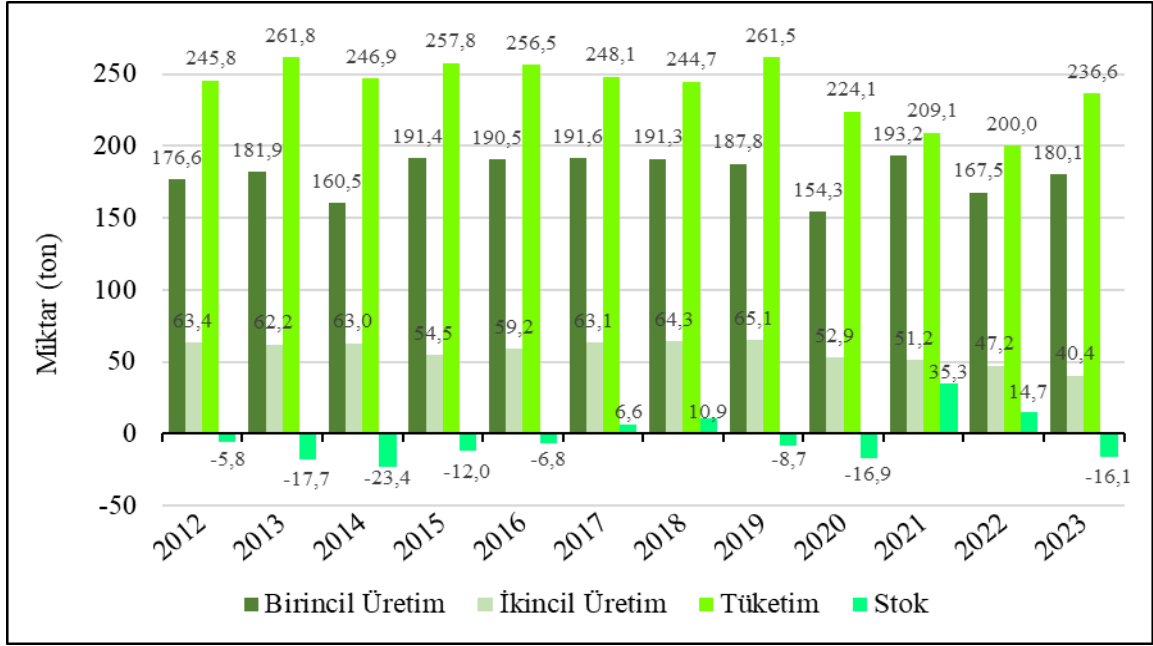
2023 yılında Güney Afrika %69,1 ile Dünya birincil platin üretiminin ilk sırasında yer almaktadır. Daha sonra Rusya %13,5 ile ikinci sırada ve Zimbabve %8,9 ile üçüncü sırada Kuzey Amerika %5 ile dördüncü sırada bulunmaktadır (Şekil 19).

Diğer ülkelerin hangileri olduğu hakkında USGS'nin sitesinde 2019 yılına kadar veri bulunmakta olup; bu ülkeler Avustralya, Çin, Kolombiya, Etiyopya, Finlandiya, Sırbistan olarak sayılmıştır. 2023 yılındaki diğer ülkeler hakkında bilgi bulunamamıştır²⁵. 2019 yılındaki 4,8 ton platin üretimi yapan bu diğer ülkelerin dağılımı ise şöyle gerçekleşmiştir:

Tablo 5. Yıllar İtibariyle Ülkelerin Birincil Platin Üretimi (ton) (2012-2023) [12].

Ülkeler	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2023 (%)
Güney Afrika	127,8	130,9	110,3	142,2	136,6	138,4	138,9	135,1	100,9	143,3	123,3	124,4	69,1
Rusya	24,9	22,9	21,8	20,8	22,2	22,4	21,4	22,4	21,7	19,8	14,0	24,3	13,5
Zimbabve	10,5	12,8	12,5	12,4	15,2	14,5	14,7	14,0	15,0	14,5	15,2	16,0	8,9
Kuz. Amerika	9,5	10,0	10,8	11,0	11,5	11,4	11,5	11,4	10,4	8,7	8,7	9,0	5,0
Diğer	3,9	5,4	5,2	4,9	5,0	4,9	4,7	4,8	6,4	6,9	6,3	6,4	3,6
Toplam	176,6	181,9	160,5	191,4	190,5	191,6	191,3	187,8	154,3	193,2	167,5	180,1	100,0

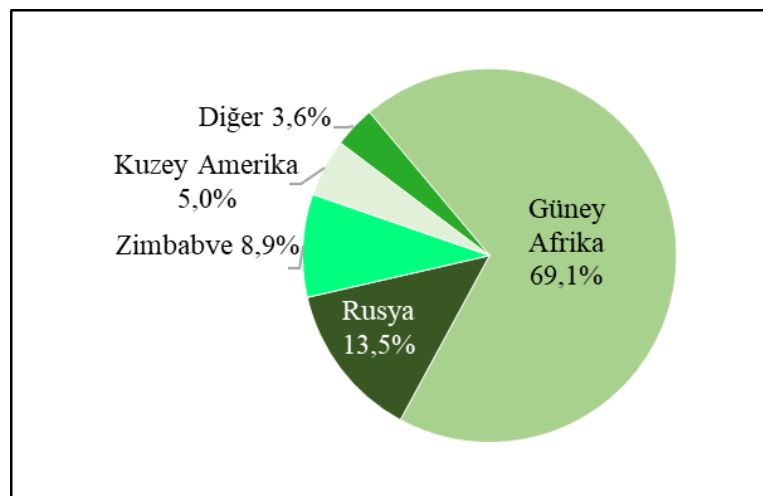
²⁵ Muhtemelen aynı ülkeler olacağına dair kanaat oluşmuştur (RC).



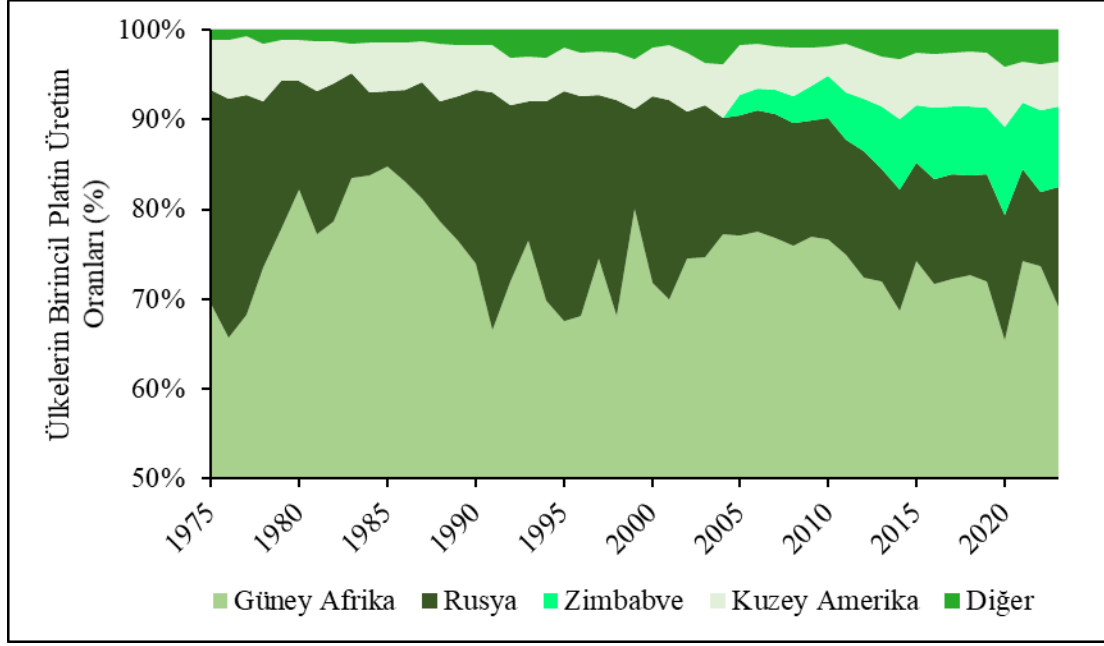
Şekil 18. Yıllar İtibariyle Dünya Platin Üretim, Tüketim ve Stok Miktarı (ton) (2012-2023).

Avustralya (%2,9), Çin (%67), Kolombiya (%4,4), Etiyopya (%0,1), Finlandiya (%25,5), Sırbistan (%0,1) [29].2012-2023 zaman aralığında Güney Afrika'nın %70'ler civarında birincil üretim yaparak diğer ülkelere büyük fark attığı görülmektedir. Ardından Rusya nispeten stabil %10-14 bandında üretim gerçekleştirerek ikinciliği almaktadır. Üçüncü olarak Zimbabve %7-10 aralığında gelmektedir. Dördüncü olarak ise %5-6 oranda Kuzey Amerika bulunmaktadır (Şekil 20).

2012-2023 yıllarına genel bakışın ardından, platin üretiminde meydana gelen bazı önemli olaylara bağlı süreçler şöyle gelişmiştir. Salgın karantinalarının sonucu olarak 2020'de



Şekil 19. 2023 Yılında Birincil Platin Üretimi Yapan Ülkelerin Oranları.



Şekil 20. Yıllar İtibariyle Ülkelerin Birincil Platin Üretim Oranları (2012-2023).

görülen küçük çaplı arz ve talep düşüşlerinin ardından 2021 toparlanma yılı olmuştur. Güney Afrika'dan gelen üretimle arzın toparlanması ve sonrasında stoklanan malzemenin işlenmesiyle arz artmıştır. Bu arz, Rusya'da üretim yapılan madende su baskını olması nedeniyle geçici olarak kapanan iki madenin kaybını telafi etmiştir. Otomotiv, mücevher ve sanayi sektörlerinde toparlanan talep, arz artışına kıyasla sönük kalmış ve platin piyasası yatırım hariç yaklaşık 50 ton (1,6 milyon ons) fazla verdiği tahmin edilmektedir. Aynı yılda Rusya Ukrayna savaşı piyasalarda şoka sebep olmuştur. Batılı ülkeler Rusya'ya çeşitli yaptırımlar uygulamış, ancak PGM'leri hariç tutmuşlardır. Bu durumun platin kullanılan otokatalizörlerden dolayı otomotiv talebi üzerinde sınırlı bir etkisi olmuştur [30].

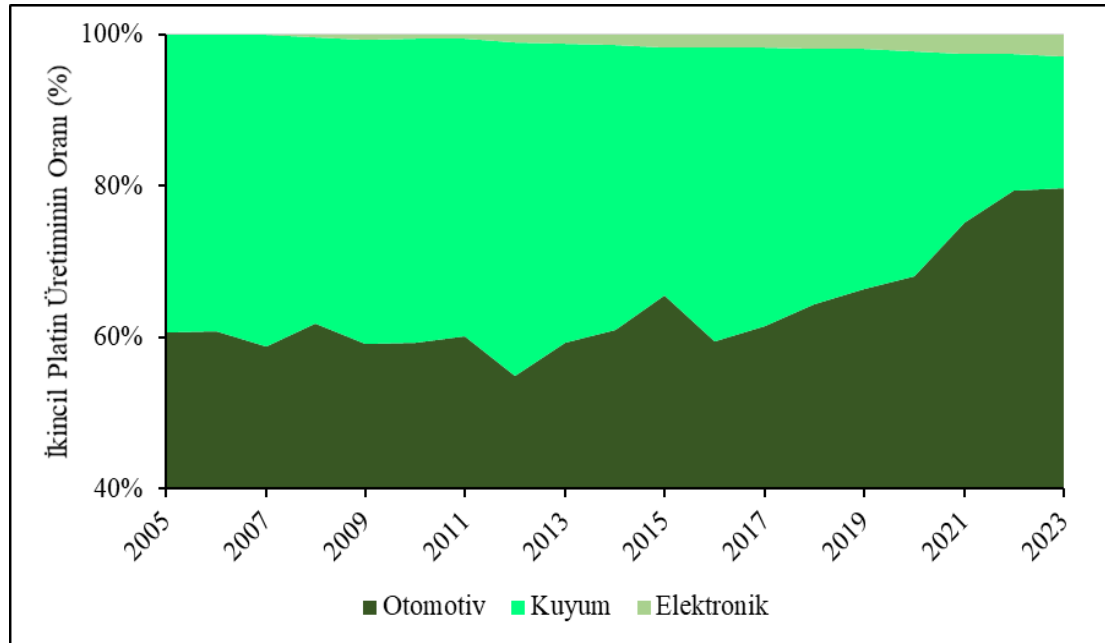
İkincil platin üretimine dair veriler 1982 yılından itibaren mevcuttur. İkincil platin üretimine yönelik ilk veri 1982 yılında otomotiv sektörün ait olup birincil üretimin %0,4'üne tekabül etmektedir. Platinin ikincil üretimi 2005 yılına kadar sadece otomotiv sektöründe yapılmıştır. 2005 yılında diğer sektörlerde de ikincil üretiminin başlamasına karşın; otomotiv sektöründeki oran, 2016'ya kadar %60'lar seviyesinde sürmüştür. Bu tarihten sonra 2019'da otomotiv sektöründeki ikincil üretim %79 olacak şekilde artmıştır. 2005 yılında %40 dolaylarında olan kuyum sektörünün ikincil platin üretimindeki payı 2016 yılına kadar küçük oynamalarla sabit kalmıştır diyebiliriz. Toplam ikincil platin üretiminde 2020'den sonra ciddi düşüşler yaşanırken kuyum sektöründe daha büyük düşüş yaşanmış, 2022 ve 2023'te %18.seviyelerine kadar düşmüştür. Bu düşüşte 2015 yılında Çin kuyum sektörünün daralmaya başlamasının etkisi olmuştur. Elektrik/elektronik sektöründe ikincil

platin üretimi 2008.yılında başlamıştır. 2023 yılında %2,8.olan pay zamanla artarak bu seviyeye ulaşmıştır (Şekil 21). Bütün sektörlerdeki ikincil üretim 2023 yılında toplam üretimin %18,3'ü kadar olmuştur.

İkincil platin üretiminin 2012-2023 yılları arasını incelediğimizde; 2012 yılında 63,4 ton olan üretim, 2019 yılında en yüksek miktarına çıkarak 65,1 ton olmuş, 2023'te ise yaklaşık %38.azalarak 40,4 tona gerilemiştir (Şekil 18).

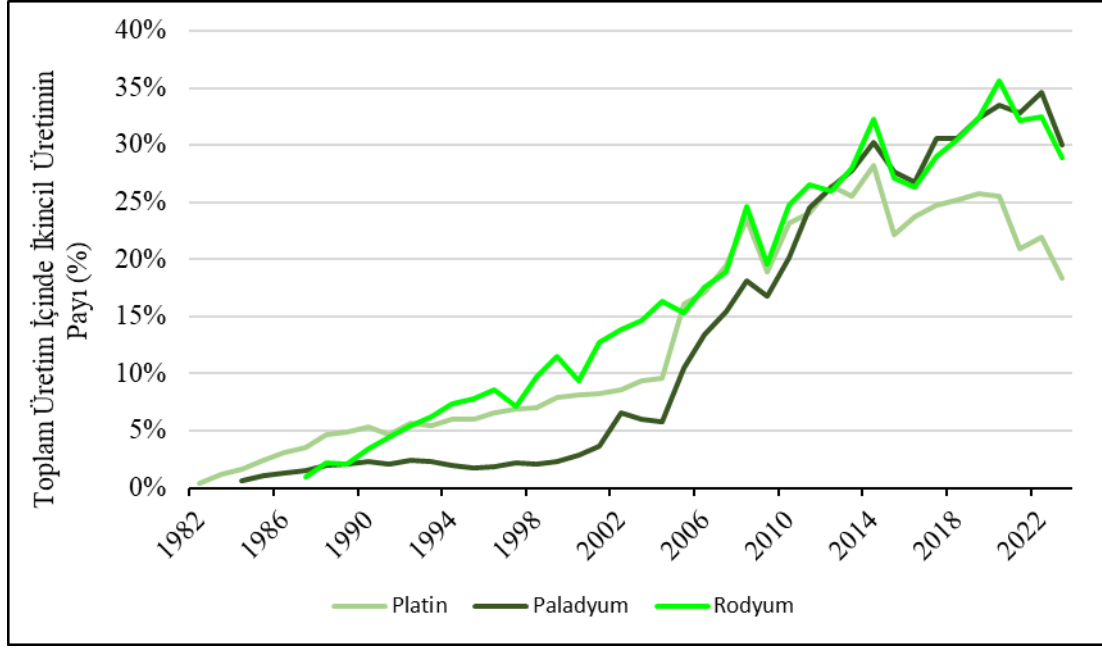
Platinin ikincil üretiminin toplam üretimin içindeki payı 1982'den itibaren sürekli artış göstermiştir. 2004 yılından itibaren bu artış oranı daha da hızlanmıştır. 2014 yılında %28,2 ile en yüksek orana ulaşmış ve ertesi sene %22,2'ye düşmüştür. Ardındaki birkaç yılda biraz toparlanmış olmakla beraber, 2023 yılına kadar yine hafif düşerek %18,3 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 22)²⁶.

Günümüzde Dünya platin tüketiminin %43,9'u otomotiv, %17,9'u kuyum, %10,2'si cam sanayii, %8,5'i kimya sanayii, %3,6'sı kirlilik kontrolü, %3,5'i tıp ve biyomedikal, %2,6'sı elektrik ve elektronik, %2,3'ü petrokimya sektöründe kullanılmaktadır. 1970'li yılların başında Dünya platin tüketiminde büyük paya sahip olan kuyum sektörünün payı, egzoz emisyon düzenlemelerini müteakip zaman içerisinde giderek azalarak birinciliği otomotiv sektörüne kaptırmıştır. Üçüncü sırada bulunan cam sanayi, 2020 yılına kadar %7-8.bandında



Şekil 21. Dünya İkincil Platin Üretiminin Sektörlere Göre Dağılımı (%) (2005-2023).

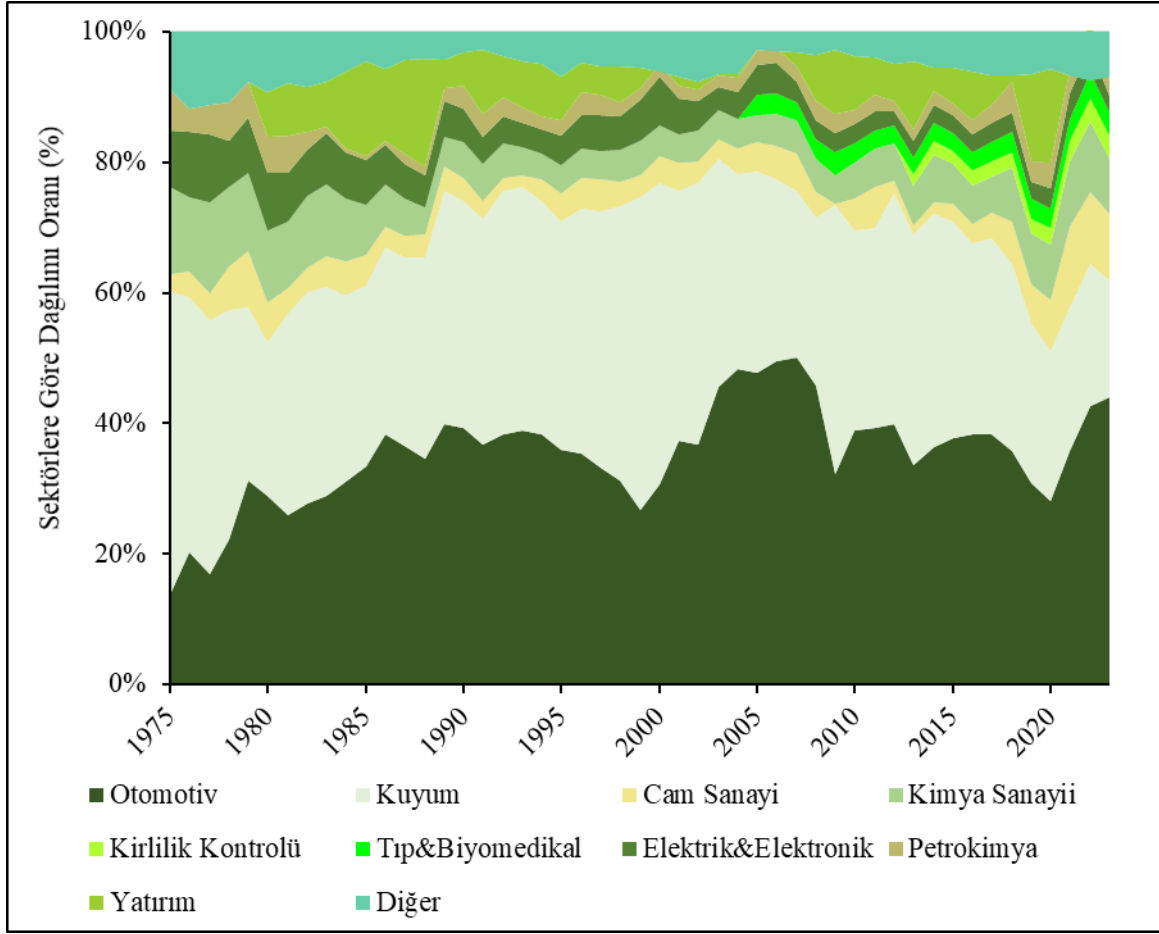
²⁶ Literatürde rutenyum, iridyumun ve osmiyum ikincil üretim miktarlarına ait veri bulunamadığından grafikte bu elementlere yer verilmemiştir (RC).



Şekil 22. Yıllar İtibariyle İkincil Platin, Paladyum ve Rodyum Üretimlerinin Dünya Üretimleri İçindeki Payları (%) (1984-2023).

tüketime sahipken bu tarihten sonra %10'ların üstüne çıkmıştır. Kimya sanayinin tüketimi ise 1970'lerde %10 civarında bulunurken ara yıllarda daralmalar meydana gelmiş ve son birkaç sene içinde eski durumuna kavuşmuştur. 2013'te kirlilik kontrolü amaçlı olarak tüketilmeye başlanan platin yavaş bir artış göstermektedir. 2005 yılından başlayarak tıp ve biyomedikal alanında tüketilen miktar %3'ler civarında kalmıştır. 1975'te %6,3 olarak petrokimya sektöründe kullanılan platin, zamanla daralma yaşamış, uzun yıllar %3-4 aralığında seyretmiştir. Platin önemli bir yatırım aracı olarak piyasada bulunmaktadır. 1980'den itibaren verisi bulunan bu alanda; başlangıçta %6-7 arasından zaman zaman %10'ların üstüne çıkmış, zaman içerisinde bazı yıllarda stoktan kullanım oluşmuş, diğer yatırım araçlarının durumuna göre de çok dalgalı bir seyir izlemiştir (Şekil 23).

2023 yılı Dünya platin tüketiminin %29,4'ünü gerçekleştiren Çin, 1998 yılında %12,3 ile piyasaya girmiştir. Bu zaman zarfında başlangıçta hızlı bir tüketim yükselişi göstermiş olup son yıllarda yaklaşık %30 bandında inişli çıkışlı seyir izlemektedir. Çin'in ardından Avrupa gelmektedir. 2023 yılında %20,9 tüketim payına sahip olan Avrupa, 1970'li yıllarda %20 paya sahipken bu oran 1980'li yıllarda %15'ler seviyesine düşmüş, 1990'lı yılların sonuna doğru birkaç yıl içinde tüketim %11'ler seviyesine düşmüş, 2000'lerden itibaren eski performansına ulaşmıştır. 2023'te üçüncü konumda olan Kuzey Amerika, 1970'li yıllarda ortalama %30'un üstünde iken 2000'lerden itibaren %15-20 bandında bir tüketime sahip olmuştur. Günümüzde dördüncü sırada olan Japonya, 1970'li yıllarda %40'ların üzerindeki platin tüketimi zaman içerisinde eriyerek son birkaç yılda %10'un altına inmiştir. Dünya

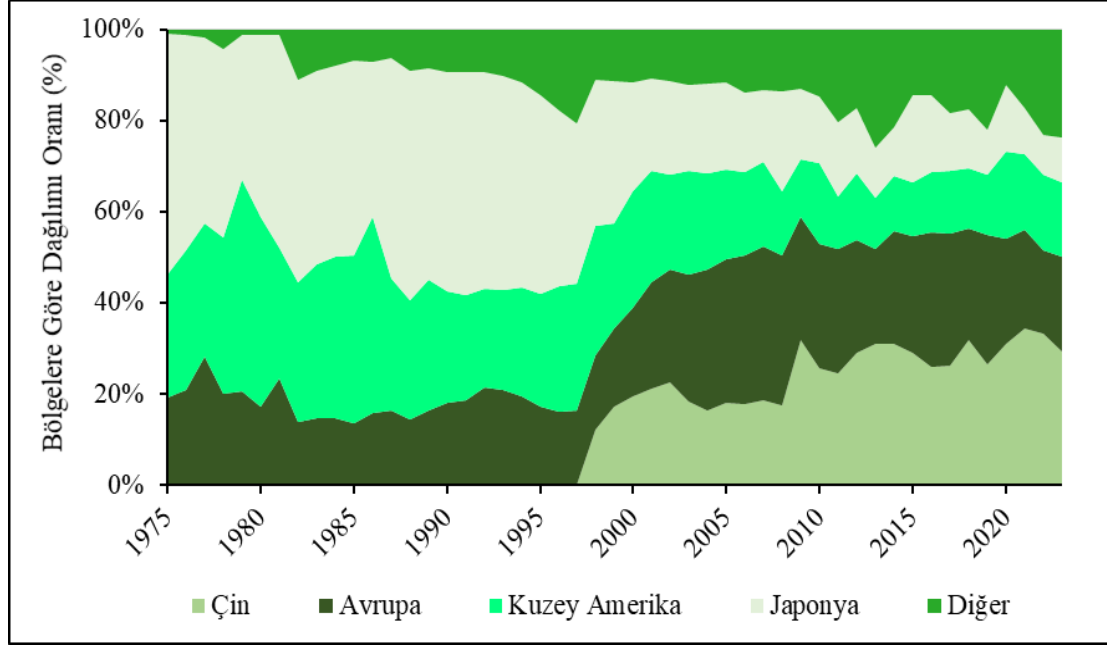


Şekil 23. Dünya Platin Tüketiminin Sektörlere Göre Dağılımı (%) (1975-2023).

platin tüketimine bakıldığında; 90'lı yılların sonuna doğru dengelerin değiştiği fark edilmektedir. Japonya'nın 1970'li yıllardaki hızlı gelişimi bu tüketimde büyük pay sahibi olmasını sağlamıştır. Ancak söz konusu yıllarda (90'lar) Çin'deki gelişme büyük bir değişime sebebiyet vermiştir. Bu yıllarda Avrupa ve Kuzey Amerika tüketiminde bir miktar daralma görülmesine rağmen 2000'li yıllarla birlikte eski oranlarına tam anlamıyla dönemeseler de kısa sürede toparlanmışlardır (Şekil 24).

4.1.2. Dünya paladyum üretim ve tüketim miktarları

Yukarıda bahsedilen JM'nin sitesinde [12] 1980 yılından itibaren paladyum verileri bulunmaktadır. Dünya birincil paladyum üretimi 1990'dan itibaren (110,1 t) düzenli olarak artış göstermiş ve 1998'de 261,2 tona ulaşmıştır. Daha sonra 2002 yılında 163,3 tona gerileyen üretim, tekrar artarak 2007'de 266,8 tonla tepe noktaya çıkmıştır. 2007 yılından sonra hafif gevşeyerek daha sonraki yıllarda 200 ton civarında birincil üretim yapılmıştır. Bütün bu yıllar boyunca büyük oranda stokla çalışıldığı görülmektedir. Kayıtları bulunan verilere göre; 1980 yılında 72,8 tonla en düşük, 2007 yılında 266,8 tonla en çok birincil



Şekil 24. Dünya Platin Tüketiminin Bölgelere Göre Dağılımı (%) (1975-2023).

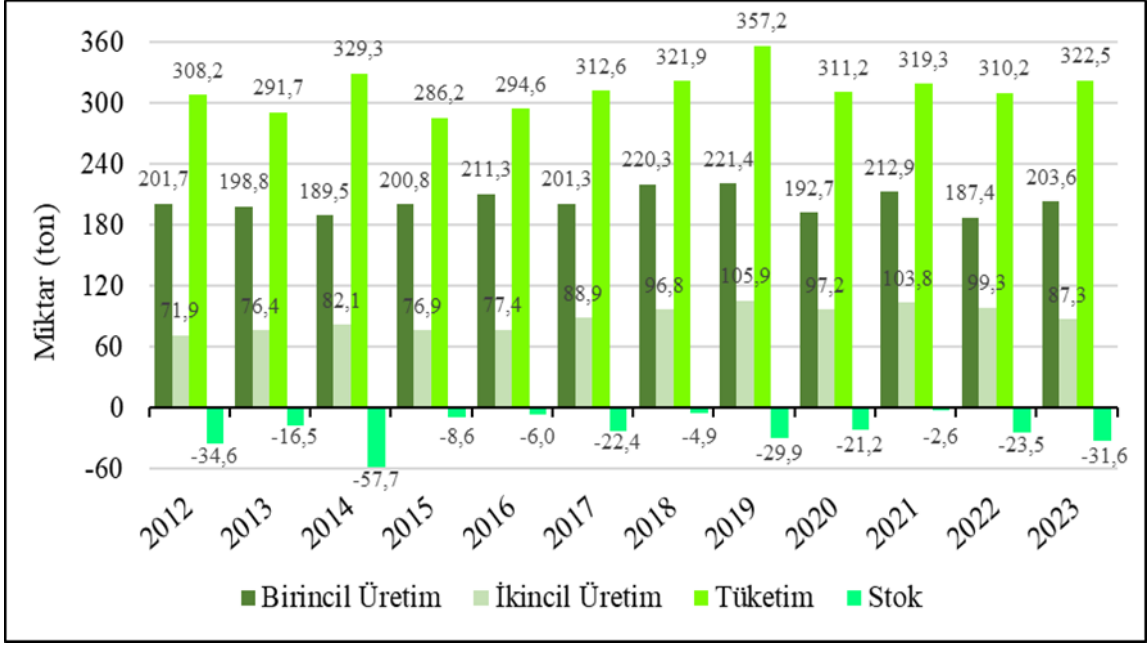
üretimin yapıldığı görülmektedir.

Dünya paladyum üretiminin son 12 yılına (2012-2023) bakıldığında (Tablo 6); 2012 yılında 201,7 ton olan üretimin en çok üretimin yapıldığı 2019'da 221,4 tona çıktığı görülmektedir. Bu tarihten sonra yaklaşık %8 azalarak 2023'de 203,6 ton olarak gerçekleşmiştir. Bu zaman diliminde 187,4 ton ile en düşük üretim 2022 yılında yapılmıştır. 2014 yılındaki birincil üretim düşüşü Rusya'nın stoklarının (Şekil 46) elden çıkarıldığı (2005-2013) yılların hemen sonrasında gerçekleştiği müşahade edilmiştir (Şekil 25).

2023 yılında paladyum üretimine ülkeler bazında bakıldığında; paladyumun %41,2'si Rusya, ikinci olarak da %35,8'i Güney Afrika tarafından üretilmiştir. Bu iki ülkenin üretimi %77,1'i bulmuştur. Bu ülkelerin ardından Kuzey Amerika %13,2, Zimbabve %6,5 ve diğer ülkeler ise %3,2 üretim yapmıştır (Şekil 26).

Tablo 6. Yıllar İtibariyle Ülkelerin Birincil Paladyum Üretimi (ton) (2012-2023) [12].

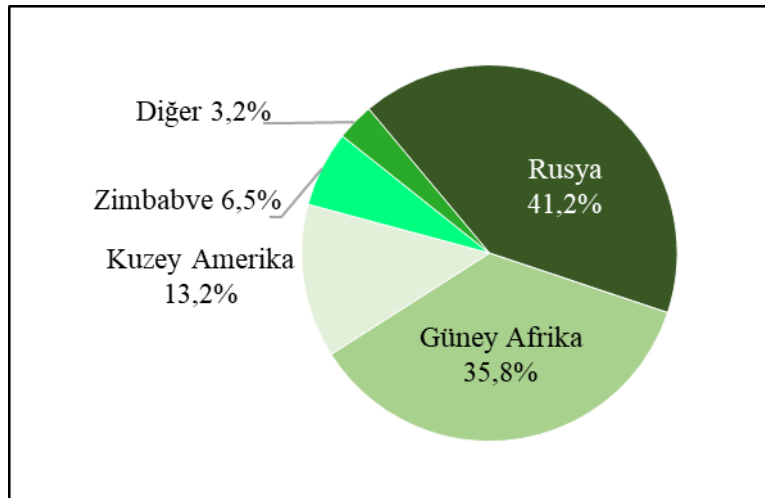
Ülkeler	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2023 (%)
Rusya	89,8	81,7	80,5	75,7	86,5	76,3	92,6	92,9	82,0	83,6	71,5	84,0	41,2
Güney Afrika	73,4	76,7	66,1	83,4	79,9	79,2	79,1	80,0	61,4	82,3	70,8	73,0	35,8
Kuzey Amerika	25,2	25,6	27,7	27,2	28,5	29,7	32,2	32,4	30,8	28,2	25,9	26,8	13,2
Zimbabve	8,3	10,0	10,2	10,0	12,3	12,0	12,2	11,8	12,8	12,2	12,7	13,3	6,2
Diğer	5,0	4,7	5,0	4,5	4,0	4,1	4,2	4,4	5,8	6,6	6,5	6,5	3,2
Toplam	201,7	198,8	189,5	200,8	211,3	201,3	220,3	221,4	192,7	212,9	187,4	203,6	100,0



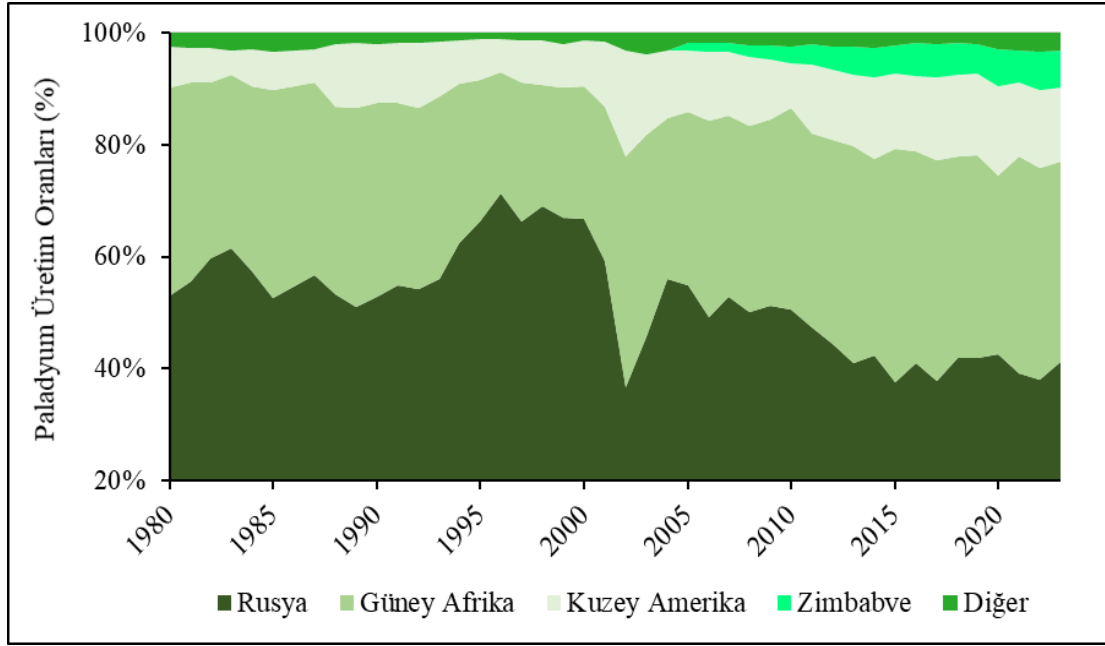
Şekil 25. Yıllar İtibariyle Dünya Paladyum Üretimi, Tüketimi ve Stok Miktarı (ton) (2012-2023).

Diğer ülkelerin hangileri olduğu hakkında USGS'nin sitesinde 2019 yılına kadar veri bulunmakta olup; bu ülkeler Avustralya, Çin, Finlandiya, Sırbistan'dır. 2023 yılındaki diğer ülkeler hakkında bilgi bulunamamıştır²⁵. 2019 yılındaki 4,4 ton paladyum üretimi yapan bu diğer ülkelerin dağılımı ise şöyle gerçekleşmiştir: Avustralya (%15,7), Çin (%53,7), Finlandiya (%28,9), Sırbistan (%1,7) [29].

2012-2023 zaman dilimi incelendiğinde; Rusya ve Güney Afrika'nın üretimlerinin oranları %80 civarında olduğu görülmektedir. Genel olarak ülkeler sahip oldukları oranları dönem içerisinde muhafaza etmişlerdir (Şekil 27).



Şekil 26. 2023 Yılında Dünya Birincil Paladyum Üreten Ülkelerin Oranları.



Şekil 27. Yıllar İtibariyle Ülkelerin Dünya Birincil Paladyum Üretim Oranları (%) (1980-2023).

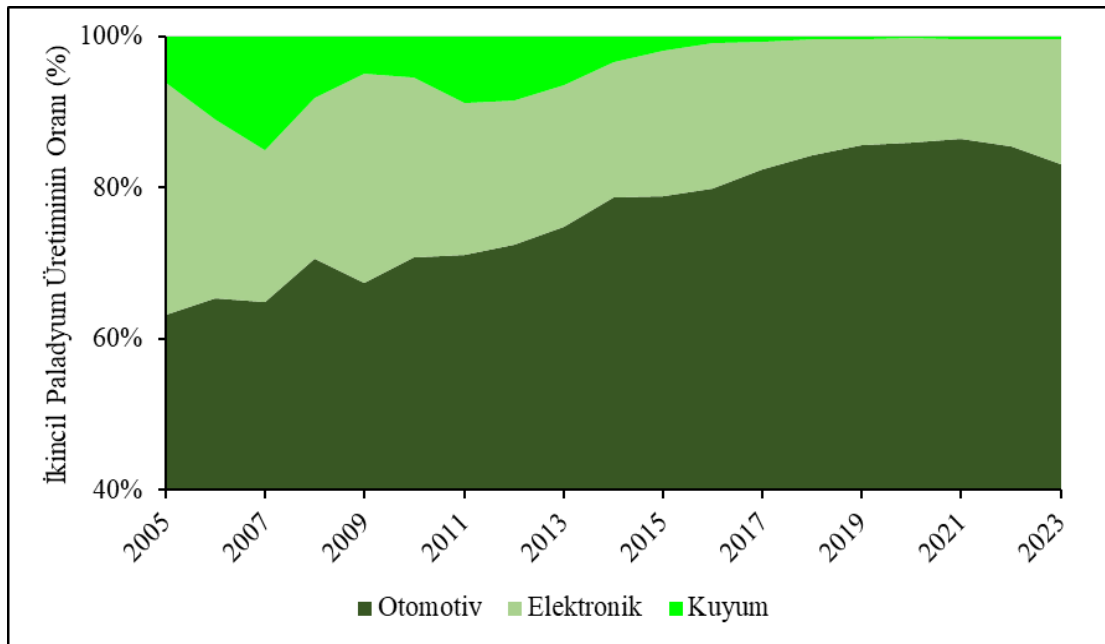
Paladyum üretiminde 2021'de iki farklı olay yaşanmıştır. İlk olarak şubat ayında Rusya'daki Oktyabrsky ve Taimyrsky madenlerinin sular altında kaldığı ve paladyum üretiminin kesildiği haberi gelmiştir. Rusya'daki arzın azalmasıyla birlikte pazarın ciddi açığı vermesi kaçınılmaz olmuştur. İkinci olarak, ilk başta kontrol altına alınmış gibi görünen yarı iletken çip kıtlığı (araç piyasasına etkisi sebebiyle), yılın ikinci yarısında çok daha ciddi bir soruna dönüşmüştür. Rusya'daki kaza, Güney Afrika'nın üretimi artırmasıyla telafi edilmeye çalışılmış, fakat bunun etkisi 2022'de üretim düşüşüyle kendisini göstermiştir [30].

İkincil paladyum üretimi verileri (2012-2023) Şekil 25'teki grafik üzerinde verilmiştir. Buna göre: bu dönemde en düşük olduğu 2012 yılında 71,9 ton olan paladyumun ikincil üretimi, 2019'da 105,9 tonla en yüksek miktara ulaşmıştır. 2023 yılında ise 87,3 ton olmuştur. Paladyumun ikincil üretimin ülkelere dağılımına yönelik veri literatürde bulunamamıştır.

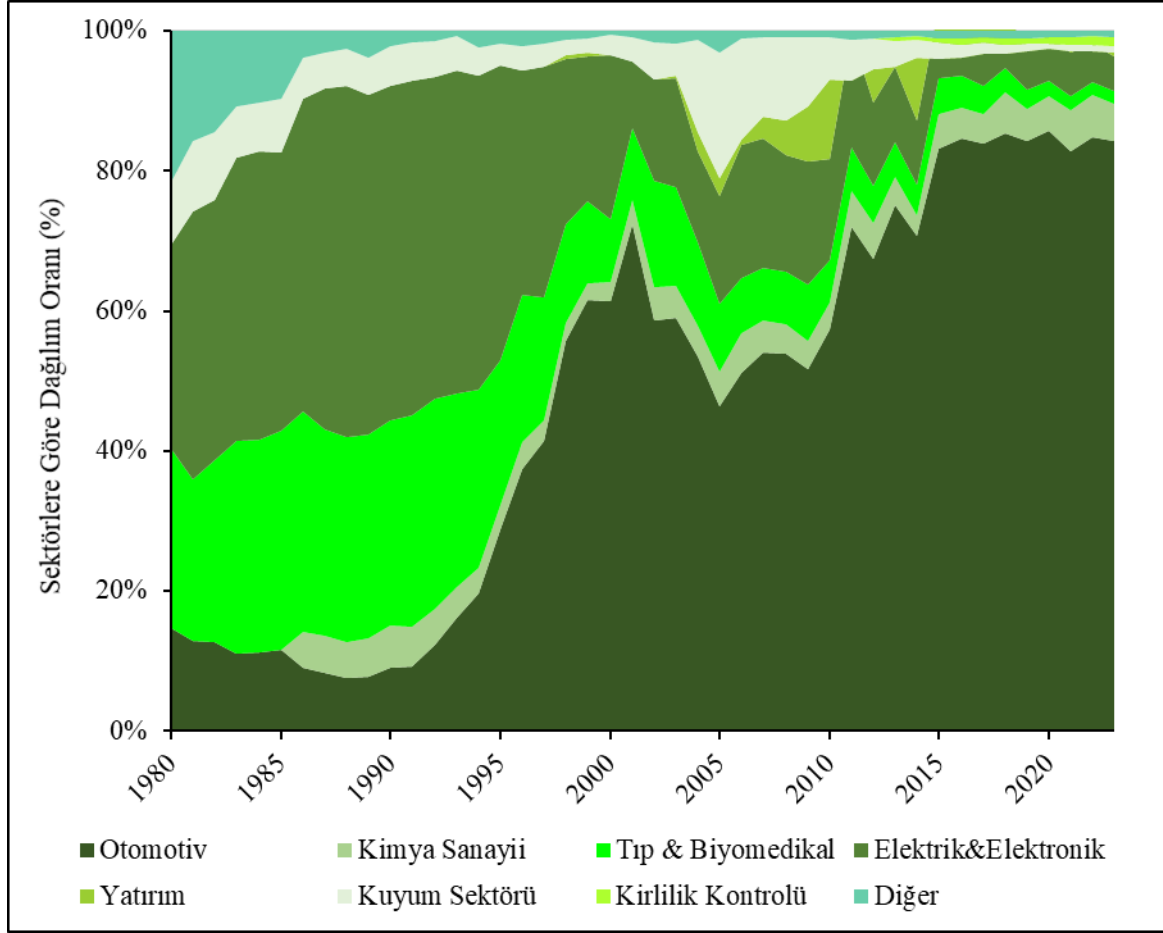
İkincil paladyum üretimi 1984 yılında otomotiv sektöründe toplam üretimin %0,7'si ile başlamış, 2005 yılında elektronik ve kuyum sektörlerinin katılımıyla toplam üretimin %10,5'ine ulaşmış ve 2005'den sonra düzenli şekilde artarak 2017'den itibaren bu oran %30'ların üzerine çıkmıştır. İkincil paladyum üretimi, 2011 yılına kadar ikincil platin üretiminin kısmi olarak altında kalmış, 2012'den sonraki yıllarda ise her yıl düzenli artış göstererek 10 baz puan üstüne çıkmıştır. 2023 yılında ikincil paladyum üretimi toplam üretimin %30'u dolayındadır (Şekil 22).

2023 yılında ikincil paladyum üretimi 87,3 ton olarak gerçekleşmiştir. Bu üretimin %83,1'i otomotiv, %16,5'i elektronik ve %0,4'ü kuyum sektöründe teşekkül etmiştir. 2005 ila 2023 arasında bakıldığında; ikincil üretimin büyük kısmının (~%80 üzeri) otomotiv sektöründen geldiği anlaşılmaktadır. 2005 yılında kuyum sektörü yaklaşık %6 orana sahipken takip eden iki yılda %15'e kadar çıkmış, daha sonra azalarak 2018'den sonra %0,4 civarında olduğu görülmüştür. Elektronik sektördeki ikincil üretim 2005'te %30 civarında bir oranla başlamış olup daha sonra azalarak son yıllarda %15'ler seviyesine gerilemiştir (Şekil 28).

Paladyum tüketimine ait 2012-2023 arası veriler Şekil 25'teki grafik üzerinde gösterilmiştir. Paladyum tüketimi otomotiv, kimya sanayi, tıp ve biyomedikal, elektrik ve elektronik, yatırım, kuyumculuk, kirlilik kontrolü gibi uygulama alanlarına ait 1980 yılına kadar gidecek veri bulunmaktadır. Bu veriler incelendiğinde tüketimin 2015'ten sonra hemen hemen dengeye oturduğu söylenebilmektedir (Şekil 29). Paladyum tüketimi otomotiv sektöründe 1995 yılından sonra artmaya başlamış ve özellikle 2015'ten sonra toplam tüketimin %80'ininden fazlasına talep eder hale gelmiştir. Kimya sektörü zaman içerisinde farklı oranlarda talep etmiş olup ortalaması %4,5'dir. 2015'ten sonra ise %5 civarında talep olmuştur. Tıp ve biyomedikal sektöründe paladyum tüketimi 2015'ten itibaren %5,1'den düzenli olarak azalarak 2023'de %1,9'a düşmüştür. Paladyum talebi elektrik ve elektronik sektöründe son 7-8 yılda %9,8'den %4,9'a kadar gerilemiştir. Paladyumun yatırım aracı olarak kullanılması, özellikle 2003-2015 yılları arasında revaçta olmasına karşın; son



Şekil 28. Dünya İkincil Paladyum Üretimine Sektörlere Göre Dağılımı (%) (2005-2023).

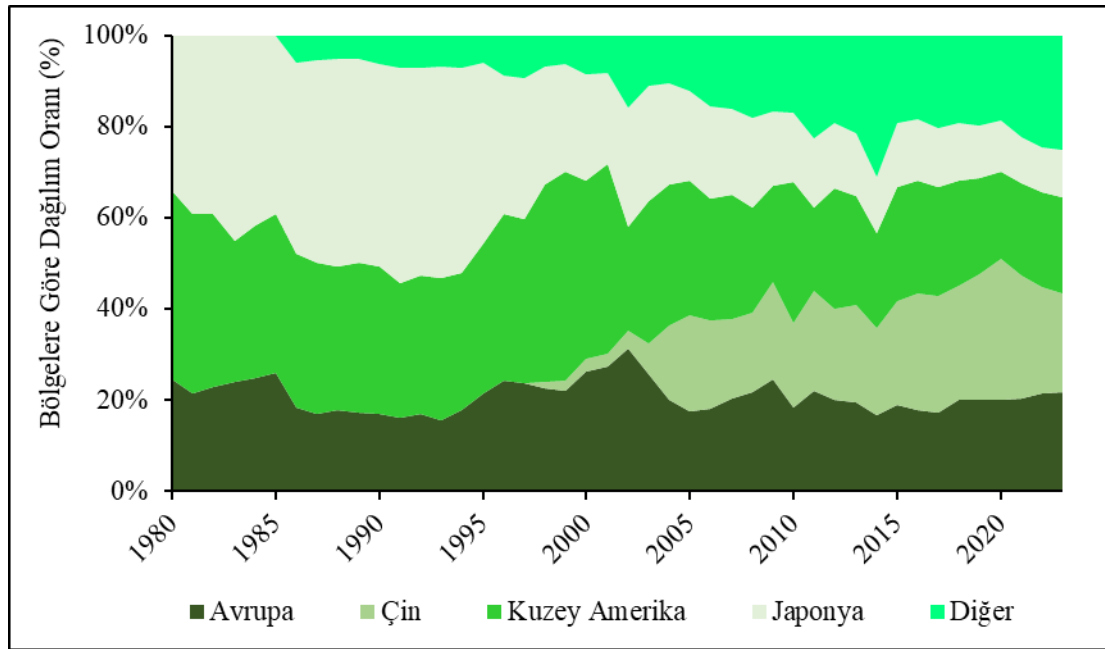


Şekil 29. Dünya Paladyum Tüketiminin Sektörlere Göre Dağılımı (%) (1980-2023).

yıllarda negatif gelişme göstererek stokların tüketilmesi şeklinde geliştiği düşünülmektedir. Kuyum sektörü de yatırım gibi özellikle 2003-2015 arası %18'e varan önemli bir hacme sahip iken; hacmin giderek azalmasıyla %1'in altında kalmıştır. Paladyumun kirlilik kontrolündeki tüketimi 2013 yılındaki ilk verilerle %0,5 olarak başlamış ve bu oran 2023'te %1,3'e genişlemiştir. Bütün sektörler için verilerin zaman içerisinde ait oldukları sektörler içinde detaylandırılması neticesinde diğer kullanım kısmı %1'in altına düşmüştür. Şekil 29'a baktığımızda otomotiv sektöründeki paladyum tüketiminin 2001 yılında pik yaptığı görülmektedir. Aynı tarihte paladyum fiyatı da pik yapmıştır (Şekil 46). 1999 yılında Rusya'nın paladyum ihracatını askıya alması hasebiyle fiyatlardaki artış açıklanabileceken; tüketimi açıklamaya yönelik bir karine bulunmamaktadır. Nitekim fiyat artışına cevap olarak katalizörlerde paladyum platin oranı 2:1'den 1:1'e indirilmiş, ardından fiyatlarda düşüş gerçekleşmiştir. 2011 ve 2015 yıllarında da tüketim pikleri görülmektedir. Bunlarda da 2010 ve 2015 yıllarında yayımlanan Euro5 ve Euro6 egzoz emisyon düzenlemelerinin etkilerinin yanı sıra; 2006'dan itibaren dizel araçlardaki katalizörlerde platin yerine paladyum kullanımına geçilmesi etmen olarak görülebilir. Neticede Güney Afrika'daki madencilik ve

rafinelede kesintiler ve Rusya Ukrayna savaşı gibi başka sebeplerle birlikte 2020 ve 2021’de paladyum fiyatında ciddi artışlar olmuştur.

Dünya paladyum tüketiminin 2023 yılında bölgelere göre dağılımında Avrupa %21,8 ile başta gelmektedir. İkinci olarak yaklaşık aynı oranla %21,6 ile Çin yer almaktadır. Bu iki bölgenin ardından yine yaklaşık aynı oranla Kuzey Amerika (%21) üçüncülükte bulunmaktadır. Bu oranların birbirine yakın olması münasebetiyle sıralama kolaylıkla değişebilecektir. Son olarak %10,5 ile Japonya gelmektedir. Başka detay vermek gerekirse; 1998 yılında bu piyasaya giren Çin’in büyük bir gelişim gösterdiği, 1980’de %34 paya sahip Japonya’nın ve yine aynı yılda %40’dan fazla paya sahip Kuzey Amerika’nın piyasada büyük kayıp yaşadıkları belirtilebilir. Avrupa 1980’den itibaren yıldan yıla değişiklik gösterse de daimi şekilde istikrarlı bir tüketim (ortalama %20,9) oranına sahip olmuştur (Şekil 30).



Şekil 30. Dünya Paladyum Tüketiminin Bölgelere Göre Dağılımı (%) (1980-2023).

4.1.3. Dünya rodyum üretim ve tüketim miktarları

Rodyum üretiminin platin ve paladyum üretimine bağlı olması itibariyle; platin ve paladyum üretim ve tüketiminde karşılaşılan olaylar ve durumlar (grev, madenleri su basması, salgın vb.) rodyum piyasasına da yansımaktadır.

JM'nin sitesinde [12] rodyum üretimine yönelik veriler 1985 yılından itibaren bulunmaktadır. Burada son 12 yıla ait veriler verilmiştir (Tablo 7). Dünya birincil rodyum üretimi 1985 yılında 7 tonla başlamış, düzenli artışla ilk tepe noktasını 1997'de 19,8 tonla

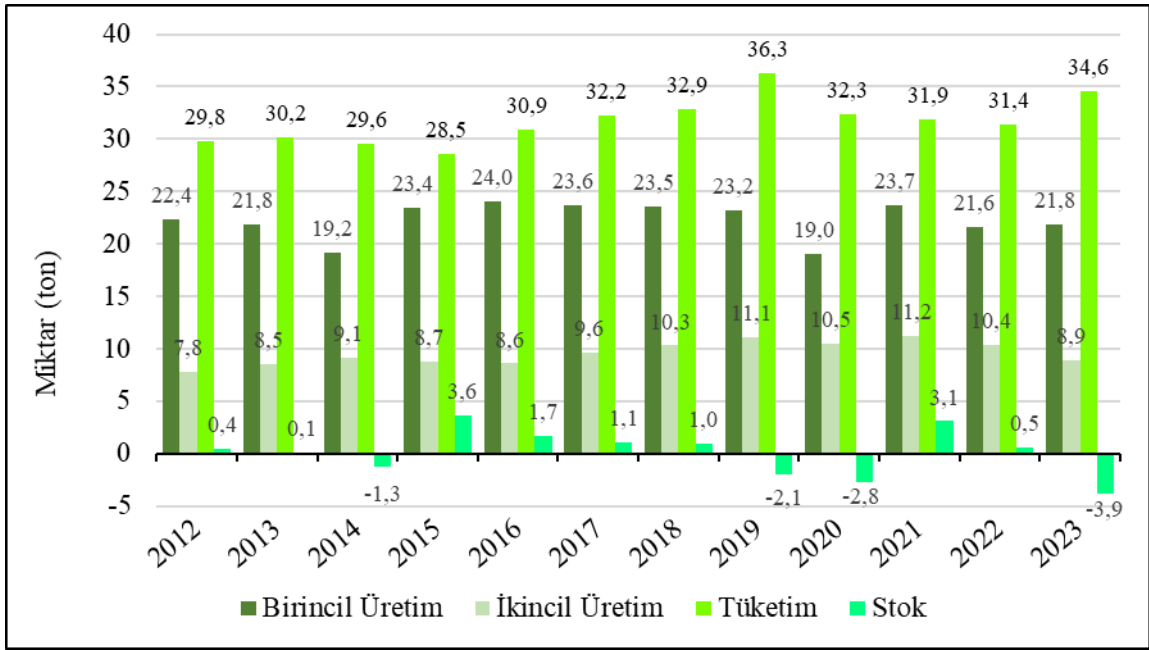
Tablo 7. Yıllar İtibariyle Ülkelerin Rodyum Üretimi (ton) (2012-2023) [12].

Ülkeler	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2023 (%)
Güney Afrika	18,6	17,8	15,1	19,6	19,8	19,6	19,9	19,5	15,5	20,7	18,3	18,0	79,7
Rusya	2,9	2,6	2,6	2,6	2,7	2,5	2,2	2,2	1,9	1,7	1,7	2,3	10,0
Zimbabve	0,9	1,2	1,2	1,2	1,4	1,4	1,4	1,3	1,4	1,4	1,4	1,5	6,6
Kuzey Amerika	0,7	0,7	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8	0,7	0,5	0,6	0,6	2,9
Diğer	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,8
Toplam	23,2	22,5	19,8	24,2	24,9	24,4	24,3	24,0	19,7	24,5	22,3	22,5	100,0

ve ikinci tepe noktasını 2000 yılında 23,9 tonla yapmıştır. Her iki tepe noktadan sonra birincil üretimde yaklaşık %20'lik düşüşler yaşanmıştır. Bu artışlar, söz konusu yılların birkaç sene öncesi artan platin ve paladyum üretiminin artışına paralel bir benzerlik göstermektedir (Şekil 17). Bunun yanı sıra 1999 yılında Rusya'nın ihracatını azaltması ve Güney Afrika'da rafinerinin kapanması gibi etmenler neticeye tesir etmiştir. Bu ani düşüşler, son kullanıcıları 2005 yılında rodyum stoklamaya yönlendirmiştir. Buna rağmen birincil rodyum üretimi 2007 yılında 25,6 tonla zirve yapmıştır. Bu zirve de platin ve paladyumun zirvelerinden birkaç sene sonra gerçekleşmiştir. 2007'deki üretim zirvesinin ardından 2008 yılında rodyum fiyatı da zirve yapınca; paladyum rodyumun ikamesi olarak kullanılmaya başlanmıştır. 2008 yılındaki üretimde %16'lık düşüş yaşanmasına rağmen günümüze kadar 20-24 ton arası olan üretim bandı, yıllar içerisinde inişli çıkışlı bir birincil rodyum üretimi meydana getirmiştir. 1985'ten günümüze birincil rodyum üretiminin eğilimi, tamamen platin ve paladyum üretim eğilimine paralel gerçekleşmiştir (Şekil 32).

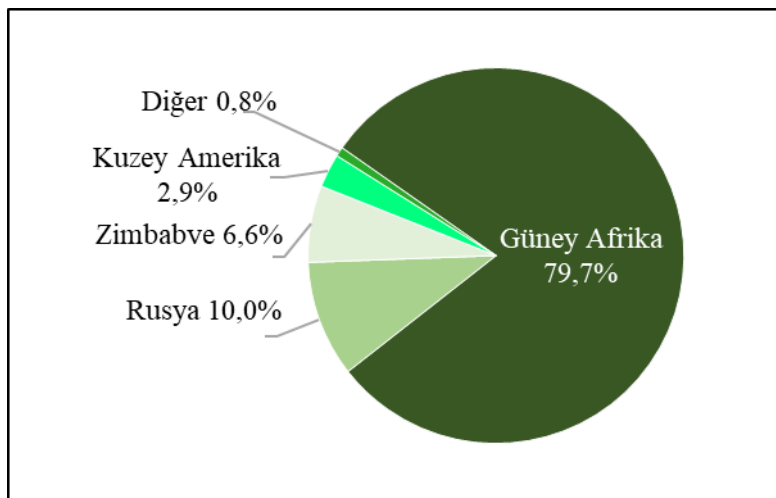
2023 yılına üretim yapan ülkeler bazında özel olarak bakıldığında; Güney Afrika'nın %79,7 üretim ile Dünya rodyum üretiminin çok büyük kısmını gerçekleştirdiği anlaşılmaktadır. İkinci olarak Rusya %10, üçüncü Zimbabve %6,6, bunların ardından Kuzey Amerika %2,9 ile gelmektedir (Şekil 31). Rodyum üretimi yapan diğer ülkeler hakkında literatürde bilgi bulunamamıştır. Rodyum üretimi yapan diğer ülkelerin hangileri olduğu hakkında USGS'nin sitesinde de veri bulunmamaktadır.

2012-2023 yılları arasındaki üretim durumu incelendiğinde; Güney Afrika ortalaması %80,4 olan üretimiyle her zaman büyük bir paya sahip olmuştur. Rusya'nın %12,5 olan 2012'deki üretim payı, hafif düşüşle salgın yılının ertesinde %6,9'a kadar düşmüş olmasına rağmen 12 yıllık ortalaması %10 olmuştur. Rusya'nın payındaki düşüş Zimbabve ve Kuzey Amerika'nın payının küçük oranda artmasıyla karşılanmıştır. 12 yıllık ortalaması Zimbabve'nin %5,6 ve Kuzey Amerika'nın %3,1'dir (Şekil 33).

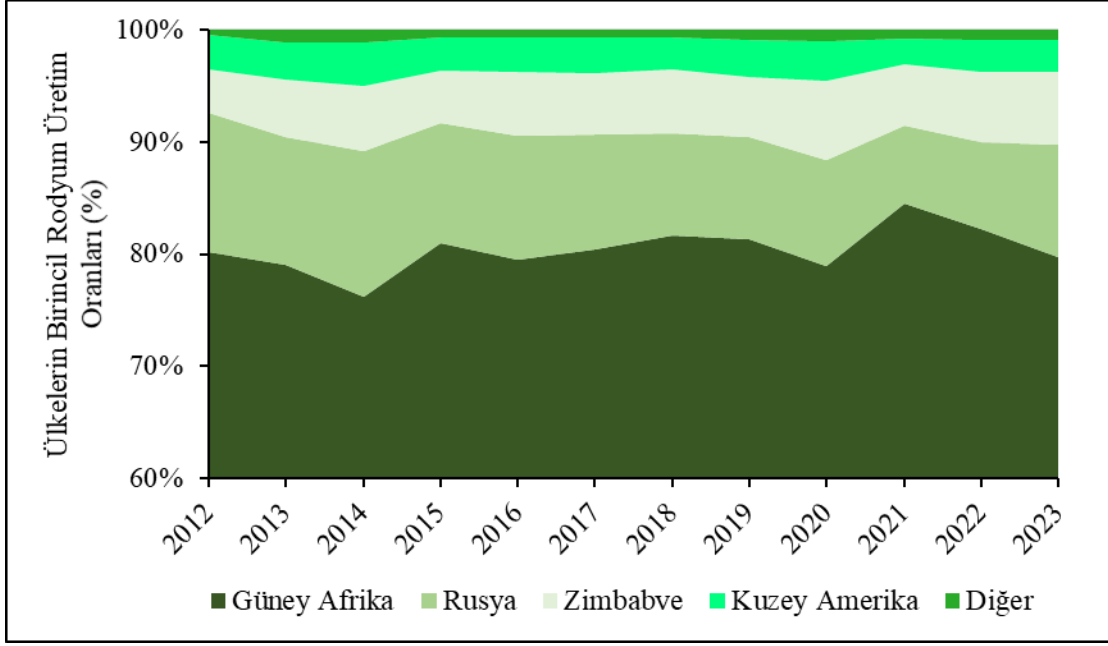


Şekil 32. Yıllar İtibariyle Dünya Rodyum Üretim, Tüketim ve Stok Miktarı (ton) (2012-2023).

İkincil rodyum üretiminin ilk verisi, birincil rodyum üretim verisinin 2 sene sonrasında 1987’de başlamış olup toplam üretimin %0,96’sı olarak gerçekleşmiştir. 2023 yılında ikincil üretimin toplam üretime oranı %28,9’dur. İkincil üretimin tamamı günümüze kadar otomotiv sektöründe gerçekleşmiştir. İkincil üretim düzenli bir şekilde, ikincil platin ve paladyumun oranlarının biraz üzerinde bir oranda artmıştır. İkincil üretim oranında 1996, 1999, 2008, 2014’e kadar bu zaman dilimlerinde artarak gelmiş ve 2020 yılında en yüksek orana (%35,6) tezahür etmiştir. Her tepe noktasından sonraki sene, ikincil üretim oranında düşüşler yaşanmış, fakat bir sonraki sene tekrar aynı genel eğilimi muhafaza edecek şekilde



Şekil 31. 2023 Yılında Birincil Rodyum Üretimi Yapan Ülkelerin Oranları.

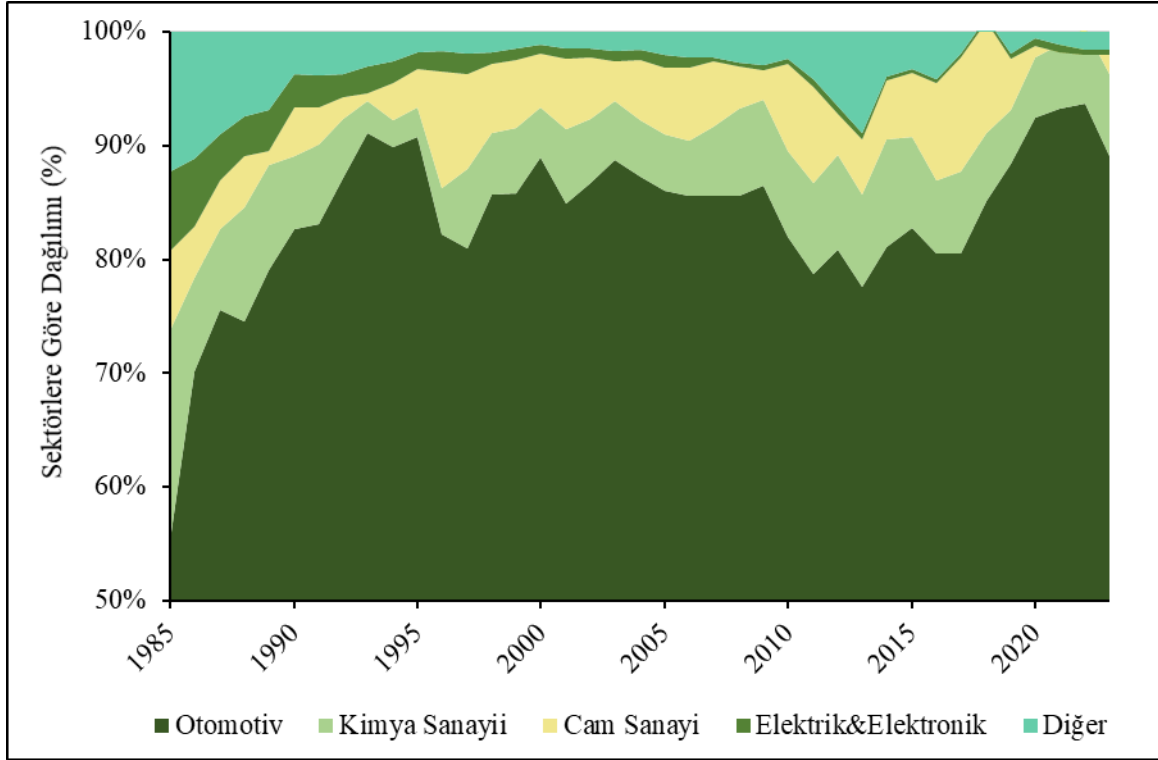


Şekil 33. Yıllar İtibariyle Ülkelerin Birincil Rodyum Üretim Oranları (2012-2023).

artışlar 2020'ye kadar sürmüştür. 2020'den sonraki senelerde toparlanma görülmemiştir. Buradan ikincil platin ve paladyum üretimlerinin oranlarına da bakarak; ikincil rodyum üretiminin had seviyelerine ulaştığı fikri çıkarılabilir (Şekil 22).

Rodyum tüketim verileri 1985 yılından itibaren elimizde mevcuttur. 1985 yılında otomotiv sektöründe %55,3, kimya sektöründe %18,4, elektrik/elektronik sektöründe %7, cam sanayiinde %7 ve diğer sektörlerde %12,3 olarak gerçekleşmiştir. Otomotiv sektöründe hemen ertesi sene %70'in üzerine çıkmış ve 1993 yılında %91 ile rekor kırmıştır. Daha sonraki yıllar boyunca %77'nin üzerindeki oranla dalgalı bir seyir izlemiştir. 2022 yılında rodyum tüketiminde en yüksek oran, %93,7 ile otomotiv sektöründe oluşmuştur. Bütün zamanların rodyum tüketim ortalaması %83,7'dir. Kimya sanayiinde 1985 yılında %18,4 olan tüketim, 2023'te %7,3 olmuştur. Bu dönemde 1988'de %10 ve 2014'de %9,5 oranında tepe noktası oluşturarak tüketim gerçekleşmiştir. Ortalaması %6,6 olan kimya sektöründeki rodyum tüketimi, söz konusu yıllarda çok dalgalı bir seyir takip etmiştir. 2023 yılında %4,8 oranla cam sanayiindeki rodyum tüketimi, 1996 yılında %10,3 ile zirve noktasına ulaşmıştır. Bu dönem içerisinde dalgalı bir tüketim görülmüştür. Bazı yıllarda (2020-2021) stok satışları gerçekleşen rodyum tüketiminin cam sanayiindeki ortalaması, %4,8'dir. 1985'te %7 olan elektrik/elektronik sanayiindeki rodyum tüketimi yıllar içerisinde mütemadiyen azalarak 2023'de %0,5 seviyelerine inmiştir (Şekil 34).

Rodyum tüketiminin bölgelere göre dağılımına yönelik veri bulunmamaktadır.



Şekil 34. Dünya Rodyum Tüketiminin Sektörlere Göre Dağılımı (%) (1985-2023).

4.1.4. Dünya rutenyum üretim ve tüketim miktarları

PGM'lere ait verileri aldığımız JM'nin sitesinde rutenyuma ait veriler 2015 yılından günümüze kadar mevcuttur (Tablo 8). Aynı sitede bu üretimleri yapan ülkeler ile ilgili detay bulunmamaktadır.

Rutenyum üretimi 2015 yılında 29,9 ton olarak gerçekleşmiştir. 2018 yılında 41,6 tona kadar çıkmıştır. 2019 ve 2020 yıllarında yaklaşık 2015 seviyelerine dönmüştür. Salgının ertesi yılı son yılların en büyük üretimi gerçekleşmiştir. Daha sonraki iki yılda üretim azalarak 29,6 ton seviyesine gerilemiştir.

USGS'nin kaynaklarına göre rutenyum üretimi Kanada, Rusya, Güney Afrika ve Zimbabve tarafından yapılmıştır. Bu kaynaktaki en son 2019 yılına ait verilere göre yapılan hesaplamada; en yüksek üretimi %91,7 ile Güney Afrika, daha sonra sırasıyla Rusya %4,2, Zimbabve %2,5 ve Kanada %1,6 olarak gerçekleştirmişlerdir [29]²⁷.

İkincil rutenyum üretimine dair veri bulunamamıştır.

Tablo 8. Yıllar İtibariyle Dünya Rutenyum ve İridyum Üretimi (ton) (2015-2023) [12].

Ülkeler	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Rutenyum	29,9	31,4	41,4	41,6	28,5	29,9	45,7	31,1	29,6
İridyum	7,4	8,5	7,9	7,3	7,3	7,3	7,2	6,9	7,0

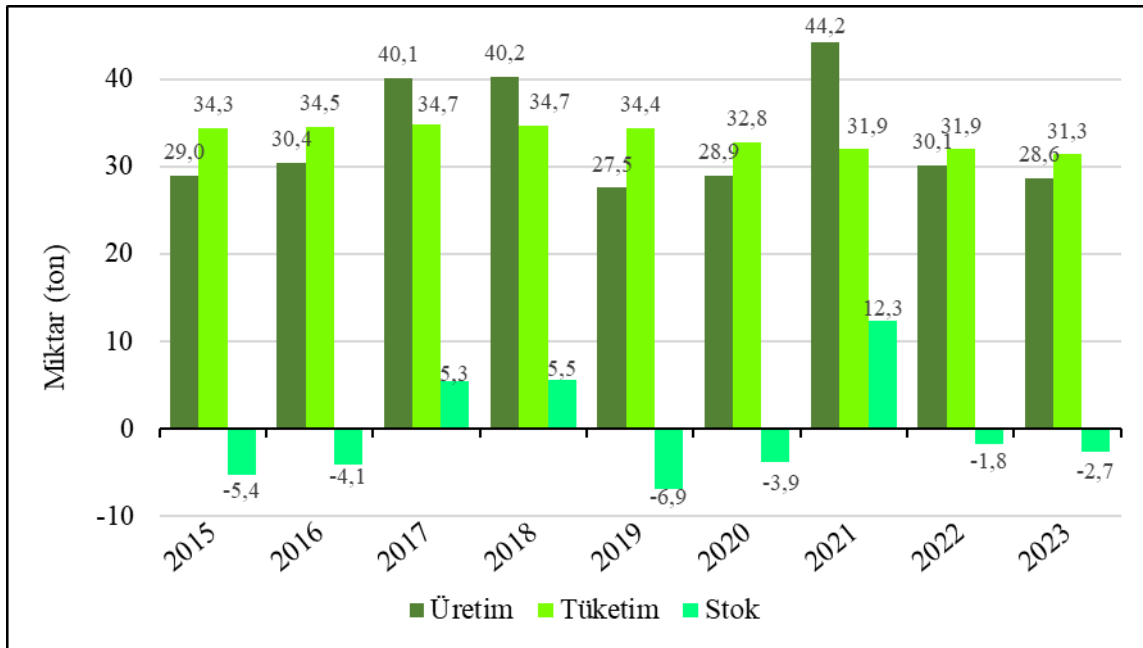
²⁷ JM ve USGS'nin veri derlemeleri kıstasları farklı olduğundan oran verilmekle yetinilmiştir (RC).

2016 yılında rutenyum çubuklarının piyasaya çıkması, Güney Afrika'nın 2013'ten itibaren stokları boşaltmaları ve 2017'de Çin pazarının büyümesine paralel olarak 2017 ve 2018 yıllarında üretim artışı yaşanmıştır (Şekil 47).

Rutenyum talebi, salgın sonrasında -ekonomi toparlandıkça- elektrik ve kimya sanayi talebinin ılımlı şekilde iyileşmesi neticesine bağlı olarak daha güçlü bir şekilde 2021 yılına yansımıştır. Bazı sabit disk sürücü (HDD) üreticilerinin rutenyumu kullanmaktan vazgeçmeleri (2015'den itibaren) sebebiyle HDD talebi sabit kalmış, ancak diğer elektrik/elektronik uygulamaları talebi yükseltmiştir. Rutenyum arzı aynı yıl toparlanmıştır. Rutenyumun %90'ını üreten Güney Afrika arzının biraz toparlanmasına rağmen stoklarla çalışılması sebebiyle hemen ertesi sene (2023) üretim önemli bir şekilde düşmüştür [31] (Şekil 35).

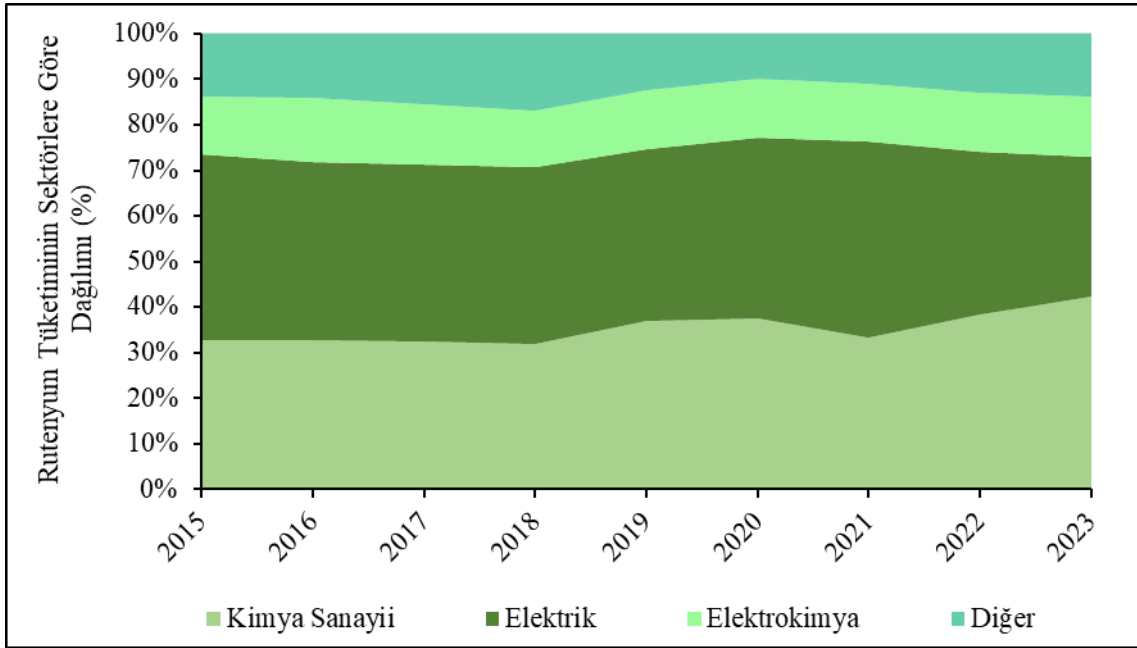
Rutenyum tüketimi veriler 2015 yılından itibaren bulunmakta olup Şekil 35'teki grafik üzerinde verilmiştir. Son dokuz senedeki ortalama rutenyum tüketimi 33,4 ton olarak gerçekleşmiş olup 31,3 ton ile 2023'de en düşük, 34,7 tonla 2017'de en yüksek tüketim yapılmıştır. 2015-2023 yılları arasında tüketim genelde birbirine yakın şekilde gerçekleşmiştir.

Rutenyum tüketimi; 2023 yılında %42,4 ile kimya sanayii, %30,7 ile elektrik, %13,2 ile elektrokimya ve %13,8 ile diğer sektörlerde yapılmıştır. 2015 yılında aynı sektörlerde tüketim sırasıyla; %32,8, %40,9, %12,5, %13,9 olmuştur. 2015'de yaklaşık %41 olan elektrik sektörünün tüketimdeki payı dokuz yıllık süreçte düzgün eğimle yaklaşık %25'lik



Şekil 35. Yıllar İtibariyle Dünya Rutenyum Üretim, Tüketim ve Stok Miktarı (ton) (2012-2023).

azalma göstermiştir. Yalnız 2021 yılında bu süredeki en yüksek oran olan %42,9 gerçekleşmiştir. Bu duruma 2017'den sonra artan Çin ve Hong Kong alımlarının etkisi olmuştur (Şekil 47). 2015'de ikinci pozisyonda bulunan kimya sektörü 3-4 yıl hemen hemen sabit kalmış 2019'dan sonra artış göstermiştir. Elektrokimya sanayiindeki tüketim %12,5-14 aralığında yıldan yıla değişmiştir (Şekil 36).



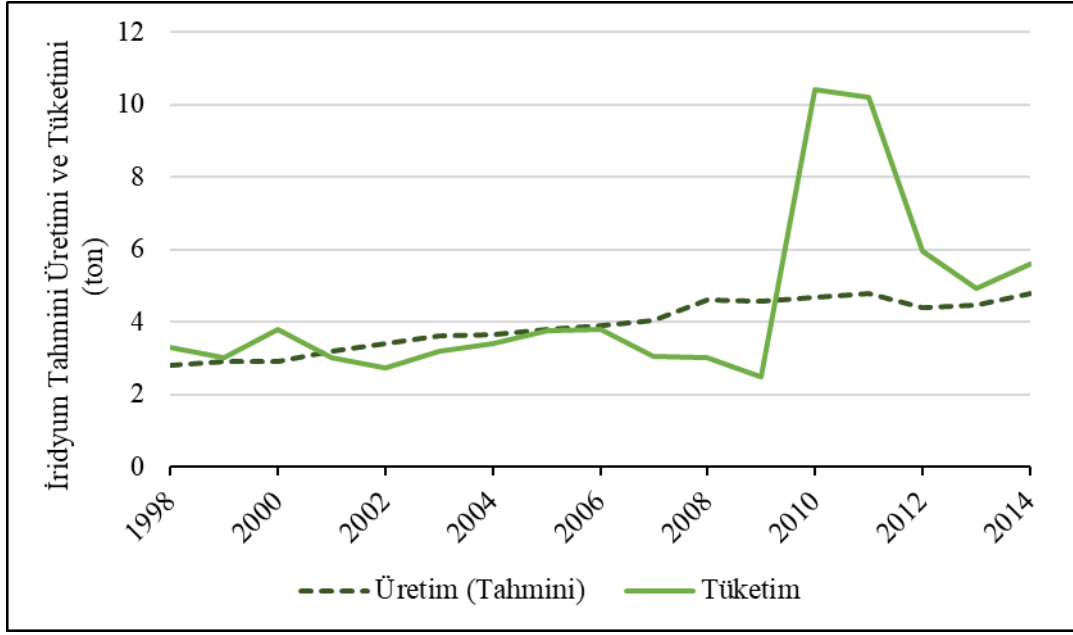
Şekil 36. Dünya Rutenyum Tüketiminin Sektörlere Göre Dağılımı (%) (2015-2023).

4.1.5. Dünya iridyum üretim ve tüketim miktarları

İridyum üretim ve tüketimine dair 2015'ten önceki yıllara haiz sağlıklı veriler bulmak mümkün olmamıştır. Çeşitli çalışmalardan derlenen farklı veriler bağdaştırılmaya çalışılmıştır. Bundan dolayı 2015 öncesi ve sonrası şeklinde ayrı grafikler şeklinde verilmiştir.

Güney Afrika'da platin madenciliğinin yan ürünü olan iridyumun geleceği de platin üretimine paralel şekilde platin üretiminin güvencesi altındadır. Güney Afrika, her yıl çıkarılan iridyumun %90'ından fazlasını üretmektedir [32].

Küresel iridyum üretiminin 2007 yılında 4 ton olduğu dair bilgi literatürde bulunmaktadır. Şekil 37'de görüldüğü üzere son on yılda artan bir eğilim göstermektedir [33]. İridyum talebinin 2009'da 2,5 ton civarından 2010'da 10,4 tonlara kadar çıkmasının nedeni; elektronik ile ilgili uygulamalardaki 0,2 ton olan kullanımın, 6 tona kadar yükselmesiyle açıklanmaktadır [34]. 2010 yılındaki önemli artış, LED ekranlara olan olağanüstü artan

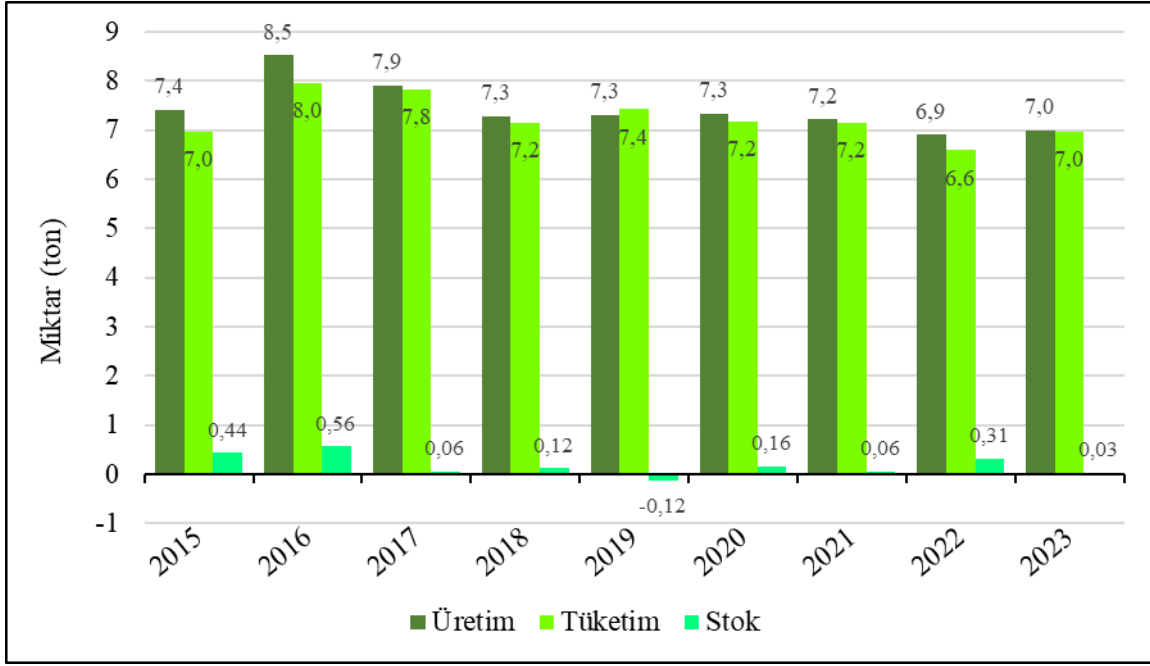


Şekil 37. 2015 Öncesine Ait Dünya İridyum Tahmini Üretimi ve Tüketimi (ton) (1998-2014).

talepten kaynaklanmıştır (Şekil 48). Böylece, 2010 ve 2011 yıllarında elektronik uygulamalarına yönelik yoğun bir iridyum stoku ortaya çıkmıştır. Aynı zamanda, elektrokimyasal uygulamalardaki iridyum talebi 2 t/yıl civarında nispeten stabil kalmıştır. PGM üretimi sırasında iridyum içeriği her madende farklılık göstermesine rağmen iridyum ortalamasının yaklaşık %1 civarında olduğu anlaşılmaktadır. PGM üretimi rakamları göz önüne alınarak önceki yıllara ait Dünya yıllık iridyum üretimi tahmin edilmiştir. 1990-2013 döneminde tahmini iridyum üretiminin 2,2-4,9 ton aralığında olabileceği hesaplanmıştır [33]. İridyum üretimine yönelik olarak Statista'nın²⁸ verilerine bakıldığında; 2019'da Dünya çapında 6,8 ton (242 bin ons) iridyum üretilmiştir [16]. İridyum üretiminin 2022 yılındaki platin üretimine (190 ton) paralel olarak 7,5 ton olacağı tahmin edilmiştir [15] (Şekil 38, Şekil 37). 2022 yılında üretilen 167,5 ton platine karşılık (Tablo 5) 6,9 ton iridyum üretilerek yukarıdaki orana stokla birlikte yaklaşıldığı görülmektedir.

Yukarıdaki paragrafta verilen literatür bilgileri iridyum üretimine yönelik fikir vermektedir. Bu bilgilerin yanı sıra çalışmanın genelinde PGM verilerine yönelik kullanılan JM'nin sitesinde iridyuma ait veriler 2015 yılından günümüze kadar mevcuttur (Tablo 8). Aynı sitede bu üretimler ile ilgili ülkeler bazında detay bulunmamaktadır. 2015 -2023 yılları arasında 2016 yılında 8,8 tonla en çok, 2022 yılında 7,1 tonla en düşük iridyum üretimi yapılmıştır. Bu süre zarfındaki üretim ortalaması 7,7 tondur (Şekil 38).

²⁸ Pazar ve tüketici verilerinde uzmanlaşmış Hamburg merkezli bir Alman şirketi.



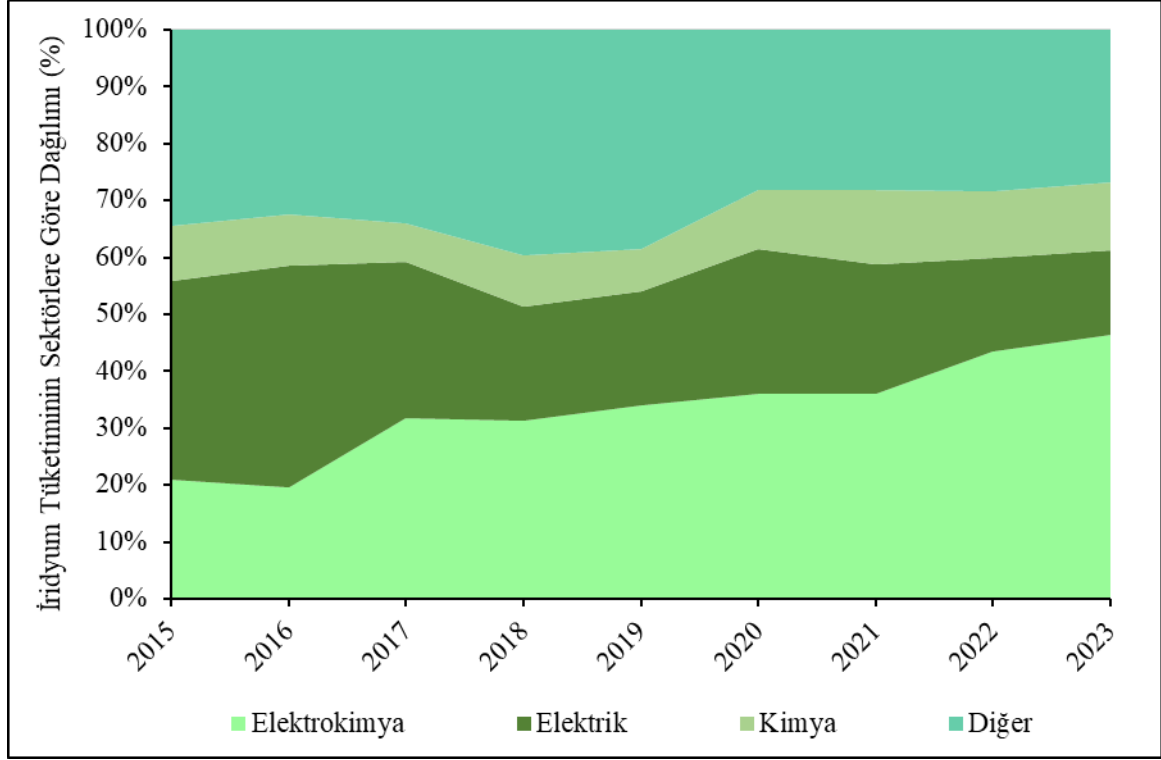
Şekil 38. Yıllar İtibariyle Dünya İridyum Üretim, Tüketim ve Stok Miktarı (ton) (2012-2023).

JM'nin sitesinde de ülkeler temelinde ayrıntı bulunmamaktadır. USGS'nin kaynaklarına göre iridyum üretimi Kanada, Rusya, Güney Afrika ve Zimbabve tarafından yapılmıştır. Bu kaynaktaki en son 2019 yılına ait verilere göre yapılan hesaplamada; en yüksek üretimi %82,9 ile Güney Afrika, daha sonra sırasıyla Zimbabve %10,7, Rusya %3,8 ve Kanada %2,6 olarak gerçekleştirmişlerdir [29]²⁷.

Dünya iridyum tüketimi verileri Şekil 38'de grafik üzerinde verilmiştir. 2015-2023 dönemi içerisinde 2016 yılında 8 ton ile en çok üretim gerçekleştirilmiştir. Ortalama tüketim 7,2 ton olup iridyum tüketimi birbirine yakın miktarlarda olmuştur.

Dünya iridyum tüketimi 2023 yılında en çok elektrokimya sanayiinde gerçekleşmiş olup toplam üretimin %46,4'ü kullanılmıştır. 2015 yılında bu sektörde %21 olan tüketim, 2023 yılına kadar iki misliden fazla artış göstermiştir. Bu artışta klor alkali prosesinde²⁹ kullanılan elektrot talebinin 2016'da artmaya devam etmesinin olduğu varsayılmaktadır (Şekil 48). 2023'te %14,7 ile en çok kullanılan ikinci alan olan elektrik sektörü, 2015 yılında %34,8 ile en yüksek tüketime sahip olmuştur. Kimya sanayii ise 2015'te %9,8 iken artış göstererek 2023'te %12,1 düzeyine ulaşmıştır (Şekil 39).

²⁹ Kostik soda üretimi.



Şekil 39. Dünya İridyum Tüketiminin Sektörlere Göre Dağılımı (%) (2015-2023).

4.1.6. Dünya osmiyum üretim ve tüketim miktarları

Osmiyum, nikel ve platin madenciliğinin yan ürünü olarak çok küçük miktarlarda ekstrakte edilmektedir. “Heraeus Precious Metals”e (HPM)³⁰ göre dünya çapında yıllık osmiyum üretimi 150-1.000 kg arasında değişmektedir [17]. Osmiyum üretimiyle ilgili literatürde detaylı veri bulunmamaktadır. Yalnızca 2018 yılında 1,5 tonu Güney Afrika ve 0,17 tonu Kuzey Amerika olmak üzere toplam 1,67 ton üretim yapıldığına dair literatürde veri yer almaktadır [13].

4.2. Türkiye Platin Grubu Metallerinin Üretim ve Tüketim Miktarları

Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü’nün³¹ verilerine göre Türkiye’de platin grubu metalleri üretimi bulunmamaktadır.

Ülkemizin PGM tüketim miktarları konusunda literatürde veri bulunamamıştır. İthalat ve ihracat verilerinden hareketle tüketime ilişkin fikir oluşturulabilmesine yönelik bir çalışma yapılmış; fakat sonucun sağlıklı olduğu kanaati oluşmadığı için sunulmamıştır.

³⁰ Rafineri, geri dönüşüm, kıymetli metal ticareti, istatistikler vb. konularla ilgilenen bir şirket (RC).

³¹ [https://www.mapeg.gov.tr/Custom/Madenistatistik] sitesinde “Maden Üretim Değerleri” başlıklı kısımdan 21.08.2024 tarihinde alınmıştır.

4.3. Dünyada Platin Grubu Metalleri Üretimi Yapan Şirketler

Dünya genelinde birçok önemli şirketin PGM ile ilgilenmesi nedeniyle platin grubu metal piyasasındaki şirketlerin çok fazla olduğu izlenimi oluşmaktadır. Piyasaya yeni girecek şirketler, piyasada daha eski, güçlü, marka bilinirliğine sahip ve yüksek dağıtım ağlarını haiz şirketlerin yoğun rekabetine maruz kalmaktadır [35].

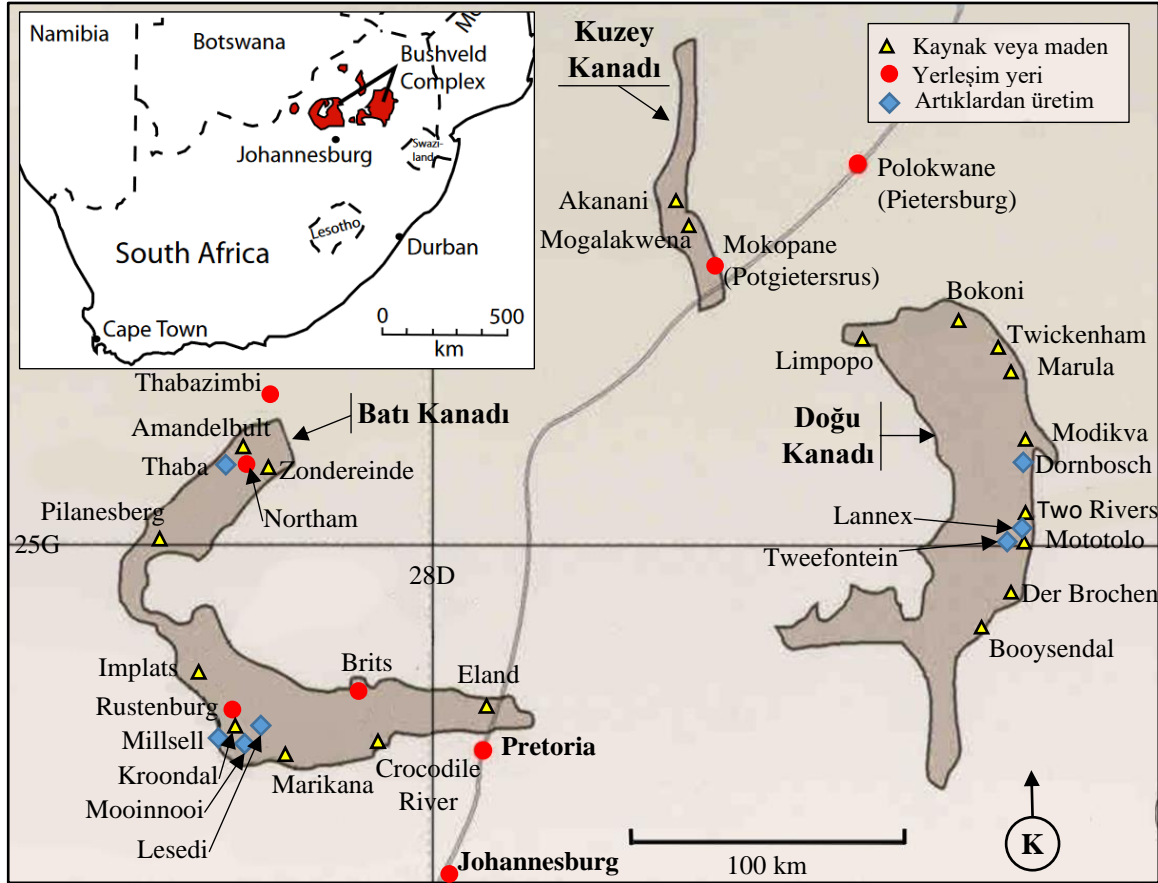
Bu önemli şirketlerin çoğunluğu, zengin PGM yatakları nedeniyle merkezleri Güney Afrika'da veya Güney Afrika'da önemli maden yatırımlarına sahip bulunmaktadır. Şirketler pazarda etkili olabilmek için; çeşitli genişleme stratejileri, ortaklıklar, birleşmeler ve satın almalar, ürün yelpazelerini genişletmeye yönelik yatırımlar ve yeni teknoloji araştırmalarında kendilerini geliştirmeye devam etmektedirler.

Bu alanda çalışan firmalar: “Platinum Group Metals Market” sitesinde Anglo American Platinum Limited³², BASF SE (Kimyasallar, analiz, geri dönüşüm), Heraeus (Rafineri, geri dönüşüm yatırım, menkul kıymetler, standartlar), Nornickel, Sibanye-Stillwater, Lonmin plc (Marikana Madenini Sibanye-Stillwater 2012’de satın aldı, yatırım ve menkul kıymet), Umicore (Geri dönüşüm), Johnson Matthey (Kimyasallar, ticaret, geri dönüşüm), Dowa Holdings (Geri dönüşüm), TANAKA Precious Metals (Kimyasallar, yatırım, menkul kıymetler), Impala Platinum Holdings Limited, Materion (Kimyasallar, metalürji) [35]; ilave olarak “Mordor Intelligence” sitesinde ise African Rainbow Minerals Limited [36]; Mudd makalesinde ise yine ilave olarak Northam Platinum Holdings Ltd., Aquarius Platinum (2016’da Sibanye Gold satın aldı), Eastern Platinum (EastPlats) [26] sayılmaktadır. Bu çalışmada üretim yapan büyük firmalara değinilecektir.

“Anglo American Platinum (AAP)” platin, paladyum, rodyum, iridyum, rutenyum ve osmiyum dahil olmak üzere tüm PGM yelpazesinde hammadde ve yarı mamul üretmektedir. Şirket; Bushveld Kompleksi'nde toplam üç madencilik faaliyeti yürütmektedir: Mogalakwena madeni, Dishaba ve Tumela madenlerinden oluşan Amandelbult kompleksi; Mototolo madeni, Twickenham Projesi ve ayrıca Mototolo'ya bitişik Der Brochen'de de maden ruhsatları bulunmaktadır (Şekil 40)³³. Bunlardan başka AAP, Zimbabve'deki Unki Platinum Madeninin de sahibidir [37]. APP'nin “amiral gemimiz” diye tabir ettiği Mogalakwena Madeni, Güney Afrika'nın kuzeydoğusundaki Limpopo Eyaletinin Batı kesiminde bulunan Waterberg Bölgesindeki Mokopane kasabasının yakınında yer

³² Parantez içinde çalıştıkları alanlar belirtilmeyen firmalara ait teferruat aşağıda verilmiştir (RC).

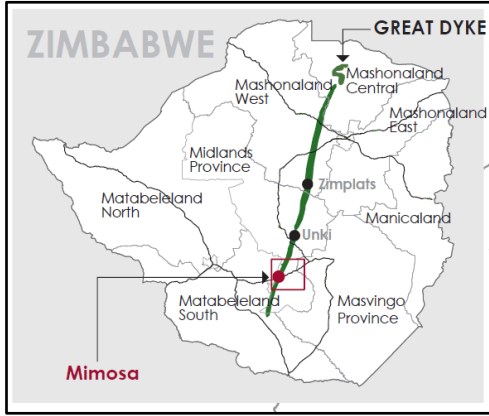
³³ Kroki, çeşitli kaynaklardan faydalanılarak ve birleştirilerek çizilmiştir (RC). Krokinin sol üst kısmında bulunan Güney Afrika taslağı ise [https://en.wikipedia.org/wiki/Bushveld_Igneous_Complex#/media/File:Bushveld_Igneous_Complex.png] sitesinden 04.10.2024 tarihinde alınmıştır.



Şekil 40. Güney Afrika'nın Madenleri, Projeleri ve Bushveld Kompleksini Gösterir Kroki.

almaktadır. 1993 yılında açılan maden, dünyanın en büyük açık ocak platin madeni olup işletme maliyetlerinin halihazırda sektördeki en düşük maliyetler arasında yer aldığı belirtilmektedir [38]. Açık ocak olarak işletilen madenin ömrü 21 yıldır. Toplam kaynak 3,4 milyar ton ve metal içeriği 272,4 milyon onstur (4E) (8.472 t). APP'nin Güney Afrika'daki diğer yatırımı Amandelbult Kompleksi, Güney Afrika'daki Bushveld Kompleksi'nin Kuzeybatı kanadında, Northam ve Thabazimbi kasabaları arasında, Limpopo'dadır. İki madeni vardır: Tumela ve Dishaba (yer altı işletmeleridir). Amandelbult Komleksinden 4E üretildiği, toplam kaynağın 397,8 milyon ton olduğu ve 76,9 milyon ons (2.392 t) metal içerdiği belirtilmiştir. Maden kompleksinde UG2 resifinde çalışılmakta ve ton başına %14-18 arasında kromit konsantresi elde edilmektedir. Dishaba madeninin 21 yıldan fazla ve Tumela madeninin 14 yıl ömrü olduğu bildirilmiştir. Şirketin Zimbabwe'deki Unki Madeni Great Dyke'ta, Gweru kasabasının 60 km güneydoğusunda yer almaktadır (Şekil 41)³⁴. Unki

³⁴ Şekil, [<https://www.sibanyestillwater.com/business/southern-africa/pgm-operations/>] sitesinden 06.09.2024 tarihinde alınmıştır.



Şekil 41. Zimbabve Madenleri, Projeler ve Great Dayk'ı Gösterir Harita.

madeni mekanize pano topuk³⁵ yöntemiyle işletilmektedir. Maden ömrü 22 yıldır. Unki madeninin toplam 223,9 milyon ton kaynak ve 30,1 milyon ons (4E) (936 t) metal olduğu açıklanmıştır. Güney Afrika'daki sahip oldukları başka bir maden -Mototolo Madeni- Limpopo eyaletinde Burgersfort kasabasının 30 km batısındadır. Rezerv ömrü 2019'da 5 yıldan 16 yıla çıkartılan maden, mekanize pano topuk yöntemiyle çalıştırılmaktadır. Böylelikle toplam

kaynak 15,4 milyon ton ve rezerv 4E olarak 1,4 milyon ons (44 t) artmıştır. Twickenham Madeni, Bushveld Kompleksi'nin Doğu kanadında, Bokoni Madeninin hemen güneydoğusunda ve Burgersfort kasabasının yaklaşık 35 km kuzeybatısında yer almaktadır. Bu maden de toplam kaynak Merensky resifinde 301,4 ve UG2 resifinde 348,2 milyon ton, 4E metal içeriği ise 49,4 milyon ons (1.536 t) ve 67,3 milyon ons (2.093 t) olarak verilmiştir. Der Brochen Projesi, Bushveld Kompleksi'nin Doğu kanadının güney kısmında, Steelpoort kasabasının yaklaşık 40 km güneyinde ve Lydenburg'un batısında yer almaktadır. Fizibilite çalışmalarının devam ettiği projede toplam kaynak Merensky resifinde 175 milyon ton ve UG2 resifinde 358,5 milyon ton, 4E metal içeriği ise 25,7 milyon ons (799 t) ve 45,9 milyon onstur (1.427 t) [39].

Ayrıca AAP'nin birkaç stratejik ortaklık girişimi olarak; "African Rainbow Minerals Mining Consortium Limited (ARM)" ile Modikva platin madenini (%50 ortaklıkla), "Sibanye-Stillwater" ile Kroondal madenini (%50), "Atlatsa Resources Corporation" ile Bokoni platin madenini (%49) işletmektedir [37].

Modikva Platin Madeni, Güney Afrika'nın Mpumalanga ve Limpopo eyaletlerinin sınırında, Burgersfort'un yaklaşık 15 km kuzeyinde ve Steelpoort'un 15 km kuzeybatısında yer almaktadır. 22 yıl ömrü olduğu belirtilen maden, yer altı işletmesidir. Merensky ve UG2 resiflerinde sırasıyla 107 ve 132,9 milyon ton kaynak, 9,9 ve 25,7 milyon ons (308 ve 799 t) metal bulunmaktadır.

Kroondal madeni, Kuzeybatı eyaletinde, Rustenburg kasabasının 12 km dışında ve Johannesburg'un yaklaşık 120 km kuzeybatısında yer almaktadır. 5 yıllık ömrü bulunan

³⁵ Orijinalinde "Mechanized bord and pillar" şeklinde geçen yer altı maden işletme yöntemi, oda-topuk yönteminden farklı olarak büyük panolarda odalar kadar büyük olmayan ve araçların geçebileceği genişlikte birbirini kesen yollar açılarak yapılan çalışma yöntemini ifade etmektedir (RC).

maden mekanize pano topuk yöntemi ile çalıştırılmaktadır. Kroondal madeni UG2 resifinde 6,1 milyon ton toplam kaynak ve 0,5 milyon ons (15 t) 4E metal içermektedir.

APP'nin Güney Afrika'da iş birliği yaptığı başka bir maden olan Bokoni, Limpopo'da, Polokwane kasabasının 80 km güneydoğusunda yer almaktadır. Merensky resifinde 169,7 milyon ton kaynak ve 27 milyon ons (840 t) metal; UG2 resifinde 228,1 milyon ton kaynak ve 48,1 milyon ons (1.496 t) metal içeriği olduğu belirtilmektedir [39].

“Sibanye Stillwater (SS)” Güney Afrika'da Kroondal, Rustenburg ve Marikana'da ve Zimbabwe'de Mimosa'da (Implats ile %50 ortak girişim) yeraltı madencilik faaliyetlerini yürütmektedir. Ayrıca, PGM'leri ve kromu kazanabilmek için Rustenburg yakınlarındaki “Platinum Mile” tesisi de bulunmaktadır. Şirket tarafından 2023'de 1,67 milyon ons (52 t) 4E PGM üretimi yapılmış olup 2023 sonu itibarıyla 4E kaynak olarak 180,2 milyon ton ve rezerv olarak (projeler dahil) 28,1 milyon ons (874 t) belirtilmiştir. Şirket, 15 bin kişinin üstünde istihdam sağlamaktadır.

Rustenburg, Güney Afrika'nın Kuzeybatı Eyaletindeki Rustenburg kasabasının kuzeydoğusunda, Bushveld Kompleksi'nin Batı kanadında yer alan sığ ile orta derinlikte bir PGM işletmesidir ve Johannesburg'un yaklaşık 120 km kuzeybatısındadır. Rustenburg madeni, Siphumelele1, Khuseleka1 ve Thembelani1'de üç orta derinlikte dikey şafttan oluşan geleneksel madencilik yöntemi, Bathopele'de eğimli şaftlarla sığ mekanize pano topuk madencilik yöntemiyle işletilmektedir. 2023 tarihi itibarıyla Rustenburg'un toplam 4E mineral rezervi 9,3 milyon ons (289 t) ve 4E mineral kaynağı 60,4 milyon onstur (1.878 t).

Marikana (Western Platinum Limited ve Eastern Platinum Limited), Güney Afrika'nın Kuzey Batı eyaletindeki Rustenburg kasabasının 40 km doğusunda, Marikana bölgesinde bulunan büyük, yerleşik, sığ ile orta derinlikte bir PGM madencilik kompleksidir. Merensky ve UG2 resiflerinde ortalama 500 m derinlikte eş zamanlı olarak çalışılmaktadır. Marikana'nın şu anda faal beş adet kuyusu bulunmaktadır. 2023 itibarıyla Marikana'nın 16,5 milyon onsluk (Mons) (513 t) 4E PGM mineral rezervi ve 111,1 Mons'luk (3.455 t) 4E PGM mineral kaynağı vardır. Bu tahminlere atıklar da dahildir.

Şirketin ayrıca Bushveld Kompleksinde Akanani ve Limpopo projeleri bulunmaktadır. Bu projelerde 51,1 Mons'luk (1.589 t) 4E mineral kaynağı bulunduğu belirtilmektedir [40].

“African Rainbow Minerals (ARM)” Güney Afrika'da APP ile yaptığı iş birliği haricinde NorNickel ile de ortaklık yapmaktadır. Nkomati, Johannesburg'un 300 km doğusunda, Güney Afrika'nın Mpumalanga Eyaletinde yer almaktadır. Bakır, kobalt ve PGM'ler de içeren nikel konsantresinin Güney Afrika'da üretildiği tek madendir. Nkomati de ayrıca krom konsantresi de üretilmektedir. Nkomati yatağı, dissemine bakır-nikel sülfür

cevherlerinden oluşmaktadır. Şirket, nispeten daha yüksek krom içeriğine sahip peridotit kromit mineralizasyon bölgesine de sahiptir. 2020 yılında, nikel ve bakır ile birlikte 30 bin ons (0,9 t) paladyum ve 13 bin ons (0,4 t) platin üretilmiştir. 2021 yılında madenin bakıma alındığı [41] bilgisi bulunmakta olup madenle ilgili başka bilgiye ulaşılamamıştır.

“Northam Platinum (NP)” Güney Afrika'nın Bushveld Kompleksi'nde bulunan Zondereinde, Booyendal ve Eland olmak üzere tamamen kendisine ait üç maden ve ABD'de bir PGM geri dönüşüm tesisini işletmektedir. Grup ayrıca Zondereinde'de bir metalürjik kompleks çalıştırmaktadır. Şirket, yılda 1 milyon ons (31,1 t) 4E üretmeyi hedeflemiştir. Zondereinde madeni, Limpopo Eyaletindeki Thabazimbi kasabasının yaklaşık 30 km güneyinde, Bushveld Kompleksi'nin batı kolunun kuzey kısmında yer almaktadır. Madenin kaynakları 4E olarak 82,26 Mons (2.558 t), rezervi ise 13,92 Mons (433 t) 4E olarak bildirilmiştir. Zondereinde'ki faaliyetler yeraltı madenciliği, metalürji çalışmaları ergitme ve baz metallerin çıkarılmasını içeren bütünleşik bir sistemdir. Değerli metal rafinerisi dış firma tarafından yapılmaktadır. Booyendal maden sahası yaklaşık 17.950 hektarlık alanda ve 14,5 km'lik doğrultu boyunca uzanan ve batıya doğru 10° eğimli olan Merensky ve UG2 resiflerinde yer almaktadır. Maden Kaynakları 100,95 Mons (3.139 t) 4E, maden rezervleri 11,50 Mons (358 t) 4E olarak verilmiştir. Eland madeni, Güney Afrika'nın Kuzeybatı Bölgesinde, Johannesburg'un yaklaşık 70 km kuzeyinde ve Brits'in 12 km doğusunda, Bushveld Kompleksi'nin batı kolunun güneydoğu kısmında yer almaktadır. Maden rezervleri 3,47 Mons (108 t) 4E ve maden kaynakları 14,65 Mons (456 t) 4E olarak açıklanmıştır [42].

“Eastern Platinum (Eastplats, EP)” Dünyanın bilinen en büyük PGM kaynağı olan Güney Afrika'nın Bushveld Kompleksi boyunca yer alan platin grubu metalleri (PGM) ve krom üreticisidir. Crocodile River Madeni İşletmesi, Güney Afrika'nın Kuzeybatı Eyaletindeki Johannesburg'un 70 km kuzey-kuzeybatısında, Bushveld kompleksinin batı kolunda bulunan sığ, uzun ömürlü bir hibrit platin grubu madenidir. Eastplats'ın bu madeni geliştirme stratejisi olarak, Zandfontien yeraltı ocağı yeniden işletilmeye hazırlanmakta ve ilk üretimin 2024'te gerçekleşmesi beklenmektedir. Zandfontien yeraltı madeninin ömrü 22 yıldan fazla olup 1,7 milyon ons (53 t) 4E PGM mineral rezervine sahiptir ve yıllık üretim potansiyeli 50 bin onstur (1,56 t). Şirketin başka projesi olan Mareesburg, Güney Afrika'nın Limpopo Eyaletinde, Bushveld Kompleksi'nin doğu kanadının güney kısmında yer almaktadır. Çalışmalar devam etmektedir. Ayrıca bu şirketin Kennedy's Vale ve Spitzkop Projesi, Johannesburg'un 350 km kuzeydoğusunda, Bushveld Kompleksi'nin doğu kanadında bulunmakta ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir [43].

“Implats Group (IG)” Dünyanın önde gelen PGM üreticilerinden birisidir. Impala, Zimplats, Marula, Mimosa, Two Rivers ve Impala Canada olmak üzere altı şirket tarafından oluşmuş bir yapıdır ve merkezi Güney Afrika'nın Johannesburg kentindedir. Implats'ın madencilik faaliyetleri, Dünyanın en önemli iki PGM içeren cevher yatağı olan Güney Afrika'daki Bushveld Kompleksi ve Zimbabwe'deki Great Dyke'ta ve bunların yanı sıra Kuzey Amerika'daki “Canadian Shield”da yer almaktadır. Şirketin rafinerisi, Güney Afrika'nın Ekurhuleni kentindeki Springs'te bulunmaktadır [44]. Implat'ın rafinasyon işlemleri “Impala Refining Services (IRS)” tarafından yapılmaktadır. Implats, bünyesinde 70 binden fazla kişiyi istihdam etmektedir. Implats'ın toplam kaynaklarının 6E olarak 262,71 milyon ons (8.170 t) olduğu ve 2023 yılında 6E olarak yaklaşık 3 milyon ons (93 t) rafine ürün elde edildiği açıklanmıştır. Bu üretimin 1,36 milyon onsunu (42 t) platin, 1,05 milyon onsunu (33 t) paladyum ve 169 bin onsunu (5,3 t) rodyum; bunların yanı sıra 15 bin tonunu nikel ve kalan kısmını diğer PGM-Au oluşturmaktadır. Grup olarak; çevre açısından 2050 yılına kadar karbon nötrlüğünün hedeflendiği ve 2030 yılına kadar kullanılan suyun %70'inin geri dönüştürülmesinin planlandığı belirtilmektedir. Şirketin Güney Afrika ve Zimbabwe'deki madencilik faaliyetleri kısaca şöyledir:

Impala madeni Güney Afrika'daki Rustenburg yakınlarındaki Bushveld Kompleksi'nin batı kanadında dokuz şaftlı madencilik kompleksi ile cevher hazırlama ve rafine tesislerinden oluşmaktadır. Madenin ömrü 11 yıldır.

Impala Bafokeng, Impala'nın Rustenburg madencilik operasyonlarına bitişik, Pilanesberg Alkali Kompleksi'nin güneyinde, Bushveld Magmatik Kompleksi'nin Batı kanadındaki sığ cevher yatakları üzerinde faaliyet gösteren Rustenburg'un kuzeybatısında iki maden ve iki konsantratörden oluşmaktadır. Madenin ömrü 24 yıldır.

Marula, Güney Afrika'daki Bushveld Magmatik Kompleksi'nin nispeten az araştırılmış Doğu kanadında Burgersfort'un 35 kilometre kuzeybatısında, Limpopo Eyaletinde iki şaftlı maden ve bir konsantratör tesisinden oluşmaktadır. Marula konsantresi IRS tarafından çalıştırılmaktadır. Madenin ömrü 22 yıldır.

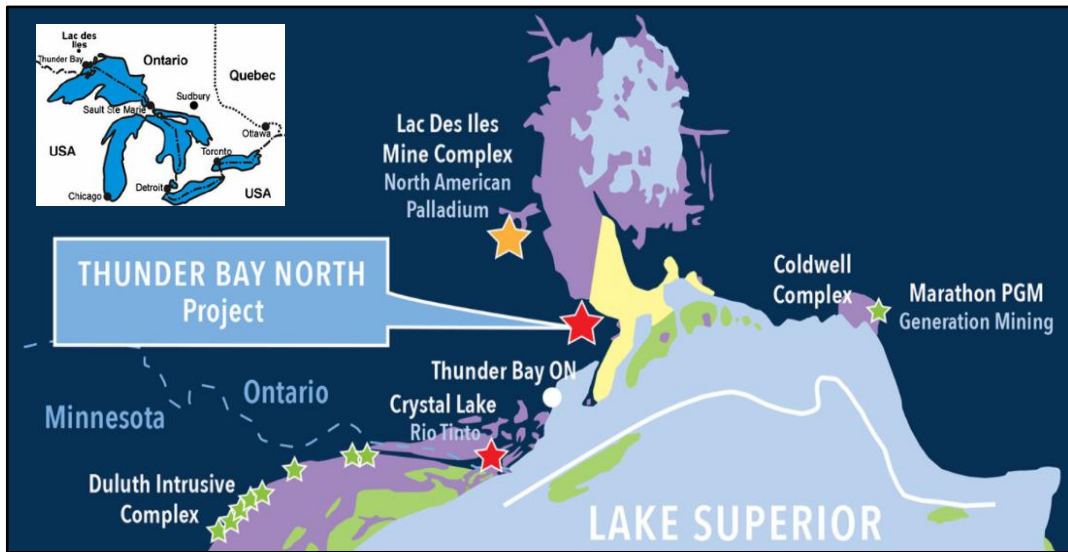
Two Rivers, African Rainbow Minerals (ARM) (%54) ve Implats (%46) arasındaki ortak girişimdir ve ARM tarafından yönetilmektedir. İşletme, Güney Afrika Mpumalanga'daki Burgersfort'un 35 kilometre güneybatısında, Bushveld Kompleksi'nin Doğusunun güney kısmındaki Dwarsrivier Farm'da iki şaftlı maden ve bir konsantratör tesisinden oluşmaktadır ve IRS ile maden ömrü boyunca rafine işlemleri yapma hakkına sahiptir. Maden ömrü 24 yıldır.

Zimplats'ın %87'si Implats'a aittir ve madencilik faaliyetleri Harare'nin güneybatısındaki Zimbabve Great Dyke'da yer almaktadır. Zimplats, Ngezi'de dört yeraltı madeni ve bir konsantratör kompleksi ile yeraltı işletmelerinin yaklaşık 77 kilometre kuzeyinde bulunan "Selous Metalürji Kompleksinde (SMC)" bir konsantratör ve bir ergitme ocağı bulunmaktadır. Maden ömrü 30 yıldır.

Mimosa, Implats (%50) ve Sibanye-Stillwater (%50) tarafından ortaklaşa yönetilmektedir. İşletmeler, Bulawayo'nun 150 kilometre doğusunda, Zimbabve Great Dyke'daki Wedza jeolojik kompleksinde yer almaktadır. İşletme, sıg bir yeraltı madeni ve bir konsantratörden oluşmaktadır. Maden ömrü 21 yıldır [45].

Diğer önemli bir kaynak Kuzey Amerika'da "Canadian Shield"de bulunmaktadır. Kanada'nın kuzeybatı Ontario Bölgesinde "North American Palladium" şirketine ait "Lac des Iles (ILD)" madeni 2019'da "Impala Platinum Holdings Limited (Implats Group)" tarafından satın alınarak kurulan "Impala Canada" şirketince yer altı ve açık ocak olarak çalıştırılmaktadır. Şirket, maden üretimini günlük 10 bin tondan 12 bin tona çıkarmış ve yeni bir kırma öğütme devresi için yaklaşık 30 milyon dolar yatırım yapmıştır. Şirket, bu madende 900'den fazla çalışan istihdam etmektedir. Madenin ömrü 5 yıldır (Şekil 42)³⁶ [44].

Rusya'daki PGM üretiminde söz sahibi olan, metal ve madencilik sektöründeki lider şirketi "Nornickel" yüksek kaliteli nikel ve bakır üreticisi olup aynı zamanda büyük miktarda paladyum ve platin üretimi yapmaktadır. Nornickel ayrıca kobalt, rodyum, gümüş, altın, iridyum, rutenyum, selenyum, tellür ve kükürt üretmektedir. 2020 yılında grubun



Şekil 42. Kuzey Amerika PGM Kaynakları, Duluth Kompleksini Gösterir Harita.

³⁶ Şekil, 03.10.2024 tarihinde [<https://www.tbnewswatch.com/local-news/mining-company-collaborates-with-thunder-bay-area-first-nations-3254086>] sitesinden alınmıştır.

kuruluşlarında 52 binden fazlası Krasnoyarsk Bölgesi'nde olmak üzere 72 binden fazla kişinin çalıştığı belirtilmektedir. 2018-2020 yıllarında şirket toplam 325 milyar ruble yatırım yapmıştır. Şirket, son beş yılda (2015-2020) zenginleştirmeden rafinasyona kadar tüm süreç zincirinde yeni üretim kapasitesi oluşturmuştur. Bu strateji, Norilsk'de bulunan eski ve daha az çevre dostu tesisleri devre dışı bırakırken belirli metallerin üretiminde %10 ve daha fazla bir artış sağlanmıştır. Sonuç olarak, şirket 2018-2020'de yıllık ortalama %8 oranında büyüme oranına ulaşırken Norilsk şehrindeki emisyonlar %35 oranında azaltılmıştır. 2030 yılına kadar, yapılan yatırımlarla cevher üretimi 2017'ye kıyasla %60'tan fazla artırılarak yılda 27-30 Mton'a, nikel ve bakır metal üretimi değer bazında %15-30 ve platin grubu metaller için değer bazında %30-40 artış sağlanacağı açıklanmıştır [46].

PGM yataklarının olduğu bilinen bir başka alan ise; ABD'nin Montana eyaletindeki Nye ve McLeod kasabalarının yakınında, denizden 2.700 m yükseklikte Beartooth Dağlarında bulunan ve yeraltı madenciliği ile işletilen yataklardır. ABD'deki bilinen tek önemli PGM kaynağı ve Dünyadaki en yüksek tenörlü PGM yatağı olan JM Resifindeki bu işletme, "Stillwater ve East Boulder" olarak bilinmekte ve "**Sibanye-Stillwater**" tarafından çalıştırılmaktadır. Madenlerden elde edilen cevher, her madende bulunan entegre konsantratörlerinde öğütülmekte ve işlenmektedir. Rafinasyon işlemleri, Montana Columbus'da bulunan rafineride yapılmaktadır. Stillwater madeninin iki ana panosu vardır: 1986'dan beri faaliyette olan Batı bölümünde konsantre olarak yılda yaklaşık 260-300 kilo ons (kons) (8,1-9,3 t) paladyum ve platin (%78 Pd ve %22 Pt) üretilmektedir. İnşa aşamasında olan Stillwater Doğu bölümündeki East Boulder madeni 2002'den beri faaliyettedir ve konsantre olarak yılda yaklaşık 160-200 kons (4,9-6,2 t) paladyum ve platin üretilmektedir. Bu bölgedeki 2E PGM mineral rezervi 26,3 Mons (817,9 t) ve toplam 2E PGM mineral kaynağı 87,8 Mons'dur (2.760 t) [47].

PGM artıklarını işleme amaçlı şirketler bulunmakta olup artıkları işlemeye yönelik 2001-2012 tarihleri arasında biri yapım aşamasında 10 adet tesisin tam üretimde ya da devreye alınma aşamasında bulunduğu bilgisi vardır. Bunlar: RK1 (Aquarius ve Sylvania ortak girişimi, 2001), Samancor Millsell (Sylvania, 2005), Samancor Steelpoort (Sylvania, 2006), Samancor Lannex (Sylvania, 2008), Samancor Doornbosch (Sylvania, 2009), Samancor Mooinooi (Sylvania, 2009), Phoenix Platinum (Pan Africa Resources, 2011), Samancor Tweefontein (Sylvania, 2012'nin 1. çeyreğinde açılması planlandı), Assmang Dwarsrivier (Assmang, 2012), Xstrata Thorncliffe (yapım aşamasında) [48]. Bunlardan "Phoenix Platinum Project" "Pan African Resources"un iştiraki olarak 2011'de faaliyete geçmiştir

(Başka bir kaynakta 2017'de Sylvania'a geçtiği belirtilmektedir)³⁷. Proje kapsamında Buffelsfontein barajlarından, Elandskraal ve Kroondal döküm sahalarından PGM üretilmesi planlanmıştır. Artıkları işlemek için yeni bir krom artıkları geri kazanım tesisi (CTRP, Chrome Tailings Retreatment Plant) inşa edilmiştir. Projeden ilk üretim Kasım 2011'de gerçekleştirilmiş olup yıllık 12.200 ons (0,38 t) üretim üzerinden 17 yıllık süre boyunca 212 kons (6,6 t) 4E üretilmesinin beklendiği açıklanmıştır [49] (Şekil 40).

4.4. Türkiye'de Platin Grubu Metalleri Üretimi Yapan Şirketler

Ülkemizde PGM üretimi yapan şirket bulunmamaktadır.

4.5. Platin Grubu Metalleri ile İlgili Uluslararası Birlikler (Kuruluşlar)

Avrupa Birliği'nin teşvikiyle “**CRM Alliance**” isimli, Avrupa ekonomisi için kritik hammaddelerin (CRM, Critical Raw Materials) önemine vurgu yapmak ve bu konuda Avrupa CRM politikası oluşturulmasını teşvik etmek amacıyla bu işle uğraşan sanayiciler tarafından kurulmuş birliktir. Bu birlik, Avrupa Komisyonu tarafından "kritik" olarak tanımlanan veya gelecekte bu şekilde tanımlanacağı düşünülen hammaddelerle (27 kritik hammadde) iştigal eden ticari birliklerden ve şirketlerden oluşmaktadır. Bu hammaddelerle ilgili olarak Avrupa Komisyonunun öncelikleri şunlardır; tedarik zinciri risklerinin en aza indirilmesi, ikameler konusunun piyasalara bırakılması, madencilik yatırım ortamının iyileştirilmesi, madenciliği geliştirmek için dış faktörlerin iyileştirilmesi, Avrupa Kritik Hammadde Enstitüsünün kurulması [11].

Platin ve paladyumun değerli metal olması sebebiyle 1987 yılında “**London Platinum&Palladium Market (LPPM)**” isimli birlik kurulmuştur. Adından da anlaşılacağı üzere İngiltere Londra merkezli birlik üyeleri arasında; üretici firmalardan rafinerilere, bu metallere yatırım yapan 19 ülkeden yatırımcı kuruluşlara, fonlara, bankalara, şirketlere ve bu metallere ilgilenen diğer birliklere kadar değişik üyelik durumuna sahip, 106 piyasa katılımcısının yer aldığı platformdur. Bu iki metalin yanı sıra rodyumu da bünyesine alan bu birlik, 1 Aralık 2014 tarihinden itibaren platin ve paladyum fiyatını belirleme sürecini Londra Metal Borsasına (London Metal Exchange, LME) devretmiştir. LPPM'nin uğraş konuları arasında: Platin ve paladyum ticaretini denetlemek; platin, paladyum ve rodyum standartlarını belirlemek; test işlemleri, akreditif analizler ve analitik yöntem karşılaştırmaları yapmak; üyeler arasında ticareti kolaylaştırmak, metallere yönelik

³⁷ “Sylvania” şirketinin zaman içerisinde artıklardan PGM kazanımı konusunda tekelleştiği izlenimi edinilmiştir (RC).

akreditasyon kurallarını oluşturmak gibi alanlar yer almaktadır [50].

“International Platinum Group Metals Association (IPA)” küresel platin grubu metaller endüstrisindeki Dünya çapında önde gelen madencilik, üretim ve imalat şirketlerini temsil eden kar amacı gütmeyen 12 üyeli birliktir. 1987'de kurulan birliğin merkezi Almanya Münih'tir. Teşkilatın temel amacı, üyeleri ve diğer firma ve kuruluşları arasında bilgi alışverişi için platform oluşturmaktır. Ayrıca IPA; mevzuat (emisyon kontrolü, geri dönüşüm, EHS³⁸, REACH³⁹ vb.), ticaret, sağlık güvenlik ve sürdürülebilir kalkınma gibi endüstriyle ilgili konuları izleyerek PGM endüstrisi için erken uyarı görevi gibi uğraşlarda bulunmaktadır. IPA, sektör ve paydaşlar için ortak olan konuları ele almak ve ilgili bilgileri üretmek amacıyla daimi olan “Güvenlik Komitesi” “Sağlık ve Çevre Bilimi Komitesi” ve “Sürdürülebilirlik Komitesi” özel çalışma gruplarıyla faaliyet yürütmektedir [51].

“The Minor Metals Trade Association (MMTA)” 1973'te kurulduğunda yedi elementi uhdesine alan birlik; günümüzde elementleri 49'a kadar genişlemiştir. Bunların arasında rutenyum, rodyum, osmiyum ve iridyum da bulunmaktadır. Bu metallerin birçoğu yenilenebilir enerji üretimi ve enerji depolama, elektrikli araçlar, bilgi teknolojileri, havacılık ve uzay, savunma gibi stratejik endüstriler için kritik hammaddeler olarak bilinmektedir. MMTA, bu metallerle ilgili endüstrideki tüketiciler, üreticiler veya hizmet veren şirketlerinden oluşan kar amacı gütmeyen birliktir. MMTA, çeşitli üyeleriyle birlikte ve onların adına kanuni ve düzenleyici değişiklikler gibi konularda bilgilendirme yapmak, üyelerinin önerileriyle politika belirlemek gibi faaliyetler yürütmektedir [52].

“Osmium World-Council” finans ve mücevher piyasalarında uzmanlığa sahip farklı ortaklardan oluşan bağımsız bir grup olup Almanya menşelidir. Kuruluş; mücevher üreticilerine milletler arası osmiyum tedarikinin sağlanması, değerli metal alanındaki dernekler ve madencilik şirketleri ile irtibat kurmak, osmiyum konusundaki uzmanlığın internet ve diğer medya aracılığıyla yayılması, osmiyum uzmanlığına sahip bilimsel platformların desteklenmesi, piyasa katılımcılarının kristal osmiyumla ilgili eğitimi, konseyin halkla ve osmiyum enstitüleriyle iletişim kurmak gibi vazifelere sahip olduğunu belirtmektedir [53].

³⁸ Çevre, sağlık ve güvenlik.

³⁹ Kimyasalların kaydı, değerlendirilmesi ve yetkilendirilmesi.

5. PLATİN GRUBU METALLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Cevher, ocaktan çıkarıldıktan sonra PGM içeren cevher kırılarak ve öğütülerek kayacın matrisinden serbestleşmesi sağlanır. Cevher daha sonra flotasyon yöntemi kullanılarak konsantre elde edilir. Flotasyon işlemi ile alınan konsantre tekrar öğütülür ve daha ileri işlemler için nikel-demir-bakır-PGM sülfür minerallerinden oluşan konsantre üretmek üzere yeniden yüzdürme işlemine tabi tutulur. En büyük PGM kayıpları, PGM mineralojisinin çeşitliliği nedeniyle flotasyon dahil cevher hazırlama işlemleri safhasında meydana gelir. Bu erken aşamalarda PGM kaybını azaltmaya yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

Elde edilen konsantre kurutulur ve ardından 1.500°C'yi aşan sıcaklıkta elektrik ark fırınında ergitilir. Eritme sırasında konsantre; değerli metalleri içeren bir mat ve silikat ile oksit bakımından zengin bir cüruftan oluşan iki katmana ayrılarak akışkan halini alır.

Ergitme işleminden sonra, PGM bakımından zengin mat, demir ve sülfürün giderilmesi için hava üflenen konvertörlere aktarılır. Konvertörden çıkan mat, baz metalleri seçici liç işlemiyle PGM'lerden ayırmak için baz metal rafinerisinde işleme alınır. Son aşama olan solvent ekstraksiyonu, çökeltme ve klorür çözeltileri kullanılarak çözündürme dahil olmak üzere çeşitli hidrometalurjik tekniklerle PGM rafinasyona tabi tutulur. Bu aşamada altı elementten oluşan PGM birbirinden %99,99'dan daha yüksek saflığa kadar ayrılır. Rafine edilmiş PGM'ler külçe, tane veya sünger olarak bilinen ince bir toz hali dahil olmak üzere çeşitli şekillerde üretilebilir.

Bushveld Kompleksi'nin krom bakımından zengin cevherleri, zenginleştirme esnasında başka zorluklar çıkarmaktadır. Cevherin yüksek krom içeriği sebebiyle ergitme için özellikle daha yüksek sıcaklıklara ulaşmayı gerektirmekte olup düşük sülfür içeriği hem mat viskozitesini artırmakta hem de oluşan mat miktarını azaltmaktadır. Bu handikapı aşmak amacıyla, PGM içeren yüksek kromlu cevherlere “ConRoast” olarak adlandırılan teknik uygulanmaktadır. “ConRoast” tekniğinde toplayıcısı olarak demir bazlı alaşım kullanılarak oluşturulan indirgeyici şartlardaki doğru akım ark ocağında kobalt, bakır, nikel ve PGM ergitilir; daha sonra ardından cevher, oksitleyici şartlar altında yüksek sıcaklıklarda kavruarak konsantredeki kükürt uzaklaştırılır [10].

Bushveld kompleksi Merensky resifindeki metal kazanım yöntemi ise aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır. PGM'lerle ilişkili mineraller arasında Pt₃Fe gibi Pt-Fe alaşımları, brajit, kuperit, monşeyit, laurit gibi sülfürler ve kotulskit gibi tellürlerin yanı sıra altın ve elektrum (Au_x Ag_y) bulunmaktadır. İlk adım, mineral konsantresi elde etmek için flotasyon işlemidir. Güney Afrika cevherleri için oksidasyon derecesine bağlı olarak %60 ila %90 oranında sülfür geri kazanılmaktadır ve PGM içeriği 100 ila 1000 g/t arasında değişmektedir.

Kurutmanın ardından 1.450-1.500°C'de pirometalurjik ayırma takip eder ve sonuçta Cu-Ni-Fe-S matı elde edilir. Sonraki aşamada, değerli metal rafinasyonuna gönderilmek üzere bir konsantre oluşturmak amacıyla; sırayla Ni, Cu, Fe ve ardından Se, As ve Te basınç, sıcaklık ve aşırı oksijen altında otoklavlarda sülfürik asitle liç işlemlerine tabi tutulur. PGM'leri ayrı ayrı elde etmek için son aşama; iyon değiştirme işlemleri, elektrolitik işlemler veya çözücüler kullanılarak seçici ekstraksiyona dayanmaktadır [13].

Duluth Kompleksinden (Minnesota) çıkarılan düşük tenörlü cevherler, ergitmeyi verimsiz kılan ve madeni ekonomik olmaktan çıkararak bir probleme sahiptir. Bu zorluğu aşabilmek üzere "Platsol" olarak bilinen yüksek sıcaklıkta klorür destekli basınçlı liç işlemi geliştirilmiştir. Bu yöntem, ergitme işlemine bir alternatiftir ve düşük tenörlü PGM cevherleri bu sayede işlenebilmektedir. Nikel-bakır-PGM cevheri konsantreleri, altının yanı sıra PGM'lerin de çözüldüğü oksitleyici bir ortamda otoklavda işleme tabi tutulur ve adsorpsiyon veya sülfür iyonları ile çökeltme yoluyla yapılan liç işleminden sonra doğrudan kazanılabilmektedir. Son olarak, baz metal sülfürler çökeltme, iyon değişimi veya solvent ekstraksiyonu yoluyla geri kazanılır.

Osmiyum ve iridyum konsantreleri benzer şekilde nikel ve bakır madenciliğinin yan ürünü olarak veya platin içeren cevherlerin izole edilmesi sırasında üretilmektedir. Bakır ve nikelin elektro-rafinasyonu sırasında gümüş, altın ve platin grubu metaller gibi soy metaller, selenyum ve tellür gibi metalik olmayan elementlerle birlikte anot çamuru olarak hücrenin tabanına çökelmekte ve buradan ekstre edilmektedir [34].

5.1. Artıklardan Platin Grubu Metalleri Üretimi

PGM'ler magmatik cevher yataklarının çıkarılması ve sonrasında zenginleştirilmesi sonucu atılan artık malzemede de kalabilmektedir. Cevherdeki metalin tamamını kazanmak imkansızdır. Örneğin, Rusya'daki Noril'sk-Talnakh bölgesindeki cevherlerin işlenmesi sonucu oluşan artıklardan bin ton civarında PGM kazanılabileceği ifade edilmektedir. Ayrıca depolanan pirotit konsantrelerinde ve demir cürufurlarından da ilave 100 ton PGM elde edilebileceği belirtilmektedir. Depolanan artık ürünlerdeki metallerin bir kısmı, uygun teknolojiler geliştirildiği takdirde geri kazanılabilir. Örneğin, Güney Afrika'daki Merensky Resifindeki madenlerinden çıkan artıkların yeniden işlenmesi için ultra ince öğütme teknikleri kullanılmaktadır [10].

Artıkları işleme yöntemi ise kısaca şöyle açıklanmıştır: Artıklar yoğunlaştırıcının ardından bir taşıma tankından geçirilir. Daha sonra besleme, ince parçacık boyutuna öğütülmek için değirmene gönderilir. Öğütülmüş malzeme, şartlandırma tankından kaba

yüzdürme tankına beslenir. Flotasyona beslenen malzeme, üç aşamalı temizleme işleminden geçer ve ardından konsantre yoğunlaştırıcısında işleme tabi tutulur. Son konsantre, platin ergitme tesisine gönderilir [49].

5.2. Platin Grubu Metallerinin İkincil Üretimi

PGM'ler benzersiz özellikleri ve nadir olmaları nedeniyle değerlidir. Bu nedenle geri dönüşüm, bu değerli kaynakların korunması ve pazar talebinin karşılanması açısından kritik öneme sahiptir. Uygulama alanına bağlı olarak birçok PGM geri kazanılabilir. İkincil PGM, geri dönüştürüldükten sonra birincil PGM ile tamamen aynı özelliklere sahiptir. Dolayısıyla bugüne kadar çıkarılan PGM'lerin çoğu hala kullanımda veya kullanılabilir bir yapıda bulunmaktadır.

Günümüzde PGM'lerin en büyük ikincil kaynağı katalitik konvertörlerden gelmektedir. Kuyumculuktaki ikincil uygulamalar çoğunlukla platin stoklarından oluşmaktadır ve tüketicilerin elinde bulunmaktadır. Eski mücevherlerin geri dönüşümü, Çin ve Japonya'da Batıya nazaran daha rutin şekilde gerçekleşmektedir.

Endüstriyel uygulamalarda kullanılan PGM'ler günümüzde kapalı bir döngü içinde devreden stok durumunda bulunmaktadır. Bu PGM'ler belirli bir kullanım alanında bulunduğundan, gelecekte ancak yeni teknolojilerin veya ürün talebinin değişmesi durumunda döngüye dahil olacaktır. Petrol rafinerileri ve petrokimya tesisleri, gelecekteki uygulamalar için potansiyel PGM kaynağı olabilecek büyük PGM birikimlerine sahiptir [12].

Tüm PGM'lerin tamamı için geri dönüşüme ilişkin açık ve kesin veriler mevcut değildir, ancak literatürde platin, paladyum ve rodyum için veriler bulunmaktadır. Geri dönüşüm yoluyla elde edilen platin ve paladyumun her biri toplam pazarın yaklaşık %20-25'ini oluşturmaktadır. Hurda PGM'lerin kaynakları arasında; kullanılmış katalizörler, elektronik hurdalar, mücevher imalatının hurdaları, cam üretiminde ve diğer alanlarda kullanılan kalıplar ve potalar gibi uygulamalardan elde edilen hurdalar yer almaktadır. Dijital teknolojide, sabit disk geri dönüşümü henüz zirveye ulaşmamıştır ve cep telefonu geri dönüşümünde de hala istenilen seviyeye gelinebilmiştir. Bu da gelecekte bu kaynaklardan daha fazla ikincil kazanımın mümkün olabileceğini göstermektedir. Araçlar için PGM geri dönüşümünde, PGM'lerin fiyatı kritik rol oynamaktadır [19].

Diğer PGM uygulamalarında da (örneğin petrokimya ve kimya endüstrisi katalizörleri) benzer sorunlar vardır. Ancak bazı kullanımlar için PGM'lerin geri dönüştürülebilir oranı oldukça sınırlıdır (örneğin tıbbi alan) veya ekonomik değildir (örneğin elektrik/elektronik sektörü) [26].

Bu ikincil kaynakların bazılarındaki PGM içeriğinin; bilgisayar kartlarında 80 g/t paladyum, cep telefonlarında 130 g/t paladyum ve oto-katalizörlerde 2 bin g/t PGM olduğu belirtilmektedir. Bunların geri kazanımı, birincil cevherler için <10 g/t nominal değerden daha ekonomik olduğu belirtilmektedir. Geri dönüşüme en büyük katkı oto-katalizörlerden gelmektedir. Örneğin, 2014 yılında, ABD'deki PGM geri kazanımının %80'inden fazlası oto-katalizörlerden (geri kazanılan 123 tonun 103 tonu) elde edilmiştir.

Oto-katalizör geri dönüşümü aşağıda kısaca açıklandığı gibi bazı kimyasal işlemler yoluyla gerçekleştirilebilmektedir: (i) indirgeme yoluyla rafinasyonu artırılan PGM kloro komplekslerini üretmek için kral suyu içinde çözündürme (ii) buharlaştırma yoluyla gaz fazında işlem yapılması veya (iii) daha ileri işlemler için PGM rafine cevherleriyle harmanlama. Daha ileri işlemler ise; hidrometalurji, pirometalurji ve ardından çözeltiliye alma veya iyon değişimi gibi standart mineral zenginleştirme yaklaşımlarını içermektedir [10].

Yollarda artan araba sayısı göz önüne alındığında, oto-katalizörlere olan talep de artmaktadır. PGM'ler yalnızca geleneksel içten yanmalı motorlarda değil aynı zamanda hibrit araçlarda da kullanılmaktadır. Dolayısıyla elektrifikasyonun yaygınlaşmasına rağmen PGM talebi yüksek seviyede kalacak gibi görünmektedir. Sonuç olarak kullanılmış oto-katalizörlerin geri dönüşümü daha da önemli hale gelecektir. Şu anda kullanılmış oto-katalizörlerin geri dönüşüm kapasitesi beklenen seviyelerin 10-15 yıl gerisinde olduğu ve dolayısıyla geri dönüşümün zirve noktasına önümüzdeki on yılın ikinci yarısında ulaşılması beklenmektedir. Bununla birlikte geri dönüştürülmüş metal tedariki daha çevre dostudur ve madenlerden çıkarılan PGM üretimine göre %90'a kadar daha düşük CO₂ ayak izine sahiptir. Bu da yerelde geri dönüştürülmüş değerli metal tedarikinin sağlanması, sürdürülebilir gelecek için kolaylaştırıcı unsurdur [30].

Endüstriyel katalizde geri dönüşüm daha etkin uygulanmaktadır. Katalizör üreticileri genellikle kullanım ömrü sonunda kendi kullanılmış katalizörlerini yeniden işlemektedirler. Bu tür katalizörlerin geri dönüşümü genellikle alümina takviyesiyle sülfürik asit içinde çözündürme yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Geri dönüştürülen platin, paladyum ve rodyum toplam arzın önemli bir kısmını oluşturmakta ve maden üretimi ile tüketimi arasındaki açığı kapatmak için yeterli olmaktadır [10]. 2022 yılında PGM'nin madencilik üretimi küresel arzın %71'i olup kalan %29'u geri dönüşümden elde edilmiştir [35].

Rutenyumda geri dönüştürülecek malzeme bir hayli fazladır. Esas olarak katalitik uygu-

lamalarda kullanılan rutenyumun geri kazanılması ve yeniden kullanılmasına odaklanılmıştır. Ama daha az miktarda da rutenyum; PVD⁴⁰ kaplama, makine parçaları ve torna talaşı, rutenyum içeren kimyasallar, çözeltilerden ve diğer kimyasal hurdalardan kaynaklanan diğer kalıntılarda bulunabilmektedir [54]. Katalizörlerden rutenyumun geri kazanım süreci ise şöyledir: Asidik ortamda neredeyse hiç çözünmeyen rutenyum oksitli kullanılmış bir rutenyum katalizöründen, rutenyumun geri dönüştürülmesi işlemi hidrojen akımında gerçekleştirilir. Burada taşıyıcıdaki rutenyum oksit rutenyum meteline indirgenir; rutenyum metali içeren taşıyıcı malzeme, oksijen içeren gazlı bir ortamda hidroklorik asitle muamele edilir; burada rutenyum (III) klorürlü metalik rutenyum, rutenyum (III) klorür çözeltisi elde etmek için çözülür; sonunda rutenyum (III) klorür çözeltisi işleme tabi tutulur [55].

İridyumun mevcut küresel geri dönüşüm oranının %20-30 olduğu varsayılmaktadır. Bununla birlikte, elektrokimyasal prosesler de dahil olmak üzere endüstriyel uygulamalarda, halihazırda %40-50'lik geri dönüşüm oranına ulaşıldığı anlaşılmaktadır [33]. Bununla birlikte; önemli miktarda iridyum rutin olarak, genellikle aynı uygulama alanı içinde 'kapalı devre' geri dönüşüm olarak adlandırılan işleme tabi tutulmaktadır. Kapalı devre geri dönüşüm; malzemelerin özelliklerinde önemli bir bozulma olmadan, tekrar tekrar geri dönüştürüldüğü ve aynı üretim döngüsü içinde yeniden kullanımlarının sağlandığı işlemidir. Bu sistem, atığı en aza indirdiği, hammadde ihtiyacını azalttığı ve çevresel etkiyi azalttığı için özellikle faydalıdır. Havacılık ve yarı iletken gibi endüstrilerde sıklıkla kapalı devre geri dönüşüm kullanır. Şu anda, bujilerde kullanılan iridyum için kapalı devre geri dönüşüm sistemi bulunmamaktadır. Bujilerden geri dönüştürülen iridyum, hidrojen üretiminde çok önemli olan proton değişim membranlı (PEM) elektrolizörler için yeniden kullanılabilir. Bu değişim yalnızca iridyum kullanımını çeşitlendirmekle kalmaz, aynı zamanda sürdürülebilir enerji çözümlerine geçişi de destekler [56]. İridyum tüm PGM'lerin korozyona en dayanıklısı olduğundan; geri dönüşümünü, özellikle de hafif hidrometalurjik şartlar altında daha da zorlaştırır. İridyumun geri dönüşüm teknolojisi olarak; "aqua regia ve ısıtma" kombinasyonunu, Umicore tarafından geliştirilen "Eritme-Süzme-Elektro Kazanma-Rafinasyon" işlemi veya Tanaka tarafından kullanılan "Rose" işlemi sayılabilir. Tüm bu işlemler, enerji/çevre maliyetini artıran toksik kimyasallar ve yüksek sıcaklıklara dayalı teknolojilerdir [57]. İridyumun geri kazanımındaki en son teknoloji olan "aqua regia ve ısıtma" kombinasyonu; hidrometalurjik olarak muamele edilebilecek suda çözünebilir bir bileşik oluşturmak için sodyum klorür (NaCl) ile yüksek sıcaklıkta klor (Cl₂) gaz akışı

⁴⁰ Fiziksel buhar biriktirme. PVD kaplama teknolojisi 1800lü yıllardan beri bilinmekte, ancak son 50 senedir kendisine endüstride yer bulabilmiş, ince film kaplama tekniğidir.

kullanılarak uygulanan yöntemdir. İridiyumu doğrudan eritmek için elektron demeti (EB) işlemi kullanılır. Bu yüksek sıcaklık işlemleri yüksek enerji tüketimine sebebiyet verir ve klor gazı akışı tehlikeli olabilir [58].

6. PLATİN GRUBU METALLERİNİN TİCARETİ

6.1. Platin Grubu Metallerinin Piyasada Talep Edilen Nitelikleri

PGM ile ilgili cevher hazırlamaya veya rafineriye verilecek malzemenin nitelikleri hususunda bir kaynak bulunamamıştır. Sadece yatırıma yönelik külçe standardı ve kuyum sektörüne yönelik osmiyum imalatı hakkında bazı bilgiler bulunmuştur.

Platin ve paladyumun yatırım amacıyla plaka veya külçe olarak talep edilen özellikleri şöyledir: İzin verilen maksimum ağırlık 6 kg (192.904 ons) minimum ağırlık 1 kg'dır (32.151 ons); en az %99,95 saflık istenmektedir; her plaka veya külçe üreticinin markasını, saflığını gösteren damga ile PLATINUM veya PT ile PALLADIUM veya PD harflerini, bireysel bir numara veya işaret, üretim ayı ve yılı, gram, kilogram veya ons cinsinden ağırlık (gram cinsinden bir ondalık basamağa, kilogram cinsinden dört basamağa ve ons cinsinden üç basamağa kadar) olmalı; külçenin dış görünüşü pürüzsüz, boşluksuz ve kullanımı kolay olmalıdır [59] (Şekil 43)⁴¹.



Şekil 43. Platinin Külçe Görünümü.

Osmiyum, kuyum sektöründe aşağıdaki standart ürünlerde satılmaktadır: Osmiyum-elmas, 3 mm çap, düz kristal yapı (yaklaşık 0,07 ila 0,13 g ağırlıkta); osmiyum-star, 4 mm en uzun çap, düz kristal yapı (yaklaşık 0,07 ila 0,13 g ağırlıkta); osmiyum yıldız sıralı, 40 mm uzunluğa kadar, birkaç yıldızdan oluşan düz kristal yapı (0,14 ila 7 g); osmiyum yassı çubuklar, dikdörtgen (1 ila 20 g); osmiyum disk, çapı 18 ila 95 mm arasında, düz ve yuvarlak disk, ışıltı derecesine ve katman kalınlığına bağlı olarak (3 ila 110 gram arasında); takı üretimi için osmiyum kakmalar, takılarda kullanılmak üzere özel kesim şekillerde olmalıdır [8] (Şekil 11).

6.2. Platin Grubu Metallerinin Pazar/Piyasa ve Fiyat Durumu

Bu bölümde osmiyum hariç PGM'nin son 30 yılındaki fiyat değişimleri ve bu süre zarfındaki genel ekonomik durgunluklar temel alınarak incelenmeye çalışılmıştır. Öncelikle son 30 yılda ekonomiye etki eden küresel olaylar olarak; dot-com balonunun patlaması⁴²

⁴¹ Şekil, [<https://www.implats.co.za/pdf/fact-sheets/2024/fact-sheet-IRS.pdf>] sitesinden 04.09.2024 tarihinde alınmıştır

⁴² ABD'de 1990'ların ortaları ile 2000'lerin başları arasında kapsayan ve teknoloji şirketlerinin hisselerinin hızla yükseldiği, daha sonra ise aniden çakıldığı döneme dot-com balonu denilmektedir. 1995-2000 yılları arasında görülen büyük artışları 2001 ve 2002'de yaşanan çöküş izlemiştir.

(2000), mortgage krizi⁴³ (2008) ve salgın hastalık (2020) gibi durgunluk ve belirsizlik dönemleri yaşanmıştır. Bunların yanı sıra PGM piyasasının önemli iki aktörü olan Güney Afrika ve Rusya'daki madenlerde görülen kesintiler sebebiyle de bazı küçük çaplı riskli dönemler görülmüştür.

PGM piyasasına genel hatlarıyla baktığımızda: 2020 sonrasında ons başına PGM fiyatlarının platinde 1.000-1.250, paladyumda 1.600-3.200, rodyumda 800-32.000, rutenyumda 450-650, iridyumda 4.500-5.800 dolar arasında değiştiği görülmektedir⁴⁴. Piyasa büyüklüğü açısından paladyum her zaman büyük bir hacim oluşturmaktadır. Ardından platin, rodyum, rutenyum ve iridyum gelmektedir. Osmiyum üretim açısından bağıl ve küçük olması sebebiyle değerlendirmelere dahil edilmemiştir.

2022 yılında PGM pazarı 15,373 milyar dolar değerinde gerçekleşmiştir. 2032 yılında 23,834 milyar dolar olması beklenmektedir. Bu pazarın %4,6'lık bileşik büyüme oranı kaydedeceği tahmin edilmektedir. PGM'ler içinde paladyum, piyasadaki gelirin en büyük kısmını oluşturmaktadır. 2022 yılında paladyum %50,5'lik oranla önemli bir paya sahip olmuştur [35].

PGM'lerin pazar verileri ve bu verilerin güvenilirliği arasında büyük farklılıklar bulunmaktadır. Platin, paladyum ve rodyum pazarları hem miktar hem de değer açısından küresel olarak en önemli ve en büyük pazarlardır. İridyum, rutenyum ve osmiyum pazarları çok daha küçük olup çok özel uygulamalara sahiptir. Ayrıca bunların pazar verileri oldukça kısıtlıdır [11].

PGM piyasasında zirve 2006 yılında yakalanmıştır⁴⁵. Bu zirveden sonra üretimde düşüş ve dalgalanmalar yaşanmıştır. Bu durum çoğunlukla, küresel ekonomik şartların (özellikle 2008'deki fiyat yükselişi) neticesindeki fiyatların yükseliş-düşüş döngüsüyle açıklanmaktadır. Ayrıca PGM'lerin piyasa fiyatlarındaki hızlı değişikliklere çabuk bir şekilde karşılık verme konusunda biraz zorlanması sebepleri arasında sayılmaktadır. Başka önemli sebep ise; yıllar itibariyle üretimin yaklaşık yarısının Güney Afrika'dan, üçte birinin Rusya'dan tedarik edilmesine bağlı olduğu ve bu iki ülkenin piyasada süregelen hakimiyeti anahtar faktör olarak değerlendirilmektedir [26]. 2006 yılından sonra PGM piyasası 2008'de mortgage krizi ile sarsılmış, daha sonra toparlanarak 2019'da iyi bir performans göstermiştir.

⁴³ ABD'deki taşınmaz mal piyasasının birden değer kaybetmesi sonucu oluşan ipotekli satışlara bağlı iflasların artmasının tetiklediği kriz.

⁴⁴ Bu verilerin alındığı kaynak [35] ile bu bölüm içerisinde grafiklerin çiziminde kullanılan "Johnson Matthey" [13] sitesinden alınan verilerde farklılıklar mevcuttur (RC).

⁴⁵ Bölüm 4.1'deki verilerin kaynağına baktığımızda; paladyum için 2004-2007, platin için 2005-2006, rodyum için 2006-2007 yıllarında üretimin büyük miktarda gerçekleştiği görülmektedir (RC).

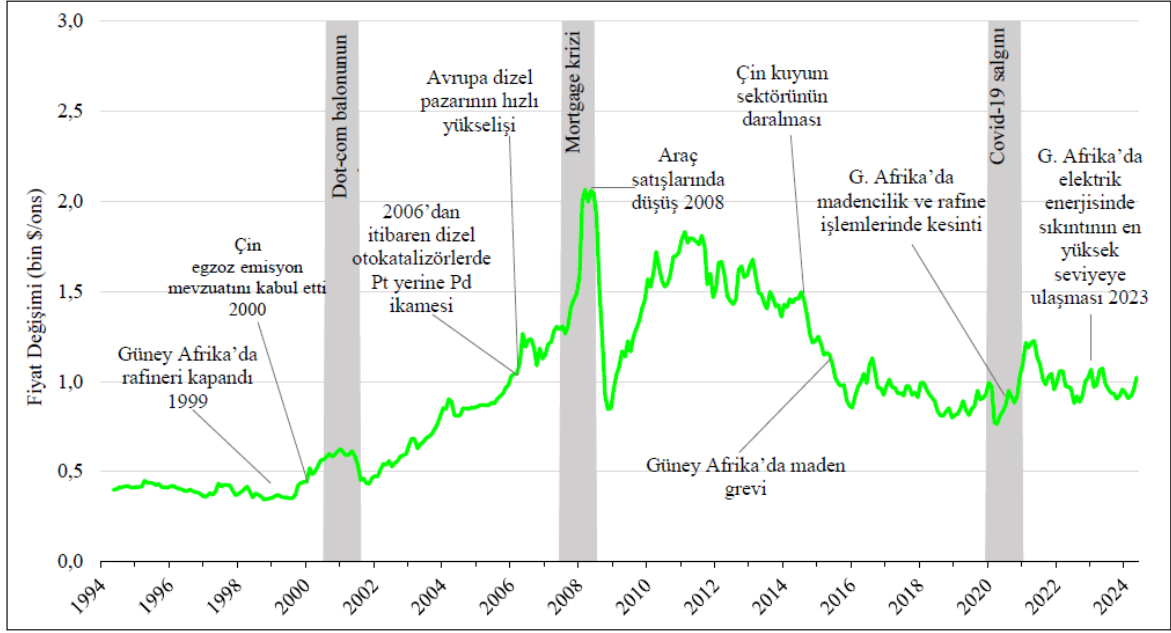
2019'dan sonra 2020'de salgın kriziyle birlikte bir durgunluk ve hemen sonrasında 2021'de tekrar toparlanma görülmüştür.

PGM fiyatları; saf metaller için (minimum yüzde 99,9) günlük piyasa fiyatı, ons başına ABD doları cinsinden verilmektedir. Bunlar arasında; "Londra Metal Borsası" fiyatı, "Avrupa serbest piyasa" fiyatı, "Engelhard" baz fiyatı, JM baz fiyatı ve "Londra Platinyum ve Paladyum Piyasası" fiyatları yer almaktadır. Spot piyasada platin ve paladyum nakit ve anında teslim karşılığında plaka veya külçe halinde satılmaktadır.

Altının aksine platin, endüstride önemli ve yaygın olarak kullanılan bir metaldir. Sonuç olarak; Altın fiyatındaki hareketlerin platin fiyatı üzerinde marjinal bir etkisi olmasına rağmen platinin fiyatı ağırlıklı olarak arz ve talep ilişkileriyle belirlenmektedir.

Bu çalışmada PGM'ye ait LME fiyatları JM'nin [12] web sitesinden alınmış olup ilgili metallerle alakalı vakalara dair bilgiler [60] numaralı kaynaktan faydalanılarak şekiller üzerine ilave edilmiştir.

Platin fiyatı; 1980'lerin başında 650 dolarlık seviyeyi görmüştür. O yılların en yüksek seviyesi olup 1990'lar boyunca 400 dolar civarında seyretmiştir. Ancak yirminci yüzyılın sonlarına doğru arabaların daha az kirlilik yaymasına yönelik mevzuatın yürürlüğe girmesinden sonra, katalitik konvertörlerde platin ve paladyum talebi önemli ölçüde artmıştır. Bu, platinin fiyatında Ağustos 2001'de ons başına bin dolardan, Aralık 2007'de 1.700 doların biraz üzerine çıkaran artışa yol açmıştır. Fiyat, 2008'in ilk çeyreğinde artmaya devam etmiş ve ons başına 2.800 dolar civarı gibi rekor bir seviyeye ulaşmıştır. Bu artış, Mart 2008'de özellikle araç üreticilerinin artan talebine ve arz sıkıntısının aynı zamanda oluşmasına atfedilmiştir. Ancak aynı yılın ortasında başlayan küresel mali kriz, platinin fiyatında düşüşe yol açarak aralık ayının ortasında ons başına 1.200 doların biraz üzerinde oluşmuştur. Fiyat, 2009'da tekrar artmaya başlamış ve 2011'de 2.300 doların biraz üzerine çıkmıştır [1]. Daha sonra dalgalı bir seyirle salgın yılına kadar 800 dolar civarına kadar inmiştir. Salgının hemen sonrasında 1.300 doları görmesine rağmen günümüzde bin dolar sularında bulunmaktadır (Şekil 44). Paladyum fiyatı 1980'li yıllardan 90'lı yılların ortasına kadar 400\$/ons'un altında hemen hemen yatay seyretmiştir. 1997'den sonra artış eğilimine girmiştir. Bu artışta Rusya'nın paladyum ihracatını askıya alması ve ardından Çin'in egzoz emisyon düzenlemesini kabul etmesi etken olmuştur. Paladyumun fiyatı 2001'in başlarında, platinin fiyatının altında seyrederken platini geçerek ons başına 1.600 dolar civarına çıkmıştır. Bunun nedeni, araç üretiminde katalitik konvertör kullanımının artmasıyla açıklanmıştır. Ancak 2001'den sonra paladyumun fiyatı ons başına 400 ila 600 dolar arasına inmiştir. Fiyat, 2008'de kısa süreliğine ons başına 600 doları aşmış, ancak ekonomik krizin

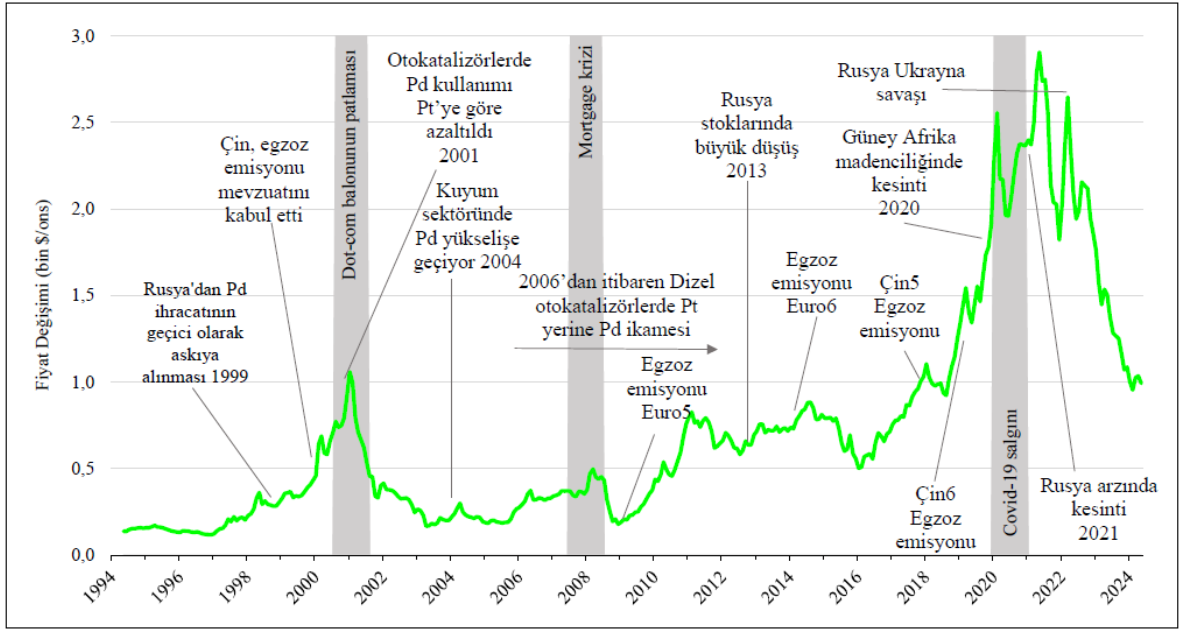


Şekil 44. Yıllar İtibariyle Platin Fiyatının Değişimi (bin \$/ons) (1994-2024).

metale olan talebi azaltması nedeniyle yılsonunda ons başına 200 doların biraz üstüne kadar düşmüştür. Haziran 2009'un sonunda fiyat ons başına 250 dolara yükselmiştir [1]. Bu tarihten sonra salgın yılında 3 bin dolar seviyelerine ulaşacak kadar artmıştır. Bu duruma; 2006'dan itibaren dizel araba katalizörlerinde platinin yerine paladyumun kullanılmaya başlanması, Rusya'daki stokların tükenmesi, katalizörlerdeki yeni düzenlemeler etkili olmuştur. Daha sonra hafif düşüş yaşanmasına rağmen 2022'de 3.200 doları görmüştür. Aynı yılın sonlarına doğru 2 bin doları bulmasına rağmen Rusya Ukrayna savaşı ile birlikte 2.600 dolara fırlayan fiyatlar 2023 sonlarında 1.500-1.600 dolar arasına gelmiştir (Şekil 46).

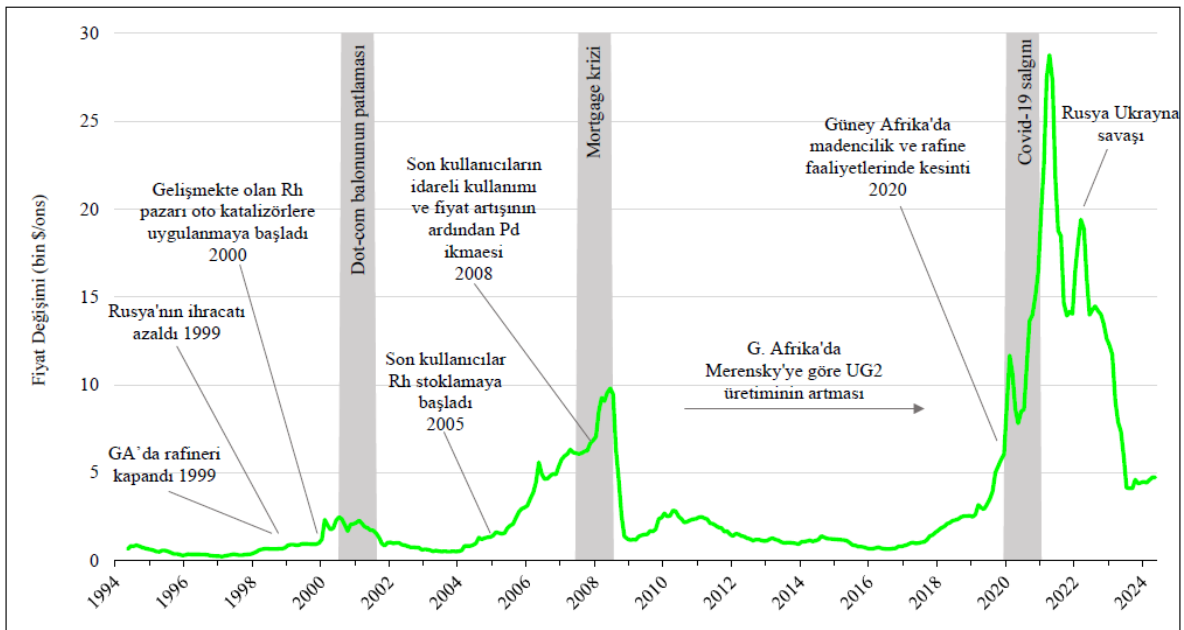
Rodyum fiyatları; 2000 yılına kadar bin doların altında gerçekleşmiştir. Rodyumun otokatalizörlerde kullanılmaya başlanmasıyla iki misline ulaşarak 2 bin doların üzerine çıkmış, ancak 2002'den sonra eski fiyat aralığına dönmüştür. 2005'den sonra son kullanıcıların rodyum stoklamalarına yönelmeleri ve ardından 2008'de paladyumun yerine ikame olarak kullanılmaya başlanmasıyla 10 bin dolara kadar ulaşmıştır. Ardından 2009'da hızlıca kendi seviyelerine çekilmiş ve 10 sene boyunca küçük dalgalanmalarla 2.500 dolar altında kalmıştır. Güney Afrika'daki kesintiler sebebiyle 2010'da fiyatlar tırmanmaya başlamış, salgınla birlikte 2021'in ilk çeyreğinde 27 bin doların üzerine çıkarak zirve yapmıştır.

Sonrasında hızla çekilerek aynı yılın sonlarına doğru 15 bin doların altına inmiş, 2022'de 19 bin doları aşmıştır. Fakat savaş ile birlikte sert düşüş yaşamış olup günümüzde 5 bin doların biraz altında seyretmektedir (Şekil 45).



Şekil 46. Yıllar İtibariyle Paladyum Fiyatının Değişimi (bin \$/ons) (1994-2024).

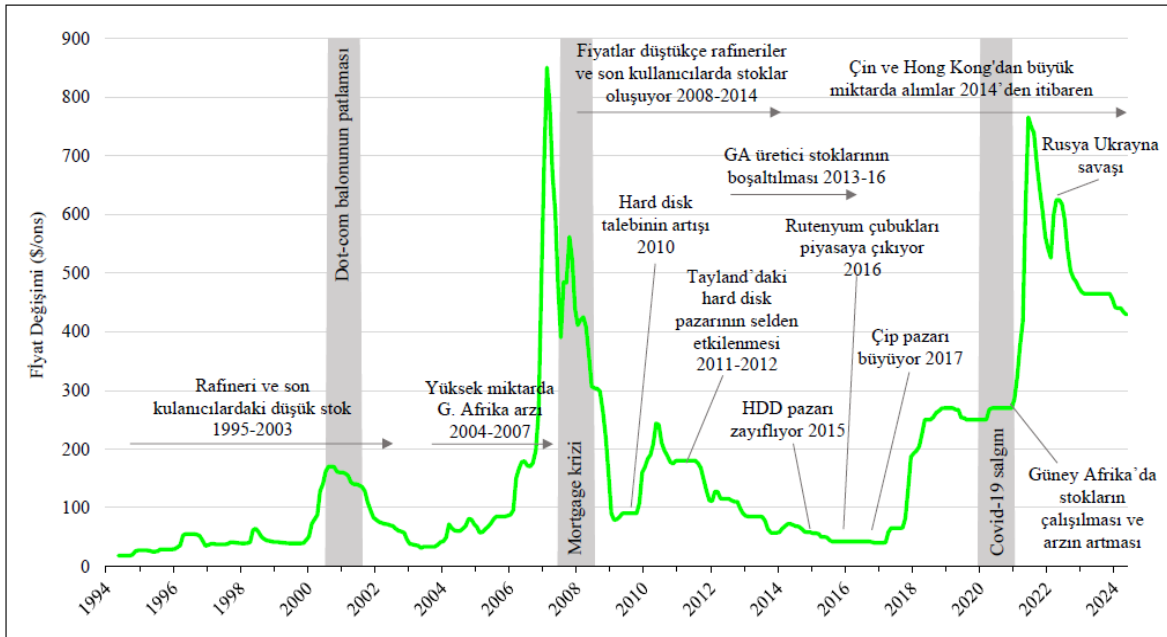
Rutenyumun fiyatı, 2000 yılına kadar 80 doların altında küçük dalgalanmalarla sabit kalmıştır. Teknoloji krizinin başlangıcında hızlı bir şekilde 180 dolara kadar tırmanmış daha sonra 2003 yılına kadar önceki seviyelere çekilmiştir. 2007 yılında çok hızlı bir şekilde 850 dolar seviyelerine çıkarak en yüksek fiyatına ulaşmıştır. Aynı hızla tekrar düşerek 2009 yılında 100 doları görmüştür. Hardisk talebinin artmasına paralel 2010'da kısa bir süreliğine 250 dolara yaklaşmış, sonrasında ise 2017 yılına kadar gevşeyerek tekrar 50 dolar düzeyine çekilmiştir. Çin ve Hong Kong pazarının büyümesiyle birlikte yükselişe geçen fiyatlar salgın



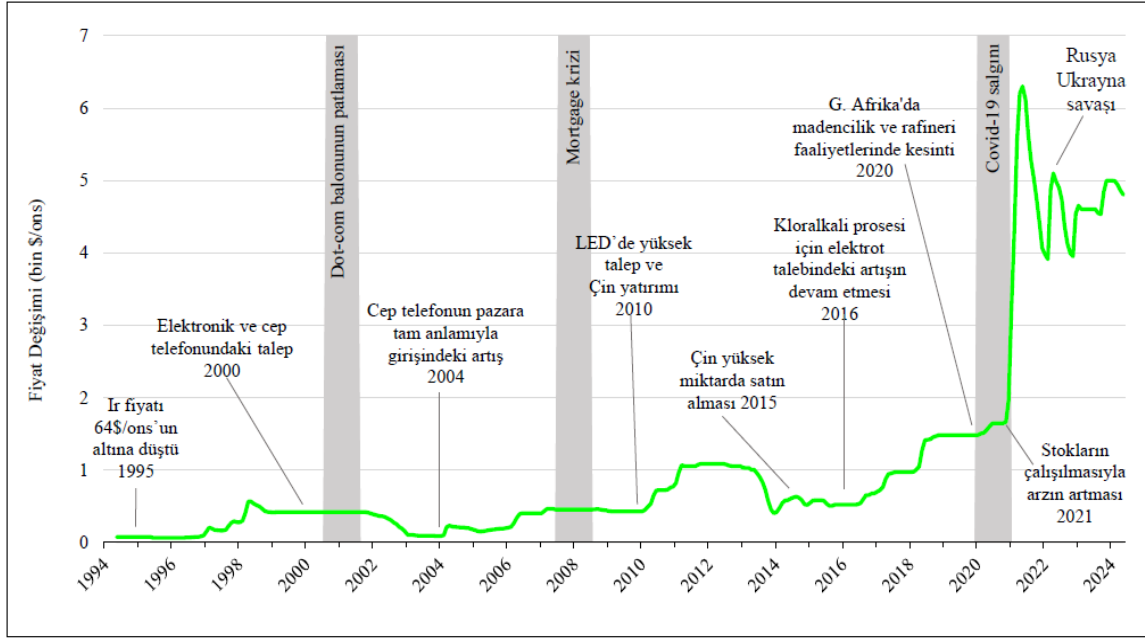
Şekil 45. Yıllar İtibariyle Rodyum Fiyatının Değişimi (bin \$/ons) (1994-2024).

sonrasına kadar 250 doların üzerinde gerçekleşmiştir. Salgından sonra çok kısa süre içinde, 2021 yılı ortalarında -son 30 yılın ikinci zirvesini yaparak- 750 doların üzerine çıkmıştır. Sonra tekrar gevşeme ile birlikte günümüzde 400 doların üzerinde bulunmaktadır (Şekil 47).

İridyum fiyatları son 30 yılda 2011-2013 yılları arasında bin doların hafif üzerinde olması hariç genelde 500 doların altında seyretmiştir. İridyum piyasası son derece küçük ve likit olmayan, ancak rodyum ve rutenyumun aksine yakın zamana kadar aşırı fiyat hareketliliği bulunmayan bir piyasadır. Pazarın küçük olması sebebiyle; 2014 öncesine dair iridyum üretimine ilişkin net veri mevcut değildir. İridyum fiyatı 2014-2017 döneminde ons başına bin doların altında işlem görmüştür. Bu durum, üretici stoklarının periyodik satışlarıyla piyasaya düzenli bir şekilde rutenyum tedarik edilmesinin yansıması olarak yorumlanmaktadır. Bu tarihten sonra mevcut stokların tüketilmesiyle fiyatlar üzerinde yukarı yönlü baskı oluşmuştur. Bu fiyat artışları, 2017-19 döneminde yavaş ve ılımlı gerçekleşmiş, ancak 2020 yılı sonlarında Güney Afrika'daki tesislerde gerçekleşen kesintilerle salgın sonrası talepteki toparlanmanın aynı zamana denk gelmesiyle birden hızlanmıştır. Fiyat, arzın sınırlı olması nedeniyle 2020 sonunda 3.050 \$/ons rekoruna ulaşmış ve ardından ocak ayında 4 bin \$/ons'a çıkmıştır. Mayıs 2021'de fiyat, bu metal için şimdiye kadar görülen en yüksek fiyat olan 6.300 \$/ons civarında zirve yapmıştır [16]. Zirve sonrasında hızlı düşüşle 2022 yılı başında 4 bin doların altına gören fiyatlar, savaş sırasında tekrar 5 bin doların üstünü görmüş, daha sonra sert dalgalı bir seyir takip ederek 4.800 dolar civarında bulunmaktadır (Şekil 48).



Şekil 47. Yıllar İtibariyle Rutenyum Fiyatının Değişimi (\$/ons) (1994-2024).



Şekil 48. Yıllar İtibariyle İridyum Fiyatının Değişimi (bin \$/ons) (1994-2024).

Osmiyumun piyasa fiyatı uzun yıllar boyunca değişmemiştir. Bunun başlıca nedeni arz ve talepte çok az değişiklik meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır. Çok az miktarda bulunmasının yanı sıra, osmiyumun işlenmesi zor, kullanım alanı azdır. Oksitlendiğinde ürettiği toksik bileşik nedeniyle güvenli şekilde depolanması da zordur. Sonuç olarak sınırlı bir piyasa hacmine sahiptir ve yatırım için pek bir seçenek sunmamaktadır [61].

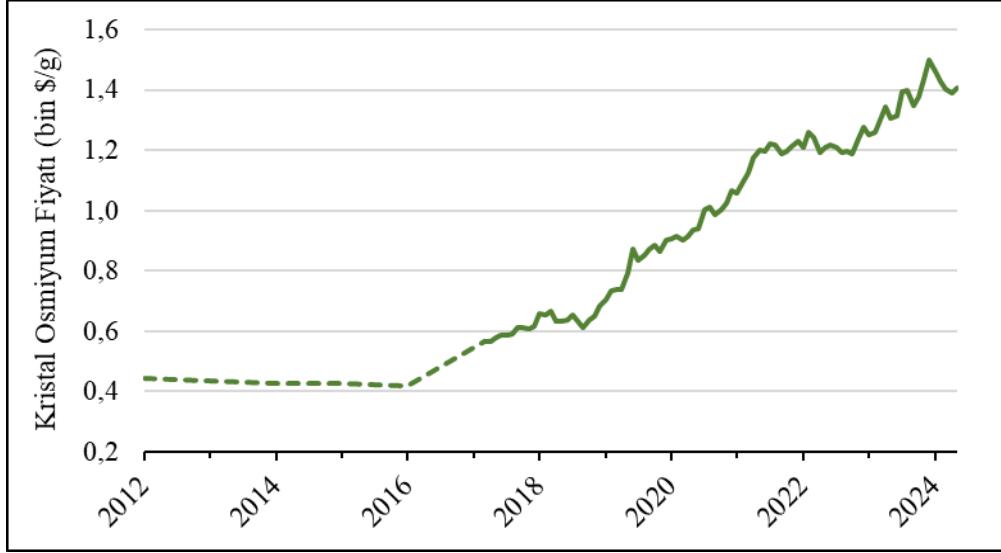
Küresel osmiyum pazarı, metalin nadir oluşu ve yüksek maliyeti nedeniyle derinliği olmayan dar bir piyasa oluşturmaktadır. Osmiyumun 1990'lı yıllardan itibaren 400 \$/g'ın üzerinde olan fiyatı [61], Nisan 2017'de 565 \$/g'dan, Mayıs 2021'de 1.200 \$/g seviyesine kadar önemli ölçüde artmıştır. Salgına ve küresel ekonomik yavaşlamaya rağmen geçtiğimiz beş yıl talep ve fiyat görünümünü korumuştur [17]. Mayıs 2021'den sonra bir yıl kadar yatay seyreden fiyatlar, 2022'nin ortalarından sonra 1.300 doların, 2023'ün sonunda 1.500 doların üstüne çıkmıştır. Sonra biraz gevşeyen fiyatlar, 2024 boyunca 1.400 doların üzerinde gerçekleşmiştir (Şekil 49)⁴⁶.

6.3. Dünya Platin Grubu Metalleri İthalat ve İhracatı

Dünya PGM ithalat ve ihracat verileri, "International Trade Centre (ITC)"⁴⁷ adlı

⁴⁶ Osmiyum fiyatları; 2012-2017 arası yıllık bazda [<https://www.metalary.com/osmium-price/>] sitesinden 13.05.2024 tarihinde, Mart 2017-Mayıs 2024 arası aylık bazda [<https://www.osmium-preis.com/>] sitesinden 13.05.2024 tarihinde alınmıştır.

⁴⁷ Uluslararası Ticaret Merkezi (ITC) 1 Ocak 1968'de kurulmuştur. ITC, Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Konferansı (UNCTAD) aracılığıyla Dünya Ticaret Örgütü (WTO) ve Birleşmiş Milletler (BM) ile



Şekil 49. Yıllar İtibariyle Osmiyum Fiyatının Değişimi (bin \$/g) (2012-2024).

merkezin internet sayfasından 6'lı düzeydeki "Gümrük Tarife İstatistik Pozisyon (GTİP)" numarasına göre alınmıştır [62]. Bu sitedeki tarama neticesinde; PGM minerallerinden platin, paladyum ve rodyum için ayrı başlıkların; iridyum, osmiyum ve rutenyum (İOR) için ortak başlık olduğu görülmüştür. Yine bu mineraller için, ürün olarak "işlenmemiş"⁴⁸ veya pudra halinde⁴⁹ ve "yarı işlenmiş" başlıkları altında sınıflandırmaya tabi tutulmuştur. İlgili (ITC) sitedeki 6'lı düzey GTİP numaraları Tablo 9'daki ilk 6 rakam olup başlıklar da aynıdır⁵⁰.

İhracat ve ithalatla ilgili tablolarda (Tablo 10-Tablo 17) ve bu bölümdeki metin içinde "işlenmemiş veya pudra halinde platin" şeklinde ifade edilen tabir, kolaylık sağlama amacıyla "işlenmemiş platin" şeklinde kısaltılarak kullanılacaktır.

6.3.1. Dünya platin grubu metalleri ithalatı

Dünya PGM ithalatı; platin, paladyum, rodyum ayrı başlıklar ve diğer elementler olan iridyum, osmiyum ve rutenyum aynı başlık altında incelenmiştir. Ülkeler bazında yapılan

ortak yetkiye sahip bir kuruluştur. [https://en.wikipedia.org/wiki/International_Trade_Centre] adresinden 02.08.2024 tarihinde alınmıştır.

⁴⁸ "İşlenmemiş değerli metal" tabiri; eritilmiş olsa bile herhangi bir ticari ürüne dönüştürülmemiş veya işlenmemiş herhangi bir biçimdeki değerli metali ifade etmek için kullanılır. [https://resourcegovernance.org/sites/default/files/Unwrought%20Precious%20Metals%20Act.pdf] adresindeki "Chapter 20:03 Unwrought Precious Metals Arrangement Of Sections" başlıklı dosyadan 12.08.2024 tarihinde alınmıştır.

⁴⁹ "Pudra" veya "pudra şeklinde" tabirinden göz büyüklüğü 0,5 mm olan bir elekten ağırlık itibarıyla %90 veya fazlası geçen ürünler anlaşılır. [https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2022/03/20220329M1-1-1.pdf] sitesinden "Gümrük Genel Tebliği (Gümrük Tarife Cetveli İzahnamesi) (Seri No: 4)" başlıklı tebliğden 12.08.2024 tarihinde alınmıştır.

⁵⁰ Bu tablodaki 12'li sistem, Türkiye İstatistik Kurumu'nun "Biruni" portalının kullandığı sistemdir (RC).

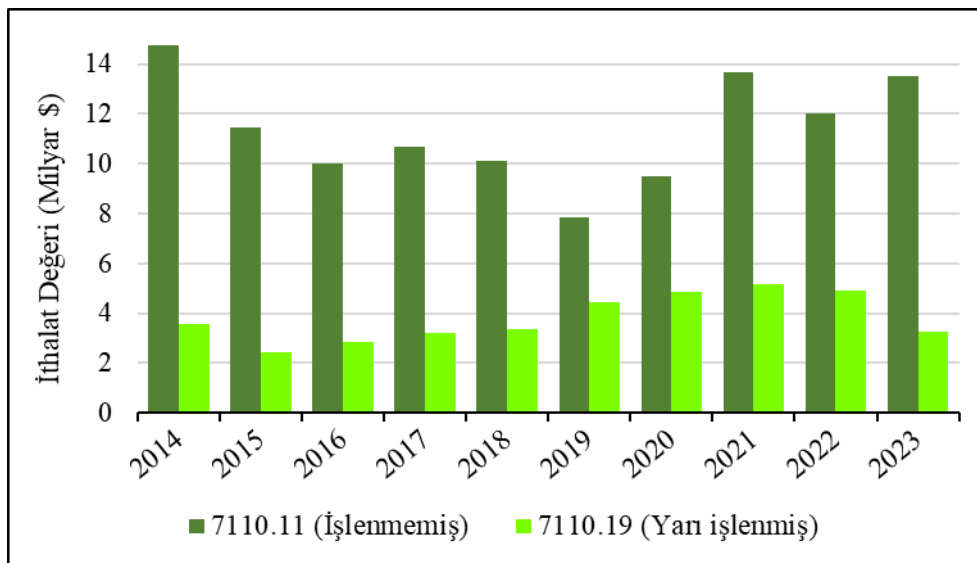
Tablo 9. Platin Grubu Metallerinin Gümrük Tarife İstatistik Pozisyon Numaraları

GTİP No	GTİP Açıklaması
7110.11.00.00.00	Platin; işlenmemiş veya pudra halinde
7110.19.80.00.00	Diğer yarı işlenmiş platin
7110.21.00.00.00	Paladyum; işlenmemiş veya pudra halinde
7110.29.00.00.00	Paladyum; yarı işlenmiş
7110.31.00.00.00	Rodyum; işlenmemiş veya pudra halinde
7110.39.00.00.00	Rodyum; yarı işlenmiş
7110.41.00.00.00	İridyum, osmiyum ve rutenyum; işlenmemiş veya pudra halinde
7110.49.00.00.00	İridyum, osmiyum ve rutenyum; yarı işlenmiş

değerlendirmede; toplam ithalatın %70'inin üzerindeki ithalatı gerçekleştiren ülkeler dikkate alınmıştır.

6.3.1.1. Dünya platin ithalatı

Dünya platin ithalatı 2023 yılında; 13.515,8 milyon doları işlenmemiş platin ve 3.279,5 milyon doları yarı işlenmiş platin olmak üzere toplam 16.795,3 milyon dolar olarak gerçekleşmiştir (Tablo 10). İthalat değerlerinin oranlarına bakıldığında %80,5'i işlenmemiş platin ve %19,5'i yarı işlenmiş platin olduğu görülmektedir. Son on yılda işlenmemiş platin ithalatı 14,75 milyar dolardan azalarak 2019'da 7,86 milyar dolara gerilemiştir. Daha sonra yeniden düzgün bir artış göstererek 2023'de 13,5 milyar dolara ulaşmıştır. Yalnız 2021 yılında 13,67 milyar dolar ile bir anomali oluşmuştur (Şekil 50). Bu dönem içerisinde platin fiyatı 2015 yılı içinde 1.500 dolardan 1.000 dolar civarına düşmüştür. Salgınların hemen



Şekil 50. Dünya Platin İthalat Değerleri (Milyar \$) (2014-2023).

Tablo 10. Ülkeler Bazında Dünya Platin İthalatı (Milyon \$) (2014-2023).

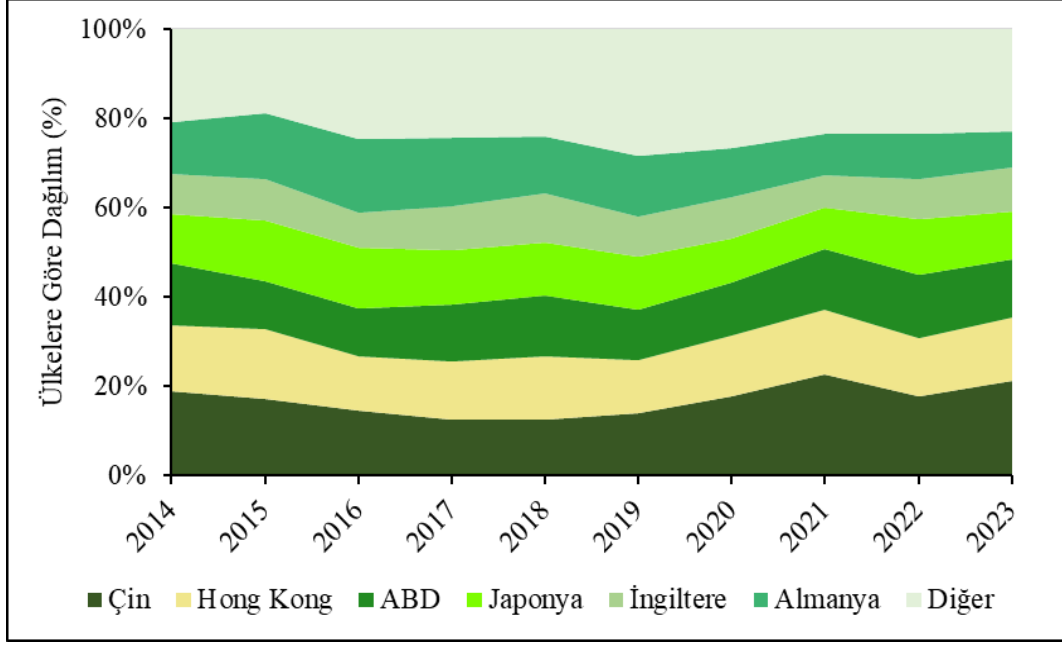
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2023 (%)	
7010.11 Platin (işlenmemiş)	Çin	2.476,9	1.975,6	1.448,0	1.347,2	1.283,3	1.094,7	1.694,5	3.115,5	2.132,0	2.860,7	21,2
	Hong Kong	1.922,6	1.793,5	1.237,4	1.375,3	1.428,7	927,4	1.288,3	1.965,7	1.583,0	1.906,6	14,1
	ABD	1.807,6	1.233,8	1.050,5	1.364,9	1.387,3	907,5	1.133,5	1.866,3	1.688,8	1.771,8	13,1
	Japonya	1.413,1	1.552,4	1.378,8	1.303,4	1.206,4	931,3	930,1	1.244,8	1.486,9	1.475,2	10,9
	İngiltere	1.172,3	1.068,0	793,0	1.025,7	1.114,2	693,9	865,5	992,8	1.102,0	1.326,9	9,8
	Almanya	1.508,8	1.674,0	1.630,4	1.662,2	1.272,5	1.063,2	1.053,1	1.284,8	1.226,4	1.088,7	8,1
	İsviçre	897,3	465,1	449,2	396,4	466,7	489,3	1.089,6	1.035,9	874,3	765,8	5,7
	İtalya	413,4	311,8	694,2	710,4	470,9	373,7	318,7	406,3	434,7	520,4	3,9
	Makedonya	665,0	613,5	677,4	707,5	703,1	658,5	423,3	464,6	411,4	452,1	3,3
	Diğer	733,9	775,0	653,5	760,9	799,9	716,8	694,0	1.289,1	1.083,6	1.347,8	10,0
	Dünya Toplamı	14.753,4	11.462,8	10.012,6	10.653,9	10.132,9	7.856,2	9.490,5	13.665,7	12.023,1	13.515,8	100,0
7010.19 Platin (Yarı işlenmiş)	İngiltere	939,9	222,3	720,2	849,3	857,0	1.905,6	1.521,0	1.707,6	1.057,0	972,4	29,7
	Çin	812,0	789,7	700,2	911,9	948,2	906,3	702,0	872,2	497,2	551,5	16,8
	ABD	165,9	200,0	286,5	256,6	305,0	320,8	853,4	662,7	529,7	378,1	11,5
	İtalya	102,4	60,6	55,7	47,7	137,6	155,5	228,5	331,5	380,9	371,1	11,3
	Singapur	137,7	111,1	131,4	92,7	92,3	96,5	128,5	193,4	251,9	168,9	5,2
	Almanya	183,3	141,9	138,8	134,1	146,0	144,8	144,8	252,0	177,0	122,9	3,7
	Fransa	111,0	76,0	61,3	72,5	50,3	49,7	47,8	64,1	75,6	70,0	2,1
	Japonya	117,9	130,2	100,8	120,1	118,2	113,9	146,4	148,8	109,4	69,3	2,1
	İsviçre	156,9	126,0	144,5	111,5	117,4	135,2	323,0	223,8	52,6	63,8	1,9
	Avusturya	39,3	35,4	49,2	41,7	40,3	50,6	73,2	86,4	95,6	59,9	1,8
	Avusturalya	19,0	21,3	6,6	22,5	19,4	24,9	111,3	47,6	85,2	49,0	1,5
Kanada	24,8	18,6	69,6	37,2	31,0	30,4	44,5	76,2	33,1	45,4	1,4	
Tayvan	198,809	133,8	68,7	66,9	85,7	41,6	57,1	80,4	53,9	43,5	1,3	
Diğer	554,8	383,1	331,1	468,1	418,0	461,1	454,3	430,9	1.533,1	313,7	9,6	
Dünya Toplamı	3.563,8	2.449,9	2.864,7	3.232,6	3.366,2	4.436,9	4.835,8	5.177,6	4.932,3	3.279,5	100,0	

sonrası hariç, bin doların biraz altında ve üstünde hemen hemen yatay seyir takip etmiştir (Şekil 44). Bu dönemde Çin kuyum sektöründe daralma görülmüş (2014), 2015'te Güney Afrika'daki madenlerde grev ve 2020'de yine Güney Afrika'da madencilik ve rafinelelerde kesintiler meydana gelmiştir. 2021 yılında gerçekleşen ithalattaki ani ve büyük artış bu olaylara bağlanabilir. Nitekim 2014 ve 2020'de stoklarda negatif pozisyon görülmüş ve 2021'de ise stok fazlalığı kaydedilmiştir (Şekil 18).

Dünya işlenmemiş platin ithalatının son on yıllık ortalaması, yaklaşık 11 milyar doların biraz üzerinde oluşmuştur. Bu süreçte 2019 yılında en düşük 7,86 milyar dolar ve 2014 yılında en yüksek 14,75 milyar dolar olarak gerçekleşmiştir. Bu süreç içerisinde yarı işlenmiş platin ithalatı ise; en düşük 2015 yılında 2,45 milyar dolar, en yüksek 2021 yılında 5,18 milyar dolar olmuş ve ortalama ise 3,81 milyar dolar şeklinde gelişmiştir (Şekil 50).

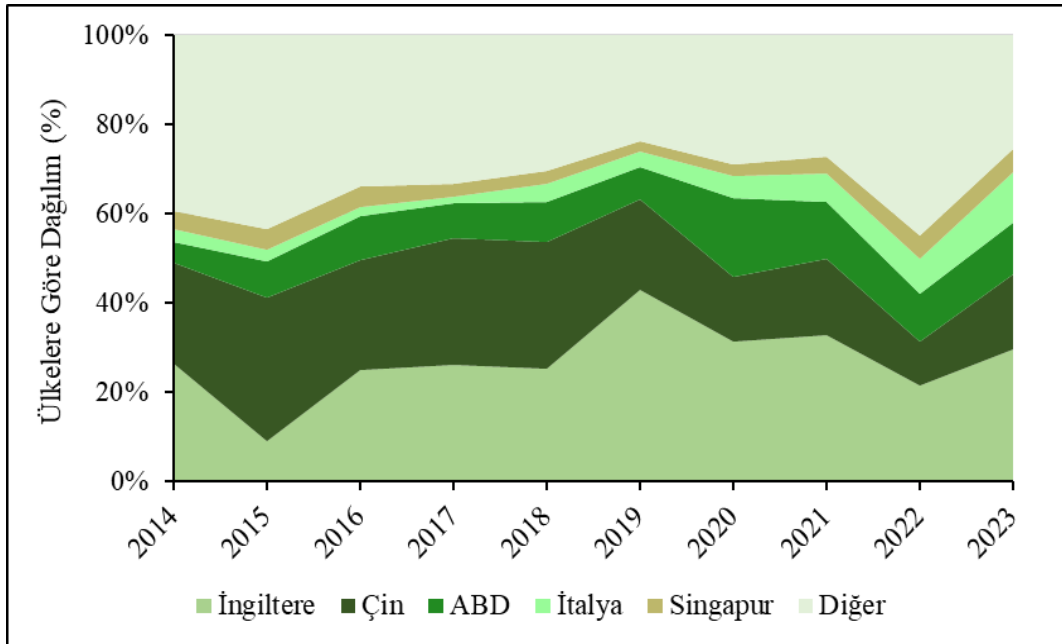
2023 yılı işlenmemiş platin ithalatının ülkeler detayında; %21,2'sinin Çin, %14,1'inin Hong Kong, %13,1'inin ABD, %10,9'unun Japonya, %9,8'inin İngiltere ve %8,1'inin Almanya tarafından olmak üzere toplamda %77,2'sinin yapıldığı görülmektedir. Diğer ülkeler olarak ise; İsviçre %5,7, İtalya %3,9, Makedonya %3,3 ithalat yapmıştır. Bu sınıftaki %90'luk ithalatı Makedonya hariç gelişmiş ülkeler gerçekleştirmiştir. İthalatın son %10'luk dilimine Belçika, Polonya, Güney Kore, İrlanda'nın başı çektiği pek çok ülke girmektedir. Ülkelerin son 10 yıllık ithalatlarının oranlarında büyük oynamalar görülmemektedir. Genelde ülkelerin ortalamaları birbirine yakın seyretmektedir. On yıllık ortalamalara göre Çin %16,7 ve Hong Kong %13,6'luk ithalat yapmışlardır. İstatistiklerde Hong Kong'un ayrı tutulmasını bir kenara koyarsak; Çin'in bazı yıllarda (2015, 2021, 2022, 2023) bu kategorideki ithalatın üçte birine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Ortalamalardan devam edecek olursak; ABD %12,5, Almanya %12,4, Japonya %11,7 ve İngiltere'nin %9,1 oranında ithalat gerçekleştirdikleri görülmektedir (Şekil 51).

2023 yılı Dünya yarı işlenmiş platin ithalatının ülkeler bazında detaya baktığımızda; %29,7'sinin İngiltere, %16,8'inin Çin, %1,5'inin ABD, %11,3'ünün İtalya ve %5,2'sinin Singapur tarafından olmak üzere toplamda %74,5'inin yapıldığı görülmektedir. Diğer ülkeler Almanya, Fransa, Japonya, İsviçre, Avusturya, Avustralya, Kanada ve Tayvan %3,7 ile %1,3 arasında değişen oranlarda ithalat yapmışlardır. Bu başlıktaki ithalatın son %10'luk dilimini ise Hindistan, İrlanda, Tayland, Hong Kong, Güney Kore gibi ülkeler yaklaşık %1 civarında oranlarda gerçekleştirmişlerdir. Ülkelerin son 10 yıllık ithalatlarının oranlarında ise: İngiltere'nin ithalatının yıllara göre büyük değişimler göstermesine rağmen



Şekil 51. Dünya İşlenmemiş veya Pudra Halinde Platin İthalatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).

Çin'in ithalatının nispeten daha stabil olduğu müşahade edilmiştir. ABD, İtalya ve Singapur'un ithalatlarında ise; küçük de olsa artan bir seyir takip ettiği görülmüştür. Ülkelerin son on yıllık ortalamaları sırasıyla: İngiltere %27,1, Çin'in %21,5, ABD %10, İtalya %4,7 ve Singapur %3,7 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 52).



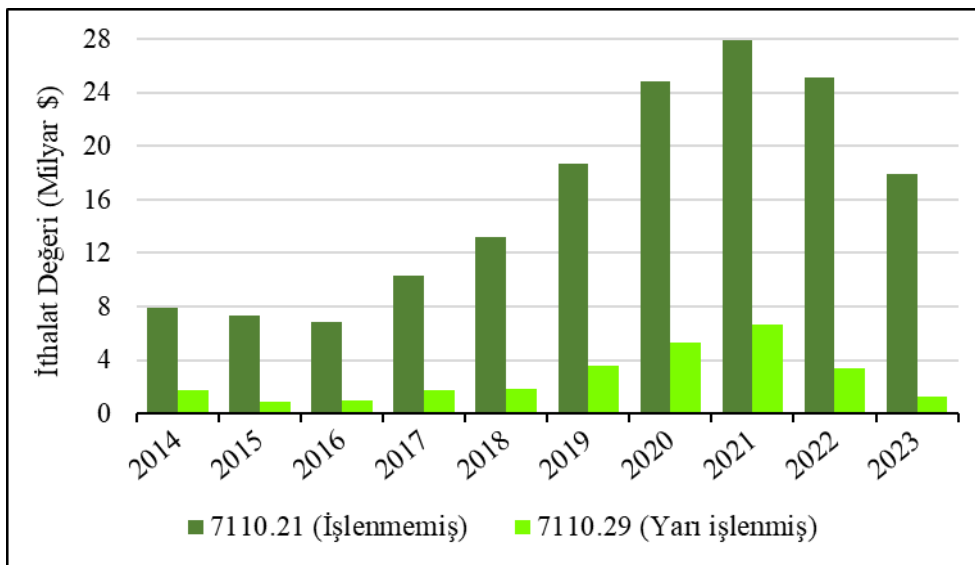
Şekil 52. Dünya Yarı İşlenmiş Platin İthalatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).

6.3.1.2. Dünya paladyum ithalatı

2023 yılında Dünya işlenmemiş paladyum ithalatı yaklaşık 17,96 milyar dolar ve yarı işlenmiş paladyum ithalatı yaklaşık 1,24 milyar dolar olmak üzere toplam 19,2 milyar dolar olarak gerçekleşmiştir (Tablo 11). Son on yılda işlenmemiş paladyum ithalatı 2016 yılında 7,94 milyar dolar civarından düzgün artışla 2021’de 28 milyar dolara yaklaşmıştır. 2022’de 25,1 milyar dolar ve 2023’de 17,96 milyar dolar olmuştur (Şekil 53). İthalatın arttığı aynı zaman diliminde fiyatların da arttığı gözlenmiştir. Bu artışlar; Avrupa ve Çin’deki egzoz emisyon düzenlemeleri, Rusya stoklarının azalması ve Güney Afrika’daki maden krizleriyle birlikte meydana gelmiştir. Ukrayna savaşı ile birlikte ithalat düşerken fiyatlarda düşüşe başlamıştır. Fiyatlardaki düşüş aynı eğimle 2024’de devam etmiştir (Şekil 46). Bu süreçte Dünya paladyum stok durumu sürekli olarak negatif pozisyonda kalmıştır (Şekil 25).

Yarı işlenmiş paladyum ithalatı da işlenmemiş paladyum ithalatı eğilimini göstermektedir. Bu kısımdaki ithalat hacmi çok daha küçük olup 2016 yılında 954 milyon dolardan 2021 yılında 6,7 milyar dolar civarına ulaşmıştır. 2021’den sonraki düşüşler, işlenmiş paladyum ithalatında daha yüksek gerçekleşmiştir (Şekil 53).

İşlenmemiş paladyum ithalatı ülkeler bazında irdelendiğinde; son on senede ABD’nin ithalatı toplam ithalatın %25’inden %15’ler seviyesine gerilediği, Almanya’nın bazı yıllarda değişiklik gösterse de ortalama %15 bandında kaldığı, Japonya’nın 2014’den itibaren %18’lerden %10’un altına düştüğü, yine Hong Kong’un 2020’den sonra %9 civarına gerilediği, İngiltere ortalamasının %8,9 olduğu, İtalya ve Çin’in on yıllık ortalamalarının %5,8 olarak gerçekleştiği görülmektedir. Belirgin bir düşüşün görüldüğü ABD hariç, diğer



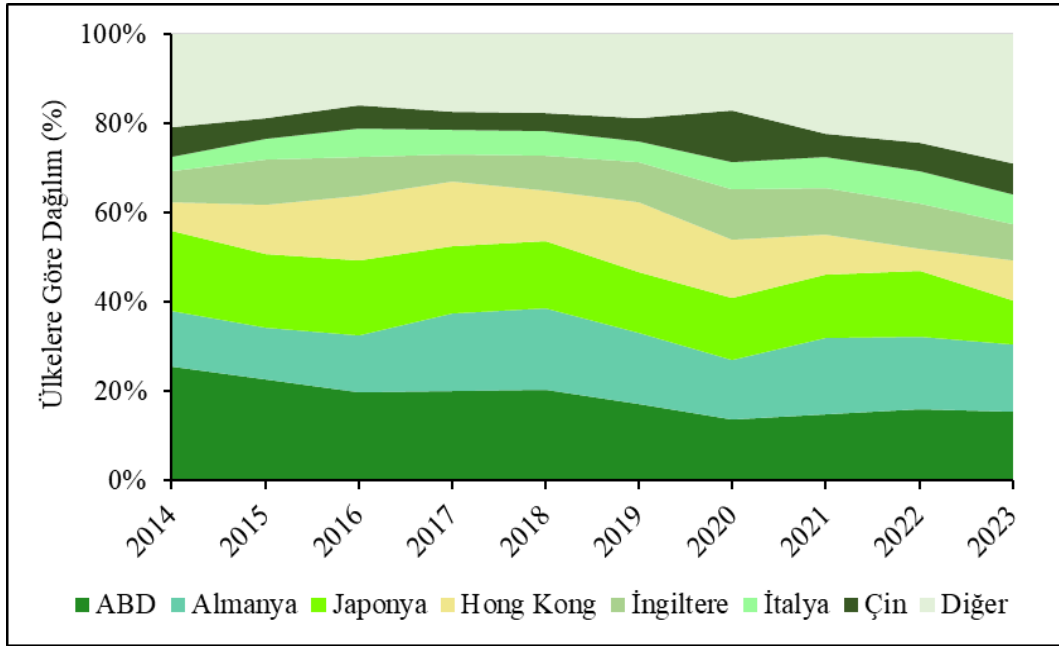
Şekil 53. Dünya Paladyum İthalat Değerleri (Milyar \$) (2014-2023).

Tablo 11. Ülkeler Bazında Dünya Paladyum İthalatı (Milyon \$) (2014-2023).

Ülkeler	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2023 (%)
ABD	2.021,6	1.676,5	1.356,5	2.090,2	2.705,7	3.189,6	3.413,9	4.156,7	3.985,9	2.757,7	15,4
Almanya	993,0	859,2	868,5	1.774,0	2.397,7	2.980,6	3.325,9	4.730,9	4.140,4	2.704,7	15,1
Japonya	1.428,6	1.203,7	1.130,1	1.585,3	2.005,2	2.523,7	3.464,3	3.968,9	3.654,3	1.785,2	9,9
Hong Kong	512,1	819,7	994,7	1.481,5	1.490,6	2.951,2	3.193,1	2.509,4	1.262,7	1.615,5	9,0
İngiltere	551,7	735,9	596,7	648,7	1.034,8	1.675,8	2.862,9	2.946,9	2.577,9	1.431,0	8,0
İtalya	240,2	343,5	442,2	560,9	716,0	877,7	1.506,8	1.929,7	1.820,5	1.221,0	6,8
Çin	540,0	354,7	346,0	408,8	539,6	942,1	2.830,6	1.447,4	1.601,3	1.220,9	6,8
İsviçre	440,3	378,2	276,7	486,1	582,7	844,9	1.304,8	1.682,0	1.215,3	1.125,5	6,3
Güney Kore	531,3	426,0	286,1	439,8	479,8	817,9	994,4	1.503,7	1.452,1	860,8	4,8
Makedonya	170,1	125,4	153,4	251,2	372,7	665,4	713,0	942,3	1.021,1	752,7	4,2
Kanada	10,1	7,0	6,9	7,0	27,3	33,9	24,3	10,4	459,1	656,2	3,7
Polonya	25,3	44,9	20,8	51,8	104,8	159,0	252,7	572,3	592,8	413,1	2,3
Diğer	472,5	397,5	341,9	569,8	785,2	1.001,0	985,3	1.532,6	1.351,1	1.414,6	7,9
Dünya Toplamı	7.936,6	7.372,2	6.820,4	10.354,8	13.242,2	18.662,5	24.872,0	27.933,3	25.134,2	17.958,9	100,0
İngiltere	310,3	53,0	76,7	755,9	505,0	1.541,2	2.049,4	2.327,1	541,7	286,2	23,0
ABD	361,8	229,6	279,2	322,7	409,4	578,2	1.074,3	1.232,6	387,7	227,9	18,3
Hindistan	42,5	37,8	17,6	22,2	44,3	74,7	209,7	208,0	161,1	130,6	10,5
İtalya	35,4	32,1	38,1	49,7	62,2	89,6	56,0	164,8	176,2	107,1	8,6
Fransa	29,5	19,5	26,8	18,7	25,0	30,2	28,2	39,5	74,5	94,8	7,6
Kanada	158,8	147,7	161,0	180,3	274,1	477,5	769,1	1.200,9	1.019,1	71,8	5,8
İsviçre	122,6	49,2	49,1	88,8	45,9	403,8	293,5	282,1	80,8	57,7	4,6
Almanya	106,2	84,7	52,4	47,7	30,0	47,2	39,5	49,9	38,4	53,0	4,3
Hong Kong	99,2	6,2	30,2	69,3	57,8	16,3	459,9	859,4	590,0	40,2	3,2
Çin	37,5	20,2	22,2	23,4	22,6	24,4	51,0	86,3	168,5	31,8	2,6
Güney Kore	21,6	10,9	13,4	23,0	28,1	30,9	42,1	50,6	46,4	25,5	2,1
Diğer	435,0	231,9	187,7	177,5	300,0	281,9	249,9	206,3	144,4	116,5	9,4
Dünya Toplamı	1.760,4	922,8	954,5	1.779,1	1.804,6	3.595,7	5.322,5	6.707,5	3.428,8	1.243,0	100,0

ülkelerin -bazı yıllarda ithalatlarında sert düşüş ve çıkışlar yaşanmalarına rağmen- genelde bir denge tutturdıkları söylenebilir. ABD'deki düşüşe karşılık, diğer ülkeler bazında aleni bir artış müşahade edilmiştir (Şekil 54). Bu sınıfta ithalat yapan diğer ülkeler: İsviçre (%6,3), Güney Kore (%4,8), Makedonya (%4,2), Kanada (%3,7), Polonya (%2,3) ...

İngiltere'nin, -son on yılda- yarı işlenmiş paladyum ithalatında her sene dalgalanmalar görülmesine rağmen 2017'den itibaren toplam ithalatın ortalama %25,7'sini yaparak lider konumda bulunmaktadır. Daha istikrarlı şekilde ithalat yapan ABD'nin ortalaması %20'dir. Daha sonra Hindistan %3,6, İtalya %3,5, Fransa %2,1 ortalama ithalat değerleriyle yarı işlenmiş paladyum ithalatı yapmışlardır. Fransa'nın 2022'den sonra alımları artırdığı müşahade edilmiştir. Kanada 2023 yılında toplam ithalatın %5,8'ini yapmış olmasına karşın; son on yıllık ortalaması %14,8'dir (Şekil 55). Yarı işlenmiş paladyum ithalatı gerçekleştiren diğer ülkeler arasında; İsviçre (%4,6), Almanya (%4,3), Hong Kong (%3,2), Çin (%2,6), Güney Kore (%2,1) yer almaktadır.



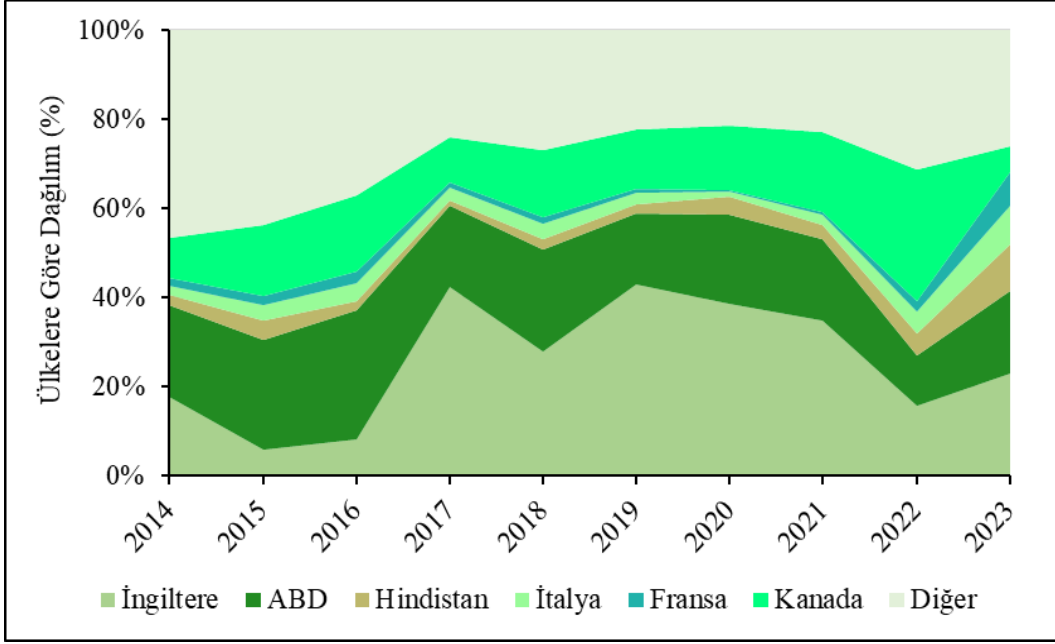
Şekil 54. Dünya İşlenmemiş veya Pudra Halinde Paladyum İthalatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).

6.3.1.3. Dünya rodyum ithalatı

Dünya işlenmemiş rodyum ithalatı 2014-2017 yıllarında 1-1,4 milyar dolar seviyesinde gerçekleşmiştir. Bu tarihten itibaren parabolik artış sergileyerek 2021 yılında son on yılın en yüksek seviyesi olan 33 milyar doların üzerine çıkmıştır (Tablo 12). Tepe noktadan, düzgün bir eğimle iki yıl içinde 11,3 milyar dolar seviyesine gerilemiştir (Şekil 56). Rodyum ithalatı,

Tablo 12. Ülkeler Bazında Dünya Rodyum İthalatı (Milyon \$) (2014-2023).

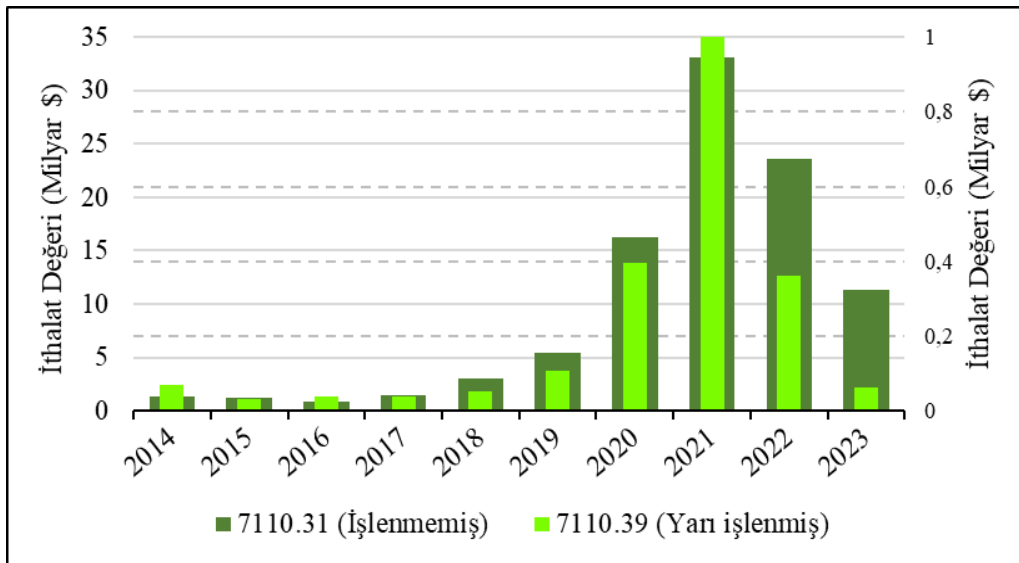
Ülkeler	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2023 (%)	
7110.31 Rodyum (İşlenmiş)	ABD	387,1	331,7	218,7	380,4	979,4	4.357,4	9.156,3	6.763,3	3.023,6	26,8	
	Japonya	152,3	134,6	128,1	222,7	473,1	699,6	2.140,8	5.137,6	3.913,3	1.686,7	14,9
	Almanya	181,7	143,3	114,4	209,7	487,5	897,9	2.288,4	5.052,5	3.508,1	1.545,3	13,7
	Çin	301,9	176,7	108,4	137,7	227,1	564,5	2.445,1	4.003,9	2.822,0	1.270,8	11,2
	İngiltere	59,3	81,3	61,6	128,8	241,8	520,8	2.018,9	3.654,8	2.371,6	1.063,9	9,4
	Hong Kong	126,1	133,2	147,0	163,8	171,8	379,5	810,9	1.208,9	699,8	592,9	5,2
	İtalya	36,9	38,4	28,1	41,9	107,1	196,5	590,8	1.309,4	947,5	551,1	4,9
	Güney Kore	37,3	31,0	16,4	30,4	78,4	157,3	504,0	1.196,6	902,9	451,1	4,0
	Diğer	96,8	104,1	74,9	124,7	278,0	446,3	1.096,7	2.361,9	1.617,3	1.114,1	9,9
	Dünya Toplamı	1.379,4	1.174,2	897,5	1.440,3	3.044,1	5.497,3	16.253,0	33.081,9	23.545,8	11.299,5	100,0
	7110.39 Rodyum (Yarı işlenmiş)	Kanada	0,3	0,1	0,5	0,9	0,7	8,8	12,7	286,1	17,4	27,7
Güney Afrika		0,0	0,0	0,1	0,3	1,5	6,3	16,2	2,6	10,5	16,6	
ABD		22,3	7,4	12,8	7,4	10,9	28,6	237,7	693,0	22,0	7,0	11,0
Hindistan		3,6	3,2	0,7	2,1	6,9	6,8	44,7	47,4	6,3	4,8	7,7
Fransa		0,1	0,4	0,1	0,2	0,4	1,9	4,4	8,2	7,3	4,4	7,0
Avusturya		0,3	1,1	0,5	0,7	1,6	2,2	3,1	8,3	7,6	3,6	5,7
İtalya		2,4	1,4	1,4	2,1	1,2	5,1	11,0	26,2	5,9	2,7	4,2
İngiltere		12,6	2,0	5,7	4,7	7,1	26,9	20,3	116,1	3,0	2,4	3,7
Japonya		2,5	0,6	0,7	0,8	1,4	1,4	1,4	1,2	1,5	1,3	2,1
Almanya		0,5	0,1	0,2	0,1	0,2	0,5	7,3	27,3	1,5	1,1	1,7
Avusturya		0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,9	1,4
Yeni Zelanda	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,7	1,1	
Diğer	25,4	15,5	17,4	19,5	19,1	31,1	51,9	62,2	18,6	6,3	10,0	
Dünya Toplamı	70,3	32,0	40,2	38,8	51,1	106,7	397,0	1.018,8	362,6	63,0	100,0	



Şekil 55. Dünya Yarı İşlenmiş Paladyum İthalatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).

rodyum fiyatı ile aynı eğilimi göstermiştir. 2010'ların başında Güney Afrika'daki UG2 resifindeki madende rodyum üretiminin artması neticesinde; 2017'ye kadar ithalatta ve rodyum fiyatında fazla bir etki görülmemiştir. Fakat 2020'de Güney Afrika'daki madencilik kesintisi 2021'de fiyatlarda büyük bir etki yapmış ve ilginç bir şekilde ithalat da hemen aynı sene zirveye çıkmıştır (Şekil 45).

Dünya yarı işlenmiş rodyum ithalatı da işlenmemiş rodyum ithalatına benzer gelişim göstermiştir. 2017'ye kadar 40 milyon dolar civarındaki ithalat, parabolik bir artışla 1 milyar

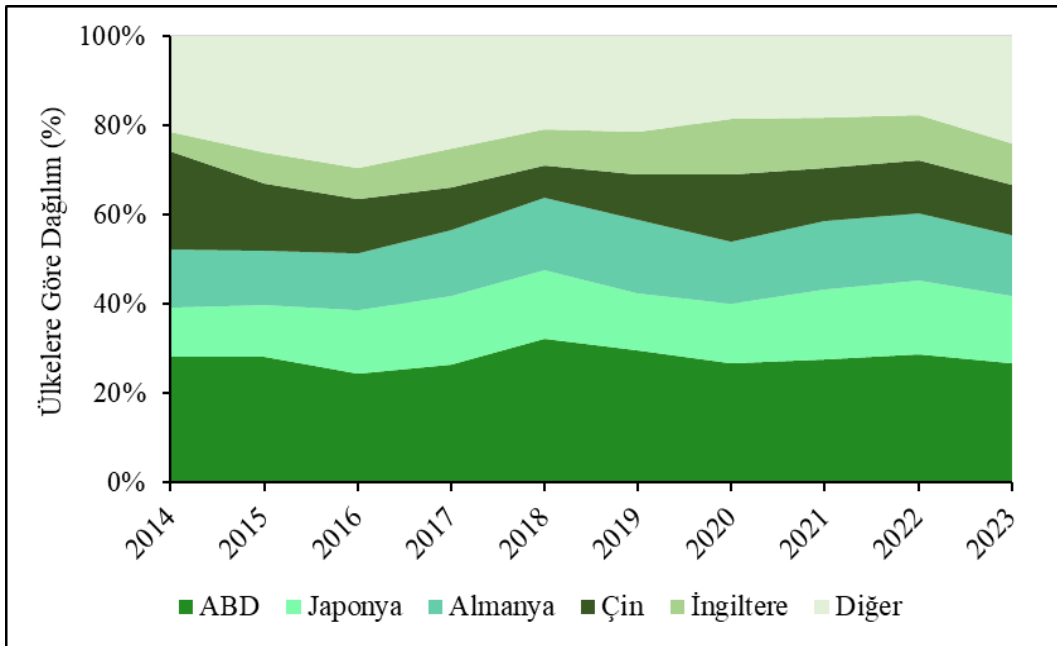


Şekil 56. Dünya Rodyum İthalat Değerleri (Milyar \$) (2014-2023).

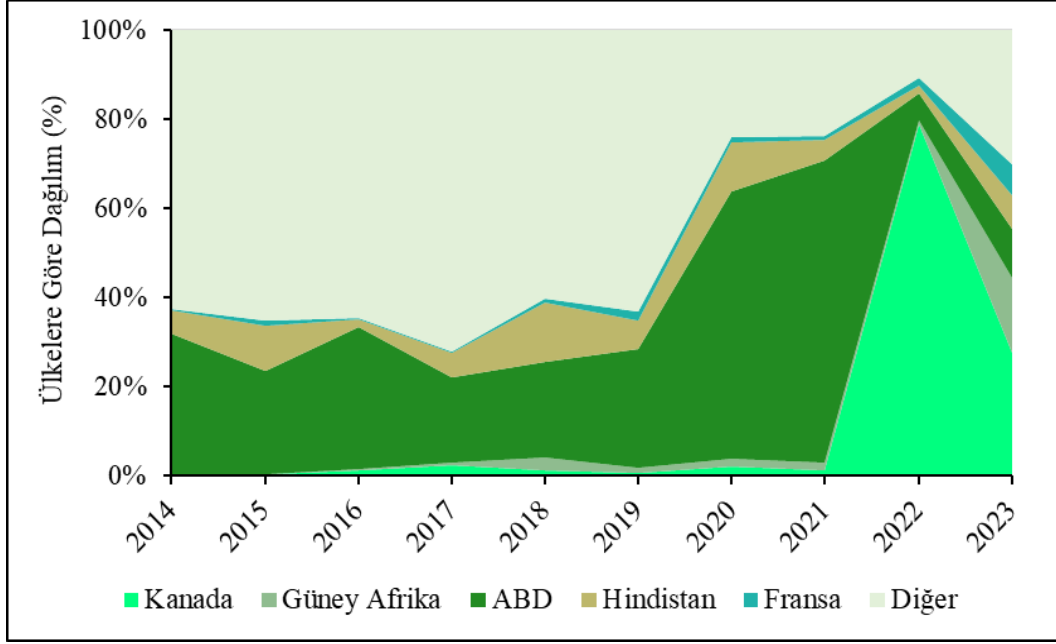
doların üzerine çıkmıştır. Daha sonra çok keskin düşüş göstererek 2023’de 63 milyon dolar civarına inmiştir (Şekil 56).

Dünya işlenmemiş rodyum ithalatı yapan ülkeler ve oranları -2014 yılından itibaren küçük dalgalanmalar görülmesine rağmen- stabil kalmıştır. 2014’den itibaren Dünya ithalat toplamının ortalama %27,9’unu yapan ABD, son on yılın en çok ithalat yapan ülkesidir. Daha sonra sırasıyla Japonya (%14,1), Almanya (%14,3), Çin (%12,7), İngiltere (%8,7) gelmektedir. Bu ülkelerden Çin, 2014’de %21’in üzerinde ithalat yaparken 2018’de toplam ithalatın sadece %7,5’ini yapmıştır. Daha sonra tekrar %10’ların üzerine çıkmıştır (Şekil 57). Bu alanda Dünyada ithalat yapan diğer ülkeler arasında Hong Kong (%5,2), İtalya (%4,9), Güney Kore (%4), Kanada (%2,8), Polonya (%1,4), Brezilya (%1,4) vd. yer almaktadır.

Dünya işlenmemiş rodyum ithalatının aksine yarı işlenmiş rodyum ithalatı yapan ülkeler ve oranlarında son yıllarda büyük değişiklikler meydana gelmiştir. 2023 yılında %27,7 payla en çok ithalat yapan Kanada, bir önceki sene %78,9 ve 2014-2021 arası ortalama %1,2 ithalat yapmıştır. Güney Afrika’da 2023 yılında %16,6 ithalat yaparken bu yıldan önceki dokuz yılda ortalama %1 ithalat yapmıştır. 2023’de üçüncü sırada bulunan ABD ise; 2021’de %68 ile en çok yarı işlenmiş rodyum ithal ederken son iki senede %6,1 ve %11 oranında rodyum ithal etmiştir. ABD’nin 2021 öncesi ortalaması da %30,6 ile bir hayli yüksektir. 2023’de dördüncü sırada bulunan Hindistan, dalgalı bir ithalat payına sahip olup oranı %1,7 ile %13,4 arasında değişmektedir. 2023’de %7’lik ithalat oranını haiz Fransa’nın daha önceki yıllar ortalaması %1’dir (Şekil 58). Dünya yarı işlenmiş rodyum ithalatını yapan diğer ülkeler:



Şekil 57. Dünya İşlenmemiş veya Pudra Halinde Rodyum İthalatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).



Şekil 58. Dünya Yarı İşlenmiş Rodyum İthalatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).

Avusturya (%5,7), İtalya (%4,2), İngiltere (%3,7), Japonya (%2,1), Almanya (%1,7), Avusturya (%1,4), Yeni Zelanda (%1,1) ...

6.3.1.4. Dünya iridyum, osmiyum ve rutenyum ithalatı

Dünya İOR ithalatına ait veriler ITC'nin sitesinde aynı kalemde verilmektedir. Dolayısıyla bu elementlerin ayrı ayrı ithalat detaylarına vakıf değiliz. Bu üç elementin işlenmemiş ithalatı 2014 yılında 365 milyon dolar gerçekleşirken daha sonraki iki yıl 300 milyon doların altına düşmesine karşın; takip eden yıllarda artarak 2021'de 2,6 milyar dolara yaklaşmıştır. 2022 ve 2023'de 2,1 milyar doların üzerinde bir ithalat değeri ile kapanmıştır (Tablo 13) (Şekil 59).

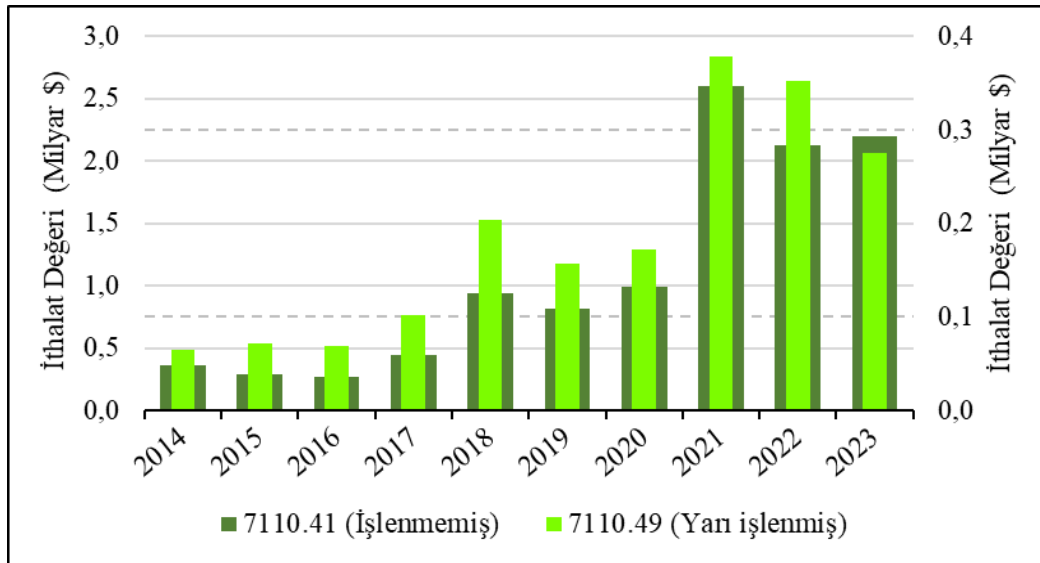
Dünya yarı işlenmiş İOR ithalatı ise hemen hemen işlenmemiş halde yapılan ithalatla aynı seyri göstermiştir. 2014 yılında 65 milyon doların biraz üzerinde olan ithalat, 2017'de 102,5 milyon dolara ve 2021'de son on yılın en yüksek ithalatı olan 377,7 milyon dolara ulaşmıştır. 2022 ve 2023'de sırasıyla 351,7 ve 275,6 milyon dolar olmuştur (Şekil 59).

2023 yılında Dünya işlenmemiş İOR ithalatının %77'si Japonya, Çin, ABD ve Hong Kong tarafından yapılmıştır. Bu dört ülke son on yıldaki Dünya ithalatının ortalama %73'ünü gerçekleştirmişlerdir. Japonya 2014-2023 aralığında ortalama yaptığı ithalat %31,1'dir. %38,2 ile 2019 yılında en çok ithalat yapan Japonya, hemen ertesi yıl %24,4 ile en düşük ithalatı yapmıştır. 2023 yılında ikinci sırada bulunan Çin, 2014'de %2 ithalat

Tablo 13. Ülkeler Bazında Dünya İridyum, Osmiyum ve Rutenyum İthalatı (Milyon \$) (2014-2023).

	Ülkeler	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2023 (%)
7110.41 İridyum, Osmiyum ve Rutenyum (İşlenmemiş)	Japonya	107,9	91,5	97,8	142,2	314,9	310,2	242,0	809,0	592,5	578,6	26,4
	Çin	7,5	10,4	16,4	38,5	75,0	90,5	193,8	398,0	356,2	415,9	19,0
	ABD	53,4	29,6	35,8	70,6	169,6	127,8	185,2	505,3	373,3	370,4	16,9
	Hong Kong	62,9	58,9	49,1	48,4	75,4	104,0	173,3	395,0	275,0	330,4	15,1
	Almanya	59,9	33,3	22,9	39,6	69,2	43,3	61,4	131,2	124,9	144,0	6,6
	İngiltere	17,3	21,8	20,3	54,1	67,5	44,6	41,4	89,2	147,5	136,0	6,2
	Diğer	56,3	42,9	31,3	51,7	170,3	91,7	93,9	267,9	253,3	217,2	9,9
	Dünya Top.	365,2	288,3	273,7	445,1	941,8	812,1	991,0	2.595,6	2.122,8	2.192,5	100,0
7110.49.İridyum, Osmiyum ve Rutenyum (Yarı İşlenmiş)	ABD	15,7	22,9	21,0	27,4	28,8	25,3	34,2	79,4	56,1	54,6	19,8
	Çin	14,7	11,6	13,3	25,1	49,3	46,1	51,3	85,6	72,9	47,3	17,2
	Almanya	8,0	3,0	5,8	4,4	5,1	4,9	6,3	24,5	25,5	40,9	14,9
	İngiltere	0,6	2,8	1,1	1,0	3,2	3,3	4,6	19,8	18,5	28,3	10,3
	Avusturya	3,9	3,5	2,9	7,1	8,3	9,2	12,1	22,6	29,3	22,8	8,3
	Singapur	5,1	5,6	5,8	4,1	20,8	11,1	22,2	55,9	69,2	17,5	6,4
	Japonya	3,3	5,7	3,4	4,1	17,6	15,0	17,5	41,7	36,0	16,3	5,9
	Malezya	2,8	5,6	6,3	14,9	49,6	24,7	11,2	20,5	11,8	9,3	3,4
	Güney Kore	0,5	0,3	0,2	0,4	0,6	1,0	1,1	1,2	4,2	7,7	2,8
	Kanada	0,1	0,3	0,2	0,1	0,4	0,4	0,2	0,7	1,5	7,0	2,6
	Diğer	10,7	10,6	9,4	14,0	19,6	16,5	11,7	25,6	26,8	23,8	8,6
	Dünya Top.	65,4	71,9	69,1	102,5	203,2	157,3	172,4	377,7	351,8	275,6	100,0

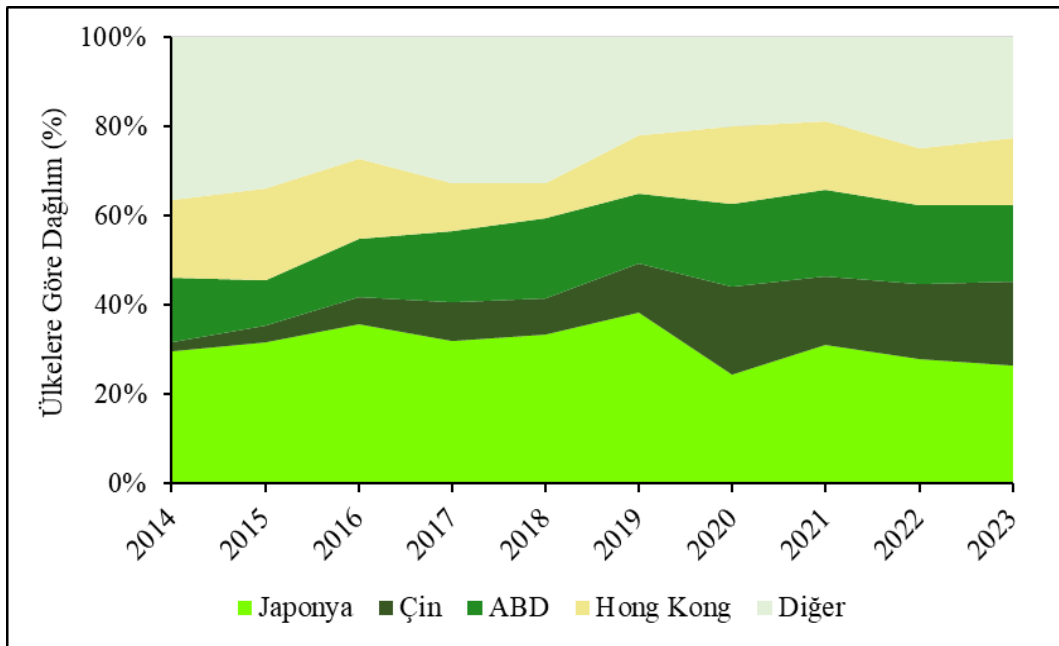
gerçekleştirmiştir. Takip eden yıllarda mütemediyen artarak 2023 yılında %19 seviyesine çıkmıştır. ABD'nin bu kalemde son on yıllık ortalaması %16'dır. Genel olarak stabil denilebilecek ithalat miktarına sahip ABD, en yüksek orana %19,5 ile 2021'de ulaşmıştır.



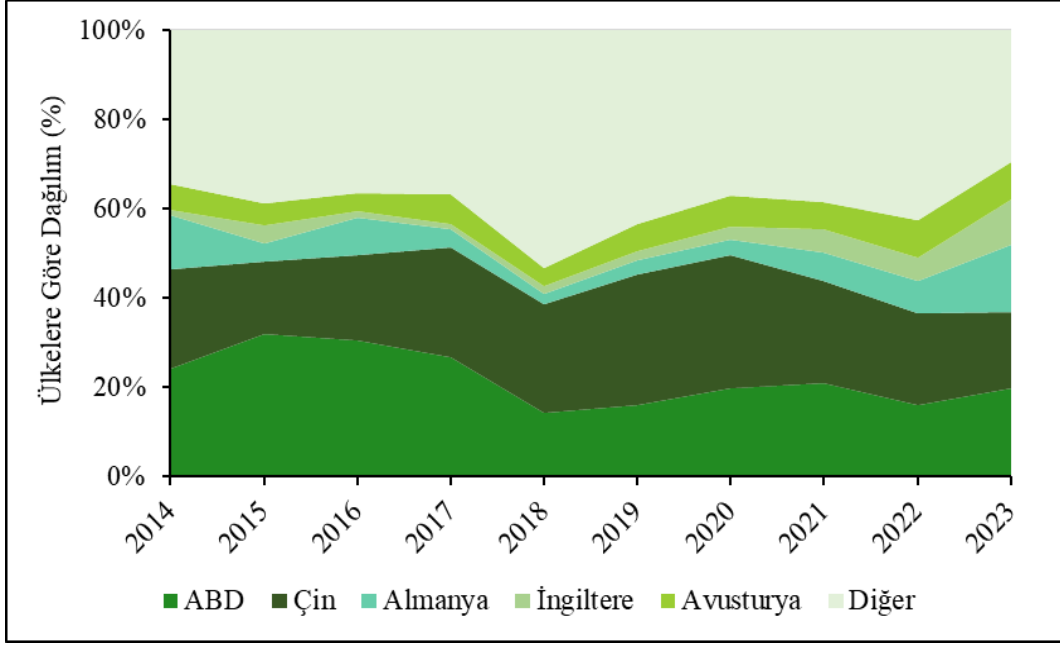
Şekil 59. Dünya İridyum, Osmiyum ve Rutenyum İthalat Değerleri (Milyar \$) (2014-2023).

2023 yılında %22,7'lik ithalatla dördüncü sırada yer alan Hong Kong, 2015'de %20,4 ile en yüksek ithalatı yapmış olup on yıl ortalaması %14,8'dir. İstatistiklerde ayrı kalemler şeklinde gösterilmesine karşılık Çin ve Hong Kong'u bir olarak düşünürsek Japonya'nın ithalatına yaklaşmaktadır (Şekil 60). İşlenmemiş İOR ithalatı yapan diğer ülkeler; Almanya (%6,6), İngiltere (%6,2), Belçika (%2,9), İtalya (%2), İsviçre (%1,1)... şeklinde sıralanmaktadır.

Dünya yarı işlenmiş İOR ithalatının 2023 yılında büyük kısmı ABD (%19,8), Çin (%17,2), Almanya (%14,9), İngiltere (%10,3) ve Avusturya (%8,3) tarafından yapılmıştır. Bu kalemden ithalat yapan ülkeler oldukça dalgalı bir seyir takip etmektedir. ABD 2015'te %31,9 ile en yüksek ithalatı yapmış olup ortalaması %22 civarındadır. 2023 yılında ABD'nin ardından gelen Çin'in son on yıllık ortalaması %22,6'dır. Çin en yüksek ithalatını 2020'de %29,7 ile yapmıştır. Almanya 2014'de %12,2 ithalat yaparken 2023'e kadar ara yıllarda %8'in altında ithalat gerçekleştirmiştir. İngiltere'nin ithalatı ise 2023'e kadar %5,5'in altında olurken ilk kez 2023'de %10'un üzerine çıkmıştır. Avusturya ise son on yılda %4,1 ile %8,3 arasında nispeten daha stabil ithalat bandına sahiptir (Şekil 61). Dünya yarı işlenmiş İOR ithalatının kalan kısmının kayda değer miktarı Singapur (%6,4), Japonya (%5,9), Malezya (%3,4), Güney Kore (%2,8), Kanada (%2,6), Tayvan (%1,4), Hindistan (%1,3), İtalya (%1,3), Bulgaristan (%1) ... tarafından yapılmıştır.



Şekil 60. Dünya İşlenmemiş veya Pudra Halinde İridyum, Osmiyum ve Rutenyum İthalatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).



Şekil 61. Dünya Yarı İşlenmiş İridyum, Osmiyum ve Rutenyum İthalatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).

6.3.2. Dünya platin grubu metalleri ihracatı

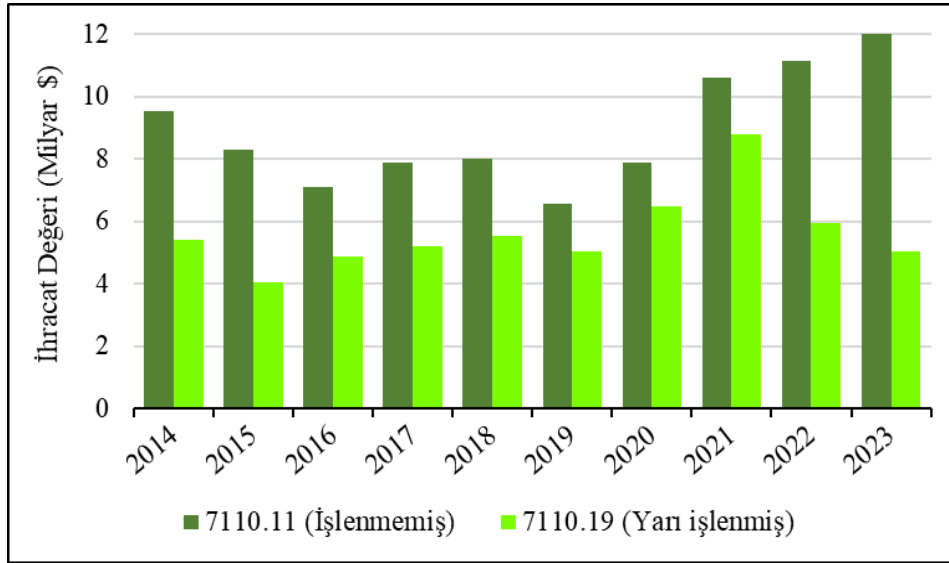
Dünya PGM ihracatı, Dünya platin ithalatı gibi platin, paladyum, rodyum ayrı başlıklar ve kalan elementler olan iridyum, osmiyum ve rutenyum aynı başlık altında incelenmiştir. Ülkeler bazında yapılan değerlendirmede toplam ihracatın %70'inin üzerindeki ihracatı gerçekleştiren ülkeler alınmıştır.

6.3.2.1. Dünya platin ihracatı

Dünya işlenmemiş platin ihracatı son on yılda 2019 yılında en düşük 6,5 milyar doların üzerinde ve en yüksek 2023 yılında 12 milyar doların üzerinde gerçekleşmiştir. Ortalaması 9 milyar dolara yakın olan Dünya işlenmemiş platin ihracatı, 2014 yılında 9,5 milyar doların üzerinde olmuştur. 2019'dan itibaren düzenli olarak artarak 2023'de tepe noktaya ulaşmıştır (Tablo 14). Son on yılda, 2014'ten (9,54 Milyar \$) itibaren sabit eğimle azalırken 2017 ve 2018 yıllarında yaklaşık 8 milyar dolarlık hacim gerçekleşmiş ve ardından önceki eğim gereği 2019'da 6,56 milyar dolara gerilemiştir. Daha sonra 2023'e kadar sabit bir eğimle artış görülmektedir (Şekil 62). Aslında genel hatlarıyla Dünya işlenmemiş platin ithalatında da -madencilik sektöründeki olaylara dayandırılabilir bazı yıllardaki ani yükselişler hariç-benzer davranış gözlenmektedir. Üretim ve tüketim tablosuna (Şekil 18) bakıldığında çok büyük sıçramaların olmamasına istinaden; aradaki açığın stok ayarlamalarıyla giderildiği anlaşılmaktadır.

Tablo 14. Ülkeler Bazında Dünya Platin İhracat Değerleri (Milyon \$) (2014-2023).

Ülkeler	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2023 (%)
Hong Kong	701,3	672,5	542,7	691,1	643,3	524,0	1.045,7	1.582,2	1.242,8	2.520,6	20,7
Güney Afrika	1.943,7	3.174,4	1.916,6	1.956,0	1.842,1	829,3	929,3	1.703,6	1.797,8	1.980,9	16,3
Rusya	43,6	207,9	530,4	699,5	674,3	612,2	667,9	704,6	564,6	1.444,9	11,9
İngiltere	2.001,8	1.571,5	1.507,7	1.649,4	1.352,2	1.047,9	1.005,7	1.383,1	1.154,5	1.430,8	11,8
İtalya	465,6	401,6	777,0	828,3	722,3	666,2	684,5	882,2	924,6	967,4	8,0
ABD	929,2	541,3	507,9	630,7	754,2	497,7	887,4	982,2	1.121,2	799,7	6,6
Belçika	0,0	0,0	0,0	0,0	360,2	665,9	662,2	873,0	730,7	707,9	5,8
Almanya	834,9	457,1	360,5	512,5	734,3	705,0	687,2	705,6	662,9	651,9	5,4
İsviçre	1.095,8	326,6	297,0	352,2	302,1	230,0	254,9	429,7	393,5	476,9	3,9
Diğer	1.519,5	939,5	677,7	583,3	635,2	781,5	1.054,9	1.351,5	2.531,2	1.187,7	9,8
Dünya Toplamı	9.535,4	8.292,5	7.117,6	7.903,0	8.020,1	6.559,6	7.879,7	10.597,7	11.123,8	12.168,7	100,0
Güney Afrika	2.705,3	1.490,0	2.321,3	2.222,6	2.316,4	2.612,8	2.085,1	3.369,4	1.916,1	1.921,9	38,1
İngiltere	587,9	688,6	679,8	1.076,6	1.283,0	678,1	1.765,3	2.280,9	1.588,4	963,2	19,1
Almanya	311,5	281,2	359,3	320,9	310,5	315,4	326,9	439,6	442,3	328,5	6,5
Hong Kong	100,0	224,5	231,2	331,7	342,8	193,8	142,6	213,0	110,4	291,7	5,8
Japonya	338,4	261,3	296,0	358,7	384,3	335,9	324,3	446,3	411,9	268,7	5,3
İsviçre	209,6	230,6	388,9	181,6	269,8	269,2	912,2	695,9	418,1	259,5	5,1
ABD	116,6	131,4	104,6	130,4	172,0	180,0	414,8	627,2	288,1	249,9	5,0
Rusya	13,3	14,9	14,1	35,2	13,9	15,5	18,3	41,5	141,0	191,0	3,8
Tayvan	1.095,8	276,3	111,6	132,9	120,1	107,6	123,7	190,1	143,0	101,0	2,0
Diğer	768,3	444,1	383,9	398,0	328,5	333,7	374,7	468,3	493,6	464,9	9,2
Dünya Toplamı	5.400,8	4.042,9	4.890,7	5.188,5	5.541,2	5.042,0	6.487,8	8.772,3	5.952,8	5.040,4	100,0

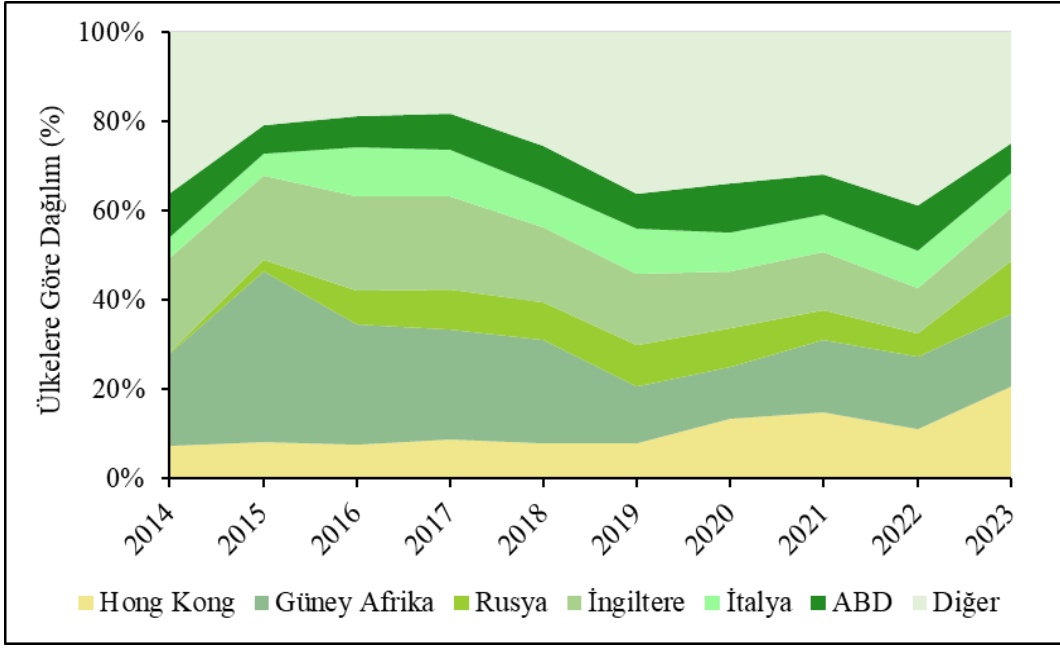


Şekil 62. Dünya Platin İhracat Değerleri (Milyar \$) (2014-2023).

Dünya yarı işlenmiş platin ihracatı ise son on yılda 2021 yılında 8,7 milyar dolar ile en yüksek değere ulaşmıştır. En düşük ihracat 2015 yılında 4 milyar doların biraz üzerinde gerçekleşmiştir. İhracat 2015’den 2021’e kadar nispeten düzenli bir artış göstermiş, bu tarihten sonraki iki yılda 5 milyar civarına gerilemiştir (Şekil 62).

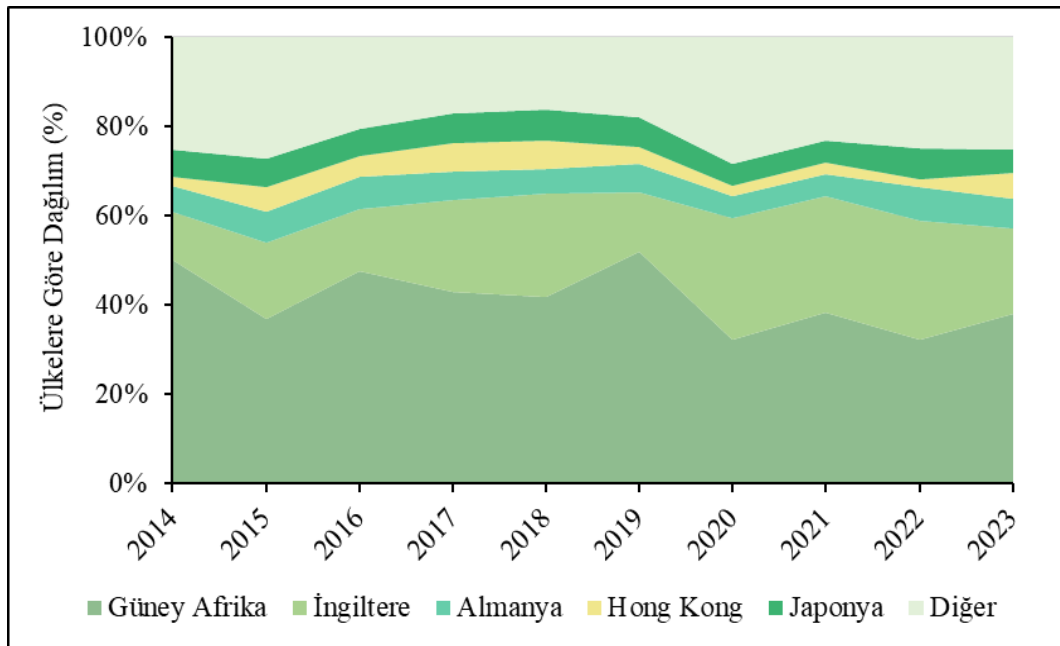
Platin üretiminin büyük kısmını Güney Afrika ve Rusya tarafından yapılmaktadır. Bununla birlikte 2023 yılında Dünya işlenmemiş platin ihracatını gerçekleştiren Hong Kong %20,7 ile en yüksek ihracatı yapmış görünmektedir. Hong Kong 2014’den (%7,4) itibaren artarak bu seviye ulaşmıştır. 2023 ihracatında %16,3 payla ikinci sırada görünen en büyük üretici Güney Afrika’nın on yıllık ortalaması %20,6’dır. 2023’de üçüncü sırada yer alan Rusya %11,9, dördüncü İngiltere %11,8, daha sonra yer alan İtalya ve ABD ise sırasıyla %8 ve %6,6 ihracat yapmışlardır. Dünya üretiminin %13,6’sını yapan Rusya’nın Dünya ihracatının %11,9’unu yapması anlaşılabilir bir durumdur. Buradaki durum (Hong Kong’un ilk sırada oluşu) 48 ve 49. dip notlarda açıklanan “İşlenmemiş veya pudra halinde” tanımlamasının içeriğinden kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Bu da Hong Kong, İngiltere, İtalya vd. ülkelerin ihracat sıralamasına girmesini açıklamaktadır. Ayrıca bu ülkelerdeki rafinerilerin varlığı bu mekanizmayı açıklamaktadır (Şekil 63). Burada diğer ülkeler arasında; Belçika (%5,8), Almanya (%5,4), İsviçre (%3,9), Japonya (%3,6), Güney Kore (%1,3), Singapur (%1,2) vd. yer almaktadır.

Dünya yarı işlenmiş platin ihracatında Güney Afrika 2023 yılında %38,1 ile ilk sırada yer almaktadır. Güney Afrika’nın işlenmemiş ve yarı işlenmiş platin ihracatlarını topladığımızda %54,4’e ulaşmaktadır. Bu da Güney Afrika’nın üretimine yaklaşmaktadır. Son on yıllık



Şekil 63. Dünya İşlenmemiş veya Pudra Halinde Platin İhracatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).

ortalaması %41,2 olan Güney Afrika yarı işlenmiş platin ihracatı 2019’da %51,8’lik oranda en çok ihracat yapılan yıldan sonra, %30’lar bandına geri gelmiştir. 2023 yılında Güney Afrika’nın ardından İngiltere (%19,1), Almanya (%6,5), Hong Kong (%5,8), Japonya (%5,3) gelmektedir (Şekil 64). Yarı işlenmiş platin ihracatında bu ülkelerin bulunması, ithalatta da aynı ülkelerin yer alması, ithal ettikleri ürünlerin işlenmesi ve ihracatına



Şekil 64. Dünya Yarı İşlenmiş Platin İhracatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).

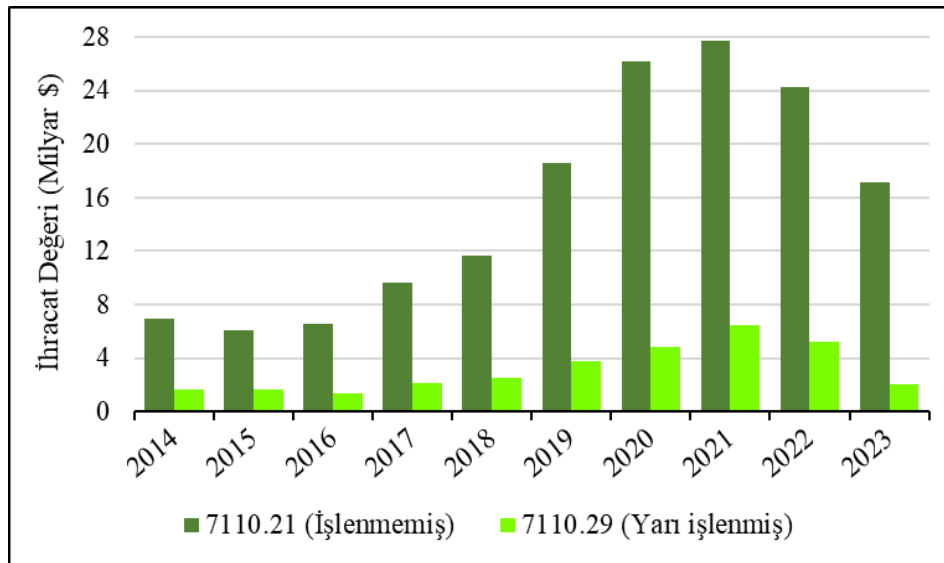
yöneldikleri anlamına gelmektedir. Diğer ülkeler içerisinde İsviçre (%5,1), ABD (%5), Rusya (%3,8), Tayvan (%2), Avusturya (%1,8) bulunmaktadır.

6.3.2.2. Dünya paladyum ihracatı

Dünya işlenmemiş paladyum ihracatı son on yılın ilk üç yılında 6,5 milyar dolar seviyelerinden yükselişe geçerek 2021’de tepe noktası olan 17,7 milyar dolar seviyelerine çıkmıştır. Daha sonra yükseldiği hızdan daha hızlı bir şekilde son iki yıl geri çekilerek 17,2 milyar dolara kadar düşmüştür (Tablo 15). Bu çıkışta egzoz emisyon düzenlemeleri kadar Güney Afrika’daki üretim kesintileri ve fiyat artışı etkili olmuştur. Ardından gelen düşüşte ise Rusya’daki kesinti ile Rusya Ukrayna savaşının belirleyici olduğu düşünülmektedir (Şekil 65).

Dünya yarı işlenmiş paladyum ihracatı, son on yılda işlenmemiş paladyum ihracatı ile aynı eğilimini göstermiştir. Son on yılda 2021’de 6,4 milyar dolar ile en yüksek ihracat hacmine ulaşmıştır. Bu tarihten sonra 2023’de 2 milyar doların üzerine kadar düşmüştür. 2014’te 6,77 milyar dolardan, takip eden iki sene hafif düşüş göstermiş, ardından 2017’de 9,6 milyar dolar ile yükseliş eğilimine girmiştir (Şekil 65).

Dünya işlenmemiş paladyum ihracatında ilk sırada üretici Rusya ve ardından başka bir üretici ABD gelmektedir. Rusya ihracatta en çok paya sahip olduğu 2016 yılında %27,3 ihracat yaparken son on yıllık ortalaması %21,1’dir. Rusya 2016’dan itibaren devamlı surette %20’nin üzerinde ihracat yapmıştır. Son yıllardaki ortalaması %14,9 olan ABD, 2016 yılı hariç sürekli olarak %13’ün üzerinde ihracat yapmıştır. 2014 ve 2015’de %20’nin üzerinde



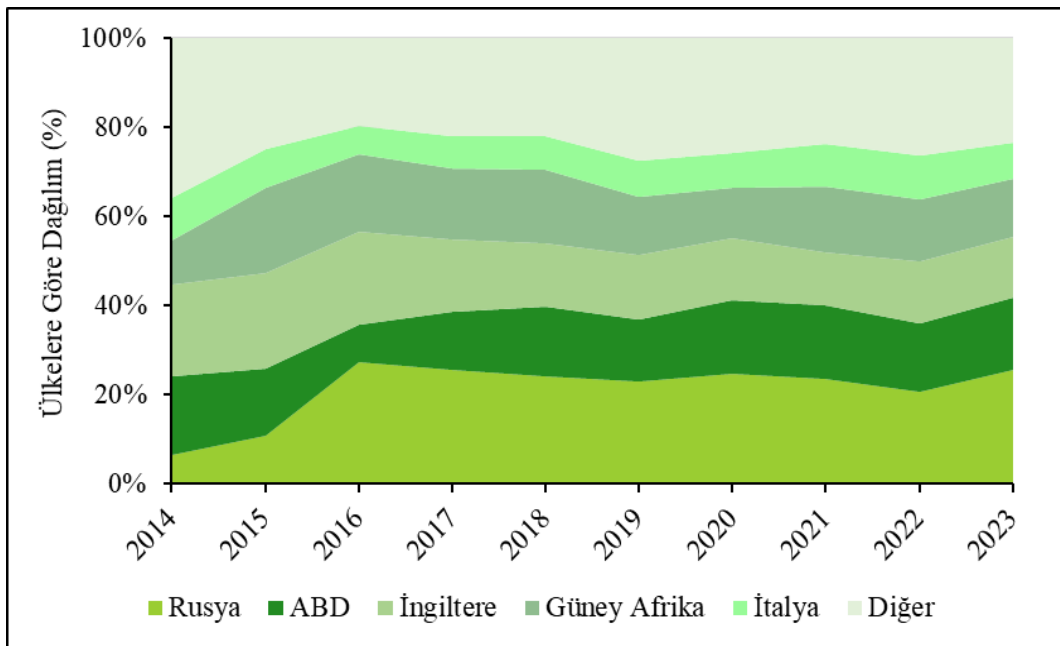
Şekil 65. Dünya Paladyum İhracat Değerleri (Milyar \$) (2014-2023).

Tablo 15. Ülkeler Bazında Dünya Paladyum İhracat Değerleri (Milyon \$) (2014-2023).

Ülkeler	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2023 (%)	
7110.21 Paladyum (İşlenmiş)	Rusya	448,3	662,7	1.785,8	2.448,3	2.808,7	4.256,0	6.449,0	6.540,7	5.007,6	4.381,8	25,5
	ABD	1.234,8	923,9	558,2	1.268,7	1.837,9	2.608,0	4.318,4	4.530,1	3.717,7	2.798,1	16,3
	İngiltere	1.442,8	1.321,5	1.357,6	1.548,0	1.660,9	2.697,2	3.695,9	3.294,9	3.356,4	2.321,4	13,5
	Güney Afrika	691,7	1.159,9	1.147,9	1.525,2	1.942,0	2.398,9	2.960,0	4.081,7	3.400,3	2.255,3	13,1
	İtalya	656,8	543,3	399,7	695,5	866,5	1.506,1	2.049,9	2.691,7	2.365,5	1.395,6	8,1
	Belçika	279,9	273,2	261,8	418,7	420,9	1.397,3	1.694,6	1.900,2	1.614,0	1.108,1	6,5
	Almanya	766,7	490,2	376,6	729,3	1.205,6	1.798,4	1.824,9	1.606,5	1.325,7	847,8	4,9
	Hong Kong	18,5	32,4	106,2	80,9	22,6	104,2	595,6	262,5	659,5	471,0	2,7
	Diğer	1.095,8	724,1	551,5	884,9	932,0	1.816,6	2.606,0	2.779,2	2.771,0	1.573,4	9,2
	Dünya Toplamı	6.991,1	6.131,0	6.545,4	9.599,3	11.697,0	18.582,7	26.194,3	27.687,5	24.217,6	17.152,6	100,0
	7110.29 Paladyum (Yarı işlenmiş)	Güney Afrika	562,7	358,9	146,8	156,2	260,3	397,7	623,5	1.846,0	1.244,7	675,7
Almanya		220,3	191,1	204,6	207,1	220,3	226,0	220,0	275,8	370,1	400,7	19,8
Kanada		209,2	133,9	111,8	183,1	239,1	353,1	448,9	485,9	353,7	263,9	13,0
İsviçre		97,4	105,4	79,6	196,7	127,6	578,9	359,1	305,0	247,6	176,6	8,7
ABD		231,4	178,1	199,9	226,4	298,8	552,2	982,7	1.343,3	1.147,2	135,6	6,7
İngiltere		122,2	550,2	367,5	930,9	1.077,0	1.284,1	1.722,2	1.766,6	974,6	113,5	5,6
Japonya		80,8	58,7	68,0	81,0	86,2	103,1	124,4	106,5	107,2	47,7	2,4
Fransa		15,7	15,9	25,7	22,1	32,7	24,9	16,2	16,6	17,7	38,7	1,9
Diğer		1.095,8	100,5	134,8	176,6	154,0	249,4	340,9	293,0	742,0	175,3	8,6
Dünya Toplamı		1.661,8	1.692,5	1.338,6	2.180,1	2.496,0	3.769,4	4.838,0	6.438,7	5.204,8	2.027,7	100,0

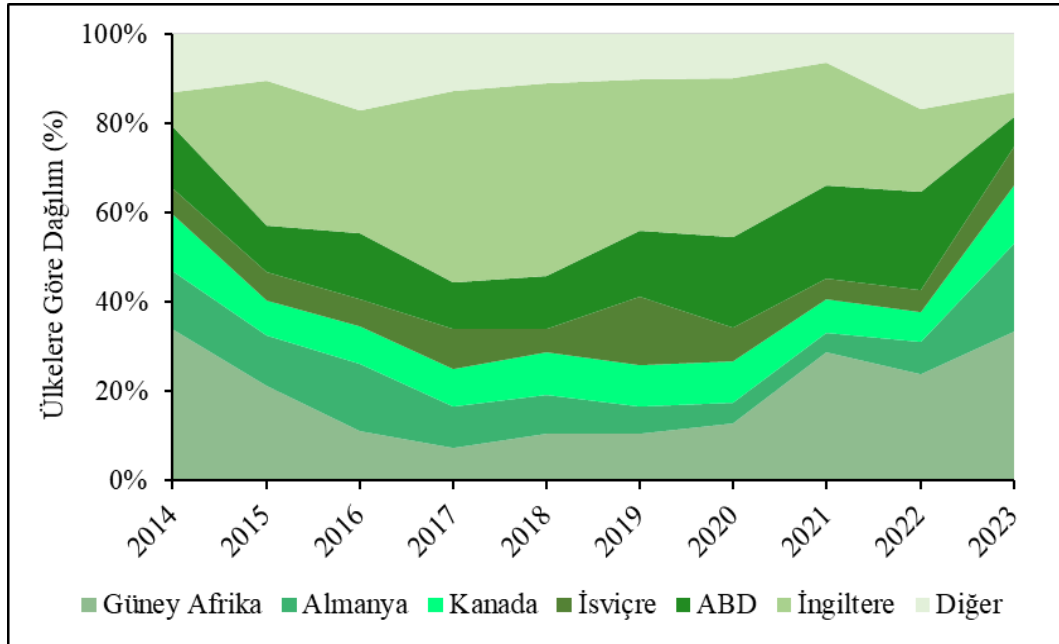
İhracat yapan İngiltere'nin yıllar içerisinde ihracatı düşerek 2023'de %13,5'e inmiş ve son on yıldaki ihracatı ortalama %16,1 olarak gerçekleşmiştir. Bir başka üretici ülke olan Güney Afrika, en büyük ihracatını 2015'de %21,6 ile gerçekleştirmiştir. On yıllık ortalama ihracatı %14,5 olan Güney Afrika'nın 2015'den itibaren ihracat oranı azalmış ve 2023'de %13,1 olmuştur. 2023 yılı ihracatı %8,1 ile beşinci sırada yer alan İtalya'nın on yıllık ihracatı istikrarlı bir şekilde sürmüştür. On yıllık ortalaması %8,3 olan İtalya, %6,1 ile en düşük ihracatta bulunduğu 2016 yılı hariç %8,1 ile %9,8 arasında ihracat gerçekleştirmiştir (Şekil 66). Diğer ülkeler arasında ise; Belçika (%6,5), Almanya (%4,9), Hong Kong (%2,7), Japonya (%2,4), Norveç (%1,6), Güney Kore (%1,6) vd. bulunmaktadır.

2023 yılında Güney Afrika (%33,3), Almanya (%19,8), Kanada (%13) ve İsviçre (%8,7) Dünya yarı işlenmiş paladyum ihracatının %74'ünden fazlasını yapmışlardır. Önceki benzer grafiklerde olduğu gibi %70'in üzerindeki ihracatı gerçekleştiren ülkeleri aldığımız zaman, 2014 ve 2023 yılı hariç diğer yıllarda %42 ile %56 arasındaki ihracatı gerçekleştiren ABD ve İngiltere hariç kalmıştır. Aradaki yıllarda ihracatın büyük kısmını gerçekleştiren bu iki ülkenin "diğer" kategorisi içinde yer alması -grafikte "diğer" kısmının büyük bir alan kaplamasına yola açtığından- grafiği anlamsızlaştırmıştır. Dolayısıyla bu iki ülke de grafiğe dahil edilmiştir. ABD ve İngiltere 2023 yılında %6,7 ve %5,6 ihracat yapmıştır. Güney Afrika 2014 yılında %33,9 ihracat yaparken 2017'de %7,2'ye kadar düşmüş ve daha sonra tekrar artarak 2023'de %33,3'e kadar yükselmiştir. Almanya 2017-2022 arası %9,5'in



Şekil 66. Dünya İşlenmemiş veya Pudra Halinde Paladyum İhracatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).

altında ihracat yaparken diğer yıllarda %11'in üzerinde yapmıştır. Bir diğer üretici ülke olan Kanada, ABD ve İngiltere gibi 2014 ve 2023'de %12,6 ve %13 ihracat gerçekleştirirken aradaki yıllarda %9,4'ün üzerine çıkamamıştır. İsviçre ise %4,7 ile %9 arasında daha istikrarlı bir yapı göstermesine rağmen 2019 yılında %15,4 gibi büyük bir paya sahip olmuştur. ABD'nin on yıllık ortalaması %14,6 olarak ölçülürken 2020-2022 yıllarında ihracat %20'nin üzerine çıkmıştır. İngiltere'nin ihracatı ise son on yılda çok ilginç bir seyir takip etmiştir. 2014 ve 2023 yıllarında %7,4 ve %5,6 olan İngiltere ihracatı 2017 ve 2018'de %42'nin üstüne çıkarak rekor kırmıştır. En yüksek on yıllık ortalamaya %27,5 ile İngiltere sahiptir. Yarı işlenmiş paladyum ihracatı, büyük dalgalanmalar yaşanan bir piyasadır (Şekil 67). Diğer ülkeler ise şöyledir: Japonya (%2,4), Fransa (%1,9), Hong Kong (%1,8), İtalya (%1,3)



Şekil 67. Dünya Yarı İşlenmiş Paladyum İhracatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).

6.3.2.3. Dünya rodyum ihracatı

Dünya işlenmemiş rodyum ihracatı, 2017 öncesi 1,5 milyar doların altında gerçekleşirken parabolik bir şekilde artarak 2021'de 31 milyar doların üzerine çıkmıştır. Daha sonra ihracat gevşeyerek 2022'de 21,2 milyar dolar ve 2023'de 10,2 milyar dolar olmuştur (Tablo 16). Rodyum, platin ve paladyum üretimine doğrudan bağlı olması ihracat eğimlerini de

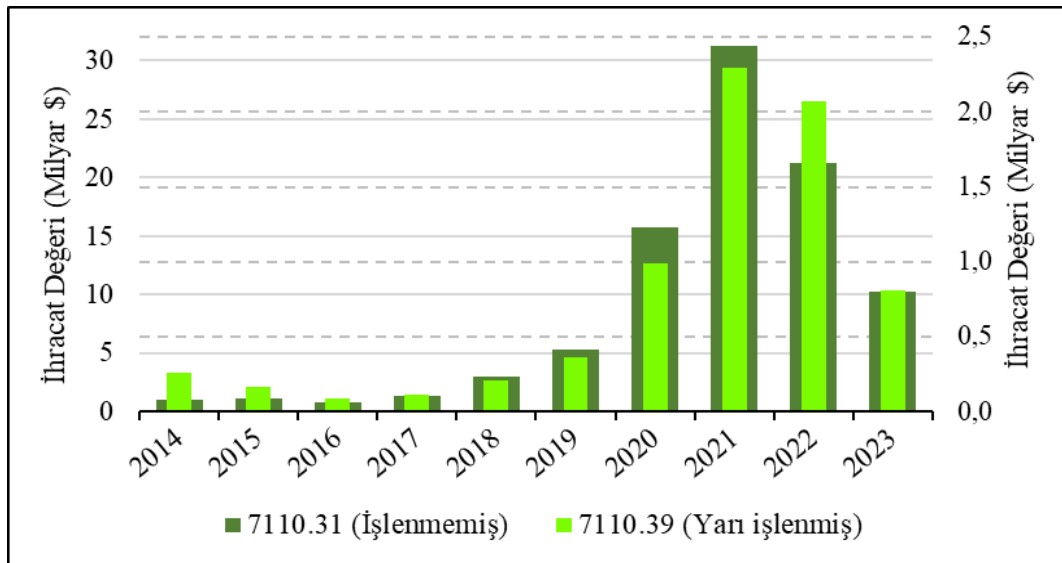
Tablo 16. Ülkeler Bazında Dünya Rodyum İhracat Değerleri (Milyon \$) (2014-2023).

Ülkeler	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2023 (%)
Güney Afrika	189,6	341,5	287,6	429,6	916,2	1.366,5	2.831,3	8.792,6	5.629,5	2.206,3	21,6
ABD	191,3	179,9	129,3	201,0	455,2	875,3	3.091,5	5.437,7	3.326,4	1.932,5	18,9
Almanya	118,9	108,0	87,9	185,1	512,7	902,7	2.505,4	4.639,9	3.844,1	1.828,0	17,9
İngiltere	251,8	224,5	147,2	294,5	479,9	959,1	3.229,5	4.551,1	2.164,4	1.305,1	12,8
Belçika	111,1	90,3	47,9	88,6	239,0	552,6	1.527,4	2.802,7	2.493,0	883,8	8,7
Rusya	105,0	74,2	60,9	80,4	131,1	228,0	672,0	1.124,2	1.071,2	738,5	7,2
İtalya	30,0	21,6	32,9	63,2	146,9	265,9	965,1	1.862,1	1.362,8	629,1	6,2
Diğer	60,1	83,9	58,6	43,3	67,1	126,0	973,5	2.009,6	1.338,0	684,5	6,7
Dünya Toplamı	1.095,8	1.124,0	852,3	1.385,7	2.948,2	5.276,0	15.795,6	31.219,9	21.229,5	10.207,7	100,0
Güney Afrika	225,2	145,3	61,2	87,7	159,1	294,5	807,2	2.005,1	1.661,6	755,5	92,9
ABD	1,3	0,6	0,5	0,5	4,1	6,8	16,2	68,2	297,0	30,7	3,8
İngiltere	21,0	9,9	10,3	10,4	7,5	7,5	16,5	11,1	11,3	7,4	0,9
Diğer	15,0	10,1	14,4	13,2	36,4	55,0	149,1	214,5	103,2	19,2	2,4
Dünya Toplamı	262,5	165,9	86,4	111,7	207,1	363,7	989,0	2.298,8	2.073,1	812,8	100,0

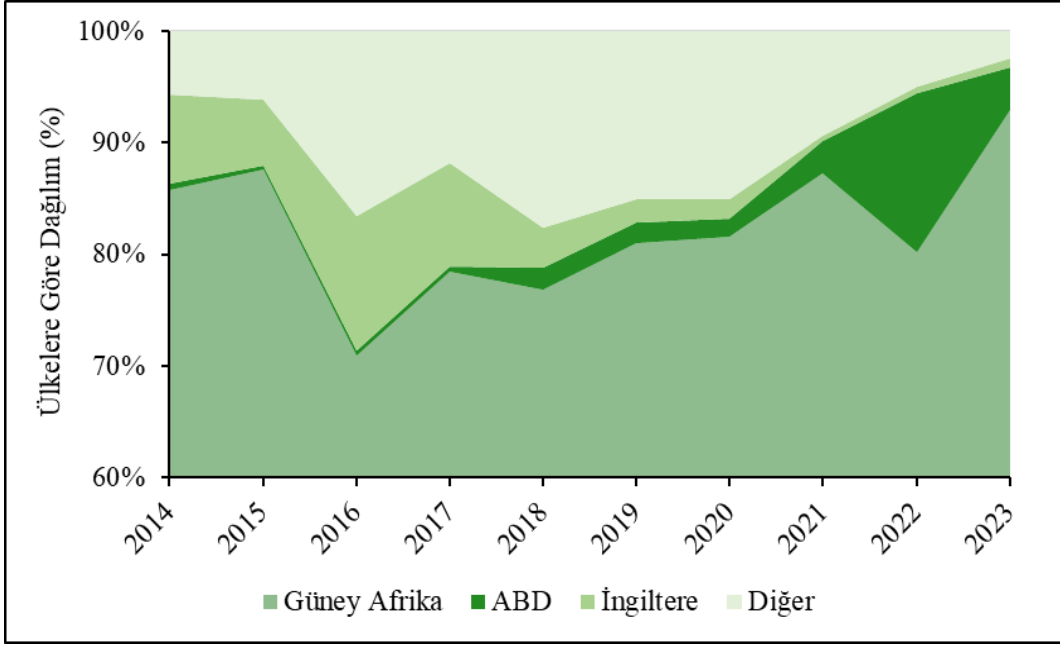
etkilemiştir. Özellikle paladyum ihracatıyla aynı nitelikleri göstermektedir. Yalnız rodyumdaki artış çok daha büyük şekilde meydana gelmiştir. Bunda, Güney Afrika'daki UG2 resifindeki maden üretiminin 2010'ların başından itibaren artması ve daha sonra 2020 yılında Güney Afrika madencilik faaliyetindeki kesintilerin etkili olduğu düşünülmektedir (Şekil 68).

Dünya yarı işlenmiş rodyum üretimi de yukarıdaki paragrafta belirtilen şekilde değişim göstermiştir. 2018'den önce 250 milyon doların altında oluşan ihracat, 2021'de en yüksek nokta olan 2,3 milyar dolara (yaklaşık) ulaşmıştır. Yarı işlenmiş rodyum ihracatı 2022'de düşerek 2 milyar doların biraz üzerinde gerçekleşmiştir. Asıl düşüş 2023'de meydana gelmiş ve Dünya yarı işlenmiş rodyum ihracatı %60'ın üzerinde azalarak 812 milyon dolara gerilemiştir (Şekil 68).

Dünya işlenmemiş rodyum ihracatında en büyük payı, en büyük üretici Güney Afrika almaktadır. 2023 yılında Güney Afrika %26,4, ABD %18,9, Almanya %17,9, İngiltere %12,8'lik oranla ilk dörtte bulunan ülkelerdir. Güney Afrika, 2016'da en yüksek ihracatı %31,1 oranıyla yapmış olup on yıllık ortalaması ise %26,4'dür. Bir başka üretici ABD ise; on yıllık %16,7'lik ortalamayla daha istikrarlı ihracat gerçekleştirmiştir. 2023'de üçüncü sırada bulunan Almanya'nın ihracatında bazı yıllarda düşüşler olsa da artış eğilimi içerisinde. Almanya'nın tersine İngiltere ise düşüş eğilimi göstermektedir. Almanya'nın son on yıllık ortalaması %14,6 iken İngiltere'nin %17,5 olmuştur (Şekil 70). Diğer ülkeler içerisinde Belçika (%8,7), bir başka üretici Rusya (%7,2), İtalya (%6,2), Hong Kong (%3,7) Japonya (%1,3), Kore (%1,2) vd. yer almaktadır.

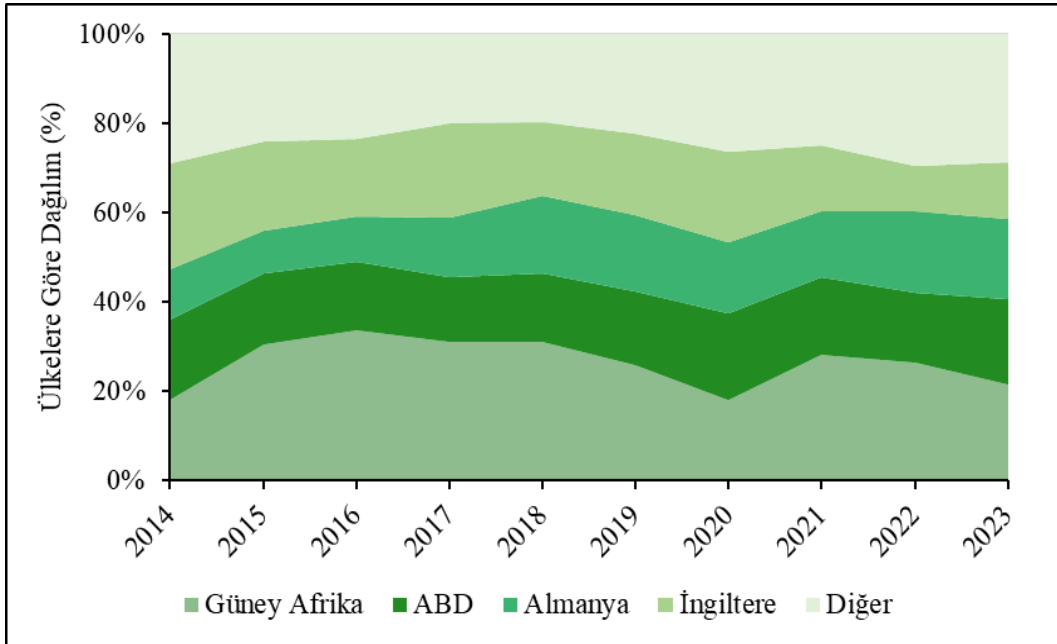


Şekil 68. Dünya Rodyum İhracat Değerleri (Milyar \$) (2014-2023).



Şekil 69. Dünya Yarı İşlenmiş Rodyum İhracatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).

2023 yılında Dünya yarı işlenmiş rodyum ihracatının %92,9'unu Güney Afrika, %3,8'ini ABD, %0,9'unu İngiltere gerçekleştirmiştir. ABD 2014-2021 arasında en yüksek %3 ihracat yaparken 2014 yılında %14,3 olarak gerçekleştirmiştir. İngiltere'nin yüksek ihracatı 2016'da %12 ile görmüş olmasına rağmen son üç yılda %1'in altına düşmüştür (Şekil 69). Diğer ülkeler olarak İtalya, Almanya, Japonya, Güney Kore binde oranlarla sıralanmaktadır.



Şekil 70. Dünya İşlenmemiş veya Pudra Halinde Rodyum İhracatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).

6.3.2.4. Dünya iridyum, osmiyum ve rutenyum ihracatı

Dünya İOR ihracatı istatistikleri bu elementlerin ithalat istatistikleri gibi aynı başlık altında tutulmaktadır. Elementlere ait detay veriler bulunmamaktadır.

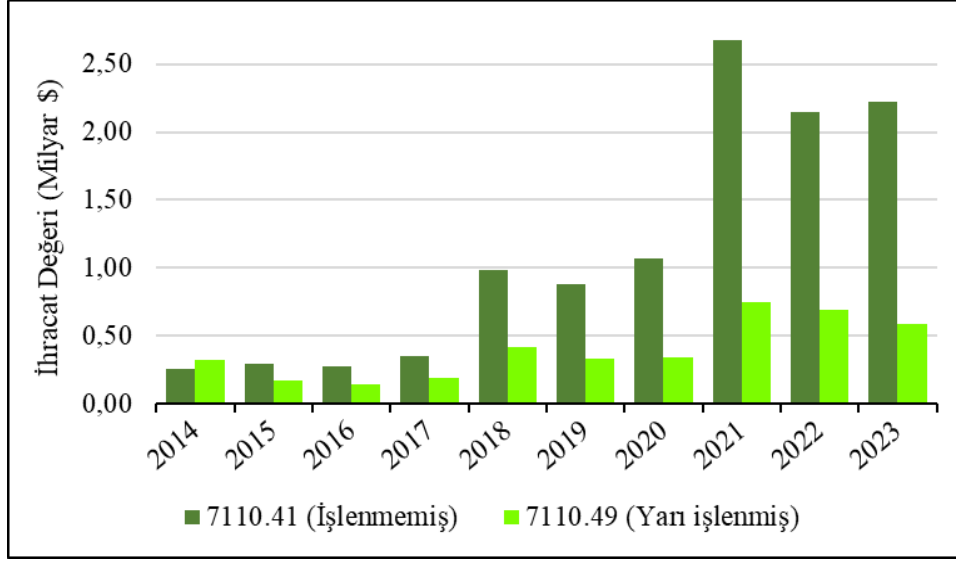
Dünya işlenmemiş İOR ihracatı 2014-2017 arasında 260 ila 355 milyon dolar arasında gerçekleşirken takip eden üç yıl bir kademe daha artarak 879 ile 1.070 milyon dolar seviyelerine çıkmış, 2021 yılında yaklaşık 2,7 milyar dolar ile zirve yapmış, 2022 ve 2023 yıllarında ise 2,1 ve 2,2 milyar dolar civarlarında ihracat olmuştur (Tablo 17) (Şekil 71).

Dünya yarı işlenmiş İOR ihracatında ise 2014, 2018 ve 2021 yıllarında gerçekleşen yüksek ihracat değerleri ve o yılları takip eden yıllarda küçük düşüşler veya yaklaşık değerler şeklinde gelişmiştir. En yüksek ihracat 2021’de 745 milyon dolarla meydana gelmiş, 2022 ve 2023’de sırasıyla ihracat 692 ve 591 milyon dolar olmuştur (Şekil 71).

2023 yılında Dünya işlenmemiş İOR ihracatının büyük kısmını üretici ülke Güney Afrika (%35,3), Hong Kong (%15), Almanya (%13,4), ve Belçika (%12,9) yapmışlardır. Güney Afrika 2015 yılında %50,9 ile bu ihracatta en yüksek orana sahip olmuştur. Son on yıllık ortalaması %40,5 olan Güney Afrika’nın 2014 yılında %24,8’lik oranla en düşük ihracatı gerçekleştiren 562.700 irdikten sonra, ikinci en düşük gerçekleşme 2023’te %35,3’lük bir oranla olmuştur. Genel olarak ihracatın büyük kısmı Güney Afrika tarafından yapılmaktadır. Ardından Hong Kong 2014’te %0,4’den artarak %15’lere kadar yükselmiştir. Almanya ise 2014’te %29,1 ihracat yaparken daha sonraki yıllarda %13-15 bandına yerleşmiştir. 2023’te

Tablo 17. Ülkeler Bazında Dünya İridyum, Osmiyum ve Rutenyum İhracat Değerleri (Milyon \$) (2014-2023).

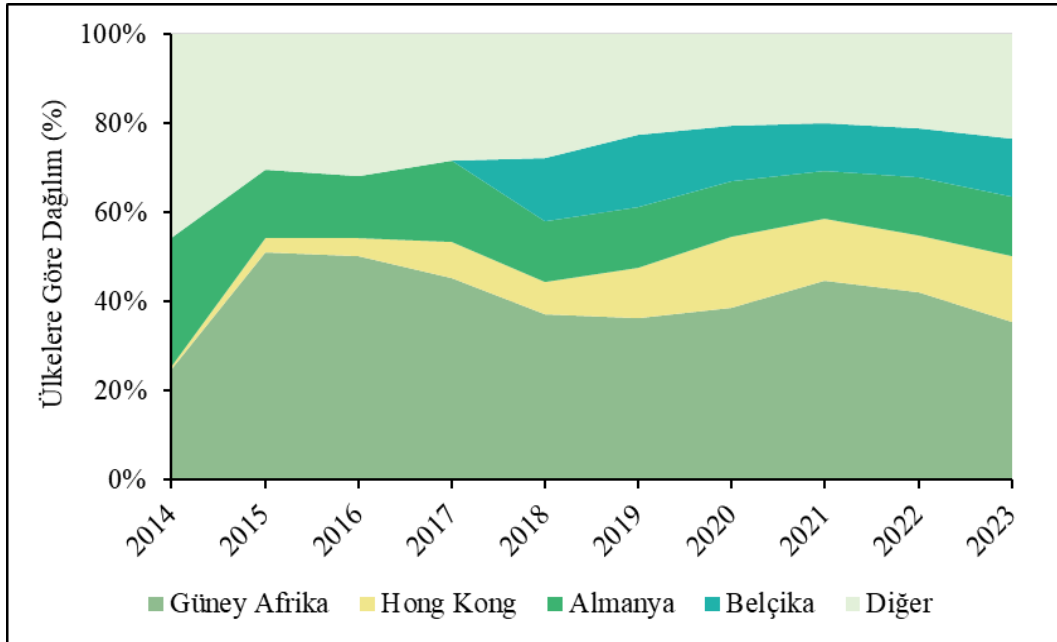
	Ülkeler	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2023 (%)
7110.41 İridyum, Osmiyum ve Rutenyum (İşlenmemiş)	Güney Afrika	64,5	150,2	138,4	161,4	364,7	318,0	413,2	1.193,9	904,7	783,9	35,3
	Hong Kong	1,0	10,0	11,3	28,7	70,8	99,9	169,5	373,9	271,0	332,8	15,0
	Almanya	75,6	45,2	39,1	64,5	133,9	121,5	134,4	291,3	280,7	297,4	13,4
	Belçika	0,0	0,0	0,0	0,0	138,9	142,5	132,0	284,6	239,8	285,9	12,9
	İngiltere	83,1	52,9	61,0	51,1	136,1	115,3	103,2	206,0	143,2	208,4	9,4
	ABD	19,5	24,0	15,2	26,5	84,9	45,8	50,7	181,7	119,6	139,6	6,3
	Diğer	16,1	12,7	11,6	23,7	51,3	36,5	67,5	147,5	190,0	174,6	7,9
	Dünya Top.	259,9	295,1	276,5	355,9	980,6	879,5	1.070,5	2.678,9	2.149,0	2.222,5	100,0
7110.49 İridyum, Osmiyum ve Rutenyum (Yarı işlenmiş)	Güney Afrika	119,4	28,6	26,8	47,0	100,8	66,5	59,8	167,9	190,9	147,4	24,9
	Tayvan	33,7	24,6	23,7	32,2	129,8	103,5	112,1	262,1	237,1	145,7	24,6
	Japonya	12,0	15,2	19,8	33,6	80,7	62,1	77,3	113,6	91,4	77,9	13,2
	İngiltere	27,1	42,8	45,5	56,5	73,7	68,1	57,6	122,9	75,2	74,6	12,6
	ABD	9,5	5,4	3,5	3,4	8,2	6,6	6,4	9,9	15,2	67,8	11,5
	Almanya	10,4	10,0	8,2	11,9	15,9	18,0	25,3	50,8	63,5	57,5	9,7
	Diğer	110,0	41,5	17,8	8,6	8,0	5,4	4,2	18,7	18,7	20,8	3,5
	Dünya Top.	322,1	168,1	145,5	193,1	417,2	330,2	342,7	745,9	692,0	591,6	100,0



Şekil 71. Dünya İridyum, Osmiyum ve Rutenyum İhracatı Değerleri (Milyar \$) (2014-2023).

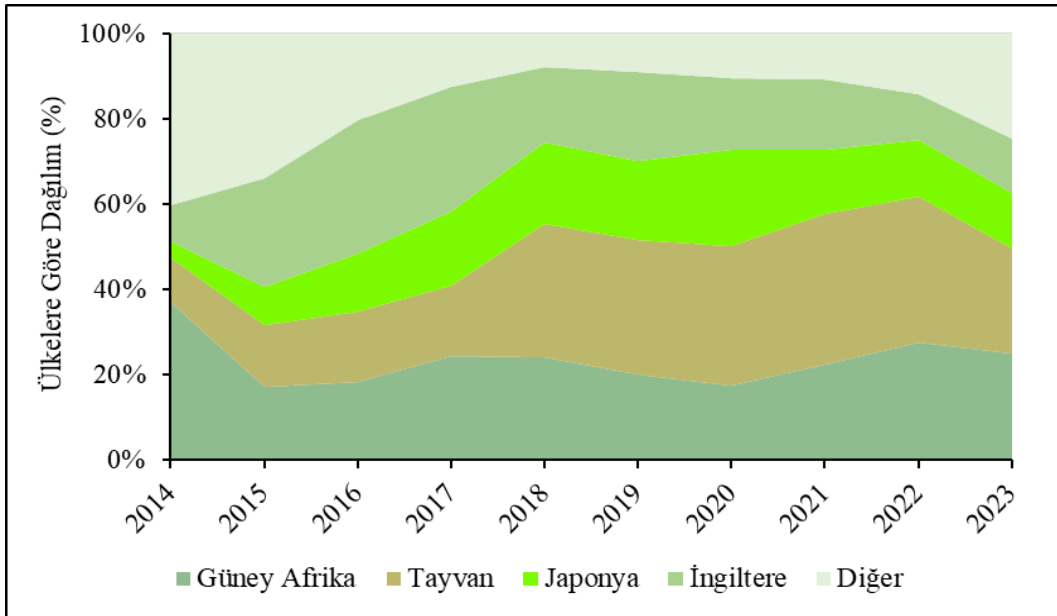
toplam ihracatın %12,9'unu yapan Belçika, piyasaya 2018 yılında %14,2 ile girmiş, bu süreçte her zaman %10'un üzerinde ihracat yapmış ve 2023'te %12,9 ihracat gerçekleştirmiştir (Şekil 72). Diğer ülkeler: İngiltere (%9,4), ABD (%6,3), Rusya (%2), Japonya (%1,4), İtalya (%1,3) ...

2023 yılında Dünya yarı işlenmiş İOR ihracatının %24,9'u Güney Afrika, %24,6'sı Tayvan, %13,2'si Japonya, %12,6'sı İngiltere tarafından yapılmıştır. Güney Afrika bu yıllar



Şekil 72. Dünya İşlenmemiş veya Pudra Halinde İridyum, Osmiyum ve Rutenyum İhracatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).

boyunca dalgalı bir seyir izleyerek ihracatta bulunmuştur. 2014 yılında %37,1 iken hemen ertesi yıl %17'ye düşmüş, aradaki diğer yıllarda da böyle iniş çıkışlar yaşanmıştır. 2023 yılında ikinci sırada yer alan Tayvan daha istikrarlı bir ihracat payına sahiptir. 2014 yılında %10,4 olan ihracat payı artarak 2018'de %30'ların üzerine çıkmış ve bu da dört sene devam etmiştir. Japonya 2014'te %3,7 olan ihracat payını sürekli artırarak 2020'de en yüksek ihracatı olan %22,6'ya ulaşmıştır. Sonraki yıllarda bu oran %13'ler seviyesine kadar gerilemiştir. İngiltere 2014'te %8,4 pay sahibi iken 2016'da %31,3 ile en yüksek ihracat yapan ülke olmuştur. Daha sonraki yıllarda ihracatı azalarak devam etmiştir (Şekil 73). Diğer ülkeler arasında; ABD (%11,5), Almanya (%9,7), İtalya (%1), Kanada (%0,9) vd. vardır.



Şekil 73. Dünya Yarı İşlenmiş İridyum, Osmiyum ve Rutenyum İhracatının Ükelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).

6.4. Türkiye Platin Grubu Metalleri İthalat ve İhracatı

Ülkemizin PGM ithalat ve ihracat miktar ve değerlerini bulmak için öncelikle GTİP numaralarının tespiti amacıyla Ticaret Bakanlığının “Tarife Arama Motoru”⁵¹ kullanılmıştır. Arama sonucunda 12’li düzeyde PGM minerallerinden paladyum, platin ve rodyum için ayrı başlıkların; iridyum, osmiyum ve rutenyum için ortak başlık olduğu görülmüştür. Yine bu mineraller için “işlenmemiş veya pudra halinde” ve “yarı işlenmiş” başlıkları altında bir sınıflandırmaya tabi tutulmuştur (Tablo 9).

⁵¹ [<https://uygulama.gtb.gov.tr/Tara>] sitesinde 11.07.2024 tarihinde tarama yapılmıştır.

GTİP sonuçlarına göre ihracat ve ithalat değerleri Türkiye İstatistik Kurumu'nun "Biruni" portalından alınmıştır⁵².

6.4.1. Türkiye platin grubu metalleri ithalatı

6.4.1.1. Türkiye platin ithalatı

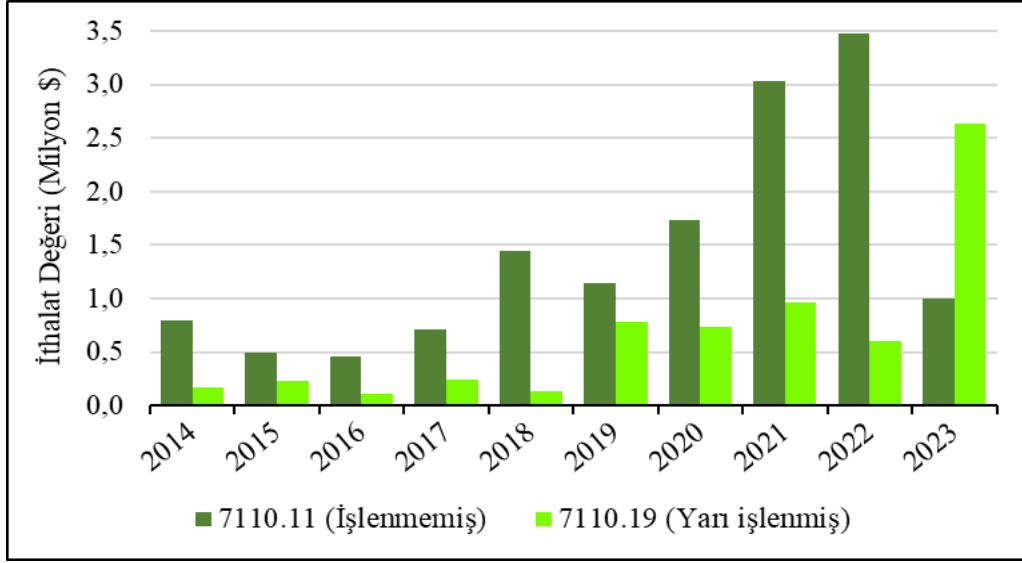
Ülkemiz 2023 yılında işlenmemiş platin ithalatı 1 milyon doların biraz üzerinde ve yarı işlenmiş platin ithalatı 2,6 milyon doların biraz üzerinde gerçekleşmiştir (Tablo 18). Yarı işlenmiş platin ithalatı 2023 yılına kadar son on yılda işlenmemiş platinin %17-69'u kadar olmuştur. Bu oran 2023 yılında 2,62 misline çıkmıştır. Son on yılda işlenmemiş platin, bazı yıllarda küçük düşüşler gösterse de 2022 yılına kadar artış eğilimi içerisinde bulunmuştur. 2023 yılında ise %71 azalarak büyük düşüş oluşmuş, buna mukabil yarı işlenmiş platin 3,35 misli kadar artmıştır (Şekil 74). 2023 yılında Dünya işlenmemiş platin ithalatı 13.515,8 milyon dolar ve yarı işlenmiş platin ithalatı 3.279,5 milyon dolardır. Buna göre 2023 yılı Dünya işlenmemiş platin ithalatının %0,0074'si (yüz binde 7,4'ü) ve yarı işlenmiş platin ithalatının ise %0,08'i (on binde 8'i) ülkemiz tarafından yapılmıştır.

Ülkemiz, 2023 yılında İsviçre (%61,5), Japonya (%16,4), Avustralya (%12,5) ve Almanya'dan (%9,6) işlenmemiş platin ithal etmiştir. 2015 yılında bu ülkelerin hiçbirisi ile ithalatımız olmamıştır. Bu ülkelerden yaptığımız ithalatın 2014, 2016 ve 2017 yıllarında en çok %40 olmasına rağmen 2018'den itibaren %90'ların üzerine çıkmıştır. 2023 yılında başka

Tablo 18. Ülkeler Bazında Türkiye Platin İthalatı (Bin \$) (2014-2023).

	Ülkeler	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2023 (%)
7010.11 Platin (İşlenmemiş)	İsviçre	45,7	1,2	88,6	63,4	558,6		1.499,2	1.793,9	2.535,9	617,3	61,5
	Japonya					686,5	987,0	70,1	711,0	866,2	164,3	16,4
	Avustralya							59,3			125,5	12,5
	Almanya	36,1	0,6	114,7	65,2	121,9	7,9	37,3	22,1	14,9	96,4	9,6
	Diğer	723,0	491,3	260,6	578,2	69,1	142,2	59,8	502,0	66,3	0,0	0
	Toplam	804,8	493,1	463,9	706,8	1.436,1	1.137,1	1.725,7	3.029,0	3.483,3	1.003,5	100,0
7010.19 Platin (Yarı işlenmiş)	İngiltere	5,8	9,2	6,0	6,4	6,6	199,7	568,5	756,3	460,5	1.620,6	61,6
	Almanya	112,0	64,2	86,4	129,2	126,3	528,8	52,7	19,9	6,8	843,8	32,1
	Avusturya	45,8	153,7	16,9	81,4		12,4	17,3	94,9	84,6	145,7	5,5
	Diğer	9,9	7,0	5,6	27,5	6,1	48,1	99,3	92,6	53,4	21,2	0,8
	Toplam	173,6	234,0	114,8	244,5	139,0	789,1	737,9	963,6	605,3	2.631,3	100,0

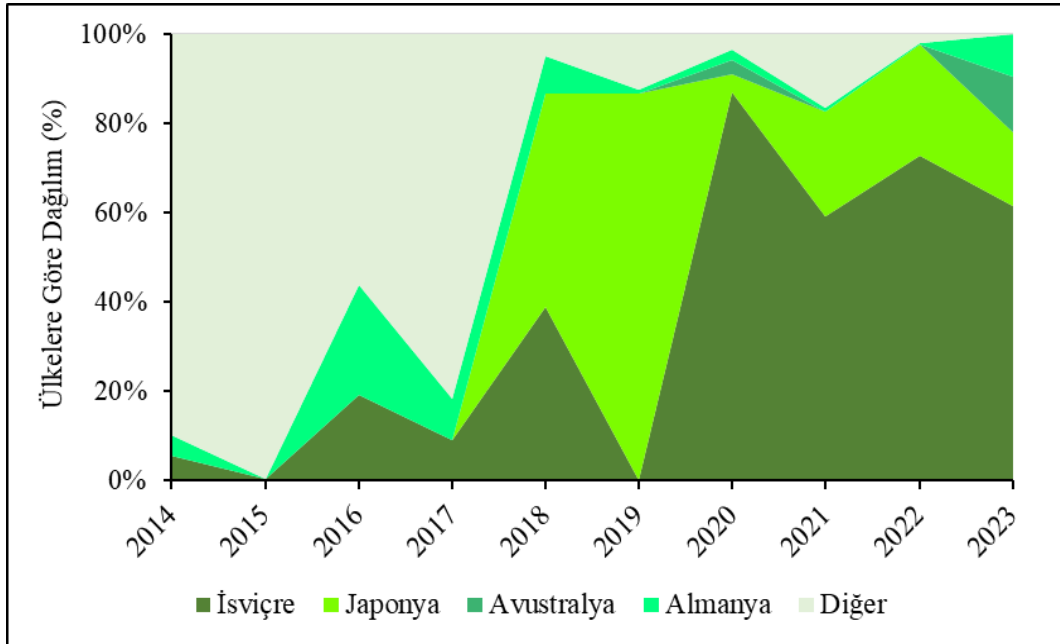
⁵² Veriler, [https://biruni.tuik.gov.tr/disticaretapp/menu.zul] sitesinden 8-12.07.2024 tarihleri arasında alınmıştır.



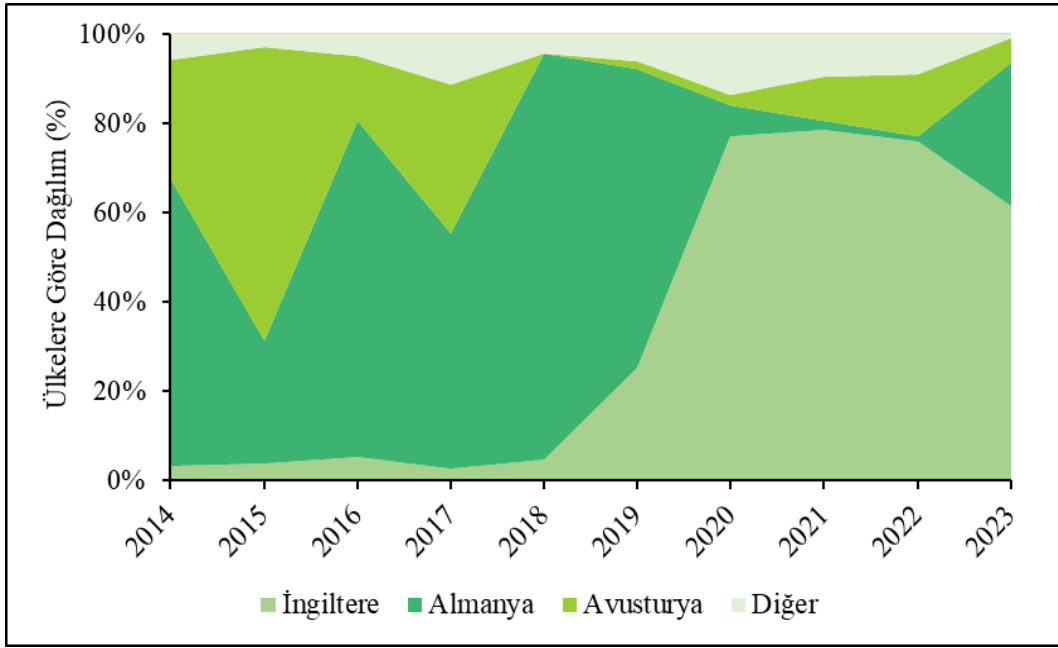
Şekil 74. Türkiye Platin İthalat Değerleri (Milyon \$) (2014-2023).

bir ülkeden ithalatımızın olmamasına karşın; ondan önceki yıllarda Lübnan, İrlanda, ABD, BAE gibi ülkelerden işlenmemiş platin ithal ettiğimiz görülmektedir (Şekil 75).

Türkiye 2023 yılında İngiltere (%61,6), Almanya (%32,1) ve Avusturya'dan (%5,5) yarı işlenmiş platin ithalatı yapmıştır. 2018 yılından itibaren İngiltere'den ithalatımız artarken Almanya'dan yaptığımız ithalat azalmıştır. Diğer ülkeler arasında ABD, İtalya, Çin, İsviçre vd. bulunmaktadır (Şekil 76).



Şekil 75. Türkiye İşlenmemiş veya Pudra Halinde Platin İthalatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).



Şekil 76. Türkiye Yarı İşlenmiş Platin İthalatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).

6.4.1.2. Türkiye paladyum ithalatı

Ülkemiz 2023 yılında işlenmemiş paladyum ithalatı 91.100 dolar ve yarı işlenmiş platin ithalatı 1,4 milyon doların biraz üzerinde gerçekleşmiştir (Tablo 19). Yarı işlenmiş paladyum ithalatı 2015-2017, 2020 ve 2023 yılında işlenmemiş paladyum ithalatını geçmiştir. 2023 yılında 15 mislinin üzerine çıkmıştır. Son on yılda işlenmemiş paladyum, en yüksek olarak 2016 yılında 543.900 dolar olarak gerçekleşirken 2022 yılında sadece 1.300 dolar olmuştur. Ülkemizin son on yılda yarı işlenmiş paladyum ithalatı son derece istikrarsız olarak

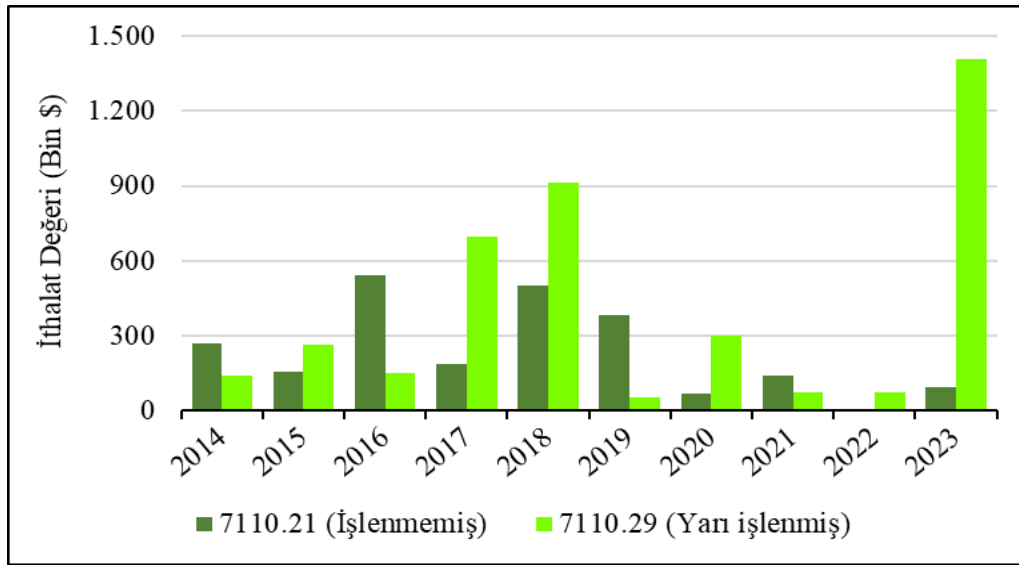
Tablo 19. Ülkeler Bazında Türkiye Paladyum İthalat Değerleri (Bin \$) (2014-2023).

	Ülkeler	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2023 (%)	
7010.11 Paladyum (İşlenmemiş)	Almanya	0,4	2,5	417,1	15,8	5,6	5,4	69,5	117,5		91,5	99,5	
	ABD	218,5	152,8	82,3	78,8	56,4	28,0		8,3	1,3	0,4	0,5	
	Diğer	52,5	1,6	44,5	90,7	439,8	351,6		16,9				
	Toplam	271,4	156,9	543,9	185,3	501,8	384,9	69,5	142,6	1,3	91,9	100,0	
7010.19.Paladyum (Yarı işlenmiş)	İngiltere	3,6	108,4	1,1	346,4	824,3	4,7	296,6	3,4	0,3	1.271,6	90,2	
	Almanya	113,6	136,7	138,4	327,0	72,6	1,3	0,3	5,8	0,6	77,6	5,5	
	ABD	11,2	0,8	3,6	13,8			31,7		41,9	51,9	55,6	3,9
	Avusturya											5,1	0,4
	Diğer	14,1	17,6	8,6	9,2	18,4	17,7	2,8	20,5	23,2			
	Toplam	142,5	263,5	151,8	696,3	915,2	55,3	299,7	71,7	76,0	1.410,0	100,0	

gerçekleşmiştir. 2018 yılında 915 bin dolar olurken ertesine 55 bin dolar olmuştur. 2023'deki büyük ithalattan hemen önceki iki senede ise 70 bin doların biraz üzerinde ithalat yapılmıştır (Şekil 77). Buna göre; 2023 yılı Dünya işlenmemiş paladyum ithalatının %0,0005'i (milyonda 5'i) ve yarı işlenmiş paladyum ithalatının ise %0,11'i ülkemiz tarafından yapılmıştır.

Ülkemizin 2023 yılında işlenmemiş paladyum ithalatının %99,5'ini Almanya'dan %0,5'ini ABD'den yapmıştır. 2021'den önceki ithalat ise Gürcistan, Japonya, İsviçre, BAE, İngiltere ve İtalya'dan yapılmıştır.

Ülke olarak 2023 yılındaki yarı işlenmiş paladyum ithalatının %90,2'si İngiltere'den, %5,5'i Almanya'dan ve %3,9'u ABD'den yapılmıştır. Kalan %0,4'lük kısım ise 2023'e kadar son on yılda ithalat yapmadığımız Avusturya'dan olmuştur. Son on yıldaki diğer ülkeler ise: İtalya, İspanya, İsviçre, Çin ve Fransa. İsviçre hariç diğer ülkelerden son on yılda bir ya da iki kez küçük miktarlarda ithalat yapılmıştır.



Şekil 77. Türkiye Paladyum İthalat Değerleri (Bin \$) (2014-2023).

6.4.1.3. Türkiye rodyum ithalatı

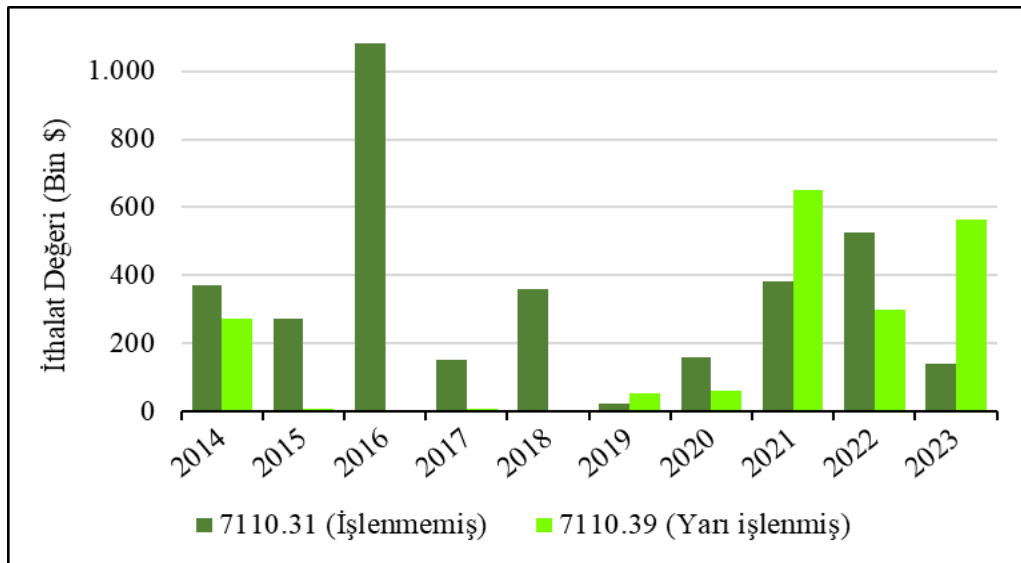
Ülkemiz 2023 yılında işlenmemiş rodyum ithalatı 53.500 dolar ve yarı işlenmiş rodyum ithalatı 562.700 dolar olmuştur (Tablo 20). Yarı işlenmiş rodyum ithalatı 2021 ve 2023 yılında işlenmemiş rodyum ithalatını geçmiştir. 2021'de 651.200 dolar ile işlenmemiş rodyumun 0,7 misli olan yarı işlenmiş rodyum ithalatı, 2023 yılında yaklaşık 4 misli gerçekleşerek 562.700 dolar olmuştur. Buna mukabil 2018 yılında ise yarı işlenmiş rodyum ithalatı yapılmamıştır. Son on yılda işlenmemiş rodyum ithalatı; en yüksek 2016 yılında bir

Tablo 20. Ülkeler Bazında Türkiye Rodyum İthalat Değerleri (Bin \$) (2014-2023).

	Ülkeler	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2023 (%)
7010.11 Rodyum (İşlenmemiş)	Japonya										53,5	100,0
	İsviçre					159,5	382,5	525,5	108,7	860,6		
	Almanya			237,5					32,6			
	İngiltere	1.067,7	9,2	123,6	21,8							
	Diğer	14,7	144,1	0,2								
	Toplam	1.082,4	153,3	361,3	21,8	159,5	382,5	525,5	141,3	860,6	53,5	100,0
7010.19.Rodyum (Yarı işlenmiş)	İngiltere	257,2	0,1		1,0		53,9	62,1	651,2	245,5	553,9	98,4
	Avusturya										8,8	1,6
	İtalya	14,2		3,5	7,9					52,9		
	Diğer		6,6	1,5	0,1					1,8		
	Toplam	271,4	6,7	5,0	9,0			53,9	62,1	651,2	300,2	562,7

milyon doların biraz üzerinde, en düşük ise 2019 yılında sadece 9.200 dolar olmuştur. Ülkemizin son on yılda rodyum ithalatı son derece istikrarsız gerçekleşmiştir (Şekil 78). Buna göre 2023 yılı Dünya işlenmemiş rodyum ithalatının %0,0013'ü (yüz binde 1,3'ü) ve yarı işlenmiş rodyum ithalatının ise %0,89'u ülkemiz tarafından yapılmıştır.

Ülkemiz 2023 yılında işlenmemiş rodyumu Japonya'dan ithal etmiştir. 2018-2022 yılları arası İsviçre'den, 2017 öncesi ise İngiltere'den ve 2016 ile 2021 yıllarında da Almanya'dan gerçekleştirmiştir. Diğer ülkeler ise Çin ve ABD'dir.



Şekil 78. Türkiye Rodyum İthalat Değerleri (Bin \$) (2014-2023).

Ülkemiz tarafından 2023 yılında ithal edilen yarı işlenmiş rodyumun %98,4'ü İngiltere'den ve kalan %1,6 ise Avusturya'dan yapılmıştır. 2018 yılında ithalat yapılmamıştır. 2019-2022 arasında yarı işlenmiş rodyum ithalatının hemen hemen tamamı İngiltere'den gerçekleştirilmiştir. Diğer ülkeler olan İtalya, Japonya, ABD, Almanya ve Çin'den küçük miktarlarda ithalat olmuştur.

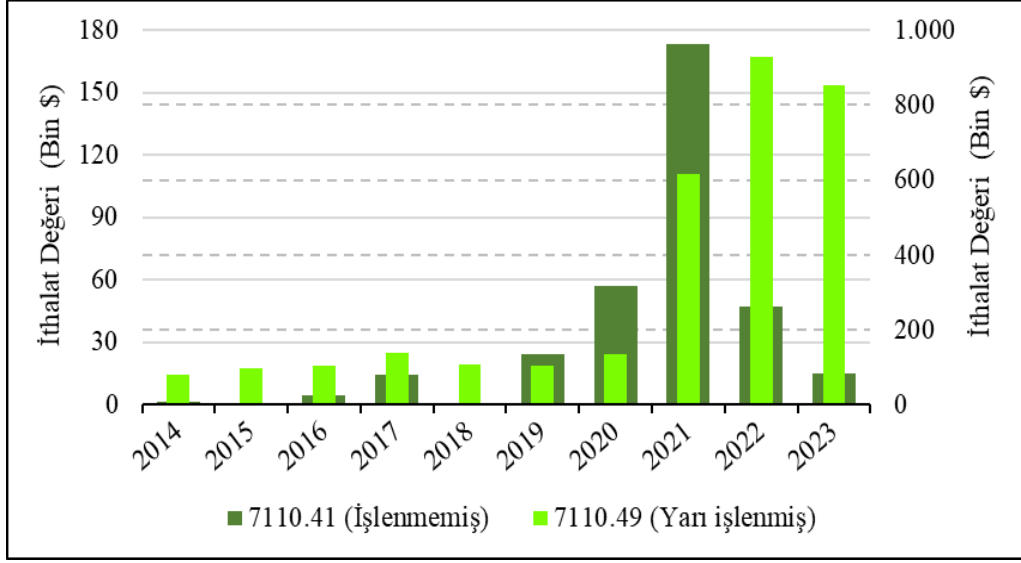
6.4.1.4. Türkiye iridyum, osmiyum ve rutenyum ithalatı

Ülkemizin 2023 yılında 15.240 dolar işlenmemiş ve 853.240 dolar yarı işlenmiş İOR ithalatı olmuştur (Tablo 21). İşlenmemiş İOR ithalatı, sadece 2019-2021 yılları arasında yarı işlenmiş İOR ithalatını geçmiştir. 2018 yılında ise işlenmemiş İOR ithalatı yapılmamıştır. Son on yılda yarı işlenmiş İOR ithalatı 2014'te 80 bin dolardan 2022'de yaklaşık 929 bin dolara kadar artmıştır. 2023'de biraz azalarak 853 bin dolara gerilemiştir. 2018 yılından önce en çok 14 bin doların altında kalan işlenmemiş İOR ithalatı, 2019'dan sonra hızla artarak 2021'de 173 bin doların üstüne çıkmış, sonra tekrar 2022'de 47 bin ve 2023'de 15 bin dolara gerilemiştir (Şekil 79). 2023 yılında ülkemiz tarafından Dünya işlenmemiş İOR ithalatının %0,00069'unu (milyonda 6,9'u) ve yarı işlenmiş ithalatın ise %0,14'ünü yapmıştır.

Ülkeler bazında 2023'de ülkemizin yaptığı işlenmemiş İOR ithalatına baktığımızda; ABD'nin %50,07 ve İtalya'nın %49,93 oranla birbirine yakın olduğu görülmektedir. Diğer ülkeler arasında; sadece 2016 ve 2022'de ithalat yaptığımız Çin, 2015 ve 2019-2022'de ithalat yaptığımız Almanya, son on yıl içinde bir ya da iki defa küçük miktarlarda ithalat yaptığımız İsviçre, Belçika ve Hong Kong yer almaktadır.

Tablo 21. Ülkeler Bazında Türkiye İOR İthalat Değerleri (Bin \$) (2014-2023).

	Ülkeler	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2023 (%)
7010.11 Ir, Os ve Ru (İşlenmemiş)	ABD	0,53	0,35	3,66	14,48		1,29	3,38	28,43	10,29	7,63	50,07
	İtalya								3,67	5,93	7,61	49,93
	Çin			0,11						26,21		
	Almanya		0,16				22,55	53,46	140,92	4,83		
	Diğer	0,89		0,88			0,22					
	Toplam	1,42	0,51	4,65	14,48		24,06	56,84	173,02	47,26	15,24	100,00
7010.19 Ir, Os ve Ru (Yarı işlenmiş)	İtalya	73,28	93,01	103,86	127,73	106,26	101,59	132,70	571,11	913,63	853,00	99,97
	İsviçre	1,08		0,59	1,36		0,26	0,33	0,16	0,28	0,24	0,03
	Almanya									14,66		
	ABD		3,06		7,53		1,64	0,27	0,33	0,42		
	Diğer	5,77				0,78	0,87	0,57	43,14			
	Toplam	80,13	96,07	104,45	136,62	107,04	104,36	133,87	614,74	928,99	853,24	100,00



Şekil 79. Türkiye İridyum, Osmiyum ve Rutenyum İthalat Değerleri (Bin \$) (2014-2023).

Ülkemiz, 2023 yılında yarı işlenmiş İOR ithalatının neredeyse tamamını İtalya'dan (%99,97) yapmıştır. İncelenen yıllarda bu alanda en büyük ithalat her zaman İtalya'dan gerçekleştirilmiştir. 2023'de kalan çok küçük miktar ise (%0,03); son on yılda sekiz kez hemen hemen aynı miktarlarda alım yaptığımız İsviçre'den olmuştur. Diğer ülkeler arasında ise; sadece 2022'de alım yaptığımız Almanya, yine küçük miktarlarda altı kez ithalat yaptığımız ABD, son on yılda bir ya da iki kez küçük miktarlarda alım yaptığımız Güney Kore, Çin, İngiltere ve Hollanda bulunmaktadır.

6.4.2. Türkiye PGM ihracatı

6.4.2.1. Türkiye platin ihracatı

Ülkemizin 2023 yılında işlenmemiş platin ihracatı 9,8 milyon doların biraz üzerinde ve yarı işlenmiş platin ihracatı 482 bin doların biraz üzerinde gerçekleşmiştir (Tablo 22).

Ülkemizin işlememiş platin ihracatı son on yılda 2015'ten 2020'ye kadar yükseliş ve o yıldan 2023'e kadar düşüş göstermiştir. 2015'te en düşük olarak 5 milyon doların biraz üzerinde ve 2020'de ise 23,2 milyon dolar ile en yüksek ihracat gerçekleşmiştir.

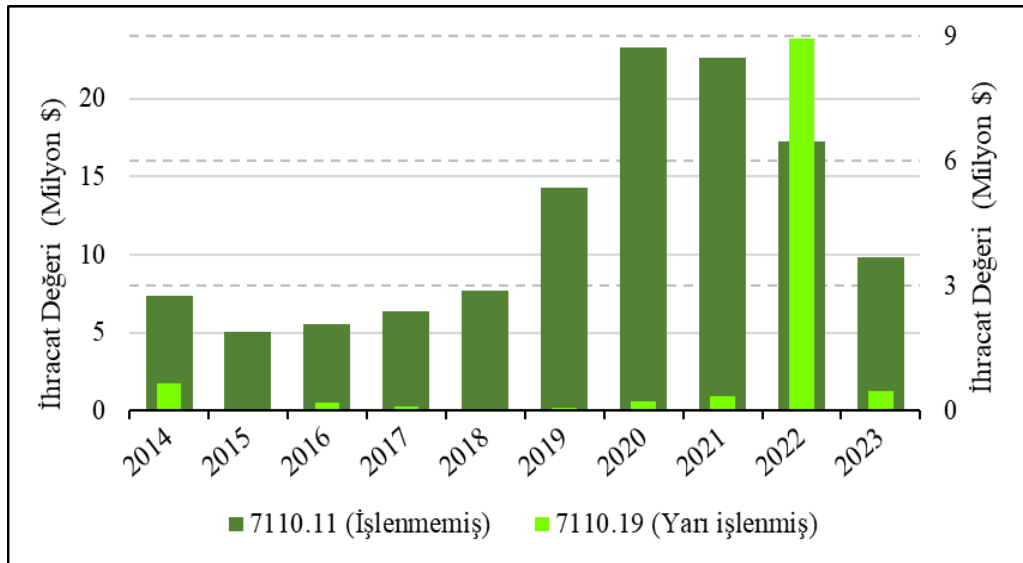
Yarı işlenmiş platin ihracatı 2015 yılında 5 milyon dolar civarından yükselişe geçerek yüzde 317 büyümüş ve 2020 yılında 23,3 milyon dolar civarına yükselmiştir. 2021 yılında 22,6 ve 2022 yılında 17,2 milyon dolar civarında ihracat yapılmıştır. Üç yıl içinde yaklaşık yüzde 58'lik gerileme yaşanmıştır. Yarı işlenmiş platin ihracatı 2022'ye kadar en yüksek 667 bin dolar ile 2014'te yapılmış, 2015'de ise ihracat yapılmamış ve daha sonra 2021'de 356 bin dolar ihracat gerçekleştirilmiştir. Asıl önemli gelişme ise; 2022 yılında 8,9 milyon

Tablo 22. Ülkeler Bazında Türkiye Platin İhracatı (Bin \$) (2014-2023).

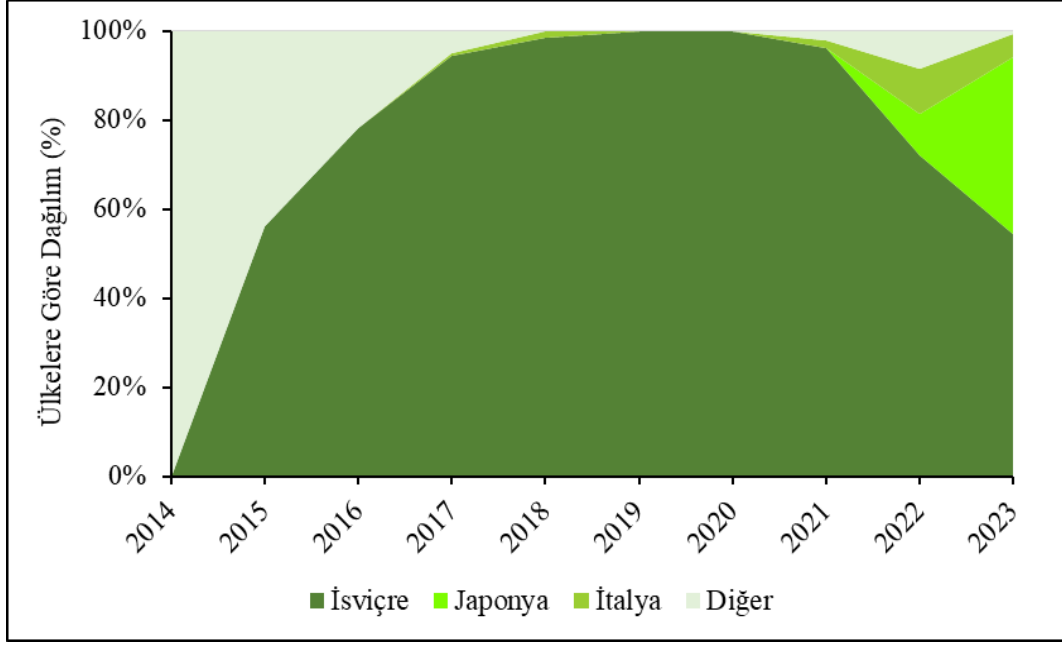
	Ülkeler	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2023 (%)
7010.11 Platin (İşlenmemiş)	İsviçre		2.833,6	4.360,9	6.035,2	7.564,8	14.313,6	23.284,7	21.726,3	12.415,1	5.329,6	54,3
	Japonya									1.603,0	3.909,2	39,8
	İtalya				35,4	130,4			370,6	1.715,8	511,9	5,2
	Diğer	7.333,6	2.220,7	1.219,7	329,6				478,9	1.488,6	67,2	0,7
	Toplam	7.333,6	5.054,3	5.580,7	6.400,2	7.695,2	14.313,6	23.284,7	22.575,8	17.222,5	9.818,0	100,0
7010.19 Platin (Yarı İşlenmiş)	İtalya								317,5	8.414,6	410,3	85,1
	ABD	88,1		182,0	25,7	22,6	39,1	45,5	34,6	46,2	42,6	8,8
	Avusturya										28,1	5,8
	Almanya	330,8							0,2		1,1	0,2
	Diğer	248,7		0,9	74,2	12,9	16,7	180,0	4,3	466,3		
	Toplam	667,6		182,9	99,9	35,5	55,8	225,5	356,6	8.927,1	482,1	100,0

dolar ihracat yapılarak yaklaşık 25 katına çıkan sürpriz bir yükseliş meydana gelmiş olmalıdır. Ertesi yıl tekrar 482 bin dolar seviyelerine gerilemiştir (Şekil 80). 2023 verilerine göre Dünya işlenmemiş platin ihracatının %0,081'i (on binde 8,1'i) ve yarı işlenmiş platin ihracatının ise %0,0096'sı (yüz binde 9,6'sı) ülkemiz tarafından yapılmıştır.

Ülkemizin 2023 yılında ülkeler bazında işlenmemiş platin ihracatının tamamı İsviçre (%54,3), Japonya (%39,8), İtalya (%5,2) ve Avustralya'ya (%0,6) yapılmıştır. Son on yıllık ihracatımıza bakıldığında; büyük kısmının İsviçre'ye yapıldığı görülmektedir. Bu ihracatın da 2015 yılında başladığı, yıllar içerisinde artarak 2019 ve 2020'de tamamının bu ülkeye yapıldığı grafikten de açıkça görülmektedir (Şekil 81). 2023 yılında çok küçük miktarlarda



Şekil 80. Türkiye Platin İhracat Değerleri (Milyon \$) (2014-2023).



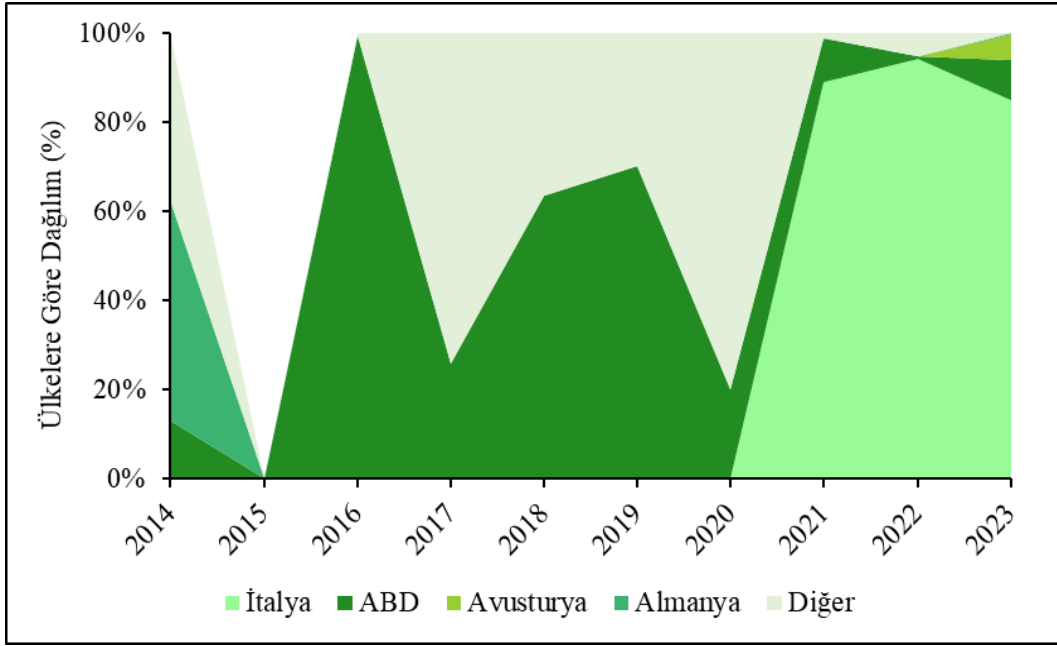
Şekil 81. Türkiye İşlenmemiş veya Pudra Halinde Platin İhracatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).

(%0,06) ihracat yapılan diğer ülkeler: ABD, Güney Kore, Hong Kong, İngiltere ve Fransa'dır. 2021 ve 2022 yıllarında İran'a ve 2014-2016 arası İngiltere'ye kayda değer ihracat yapılmıştır.

2023 yılında ülkemizin yarı işlenmiş platin ihracatının büyük kısmı olan %85,1'i İtalya'ya yapılmıştır. Aynı yılın ihracat yapılan diğer ülkeleri: ABD (%8,8), Avusturya (%5,8) ve Almanya'dır (%0,2). 2015 yılında yarı işlenmiş platin ihracatı olmamıştır. 2016-2020 arası ise en çok ihracat ABD'ye yapılmıştır (Şekil 82). Son on yılda diğer ülkeler: İsviçre, Bulgaristan, İspanya ...

6.4.2.2. Türkiye paladyum ihracatı

Türkiye işlenmemiş paladyum ihracatı 2014 yılında 3,5 milyon dolara yakın olmasına rağmen 2020 öncesi bir hayli düşük gerçekleşmiştir. 2020'de 9,7 milyon dolardan 2021'de 40,4 milyon dolara çıkmıştır. Bu artış sonrasında 2022'de 35 milyon dolara ve 2023'de 9,4 milyon dolara düşmüştür (Tablo 23). Tablodan da anlaşılacağı üzere bir istikrarsızlık bulunmaktadır. Yarı işlenmiş paladyum ihracatında da aynı gelişim görülmektedir. Burada da 2019 yılı öncesi 2014 ve 2017'de cüzi miktarda ihracat olmuştur. 2019'da 1,5 milyon dolardan 2020'ye 8 milyon doların biraz üzerine çıkarak rekor kırmıştır. 2021 ve 2022'de 4 milyon dolar civarlarında gerçekleşen ihracat 2023'de büyük bir düşüşle 516 bin dolar seviyelerine çekilmiştir (Şekil 83).



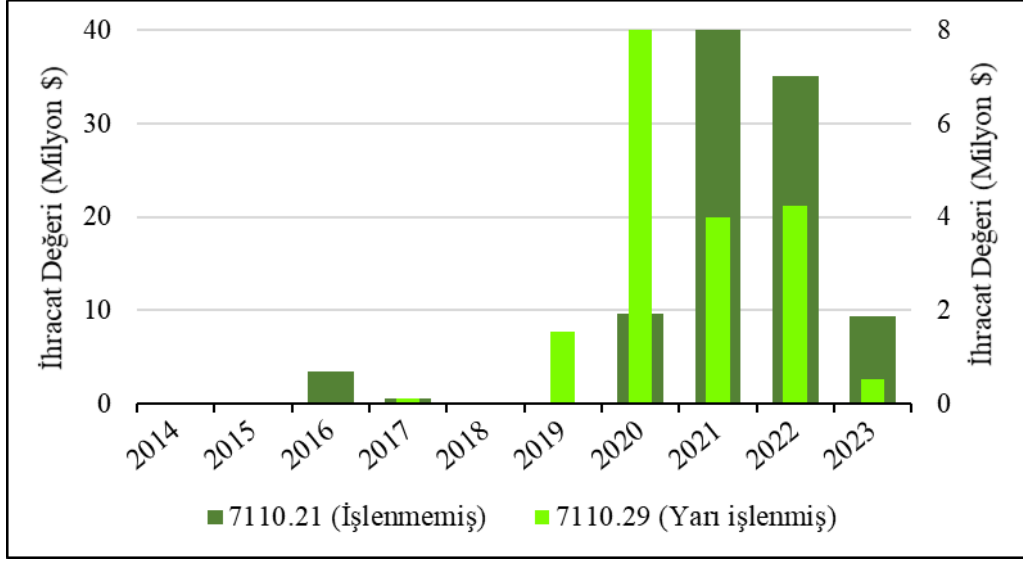
Şekil 82. Türkiye Yarı İşlenmiş Platin İhracatının Ülkelere Göre Dağılımı (%) (2014-2023).

2023 verilerine göre Dünya işlenmemiş paladyum ihracatının %0,055'i (on binde 5,5'i) ve yarı işlenmiş platin ihracatının ise %0,025'i (on binde 2,5'i) ülkemiz tarafından yapılmıştır.

2023 yılındaki işlenmemiş paladyum ihracatımızın %86'lık kısmı İtalya'ya yapılmıştır. Ayrıca %8,8 oranında İsviçre'ye ve %5,2 oranında Almanya'ya ihracat gerçekleştirilmiştir. İtalya'ya ihracatımız 2020'den itibaren devamlılık arz etmektedir. İsviçre'ye ise 2016'dan beri 2018-2019 hariç sürmektedir. Almanya'ya olan ihracatımız her zaman daha az miktarlarda olmasının tersine; 2020'de 5,3 milyon dolarla en yüksek seviyeye ulaşmıştır.

Tablo 23. Ülkeler Bazında Türkiye Paladyum İhracatı (Bin \$) (2014-2023).

	Ülkeler	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2023 (%)
7010.11 Paladyum (İşlenmemiş)	İtalya							1.213,8	35.062,7	30.844,6	8.092,0	86,0
	İsviçre			3.424,5	345,6			3.149,5	3.344,2	4.168,5	825,6	8,8
	Almanya		0,3		30,1			5.344,9	1.990,0		487,8	5,2
	Diğer	91,6	30,7	74,9	193,6	23,8	32,3	11,2	8,2			
	Toplam	91,6	31,0	3.499,4	569,2	23,8	32,3	9.719,4	40.405,2	35.013,1	9.405,4	100,0
7010.19.Paladyum (Yarı işlenmiş)	ABD	27,0							105,4	521,5	509,1	98,5
	Bursa Ser. Bölgesi										7,5	1,5
	İsviçre				121,5		83,2	6.286,8	3.351,0	3.713,4		
	İtalya						3,8		525,5			
	Diğer				121,5		1.547,5	8.099,5	3.876,5	3.713,4		
	Toplam	27,0			121,5		1.547,5	8.099,5	3.981,8	4.234,9	516,7	100,0



Şekil 83. Türkiye Paladyum İhracat Değerleri (Milyon \$) (2014-2023).

Diğer ülkeler ise; 2021’de ihracatımızın olduğu Gürcistan ve 2020’ye kadar her yıl ihracat yapılan ABD ve birkaç yıl ihracat yaptığımız İngiltere sayılabilir.

Yarı işlenmiş paladyum ihracatı 2023 yılında %98,5 ile ABD’ye yapılmıştır. Kalan %1,5 ise Bursa Serbest Bölgesine olmuştur. 2015, 2016 ve 2018 yıllarında yarı işlenmiş paladyum ihracatımız bulunmamaktadır. ABD’ye ihracatımız ise 2014 yılından sonra, son üç senede tekrar başlamıştır. Diğer ülkeler arasında; son on senede 2017 ve 2019-2022 yılları arasında ihracat yaptığımız İsviçre, 2019 ve 2021 yıllarındaki ihracatımızla İtalya ve 2019 ve 2020 yıllarındaki ihracatımızla İngiltere bulunmaktadır (Tablo 23) (Şekil 83).

6.4.2.3. Türkiye rodyum ihracatı

Türkiye işlenmemiş rodyum ihracatı 2023 yılında sadece İtalya’ya 36 bin doların biraz üzerinde yapılmıştır. İtalya’ya bir önceki ihracatımız 2014 yılında hemen hemen aynı miktarda olmuştur. Genel olarak 2018, 2020 ve 2022 yıllarında işlenmemiş rodyum ihracatı yapılmamıştır. Son on yılda ayrıca 2015-2017, 2019 ve 2021 yıllarında Almanya’ya ihracat yapılmıştır. 2021 yılındaki 1,35 milyon dolarlık ihracat en yüksek ihracat miktarıdır. 2023 yılı ülkemizin işlenmemiş rodyum ihracatı Dünya ihracatının %0,0053 (yüz binde 5,3’ü) kadardır.

Türkiye yarı işlenmiş rodyum ihracatı son on senede sadece 2014 yılında Irak’a 7.600 dolar ve İtalya’ya 6.600 dolar olarak gerçekleşmiştir (Tablo 24).

Tablo 24. Ülkeler Bazında Türkiye Rodyum İhracatı (Bin \$) (2014-2023).

	Ülkeler	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
7010.11 Rodyum (İşlenmemiş)	İtalya	37,4									36,2
	Almanya		35,5	51,2	60,3		139,0		1.353,8		
	Toplam	37,4	35,5	51,2	60,3		139,0		1.353,8		36,2
7010.19.R odyum (Yarı işlenmiş)	Irak	7,6									
	İtalya	6,6									
	Toplam	14,2									

6.4.2.4. Türkiye iridyum, osmiyum ve rutenyum ihracatı

Ülkemizin incelenen son on yıllık süreçte işlenmemiş iridyum, osmiyum ve rutenyum ihracatı bulunmamaktadır.

Yarı işlenmiş İOR ihracatı ise 2023 yılında sadece Rusya'ya 4 bin dolar olmuştur. 2022 yılında yine Rusya'ya 3.800 dolarlık ihracat yapılmıştır. Ayrıca 2019'da Irak'a 100, 2017'de Azerbaycan'a 5.800, 2015'de Özbekistan'a 1.600 dolarlık ihracat olmuştur. 2014, 2016, 2018, 2020 ve 2021 yıllarında ihracatımız bulunmamaktadır (Tablo 25). Bu alandaki ihracatımız Dünya ihracatının %0,00068 (milyonda 6,8) düzeyindedir.

Tablo 25. Ülkeler Bazında Türkiye İridyum, Osmiyum ve Rutenyum İhracatı (Bin \$) (2014-2023).

	Ülkeler	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
7010.19. Ir, Os ve Ru (Yarı işlenmiş)	Rusya									3,8	4,0
	Irak						0,1				
	Azerbaycan				5,8						
	Özbekistan		1,6								
	Toplam		1,6		5,8		0,1			3,8	4,0

7. PLATİN GRUBU METALLERİN ÇEVREYE VE İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ

Madenlerin çevreye vermiş olduğu zararları katı maden atıkları, cevher hazırlama atıkları, rafinasyon sonucu oluşan katı, sıvı ve gaz atıklar olarak sınıflandırabiliriz.

Katı maden atıklarının çoğunluğu; yan kayaç, kırma öğütme atıkları, cüruf ve izabe tozu ve artıkları oluşturmaktadır. Cevherin işlenmesinden kaynaklanan atıklar, bulamaç halinde pompalanabilir ve bu tür atıkların depolanması genellikle barajlarda yapılmaktadır. Cevherin rafine edilmesi sırasında metallere ayrılan izabe cürufu çevresel açıdan sakıncalı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olabilmektedir ve genellikle depolama tesislerinde tutulmaktadır. İzabe tesisleri, partikül malzeme (izabe tesisi tozu) içerebilecek gaz emisyonları üretir. Çoğu izabe tesisinde gaz emisyonları, metalleri geri kazanmak veya depolama sisteminde muhafaza etmek için yeniden işlenen partikülleri uzaklaştırmak üzere arıtmaya tabi tutulur.

PGM'lerin madencilikinden kaynaklanan ekosisteme yönelik riskler, esas olarak su ortamlarını etkileyen asit maden drenajıdır.

Ayrıca PGM izabe işlemleri sırasında çıkan gazlardan olan kükürt dioksit, yaklaşık yüzde 99,8'inin tutulabildiği yıkama işlemine tabi tutulur. Kükürt dioksit alçı taşına dönüştürülerek toprak iyileştirici olarak kullanılabilir [10].

PGM'lerin metalik formlarının genellikle inert olduğu kabul edilir. Değerli metal rafinerilerindeki çalışanlar PGM bileşiklerine mesleki olarak maruz kaldıklarından dolayı etkilenirler. Doğal PGM konsantrasyonlarının düşük olması nedeniyle PGM'lerin "insan sağlığına etkilerinin sınırlı olduğu görülmektedir" [10] şeklindeki açıklamalara rağmen "böbreklerde geri dönüşümü olmayan tahribata yol açtığı" da [2] belirtilmektedir.

PGM'nin çevreye yayılımının ana kaynağı, en çok kullanıldığı alan olan otomotiv katalizörleridir. Katalizör, sinterleme ve termal etkilerin sonucu olarak mekanik bozunmaya uğrar. Bu sebeple; PGM'lerin otoyol kenarlarında çevreye yayıldığı ve sonunda su hatlarına ve denizlere taşınır bir şekilde kaybolduğu anlamına gelir. Platin ve paladyumun yol kenarlarında biriktiğine dair ipuçları, birçok ülkede yapılan çeşitli çalışmalarda ölçümlenmelerde görülmüştür. Bu yayılımın Dünya çapında sorun teşkil ettiği aşikardır. PGM'nin bu şekilde çevreye yayılarak kaybolması, sadece PGM arzı üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olmakla kalmaz, aynı zamanda biyosfer üzerinde başka etkilerinin de olacağı beklenmelidir. PGM'lerin çevreye yayılımı düşük toksisiteleri nedeniyle özellikle zararlı olarak kabul edilmese de farelerin akciğerlerindeki havada oto katalizör partikülleri inert olarak ve kan ile diğer organlarda çözünmüş halde görülmüştür. Çevreye yayılan PGM

atıklarının uzun vadeli etkisi bilinmemektedir [13].

PGE'lerin tek tek çevre ve insan sağlığına etkileri aşağıda verilmiştir.

Platin soy metaldir. Toprak, su ve havadaki platin konsantrasyonları çok azdır. Platin, elektrotlar gibi çeşitli metal ürünlerinin bileşeni olarak kullanılmaktadır ve bazı kimyasal reaksiyonların katalizörü olarak kullanılabilir. Platin bağları genellikle kanseri tedavi etmek için ilaç sektöründe uygulanmaktadır. Platinin sağlık etkileri, oluşturulan bağların türüne ve maruz kalan kişinin maruz kalma seviyesine ve bağışıklığına büyük ölçüde bağlıdır. Platin metal olarak çok tehlikeli değildir, ancak platin tuzları aşağıdakiler gibi çeşitli sağlık etkilerine neden olabilir: DNA değişiklikleri; kanser; cilt ve mukoza zarının alerjik reaksiyonları; bağırsaklar, böbrekler ve kemik iliği gibi organlarda hasar; işitme hasarı ve son olarak, platinin bir başka tehlikesi de selenyum gibi insan vücudundaki diğer tehlikeli kimyasalların toksisitesinin artmasına neden olabilmesidir. Platinin hayvanlar ve çevre üzerindeki etkilerinin ne olabileceği henüz çok kapsamlı şekilde araştırılmamıştır. Bildiğimiz tek şey, platinin alındıktan sonra bitkilerin köklerinde birikeceğidir. Platin içeren bitki köklerinin yenmesinin hayvanlara ve insanlara zarar verip vermeyeceği henüz açıklığa kavuşmuş değildir [63].

Paladyumun düşük toksisiteli olduğu ve yutulduğunda vücut tarafından zayıf şekilde emildiği düşünülmektedir. Cilt, göz veya solunum yollarında tahrişe ve hassasiyete yol açabileceği belirtilmektedir. Paladyum bileşikleri çoğu insanda nadiren görülür. Tüm paladyum bileşikleri son derece toksik ve kanserojen olarak kabul edilmektedir. Paladyum klorür toksiktir, yutulduğunda, solunduğunda veya deri yoluyla emildiğinde zararlıdır. Laboratuvar hayvanlarında kemik iliği, karaciğer ve böbrek hasarına neden olduğu ortaya konmuştur. Tahriş edicidir. Ancak paladyum klorür daha önce çok fazla kötü yan etki olmaksızın günde 0,065 g (yaklaşık 1 mg/kg) oranında tüberküloz tedavisinde kullanılmıştır. Paladyumun çevresel etkisi azdır. Uygun çevresel izinler olmadan materyalin çevreye salınmasına izin verilmemelidir. Bazı topraklarda düşük seviyelerde görülmüş ve ağaç yapraklarının 0,4 ppm paladyum içerdiği bulunmuştur. Su sümbülü gibi bazı bitkilerin düşük seviyelerde paladyum tuzları neticesinde öldüğü, ancak çoğu bitkinin buna tolerans gösterdiği belirtilmiştir. Bununla birlikte deneyler sonucunda bitki büyümelerinin 3 ppm'nin üzerindeki seviyelerden etkilendiği gözlenmiştir [64].

Rodyum bileşikleri çoğu insanda nadiren görülür. Bu elementten etkilenen insanlara dair neredeyse hiçbir vaka bildirilmemiştir. Tüm rodyum bileşikleri son derece toksik ve kanserojen olarak kabul edilmektedir. Rodyum bileşiklerinin ciltte leke yaptığı bilinmektedir. Toz veya granüler formda ve havayla karışması halinde toz patlaması

mümkündür. Oksijen diflorürle reaksiyona girerek yangına sebebiyet verebilir. Maddeye maruz kalmanın sağlık etkileri yeterince araştırılmamıştır. Bu nedenle azami özen gösterilmelidir. Rodyumun çevresel etkileri üzerine yapılan çalışmalar çok nadirdir ve bu nedenle çevre üzerindeki etkisinin sıfır olduğu varsayılmaktadır. Bitkiler üzerinde yapılan testler sonucu rodyumun PGM'nin en az toksik üyesi olduğunu göstermiştir [65].

Tüm rutenyum bileşikleri son derece toksik ve kanserojen olarak kabul edilmektedir. Rutenyum bileşikleri ciltte lekelenme yapmaktadır. Yutulan rutenyumun kemiklerde tutulduğu görülmüştür. Rutenyum oksit (RuO_4) son derece toksik ve uçucu olup kaçınılması gereken bir maddedir. Rutenyum 106, 1945'te ABD'de başlayıp 1980'de Çin'de sona eren nükleer silahların atmosferik testlerinde kullanılan radyonükleid maddelerden birisidir. Önümüzdeki yıllar ve yüzyıllar boyunca kanser riski üreten ve üretmeye devam edecek uzun ömürlü radyonükleid maddeler arasındadır. Rutenyumun çevresel etkileri ise; bitkiler üzerindeki etkisine ilişkin çok az veri mevcuttur ve alımına ilişkin tahminler 5 ppb veya daha az seviyelerde olduğu ölçümlenmiştir. Alglerin rutenyumu yoğunlaştırdığı gözlenmiştir. Rutenyumun hiçbir olumsuz çevresel etkisi bildirilmemiştir [66].

İridyumun çok yanıcı olduğu belirtilmiş olup göz tahrişine ve ciltte düşük tehlike içerdiği açıklanmıştır [67].

Osmiyum tetroksit (OsO_4), oldukça toksiktir. Havada $10^{-7}g/m^3$ kadar düşük konsantrasyonlarda akciğer tıkanıklığına, cilt hasarına ve ciddi göz hasarına neden olabileceği belirtilmekte olup güçlü bir oksitleyicidir ve yanıcı ve indirgeyici maddelerle reaksiyona girer. Hidroklorik asitle reaksiyona girerek toksik klor gazı oluşturur. Osmiyumun çevresel etkileri konusunda bilgi bulunmamaktadır. Ancak, oksitleyici gücü nedeniyle osmiyumun eko-toksisitesinin çok düşük olması beklenmektedir. Bu da osmiyumu, zararsız metal formu olan dioksite kolayca dönüşebilmesini sağlamaktadır [68].

8. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

PGM'nin birincil ve ikincil kaynaklardan üretimi günümüzdeki talebi karşılamaktadır. PGM'lere talebin gelecekte artacağına olan güçlü sinyallere rağmen yerkürede tespit edilen kaynakların Dünyanın ihtiyaçlarını 21. yüzyılın ortalarına kadar karşılamaya yeterli olacağı aşıkardır [10].

PGM'lerin geleceğine yönelik fırsatlara baktığımız zaman, en önemli sektörün otomotiv olduğu görülmektedir. Dünya çapındaki daha katı egzoz emisyon standartları, elektrikli araçlara geçiş, özellikle yakıt hücreleri ve hidrojenle çalışan araçlar olmak üzere bazı etmenler PGM'lere olan talebin artmasına vesile olacaktır. Yakıt hücresi sistemlerinde platin grubu metaller katalizör olarak önemli rol oynamakta ve verimli enerji dönüşümü için gerekli kimyasal reaksiyonları kolaylaştırmaktadır.

PGM'ler yatırım sektöründe de hiç bitmeyen bir talebe sahiptir. Paladyum ve platin gibi değerli metaller uzun zamandır yatırımcılar için sığınak olarak kabul edilmektedir. Ekonomik türbülans dönemlerinde cazibeleri artmakta ve istikrarlı liman arayanları çekmektedir.

Asya-Pasifik bölgesi, özellikle Çin ve Hindistan gibi ülkeler, artan sanayileşme ve kentleşmeye yol açan hızlı ekonomik büyüme yaşamakta olup bu büyümede endüstriyel uygulamalarda ve araç üretiminde PGM'lere olan talebi artırabilecek kapasitededirler. Bu gelişmeye paralel olarak; Asya-Pasifik bölgesindeki hükümetlerin hava kirliliğine yönelik çabaları ve daha temiz teknolojileri teşvik etmek için daha sıkı çevre düzenlemeleri uygulamaları sebepleriyle de PGM pazar dinamikleri harekete geçecektir [35].

Bir başka uygulama alanı olarak elektronik endüstrisinde artan platin, paladyum ve rutenyum ihtiyacının ve Asya-Pasifik ülkelerinde artan mücevher tüketiminin pazarın büyümesine yön vermesi beklenmektedir.

Salgın dönemi olan 2020 yılında piyasanın olumsuz etkilenmesine rağmen pazarın salgın öncesi seviyelere çabuk ulaşması ve önümüzdeki dönemde istikrarlı şekilde büyümeye devam edeceği tahminlerine yol açmaktadır [36].

PGM'lerin gelecekteki kullanımına yönelik tehditlerin başında; Dünyadaki PGM üretiminin çoğunluğunun, özellikle Güney Afrika ve Rusya olmak üzere az sayıda ülkeden gelmesi gösterilmektedir. Bu ülkelerdeki politik istikrarsızlık, iş ortamı huzursuzluğu veya madencilik düzenlemelerindeki değişiklikler, PGM'lerin küresel arzını bozarak fiyat oynaklığına yol açabilecektir.

PGM'lerin aynı maden yataklarından birlikte üretilen hammaddeler ve birbirlerinin ikamesi olması, PGM'lerin arzının birbirleriyle bağlantılı olduğu ve dolayısıyla arz kesintisi

durumunda birbirlerinin yerine geçebilme kabiliyetlerinin sınırlı olduğu anlamına gelmektedir [11].

PGM'lerin maliyeti, bunları daha ucuz ikamelerle değiştirme veya kullanım ömrü dolmuş ürünlerden PGM'lerin geri dönüşümünü artırma çabalarına yol açmıştır [35].

Ayrıca elektrikli araçlara (EV) yönelik rağbet, bu araçlarda egzoz katalizörleri kullanılmaması sebebiyle PGM'lere olan talebi azaltıcı tehdit olarak durmaktadır [35].

Bütün bunların yanında platin grubu metallerin üretimi ile ilgili yüksek maliyetlerin pazarın büyümesini engel teşkil edeceği beklenmektedir [36].

Sonuç olarak;

PGM sektörünün karşı karşıya olduğu temel meselenin; jeolojik veya kaynak tükenmesi olmadığı, üretici ülkelerdeki sosyal olaylar ve istikrarsız küresel ekonomik ve siyasi durumların vurgulandığı paragrafta belirtildiği gibi, sosyal, ekonomik ve çevresel etmenlerin olduğu görülmektedir. Bu nedenle, PGM arz güvenilirliğine ilişkin endişeler ve herhangi bir arz kesintisinin sonuçları göz önüne alınarak, PGM'lerin kritik metaller olarak sınıflandırılması devam edecektir. Ancak bu sınıflandırmanın hammaddenin tükenmesinden kaynaklanmayacağı aşikardır.

PGM'ler, alışılmış uygulama alanları olan otomotiv ve elektronik sektörden tıptaki uygulamalara kadar kıymetlerini ispatlamışlardır. İleriye baktığımızda hidrojen ekonomisi, PGM'lerin daha iyi bir dünya için daha temiz, daha sürdürülebilir enerji çözümlerinin sağlanmasında hayati rol oynayacağından yeni perspektifler sunmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Gunn G. ve Benham A., “Platinum” September 2009. https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/8726/1/1278_Platinum_Profile.pdf, Erişim tarihi: 29.02.2024.
- [2] <https://en.wikipedia.org/wiki/Platinum>, Erişim tarihi: 01.03.2024. Wikipedia The Free Encyclopedia, “Platinum” 07.01.2024.
- [3] <https://en.wikipedia.org/wiki/Palladium>, Erişim tarihi: 01.03.2024. Wikipedia The Free Encyclopedia, “Palladium” 15.02.2024.
- [4] <https://en.wikipedia.org/wiki/Rhodium>, Erişim tarihi: 05.03.2024. Wikipedia The Free Encyclopedia, “Rhodium” 26.02.2024.
- [5] <https://en.wikipedia.org/wiki/Ruthenium>, Erişim tarihi: 04.03.2024. Wikipedia The Free Encyclopedia, “Ruthenium” 26.02.2024.
- [6] <https://en.wikipedia.org/wiki/Iridium>, Erişim tarihi: 05.03.2024. Wikipedia The Free Encyclopedia, “Iridium” 05.03.2024.
- [7] <https://en.wikipedia.org/wiki/Osmium>, Erişim tarihi: 01.03.2024. Wikipedia The Free Encyclopedia, “Osmium” 15.02.2024.
- [8] <https://www.osmium.info/en/osmium-schmuck-main/>, Erişim tarihi: 13.05.2024. “Osmium” 2024.
- [9] <https://www.ecotradegroup.com/en/blog/a-concise-of-pgm-history>, Erişim tarihi: 12.09.2024. ecotrade Group, “A Concise of PGM History” 09.10.2019.
- [10] Zientek M. L., Loferski P. J., Parks H. L., Schulte R. F. ve Seal R. R., “Platinum-Group Elements” Critical Mineral Resources of the United States-Economic and Environmental Geology and Prospects for Future Supply, U.S. Geological Survey, 2017, s. N1-N91. <https://doi.org/10.3133/pp1802N>, Erişim tarihi: 22.04.2024.
- [11] <https://www.crmalliance.eu/pgms>, Erişim tarihi: 06.03.2024. CRM Alliance, “PGMs”
- [12] <https://matthey.com/products-and-markets/pgms-and-circularity/pgm-management/>, Erişim tarihi: 24.05.2024. Johnson Matthey, “PGM Management” 2024.
- [13] Hughes A. E., Haque N., Northey S. A. ve Giddey S., “Platinum Group Metals: A Review of Resources, Production and Usage with a Focus on Catalysts” Resources, Cilt 10, 93, 20.09.2021. <https://www.mdpi.com/2079-9276/10/9/93>, <https://doi.org/10.3390/resources10090093>, Erişim tarihi: 06.03.2024.
- [14] <https://ipa-news.com/index/pgm-applications/medical/>, Erişim tarihi: 28.03.2024. IPA International Platinum Group Metals Association, “Medical” 2024.
- [15] <https://matthey.com/documents/1615.99/404083/JM+Iridium+White+Paper.pdf/7088c5.87-79ec-d30d-135.e-21a64b15.6f81?t=1694007900262>, Erişim tarihi: 27.05.2024.

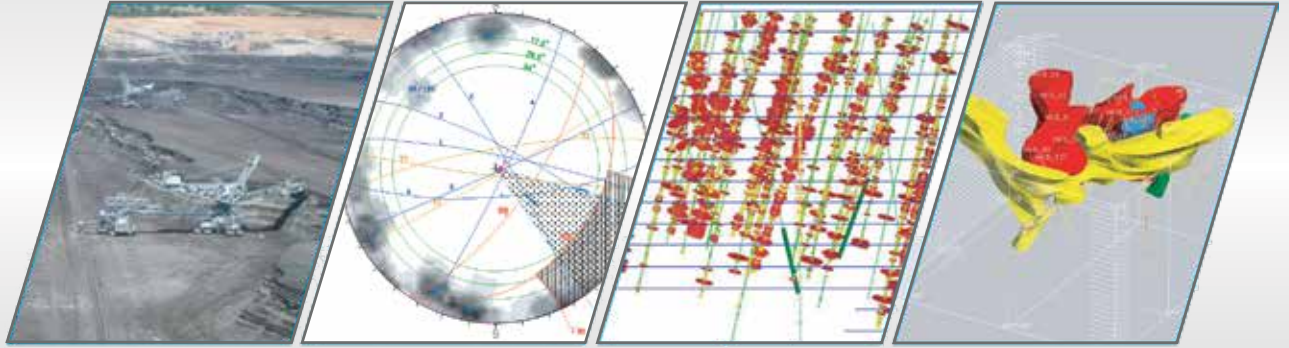
- Johson Matthey, “JM Two key focus areas will ensure iridium availability does not stall electrolyser growth” 2022.
- [16] <https://tm2.com/tm2-network/technology-metals-pipeline/iridium/>, Erişim tarihi: 20.05.2024. Technology Metals Market, “Iridium” 2024.
- [17] <https://tm2.com/tm2-network/technology-metals-pipeline/osmium/#:~:text=Supply%20Characteristics%3A&text=According%20to%20Heraeus%20Precious%20Metals,v%20aries%20between%2015.0%2D1%2C000kg.>, Erişim tarihi: 10.05.2024. “TM2. Technology Metals Market” 2024.
- [18] <https://www.alquimista.us/alq-bar-blog/blog-post-title-three-sb5.r7>, Erişim tarihi: 06.03.2024. Alquimista, “Platinum Group Metals: Past, Present, and Future Applications” 2023.
- [19] Nassar N. T., “Limitations to elemental substitution as exemplified by the platinum-group metals” *Green Chemistry*, cilt 17, s. 2226-2235, 14 Jan 2015. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2015/gc/c4gc02197e>, <https://doi.org/10.1039/C4GC02197E>, Erişim tarihi: 07.03.2024.
- [20] Temur S., “Platin Grubu Metal Yatakları” *Metalik Maden Yatakları*, Nobel Yayın Dağıtım, s. 238-245, 2001.
- [21] Cabri L. J., “The Platinum-Group Minerals” *The Geology, Geochemistry, Mineralogy and Mineral Beneficiation of Platinum-Group Elements*, Cabri L. J (Ed.). CIM Special Volume 54, Canadian Institute of Mining, Metallurgy And Petroleum (CIM), 2002, s. 13-130. <https://doi.org/10.2113/gscanmin.41.2.544>, Erişim tarihi: 22.04.2024.
- [22] Öztunalı Ö., “Platin ve Platin Metalleri” *Maden Yatakları Oluşumları ve Değerlendirmeleri*, İstanbul, Latin Matbası, 1973, s. 227-232.
- [23] Tuncay A. ve Kuşçu M., “Platin Grube Metal ve Minerallerin Jeolojisi ve Ekonomisi” *Jeoloji Mühendisliği*, cilt 43, s. 89-95., Kasım 1993. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/a61ed715ee66c48_ek.pdf?dergi=JEOLOJ%DD%20M%DCHEND%D DSL%DD%D0%DD%20DERG%DDS%DD, Erişim tarihi: 07.02.2024.
- [24] http://cnmnc.units.it/master_list/IMA_Master_List_%282024-03%29.pdf, Erişim tarihi: 24.04.2024. International Mineralogical Association, Commission on New Minerals, Nomenclature and Classification, “The New IMA List of Minerals” March 2024.
- [25] Altınlı İ. E., *Yerbilimleri Sözlüğü*. MTA Genel Müdürlüğü Yayınları No 195, 1986.
- [26] Mudd G. M., Jowitt S. M. ve Werner T. T., “Global platinum group element resources, reserves and mining – A critical assessment” *Science of the Total Environment*, Cilt 622-623, s. 614-625, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.350>, Erişim tarihi: 01.04.2024.

- [27] Erdal H. K., Görmüş T., Görmüş N., Yıldız H. ve Doğan A. T., “Kromitit Oluşumlarının Platin Grubu Element ve Mineral İçeriklerinin Korelesyonu ve Petrolojisi” s. 49, 2010. MTA Genel Müdürlüğü, Derleme Raporu No:11223.
- [28] <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/platinum-group-metals-statistics-and-information#:~:text=The%20catalytic%20properties%20of%20the,suited%20for%20making%20fine%20jewelry.>, Erişim tarihi: 19.02.2024. US Geological Survey National Minerals Information Center “Platinum-Group Metals Statistics and Information”
- [29] Schulte R. F., “2019.Minerals Yearbook Platinum-Group Metals [Advance Release]” U.S. Geological Survey, February 2024. <https://pubs.usgs.gov/myb/vol1/2019/myb1-2019-platinum-group.pdf>, Erişim tarihi: 27.02.2024.
- [30] https://www.heraeus.com/en/hpm/market_reports/platinum_standard/platinum_standard.html, Erişim tarihi: 16.05.2024. “The Platinum Standard” 2024.
- [31] https://www.heraeus.com/en/hpm/company/hpm_news/2021_hpm_news/01_precious_forecast_2021.html, Erişim tarihi: 29.05.2024. Heraeus Precious Metals, “Heraeus Precious Metals Forecast 2021” 27.01.2021.
- [32] https://matthey.com/documents/1615.99/0/7635._JMP_PT_Whitepaper_v10.pdf/34df2322-3f88-6e4a-4081-19925.a048d06?t=16898405.49323, Erişim tarihi: 24.05.2024. Johnson Matthey, “Platinum: a sustainable solution for the energy transition” 2023.
- [33] Minke C., Suermann M., Bensmann B. ve Hanke-Rauschenbach R., “Is iridium demand a potential bottleneck in the realization of large-scale PEM water electrolysis?” International Journal of Hydrogen Energy, cilt 46, s. 23581-23590, 06.07.2021. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319921016219>, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.04.174>, Erişim tarihi: 20.05.2024.
- [34] <https://material-properties.org/iridium-properties-applications-price-production/>, Erişim tarihi: 21.05.2024. Material Properties, “Iridium–Properties–Price–Applications–Production” 2024.
- [35] <https://market.us/report/platinum-group-metals-market/#:~:text=In%202022%2C%20the%20Platinum%20Group,together%20on%20the%20periodic%20table.>, Erişim tarihi: 13.03.2024. market.us, “Platinum Group Metals Market” October 2023.
- [36] <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/platinum-group-metals-market>, Erişim tarihi: 14.03.2024. Mordor Intelligence, “Platinum Group Metals Market Size & Share Analysis-Growth Trends & Forecasts (2024-2029)” 2024.
- [37] <https://southafrica.angloamerican.com/our-operations/platinum-group-metals-pgms>, Erişim tarihi: 04.09.2024. AngloAmerican, “Platinum Group Metals (PGMs)”
- [38] <https://www.angloamerican.com/our-stories/innovation-and-technology/mine-profile-mogalakwena>, Erişim tarihi: 05.09.2024. AngloAmerican, “Mine profile Mogalakwena” 2024.

- [39] https://minedocs.com/20/Anglo_American_Amplats_Ore_Reserves_Mineral_Resources_Report_2019.pdf#page=18, Erişim tarihi: 05.09.2024. Anglo American Platinum Limited, “Ore Reserves and Mineral Resources Report” s. 37-66, 2019.
- [40] <https://www.sibanyestillwater.com/business/southern-africa/pgm-operations/>, Erişim tarihi: 06.09.2024. Sibanye Stillwater, “Projects” 2024.
- [41] <https://ar2020.nornickel.com/business-overview/operational-performance/nkomati>, Erişim tarihi: 09.09.2024. NorNickel, “Annual report 2020 Nkomati (South Africa)” 2021.
- [42] <https://www.northam.co.za/about-northam/company-profile>, Erişim tarihi: 09.09.2024. Northam Platinum Holdings Limited, “Company profile” 2024.
- [43] <https://www.eastplats.com/what-we-do/>, Erişim tarihi: 09.09.2024. eastplats, “Our Assests” 2024.
- [44] <https://impalacanada.com/home/default.aspx>, Erişim tarihi: 03.09.2024. Impala Canada, “Impala Canada” 2024.
- [45] <https://www.implats.co.za/pdf/fact-sheets/2024/fact-sheet-implats.pdf>, Erişim tarihi: 03.09.2024. Implats, “Implats Fact Sheet” s. 1-12, January 2024.
- [46] https://nornickel.com/files/en/corporate_documents/company/profile/Nornickel_Booklet.pdf, Erişim tarihi: 03.09.2024. “NorNickel Booklet 2021” s.1-62, 2021.
- [47] <https://www.sibanyestillwater.com/business/americas/pgm-operations-americas/stillwater-east-boulder/>, Erişim tarihi: 26.09.2024. Sibanye Stillwater, “Stillater and East Boulder” 2024.
- [48] Nel E., “PGM recovery from chromite tailings - a new art or more of the same?” Flotaion, Cape Town, South Africa, 2011. https://www.researchgate.net/publication/322064562_PGM_recovery_from_chromite_tailings_-_a_new_art_or_more_of_the_same, Erişim tarihi: 27.09.2024.
- [49] <https://www.mining-technology.com/projects/phoenix-platinum-project/?cf-view>, Erişim tarihi: 27.09.2024. Mining Technology, “Phoenix Platinum Project” 2024.
- [50] <https://www.lppm.com/>, Erişim tarihi: 28.05.2024. LPPM, “London Platinum & Palladium Market” 2024.
- [51] <https://ipa-news.com/index/about-us/>, Erişim tarihi: 09.07.2024. IPA International Platinum Group Metals Association, “About Us” 2024.
- [52] <https://mmta.co.uk/about-us/>, Erişim tarihi: 09.07.2024. MMTA The Minor Metals Trade Association, “About Us” 2024.
- [53] https://www.osmium-world-council.com/en/mid,39169,OWC_tasks/, Erişim tarihi: 13.05.2024. Osmium Word-Council, “OWC Tasks” 2024.

- [54] <https://www.unicore.com/en/about/our-metals/ruthenium/#:~:text=Ruthenium%20recycling%20rates%20are%20high,containing%20chemicals%2C%20solutions%2C%20and%20other>, Erişim tarihi: 04.10.2024. unicare, “Ruthenium”
- [55] <https://patents.google.com/patent/DE102005061954A1/en>, Erişim tarihi: 04.10.2024. “Recycling of ruthenium from an used ruthenium catalyst comprises treating the catalyst containing ruthenium oxide in a hydrogen stream and treating the carrier material containing ruthenium metal with hydrochloric acid” Germany Patent: DE 10.2005.061.95.4.A1, 05.07.2007.
- [56] <https://noble6.com/iridium-recovery-from-recycling-is-essential/>, Erişim tarihi: 04.10.2024. noble6, “Iridium Recovery from Recycling is Essential!” 14.05.2024.
- [57] Moriau L., Stojanovski K., Jovanović P., Escalera-Lopez D., Cherevko S. ve Hodnik N., “Towards electrochemical iridium recycling in acidic media: effect of the presence of organic molecules and chloride ions” RSC Advances, no. 12, 2023. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2023/ra/d2ra07142h#cit23>, <https://doi.org/10.1039/d2ra07142h>, Erişim tarihi: 04.10.2024.
- [58] Yoshimura A., Komatsuda H. ve Matsuno Y., “Establishment of a Novel Recycling Process for Iridium Using “Dry Aqua Regia”” Materials Transactions, cilt 65., no. 1, s. 49-53, 2024. https://www.jstage.jst.go.jp/article/matertrans/65/1/65_MT-M2023084/_html/-char/en, <https://doi.org/10.2320/matertrans.MT-M2023084>, Erişim tarihi: 04.10.2024.
- [59] <https://www.lppm.com/good-delivery/the-london-zurich-good-delivery-list>, Erişim tarihi: 28.05.2024. London Platinum&Palladium Market, “The London/Zurich Good Delivery List” 2024.
- [60] https://www.heraeus.com/media/media/hpm/doc_hpm/precious_metal_update/platinum_standard/The_Platinum_Standard_2023.pdf, Erişim tarihi: 03.05.2024. Heraeus Precious Metals, “The Platinum Standard 2023” 2023.
- [61] Terence B., “The Cost, Characteristics, and Uses of Osmium” 28 Aug. 2020. <https://www.thoughtco.com/osmium-prices-2011-2012-2339901>, ThoughtCo, Erişim tarihi: 13.05.2024.
- [62] <https://www.trademap.org/Index.aspx>, Erişim tarihi: 17-19.07.2024. International Trade Center, “Trade Map” 2024.
- [63] <https://www.lenntech.com/periodic/elements/pt.htm>, Erişim tarihi: 25.09.2024. LennTech, “Chemical properties of platinum -Health effects of platinum-Environmental effects of platinum” 2024.
- [64] <https://www.lenntech.com/periodic/elements/pd.htm>, Erişim tarihi: 25.09.2024. LennTech, “Chemical properties of palladium -Health effects of palladium-Environmental effects of palladium” 2024.

- [65] <https://www.lenntech.com/periodic/elements/rh.htm>, Erişim tarihi: 25.09.2024. LennTech, “Chemical properties of rhodium -Health effects of rhodium- Environmental effects of rhodium” 2024.
- [66] <https://www.lenntech.com/periodic/elements/ru.htm>, Erişim tarihi: 25.09.2024. LennTech, “Chemical properties of ruthenium -Health effects of ruthenium- Environmental effects of ruthenium” 2024.
- [67] <https://www.lenntech.com/periodic/elements/ir.htm>, Erişim tarihi: 25.09.2024. LennTech, “Chemical properties of iridium - Health effects of iridium - Environmental effects of iridium” 2024.
- [68] <https://www.lenntech.com/periodic/elements/os.htm>, Erişim tarihi: 25.09.2024. LennTech, “Chemical properties of osmium -Health effects of osmium- Environmental effects of osmium” 2024.



Fizibilite Etütleri Dairesi Başkanlığı



Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü

Çukurambar Mahallesi Dumlupınar Bulvarı No:11 06530 Çankaya / ANKARA

☎ +90 312 210 10 00 PbxII 📠 +90 312 287 91 88II ✉ mta@mta.gov.tr II 🌐 http://www.mta.gov.tr