

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

PLASER YATAKLARDAN GRAVİTE YÖNTEMLERİYLE ALTIN
KAZANIMININ OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Caner BAYRAK

TEMMUZ 2025
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

PLASER YATAKLARDAN GRAVİTE YÖNTEMLERİYLE ALTIN
KAZANIMININ OPTİMİZASYONU

Caner BAYRAK

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"MADEN YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 / 06 / 2025

Tezin Savunma Tarihi : 18 / 07 / 2025

Tez Danışmanı : Prof. Dr. İbrahim ALP

İkinci Danışman : Dr. Fırat AHLATCI

Trabzon 2025

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Maden Mühendisliği Anabilim Dalında
Caner BAYRAK Tarafından Hazırlanan**

**PLASER YATAKLARDAN GRAVİTE YÖNTEMLERİYLE ALTIN
KAZANIMININ OPTİMİZASYONU**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 27/02/2025 gün ve 2092 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. İbrahim ALP

Üye : Doç. Dr. Mustafa BİRİNCİ

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Taha BOYRAZ

Prof. Dr. Asim KADIOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

"Plaser Yataklardan Gravite Yöntemleriyle Altın Kazanımının Optimizasyonu" adlı bu çalışma, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü bünyesinde Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Öncelikle beni bu çalışmaya yönlendiren gerek bilgi gerekse çalışmanın yürütülmesinde yardımlarını esirgemeyen tezimin bilimsel danışmanı olan Sayın Hocam Prof. Dr. İbrahim ALP'e ve Sayın İkinci Danışman Hocam Dr. Fırat AHLATCI'ya, tezimin her aşamasında bana destek olan Sayın Hocam Dr. Taha BOYRAZ'a, laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Ahmed SİNON'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca üniversite-sanayi iş birliği kapsamında hazırlanan FBA-2025-16375 nolu projeme desteklerinden dolayı KTÜ BAP birimine ve örneklerin temini ve izinleri için işletmeci firma Erişsan Beton ve Kum San. A.Ş.'ye teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma sürecinde desteklerini esirgemeyen ve tezimin hazırlanmasında en az benim kadar emeği geçen eşim Selin SANCİ BAYRAK'a, biricik kızım Doğa BAYRAK'a, annem Güner BAYRAK, babam Alaettin BAYRAK'a ve değerli meslektaşlarım, aynı zamanda iş arkadaşlarım Maden Mühendisi Mehmet ÇAĞIRDAN ve Maden Mühendisi Doğan BARAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın madenciliğe katkı sağlamasını dilerim.

Caner BAYRAK

Trabzon 2025

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Plaser Yataklardan Gravite Yöntemleriyle Altın Kazanımının Optimizasyonu” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. İbrahim ALP’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

18/07/2025

Caner BAYRAK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Altın Madenciliği	1
1.2. Plaser Yataklar	5
1.3. Plaser Altın Madenciliği.....	8
1.4. Plaser Yataklardan Altının Kazanım Yöntemleri.....	11
1.5. Plaser Yataklarından Altın Zenginleştirmenin Avantajları ve Dezavantajları.....	20
1.6. Dünyada ve Türkiye’de Plaser Yataklar	22
1.7. Çalışma Sahasının Jeolojik Özellikleri.....	24
1.7.1. Gökbel Formasyonu	26
1.7.2. Korudağ Formasyonu.....	26
1.7.3. Alüvyon ve Yamaç Molozu	26
1.8. Çalışmanın Amacı ve Literatürde Dolduracağı Boşluk	27
2.YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	28
2.1. Malzeme	28
2.1.1. Erişsan Altın Kazanma Prosesi	28
2.1.2. Deney Örnekleri	33
2.2. Yöntem	34
2.2.1. Elek Analizi Çalışmaları	34
2.2.2. Karakterizasyon Testleri	35
2.2.3. Kimyasal Analizler	36
2.2.4. Altın Tanelerinin Külçe (<i>Nugget</i>) Etkisi Testleri.....	38
2.2.5. Jig Testleri.....	40

3.BULGULAR VE TARTIŞMA.....	44
3.1. Tüvenan Cevher Analizleri	44
3.2. Cevher ve Konsantrelerin Boyut Dağılımı ve Analizleri	46
3.3. Kimyasal ve Mineralojik Karakterizasyon Testleri.....	51
3.4. Külçe Altın (<i>Nugget</i>) Etkisi Test Sonuçları	61
3.5. Jig Performans Testleri.....	63
4.SONUÇLAR.....	67
5.ÖNERİLER	68
6.KAYNAKLAR.....	69
ÖZGEÇMİŞ	



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

PLASER YATAKLARDAN GRAVİTE YÖNTEMLERİYLE ALTIN KAZANIMININ OPTİMİZASYONU

Caner BAYRAK

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. İbrahim ALP
2025, 70 Sayfa

Altının üretimi tarih boyunca yoğunluk farkına dayanmıştır. Günümüzde altın üretimi yaygın olarak siyanür liçinin kullanıldığı hidrometalurjik prosesler ile sağlanmaktadır. Ancak son yıllarda siyanür kullanımına yönelik ciddi kısıtlamalar değerlendirilmektedir. Bu nedenle plaser yataklardan gravite ile altın üretim proseslerin geliştirilmesi veya iyileştirilmesi önem kazanmıştır. Bu tezde plaser yataktan altın kazanımına yönelik üretim yapılan bir işletmeye ait proseste verim arttırmaya yönelik iyileştirmeler amaçlanmıştır. Mevcut prosesin akışından alınan örneklerle karakterizasyon analizleri, külçe altın etkisi testleri ve jig performans testleri (frekans, yatak kalınlığı ve yatak malzemesi testleri) gerçekleştirilmiştir. Yatağın 0,019 g/t Au ve 0,156 g/t Ag içerdiği tespit edilmiştir. Cevher içerisindeki altının yaklaşık 1 mm'den daha iri boyutlara kadar serbest yapıda var olduğu belirlenmiştir. Ürünlerden alınan örneklerde külçe altın etkisi yüksek bulunmuştur. Frekans artışı jig performansını olumsuz etkileyip tenörü düşürmüştür. Ayrıca jig yatak kalınlığının altın kazanma verimine etkisinin pozitif olduğu, jig yatak malzemesi olarak çelik bilya kullanımının daha etkili olduğu ortaya konulmuştur. Yapılan çalışmalar, jig ekipmanının prosese eklenmesinin iş yükünü azaltıp altın verimini artıracak olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Plaser yatak, Altın kazanımı, Jig ile zenginleştirme, Külçe etkisi.

Master's Thesis

SUMMARY

**OPTIMIZATION OF GOLD RECOVERY FROM PLACER
DEPOSITS USING GRAVITY METHODS**

Caner BAYRAK

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mining Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. İbrahim ALP
2025, 70 Pages

Gold production has historically relied on differences in density. Today, gold production is widely achieved through hydrometallurgical processes that utilize cyanide leaching. However, in recent years, serious restrictions on cyanide use have been evaluated. Therefore, the development or improvement of gravity gold production processes from placer deposits has gained importance. This thesis aims to improve the efficiency of a process belonging to a facility that recovers gold from a placer deposit. In this context, characterization analyses, gold bullion effect tests, and jig performance tests (frequency, bed thickness, and bed material tests) were conducted on samples taken from the existing process flow. The deposit was found to contain 0.019 g/t Au and 0.156 g/t Ag. The gold within the ore was determined to exist in free form down to approximately 1 mm in size. Samples taken from the products showed a high effect of nugget gold. An increase in frequency negatively affected jig performance and reduced the grade. Additionally, it has been demonstrated that jig bed thickness has a positive effect on gold recovery efficiency, and that using steel shot as the jig bed material is more effective. Studies have shown that adding jig equipment to the process reduces workload and increases gold recovery.

Key Words: Placer deposit, Gold recovery, Concentration with Jigging, *Nugget* effect

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Altının kristal yapısı	1
Şekil 2. Altının genel özellikleri.....	3
Şekil 3. Plaser yatakların oluşumları (Özer, 2022; URL-1, 2024)	6
Şekil 4. Plaserlerin yataklanma senaryoları (URL-2, 2024).....	7
Şekil 5. Yıkama tavaasında zenginleştirme.....	8
Şekil 6. Serbest altın taneleri	9
Şekil 7. Bağlı altın taneleri içeren cevherler için kazanım prosesi.....	9
Şekil 8. Serbest halde bulunan altın taneleri.....	10
Şekil 9. (a) Savak kutuları (b) Tromel elek sonrası savak kutuları sistemi	12
Şekil 10. Eşikli bir savakta suyun ve tanelerin hareketi	13
Şekil 11. Yıkama ve oluk içeren mobil altın kazanım tesisi	14
Şekil 12. Bir jig döngüsünün anlık görüntüsü	15
Şekil 13. (a) Diyaframlı v(b) e pistonlu altın igleri	16
Şekil 14 (a) Wilfley tip sarsıntılı masa; (b) Gemini tip sallantılı masa;.....	17
Şekil 15. (a) Multi-helix spiral (b) Rotary table (döner masa)	18
Şekil 16. Mutli gravite seperatör (MGS) şematik gösterimi	19
Şekil 17. Knelson ayırıcı	20
Şekil 18. Türkiye’deki plaser yataklar	23
Şekil 19. Sahanın yer bulduru haritası.....	28
Şekil 20. Manisa tesisi akım şeması	29
Şekil 21. Altın tutma olukları	30
Şekil 22. Oluklara halı serilme işlemi	31
Şekil 23. Nihai zenginleştirme tesis akım şeması.....	31
Şekil 24. Tesiste bulunan gemini tipi masa	32
Şekil 25. Altın eldesinin son aşamasında kullanılan tava.....	32
Şekil 26. Eritme işlemine hazırlanmış altın konsantresi.....	33
Şekil 27. Temin edilen malzemeler	33
Şekil 28. Konileme dörtleme yöntemi ile numune azaltma işlemi.....	34
Şekil 29. Ağır ortam ayırma testleri	35
Şekil 30. KTÜ laboratuvarında yapılan kral suyunda çözündürme işlemleri	36

Şekil 31. AAS analiz çalışmaları	37
Şekil 32. ICP analiz çalışmaları.....	37
Şekil 33. Külçe (nugget) etkisi	38
Şekil 34. Tesiste bulunan jig ve deneylerde kullanılan jig (Enhancer 755)	41
Şekil 35. Jigin frekans ayar düğmesi	42
Şekil 36. Bilya yatağı kalınlaştırılan sol jig.....	43
Şekil 37. Tüvenan cevher kümülatif elek altı grafiği	46
Şekil 38. I. oluk konsantresi kümülatif elek altı grafiği	48
Şekil 39. II. oluk konsantresi kümülatif elek altı grafiği	49
Şekil 40. Hafif kısma ait XRD analiz sonuçları	53
Şekil 41. Ağır manyetik olmayan kısma ait XRD analiz sonuçları.....	53
Şekil 42. Ağır manyetik kısma ait XRD analiz sonuçları	54
Şekil 43. Ağır ortamda batan ürün içerisinde ayrılan ağır mineral taneleri	54
Şekil 44. Ağır ortamda batan ürün içerisinde ayrılan altın taneleri.....	55
Şekil 45. Ağır ortamda batan manyetik ürünün görünüşleri.....	55
Şekil 46. Mikroskopta incelenen <i>almandin</i> ve <i>rutil</i> taneleri	56
Şekil 47. Mikroskopta incelenen kuvars ve anortit mineral taneleri	56
Şekil 48. Altın tanesinin SEM görüntüsü (a); EDX analiz sonucu (b).....	57
Şekil 49. Hafif minerallere ait SEM görüntüsü (a); EDX analiz sonuçları (b-c)	58
Şekil 50. Manyetik özellikli ağır minerallerin SEM görüntüsü (a); EDX analiz sonucu (b-c)	59
Şekil 51. Ağır minerallere ait SEM görüntüsü (a); EDX analiz sonuçları (b-c)	60
Şekil 52. Jig performansına frekansın etkisi.....	64
Şekil 53. Jig konsantresi kümülatif elek altı grafiği	66

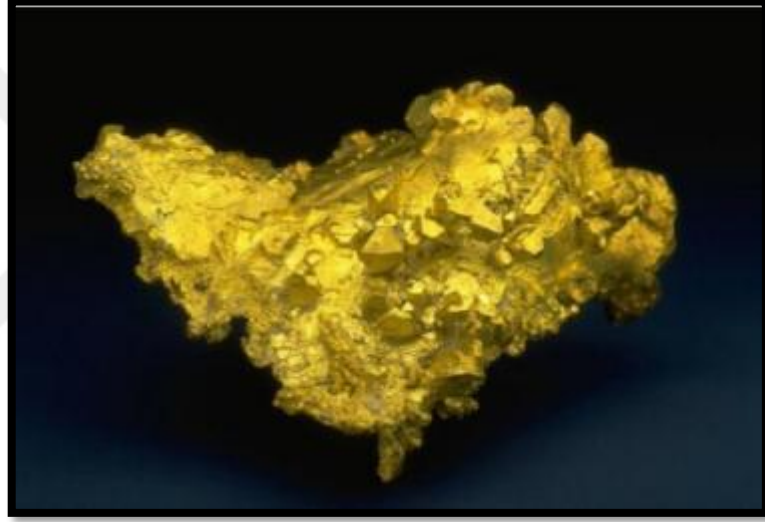
TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Altının kimyasal ve fiziksel özellikleri	2
Tablo 2. Dünyadaki plaser yatakları	23
Tablo 3. Plaser altın yatağına ait kuyulardan 1:1 oranında bölünen örneklerin tenör dağılımları.....	39
Tablo 4. Külçe etkisi testleri örnek alma	40
Tablo 5. Değişen frekans koşulları	42
Tablo 6. Saha örneklerinin altın tenörlerinin değişimi	44
Tablo 7. Tesis beslemesi ve ürünlerinin altın ve ana oksit analiz sonuçları.....	45
Tablo 8. Tesis ürünlerinin element analiz sonuçları.....	45
Tablo 9. Tüvenan cevher elek analizi sonuçları	47
Tablo 10. I. oluktan konsantresinin elek analizi sonuçları	48
Tablo 11. II. Oluk konsantresinin elek analizi sonuçları	50
Tablo 12. I. Oluk konsantresinin XRF analiz sonuçları	51
Tablo 13. II.Oluk Konsantresinin ICP analiz sonuçları.....	51
Tablo 14. I. oluk konsantre ağır mineral konsantresi XRF analiz sonuçları	52
Tablo 15. <i>Nugget</i> etkisi testleri örnek alma sonuçları	62
Tablo 16. Jig performansına frekansın etkisi.....	63
Tablo 17. Jig performansına yatak kalınlığının etkisi (bilya).....	65
Tablo 18. Jig performansına yatak kalınlığının etkisi (bilya ve iri atık)	65
Tablo 19. Jig konsantresinin elek analizi sonuçları	66

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Altın Madenciliği

İnsanlık için antik çağlardan günümüze kadar değerli olan altın, tarih boyunca dekoratif süs ve mücevher yapımında kullanılmıştır. Bununla birlikte kararmaya karşı dayanıklı olması, kimyasal tepkimeye kolay girmemesi, asitlere karşı dayanıklılığı, paslanmaması, doğada serbest halde bulunabilmesi ve kolay işlenebilmesi onu daha da değerli kılmıştır (Şekil 1) (Habashi, 2016; Ünal vd., 2016).



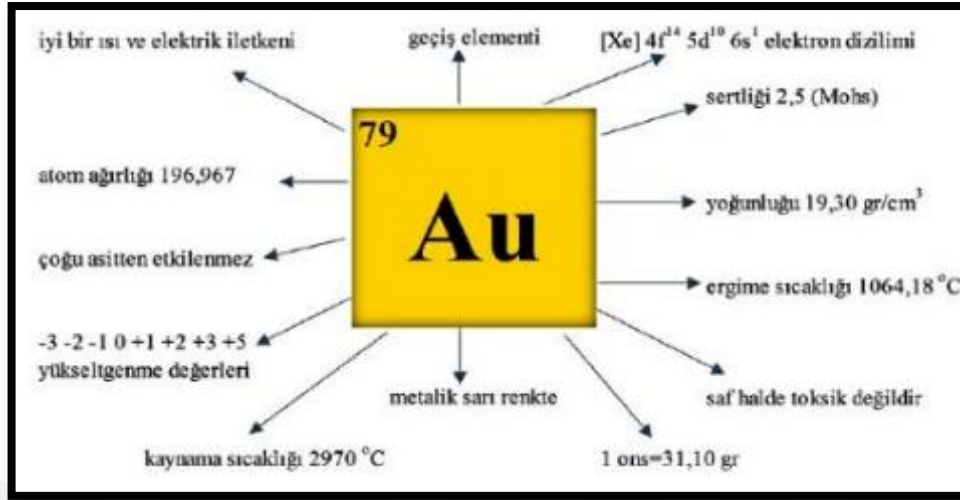
Şekil 1. Altının kristal yapısı

Doğada altın genellikle saf (nabit) formda ya da gümüş, bakır ve platin gibi diğer metallerle oluşturduğu doğal alaşımlar halinde bulunmaktadır. Bu tür altın içeren cevherlerin zenginleştirilmesinde; gravimetrik ayırma, flotasyon, siyanür liçi ve amalgamasyon gibi çeşitli yöntemlerden yararlanılmaktadır. Bu yöntemler arasında en yaygın olarak kullanılanı, Siyanür liçidir. Dünyada altın üretimi; %83-85'i bu yöntem ile gerçekleştirilmektedir. Flotasyon yöntemi %10-14 oranında, gravite ayırma yöntemi ise %5-10 oranında kullanılmaktadır. Cevher yatağının çevresel ve coğrafik faktörlerine göre hangi yöntemin kullanılacağına karar verilir. Bununla birlikte cevherin mineralojik, jeolojik, metalürjik özellikleri de yöntem seçiminde büyük öneme sahiptir (Marsden ve House, 2006).

Periyodik cetvelde “Au” sembolü ile gösterilen altın, $19,3 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluğa sahiptir (Tablo 1). Yumuşak, parlak ve sarı renkli ağır bir element olan altının, atom numarası 79 ve kütle ağırlığı 197 gr/mol ’dür. Kaynaması $2856 \text{ }^\circ\text{C}$ ’de gerçekleşirken, $1064 \text{ }^\circ\text{C}$ ’de erimeye başlar (Şekil 2). Adını Latince parlayan anlamında olan Aurum kelimesinden alan altının, diğer metallerden ayrılan en önemli özelliği çıkarılmış olan altınların büyük bir kısmının hala varlığını sürdürmekte olmasıdır. Bugün hem çıkarılmış hem de kullanımda olan altın miktarının 125.000 ton olduğu öngörülmektedir (Habashi, 2016).

Tablo 1. Altının kimyasal ve fiziksel özellikleri

Özellikler	Değer
Atom Ağırlığı	196,9665
Erime Noktası	$1064 \text{ }^\circ\text{C}$
Kaynama Noktası	$2808 \text{ }^\circ\text{C}$
Atom Çapı	$0,1422 \text{ nm}$
Kristal Sistem	Yüzey Merkezli Kübik
Yoğunluk	$19,32 \text{ gr/cm}^3$
Brinell Sertliği	25 MPa
Elastiklik Katsayısı	$7,747 \times 10^{12} \text{ MPa}$
Gerilme Dayanımı	$123,6\text{-}137,3 \text{ MPa}$
Sıkıştırılabilirlik	$6,01 \times 10^{-12} \text{ l/Pa}$
Erime Isısı	$1,288 \times 10^4 \text{ J/Pa}$
Buharlaşma Isısı	$3,653 \times 10^5 \text{ J/Pa}$
Termal İletkenlik	$311,4 \text{ w/(m.K)}$
Elektriksel Özdirenci	$2,05 \times 10^{-5} \text{ } \Omega.\text{cm}$
Entropi	$47,33 \text{ J/K}$



Şekil 2. Altının genel özellikleri

Yer kürede altının neredeyse tamamı gümüş ile elektrum (Au-Ag) formunda ve bakırla birlikte bulunmaktadır (Melchiorre vd., 2018). Yaygın olarak genellikle beraber bulunduğu en önemli mineraller ise pirit (FeS_2) ve galen (PbS), sfalerit (ZnS), arsenopirit (FeAsS_2), antimonit (Sb_2S_3), pirotit ($\text{Fe}_{(1-x)}\text{S}$) ve kalkopirittir (CuFeS_2). Ayrıca çeşitli selenyum (Se) mineralleri ve manyetit ile bulunabilir. Bunların dışında karbonlu yapılar ile birlikte veya telleryum mineralleri olarak (AuTe_2 , $(\text{Ag,Au})\text{Te}_2$) bulunabilmektedir (Habashi, 2016). Altının oluşumuna ve beraberindeki oluşumlara göre zenginleştirme yöntemleri de farklılıklar göstermektedir. Taşınma ile oluşan plaser altın cevherleri sadece fiziksel yöntemler ile zenginleştirilebilirken diğer cevherleşme koşullarında kimyasal zenginleştirme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Altın madenciliğinde uygulanan en yaygın cevher zenginleştirme prosesi hidrometalurjik bir proses olan liç prosesleridir. Dünyadaki altının (>%90) neredeyse tamamı siyanür (CN) kullanılarak liç edilmektedir. Geleneksel siyanür liç prosesi ise siyanür liç ve sonrasında aktif karbon adsorpsiyonu (çözelti saflaştırma) adımlarından oluşmaktadır (Akçıl, 2014; Akçıl, 2007; Habashi, 1999). Bir altın cevheri ($d_{80}=75 \mu\text{m}$) direkt siyanür liçine tabi tutulduğunda altın kazanma verimi <%80 ise o cevher refrakter altın cevheri olarak isimlendirilmektedir ve çeşitli ön zenginleştirme (flotasyon, kavurma, liç vs.) aşamalarına tabi tutulması gerekmektedir. Bununla birlikte siyanür liç siyanürün çevreye karşı toksik etkilerinden dolayı birçok çevresel riski de beraberinde getirmektedir. Hatta son yıllarda siyanür

kullanımına sınırlamalar getiren veya getirilmesini gündemine alan birçok ülke ve organizasyon olmuştur (Ahlatci vd., 2017). Ancak altın kazanımında uygulanabilecek diğer alternatif yöntem veya liç reaktiflerinin teknik ve ekonomik olarak siyanür liç prosesinden daha elverişsiz oluşu siyanür liçinin uzun bir süre daha en önemli altın zenginleştirme yöntemi olacağını göstermektedir.

İnsanlık ilk altın üretimini 6000 yıldan daha önce plaser yataklardan gerçekleştirmiştir. Çünkü plaser altın yataklarından altın, özgül ağırlık farkından yararlanılarak zenginleştirilebilmektedir. 1979 yılı itibariyle Dünya altın tedarikinin %67'si plaser yataklardan sağlanmaktaydı (Boyle, 1979). Ancak günümüze kadar plaser yataklardaki altınların büyük çoğunluğu kazanıldığı için doğal cevherleşmelerin olduğu maden yatakları birincil altın yatakları konumuna gelmiştir (Pistilli, 2024). Mevcut koşullarda plaser yataklardan altın kazanımı her ne kadar kolay ve ekonomik görünse de, küçük yatak oluşumları ve düşük altın tenörleri sebebiyle çok az işletmeye elverişli plaser yatak bulunmaktadır (Pistilli, 2024). Her ne kadar mevcut fiziksel yöntemler ile plaser yatakların büyük çoğunluğu ekonomik olarak işletilmeye uygun olmasa da siyanür liç prosesinin çevreye etkisi düşünüldüğünde düşük altın tenörlü plaser yataklardaki altının uygun ekipman ve doğru parametreler ile zenginleştirilerek ekonomiye kazandırılmasının mümkün olduğu düşünülmektedir.

Altının zenginleştirme yöntemlerinin öncesinde veya sonrasında gravite ayırması oldukça yaygın olarak kullanılır. Büyük altın tanelerinin siyanür çözeltilerinde çözünmesi çok zaman aldığından, gravite ayırması, altının zenginleştirilmesinde diğer yöntemlerin öncesinde ya da sonrasında da yaygın olarak tercih edilebilmektedir. Liç işlem sürelerinin kısaltılması için, gravite ayırması ile büyük tanelerin önceden ayrılması büyük önem taşımaktadır. Gravite ayırmasının tercih edildiği bir diğer durum ise, altın tanelerinin yüzeylerinin siyanürle çözünmeyi engelleyecek düzeyde organik bileşiklerle örtülü olmasıdır. Bu gibi durumlarda, altın yüzeylerinin temizlenmesi elzemdir. Gravite ayırması sayesinde, bu tür ikincil işlemlerin yapılması ekonomik açıdan bir yük oluşturmamaktadır (Celep, 2006). Gravite yöntemi ile zenginleştirme işlemlerinin avantajlarının yanı sıra, serbestleşme oranı küçük minerallerin bu yöntem ile zenginleştirilmesi bazı zorluklara sahiptir. Cevher zenginleştirme yöntemlerinin çoğu için tane boyutunu azaltmak, büyük öneme sahiptir. Böylelikle, ortaya daha gelişmiş gravite ayırıcılarının geliştirilmesi gereği çıkmıştır. Bu gereklilik sonucu, Knelson ve Falcon ayırıcıları santrifüj kuvveti ile ayırım yaparak, 30 μm 'dan daha minik tanelerin zenginleştirilmesini yapabilmektedir (Xiao,

1998; Huang, 1996; Knelson ve Jones, 1993; Ling, 1994; Ren vd., 1994; Laplante vd., 1995).

İnsanlık tarihiyle iç içe geçmiş bir şekilde var olan altın, bazı toplumlar için güç simgesi, diğerleri için ise ticaret ve servet anlamına gelmiştir. Altın üretiminin ilk örnekleri, Mısırlılara ait olup, M.Ö. 5000 yıllarında bakır ile karışık halde yer altından çıkarılmıştır. Mısır'da altın madenine ait bir kroki, madencilğe ait bilinen ilk belge olarak bilinmektedir. Altını değerli gören eski medeniyetler arasında Yunanlar, İranlılar, Makedonyalılar, Asurlular, Sümerler ve Lidyalılar öne çıkmaktadır. Ayrıca, İskitler ve Sarmatlar (M.Ö. 1000), altın toka üretiminde oldukça ileriye ve milli kahramanları bu takılarla anılmaktaydı. İslamiyetle birlikte, süs eşyası ve takı olarak kullanılan altın, Roma döneminde devlet borçlarının ödenmesinde kullanılmıştır.

20.yüzyılda plaser yatakları, özellikle 1848'de Kaliforniya'da altının bulunmasıyla büyük bir ekonomik ve toplumsal etki yaratmış, bu keşif Amerikan altın çılgınlığını başlatmış ve plaser yatakları geniş ölçüde keşfedilmiştir. Nehir kenarlarına ve eski alüvyon alanlarına altın aramak için büyük göçler yapılmış, bu da birçok yeni şehir ve kasabanın hızla gelişmesine yol açmıştır. Altın arayanlar, bu dönemde genellikle basit yöntemler kullanarak (örneğin, altın tarama veya suyla altın çıkarma) değerli metali elde etmeye çalışmışlardır.

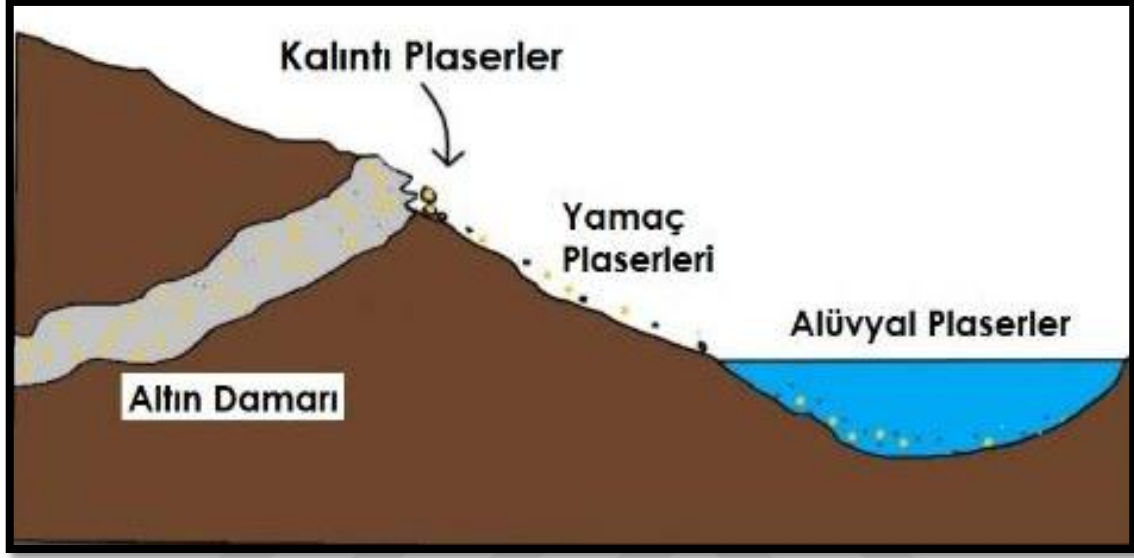
1.2. Plaser Yatakları

Plaser yatakları, alüvyon yatakları olarak da adlandırılan ve değerli madenlerin tortul kayalardan zamanla aşınıp koparak doğal süreçlerle taşınması sonucu oluşan yataklardır. Akarsular, rüzgâr ve diğer çevresel faktörler tarafından sürüklenen bu mineraller, özgül ağırlıklarına göre ayrışarak belirli bölgelerde birikim yapar. Plaser yatakları, oluşum süreçlerine göre üç temel gruba ayrılır: kalıntı (residual), yamaç (elüvyal) ve alüvyal yataklar (Şekil 3) (Özer, 2022). Rüzgar plaserlerinde temel mekanizma, rüzgarın taşıdığı malzemelerin belirli bölgelerde birikmesidir. Farklı boyutlardaki kırıntılı mineraller, rüzgâr tarafından taşınarak hızın azaldığı alanlarda, özellikle kum tepeleri ve kumullarda çöker. Bu süreç, rüzgarın gücünü yitirdiği yerlerde taşınan malzemelerin toplanmasına yol açar.

Yamaç plaserlerinde ise altın, yerçekimi ve yağmur sularının etkisiyle yamaç boyunca aşağı doğru hareket ederken bir miktar yoğunlaşabilir. Alüvyal plaserler ise akarsuların yataklarında oluşturduğu birikimlerdir. Yamaç plaserlerinin olduğu alanlar

daha geniş olduğu için, alüvyal plaserlere kıyasla metal içeriği (tenör) ve ekonomik verim genellikle daha düşüktür.

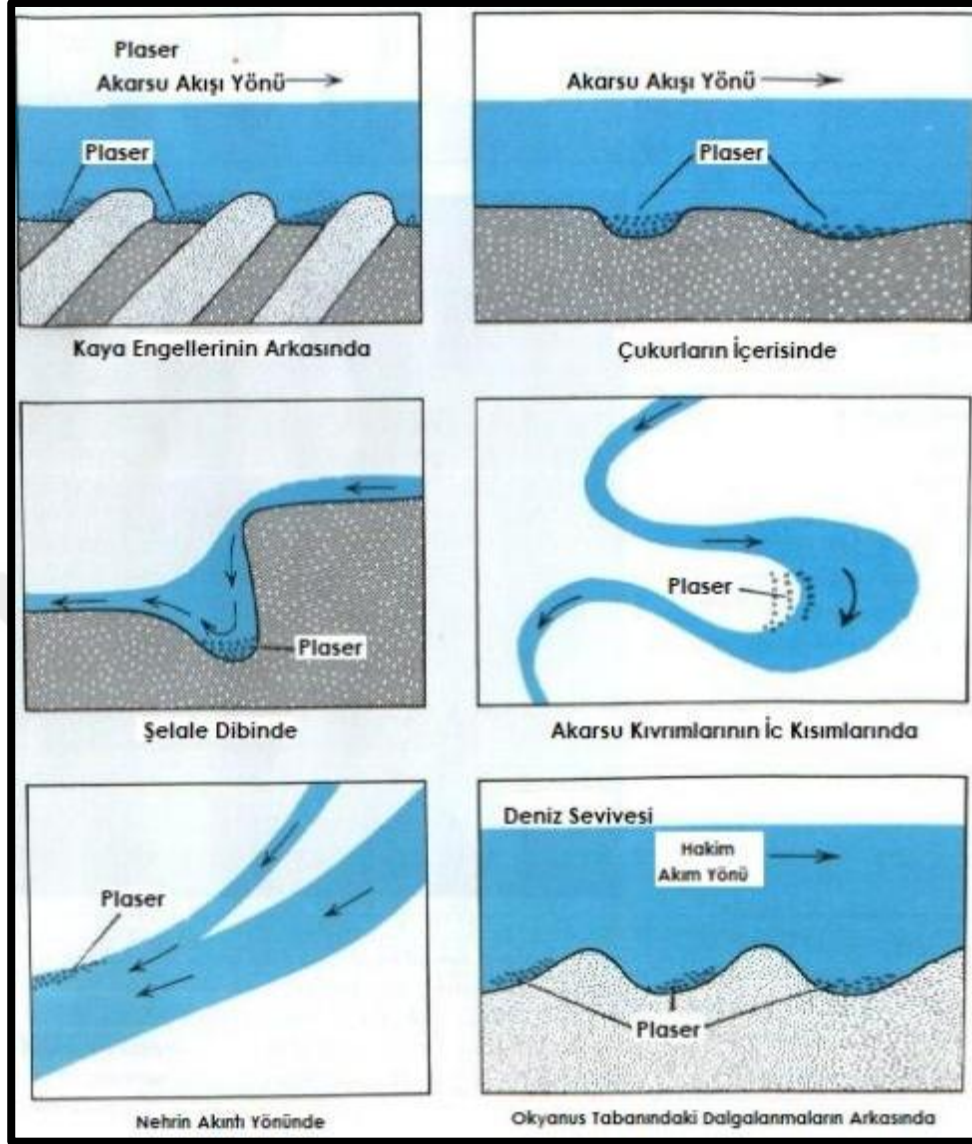
Denizel plaser yatakları ise okyanus ve deniz kıyılarında dalgaların ve akıntıların etkisiyle taşınan minerallerin çökmesiyle meydana gelir.



Şekil 3. Plaser yataklarının oluşumları (Özer, 2022; URL-1, 2024)

Akarsuların akış yönünde cevher birikiminin oluşumu, çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu faktörler arasında akarsuyun eğimi, yüzey şekillerinin engebeliliği, akarsu yatağındaki daralmalar veya tıkanmalar, akarsuyun kollara ayrılması, yaptığı dönüşler, geniş alanlara yayılması ya da göl ve deniz gibi durgun sulara ulaşarak akışını tamamlaması yer alır. Ayrıca, kuraklık ve geçirgen toprak yapısı nedeniyle suyun sızması da birikim süreçlerini etkileyebilir (Yalçın, 1992).

Örneğin, akarsuların akış güzergâhında karşılaştıkları kayalık çıkıntılar arasında, keskin dönüşler yaptığı bölgelerde, şelale gibi yüksekte döküldüğü alanların dip kesimlerinde veya deniz tabanındaki çukur ve girintilerde mineral yataklarına rastlamak mümkündür (Şekil 4).



Şekil 4. Plaserlerin yataklanma senaryoları (URL-2, 2024)

Plaser yataklar özellikle altın gibi ekonomik değeri yüksek metaller içerdiğinde oldukça ilgi çekici hale gelmektedir. Özgül ağırlığı $19,3 \text{ g/cm}^3$ olan altın beraberindeki kuvars ($2,65 \text{ g/cm}^3$), kil taşı ($2,1 \text{ g/cm}^3$), kum taşı ($2,75 \text{ g/cm}^3$) gibi muhtemel minerallerin özgül ağırlığından oldukça yüksek olması sebebiyle plaserlerde bariz bir yataklanma oluşturma potansiyeline sahiptir. Bu nedenle plaser altın yatakları tarih boyunca önemli birer maden kaynağı olmuştur. Ayrıca, plaser madenciliği genellikle daha az teknik donanım ve yatırım gerektirdiğinden, küçük ölçekli madenciler için de cazip bir madencilik yöntemi sunar.

1.3. Plaser Altın Madenciliği

Plaser yataklardan altın üretimi, serbest halde bulunan altının yan kayaçlarından ayırma işlemini içermektedir. Bu işlemler ile ilgili aşağıdaki yöntemler geliştirilmiştir:

Altın Tarama: En eski ve basit yöntemdir. Bir tarama tepsisi ile su altında kum ve çakıl taşları karıştırılır, ağır altın tanecikleri ise bu süreçte aşağıya çökerek toplanır.

Cevher İşleme: Gelişen teknolojiyle birlikte, altın çıkarma işlemleri daha mekanik hale gelmiş ve su ile yıkama işlemleri daha verimli hale gelmiştir. Altının özgül ağırlığı ($19,3 \text{ g/cm}^3$) ile kuvars kumu gibi yaygın silikat gang mineralleri ($2,7 \text{ g/cm}^3$) arasında büyük bir fark olduğu için, gravite yöntemleri yüzyıllar boyunca altın madencilerinin en çok tercih ettiği ayırma yöntemidir.

Plaser cevher türlerinden alüvyon plaserler yataklarından altını üretimi için tek başına bir altın tavaşı (pan) yeterli olmaktadır. Bu ekipman, altını yoğunluk farkına dayalı olarak ayırmak amacıyla kullanılan en basit araçlardan biridir (Şekil 5).



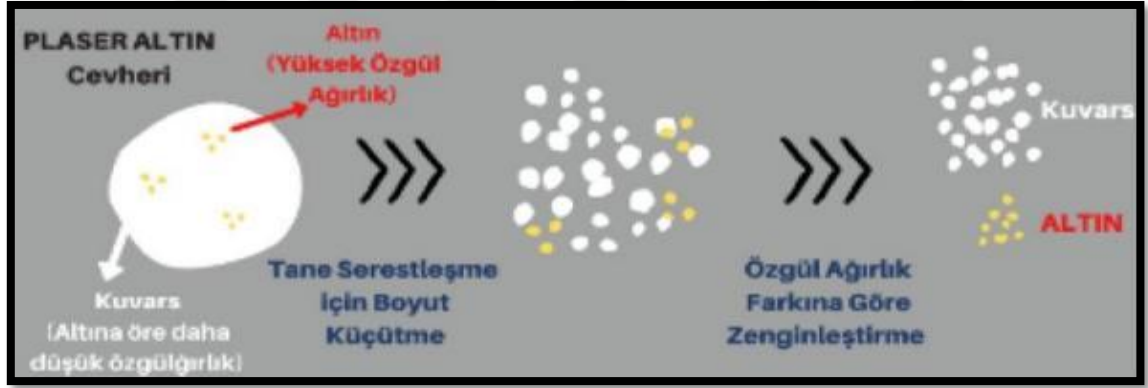
Şekil 5. Yıkama tavaasında zenginleştirme

Doğrudan kullanılabilmesinin temel nedeni, bu tür plaser yataklarında altın tanelerinin tamamen serbest halde bulunmasıdır (Şekil 6).



Şekil 6. Serbest altın taneleri

Ancak, kolüvyal ve elüvyal özellikteki plaser yataklarında yer alan bağlı altının kazanılabilmesi için, öncelikle tanelerin serbestleşmesini sağlamak gerekir. Bu da öğütme gibi boyut küçültme işlemlerini zorunlu kılar (Şekil 7).



Şekil 7. Bağlı altın taneleri içeren cevherler için kazanım prosesi

Altın kazanımında genel olarak kullanılacak olan gravite ayırıcısının türünü bazı önemli değişkenler belirlemektedir:

- Cevherin mineralojisi,
- Altın parçacıklarının boyutu,
- Şekli,
- Ana kayacın yoğunluğu,
- Tercih edilecek ekipmanın maliyeti, yedek parçalarının bulunabilirliğidir.

Gravite ayırıcılarının farklı altın cevherlerine uygulanabilirliği büyük ölçüde, cevher içindeki altın tanelerinin serbest hale geldikten sonraki tane boyutlarına bağlıdır.

Bazı gravimetrik zenginleştirme ekipmanları ince taneli altının konsantre edilmesinde görece daha etkili olmakla birlikte, çoğu sistem 0,074 mm'den daha küçük partiküller üzerinde yeterli ayırım verimliliği sağlayamamaktadır. Bu nedenle, bu boyut aralığında yoğunluk farklarına ek olarak merkezkaç kuvvetinden de yararlanan santrifüj tipi ayırıcıların kullanımı daha uygun bir tercih olarak öne çıkmaktadır. Altın tanelerinin boyutu ve özgül ağırlığı kadar, parçacıkların şekli de gravimetrik ayırma sürecinde önemli bir parametredir. Özellikle yassı veya pul formundaki altın parçacıkları, yüksek özgül ağırlığa sahip olmalarına rağmen geometrik özelliklerinden ötürü gravite ayırıcı yüzeylerinde ilerleme veya yüzeyde kalma eğilimi gösterebilmektedir (Şekil 8). Öte yandan, öğütme işlemi sırasında altın tanelerinde şekil değişimine neden olarak bu tanelerin yassılaştırılmasına ve dolayısıyla görünür tane boyutunun artmasına yol açabilmektedir. Bu durum, söz konusu cevher tiplerinde darbeli kırıcılar ve bilyalı değirmenler gibi uygun boyut küçültme ekipmanlarının kullanımını gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda, kırma, öğütme ve sınıflandırma işlemleri, altın tanelerinin tam ya da kısmi serbestleşmesinde belirleyici öneme sahiptir.



Şekil 8. Serbest halde bulunan altın taneleri

1.4. Plaser Yataklardan Altının Kazanım Yöntemleri

Gravite ile altın kazanım yöntemleri arasında yer alan panning (tavada ayırma), tarihsel olarak en eski ve geleneksel tekniklerden biri olup, günümüzde dahi özellikle küçük ölçekli madencilik faaliyetlerinde önemini korumaktadır. Bu yöntemde, suyun hareketi ile hafif mineraller uzaklaştırılırken, yüksek özgül ağırlığa sahip altın ve diğer ağır mineraller tavanın dibine çöker. Panning yöntemi, özellikle geçimini altın arayarak sağlayan artisanal (zanaatkâr) madencilerin temel ekipmanlarından biri olmaya devam etmektedir.

Günümüzde piyasada farklı malzeme ve şekillerde üretilmiş altın tavaları mevcuttur. Afrika'da birçok artisanal madenci, panning işlemi için su kabağı, mutfak kapları veya pişirme gereçlerini kullanmaktadır. Ahşap ve plastik malzemeden üretilen tavalar ise hafiflikleri ve kolay taşınabilirlikleri ile öne çıkar. Kuzey Amerika'da yaygın olarak kullanılan plastik veya alüminyum tavalar genellikle düz tabanlı olup, çapları 380–460 mm, derinlikleri ise 50–60 mm arasında değişmektedir. Bu tavaların kenar açısı yaklaşık 30–45°'dir ve iç kısımlarında, altın tanelerinin tutulmasını kolaylaştıran sırtlar (rifle) yer almaktadır.

Özellikle alüvyon tipi plaser yataklardan altın kazanımı gerçekleştiren madenciler, zamanla cevherlerin daha derin katmanlarına ulaşabilmek amacıyla hidrolik su jetlerinden de faydalanmışlardır. Bu teknik, 19. yüzyılın sonlarında geniş ölçekte altın üretimi için yaygın olarak kullanılmış, özellikle mevcut akarsuların yetersiz kaldığı, kurumuş eski nehir yataklarındaki birikintilerin çıkarılmasında etkili olmuştur.

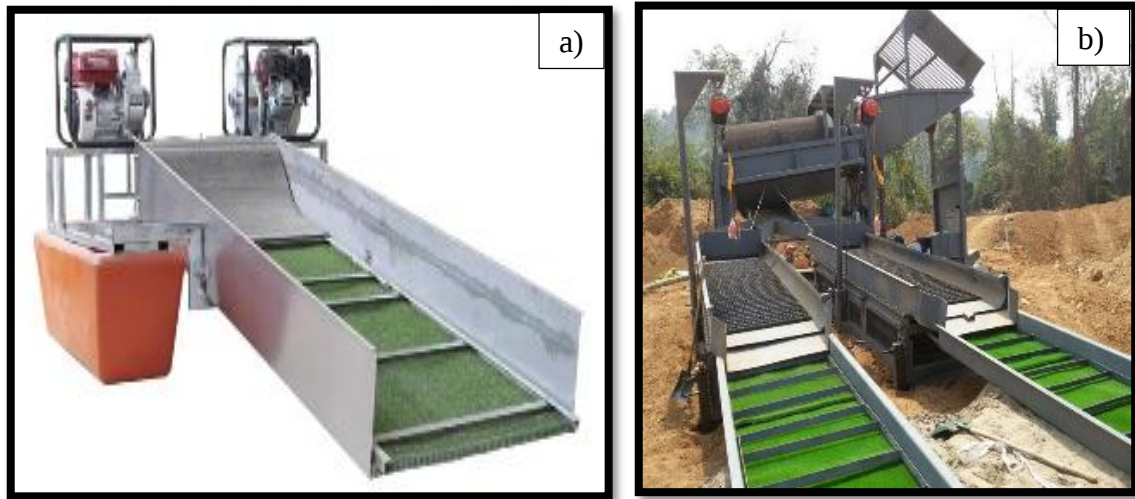
Savak kutuları (*sluice box*), tarihsel süreçte gravite ile altın kazanımında sıkça kullanılan bir diğer temel ekipmandır. Eğilimli ve düz tabanlı olarak tasarlanan bu oluklar, genellikle iç yüzeylerine yerleştirilen halı veya benzeri malzemelerle donatılır. Söz konusu ekipmanlar, alüvyon, elüvyon ve kolüvyal karakterdeki plaser yataklarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Çoğu zaman işlemin öncesinde cevherin yıkanması veya tromel tipi ekipmanlarla ön öğütme yapılması gerekebilir. Yaklaşık %10–20 katı içeriğine sahip cevher pülpi savaklara beslendiğinde, altın ve ağır mineraller çökerken, daha hafif maddeler üst akımla uzaklaştırılır.

Savak kutuları, küçük ölçekli elle beslenen modellerden büyük sanayi tipi savaklara kadar farklı boyutlarda üretilebilmektedir. 1852 yılında J. Cameron tarafından geliştirilen sistem, zamanla çok çeşitli versiyonlara evrilmiş ve düşük maliyetli yapısı sayesinde küçük

ölçekli madencilik faaliyetlerinde yaygın olarak benimsenmiştir. Özellikle dünya genelinde yaygın olan artisanal madencilik faaliyetlerinde, cevher/konsantre oranı genellikle 10.000:1 ile 500.000:1 arasında değiştiğinden, savaklar altının konsantrasyonu açısından önemli avantajlar sunmaktadır.

İyi tasarlanmış bir savak sistemi, iri taneli altın parçacıkları için yüksek geri kazanım oranları sağlayabilir. Ancak, altının savakta tutulma başarısı; parçacıkların boyutu, şekli ve özgül ağırlığı gibi fiziksel özelliklere bağlıdır. Sınıflandırılmamış cevherler, özellikle düşük özgül ağırlıklı kaba tanelerin ince altınla birlikte taşınmasına neden olabileceğinden, sınıflandırma işlemleri verimliliği doğrudan etkilemektedir. Dar boyut aralıklarında sınıflandırılmış besleme ile daha başarılı sonuçlar elde edilebilmektedir (Şekil 9).

Artisanal madencilikte kullanılan tipik savak kutuları yaklaşık 1–2 metre uzunluğunda, 30–50 cm genişliğinde ve 10–30 cm yüksekliğindedir. Yükseklik-genişlik oranı genellikle $H = 0,3W$ formülüne göre belirlenmektedir. Ayrıca, cevherin kaba bir şekilde sınıflandırılmasını sağlamak amacıyla savak girişlerinde elek sistemleri kullanılması oldukça yaygındır ve süreç performansı açısından kritik öneme sahiptir.



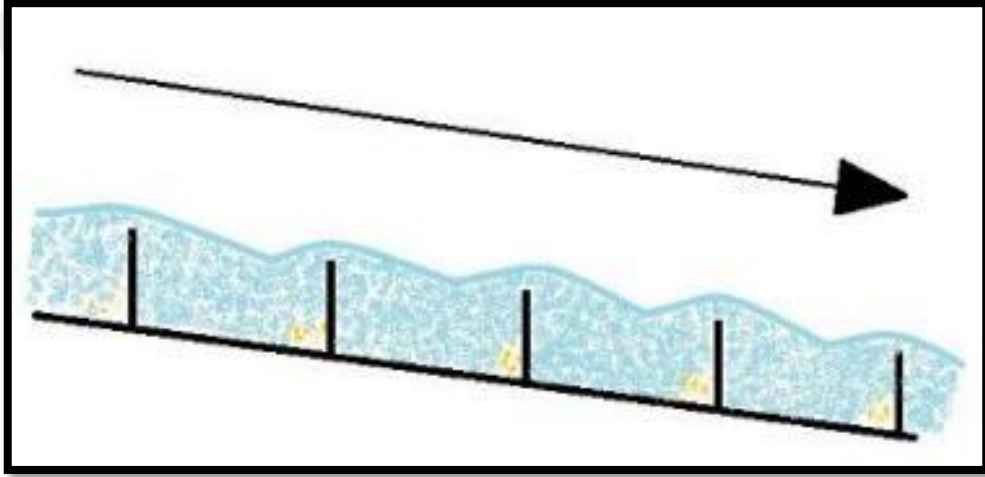
Şekil 9. (a) Savak kutuları (b) Tromel elek sonrası savak kutuları sistemi

Bir savakta ayırma sürecini etkileyen ana değişkenler;

- Besleme hızı
- Su akışı
- Tane boyutu ve şekli

- Temizleme süresi (konsantrelerin uzaklaştırılması)
- Eğim
- Savağı kaplayan halılar
- Savak genişliği ve uzunluğu
- Pülp yoğunluğu
- Eşiklerin durumu olarak belirtilmiştir.

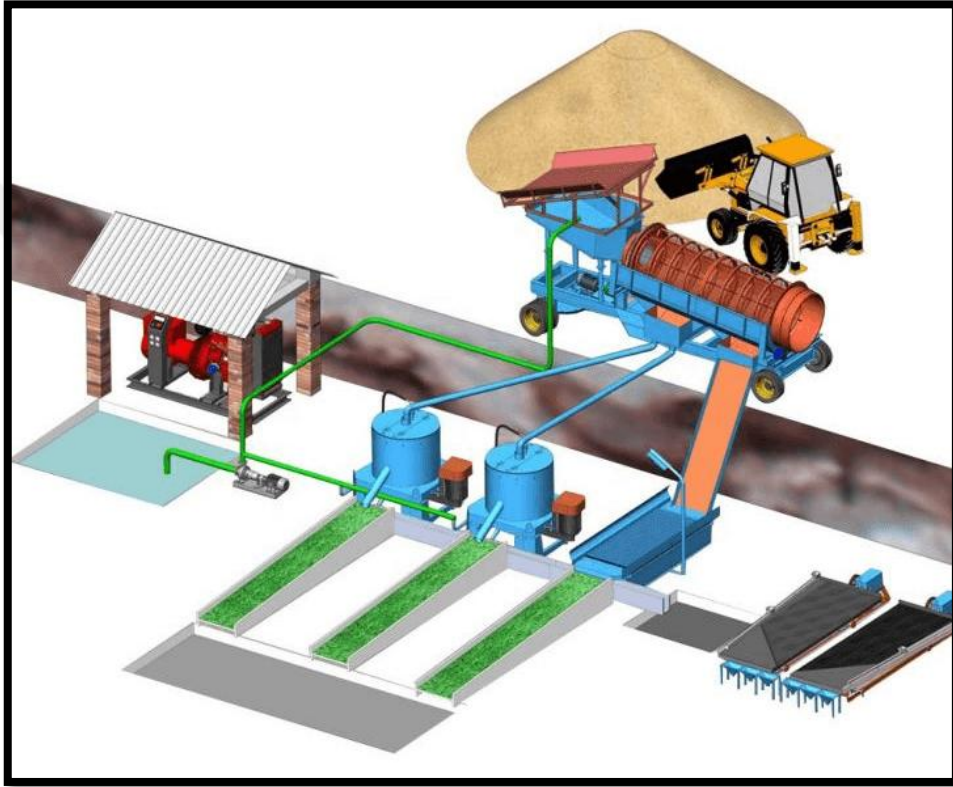
Savakların yüzeyleri pürüzlü hale getirilerek altın tanelerin çökmenin yanı sıra yüzeyde takılması esasına dayanır. Eşikler bunlardan biridir ve savak yatağına yerleşen ağır minerallerin akışını geciktirir (Şekil 10). Savak sistemlerinin pek çok türü vardır.



Şekil 10. Eşikli bir savakta suyun ve tanelerin hareketi

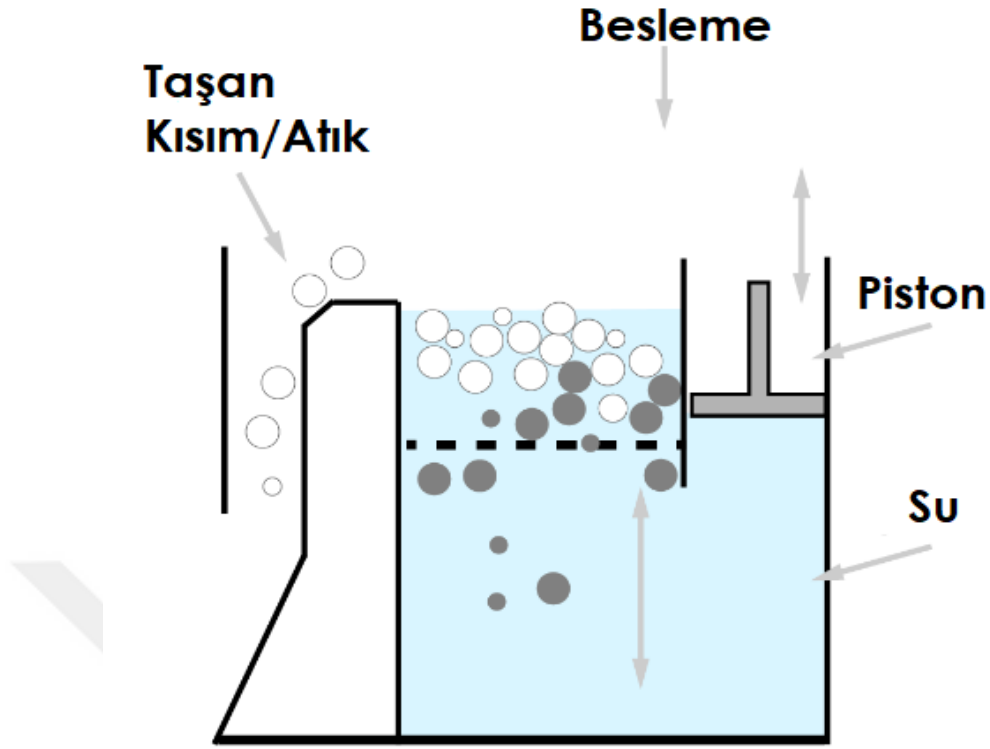
Savak sistemlerinde eşik elemanlarının yanı sıra en sık başvurulan yüzey kaplama malzemelerinden biri halılardır. Halılar, yalnızca altın gibi ağır minerallerin hareketini yavaşlatmakla kalmaz, aynı zamanda akış sırasında oluşan türbülansın azaltılmasına da katkı sağlar. Düşük türbülans koşullarında, ağır tanelerin çökmesi daha düzenli ve verimli bir şekilde gerçekleşir. Savakta ilerleyen parçacıklar, genellikle iki farklı hareket biçimi sergiler: yuvarlanma ve kayma. Parçacığın kütlesi arttıkça yuvarlanma eğilimi artarken, yüzeye olan temas nedeniyle kayma hızı azalma eğilimindedir. Bu noktada, etkili bir ayırma süreci için yüzeydeki sürtünme kuvvetinin yeterince yüksek olması kritik rol oynar. Halı kaplamalar bu gerekliliği karşılamakta oldukça başarılıdır; özellikle ince taneli altının tutulmasında, klasik eşik sistemlerine kıyasla daha yüksek performans sağlarlar (Şekil 11).

Kuzey Amerika'daki pek çok küçük ölçekli madencilik uygulamasında, alüvyon tipi plaser yataklardan altın kazanımı sırasında halı yüzeylerin üzerine genişletilmiş metal ızgaralar yerleştirilir. Bu yapı hem halının yerinde sabit kalmasını sağlar hem de akış esnasında daha az türbülans oluşturarak altın parçacıklarının yüzeye çıkmadan çökmesini kolaylaştırır. Bu nedenle, halı yüzeylerin genişletilmiş metal ile birlikte kullanımı, özellikle ince altın tanelerinin geri kazanımında yaygın ve etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır.



Şekil 11. Yıkama ve oluk içeren mobil altın kazanım tesisi

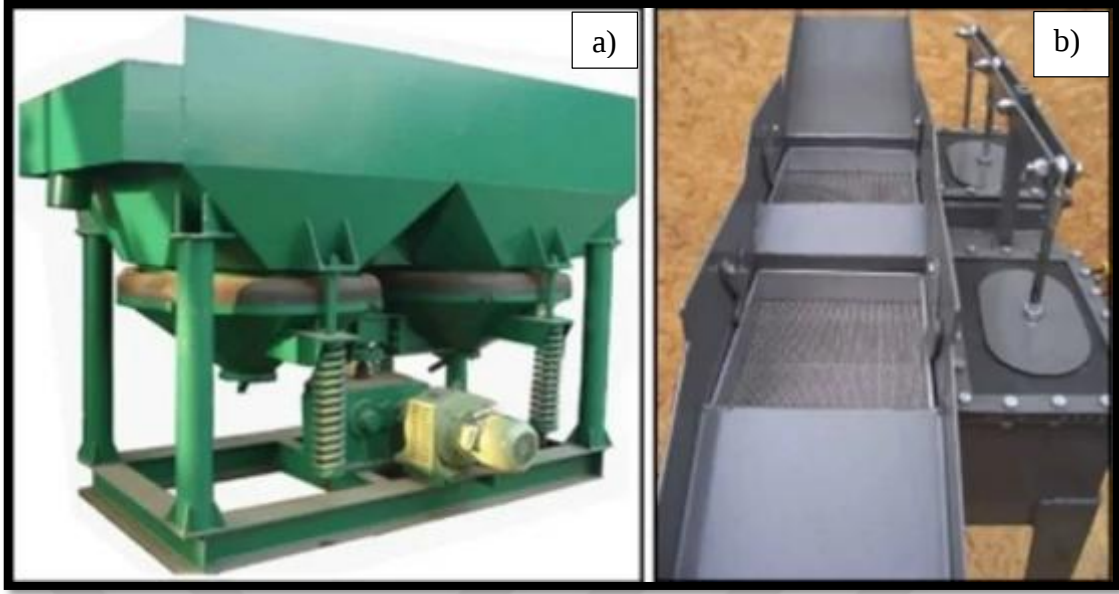
Altın jigleri, yani mineral jig sistemleri, graviteye dayalı ayırma teknikleri arasında özellikle alüvyon tipi yataklardan altın kazanımı için yaygın biçimde kullanılan etkili ayırma ekipmanlarıdır. Bu sistemlerde, elekli bir yüzey üzerinde yer alan mineral taneleri, suyun oluşturduğu periyodik yukarı (basma) ve aşağı (emme) yönlü hareketlerle tabakalanmaya zorlanır (Şekil 12). Bu dinamik sıvı ortam içerisinde, taneler özgül ağırlık farklarına göre yeniden düzenlenir. Sonuç olarak, yüksek yoğunluklu altın taneleri sistemin alt kısmında toplanırken, daha düşük yoğunluklu gang mineralleri üst tabakalarda birikir (Özer, 2022).



Şekil 12. Bir jig döngüsünün anlık görüntüsü

Madencilikte kullanılan jig sistemleri; pistonlu, diyaframlı, havayla pülsasyon oluşturan, hareketli elekli, in-line basınçlı ve santrifüj etkisiyle çalışan Kelsey tipi gibi çeşitli tasarımlara sahiptir. Ancak altın kazanımında en yaygın tercih edilen modeller, pistonlu ve diyaframlı jiglerdir. Bu sistemler özellikle -20 ila +0,150 mm aralığındaki iri altın parçacıklarının ayrıştırılmasında yüksek verimlilik sunar.

Jig sistemleri büyük miktarlarda cevherle çalışmaya uygundur ve bazı modeller 1000 ton/saat'e kadar besleme kapasitesine ulaşabilmektedir. Bu sistemlerde kullanılan pülpteki katı madde oranı genellikle %10 ila %30 arasında değişir. Jiglerin verimli çalışabilmesi için beslenen cevherin önceden dar boyut aralıklarında sınıflandırılmış olması önemlidir. Sınıflandırılmamış, geniş dağılımlı tane boyutlarıyla yapılan beslemelerde jiglerin etkinliği belirgin şekilde azalır. Parçacık boyutuna duyarlılıkları yüksek olduğundan, jigler en iyi performansı sınırlı tane fraksiyonlarıyla gösterir (Şekil 13). (Özer, 2022).

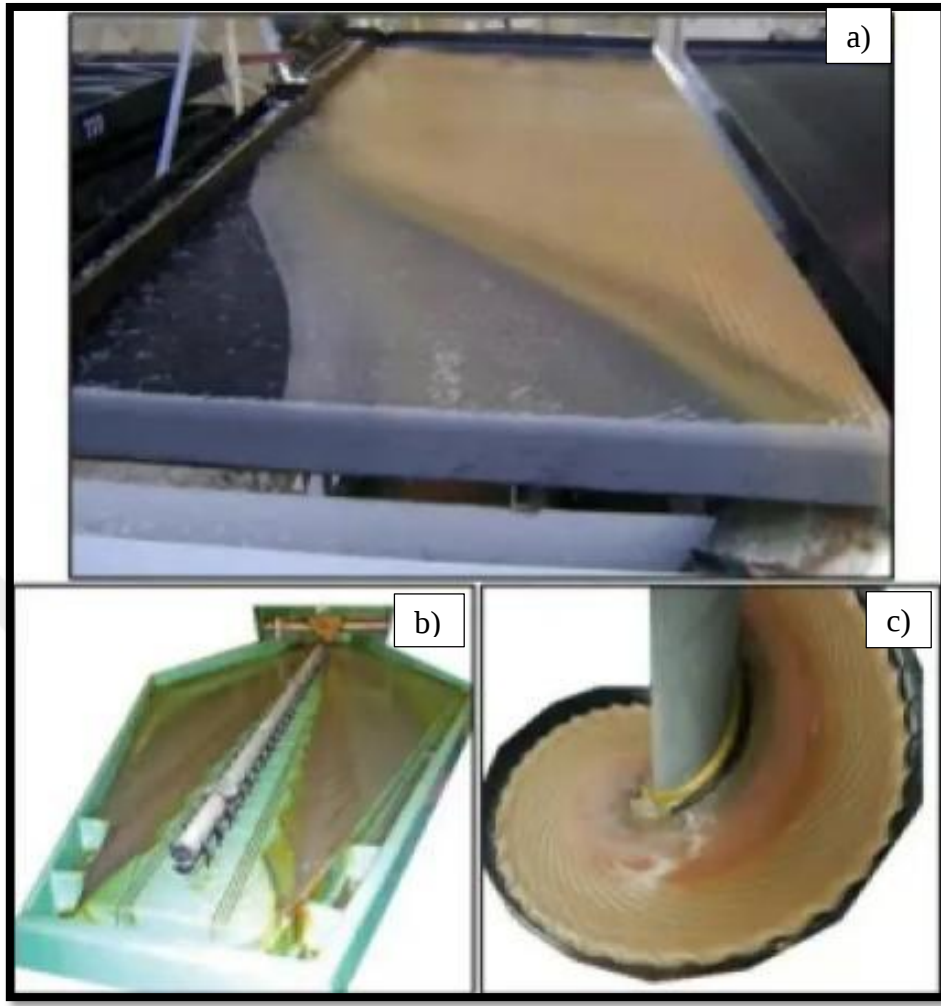


Şekil 13. (a) Diyaframli v(b) e pistonlu altın igleri

Sarsıntılı masalar, yüzeyi yatay düzleme göre birkaç derece eğimli olacak şekilde tasarlanmış ayırma ekipmanlarıdır. Bu masalar, uzun eksenleri boyunca ileri-geri hareket eder; geri yönlü hareket daha hızlıdır. Masa yüzeyi, genellikle dar ve uzun çıkıntılarla (eşiklerle) kaplıdır. Üzerine beslenen mineral taneleri, hem masa yüzeyinde akan ince bir sıvı tabakayla hem de masanın sarsıntılı hareketiyle birlikte hareket eder. Bu iki hareketin birleşimiyle, taneler özgül ağırlıklarına ve boyutlarına göre farklı yollar izler.

Daha iri ve hafif parçacıklar genellikle masanın hareket yönünde en kısa yolu takip ederek kolayca dışarı atılırken, daha ince ve ağır taneler yavaş ilerleyerek daha uzun bir yol kat eder ve masanın uç kısmında toplanır. Ayırma işleminin başarılı olması için beslenen malzemenin tane boyutunun 2 mm'den küçük olması ve özellikle dar boyut aralıklarında sınıflandırılmış olması gerekir (Şekil 14a).

Sarsıntılı masa verimliliğini etkileyen temel faktörler arasında; tanelerin boyutu, cevherin içerdiği katı madde oranı, eşiklerin yerleşimi ve yüksekliği, kullanılan suyun akış hızı, besleme miktarı, masanın titreşim aralığı (genliği), hareket hızı ve masa eğimi yer alır. Bu parametrelerin doğru ayarlanması, daha etkili bir ayırım süreci sağlar. (Özer, 2022).



Şekil 14 (a) Wilfley tip sarsıntılı masa; (b) Gemini tip sallantılı masa;
(c) Spiral ayırıcısı

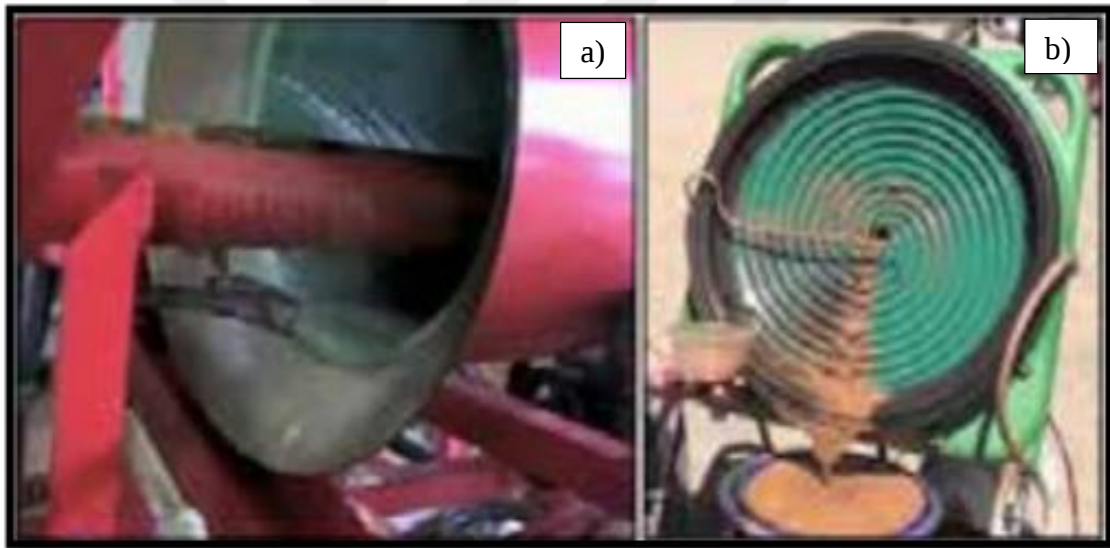
Gemini masaları, özellikle altın zenginleştirmede kullanılan düşük kapasiteli gravite ayırıcılarıdır. Sallantılı bir masa formundadır ve yüzeyinde eşikler yerine kanallar bulunur. Besleme, masanın başından yapılır; ağır taneler ortadan verilen yıkama suyuyla kanallarda tutulurken, hafif taneler üstten akarak uzaklaştırılır. En büyük avantajı, yüksek tenörlü ve verimli altın konsantresi elde edilmesini sağlamasıdır. Genellikle diğer gravite sistemlerinden çıkan konsantreyi temizlemek amacıyla kullanılır. Besleme tane boyutu - 1,168 mm'dir (Şekil 14b).

Spiral zenginleştiriciler, özgül ağırlık farkına göre mineral ayırımı yapan ekonomik gravite ekipmanlarıdır. Spiral şekilde sarılmış yarım daire kesitli oluklardan oluşur ve pülp, merkezi besleme kutusuyla düzgün şekilde yüzeye yayılır. Çıkış noktaları farklı ürünleri

ayırmak üzere spiralin alt kısmında yer alır. Spiral sistemler, özellikle -2 ile +0,030 mm aralığında tane serbestleşmesi sağlanmış malzemelerin ayırımında etkilidir (Şekil 14c).

Multi-Helix spiral ayırıcılar, özellikle alüvyon cevherler ve ince öğütülmüş materyallerde altının ayrıştırılmasında yüksek verimlilik gösteren endüstriyel gravite ayırıcılarıdır. Basit işletim özellikleri, kesintisiz besleme imkânı ve geniş kapasite avantajı sayesinde, 150 mikron altındaki ince altın tanelerinin elde edilmesinde etkili sonuçlar sağlamaktadır (Şekil 15a).

Döner masa olarak da bilinen spiral çarklar, yıkama suyu ve yerçekimi kuvvetinin birleşik etkisiyle hafif mineralleri yüzeyden uzaklaştırırken, ağır minerallerin merkezde toplanmasını sağlar. Bu sistem, plaser altın ile gang minerallerinin ayrılmasında tercih edilmekte olup, 45 mikrona kadar olan tanelerde ayırım yeteneğine sahiptir (Şekil 15b) (Özer, 2022).



Şekil 15. (a) Multi-helix spiral (b) Rotary table (döner masa)

Santrifüj ayırıcılar, özellikle çok küçük boyutlu cevherlerin gravite kuvvetleriyle etkin olarak ayrıştırılamadığı durumlarda, ilave merkezkaç kuvveti ("G" kuvveti) kullanarak yüksek hassasiyetle zenginleştirme yapabilen cihazlardır. Merkezkaç ivmesi, yerçekimi ivmesinden belirgin derecede yüksek olup, bu sayede ince partiküllerin ayırımı mümkün kılınmaktadır.

Multi Gravite Separatörü (MGS), temel olarak sallantılı masa yüzeyinin silindirik bir tambur formuna dönüştürülmesiyle oluşturulmuş ve hem ileri-geri hem de dönme

hareketleri yapabilen bir ayırıcıdır. Operasyonel olarak basit olan bu sistem, 15–20 mikron boyutuna kadar partikülleri zenginleştirme kapasitesine sahiptir ve endüstriyel uygulamalarda saatte yaklaşık 30 ton işlem hacmine ulaşabilmektedir. Tambur içerisinde bulunan parçacıklar, merkezkaç kuvvetinin etkisiyle yoğunluklarına göre ayrılır; yüksek yoğunluklu mineraller tambur yüzeyinde bir tabaka oluşturarak tutulurken, düşük yoğunluklu olanlar yıkama suyu etkisiyle alt kısımdan dışarı atılır. Biriken ağır mineraller, tamburun üst kısmında bulunan küreyiciler aracılığıyla sistemden uzaklaştırılır. Bu ayırıcıda parçacıkların maruz kaldığı yerçekimi kuvveti, doğal yerçekiminin 6 ila 24 katı arasında değişmektedir. Tambur hızı, titreşim genliği, beslenen malzemenin tane boyutu, pülpteki katı oranı, tamburun eğim açısı, yıkama suyu miktarı ve besleme hızı, ayırım performansını doğrudan etkileyen önemli parametreler arasında yer almaktadır (Şekil 16) (Özer, 2022).

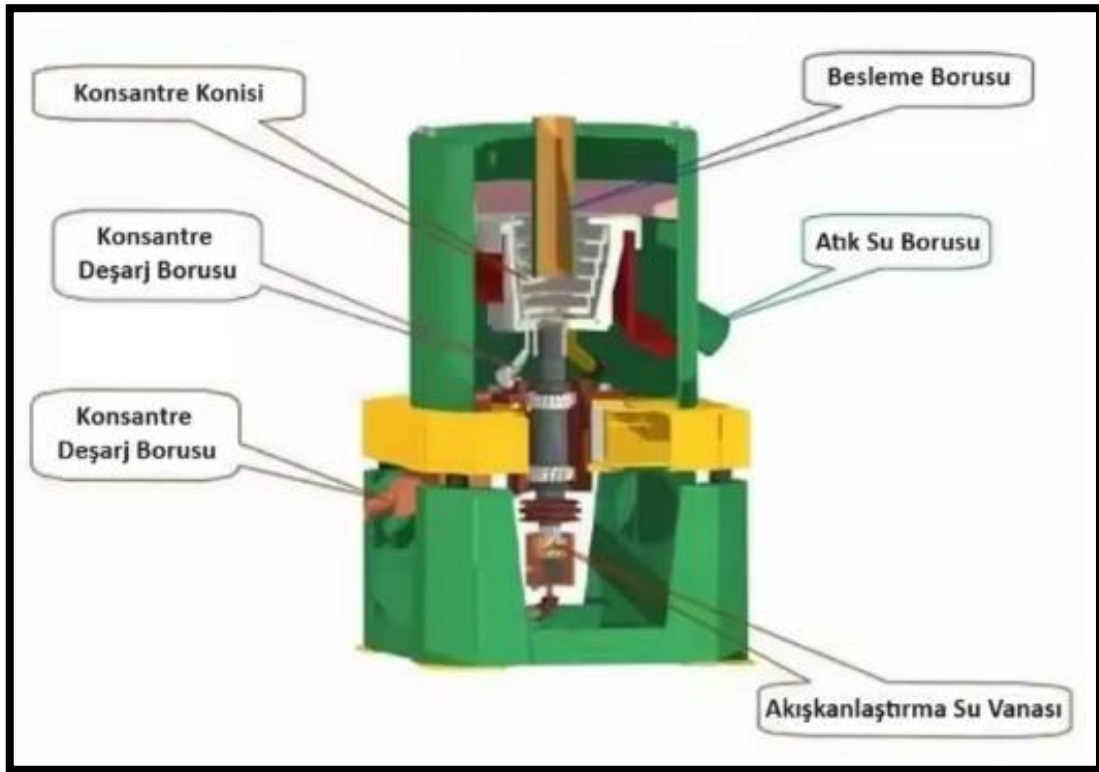


Şekil 16. Mutli gravite seperatör (MGS) şematik gösterimi

Falcon ayırıcıları, 2008 yılından beri Sepro Mineral Systems tarafından üretilen santrifüj tabanlı gravite ayırma cihazlarıdır. Bu ayırıcılar, özellikle altın ve gümüş gibi yüksek yoğunluklu değerli minerallerin ayırımında yaygın olarak kullanılır. Çalışma prensibi, yüksek hızla dönen konik bir hazne içinde tanelerin merkezkaç kuvveti etkisiyle ayrılmasıdır. Falcon modelleri, saatte 400 tona kadar işlem kapasitesine sahip olup, 600 kat

yerçekimi kuvvetine (600) kadar ulaşabilen çeşitlere sahiptir. Günümüzde Falcon SB (yarı kesikli), Falcon C (sürekli) ve Falcon UF (ultra ince) olmak üzere üç farklı model aktif olarak kullanılmaktadır.

Knelson ayırıcısı ise merkezkaç kuvveti ve aktif su yatağı kullanarak ağır mineralleri tutan bir diğer zenginleştirme cihazıdır. Konik, oluklu ve yüksek hızda dönen bir yapıya sahip olan Knelson, saatte 1000 tona kadar işlem yapabilen modelleriyle öne çıkar ve modeline bağlı olarak 200 kat yerçekimi kuvvetine (200 G) kadar çıkabilir. Bu ayırıcının performansı, yıkama suyu miktarı, besleme içindeki katı yoğunluğu ve yataklanma süresi gibi faktörlere bağlıdır (Şekil 17) (Özer, 2022).



Şekil 17. Knelson ayırıcısı

1.5. Plaser Yataklarından Altın Zenginleştirmenin Avantajları ve Dezavantajları

Plaser altın yataklarından altın kazanımının diğer cevherleşme tiplerine (örneğin, birincil veya lode altın yataklarına) göre çeşitli avantajları ve dezavantajları vardır. Bu faktörler, madencilik operasyonlarının ekonomik, çevresel ve teknik yönlerini etkileyebilir.

Plaser Yataklarından Altın Zenginleştirmenin Avantajları:

1. Düşük İşletme Maliyetleri

- Kolay erişim: plaser yatakları genellikle yüzeye yakın olduğu için kazı işlemleri daha az maliyetlidir.
- Basit işleme yöntemleri: tavalar, sluice box, ve mekanik elekler gibi yöntemler, basit ve düşük maliyetli ekipmanlarla yapılabilir.
- Azaltılmış öğütme ve kırma: plaser yataklarında altın, genellikle serbest taneler halinde bulunur, bu nedenle cevherin yoğun şekilde öğütülmesi ve kırılması gerekmez.

2. Hızlı Geri Dönüş Süresi

- Hızlı altın üretimi: plaser yataklarından altın çıkarımı ve işlenmesi hızlı bir şekilde yapılabilir, bu da yatırımın hızlı geri dönüşünü sağlar.
- Daha az kimyasal kullanımı: siyanür veya civa gibi kimyasallar genellikle gerekli değildir veya minimal düzeyde kullanılır.

3. Çevresel Etkilerin Kontrolü

- Daha az kimyasal kirlilik: kimyasal işlemler az olduğu için çevresel kirlilik riski daha düşüktür.
- Yerel erozyon ve sediment kontrolü: iyi yönetilen plaser madenciliği projeleri, erozyon ve sediment kontrolünü sağlayarak çevresel etkileri minimize edebilir.

Plaser Yataklarından Altın Zenginleştirmenin Dezavantajları:

1. Düşük Tenörlü Yataklar

- Düşük altın konsantrasyonu: plaser yataklarındaki altın genellikle düşük konsantrasyondadır, bu da ekonomik olarak verimli işlemler için büyük miktarda sediment işlenmesi gerektiği anlamına gelir.

2. Sezonluk ve Coğrafi Kısıtlamalar

- Sezonluk çalışmalar: nehir ve dere yataklarında yapılan plaser madenciliği, su seviyelerinin yüksek olduğu mevsimlerde sınırlı olabilir.
- Yerel su kaynaklarına bağımlılık: su kaynaklarının yetersiz olduğu veya kuraklık dönemlerinde plaser madenciliği zorluk yaşayabilir.

3. Çevresel Etkiler

- Erozyon ve toprak degradasyonu: Hidrolik madencilik gibi bazı plaser madencilik yöntemleri, toprağın geniş çapta yer değiştirmesine ve erozyona neden olabilir.
- Su kirliliği: Sedimentlerin suyollarına karışması, su kalitesini düşürebilir ve ekosistemleri olumsuz etkileyebilir.
- Habitat bozulması: Suyolları boyunca yapılan madencilik faaliyetleri, yerel habitatları ve biyoçeşitliliği olumsuz etkileyebilir.

4. Hızla Tüklenen Kaynaklar

- Kısa ömürlü yataklar: Plaser yatakları genellikle hızla tükenebilir, çünkü yüzeyde veya yüzeye yakın konumda bulunurlar ve kolayca çıkarılabilirler.

1.6. Dünyada ve Türkiye’de Plaser Yatakları

Plaser yatakları, geçmişte altın arayışlarının en önemli kaynaklarından biri olsa da, günümüzde büyük ölçüde tükenmiş veya ekonomik olarak işletilmesi zor hale gelmiştir. Buna rağmen, bazı bölgelerde hala amatör madenciler bu yataklardan altın çıkarmaya çalışmaktadır. Günümüz madenciliğinde ise daha gelişmiş yöntemler tercih edilmekte, altın genellikle yer altı ocaklarından çıkarılmakta ve siyanürlü liç gibi ileri teknolojilerle işlenmektedir. Sonuç olarak, plaser yatakları altın madenciliğinin tarihinde önemli bir yere sahiptir. Özellikle 19. yüzyılda yaşanan altın arayışı, bu yatakların keşfiyle hız kazanmış ve birçok bölgeye göç dalgalarını tetiklemiştir. Dünyada bulunan altın yataklarından tarih boyunca en çok üretim yapılmış olan Güney Afrika’daki Witwatersrand Havzası’dır. Bölge Dünyadaki en yüksek rezerve (96 bin 703 ton Au) sahip plaser yatak olup altın tenörü 2-10 g/t’dur. En yüksek tenöre sahip plaser altın yatağı ise 12 g/t ile Rusya Berelekh yatağıdır. Ancak bu yatağın altın rezervi ise 2179 g ile sınırlıdır. Buraları Alaska, ABD, Avustralya, Gana takip eder (Frimmel, 2008).

Ülkemizde Kars-Darphane, Bilecik-Söğüt, Erzurum-Narman, Maniza-Sartçayı ve Hatay- Akıllıçay yamaç plaseri altın yatakları mevcuttur. Bunlar dışında Büyük Menderes Vadisi’ndeki rutil yığılımları, Sivas-Divriği demirli plaser yatağı, denizel plaser olarak Doğu Karadeniz sahillerindeki ilmenit-manyetitli siyah kumlar, Şile’nin monazitli kumları ve Istanca Masifi’nin kuzeydoğuya akan dereleri ile bu kesimdeki deniz sahillerindeki manyetitli ve ilmenitli kumlardan söz edilebilmektedir (Arslan İ., 2011).

Tablo 2. Dünyadaki plaser yataklar

Yatak Tipleri	Bölgeler
Alüvyal Plaserleri	Brezilya, Avustralya, ABD (Kaliforniya)
Rüzgâr Plaserleri	Batı Avustralya
Akarsu Plaserleri	Güney Afrika (Witwatersrand), Kanada (Klondike), Kaliforniya, (Alaska), Avustralya (Viktorya), Yeni Zelanda, Sibirya (Lena, Amur nehirleri), Gana (Tarkwa), Yeni Gine (Bulolo), Orta Afrika (Rand), Türkiye (Kars, Manisa, Erzurum, Hatay), Rusya (Berelekh)
Deniz Plaserleri	ABD (Alaska-Nome)



Şekil 18. Türkiye'deki plaser yataklar

Alpan (1980), Salihli Sart bölgesinde yaptığı araştırmalarda yatağın farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip konglomeralardan meydana geldiğini belirtmiştir. Bu güne kadar yapılan çalışmalarda Salihli şart plaserinde ekonomik olarak işletilebilir tenörlere sahip olmayan bir çok bölge olmakla birlikte zaman zaman yapılan çalışmalarda yaklaşık 1

g/t'a ulaşan tenörlerde örneklerin alındığı belirtilmiştir. Ancak sahanın büyüklüğü ve plaserlerin heterojen dağılımı göz önüne alındığında yatağın altın tenörü hakkında kesin bir bilgiye ulaşmak oldukça güçtür (Üzktut ve Semerkan, 1980). Üzktut ve Semerkan (1980) yaptıkları çalışmada kullandıkları örneğin 1 mm elek altında %2,02 zirkon, %1,25 Rutil, % 0,60 Apatit ve 0,53 g/t altın tespit etmişler ve bu değerlere göre ekonomik olarak işletilmesi mümkün olduğunu belirtmişlerdir. Bölgedeki yatağa ait bilgilerin ağırlıklı olarak 1980 ve öncesinde literatüre girdiği göz önünde bulundurulduğunda günümüz analiz teknikleri ve ekipman kabiliyetleri ile yeniden yapılacak çalışmaların yeni yatırım taleplerine ve dolayısıyla ülke ekonomisine fayda sağlayacağı aşikardır.

1.7. Çalışma Sahasının Jeolojik Özellikleri

Çalışma sahasının topraklarının büyük kısmı Gediz Havzası içinde, bir bölümü de kuzeybatıda Bakırçay Havzası içinde yer alan Manisa ili Menderes masifi içerisinde bulunmaktadır. Menderes masifine ait paleozoik yaşlı metamorfik kayalar, bölgedeki baskın litolojiyi oluşturmaktadır. Altınla ilgili araştırmalara ev sahipliği yapmış olan plaserler, Salihli ile Ahmetli ilçeleri arasında ve Sart deresi çevresinde büyük bir alanda mostra vermektedir.

Manisa'nın Salihli ilçesine bağlı Sart Çayı ve çevresindeki akarsular, Türkiye'nin en kapsamlı kırıntılı altın cevherleşmelerini barındıran alanlar arasında yer almaktadır. Salihli-Turgutlu arasında, Bozdağ Silsilesi'nin kuzey eteklerinde yer alan dere alüvyonları ve çakıl taşları içinde altın arama faaliyetleri 1944 yılında başlamıştır. Kırıntılı sedimentler, kristalin temel üzerinde konumlanmakta olup, kumtaşı ve küçük çakıltaşı katmanları arasında 10-20 cm kalınlığında kil seviyeleri mevcuttur.

Bunların üzerinde yalnızca tepelik alanlarda görülen iri kuvars çakıllarından oluşan üst çakıl taşı tabakası bulunmaktadır. Sart Çayı yöresinde genç alüvyonlarda ve üst çakıl taşı biriminde tespit edilen altın, doğal (nabit) formda olup, genç alüvyonlarda bulunan altının birincil yatağının üst çakıl taşı birimi olduğu düşünülmektedir. Bu birimdeki altının ana kaynağı ise, Bozdağlar'daki kristalin şistler içindeki kuvars damarları olarak kabul edilmektedir. Böylece, derin kökenli cevherleşmenin mekanik zenginleşmeye iki kez uğradığı anlaşılmaktadır.

Günümüzde, Bozdağlar'dan gelen derelerde altın varlığı henüz tespit edilememiş olmasına rağmen, üst çakıl taşı biriminden beslenen derelerin alüvyonlarında altın

bulunması bu görüşü desteklemektedir. Üst çakıl taşı biriminde hem çakılların içinde hem de bunların çimentosunda altın izlerine rastlanmıştır. Yapılan analizlerde nadiren 1.116 g/m³ gibi yüksek altın değerleri ölçülmüş olup, ortalama tenörler ise tonda birkaç yüz miligram seviyesindedir.

Genç alüvyonlar, nitelik ve nicelik açısından maden yatağı özelliği kazanmıştır. Bu birimdeki altın dağılımı düzensiz olmakla birlikte, 2 g/m³ değerine ulaşan zengin noktalar belirlenmiştir ve derinlere inildikçe altın konsantrasyonu artış göstermektedir. Ekonomik açıdan Sart ve çevresindeki genç alüvyon birimleri önem arz etmekte olup, yaklaşık 6,5 milyon m³'lük rezerv ve ortalama 1 g/m³ altın tenörü kabul edilmektedir.

Bölgede ikinci derecede öneme sahip bir diğer birim ise üst çakıl taşı tabakasıdır. Bu birimin ortalama altın tenörü 0.5 g/m³ civarında olup, toplam hacmi yaklaşık 65 milyon m³ olarak hesaplanmaktadır. Saha genelinde yaşlı birimlerde altın miktarının az, daha genç birimlerde ise daha fazla bulunması, akarsu plaser kökenine işaret etmektedir. Bu durum, altının birincil kaynağının altında yatan kristalin masif kayaçlar olduğu görüşünü güçlendirmektedir. Ayrıca, bölgenin tarihsel önemi de altının ekonomik ve kültürel değerini artırmaktadır; zira alan, Krezüs Krallığı'nın hüküm sürdüğü bölgeler arasında yer almakta ve tarih boyunca altınlarıyla tanınmıştır (URL-3).

Ruhsat sahasında kuvars yataklanması, batı ve güneydoğu kesiminde ise montmorillonit cevherleşmelerinin varlığı tespit edilmiştir. Ruhsat sahasında kuvars yataklanması eski alüvyon birimi içerisinde dizilimler şeklinde görülmektedir. Gördes masifi olarak adlandırılan kristalin şistleri aşınarak ayrılması sonucu açığa çıkan kuvars damarlarından kopan, çakıl ve blokların taşınarak Gördes çayının menderes yaptığı geniş alanlarda istiflenmesi ve dizilimi sonucu Plaser yataklanma söz konusudur. Kuvars çakıl ve blokların yanında az oranda çevredeki mermer ocaklarından gelen mermer parçaları bulunmaktadır. Taşıma nedeniyle çakıl blokları yuvarlaklaşmıştır. Bu da malzemenin uzaklardan taşınarak havzada depolandığını göstermektedir.

Plaser nitelikteki yatağın %30'u kuvars çakılından, %10 ila %15'i mermer (kristalize kireçtaşı) çakıllarından, %55 ila %60'ı ise kumdan oluşmaktadır. Kuvars çakılları plaser yatak içerisinde gevşek ve az tutulmuş olarak bulunmaktadır. Şeffaflık doğal görünümü ve sertlik gibi özellikleri ile birlikte bulunduğu kireçtaşı ve çakıl bloğundan kolaylıkla ayırt edilmektedir. Basit bir eleme sistemi sonucu toplanan çakıl ve blokların içinden kuvarsın seçilerek stoklanması ön görülmektedir. Yatağı temsilen alınan örneğin elek analizi ve mineralojik incelemesi sonucu tüm fraksiyonlarda Kuvars-

Feldispat- Mika-Turmalin- Apatit-Zirkon-Disten-Granat ve opak mineral parajenezi belirlenmiştir.

Ruhsat sahası ve yakın civarı bölgenin jeoloji olarak ele alınmıştır. Bölgede en altta Triyas yaşlı Gökbel formasyonu, bu birimin üzerinde Alt-Orta miyosen yaşlı Korudağ formasyonu ve en üstte Kuvaterner yaşlı Alüvyon ve Yamaç molozları bulunmaktadır.

1.7.1. Gökbel Formasyonu

Başlıca gri renkli dolamitize ve süt beyazı renkli renkli kireçtaşlarından oluşan karbonat istifi Gökbel Formasyonu olarak adlandırılır. Dolamitize bir seviye ile başlar. 6m kalınlığındaki gri renkli dolomit üzerinde 4m kalınlığındaki kalın katmanlanmalı pembemsi krem renkli bir kireçtaşı, bunun üzerinde de ince katmanlanmalı kartonsu görünümlü kırmızı kireçtaşı bulunur. 2m kalınlığındaki bu kireçtaşından sonra en yaygın kaya birimi olan gri renkli dolomitize kireçtaşına geçilir. Yer yer siyah laminalı kireçtaşı ve kalsit kristallerini benek şeklinde gözlendiği kireçtaşı seviyelerini içeren açık gri renkli dolomitize kireçtaşları yanal ve düşey olarak süt beyaz renkli kristalize kireçtaşlarına geçer. Formasyonunun üst seviyesinde gri, dolamitize kireçtaşı yer alır. Kristallenmiş beyaz renkli kireçtaşlarında irice kalsit kristalleri bir mikrit hamur içerisinde gelişi güzel dağılmış kümeler şeklindedir. Birim, Triyas yaşlıdır. Ruhsat sahasının doğu ve batısındaki yükseltilerde görülür.

1.7.2. Korudağ Formasyonu

Kumtaşından iri bloğa kadar değişen büyüklükteki karstiklerin oluşturduğu stratigrafi seviyesi Korudağı Formasyonu olarak incelenmiştir. Korudağı formasyonu üzerinde geldiği veya yakın çevrede yüzeyleyen Miyosen yaştaki tüm formasyonların çakıl ve bloklarından oluşmuştur. Alt- Orta Miyosen olarak kabul edilmişlerdir. Ruhsat sahasının kuzeyinde yükseltinin arttığı kesimlerden gözlenir.

1.7.3. Alüvyon ve Yamaç Molozu

Çoğunlukla dere kıyılarında veya sırtlar arasındaki düzlüklerde dikçe yamaçların eteklerinde gözlenen yüzlek çökellerine yöre kayalarının kum, çakıl ve bloklar içerirler. Tabakalanma, boylanma, derecelenme göstermezler.

1.8. Çalışmanın Amacı ve Literatürde Dolduracağı Boşluk

İnsanlık tarihi boyunca her dönemde değerli görülen altının ilk üretimi, fiziksel yöntemler ile yoğunluk farkından yararlanarak zenginleştirilebilmesinden dolayı plaser yataklardan gerçekleştirilmiştir. Ancak günümüzde plaser altın yataklarının büyük ölçüde tükenmesi ve var olan yatakların ise düşük altın içeriğine sahip olması nedeniyle altın üretimi farklı tip maden yataklarından hidrometallurjik prosesler ile sağlanmaktadır. En yaygın altın üretim prosesi olan geleneksel siyanür liçi ve aktif karbon adsorpsiyonu prosesidir. Bu proses günümüzde en uygulanabilir altın üretim prosesi olarak kabul edilse de bir çok çevresel sorunu da beraberinde getirmektedir. Birçok dünya ülkesi ve Avrupa Birliği gibi topluluklar siyanür kullanımının kısıtlanmasına yönelik ciddi kararlar almaktadır. Bu nedenle plaser yataklardan altın üretimi mevcut proseslerin geliştirilmesi veya iyileştirilmesi ile faaliyete alınması faydalı olacaktır.

Ülkemizin Manisa-Salihli Bölgesindeki plaser yataklar geçmişten günümüze birçok araştırmaya konu olmuştur. Bu çalışmaların ortak noktası sahadaki altın içeriğinin düşük ($<0,1$ g/t) ve çok değişken olmasına bağlı yapılacak yatırımlardan kaçınıldığı yönündedir. Mevcut durumda bölgedeki bir sahada altının zenginleştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmakta ancak ciddi altın kaçakları, gereksiz iş yükü ve su tüketimi işletmeyi sürdürülemez duruma getirmektedir.

Gerçekleştirilen bu çalışma plaser yataklardan kazanıma yönelik olarak Türkiye’de son yıllarda yapılan ilk çalışmadır. Bu çalışmayla plaserlerden kazanıma yönelik, Jig kullanımı üzerine önemli katkılar sağlanabileceği gibi, plaser yataklardan altın kazanım verimlerinde de önemli iyileştirmeler sağlanmış olunacaktır. Bununla birlikte maden yataklarının değerlendirilmesine ekonomik faydalar sağlanarak, konu üzerine tecrübeli personel yetiştirilmesi yönünde gelişmeler desteklenmiş olunacaktır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Ülkemizde plaser yataktan altın üretimi yapılan bir tesise ait mevcutta kullanılan prosesi iyileştirerek daha verimli bir akım şeması oluşturmak amacıyla Erişsan A.Ş. tarafından işletilmekte plaser cevherin karakterizasyonu, numune alma işleminin önemi, jig kullanımının prosese eklenmesi ve elde edilecek konsantrenin karakterizasyonuna yönelik çalışmalar yapılmıştır.

2.1. Malzeme

2.1.1. Erişsan Altın Kazanma Prosesi

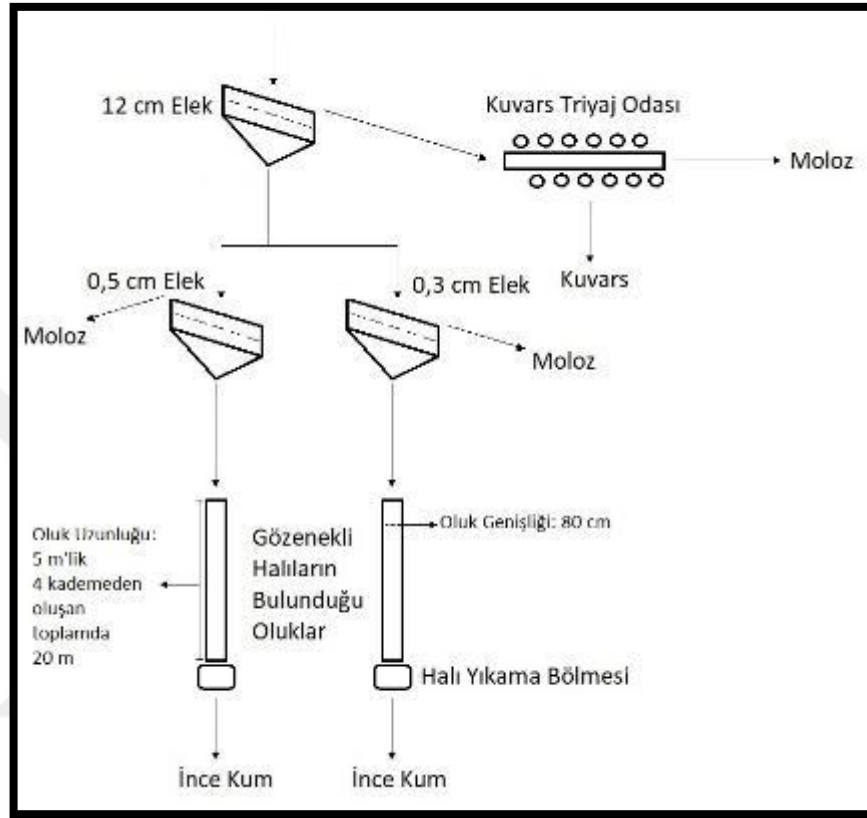
Erişsan A.Ş., Manisa ilinin Salihli ve Ahmetli ilçeleri arasında, Sart Deresi yakınlarında yer alan geniş bir alan üzerinde kum ve altın üretimi gerçekleştirmektedir. Bu alan, yamaç ve alüvyal plaseri türündeki bir saha olup, altın üretimi yapılmasına rağmen, firmanın altın ruhsatlı alanın tam tenörünü belirleyebilmesi mümkün olmamıştır. Ayrıca, mevcut üretim sürecinin verimi düşük olup, altın üretimi, eleme işlemi sonrasında savak kutuları ve sallantılı masa kullanılarak yapılmaktadır.



Şekil 19. Sahanın yer bulduru haritası

Sahadan alınan tüvenan cevherden altın kazanımı, kum üretimi haricinde ikincil ürün olarak değerlendirilmektedir. Kuvars ve 3213 sayılı Maden Kanunun 16. Maddenin 2.

Fıkrası gereğince kum üretimi yapılan dere yatağında, tesise beslenen malzemeden kuvars ve altın ayırma işlemleri yapıldıktan sonra kalan kum da ekonomik olarak değerlendirilmektedir (Şekil 20).



Şekil 20. Manisa tesisi akım şeması

Dere yatağından ekskavatör yardımıyla kamyonlara yüklenen malzeme elek bunkerine boşaltılır. Ortalama 1.250 ton/gün besleme yapılır. İlk etapta 12 cm nominal açıklığa sahip elekten geçen malzemeden elek üstü, triyaj bandına gönderilerek kuvars ayıklanır. Triyaj bandında kuvars taneleri seçilerek stoğa gönderilir. Moloz malzeme ise bandın sonunda bulunan stoğa dökülür. 12 cm'lik elek altına geçen altın içerikli kum ise sırasıyla 0,5 cm ve 0,3 cm nominal açıklığa sahip eleklerden geçerek ayrı ayrı oluklara beslenir. Bu oluklar, tabanına gözenekli halı (Şekil 21) serilmiş olup yaklaşık 15° eğimli ve 5 m uzunluğunda 4 kademedan oluşan toplam 20 m uzunluğundadır. Akan suyun etkisi ile oluklar üzerinde taşınan cevher içerisindeki altın özgül ağırlığı ($19,32 \text{ g/cm}^3$) yüksek olması sebebiyle varsa diğer ağır mineraller ile halıların gözeneklerinde tutulmakta ve hafif olan kum taneleri halıların üzerinden akarak stoğa dökülmektedir. İki günde bir bantların

tabanındaki halılar toplanarak halı yıkama bölümünde yıkanmakta ve tutulan taneler alınmaktadır. Daha sonra halılar tekrar oluklara yerleştirilmektedir (Şekil 21). Halı yıkama sonrasında biriktirilen nispeten özgül ağırlığı yüksek malzeme çuvallara doldurularak Ankara’da bulunan pilot zenginleştirme tesisine nakledilmektedir (Şekil 22).



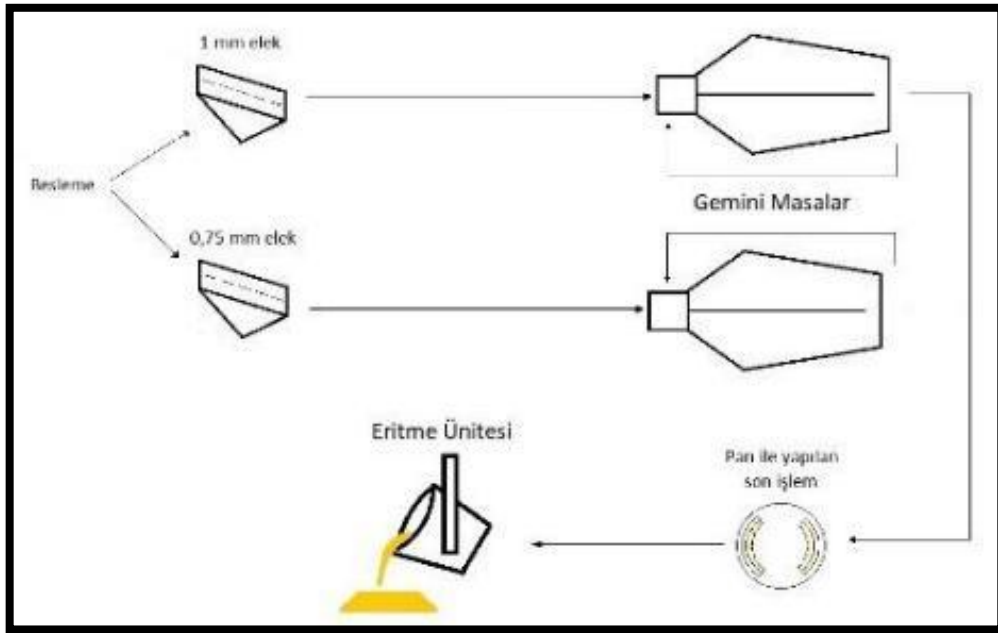
Şekil 21. Altın tutma olukları

Halılardan alınarak gelen malzeme I. Oluk, II. Oluk ve III-IV oluk olarak 3 kaba konsantre halinde Ankara’ya nakledilmektedir. Son olarak külçe dökümünün gerçekleştirildiği konsantrelere uygulanan zenginleştirme prosesine ait akım şeması Şekil 23’te sunulmuştur.

Ankara’daki pilot tesiste, el ile eleme bölümü ve 2 adet gemini tip sallantılı masa bulunmaktadır (Şekil 24). Bu malzemeler 1 mm ve 0,75 mm elekten geçirilerek elek üstü kısmı atık olarak ayrılmakta elek altı ise gemini masalara beslenmektedir. Sonrasında elde edilen masa konsantreleri ise pan ile zenginleştirmeye tabi tutularak küpelasyon yapılmaktadır (Şekil 25). Konsantre, küpelasyon işleminde erime noktasını düşürmek için boraks ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) kullanılarak külçe haline getirilir (Şekil 26).



Şekil 22. Oluklara halı serilme işlemi



Şekil 23. Nihai zenginleştirme tesis akım şeması



Şekil 24. Tesiste bulunan gemini tipi masa



Şekil 25. Altın eldesinin son aşamasında kullanılan tava



Şekil 26. Eritme işlemine hazırlanmış altın konsantresi

2.1.2. Deney Örnekleri

Bu çalışmada hem sahanın karakterizasyonu hem de ekonomik ve teknik açıdan uygun yöntemler ile cevherin zenginleştirilmesi üzerine çalışmalar yapmak amacıyla plaser yataktan 350 kg tüvenan cevher, 50 kg I. oluk konsantresi ve 300 kg II. oluk konsantresi temin edilmiştir (Şekil 27).



Şekil 27. Temin edilen malzemeler

2.2. Yöntem

Tüvenan cevher ve oluk konsantre numunelerinin karakterizasyon çalışmaları için ilk olarak kademeli olarak konileme dörtlleme yöntemiyle numune azaltma işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonrasında oluk konsantreleri ile birlikte kimyasal ve mineralojik içerik analizleri, boyut dağılımı analizleri ve mikroskop ile görüntü alma analizleri uygulanmıştır.



Şekil 28. Konileme dörtlleme yöntemi ile numune azaltma işlemi

2.2.1. Elek Analizi Çalışmaları

Elek analizi çalışmalarında, numunelerin boyutuna bağlı olarak 2,36 mm ile 38 μ m arasında değişen farklı açıklığa sahip elekler kullanılmıştır. Eleme işlemi yaş (el ile) yapılarak elekler arasında kalan elek üstü ve elek altı malzemeler ayrı ayrı kurutulup tartılmış ve örnek alınarak element tayini için yaş kimyasal analizlere tabi tutulmuştur. Bu testlerde amaç hem numunelerin tenörünü belirlemek, hem de boyut dağılımları ile altın içeriklerinin ilişkisini ortaya koymaktır.

2.2.2. Karakterizasyon Testleri

Karakterizasyon amacıyla yapılan testlerde öncelikle cevher içerisindeki altın tanelerinin yapısını gözlemlemek için ağır ortam ayırma testleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 29). 2,92 gr/cm³ yoğunluğundaki ağır ortam, tetra bromoetan (C₂H₂Br₄) kullanılarak hazırlanmış olup tartımı yapılarak hazırlanan örneklerin yüzdürme-batırma yapılmıştır. Ayrıca elde edilen batan ağır ürüne manyetik ayırma uygulanarak manyetik özellik gösteren gang mineralleri ayrılmıştır. Elde edilen ürünlerin KTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde bulunan Leica Stereo Mikroskop ile optik incelemeleri, KTÜ MERLAB bünyesinde bulunan PANalytical X-Pert3 Powder cihazı kullanılarak X-ışını kırınımı analizleri ve JEOL 6610 taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile X-ışını geri saçınım modunda görünümüleri alınarak enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDX) analizleri yapılmıştır. XRD analizlerinde Rietveld Metodu ile içerik dağılımları da tespit edilmiştir. XRD sonuçları XRF (X-ışını floresans) spektrometresi ile desteklenmiştir. AAS analizleri KTÜ Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında, XRF analizleri Ankara Argetest Firması'nda yapılmıştır.



Şekil 29. Ağır ortam ayırma testleri

2.2.3. Kimyasal Analizler

Kimyasal analizler yaş metodlar ile gerçekleştirilmiş olup ilgili numunelerden örnekler alınarak hidroklorik asit (HCl) ve nitrik asit (HNO₃) ile 3:1 oranında hazırlanan kral suyu (aqua regia) ile çözündürülmüş ve analizlere hazır çözelti haline getirilmiştir. Analizlerde altın ve gümüş okumaları yapılmıştır. Analizler öncesinde gerekli görülmesi halinde sıvı örnekler 1 M HCl çözeltisi ile seyreltilerek analiz cihazının uygun okuma aralıklarına getirilmiştir (Şekil 30).

Yaş analizlerde Perkin Elmer PinAAcle 500 atomik absorpsiyon spektrometresi (AAS) (Şekil 31) ve Agilent 7700series Endüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS) (Şekil 32) cihazları kullanılmıştır. Cihaz seçiminde altın okuma konsantrasyonları göz önünde alınarak düşük Au (0,5 g/t) içerikli örnekler ICP-MS cihazı ile analiz edilmiştir.



Şekil 30. KTÜ laboratuvarında yapılan kral suyunda çözündürme işlemleri



Şekil 31. AAS analiz çalışmaları

Ayrıca yapılan yaş kimyasal analizlerin doğruluğunun teyit edilmesi amacıyla ateş analizi (Fire Assay) Argetest Laboratuvarında yapılmıştır. Bu yöntemde ince öğütülmüş örnek sodyum karbonat (Na_2CO_3), kalsiyum karbonat (CaCO_3), kurşun oksit (PbO), sodyum tetra borat dekahidrat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), ve silika (SiO_2) ile karıştırılarak ergitilir. Bu esnada kurşun oksit ile toplanan altın potanın dibinde ve altın içermeyen gang minerallerinden oluşan kısım üstte olacak şekilde birbirinden ayrılır. Daha sonra kurşunun buharlaşma sıcaklığının düşük olması sebebiyle yapılan ikinci bir ergitme işleminde varsa diğer değerli metaller ve altın boncuk şeklinde elde edilerek daha sonra yaş kimyasal analizlere tabi tutulmuştur.

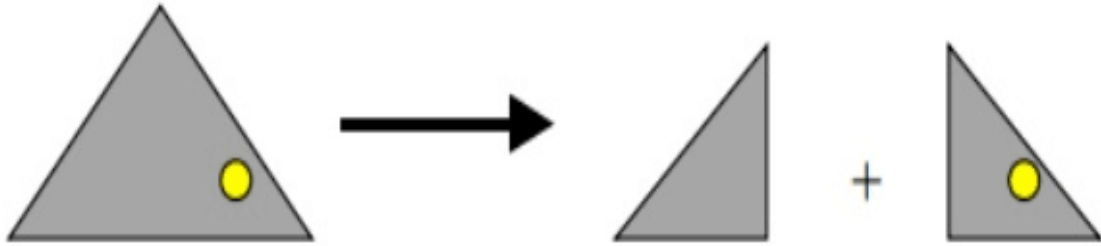


Şekil 32. ICP analiz çalışmaları

2.2.4. Altın Tanelerinin Külçe (Nugget) Etkisi Testleri

Plaser altın yataklarında örnek alma ve bölme esnasında ne kadar hassas olunursa olunsun birbirinden çok farklı miktarlarda altın içeren numuneler elde etmek mümkündür. Bunun sebebi nabit olarak bulunan altın tanelerinin hem çok düşük tenörlerde olması hem de diğer gang minerallerine göre çok yüksek özgül ağırlığa sahip olmasıdır. İkiye bölünen bir örnekte birbirine ağırlıkça eşit fakat altın içeriği farklı numuneler elde edilmesi deney ve analiz zorluklarını beraberinde getirmektedir. Bu durum “Külçe (nugget) Etkisi” olarak ifade edilmektedir.

Örneğin 20 g/t altın içeren bir plaser altın yatağından alınan numuneden örnek bölme işlemiyle miktarı azaltılarak analiz edildiğinde, fazla bir nabit altın tanesinin diğer örnek grubuna dahil olması, yatağın tenörünün belirlenmesinde ciddi hatalara neden olmaktadır (Şekil 33) (URL-4).



Şekil 33. Külçe (nugget) etkisi

Faaliyet gösteren bir şirketin arama kayıtlarından alınmış sonuçlar Tablo 3’te sunulmuştur. Bu örnekte, 14 kuyunun her birinden çıkarılan altın içeren çakıl, çalışma ilerledikçe dönüşümlü olarak kovalar kullanılarak mümkün olduğunca dikkatli bir şekilde bölünmüştür. Elle kazılmış kuyuların çapı 102 cm ve derinlikleri 9,14 ila 12,2 m arasında değişmektedir. Her biri 5,54 m³ olan yarımalar ayrı ayrı yıkanmıştır. Görüldüğü üzere 1. Kuyuda 27 g/t Au tenöre sahip örnek bölündüğünde bir tanesi 17,7 g/t Au diğeri ise 36,4 g/t Au içeren iki örnek elde edilmiştir. Bu durum iki örnek göz önünde bulundurulduğunda bir diğeri 2 katından fazla olan numuneler hazırlanmasına neden olmuştur (URL-4).

Tablo 3. Plaser altın yatağına ait kuyulardan 1:1 oranında bölünen örneklerin tenör dağılımları

Kuyu No	Değer (kübik yarda başına sent)	Belirtilen Değer		Gerçek Değer (%)	
		X	Y	X	Y
1	27.0	17.4	36.6	64	136
2	26.7	24.8	28.7	92	108
3	31.0	35.0	27.0	113	87
4	34.6	33.7	35.6	98	102
5	31.0	26.6	35.5	86	114
6	13.0	13.2	12.8	102	98
7	38.3	36.5	40.2	95	105
8	54.9	61.2	48.6	112	88
9	19.1	17.7	20.6	92	108
10	26.5	24.0	29.0	90	110
11	25.3	23.8	26.8	94	106
12	29.5	26.6	32.4	90	110
13	26.8	28.0	25.6	104	96
14	15.7	15.2	16.2	97	103

Alınan örneklerde mikro boyutlardaki bir altın tanesinin bile tenör tespitinde ciddi farklılıklara neden olması mümkündür. Bu amaçla A ve B olarak isimlendirilen iki numuneden 5'er adet farklı ağırlıklarda örnekler alınarak yaş kimyasal analize tabi tutulmuştur (Tablo 4). Elde edilen analiz sonuçlarının bağıl standart sapmaları (BSS, %) hesaplanmıştır (Denklem 1-3).

$$bbs = \frac{s}{\bar{x}} \quad (1)$$

$$\%bbs = \frac{s}{\bar{x}} \times 100 \quad (2)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3)$$

- X_i : Her bir gözlem değeri
- $\bar{X}$: Gözlem değerlerinin ortalaması
- n: Gözlem sayısı
- S: Örnek standart sapma

Tablo 4. Külçe etkisi testleri örnek alma

Numune Kodu	Örnek No.	Örnek Ağırlık (gr)
A	1	18,3
	2	21,7
	3	31,9
	4	28,1
	5	34,3
B	1	29,7
	2	24,4
	3	34,4
	4	35,7
	5	30,9

2.2.5. Jig Testleri

Oluk konsantrelerinin besleme olarak kullanılması ile jig çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda emme-basma sıklığı (frekans) ve yatak tabaka kalınlığı parametrelerinin altın kazanma verimine etkileri araştırılmıştır. Jig testlerinde Enhancer 755 marka diyaframlı jig kullanılmıştır (Şekil 34). Enhancer 755 olarak bilinen altın zenginleştirici, titreşimli, 3 mm ön elek ünitesi, 2 adet 18 inç çaplı değişken hızlı jig, sirkülasyon tankı ve su pompasından oluşmaktadır. Jig besleme hızı değişken olup optimum besleme hızı 342 kg/sa'tir. Üst kısımdan yapılan beslemenin ardından beslenen malzeme eleğe ulaşır. Elek altı malzeme jiglere aktarılır, elek üstü malzeme ise kaçakların önlenmesi için üstte bulunan oluklardaki halılarda tutulur. Aynı işlem jig üstünden taşan malzeme için de alt kısımda bulunan olukta gerçekleşir (ara ürün). Oluklardan da geçen

atık, havuzda toplanır (atık). Çalışmalarda beslemenin (II. Oluk konsantresi 1 mm altı) tamamı elekten geçerek jiglere döküldükten sonra yaklaşık 2-3 dk beklenerek jig tabanına inen kısım (konsantre, bir vana yardımıyla alınarak kovalarda biriktirilmiştir.

Yapılan çalışmalar neticesinde örneklerdeki altın ve diğer metal tenör bilgileri kullanılarak metal varlığının hangi boyutlarda yoğunlaştığı, gerçekleştirilen işlemin metal kazanımı veya metal dağılımı verilerine aşağıda verilen denklem uyarınca ulaşılmıştır (4).

$$\%Verim = \frac{\text{Ürün Miktarı (g)} \times \text{Metal Tenörü} \left(\frac{g}{t}\right)}{\text{Besleme Miktarı (g)} \times \text{Besleme Tenörü} \left(\frac{g}{t}\right)} \times 100 \quad (4)$$



Şekil 34. Tesiste bulunan jig ve deneylerde kullanılan jig (Enhancer 755)

- Jig Frekansının Etkisi Testleri

Jig cihazı emme-basma hareketinin frekansının ayarlandığı bir 1'den 10'a kadar derecelendirilmiş ayar düğmesine sahiptir (Şekil 35). Bu kademelerin frekans karşılıkları Tablo 5'te aralık olarak verilmiştir.

Her besleme için farklı frekanslar denenerek ilk etapta konsantre miktarı ve konsantrenin rengi gözlemlenmiştir. Daha sonra konsantrelerden örnekler alınarak analiz edilmesi üzere laboratuvarı hazırlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda değişen frekans koşullarında konsantrenin metal tenörü belirlenerek ve çalışma verimi hesaplanmıştır.



Şekil 35. Jigin frekans ayar düğmesi

Tablo 5. Değişen frekans koşulları

Deney No.	Frekans Seviye	Frekans dev/dk	Yataktaki Bilya Miktarı (kg)	Besleme Ağırlık (kg)
1	2-3	60-90	13	25,6
2	4-5	120-150	13	22,4
3	6	180	13	17,6
4	9-10	270-300	13	24,8

- Jig Yatak Kalınlığının ve Yatak Malzemesi Türünün Etkisi

Jig yatağında bulunan 4 mm kalınlığındaki paslanmaz çelik bilya miktarının zenginleştirmeye etkisi araştırılması amacıyla farklı miktarlarda bilya şarjı ile çalışmalar yapılmıştır (Şekil 36). Ayrıca yatak malzemesinin türünün etkisini belirlemek için deneylerde kullanılan oluk konsantrelerinin eleme ile ayrılan iri boyutlu malzemelerinin yatak oluşturmak için kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 36. Bilya yatağı kalınlaştırılan sol jig

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Tüvenan Cevher Analizleri

İşletmenin faaliyet gösterdiği çalışma sahasından farklı bölge ve noktalardan 20 adet örnekler alınarak altın analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları Tablo 6’da verilmektedir. Alınan bu 20 örneğin 13’ünün dedeksiyon limitlerinin altında kalmıştır. Geriye kalan ve özel olarak seçilen bölgelerden alınan 7 örneğin altın tenörleri ise 0.11-2.04 g/t arasında değişmektedir. Alınan sonuçlar incelendiğinde sahada genel olarak çok düşük altın konsantrasyonlarında bölgelerin bulunduğu, ancak kısmi olarak birikintilerin bulunduğu bazı bölgelerin varlığı anlaşılabilmektedir. Altın tanelerinin külçe etkisi nedeniyle de bu analiz değişkenliğinin gerçekleşebilmesi de mümkündür. Sahada uygulanan eleme ve sonrasında oluk zenginleştirmesi ile elde edilen konsantrelerin altın içerikleri Tablo 6’da verilmiştir. Oluk konsantresindeki altın içeriklerinin Ortalama 30-40 g/t arasında olduğu görülmektedir. Beslemeye göre alınan konsantre miktar oranının yaklaşık 1000 kat olduğu dikkate alınarak besleme altın tenörünün 0.030-0.040 g/t arasında değiştiği tahmin edilmektedir.

Tablo 6. Saha örneklerinin altın tenörlerinin değişimi

Örnek Yeri	Saha Örnekleri								Oluk Konsantresi	
Adet	2	11	1	1	1	2	1	1	1	1
Au g/t	<0,005	<0,08	0,11	0,38	0,49	0,51	0,68	2,04	38,36	33,70

Çalışma sahasından alınan temsili bir örneğin ve tesiste 7-15 mm çakıl, 0-5 mm kum ve triyaj ile kuvars olarak ayrılan ürünlerin altın içerikleri ve ana oksit bileşimlerini gösteren kimyasal analizleri Tablo 7’de topluca verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde besleme ile birlikte alınan ürünlerin tamamında altın içerikleri 0.05 g/t değerinin altında kalmıştır. Bu analizlerin çok düşük çıkması kapanım halinde altının kayaçlar içerisinde kalmadığını göstermektedir. Ana oksit bileşimleri incelendiğinde beslemedeki SiO₂ değerinin eleme ve oluklardan ayrılan çakıl ve kum içerisinde artarken Fe₂O₃, Al₂O₃ ve TiO₂ değerlerinin ayrılan ürünlerde azaldığı görülebilmektedir.

Tablo 7. Tesis beslemesi ve ürünlerinin altın ve ana oksit analiz sonuçları

İÇERİK		ÖRNEK ADI			
%	Dip Kaya	7-15 Çakıl	0-5 Kum	Kuvars-1	Kuvars-2
Au (g/t)	<0,005	0,005	0,006	<0,005	<0,005
A. K.	2,12	8,21	2,67	-0,08	0,03
SO ₃	0,35	0,06	0,08	<0,01	0,03
Al ₂ O ₃	12,35	7,81	8,65	0,098	0,450
CaO	12,80	13,73	5,08	0,15	0,09
MgO	4,56	4,10	1,72	0,05	0,03
Fe ₂ O ₃	11,43	2,20	2,55	0,52	0,53
Na ₂ O	2,25	1,43	1,87	<0,01	0,03
SiO ₂	48,71	59,00	74,10	99,07	98,66
SrO	0,06	0,02	0,02	<0,01	<0,01
BaO	0,34	0,10	0,08	0,10	<0,01
Cr ₂ O ₃	<0,01	0,08	0,11	<0,01	0,098
K ₂ O	2,44	2,72	2,38	<0,01	0,016
MnO	0,29	0,12	0,07	<0,01	<0,01
P ₂ O ₅	0,57	0,15	0,16	<0,01	<0,01
TiO ₂	1,60	0,21	0,28	<0,01	0,02

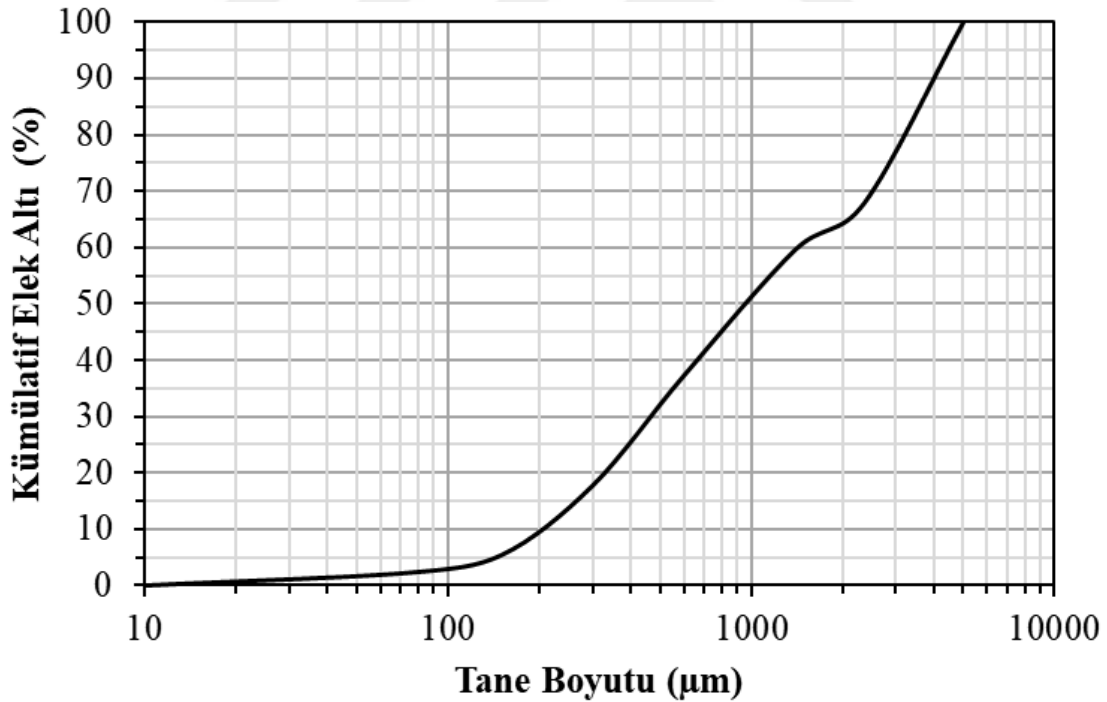
Tablo 8. Tesis ürünlerinin element analiz sonuçları

Boyut, mm	7-15	0-5	Boyut, mm	7-15	0-5	Boyut, mm	7-15	0-5
Element	Çakıl	Kum	Element	Çakıl	Kum	Element	Çakıl	Kum
Na	790	780	As	29,04	26,1	Be	<1,00	<1,00
Mg	11600	4500	Ag	<0,15	<0,15	Sc	3,56	2,19
Al	5100	3800	Ba	149,90	101,20	V	5,36	6,39
P	310	300	Bi	<5,00	<5,00	Co	4,14	3,79
S	<100	1300	Cd	1,99	23,88	Ni	66,42	38,2
K	1600	1300	Hg	<5,00	<5,00	Cu	19,14	13,02
Ca	59700	18900	La	5,61	5,07	Zn	225	141,7
Ti	330	380	Mo	3,43	2,46	Th	<2,00	<2,00
Fe	9600	10100	Pb	104,60	607,60	Tl	<5,00	<5,00
Mn	570	190	Sb	<5,00	<5,00	W	<5,00	<5,00
			Sn	<5,00	<5,00	Zr	3,37	2,86
			Sr	67,94	29,46	Ga	6,63	<5,00

Örneğin Fe_2O_3 içeriği beslemede %11,80 iken çakıl üründe %2,20, kumda %2,55 ve kuvars içinde %0,52 değerlerine düşmektedir. Bu durum besleme içerisinde bulunan Al, Fe ve Ti içerikli ağır minerallerin oluklarda ağır mineral konsantresi olarak alınmasından kaynaklanmış olmalıdır. Üretilen çalık ve kum örneklerinin ICP ile yapılan element analiz sonuçları da Tablo 8’de özetlenmiştir. Buradan elde edilen analizler de XRF ile yapılan ana oksit analizlerini destekler niteliktedir.

3.2. Cevher ve Konsantrelerin Boyut Dağılımı ve Analizleri

Tüvenan cevhere uygulanan elek analizi sonuçları Şekil 37’de sunulmuştur. Altın ve gümüş dağılımları ise detaylı şekilde Tablo 9’da verilmiştir. Tüvenan cevherin %50’sinin 1 mm altında (d_{50}) olduğu belirlenmiştir (Şekil 37). 2,36 mm açıklığa sahip elekten cevherin elenmesi sonucunda cevherin yaklaşık %32’si elek üstü olarak ayrılırken altın ve gümüş içeriklerinde sırasıyla %5,8 ve %4’lük bir kayıp söz konusu olmuştur.



Şekil 37. Tüvenan cevher kümülatif elek altı grafiği

Bu durum sahada oluklara beslenen tüvenan cevher miktarı göz önünde bulundurulduğunda, tüvenan cevherin >2,36 mm açıklığına sahip bir elekten elenmesinin kütlede de azalması ile birlikte daha verimli bir oluk zenginleştirme yapılmasına destek

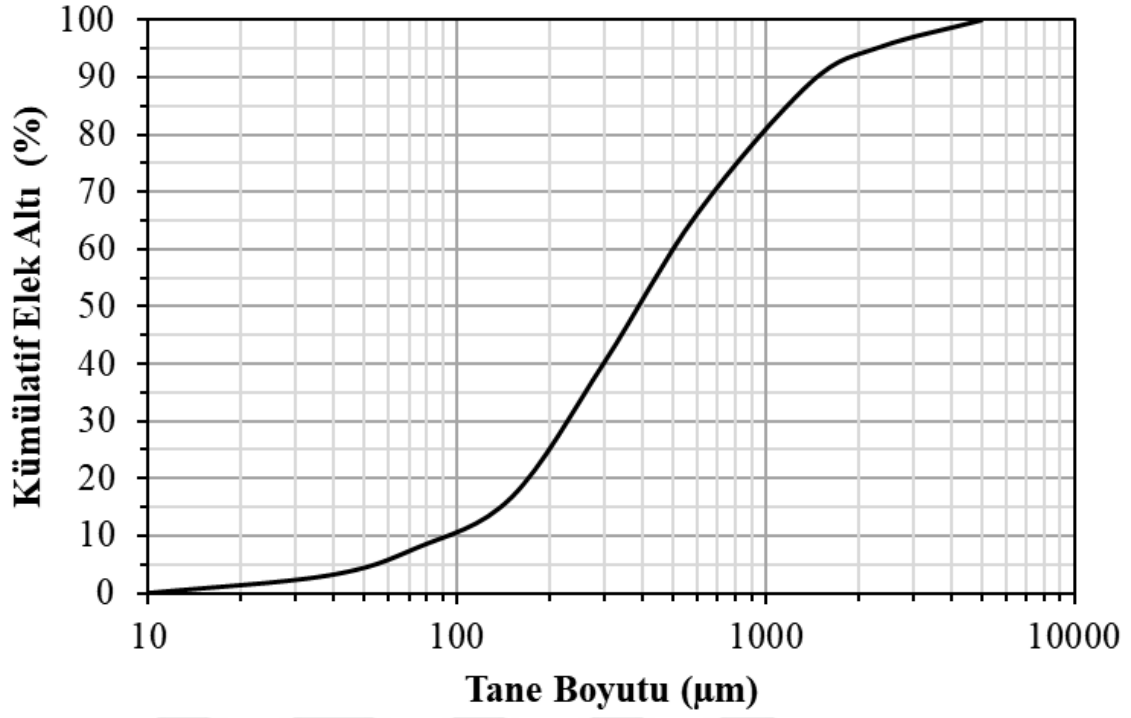
olacağı sonucunu ortaya koymaktadır. Ancak daha düşük elek açıklıklarına sahip eleklerin kullanılması durumunda metal kayıpları giderek artmaktadır. Ayrıca plaser yataktaki cevherin içerisindeki altının %54,7'sinin, gümüşün ise %47,5'inin -74 µm gibi çok düşük tane boyutunda bulunduğu tespit edilmiştir (Tablo 9). Tüvenan cevher tenörünün 0,019 g/t Au ve 0,156 g/t Ag olduğu belirlenmiştir.

Tablo 9. Tüvenan cevher elek analizi sonuçları

Boyut Aralığı (mm)	Miktar, %		Tenör, g/t		Dağılım, %		ΣElek Altı Dağılım, %	
	Ağırlık	ΣElek Altı	Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
-5,00+2,36	32,1	100,0	0,004	0,019	5,84	3,97	100,0	100,0
-2,36+1,40	8,26	67,9	0,003	0,031	1,46	1,63	94,2	96,0
-1,40+0,60	22,4	59,7	0,005	0,040	5,84	5,78	92,7	94,4
-0,60+0,30	19,5	37,3	0,020	0,075	20,4	9,40	86,9	88,6
-0,30+0,15	12,3	17,7	0,005	0,158	2,92	12,5	66,4	79,2
-0,15+0,074	3,10	5,37	0,055	0,971	8,76	19,2	63,5	66,8
-0,074	2,28	2,28	0,465	3,263	54,74	47,5	54,7	47,5
TOPLAM	100,0	-	0,019	0,156	100,0	-	-	-

I. oluk konsantresine uygulanan elek analizi sonuçları Şekil 38'de sunulmuştur. Altın ve gümüş dağılımları ise detaylı şekilde Tablo 10'da verilmiştir. I. oluk konsantresinin %80'ninin 1 mm altında (d_{80}) olduğu belirlenmiştir (Şekil 38). 1,40 mm açıklığa sahip elekten konsantrenin elenmesi halinde, cevherin yaklaşık %11'inin altın ve gümüş içermeyen atık olarak ayrılabilceğini göstermektedir (Tablo 10). Mevcut koşullar, I. oluk konsantresinin 1 mm elekten elenmesi sonrasında, direkt sallantılı masaya beslenmesi, ilerleyen proses adımlarında jig kullanım kapasitelerinin düşmesine neden olmaktadır.

I. oluk konsantresinin 191,9 g/t Au ve 5,36 g/t Ag içerdiği tespit edilmiştir. Tüvenan cevhere göre altının ve gümüşün I. olukta sırasıyla yaklaşık 10.000 ve 35 kat zenginleştiği görülmektedir. Bu sonuçlar özgül ağırlığı yüksek altın tanelerinin önemli bir oranda I. olukta biriktiğini göstermektedir.



Şekil 38. I. oluk konsantresi kümülatif elek altı grafiği

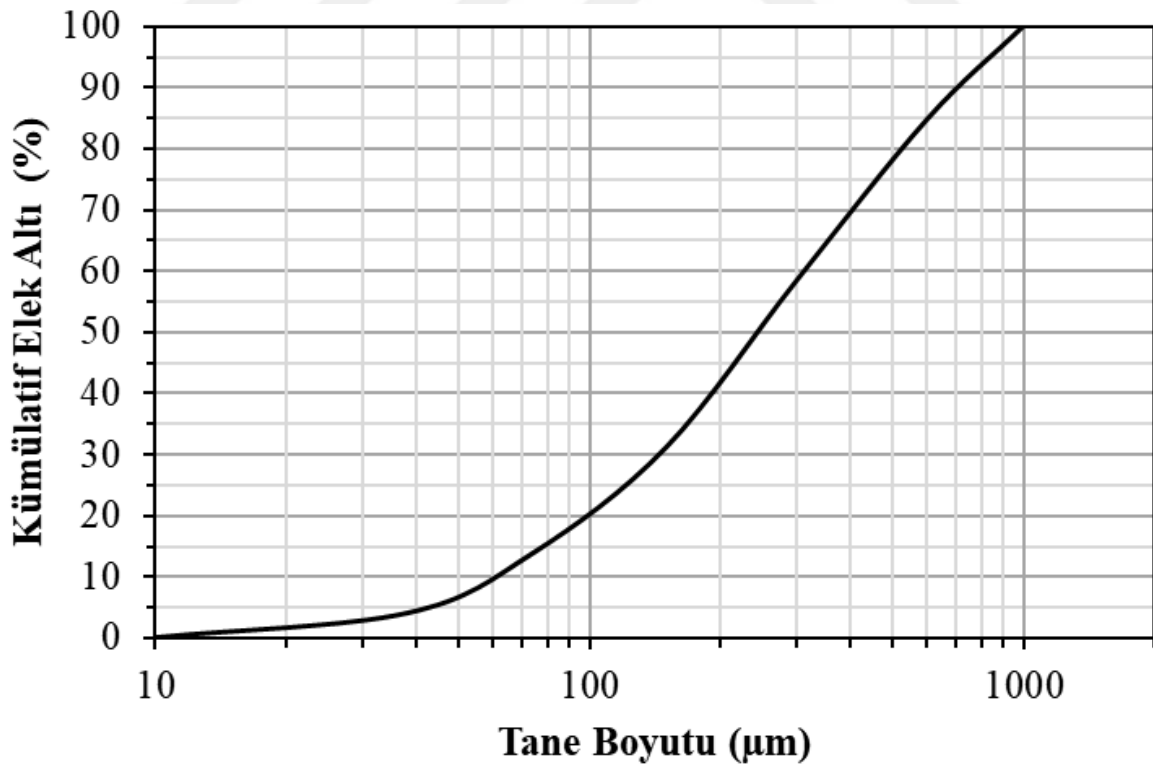
Tablo 10. I. oluktan konsantresinin elek analizi sonuçları

Boyut Aralığı (mm)	Miktar, %		Tenör, g/t		Dağılım,%		ΣElek Altı Dağılım,%	
	Ağırlık	ΣElek Altı	Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
-5,00+2,36	4,64	100	0,201	0,052	0,01	0,05	100	100
-2,36+1,40	6,22	95,4	0,302	0,028	0,01	0,04	100	100
-1,40+0,60	22,9	89,2	167,611	5,860	22,4	28,1	100	100
-0,60+0,30	26,0	66,2	189,969	4,959	25,3	23,6	77,6	71,9
-0,30+0,15	23,6	40,3	394,745	9,962	48,0	43,4	52,3	48,2
-0,15+0,074	8,79	16,7	106,439	2,782	3,80	3,55	4,23	4,84
-0,074+0,038	4,85	7,90	17,750	1,220	0,35	0,86	0,43	1,29
-0,038	3,05	3,05	6,772	0,966	0,08	0,43	0,08	0,43
TOPLAM	100	-	191,923	5,363	100	-	-	-

Altının söz konusu zenginleşme oranı göz önünde bulundurulduğunda 1 kg I. oluk konsantresi elde edebilmek için yaklaşık 10 ton cevherin sahadan oluklara beslenmesi

gerektiği hesaplanabilmektedir. Bu durum plaser yataklardan altın kazanımının ne kadar yoğun tüvenan üretimi gerektirdiğini ortaya koymaktadır. Gümüş tenörünün tüvenan cevherde altına göre daha yüksek olmasına rağmen çok daha düşük oranda zenginleşmesi söz konusudur. Bu durum oluklarda ciddi gümüş kaybı olduğunu ve prosesin daha ilk adımlarında gümüş kayıplarının olduğunu göstermektedir.

II. oluk konsantresi, işletmenin mevcut proses koşullarında 1 mm elekten elendikten sonra tarafımıza teslim edilmiştir. I. olukta altının önemli oranda tutulduğu bilindiğinden işletme II. oluk konsantresinin zenginleştirilmesi öncesinde bu şekilde bir yöntem tercih etmektedirler. Konsantreye uygulanan elek analizi sonuçları Şekil 39’de sunulmuştur. Altın ve gümüş dağılımları ise detaylı şekilde Tablo 11’de verilmiştir. II. oluk konsantresinin %80’ninin 550 μm altında (d_{80}) olduğu belirlenmiştir (Şekil 39). 600 μm açıklığa sahip elekten konsantrenin elenmesi halinde, cevherin yaklaşık %15’inin altın içermeyen atık olarak ayrılabilceğini göstermektedir. II. Oluk konsantresinin -600+150 μm boyutu aralığında %53,7’sinin bulunduğu ve bu aralıkta altın içeriğinin yaklaşık %88’nini içerdiği tespit edilmiştir (Tablo 11).



Şekil 39. II. oluk konsantresi kümülatif elek altı grafiği

Tablo 11. II. Oluk konsantresinin elek analizi sonuçları

Boyut Aralığı (mm)	Miktar, %		Tenör, g/t		Dağılım,%		ΣElek Altı Dağılım,%	
	Ağırlık	ΣElek Altı	Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
-1,0+0,60	14,46	100,0	0,12	0,02	0,04	0,25	100,0	100,0
-0,60+0,30	25,07	85,54	56,29	1,02	31,9	17,87	100,0	99,75
-0,30+0,15	25,94	60,47	95,31	1,94	55,9	35,30	68,0	81,88
-0,15+0,074	21,43	34,53	18,94	2,00	9,18	30,09	12,1	46,58
-0,074+0,038	9,30	13,10	13,41	1,34	2,82	8,74	2,94	16,50
-0,038	3,80	3,80	1,36	2,91	0,12	7,75	0,12	7,75
TOPLAM	100,0	-	44,21	1,43	100,0	100,0	-	-

II. oluk konsantresinin 44,21 g/t Au ve 1,43 g/t Ag içerdiği tespit edilmiştir. Boyuta göre tenör ve verim dağılımları incelendiğinde I. Oluktakine benzer olarak iri boyutta ve ince boyutta tenörlerin çok düşük kaldığı görülmektedir. Tüvenan cevher analizlerine göre en ince boyutta artan tenör değerlerine göre tersine bir durum söz konusudur. Bu durumun ince boyutlarda altın kaybının daha yüksek olmasından kaynaklanmış olabileceği sonucuna varılmıştır. İri boyutlu altın tanelerinin analizi için cevherden daha fazla miktarlarda örnek alınmasına gerekliliği de bu sonuçların sebebi olabileceği düşünülmektedir.

Oluk zenginleştirmesinde 2 günde 2500 ton tüvenan cevherin beslendiği ve yaklaşık 2,5 ton konsantre alındığı kabul edildiğinde yaklaşık bin katlık konsantrasyon oranının gerçekleştiği hesaplanabilmektedir. Buna göre verimli bir çalışma durumunda tüvenan cevherde 0,019 g/t tenörünün 19 g/t değerlerinde konsantreye gelmesi beklenmelidir. I. Oluk konsantresinde bu değer 190 g/t olarak gerçekleşmekle beraber alınan konsantre miktarının 500 kg civarında kalması, II. Olukta tenörün 44,21 g/t seviyelerine düşmesi diğer oluklarda tenörlerin çok daha düşük seviyelerde kalacağını göstermektedir. Bu analiz değerleri ve konsantre miktarları dikkate alındığında oluklarda ince tane boyutlarındaki altın tane kayıplarından dolayı %50-60 verimlerle çalıştıkları tahmin edilebilmektedir.

3.3. Kimyasal ve Mineralojik Karakterizasyon Testleri

I. Oluk konsantresinin ateş (*fire assay*) analizi sonucunda 57,81 g/t Au olarak belirlenmiştir. Örneğin Au tenörü kral suyu çözündürmesi sonrasında AAS ile 44,21 g/t olarak tespit edilmiştir. Analizler arasındaki bu farkın kapanım etkisinden dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir. I. Oluk konsantresinin ana oksit bileşimini gösteren XRF analizleri Tablo 12’de ve II. Oluk konsantresinin ICP analiz değerleri Tablo 13’te görülmektedir.

Tablo 12. I. Oluk konsantresinin XRF analiz sonuçları

	Oksit										
İçerik %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	P ₂ O ₅	K.K.
	65,62	9,47	9,41	6,75	1,45	0,72	1,59	1,29	0,25	1,00	2,33

*K.K.: Kızdırma kaybı

Tablo 13. II. Oluk Konsantresinin ICP analiz sonuçları

		Element									
İçerik	%	Al	Ca	Fe	K	Mg	Na	Ti	P	S	Mn
		4,52	3,26	6,62	1,11	1,14	1,00	0,46	0,087	0,01	0,16
	gr/t	La	Li	Cr	Pb	Mo	Co	Ni	Ba	Sb	Ag
		86,74	1,14	769,61	19,9	2,82	14,45	96,26	215,32	1,86	9,09
		Sn	Sr	Cu	V	W	Zn	Zr	Be	As	
		1,89	111,65	13,33	58,06	4,18	51,30	24,81	1,22	18,70	

Sonuçlar incelendiğinde tüvenan malzemenin içeriğinde %65,6 oranında SiO₂ %9,47 Al₂O₃ bulunmaktadır. Bu analiz sonuçları konsantre içerisinde önemli oranlarda kuvars ve benzeri silis mineralinin bulunduğunu ve daha az miktarlarda alümina silikat minerallerinin var olabileceğini göstermektedir. Analizlerde görülen %9,41 Fe₂O₃ ve %1,45 TiO₂ oranları

ise Manyetit ve Hematit gibi Fe minerallerinin, Titanomanyetit ve Rutil gibi Ti minerallerinin varlığını göstermektedir (Tablo 13).

Tablo 13'te sunulan II. Oluk Konsantresine ait ICP analiz sonuçları incelendiğinde 13,3 g/t Cu, 9,09 g/t Ag, 51,3 g/t Zn, %24,8 g/t Zr ve %0,46 Ti metal içerikleri tespit edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları XRF analizleriyle de uyumludur.

I. Oluk konsantresinin ağır ortamda batırma sonrasında elde edilen ağır mineral konsantresinin XRF analizlerinde ise kuvars miktarının %26,9'a kadar düştüğü ve Al, Fe, Cr, Mn, Ti içeriklerinde artış olduğu ve bu metalleri içeren minerallerin ise özgül ağırlıklarının etkisi ile ağır mineral konsantresi olarak ayrıldığı belirlenmiştir (Tablo 14). Batan ürünündeki SiO_2 içeriğinin özgül ağırlığı 3 ve üzerinde olan silikat minerallerinden kaynaklandığı, Fe_2O_3 içeriğinin de Fe minerallerinin konsantre edilmesinden kaynaklanmış olmalıdır. TiO_2 ve Cr_2O_3 içeriklerinde de beklendiği gibi artışlar görülmektedir.

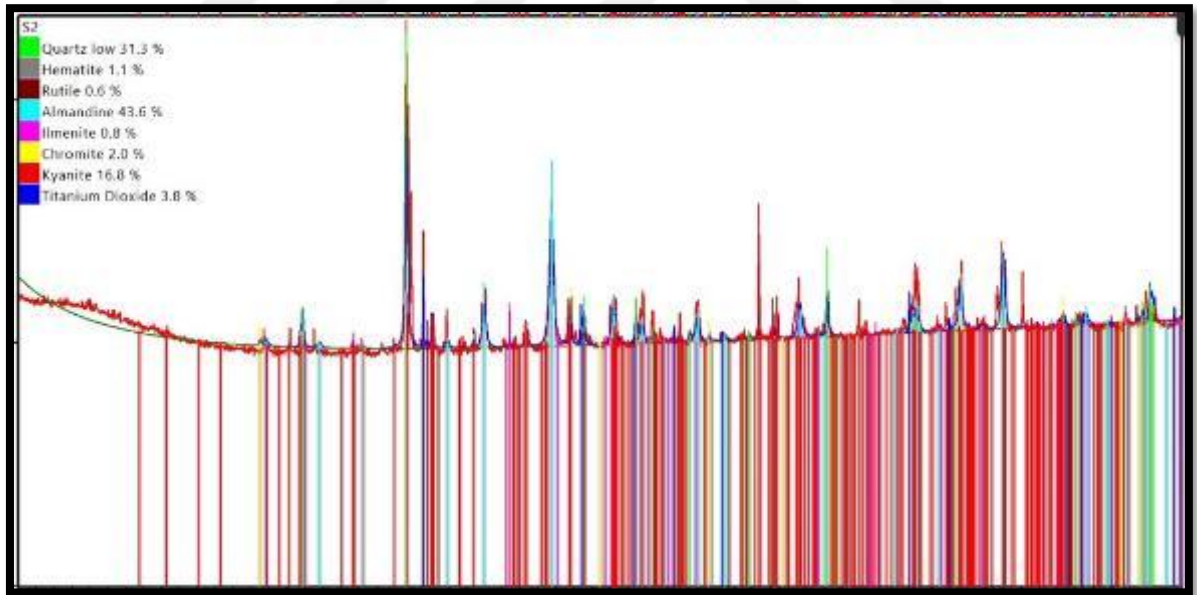
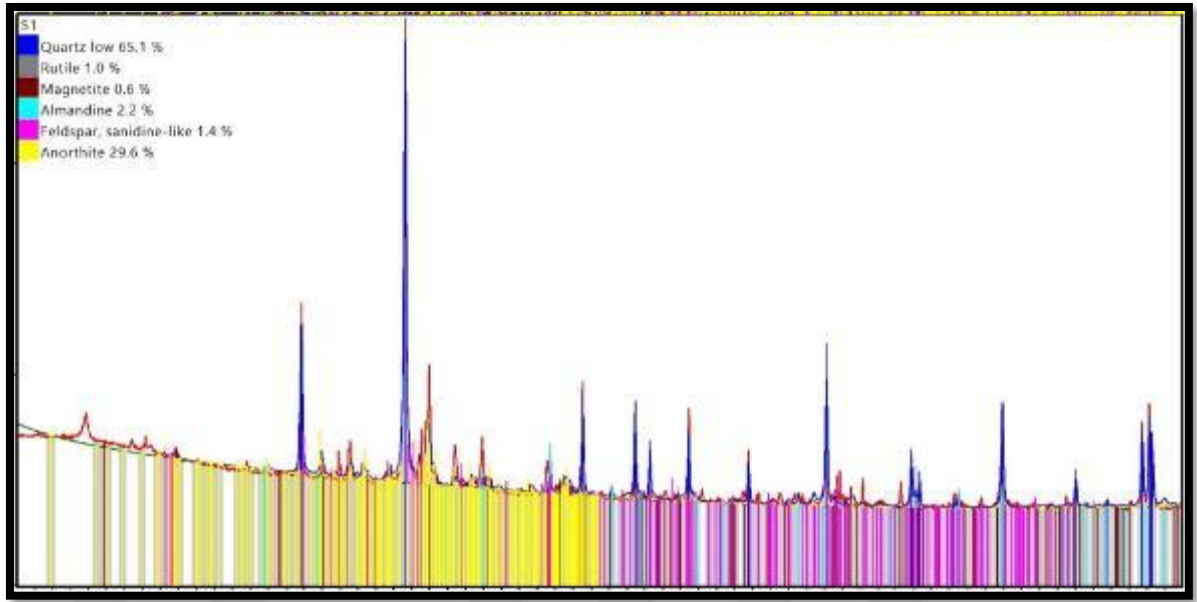
Tablo 14. I. oluk konsantre ağır mineral konsantresi XRF analiz sonuçları

	Oksit										
İçerik	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	TiO_2	Cr_2O_3	K_2O	MgO	MnO	P_2O_5	K.K.
%	26,94	17,07	37,37	5,34	5,01	3,08	0,19	2,11	1,27	1,15	0

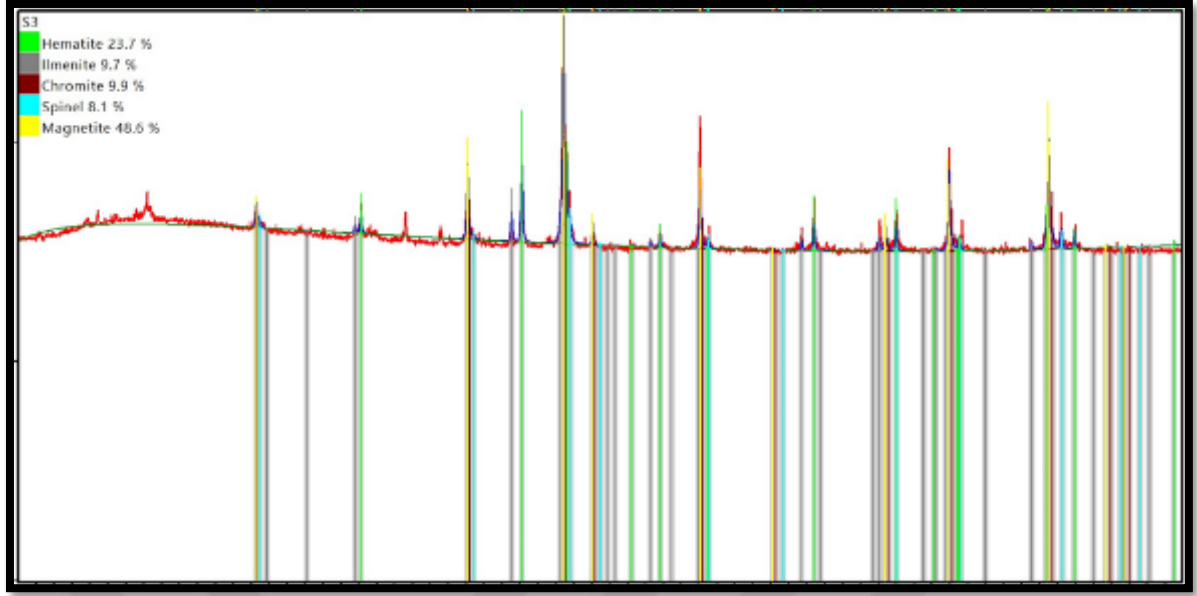
*K.K.: Kızdırma kaybı

Oluk Konsantre örneğinden ağır ortam testleri sonrasında hafif ve ağır olarak ayrılan kısımlardan, hafif olanların ayrı, ağır olanların ise manyetik ve manyetik özellik göstermeyenler olarak ayrı ayrı XRD analizleri yapılmıştır. Sonuçların *Rietveld* Metodu ile değerlendirilmesi yapılmıştır. Hafif fraksiyonun XRD analiz sonuçlarına göre, kuvars ve feldspat mineralleri, yüksek içeriğiyle öne çıkan başlıca mineraller arasında yer almaktadır (Şekil 40).

Ağır minerallerin manyetik özellik göstermeyen kısmında kuvars ve almandin minerali ile birlikte Kyanit ve Rutil içeriğinin varlığı görünmektedir (Şekil 41). Almandin 4,05 yoğunluğunda $\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ şeklinde kimyasal bileşime sahip bir garnet mineralidir.

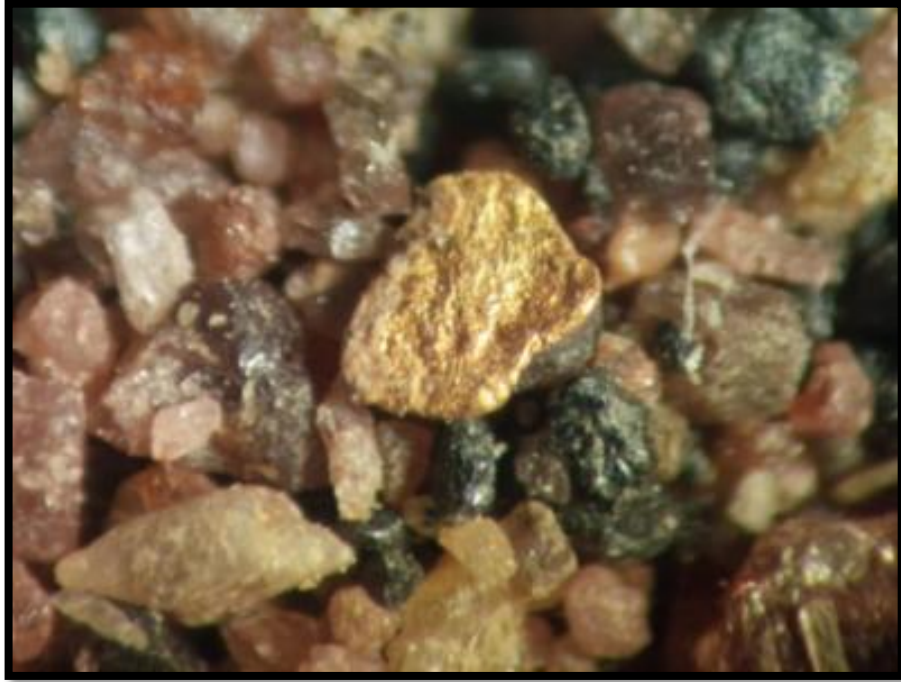


XRD analizleri ağır fraksiyon içerisindeki manyetik özellik gösteren kısmın yüksek oranlarda manyetit, hematit, kromit, ilmenit ve spinel mineralleri içerdiğini göstermektedir (Şekil 42).



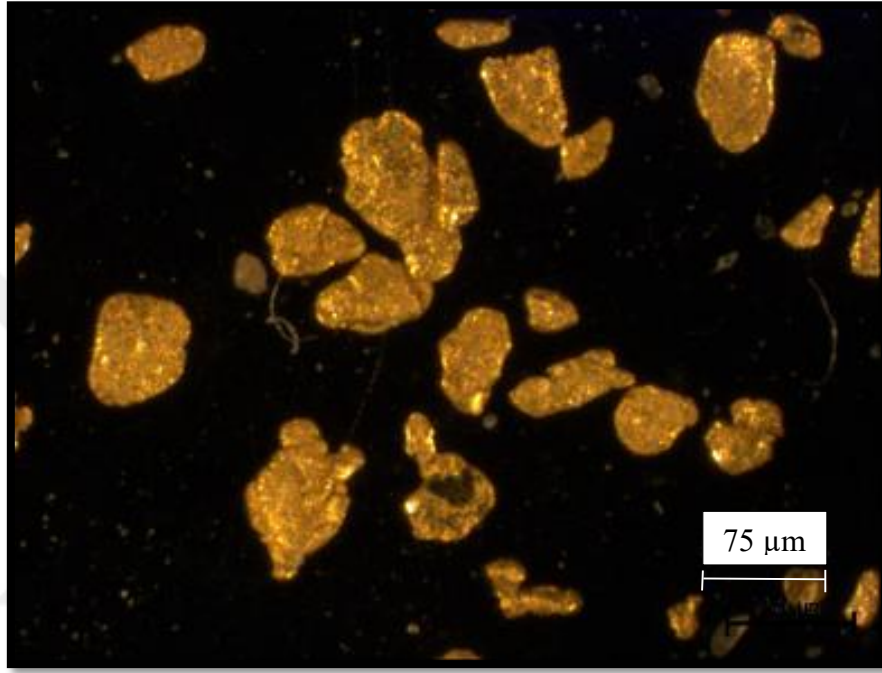
Şekil 42. Ağır manyetik kısma ait XRD analiz sonuçları

Şekil 43, incelemelerde değerlendirilen ağır mineral konsantresinin mikroskobik görünümünü göstermektedir. Görüntüler incelendiğinde çoğunlukla altın tanesi ile birlikte siyah manyetit, ilmenit mineralleri ile birlikte garnet minerallerinin varlığı tahmin edilebilmektedir.

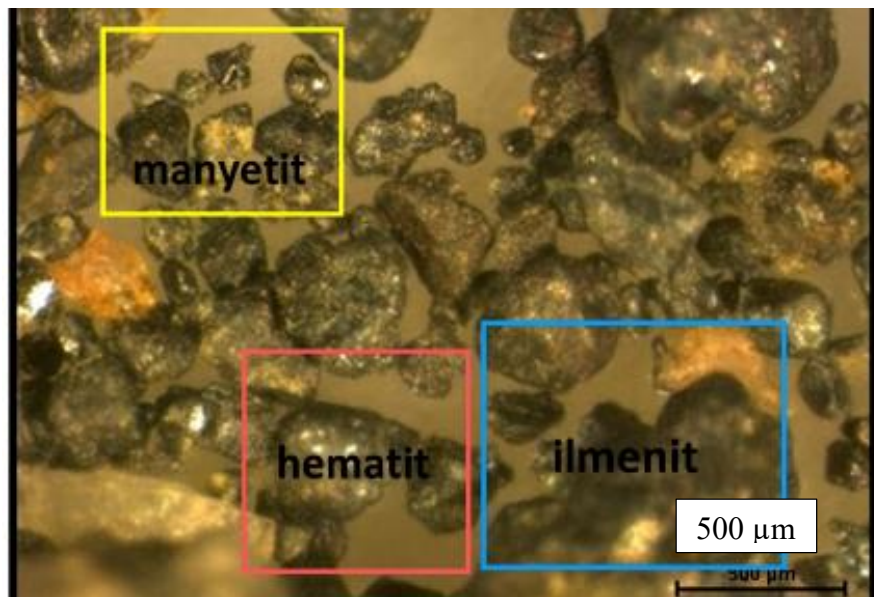


Şekil 43. Ağır ortamda batan ürün içerisinde ayrılan ağır mineral taneleri

Ağır ortam ayırma deneyleri sonucunda elde edilen batan ürün içerisindeki altın tanelerinin stereo mikroskop altında yapılan incelemelerinde, serbest haldeki altın tanelerinin çok ince boyutlardan 1 mm'ye kadar net bir şekilde gözlemlenebildiği tespit edilmiştir. (Şekil 44). Şekil 45'te manyetik özellik gösteren manyetit, hematit ve ilmenitten oluşan ağır mineraller görülmektedir.

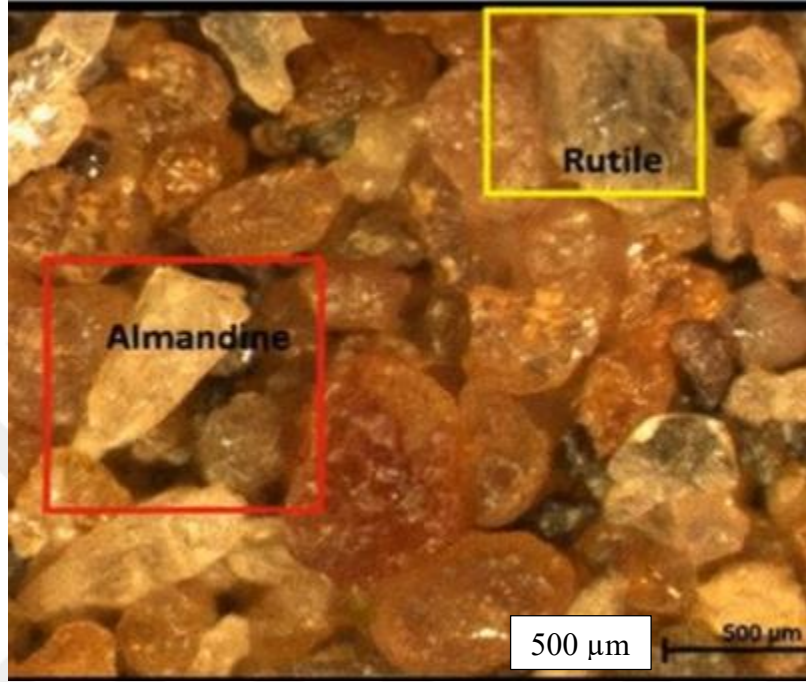


Şekil 44. Ağır ortamda batan ürün içerisinde ayrılan altın taneleri

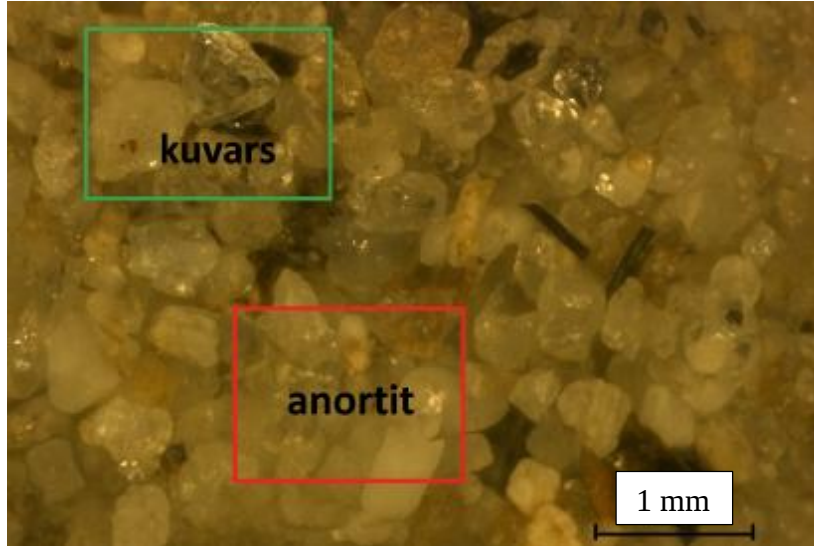


Şekil 45. Ağır ortamda batan manyetik ürünün görünümü

Ağır mineraller içerisinde manyetik olarak çekilmeyen kısımda almandin ve rutil taneleri görülmüştür (Şekil 46). Hafif mineraller olarak kuvars ve anortit şeklinde feldspat mineralleri gözlemlenebilmektedir (Şekil 47).



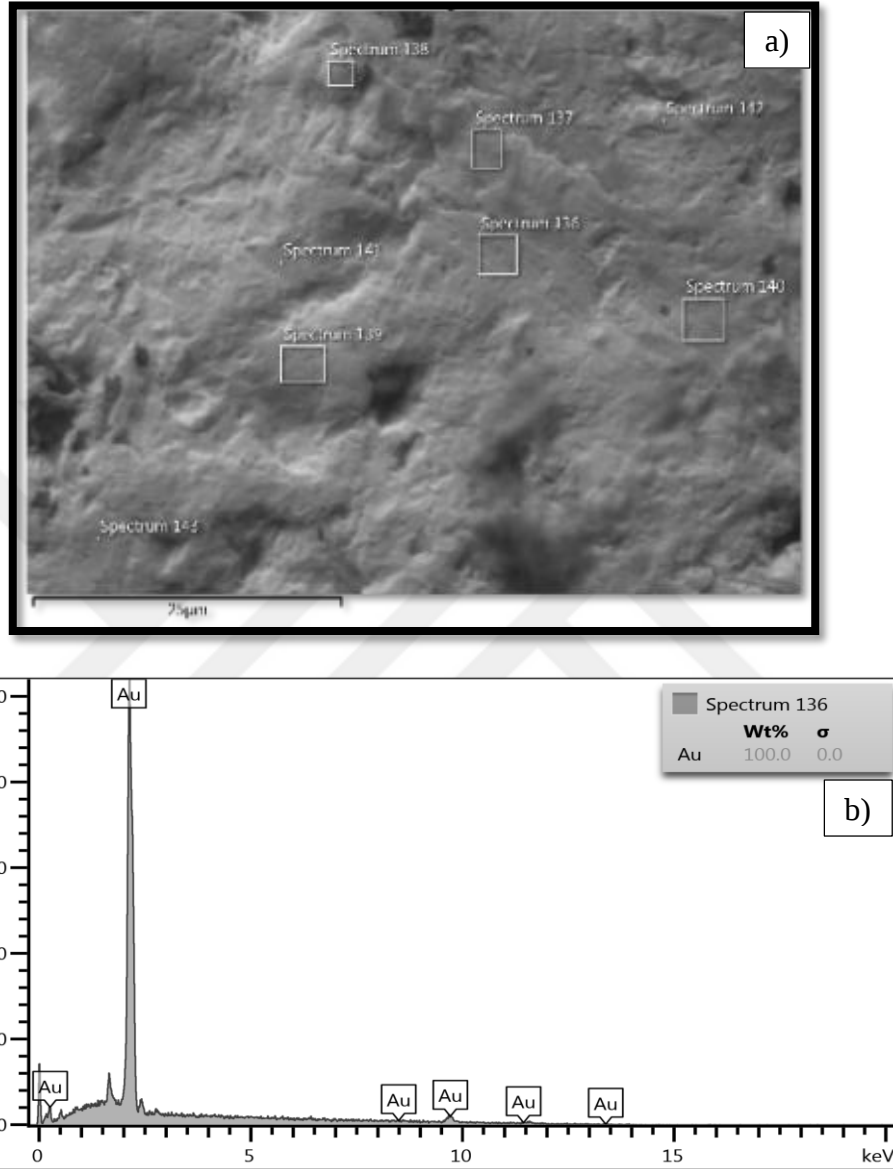
Şekil 46. Mikroskopta incelenen *almandin* ve *rutil* taneleri



Şekil 47. Mikroskopta incelenen kuvars ve anortit mineral taneleri

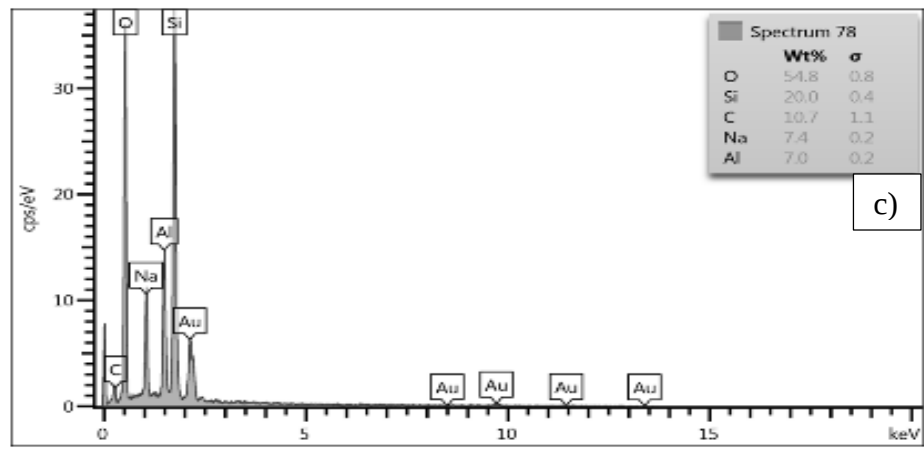
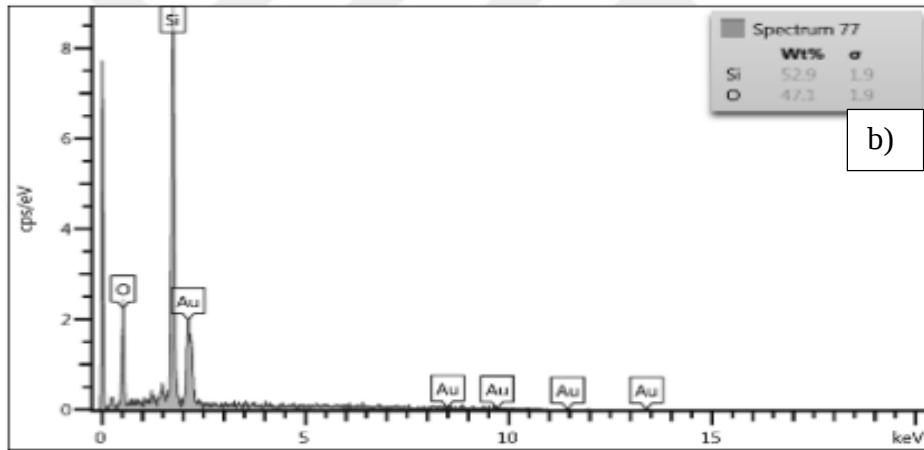
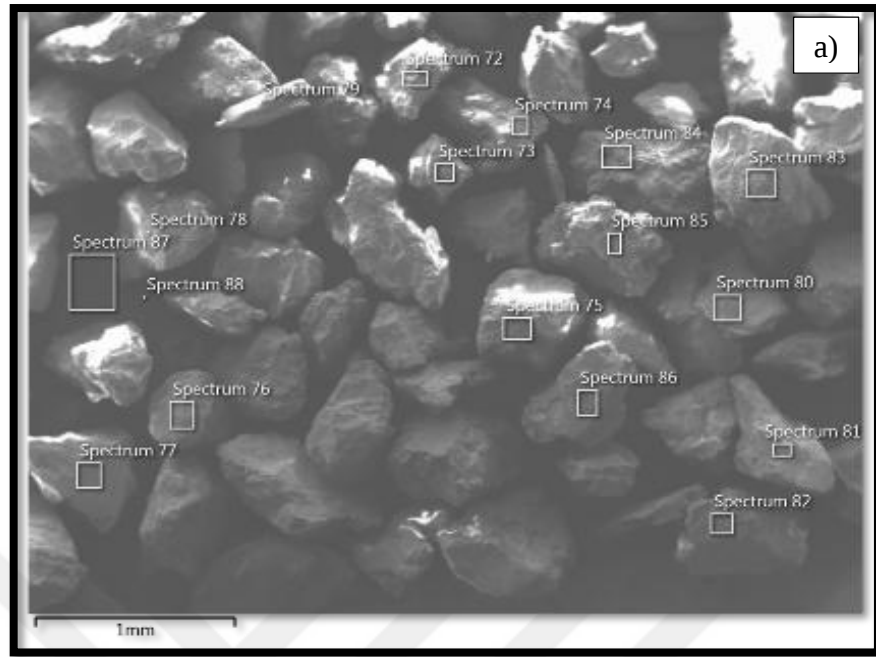
Elde edilen altın tanelerinin SEM görüntüleri ve EDX analizleri Şekil 48’de sunulmuştur. Analiz sonuçları altın tanesinin saf olarak bulunduğunu göstermektedir. Bu

nedenle tanelerin oldukça yumuşak ve dövülebilir özelliklerde sahip olduğu ve genellikle levha şekline gelerek hareket ettiği görülmektedir.

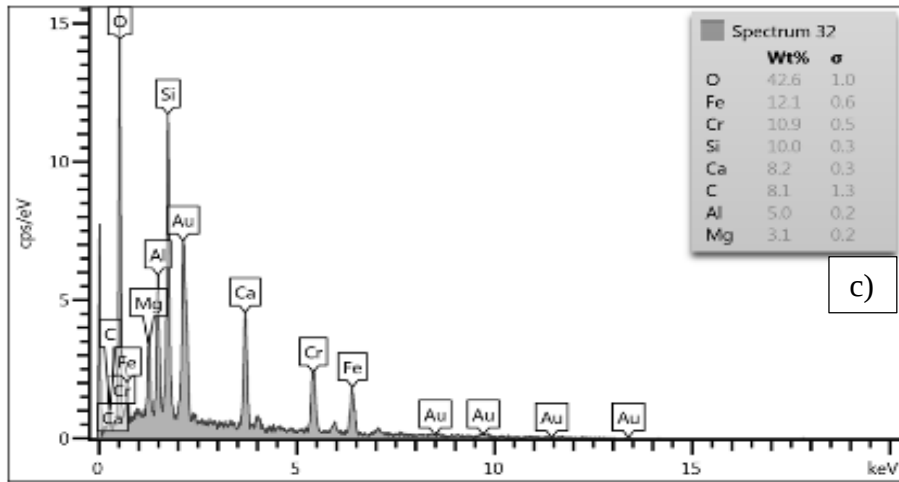
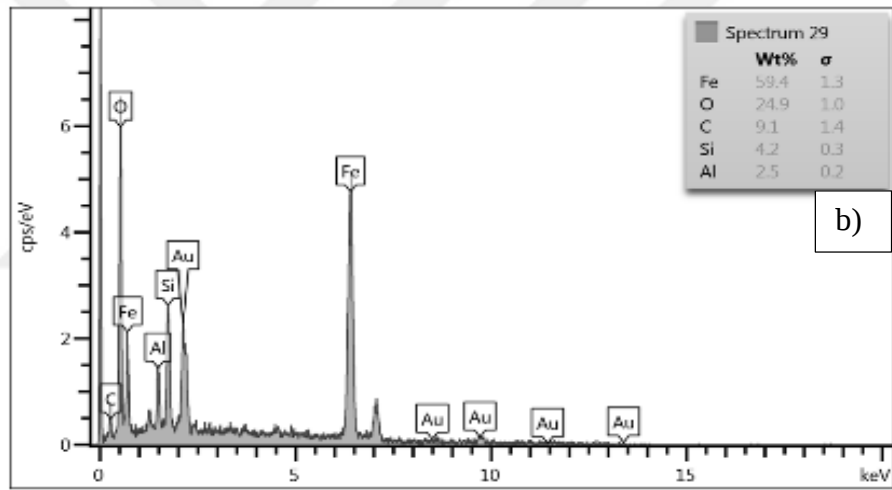
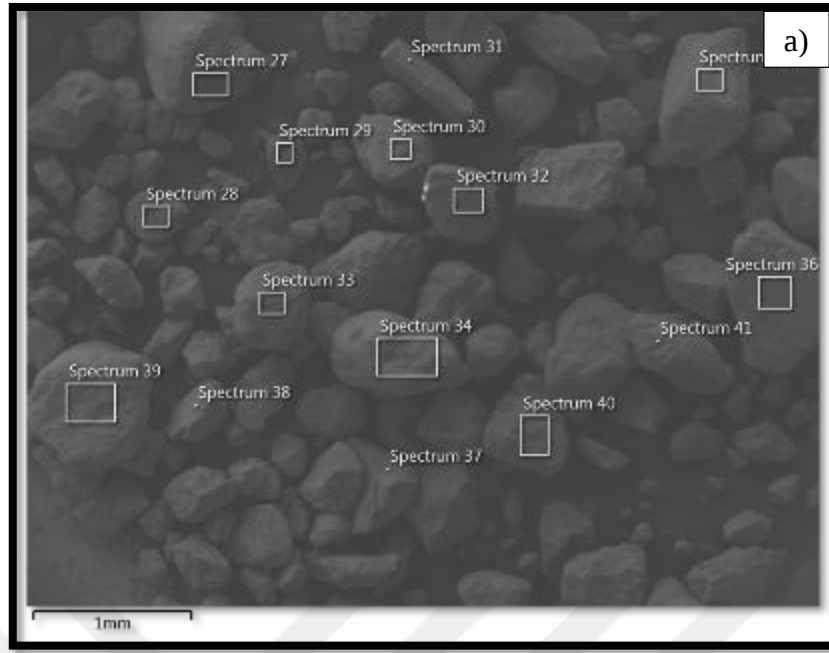


Şekil 48. Altın tanesinin SEM görüntüsü (a); EDX analiz sonucu (b)

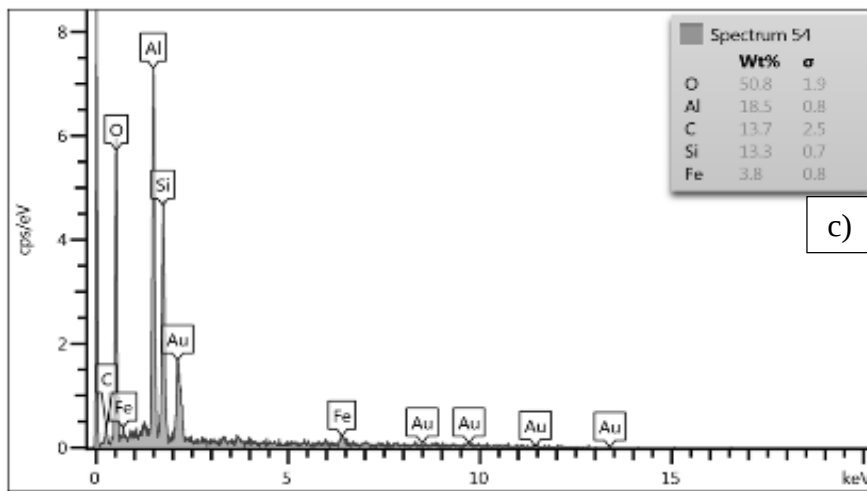
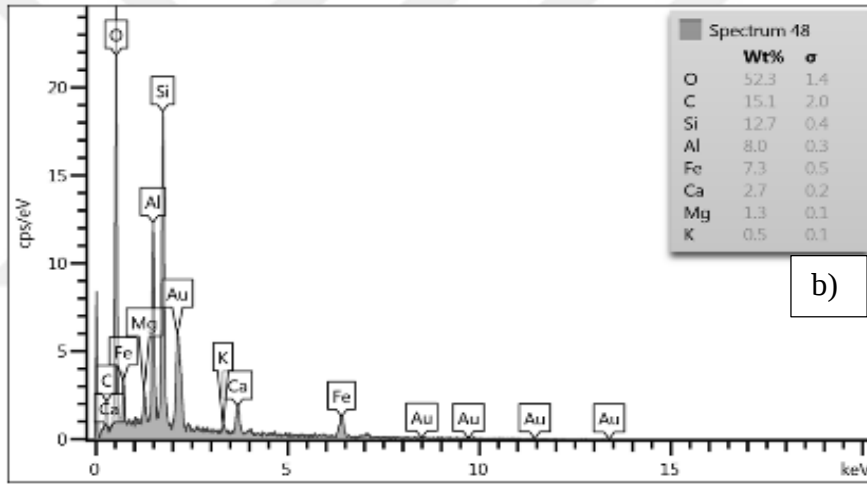
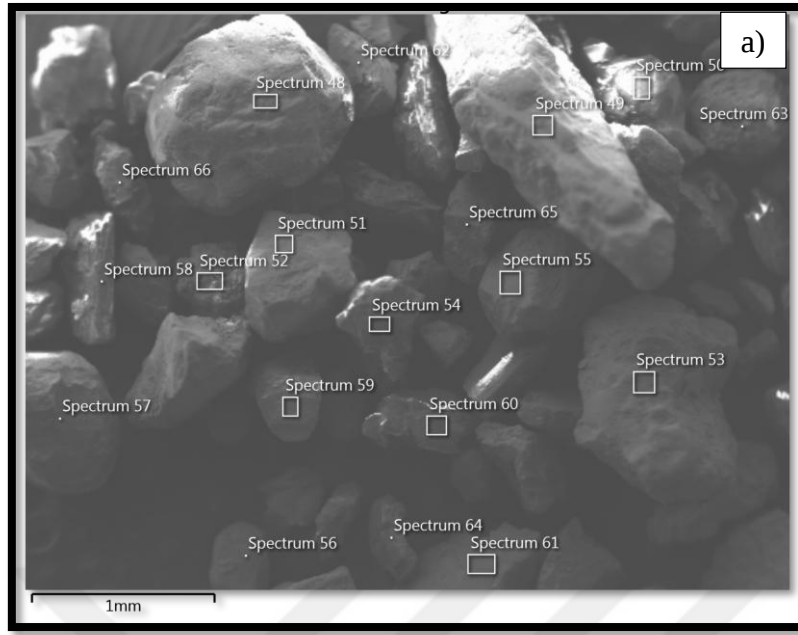
Hafif minerallerin ağırlıklı olarak kuvars ve daha az oranlarda feldspat minerallerinin bulunduğu analiz sonuçlarında da görülmektedir (Şekil 49). Ağır minerallerin manyetik özellikli olan kısmından manyetit, titanomanyetit ve kromit tanelerinin bulunduğu analizlerden görülebilmektedir (Şekil 50). SEM-EDX analizlerinden Manyetik özelliği az olan ağır mineraller olarak çoğunlukla bir garnet minerali olan almandin mineralinin bulunduğu tespit edilmiştir (Şekil 51).



Şekil 49. Hafif minerallere ait SEM görüntüsü (a); EDX analiz sonuçları (b-c)



Şekil 50. Manyetik özellikli ağır minerallerin SEM görüntüsü (a); EDX analiz sonucu (b-c)



Şekil 51. Ağır minerallere ait SEM görüntüsü (a); EDX analiz sonuçları (b-c)

3.4. Külçe Altın (Nugget) Etkisi Test Sonuçları

Madencilikte numune alma miktarıyla ilgili en yaygın kullanılan formüllerden biri Gy Formülü'dür. Bu formül, özellikle heterojen cevherlerden alınacak temsil edici numune miktarını hesaplamak için kullanılır (5) (Wills ve Napier-Munn, 2006). Tane boyutu dağılımını belirlemek amacıyla gereken numune miktarının hesaplanmasında Gy tarafından geliştirilen alternatif bir formül daha bulunmaktadır. Ancak çoğunlukla sadece tenor analizine yönelik alınan numunelerden, tane boyutu dağılımı, mineral içeriği ya da özgül ağırlık gibi diğer özelliklerin de belirlenmeye çalışılması durumunda, elde edilen sonuçlar gerçek değerleri tam olarak yansıtmayabilir.

Gy'nin Numune miktarı (5), Mineral İndeksi (6) ve Gy sabiti (7) denklemleri:

$$M = \frac{C \cdot d^3}{(s)^2} \quad (5)$$

$$m = \frac{1-a}{a} [(1-a)r + at] \quad (6)$$

$$C = f \cdot g \cdot l \cdot m \quad (7)$$

Şeklinde ifade edilebilir. Burada; M: Alınması gereken minimum numune miktarı (gram veya kg), C: Gy sabiti (malzemenin özelliklerine göre belirlenir, genellikle 0.5–1.0 arası), d: Cevher tane boyutu (mm), s: Örnek almadan kaynaklanan hata, a: Mineralin tenör (% olarak), r: Değerli mineralin yoğunluğu (g/cm³), t: Gangın yoğunluğu, f: Şekil katsayısı, g: ebad katsayısı, m: Mineral indeksi ve l: Serbestleşme faktörü olarak olarak alınmaktadır.

Gy denklemi günümüzde kullanılan tüm numune hesaplama yöntemleri arasında en gelişmiş ve en yaygın kullanılan yöntem olarak kabul görmektedir. Bunlar düşünüldüğünde mineral indeksi hesabını yapabilmek için ilgili formülden (6) yararlandığımızda aşağıdaki sonuca ulaşabiliriz:

$$m = \frac{1-0,000002}{0,000002} [(1 - 0,000002) * 19,32) + (0,000002 * 2,3)] = 9649963,7 \text{ g/cm}^3$$

$$C = 0,5 * 0,25 * 0,4 * 9649963,7 = 482498,2 \text{ g/cm}^3$$

Örnek almadan kaynaklanan hatanın %5 (s=0,05) olduğu kabul edilirse;

$$M = \frac{C \cdot 0,5^3}{(0,05)^2} = 24125 \text{ kg} = \sim 25 \text{ ton cevher.}$$

Bartlett ve Hawkins (1987) tarafından altın cevheri örneklemede %8 hata payı ($e=8$) ile minimum numune miktarını hesaplamak için uygulanmıştır. Ancak çeşitli parametreler için tipik değerler kullanıldığında yaklaşık 900 ton gibi oldukça büyük bir minimum numune kütlesine ulaşmıştır. Bartlett ve Hawkins (1987), bu değer gerçekte hayatta gerekli olan numune miktarlarından çok daha yüksek olduğunu belirtmiş ve bu nedenle Gy formülünün altında yatan varsayımları sorgulamışlardır. Bununla birlikte fazla miktarda numune alımı doğrudan maliyetleri artıracığından, gereksiz yere aşırı örnek toplamaktan kaçınılması gerektiği de düşünülmelidir (Geelhoed, 2011).

Plaser yataklardan alınan numuneler ile temsiliyeti sağlamanın zorluklarını belirlemek adına iki farklı numuneden (A, B) alınan beşerli örnek grupları yaş kimyasal analize tabi tutulduğunda elde edilen sonuçlar Tablo 15'te sunulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde aynı numuneden dikkatli bir şekilde alınan örneklerde dahi yaklaşık 5 kata kadar altın içeriğinin farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. A ve B numunelerinin ait örneklerin bağıl standart sapmaları sırasıyla %61,8 ve 57,9 olarak hesaplanmıştır. Bu durum örnek almanın zorluğunu ve yapılacak laboratuvar çalışmalarında ne kadar dikkatli olunması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Tablo 15. *Nugget* etkisi testleri örnek alma sonuçları

Numune Kodu	Örnek No.	Örnek Ağırlık (gr)	Au (g/t)	Bağıl Std Sapma. (%)
A	1	18,3	133,6	61,8
	2	21,7	43,1	
	3	31,9	79,8	
	4	28,1	56,5	
	5	34,3	25,4	
ORTALAMA			67,68	
B	1	29,7	31,0	57,9
	2	24,4	63,5	
	3	34,4	83,6	
	4	35,7	104,7	
	5	30,9	20,8	
ORTALAMA			60,72	

3.5. Jig Performans Testleri

Yapılan tenör tespit ve elek analizleri çalışmaları (Başlık 3.3) sonucunda I. oluk konsantresinin yüksek oranda altın (119,9 g/t) içerdiği ve direkt sallantılı masa ile zenginleştirmeye uygun olabileceğinin tespit edilmesi sebebiyle, tüm jig çalışmalarında cihaz performansının daha doğru bir şekilde tespiti için II. oluk konsantresi (44,21 g/t Au) “Besleme” olarak kullanılmıştır.

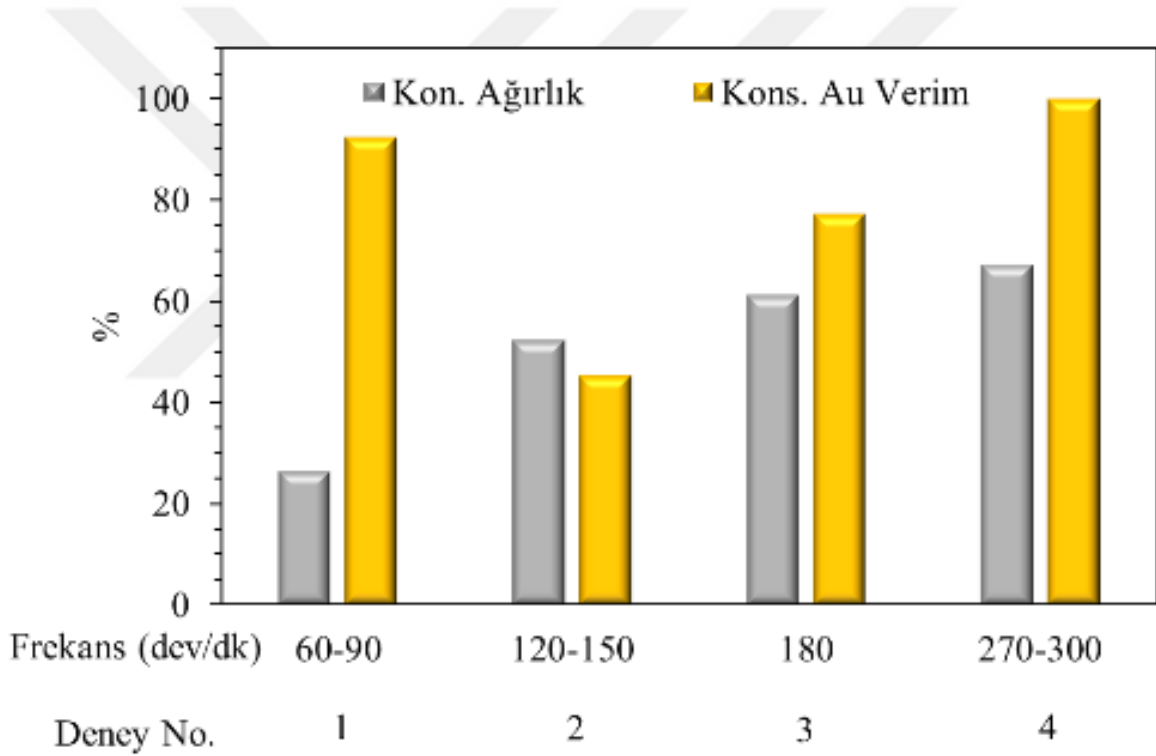
Jig performans testleri çerçevesinde, altın kazanma veriminin frekans değişimleri ile nasıl etkilendiği incelenmiştir. Bu aşamada, farklı frekans seviyelerinin jig verimi üzerindeki etkileri test edilmiştir. Ardından, sabit bir frekans değeri altında, yatak kalınlığının altın kazanma verimi üzerindeki etkisi, bilya ve iri atık malzeme (4 mm'den büyük parçalar) kullanılarak araştırılmıştır.

Frekansın jig ile altın kazanımına etkisini belirlemek için yapılan testlerin detaylı sonuçları Tablo 16’da, elde edilen konsantrelerin beslemeye göre ağırlıkça oranları ve altın verimleri ise Şekil 52’de sunulmuştur. Tablo 16’da görüldüğü üzere ara ürün olarak jigden taşarak halılarda tutulan malzemelerin, beslemeye göre miktarlarının (%0,4-1,65), altın içeriklerinin (1,35-6,37 g/t) ve verimlerinin (%0,42-1,65) çok düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durum jig performans testlerinde tercih edilen su basıncının (1,5 bar) yüksek olmasından kaynaklandığını ve ara ürün halılarında tutulması muhtemel altının atığa kaçmasına neden olduğu şeklinde yorumlanabilmektedir. Jig çalışmalarında daha düşük basınçlarda su beslenmesi daha zengin ara ürünler elde edilmesine imkân tanıyacaktır.

Tablo 16. Jig performansına frekansın etkisi

Frekans	Ağırlık,%			Au Tenör, g/t			Au Verim (%)		
	Kons	Ara Ü.	Atık	Kons.	Ara Ü.	Atık	Kons.	Ara Ü.	Atık
60-90	26,6	1,26	72,2	153,78	6,37	4,57	92,4	0,15	7,47
120-150	52,5	0,42	47,1	38,23	2,16	51,26	45,4	0,02	54,6
180	61,4	1,65	37,0	55,65	1,35	27,16	77,2	0,04	22,7
270-300	67,2	0,90	31,9	79,16	1,54	0	100	0,03	0

Şekil 52’da de görüleceği gibi jig frekansındaki artış miktar olarak daha fazla konsantre elde edilmesine neden olmuştur. Beklenildiği üzere konsantre miktarı ağırlıkça arttıkça konsantreye giden altın içeriği de artacaktır ve dolayısıyla altın kazanma verimi daha yüksek olacaktır. Söz konusu verimlerdeki artış Şekil 52’de 2, 3 ve 4. deneylerde net bir şekilde görülmektedir. Ancak çok düşük frekansta (60-90 dev/dk) gerçekleştirilen 1. deney sonuçlarına bakıldığında hem konsantre miktarının beslemeye göre en düşük olduğu (%26,6) hem de altın veriminin en yüksek olduğu (%92,4) olduğu görülmektedir. Buna göre jigi düşük frekansta kullanmak besleme içerisindeki özgül ağırlığı yüksek tanelerin emme-basma hareketinin yavaş olması sebebiyle aşağı yönlü hareket etmesine daha temiz şekilde konsantre elde edilmesine imkân tanıyacaktır.



Şekil 52. Jig performansına frekansın etkisi

Jig performansına yatak kalınlığının etkisi incelendiği testlerin sonuçları Tablo 17’de sunulmuştur. Yatak kalınlığının 2 kat artması ile birlikte beslemeye göre konsantre miktarı ağırlıkça %4,8 azalırken (%26,7’den %21,9’a) altın kazanma verimi %12,5 artmıştır. Buna göre yatak kalınlığının artması ağırlıkça daha düşük miktarda yüksek altın içerikli ürün elde edilmesine yani verim artışına neden olmuştur.

Tablo 17. Jig performansına yatak kalınlığının etkisi (bilya)

Deney No.	Frekans	Yataktaki Bilya Miktarı (kg)	Besleme Ağırlık (kg)	Konsantre Ağırlık (%)	Konsantre Verim (%)
5	180	26	8,4	21,9	64,4
6	180	13	8,4	26,7	51,9

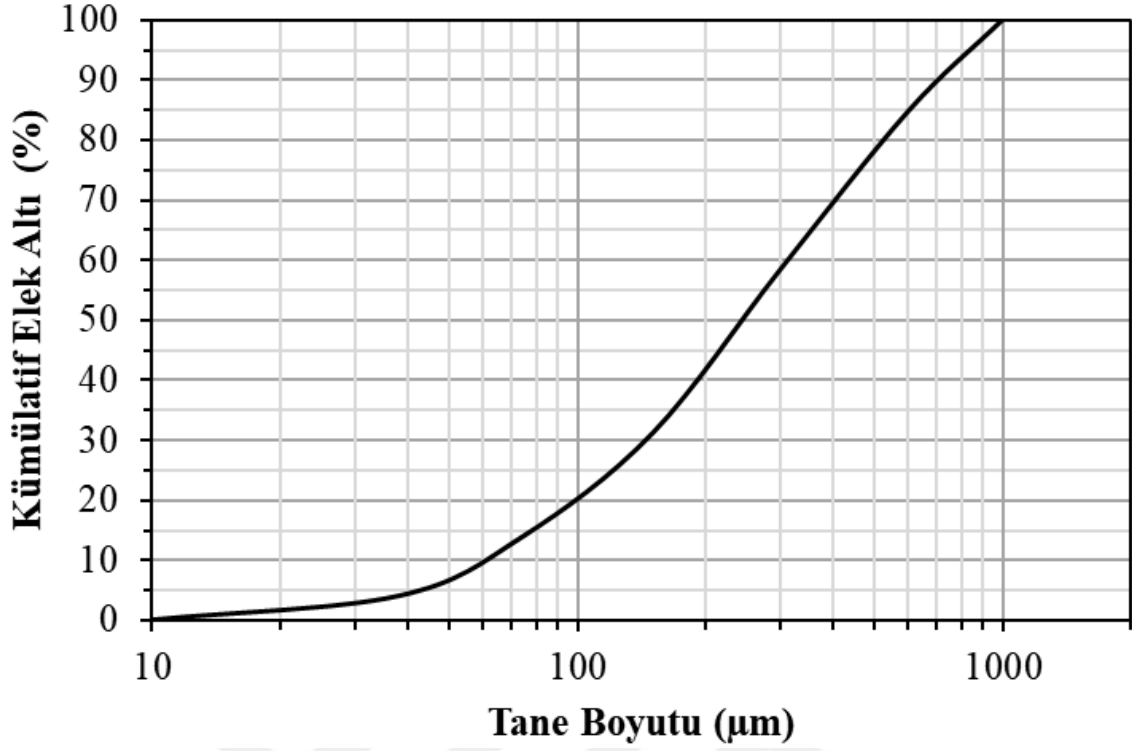
Jig performansına yatak kalınlığının etkisini incelemek amacıyla yapılan testler sonrasında benzer koşullarda yatak malzemesinin tamamının bilyadan ve bilya + iri atıktan oluştuğu testler gerçekleştirilmiştir. Bu testlerin sonuçları, beslemeye göre konsantre miktarları ağırlıkça çok yakın (sırasıyla %20,0 ve %21,9) olmakla birlikte altın kazanma verimlerinin sadece bilya kullanılması durumunda 2 kattan daha fazla (%29,8'den %64,4'e) arttırdığını göstermektedir. Başka bir deyişle doğru boyutlarda ve miktarda sadece bilya ile oluşturulan yatak jig performansını olumlu etkilemektedir (Tablo 18).

Tablo 18. Jig performansına yatak kalınlığının etkisi (bilya ve iri atık)

Deney No.	Frekans	Yataktaki Bilya Miktarı (kg)	Besleme Ağırlık (kg)	Konsantre Ağırlık (%)	Konsantre Verim (%)
5	180	26B*	8,4	21,9	64,4
7	180	13B* + 13A*	9,2	20,0	29,8

* B: Bilya; A: İri atık

Jig çalışmaları sonrasında elde edilen konsantrelere, beslemeye göre boyut ve altın dağılımının nasıl değiştiğini belirlemek için elek analizi işlemi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 53 ve Tablo 19'da sunulmuştur. Şekil 53 incelendiğinde, jig konsantresinin beslemeye benzer şekilde, %80'inin 580 μm altındaki (d_{80}) partikül boyutuna sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu bulgu, II. oluk konsantresi için Tablo 11'de sunulan verilerle tutarlıdır. Konsantrenin altın içeriğinin ise %63,4'ünün -600+300 μm aralığında olduğu görülmektedir (Tablo 19).



Şekil 53. Jig konsantresi kümülatif elek altı grafiği

Tablo 19. Jig konsantresinin elek analizi sonuçları

Boyut Aralığı (mm)	Miktar, %		Tenör, g/t	Dağılım, %	ΣElek Altı Dağılım, %
	Ağırlık	ΣElek Altı	Au	Au	Au
-1,0+0,60	16,2	100,0	101,29	12,5	100,0
-0,60+0,30	39,1	83,8	212,80	63,4	87,5
-0,30+0,15	34,5	44,7	48,68	12,8	24,1
-0,15+0,074	8,88	10,3	124,34	8,43	11,3
-0,074	1,39	1,39	267,19	2,84	2,84
TOPLAM	100,0	-	131,07	100,0	-

4. SONUÇLAR

Tez kapsamında Manisa Bölgesinde bulunan plaser altın yatağından altın kazanımına yönelik prosesin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu doğrultuda cevher yatağının ve proseste elde edilen ürünlerin karakterizasyon işlemleri, külçe altın etkisi testleri ve jig performans testleri gerçekleştirilmiştir. Jig performans testlerinde frekans, yatak kalınlığı ve yatak malzemesinin etkileri incelenmiştir.

Cevher yatağından alınan tüvenan cevherin 0,019 g/t Au, 0,156 g/t Ag içerdiği tespit edilmiştir. Cevher içerisinde hematit, rutil, ilmenit gibi minerallerin yanısıra feldspat, anortit, spinel ve kromit gibi minerallere de rastlanmıştır. Cevher içerisinde 0,1 mm'den daha iri boyutlara ulaşabilen farklı boyutlarda serbest altın taneleri görülmüştür. Bu altın tanelerinin saf olduğu, gümüşün ayrı bir mineral fazına eşlik ettiği belirlenmiştir. Külçe altın etkisinin prosesin her aşamasında örnek almayı zorlaştırdığı ve örneklerin analizlerinde önemli tenör farklılıklarına neden olduğu tespit edilmiştir.

Sahadan elde edilen I. konsantresinde altın ve gümüş içeriğinin sırasıyla 10.000 kat ve 35 kat artmaktadır. Bu sonuçlar cevher içerisinde daha yüksek oranda bulunmasına rağmen gümüşün zenginleşme oranının oldukça düşük olduğu ve atığa kaçtığını göstermektedir. Benzer durum 44,21 g/t Ag tenörüyle elde edilen II. Oluk konsantresinde de gözlenmektedir. Elek analizleri, plaser yataktaki cevherin içerisindeki altının %54,7'sinin, gümüşün ise %47,5'inin -74 µm gibi çok düşük tane boyutunda bulunduğu göstermektedir. Oluk konsantrelerine ait elek analizleri değerlendirildiğinde ince boyutlu ürünün ayrılması ile jig ve/veya sallantılı masaya beslenebilecek ön konsantrelerin verimli bir şekilde ayrılacağı hesaplanabilmektedir. Böylece kapasite kullanımı artabilecektir.

Jig ayırmasında frekansın artışı ile konsantre miktarı artmıştır. Bunun yanında özellikle en düşük frekans aralığı olan 60-90 dev/dk'da daha temiz konsantreler yüksek verimler (>%92) ile elde edilmiştir. Yatak kalınlığının artması altın kazanma verimlerini arttırmıştır. Yatak malzemesi olarak iri cevher taneleri yerine metal bilya kullanımı, jig performansını olumlu etkilemiştir. Elde edilen jig konsantrelerinin ince boyutlarda altın içeriği azalmıştır. Uygun çalışma koşullarında çalışan bir jig ile uygulanacak bir ön zenginleştirme işleminin ilerleyen aşamalarda iş yükünü azaltacağı, su sarfiyatı ve zamandan önemli ölçüde tasarruf sağlayabileceği ortaya konulmuştur.

5. ÖNERİLER

Plaser yataklardan altın kazanımında, manyetit, titanomanyetit ve garnet gibi ağır minerallerin konsantre edilmesine yönelik olarak manyetik ayırma ve/veya gravite ayırma sistemlerinin etkinliğinin araştırılması önem arz etmektedir. Bu kapsamda, söz konusu minerallerin ayrıştırılmasına yönelik uygun teknoloji ve ekipmanların seçimi üzerine detaylı çalışmalar yapılması önerilmektedir. Ayrıca, ince taneli altın partiküllerinin sistem dışına kaçışını en aza indirmek amacıyla, oluk tipi zenginleştirme sistemlerinin tasarım parametrelerinin optimize edilmesi gerekmektedir. Oluk geometrisi, akış hızı ve besleme miktarı gibi operasyonel değişkenlerin yeniden değerlendirilmesi tavsiye edilmektedir.

Çalışma sahasındaki kuvars içeriğinin değerlendirilmesi açısından, kuvarsın yan ürün olarak üretimi ve bu üretimin ekonomik potansiyelinin belirlenmesine yönelik araştırmaların yapılması yerinde olacaktır. Bu durum, saha kaynaklarının daha etkin ve sürdürülebilir kullanımını destekleyecektir.

Son olarak, zenginleştirme işlemi sonucunda atık olarak ayrılan fraksiyonlarda yer alan ince boyutlu altın kayıplarının geri kazanımına yönelik olarak, çevre dostu reaktifler kullanılarak kimyasal kazanım yöntemlerinin değerlendirilmesi önerilmektedir. Bu tür alternatif süreçlerin hem çevresel sürdürülebilirlik hem de ekonomik verimlilik açısından katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Ahlatcı, F., Yazıcı, E. Y., Celep, O., & Deveci, H. (2017a). Tiyosülfat ile altın ve gümüş liçinin temelleri – Bölüm I. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 56(3), 117–130. <https://doi.org/10.30797/madencilik.390779>
- Ahlatcı, F., Yazıcı, E. Y., Celep, O., & Deveci, H. (2017b). Tiyosülfat liçi: Yüklü liç çözeltilerinden altın kazanımı ve endüstriyel uygulamalar – Bölüm II. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 56(4), 197–213. <https://doi.org/10.30797/madencilik.391972>
- Akçıl, A. (2014). Siyanür yönetilebilir bir kimyasal mı? *Madencilik Türkiye*, Nisan, 68–72.
- Akçıl, A., Çiftçi, H., & Öztürk, T. (2007). Altın kazanımında tiyosülfat liçi uygulaması. *Madencilik*, 46(4), 31–45.
- Alpan, T. (1980). *Salihli ve civarı altın aramaları, Bölüm 2: Salihli-Sart Köyü yöresi jeolojisi ve şart plaserlerinin altın yönünden değerlendirilmesi* (MTA Raporu, 1–2).
- Arslan, İ. (2011). *Salihli plaser kumlarından ağır mineral kazanımı* (Yüksek Lisans Tezi). Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği ABD, Ankara.
- Boyle, R. W. (1979). *The geochemistry of gold and its deposits*. Geological Survey of Canada Bulletin, 280, 584 s.
- Celep, O. (2005). *Mastra ve Kaletaş (Gümüşhane) cevherinden altın kazanımı* (Yüksek Lisans Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği ABD, Trabzon.
- Celep, O., Alp, İ., Deveci, H., Vıçıl, M., & Yılmaz, T. (2006). Knelson santrifüj gravite ayırıcısıyla Mastra (Gümüşhane) cevherinden altın kazanımı. *İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi*, 19(2), 175–182.
- Frimmel, H. E. (2008). Earth's continental crustal gold endowment. *Earth and Planetary Science Letters*, 267, 45–55. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2007.11.022>
- Geelhoed, B., 2011. Is Gy's formula for the Fundamental Sampling Error accurate? Experimental evidence. *Minerals Engineering*, 24(2), 169–173.
- Habashi, F. (2016). Gold – An historical introduction. In M. D. Adams (Ed.), *Gold Ore Processing: Project Development and Operation* (pp. 2–20).
- Huang, L. (1996). *Upgrading of gold gravity concentrates: A study of the Knelson concentrator* (Doktora Tezi). McGill University, Department of Mining and Metallurgical Engineering.
- Knelson, B., & Jones, R. (1993). A new generation of Knelson concentrators: A totally secure system goes on line. *Mineral Engineering*, 7, 201–207.

- Laplante, A. R., Woodcock, F., & Noaparast, M. (1995). Predicting gravity separation gold recovery. **Mining, Metallurgy & Exploration**, 12, 75–79. <https://doi.org/10.1007/BF03403081>
- Ling, P. (1994). **A kinetic study of gold ore by cyanidation** (Master of Science Tezi). University of Toronto.
- Marsden, J.O. ve House, C.L., 2006. The Chemistry of Gold Extraction, SME, Colorado, 651 s.
- Melchiorre, E. B., Orwin, P. M., Reith, F., Rea, M. A. D., Yahn, J., & Allison, R. (2018). Biological and geochemical development of placer gold deposits at Rich Hill, Arizona, USA. **Minerals**, 8(56). <https://doi.org/10.3390/min8020056>
- Özer, M. (2022). Plaser cevherlerden altın kazanımı. **Madencilik Türkiye Dergisi**, 106, 52–62.
- Pistilli, M. (2024). What makes a world-class gold deposit? **Investing News Network**. <https://investingnews.com/daily/resource-investing/precious-metals-investing/gold-investing/what-makes-a-world-class-gold-deposit/> (Erişim tarihi: 10.02.2025)
- Ren, X., Li, Q., Zhang, Y., & Liu, D. (1994). A new centrifugal separator for recovering minerals from fine and ultrafine sizes. In **Innovations in Minerals Processing** (pp. 349–355). Sudbury.
- Uzkut, İ., & Semerkan, O. (1980). Salihli-Sart plaserinde ağır mineral dağılımı ve değerlendirilmesi. **Bilimsel Madencilik Dergisi**, 19(4), 5–25.
- Ünal, İ. H., Tuncel, S., Yörel, B., & Arslan, M. (2016). **Türkiye ve dünyada altın**. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Teknik Raporu, 35 s.
- Xiao, J. (1998). **Testing a new gold centrifugal concentrator** (Master of Science Tezi). McGill University, Department of Mining and Metallurgical Engineering.
- Yalçın, N. (1992). Plaser yatakları. **Coğrafya Dergisi**, 3, 189–194.
- URL-1. (2024). Plaser yatakların oluşumları: <https://dasenmining.com/the-river-has-gold-how-can-it-be-cleaned/> adresinden alınmıştır (Erişim tarihi: 10.02.2025).
- URL-2. (2024). Plaserlerin altın yatakları. <http://earthsci.org/mineral/mindep/auplace/auplace.html> adresinden alınmıştır (Erişim tarihi: 10.02.2025).
- URL-3. (2024). Plaser (Kırıntı) yatakları. <https://web.itu.edu.tr/~gultekin/plaser.htm> adresinden alınmıştır (Erişim tarihi: 10.02.2025).
- URL-4. (2016), Örneklemde Altın Nugget Etkisi Tanımı. <https://www.911metallurgist.com/blog/gold-nugget-effect-definition-in-sampling/> adresinden alınmıştır (Erişim tarihi: 10.02.2025).

ÖZGEÇMİŞ

İlk ve ortaöğretimini 23 Nisan İlköğretim Okulu'nda tamamladı. Lise eğitimini 100. Yıl Yabancı Dil Ağırlıklı Lise'de tamamladıktan sonra 2007 yılında Selçuk Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümünü kazandı. Mezun olmasının ardından 2012 yılında yeraltı metalik madenlerde işe başladı. 7 yıllık saha tecrübesinin ardından, maden firmalarına danışmanlık yapan bir şirkette görevine devam etmektedir. İyi derecede İngilizce bilmektedir.

