



BATI ANADOLU LİNYİTLERİNİN GRAVİTE BAZLI KURU YÖNTEMLERLE
ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

Tan ÇETİNEL

Doktora Tezi

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Şubat – 2017

BATI ANADOLU LİNYİTLERİNİN GRAVİTE BAZLI KURU YÖNTEMLERLE
ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

Tan ÇETİNEL

Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalında
DOKTORA TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Doç. Dr. Cengiz KARAGÜZEL
Ortak Danışman: Doç. Dr. Feridun BOYLU

Şubat - 2017

KABUL VE ONAY SAYFASI

Tan ÇETİNEL'in DOKTORA tezi olarak hazırladığı BATI ANADOLU LİNYİTLERİNİN GRAVİTE BAZLI KURU YÖNTEMLERLE ZENGİNLEŞTİRİLMESİ başlıklı bu çalışma, jürimizce Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

24/02/2017

Üye : Doç. Dr. Cengiz KARAGÜZEL (Danışman)

Üye : Prof. Dr. Mehmet Sabri ÇELİK

Üye : Doç. Dr. Kenan ÇİNKU

Üye : Doç. Dr. Oktay ŞAHBAZ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Uğur DEMİR

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../2017 gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hasan GÖÇMEZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan bu tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizinde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının % 3 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.

Danışman Adı Soyadı

Doç. Dr. Cengiz KARAGÜZEL

Öğrenci Adı Soyadı

Tan ÇETİNEL

BATI ANADOLU LİNYİTLERİNİN GRAVİTE BAZLI KURU YÖNTEMLERLE ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

Tan ÇETİNEL

Maden Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi, 2017

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Cengiz KARAGÜZEL

Ortak Danışman: Doç. Dr. Feridun BOYLU

ÖZET

Dünya’da katlanarak artan enerji ihtiyacı, enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesini ve verimli olarak kullanımını gerektirmektedir. Dünyada üretilen enerjinin en büyük kısmı fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Fosil yakıtları içerisinde ise kömür, kullanım oranları, geniş rezervleri ve dünya üzerinde birçok bölgede bulunması dolayısıyla ön plana çıkmaktadır.

Ülkemiz kömür açısından oldukça geniş rezervlere sahip olmakla birlikte, rezervlerimizin büyük kısmını, yüksek nem, kül ve kükürt içeriğine sahip, yanma ürünleri (kükürt dioksit, azot oksitler ve partikül maddeler) nedeniyle çevresel problemlere neden olan düşük kaliteli linyitler oluşturmaktadır. Ekonomik çıkarlarımız nedeniyle bu kaynaklarımızın yanma öncesi yeni teknolojiler yardımıyla iyileştirilmesi gerekmektedir. Düşük kaliteli kömürlerin kül ve kükürtü uzaklaştırılarak iyileştirilmesi mümkün olup, bu amaçla genellikle yüksek miktarda suyun kullanıldığı teknikler kullanılmaktadır. Küresel ısınma ve iklim değişiklikleri sebebiyle büyük bir problem haline gelen su sıkıntısı, bununla birlikte özellikle Rusya gibi soğuk ülkelerde kış aylarında gözlenen donma problemi sebebiyle günümüzde kuru zenginleştirme yöntemleri ön plana çıkmıştır. Kuru zenginleştirme yöntemleri 1930–1990 yılları arasında uygulanmış ancak daha sonra düşük ayırma verimleri ve kapasiteleri sebebiyle popülaritesini yitirmiş olan kuru zenginleştirme yöntemleri bugünlerde tekrar gündeme gelmiş ve yüksek ayırma verimi ve kapasitesine sahip yeni teknoloji kuru zenginleştirme cihazlarının gelişimine yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Kuru zenginleştirme yöntemlerinin su sıkıntısı ve donma problemlerini önlemede önemli bir avantaj olmasının yanı sıra, özellikle zenginleştirme sonrasında elde edilen ürünlerin susuzlandırma probleminin ortadan kaldırılması, bu işlemi hem ekonomi hem de çevresel etki açısından çok daha avantajlı konuma getirmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında, Soma Bölgesinden TKİ’ye ait üç farklı (İmbat yeraltı, Sarıkaya, Eynez açık ocak) sahadan tüvenan kömür numuneleri alınmıştır. Karakterizasyon ve yüzdürme batırma testleri yapılan örnekler, laboratuvar çaplı AKAFLOW ve ALL AIRJIG’i ile kuru zenginleştirme testlerine tabi tutulmuştur. Kuru zenginleştirme testlerinde nem faktörü,

boyut faktörü vb. parametreler sistematik olarak araştırılmıştır. Laboratuvar ortamında elde edilen sonuçlardan yararlanılarak, TÜBİTAK 109G045 no'lu proje kapsamında ALL MINERAL firması tarafından Soma'da kurulan 20 t/h kapasiteli, pilot çaplı ALL AIRJIG ile test edilmiş ve sonuçlar irdelenmiştir.

Çalışmalar sonunda kuru zenginleştirmeye en yatkın sahanın İmbat sahasına ait kömürler olduğu belirlenmiştir. Bu sahadan alınan örnekler ile yapılan kuru zenginleştirme testleri sonunda -4+1 mm boyutundaki kömür, AKAFLOW ile % 31,7 kül içeren örnekten % 25,35 kül içeren lave % 23,8 ayırma etkinliği ile kazanılırken, ALL AIRJİG'i ile % 20,1 kül içeren lave % 38,8 ayırma etkinliği ile elde edilmiştir. -13+4mm boyutunda ise ALL AIRJİG'i ile % 14,2 kül içeren lave % 49,8 ayırma etkinliği ile elde edilmiştir. Aynı örneğin pilot ölçekli testleri sonunda da % 19,74 kül içeren lave kazanılmıştır.

Kuru zenginleştirme ile yapılan laboratuvar ve pilot çaplı testler kuru zenginleştirmenin bazı cevher oluşumları için yaş yöntemlere alternatif olabileceğini göstermektedir. Gelecekte yaşanacak su problemleri ve teknolojik gelişmeler düşünüldüğünde kuru yöntemlerin daha avantajlı duruma geleceği kaçınılmaz bir gerçektir. Ülkemizde kuru zenginleştirme yöntemlerinin geliştirili ve uygulanmasına yönelik Üniversite-Sanayi işbirliği içerisinde Ar-Ge çalışmalarının yapılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Linyit, Gravite, Kuru Zenginleştirme, Hava Akışı, Havalı Jig,

THE BENEFICIATION OF WESTERN ANATOLIAN LIGNITES BY GRAVITE BASED ON DRY METHODS

Tan ÇETİNEL

Mining Engineering Department, Doctorate Thesis, 2017

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Cengiz KARAGÜZEL

Thesis Co Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Feridun BOYLU

SUMMARY

The rise in energy demand is proportionate to the growth of the world population. Such an urgency mandates diversification and efficient deployment of energy resources. Fossil fuels are still an integral part of energy production. Coal, with its vast reserves, world-wide availability and high rates of utilization, remains in the forefront. Developing countries, for the most part, exploit coal to cover their energy needs.

Turkey has capacious coal rezerved but the majority of it consists of low quality lignite which cause environmental problems due to combustion products (sulfur dioxide, nitrogen oxides and particulate matter) with high humidity, ash and sulphur content. Due to our economic interests, these resources need to be improved with the help of new technologies before burning. It is possible to improve low quality coal by removing ash and sulfur. For this purpose, techniques are used which generally use high amounts of water. It's known that such a composition poses severe environmental threats. Strict legislations enforce new technologies to improve coal before combustion in order to control pollutants like sulphur dioxide, nitrogen oxide and particles. In the midst of ever growing air pollution since late 1980's, Turkey faced the dilemma of reforming the treatment of its coal resources against importing high quality, high-priced coal.

Within the scope of this thesis, samples of three different (Imbat u.g., Sarıkaya, Eynez o.p.) landfill coal samples belonging to TKI from Soma Region were taken. The samples subjected to characterization and float - sink tests were subjected to dry beneficiation tests with laboratory-scale AKAFLOW and ALL AIRJIG. Moisture content factor, grain size factor etc. in dry beneficiation tests. parameters were systematically researched. Using the result of obtained in the laboratory scale, A pilot scale ALL AIRJIG by ALLMINERAL company, with a capacity of 20 t / h constructed by SOMA with in the scope of TUBITAK the project number 109G045 and the results were examined.

We extracted lignite from various sources across Turkey and put it through a dry beneficiation process. The deliverables are ash and sulphur free fuel and development of a new technology which is in turn expected to considerably curb the transport costs in open pit and underground mining under TKİ administration. Based on the evidence presented by a pilot enrichment rig, this paper proposes significant contribution to the generation of quality products and TKİ's energy policies in the upcoming decades.

This thesis, it was determined that the coal that belongs to the Imbat – Soma region is the most susceptible to dry beneficiation. At the end of the dry beneficiation tests made with samples taken from this area, coal with particle size of $-4 + 1$ mm was obtained with AKAFLOW, 25.35% ash containing lumps from % 31.7 ash sample with 23.8% separation efficiency. On the other hand the lumps containing % 20.1 ash was obtained by ALLAIR JIG experiment with % 38.8 separation efficiency. Particle size of $-13 + 4$ mm, it was obtained 14.2% ash containing lumps with 49.8% separation efficiency by ALL AIRJIG. At the end of the pilot scale tests of the same sample, 19.74% ash was recovered.

Lab-scale and pilot-scale tests with dry beneficiation show that dry beneficiation may be an alternative to wet beneficiation for some ore occurrences. Considering future water problems and technological developments, it is inevitable that dry methods will come to a more advantageous position. It is suggested that R & D studies should be carried out in cooperation with Universities and Industry for the development of dry beneficiation methods in our country.

Keywords: Lignite, Gravity, Dry Beneficiation, Air Flow, Air Jig.

TEŞEKKÜR

İncelemekte olduğunuz bu eser, deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesinin yanısıra, projenin kapsamı bakımından, numunenin sahalardan alınması, hazırlanması ve analizleri aşamalarında insan fizyolojisini son derece yoran bir çalışma olmuştur. Bu sebeple, 3 yılı aşkın bir süre içerisinde bir insanın tek başına üstesinden gelebileceği bir tez çalışması olmamıştır.

Yıllara sirayet eden bu çalışmada, özellikle emek yoğun çalışmalarda yanımdan hiç ayrılmayan Ömer Kurulu arkadaşım'a, yarı pilot tesisin kurulmasında ve deneysel çalışmaların her aşamasında her zaman yanımda olan abimiz Dr. İbrahim Ethem Karaağaçlı hocam'a, özellikle analizlerin yapılmasında emeği geçen Dr. Onur Güven'e, teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Tezimin en başından beri teknik olarak çalışmama yardımcı olan, deneylerin kurgulanması ve yapılmasında, endüstriyel boyutta pilot tesis çalışmalarında yönlendirmeleri ile yardımcı olan Doç. Dr. Kenan Çinku hocam'a,

Yüksek Lisans'ımın başlangıcından bu güne kadar beni destekleyen, doğru yönlendirmeleri ile tezimin oluşmasında yüksek katkılarından dolayı hocam Doç. Dr. Cengiz Karagüzel'e,

Yüksek Lisans'a başladığım zamandan bu yana yaklaşık 10 senedir, her ne şartta olursa olsun, beni her zaman desteklemiş, yönlendirmiş, gerektiğinde zorlamış, yapılan çalışmalarda bilimsel anlamda gelişmemi ve bu günlere gelmemi sağlamış sayın Prof. Dr. Mehmet Sabri Çelik hocam'a,

Ayrıca, Tezimin konusunun belirlenmesinde, oluşumunda, gerçekleştirilmesi aşamalarında, projenin ilerlemesinde yapmış olduğu katkılar ile önderlik eden, bilimsel anlamda gelişimime katkı sağlayan, aynı zamanda tezimde eş danışmanı olan Doç. Dr. Feridun Boylu hocam'a

En derin saygılarımı iletir, teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, uzun süre zarfında bir çok lisans öğrenimini gören arkadaşımız projenin ve tezin gerçekleşmesinde katkıları olmuştur. İsimlerini anmam gereken diğer kişiler ise, Deniz Karataş, Doç. Dr. Fırat Karakaş ve Doç. Dr. Mustafa Çınar hocalarımdır.

Son olarak, sonuçların doğru, tatminkar ve gerçeği daha iyi simüle edebilmesi açısından uzun süre Soma'da Endüstriyel çaplı pilot tesiste çalışmak sureti ile ailemden, sevdiklerimden, çocuklarımdan uzak kaldım. Bu nedenle okumakta olduğunuz bu tezi annem'e, babam'a, kardeşime, oğullarım Kuzey'im ve Ege'me ve biricik Eşim Seher'e armağan ediyorum.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xviii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxv
1. GİRİŞ	1
2. KÖMÜR HAKKINDA GENEL BİLGİ.....	4
2.1. Kömürün Tanımı	4
2.2. Kömürün Sınıflandırılması.....	4
2.3. Kömürün Oksidasyonu.....	5
2.4. Kömürün İçerdiği Mineral Bileşenler	6
2.5. Kömür Hazırlamada Yararlanılan Mineral Özellikleri	6
2.6. Kömürün Zenginleştirilmesi	7
3. KURU ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ	9
3.1. Genel Bilgi	9
3.2. Kuru Kömür Zenginleştirme Yöntemleri	11
3.2.1. Elle ayıklama	11
3.2.2. Döner kırıcılar ile zenginleştirme.....	11
3.2.3. Havalı masa.....	12
3.2.4. FMC Seperatörü.....	14
3.2.5. Havalı jig.....	14
3.2.6. FGX Ayırıcısı	17
3.2.7. Ağır ortamlı havalı ayırıcılar.....	20
3.2.8. Aerodinamik ayırıcılar	22
3.2.9. Elektrostatik ayırma	22
3.2.10. Yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcılar	24
3.3. Havalı Ayırıcılarda Akışkanlandırma Karakteristiği	25

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	29
4.1. Malzeme ve Yöntem	29
4.1.1. Malzeme.....	29
4.1.1.1. Kömür numunelerinin standart, kimyasal ve petrografik analizleri	32
4.1.1.2. Yüzdürme batırma testleri	40
4.1.2. Yöntem.....	55
4.1.2.1. Sürekli çalışan AllAir jig	55
4.1.2.2. Kesikli çalışan AllAir jig	56
4.1.2.3. Akaflo havalı masa	57
4.1.2.4. Pilot çaplı AllAir jig.....	59
5. KURU ZENGİNLEŞTİRMEDE OPTİMUM ŞARTLARIN BELİRLENMESİ.....	63
5.1. Sürekli Çalışan Allair Jiginde Uygun Çalışma Boyutunun Seçimi	63
5.1.1. -13+4 mm Boyut grubunda yapılan optimum şartların belirlenmesi çalışmaları... 67	
5.1.1.1. Temiz lave alımına yönelik optimum şartların belirlenmesi çalışmaları ... 67	
5.1.1.2. Temiz şist atımına yönelik optimum çalışma şartlarının belirlenmesi..... 73	
5.1.1.3. -13+4 mm Boyut grubu, optimum parametrelerin belirlenmesi sonucunda ulaşılan nihai zenginleştirme sonuçları.....	79
5.1.2. -4+1mm Boyut grubunda yapılan optimum şartların belirlenmesi çalışmaları..... 83	
5.1.2.1. Temiz lave alımına yönelik optimum şartların belirlenmesi çalışmaları ... 83	
5.1.2.2. Temiz şist atımına yönelik optimum şartların belirlenmesi çalışmaları 88	
5.1.2.3. -4+1mm Boyut grubu, optimum şartların belirlenmesi çalışmaları sonucunda ulaşılan nihai, zenginleştirme sonuçları.....	92
5.2. Akaflo Optimum Çalışma Parametrelerinin Belirlenmesi.....	94
5.2.1. -4+1 mm Fraksiyonunun optimum ayırma şartlarının belirlenmesi..... 95	
5.2.1.1. Temiz lave alımına yönelik optimum şartların belirlenmesi..... 95	
5.2.1.2. Temiz atık atımına yönelik optimum şartların belirlenmesi	98
5.2.2. -1mm Fraksiyonunun optimum şartlarının belirlenmesi..... 102	
5.2.2.1. Temiz şist atımına yönelik optimizasyon..... 102	
5.2.2.2. Temiz lave alımına yönelik optimum şartların belirlenmesi..... 103	
5.2.2.3. -1mm Boyut grubunda yapılan optimum şartların belirlenmesi çalışmaları nihai sonuçları	103
5.3. Sürekli Çalışan Allair Jiginde Kömür Neminin Ayırma Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi	108
5.3.1. -13+4 mm Boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme çalışmalarında nem etkisi.....	111
5.4.1. -4mm Boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme çalışmalarında nem etkisi ..	114
5.4. Kesikli Allair Jiginde İri ve İnce Boyutta Yapılan Ayırma Deneyleri	118
5.4.1. -13+4 mm Boyut grubunda kesikli çalışan allair jigi uygulaması	118

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

5.4.2. -30+4 mm Boyut grubunda kesikli çalışan allair jigi uygulaması	119
5.4.3. -50+4 mm Boyut grubunda kesikli çalışan allair jigi uygulaması	120
5.4.4. Farklı boyut gruplarında yapılan kesikli çalışan allair jigi uygulamasının karşılaştırılması.....	121
6. LABORATUVAR ÖLÇEKTE KURU ZENGİNLEŞTİRME DENEYLERİ	125
6.1. Soma Kömür Örnekleri Üzerinde Yapılan Kuru Zenginleştirme Çalışmaları.....	125
6.1.1. Soma İmbat kömürünün kuru zenginleştirilmesi	126
6.1.1.1. Soma İmbat kömür numunesinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri ...	126
6.1.1.2. Soma İmbat kömürünün fraksiyonel bazda yıkanabilirlikleri	128
6.1.1.3. Soma İmbat kömürleri ile fraksiyonel bazda kuru zenginleştirme sonuçları.....	132
6.1.2. Soma Eynez açık ocak (AO) kömürünün kuru zenginleştirilmesi	138
6.1.2.1. Soma Eynez AO kömür numunesinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri	138
6.1.2.2. Soma Eynez AO kömürünün fraksiyonel bazda yıkanabilirlikleri	139
6.1.2.3. Soma Eynez AO kömürleri ile fraksiyonel bazda kuru zenginleştirme deneyleri	140
7. PİLOT ÖLÇEKTE KURU ZENGİNLEŞTİRME DENEYLERİ	149
7.1. Soma İmbat Kömürü Üzerinde Yapılan Çalışmalar	149
7.2. Sarıkaya Kömürü Temiz Lave Alımı Devresi Ürünleri.....	159
7.3. Eynez Açık Ocak Kömürü İri ve İnce Boyutta Kuru Zenginleştirme	165
7.4. Pilot Ölçekli Çalışmaların Değerlendirilmesi (Performans Etüdü).....	174
7.4.1. Pilot ölçekli havalı ayırıcıya beslenen kömürlerin boyut analizleri	174
7.4.2. Pilot ölçekli havalı jig'in tesis performansı	185
7.4.3. Pilot ölçekli ve laboratuvar ölçekli zenginleştirme sonuçlarının karşılaştırılması.....	198
7.4.4. Fizibilite çalışması	201
8. SONUÇ	204
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	210
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Geliştirilmiş kırma-eleme ünitesi.....	12
3.2. Pnömatik osilasyonlu havalı masa	13
3.3. Pnömatik osilasyonlu havalı masa	13
3.4. FMC Ayırıcısı şematik görünümü	14
3.6. Allair havalı jigi şematik görünümü.....	15
3.7. FGX Ayırıcısı Ünitesi.....	18
3.9. Ağır ortamlı havalı ayırıcı şematik görünümü	20
3.10. Basınç düşüşü (Δp) - akışkanlaştırma hava hızı (U) ilişkisi	26
3.11. Ayırma etkinliği (%) - birimsiz hava hızı ilişkisi.	28
4.1. ELİ (Soma Bölgesi) numune alınan yerlere ait görüntüler.	30
4.2. ELİ kömür numuneleri boyut dağılımı.	31
4.3. ELTRA CS580 Karbon/Kükürt Tayin Cihazı.....	32
4.4. IKA C200 kalorimetre.....	32
4.5. Protherm PLF 130/6 kül fırını cihazı.	33
4.6. Bruker Advance XRD.	33
4.7. Nikon Eclipse L150RLM cevher mikroskobu	33
4.8. JveM PMT polarizan mikroskop.....	33
4.9. Soma - İmbat yer altı kömürü (XRD Analizi).....	36
4.10. Eynez açık ocak kömürü (XRD Analizi).....	37
4.11. Sarıkaya kömürü (XRD Analizi).....	37
4.12. Soma-Sarıkaya kömürü +13 mm fraksiyonunun yıkanabilirlik eğrileri.	42
4.13. Soma-Sarıkaya kömürü -13+1 mm fraksiyonunun yıkanabilirlik eğrileri.	43
4.14. Soma-Sarıkaya kömürü +1 mm fraksiyonunun yıkanabilirlik eğrileri.	44
4.15. Soma-Eynez açık (ao) +13 mm fraksiyonunun yıkanabilirlik eğrileri.....	46
4.16. Soma-Eynez açık (ao) -13+1 mm fraksiyonunun yıkanabilirlik eğrileri.	47
4.17. Soma-Eynez (AO) kömürü +1 mm fraksiyonunun yıkanabilirlik eğrileri.....	48
4.18. Soma-İmbat kömürü +13 mm fraksiyonunun yıkanabilirlik eğrileri.	50
4.19. Soma-İmbat kömürü -13+1 mm fraksiyonunun yıkanabilirlik eğrileri.....	51
4.20. Soma-İmbat kömürü +1 mm fraksiyonunun yıkanabilirlik eğrileri.	52
4.21. Sürekli çalışan All Air Jig (-15 mm).	56
4.22. Kesikli çalışan Allair Jig (-50 mm).	57
4.23. AKAFLOW havalı masa.	58

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.26. AKAFLOW cihazı bıçak pozisyonları	58
4.25. Dereköy Torbalama tesisleri-yedek ünitesinde kurulan kuru zenginleştirme ünitesi yerleşimi.....	60
4.26. Dereköy torbalama tesisleri-yedek ünitesinde kurulan kuru zenginleştirme ünitesi akım şeması ve numune alım yerleri-kodları	61
4.27. Dereköy torbalama tesisleri-yedek ünitesinde kurulan kuru zenginleştirme ünitesi genel görünümü.	62
5.1. -13+4 mm temiz lave alımına yönelik zenginleştirme eğrisi.	73
5.2. -13+4 mm temiz şist atımına yönelik zenginleştirme eğrisi.	77
5.3. -13+4 mm boyut grubunda yapılacak en uygun kömür yıkama akım şeması.....	82
5.4. -4 mm temiz lave alımına yönelik zenginleştirme eğrisi.	88
5.5. -4 mm temiz şist atımına yönelik zenginleştirme eğrisi.....	92
5.6. -4+1 mm boyut grubu ile sürekli çalışan allair jigi zenginleştirme akım şeması ve malzeme balansı (% 6.38 toplam nem ve % 0.91 yüzey nemi içerikli).	94
5.7. -4+1 mm boyut grubu ile Akaflow ayırıcısında ulaşılan optimum şartlara göre zenginleştirme akım şeması ve malzeme balansı (% 6.38 toplam nem ve % 0.91 yüzey nemi içerikli).....	102
5.8. -1 mm boyut grubu ile akaflow ayırıcısında ulaşılan optimum şartlara göre zenginleştirme akım şeması ve malzeme balansı (% 6.38 toplam nem ve % 0.91 yüzey nemi içerikli)...	104
5.9. Kömür nemine bağlı olarak, eleme işleminde -4 mm altı malzeme miktarı değişimi	110
5.10. Kömür nemine bağlı olarak, eleme işleminde -13+4 mm ve -4 mm malzeme kül içeriği değişimi.....	110
5.11. Kömür neminin ayırma etkinliği üzerindeki etkisi.	112
5.12. Kömür neminin kuru zenginleştirme üzerindeki etkisi (Lave külü açısından).	112
5.13. Kömür neminin kuru zenginleştirme üzerindeki etkisi (Şist külü açısından).	113
5.14. -13+4 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme çalışmalarında, kömür neminin farklı işlemler sonrasındaki değişimleri.	114
5.15. Kömür neminin ayırma etkinliği üzerindeki etkisi (-4 mm).	116
5.16. Kömür neminin lave külü üzerindeki etkisi (-4 mm).	116
5.17. Kömür neminin şist külü üzerindeki etkisi (-4 mm).	117
5.18. -4 mm boyut grubunda Allair jigi ile yapılan kuru zenginleştirme çalışmalarında, kömür neminin farklı işlemler sonrasındaki değişimleri.....	117
5.19. -13+4 mm Boyut grubunda gerçekleştirilen kesikli çalışan Allair jigi uygulaması.	119
5.20. -30+4 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kesikli çalışan Allair jig uygulaması.....	120
5.21. -50+4 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kesikli çalışan Allair jigi uygulaması.....	121

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.22. Lave özellikleri açısından karşılaştırma	122
5.23. Şist özellikleri açısından karşılaştırma	122
6.1. Soma-İmbat kömürünün tüvenan ve -50 mm'ye kırma sonrası ulaşılan elek analiz sonuçları ve tüvenan kömür numunesinin boyut gruplarına bağlı olarak toplam nem dağılımı.	127
6.2. Soma-İmbat kömürü farklı boyut gruplarında yapılan zenginleştirme sonucunda ulaşılan kül-kalorifik değer ilişkisi.....	128
6.3. İMBAT -50+15 mm kömürünün yıkanabilirliği.....	130
6.4. İMBAT -15+4 mm kömürünün yıkanabilirliği.....	130
6.5. İMBAT -4+0.5 mm kömürünün yıkanabilirliği.....	131
6.6. İMBAT kömürünün yıkanabilirliği.	131
6.7. Soma-İmbat kömürü ile -50+15 mm boyut grubunda gerçekleştirilen Allair Jigi ile zenginleştirme akım şeması ve malzeme balansı (Toplam nem: % 6.3).....	132
6.8. Soma-İmbat kömürü ile -15+4 mm boyut grubunda gerçekleştirilen Allair Jigi ile zenginleştirme akım şeması ve malzeme balansı (Toplam Nem: % 8.4).	133
6.9. Soma-İmbat kömürü ile -4 mm boyut grubunda gerçekleştirilen Allair Jigi ile zenginleştirme akım şeması ve malzeme balansı (Toplam nem: % 7.2).....	135
6.10. Soma-İmbat kömürü ile -4 mm boyut grubunda gerçekleştirilen Akaflo aerodinamik ayırıcı ile zenginleştirme akım şeması ve malzeme balansı (Toplam Nem: % 7.2).....	136
6.11. Soma-İmbat kömürü ile gerçekleştirilen kuru zenginleştirme akım şeması ve malzeme balansı.	137
6.12. Soma-Eynez AO kömürünün tüvenan ve -50 mm'ye kırma sonrası ulaşılan elek analiz sonuçları ve tüvenan kömür numunesinin boyut gruplarına bağlı olarak toplam nem dağılımı.	139
6.13. Soma-Eynez AO kömürü farklı boyut gruplarında yapılan zenginleştirme sonucunda ulaşılan kül-kalorifik değer ilişkisi.....	139
6.14. Soma-Eynez AO -50+15 mm kömürünün yıkanabilirliği.	142
6.15. Soma-Eynez AO -15+4 mm kömürünün yıkanabilirliği.	142
6.16. Soma-Eynez AO -4+0.5 mm kömürünün yıkanabilirliği.	143
6.17. Soma-Eynez AO kömürünün yıkanabilirliği.....	143
6.18. Soma-Eynez AO kömürü ile -50+15 mm boyut grubunda gerçekleştirilen Allair Jigi ile zenginleştirme akım şeması ve malzeme balansı.	144
6.19. Soma-Eynez AO Kömürü ile -15+4 mm boyut grubunda gerçekleştirilen Allair jigi ile zenginleştirme akım şeması ve malzeme balansı (Toplam nem: %10.4) (YV* ve AE* hesaplamalarında mikst laveye ilave edilmiştir).	145
6.20. Soma-Eynez AO kömürü ile -4+1 mm boyut grubunda gerçekleştirilen Allair jigi ile zenginleştirme akım şeması ve malzeme balansı (Toplam Nem: %13.6).	146

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.21. Soma-Eynez AO kömürü ile -4+1 mm boyut grubunda gerçekleştirilen Akaflow aerodinamik ayırıcı ile zenginleştirme akım şeması ve malzeme balansı (Toplam Nem: %13.6).	147
6.22. Soma-Eynez AO kömürü ile gerçekleştirilen kuru zenginleştirme akım şeması ve malzeme balansı.	148
7.1. Soma-İmbat kömürü üzerinde -50+10 mm ve -10 mm boyut gruplarında gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrasında elde edilen ürünler.	158
7.2. Sarıkaya kömürü üzerinde gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrasında elde edilen ürünler.	164
7.3. Sarıkaya kömürü üzerinde gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrasında elde edilen ürünler.	165
7.4. Eynez açık ocak (AO) kömürü üzerinde gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrasında elde edilen ürünler.	172
7.5. Eynez açık ocak (AO) kömürü üzerinde gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrasında elde edilen ürünler.	172
7.6. Eynez açık ocak (AO) kömürü üzerinde gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrasında elde edilen ürünler.	173
7.7. İmbat -50+10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrası elde edilen lave ürününün boyut dağılımı.	175
7.8. İmbat -10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrası elde edilen lave ürününün boyut dağılımı.	177
7.9. Sarıkaya -50+10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrası elde edilen lave ürününün boyut dağılımı.	179
7.10. Sarıkaya -10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrası elde edilen lave ürününün boyut dağılımı.	181
7.11. Eynez -50+10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrası elde edilen lave ürününün boyut dağılımı.	183
7.12. Eynez -10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrası elde edilen lave ürününün boyut dağılımı.	184
7.13. İmbat kömürü üzerinde -50+10 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme sonrasında oluşturulan performans eğrileri.	188
7.14. İmbat kömürü üzerinde -10 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme sonrasında oluşturulan performans eğrileri.	190
7.15. Sarıkaya kömürü üzerinde -50+10 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme sonrasında oluşturulan performans eğrileri.	192
7.16. Sarıkaya kömürü üzerinde -10 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme sonrasında oluşturulan performans eğrileri.	194
7.17. Eynez AO kömürü üzerinde -50+10 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme sonrasında oluşturulan performans eğrileri.	196

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**Sekil****Sayfa**

7.18. Eynez AO kömürü üzerinde -10 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme sonrasında oluşturulan performans eğrileri.	198
---	-----



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Uluslararası genel kömür sınıflandırması.	5
3.1. Kömür, mikst ve şist ayırımında, ayırıcı ortamın hava ve su olması durumunda hesaplanan konsantrasyon kriteri değerleri.	20
4.1. Soma bölgesi kömür numunelerinin boyut özellikleri.	32
4.2. Tüvenan kömür numunelerinin standart kömür analizleri (Kuru baz).	34
4.3. Tüvenan kömür numunelerinin kimyasal analizleri.	38
4.4. Kömür numunelerinin XRD analizleri.	38
4.5. Kömür numunelerinin petrografik analizleri.	39
4.6. Soma-Sarıkaya kömürü Yüzdürme batırma testlerine tabi tutulan boyut fraksiyonları ve kül içerikleri.	41
4.7. Soma-Sarıkaya kömürü + 13 mm ve -13+1 mm fraksiyonlarında gerçekleştirilen yüzdürme-batırma test sonuçları.	41
4.8. Soma-Sarıkaya kömürü +1 mm fraksiyonunun yüzdürme-batırma test sonuçları (Birleştirilmiş).	43
4.9. Soma-Eynez (AO) kömürü yüzdürme batırma testlerine tabi tutulan boyut fraksiyonları ve kül içerikleri.	44
4.10. Soma-Eynez (AO) kömürü +13 mm ve -13+1 mm fraksiyonlarında gerçekleştirilen yüzdürme-batırma test sonuçları.	45
4.11. Soma-Eynez (AO) kömürü +1 mm fraksiyonu yüzdürme-batırma test sonuçları (Birleştirilmiş).	47
4.12. Soma-İmbat kömürü yüzdürme batırma testlerine tabi tutulan boyut fraksiyonları ve kül içerikleri.	48
4.13. Soma-İmbat kömürü +13 mm ve -13+1 mm fraksiyonlarında gerçekleştirilen yüzdürme-batırma test sonuçları.	49
4.14. Soma-İmbat kömürü +1 mm fraksiyonu yüzdürme-batırma test sonuçları (Birleştirilmiş).	51
4.15. +1 mm kömür fraksiyonu yıkama karakteristikleri.	54
4.16. Yıkanabilirlik test sonuçlarının, havalı ayırma sistemleri açısından değerlendirilmesi.	54
5.1. Farklı besleme boyutlarında/boyut gruplarında sürekli çalışan allair jigi uygulaması (Toplam nem % 6.01).	64
5.2. Farklı dar boyut gruplarında yapılan kuru zenginleştirme deney sonuçları.	66
5.3. -13+4 mm için dar boyut gruplarında yapılan kuru zenginleştirme deney sonuçları.	66
5.4. -13+1 mm için dar boyut gruplarında yapılan kuru zenginleştirme deney sonuçları.	66
5.5. -9+1 mm için dar boyut gruplarında yapılan kuru zenginleştirme deney sonuçları.	67
5.6. -13+4 mm boyut grubunda yapılan optimizasyon deneylerinde çalışma şartları.	68

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.7. -13+4 mm boyut grubunda yapılan temiz lave alımına yönelik optimum deney şartlarının belirlenmesinde besleme/boşaltma hızının ayırmaya etkisi.	70
5.8. -13+4 mm boyut grubunda yapılan temiz lave alımına yönelik optimum deney şartlarının belirlenmesinde pülsasyon genliğinin ayırmaya etkisi.	71
5.9. -13+4 mm boyut grubunda yapılan temiz lave alımına yönelik optimum deney şartlarının belirlenmesinde Fan hava hızının ayırmaya etkisi.	72
5.10. -13+4 mm boyut grubunda yapılan optimum şartlarının belirlenmesi deney sonuçları.	74
5.11. -13+4 mm boyut grubunda yapılan temiz atık alımına yönelik optimum deney şartlarının belirlenmesinde besleme-boşaltma hızının ayırmaya etkisi.	74
5.12. -13+4 mm boyut grubunda yapılan temiz atık alımına yönelik optimizasyon deneylerinde pülsasyon genliğinin ayırmaya etkisi.	75
5.13. -13+4 mm boyut grubunda yapılan temiz atık alımına yönelik optimizasyon deneylerinde fan hava hızının ayırmaya etkisi.	76
5.14. -13+4 mm boyut grubunda yapılan ararünün temizlenmesine yönelik optimizasyon deneylerinde fan hava hızının ayırmaya etkisi.	78
5.15. Kaba ayırma ve süpürme devresi değerlendirilmesi (3 ürünlü).	80
5.16. Kaba ayırma ve süpürme devresi değerlendirilmesi (3 ürünlü)-birleştirilmiş.	80
5.17. Kaba ayırma ve 2 süpürme devresi değerlendirilmesi (4 ürünlü).	80
5.18. Kaba ayırma ve 2 süpürme devresi değerlendirilmesi (4 ürünlü)-birleştirilmiş (Lave+AÜI ve Şist+AÜ II).	80
5.19. Nihai optimizasyon deneyleri ve yerinde gözlem deneylerinin karşılaştırılması.	81
5.20. -4+1 mm boyut grubunda yapılan optimizasyon deneylerinde çalışma şartları.	84
5.21. -4+1 mm boyut grubunda yapılan temiz lave alımına yönelik optimum deney şartlarının belirlenmesinde Besleme-boşaltma hızının ayırmaya etkisi.	85
5.22. -4+1 mm boyut grubunda yapılan temiz lave alımına yönelik optimum deney şartlarının belirlenmesinde pülsasyon genliğinin ayırmaya etkisi.	86
5.23. -4+1 mm boyut grubunda yapılan temiz lave alımına yönelik optimum deney şartlarının belirlenmesinde Fan Hava Hızının ayırmaya etkisi.	87
5.24. -4+1 mm boyut grubunda yapılan temiz şist atımına yönelik optimizasyon deneylerinde çalışma şartları.	89
5.25. -4+1 mm boyut grubunda yapılan temiz lave alımına yönelik optimum deney şartlarının belirlenmesinde Besleme-boşaltma hızının ayırmaya etkisi.	90
5.26. -4+1 mm boyut grubunda yapılan temiz lave alımına yönelik optimum deney şartlarının belirlenmesinde pülsasyon genliğinin ayırmaya etkisi.	91
5.27. -4+1 mm boyut grubunda yapılan temiz lave alımına yönelik optimum deney şartlarının belirlenmesinde fan hava hızının ayırmaya etkisi.	91
5.28. Kaba ayırma ve süpürme devresi değerlendirilmesi (3 ürünlü).	93

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.29. Kaba ayırma ve süpürme devresi değerlendirilmesi (3 ürünlü)-birleştirilmiş.....	93
5.30. -4+1 mm boyut grubunda yapılan AKAFLOW ayırıcısı ile yıkama işlemlerinde hava ve vibrasyon hızının temiz lave üretimindeki etkisi.....	96
5.31. -4+1 mm boyut grubunda yapılan AKAFLOW ayırıcısı ile yıkama işlemlerinde bıçak ayarlarının temiz lave etkisi.	97
5.32. -4+1 mm boyut grubunda yapılan AKAFLOW ile ayırmada hava ve vibrasyon hızının temiz şist üretimindeki etkisi.	99
5.33. -4+1 mm boyut grubunda yapılan AKAFLOW ile ayırmada bıçak ayarlarının temiz şist üretimindeki etkisi.	100
5.34. Kaba ayırma ve süpürme devresi değerlendirilmesi (3 ürünlü).	101
5.35. Kaba ayırma ve süpürme devresi değerlendirilmesi (3 ürünlü)-birleştirilmiş.....	101
5.36. -1 mm boyut grubunda yapılan AKAFLOW ile ayırmada cihaz parametrelerinin temiz şist üretimindeki etkisi.	105
5.37. -1 mm boyut grubunda yapılan AKAFLOW ile ayırmada cihaz parametrelerinin temiz lave üretimindeki etkisi.	106
5.38. -1 mm Boyut grubu optimum şartlarının belirlenmesi testleri nihai sonuçları.	108
5.39. -1 mm Boyut grubu optimum şartlarının belirlenmesi testleri nihai sonuçları (Birleştirilmiş).	108
5.40. -13+4 mm boyut grubunda Allair jigi ile yapılan kuru zenginleştirme işleminde kömür neminin ayırma etkinliği üzerindeki etkisi.	111
5.41. -4 mm boyut grubunda Allair jigi ile yapılan kuru zenginleştirme çalışmalarında kömür neminin ayırma üzerindeki etkisi.....	115
5.42. Soma İmbat kömürünün nihai kuru zenginleştirme sonuçları (-4+1 mm boyut grubu Allair Jiginde ayrılırsa).	124
5.43. Soma İmbat kömürünün nihai kuru zenginleştirme sonuçları (-4+1 mm boyut grubu AKAFLOW cihazında ayrılırsa).	124
6.1. Soma-İmbat ocak tüvenan kömürün bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	126
6.2. Soma İmbat kömürü yıkanabilirliği.	129
6.3. Soma-Eynez AO tüvenan kömürün bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri.	138
6.4. Soma Eynez AO kömürü yıkanabilirliği.	141
7.1. Soma İmbat kömürü -50+10 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme kaba devre ayırma sonuçları.	151
7.2. Soma İmbat kömürü -50+10 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme nihai devre ayırma sonuçları.	152
7.3. Soma İmbat kömürü -10 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme kaba devre ayırma sonuçları.	153

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
7.4. Soma İmbat kömürü -10 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme nihai devre ayırma sonuçları.	154
7.5. Soma-İmbat kömürü kaba devre malzeme balansı (-50+10 mm).	154
7.6. Soma-İmbat kömürü nihai devre malzeme balansı (-50+10 mm).	155
7.7. Soma-İmbat kömürü (-50+10 mm) üç ürünlü kuru zenginleştirme devresi malzeme balansı (Kaba ve nihai devre birleştirilmiş) (-50+10 mm).	155
7.8. Soma-İmbat kömürü kaba devre malzeme balansı (-10 mm).	155
7.9. Soma-İmbat kömürü nihai devre malzeme balansı (-10 mm).	156
7.10. Soma-İmbat kömürü (-10 mm) üç ürünlü kuru zenginleştirme devresi malzeme balansı (Kaba ve nihai devre birleştirilmiş).	156
7.11. Soma-İmbat kömürü (-10 mm) üç ürünlü kuru zenginleştirme devresi malzeme balansı (Filtre tozu ve mikst birleştirilmiştir).	156
7.12. Soma İmbat kömürü -50+10 ve -10 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme sonuçları-tüvenana göre değerlendirme.	157
7.13. Soma İmbat kömürü -50 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme sonuçları-3 ürün bazında.	157
7.14. -50+10 mm boyutlu Sarıkaya kömürü üzerinde gerçekleştirilen kaba ve nihai devre kuru zenginleştirme sonuçları.	160
7.15. -50+10 mm boyutlu Sarıkaya kömürü üzerinde optimum şartlarda gerçekleştirilen kaba devre kuru zenginleştirme sonuçları-genel değerlendirme.	161
7.16. -50+10 mm boyutlu Sarıkaya kömürü üzerinde optimum şartlarda gerçekleştirilen nihai devre kuru zenginleştirme sonuçları-genel değerlendirme.	161
7.17. -50+10 mm boyutlu Sarıkaya kömürü üzerinde optimum şartlarda gerçekleştirilen kaba ve nihai devre kuru zenginleştirme sonuçları-birleştirilmiş sonuçlar.	161
7.18. -10 mm boyutlu Sarıkaya kömürü üzerinde gerçekleştirilen kaba ve nihai devre kuru zenginleştirme sonuçları.	162
7.19. -10 mm boyutlu Sarıkaya kömürü üzerinde optimum şartlarda gerçekleştirilen kaba devre kuru zenginleştirme sonuçları-genel değerlendirme.	162
7.20. -10 mm boyutlu Sarıkaya kömürü üzerinde optimum şartlarda gerçekleştirilen nihai devre kuru zenginleştirme sonuçları-genel değerlendirme.	163
7.21. -10 mm boyutlu Sarıkaya kömürü üzerinde optimum şartlarda gerçekleştirilen kaba ve nihai devre kuru zenginleştirme sonuçları-birleştirilmiş sonuçlar.	163
7.22. Sarıkaya kömürü üzerinde optimum şartlarda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonuçları-toplu gösterim.	163
7.23. -50 mm Boyutlu Sarıkaya kömürü üzerinde optimum şartlarda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonuçları-toplu gösterim.	164
7.24. -50+10 mm boyutlu Eynez AO kömürü üzerinde gerçekleştirilen kaba ve nihai devre kuru zenginleştirme sonuçları.	167

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
7.25. -50+10 mm boyutlu Eynez AO kömürü üzerinde optimum şartlarda gerçekleştirilen kaba devre kuru zenginleştirme sonuçları.....	168
7.26. -50+10 mm boyutlu Eynez AO kömürü üzerinde optimum şartlarda gerçekleştirilen nihai devre kuru zenginleştirme sonuçları.	168
7.27. -50+10 mm boyutlu Eynez AO kömürü üzerinde optimum şartlarda gerçekleştirilen nihai devre kuru zenginleştirme sonuçları-birleştirilmiş.....	168
7.28. -10 mm boyutlu Eynez AO kömürü üzerinde gerçekleştirilen kaba ve nihai devre kuru zenginleştirme sonuçları.....	169
7.29. -10 mm boyutlu Eynez AO kömürü üzerinde optimum şartlarda gerçekleştirilen kaba devre kuru zenginleştirme sonuçları.	169
7.30. -10 mm boyutlu Eynez AO kömürü üzerinde optimum şartlarda gerçekleştirilen nihai devre kuru zenginleştirme sonuçları.	170
7.31. -10 mm boyutlu Eynez AO kömürü üzerinde optimum şartlarda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonuçları-birleştirilmiş.....	170
7.32. Eynez AO kömürü üzerinde optimum şartlarda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonuçları-toplu gösterim.....	171
7.33. -50 mm Boyutlu Eynez AO kömürü üzerinde optimum şartlarda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonuçları-birleştirilmiş sonuçlar.....	171
7.34. İmbat -50+10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme öncesi ve sonrası boyut dağılımları (nihai ayırma sonrası ürünlerin boyutları birleştirilerek hesaplanmıştır).	175
7.35. İmbat kömürü üzerinde -50+10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrası farklı boyut gruplarının ürünler içindeki dağılımları.....	176
7.36. İmbat -10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme öncesi ve sonrası boyut dağılımları (nihai ayırma sonrası ürünlerin boyutları birleştirilerek hesaplanmıştır).	177
7.37. İmbat kömürü üzerinde -10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrası farklı boyut gruplarının ürünler içindeki dağılımları.	178
7.38. Sarıkaya -50+10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme öncesi ve sonrası boyut dağılımları (nihai ayırma sonrası ürünlerin boyutları birleştirilerek hesaplanmıştır).	179
7.39. Sarıkaya kömürü üzerinde -50+10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrası farklı boyut gruplarının ürünler içindeki dağılımları.....	180
7.40. Sarıkaya -10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme öncesi ve sonrası boyut dağılımları (nihai ayırma sonrası ürünlerin boyutları birleştirilerek hesaplanmıştır).	181
7.41. Sarıkaya kömürü üzerinde -10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrası farklı boyut gruplarının ürünler içindeki dağılımları.....	182

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
7.42. Eynez AO -50+10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme öncesi ve sonrası boyut dağılımları (nihai ayırma sonrası ürünlerin boyutları birleştirilerek hesaplanmıştır).	183
7.43. Eynez AO kömürü üzerinde -50+10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrası farklı boyut gruplarının ürünler içindeki dağılımları.	184
7.44. Eynez -10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme öncesi ve sonrası boyut dağılımları (nihai ayırma sonrası ürünlerin boyutları birleştirilerek hesaplanmıştır).	185
7.45. Eynez AO kömürü üzerinde -10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrası farklı boyut gruplarının ürünler içindeki dağılımları.	185
7.46. -50+10 mm boyut grubunda İmbat kömürü ile yapılan kaba devre kuru zenginleştirme sonrası ürünlerin yoğunluk dağılımları.	186
7.47. -50+10 mm boyut grubunda İmbat kömürü ile yapılan nihai devre kuru zenginleştirme sonrası ürünlerin yoğunluk dağılımları.	187
7.48. -50+10 mm boyut grubunda İmbat kömürü ile yapılan kuru zenginleştirme sonrası elde edilen E_p , 1 ve d_{50} değerleri.	187
7.49. -10 mm boyut grubunda İmbat kömürü ile yapılan kaba devre kuru zenginleştirme sonrası ürünlerin yoğunluk dağılımları.	189
7.50. -10 mm boyut grubunda İmbat kömürü ile yapılan nihai devre kuru zenginleştirme sonrası ürünlerin yoğunluk dağılımları.	189
7.51. -10 mm boyut grubunda İmbat kömürü ile yapılan kuru zenginleştirme sonrası elde edilen E_p , I ve d_{50} değerleri.	190
7.52. -50+10 mm boyut grubunda Sarıkaya kömürü ile yapılan kaba devre kuru zenginleştirme sonrası ürünlerin yoğunluk dağılımları.	191
7.53. -50+10 mm boyut grubunda Sarıkaya kömürü ile yapılan nihai devre kuru zenginleştirme sonrası ürünlerin yoğunluk dağılımları.	191
7.54. -50+10 mm boyut grubunda Sarıkaya kömürü ile yapılan kuru zenginleştirme sonrası elde edilen E_p , 1 ve d_{50} değerleri.	192
7.55. -10 mm boyut grubunda Sarıkaya kömürü ile yapılan kaba devre kuru zenginleştirme sonrası ürünlerin yoğunluk dağılımları.	193
7.56. -10 mm boyut grubunda Sarıkaya kömürü ile yapılan nihai devre kuru zenginleştirme sonrası ürünlerin yoğunluk dağılımları.	193
7.57. -10 mm boyut grubunda Sarıkaya kömürü ile yapılan kuru zenginleştirme sonrası elde edilen E_p , I ve d_{50} değerleri.	194
7.58. -50+10 mm boyut grubunda Eynez AO kömürü ile yapılan kaba devre kuru zenginleştirme sonrası ürünlerin yoğunluk dağılımları.	195
7.59. -50+10 mm boyut grubunda Eynez ao kömürü ile yapılan nihai devre kuru zenginleştirme sonrası ürünlerin yoğunluk dağılımları.	195

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
7.60. -50+10 mm boyut grubunda Eynez AO kömürü ile yapılan kuru zenginleştirme sonrası elde edilen E_p , I ve d_{50} değerleri.....	196
7.61. -10 mm boyut grubunda Eynez AO kömürü ile yapılan kaba devre kuru zenginleştirme sonrası ürünlerin yoğunluk dağılımları.....	197
7.62. -10 mm boyut grubunda Eynez AO kömürü ile yapılan nihai devre kuru zenginleştirme sonrası ürünlerin yoğunluk dağılımları.....	197
7.63. -10 mm boyut grubunda Eynez AO kömürü ile yapılan kuru zenginleştirme sonrası elde edilen E_p , I ve d_{50} değerleri.....	198
7.64. İmbat yeraltı kömürünün laboratuvar çaplı zenginleştirme sonuçları.....	199
7.65. İmbat yeraltı kömürünün pilot çaplı zenginleştirme sonuçları.....	199
7.66. Eynez A.O. kömürünün laboratuvar zenginleştirme sonuçları.....	200
7.67. Eynez A.O. kömürünün pilot çaplı zenginleştirme sonuçları.....	200
7.68. Kapasite üretim analizi.....	201
7.69. Üretim analizi.....	202

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklamalar</u>
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi
BP	British Petroluem
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
TTK	Türkiye Taş Kömürü
TKİ	Türkiye Kömür İşletmeleri
ISO	International Standardization Organization
IEA	International Energy Agency
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development
BTU	British Thermal Unit
KK	Konsantrasyon Kriteri
Ep	Ayrırma Hassasiyeti
REMS	Yüksek Alan Şiddetli Manyetik Ayrıcı
ELİ	Ege Linyit İşletmeleri
XRD	X-ray Diffraction

1. GİRİŞ

Hidrokarbonlardan oluşan fosil yakıtlar “mineral yakıtlar” olarak bilinmektedir. Dünya enerji gereksiniminin % 87.9’u, fosil yakıtlar grubunda yer alan; petrol, kömür, doğalgaz kaynakları tarafından karşılanmaktadır. Teknolojideki hızlı gelişmelerle birlikte enerji tüketimi artmakta, bunun sonucunda, fosil yakıtların tüketim oranı hızla artış göstermektedir (BP 2014 Statistical Review of World Energy).

Kömür petrolden sonra en yüksek kullanım oranına sahip enerji kaynağıdır. Özellikle kömür rezervlerinin petrol ve doğalgaza göre dünya üzerinde homojen olarak dağılmış olması, kömürün ülkeler açısından stratejik kaynak olarak kullanılmasını sağlamaktadır. Buna petrol fiyatlarının arttığı dönemlerde üretim miktarlarının artırılması ve enerji ihraç eden ülkelere olan bağımlılığı azaltması örnek olarak verilebilir. 2005 yılında kömür tüketimi % 5.0’lik bir artış göstermiştir. (Statistical Review of World Energy, London). Diğer taraftan son on yılda kömür üretiminde ortalama %2.1’lik artış olmuştur (BP 2016 Statistical Review of World Energy).

Dünya fosil enerji rezervleri; 239.4 milyar ton petrol, 891.5 milyar ton kömür (linyit ve taşkömürü), 185.9 trilyon m³’lük doğalgaz rezervi bulunmaktadır (BP 2016 Statistical Review of World Energy). Üretimler baz alındığında ise; 2015 yılı itibarıyla 4,360 milyar ton petrol, 3,830 milyar ton kömür, 3,538 milyar m³ doğal gaz üretimi söz konusudur (BP 2016 Statistical Review of World Energy). Buna karşılık, 2015 yılı itibarıyla tüketimler; 4,331 milyar ton petrol, 3,840 milyar ton kömür ve 3,468 milyar m³ doğalgaz seviyelerindedir (BP 2016 Statistical Review of World Energy).

Dünya rezervleri ve bu üretim ve tüketim değerleri baz alındığında; kullanım ömürleri petrol için 53.3 yıl, doğal gaz için 55 yıl olurken bu değer kömür için 254 yıl seviyelerindedir. Dolayısıyla enerji üretimi açısından % 80’lik bir kullanım oranına sahip olan fosil yakıtlar içerisinde, gerek kullanım ömrü gerekse rezervlerin dünya genelindeki homojen yayılımı dolayısıyla kömür önemli bir yer tutmaktadır. Kömürün önemi, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki enerji üretimleri değerlendirildiğinde çok daha iyi anlaşılmaktadır. 2006 yılında elektrik üretiminde kömür kullanımı oranları; Polonya’da % 93, ABD’de % 53, Çin’de % 73, Avustralya’da % 78, Yunanistan’da % 64 ve Güney Afrika Cumhuriyeti’nde % 96 olarak gözlenmiştir (BP 2014 Statistical Review of World Energy).

2013 yılı itibarıyla Dünya birincil enerji tüketim kaynaklarını; % 41.5’lik pay ile petrol, % 21 pay ile kömür, % 23.7’lük pay ile doğalgaz oluşturmaktadır. Sözü geçen bu fosil enerji kaynakları diğer enerji kaynakları toplamının % 86.2’sını oluşturmaktadır. Bunların dışında,

toplam enerji kaynakları içerisinde; nükleer enerji % 4.4, yenilenebilir % 2.7 ve hidro enerji kaynakları ise % 6,7'lik paya sahiptir.

Elektrik enerjisi üretimindeki payları değerlendirilecek olursa, petrol, doğalgaz ve kömürün kullanım oranları 2013 yılı itibarıyla sırasıyla; % 8.1, % 17,4 ve % 39 seviyelerindedir. Ancak enerji tüketimleri ve kullanım oranları üzerinde yapılan projeksiyonlar, 2030 yılında petrol kullanımının % 4.21 seviyelerine düşeceğini, doğal gaz kullanım oranının % 31.5 seviyelerine ulaşacağı kömürün kullanımının ise % 36-37'ler seviyelerinde olacağını işaret etmektedir.

Dünya'da rezervler, üretim ve tüketim değerleri böyle iken, ülkemizdeki değerler incelendiğinde yaklaşık 8.7 milyar ton kömür rezervlerine sahip olduğumuz bilinmektedir (BP, 2014). Bu rezervlerin büyük bir çoğunluğunu linyit karakterindeki kömürler oluşturmaktadır. Mevcut kömür rezervleri dikkate alındığında bu kömürlerin enerji üretiminde kullanılması ve enerji üretimindeki kullanım oranlarının artırılması ülke ekonomisi açısından önemlidir. Ancak Türkiye'deki kömür rezervlerinin büyük bir çoğunluğunun linyit karakterinde olması ve linyitlerin de çok yüksek kül, kükürt ve nem içermeleri, gerek işletme gerekse çevre koşulları açısından bu tür kömürlerin direkt olarak kullanımını zorlaştırmaktadır. Bunun yanı sıra Kyoto protokolü çerçevesinde, CO₂ emisyonlarının salınmasındaki kısıtlamalar kömürün de dahil olduğu fosil yakıtların enerji üretimlerindeki kullanımını etkilemektedir. Ancak, gerek yanma öncesi uygulanacak yıkama işlemleri gerekse kömürün yanma proseslerinde geliştirilen teknolojiler, bu sıkıntıları nispeten azaltmaktadır.

Ülkemiz 2011 yılı satılabilir kömür üretimi; 72.5 milyon ton linyit, 2.6 milyon ton taşkömürü ve 0.9 milyon ton asfaltit olmak üzere bir önceki yıla göre %3,4 artarak toplam 76 milyon ton olarak gerçekleşmiştir (ETKB, 2013).

1980'li yıllardan itibaren sürekli bir düşme eğilimine giren taşkömürü üretimleri 2004 yılında 1.9 milyon tona kadar gerilemiştir. Bu tarihten sonra tekrar hareketlenen satılabilir taşkömürü üretimi 2011 yılında 2,6 milyon ton düzeyindedir. 2012 yılında ise bir önceki yıla göre %14,3 oranında gerileyerek 2,3 milyon ton olarak gerçekleşmiştir (TTK, 2013). Zonguldak Havzası'nda 2004 yılından itibaren TTK tarafından rodövans karşılığı özel firmalara kömür üretimi uygulaması başlatılmıştır. 2012 yılında özel sektör tarafından üretilen taşkömürü toplam üretimin yaklaşık %36,4'ü oranındadır (TTK, 2013).

Linyit üretimleri ise, özellikle 1970'li yılların başlarından itibaren, petrol krizlerine bağlı olarak elektrik üretimine yönelik linyit işletmeleri yatırımlarının başlaması ile hızlanmıştır. 1970 yılında 5.8 milyon ton olan linyit üretimi 1998 yılında yaklaşık 65 milyon ton olarak

gerçekleşmiştir. Ancak, bu tarihten itibaren özellikle doğal gaz alım anlaşmaları nedeniyle linyit üretimi sürekli azalmış, 2004 yılında 43.7 milyon ton ile en düşük seviyesini görmüştür. Bu tarihten sonra tekrar yükselen linyit üretimleri 2011 yılında 72.5 milyon ton olarak gerçekleşmiştir (ETKB, 2013).

Kömürün yanma işlemi öncesinde zenginleştirilmesi, külünün ve kükürdünün uzaklaştırılması ya da bir başka deyişle yıkanması genellikle yaş yöntemlerle yapılmaktadır. Bu işlemlerde genellikle, iri (-300+30 mm) boyutlarda triyaj, ağır ortam ayırması, orta boyutlarda jig ile zenginleştirme (-25+2 mm) , ağır ortam ile zenginleştirme (Ağır ortam siklonları), ince (-2+0,05 mm) boyutlarda ise sarsıntılı masa ve spiral ile zenginleştirme uygulamaları yapılmaktadır. Nadiren de olsa özellikle yüksek dereceli kömürlere ince boyutlu kömürlere flotasyon ile zenginleştirme yöntemleri de uygulanmaktadır. Çok iri boyutlarda (+300 mm) kırma-eleme (döner kırıcı-elek) yöntemi ile (kuru) kömürün kazanılması mümkün olmaktadır. Bu yöntemlerle, kömürün içerdiği mineral maddelerin uzaklaştırılarak gerek kül gerekse kükürt içeriklerinin azaltılması söz konusu olmaktadır. Uygulanan yıkama işlemlerin büyük bir çoğunluğunun yaş yöntem olması, yani yıkama (ayırma) ortamının su olması ve kullanılan suyun büyük oranlarda olması (örneğin jig ile zenginleştirme işleminde 1 ton kömür için 3-4 ton su kullanılmaktadır), küresel ısınma sebebiyle su yönünden sıkıntı çekilen bölgelerde yaş yöntemlerin uygulanmasını zorlaştırmaktadır. Ayrıca, suyun donma tehlikesinin olduğu soğuk iklimler de yaş yöntemlerin uygulanabilirliği zordur. Bununla birlikte yaş yöntemlerle üretilen temiz kömürlerin ve atılan atıkların susuzlandırılması gerek ekonomi gerekse çevresel sorunlar da doğurmaktadır. Bu sebeple, özellikle su problemlerinin yaşandığı Çin, Avustralya ve donma probleminin olduğu Rusya gibi birçok önemli kömür üreticisi ülkede, son zamanlarda kuru kömür üretimi üzerine çalışmalar başlatılmış ve kuru zenginleştirmenin gerçekleştirilmesi için cihazlar üretilmiş ve geliştirilmiştir. Küresel ısınma sebebiyle ileride karşılaşılabilecek su sıkıntısı problemlerini yaşamamak ve ekonomiklik açısından susuzlandırma ve atıkların depolanması gibi çevresel sorunların ortadan kaldırıldığı kuru zenginleştirme yöntemlerinin Türk kömürlerine uygulanabilirliğinin incelenmesi ve ortaya konulması geniş rezervlerimizin doğru olarak değerlendirilmesi açısından oldukça önemlidir.

Bu tez çalışması kapsamında, Ege bölgesi düşük kaliteli kömürlerinin gravite bazlı kuru yöntemler ile zenginleştirilebilirliği, laboratuvar ve pilot çaplı cihazlar ile sistematik olarak araştırılmıştır. Çalışmalar Kamag 109G045 no'lu TÜBİTAK projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

2. KÖMÜR HAKKINDA GENEL BİLGİ

2.1. Kömürün Tanımı

Kömür, çoğunlukla karbon, hidrojen ve oksijenden oluşan az miktarda kükürt ve nitrojen içeren, kimyasal ve fiziksel olarak farklı yapıya sahip maden ve kayadır. Genellikle % 50 oranında yanabilen madde içeren kayalar kömür olarak kabul edilirler. Kömürün yapısında organik kısım dışında, inorganik kısım ve nem de bulunmaktadır (Ateşok, 2009).

Bitkilerin, doğa olaylarının etkisi altında zamanla bozularak fiziksel ve kimyasal değişikliklere uğraması sonucu kömürler oluşmaktadır. Bitkilerin kömürlere dönüşümü iki aşamadan oluşmaktadır: Kömürleşme sürecinde önce, uygun ortamlarda bataklıklarda bozunma ve çürümeden kurtulan, bitki ve kalıntı birikimlerinin, zamanla biyokimyasal ve fiziksel etkilerle değişimi sonucu turba oluşur. Turbaların kömüre dönüşümü ise, üst tabakaların basıncı, dağ oluşumları ve tektonik olayların etkisi ile gerçekleşmektedir. Ayrıca yer kabuğundaki hareketlerden, basınç artmasından, kimyasal reaksiyonlardan ve yer altı kaynaklarından ileri gelen ısılar da turbaların kömüre dönüşümünde önemli rol oynamaktadır (Ateşok, 2009).

2.2. Kömürün Sınıflandırılması

Gelişmiş ülkeler kömürün üretimi, kullanımı ve teknolojisinde kendi kömürlerinin özelliklerine göre sınıflama yaptıkları gibi uluslararası genel bir sınıflama için de standartlar geliştirmişlerdir. İlk olarak 1957 yılında, değişik tipte kömürlerin sınıflandırılması çeşitli ülkelerden oluşan üyelerin oluşturduğu Uluslararası Kömür Kurulu'na birçok ülkeden temin edilen numuneler incelenerek Uluslararası Standartlar Organizasyonu tarafından (ISO) oluşturulmuştur. Bu sınıflama yapılırken kömürlerin kalorifik değer, uçucu madde içeriği, sabit karbon miktarı, koklaşma ve kekleşme özellikleri temel alınmıştır. Bu özelliklere göre kömür; sert (taş kömürü) ve kahverengi (alt bitümlü ve linyit) olarak iki sınıfa ayrılmıştır (Çizelge 2.1):

Sert Kömürler (Taş kömürü – Hard Coal): Nemli ve külsüz bazda 24 MJ/kg (5700 kcal/kg) üzerinde kalorifik değere sahip olan kömürdür. Uçucu madde içeriği, kalorifik değer ve koklaşma özelliklerine göre alt sınıflara ayrılırlar.

Kahverengi Kömürler (Brown Coal): Nemli ve külsüz bazda 24 MJ/kg (5700 kcal/kg) altında kalorifik değere sahip olan kömürdür. Toplam nem içeriği ve kalorifik değere göre alt sınıflara ayrılırlar.

Kömür üretimi ve ticaretinde OECD-Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından bu iki kategori kullanılmaktadır. IEA kömür istatistiklerinde 1978 yılından itibaren kömür pazar

analizleri ve tahminlerinde bu iki kategori alt sınıflara bölünmektedir (Taşkömürü Sektör Raporu, 2009):

Taşkömürü;

Koklaşabilir Kömür: Yüksek fırınlarda kullanılabilir kalitede koklaşma özelliğine sahiptir. Metalurjik kömür olarak da adlandırılır.

Diğer bitümlü kömürler ve Antrasit: Koklaşabilir kömür olarak sınıflandırılmayan kömürlerdir.

Kahverengi kömürler (Brown Coal);

Yarı bitümlü kömür: 17-24 MJ/kg (4.165-5.700 Kcal/kg) arasında kalorifik değere sahip olan kömürdür.

Linyit: 17 MJ/kg (4.165 Kcal/kg) altında kalorifik değere sahip olan kömürdür (Linyit Sektör Raporu, 2010).

Çizelge 2.1. Uluslararası genel kömür sınıflandırması (Taşkömürü Sektör Raporu, 2009).

A. TAŞKÖMÜRÜ (HARD COAL)	B. KAHVERENGİ KÖMÜRLER (BROWN COALS)
1. KOKLAŞABİLİR KÖMÜRLER (Yüksek fırınlarda kullanıma uygun kok üretimine izin veren kalitede)	1. ALT BİTÜMLÜ KÖMÜRLER (4.165-5.700 kcal/kg arasında kalorifik değerde olup topaklaşma özelliği göstermez)
2. KOKLAŞMAYAN KÖMÜRLER a. Bitümlü Kömürler b. Antrasit	2. LİNYİT (4.165 kcal/kg'ın altında ısı değerde olup topaklaşma özelliği göstermez)

Ülkemizde ise kömürler; turba linyit, taş kömürü ve antrasit olarak sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma, uluslararası kömür sınıflandırmalarıyla uyum göstermemektedir (Ateşok, 2009).

2.3. Kömürün Oksidasyonu

Kömürler havanın oksijeni altında oldukça yavaş gelişen bir oksitlenmeye uğramaktadırlar. Oksidasyon, kömürün uçucu miktarına, sabit karbon miktarına, gözenekliliğe ve içerdiği kükürt miktarına göre değişmektedir. Kömürün uçucu madde ve karbon miktarı yükseldikçe oksitlenmeye karşı direnci artar. Gözenekliliği yüksek olan ve büyük oranlarda kükürt içeren kömür kolaylıkla oksitlenir (Ateşok ve ark. 1996)).

Kömürün oksidasyonu, başta yüzey özellikleri olmak üzere bazı özelliklerinde değişimlere sebep olmaktadır. Kömürün oksidasyonu kömürün ıslanabilirliğini azaltmakta ve temas açısının düşmesi sonucu kömürün yüzebilirliği azalmaktadır (Lekili, 1986).

2.4. Kömürün İçerdiği Mineral Bileşenler

Majör bileşenler kömürün içerdiği mineral maddenin % 95'inden fazlasını oluşturmaktadır. (Küçükbayrak ve Karatepe 1998) Majör bileşenler dört gruba ayrılmaktadır;

Killi Mineraller: Toplam mineral maddenin % 50'sini illit, kaolinit, montmorillonit ve illit – montmorillonitlerin karışımı olarak ortaya çıkan aluminasilikatlar oluşturmaktadır.

Karbonat Mineralleri: Karbonat mineralleri kalsit, siderit, dolomit ve ankeritin yanı sıra kalsiyum, demir, magnezyum ve manganın çeşitli kompleks yapılarıdır.

Kükürtlü Mineraller: Sülfür ve sülfat mineralleri bu grupta yer alır. Pirit ve markazit sülfür mineralleri içinde en yaygın olanlarıdır. Sülfat minerallerinin büyük bölümünü ise kalsiyum ve demir bileşikleri oluşturmaktadır.

Silikat Mineralleri: Toplam mineral maddenin % 15 – 20'sini oluşturur ve en önemli minerali kuvarstır.

Periyodik cetveldeki elementlerin birçoğu kömürdeki minör bileşenleri ve iz mineralleri oluşturmaktadır. Ayrıca kömürde; klorür, oksit, hidroksit ve fosfat bileşikleri halinde de mineraller bulunmaktadır.

2.5. Kömür Hazırlamada Yararlanılan Mineral Özellikleri

Cevher hazırlamada ve özellikle zenginleştirme işlemlerinde minerallerin fiziksel, kimyasal ve fiziko – kimyasal özelliklerinden yararlanılır. Değerli ve değersiz minerallerin birbirinden ayrılması, bu mineraller arasındaki özellik farklarına dayanılarak gerçekleştirilmektedir (Önal, 1980). Kömür hazırlamada, ayırmayı sağlamak amacıyla genellikle fiziksel ve fiziko – kimyasal özelliklerden yararlanılmaktadır. Kömür hazırlamada yararlanılan başlıca özellikler aşağıda sıralanmıştır;

Özgül Ağırlık: Ocaklardan çıkarılan tuvenan kömürler farklı özgül ağırlıktaki minerallerin karışımları halindedir. Kömürün özgül ağırlığı yaşına göre değişmektedir. Kömürleşme derecesi arttıkça kömürün özgül ağırlığı da artmaktadır. Linyitlerde özgül ağırlık 0,50 – 1,30 iken antrasitin özgül ağırlığı 1,40 – 1,70 arasında değişmektedir. Kömürde kül yapıcı minerallerin özgül ağırlıkları saf kömüre göre oldukça yüksektir. Dolayısıyla kömürlerde özgül

ağırlık farkın göre oldukça kolay bir şekilde ayırma yapılabilir. Bu minerallerin başlıcaları; pirit ($5,0 \text{ g/cm}^3$), kalsit ($2,70 \text{ g/cm}^3$), kaolen, şeyl, kil, kumtaşı ($2,60 \text{ g/cm}^3$) ve jips ($2,30 \text{ g/cm}^3$) tir (Ateşok, 2009).

Strüktür ve Kırılma: Kömür mineral maddelere nazaran daha kırılğan bir yapı göstermektedir. Özellikle döner kırıcılarda kömürün şiste göre daha kolay kırılması çok önemli bir özelliktir. Kırma işlemi sonrası eleme ile kömür ve şist birbirinden kolayca ayrılırlar. Kömür şiste göre daha çok ufalandığı ve küçük boyuta indiği için elek altına geçer. Şist ise elek üstünden alınarak kolay bir ayırma sağlanmış olur (Küçükbayrak, 1991).

Renk: Kömürün rengi genellikle kahverengi ve siyahtır. Kömürde bulunan mineraller ise gri ve sarı renktedir. Kömür ve safsızlıkları arasında bulunan renk farkı kömürün elle ayıklama ile zenginleştirilmesine olanak sağlamaktadır (Küçükbayrak, 1991).

Yansıtma: Kömür ve safsızlıkları ışığı farklı şekillerde yansıtırlar. Bu özellik yardımıyla ayırma yapan fotometrik ayırıcılar bulunmaktadır (Küçükbayrak, 1991).

İslenme (Temas Açısı): Temas açısı, kömür yüzeylerinin havaya veya suya olan ilgisini gösteren bir ölçüdür. Organik kısım (kömür) ile non – piritik inorganik maddeler arasındaki temas açısı, genellikle flotasyonla ayırmanın başarılı olabileceği ölçüde büyüktür. Piritin temas açısı ise hemen hemen organik maddelerle aynıdır. Bundan dolayı, sülfürlü bileşikler temas açısı farklılıklarıyla uzaklaştırmak oldukça zordur. Ancak, bazı önlemler ile sülfürlü minerallerin temas açısını düşürmek ve kömürden ayırmak mümkün olabilmektedir. Flotasyonun temelini, minerallerin temas açısındaki farklılıklar oluşturur. Kömür taneleri, hava kabarcıklarına yapışarak yüzeye taşınırken inorganik taneler ise kabarcığa yapışmazlar. Bu şekilde kömür safsızlıklarından ayrılmış olur (Atak, 1990).

2.6. Kömürün Zenginleştirilmesi

Kömürün temizlenmesi için uygulanan yöntem kömürün mineralojik yapısına, yoğunluğuna ve içerdiği safsızlıklarla arasındaki yoğunluk farkına göre değişir. Kömürün zenginleştirilmesinde kullanılan yöntemleri aşağıdaki şekilde gruplandırmak mümkündür (Osborne 1988).

- İri boyutlu kömürün yaş yöntemle zenginleştirilmesi
 - Hidrolik ayırıcılar
 - Ağır ortam ayırıcıları
- Toz kömürün yaş yöntemle zenginleştirilmesi

- Hidrolik ayırıcılar
- Ağır ortam ayırıcıları
- Flotasyon
- Kömürün kuru zenginleştirilmesi Kömürün ısıl işlemle zenginleştirilmesi

Bu tez çalışmasının amacı düşük kaliteli kömürlerin kuru yöntemler ile zenginleştirilmesi olduğundan, çalışmanın bu kısmında yaş zenginleştirme yöntemleri yerine kuru zenginleştirme yöntemleri ve bu konuda yapılan çalışmalar detaylı olarak irdelenmiştir.



3. KURU ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

3.1. Genel Bilgi

Kömürlerin kuru olarak zenginleştirilmesi 1930–1990 yılları arasında çalışılmış ancak düşük ayırma yoğunlukları, ayırma etkinlikleri ve kapasiteleri dolayısıyla popülaritesini zamanla yitirmiştir. Ancak son yıllarda küresel ısınma ve iklim değişikliği nedeniyle ortaya çıkan su sıkıntısı, özellikle Avustralya'nın iç kesimlerindeki meyve-sebze üretim çiftliklerini zor durumda bırakmış ve bu bölgedeki çiftçilerin itirazı ile su kullanımı kısıtlandığından, bu bölgelerde çıkarılan kömürün kuru olarak zenginleştirilmesi gündeme gelmiştir (Donnelly, 1999). Benzer soruna Çin'de de rastlanmış ve buradaki kömür üreticileri kuru kömür zenginleştirme yöntemlerine yönelmiştir. Bunun yanı sıra, özellikle Rusya gibi, iklim koşulları zorlu olan ve kış aylarında donma problemleri yaşanan bölgelerde, kömürlerin yaş olarak külünden arındırılmasında problemler yaşandığından bu bölgelerde de kuru zenginleştirmeye yönelmeler olmaktadır.

Su sıkıntısı yaşayan ya da kış aylarında donma tehlikesiyle karşı karşıya kalınan bölgelerdeki kuru kömür zenginleştirmeye yönelik çalışmalar ve kuru kömür zenginleştiriciler üzerindeki yeni tasarımlar ve yaklaşımlar, kuru zenginleştirme sistemlerinin daha önce ifade edilen düşük kapasite ve düşük ayırma performansı gibi dezavantajlarını ortadan kaldırmıştır. Aslında gerek işletim maliyetleri gerekse nihai ürün ve üretim sonrası oluşabilecek çevre problemleri birlikte düşünüldüğünde su sıkıntısı ve donma problemlerinin önlenmesinin yanı sıra, kuru kömür zenginleştirme yöntemleri bazı ilave avantajlar da sunmaktadır.

Kuru zenginleştirme bazı diğer avantajları;

- a) Atık çamuru ya da tuz çözeltisi (effluent) üretilmemektedir.
- b) Eleme, pompalama, vakum filtrasyonu ya da santrifüjleme gibi susuzlandırma proseslerine ihtiyaç duyulmamaktadır.
- c) Tikiner, köpük flotasyonu ve flokülant, kollektör gibi pahalı kimyasallar ve yüksek maliyetli proseslere gerek yoktur.
- d) Kömür hazırlama tesisleri daha küçük ve ucuz olmakta, daha az elektrik enerjisi gerektirmekte ve düşük işletme maliyetleri oluşturmaktadır.
- e) Düşük nemden dolayı ton konsantre bazında nakliye maliyetleri de düşük olmaktadır.

- f) Atık havuzlarına ihtiyaç duyulmaması ekolojik anlamda daha çekicidir ve maden alanlarının rehabilitasyonu için gerekli olan maliyetler de azalmaktadır.
- g) Çok ince kömür taneleri de temiz kömür içinde yer alacağından ürün miktarı da artacaktır. (Birçok kömür hazırlama tesisi, yaş yöntemlerle değerlendirilmesi yüksek maliyet gerektirdiğinden ince boyutlu kömürü atığa göndermektedir).
- h) İri boyutta kömür üretim sahasına yakın yerde yapılacak olan zenginleştirme ile mineral maddenin ayrılması nakliye masraflarının azalmasına sebep olacaktır (Donnelly, 1999).

Bununla birlikte kuru zenginleştirmenin yaş zenginleştirmeye göre bazı dezavantajları da mevcuttur;

- Düşük ayırma etkinlikleri, yani kuru zenginleştirme sonucu elde edilen temiz kömürlerin kül içerikleri yaş yöntemde elde edilen konsantrelere göre daha yüksektir.
- Proses, beslenen kömürün sahip olduğu neme karşı duyarlıdır ve bazı durumlarda termal kurutma işlemi gerekli olmaktadır. Kömürün kesin olarak nemden arındırılmasına gerek yoktur. Sadece ayırmayı etkilemeyecek seviyelere düşürülmesi gerekmektedir. Ancak yapılan çalışmalar, kömürün sadece yüzey neminin giderilmesinin faydalı olacağını belirtmektedir.
- Kuru kömürün özellikle ince boyutta elenmesi çok daha zordur.
- Toz; kırma, eleme ve bazı ayırma prosesleri süresince üretilmektedir dolayısıyla tozun tutulması ile ilgili bazı ilave sistemlere gerek duyulmaktadır.
- Geçmişte düşük kapasiteli olan kuru zenginleştiricilerin kapasitelerinin artırılması ve modern tesislerdeki yüksek üretim kapasiteleri karşılayabilmesi ve işletme ve bakım maliyetlerinin minimize edilmesi gerekmektedir.
- Otomatik kalite gözlemlleme ve kontrol sistemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Ancak, aşağıda belirtildiği gibi bu dezavantajların üstesinden gelinebilir (Donnelly, 1999).

Kuru zenginleştirme öncesinde, nemi nispeten çok daha düşük olan iri boyutlu cevherler döner kırıcılar vasıtasıyla kırılarak sert kayalar, şeyl ve kömür serbest hale getirilebilir. Tozlanma probleminin yaşandığı yerlerde özel olarak geliştirilmiş olan ve nemli olarak eleme yapabilen özel elekler kullanılabilir. Beslenen kömürün nemi ile ilgili olarak mikrodalga kurutma ya da alternatif

olarak termal kurutma işlemi yapılarak kuru zenginleştirmeye hazır hale getirilebilir. Bu amaçla mikrodalga ile kurutma en etkin yöntem olarak sunulmaktadır. Çünkü kuru zenginleştirmede nem problemi tanelerin birbirlerine yapışmasından ibarettir ve dolayısıyla sıkıntı yaratan nem yüzey nemidir. Bu amaçla uygulanacak olan mikrodalga enerjisi ile sadece su ısıtılacak ve kömürün ekstra ısıtılması da engellenmiş olacaktır (Donnelly, 1999).

3.2. Kuru Kömür Zenginleştirme Yöntemleri

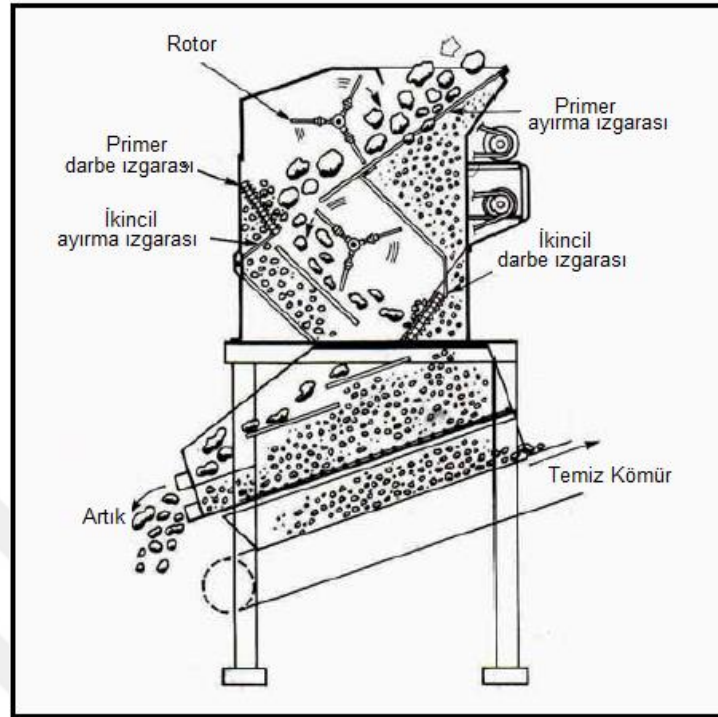
3.2.1. Elle ayıklama

Elle ayıklama işlemi, iri boyutta serbest yantaş içeren kömür cevherlerine uygulanmakta olup, yavaş hareket eden bir bant üzerinde kömür ve yantaşın insan gücü ve seçiciliği ile ayıklanarak bant üzerinden alınması işlemine dayanmaktadır.

3.2.2. Döner kırıcılar ile zenginleştirme

Döner kırıcılarla zenginleştirme ise daha çok iri boyutta, kömür ve yantaşın kırılma farklılıklarından yararlanılarak gerçekleştirilen bir ayırma işlemidir. Burada dönen silindirik bir yapı içerisinde yuvarlanma ve ufalanma etkisine maruz kalan kömür içerisinde bulunan yantaş iri boyutlarda kalırken, kömür ufalanarak daha küçük boyutlara geçmekte ve silindirin alt kısmında bulunan elekler vasıtasıyla yantaştan ayrılmaktadır.

Döner kırıcıların biraz daha gelişmişleri literatürde hızlandırıcı (accelerator) olarak tanımlanmaktadır (Şekil 3.1). Burada, kömür kırma ünitesinde kontrollü kırma söz konusu olup, kömür sistem içerisindeki 2-3 farklı kısımda kırma işlemine tabii tutulmakta ve kırılan kömür ilgili üniteye elendikten sonra iri boyutta kalan kısım bir sonraki daha etkin kırma ünitesine gönderilmekte ve orada da kırma ve eleme işlemi yapılmaktadır. Burada kırma işlemi darbe etkisi ile yapılmaktadır. Honaker vd., (2007) yaptıkları çalışmada bu tür bir kırıcı ile yapılan kırma işlemleri sonucunda kömür içerisindeki kül içeriklerinin ince fraksiyonlara geçildikçe % 96'dan % 55 seviyelerine düşürüldüğünü ve bu tür kırıcılarla seçimli bir kırmanın sağlanabileceğini ifade etmişlerdir.



Şekil 3.1. Geliştirilmiş kırma-eleme ünitesi (Accelerator) (Honaker, 2007).

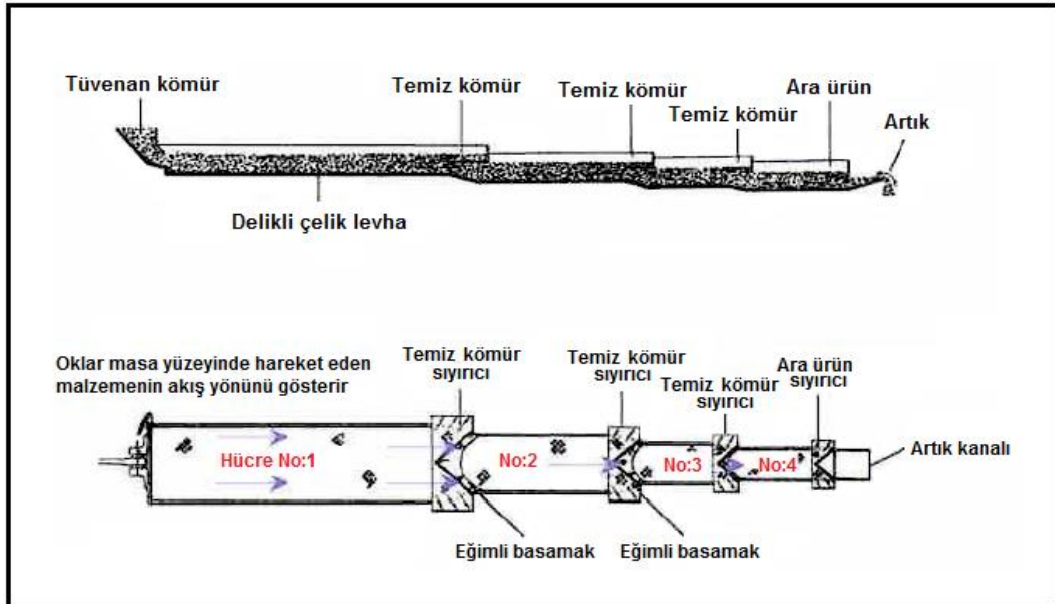
3.2.3. Havalı masa

Havalı Masa, ilk olarak 1950’li yıllarda uygulanan bir ayırma sistemidir. Burada akışkan ortam (ayırma gerçekleştirilen ortam) havadır. Masa, yüzeyi uzunluğunca yerleştirilmiş olan delikli tabandan oluşmaktadır ve hava kutusu üzerinde azalan eğimle yerleştirilmiştir. Kömürün ileri hareketi, basit bir eksantrik motor vasıtasıyla sağlanmaktadır. Döner pulsatorler vasıtasıyla hava tedarik eden fanlar sayesinde masanın alt tarafına statik hava basıncı uygulanmaktadır. Tüvenan kömür silolardan yıldız besleyiciler vasıtasıyla beslenmekte ve osilasyon hareketinin etkisi altında masa boyunca hareket etmektedir. Beslenen kömür masa üzerinde hareketi esnasında statik hava basıncı etkisiyle tabakalandırılmaktadır. Burada masanın en uç kısmında daralan oluk vasıtasıyla temiz kömür ayırıcının üst kısmından kazanılmaktadır (Şekil 3.2 ve 3.3).



Şekil 3.2. Pnömatik osilasyonlu havalı masa (Donnelly 1999).

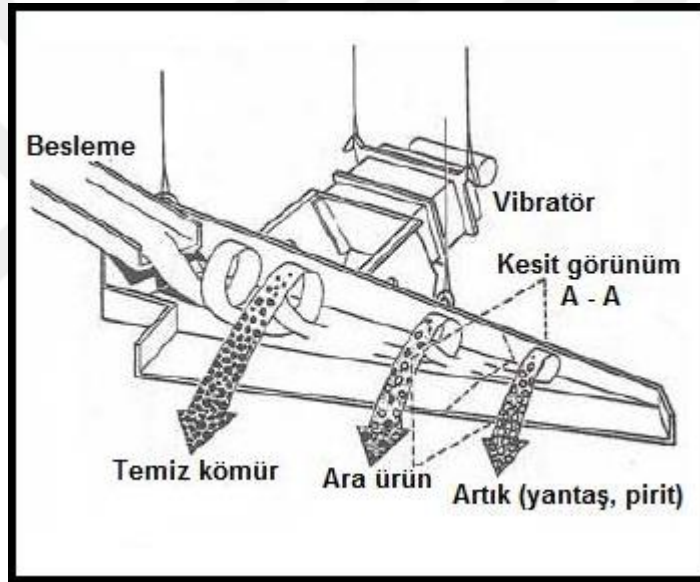
Ayırıcının altından geçen kömür ise yine bir başka daralan oluk kısmı ile 2. temiz ürün olarak alınmaktadır. Aynı işlem 3. ve 4. hücrelerde de tekrarlanmaktadır. 4. hücrede, Redler konveyörü tarafından sisteme geri döndürülen ara ürün kazanılmaktadır.



Şekil 3.3. Pnömatik osilasyonlu havalı masa (Donnelly 1999).

3.2.4. FMC Seperatörü

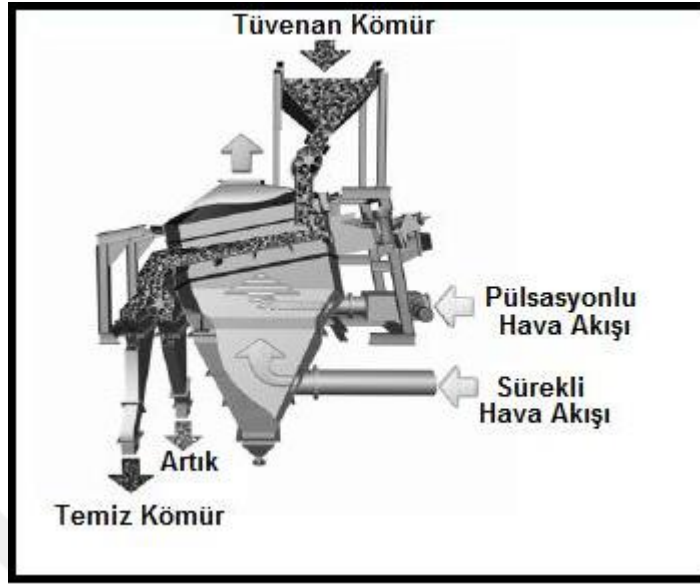
FMC seperatörü ise bu günkü FGX cihazının daha basit bir şekli olarak tanımlanabilir. Bu tür ayırıcıda, eğimli bir masa yüzeyine beslenen kömür numunesi masa yüzeyi altından verilen pülsasyonlu hava etkisi ile tabakalandırılmakta (ağır alt, hafifler üst kısımda) ve numune hareket yönüne paralel yönde verilen gitgel hareketi ile masa yüzeyi boyunca hareket etmekte, bu esnada akışa dik olarak uygulanan gitgel hareketi ile de tabakalanmış kömür numunesi içerisindeki temiz kömür, masanın kısa yüzeyi boyunca alınmaktadır (Honaker, 2007). Masanın uç kısmından ise paralel yöndeki gitgel hareketinden çok daha fazla etkilenen ağır kısmın yer aldığı şist alınmaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. FMC Ayırıcısı şematik görünümü (Honaker, 2007).

3.2.5. Havalı jig

Havalı Jig ile ayırmaya, 2007 yılında en son haline getirilmiş olan Allair jigi örnek olarak verilebilir. Bu sistemde bir jig kutusu içerisinde bulunan elekli bir yüzey üzerine kömür numunesi beslenmekte ve jigleme işlemi fanlar vasıtasıyla, jig kutusu içerisinde yer alan eleğin alt kısmından verilen hava ile gerçekleştirilmektedir. Jigleme kutusuna hava, sabit akışkanlandırma havası ve pülsasyon havası olmak üzere iki şekilde verilmektedir (Allmineral website). Şekil 3.5'te Allair jiginin kesit resmi, Şekil 3.6'da ise pilot ölçekte dizayn edilmiş şekli gösterilmektedir. Bu tür jiglerin kapasitesi saatte 100 tona kadar ulaşabilmektedir (Honaker, 2007; Allmineral website).



Şekil 3.5. Allair havalı jig şematik görünümü (Sampaio vd., 2008).



Şekil 3.6. Allair havalı jig şematik görünümü (Honaker, 2007)

Dünyada Allair jig uygulaması ile ilgili sadece 6 adet uygulama mevcuttur (Snooby vd., 2009). Literatürde havalı jigler üzerinde yapılmış bazı önemli çalışmalar mevcuttur. Sampaio ve diğerleri (2008), yaptıkları çalışmada; Candiota (Brezilya) düşük dereceli kömürlerinden, geniş boyutlarda serbestleşme gösteren pirit nodüllerinin ve killi kısımların uzaklaştırılması amacıyla havalı jig kullanmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda her ne kadar kül içeriğini % 51'den %

47'ye düşürseler de en büyük başarıyı pirit uzaklaştırılmasında sağlamışlardır. Kükürt içeriğini % 1.8'den % 0.7 seviyelerine düşürmüşlerdir.

Snoby vd., (2009-a), yaptıkları çalışmada allair jig ile farklı uygulamalara yer vermişlerdir. Ohio kömürleri ile yaptıkları çalışmada kuru ve yaş zenginleştirme de hemen hemen benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Ancak yaş zenginleştirme sonucunda üretilen çamurların depolanma maliyeti ve çevre problemleri dolayısıyla çok daha fazla maliyet getireceği düşünülmüştür. Ohio kömürlerine (besleme boyutu 60 mm) uygulanan havalı jig (allair) ile beslenen de % 9,2–26,7 (en düşük en yüksek) kül içeriğinin % 5,1–14,2 seviyelerine düşürmüşlerdir. Ayrıca kükürt içerikleri de % 3,2–7,0 seviyelerinden % 2,1–3,2 seviyelerine düşürmüşlerdir. Kömür numunelerinin çok az bir kısmı artık olarak atıldığı için kalorifik değer bazında çok önemli oynamalar gözlemlenmemiştir.

Snoby ve diğerlerinin (2009-b), yayınladıkları çalışmada bir diğer örnek North Dakota linyit kömürlerinin zenginleştirilebilirliğidir. +6 mm boyutlu kömürlerin kül içerikleri % 22–28 seviyelerinden % 11–15 seviyelerine, kükürt içerikleri % 2,75–6,0 seviyelerinden % 1,94 seviyelerine düşürülmüştür. Kalorifik değerler ise 2520-3022 kcal/kg seviyelerinden 3440-3580 kcal/kg seviyelerine çıkarılmıştır. Aynı zamanda da Hg içeriklerinde de düşüşler gözlemlenmiştir (% 14-23 seviyelerinden % 8,0 seviyelerine). Bu da allair jiginin linyit yıkamasında ve düşük kül içerikli linyitler üretiminde de önemli olduğunu göstermektedir.

Snobby ve diğerlerinin (2009-c) belirttiği bir diğer çalışma Gulf Coast linyit kömürleri üzerinde olmuştur. Bu kömürlere uygulanan modern jig (allair jigi) ile kül içeriklerinde % 10, sülfür içeriklerinde % 28, civa içeriklerinde % 32 lik düşüş sağlanırken, kalorifik değerde ise % 3 lük bir artış sağlanmıştır.

Utah bitümlü Steam Coal üzerinde gerçekleştirilen allair jig uygulaması ile kül içerikleri % 18,4 seviyelerinden % 12,3'e, kükürt içerikleri % 1,18 seviyelerinden % 1,13'e düşürülmüştür. Kalorifik değer ise 6288 kcal/kg seviyelerinden 6780 kcal/kg seviyelerine yükseltilmiştir (Snoby vd., 2009-d)

İspanya'daki eski sistemde 6 mm üstü kömür için 36 adet havalı masa, 6 mm altı kömür içinse 48 adet yaş sarsıntılı masa bulunmaktadır. Bununla birlikte ince kömür sistemleri için, tikiner, tikiner altı pompa sistemi, tikiner havuzu gibi susuzlandırma işlemlerini gerçekleştiren ilave sistemlerde mevcuttu. İspanya linyitleri üzerinde yapılan uygulamada ise allair jig uygulaması ile eski sisteme benzer teknik veriler elde edilmiş ancak maliyetler çok daha az olmuştur. % 50 oranında daha az personel kullanılmış ve bakım maliyetleri çok daha az

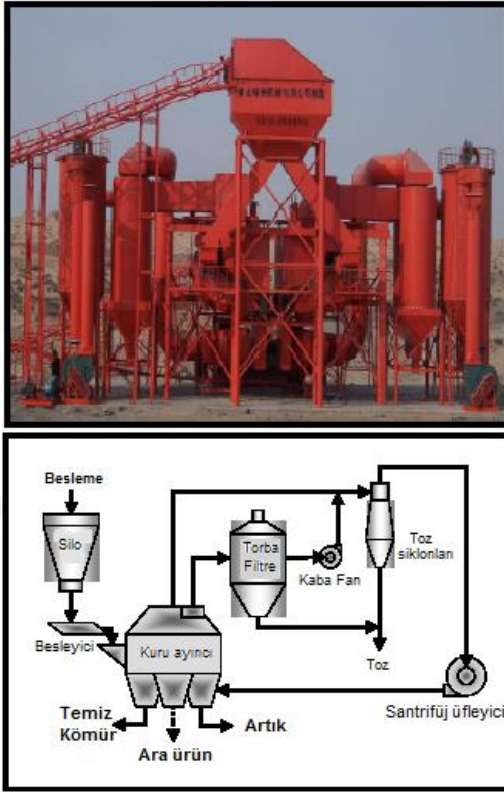
seviyelerde seyretmiştir. Aynı zamanda da proses çok daha basit bir hale getirilmiştir. Yeni sistemde tüm kömür -30 mm altında sınıflandırılmış ve havalı jige (allair) beslenmiştir (Snooby vd., 2009).

Hindistan Bitümlü kömürleri üzerinde gerçekleştirilen allair jig uygulamasında ise, kül içerikleri % 42,4–51,9 seviyelerinden, % 34,1-40,1 seviyelerine düşürülmüştür. Burada her ne kadar etkin bir ayırma söz konusu olmasa da, bu kömürlerin kullanıldığı spond demir üretimi işlemi ve bu işlemin ekonomikliği üzerinde önemli gelişmeler sağlamaktadır (Snooby vd., 2009).

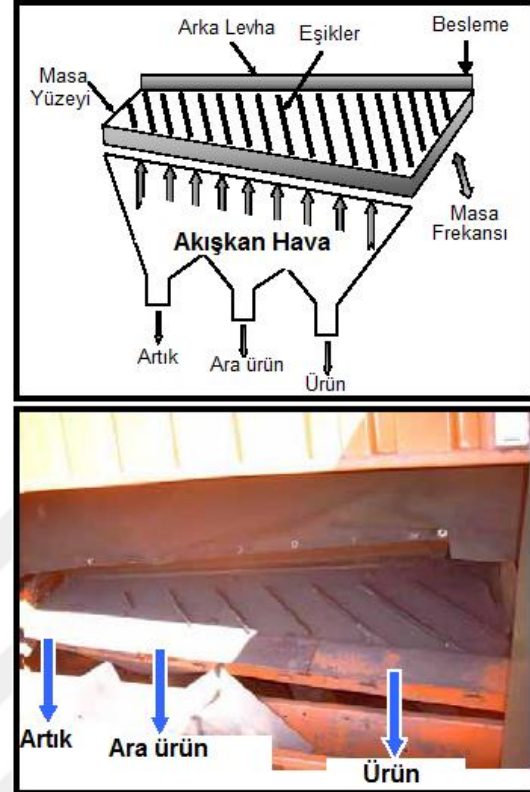
3.2.6. FGX Ayırıcısı

FGX ayırıcısı ise son yıllarda Çin’de geliştirilmiş olan kuru zenginleştirme cihazıdır. Bu cihazda, FMC cihazında belirtilen ayırma yöntemi söz konusudur. Ancak masa yüzeylerine bıçaklar yerleştirilmiştir. FGX cihazı ile 6 farklı rölatif yoğunluğa sahip ürünlerin alınması söz konusudur. Şekil 3.7 ve 3.8’de FGX ayırıcısı ünitesi ve masa yüzeyleri gösterilmektedir.

FGX cihazı, -75+6 mm boyutlu kömürlerin zenginleştirilebilmekte, -6 mm fraksiyon ise ayrı olarak beslenerek zenginleştirilmektedir (Honaker, 2007). Ancak, iri fraksiyonda ayırma yapıldığında, etkin bir ayırma için beslenenin % 10-20’lik bir kısmının ortam malzemesi olarak tutulması gerektiği belirtilmiştir (Honaker, 2007). FGX cihazının kapasitesi saatte 10 tona kadar çıkabilmektedir.



Şekil 3.7. FGX Ayırıcısı ünitesi (Honaker, 2007).



Şekil 3.8. FGX Ayırıcısı şematik görünümü ve masa yüzeyi (Honaker, 2007).

Kömür ve şistin birbirinden ayrılmasında, akışkan ortam olarak havanın kullanıldığı durumlarda konsantrasyon kriteri oldukça düşük çıkmakta ve bu da sadece serbest halde bulunan kömür ve şistin birbirinden ayrılmasını sağlamaktadır. Mikst olarak tabir edilen ara ürün özellikli malzemenin bu tür ayırıcılarda ayrılmasının zor olması havalı ayırıcıların ayırma performansını önemli ölçüde etkilemektedir. *Dolayısıyla, klasik havalı ayırıcılarda sadece şeyl uzaklaştırması ya da pirit gibi özgül ağırlığı çok yüksek mineral safsızlıklar uzaklaştırılmaktadır.* Özgül ağırlık farkına göre ayırma yapıldığında, ayırmanın kolaylığı, en uygun ayırma boyutları ve etkinliğinin önceden belirlenmesi, konsantrasyon kriteri baz alınarak değerlendirilebilir. Konsantrasyon (Taggart) kriteri aşağıdaki formülle açıklanabilir.

$$KK = \frac{\rho_a - \rho_s}{\rho_h - \rho_s} \quad (3.1)$$

Burada, Konsantrasyon kriteri (KK), ρ_a ağır mineral yoğunluğu, ρ_h hafif mineral yoğunluğu, ρ_s ortam yoğunluğunu ifade etmektedir. Konsantrasyon kriterinin 2,5 den büyük olduğu durumlarda ayırma nispeten kolaydır ve geniş boyut aralıklarında ayırma kolaylıkla sağlanabilir. Ayırma yoğunluğu 1,25'den küçükse ayırma mümkün olmamaktadır.

$$\rho_{\text{kömür}} = 1.3 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_{\text{yantaş(Quartz)}} = 2.6 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_{\text{yantaş(Pirit)}} = 5,01 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_{\text{su}} = 1 \text{ g/cm}^3$$

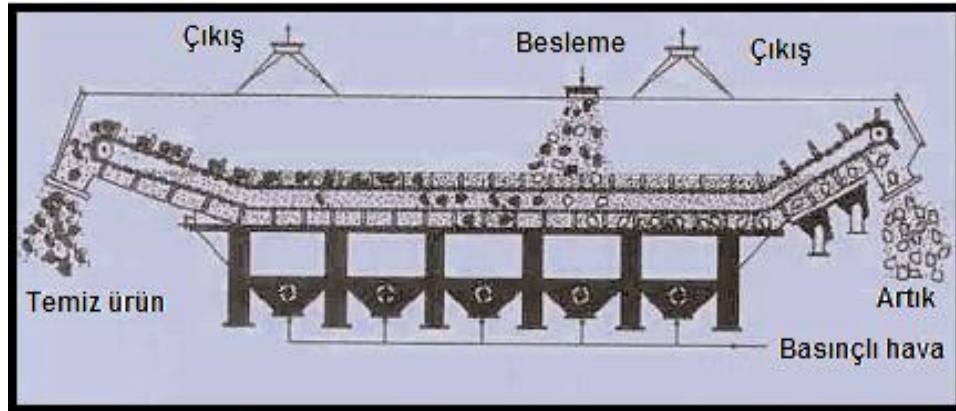
$$\rho_{\text{hava}} = 0.00129 \text{ g/cm}^3$$

Olarak alındığında, yaş ve kuru ortamda gerçekleştirilecek olan ayırmalarda konsantrasyon kriteri aşağıda çizelge 3.1'de verildiği gibi hesaplanır. Ara ürün niteliğindeki tanelerin kömür ve yantaş oranları da hesaba katıldığında konsantrasyon kriterinin serbestleşme derecesine bağlı olarak değişimi de çizelge 3.1'den izlenebilmektedir.

Çizelge 3.1'de görüldüğü gibi ayırma ortamı hava olduğunda sadece şeylden meydana gelmiş tanelerin veya serbestleşmiş pirit veya % 20-30 pirit içeren bağlı tanelerin kolaylıkla ayrılabilceği görülmektedir. Buna karşılık ayırma ortamı olarak suyun kullanıldığı yaş zenginleştirme işlemindeki ayırmalar çok daha kolay olmaktadır. Konsantrasyon kriterinin artırılması ancak ayırma ortam yoğunluğunun artırılması ile söz konusu olmaktadır. Bu amaçla son zamanlarda, ayırma ortamı olarak çok ince boyutlu manyetit tanelerinden oluşan hava-manyetit süspansiyonlarının kullanılmasına yönelik araştırmalar yapılmış ve ağır ortamlı havalı ayırıcılar geliştirilmiştir (Şekil 3.9).

Çizelge 3.1. Kömür, mikst ve şist ayırımında, ayırıcı ortamın hava ve su olması durumunda hesaplanan konsantrasyon kriteri değerleri.

Kömür %	Yantaş quartz %	Yoğunluk g/cm ³	KK su	KK hava	Yantaş Pirit %	Yoğunluk g/cm ³	KK su	KK hava
100	0	1,30	5,33	2,02	0	1,30	13,37	3,89
90	10	1,43	3,72	1,83	10	1,67	5,99	3,02
80	20	1,56	2,86	1,68	20	2,04	3,86	2,47
70	30	1,69	2,32	1,55	30	2,41	2,84	2,09
60	40	1,82	1,95	1,44	40	2,78	2,25	1,81
50	50	1,95	1,68	1,34	50	3,15	1,87	1,60
40	60	2,08	1,48	1,26	60	3,52	1,59	1,43
30	70	2,21	1,32	1,18	70	3,89	1,39	1,29
20	80	2,34	1,19	1,12	80	4,26	1,23	1,18
10	90	2,47	1,09	1,06	90	4,63	1,10	1,08
0	100	2,6	1,00	1,00	100	5,01	1,00	1,00



Şekil 3.9. Ağır ortamlı havalı ayırıcı şematik görünümü (Fan vd.,).

3.2.7. Ağır ortamlı havalı ayırıcılar

Ağır ortamlı havalı ayırıcılarda ayırıcı ağır ortam olarak -38 mikron boyutlu manyetit ya da hematit taneleri kullanılmaktadır. Bu tür ayırıcılara -50+6 mm ve -6+0,5 mm boyutlu kömür numuneleri ayrı ayrı beslenmekte olup, kapasitesi 260 ton'dur. Bu tür ayırıcılar üzerinde besleme

boyutunun arttırılmasına yönelik araştırmalar devam etmekte olup yakın gelecekte 300 mm'ye varan besleme boyutlarında ayırım yapılması planlanmaktadır (Chen vd., 2003).

Ağır ortam havalı ayırıcılar üzerinde literatürde yer alan birçok çalışma söz konusudur. Bu çalışmalar daha çok en uygun ayırma yoğunluğunun bulunması, ağır ortamın masa yüzeyine üniform olarak yayılması ve bu üniformluluğun korunması üzerine yoğunlaşmıştır (Fan vd., 2009; Luo vd., 2007).

Fan ve diğerleri (2009), akışkan yatak olarak manyetik uçucu kül ve manyetit kullanıldığı titreşimli yeni (geliştirilmiş) kuru kömür zenginleştirme metoduyla ilgili çalışmalarda bulunmuşlardır. Yaptıkları çalışmada, kömür yanması sonucu oluşmuş (yanürün) uçucu kül kullanılmış olup; vibrasyon etkisinin akışkan yatağı oluşturan manyetik uçucu külün stabilite ve üniformluğu üzerindeki etkisini incelemişlerdir. -6+0.5 mm kömürler üzerinde yaptıkları çalışmalarda ayırmada muhtemel E hatasını 0.06–0.08 olarak tespit etmişlerdir.

Ayırma işlemlerinde, akışkan yatak üzerindeki ayırma yoğunluğu dağılımı ve stabilitesi çok önemli olmaktadır. Yaptıkları çalışmada ince boyutlu kömür zenginleştirilmesinde en uygun şartların hava hızının (u : air gas velocity) 1 cm/sn ve vibrasyon frekansının 22 Hz. olduğunu, sisteme ilave edilen vibrasyon ile ayırma yüzeyi içerisinde, hava sağlayıcıdan uzaklaştıkça bozulan akışkan yatak özgül ağırlığını üniform hale getirmişler ve zamana bağlı olarak stabil tutmuşlardır. Aynı zamanda vibrasyon açılarının da ayırma etkinliği üzerinde önemli olduğunu vurgulamışlardır.

Luo, Z. ve diğerleri (2007), ayırıcı ortam olarak manyetit tanelerinin kullanıldığı havalı (kuru) ağır ortam ayırıcısını deneyerek ayırma yoğunluğunu 1.44 g/cm³ seviyelerinde sabitlemişler (en uygun şart) ve 6-50 mm boyutlu kömürleri zenginleştirmişlerdir. Temiz kömürleri % 91 kazanma verimi ile kazanmışlardır. Ayırma hassasiyetini (E_p) 0.05 olarak tespit etmişlerdir.

İri boyutta ayırma yapan kuru zenginleştiriciler bir başka örnek optik ayırıcılardır. Optik ayırıcılar da beslenen numune içerisindeki kömür ve yantaşın renk olarak bilgisayarlarda algılanması ve yantaşın kameralar tarafından tespit edilip, üfleme ile akış içerisinde uzaklaştırılması esasına dayanmaktadır. Optik ayırıcılarda 50-150 mm boyutundaki kömür numunesi külünden ayrılabilmekte olup, tesis kapasiteleri 50-100 t/s'e ulaşmaktadır.

İnce boyutlu kömürlerin zenginleştirilmesine yönelik olarak birçok araştırma enstitüsü ve ticari kuruluşlar tarafından geliştirilen teknolojileri aşağıdaki gibi 3 şekilde gruplandırılabilir (Donnelly, 1999);

- Aerodinamik sınıflandırıcılar
- Elektrodinamik ayırıcılar
- Manyetik ayırıcılar

3.2.8. Aerodinamik ayırıcılar

Aerodinamik ayırıcılar, boyutlandırılmış beslenen malzemenin rölatif özgül ağırlığı prensibinden yararlanılarak, bir rüzgâr tüneli içerisinde zenginleştirildiği sistemlerdir. Ağır olan atıklar kısa yörüngelerde hareket ederlerken, hafif taneler uzun yörüngelerde hareket etmektedirler. Bu şekilde farklı yörüngelerde hareket eden kömür ve yantaş, farklı bölmelerde toplanırlar. Beslenen malzeme dar boyut gruplarında olması gerektiğinden, sistem çok fazla sayıda sınıflandırıcı gerektirmektedir.

Rüzgâr tünelleri boyutlandırılmış malzemeleri aynı anda almak için hücreler içerisinde ayarlanmıştır. Beslenen malzeme içerisindeki her bir fraksiyon kendine ait olan ve malzeme boyutuyla orantılı olarak farklı hızda laminer hava akımı üreten birimlere beslenmektedirler. İnce malzeme içerisinde çıkış havası, siklonlarda ve toz tutucularda temizlenmektedir. Bu proseste öngörülen problem beslenen malzemenin çoklu boyutlarda elenmesi ve elenen bu fraksiyonların ve ürünlerin kontrol altında tutulmasıdır (handling). Toz kontrolü, toplanması ve atılması da aynı zamanda bazı problemlere yol açabilir (Donnelly, 1999).

3.2.9. Elektrostatik ayırma

Kömür ve yantaşın elektriksel özellik farklarından yararlanarak kömür külünü azaltabilmek amacıyla çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu amaçla elektrodinamik ve elektrostatik ayırıcılar denenmiştir. Elektrodinamik ayırıcılar -2 mm kömürler için uygun olurken, elektrostatik ayırma ise -0.25 mm kömüre uygun olmaktadır. (Fan vd., 2003)

Elektrostatik Ayırma konusundaki araştırmalar Yüksek Gerilimli Elektro Dinamik Ayırıcı (EDS) (-2 mm malzeme için) ve elektrostatik ayırıcı (-0.25 mm boyutlu malzeme için) kullanarak kömürün ayrılmasının sağlanması üzerine kuruludur ve bu konuda CSIRO Division of Energy Technology çalışmalar yapmaktadır. EDS cihazı CARPCO yüksek gerilim ayırıcısıdır. Burada mineral madde, rölatif olarak elektriği iletiyor ve üzerinde herhangi bir yük taşımadan silindirden atılıyor. Kömür ise rölatif olarak elektriği iletmemekte ve ona uygulanan yükü taşıyarak fırça vasıtasıyla silindirden atılınca kadar silindire yapışık olarak kalmaktadır. EDS cihazı ticari olarak mineral kumları ve demir cevheri endüstrilerinde kullanılmaktadır.

Bu proseste, ayırma işlemi öncesinde beslenen kömürün, uygulamada zor olan ve maliyet gerektiren dar boyut gruplarında olmasına, şlamın uzaklaştırılmasına ve hava ile kurutulmasına gerek duyulmamaktadır.

Elektrostatik ayırıcı içinde döner bir tel fırça olan, dikey bir silindirik yük yükleme odacığına sahiptir. İnce kömür silindirin altından beslenir ve iki paralel düz elektrotlar tarafından oluşturulmuş olan elektrik alanının içerisinde bırakılır. Farklı işlem fonksiyonlu ince taneler çarpıştığında, elektronların değişimi söz konusu olur ve bu da tanecikler arasında yük farklılıklarına sebep olur. Negatif ve pozitif yükle yüklenen taneler farklı yüklere sahip elektrotlara doğru çekilirler. Ürünler sıçratıcılar tarafından birbirlerinden ayrılmakta ve farklı kaplarda toplanmaktadırlar (Donnelly, 1999, Y.Soong, vd., 2001).

Bu ayırma işleminde şu ana kadar elde edilen sonuçlar genellikle az oranda kül uzaklaştırma ile sonuçlanan ve düşük ürün miktarı veren zayıf ayırma işlemini ifade etmektedir. Bu teknoloji henüz ticari anlamda düşünülmemektedir.

Elektrodinamik ayırıcılarla çalışmalar -3 mm ile 0.1 mm aralığında sürdürülmüştür. Vitrinitçe zengin kömürlerde oldukça iyi ayrımlar sağlanırken, daha genç kömürlerde de belli bir başarı sağlandığı belirtilmektedir. Kömürün dar tane aralığında sınıflandırılması, şlamdan arındırılması ve havada kuru hale getirilmesi gerekmektedir. Pratikte bu aşamalar çok pahalı ve zor işlemler içermektedir.

Elektrostatik ayırmada, ayırma kademesinden önce, tanecikler elektrostatik olarak mutlaka yüklenmelidir. Kömürdeki organik kökenli fazlardan mineral maddelerin ayrılması, bu iki fazın farklı tip ayırıcılarda farklı şekilde şarj olma ve şarjı taşımalarına bağlı olarak gerçekleşmektedir. Bu şekilde iki farklı elektrostatik yöntem mevcuttur. Bunlardan birisi elektriksek direnci kullanırken diğeri yüzey yapısındaki elektriksel farklılıkları kullanmaktadır. Tanecikleri yüklemek için kullanılabilecek değişik metodlar mevcuttur. Bunlar; iletken yüklemesi, iyon bombardımanı ve sürtünme ile yüklenme (triboelektrifikasyon)'dır. Şarj metodundan bağımsız olarak, kazanılabilen maksimum yük yoğunluğu ve tanecik yüzey alanı tanecik üzerinde oluşan yük miktarını sınırlandırmaktadır. Elektrostatik ayırmanın başarılı olabilmesi için taneciğe etki eden elektrostatik güçlerin yerçekimi ve taneler arası etkileşim kuvvetlerini yenmesi gerekmektedir. (Trigwell vd., 2003)

Elektrostatik ayırıcılarda toz kömür bir elektrik alandan geçirilir ve burada farklı yüklenmeler meydana gelir. Negatif ve pozitif yüklenmiş tanecikler zıt olarak yüklenmiş elektrotlara doğru yönelirler. Ürünler bölücülerle birbirinden ayrılır. Bu yöntemde sonuçlar

oldukça kötüdür ve ticari uygulama şansı görülmemektedir (Donnelly, 1999; Maoming vd., 2003).

Elektrostatik ayırımın araştırılan diğer bir uygulama şekli ise triboelektrostatik ayırımıdır. Bu yöntemde öğütülmüş kömür bir boru içerisinde pnömatik olarak taşınırken türbülans oluşmakta ve taneler çarpışma etkisine maruz kalarak taneler üzerinde bipolar yük oluşturmaktadır. Çarpışma etkisi tanecikler arasında ve tanecikle yüzey arasında olmaktadır. Bu etkiler, titreşimli ya da akışkan yataklı besleyici ile, gaz veya mekanik yöntemle taşınma esnasında olmaktadır. Kömür bu ortamda pozitif yükle yüklenirken, mineral maddeler üzerinde negatif yük olmaktadır. Yükleme işleminden sonra ise bir elektrostatik ayırıcı ile ayırım gerçekleştirilmektedir (Trigwell ve ark., 2003; Jiang ve Tao, 2003).

3.2.10. Yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcılar

Nadir Toprak Elementli Yüksek Alan Şiddetli Bantlı Kuru Manyetik Ayırıcılarda (REMS) ayırma, kömür içerisindeki ferromanyetik ya da paramanyetik özellikteki inorganik safsızlıklar olarak nitelendirilen mineral maddenin manyetik bir alandan geçişleri sırasında manyetizma etkisi ile çekilerek manyetik ürün olarak alınması esasına dayanmaktadır. REMS'ler EDS ve ya elektrostatik ayırıcılara göre çok daha geniş boyutlarda, yüksek tonajlarda ve yüksek nem içerikli beslenen malzeme ile çalışmaya uygundur. Ayırma etkinlikleri ve elde edilen ürün miktarları çok daha yüksektir. 40 inç genişlikte bir banda sahip REMS'in kapasitesi saatte 4-5 tondur. Eriez Magnetics şirketi çok daha geniş, yüksek kapasiteli REMS cihazlarının da yapılabileceğini önermektedirler. Temizleme etkinliğinin ve kül uzaklaştırma verimlerinin yaş sistemlere göre daha düşük iken, kuru olarak işlem görmüş temiz kömürlerin spesifik enerjileri, kuru olduklarından daha yüksektir (Donnelly, 1999).

360 t/s kapasiteli REMS tesisinin yatırım maliyetleri klasik yaş zenginleştirme tesisi ile karşılaştırıldığı bir çalışma; kuru temizleme tesisinin yaş zenginleştirme tesisine göre yaklaşık % 13 daha az yatırım maliyetli olduğunu göstermiştir. Ancak, aynı ısı değere sahip ince boyutlu temiz kömür üretiminin işletme maliyetleri açısından, kuru zenginleştirme yaş zenginleştirmeye oranla % 50 daha az oranda işletme maliyeti gerektirmektedir (Donnelly, 1999).

Bu tür ayırmanın bir diğer uygulaması da düşük sıcaklık koklaştırmasını takiben yapılan nadir toprak manyetik ayırıcıları ile zenginleştirme işlemidir. Karbonizasyon adı da verilen düşük sıcaklık koklaştırması esnasında uygulanan ısı etkisiyle kömür içerisinde bulunan pirit (FeS_2), pirotine (FeS) indirgenerek manyetik duyarlılığı artmaktadır. Manyetik duyarlılığı artan pirotin

ise REMS ile yapılan ayırma işleminde manyetik ürün olarak yakalamak suretiyle kömürden uzaklaştırılabilmektedir. (Çelik ve Yıldırım 2000)

3.3. Havalı Ayırıcılarda Akışkanlandırma Karakteristiği

Kuru zenginleştirme yapan cihazların çalışma prensibi oluşturulan hava akımında tanelerin yoğunluk farklarından yararlanılarak sınıflandırılmasının sağlanmasıdır. Hava akımı içinde yer alan taneler aralarından geçen havanın etkisiyle akışkan bir yatak oluşturmaktadırlar. Oluşan bu yatağın akışkanlandırma özelliği seçimli ayırma doğrudan etkilemektedir. Hava hızına bağlı olarak üç tip yataklanma söz konusudur; (i) tanelerin birbirleriyle doğrudan temas ettiği ve tane ağırlıklarının diğer tanecikler tarafından desteklendiği sabit yada statik yatak, (ii) tanecikler arasında belirli mesafelerin olduğu, tane ağırlıklarının sürüklenme kuvveti ile desteklendiği genişlemiş/akışkan yatak, (iii) sürüklenme kuvvetinin tane ağırlıklarından daha yüksek olduğu, pnömatrik taşınmanın gerçekleştiği mobilize yatak. Akışkanlaştırma karakteristiği ya da sabit, akışkan ve mobilize yatak tanımlamaları genellikle basınç düşüşü-hava hızı grafiğine bağlı olarak belirlenir. Akışkanlandırılan yatağın altında ve üstündeki basınç farkı Δp olarak adlandırılır ve yatağa verilen akışkanlaştırma hava hızına bağlı olarak yatak basınç farkı artar. Böyle bir ilişki Şekil 3.10'da verilmektedir.

Şekil 3.10'da gösterildiği üzere; öncelikle hava hız artışına bağlı olarak lineer bir artış söz konusudur (OA doğrusu). Bu bölgede katı kütlesi sabit/statik yatak olarak tanımlanmaktadır. Hava hızında görülen belirli artışlardan sonra yatağın basınç düşüşü tane ağırlığına eşit hale gelir, yani sürüklenme kuvveti ile tane ağırlıkları dengeye ulaşır ki, bu durumda taneler hareket etmeye başlar. Bu basınç düşüşü-hava hızı grafiğinde, A noktasına karşılık gelmektedir. Bu aşamada katıkütlesinin porozitesi artar ve artan hava hızına bağlı olarak basınç düşüşü de daha küçük ölçekte artar. B noktasına gelindiğinde, yatak aşırı gevşek yapıda olup tanecikler de kısmen temas halindedir. A ve B noktaları arasında yatak kararsız yapıda olup, taneler aralarındaki teması keser ve akışa direnç gösterir şekilde pozisyon alırlar.

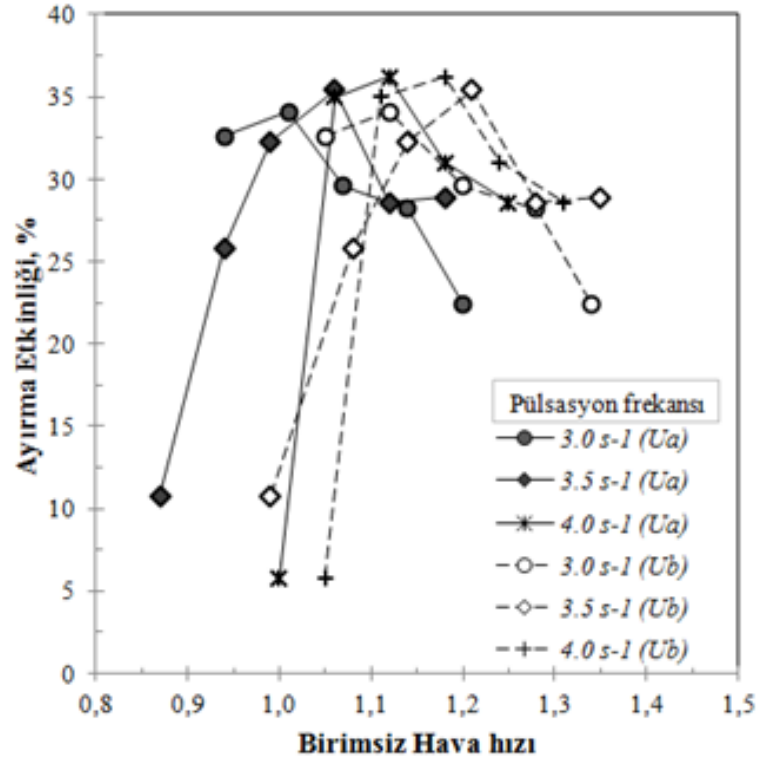
etken, taneler arası kuvvet sıvı köprüleri ve Van Der Waals kuvvetleridir (Weber, 2004; Limtrakul vd., 2003; Mikami vd., 1998; Xu ve Yu, 1997; Yuu vd., 2000; Bowden ve Tabor, 1956; Stevens ve Hrenya, 2004; Turki ve Fatah, 2008). Akışkanlaştırma karakteristiği, genellikle akışkan yataklı yakma sistemleri, akışkan yataklı kurutucular için çıkarılmaktadır. Akışkan yataklı ayırma sistemlerinde ise akışkan yatak farklı özelliklerdeki malzemelerden meydana gelmekte ve akışkan yatağa ilave olarak uygulanan pülsasyon (kesikli ilave hava) ya da vibrasyon etkisi ile bu farklı malzemeler özgül ağırlıklarına ve boyutlarına göre tabakalanmaktadır. Şekil 3.11 incelenecek olursa, ayırmanın olması için yatağın akışkan yatak formunda olması (A-P noktaları arasındaki hava hızları) gerekmektedir. Ancak bu çok geniş bir akışkanlandırma hava hızı bölgesine işaret etmektedir. Özellikle pülsasyon varlığında akışkan yatak şartları bölgesinde en etkin tabakalandırma/ayırmanın hangi şartlarda gerçekleştiğinin ortaya konulması son derece önemlidir. Akışkanlaştırma hava hızlarındaki değişiklikler ayırma etkinliğine doğrudan etki etmektedir. Boylu ve arkadaşları kömür-inorganik madde ayırımında kullandıkları sürekli besleme ve ürün boşaltımı olan havalı ayırıcılarda en etkin ayırmanın, Umf-kohezif hava hızına karşılık gelen akışkanlaştırma hava hızı uygulamasında olduğunu belirtmişlerdir (Şekil 3.11; Boylu vd., 2014).

Şekil 3.11’den izleneceği üzere, sabit yataktan akışkan yatağa geçiş sağlandığında (Umf) uygun akışkanlaştırma şartları başlamakta ve tabakalandırma ile farklı özgül ağırlıktaki malzemeler farklı bölgelerde tabakalanmaktadır. Ancak, sabit yatak şartlarında ve Umf ya da Umin-koh değerlerinin üstündeki akışkan yatak şartlarında ayırma etkinliği değişmektedir. Hava hızlarındaki %20 lik değişimler dahi ayırma etkinliğinin %10-15 seviyelerinde düşmesine neden olmaktadır. Akışkan yatak malzemesinin özellikleri (nem, tane şekli, boyut, yatak kalınlığı) akışkanlaştırma karakteristiğini doğrudan etkileyen parametrelerdir. Ancak, yatak kalınlığının sadece Δp ’nin büyüklüğünü etkilediği, Umfa, Umf-koh gibi karakteristikleri etkilemediği düşünülmektedir. Minimum akışkan hava hızına ulaşıldığında, Δp , yatak malzemesini oluşturan tanecik ağırlığı ile orantılıdır ve bu durum bubbling state (fokurdama durumu) olarak ifade edilmektedir (Chen vd., 1997; Gupta ve Sathiyamoorthy, 1999; Jackson, 2000). Bu şartlarda Δp ’nin büyüklüğü, aşağıdaki eşitlikte ifade edildiği gibi yatak porozitesi (ϵ), yatak malzemesi özgül ağırlığı (ρ_p), yatak yüksekliği (H) ve yerçekimi kuvveti (g) ile doğru orantılıdır (Shaul vd., 2013).

$$\Delta p = (1 - \epsilon) * (\rho_p - \rho_f) * g * H \quad (3.2)$$

Dolayısıyla minimum akışkanlaştırma hava hızı şartlarında ayırma yapıldığında ve yukarıdaki formül değerlendirildiğinde, yatak özgül ağırlığının Δp ile takip edilmesi olasıdır. Δp

ölçümleri ile yatak yoğunluğu kontrolü ve Δp değişimleri ile yatak özgül ağırlığının ayarlanması, havalı ayırma ünitelerinde ürün boşaltma sistemlerinin kontrollü hale gelmesine olanak sağlayacaktır.



Şekil 3.11. Ayırma etkinliği (%) - birimsiz hava hızı ilişkisi (Boylu vd., 2014).

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalar, “Türk Kömürlerinin Kuru Yöntemlerle Zenginleştirilmesi” başlıklı, İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) ve Türkiye Kömür İşletmeleri Genel Müdürlüğü (TKİ) ortaklı, 109G045 no’lu TÜBİTAK KAMAG projesi kapsamında yapılmıştır. TKİ’ye ait olan Bursa, Çanakkale, Kütahya, Manisa ve Muğla bölgelerinden alınan 25 farklı tüvenan numuneleri üzerinden ön çalışmalar yapılmış ve çıkan sonuçlara göre tez kapsamında çalışılan Ege bölgesinden seçilen üç farklı kömür örneği ile laboratuvar çaplı ve pilot çaplı deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar ortamında kuru zenginleştirme testleri 2 farklı cihaz üzerinde denenmiştir. Bunlar, Alman menşeli AKW firmasına ait olan AKAFLOW ve yine Alman Menşeli ALLMINERAL firmasına ait olan ALLAIRJIG cihazlarıdır. Testlerin son aşamasında ise, Manisa Soma bölgesine ALLAIRJIG cihazının pilot ölçekli (20t/h) versiyonu kurulmuş ve 3 farklı sahaya ait kömürler üzerinde zenginleştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

4.1. Malzeme ve Yöntem

4.1.1. Malzeme

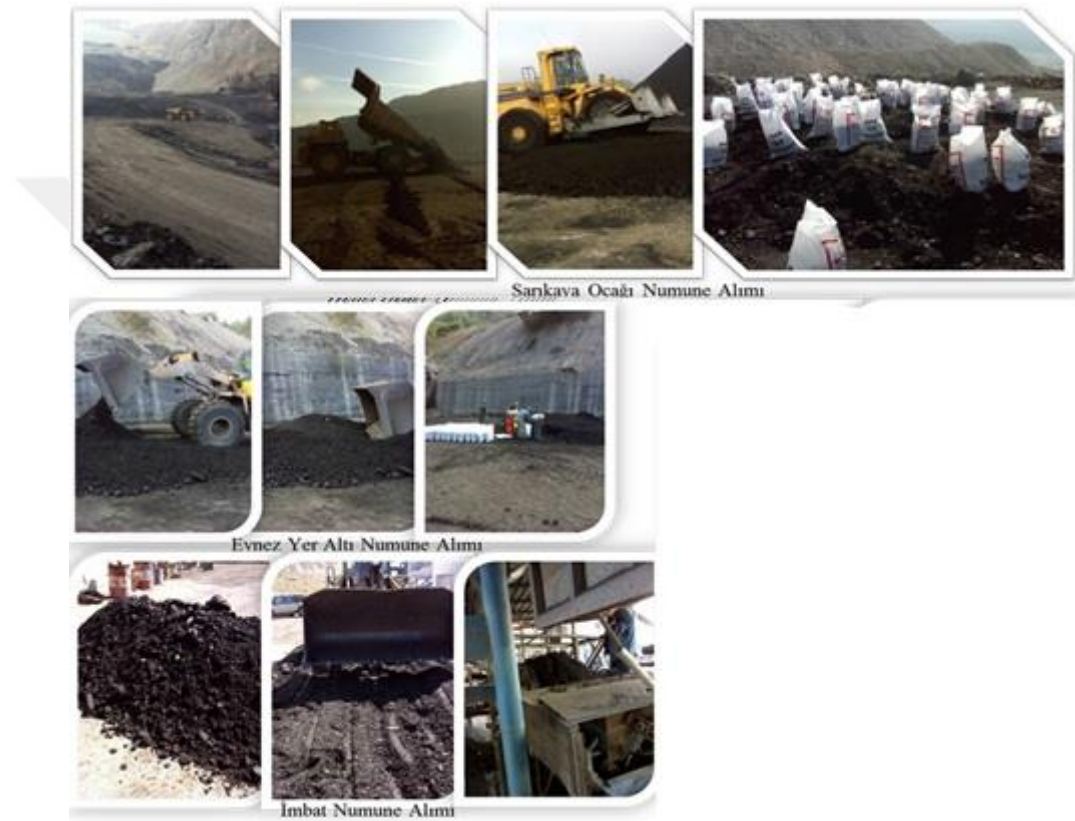
Tez çalışmalarında kullanılan örnekler Türkiye Kömür İşletmelerine ait Soma bölgesi İmbat Yeraltı, Eynez Açık Ocak, Sarıkaya Açık Ocak sahalarından temin edilmiştir.

Açık ocaklarda örnek alma işlemleri; ocağı temsil edecek panonun belirlenmesi sonrasında iş makinesi yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Numune alma işlemi yaklaşık 50m aralıklarla iki veya üç temiz arının açılması, iş makinesinin her bir noktadan tabandan tavana kadar tarama yapmak suretiyle yaklaşık 3'er ton kömürü alıp, daha önceden hazırlanan temiz ve düz bir zemine toplamda 10'ton olacak şekilde koni şeklinde yığıp-yayarak karıştırması sistematigiyle gerçekleştirilmiştir. Alınan örnekleri homojen hale getirmek için yapılan yığma-yayma işlemi sonrasında paletli veya tekerlekli bir iş makinesi yardımıyla kaba bir ufalamaya tabi tutulan örneklerden kürekler yardımıyla her bir numune lokasyonu için toplamda 3 ton olacak şekilde 100-150'şer çuval kömür alınmıştır.

Yeraltından alınan İmbat numunesi'nde, ocak ağzı üretim bantından gelen kömür alınarak çalışmalar yapılmıştır. Üretimin etkilenmemesi açısından ve sahayı temsili açısından bant üzerinden farklı zamanlar diliminde numune alınarak sahanın temsil edilmesi sağlanmıştır. İmbat yeraltı ocağından alınan örnekler de ise yer altı üretiminden kaynaklanan yan taş üretiminin yüksek olduğu gözlenmiştir. Sarıkaya ocağından alınan numunenin kil oranı (%53,39 SiO₂) ve nem içeriğinin yüksek olduğu gözlenmiş, Eynez açık ocağın gelen kömürlerde ise, üretim şekline, mevsim geçişlerinden ve kepçe operatöründen kaynaklı nedenlerden ötürü kimi zaman

kömür içeriği yüksek kimi zaman ise nemli numune geldiği gözlenmiştir. Özellikle pilot çaplı deneylerde, üretimden kaynaklı değişkenler cihazın çalışma performansını etkileyen faktörler arasındadır.

ELİ (Soma Bölgesi) kömür numune alımları ile ilgili bilgiler ve numune alınan yerlerden görüntüler Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. ELİ (Soma Bölgesi) numune alınan yerlere ait görüntüler.

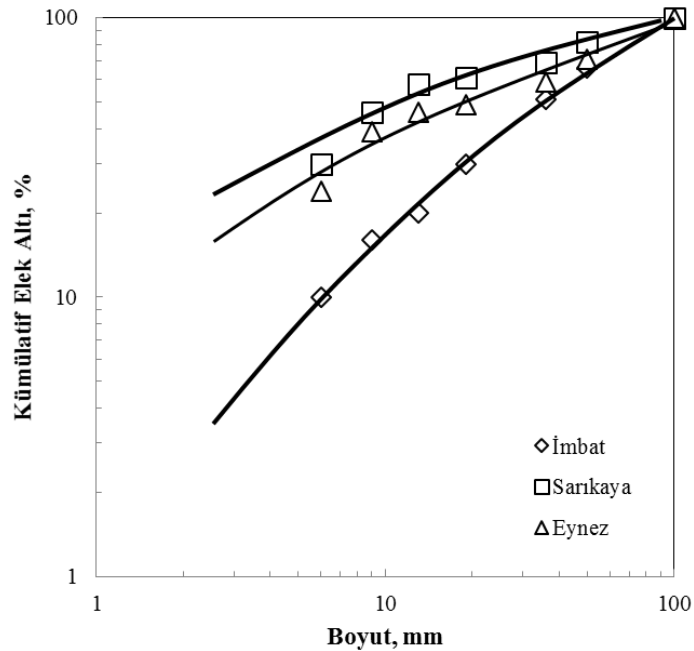
Numune alınan kömür ocaklarının hemen hemen hepsinde, alınan örneklerin tane boyutunun 50 mm’nin altında olmasına özen gösterilmiştir. Bu amaçla, iş makinesi yardımıyla ocaktan alınan numunelerin iri olan kısımlarının yine iş makinesinin palet veya tekerlekleri yardımıyla ezilmesi sağlanarak istenilen boyuta indirilmesine dikkat edilmiştir.

Kömür örnekleri, gravite bazlı kuru zenginleştirme yöntemleriyle zenginleştirileceğinden, pilot ölçekli bu cihazlarda kömür boyutunun maksimum çalışma boyutu olan 50 mm altında olması gerekmektedir.

Kömür örneklerinin tamamı linyit esaslıdır ve bu tür kömürlerin dağılma özellikleri yüksek olduğundan orjinal kömüre (Tüvenan) nazaran bekleyen, kuruyan kömür örneklerinin de boyut dağılımlarının takip edilmesi önem arz etmektedir. Bu amaçla; alınan kömür örneklerinin orjinal ve belirli bekleme/depolama süreleri sonundaki boyut dağılımlarının tespiti amacıyla öncelikle tüvenan kömür örneklerine boyut analizleri yapılmış ve sonuçlar gerek elek altı eğrileri (Şekil 4.2) gerekse d90, d50, -6 ve -1 mm fraksiyon yüzdesi olarak Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Kömür numunelerinin boyut dağılımları ve -6 mm fraksiyonlarının miktarları incelendiğinde; genel olarak örneklerin büyük bir çoğunluğunun 75 mm altında olduğu, -6 mm fraksiyonunun % 2.6-45.7 arasında değişim gösterdiği, -1 mm fraksiyonlarının ise % 0.1-28 arasında değiştiği saptanmıştır. Üretim yöntemine bağlı olarak yeraltı üretimi ile elde edilen kömürlerin daha ince boyutlara geçtiği zaten bilinmektedir. Dolayısıyla yukarıda verilen fraksiyonlardaki geniş aralıklar ocaklarda uygulanan üretim yöntemi ile alakalıdır.

Kuru zenginleştirme çalışmalarına başlandığında; tüvenan kömürün cihaz çalışma boyutuna göre ayarlanması, başvurulacak zenginleştirme ekipmanı (iri boyutlarda; -50+6 mm Allair Jigi, ince boyutlarda; -6 +0.1 mm AKAFLOW ayırıcısı) seçiminde elek analiz sonuçları baz alınmış ve değerlendirmeler boyut dağılımlarına göre yapılmıştır.



Şekil 4.2. ELİ kömür numuneleri boyut dağılımı.

Çizelge 4.1. Soma bölgesi kömür numunelerinin boyut özellikleri.

<i>Boyut</i>	<i>İmbat</i>	<i>Eynez</i>	<i>Sarıkaya</i>
<i>Fraksiyonu</i>		<i>Açık</i>	
<i>mm</i>		<i>Ocak</i>	
d₉₀	66.0	52.0	65.0
d₅₀	32.0	7.6	12.0
-6 mm	10.6	45.7	38.4
-1 mm	1.6	23.0	18.0

4.1.1.1. Kömür numunelerinin standart, kimyasal ve petrografik analizleri

Deneyisel çalışmalarda kullanılmak üzere temin edilen Tüvenan kömür numunelerinin karakterizasyonunu ve kuru zenginleştirme sonrasında elde edilen ürünlerin (lave, mikst, şist) özelliklerini ortaya koyabilmek amacıyla; karbon/kükürt tayini, kül analizi, kalori tayini, XRD destekli mineralojik analiz ve petrografik analizin yanısıra külün komple kimyasal analizleri yapılmıştır.

Tüvenan kömür numunelerinin ve havalı ayırma sonrasında elde edilen ürünlerin Karbon (C), Kükürt (S) analizleri ELTRA CS580 (şekil 4.3) cihazıyla, kalori tayinleri; IKA C200 (Şekil 4.4) kalorimetreyle gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.3. ELTRA CS580 Karbon/Kükürt Tayin Cihazı.



Şekil 4.4. IKA C200 kalorimetre.

Kül Analizleri Protherm PLT130/6 (Şekil 4.5) fırınıyla, mineralojik analiz işlemleri için gerekli XRD paternlerinin çekimi Bruker Advance (Şekil 4.6) cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.5. Protherm PLF 130/6 kül fırını cihazı.



Şekil 4.6. Bruker Advance XRD.

Petrografik özellikleri ortaya koyması için gerekli parlak kesit incelemeleri ise Nikon Eclipse L150 RLM (Şekil 4.7) cevher mikroskobu ile yapılırken, vitrinit yansıma ölçümleri J&M PMT polarizan mikroskop (Şekil 4.8) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.7. Nikon Eclipse L150RLM cevher mikroskobu.



Şekil 4.8. J&M PMT polarizan mikroskop.

Tüvenan kömür ve havalı zenginleştirme sonrasında elde edilen lave, mikst ve şist ürünlerinin küllerine yapılan komple kimyasal analizler Kanada'da bulunan ACME firması tarafından ICP tekniğiyle standart 4A grubu tüm kayaç analizi tekniği kullanılmak suretiyle gerçekleştirilmiştir.

Standart Kömür Analizleri

Deneyisel çalışmalara esas teşkil eden Tüvenan kömür numunelerinin karbon içeriği, kükürt miktarı, kalorifik değer, nem miktarı, uçucu maddde miktarı ve kül değerlerini içeren standart kömür analizleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Tüvenan kömür numunelerinin standart kömür analizleri (Kuru baz).

Numune	Nem (%)	Kül (%)	Uçucu Madde (%)	Toplam Karbon (%)	Sabit Karbon (%)	Kükürt (%)	Kalorifik Değer (kcal/kg)	Tür
İmbat	8.4	37.1	33.74	36.15	29.16	0.54	3062	Linyit
Eynez AO	11.8	26.9	38.80	44.26	34.30	0.47	3927	Linyit
Sarıkaya	15.8	42.7	30.90	30.33	26.40	0.44	2544	Linyit

Çizelge 4.2'de Sarıkaya, kömürünün yüksek kül içerikli (%40 üzeri) olduğu, nem içeriklerinin %20'nin altında olduğu, Eynez açık ocak, kömürünün karbon içeriğinin %40 üzerinde olduğu, Eynez açık ocak kömürünün kalorifik değerinin 4000 kcal/kg civarında olduğu görülmektedir.

Yüksek küllü, yüksek kükürt içerikli numunelerin yanı sıra farklı kalorifik değerlere sahip kömürler kullanılarak TKİ kömürlerinin havalı zenginleştirmeye uygunluğu ve/veya ayrılabilir karakteristیکlerinin mevcut kömür numuneleriyle ortaya konulması hedeflenmiştir.

Kimyasal Analizler

Deneyisel çalışmalara kaynak teşkil eden tüvenan kömür numunelerinin kül yapıcı ve kükürt taşıyıcı bileşenlerini, asit baz oranını ve silika modülünü ortaya koyabilmek amacıyla yakma sonrası elde edilen küllere ait kimyasal analizler ACME firmasına yaptırılmış olup sonuçlar Çizelge 4.3'de sunulmuştur. Çizelge 4.3'de ?? görüldüğü üzere; Sarıkaya, İmbat kömür numunelerinde kül yapıcı ana unsurun SiO₂ olduğu görülmektedir. Ayrıca, kömürlerin külünün bazik karakterde olduğu ve sadece Sarıkaya numunesinin silika modülünün %86 üzerinde (%87.5) olduğu görülmektedir. Bilindiği gibi kömürlerde yanma sonrası oluşan külün asit baz

oranının 0.11'in altında olması istenirken silika modülünün %86'nın üzerinde olması istenmektedir. Asit baz oranının 0.11'in üzerinde olması veya silika modülünün %86'nın altında olması durumunda curuflaşma eğilimi artmaktadır. Hem baziklik oranı hem de silika modülü bakımından sadece Sarıkaya numunesinin yakma bakımından ideal olduğu, diğer numunelerin ise uygun olmadığı görülmektedir.

Mineralojik Analizler

Deneysel çalışmalar esnasında kullanılacak olan kömür numunelerinin kül yapıcı ve kükürt taşıyıcı minerallerini saptayarak havalı zenginleştirme cihazlarıyla yapılacak olan çalışmaların performansını ortaya koyabilmek amacıyla her bir örneğin külüne X ışını kırınım (XRD) analizi yapılmıştır (Şekil 4.9 – 4.11).

Çizelge 4.4'de kömür örneklerinin kül yapıcı ve kükürt taşıyıcı mineralleri ve miktarları özet olarak verilmiştir.

Çizelge 4.4'de görüldüğü üzere kömür numunelerinde kül yapıcı ana bileşenlerin; kuvars, kalsit, kireç, anhidrit, hematit, muskovit, manyetit minerallerinin olduğu ayrıca bazı numunelerde az miktarda albit, illit, talk, tridimit minerallerinin bulunduğu belirlenmiştir.

Petrografik Analizler

Kömür numunelerinin petrografik incelemeleri tane boyutu -2mm olan tüvenan haldeki örneklerin epoksi ile hazırlanmış parlak kesitleri üzerinde 20X ve 50X büyütme meli hava ve yağ objektifleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Parlak kesit incelemeleri Nikon Eclipse L150 RLM cevher mikroskobuyla gerçekleştirilirken, vitrinit yansıma ölçümleri J&M PMT polarizan mikroskop (petrografik) kullanılarak yapılmıştır.

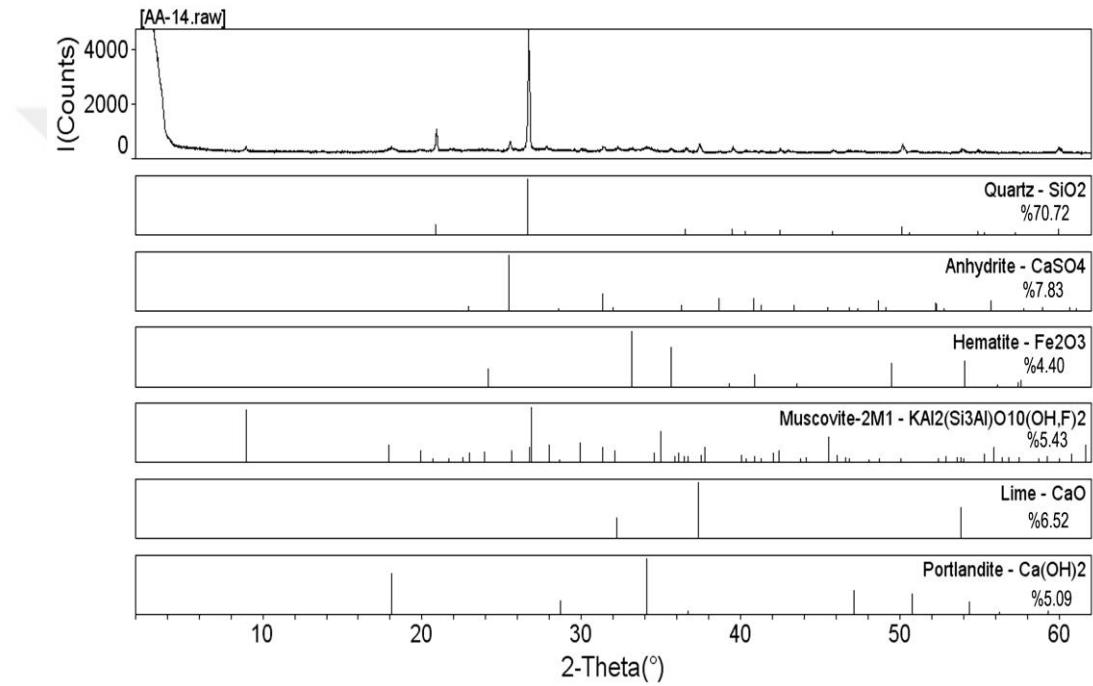
Kömür numunelerinin % olarak içerdiği Maserale miktarları; parlak yüzeyde yaklaşık 3 cm uzunluğunda bir hat boyunca partikül sayımı ile belirlenmiş ve kesitteki toplam maseraller içerisindeki oranları şeklinde ifade edilmiştir. Mineral madde oranları (% olarak) ise parlak yüzeyde bulunan tüm partiküllerin miktarı esas alınarak belirlenmiştir.

Mineral madde içerisinde bulunan sülfürler (esas olarak pirit) hesaba katılmamış olup mineral madde esas olarak kil, kalsit, silis (esas olarak kuvars) ve jipsi ifade etmektedir.

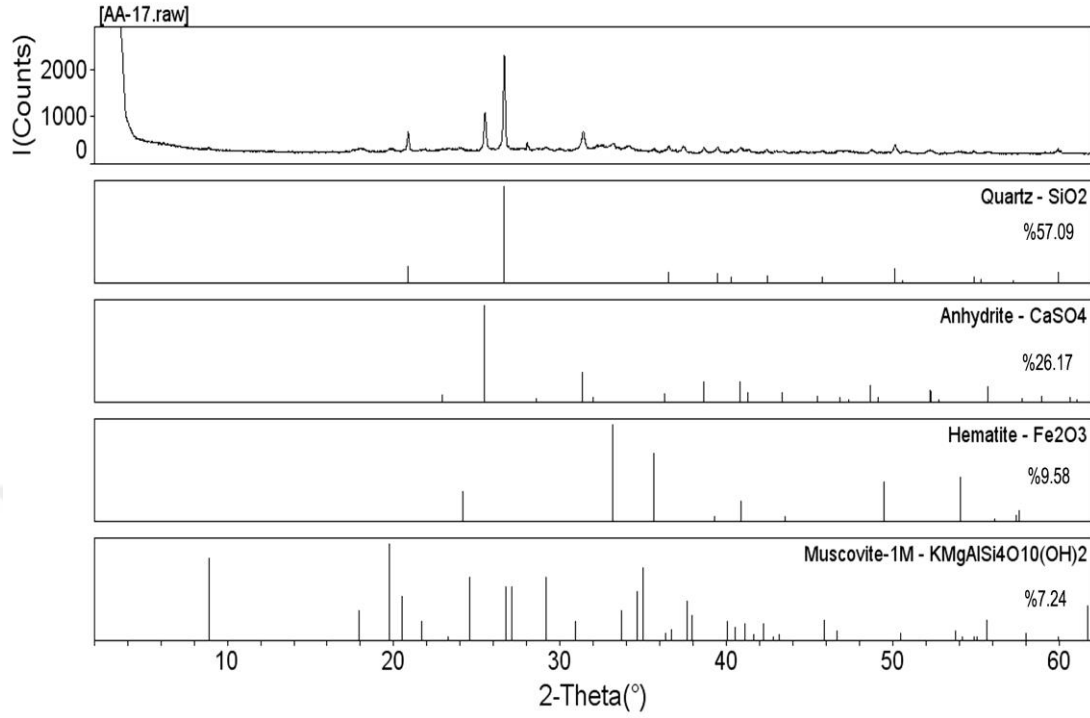
Mikrolitotip tayininde kesitte bulunan tüm bileşenler göz önünde bulundurulmuş olup kesitlerin tamamı için düşük dereceli, mineral madde içeriği yüksek olanlar için ise düşük dereceli ve düşük kaliteli linyit tespiti yapılmıştır.

Deneysel çalışmalarda kullanılan Tüvenan kömür numunelerinin Petrografik analiz sonuçları Çizelge 4.5’de özet olarak verilmiştir.

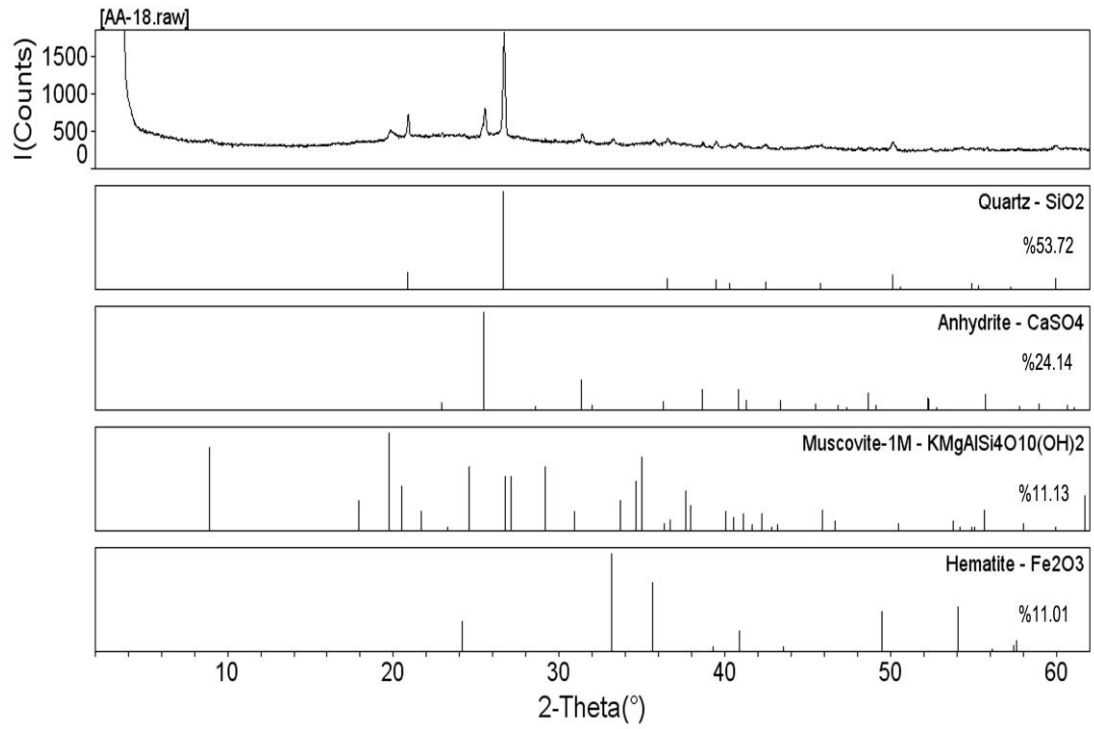
Çizelge 4.5’de görüldüğü üzere; kömür numunelerinin tümünde ana Litotipi vitrinit (%90-98 aralığında), yaygın olarak bulunan Maserali ise detrovitrinit, telovitrinit, jelovitrinit ile psodovitrinit teşkil etmektedir. Karbopoliminerit mikrolitotipi tüm numunelerde görülmüştür. Numunelerde kükürt taşıyıcı ana bileşenin pirit olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.9. Soma - İmbat yer altı kömürü (XRD Analizi).



Şekil 4.10. Eynez açık ocak kömürü (XRD Analizi).



Şekil 4.11. Sarıkaya kömürü (XRD Analizi).

Çizelge 4.3. Tüvenan kömür numunelerinin kimyasal analizleri.

Kömür Numunesi	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	MgO %	CaO %	Na ₂ O %	K ₂ O %	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	MnO %	Cr ₂ O ₃ %	Ni ppm	Sc ppm	LOI %	Sum %	Asit/baz oranı	Silika Modülü %
Soma-Sarıkaya	52.39	34.27	3.60	1.21	2.67	0.59	1.53	1.17	0.34	0.01	0.034	114	27	1.9	99.73	0.109	87.51
Soma-Eynez AO	41.62	17.09	4.59	1.66	30.16	0.18	1.34	0.56	0.18	0.06	0.016	52	13	2.3	99.73	0.640	53.34
Soma-İmbat	48.37	14.17	2.29	1.60	24.20	1.25	1.28	0.42	0.20	0.03	0.008	38	8	5.9	99.75	0.486	63.26

Çizelge 4.4. Kömür numunelerinin XRD analizleri.

Kömür Numunesi	Kuartz SiO ₂	Tridimit	Hematit	Manyetit	Muskovit	Anhidrit	Kalsit	Kals. Fosfat	Portl.	Kireç	Filopofit	Mikroklin	Albit	İllit	Talk
Soma-Sarıkaya	53.72	-	11.0	-	11.1	24.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Soma-Eynez AO	57.1	-	9.6	-	7.2	26.2	-	-	6.8	-	-	-	-	-	-
Soma-İmbat (DP)	37.7	10.1	4.7	-	16.5	12.0	10.3	-	9.1	8.8	-	-	-	-	-

Çizelge 4.5. Kömür numunelerinin petrografik analizleri.

BİLEŞEN KÖMÜR NUMUNESİ	Vitrinit		Eksinit		İnertinit		Sülfür		Mineral Madde		VoR	Mikrolitotip
	%	İçerik	%	İçerik	%	İçerik	%	İçerik	%	İçerik		
Soma-Sarıkaya	95	vitrit, detro- telo-psodovitrinit, telokolinit	5	kütinit, sporinit	<1	inertodetrinit	<1	pirit	10-15	kalsit, kuvars, kil	0.27	karbopoliminerit
Soma-Eynez AO	97	vitrit, detro- telo-psodovitrinit	3	kütinit, sporinit	yok		<1	pirit	15-20	kalsit, kuvars, kil	0.28	karbopoliminerit
Soma-İmbat	95	vitrit, detro- telo-jelo-psodovitrinit, telokolinit	5	kütinit, sporinit, liptinit	yok		<1	pirit	25	kalsit, kuvars, kil	0.28	karbopoliminerit

4.1.1.2. Yüzdürme batırma testleri

Yüzdürme batırma testleri, tamamı 75 mm altında olan kömür numuneleri üzerinde, ortam yoğunluğunun olumsuz etkilenmemesi ve tane-tane yapışmasını engellemek amacıyla iki fraksiyonda olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Yüzdürme batırma testleri öncesinde kömür numuneleri yaş olarak; -75+13, -13.0+1.0 mm ve -1,0 mm fraksiyonlarına elenmiş, -1.0 mm fraksiyonu saklanmak suretiyle ayrılmış ve diğer iki fraksiyonda yüzdürme-batırma testleri gerçekleştirilmiştir. Yüzdürme-batırma testlerinde kullanılan farklı yoğunluklu sıvıların (1.3-1.4-1.5-1.6-1.7-1.8-1.9 g/cm³) hazırlanmasında ZnCl₂ tuzu kullanılmış ve yoğunluk ölçerlerle (dansimetre) sıvı yoğunlukları sürekli kontrol edilmiştir. Yıkama testleri sonrasında elde edilen ürünler süzildükten sonra bol miktarda ılık suyla yıkanmış ve kurutulmuştur. Kurutulan örnekler daha sonra tartılmış ve öğütülerek kül analizleri gerçekleştirilmiştir.

Bu bölüm kapsamında 25 kömürün yüzdürme batırma testleri gerçekleştirilmiş olup, Soma Bölgesinden Eynez Yeraltı, Eynez Açık Ocak, İmbat, İmbat Doğu Panosu, +10 mm, -10 mm, Tunçbilek bölgesinden ise BYJ, 48C ve Ömerler Yeraltı kömürlerinin yıkanabilirliklerinin daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Ancak Pilot tesisin Türkiye’de bulunduğu 3 aylık süre göz önünde bulundurularak TKİ yetkilileri ile yapılan görüşmeler ve ortam fiziksel şartlarının uygunluğu bakımında Soma Bölgesi seçilmiş olup, Tunçbilek sahasının kömürleri ile pilot tesiste çalışılamamıştır. Gürmin firması tarafından işletilen -10 mm ve +10 mm ile tabir edilen kömür sahasının rezervinin bitmek üzere olması nedenlerinden ötürü bu sahalardan alınan numunelerde kuru zenginleştirme çalışmaları kapsamında çıkarılmış olup, Sarıkaya sahasına ait kömür numunesinin kuru zenginleştirmeye uygun gözükmemesine rağmen ALLAIR JİG ile çalışılarak performansları ölçülmüş ve kömür yıkama karakteristikleri incelenmiştir.

Sarıkaya kömürleri yüzdürme-batırma testleri

Soma-Sarıkaya kömürleri üzerinde gerçekleştirilen yüzdürme-batırma testleri; miktar, kül içerik ve dağılımları Çizelge 4.6’da verilen boyut fraksiyonlarında gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Çizelge 4.7-4.8 ve Şekil 4.12-4.14’de sunulmuştur.

Çizelge 4.6. Soma-Sarıkaya kömürü Yüzdürme batırma testlerine tabi tutulan boyut fraksiyonları ve kül içerikleri.

<i>BOYUT</i>	<i>MİKTAR</i>	<i>KÜL</i>	<i>KÜL</i>
<i>GRUBU</i>	<i>%</i>	<i>%</i>	<i>DAĞILIM</i>
<i>mm</i>			<i>%</i>
+13.0	33.6	36.6	25.8
-13.0+1.0	41.0	48.1	41.5
-1.0	25.4	61.3	32.7
TOPLAM	100.0	47.6/51.4	100.0

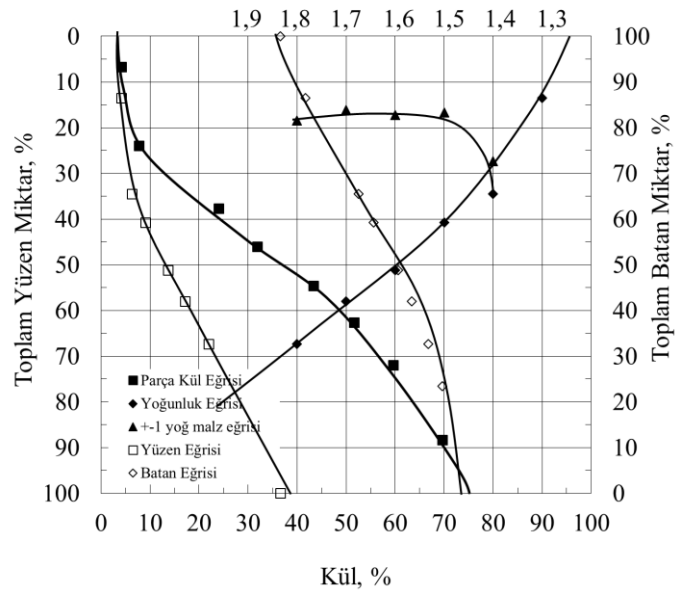
Çizelge 4.7. Soma-Sarıkaya kömürü + 13 mm ve -13+1 mm fraksiyonlarında gerçekleştirilen yüzdürme-batırma test sonuçları.

SOMA-SARIKAYA													
Boyut	Yoğunluk Aralığı g/cm³	Yoğunluk Malzeme			Aralığındaki			TOPLAM YÜZEN			TOPLAM BATAN		
		Miktar %M	Kül %K	M*K	Miktar %M	ΣM*K	Σkül %	Miktar %M	ΣM*K	Σkül %			
+13 mm	-1.3	13.5	4.1	55.4	13.5	55.4	4.1	100.0	3660.0	36.6			
	+1.3-1.4	21.0	7.7	161.9	34.5	217.3	6.3	86.5	3604.6	41.7			
	+1.4-1.5	6.3	24.0	150.0	40.8	367.3	9.0	65.5	3442.6	52.6			
	+1.5-1.6	10.4	31.9	331.1	51.2	698.4	13.6	59.2	3292.6	55.6			
	+1.6-1.7	6.8	43.3	293.6	58.0	992.0	17.1	48.8	2961.5	60.6			
	+1.7-1.8	9.3	51.6	481.4	67.3	1473.4	21.9	42.1	2667.9	63.4			
	+1.8-1.9	9.2	59.6	545.3	76.4	2018.8	26.4	32.7	2186.5	66.8			
	+1.9	23.6	69.6	1641.2	100.0	3660.0	36.6	23.6	1641.2	69.6			
TOPLAM		100.0	36.6										
-13+1 mm	-1.3	2.4	3.2	7.6	2.4	7.6	3.2	100.0	4806.5	48.1			
	+1.3 -1.4	19.6	6.3	123.4	22.0	131.0	6.0	97.6	4798.9	49.2			
	+1.4-1.5	4.2	14.0	58.1	26.1	189.1	7.2	78.0	4675.4	59.9			
	+1.5-1.6	4.4	27.7	123.0	30.6	312.1	10.2	73.9	4617.3	62.5			
	+1.6-1.7	3.3	36.3	120.5	33.9	432.6	12.8	69.4	4494.3	64.7			
	+1.7-1.8	5.6	47.9	266.3	39.4	699.0	17.7	66.1	4373.8	66.1			
	+1.8-1.9	6.5	54.6	354.4	45.9	1053.3	22.9	60.6	4107.5	67.8			
	+1.9	54.1	69.4	3753.2	100.0	4806.5	48.1	54.1	3753.2	69.4			
TOPLAM		100.0	48.1										

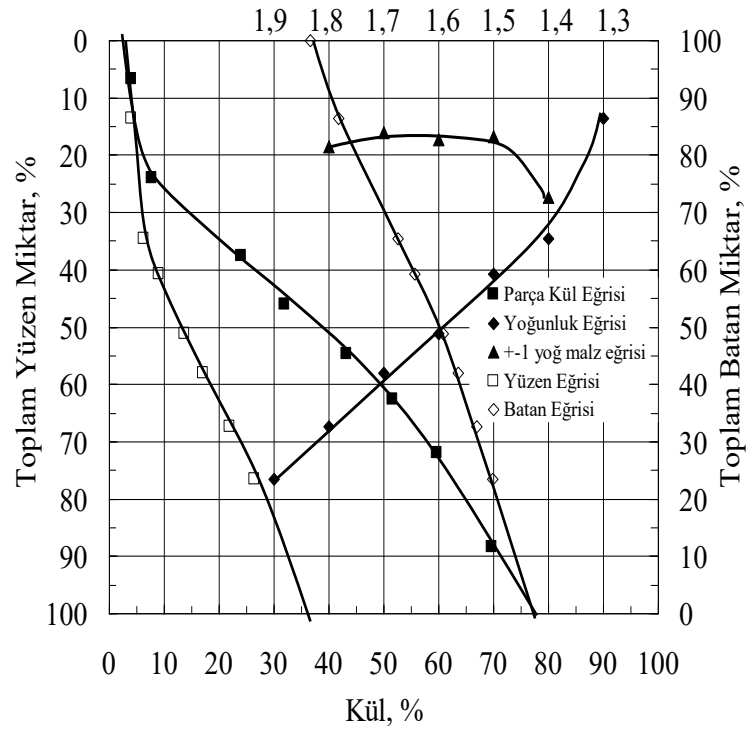
Kömür numunesi içerisindeki 1 mm altındaki boyut grubu orjinal malzemenin % 25.4'ünü oluşturmakta olup kül içeriği % 61.3 civarındadır. Kül dağılımları incelendiğinde; küllü kısmın % 32.7'si 1 mm altındaki fraksiyonda toplanmıştır. (Çizelge 4.8). İnce boyut grubunun miktarı ve fraksiyondaki kül miktarı, bu fraksiyonun atılabileceğini (1.9 g/cm^3 yoğunluğunda batan malzemenin kül içeriği yaklaşık % 70) ya da istenilirse değerlendirilebilir özellikte olduğunu ifade etmektedir.

Şekil 4.9-4.11 incelendiğinde; parça kül ve ± 0.1 yoğunluk eğrisi göz önüne alındığında, 1.5 g/cm^3 ve üzerindeki yoğunluklar için bu bölgenin kömürünün yıkanabilirliğinin orta seviyelerde olduğu anlaşılmaktadır (%10-15) (Şekil 4.11). Boyut fraksiyonlarının yıkanabilirliği değerlendirildiğinde ise; +13 mm fraksiyonunun yıkanabilirliğinin kolay olduğu (Şekil 4.9), -13+1 mm fraksiyonunun yıkanabilirliğinin ise nispeten zor olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 4.10).

Dolayısıyla bu kömür örneğinin yıkanabilirliğindeki zorluk, mikst kalitesindeki ürünün daha küçük boyut fraksiyonlarına geçmesinden kaynaklanmaktadır. Ancak yine de bu bölge kömürlerine 1.80 g/cm^3 yoğunluklarında yapılacak bir ayırma ile % 19-20 küllü bir ürünün % 50 temiz kömür verimi ile alınabileceği tespit edilmiştir. Bu durumda atılacak şistin kül değeri yaklaşık % 67.5 civarında olacaktır.



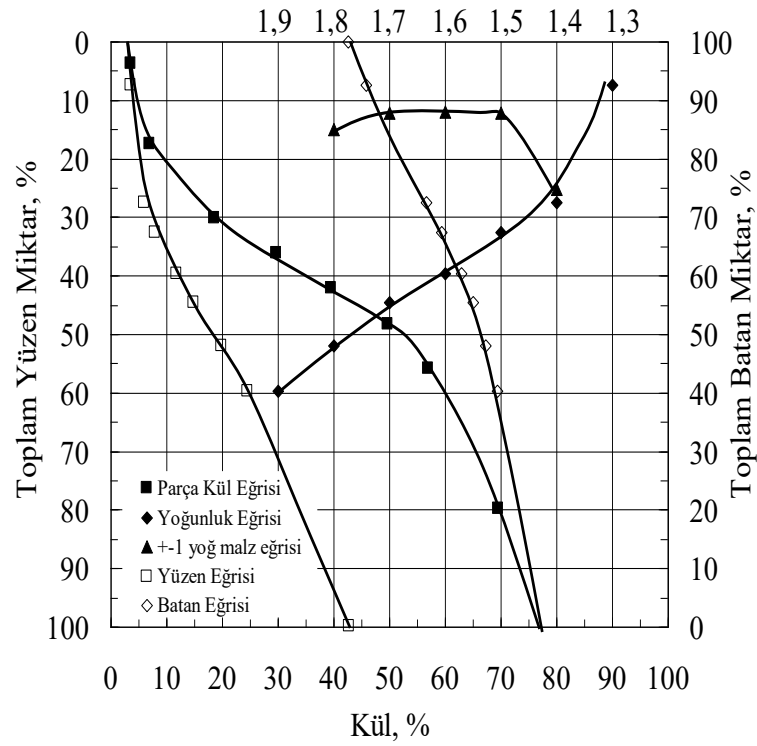
Şekil 4.12. Soma-Sarıkaya kömürü +13 mm fraksiyonunun yıkanabilirlik eğrileri.



Şekil 4.13. Soma-Sarıkaya kömürü -13+1 mm fraksiyonunun yıkanabilirlik eğrileri.

Çizelge 4.8. Soma-Sarıkaya kömürü +1 mm fraksiyonunun yüzdürme-batırma test sonuçları (Birleştirilmiş).

SOMA-SARIKAYA										
Boyut	Yoğunluk Aralığı g/cm ³	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme			TOPLAM YÜZEN			TOPLAM BATAN		
		Miktar %M	Kül %K	M*K	Miktar %M	ΣM*K	Σkül %	Miktar %M	ΣM*K	Σkül %
+1 mm	-1.3	7.4	3.6	26.6	7.4	26.6	3.6	100.0	4265.1	42.7
	+1.3-1.4	20.2	6.9	139.4	27.6	166.0	6.0	92.6	4238.5	45.8
	+1.4-1.5	5.1	18.5	94.4	32.7	260.4	8.0	72.4	4099.1	56.6
	+1.5-1.6	7.1	29.6	210.2	39.8	470.5	11.8	67.3	4004.8	59.5
	+1.6-1.7	4.9	39.5	193.6	44.7	664.1	14.9	60.2	3794.6	63.0
	+1.7-1.8	7.3	49.6	362.1	52.0	1026.2	19.7	55.3	3601.1	65.1
	+1.8-1.9	7.7	56.9	438.1	59.7	1464.3	24.5	48.0	3239.0	67.5
	+1.9	40.3	69.5	2800.9	100.0	4265.1	42.7	40.3	2800.9	69.5
TOPLAM		100.0	42.7							



Şekil 4.14. Soma-Sarıkaya kömürü +1 mm fraksiyonunun yıkanabilirlik eğrileri.

Eynez Açık Ocak (AO) Kömürü yüzdürme-batırma testleri

Soma-Eynez (AO) kömürleri üzerinde gerçekleştirilen yüzdürme-batırma testleri; miktar, kül içerik ve dağılımları Çizelge 4.9'da verilen boyut fraksiyonlarında gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Çizelge 4.10-4.11 ve Şekil 4.15-4.17'de sunulmuştur.

Çizelge 4.9. Soma-Eynez (AO) kömürü yüzdürme batırma testlerine tabi tutulan boyut fraksiyonları ve kül içerikleri.

BOYUT GRUBU mm	MİKTAR %	KÜL %	KÜL DAĞILIM %
+13.0	35.7	29.6	30.7
-13.0+1.0	37.5	23.9	26.0
-1.0	26.8	55.6	43.3
TOPLAM	100.0	34.4/33.5	100.0

Çizelge 4.10. Soma-Eynez (AO) kömürü +13 mm ve -13+1 mm fraksiyonlarında gerçekleştirilen yüzdürme-batırma test sonuçları.

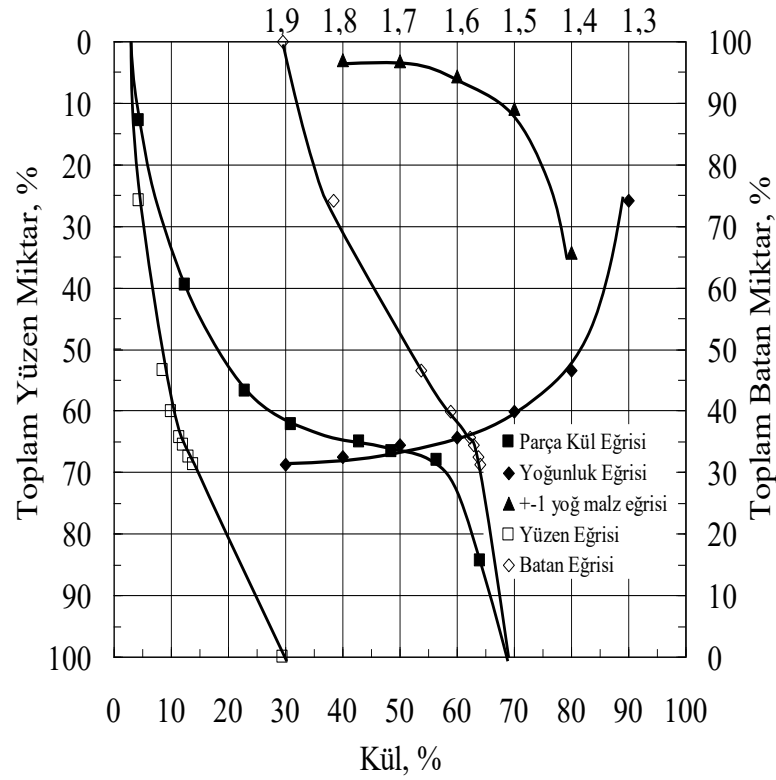
SOMA-EYNEZ (AO)										
Boyut	Yoğunluk Aralığı g/cm³	Yoğunluk Malzeme			TOPLAM YÜZEN			TOPLAM BATAN		
		Miktar %M	Kül %K	M*K	Miktar %M	ΣM*K	Σkül %	Miktar %M	ΣM*K	Σkül %
+13 mm	-1.3	25.8	4.3	110.9	25.8	110.9	4.3	100.0	2955.3	29.6
	+1.3-1.4	27.7	12.4	343.0	53.5	453.9	8.5	74.2	2844.4	38.3
	+1.4-1.5	6.6	22.9	150.5	60.0	604.3	10.1	46.6	2501.4	53.7
	+1.5-1.6	4.4	31.0	135.5	64.4	739.8	11.5	40.0	2351.0	58.8
	+1.6-1.7	1.2	42.9	52.3	65.6	792.1	12.1	35.6	2215.5	62.2
	+1.7-1.8	1.9	48.6	93.3	67.5	885.5	13.1	34.4	2163.1	62.9
	+1.8-1.9	1.1	56.5	62.2	68.6	947.6	13.8	32.5	2069.8	63.7
	+1.9	31.4	64.0	2007.7	100.0	2955.3	29.6	31.4	2007.7	64.0
	TOPLAM	100.0	29.6							
-13+1 mm	-1.3	45.4	3.0	136.3	45.4	136.3	3.0	100.0	2392.4	23.9
	+1.3 -1.4	16.8	11.9	199.4	62.2	335.7	5.4	54.6	2256.1	41.3
	+1.4-1.5	5.5	23.8	131.9	67.7	467.6	6.9	37.8	2056.7	54.4
	+1.5-1.6	4.3	34.0	145.9	72.0	613.4	8.5	32.3	1924.8	59.6
	+1.6-1.7	3.5	42.6	147.4	75.5	760.8	10.1	28.0	1779.0	63.6
	+1.7-1.8	3.3	50.4	167.3	78.8	928.2	11.8	24.5	1631.6	66.5
	+1.8-1.9	1.9	57.2	111.0	80.7	1039.1	12.9	21.2	1464.2	69.1
	+1.9	19.3	70.3	1353.3	100.0	2392.4	23.9	19.3	1353.3	70.3
	TOPLAM	100.0	23.9							

Soma-Eynez (AO) kömür numunesi içerisindeki 1 mm altındaki boyut grubu beslenen malzemenin % 26.8'ini oluşturmakta olup kül içeriği % 55.6'dır. Kül dağılımları incelendiğinde; küllü kısmın % 43.3'ü 1 mm altındaki fraksiyonda toplanmıştır. (Çizelge 4.9). İnce fraksiyonda külün toplanması bu malzemenin yapısındaki kilden kaynaklanmaktadır. İnce boyut grubunun miktarı ve fraksiyondaki kül miktarı, bu fraksiyonun spiral ya da sarsıntılı masa uygulamasıyla değerlendirilebileceğini ve bir miktar kömürün kazanılması gerektiğini ifade etmektedir (1.9 g/cm³ yoğunluğunda batan malzemenin kül içeriği yaklaşık % 67.2).

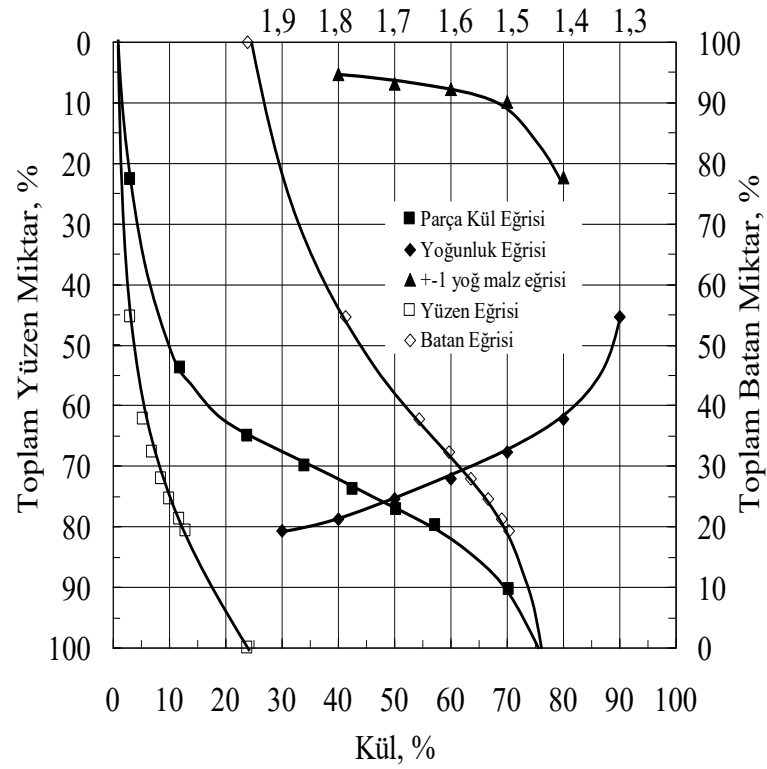
Şekil 4.12-4.14 incelendiğinde; parça kül ve ±0.1 yoğunluk eğrisi göz önüne alındığında, 1.5 g/cm³ ve üzerindeki yoğunluklar için yıkanabilirlik oldukça kolaydır (Şekil 4.14). Düşük ayırma yoğunluklarında % 10'un altında kül içeriğine sahip lavelerin yüksek temiz kömür verimleri (% 68) ile kazanılması mümkündür. Bunda beslenen malzemenin düşük kül içeriğinin de etkisi büyüktür. Bu kömür oluşumundan, temiz kömür veriminden biraz feragat edilmesi durumunda oldukça temiz lave üretimlerine imkan sağlamaktadır.

Boyut fraksiyonlarının yıkanabilirliği değerlendirildiğinde ise; +13 mm ve -13+1 mm fraksiyonunun her ikisi de kolay yıkanabilir özelliktedir. (Şekil 4.12-4.13).

Bölge kömürlerine 1.90 g/cm^3 yoğunluklarında yapılacak bir ayırma ile yaklaşık % 13 küllü bir ürünün yaklaşık % 75 temiz kömür verimi ile alınabileceği tespit edilmiştir. Bu durumda atılacak şistin kül değeri yaklaşık % 67 civarında olacaktır.



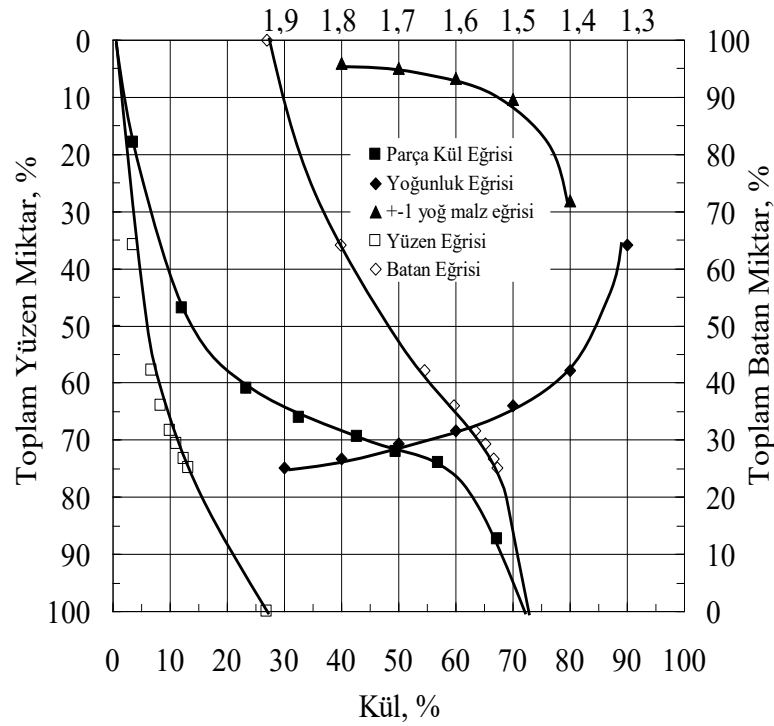
Şekil 4.15. Soma-Eynez açık (ao) +13 mm fraksiyonunun yıkanabilirlik eğrileri.



Şekil 4.16. Soma-Eynez açık (ao) -13+1 mm fraksiyonunun yıkanabilirlik eğrileri.

Çizelge 4.11. Soma-Eynez (AO) kömürü +1 mm fraksiyonu yüzdürme-batırma test sonuçları (Birleştirilmiş).

SOMA-EYNEZ (AO)										
Boyut	Yoğunluk Aralığı g/cm ³	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme			TOPLAM YÜZEN			TOPLAM BATAN		
		Miktar %M	Kül %K	M*K	Miktar %M	ΣM*K	Σkül %	Miktar %M	ΣM*K	Σkül %
+1 mm	-1.3	35.8	3.6	128.9	35.8	128.9	3.6	100.0	2688.8	26.9
	+1.3-1.4	22.1	12.1	267.4	57.9	396.3	6.8	64.2	2559.9	39.9
	+1.4-1.5	6.1	23.4	142.7	64.0	539.0	8.4	42.1	2292.5	54.5
	+1.5-1.6	4.3	32.5	139.8	68.3	678.8	9.9	36.0	2149.7	59.7
	+1.6-1.7	2.4	42.7	102.5	70.7	781.3	11.1	31.7	2010.0	63.4
	+1.7-1.8	2.6	49.5	128.7	73.3	910.0	12.4	29.3	1907.5	65.1
	+1.8-1.9	1.5	56.9	85.4	74.8	995.3	13.3	26.7	1778.8	66.6
	+1.9	25.2	67.2	1693.4	100.0	2688.8	26.9	25.2	1693.4	67.2
TOPLAM		100.0	26.9							



Şekil 4.17. Soma-Eynez (AO) kömürü +1 mm fraksiyonunun yıkanabilirlik eğrileri.

İmbat kömürü yüzdürme-batırma testleri

Soma-İmbat kömürleri üzerinde gerçekleştirilen yüzdürme-batırma testleri; miktar, kül içerik ve dağılımları Çizelge 4.12’de verilen boyut fraksiyonlarında gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Çizelge 4.13-4.14 ve Şekil 4.18-4.20’de sunulmuştur.

Çizelge 4.12. Soma-İmbat kömürü yüzdürme batırma testlerine tabi tutulan boyut fraksiyonları ve kül içerikleri.

BOYUT GRUBU	MİKTAR %	KÜL %	KÜL DAĞILIM %
Mm			
+13.0	56.0	55.8	61.7
-13.0+1.0	27.9	35.4	19.5
-1.0	16.1	59.0	18.8
TOPLAM	100.0	50.6/63.7	100.0

Çizelge 4.13. Soma-İmbat kömürü +13 mm ve -13+1 mm fraksiyonlarında gerçekleştirilen yüzdürme-batırma test sonuçları.

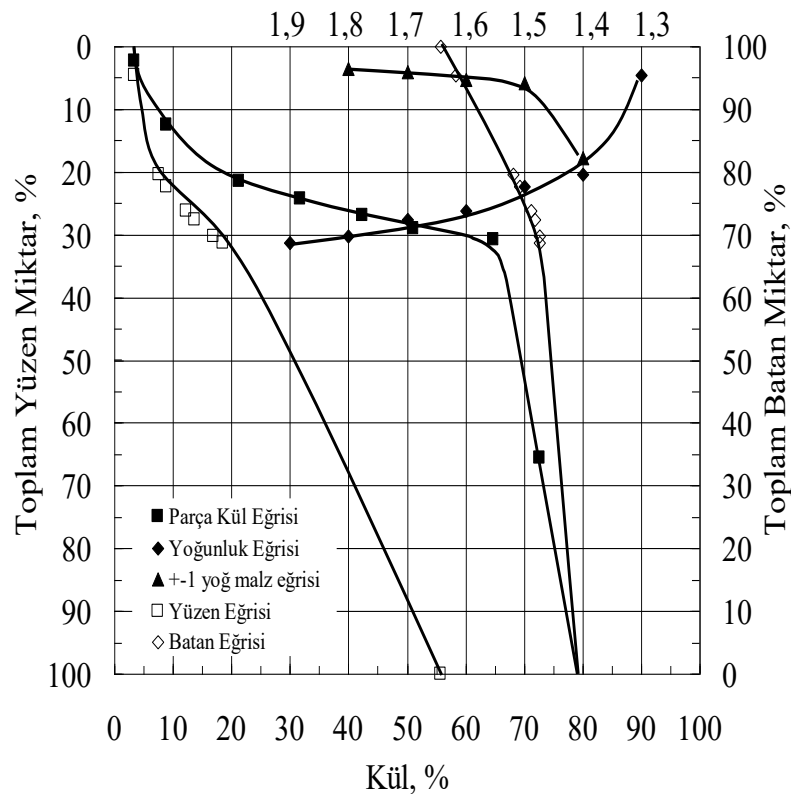
SOMA-İMBAT										
Boyut	Yoğunluk	Yoğunluk	Aralığındaki			TOPLAM YÜZEN			TOPLAM BATAN	
	Aralığı	Malzeme								
	g/cm³	Miktar	Kül	M*K	Miktar	ΣM*K	Σkül	Miktar	ΣM*K	Σkül
		%M	%K		%M		%	%M		%
+13 mm	-1.3	4.6	3.4	15.6	4.6	15.6	3.4	100.0	5575.4	55.8
	+1.3-1.4	15.8	8.8	138.7	20.4	154.3	7.6	95.4	5559.8	58.3
	+1.4-1.5	2.0	21.3	43.0	22.4	197.4	8.8	79.6	5421.1	68.1
	+1.5-1.6	3.9	31.8	122.4	26.2	319.8	12.2	77.6	5378.1	69.3
	+1.6-1.7	1.4	42.4	59.8	27.6	379.6	13.7	73.8	5255.6	71.2
	+1.7-1.8	2.6	51.0	131.6	30.2	511.1	16.9	72.4	5195.9	71.8
	+1.8-1.9	1.0	64.7	64.7	31.2	575.8	18.4	69.8	5064.3	72.6
	+1.9	68.8	72.7	4999.6	100.0	5575.4	55.8	68.8	4999.6	72.7
	TOPLAM	100.0	55.8							
-13+1 mm	-1.3	13.1	3.4	44.6	13.1	44.6	3.4	100.0	3544.2	35.4
	+1.3 -1.4	32.1	7.6	243.6	45.2	288.2	6.4	86.9	3499.6	40.3
	+1.4-1.5	4.6	20.7	95.8	49.8	384.1	7.7	54.8	3256.0	59.4
	+1.5-1.6	5.0	30.3	152.1	54.8	536.2	9.8	50.2	3160.1	63.0
	+1.6-1.7	3.4	40.6	136.0	58.2	672.2	11.6	45.2	3008.0	66.6
	+1.7-1.8	4.1	51.0	210.1	62.3	882.3	14.2	41.8	2872.0	68.7
	+1.8-1.9	2.6	59.5	152.9	64.9	1035.2	16.0	37.7	2661.9	70.6
	+1.9	35.1	71.4	2509.0	100.0	3544.2	35.4	35.1	2509.0	71.4
	TOPLAM	100.0	35.4							

Soma-İmbat kömür numunesi içerisindeki 1 mm altındaki boyut grubu beslenen malzemenin % 16.1'ini oluşturmakta olup kül içeriği % 59'dur. Kül dağılımları incelendiğinde; küllü kısmın % 18.8'i 1 mm altındaki fraksiyonda toplanmıştır. (Çizelge 4.12). İnce boyut grubunun miktarı ve fraksiyondaki kül miktarı, bu fraksiyonun spiral ya da sarsıntılı masa uygulamasıyla değerlendirilebileceğini ifade etmektedir.

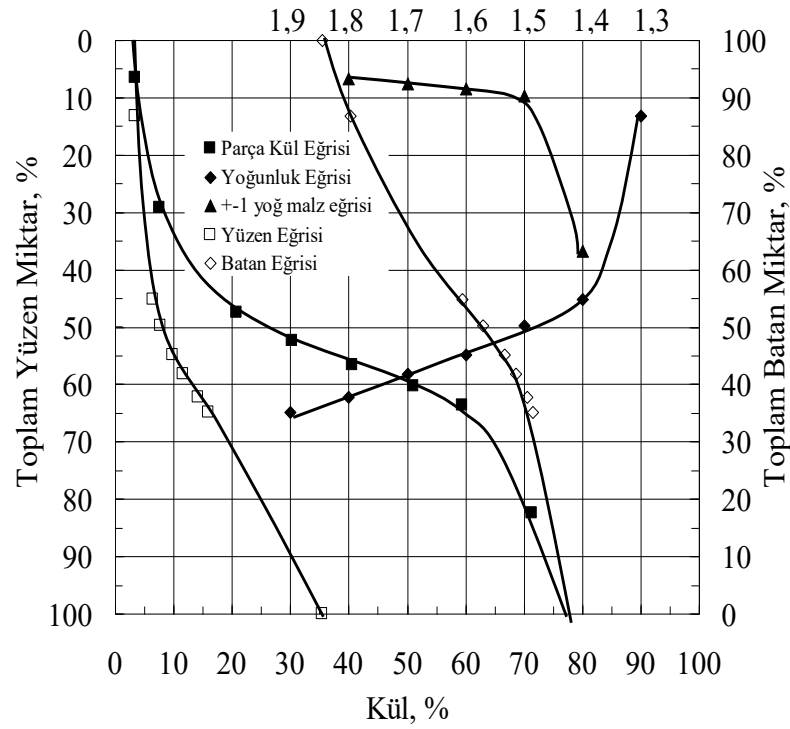
Şekil 4.15-4.17 incelendiğinde; parça kül ve ± 0.1 yoğunluk eğrisi göz önüne alındığında, 1.5 g/cm^3 ve üzerindeki yoğunluklar için yıkanabilirlik oldukça kolaydır. Yıkanabilirlik daha yüksek yoğunluklarda daha da kolaylaşmaktadır (Şekil 4.17). Düşük ayırma yoğunluklarında % 10'un altında kül içeriğine sahip lavelerin % 32-33 gibi temiz kömür verimleri ile kazanılması mümkündür. Yaklaşık % 49 beslenen kül içeriğine sahip kömür örneğinden % 63 temiz kömür verimi, ile % 14 küllü lave üretimi kömürün kolay yıkanabilirliğini yeterince açıklayan bir özelliktir.

Boyut fraksiyonlarının yıkanabilirliği değerlendirildiğinde ise; gerek -13+1 mm gerekse +13mm fraksiyonun yıkanabilirlikleri oldukça kolaydır (Şekil 4.15-4.16).

Bölge kömürlerine $1.80\text{-}1.90 \text{ g/cm}^3$ yoğunluklarında yapılacak bir ayırma ile yaklaşık % 16-17 küllü bir ürünün yaklaşık % 40-42 temiz kömür verimi ile alınabileceği tespit edilmiştir. Bu durumda atılacak şistin kül değeri yaklaşık % 72 civarında olacaktır.



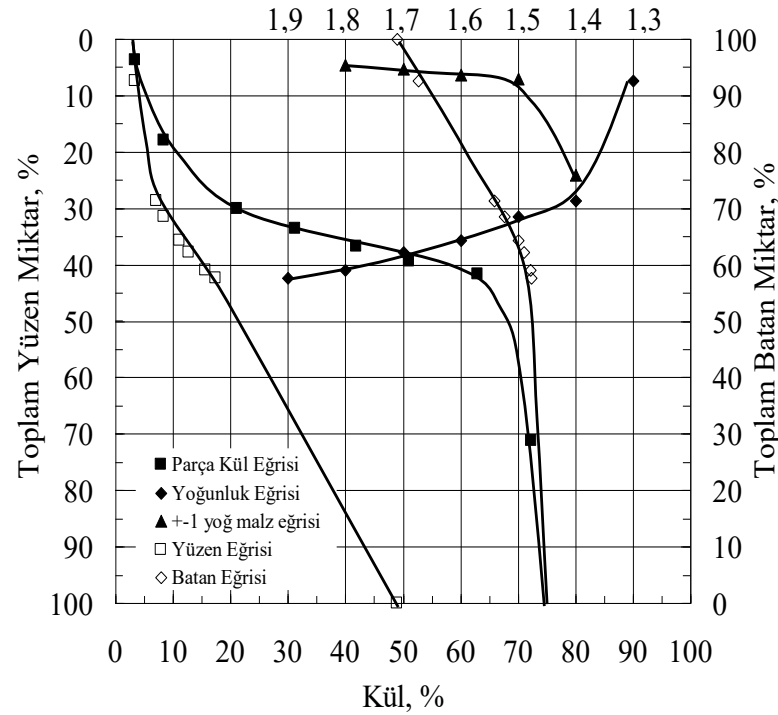
Şekil 4.18. Soma-İmbat kömürü +13 mm fraksiyonunun yıkanabilirlik eğrileri.



Şekil 4.19. Soma-İmbat kömürü -13+1 mm fraksiyonunun yıkanabilirlik eğrileri.

Çizelge 4.14. Soma-İmbat kömürü +1 mm fraksiyonu yüzdürme-batırma test sonuçları (Birleştirilmiş).

SOMA-İMBAT										
Boyut	Yoğunluk Aralığı g/cm ³	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme			TOPLAM YÜZEN			TOPLAM BATAN		
		Miktar %M	Kül %K	M*K	Miktar %M	ΣM*K	Σkül %	Miktar %M	ΣM*K	Σkül %
+1 mm	-1.3	7.4	3.4	25.2	7.4	25.2	3.4	100.0	4900.8	49.0
	+1.3-1.4	21.2	8.4	178.1	28.6	203.2	7.1	92.6	4875.6	52.7
	+1.4-1.5	2.9	21.1	61.2	31.5	264.4	8.4	71.4	4697.5	65.8
	+1.5-1.6	4.2	31.3	131.5	35.7	395.9	11.1	68.5	4636.3	67.7
	+1.6-1.7	2.1	41.8	87.8	37.8	483.7	12.8	64.3	4504.9	70.1
	+1.7-1.8	3.1	51.0	158.1	40.9	641.8	15.7	62.2	4417.1	71.0
	+1.8-1.9	1.5	63.0	94.5	42.4	736.3	17.4	59.1	4259.0	72.1
	+1.9	57.6	72.3	4164.5	100.0	4900.8	49.0	57.6	4164.5	72.3
TOPLAM		100.0	49.0							



Şekil 4.20. Soma-İmbat kömürü +1 mm fraksiyonunun yıkanabilirlik eğrileri.

Yüzdürme Batırma Test Sonuçlarının Genel Değerlendirilmesi

Tez kapsamında çalışılan kömür numunelerinin yüzdürme-batırma testleri sonuçları Çizelge 4.15’de özetlenmiştir. Çizelge 4.15, ağır ortam, jig (ayırma yoğunluğu: 1.55-1.60 g/cm³), sarsıntılı masa/spiral (ayırma yoğunluğu: yaklaşık 1.75 g/cm³), havalı gravite ayırıcı (ayırma yoğunluğu: 1.90-2.00 g/cm³ ve üzeri) uygulamalarında elde edilecek muhtemel sonuçlara göre düzenlenmiştir. Çizelge 4.15’de ayrıca kömür örnekleri içerisinde, numunenin % 50’sinin ayrılacağı yoğunluklar ve yine yıkama eğrilerinden tahmin edilen kömürlerin bünye külleri de yer almaktadır.

Yüzdürme batırma test sonuçları kuru zenginleştirmeye uygun olan ve bu çalışmaya konusu olan Soma bölgesinden temin edilen örneklerin genel olarak yıkanabilirliklerinin kolay olduğunu göstermektedir. Genel olarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- 1- Beslenen kömürün % 50 sinin ayrıldığı (d_{50} ayırma yoğunluğu) 1.36-1.77 g/cm³ arasında değişmekte olup, ortalama 1.57 g/cm³ civarındadır. (Çizelge 4.15)
- 2- Jig çalışma yoğunluğu 1.6 g/cm³ olarak değerlendirildiğinde; bu yoğunlukta bölge kömürlerinin % 9.9-11.8 kül içeriği, % 35.7-68.3 temiz kömür verimi ve % 61-84 yanabilir verim ile temiz kömür olarak kazanılabileceği belirlenmiştir. (Çizelge 4.15)

- 3- Sarsıntılı masa/Kömür spirali çalışma yoğunluğu 1.75 g/cm^3 olarak değerlendirildiğinde; bu yoğunlukta bölge kömürlerinin % 12-16.5 kül içeriği, % 40.0-72.5 temiz kömür verimi ve % 66-87 yanabilir verim ile temiz kömür olarak kazanılabileceği belirlenmiştir.
- 4- Gravite bazlı kuru zenginleştirme çalışma yoğunluğu 2.0 g/cm^3 olarak değerlendirildiğinde; bu yoğunlukta bölge kömürlerinin % 13.4-27.0 kül içeriği, % 45-76 temiz kömür verimi ve % 72-90 yanabilir verim ile temiz kömür olarak kazanılabileceği, atılabilir atık kül içerikleri ise % 67-72 civarında olduğu belirlenmiştir.

Yıkanabilirlik Test Sonuçlarının, Havalı Ayırma Sistemleri Açısından Değerlendirilmesi

Yıkanabilirlik test sonuçları, kömürlerin havalı sistemlerde ayrılması/zenginleştirilebilmesi açısından değerlendirilmesi Çizelge 4.16'da özetlenen bilgiler ışığında gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.15'de yer alan değerlendirme; beslenen küllü, 1.90 ve 2.00 g/cm^3 ayırma yoğunluklarında yapılan ayırmalarda elde edilecek lave miktarı ile yanabilir verimleri ve tüvenan kömürün % 50 sinin altında veya üstünde olduğu yoğunluk olarak ifade edilen d_{50} ayırma yoğunlukları gözönüne alınarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.15'de havalı ayırıcılarda ayrılma/zenginleştirilebilme ihtimali yüksek olan kömür numuneleri koyu renkle belirtilmiştir. Belirtilen kömür örneklerinin beslenen külleri yüksek olmasına rağmen, bu kömürlerden havalı ayırıcılara özgü olan 1.90 - 2.0 g/cm^3 gibi yüksek ayırma yoğunluklarında satılabilir özelliklere sahip (kül içeriği % 20'den küçük ya da % 25'den küçük) lavelerin yüksek kazanma verimleriyle kazanılabileceği mümkün gözükmektedir.

Yapılan değerlendirme sonucunda; Soma bölgesi kömürlerinden Eynez kömürleri, İmbat kömürlerinin havalı ayırıcılarda ayrılabilme özelliklerinin olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.15. +1 mm kömür fraksiyonu yıkama karakteristikleri.

<i>KÖMÜR NUMUNESİ</i>	<i>YIKAMA YOĞUNLUKLARI</i>												<i>Ayırma</i>	<i>Ayırma</i>	<i>Bünye Külü*</i> %
	1.60 g/cm ³				1.75 g/cm ³				2.0 g/cm ³				<i>Yoğ.</i>	<i>Yoğ.</i>	
	Lave	Lave	Şist	Yan.	Lave	Lave	Şist	Yan.	Lave	Lave	Şist	Yan.	<i>g/cm³</i>	<i>Lave</i>	
	Miktarı	Kül	Kül	Verim	Miktarı	Kül	Kül	Verim	Miktarı	Kül	Kül	Verim	<i>d₅₀</i>	<i>Külü</i>	
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%		%	
Sarıkaya	39.8	11.8	63.0	61.3	47.0	16.5	67.0	68.5	66.0	27.0	71.5	84.1	1.77	19.0	3.2
Eynez AO	68.3	9.90	63.4	84.2	72.5	12.0	66.5	87.3	76.0	13.4	67.5	90.5	1.36	6.50	3.0
İmbat	35.7	11.1	70.1	62.2	40.0	16.0	71.0	65.9	45.0	18.0	72.0	72.4	1.60	1.15	3.0

*Bünye külü, -13+1 mm fraksiyonu yüzdürme-batırma testinde 1.3 yoğunlukta ulaşılan en düşük kül değeri olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 4.16. Yıkanabilirlik test sonuçlarının, havalı ayırma sistemleri açısından değerlendirilmesi.

<i>KÖMÜR NUMUNESİ</i>	<i>Besl. Külü %</i>	<i>Bünye Külü*</i> %	<i>+1.90 Malz. Külü, %</i>	<i>+2.0 Malz. Külü, %</i>	<i>Yan. Verim % (+2.0)</i>	<i>Temiz kömür Verimi % (+2.0)</i>	<i>Ayırma Yoğ. g/cm³ d₅₀</i>	<i>Ayırma Yoğ. Lave Külü %</i>
Sarıkaya	42.7	3.2	24.5	27.0	84.1	66.0	1.77	19.0
Eynez AO	26.9	3.0	13.3	13.4	90.5	76.0	1.36	6.5
İmbat	49.0	3.4	17.4	18.0	72.4	45.0	1.56	1.15

4.1.2. Yöntem

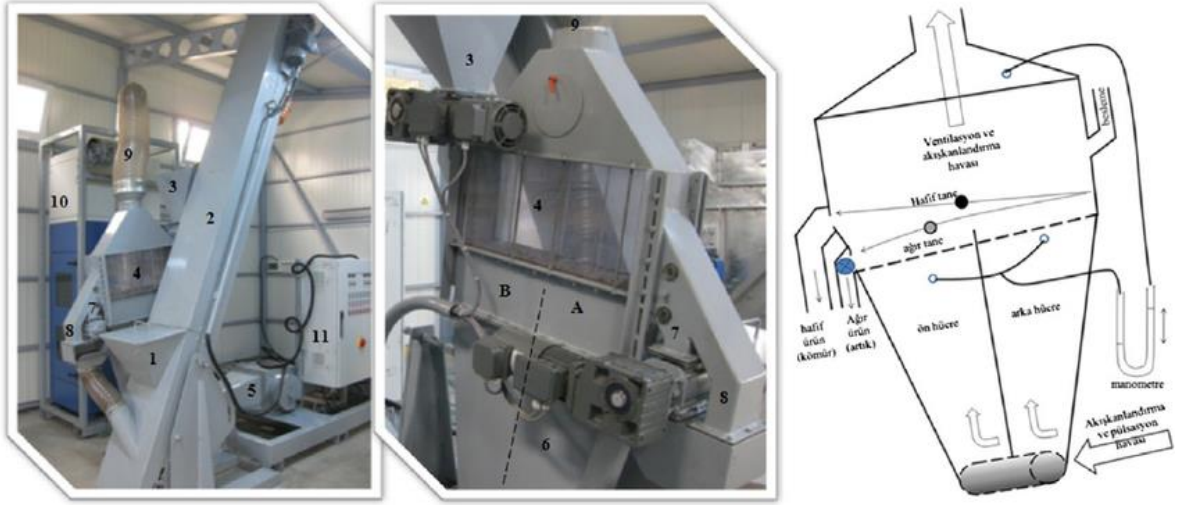
Bu tez çalışması kapsamında kuru zenginleştirme deneyleri, All Mineral Firmasından ALLAIR JİG (havalı jig) ve AKW firmasından AKAFLOW (Havalı masa) cihazları gerçekleştirilmiştir.

ALLAIR JİG'in üst boyut grubu -15mm olan sürekli besleme sistemine sahip ve üst boyut grubu -50 mm olan, kesikli olarak çalışan 2 sisteme sahiptir. AKAFLOW ayırıcısında ise tarafımızdan ayrıca sürekli beslemenin sağlanabilmesi amacı ile bant, elevatör ve titreşimli besleyici sisteme entegre edilmiştir.

Laboratuvar ölçekli, Allair Jig ve Akaflow cihazları'nda deneylerin yapılabilmesi 150 – 250 kg kömür numunesinin hazırlanmıştır. Bu kapsamda, sahalardan alınan 3'er ton numuneler -50 mm altına kırılmakta ve 15, 4 ve 1 mm'den elenerek sınıflandırılmıştır. -50+15 mm boyut grubundaki kömür numuneleri kesikli çalışan AllAir Jig'de, -15+4 mm ve -4+1 mm sürekli çalışan AllAirJig'de, -4+1mm ve -1mm boyutundaki kömür numuneleri Akaflow cihazlarında testlere tabi tutulmuştur. Farklı değişken şartlarına göre ayırma sonrası ortaya çıkan lave, mikst ve şist ürünleri alınmıştır. Bu ürünlere kül, kükürt, kalorifik değer analizleri yapılmış, ayırma verimi yüksek olan deney şartlarından elde edilen ürünlere cihazın performansını ölçmek amacı ile yüzdürme batırma testleri uygulanmıştır.

4.1.2.1. Sürekli çalışan AllAir jig

Sürekli çalışan Allair Jig'in kapasitesi yaklaşık 200 kg/saat ve -15mm boyut grubunda çalışabilmektedir. -15 mm elenmiş kömür (1) ile gösterilen yerden elevatör (2) ile hücrenin besleme silosuna (3) taşınmaktadır. Burada yer alan besleme stargate'i ile tüvenan malzeme hücre içerisine (4) dökülmekte ve hava pompası ile sağlanan pülsasyonlu hava ile (5) hücrenin alt kısmından jigleme (6) yapılmaktadır. Özgül ağırlığı az olan kömür yukarı hareket etmek sureti ile ayırıcı bıçak vasıtası ile (7) numaralı kompartımandan alınmakta, özgül ağırlığı yüksek olan şist boşaltma stargate'i (8) dışarı alınmaktadır. Ortaya çıkan toz spiral boru (9) vasıtası ile toz tutma (10) ünitesine taşınmaktadır. Tüm işlemler cihazın elektronik panosu (11) vasıtası ile kontrol edilebilmektedir. Sürekli çalışan Allair Jig ile sürekli olarak besleme ve ayırma yapmak mümkündür. Sürekli çalışan jig ile, besleme hızı, boşaltma hızı, hava hızı, pülsasyon genliği ve tabaka kalınlığı parametreleri değişkenleri ayarlanarak kömürün en iyi şekilde ayrılabilmesi incelenebilmektedir. (Şekil 4.21)



Şekil 4.21. Sürekli çalışan All Air Jig (-15 mm).

4.1.2.2. Kesikli çalışan All Air jig

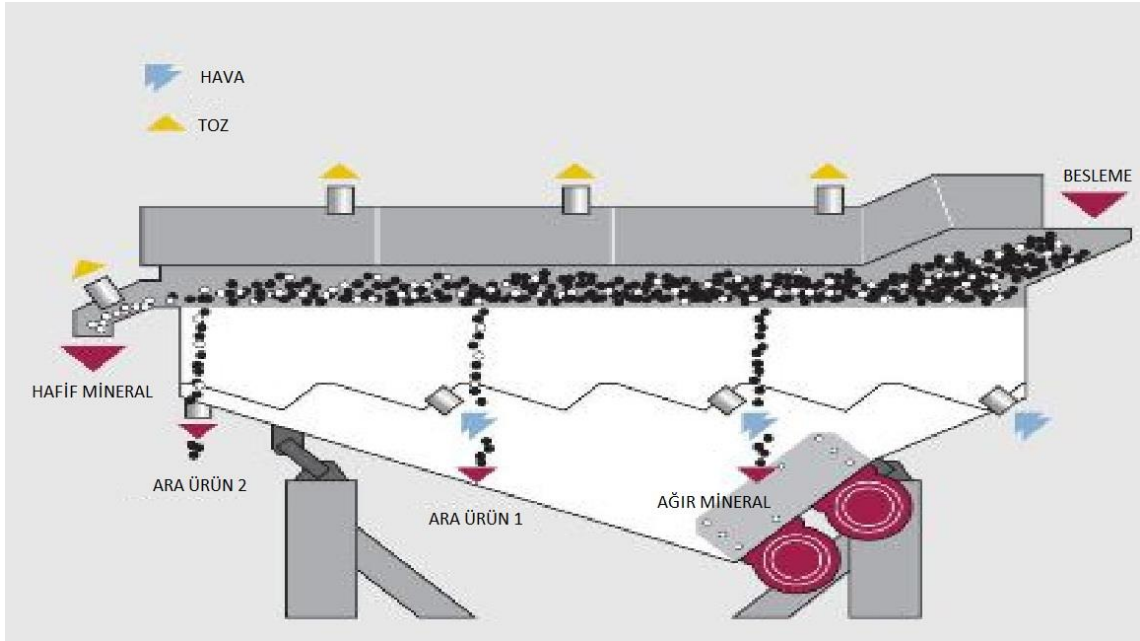
Kesikli çalışan Allair Jig ise (şekil 4.22) -50+15 mm kömür zenginleştirme için hazırlanmış olup belirli miktarlarda tüvenan malzeme eklenmek sureti ile sistem çalıştırılmakta, belli bir süre jigleme yapılmakta, sistemde tabakalaşma meydana geldiğinde sistem kapatılmakta ve tabakalar halinde lave, ara ürün ve şist alınarak standart testler uygulanmakta ve çıkan sonuçlar karşılaştırılmaktadır.



Şekil 4.22. Kesikli çalışan Allair Jig (-50 mm).

4.1.2.3. AkafLOW havalı masa

Çalışma kapsamında, AKW firmasına ait AKAFLOW havalı masa (Şekil 4.23) ile -6mm kömürlerin zenginleştirilmesi içinde çalışma yürütülmüştür. Temel olarak AKAFLOW havalı masa, ince boyutlu tüvenan malzemenin akışkanlandırma havası ile özgül ağırlık farkına göre ayırması ve vibrasyon ile ayrılan malzemenin ileri doğru taşınarak, tabakalar arasındaki ayırıcı bıçakların yardımı ile hafif ve ağır malzemenin birbirinden ayırma prensibine dayanmaktadır. Tez kapsamında, Şekil 4.23’de görülebileceği gibi 3 bıçaklı ayırma sistemine sahip AKAFLOW ile 4 farklı özgül ağırlıkta ya da kül içeriğine sahip kömür, ara ürün ve şist ayırımı yapmak mümkündür. Bir bant yardımı ile AKAFLOW cihazına beslenen tüvenan malzeme, akışkanlandırma havasının ve vibrasyonunda etkisi ile ileri hareketini sağlamakta, ilk bıçak seviyesine gelen ağır malzeme alttan alınmakta, üstte kalan diğer kömür ve bir miktar ara ürün sistemde ileri doğru hareketini sürdürmektedir. Aynı şekilde hareketi 2. ve 3. bıçakta da sağlanmakta en sonunda ise hafif olan kömür (lave) alınmaktadır (Şekil 4.24). AKAFLOW’da temel değişkenler, Besleme hızı/miktarı, vibrasyon hızı, hava hızı ve bıçaklıkların açıklığıdır. *(DeneySEL çalışmaları yöntem kısmında anlatıyoruz)*



Şekil 4.23. AKAFLOW havalı masa.

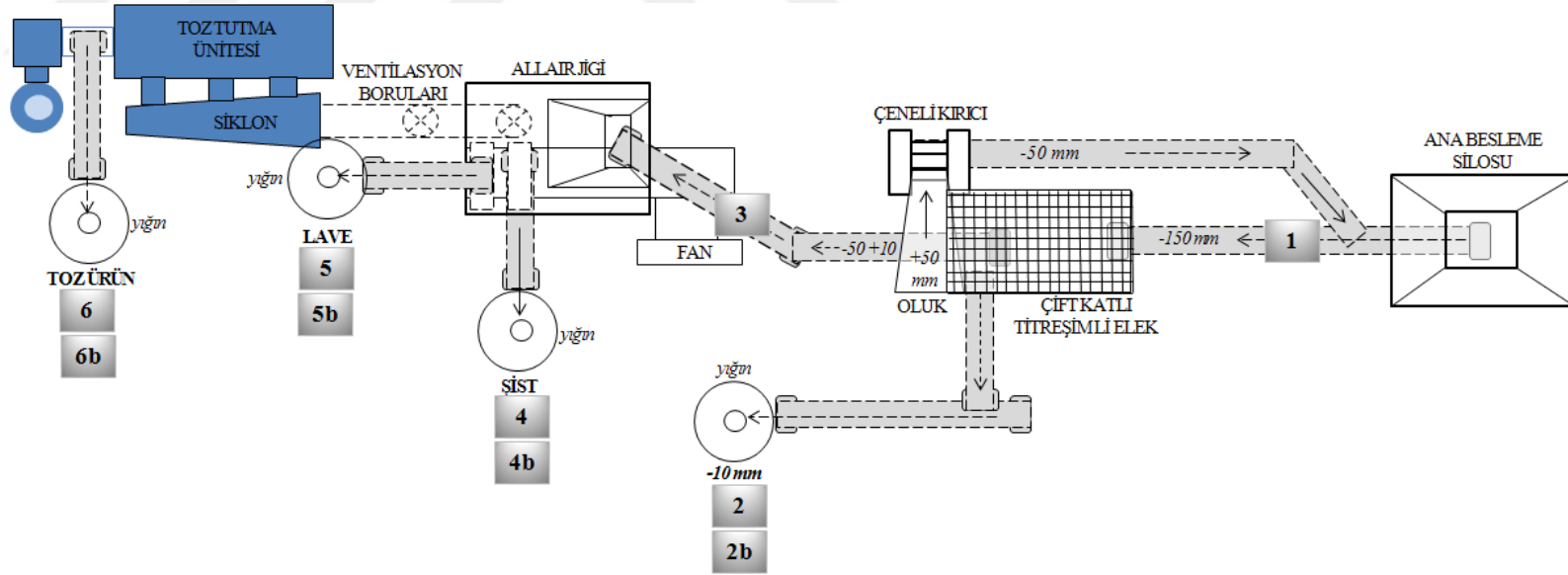


Şekil 4.26. AKAFLOW cihazı bıçak pozisyonları.

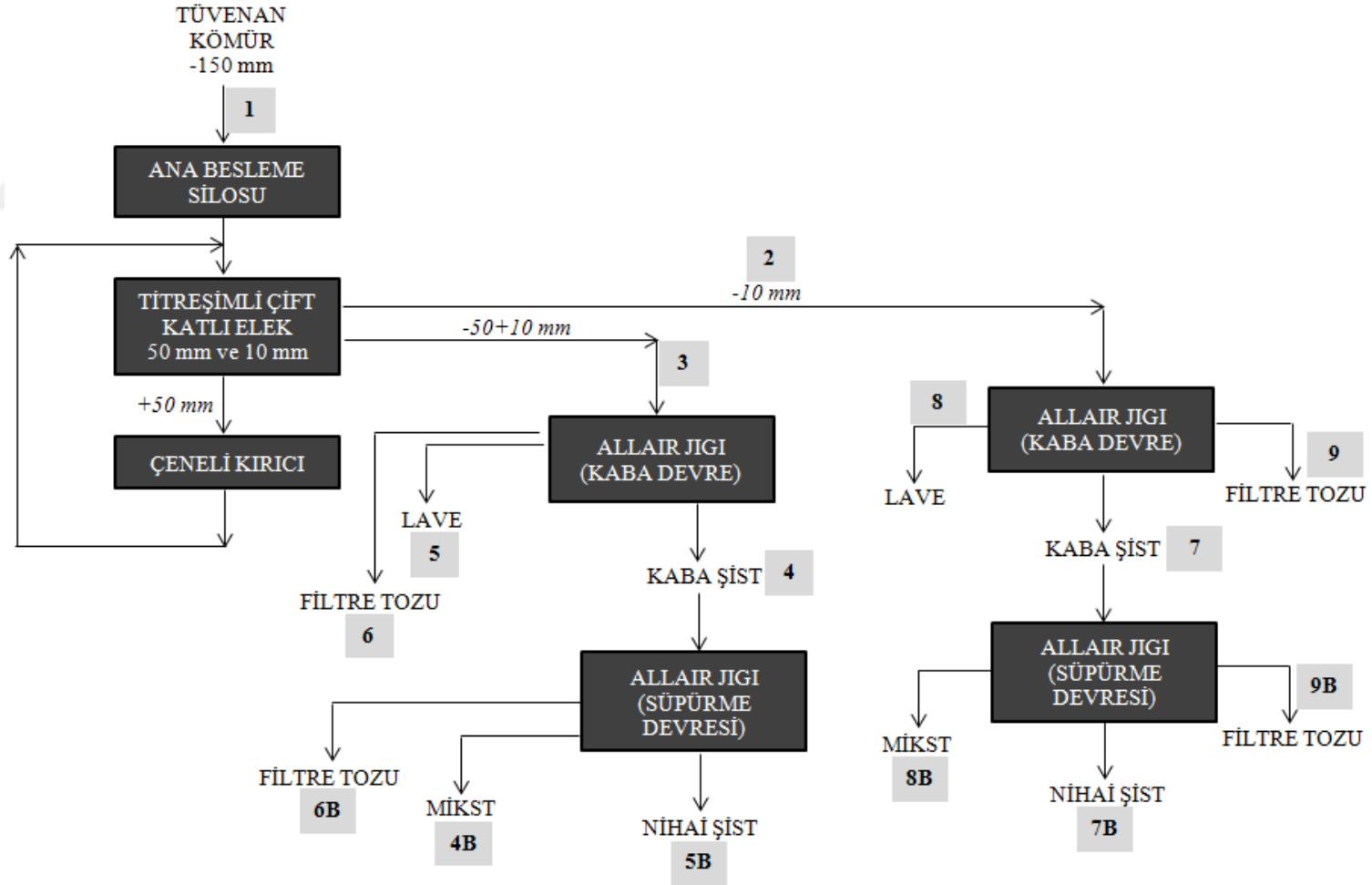
4.1.2.4. Pilot çaplı AllAir jig

Pilot ölçekli çalışmalar, All Mineral firması tarafından proje kapsamında Soma-Dereköy Torbalama Yedek Tesisi'nde kurulan 20 ton/saat kapasiteli kuru zenginleştirme ünitesinde gerçekleştirilmiştir. Kuru zenginleştirme çalışmalarının gerçekleştirildiği prosesin akım şeması, numune alma bölgeleri ve kodları, tesisten genel görünüm Şekil 4.25, 4.26 ve 4.27'de verilmektedir. Çalışmalar 12.08.2014 tarihinde tesisin kurulması ile başlamış ve 09.11.2014 tarihinde tesisin sökümü ile tamamlanmıştır. Tesis için gerekli 100-120 ton kömür numunesi TKİ tarafından, çalışılan her gün boyunca temin edilmiş, tesisin çalıştırılması 3 işçi, 1 teknisyen, 1 kepçe operatörü ve 1 mühendis ile gerçekleştirilmiştir.





Şekil 4.25. Dereköy Torbalama tesisleri-yedek ünitesinde kurulan kuru zenginleştirme ünitesi yerleşimi.



Şekil 4.26. Dereköy torbalama tesisleri-yedek ünitesinde kurulan kuru zenginleştirme ünitesi akım şeması ve numune alım yerleri-kodları.



Şekil 4.27. Dereköy torbalama tesisleri-yedek ünitesinde kurulan kuru zenginleştirme ünitesi genel görünümü.

5. KURU ZENGİNLEŞTİRMEDE OPTİMUM ŞARTLARIN BELİRLENMESİ

Optimum şartların belirlenmesi esnasında, kuru zenginleştirmeye uygun kömürlerden Soma-İmbat kömürü üzerinde detaylı kuru zenginleştirme çalışmaları gerçekleştirilerek aşağıda maddeler halinde sunulan sorulara cevap bulunmaya çalışılmıştır. Ayrıca diğer kömürlere uygulanması planlanan zenginleştirme akım şeması oluşturulması ile birlikte optimum parametreler de belirlenmiştir.

- Kuru zenginleştirme çalışmalarında dar boyut grubunda çalışılması ayırma etkinliği üzerinde bir avantaj oluşturabilir mi?
- En etkin ayırma boyut grupları nedir?
- Kuru zenginleştirme cihazları, ayırma şartlarını gözle tespit etmeye uygundur. Ayırma şartlarının göz kontrolü ile optimum şekilde ayarlanması etkin bir ayırma sağlar mı? (mümkün olması durumunda detaylı optimizasyon çalışmaları yerine kısa ve pratik yöntem olarak uygulanabilir)
- İnce boyutlarda (-4+1 mm) Allair jigi (Şekil 5.1) ve AKAFLOW cihazlarının her ikisi de kullanılabilir. Bu cihazlardan hangisi daha etkin bir ayırma sağlamaktadır?
- Kömür neminin ayırma etkinliği üzerindeki etkileri nasıldır? Ayırma etkinliği açısından kritik bir kömür nemi söz konusu olabilir mi?
- Sürekli çalışan yani lave ve şist alımı sürekli olan Allair jigi maksimum çalışma boyutu 15 mm'dir. İnce boyutta çalıştırılması herhangi bir avantaj sağlar mı? Benzer sonuçlar Kesikli çalışan Allair Jiginde alınabilir mi? Eğer alınabilirse, iri boyutta da - 15 mm boyut grubu kömür ile elde edilen ayırmaya benzer sonuçlar elde edilebilir mi?

Bu bölümde, Soma-İmbat Kömürünün kuru zenginleştirilebilirliği detaylı bir şekilde ortaya konmuş ve yukarıda ifade edilen soruların cevaplanmasına yönelik pratik çözümler üretilmiştir.

5.1. Sürekli Çalışan Allair Jiginde Uygun Çalışma Boyutunun Seçimi

Sürekli çalışan Allair jiginde uygun çalışma boyutunun belirlenebilmesi için, Soma-İmbat kömürü ile yapılan kuru zenginleştirme çalışmalarında; beslenen kömür boyutunun ayırma etkinliği ve ürün özellikleri açısından etkisi özet olarak Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Farklı besleme boyutlarında/boyut gruplarında sürekli çalışan allair jigi uygulaması (Toplam nem % 6.01).

	Boyut mm	YÜZEN		BATAN		Besl.	Yan.	K.U.V.*	Ayırma
		M	Kül	M	Kül	Kül	Verim	%	Etk. **
		%	%	%	%	%	%		%
FRAKSİYONEL	-13+4 (a)	55.8	17.21	44.2	64.71	38.22	74.8	74.8	49.6
	-13+1	53.2	23.36	46.8	63.13	41.74	70.0	70.8	40.8
	-13	57.6	29.69	42.4	65.74	44.97	73.6	62.0	35.6
	-4+1 (b)	42.0	15.57	58.0	54.58	38.19	57.4	82.9	40.3
	-4	67.6	33.54	32.4	61.52	42.62	78.3	46.8	25.1
TOPLAM	-13+4(a)	39.7	17.21	31.4	64.71				
	-4+1(b)	12.1	15.57	16.7	63.13				
	-13+1	51.8	16.83	48.2	64.16				
	(Toplam)					39.63	71.4	78.0	49.4

*: Kül uzaklaştırma verimi

** : Ayırma Etkinliği = Yanabilir verim (%) - (100-Kül Uzaklaştırma Verimi) (%).

Sürekli çalışan (ürün boşaltması sürekli olan) Allair jigine gerek belirli bir boyuttan kesilerek gerekse farklı boyut fraksiyonlarında kömür örnekleri beslenmiş ve lave-şist (yüzen-batan) ürün kalitesi ve ayırma etkinlikleri belirlenmiştir. İlk olarak -13 mm kömür numunesi doğrudan, sonrasında ise 4 mm ve 1 mm'den kesilerek kuru zenginleştirme işlemine tabi tutulmuştur. Çizelge 5.1 incelendiğinde; -13 mm'de gerçekleştirilen kuru zenginleştirme ile % 35.6 ayırma etkinliği elde edilirken, ayırma etkinlikleri besleme boyutu -1 mm'den kesildiğinde % 40.8'e, 4 mm'den kesildiğinde ise % 49.6 seviyelerine yükseltilmiştir. Elde edilen lave kül içerikleri ise % 29.69'dan % 17.21 seviyelerine düşürülmüştür. Bilindiği üzere, uygulanan akışkanlandırma ve pülsasyon havasının miktarı kömür boyutuna bağlı olarak değişmekte ve geniş boyut dağılımlı kömür numunelerinin tabakalandırılması işleminde uygulanan optimum hava miktarı, boyut dağılımı içerisinde bulunan çok küçük boyutlu taneler üzerinde çok daha fazla etkili olmaktadır. Öyle ki, -13 mm boyut dağılımındaki ince şistler özgül ağırlıkları kömüre göre çok daha yüksek olmasına rağmen, iri boyutlu kısmın tabakalandırılması için uygulanan yüksek hava hızlarına karşı duramayarak tabaka yüzeyine hareket etmekte ve laveye karışmaktadır. Dolayısıyla uygulanan akışkanlandırma havasını daha kontrollü seviyelerde tutabilmek için boyut

dağılımındaki çok ince fraksiyonların uzaklaştırılması işleminin ayrıca değerlendirilmesi gerekmektedir. Benzer durum -4 mm boyut grubundaki kömür için de gereklidir. -4 mm boyutlu kömürün 1mm'den kesilmesiyle ayırma etkinliği % 25.1'den % 40.3 seviyelerine yükseltilmiş, lave kül içeriği ise % 33.54'den % 15.57 seviyelerine düşürülmüştür.

Dar boyut gruplarında ayırmanın kuru zenginleştirme üzerindeki etkisini görmek amacıyla yapılan deney sonuçları Çizelge 5.2-5.5'te verilmiştir. Çizelge 5.2 her bir boyut grubunda yapılan fraksiyonel kuru zenginleştirme sonuçlarını kendi içerisinde hesaplanmış sonuçlarını, Çizelge 5.3; -13+4 mm boyutlu kömür numunesinin 2 dar boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme sonuçlarını ve beslenene göre birleştirilmiş şeklini, Çizelge 5.4. -13+1 mm boyutlu kömür numunesinin 3 dar boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme sonuçlarını ve beslenene göre birleştirilmiş şeklini Çizelge 5.5 ise -9+1 mm boyutlu kömür numunesinin 2 dar boyut grubunda (-9+4 ve -4+1 mm) yapılan kuru zenginleştirme sonuçlarını ve beslenene göre birleştirilmiş şeklini özetlemektedir.

-13+4 mm boyut grubunda, dar boyut grubu ve tek bir boyut olarak besleme şartlarına göre kuru zenginleştirme sonuçlarının verildiği Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.3 incelendiğinde, -13+4 mm boyut grubunun tek bir boyut halinde beslenmesiyle kuru zenginleştirme sonucu elde edilen temiz kömür kül içeriği % 16'dan % 17.2 seviyelerine çıkmasına rağmen ayırma etkinliğinin % 40 seviyelerinden % 50 seviyelerine ulaştığı saptanmış olup, -13+4 mm boyut grubunda tek bir boyut olarak besleme ile kuru zenginleştirme yapılmasının daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir. Burada daha geniş boyut grubunda paketlenmenin daha iyi olduğu ve jig ünitesindeki yatak altı ve üstündeki basıncın iyi paketlenme dolayısıyla daha iyi bir ayırma sağladığı gözlemlenmiştir.

-13+1 mm boyut grubunda, dar boyut grubu ve tek bir boyut olarak besleme şartlarına göre kuru zenginleştirme sonuçlarının verildiği Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.4 incelendiğinde, -13+1 mm boyut grubunun tek bir boyut halinde ya da -13+9, -9+4 ve -4+1 mm boyut gruplarında ayrı ayrı beslenmesi arasında ayırma etkinliği açısından önemli bir fark olmadığı gözlemlenmiştir.

-9+1 mm boyut grubunda, dar boyut grubu ve tek bir boyut olarak besleme şartlarına göre kuru zenginleştirme sonuçlarının verildiği Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.5 incelendiğinde, -9+1 mm boyut grubunun tek bir boyut halinde ya da -9+4 ve -4+1 mm boyut gruplarında ayrı ayrı beslenmesi arasında ayırma etkinliği açısından önemli bir fark olmadığı gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak, -13 mm boyut grubunda yapılacak kuru zenginleştirme çalışmalarında bu boyutun -13+4 mm ve -4+1 mm boyut grubu olarak ayrı ayrı beslenmesi ve -1 mm boyut grubunun ayrı bir ünite de değerlendirilmesinin ayırma etkinliği açısından daha yararlı olduğuna karar verilmiştir.

Çizelge 5.2. Farklı dar boyut gruplarında yapılan kuru zenginleştirme deney sonuçları.

Boyut Mm	LAVE		ŞİST		Besl. Kül %	Yan. Ver. %	K.U.V %	Ayırma Etkinliği %
	Miktar %	Kül %	Miktar %	Kül %				
-13+9	26.6	12.63	73.4	45.68	36.89	36.8	90.9	27.7
-9+4	50.7	17.08	49.3	62.77	39.61	69.6	78.1	47.7
-9+1	42.6	13.49	57.4	57.37	38.67	60.1	85.1	45.2
-4+1	42.0	15.57	58.0	54.58	38.20	57.4	82.9	40.3
-4*	63.0	32.61	30.3	61.52	42.00	69.8	47.6	17.4

*% 6.7 oranında toz filtrede kalmıştır (Kül içeriği % 50.42)

Çizelge 5.3. -13+4 mm için dar boyut gruplarında yapılan kuru zenginleştirme deney sonuçları.

Boyut Mm	LAVE		ŞİST		Besl. Kül %	Yan. Ver. %	K.U.V %	Ayırma Etkinliği %
	Miktar %	Kül %	Miktar %	Kül %				
-13+9	10.2	12.63	28.2	45.68	36.89	14.5	33.4	-
-9+4	31.3	17.08	30.3	62.77	39.61	42.2	49.4	-
TOPLAM	41.5	15.99	58.5	54.53	38.54	56.7	82.8	39.5

Çizelge 5.4. -13+1 mm için dar boyut gruplarında yapılan kuru zenginleştirme deney sonuçları.

Boyut Mm	LAVE		ŞİST		Besl. Kül %	Yan. Ver. %	K.U.V %	Ayırma Etkinliği %
	Miktar %	Kül %	Miktar %	Kül %				
-13+9	6.7	12.63	18.3	45.68	36.89	9.5	21.8	-
-9+4	20.3	17.08	19.7	62.77	39.61	27.3	32.2	-
-4+1	14.7	15.57	20.3	54.58	38.20	20.2	28.8	-
TOPLAM	41.7	15.83	58.3	54.55	38.41	57.0	82.8	39.8

Çizelge 5.5. -9+1 mm için dar boyut gruplarında yapılan kuru zenginleştirme deney sonuçları.

Boyut Mm	LAVE		ŞİST		Besl.	Yan.	K.U.V %	Ayırma Etkinliği %
	Miktar %	Kül %	Miktar %	Kül %	Kül %	Ver. %		
-9+4	27.0	17.08	26.3	62.77	39.61	36.7	42.4	-
-4+1	19.6	15.57	27.1	54.58	38.20	27.1	38.0	-
TOPLAM	46.6	16.45	53.4	58.61	38.96	63.8	80.4	44.2

En uygun çalışma boyutlarının tespitine yönelik çalışmalar sonucunda; -13 mm boyutundaki malzemenin etkin bir ayırma için -13+4 ve -4+1 mm boyut grubu olarak iki fraksiyon halinde yapılması uygun görüldüğünden sürekli çalışan Allair jigi uygulamasının çalışma parametrelerinin optimizasyonu bu iki boyut grubunda gerçekleştirilmiştir. Fraksiyonel bazda yapılan sürekli çalışan Allair jigi uygulaması, temiz lave ve atılabilir şist özellikli ürünler eldesine yönelik olacak şekilde iki kademedede gerçekleştirilmiştir. Çalışma parametreleri olarak besleme ve boşaltma hızı, pülsasyon genliği ve Fan hava hızı üzerinde çalışılmıştır.

5.1.1. -13+4 mm Boyut grubunda yapılan optimum şartların belirlenmesi çalışmaları

5.1.1.1. Temiz lave alımına yönelik optimum şartların belirlenmesi çalışmaları

Temiz lave alımına yönelik optimum çalışma şartlarının belirlenmesinde uygulanan parametreler ve aralıkları, bu şartlarda saptanan jigleme süresi ve cihaz kapasiteleri Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6. -13+4 mm boyut grubunda yapılan optimizasyon deneylerinde çalışma şartları.

	Besleme	Boşaltma		Püls.	Fan	Tabaka	Tabaka	Jigleme	Kapasite
	Hızı	Hızı	Boş./	Hava Hızı	Hava Hızı	Yüks.	Yüks.*	süresi	kg/s
	Rpm	rpm	Besl.	rpm	%	cm	cm	dk.	
Besleme-Boşaltma hızı	10	14.0	1.4	192	45	8.5	11	4.13	152.40
	15	21.0	1.4	192	45	8.5	11	2.95	213.64
	20	28.0	1.4	192	45	8.5	11	2.27	277.71
	25	34.9	1.4	192	45	8.5	11	1.89	332.82
	30	44.8	1.5	192	45	8.5	11	1.59	396.86
	34.7	64.8	1.9	192	45	8.5	11	1.50	420.46
	40	73.0	1.8	192	45	8.5	11	1.35	465.50
Pülsasyon Genliği	20	28.0	1.4	170	45	8.5	11	1.56	404.80
	20	28.0	1.4	180	45	8.5	11	1.78	354.38
	20	28.0	1.4	200	45	8.5	11	2.22	283.20
	20	28.0	1.4	210	45	8.5	11	2.26	278.40
	20	28.0	1.4	220	45	8.5	11	2.28	276.60
	20	28.0	1.4	230	45	8.5	11	2.23	282.77
	20	28.0	1.4	192	45	8.5	11	2.23	282.00
Fan Hızı	20	28.0	1.4	200	43	8.5	11	2.72	231.75
	20	28.0	1.4	200	45	8.5	11	2.34	269.40
	20	28.0	1.4	200	47	8.5	11	2.33	270.90
	20	28.0	1.4	200	49	8.5	11	2.35	267.90
	20	28.0	1.4	200	51	8.5	11	2.39	264.00
	20	28.0	1.4	200	53	8.5	11	2.28	276.32

*Tabaka Yüksekliği**

Besleme/boşaltma hızı parametreleri, jig ünitesi içerisindeki tabaka yüksekliğinin istenilen seviyede kalmasını sağlamak amacıyla birlikte tek bir parametre olarak değerlendirilmiştir. Tabaka seviyesinin değişimi gerekli olan hava miktarı hızını değiştirmektedir. Dolayısıyla sabit hava miktarında ve tabaka seviyesinde besleme/boşaltma hızı parametreleri birlikte değerlendirilmiştir. Deney sonuçları Çizelge 5.7’de verilmiştir. Çizelge 5.7’den izlendiği üzere; En etkin besleme/boşaltma hızı 20.0/28.0 rpm olarak tespit edilmiş olup, en yüksek ayırma etkinliği ve temiz lave ürünü bu şartlarda elde edilmiştir.

Pülsasyon genliğinin denendiği test çalışmaları ise Çizelge 5.8’de verilmiştir. Çizelge 5.8’de görüldüğü üzere optimum pülsasyon genliğinin 192-210 rpm seviyelerinde olduğu bu değerlerden düşük ve yüksek pülsasyon genliklerinde ayırma etkinliğinin düştüğü gözlemlenmiştir. Dolayısıyla en uygun pülsasyon genliği 200 rpm olarak belirlenmiş olup, bu şartlarda ayırma sonucunda beslenenin % 34.8’i % 10.63 kül içeriği ile alınmakta ve ayırma etkinliği de % 42-43 seviyelerindedir (Kül uzaklaştırma verimi: % 90.7).

Fan Hava Hızının denendiği test sonuçları ise Çizelge 5.9’da verilmiştir. Çizelge 5.9 incelendiğinde en uygun fan hava hızının % 47.0 olduğu tespit edilmiştir. Bu şartlarda ayırma sonucunda beslenenin % 36.22’si % 11.06 kül içeriği ile alınmakta ve ayırma etkinliği de % 44 seviyelerindedir (Kül uzaklaştırma verimi: % 90.1).

Temiz lave alımına yönelik optimizasyon çalışması sonuçlarına göre en uygun çalışma parametreleri;

Besleme/boşaltma hızı: 20.0/28.0 rpm,

Pülsasyon genliği: 200 rpm,

Hava Hızı: % 47

olarak tespit edilmiş olup, yaklaşık 400 kg kömür numunesi bu şartlarda kuru zenginleştirmeden geçirilerek, temiz bir lave alınmış ve bu üründen performans testi yapabilmek amacıyla temsili numune alınarak arşivlenmiştir. Elde edilen lave, beslenenin % 36.9’unu temsil etmekte olup, kül içeriği ise % 11.80 civarındadır (Çizelge 5.9, nihai ürün). Geriye kalan kaba şist ürünü ise temiz şist atımına yönelik optimum parametrelerin belirlenmesi amacı ile kullanılmak üzere ayrılmıştır.

Çizelge 5.7. -13+4 mm boyut grubunda yapılan temiz lave alımına yönelik optimum deney şartlarının belirlenmesinde besleme/boşaltma hızının ayırmaya etkisi.

Besleme hızı	Ürünler	Miktar %	Kül %	Yan.Ver. %	K.U.V. %	Ayırma Etk., %
10	<i>Lave</i>	31.5	11.45	46.6	9.0	37.6
	<i>Şist</i>	68.5	53.35	53.4	91.0	
	<i>Toplam</i>	100.0	40.15	100.0	100.0	
15	<i>Lave</i>	29.0	11.70	43.5	8.2	35.3
	<i>Şist</i>	71.0	53.26	56.5	91.8	
	<i>Toplam</i>	100.0	41.22	100.0	100.0	
20	<i>Lave</i>	34.4	10.80	51.4	9.2	42.2
	<i>Şist</i>	65.6	55.74	48.6	90.8	
	<i>Toplam</i>	100.0	40.27	100.0	100.0	
25	<i>Lave</i>	36.5	12.49	53.1	11.4	41.6
	<i>Şist</i>	63.5	55.53	46.9	88.6	
	<i>Toplam</i>	100.0	39.83	100.0	100.0	
40	<i>Lave</i>	31.8	10.66	47.2	8.5	38.7
	<i>Şist</i>	68.2	53.33	52.8	91.5	
	<i>Toplam</i>	100.0	39.75	100.0	100.0	
30	<i>Lave</i>	20.1	8.47	31.2	4.1	27.0
	<i>Şist</i>	79.9	49.26	68.8	95.9	
	<i>Toplam</i>	100.0	41.07	100.0	100.0	
35	<i>Lave</i>	16.8	9.27	26.5	3.7	22.8
	<i>Şist</i>	83.2	48.99	73.5	96.3	
	<i>Toplam</i>	100.0	42.30	100.0	100.0	

Çizelge 5.8. -13+4 mm boyut grubunda yapılan temiz lave alımına yönelik optimum deney şartlarının belirlenmesinde pülsasyon genliğinin ayırmaya etkisi.

Pülsasyon genliği, rpm	Ürünler	Miktar %	Kül %	Yan.Ver. %	K.U.V. %	Ayırma Etk., %
170	<i>Lave</i>	34.3	14.19	49.6	12.0	37.6
	<i>Şist</i>	65.7	54.45	50.4	88.0	
	<i>Toplam</i>	100.0	40.64	100.0	100.0	
180	<i>Lave</i>	36.8	15.58	52.0	14.2	37.8
	<i>Şist</i>	63.2	54.62	48.0	85.8	
	<i>Toplam</i>	100.0	40.25	100.0	100.0	
192	<i>Lave</i>	35.4	11.03	53.0	9.6	43.3
	<i>Şist</i>	64.6	56.69	47.0	90.4	
	<i>Toplam</i>	100.0	40.51	100.0	100.0	
200	<i>Lave</i>	34.8	10.63	51.7	9.3	42.4
	<i>Şist</i>	65.2	55.49	48.3	90.7	
	<i>Toplam</i>	100.0	39.90	100.0	100.0	
210	<i>Lave</i>	35.6	12.35	53.6	10.5	43.0
	<i>Şist</i>	64.4	57.95	46.4	89.5	
	<i>Toplam</i>	100.0	41.71	100.0	100.0	
220	<i>Lave</i>	34.4	11.59	50.8	9.9	40.9
	<i>Şist</i>	65.6	55.16	49.2	90.1	
	<i>Toplam</i>	100.0	40.18	100.0	100.0	
230	<i>Lave</i>	34.8	11.41	52.3	9.7	42.7
	<i>Şist</i>	65.2	56.95	47.7	90.3	
	<i>Toplam</i>	100.0	41.11	100.0	100.0	

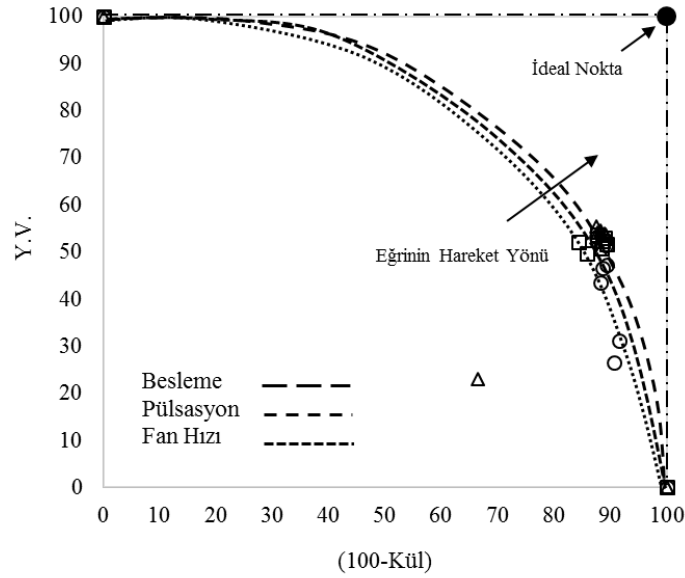
Çizelge 5.9. -13+4 mm boyut grubunda yapılan temiz lave alımına yönelik optimum deney şartlarının belirlenmesinde Fan hava hızının ayırmaya etkisi.

Fan Hava hızı %	Ürünler	Miktar %	Kül %	Yan.Ver. %	K.U.V. %	Ayırma Etk., %
43	<i>Lave</i>	20.7	33.53	23.1	17.2	5.9
	<i>Şist</i>	79.3	42.13	76.9	82.8	
	<i>Toplam</i>	100.0	40.35	100.0	100.0	
45	<i>Lave</i>	36.0	10.86	53.6	9.7	43.9
	<i>Şist</i>	64.0	56.65	46.4	90.3	
	<i>Toplam</i>	100.0	40.16	100.0	100.0	
47	<i>Lave</i>	36.2	11.06	53.9	9.9	44.0
	<i>Şist</i>	63.8	56.85	46.1	90.1	
	<i>Toplam</i>	100.0	40.27	100.0	100.0	
49	<i>Lave</i>	38.3	12.41	55.5	12.0	43.5
	<i>Şist</i>	61.7	56.41	44.5	88.0	
	<i>Toplam</i>	100.0	39.54	100.0	100.0	
51	<i>Lave</i>	33.7	11.71	50.5	9.6	40.9
	<i>Şist</i>	66.3	55.98	49.5	90.4	
	<i>Toplam</i>	100.0	41.05	100.0	100.0	
53	<i>Lave</i>	36.3	12.31	54.0	10.9	43.2
	<i>Şist</i>	63.7	57.49	46.0	89.1	
	<i>Toplam</i>	100.0	41.09	100.0	100.0	
NİHAİ*	<i>Lave</i>	36.9	11.80	54.4	10.8	43.6
	<i>Şist</i>	63.1	56.82	45.6	89.2	
	<i>Toplam</i>	100.0	40.22	100.0	100.0	

*:En uygun çalışma şartlarında temiz lave üretimi sonucu

Şekil 5.1’de cevher zenginleştirmede bilinen tenör-verim grafiklerine benzer yanabilir verim-100-kül grafikleri oluşturularak optimizasyon yapılmıştır. En iyi ayırmanın yanabilir verimin %100, 100-kül’ün de yine % 100 olduğu noktada olduğu kabul edilerek, bu noktaya en yakın şartların optimum şartlar olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, etkin parametreler olarak bilinen üç değişken parametre; besleme hızı, pülsasyon genliği ve fan hızı araştırılmıştır. Öncelikle besleme hızı değişken parametre olarak araştırılmış, diğer şartlar gözle kontrol ve literatür verileri de dikkate alınarak sabit tutulmuştur, daha sonra pülsasyon ve fan hızı araştırılmıştır. Şekil 5.1’de

görüldüğü üzere, fan hava hızı, pülsasyon genliği ve besleme hızları'ndaki ideal parametreler sabitlendikçe, yanabilir verim artmakta, ve eğri ideal noktaya yaklaşmaktadır.



Şekil 5.1. -13+4 mm temiz lave alımına yönelik zenginleştirme eğrisi.

5.1.1.2. Temiz şist atımına yönelik optimum çalışma şartlarının belirlenmesi

Temiz şist atımına yönelik optimum çalışma şartlarında gerçekleştirilen temiz lave alımı sonrası elde edilen kaba şist numunesi kullanılmış olup, kaba şist beslenenin % 63.1'i miktarında olup, kül içeriği ise % 56.82'dir. Temiz şist atımına yönelik optimum çalışma şartları için uygulanan parametre ve aralıkları Çizelge 5.10'da sunulmuştur.

Besleme/boşaltma hızı, pülsasyon genliği, Fan hava hızının incelendiği test sonuçları sırasıyla Çizelge 5.11, 5.12 ve 5.13'de verilmiştir.

Çizelge 5.10 incelendiğinde ayırma etkinliği açısından verilen şartlar için en doğru besleme/boşaltma hızı 30/52 rpm olarak tespit edilmiş olup, bu besleme/boşaltma hızında ulaşılan ayırma etkinliği % 26.3 olarak saptanmıştır (Çizelge 5.11). Bu şartlarda beslenenin % 69.4'ü % 65.46 kül içeriği ve % 80.9 kül uzaklaştırma verimi ile atılabilmektedir.

Çizelge 5.10. -13+4 mm boyut grubunda yapılan optimum şartlarının belirlenmesi deney sonuçları.

	Besleme Hızı Rpm	Boşaltma Hızı rpm	Boş./ Besl.	Püls. Hav. Hızı rpm	Fan Hava Hızı %	Tabaka Yüks. cm	Tabaka Yüks.* cm	Jigleme süresi dk.	Kapasite Kg/s
Besleme-Boşaltma	9.9	18.0	1.8	189.4	52.6	8.5	11	3.52	179.00
	20	30.0	1.5	189.6	52.7	8.5	11	1.99	316.62
	30	52.0	1.7	189.6	52.7	8.5	11	1.58	398.40
	40	75.2	1.9	189.5	52.8	8.5	11	1.22	517.71
	50	103.2	2.1	189.8	52.6	8.5	11	1.01	621.60
Pülsasyon Genliği	30	52.0	1.7	190	52.7	8.5	11	1.29	486.98
	30	52.0	1.7	170	52.7	8.5	11	1.31	480.00
	30	52.0	1.7	180	52.7	8.5	11	1.32	478.60
	30	52.0	1.7	210	52.7	8.5	11	1.36	463.26
	30	52.0	1.7	230	52.7	8.5	11	1.30	486.00
	30	52.0	1.7	250	52.5	8.5	11	1.40	450.00
Fan Hızı	30	52.0	1.7	210	46	8.5	11	1.12	560.69
	30	52.0	1.7	210	48	8.5	11	0.93	680.69
	30	52.0	1.7	210	50	8.5	11	1.55	407.44
	30	52.0	1.7	210	52.5	8.5	11	1.46	430.50
	30	52.0	1.7	210	55	8.5	11	1.54	410.23

Çizelge 5.11. -13+4 mm boyut grubunda yapılan temiz atık alımına yönelik optimum deney şartlarının belirlenmesinde besleme-boşaltma hızının ayırmaya etkisi.

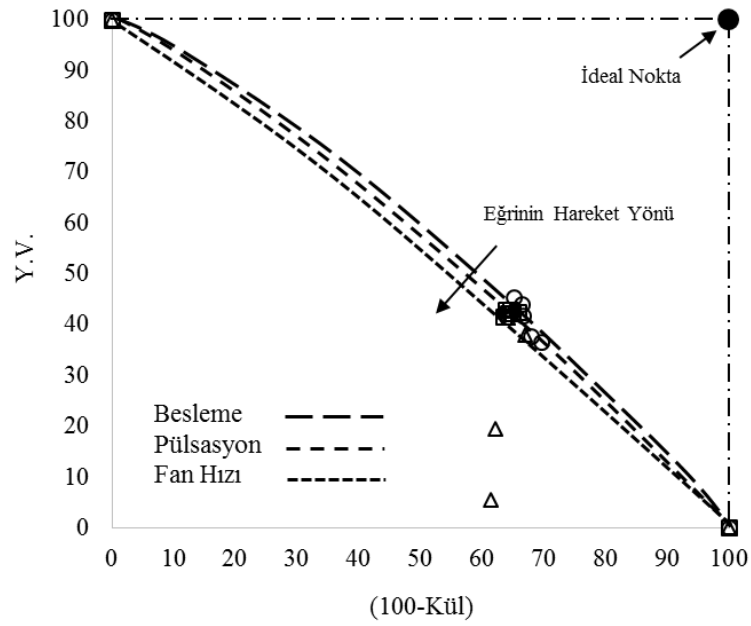
Besleme hızı	Ürünler	Miktar %	Kül %	Yan.Ver. %	K.U.V. %	Ayırma Etk. %
10	Lave	29.2	33.52	43.9	17.5	26.4
	Şist	70.8	65.03	56.1	82.5	
	Toplam	100.0	55.84	100.0	100.0	
20	Lave	27.8	33.38	41.8	16.7	25.1
	Şist	72.2	64.22	58.2	83.3	
	Toplam	100.0	55.64	100.0	100.0	
30	Lave	30.6	34.95	45.4	19.1	26.3
	Şist	69.4	65.46	54.6	80.9	
	Toplam	100.0	56.11	100.0	100.0	
40	Lave	24.0	32.01	37.6	13.6	24.0
	Şist	76.0	64.38	62.4	86.4	
	Toplam	100.0	56.62	100.0	100.0	
50	Lave	23.0	30.33	36.6	12.4	24.2
	Şist	77.0	63.92	63.4	87.6	
	Toplam	100.0	56.20	100.0	100.0	

Çizelge 5.12. -13+4 mm boyut grubunda yapılan temiz atık alımına yönelik optimizasyon deneylerinde pülsasyon genliğinin ayırmaya etkisi.

Pülsasyon Genliği	Ürünler	Miktar %	Kül %	Yan.Ver. %	K.U.V. %	Ayırma Etk. %
190	<i>Lave</i>	28.3	34.07	42.4	17.2	25.2
	<i>Şist</i>	71.7	64.64	57.6	82.8	
	<i>Toplam</i>	100.0	55.99	100.0	100.0	
170	<i>Lave</i>	28.2	36.48	41.5	18.1	23.4
	<i>Şist</i>	71.8	64.88	58.5	81.9	
	<i>Toplam</i>	100.0	56.87	100.0	100.0	
180	<i>Lave</i>	28.3	35.73	42.1	17.8	24.3
	<i>Şist</i>	71.7	65.12	57.9	82.2	
	<i>Toplam</i>	100.0	56.80	100.0	100.0	
210	<i>Lave</i>	28.6	35.01	42.1	17.9	24.2
	<i>Şist</i>	71.4	64.27	57.9	82.1	
	<i>Toplam</i>	100.0	55.90	100.0	100.0	
230	<i>Lave</i>	29	36.12	42.9	18.4	24.5
	<i>Şist</i>	71	65.32	57.1	81.6	
	<i>Toplam</i>	100.0	56.85	100.0	100.0	
250	<i>Lave</i>	28.7	35.35	42.8	17.9	24.9
	<i>Şist</i>	71.3	65.27	57.2	82.1	
	<i>Toplam</i>	100.0	56.68	100.0	100.0	

Çizelge 5.13. -13+4 mm boyut grubunda yapılan temiz atık alımına yönelik optimizasyon deneylerinde fan hava hızının ayırmaya etkisi.

Fan Hava Hızı	Ürünler	Miktar %	Kül %	Yan.Ver. %	K.U.V. %	Ayırma Etk. %
46.0	<i>Lave</i>	3.7	38.51	5.4	2.5	2.9
	<i>Şist</i>	96.3	58.34	94.6	97.5	
	<i>Toplam</i>	100.0	57.61	100.0	100.0	
48.0	<i>Lave</i>	13.1	37.83	19.4	8.6	10.8
	<i>Şist</i>	86.9	60.94	80.6	91.4	
	<i>Toplam</i>	100.0	57.91	100.0	100.0	
50.0	<i>Lave</i>	25	33.01	38.0	14.7	23.3
	<i>Şist</i>	75	63.64	62.0	85.3	
	<i>Toplam</i>	100.0	55.983	100.0	100.0	
52.5	<i>Lave</i>	28.6	35.23	42.9	17.7	25.1
	<i>Şist</i>	71.4	65.44	57.1	82.3	
	<i>Toplam</i>	100.0	56.80	100.0	100.0	
55.0	<i>Lave</i>	27.6	35.79	41.2	17.3	23.9
	<i>Şist</i>	72.4	65.09	58.8	82.7	
	<i>Toplam</i>	100.0	57.00	100.0	100.0	



Şekil 5.2. -13+4 mm temiz şist atımına yönelik zenginleştirme eğrisi.

Şekil 5.2’de görüleceği üzere temiz şist atımı sırasında yapılan optimum ayırma şartlarının belirlenmesi aşamasında her bir parametrenin en iyi şartı belirlenip sabitlenmiştir. Daha sonra diğer parametreler üzerinde yapılan çalışmalar ile optimum ayırma parametreleri ortaya çıkmıştır. Fan hava hızı, pülsasyon genliği ve besleme hızları’ndaki ideal parametreler sabitlendikçe, yanabilir verim azalmakta, ve eğri ideal noktaya uzaklaşmaktadır. Yüksek kül içerikli temiz bir şist atımı için eğrinin ideal noktadan uzaklamması gerekmektedir.

Çizelge 5.14. -13+4 mm boyut grubunda yapılan ararünün temizlenmesine yönelik optimizasyon deneylerinde fan hava hızının ayırmaya etkisi.

Fan Hava Hızı	Ürünler	Miktar %	Kül %	Yan.Ver. %	K.U.V %	Ayırma Etk. %
42.0	<i>Lave</i>	51.3	25.85	60.0	36.2	23.8
	<i>Şist</i>	48.7	47.95	40.0	63.8	
	<i>Toplam</i>	100.0	36.61	100.0	100.0	
42.9	<i>Lave</i>	51.1	23.62	59.8	34.8	25.0
	<i>Şist</i>	48.9	46.28	40.2	65.2	
	<i>Toplam</i>	100.0	34.70	100.0	100.0	
44.0	<i>Lave</i>	52.4	26.26	61.2	37.4	23.8
	<i>Şist</i>	47.6	48.43	38.8	62.6	
	<i>Toplam</i>	100.0	36.813	100.0	100.0	
46.0	<i>Lave</i>	53.9	25.94	61.7	39.7	22.0
	<i>Şist</i>	46.1	46.16	38.3	60.3	
	<i>Toplam</i>	100.0	35.26	100.0	100.0	
48.0	<i>Lave</i>	52.9	26.62	60.1	39.7	20.4
	<i>Şist</i>	47.1	45.32	39.9	60.3	
	<i>Toplam</i>	100.0	35.43	100.0	100.0	
50.0	<i>Lave</i>	51.5	27.68	57.8	40.1	17.7
	<i>Şist</i>	48.5	43.95	42.2	59.9	
	<i>Toplam</i>	100.0	35.57	100.0	100.0	

Çizelge 5.12 incelendiğinde ayırma etkinliği açısından hemen hemen tüm pülsasyon genliği uygulamalarında benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bundan dolayı en uygun pülsasyon genliği olarak orta değer olan 210 rpm seçilmiştir. Bu şartlarda beslenenin % 71.4'ü % 64.26 kül içeriği ve % 82.1 kül uzaklaştırma verimi ile atılabilmektedir.

Fan hava hızının denendiği çalışma sonuçları incelendiğinde (Çizelge 5.13); en uygun hava hızı % 52.5 olarak tespit edilmiştir. Bu şartlarda beslenenin % 71.4'ü % 65.44 kül içeriği ve % 82.3 kül uzaklaştırma verimi ile atılabilmektedir. Alınan lave ürünü ise ara ürün niteliğinde olup, kül içeriği % 35.23 ve miktarca beslenenin % 28.6'sı oranındadır. Yapılan gözlemlerde bu araürünün değerlendirilebileceği kararına varılmış ve Besleme hızı (20-30 rpm), pülsasyon genliği (210 rpm) temiz lave ve şist alımı optimum şartların belirlenmesi aşamasında benzer

değerlerde çıktığından ara ürünün değerlendirilmesinde sadece hava hızı optimize edilmeye çalışılmıştır. Ara ürün optimizasyon deney sonuçları ise Çizelge 5.14’de verilmiştir. Ara ürünün tekrar değerlendirilmesi için en uygun hava hızı % 42.9 olarak belirlenmiştir. Bu şartlarda yapılan ayırma sonucunda; beslenenin % 51.1’i % 23.62 kül içeriği ile kazanılmıştır.

5.1.1.3. -13+4 mm Boyut grubu, optimum parametrelerin belirlenmesi sonucunda ulaşılan nihai zenginleştirme sonuçları

-13+4 mm boyut grubunda, temiz lave alımına yönelik kuru zenginleştirme devresi sonrasında elde edilen şiste uygulanan süpürme ve bu devreden gelen ara ürüne uygulanan süpürme devresi sonucunda ulaşılan nihai şartlar sonuçları; Çizelge 5.15 ve 5.16’da 3 ürünlü (ara ürün süpürme devresi uygulanmadığı düşünülürse), 4 ürünlü olarak ise Çizelge 5.17 ve 5.18’de sunulmuştur. Optimum şartların belirlenmesi sonucunda oluşan nihai zenginleştirme akım şeması ve malzeme balansı Şekil 5.3’de verilmiştir.

-13+4 mm boyut grubunda yapılan kaba ayırma devresi ile beslenenin yaklaşık % 37’si % 11.80 kül içeriği ve % 54.4 yanabilir verim ile etkin bir şekilde kazanılabilmekte (Çizelge 5.15), bu devreden elde edilen kaba şiste uygulanan süpürme devresi ile beslenenin % 45’i % 65.44 içeriği ve % 73.3 kül uzaklaştırma verimi ile atılabilir özellikte bir şist ürünü elde edilebilmektedir. Süpürme devresinden gelen ara ürün başka bir işlem yapılmadan doğrudan kaba devreden elde edilen laveye ilave edilirse (Çizelge 5.16), beslenenin % 55’i % 19.51 kül içeriği ve % 74 yanabilir verim ile kazanılmış olmaktadır. Kaba ayırma ve süpürme devresinin ayırma etkinliği ise % 47.3 seviyelerinde olup, oldukça yüksek bir seviyededir.

Eğer kaba ayırma devresi ve akabinde uygulanan süpürme devresinden gelen ara ürün bir kez daha değerlendirilirse; beslenenin % 9.3’ü oranında % 23.62 kül içerikli daha temiz özellikli araürün eldesi de mümkün olmaktadır (Çizelge 5.17). Eğer ara ürün süpürme devresinden gelen temiz ürün laveye, atık ise şiste ilave edilirse; beslenenin % 46.2’si % 14.18 kül içeriği ve % 66.2 yanabilir verim ile kazanılırken, beslenenin % 53.8’i % 62.31 kül içeriği ve % 83.6 kül uzaklaştırma verimi ile atılabilmektedir. İlave araürün devresi ile ayırma etkinliği de % 47.3’dan % 49.8’e ulaşmaktadır (Çizelge 5.18).

Çizelge 5.15. Kaba ayırma ve süpürme devresi değerlendirilmesi (3 ürünlü).

Ürünler	Miktar %	Kül %	Yan.Ver. %	K.U.V. %
<i>Lave</i>	36.9	11.80	54.4	10.8
<i>Araürün</i>	18.1	35.23	19.6	15.9
<i>Şist</i>	45.0	65.44	26.0	73.3
<i>Toplam</i>	100.0	40.18	100.0	100.0

Çizelge 5.16. Kaba ayırma ve süpürme devresi değerlendirilmesi (3 ürünlü)-birleştirilmiş.

Ürünler	Miktar %	Kül %	Yanabilir Verim %	K.U.V. %	Ayırma Etkinlik %
<i>Lave</i>	55.0	19.51	74.0	26.7	47.3
<i>Şist</i>	45.0	65.44	26.0	73.3	
<i>Toplam</i>	100.0	40.18	100.0	100.0	

Çizelge 5.17. Kaba ayırma ve 2 süpürme devresi değerlendirilmesi (4 ürünlü).

Ürünler	Miktar %	Kül %	Yanabilir Verim %	K.U.V. %
<i>Lave</i>	36.9	11.80	54.3	10.9
<i>Araürün I</i>	9.3	23.62	11.9	5.5
<i>Araürün II</i>	8.8	46.28	7.9	10.1
<i>Şist</i>	45.0	65.44	25.9	73.5
<i>Toplam</i>	100.0	40.07	100.0	100.0

Çizelge 5.18. Kaba ayırma ve 2 süpürme devresi değerlendirilmesi (4 ürünlü)-birleştirilmiş (Lave+AÜI ve Şist+AÜ II).

	Ürünler	Miktar %	Kül %	Yanabilir Verim %	K.U.V. %	Ayırma Etkinliği %
Optimum şartlara göre	<i>Lave</i>	46.2	14.18	66.2	83.6	49.8
	<i>Şist</i>	53.8	62.31			
	<i>Toplam</i>	100.0	40.07	100.0	100.0	

Çizelge 5.19’da ise Nihai optimum şartlar ve yerinde gözlem deneylerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırma sonucuna göre, yerinde gözlem ile yapılan ayırım ile detaylı çalışmaların sonuçlarının birbirine çok yakın değerlerde olduğu saptanmıştır.

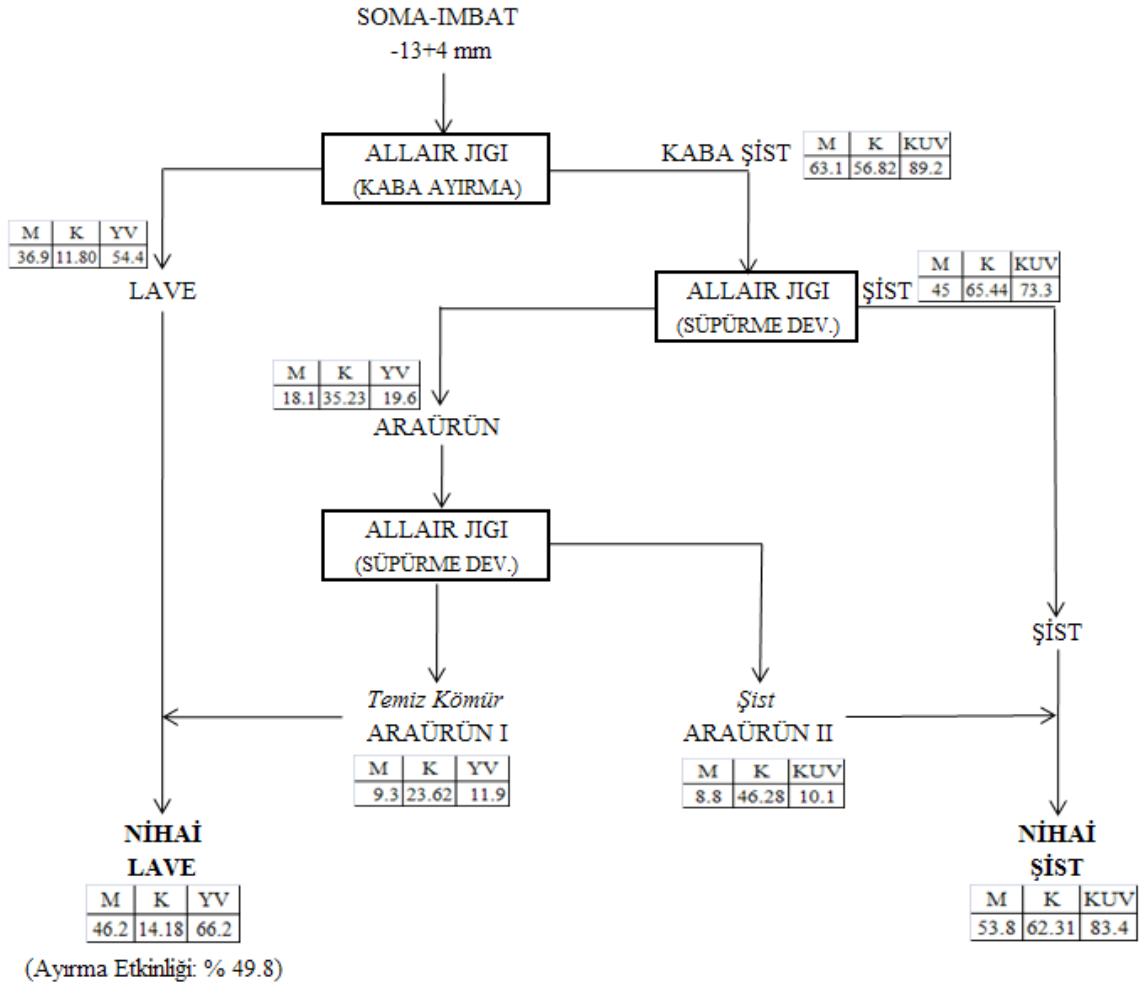
Çizelge 5.19. Nihai optimizasyon deneyleri ve yerinde gözlem deneylerinin karşılaştırılması.

	Ürünler	Miktar %	Kül %	Yanabilir Verim %	K.U.V. %	Ayırma Etkinliği %
Optimum Parametrelere göre¹	<i>Lave</i>	46.2	14.18	66.2		49.8
	<i>Şist</i>	53.8	62.31		83.6	
	<i>Toplam</i>	100.0	40.07	100.0	100.0	
İki kademe²	<i>Lave</i>	55.3	17.23	73.5		48.4
	<i>Şist</i>	44.7	63.23		74.9	
	<i>Toplam</i>	100.0	37.83	100.0	100.0	
Yerinde Gözlem³	<i>Lave</i>	56.5	17.21	75.5		49.9
	<i>Şist</i>	43.5	65.06		74.4	
	<i>Toplam</i>	100.0	38.02	100.0	100.0	

¹: kaba devre+süpürme devresi+ararün devresi(4 ürünli)

²: kaba devre+süpürme devresi(3 ürünli)

³: yerinde gözlem (parametreler seri kademeli zenginleştirme ile gözlemleme yolu ile ayarlanmıştır)



Şekil 5.3. -13+4 mm boyut grubunda yapılacak en uygun kömür yıkama akım şeması.

-13+4 mm boyut grubu İmbat kömürü ile yapılan detaylı çalışmalar sonucunda;

- Literatürde kuru zenginleştirme uygulamasının daha çok temiz şist atımına yönelik olduğunun rapor edilmesine rağmen, kömür neminin ideal olduğu durumlarda, kuru zenginleştirme ile çok temiz lave alımının da mümkün olabildiği, İmbat kömürü ile beslenenin % 37'si oranında % 11.80 küllü temiz lave alınabildiği,
- Beslenenin % 45'inin % 65.46 kül içeriği ile atılabilir özellikte şist olarak elde edilebildiği,
- Optimum ayırma şartlarının belirlenmesi için yapılan detaylı çalışmalar ile 3-4 devre kuru zenginleştirmeden oluşan ve kademeli olarak temiz lave çekilerek şistin sürekli iyileştirildiği, ürünlerin gözle yapılan ayırma sonucu optimum şartların sağlandığı deney sonuçları birbirine benzer çıkmıştır. Dolayısıyla 2-3 ay gibi uzun bir süreç alan

detaylı çalışmaların yerine mevcut sistemle 1-2 gün süren yerinde gözlem yapılarak çalışılan kömür numunesinin kuru zenginleştirilebilirliği hakkında doğru bilgilere ulaşılabileceği saptanmıştır.

5.1.2. -4+1mm Boyut grubunda yapılan optimum şartların belirlenmesi çalışmaları

5.1.2.1. Temiz lave alımına yönelik optimum şartların belirlenmesi çalışmaları

-4+1 mm boyut grubunda yapılan temiz lave alımına yönelik detaylı çalışmaları ile ilgili parametreler ve aralıkları Çizelge 5.20’de verilmiştir.

-4+1 mm boyut grubunda kömür numunesi ile besleme/boşaltma hızının denendiği temiz lave alımına yönelik kuru zenginleştirme çalışmaları sonucunda; temiz lave ürünleri ve ayırma ekinlikleri baz alındığında en etkin ayırmanın besleme hızı 10.0 ve boşaltma hızı 8.4 rpm olduğu şartlarda gerçekleştiği saptanmıştır (Çizelge 5.21).

Pülsasyon genliğinin denendiği temiz lave alımına yönelik kuru zenginleştirme çalışmaları sonucunda; pülsasyon genliğinin ayırma etkinliği üzerinde çok önemli değişikliklere sebep olmadığı tespit edilmiş olup, en temiz lave (% 16.81 kül içerikli) 250 rpm pülsasyon genliğinde elde edilmiştir (Çizelge 5.22). Dolayısıyla bundan sonraki deneylerde pülsasyon genliği 250 rpm olarak sabitlenmiştir.

Fan hava hızının denendiği temiz lave alımına yönelik kuru zenginleştirme çalışmaları sonucunda; tabakalandırmanın gerçekleşmesi için belirli bir hava hızına ulaşılması gerektiği (% 36.5). Tabakalandırmanın başladığı hava hızından sonra optimum bir hava hızının olduğu (% 39.5) ve bu hava hızından daha yüksek hava hızlarında ince şistin laveye karışarak, lavenin kalitesini bozduğu tespit edilmiştir. % 39.5 hava hızında yapılan kuru zenginleştirme sonucunda; beslenenin % 50.7’si % 16.74 kül içeriği ve % 61.7 yanabilir verim ile elde edilmiştir (Çizelge 5.23).

Şekil 5.4. ‘de görüleceği üzere -4 mm boyutunda temiz lave alımı sırasında yapılan optimum ayırma şartlarının belirlenmesi aşamasında her bir parametrenin en iyi şartı belirlenip sabitlenmiştir. Daha sonra diğer parametreler üzerinde yapılan çalışmalar ile optimum ayırma parametreleri ortaya çıkmıştır. Fan hava hızı, pülsasyon genliği ve besleme hızları’ndaki ideal parametreler sabitlendikçe, yanabilir verim artmakta, ve eğri ideal noktaya yaklaşmaktadır.

Çizelge 5.20. -4+1 mm boyut grubunda yapılan optimizasyon deneylerinde çalışma şartları.

Besleme Hızı rpm	Boşaltma Hızı rpm	Boş./Besl.	Püls. Hav. Hızı rpm	Fan Hava Hızı %	Tabaka Yüks. cm	Tabaka Yüks.+ cm	Jigleme süresi dk	Kapasite Kg/h
10.0	8.4	0.84	231.2	37.6	8.5	11	2.97	211.89
19.9	17.2	0.86	232.8	37.7	8.5	11	1.93	327.25
30.0	26.6	0.89	229.2	37.6	8.5	11	1.30	485.25
39.9	35.3	0.88	229.5	37.6	8.5	11	1.20	523.29
10.2	11.0	1.1	229.3	37.6	9.5	11	2.72	231.94
20.0	21.0	1.1	229.3	37.6	9.5	11	1.94	324.27
10.0	8.5	0.85	170.4	37.6	8.5	11	2.92	215.68
10.1	8.5	0.84	190.0	37.6	8.5	11	2.98	211.74
10.2	8.5	0.83	210.4	37.6	8.5	11	2.75	229.06
10.2	8.5	0.83	230.0	37.6	8.5	11	2.74	230.06
10.2	8.5	0.83	250.9	37.6	8.5	11	2.68	235.31
10.2	8.5	0.83	269.2	37.6	8.5	11	2.82	223.45
10.2	8.4	1.4	250.8	41.5	8.5	11	2.92	215.70
10.2	8.4	1.4	250.7	40.5	8.5	11	2.72	231.83
10.2	8.4	1.4	250.7	39.5	8.5	11	2.62	240.36
10.2	8.4	1.4	250.5	38.5	8.5	11	2.57	245.06
10.2	8.4	1.4	250.5	37.5	8.5	11	2.66	236.44
10.2	8.4	1.4	250.5	36.5	8.5	11	2.62	240.80
10.2	8.4	1.4	250.3	34.9	8.5	11	3.08	204.56

**Malzeme yatağı yüksekliği*

Çizelge 5.21. -4+1 mm boyut grubunda yapılan temiz lave alımına yönelik optimum deney şartlarının belirlenmesinde Besleme-boşaltma hızının ayırmaya etkisi.

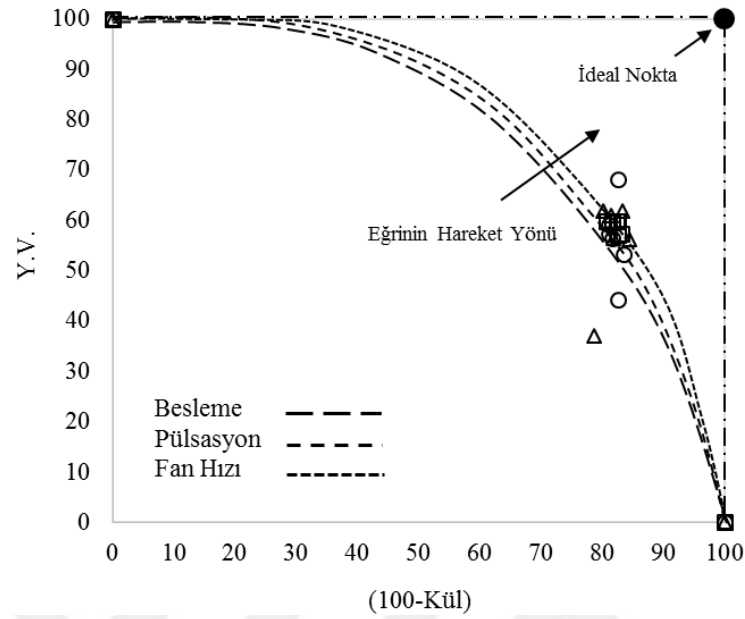
Besleme hızı	Boşaltma hızı	Ürünler	Miktar %	Kül %	Yan.Ver. %	K.U.V. %	Ayırma Etk. %
10.0	8.4	Lave	56.4	17.45	68.2		32.7
		Şist	43.6	50.28		64.5	
		Toplam	100.0	31.78			
19.9	17.2	Lave	47.5	18.32	56.3		22.3
		Şist	52.5	42.69		66.0	
		Toplam	100.0	31.13			
30.0	26.6	Lave	49.6	18.88	59.1		25.3
		Şist	50.4	44.66		66.2	
		Toplam	100.0	31.87			
39.9	35.3	Lave	48.9	18.85	57.2		20.4
		Şist	51.1	42.00		63.1	
		Toplam	100.0	30.68			
10.2	11.0	Lave	43.6	16.51	53.3		25.1
		Şist	56.4	43.34		71.8	
		Toplam	100.0	31.63			
20.0	21.0	Lave	37.1	17.37	44.3		16.2
		Şist	62.9	38.85		71.9	
		Toplam	100.0	30.88			

Çizelge 5.22. -4+1 mm boyut grubunda yapılan temiz lave alımına yönelik optimum deney şartlarının belirlenmesinde pülsasyon genliğinin ayırmaya etkisi.

Pülsasyon Genliği, rpm	Ürünler	Miktar %	Kül %	Yanabilir Verim %	K.U.V. %	Ayırma Etkinliği %
170.4	Lave	50.8	19.33	59.7	63.3	23.0
	Şist	49.2	43.77			
	Toplam	100.0	31.36			
190.0	Lave	49.9	17.57	59.8	66.0	25.8
	Şist	50.1	44.78			
	Toplam	100.0	31.21			
210.4	Lave	50.5	18.4	59.6	63.5	23.1
	Şist	49.5	43.62			
	Toplam	100.0	30.88			
230.0	Lave	49.9	17.47	59.8	66.1	25.9
	Şist	50.1	44.85			
	Toplam	100.0	31.13			
250.9	Lave	47.5	16.81	57.4	67.9	25.3
	Şist	52.5	44.01			
	Toplam	100.0	31.08			
269.2	Lave	47.5	17.40	57.1	67.6	24.7
	Şist	52.5	43.82			
	Toplam	100.0	31.26			

Çizelge 5.23. -4+1 mm boyut grubunda yapılan temiz lave alımına yönelik optimum deney şartlarının belirlenmesinde Fan Hava Hızının ayırmaya etkisi.

Fan Hızı, %	Hava	Ürünler	Miktar %	Kül %	Yanabilir Verim %	K.U.V. %	Ayırma Etkinliği %
34.9		Lave	32.2	21.30	37.0		9.2
		Şist	67.8	36.22		72.2	
		Toplam	100.0	31.42			
36.5		Lave	46.8	15.56	56.1		21.9
		Şist	53.2	42.03		65.8	
		Toplam	100.0	29.65			
37.5		Lave	47.0	18.15	56.5		25.6
		Şist	53.0	44.26		69.0	
		Toplam	100.0	32.00			
39.5		Lave	50.7	16.74	61.7		29.7
		Şist	49.8	46.42		68.0	
		Toplam	100.0	31.52			
40.5		Lave	51.7	18.54	60.8		23.4
		Şist	48.8	43.64		62.6	
		Toplam	100.0	30.78			
41.5		Lave	52.8	19.83	61.8		23.8
		Şist	47.4	44.49		62.0	
		Toplam	100.0	31.51			



Şekil 5.4. -4 mm temiz lave alımına yönelik zenginleştirme eğrisi.

5.1.2.2. Temiz şist atımına yönelik optimum şartların belirlenmesi çalışmaları

-4+1 mm boyut grubunda yapılan temiz şist atımına yönelik optimum şartların belirlenmesi deneylerinde çalışılan parametreler ve aralıkları Çizelge 5.24'de verilmiştir. Deneyisel çalışmalarda temiz lave alımı sonrasında geride kalan ve beslenenin % 49.8'ini oluşturan % 46.42 kül içerikli kaba şist numunesi kullanılmıştır. Besleme/Boşaltma hızı, pülsasyon genliği ve Fan hava hızı parametrelerinin denendiği deney sonuçları sırasıyla Çizelge 5.25, 5.26 ve 5.27'de verilmiştir.

Çizelge 5.24. -4+1 mm boyut grubunda yapılan temiz şist atımına yönelik optimizasyon deneylerinde çalışma şartları.

Besleme Hızı rpm	Boşaltma Hızı rpm	Boş./Besl.	Püls. Hav. Hızı rpm	Fan Hava Hızı %	Tabaka Yüks. cm	Tabaka Yüks. cm	Jigleme süresi dk	Kapasite Kg/h
10.5	13.8	1.3	224.8	40.4	8.5	11	2.26	279.19
20.0	29.9	1.5	224.9	40.3	8.5	11	1.65	382.96
30.0	45.0	1.5	224.9	40.3	8.5	11	1.18	532.13
40.9	60.9	1.5	225.3	40.4	8.5	11	0.93	674.00
50.3	80.8	1.6	225.1	40.2	9.5	11	0.79	793.80
10.2	12.1	1.19	171.7	40.0	8.5	11	2.19	288.21
10.3	12.4	1.20	191.9	40.2	8.5	11	2.11	298.89
10.5	13.1	1.25	211.2	40.3	8.5	11	2.09	301.85
10.2	13.1	1.28	230	37.6	8.5	11	2.74	230.06
10.4	13.1	1.26	252.4	40.4	8.5	11	2.11	299.04
10.3	13.3	1.29	210.1	41.9	8.5	11	2.18	288.92
10.3	13.2	1.28	210.0	42.6	8.5	11	2.13	295.20
10.3	13.2	1.28	209.8	43.4	8.5	11	2.26	278.31
10.3	13.1	1.27	209.8	41.0	8.5	11	2.30	273.92
10.3	13.1	1.27	209.8	39.0	8.5	11	2.07	304.64

Temiz şist atımına yönelik, -4+1 mm boyut grubunda kömür numunesi ile besleme/boşaltma hızının denendiği temiz lave alımına yönelik kuru zenginleştirme çalışmaları sonucunda; temiz lave ürünleri ve ayırma ekinlikleri baz alındığında en etkin ayırmanın besleme hızı 10.5 ve boşaltma hızı 13.8 rpm olduğu şartlarda gerçekleştiği saptanmıştır (Çizelge 5.25).

Pülsasyon genliğinin denendiği temiz lave alımına yönelik kuru zenginleştirme çalışmaları sonucunda; pülsasyon genliğinin 225 rpm den 210 rpm e düşürülmesi ile lave külü % 32.76'dan % 29.67'ye düşürülmüş ve ayırma etkinliği de % 28.9'dan % 29.6'ya yükseltilmiştir (Çizelge 5.26.)

Fan hava hızının denendiği temiz lave alımına yönelik kuru zenginleştirme çalışmaları sonucunda; bir önceki deney grubunda çalışılan % 40.3 hava hızından daha düşük ve daha yüksek değerlerde daha iyi bir ayırma sağlanamamıştır (Çizelge 5.27).

Dolayısıyla -4+1 mm boyut grubunda kömür numunesi ile temiz şist atımına yönelik optimum parametrelerin belirlenmesi sonucunda en uygun çalışma şartları; Besleme/boşaltma hızı: 10.5/13.8 rpm, Pülsasyon genliği: 210 rpm, Fan hava hızı: % 40.3 olarak saptanmıştır.

Şekil 5.5. 'de görüleceği üzere temiz şist atımı sırasında yapılan optimum ayırma şartlarının belirlenmesi aşamasında her bir parametrenin en iyi şartı belirlenip sabitlenmiştir. Daha sonra diğer parametreler üzerinde yapılan çalışmalar ile optimum ayırma parametreleri ortaya çıkmıştır. Fan hava hızı, pülsasyon genliği ve besleme hızları'ndaki ideal parametreler sabitlendikçe, yanabilir verim azalmakta, ve eğri ideal noktaya uzaklaşmaktadır. Yüksek kül içerikli temiz bir şist atımı için eğrinin ideal noktadan uzaklaşması gerekmektedir.

Çizelge 5.25. -4+1 mm boyut grubunda yapılan temiz lave alımına yönelik optimum deney şartlarının belirlenmesinde Besleme-boşaltma hızının ayırmaya etkisi.

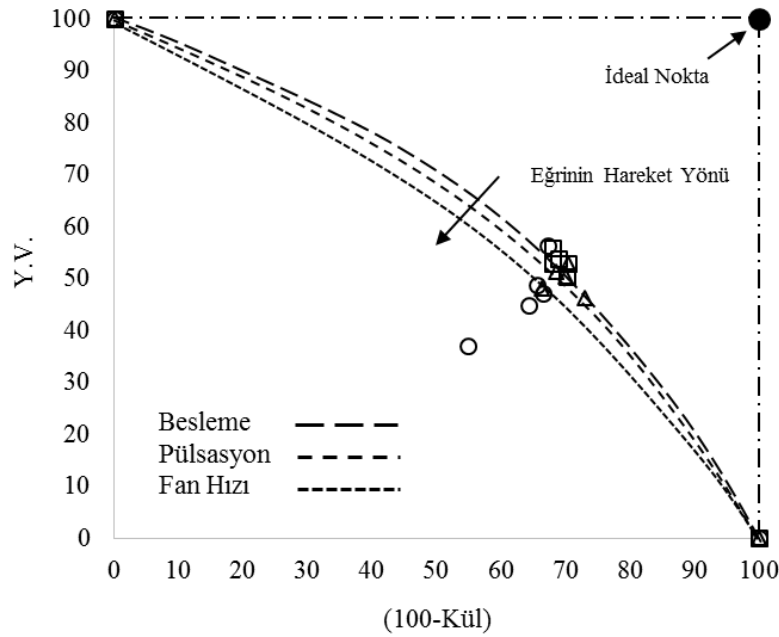
Besleme hızı	Boşaltma hızı	Ürünler	Miktar %	Kül %	Yanabilir Verim %	K.U.V. %	Ayırma Etkinliği %
10.5	13.8	Lave	41.9	32.76	56.4	72.5	28.9
		Şist	58.1	62.45			
		Toplam	100.0	50.01			
20.0	29.9	Lave	35.1	33.50	47.2	76.8	24.0
		Şist	64.9	59.85			
		Toplam	100.0	50.60			
30.0	45.0	Lave	37.1	34.4	48.7	74.5	23.2
		Şist	62.9	59.22			
		Toplam	100.0	50.02			
40.9	60.9	Lave	34.9	35.7	44.9	75.1	20.1
		Şist	65.1	57.80			
		Toplam	100.0	50.09			
50.3	80.8	Lave	32.5	45.19	37.0	71.6	8.7
		Şist	67.5	55.07			
		Toplam	51.85	51.85			

Çizelge 5.26. -4+1 mm boyut grubunda yapılan temiz lave alımına yönelik optimum deney şartlarının belirlenmesinde pulsasyon genliğinin ayırmaya etkisi.

Pulsasyon Genliği	Ürünler	Miktar %	Kül %	Yan.Ver. %	K.U.V. %	Ayırma Etk. %
171.7	Lave	39.7	32.04	53.0		27.0
	Şist	60.3	60.24		74.0	
	Toplam	100.0	49.03			
191.9	Lave	39.6	31.08	53.8		28.8
	Şist	60.4	61.16		75.0	
	Toplam	100.0	49.24			
211.2	Lave	38.5	29.67	53.0		29.6
	Şist	61.5	60.95		76.7	
	Toplam	100.0	48.92			
230.0	Lave	41.2	32.05	56.0		29.5
	Şist	58.8	62.50		73.5	
	Toplam	100.0	49.94			
252.4	Lave	36.9	29.84	50.4		27.8
	Şist	63.1	59.70		77.4	
	Toplam	100.0	48.69			

Çizelge 5.27. -4+1 mm boyut grubunda yapılan temiz lave alımına yönelik optimum deney şartlarının belirlenmesinde fan hava hızının ayırmaya etkisi.

Hava Hızı	Ürünler	Miktar %	Kül %	Yan.Ver. %	K.U.V. %	Ayırma Etk. %
39.0	Lave	31.7	27.07	46.2		29.0
	Şist	68.3	60.56		82.8	
	Toplam	100.0	49.94			
40.3	Lave	38.5	29.67	53.0		29.6
	Şist	61.5	60.95		76.7	
	Toplam	100.0	48.92			
41.9	Lave	37.2	31.49	51.4		28.2
	Şist	62.8	61.72		76.8	
	Toplam	100.0	50.49			
42.6	Lave	36.2	29.91	50.4		28.6
	Şist	63.8	60.86		78.2	
	Toplam	100.0	49.66			
43.4	Lave	36.2	33.73	48.0		23.6
	Şist	63.8	59.26		75.6	
	Toplam	100.0	50.02			



Şekil 5.5. -4 mm temiz şist atımına yönelik zenginleştirme eğrisi.

5.1.2.3. -4+1mm Boyut grubu, optimum şartların belirlenmesi çalışmaları sonucunda ulaşılan nihai, zenginleştirme sonuçları

-4+1 mm boyut grubunda, temiz lave alımına yönelik kuru zenginleştirme devresi sonrasında elde edilen şiste uygulanan süpürme devresi sonucunda ulaşılan nihai parametrelerin belirlenmesi ile çıkan sonuçları; Çizelge 5.28 ve 5.29’da 3 ürünlü ayırma bazında sunulmuştur. Optimum şartlar sonucunda oluşan nihai zenginleştirme akım şeması ve malzeme balansı ise Şekil 5.6’da verilmiştir.

-13+4 mm boyut grubunda yapılan kaba ayırma devresi ile beslenenin yaklaşık % 50.7’si % 16.74 kül içeriği ve % 62.6 yanabilir verim ile etkin bir şekilde kazanılabilmekte (Çizelge 5.28), bu devreden elde edilen kaba şiste uygulanan süpürme devresi ile beslenenin % 30.3’ü % 60.95 içeriği ve % 56.7 kül uzaklaştırma verimi ile atılabilir özellikte bir şist ürünü elde edilebilmektedir.

Eğer kaba ayırma devresi ve akabinde uygulanan süpürme devresinden gelen araürün laveye ilave edilirse; beslenenin % 69.7’si % 20.26 kül içeriği ve % 82.5 yanabilir verim ile kazanılırken, beslenenin % 30.3’ü % 60.95 kül içeriği ve % 56.7 kül uzaklaştırma verimi ile atılabilmektedir. Ayırma etkinliği de % 39-40 seviyelerindedir. (Çizelge 5.29).

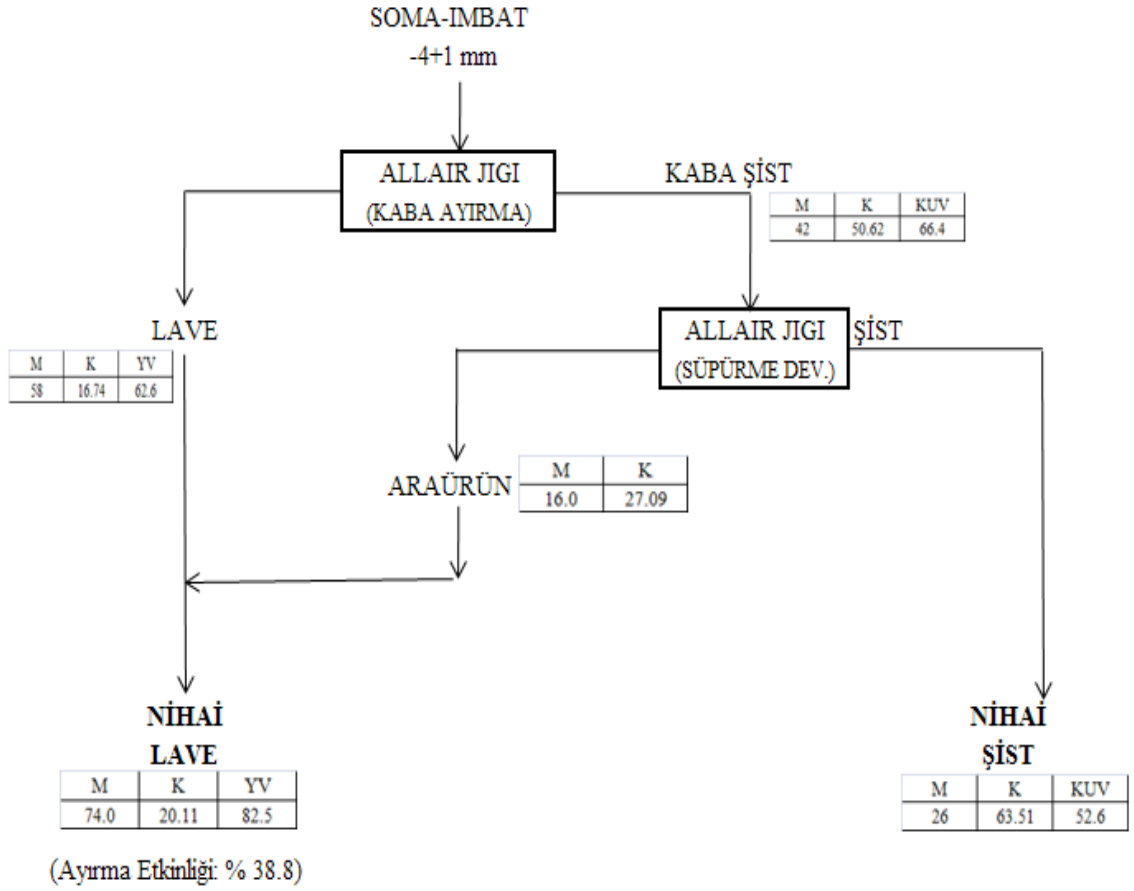
Çizelge 5.28. Kaba ayırma ve süpürme devresi değerlendirilmesi (3 ürünlü).

	Ürünler	Miktar %	Kül %	Yanabilir Verim %	K.U.V. ⁺ %
Optimum Şartlara göre¹	Lave	50.7	16.74	62.6	26.0
	Araürün	19.0	29.67	19.8	17.3
	Şist	30.3	60.95	17.6	56.7
	Toplam	100.0	32.59	100.0	100.0
İki kademe²	Lave	58.0	18.19	69.2	33.6
	Araürün	16.0	27.09	17.0	13.8
	Şist	26.0	63.51	13.8	52.6
	Toplam	100.0	31.40	100.0	100.0
Yerinde Gözlem³	Lave	14.2	14.57	19.4	5.5
	Araürün	27.8	13.97	38.3	10.3
	Şist	58.0	54.58	42.3	84.2
	Toplam	100.0	37.61	100.0	100.0

¹: kaba devre+süpürme devresi²: kaba devre+süpürme devresi(tekrar-sürekli)³: yerinde gözlem (parametreler seri kademeli zenginleştirme ile gözlemleme yolu ile ayarlanmıştır)K.U.V.⁺: Kül Uzaklaştırma Verimi**Çizelge 5.29.** Kaba ayırma ve süpürme devresi değerlendirilmesi (3 ürünlü)-birleştirilmiş.

	Ürünler	Miktar %	Kül %	Yanabilir Verim %	K.U.V. ⁺ %	Ayırma Etkinliği %
Optimum şartlara göre¹	Lave	69.7	20.26	82.5	43.3	39.2
	Şist	30.3	60.95	17.5	56.7	
	Toplam	100.0	32.59	100.0	100.0	
İki kademe²	Lave	74.0	20.11	86.2	47.4	38.8
	Şist	26.0	63.51	13.8	52.6	
	Toplam	100.0	31.40	100.0	100.0	
Yerinde Gözlem³	Lave	42.0	15.57	57.7	15.8	41.9
	Şist	58.0	54.58	42.3	84.2	
	Toplam	100.0	37.61	100.0	100.0	

¹: kaba devre+süpürme devresi²: kaba devre+süpürme devresi(tekrar-sürekli)³: yerinde gözlem (parametreler seri kademeli zenginleştirme ile gözlemleme yolu ile ayarlanmıştır)K.U.V.⁺: Kül Uzaklaştırma Verimi



Şekil 5.6. -4+1 mm boyut grubu ile sürekli çalışan allair jigi zenginleştirme akım şeması ve malzeme balansı (% 6.38 toplam nem ve % 0.91 yüzey nemi içerikli).

5.2. AkafLOW Optimum Çalışma Parametrelerinin Belirlenmesi

-4+1 mm ve -1 mm boyut gruplarındaki % 6.38-6.95 toplam nem içerikli tüvenan kömür örneklerinin AKAFLOW ayırıcısında etkin olarak Ayırması için gerek temiz lave gerekse temiz şist atımına yönelik optimizasyon çalışmaları yapılmış ve aşağıda sunulmuştur. AKAFLOW ayırıcısında çalışma parametreleri olarak; akışkanlandırma hava hızı, vibrasyon hızı, 1, 2 ve 3. bıçak açıklıklarının ayırma üzerindeki etkileri incelenmiştir. AKAFLOW cihazı bıçak pozisyonları Şekil 5.6'da verilmektedir.

5.2.1. -4+1 mm Fraksiyonunun optimum ayırma şartlarının belirlenmesi

5.2.1.1. Temiz lave alımına yönelik optimum şartların belirlenmesi

-4+1 mm boyut grubunda yapılan, temiz lave alımına yönelik AKAFLOW ayırıcısında yıkama etkinliğinin incelendiği deney sonuçları hava ve vibrasyon parametreleri açısından Çizelge 5.30’da, bıçak ayarları açısından Çizelge 5.31’de verilmiştir.

Çizelge 5.30 ve 5.31 incelendiğinde; En uygun Vibrasyon hızı 10 birim olarak belirlenmiştir (potansiyometre esaslı skala maksimum 10, min 0). Vibrasyon hızının 10’dan 8’e düşürülmesiyle ayırma etkinliği % 28.1’den % 16.3 seviyelerine düşmüştür. Her ne kadar 9 vibrasyonda ayırma etkinliği 30.5 çıksa da, en temiz lave 10 vibrasyon hızında alındığı için bundan sonraki hava hızının denendiği zenginleştirme çalışmalarında vibrasyon hızı 10 alınmıştır (Çizelge 5.30).

Hava hızının 11’den 9’a düşürülmesiyle hem ayırma etkinlikleri % 22-24 seviyelerine düşmüş hem de temiz ürün (lave) kül içerikleri % 19’dan % 24-25 seviyelerine çıkmıştır. Dolayısıyla en yüksek hava hızında çalışmanın temiz lave alımı ve ayırma etkinliği açısından daha uygun olduğuna karar verilmiştir (Çizelge 5.30) .

Bıçak aralıklarının sistematik olarak değiştirildiği kuru zenginleştirme çalışmalarında temiz lave alımı açısından en uygun bıçak kombinasyonunun 7 (B1), 9 (B2), 9 (B3) mm olduğu saptanmıştır. Bu şartlarda Hava hızı 11 ve vibrasyon 10 olarak sabitlenmiş olup, beslenenin % 30.5’i % 17.21 kül içeriği ve % 37.1 yanabilir verim ile temiz ürün olarak kazanılmıştır (Çizelge 5.31).

Çizelge 5.30. -4+1 mm boyut grubunda yapılan AKAFLOW ayırıcısı ile yıkama işlemlerinde hava ve vibrasyon hızının temiz lave üretimindeki etkisi.

Hava Hızı	Vibrasyon	Bıçak 1 mm	Bıçak 2 mm	Bıçak 3 mm	Ürünler	Miktar %	Kül %	Σ Miktar %	Σ Kül %	Yan. Verim %	K.U.V. %	Ayr. Etk. %	Kapasite kg/h
11	10	5	5	5	Şist 1	23.0	48.03	53.6	43.48	55.4	72.7	28.1	1932.3
					Şist 2	17.5	43.42						
					Ara Ürün	13.1	35.59						
					Lave	46.4	18.88	46.4	18.88				
					Toplam	100	32.06	100.0	32.06				
	9	5	5	5	Şist 1	15.5	52.09	36.0	49.22	73.5	57.0	30.5	1719.6
					Şist 2	13.9	47.57						
					Ara Ürün	6.5	45.9						
					Lave	64.0	20.86	64.0	20.86				
					Toplam	100	31.07	100.0	31.07				
	8	5	5	5	Şist 1	8.3	55.71	22.1	49.46	83.3	33.0	16.3	2157.3
					Şist 2	7.1	52.05						
					Ara Ürün	6.7	39.01						
					Lave	77.9	28.42	77.9	28.42				
					Toplam	100	33.06	100.0	33.06				
10	10	5	5	5	Şist 1	7.4	53.97	30.9	48.68	76.8	47.3	24.1	2158.2
					Şist 2	14.0	49.93						
					Ara Ürün	9.4	42.6						
					Lave	69.1	24.21	69.1	24.21				
					Toplam	100	31.76	100.0	31.76				
	9	5	5	5	Şist 1	15.3	50.29	37.0	47.47	70.6	51.8	22.4	2911.4
					Şist 2	12.0	45.75						
					Ara Ürün	9.7	45.13						
					Lave	63.0	25.97	63.0	25.97				
					Toplam	100	33.92	100.0	33.92				

Çizelge 5.31. -4+1 mm boyut grubunda yapılan AKAFLOW ayırıcısı ile yıkama işlemlerinde bıçak ayarlarının temiz lave etkisi.

Hava Hızı	Vibrasyon	Bıçak 1 mm	Bıçak 2 mm	Bıçak 3 mm	Ürünler	Miktar %	Kül %	Σ Miktar %	Σ Kül %	Yan. Verim %	K.U.V. %	Ayırma Etkinliği %	Kapasite kg/h
11	10	3	5	7	Sist 1	1.9	58.28						
					Sist 2	14.3	53.27	32.1	51.27		50.3	27.2	2213.6
					Ara Ürün	15.8	48.6						
					Lave	67.9	23.85	67.9	23.85	76.8			
					Toplam	100	32.64	100.0	32.64				
11	10	3	5	9	Sist 1	2.1	57.78				56.3	28.3	2377.5
					Sist 2	15.7	52.34	36.9	48.13				
					Ara Ürün	19.1	43.62						
					Lave	63.1	21.87	63.1	21.87	72.0			
					Toplam	100	31.56	100.0	31.56				
11	10	3	5	11	Sist 1	1.7	60.42				71.3	25.4	2227.8
					Sist 2	15.4	52.68	54.0	41.88				
					Ara Ürün	36.9	36.52						
					Lave	46.0	19.77	46.0	19.77	54.0			
					Toplam	100	31.71	100.0	31.71				
11	10	3	7	9	Sist 1	1.4	59.46				59.7	22.0	2464.8
					Sist 2	24.8	44.55	44.7	42.55				
					Ara Ürün	18.5	38.57						
					Lave	55.3	23.23	55.3	23.23	62.3			
					Toplam	100	31.86	100.0	31.86				
11	10	3	9	9	Sist 1	2.6	58.14				65.7	23.1	2621.1
					Sist 2	29.1	42.13	50.1	42.87				
					Ara Ürün	18.4	41.89						
					Lave	49.9	22.5	49.9	22.5	57.5			
					Toplam	100	32.70	100.0	32.70				
11	10	5	9	9	Sist 1	12.8	49				76.3	21.7	2771.1
					Sist 2	29.4	37.23	61.7	40.07				
					Ara Ürün	19.4	38.51						
					Lave	38.3	20.00	38.3	20.00	45.4			
					Toplam	100	32.38	100.0	32.38				
11	10	7	9	9	Sist 1	19.9	43.23				83.6	20.7	2749.8
					Sist 2	30.8	37.25	69.5	38.39				
					Ara Ürün	18.8	35.13						
					Lave	30.5	17.21	30.5	17.21	37.1			
					Toplam	100	31.93	100.0	31.93				

5.2.1.2. Temiz atık atımına yönelik optimum şartların belirlenmesi

4+1 mm boyut grubunda yapılan, temiz şist atımına yönelik AKAFLOW ayırıcısında yıkama etkinliğinin incelendiği deney sonuçları Hava ve vibrasyon parametreleri açısından Çizelge 5.32’de, bıçak ayarları açısından Çizelge 5.33’de verilmiştir.

Çizelge 5.32 ve 5.33 incelendiğinde; En uygun vibrasyon hızı temiz lave alımı devresinde olduğu gibi 10 olarak belirlenmiştir. Vibrasyon hızının 10’dan 7’ye düşürülmesiyle ayırma etkinliği % 23’den % 5.3 seviyelerine düşmüştür (Çizelge 5.32).

Akışkanlandırma hava hızının 11’den 10’a düşürülmesiyle gerek ayırma etkinlikleri % 23 seviyelerinde sabitlenmiş gerekse temiz ürün (lave) kül içerikleri % 30’dan % 28.5 seviyelerine düşürülmüştür. Hava hızının daha da düşürülmesi gerek ayırma etkinliğini gerekse atılan şistin kalitesini olumsuz etkilemiştir. Dolayısıyla 10 hava hızında çalışmanın temiz lave alımı ve ayırma etkinliği açısından daha uygun olduğuna karar verilmiştir (Çizelge 5.32).

Bıçak aralıklarının sistematik olarak değiştirildiği kuru zenginleştirme çalışmalarında temiz lave alımı açısından en uygun bıçak kombinasyonunun 5 (B1), 5 (B2), 5 (B3) mm olduğu saptanmıştır. Bu şartlarda Hava hızı 11 ve vibrasyon 10 olarak sabitlenmiş olup, beslenenin % 68.9’u % 30.2 kül içeriği ve % 77.7 yanabilir verim ile temiz ürün olarak kazanılmıştır (Çizelge 5.33).

5.2.1.3. AKAFLOW Ayırıcısı ile -4+1 mm boyut Grubunda Yapılan Optimum Şartların Belirlenmesi Çalışmaları Sonucunda Ulaşılan Nihai Zenginleştirme Sonuçları

-4+1 mm boyut grubunda yapılan temiz lave alımı ve temiz şist atımına yönelik 2 devreden oluşan optimizasyon testleri sonuçları Çizelge 5.34 ve Çizelge 5.35’de verilmiştir.

Nihai sonuçlara göre; kaba ayırma devresi ile beslenenin % 30.5’i % 17.21 kül içeriği ile temiz lave olarak alınabilmekte, elde edilen kaba şiste uygulanan süpürme devresi ile yine beslenenin % 47.9’u % 30.2 kül içeriği ile araürün, % 21.6’sı ise % 55.54 kül içeriği ile şist olarak atılabilmektedir. Temiz lave ve ara ürünün birleştirilmesi durumunda ise; beslenenin % 78.4’ü % 25.15 kül içeriği ile ve % 86 yanabilir verim ile kazanılabilmektedir. Bu durumda Ayırma etkinliği % 23.8 civarındadır (Şekil 4.24).

Çizelge 5.32. -4+1 mm boyut grubunda yapılan AKAFLOW ile ayırmada hava ve vibrasyon hızının temiz şist üretimindeki etkisi.

Hava Hızı	Vibrasyon	Bıçak 1	Bıçak 2	Bıçak 3	Ürünler	Miktar %	Kül %	Σ Miktar %	Σ Kül %	Yan. Ver. %	K.U.V. %	Ayırma Etk. %	Kapasite, kg/h
11	10	5	5	5	Sist 1	7.8	58.1	31.1	55.54	77.7	45.4	23.0	3033.0
					Şist 2	16.3	54.41						
					Ara Ürün	7.1	55.31						
					Lave	68.9	30.2						
					Toplam	100	38.08						
11	9	5	5	5	Sist 1	3.8	60.64	24.9	54.78	82.2	37.0	19.2	2943.0
					Şist 2	13.0	55.59						
					Ara Ürün	8.1	50.69						
					Lave	75.1	30.92						
					Toplam	100	36.85						
11	8	5	5	5	Sist 1	2.9	61.98	20.0	52.43	84.9	28.5	13.4	2868.0
					Şist 2	10.1	51.57						
					Ara Ürün	7.0	49.76						
					Lave	80.0	32.97						
					Toplam	100	36.87						
11	7	5	5	5	Sist 1	2.3	57.26	19.4	43.53	82.5	22.8	5.3	2173.8
					Şist 2	11.0	41.52						
					Ara Ürün	6.1	42.03						
					Lave	80.6	35.62						
					Toplam	100	37.16						
10	10	5	5	5	Sist 1	3.2	56.06	32.8	52.98	75.6	47.5	23.1	2482.7
					Şist 2	20.1	52.76						
					Ara Ürün	9.5	52.39						
					Lave	67.2	28.65						
					Toplam	100	36.63						
9	10	5	5	5	Sist 1	2.9	54.16	31.2	49.70	75.5	42.9	18.4	2631.4
					Şist 2	18.9	48.93						
					Ara Ürün	9.4	49.87						
					Lave	68.8	29.94						
					Toplam	100	36.10						
8	10	5	5	5	Sist 1	3.2	54.66	29.5	49.63	76.4	39.6	16.0	2442.7
					Şist 2	17.4	48.62						
					Ara Ürün	8.9	49.78						
					Lave	70.5	31.67						
					Toplam	100	36.96						

Çizelge 5.33. -4+1 mm boyut grubunda yapılan AKAFLOW ile ayırmada bıçak ayarlarının temiz şist üretimindeki etkisi.

Hava Hızı	Vibrasyon	Bıçak 1	Bıçak 2	Bıçak 3	Ürünler	Miktar %	Kül %	Σ Miktar %	Σ Kül %	Yanabilir Verim %	K.U.V. %	Ayrırma Etk. %	Kapasite, kg/h
11	10	3	5	7	Sist 1	3.5	34.68	40.2	36.09	59.2	39.1	-1.7	2462.7
					Şist 2	14.2	35.81						
					Ara Ürün	22.5	36.49	59.8	37.73				
					Lave	59.8	37.73						
					Toplam	100	37.07	100.0	37.07				
11	10	3	5	9	Sist 1	1.9	59.81	49.4	46.75	58.0	61.7	19.8	3125.1
					Şist 2	17.9	54.99						
					Ara Ürün	29.6	40.93	50.6	28.25				
					Lave	50.6	28.25						
					Toplam	100	37.38	100.0	37.38				
11	10	3	5	11	Sist 1	1.8	60.6	48.7	46.17	58.5	61.1	19.6	3137.1
					Şist 2	18.1	54.56						
					Ara Ürün	28.7	39.97	51.3	27.93				
					Lave	51.3	27.93						
					Toplam	100	36.81	100.0	36.81				
11	10	3	7	11	Sist 1	1.8	62.13	54.6	44.92	52.8	67.4	20.2	2734.5
					Şist 2	23.3	56.14						
					Ara Ürün	29.5	35.03	45.4	26.1				
					Lave	45.4	26.1						
					Toplam	100	36.37	100.0	36.37				
11	10	3	9	11	Sist 1	1.6	59.67	50.6	47.34	58.5	66.9	25.4	2829.5
					Şist 2	20.6	56.48						
					Ara Ürün	28.4	40.01	49.4	23.96				
					Lave	49.4	23.96						
					Toplam	100	35.79	100.0	35.79				
11	10	5	9	11	Sist 1	12.7	53.71	54.9	46.37	53.7	70.1	23.8	3012.0
					Şist 2	17.9	51.97						
					Ara Ürün	24.3	38.41	45.1	24.14				
					Lave	45.1	24.14						
					Toplam	100	36.35	100.0	36.35				
11	10	3	11	11	Sist 1	3.8	58.48	58.9	44.55	49.0	73.0	22.0	2970.9
					Şist 2	31.1	47.38						
					Ara Ürün	24.1	38.73	41.1	23.66				
					Lave	41.1	23.66						
					Toplam	100	35.97	100.0	35.97				

Çizelge 5.34. Kaba ayırma ve süpürme devresi değerlendirilmesi (3 ürünlü).

	Ürünler	Miktar %	Kül %	Yanabilir Verim %	K.U.V.* %
Optimizasyon sonuçlarına göre**	Lave	30.5	17.21	37.0	16.6
	Araürün	47.9	30.20	49.0	45.6
	Şist	21.6	55.54	14.0	37.8
	Toplam	100.0	31.71	100.0	100.0
İki kademe Allair	Lave	58.0	18.19	69.2	33.6
	Araürün	16.0	27.09	17.0	13.8
	Şist	26.0	63.51	13.8	52.6
	Toplam	100.0	31.40	100.0	100.0

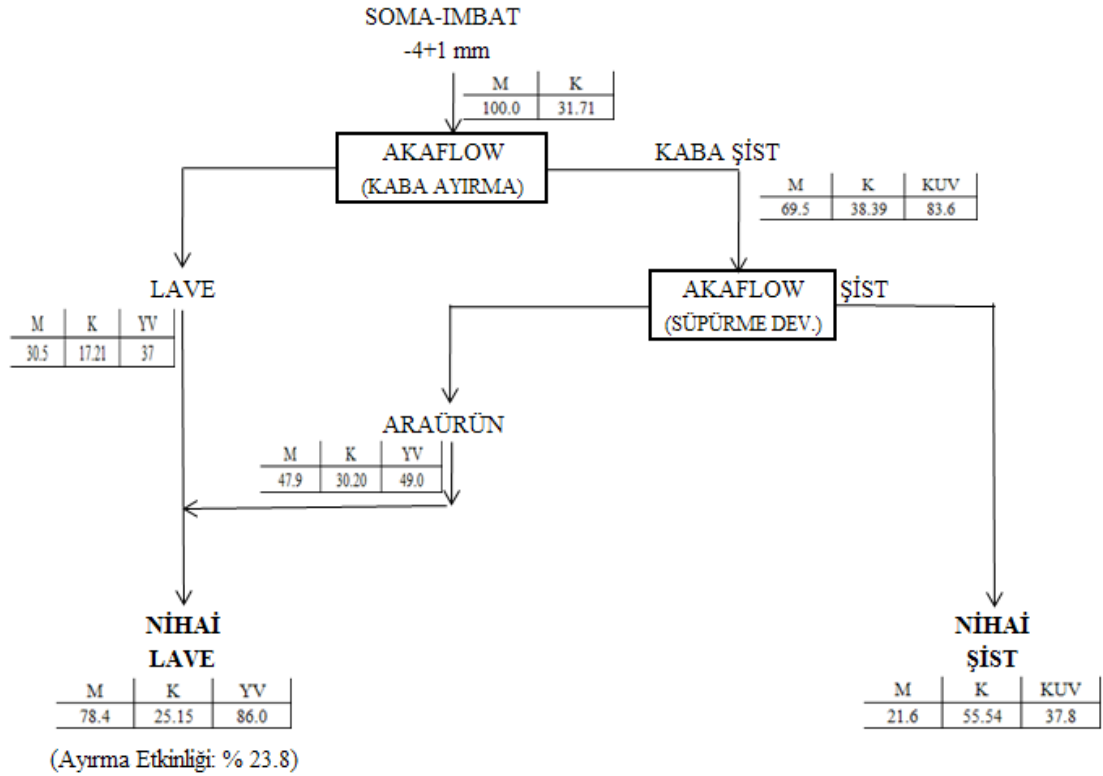
K.U.V.: Kül Uzaklaştırma Verimi*

*** : AKAFLOW Sonuçları.*

Çizelge 5.35. Kaba ayırma ve süpürme devresi değerlendirilmesi (3 ürünlü)-birleştirilmiş.

	Ürünler	Miktar %	Kül %	Yanabilir Verim %	K.U.V. %	Ayırma Etkinliği %
Optimizasyon sonuçlarına göre	Lave	78.4	25.15	86.0	62.2	23.8
	Şist	21.6	55.54	14.0	37.8	
	Toplam	100.0	31.71	100.0	100.0	
İki kademe Allair	Lave	69.7	20.26	82.5	43.3	38.8
	Şist	30.3	60.95	17.5	56.7	
	Toplam	100.0	32.59	100.0	100.0	

Çizelge 5.34 ve Çizelge 5.35’de aynı zamanda aynı boyut grubunun Allair jigi uygulama sonuçları da yer almaktadır. AKAFLOW ve Allair jigi sonuçları birbiriyle karşılaştırıldığında; Allair jiginin AKAFLOW cihazına göre çok daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Öyleki Ayırma etkinliği Allair Uygulaması ile % 23.8’den % 38.8 seviyelerine ulaşmıştır. Benzer şekilde lave külleri % 25’den % 20 seviyelerine düşürülmüştür. Burada AKAFLOW cihazında pülsasyon etkisinin olmamasından kaynaklanan bir durum olduğu düşünülmüştür.



Şekil 5.7. -4+1 mm boyut grubu ile AkafLOW ayırıcısında ulaşılan optimum şartlara göre zenginleştirme akım şeması ve malzeme balansı (% 6.38 toplam nem ve % 0.91 yüzey nemi içerikli).

5.2.2. -1mm Fraksiyonunun optimum şartlarının belirlenmesi

5.2.2.1. Temiz şist atımına yönelik optimizasyon

Temiz lave alımına yönelik optimum şartların belirlenmesi çalışmalarında öncelikli olarak yüksek hava ve vibrasyon hızlarında ayırma çalışmaları ile başlanmış, ancak deneme amaçlı hava akımının 10'dan 4'e indirilmesiyle temiz bir lave ürünü yerine temiz bir şist ürünü atılabileceği saptandığından bu devre şist devresi olarak değiştirilmiştir. Cihaz parametreleri ve ayırma sonucunda elde edilen ürünlerin özellikleri Çizelge 5.36'da verilmiştir. Çizelge 5.36'dan izleneceği üzere, hava hızı 4 ve vibrasyon hızının 10 olduğu B1, B2 ve B3 bıçak aralıklarının ise sırasıyla 1, 2 ve 2 mm olduğu şartlarda, beslenenin % 21.6'sı % 59.2 kül içeriği ve % 33.6 kül uzaklaştırma verimi ile atılabilmektedir. Temiz lave üretimine yönelik optimum çalışma şartlarının belirlenmesi deneylerine malzeme üretmek amacıyla yukarıdaki şartlarda deneyler tekrarlanmış ve hemen hemen benzer sonuçlar alınmıştır. Bu devrede, Şist 1 ve Şist 2 (1 ve 2. Bıçak ürünleri) birleştirilerek şist olarak nitelendirilmiş, B3 ürünü ise ara ürün olarak işlem

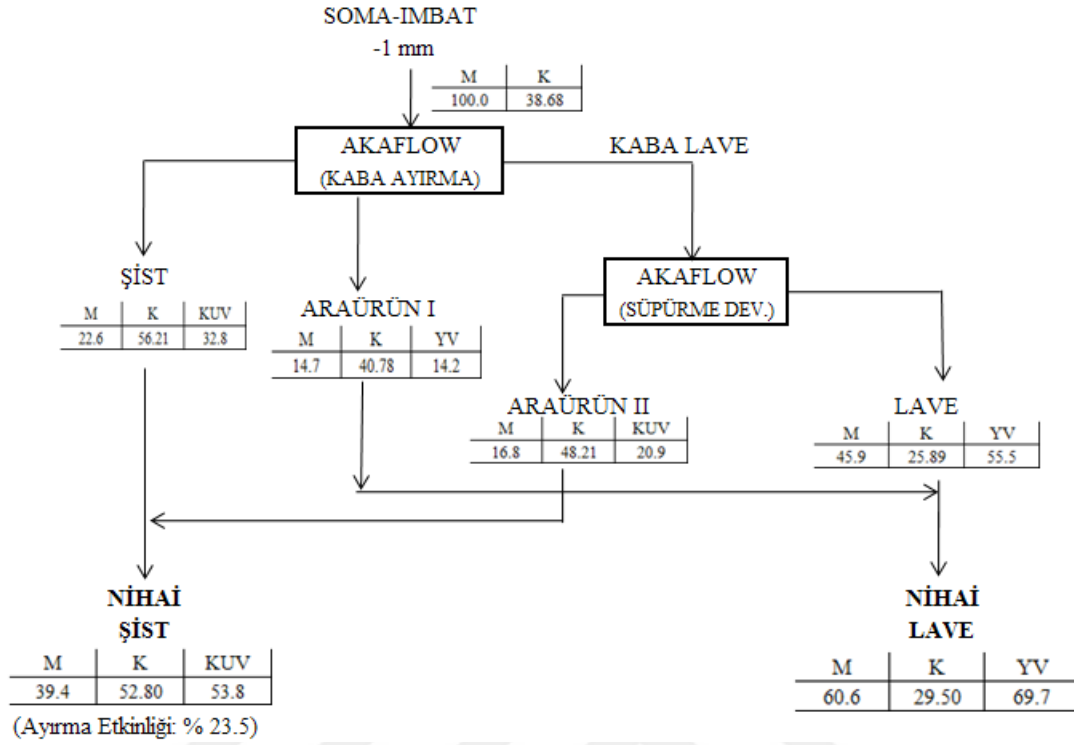
yapılmadan bırakılmıştır. Tekrarlanan deneyde Beslenenin % 60.6'sı % 29.69 kül içeriği ve % 69.6 yanabilir verimle kazanılmıştır.

5.2.2.2. Temiz lave alımına yönelik optimum şartların belirlenmesi

Temiz lave alımına yönelik devrede çalışılan parametre ve aralıkları, değişen çalışma şartlarında üretilen ürün özellikleri ve ayırma etkinlikleri Çizelge 5.37'de verilmiştir. Çizelge 5.37 incelendiğinde en uygun çalışma koşulları; Akışkanlandırma hava hızı 4, Vibrasyon hızı 10, B1, B2 ve B3 açıklıkları ise 1, 2 ve 4 mm olarak saptanmıştır. En uygun şartlarda yapılan ayırma sonucunda; beslenenin % 75.7'si % 25.89 kül içeriği ve % 79.6 yanabilir verim ile kazanılmıştır. Atılan atık ise tamamıyla araürün niteliğinde olup, beslenenin % 24.3'ünü temsil etmekte olup kül içeriği %40.78 civarındadır.

5.2.2.3. -1mm Boyut grubunda yapılan optimum şartların belirlenmesi çalışmaları nihai sonuçları

Optimum çalışma parametrelerinin belirlendiği sonuçları Çizelge 5.38 ve 5.39'da sunulmuştur. Nihai sonuçlara göre (Şekil 5.8); beslenenin % 60.6'sı % 29.5 kül içeriği ve % 69.7 Yanabilir verim ile kazanılırken, atılan atık miktarı % 39.4 seviyelerinde olup, kül içeriği % 52.8 civarındadır. Nihai optimum sonuçlara göre, Kül uzaklaştırma verimi % 53.8 olup, ayırma etkinliği % 23.5 gibi yüksek bir değerdedir.



Şekil 5.8. -1 mm boyut grubu ile akaflow ayırcısında ulaşılan optimum şartlara göre zenginleştirme akım şeması ve malzeme balansı (% 6.38 toplam nem ve % 0.91 yüzey nemi içerikli).

Çizelge 5.36. -1 mm boyut grubunda yapılan AKAFLOW ile ayırmada cihaz parametrelerinin temiz şist üretimindeki etkisi.

Hava Hızı	Vibrasyon	Bıçak 1	Bıçak 2	Bıçak 3	Ürünler	Miktar %	Kül %	Σ Miktar %	Σ Kül %	Yanabilir Verim %	K.U.V.* %	Ayırma Etkinliği %	Kapasite, kg/h
11	10	2	2	2	Şist 1	49.0	44.88						
					Şist 2	8.1	39.11	67.2	43.46		70.9	6.2	482.1
					Ara Ürün	10.1	40.01						
					Lave	32.8	36.64	32.8	36.64	35.3			
					Toplam	100.0	41.22						
11	10	1	2	2	Şist 1	9.4	44.52						
					Şist 2	4.6	48.43	25.6	44.82		29.6	6.6	389.3
					Ara Ürün	11.6	43.65						
					Lave	74.4	36.54	74.4	36.54	77.0			
					Toplam	100.0	38.66						
4	10	1	2	2	Şist 1	5.7	65.56						
					Şist 2	4.8	63.78	21.6	59.32		33.0	18.6	405.5
					Ara Ürün	11.1	54.22						
					Lave	78.4	33.21	78.4	33.21	85.6			
					Toplam	100.0	38.86						
4 ^b	10	1	2	2	Şist 1	4.9	65.4	22.6	56.21		32.8		
					Şist 2	17.6	53.63						
					Ara Ürün	16.8	48.21	16.8	48.21	14.2			
					Lave	60.6	29.69	60.6	29.69	69.6			
					Toplam	100.0	38.78	100.0	38.78				

K.U.V.*: Kül Uzaklaştırma Verimi

** : Temiz lave alımı devresine malzeme üretmek amacıyla yapılan tekrar deney sonucu

Çizelge 5.37. -1 mm boyut grubunda yapılan AKAFLOW ile ayırmada cihaz parametrelerinin temiz lave üretimindeki etkisi.

Hava Hızı	Vibrasyon	Bıçak 1	Bıçak 2	Bıçak 3	Ürünler	Miktar %	Kül %	Σ Miktar %	Σ Kül %	Yanabilir Verim %	K.U.V. %	Ayırma Etkinliği %	Kapasite, kg/h
3	10	1	2	2	Sist 1	1.5	47.73						
					Sist 2	8.3	41.24	18.7	39.59		25.5	9.5	637.7
					Ara Ürün	9.0	36.74						
					Lave	81.3	26.74	81.3	26.74	84.0			
					Toplam	100.0	29.15						
5	10	1	2	2	Sist 1	1.9	43.97				24.7	9.2	615.7
					Sist 2	6.9	38.77	18.1	38.87				
					Ara Ürün	9.3	37.91						
					Lave	81.9	26.17	81.9	26.17	84.6			
					Toplam	100.0	28.47						
4	9	1	2	2	Sist 1	0.8	48.1				17.5	8.6	668.3
					Sist 2	3.2	45.4	11.4	43.44				
					Ara Ürün	7.5	42.13						
					Lave	88.5	26.26	88.6	26.26	91.0			
					Toplam	100.0	28.22						
4	8	1	2	2	Sist 1	0.9	45.88				13.3	5.9	645.2
					Sist 2	1.9	41.06	9.1	41.36				
					Ara Ürün	6.3	40.78						
					Lave	90.9	26.85	90.9	26.85	92.6			
					Toplam	100.0	28.17						
4	9	1	2	3	Sist 1	0.4	38.02				21.3	9.7	745.0
					Sist 2	5.3	48.81	14.5	43.99				
					Ara Ürün	8.7	41.34						
					Lave	85.5	27.54	85.5	27.54	88.4			
					Toplam	100.0	29.92						
4	9	1	2	4	Sist 1	0.4	44.2				33.6	13.2	747.3
					Sist 2	5.3	47.02	24.3	40.78				
					Ara Ürün	18.6	38.93						
					Lave	75.7	25.89	75.7	25.89	79.6			
					Toplam	100.0	29.51						
4	9	1	3	4	Sist 1	0.6	47.18				32.9	11.3	799.2
					Sist 2	7.7	46.41	24.9	38.65				
					Ara Ürün	16.7	34.77						
					Lave	75.1	26.16	75.1	26.16	78.4			
					Toplam	100.0	29.27						

Çizelge 5.37. -1 mm Boyut Grubunda Yapılan AKAFLOW ile ayırmada cihaz parametrelerinin temiz lave üretimine etkisi (devam).

Hava Hızı	Vibrasyon	Bıçak 1	Bıçak 2	Bıçak 3	Ürünler	Miktar %	Kül %	Σ Miktar %	Σ Kül %	Yanabilir Verim %	K.U.V. %	Ayırma Etkinliği %	Kapasite, kg/h				
4	9	2	3	4	Şist 1	3.0	40.94	26.8	37.31	76.5	35.1	11.7	770.4				
					Şist 2	6.2	47.16										
					Ara Ürün	17.7	33.28	73.2	25.21								
					Lave	73.2	25.21										
					Toplam	100.0	28.45										
4	9	2	3	5	Şist 1	2.0	40.96	29.4	37.85	74.2	38.2	12.4	802.1				
					Şist 2	5.5	44.42										
					Ara Ürün	21.9	35.90	70.6	25.54								
					Lave	70.6	25.54										
					Toplam	100.0	29.16							70.6			

Çizelge 5.38. -1 mm Boyut grubu optimum şartlarının belirlenmesi testleri nihai sonuçları.

	Ürünler	Miktar %	Kül %	Yanabilir Verim %	K.U.V. %
Optimizasyon sonuçlarına göre	Lave	45.9	25.89	55.5	30.7
	Araürün I	14.7	40.78	14.2	15.5
	Araürün II	16.8	48.21	14.2	20.9
	Şist	22.6	56.21	16.1	32.8
	Toplam	100.0	38.68	100.0	100.0

Çizelge 5.39. -1 mm Boyut grubu optimum şartlarının belirlenmesi testleri nihai sonuçları (Birleştirilmiş).

	Ürünler	Miktar %	Kül %	Yanabilir Verim %	K.U.V. %	Ayırma Etkinliği %
Optimizasyon sonuçlarına göre	Lave	60.6	29.50	69.7	46.2	23.5
	Şist	39.4	52.80	30.3	53.8	
	Toplam	100.0	38.68	100.0	100.0	

5.3. Sürekli Çalışan Allair Jiginde Kömür Neminin Ayırma Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi

Kömür neminin kuru zenginleştirme üzerindeki etkisi sürekli çalışan Allair jiginde -13 mm boyutlu malzeme ile test edilmiştir. Bundan önceki çalışmalarda, -13 mm boyutlu malzemenin kuru zenginleştirilmesinde etkin bir ayırma için -13+4 ve -4 mm boyut gruplarında olmak üzere kuru zenginleştirme çalışmaları yapılmıştır.

Çalışma öncesinde yaklaşık 200 kg civarında, -13 mm boyutlu kömür numuneleri 1 gün süre ile su içerisinde bekletilmiş ve sonrasında serbest sudan kolay ayırma sağlamak amacıyla; önce 1 mm boyutlu elek kullanılarak iri kısım, ardından bekletilerek çöktürülen ince kısım birlikte karıştırılarak yığınlar oluşturulmuştur. Yığınlar daha sonra açık havada kurumaya bırakılmış ve sabah ve akşam olmak üzere yığınlar günde iki kez harmanlanarak mevcut nemin homojenleştirilmesi ve eşit kuruma sağlanmıştır. Farklı süreçler sonunda yığınlardan örnek alınarak halojen kurutucuda kurutulmak suretiyle pratik şekilde mevcut nem değerleri tesbit

edilmiştir. İstenilen neme gelen numunelerden daha sonra örnekler alınmış ve etüvde ve açık havada, toplam nem ve yüzey nemleri tespit edilmiştir.

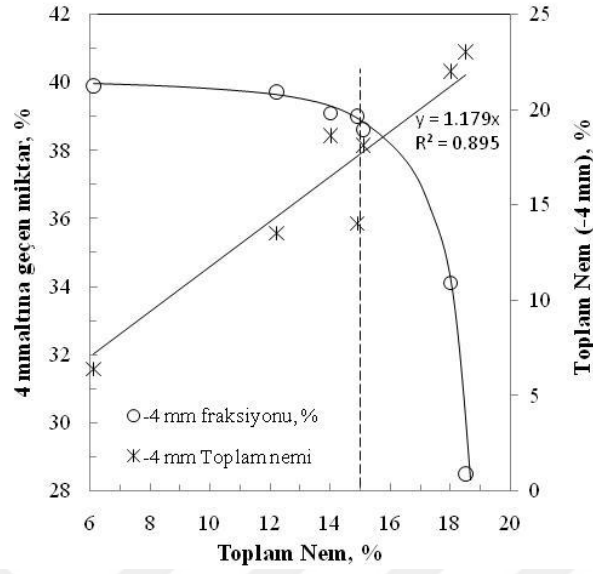
Çalışılacak nem değerine ulaşan numuneler, 4 mm elek kullanılarak elenmiş, +4 mm ve -4 mm boyutlu kömür numuneleri ayrı ayrı kuru zenginleştirme testlerine tabi tutulmuştur.

+4 mm ve -4 mm boyut grubundaki numunelerin hem kuru zenginleştirme öncesi hemde kuru zenginleştirme sonrasında elde edilen ürünlerin işlem sonrasındaki nem değerleri takip edilmiş ve elde edilen veriler aşağıda sunulmuştur.

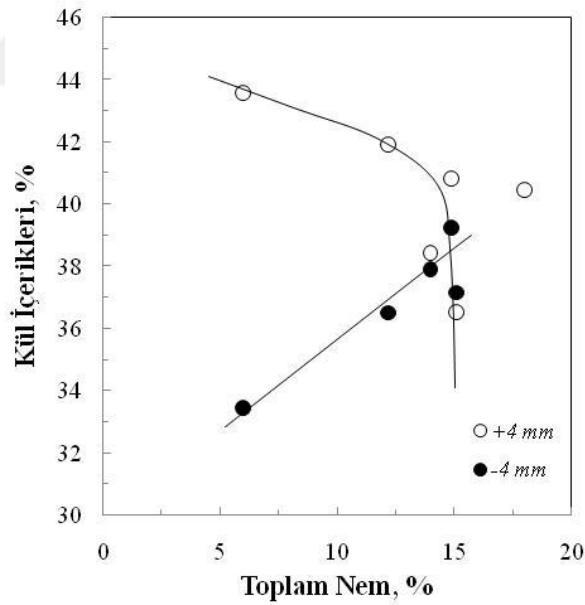
Nemin etkisi ilk olarak eleme işleminde gözlenmiş olup, farklı neme sahip -13 mm altına kırılmış kömür numunelerinin 4 mm'lik elekten elenmesi ile ulaşılmış elek altı oranlarının ve kül içeriklerinin değişimi Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da verilmiştir.

Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'dan gözlemlendiği üzere; %15 toplam nem içeriğine kadar, kömür neminin laboratuvar ölçekli 4 mm açıklıklı ve yaklaşık 1.5 m²'lik elek yüzeyine sahip elekten elenmesi üzerinde çok önemli bir olumsuz etkisinin olmadığı saptanmıştır. % 15'den daha yüksek kömür nemlerinde ise -4 mm kömür fraksiyonu miktarının azaldığı, eleminin zorlaştığı ve ince boyutlu kömürün iri boyutlu olanlara yapışarak elek altına geçmediği saptanmıştır.

Benzer sonuçlara, elek altı ve üstü kömür numunelerinin kül içeriklerinde de rastlanmıştır. Kömür nemi arttıkça +4 mm boyut grubu kül içeriğinin % 15 nem içeriğine kadar değişmediği, bu nemden daha yüksek nemlerde ise % 5-6 oranında azaldığı gözlenmiştir. Genelde bunun tersi yönünde bir davranış beklenmekte olup, ince boyutlu kilin yapışarak iri boyutlarda artması gerekirken toplanan killer -4 mm boyut grubunda toplanmıştır.



Şekil 5.9. Kömür nemine bağlı olarak, eleme işleminde -4 mm altı malzeme miktarı değişimi (X eksenini -13 mm boyutlu toplam malzeme nemini ifade etmektedir.).



Şekil 5.10. Kömür nemine bağlı olarak, eleme işleminde -13+4 mm ve -4 mm malzeme kül içeriği değişimi.

5.3.1. -13+4 mm Boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme çalışmalarında nem etkisi

-13+4 mm boyut grubunda kömür neminin kuru zenginleştirme üzerindeki etkisini görmek amacıyla yapılan kuru zenginleştirme deney sonuçları Çizelge 5.40, Şekil 5.11, 5.12 ve 5.13’de verilmiştir.

Çizelge 5.40. -13+4 mm boyut grubunda Allair jigi ile yapılan kuru zenginleştirme işleminde kömür neminin ayırma etkinliği üzerindeki etkisi.

Toplam nem* %	Toplam Nem % (+4 mm)	Yüzey nemi % (+4 mm)	Lave		Şist		Besleme Külü %	Yanabilir Verim %	K.U.V.** %	AE*** %
			Miktar %	Kül %	Miktar %	Kül %				
6.01	5.26	0.8	37.3	13.68	62.7	61.09	43.56	57.0	87.9	45.0
12.20	11.39	3.47	37.1	13.13	62.9	60.75	41.9	55.5	91.2	46.7
14.00	13.2	5.49	51.2	17.44	48.8	60.43	38.41	68.6	76.8	45.4
14.90	13.75	5.67	49.8	17.4	50.2	60	40.81	69.5	73.8	43.3
15.10	13.3	5.99	46.5	14.65	53.5	56.07	36.51	62.5	82.2	44.7
18.00	15.6	8.48	43.5	21.66	56.5	58.89	40.43	57.2	82.3	39.5

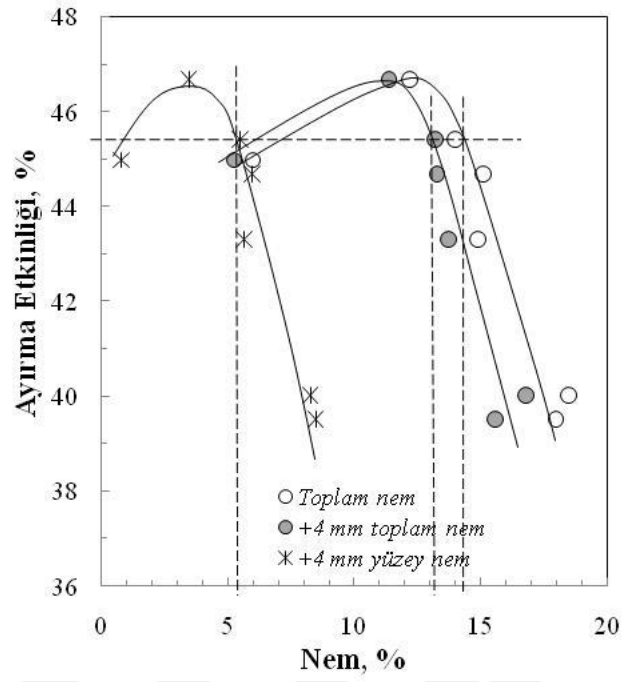
*: -13 mm kömürün toplam nemi

K.U.V. **: Kül Uzaklaştırma Verimi

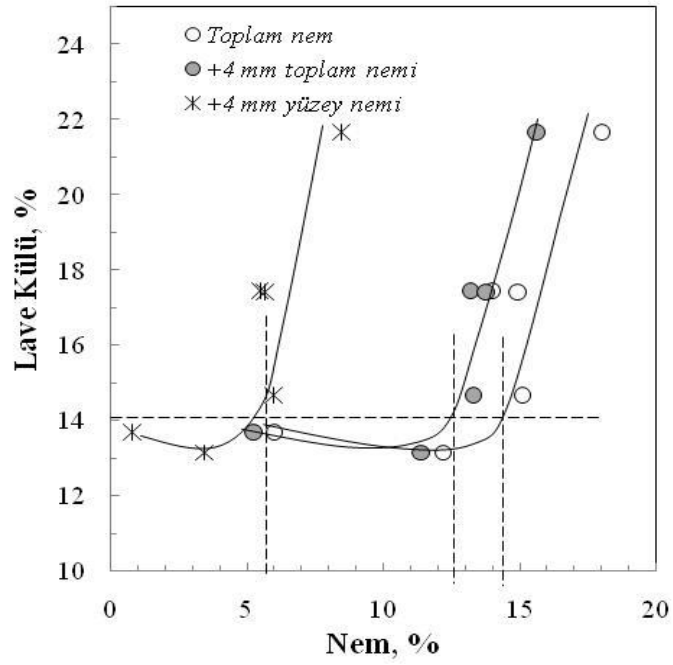
AE***: Ayırma etkinliği= Yanabilir verim (%) - (100-Kül uzaklaştırma verimi (%))

Çizelge 5.40’dan izleneceği üzere, kömür neminin toplam nem bazında % 15’e kadar olan değerlerinde ayırma üzerinde önemli bir olumsuz etkisinin olmadığı saptanmıştır. Toplam nem bazında % 15’e kadar olan kömür nemleri ile yapılan kuru zenginleştirme çalışmalarında ayırma etkinliği değerleri % 43-45 seviyelerindedir (Şekil 5.11). Ancak daha yüksek kömür nemlerinde ayırma olumsuz etkilenmiş olup, ayırma etkinliği % 40’ın altındaki seviyelere düşmüştür.

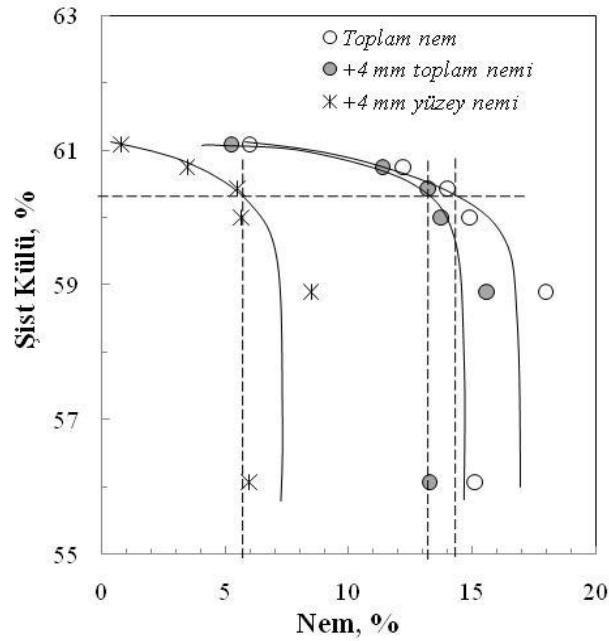
% 15’den daha düşük kömür nemlerindeki kuru zenginleştirme çalışmalarında elde edilen temiz kömür külleri % 13-17 civarında seyretmiş olup, atılan şist küllerinin ise % 60 ve üzerinde olduğu tesbit edilmiştir (Şekil 5.12 ve Şekil 5.13). İmbat kömürü tesis üretim sonuçları (Drewboy ünitesi); lave kül içeriğinin % 12-14, şist kül içeriklerinin % 65 seviyelerinde olduğunu işaret etmektedir. Dolayısıyla % 15 nemin altındaki kömür nemlerinde yapılacak olan kuru zenginleştirme sonucu elde edilecek lave ve şist ürünlerinin tesis üretim değerlerinden çok da geride olmadığı tesbit edilmiştir.



Şekil 5.11. Kömür neminin ayırma etkinliği üzerindeki etkisi.



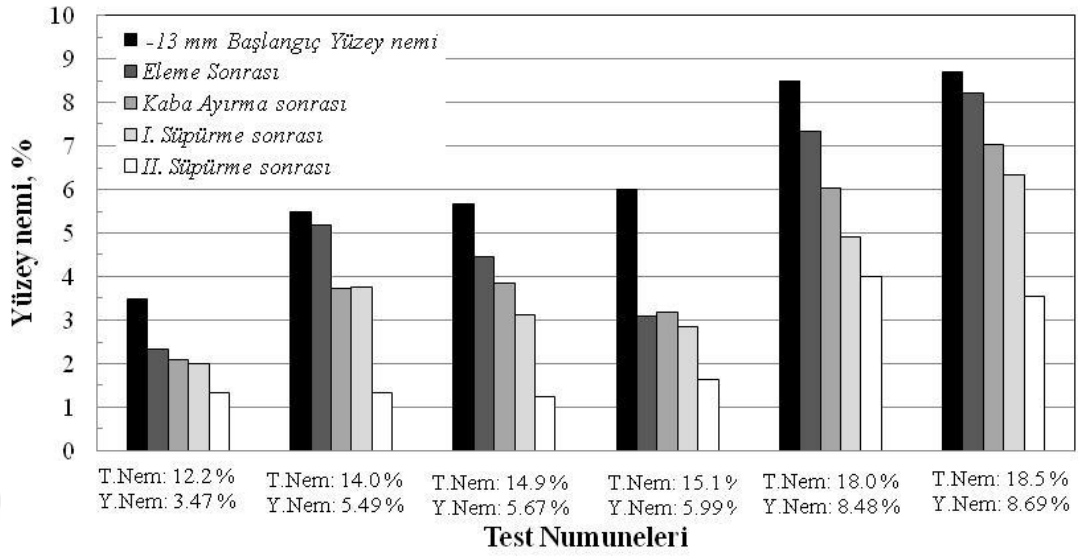
Şekil 5.12. Kömür neminin kuru zenginleştirme üzerindeki etkisi (Lave külü açısından).



Şekil 5.13. Kömür neminin kuru zenginleştirme üzerindeki etkisi (Şist külü açısından).

Yukarıda sonuçları verilen -13+4 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme işlemi; temiz lave alımına yönelik 1 adet kaba ayırma ve temiz şist ve araürün alımına yönelik 2 adet süpürme devresinden oluşmaktadır. Dolayısıyla kömür numunesi 3 kez Allair jiginden geçirilmiştir. Kuru zenginleştirme akışkanlandırmanın hava ile yapıldığı bir işlem olduğundan ürünlerin işlem sırasında yüzey nemini kaybetmeleri de söz konusudur. Belirli neme sahip kömür numunelerinin eleme, kaba ayırma ve süpürme devreleri sonucunda kaydedilen yüzey nemi değişimleri Şekil 5.14’de verilmiştir.

Şekil 5.14’den izleneceği üzere; farklı nem değerlerine sahip bütün kömür numuneleri için eleme sonrasında kömür yüzey nemlerinin düştüğü gözlenmiştir. Bu durum iri boyutlu kısımda nem miktarının daha az olduğunu göstermektedir. Öyleki eleme öncesinde örneğin % 5.5 civarında olan kömür nemi -13+4 mm fraksiyonunda %4.5 olarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte, yine aynı nem örneği için 2. süpürme sonrasında kömür neminin % 1.5 seviyelerine düştüğü gözlenmiştir. Bu durum prosese giren kömürün akışkanlandırma havasının kurutucu etkisi ve süpürme devrelerinde daha çok şist içeren kısmın kalmasından kaynaklanmaktadır. Kül yapıcı maddenin (kil dışında) yüzey nemi daha düşük olup, akışkanlandırma havası ile bu nemi çok daha kolay atabilmektedir. Dolayısıyla, temiz şist alımına yönelik kuru zenginleştirme işlemlerinde nemin çok fazla etkili olmayacağı, ancak temiz lave alımına yönelik devrelerde kısmen ayırmayı zorlaştıracığı saptanmıştır.



Şekil 5.14. -13+4 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme çalışmalarında, kömür neminin farklı işlemler sonrasındaki değişimleri.

5.4.1. -4mm Boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme çalışmalarında nem etkisi

Nemin kuru zenginleştirme üzerindeki etkisi -4 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme çalışmalarında belirgin olarak gözlemlenmiştir. Öyle ki yüzey nemindeki en düşük orandaki artışlarda dahi ayırma etkinliği olumsuz etkilenmiştir. Bununla birlikte % 15'den daha yüksek kömür nemlerinde (yüzey nemi>%8) zenginleştirme ünitesindeki kömürün tabakalandırılması dahi mümkün olmamıştır. Çizelge 5.41, -4 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme çalışmalarında kömür neminin ayırma üzerindeki etkisinin incelendiği test sonuçlarını içermektedir.

-4 mm boyut grubunda yapılan ayırma sonucunda farklı kömür nemlerinin ayırma etkinliği, lave ve şist külleri üzerindeki etkisi ayrıca Şekil 5.15, 5.16 ve 5.17'de verilmiştir. İlgili şekillerden de anlaşılacağı üzere; kömür nemindeki en küçük artışlarda dahi, ayırma verimi belirgin bir şekilde düşmüştür. Yüzey neminin (-4 mm) % 7 seviyelerinden % 15'e çıkmasıyla ayırma verimi % 33 seviyelerinden % 3'ler seviyesine düşmüştür.

Çizelge 5.41. -4 mm boyut grubunda Allair jigi ile yapılan kuru zenginleştirme çalışmalarında kömür neminin ayırma üzerindeki etkisi.

Toplam nem %	-4 mm		LAVE		ŞİST		Besleme Külü %	Yanabilir Verim %	K.U.V. %	Ayırma Etkinliği %
	Toplam Nem %	Yüzey Nemi %	Miktar %	Kül %	Miktar %	Kül %				
6.0	6.4	0.95	55.4	20.56	44.6	49.64	33.42	66.1	66.2	32.3
12.2	13.5	2.47	45.8	25.87	54.2	45.41	36.48	53.5	67.5	20.9
14.0	18.6	7.52	81.8	33.92	18.2	45.49	37.88	87.0	21.9	8.9
14.9	14.0	7.55	47.6	30.48	52.4	47.48	39.22	54.4	63.4	17.9
15.1	18.1	7.87	94	35.53	6	42.79	37.13	96.4	6.9	3.3
18.0	MALZEME ÇOK NEMLİ OLDUĞUNDAN AYIRMA YAPILAMADI									

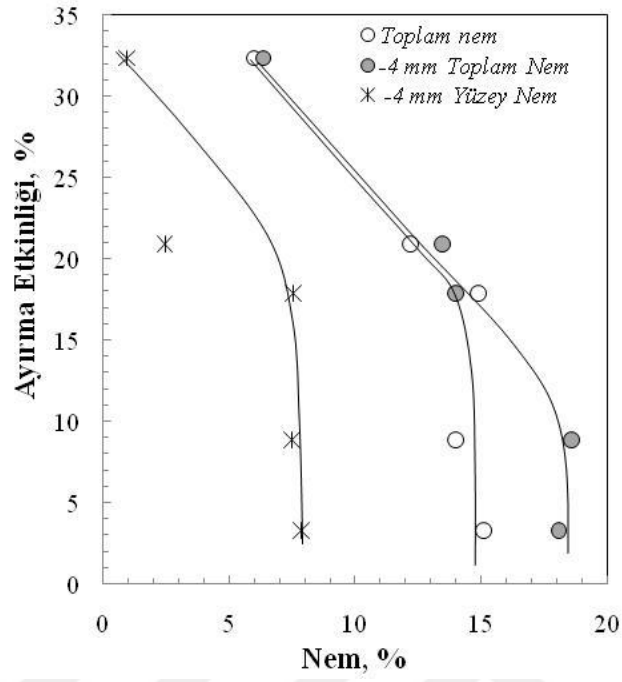
*: -13 mm kömürün toplam nemi

K.U.V. **: Kül Uzaklaştırma Verimi

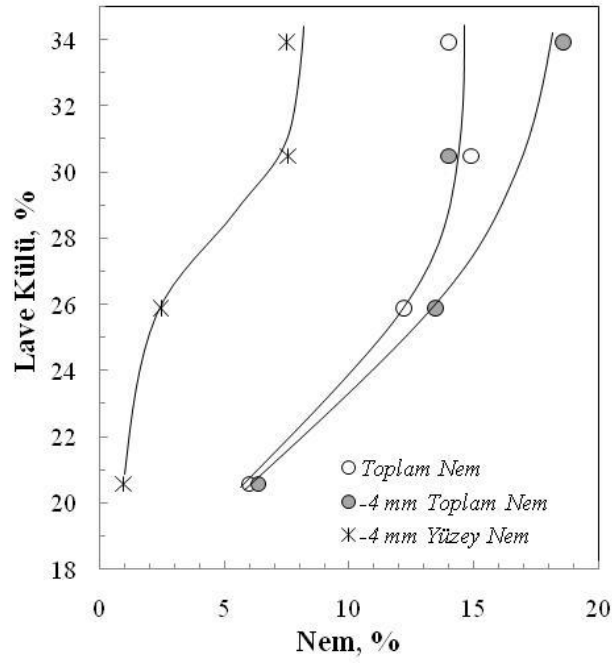
AE ***: Ayırma etkinliği= Yanabilir verim (%) - (100-Kül uzaklaştırma verimi (%))

-13 mm boyutu nemlerine göre değerlendirildiğinde; -4 mm boyut grubunun nemi, -13 mm (kömür numunesinin tamamı) fraksiyonu toplam nemine göre oldukça yüksektir. Öyleki -13 mm kömür numunesinin toplam nemi % 18 iken -13+4 mm fraksiyonu toplam nemi % 15.6, -4 mm boyut grubu nemi % 22.5 seviyelerindedir. İnce boyut fraksiyonu neminde görülen yüksek nem dolayısıyla taneler birbirine yapışmakta, akışkanlandırma havası ve pülsasyon etkisi bu yapışmayı kırıp kömürün tabakalanmasını sağlayacak seviyede değildir. Kömür nemi artışına bağlı olarak tabakalanmanın olumsuz etkilenmesi ve jig ünitesindeki tüvenan kömürün blok halinde hareket etmesi dolayısıyla lave-şist ayrımı mümkün olmamaktadır. Dolayısıyla, -13+4 mm boyut grubu her ne kadar belirli bir nem değerini tolere etse de ince boyut grubunda ayırma olmamakta ve ince boyut grubunun kuru zenginleştirme öncesinde mutlaka kurutulması gerekmektedir. Ancak bir başka önemli konu, laboratuvar şartlarında -13 mm altına indirilmesi gereken kömür numunesi önemli miktarda -4 mm boyutlu malzeme oluşmasına neden olurken, endüstriyel uygulamalarda iri boyutta boyut küçültme olması dolayısıyla -4 mm boyut grubu kömür numunesinin % 10 veya daha küçük miktarlarda olmasını sağlayacağından, kurutma genel anlamda çok önemli maliyetler oluşturmayacaktır.

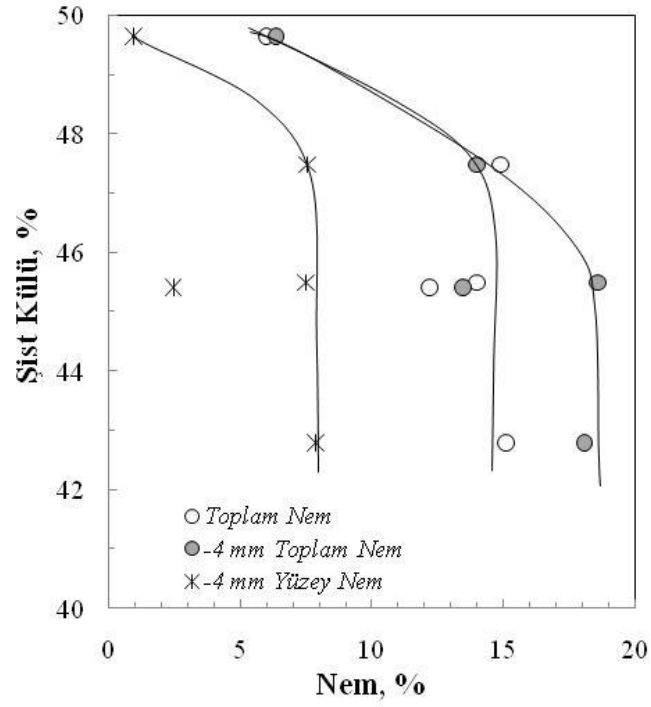
Belirli neme sahip -4 mm boyutlu kömür numunelerinin eleme, kaba ayırma ve süpürme devreleri sonucunda kaydedilen yüzey nemi değişimleri Şekil 5.15’de verilmiştir.



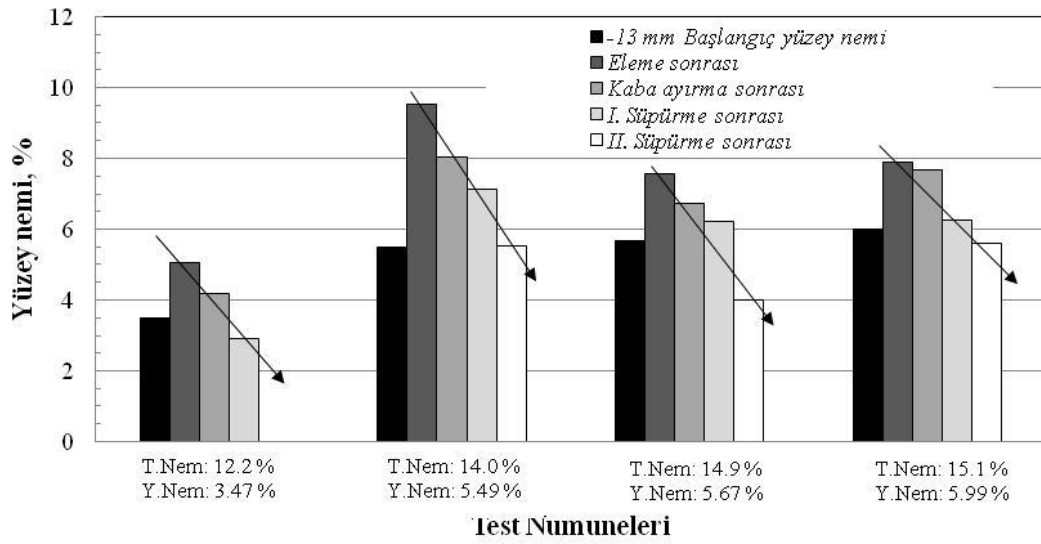
Şekil 5.15. Kömür neminin ayırma etkinliği üzerindeki etkisi (-4 mm).



Şekil 5.16. Kömür neminin lave külü üzerindeki etkisi (-4 mm).



Şekil 5.17. Kömür neminin şist külü üzerindeki etkisi (-4 mm).



Şekil 5.18. -4 mm boyut grubunda Allair jigi ile yapılan kuru zenginleştirme çalışmalarında, kömür neminin farklı işlemler sonrasındaki değişimleri.

Şekil 5.18'den izleneceği üzere; farklı nem değerlerine sahip bütün kömür numuneleri -4 mm fraksiyonları için eleme sonrasında kömür yüzey nemlerinin arttığı gözlenmiştir. Bu durum ince boyutlu kısımda nem miktarının daha fazla olduğunu göstermektedir. Öyle ki eleme öncesinde örneğin % 3.5 civarında olan kömür nemi -4 mm fraksiyonunda % 4.8 olarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte, yine aynı nem örneği için 2. süpürme sonrasında kömür neminin % 2.8 seviyelerine düştüğü gözlenmiştir. Bu durum prosese giren kömürün akışkanlandırma havasının kurutucu etkisi ve süpürme devrelerinde daha çok şist içeren kısmın kalmasından kaynaklanmaktadır. Kül yapıcı maddenin (kil dışında) yüzey nemi daha düşük olup, akışkanlandırma havası ile bu nemi çok daha kolay atabilmektedir. Dolayısıyla, temiz şist alımına yönelik kuru zenginleştirme işlemlerinde nemin çok fazla etkili olmayacağı, ancak temiz lave alımına yönelik devrelerde kısmen ayırmayı zorlaştıracığı saptanmıştır.

5.4. Kesikli Allair Jiginde İri ve İnce Boyutta Yapılan Ayırma Deneyleri

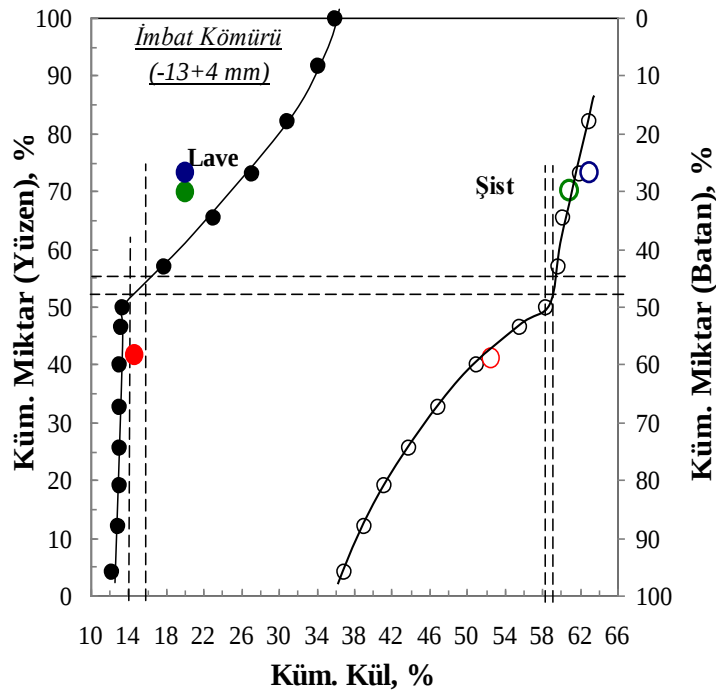
Sürekli çalışan Allair Jigi ile kesikli çalışan Allair jiginin karşılaştırılması ve iri boyutta uygulayamadığımız sürekli çalışan jig uygulamasını iri boyutlara adapte etmek amacıyla, kesikli jig ile tamamı -13 mm, -30 mm ve -50 mm altına geçirilmiş kömür numunesi ile kesikli çalışan Allair jiginde lave şist ayırması test edilmiştir. Yukarıda verilen maksimum çalışma boyutlarında alt limit 4 mm olarak sınırlandırılmış, yani -13+4, -30+4 ve -50+4 mm boyut gruplarında test çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

5.4.1. -13+4 mm Boyut grubunda kesikli çalışan allair jig uygulaması

-13+4 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kesikli çalışan Allair jig uygulaması sonuçları Şekil 5.19'da verilmiştir. Şekil 5.19 ayrıca sürekli çalışan Allair jig ile yapılan bazı kuru zenginleştirme uygulamalarını da içermektedir.

Şekil 5.19 incelendiğinde; bu boyutta yapılan ayırma sonucunda, İmbat kömürü için beslenenin % 50'sinin % 14 kül içeriği ile kazanılabildiği, bu durumda atılan şistin kül içeriğinin % 60 seviyelerinde olduğu saptanmıştır. Tesis verileriyle karşılaştırıldığında; tesiste genellikle % 13-14 kül içeriğine sahip lave ve % 64-65 kül içeriğine sahip şist atımı sözkonusudur (Tesis yetkilileri ile kişisel görüşme). Bu ayırma iri boyutta Drewboy ünitesinde alınan sonuçlara aittir. Ağır ortam ayırıcı olan Drewboy ürünlerine göre, kuru zenginleştirme ile benzer kül içeriğine sahip lave ve 4-5 puan daha eksik küllü şist atımı, oldukça başarılı bir ayırma olduğunu göstermektedir. Kesikli jig ile yapılan ayırma sonuçları ile sürekli çalışan jigde elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında hemen hemen aynı kalitede ürünler alınabildiği, hatta bazı durumlarda sürekli çalışan Allair jig ile kısmen biraz daha iyi sonuçların alındığı saptanmıştır.

Sürekli çalışan Allair jigi ile kesikli çalışan Allair Jigi uygulamasının iri boyutta karşılaştırılması sadece -13+4 mm boyut grubunda mümkün olmuştur. Bu boyut grubunda yapılan ayırma sonuçları her iki jigde de benzer sonuçların alınabildiğini gösterdiğinden, iri boyutlarda yapılacak olan Kesikli Allair Jig sonuçlarının, sürekli çalışan Allair Jigi uygulamasına adapte edilebileceği tespit edilmiştir.

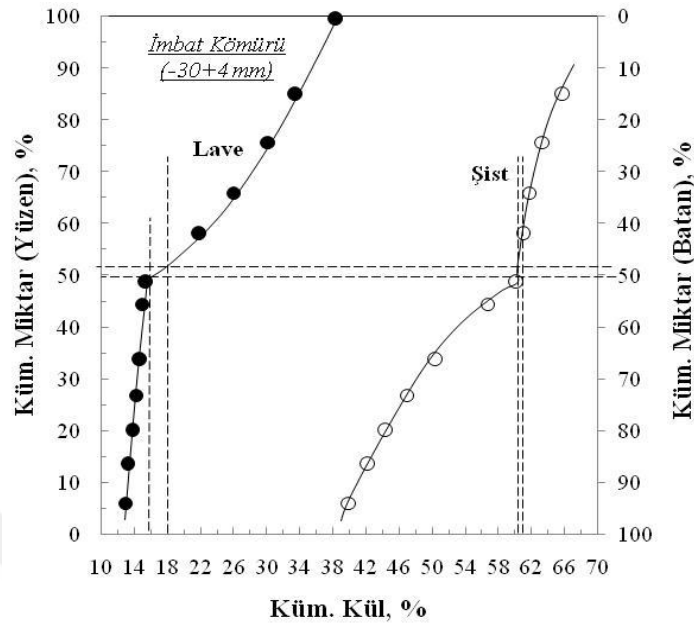


Şekil 5.19. -13+4 mm Boyut grubunda gerçekleştirilen kesikli çalışan Allair jigi uygulaması.

(Kırmızı noktalar gözle optimize edilen şartlarda elde edilen Lave ve Şist ürünlerini, yeşil noktalar detaylı optimizasyon çalışma sonucunda elde edilen Lave ve Şist ürünlerini, mavi noktalar ise detaylı optimizasyon çalışması sonucunda elde edilen şartlarda, iki kademe yapılan kuru zenginleştirme sonucunda elde edilen Lave ve Şist ürünlerini göstermektedir. İçi dolu olan siyah noktalar Lave ürününü, boş olan siyah noktalar ise Şist ürünlerini ifade etmektedir)

5.4.2. -30+4 mm Boyut grubunda kesikli çalışan allair jigi uygulaması

-30+4 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kesikli çalışan Allair jigi uygulaması sonuçları Şekil 5.20’de verilmiştir. Şekil 5.20 değerlendirildiğinde; elde edilen Lave-Şist ayırma karakteristiği, -13+4 mm boyut grubunda yapılan Kesikli Allair Jigi uygulamasına benzer çıkmıştır. Bu boyutta yapılan ayırma sonucunda da; Beslenenin % 50’si % 16 kül içeriğine sahip Lave elde edilirken atılan Şistin kül içeriğinin de % 61 civarında olduğu tespit edilmiştir.

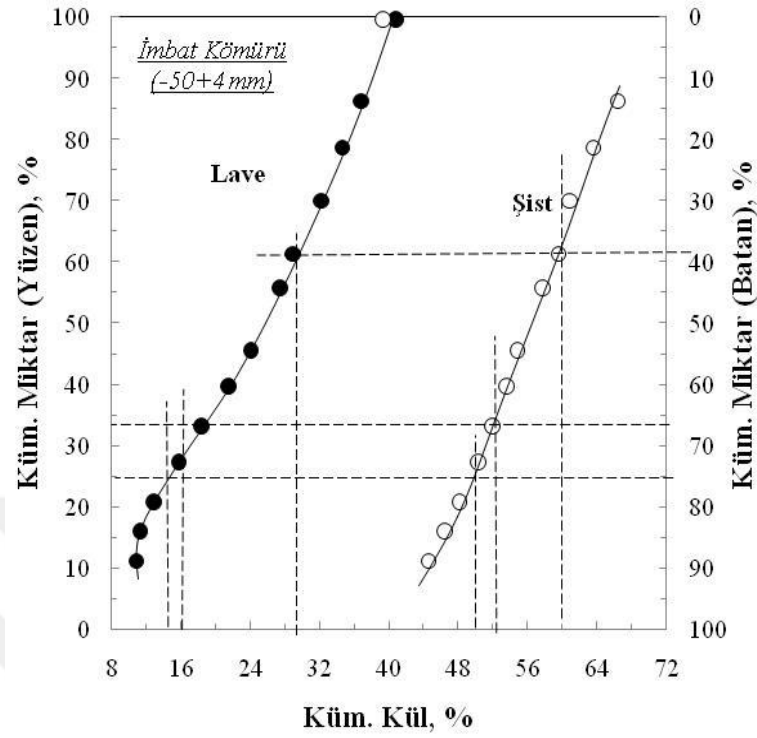


Şekil 5.20. -30+4 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kesikli çalışan Allair jig uygulaması.

5.4.3. -50+4 mm Boyut grubunda kesikli çalışan allair jigi uygulaması

-50+4 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kesikli çalışan Allair jigi uygulaması sonuçları Şekil 5.18'de verilmiştir.

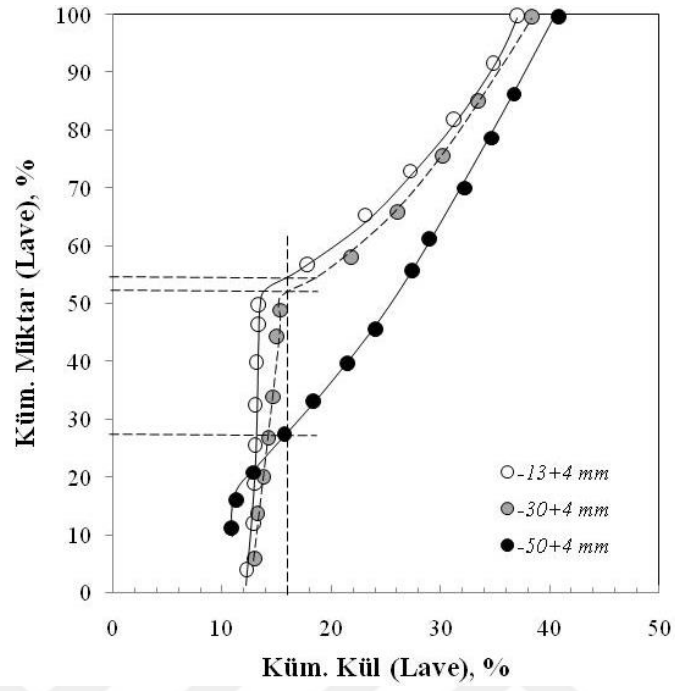
Şekil 5.21 değerlendirildiğinde -50+4 mm boyut grubunda yapılan Kesikli Allair Jigi uygulamasının diğer boyutlara oranla daha başarısız olduğu tespit edilmiştir. Öyleki; bu boyutta yapılan Kesikli Allair Jigi uygulamasıyla, beslenenin % 25'i % 16 kül içeriğine sahip lave elde edilirken atılan şistin kül içeriğinin de % 50 civarında olduğu tespit edilmiştir. Bu boyuttaki ayırmanın çok etkin olmaması, uygulanan boyutun jig ünitesine göre çok iri kalmasından, ya da boyut dağılındaki geniş aralıktan kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu ayırmanın -50+30 mm ve -30+4 mm gibi iki boyutta yapılması ile bu sorunun aşılabileceği düşünülmektedir.



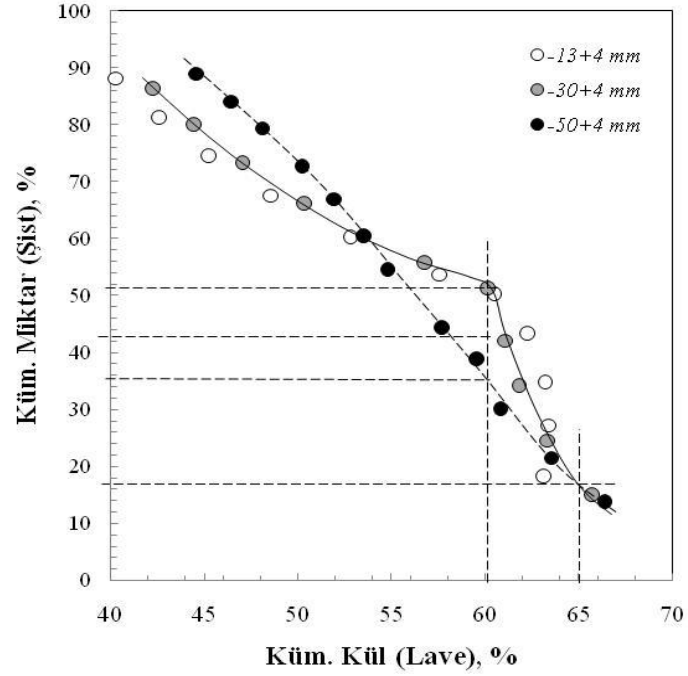
Şekil 5.21. -50+4 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kesikli çalışan Allair jigi uygulaması.

5.4.4. Farklı boyut gruplarında yapılan kesikli çalışan allair jigi uygulamasının karşılaştırılması

İri ve ince boyutta yapılan Kesikli jig uygulamalarının karşılaştırılması Şekil 5.22 ve 5.23'de verilmiştir. Lave atımı yönünden boyutların karşılaştırıldığı Şekil 5.22 incelendiğinde -30+4 ve -13+4 mm boyut grubunda yapılan kesikli jig uygulamalarında benzer nitelikte ve miktarda lave alınabildiği saptanmıştır. Şist nitelik ve miktarları incelendiğinde ise (Şekil 5.23), iri ve ince boyutta atılan şist ürünlerinin hemen hemen benzer nitelikte olduğu, -50+4 mm boyut grubunda yapılan ayırma sonucunda atılan şistin bir miktar geride olduğu saptanmıştır. Dolayısıyla, bu boyutta alınan lavenin yapısı incelenmeli ve ilave bir ayırma ile muhtemel bir ayırmanın da olabileceği ve lavenin kül içeriğinin daha da düşürülebileceği belirlenmiştir.



Şekil 5.22. Lave özellikleri açısından karşılaştırma.



Şekil 5.23. Şist özellikleri açısından karşılaştırma.

“Kuru zenginleştirme optimizasyon çalışmaları” kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

- Literatürde kuru zenginleştirme uygulamasının daha çok temiz şist atımına yönelik olduğunun rapor edilmesine rağmen, kuru zenginleştirme ile temiz lave alımının da mümkün olduğu saptanmıştır (ideal nem aralığında çalışmak şartıyla).
- Çok temiz lavelerin elde edilmesi mümkün olabildiği gibi atılabilir özellikte şistin de uzaklaştırılabileceği tespit edilmiştir.
- -4+1 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme işlemlerinde Allair Jiginin Akaflo cihazına göre daha etkin bir ayırma yaptığı tespit edilmiştir. Bu durumda Akaflo cihazında sadece Allair Jiginde Ayrılması mümkün olmayan -1 mm boyutlu kömürlerin değerlendirilmesinin yapılması uygun bulunmuştur. Ancak farklı kömürlerle bu sonucun teyid edilmesi gerekmektedir.
- Detaylı yapılan optimizasyon çalışmalarının sonuçları ile 3-4 devre kuru zenginleştirmeden oluşan ve kademeli olarak temiz lave çekilerek şistin sürekli iyileştirildiği, ürünlerin gözle muayenesi sonucu gözle optimum şartların bulunduğu deney sonuçları birbirine benzer çıkmıştır. Dolayısıyla 3 ay gibi uzun bir süreç alan detaylı optimizasyon çalışmaları yerine 1-2 gün süren gözle optimizasyonun yapılarak çalışılan kömür numunesinin kuru zenginleştirilebilirliği hakkında doğru bilgilere ulaşılabileceği saptanmıştır.
- Kuru zenginleştirme işleminin etkin olarak uygulanabilmesi için kritik kömür nemi söz konusu olmaktadır. Ancak kömür nemi iri boyutlarda yapılan zenginleştirme işlemini çok fazla etkilemezken, ince boyutta yapılacak ayırmada kömürlerin kuru olmasının kaçınılmaz olduğu tespit edilmiştir. Kömür neminin ayrıca daha çok ince boyutlarda çok daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- Özellikle iri boyutta yapılan kuru zenginleştirme işlemlerinde, kömür neminin akışkanlandırma havası ile önemli derecede giderildiği, bunun da iki ya da üç kademedan oluşabilecek kuru zenginleştirme proseslerinde avantaj yaratabileceği tespit edilmiştir.
- Şistin nem içeriklerinin kömüre göre çok daha düşük olduğu, dolayısıyla 2-3 kademedan oluşacak kuru zenginleştirme işlemlerine sürekli olarak şist ile devam edilmesi yani süpürme devreli olmasının avantajlı olabileceği belirlenmiştir.

- Sürekli ve Kesikli jig ayırma performanslarının birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. Bu durum ise iri boyutta yapılacak olan Kesikli jig uygulamasının Endüstriyel bazda Sürekli çalışan Allair jigine adapte edilebileceği sonucunu ortaya koymuştur.
- Farklı boyutlarda ve cihazlarda yapılan ayırma işlemleri birleştirildiğinde; Soma İmbat Kömürünün kuru zenginleştirme işlemlerine yatkın olduğu ve olumlu cevap verdiği saptanmış olup, İki farklı cihaz kombinasyonunda ayırma etkinliklerinin %43.8 (Çizelge 5.42) ve % 40.3 (Çizelge 5.43) gibi yüksek değerlerde olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 5.42. Soma İmbat kömürünün nihai kuru zenginleştirme sonuçları (-4+1 mm boyut grubu Allair Jiginde ayrılırsa).

Boyut grubu mm	LAVE		ŞİST		TOPLAM		Yanabilir Verim %	Kül Uzaklaştırma Verimi %	Ayırma Etkinliği %
	Miktar %	Kül %	Miktar %	Kül %	Miktar %	Kül %			
-13+4 (AL)	25.4	14.18	29.6	62.31	55.0	40.07			
-4+1 (AL)	20.0	20.11	7.0	63.51	27.0	31.39			
-1 (AKW)	10.9	29.50	7.1	52.80	18.0	38.68			
Toplam	56.3	19.25	43.7	60.96	100.0	37.48	72.7	71.1	43.8

AL: Allair Jig uygulaması, AKW: Akaflow uygulaması

Çizelge 5.43. Soma İmbat kömürünün nihai kuru zenginleştirme sonuçları (-4+1 mm boyut grubu AKAFLOW cihazında ayrılırsa).

Boyut grubu mm	LAVE		ŞİST		TOPLAM		Yanabilir Verim %	Kül Uzaklaştırma Verimi %	Ayırma Etkinliği %
	Miktar %	Kül %	Miktar %	Kül %	Miktar %	Kül %			
-13+4 (AL)	25.4	14.18	29.6	62.31	55.0	40.08			
-4+1 (AL)	21.2	25.15	5.8	55.54	27.0	31.71			
-1 (AKW)	10.9	29.50	7.1	52.80	18.0	38.69			
Toplam	57.5	21.13	42.5	59.79	100.0	37.57	72.6	67.7	40.3

AL: Allair Jig uygulaması, AKW: Akaflow uygulaması

6. LABORATUVAR ÖLÇEKTE KURU ZENGİNLEŞTİRME DENEYLERİ

Tez kapsamında, 5. bölümde İmbat yer altı kömürüne yapılan detaylı optimizasyon çalışmaları yapılmış olup, nem, boyut ve havalı masa ve havalı jig'e ait parametreler incelenmiş ve optimum parametreler tespit edilmiştir. Bu bölümde ise 5. bölümde ki veriler ışığında her 3 kömür örneği ile zenginleştirme testleri yapılarak ayırma performansları etüd edilmiştir.

Kuru Zenginleştirme Deneyleri kapsamında çalışmalarda kullanılmak üzere Soma-İmbat, Soma-Eynez (AO), kömür ocaklarından 2-3'er ton civarında orjinal nemini muhafaza edecek şekilde torbalanmış taze numuneler alınmıştır. İlgili kömür örneklerinin yıkanabilirlik testleri toplamda yaklaşık 250'şer kg'lık numunelerle tekrarlanmıştır.

5. Bölümde Soma-İmbat kömürü üzerinde detaylı kuru zenginleştirme çalışmaları gerçekleştirilmiş ve detaylı optimizasyon çalışmaları sonrasında ulaşılan ürün kalite ve miktarlarına, gözle optimizasyon sonucunda yapılan zenginleştirme sonrasında da ulaşıldığı, gözle optimizasyon sonucunda 3-4 kademede gerçekleştirilen ayırmaların detaylı optmizasyon ile iki kademede gerçekleştirilebileceği belirtilmiştir.

Bununla birlikte, kuru zenginleştirme işlemlerinde, toplam nemden ziyade yüzey neminin önemli olduğu, taneler arası adhezyon kuvvetlerinin fazla olmadığı, tanelerin birbirlerine yapışmadığı nem değerlerinde ayırmanın mümkün olduğu da ayrıca ortaya konmuştur. Dolayısıyla, Soma-İmbat, Soma-Eynez (AO), ocaklarına ait 2 adet kömür numunesi ile kuru zenginleştirme çalışmaları -50+15, -15+4 ve -4, 4+1 mm boyut gruplarında gerçekleştirilmiştir. Kuru zenginleştirme esnasında çalışma şartları gözle optimize edilmiş ve ayırma 2-4 kademede gerçekleştirilmiştir. Her ne kadar 2-4 kademede gerçekleştirilse de, detaylı optimizasyonla etkin ayırma 1-2 kademede gerçekleştirilebilir. Yapılan ayırma sonucunda ürün kaliteleri; kül ve üst ısıt değeri (kuru bazda) bazında değerlendirilmiştir. Farklı boyut gruplarında yapılan ayırma işlemleri sonucu elde edilen ürünler üzerinde tromp eğrileri oluşturularak performans etüdları de gerçekleştirilmiştir.

6.1. Soma Kömür Örnekleri Üzerinde Yapılan Kuru Zenginleştirme Çalışmaları

Bu bölümde İmbat, Eynez Açık Ocak Soma bölgesi kömürlerinin yıkanabilirlik testleri ve kuru zenginleştirme çalışmaları yer almaktadır.

6.1.1. Soma İmbat kömürünün kuru zenginleştirilmesi

6.1.1.1. Soma İmbat kömür numunesinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Alınan yeni kömür numunesi, -50 mm boyutuna indirilmiştir. Yıkama tesisinden alındığı halde, -150 mm boyut grubunda olan kömür numunesi 50 mm'lik elekten elenmiş, elek üstünde kalan iri boyutlu malzeme çeneli kırıcı kullanılarak kırılıp elenmiş ve kömür numunesinin tamamı -50 mm olacak şekilde hazırlanmıştır. -150 mm boyutlu tüvenan kömürün elek analizi, fraksiyonel kül ve kalorifik değerler Çizelge 6.1'de sunulmuştur.

Çizelge 6.1. Soma-İmbat ocak tüvenan kömürün bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri.

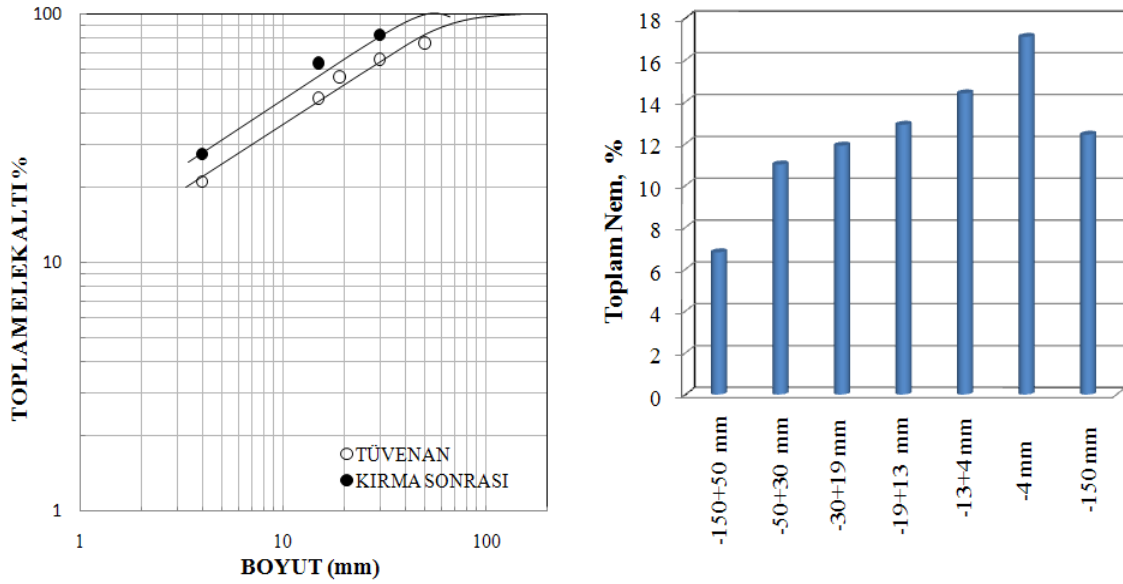
Boyut (mm)	Miktar, %	Nem, %	Kül, %	Kalorifik Değer* kcal/kg
+50	23.6	6.8	57.91	1114
-50+30	10.5	11.0	49.95	2358
-30+19	10.0	11.9	43.68	2908
-19+13	10.0	12.9	37.78	3445
-13+4	24.7	14.4	40.66	3650
-4	21.3	17.1	42.48	3656
TOPLAM	100.0	12.4	46.11	2822

*Kuru bazda üst ısı değeri

Çizelge 6.1'e göre kül içeriklerinin ince boyutlarda azaldığı, buna karşılık kalorifik değerlerin arttığı gözlenmiştir. Ayrıca iri boyutlarda kömür neminin (Şekil 6.1) düşük olması da yine baskın olarak inorganik madde içeriğinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Çizelge 6.1'de verilen kalorifik değer değişimleri; kırma olmadan kuru zenginleştirme düşünüldüğünde; +50 mm'lik fraksiyonun (kalorifik değer 1114 kcal/kg) kuru zenginleştirme öncesinde sistemden eleme yoluyla ayrılabilceğini ve şist ya da mikst ürünü karışım malzemesi olarak doğrudan kullanılabileceğini işaret etmektedir.

-150 mm boyutlu tüvenan Soma-İmbat kömürüne ait fraksiyonel toplam nem değişimleri Şekil 6.1'de verilmektedir. Tüvenan kömür nemi % 12 civarında olup, tesis verileri yaz ayları nem ortalaması ile örtüşmektedir. Bu nem değerlerinin kış aylarında 0.5-2 puan düştüğü de tesis yetkilileri tarafından ifade edilmiştir. Fraksiyonel olarak nem değişimleri incelenecek olursa; -4 mm boyut grubu haricinde diğer boyut gruplarının kurutma işlemine gerek olmadan doğrudan

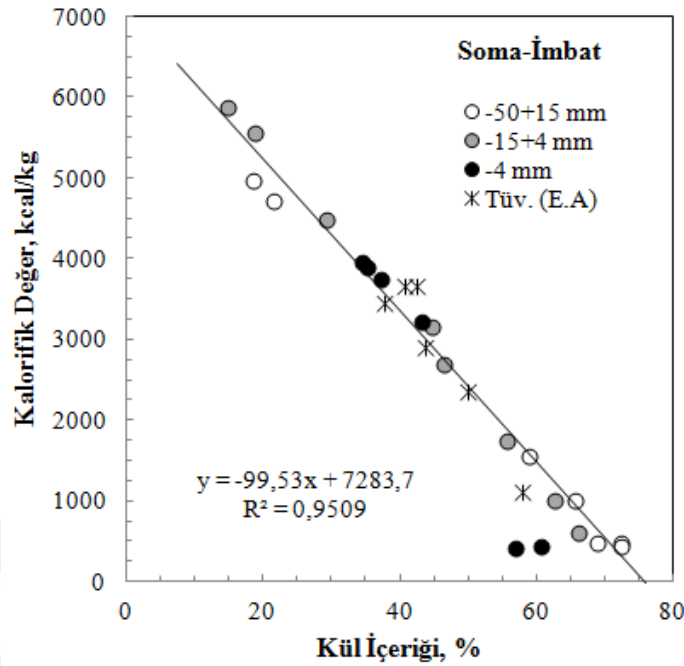
kuru olarak zenginleştirilmesi mümkündür Ancak eleme sonrasında -4 mm boyut grubunun kuru zenginleştirme öncesinde kurutma işlemine tabi tutulması gerektiği saptanmıştır.



Şekil 6.1. Soma-İmbat kömürünün tüvenan ve -50 mm'ye kırma sonrası ulaşılacak elek analiz sonuçları ve tüvenan kömür numunesinin boyut gruplarına bağlı olarak toplam nem dağılımı.

Şekil 6.1'de ayrıca -50 mm'ye kırılmış İmbat kömürünün boyut dağılımı (elek analizi) verilmiştir. Buna göre; kırılmış malzemede -50+15 mm, -15+4 mm ve -4 mm boyut gruplarının oranları sırasıyla; % 36.5, 36.2 ve 27.3 olarak tespit edilmiştir.

Fraksiyonlardaki inorganik madde değişimini görebilmek amacıyla; -50+15, -15+4 ve -4 mm boyut grubunda yapılan zenginleştirme ürünleri üzerinde yapılan kül-kalorifik değer ilişkisi lineer olarak saptanmış olup, inorganik madde türlerinin her boyut fraksiyonunda gözlendiği tespit edilmiştir (Şekil 6.2) (Bu grafik farklı boyutlarda gerçekleştirilen zenginleştirme ürünlerine ait kül-kalorifik değer ilişkilerinde görülmesi muhtemel sapmaları açıklamak amacıyla çizilmiştir).



Şekil 6.2. Soma-İmbat kömürü farklı boyut gruplarında yapılan zenginleştirme sonucunda ulaşılan kül-kalorifik değer ilişkisi.

6.1.1.2. Soma İmbat kömürünün fraksiyonel bazda yıkanabilirlikleri

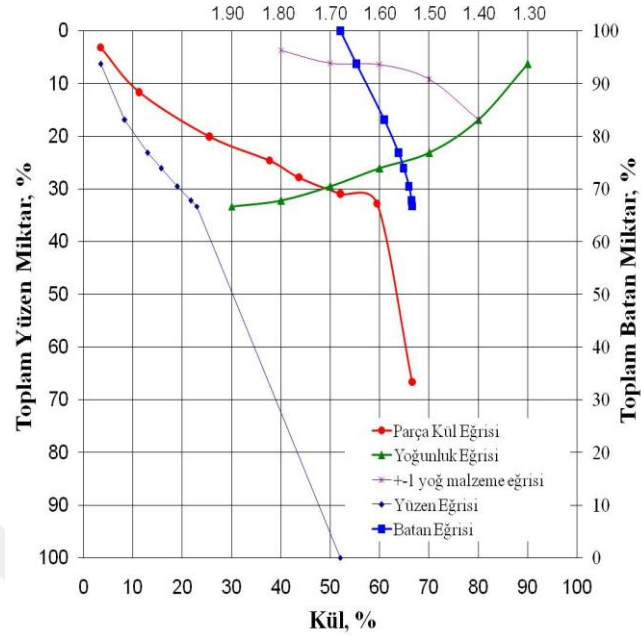
Soma-İmbat Kömürünün yıkanabilirlikleri toplamda 250 kg kömür numunesi kullanılarak tekrarlanmış ve sonuçlar Çizelge 6.2 ve Şekil 6.3-6.6'da farklı boyut grupları ve tüvenan malzeme için ayrı ayrı verilmiştir.

Kuru zenginleştirme açısından incelendiğinde; kuru zenginleştirme ayırma yoğunluğunun $>1.80 \text{ g/cm}^3$ olduğu düşünülürse; bu yoğunlukta yapılacak olan kuru zenginleştirme işlemlerinin etkin olarak yapılabileceği; -50+15, -15+4 ve -4 mm boyut gruplarındaki ayırmaların sırasıyla kolay, güç ve kolay olacağı tespit edilmiştir (bu yoğunluktaki ayırmalarda grafikten okunan yakın yoğunluk aralığındaki malzeme miktarları sırasıyla; %4, %18 ve %3 olarak saptanmıştır).

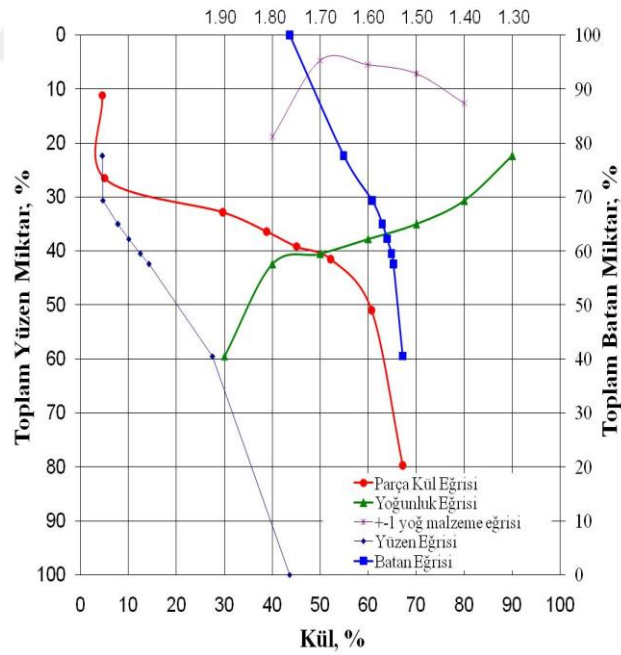
Soma İmbat kömürü üzerinde tekrarlanan yıkanabilirlik testinin, daha önce yapılan yıkanabilirlik testiyle karşılaştırılması yapıldığında (-50+1 mm için); hemen hemen aynı sonuçlara ulaşıldığı saptanmıştır.

Çizelge 6.2. Soma İmbat kömürü yıkanabilirliği.

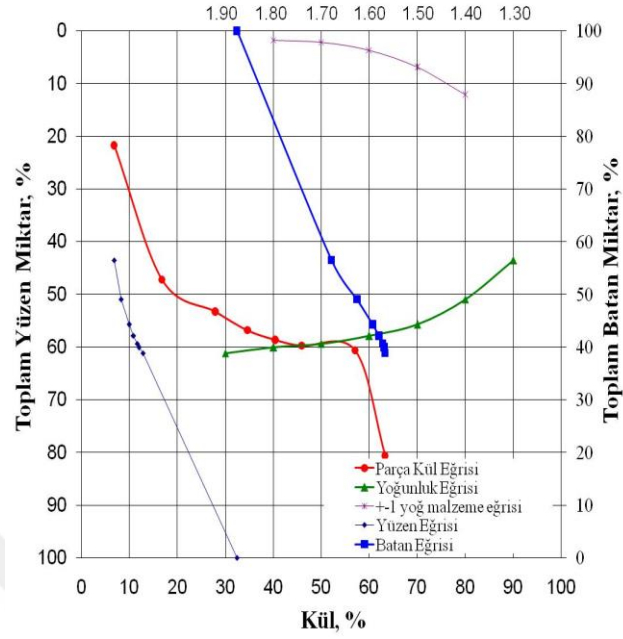
	Yoğunluk Aralığı g/cm ³	Yoğunluk Malzeme		Aralığındaki M*K	Toplam Yüzen			Toplam Batan		
		M %	K %		%ΣM	ΣM*K	ΣKül %	ΣM %	ΣM*K	ΣKül %
-50+15 mm	-1,3	6.3	3.40	21.5	6.3	21.5	3.4	100.0	5203.8	52.0
	+1,3-1,4	10.6	11.21	118.8	16.9	140.3	8.3	93.7	5182.3	55.3
	+1,4-1,5	6.2	25.50	158.8	23.2	299.2	12.9	83.1	5063.5	61.0
	+1,5-1,6	2.9	37.69	110.4	26.1	409.5	15.7	76.8	4904.6	63.8
	+1,6-1,7	3.5	43.61	151.7	29.6	561.3	19.0	73.9	4794.3	64.9
	+1,7-1,8	2.7	52.07	139.5	32.3	700.8	21.7	70.4	4642.5	65.9
	+1,8-1,9	1.1	59.45	62.6	33.3	763.4	22.9	67.7	4503.0	66.5
	+1,9	66.7	66.58	4440.4	100.0	5203.8	52.0	66.7	4440.4	66.6
	TOPLAM	100.0	52.04							
-15+4 mm	-1,3	22.4	4.56	102.2	22.4	102.2	4.6	100.0	4361.2	43.6
	+1,3-1,4	8.3	5.04	41.6	30.7	143.8	4.7	77.6	4259.1	54.9
	+1,4-1,5	4.4	29.7	130.1	35.0	273.9	7.8	69.3	4217.5	60.8
	+1,5-1,6	2.7	38.84	106.6	37.8	380.5	10.1	65.0	4087.3	62.9
	+1,6-1,7	2.8	45.05	124.8	40.6	505.2	12.5	62.2	3980.7	64.0
	+1,7-1,8	1.9	52.15	99.9	42.5	605.2	14.2	59.4	3856.0	64.9
	+1,8-1,9	17.0	60.67	1033.2	59.5	1638.4	27.5	57.5	3756.0	65.3
	+1,9	40.5	67.23	2722.9	100.0	4361.2	43.6	40.5	2722.9	67.2
	TOPLAM	100.0	43.61							
-4+0.5 mm	-1,3	43.5	6.78	295.0	43.5	295.0	6.8	100.0	3239.7	32.4
	+1,3-1,4	7.4	16.76	124.7	50.9	419.7	8.2	56.5	2944.8	52.1
	+1,4-1,5	4.8	27.86	133.0	55.7	552.6	9.9	49.1	2820.1	57.5
	+1,5-1,6	2.2	34.62	75.0	57.9	627.7	10.8	44.3	2687.1	60.7
	+1,6-1,7	1.5	40.39	60.3	59.4	687.9	11.6	42.1	2612.1	62.0
	+1,7-1,8	0.7	45.89	31.7	60.1	719.6	12.0	40.6	2551.8	62.8
	+1,8-1,9	1.1	57.03	62.0	61.2	781.7	12.8	39.9	2520.1	63.1
	+1,9	38.8	63.28	2458.0	100.0	3239.7	32.4	38.8	2458.0	63.3
	TOPLAM	100.0	32.40							
BİRLEŞTİRİLMİŞ	-1,3	22.3	4.74	105.7	22.3	105.7	4.7	100.0	4325.9	43.3
	+1,3-1,4	8.9	10.49	93.2	31.2	199.0	6.4	77.7	4220.1	54.3
	+1,4-1,5	5.2	27.66	142.8	36.3	341.8	9.4	68.8	4126.9	60.0
	+1,5-1,6	2.7	37.27	98.9	39.0	440.7	11.3	63.7	3984.1	62.6
	+1,6-1,7	2.7	43.25	115.9	41.7	556.6	13.4	61.0	3885.2	63.7
	+1,7-1,8	1.9	50.41	93.8	43.5	650.4	14.9	58.3	3769.3	64.6
	+1,8-1,9	6.8	59.23	405.5	50.4	1055.9	21.0	56.5	3675.5	65.1
	+1,9	49.6	65.91	3270.0	100.0	4325.9	43.3	49.6	3270.0	65.9
	TOPLAM	100.0	43.26							



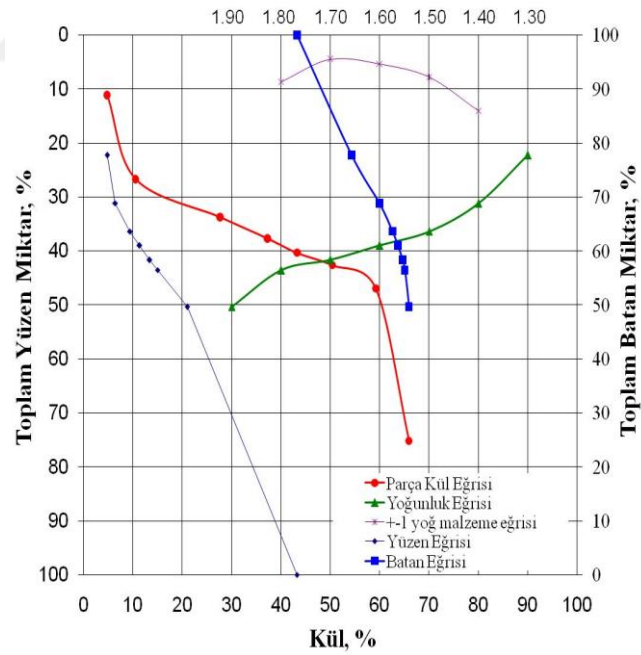
Şekil 6.3. İMBAT -50+15 mm kömürünün yıkanabilirliği.



Şekil 6.4. İMBAT -15+4 mm kömürünün yıkanabilirliği.



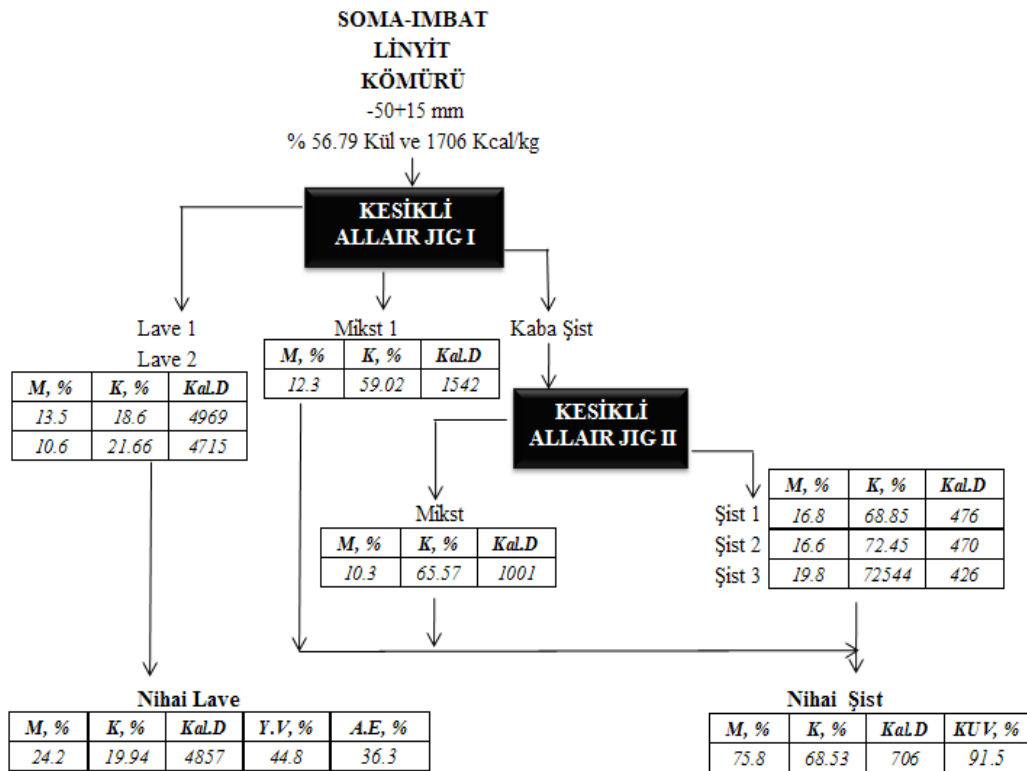
Şekil 6.5. İMBAT -4+0.5 mm kömürünün yıkanabilirliği.



Şekil 6.6. İMBAT kömürünün yıkanabilirliği.

6.1.1.3. Soma İmbat kömürleri ile fraksiyonel bazda kuru zenginleştirme sonuçları

Soma İmbat kömür numunesi üzerinde, -50+15, -15+4 ve -4 mm boyut gruplarında, Kesikli Allair jigi, Sürekli Allair jigi ve Akaflo aerodinamik ayırıcı kullanılarak gerçekleştirilen kuru zenginleştirme işlemleri akım şemaları ve malzeme balansı sırasıyla, Şekil 6.7, 6.8, 6.9 ve 6.10'da sunulmuştur. -50 mm boyutlu Soma-İmbat kömürünün genel akım şeması ve malzeme balansı ise Şekil 6.11'de verilmiştir. Bu şekillerde verilen ısı değerleri kuru bazda verilmiştir.

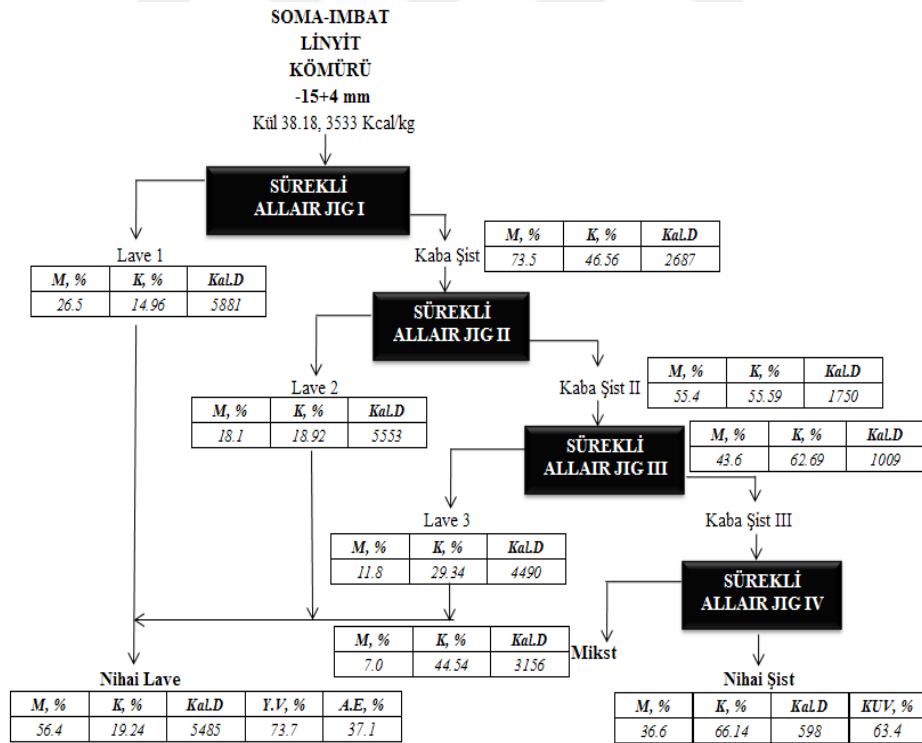


Şekil 6.7. Soma-İmbat kömürü ile -50+15 mm boyut grubunda gerçekleştirilen Allair Jigi ile zenginleştirme akım şeması ve malzeme balansı (Toplam nem: % 6.3). (YV: Yanabilir verim, %, KUV: Kül uzaklaştırma verimi, % ve AE: Ayırma etkinliği, %).

Şekil 6.7'de verilen -50+15 mm boyut grubunda kesikli Allair jigi kullanılarak iki kademe gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonuçları incelenecek olursa; yaklaşık % 57 kül ve 1700 kcal/kg kalorifik değere sahip olan tüvenan kömür numunesinden, birinci kademe sonunda % 20 kül içeriğine sahip 4857 kcal/kg ısı değeri (kuru bazda) temiz bir lave yaklaşık % 45 yanabilir verim ve % 36.3 ayırma etkinliği ile kazanılmıştır. Birinci devreden alınan kaba şiste yapılan süpürme devresi ile şistin kül içerikleri % 70 seviyelerine çıkarılmış ve bu durumda elde edilen şistin (beslenenin 53.2'si) kalorifik değeri 450 kcal/kg civarında olmuştur. Tek

kademe ayırma sonrasında beslenenin % 75.8'i % 68.53 kül içeriği ve 706 kcal/kg ısıl değerlikli şist olarak % 91.5 kül uzaklaştırma verimi ile atılabilmektedir. Bu durumda süpürme kademesinin gerekliliği müşteri kurumun tasarrufuna bırakılmıştır.

Şekil 6.8'de verilen -15+4 mm boyut grubunda kesikli Allair jigi kullanılarak iki kademede gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonuçları incelenecek olursa; Bu boyut grubunda yapılacak kademeli kuru zenginleştirme ile (burada 4 kademe verilmesine karşılık ayırma şartları optimize edildiğinde aynı başarının iki kademede de gerçekleştirilebileceği daha önceki dönem gelişme raporlarında da verilmiştir); % 15 kül içerikli ve 5881 kcal/kg ısıl değerli lave üretiminin mümkün olduğu, ilave süpürme devreleri ile yanabilir verimin % 73.7'ye yükseltilebileceği bu durumda % 20 kül ve 5485 kcal/kg ısıl derlikli lave üretiminin yapılabileceği tespit edilmiştir. Süpürme devreleri sonunda beslenenin % 36.6'sı, % 63,4 kül uzaklaştırma verimi (KUV) ile % 66.14 kül, 598 kcal/kg ısıl değerlikli bir şist olarak atılabilmektedir. Ayırma etkinliğinin ise % 37.1 seviyelerinde olduğu saptanmıştır.



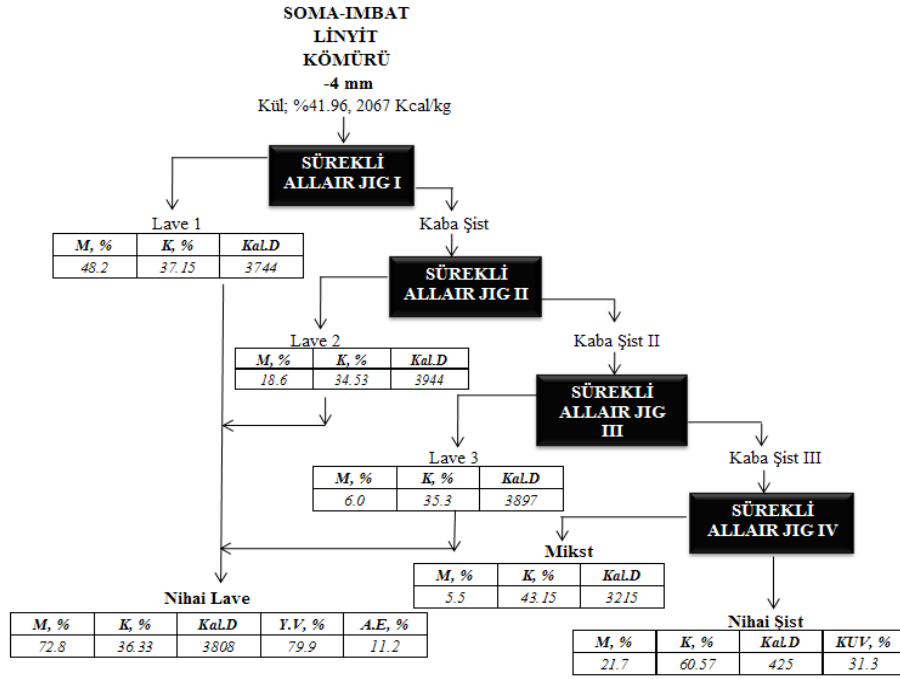
Şekil 6.8. Soma-İmbat kömürü ile -15+4 mm boyut grubunda gerçekleştirilen Allair Jigi ile zenginleştirme akım şeması ve malzeme balansı (Toplam Nem: % 8.4). (YV: Yanabilir verim, %, KUV: Kül uzaklaştırma verimi, % ve AE: Ayırma etkinliği, %).

-4 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme işlemleri, bu boyutun nemli olması dolayısıyla açık havada kurutulduktan sonra gerçekleştirilmiştir. Bu boyut ile Allair ve akaflow aerodinamik ayırıcılarında yapılan kuru zenginleştirme çalışmaları sonuçları ise Şekil 6.9 ve 6.10'da verilmiştir. Şekil 6.9 ve 6.10 incelendiğinde, bu boyutta yapılacak kuru zenginleştirme işlemleri ile temiz bir lave alımının mümkün olmadığı, % 36-39 kül içerikli ve 3600-3800 kcal/kg ısı değeri mikst kalitesinde bir ürünün kazanılabileceği saptanmıştır. Her iki cihazın kullanımı sonucu elde edilen ürünlerin miktar ve kalite olarak karşılaştırılması sonrasında, Allair jiginin, akaflow cihazına oranla biraz daha temiz lave ve daha yüksek küllü şistlerin kazanılmasına olanak sağladığı tespit edilmiştir.

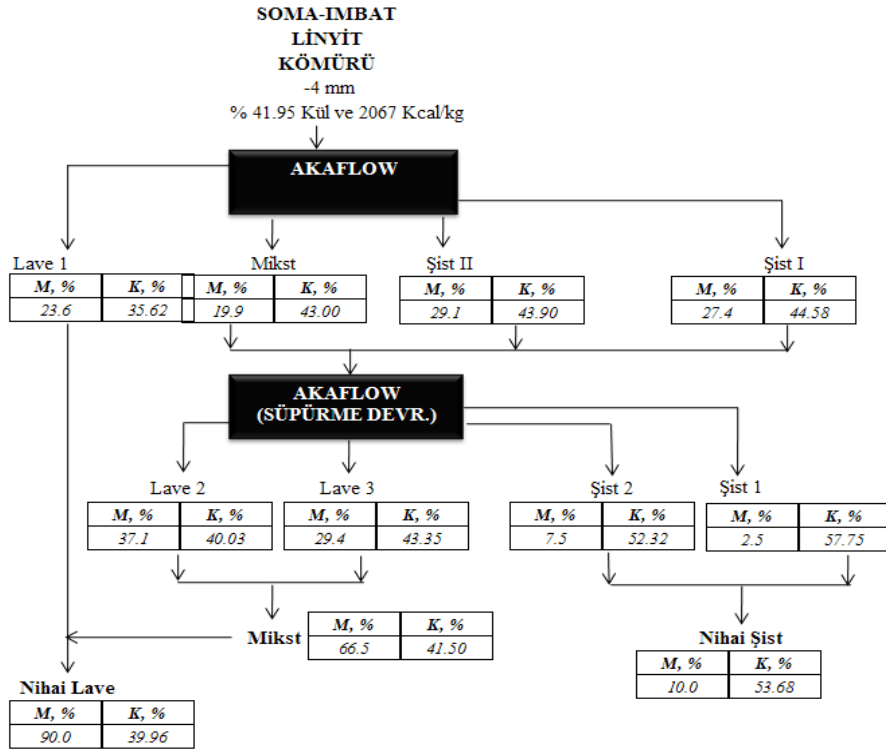
Şekil 6.11'de verilen -50 mm nihai zenginleştirme akım şeması ve malzeme balansı, Soma İmbat Kömürü üzerinde, üç farklı boyutta gerçekleştirilen kuru zenginleştirme işlemleri sonucunda; beslenenin % 29.3'ünün % 19.45 kül içeriği ve 5296 kcal/kg ısı değeri ile lave ürünü olarak kazanılabileceği, % 46.8'inin 66.85 kül içeriği ve 640 kcal/kg ısı değeriğe sahip bir şist olarak atılabileceği tespit edilmiştir. Zenginleştirme işlemi sonrasında beslenenin % 23.9'u oranında bir miktar mikst elde edilmiştir. Bu miktarın % 19.9'unu -4 mm fraksiyonunun zenginleştirilmesinden elde edilen lave oluşturmaktadır. Dolayısıyla -4 mm fraksiyonun kuru zenginleştirme işlemine girmeden doğrudan mikst olarak değerlendirilmesinin de (termik santral kömürü olarak kullanılabilir) bir alternatif olarak sunulabileceği, ancak bunun uygulamasının müşteri kurumun inisiyatifine bırakılması gerektiği düşünülmüştür.

Nihai zenginleştirme sonucu ulaşılan yanabilir ve kül uzaklaştırma verimleri sırasıyla % 71.3 ve % 68 seviyelerinde olup, % 39.3'lük bir ayırma etkinliği derecesi elde edilmiştir. Bu da kuru zenginleştirmenin başarıyla uygulandığını ifade etmektedir.

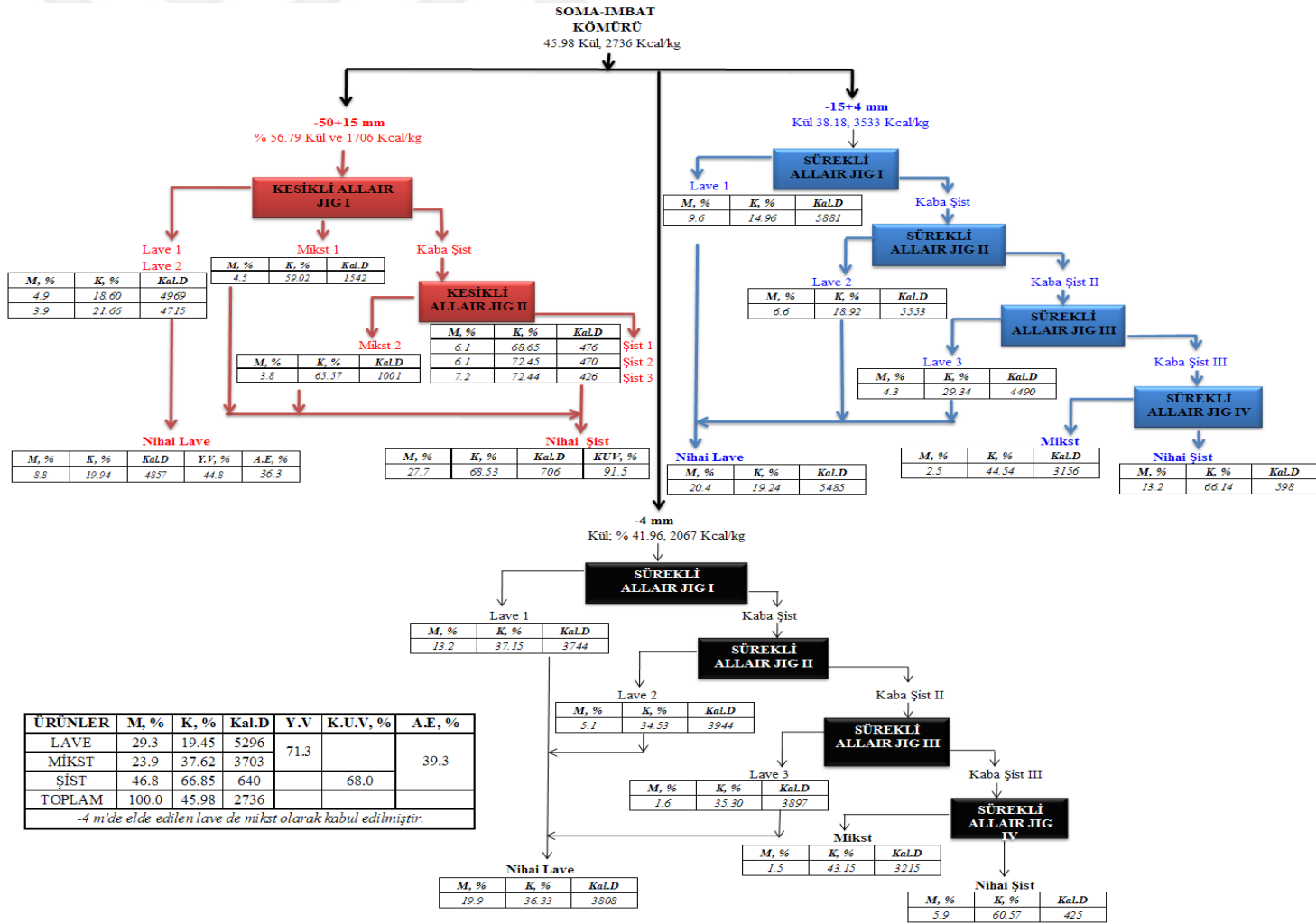
Bununla birlikte, kuru zenginleştirme işlemi ile, Soma-İmbat kömürünü yıkayan mevcut tesisde üretilen şiste benzer bir ürünün elde edilebileceği de ayırmanın başarılı olduğunu gösteren bir diğer unsurdur.



Şekil 6.9. Soma-İmbat kömürü ile -4 mm boyut grubunda gerçekleştirilen Allair Jigi ile zenginleştirme akım şeması ve malzeme balansı (Toplam nem: % 7.2). (YV: Yanabilir verim, %, KUV: Kül uzaklaştırma verimi, % ve AE: Ayırma etkinliği, %).



Şekil 6.10. Soma-İmbat kömürü ile -4 mm boyut grubunda gerçekleştirilen Akaflow aerodinamik ayırıcı ile zenginleştirme akım şeması ve malzeme balansı (Toplam Nem: % 7.2). (YV: Yanabilir verim, %, KUV: Kül uzaklaştırma verimi, % ve AE: Ayırma etkinliği, %).



Şekil 6.11. Soma-İmbat kömürü ile gerçekleştirilen kuru zenginleştirme akım şeması ve malzeme balansı.

6.1.2. Soma Eynez açık ocak (AO) kömürünün kuru zenginleştirilmesi

6.1.2.1. Soma Eynez AO kömür numunesinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Soma-Eynez Açık Ocak İşletmesine ait yeni taze numuneler, Mayıs 2012 tarihinde alınmıştır. Alınan taze kömür numunesi, -50 mm boyutuna indirilmiştir. Tamamı -150 mm boyutunda olan tüvenan kömürün elek analizi, fraksiyonel kül ve kalorifik değerleri Çizelge 6.3’de sunulmuştur.

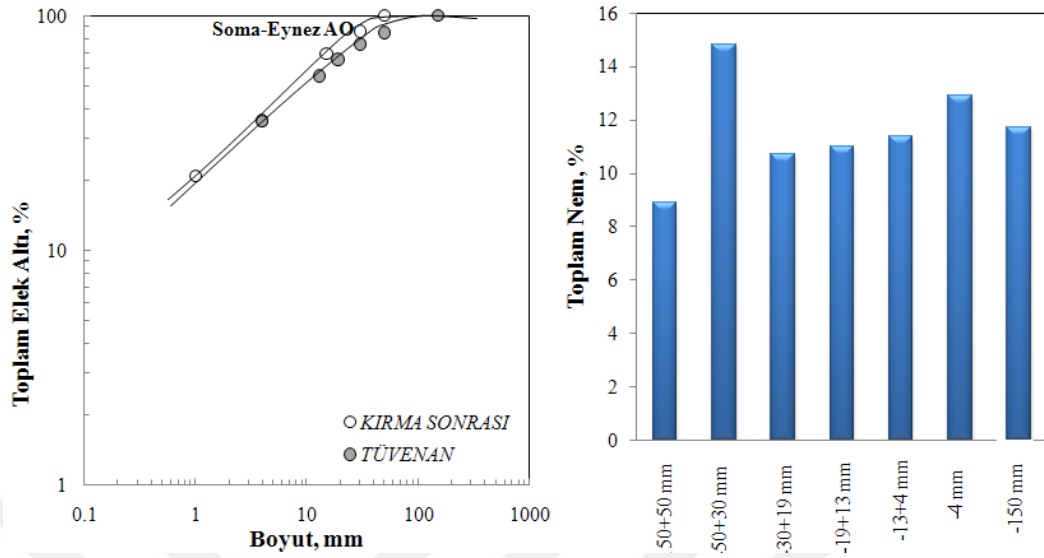
Çizelge 6.3. Soma-Eynez AO tüvenan kömürün bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Boyut (mm)	Miktar, %	Nem, %	Kül, %	Kalorifik Değer* kcal/kg
+50	15.7	8.9	33.78	3704
-50+30	9.0	14.8	42.74	3252
-30+19	10.4	10.7	25.63	4681
-19+13	9.8	11.0	30.59	4353
-13+4	19.8	11.4	29.34	4232
-4	35.2	12.9	32.41	4278
TOPLAM	100.0	11.7	32.07	4135

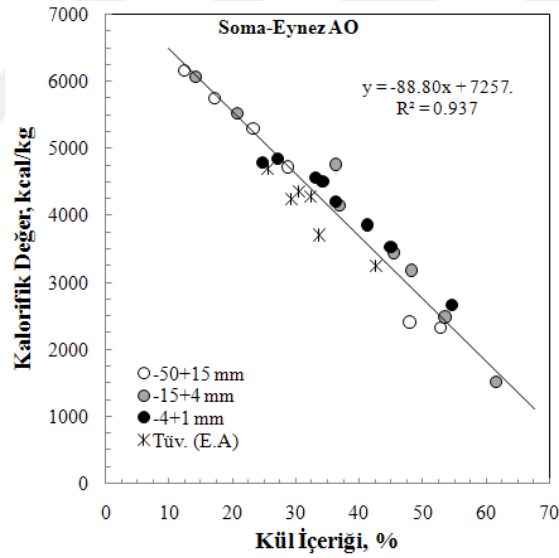
**Kuru bazda üst ısı değer*

Çizelge 6.3’den izleneceği üzere; tüvenan kömür kül içeriğinin % 32.07, kuru bazda üst ısı değerinin ise 4135 kcal/kg olduğu tespit edilmiştir. Fraksiyonel olarak değerlendirildiğinde kül içeriğinin hemen hemen homojen dağılım gösterdiği anlaşılmaktadır. Tüvenan kömürün toplam nem içeriği ise % 11.7 seviyelerinde olup, toplam nemin ince boyut gruplarında bir miktar arttığı ancak, genel olarak tüm boyut gruplarının, ön kurutma işlemi yapılmadan doğrudan kuru zenginleştirme işlemine verilebileceği kararlaştırılmıştır. Tüvenan ve -50 mm’ye kırılmış Soma Eynez AO kömürünün boyut dağılımları Şekil 6.12’de verilmiştir. -50 mm’ye kırma sonrasında kömür boyut dağılımında önemli değişiklikler olmadığı, tüvenan haldeki kömürün daha çok ince boyutlarda dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. Buna göre; kırılmış mazlemede -50+15 mm, -15+4 mm, -4+1 ve -1 mm mm boyut gruplarının oranları sırasıyla; % 31.2, % 33.2, % 15.0 ve % 20.6 olarak tespit edilmiştir.

Soma-Eynez AO kömürünün, farklı boyut gruplarında yapılan zenginleştirme sonucunda ulaşılan kül-kalorifik değer ilişkisi Şekil 6.13’de verilmiştir. Şekil 6.13’den izlendiği üzere kül-kalorifik değer ilişkisinde boyut gruplarına bağlı olarak bir değişim gözlenmediği ve kül-kalorifik değer ilişkisinin lineer olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.12. Soma-Eynez AO kömürünün tüvenan ve -50 mm'ye kırma sonrası ulaşılan elek analiz sonuçları ve tüvenan kömür numunesinin boyut gruplarına bağlı olarak toplam nem dağılımı.



Şekil 6.13. Soma-Eynez AO kömürü farklı boyut gruplarında yapılan zenginleştirme sonucunda ulaşılan kül-kalorifik değer ilişkisi.

6.1.2.2. Soma Eynez AO kömürünün fraksiyonel bazda yıkanabilirlikleri

Soma-Eynez AO Kömürünün yıkanabilirlikleri toplamda 250'şer kg'lık kömür numunesi kullanılarak tekrarlanmış ve sonuçlar Çizelge 6.4 ve Şekil 6.14-6.17'de farklı boyut grupları ve tüvenan malzeme için ayrı ayrı verilmiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, Soma-Eynez AO kömürü yıkanabilirliğinin oldukça kolay olduğu belirlenmiştir. Bu karakteristik -50+15 ve -15+4 mm için geçerli olmakla birlikte, -4+0.5 mm boyutlu kömürün yıkanabilirliğinin özellikle yüksek ayırma yoğunluklarında kısmen zorlaştığı ve orta derece yıkanabilir özellikte olduğu tespit edilmiştir.

Soma Eynez AO kömürü üzerinde tekrarlanan yıkanabilirlik testinin, daha önce yapılan yıkanabilirlik testiyle karşılaştırılması yapıldığında (-50+1 mm için); hemen hemen aynı sonuçlara ulaşıldığı 1.5 gr/cm^3 ve daha yüksek ayırma yoğunluklarında yıkanabilirliğin kolay olduğu saptanmıştır

6.1.2.3. Soma Eynez AO kömürleri ile fraksiyonel bazda kuru zenginleştirme deneyleri

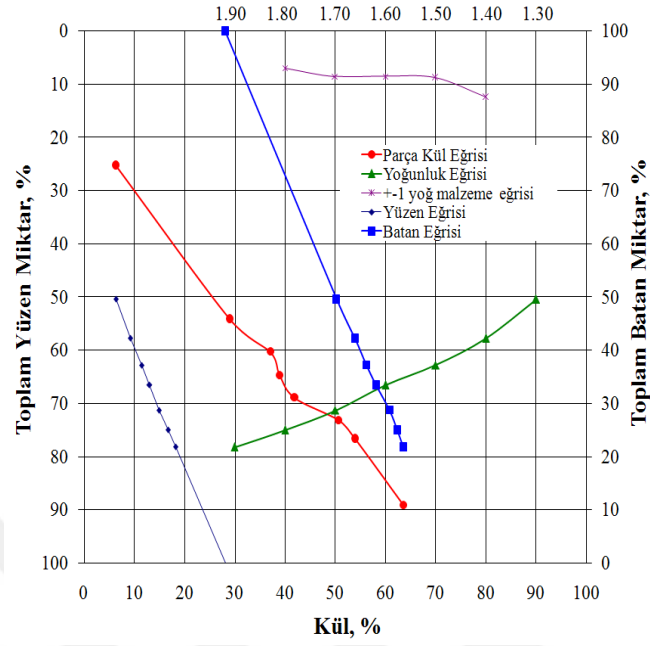
Soma-Eynez AO kömürü ile -50+15, -15+4 ve -4+1 mm boyut gruplarında kesikli ve sürekli çalışan Allair jigi ve Akaflo aerodinamik ayırıcılar ile gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonucunda oluşturulan zenginleştirme akım şeması ve malzeme balansı Şekil 6.18-6.20'de fraksiyonel olarak, Şekil 6.21'da ise nihai akım şeması ve malzeme balansı olarak verilmiştir.

Şekil 6.18'de verilen -50+15 mm boyut grubunda kesikli Allair jigi kullanılarak gerçekleştirilen kuru zenginleştirme testleri sonucunda; % 20.18 kül içerikli ve 5515 kcal/kg üst ısı değerli lave alınmıştır. Beslenenin % 35.4'ü % 59.3 kül uzaklaştırma verimi ile % 53.39 kül içeriği ve 2318 kcal/kg üst ısı değerle şist olarak atılmıştır. Her ne kadar temiz bir lave alınsa da atılan şistin ısı değeri oldukça yüksektir ve bu ürün müşteri kurumun tasarrufunda termik santral yakıtı olarak da değerlendirilebilir.

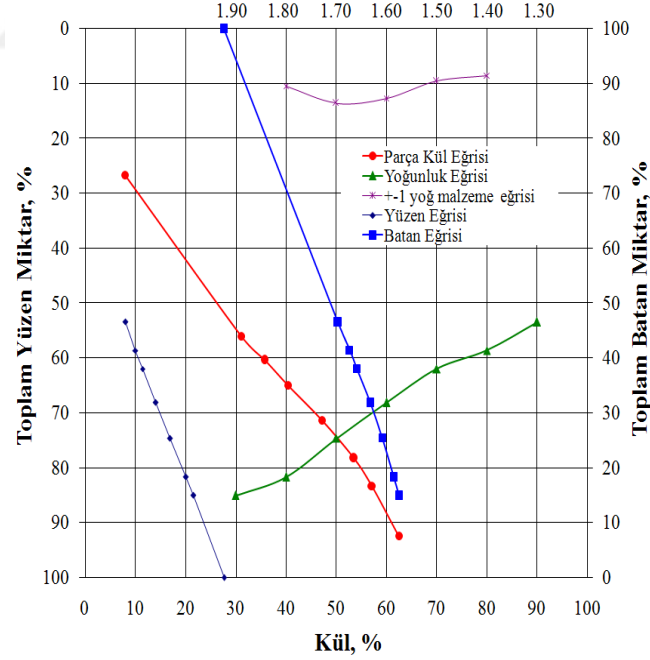
-15+4 mm boyut grubunda sürekli çalışan Allair Jigi ile yapılan kuru zenginleştirme sonrasında, beslenenin % 62'si oranında lave ürünü, % 17.06 kül ve 5833 kcal/kg üst ısı değerle kazanılmıştır. Bu devrede ayrıca beslenenin % 24.8'i oranında bir mikst ürünü de elde edilmiştir. Bu mikst ürününün kül içeriği %41.23 üst ısı değeri ise 4066 kcal/kg olarak belirlenmiştir. Bu devrede atılan şistin kül içeriği % 61.59 üst ısı değeri ise 1525 kcal/kg olarak belirlenmiştir (Şekil 6.19). Bu şistin de yine termik santral yakıtı olarak karışım halinde kullanılması ve o şekilde değerlendirilmesi müşteri kurumun tasarrufuna bırakılmıştır.

Çizelge 6.4. Soma Eynez AO kömürü yıkanabilirliği.

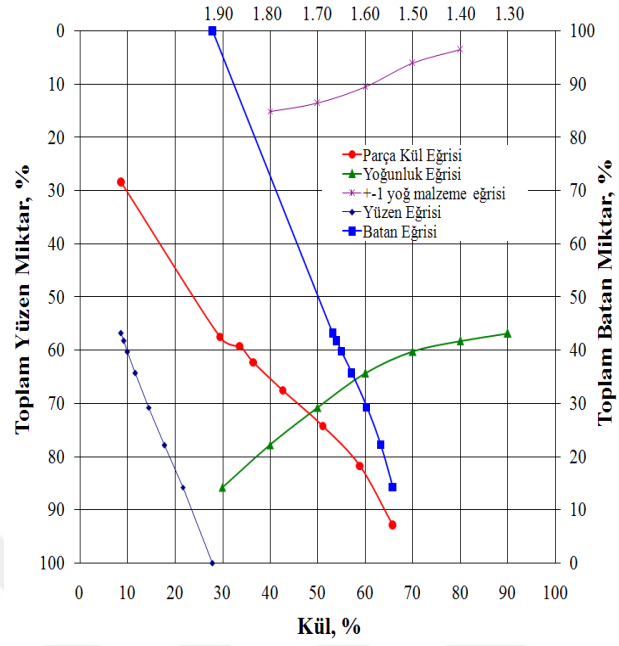
	Yoğunluk Aralığı g/cm ³	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme			Toplam Yüzen		Toplam Batan			
		M %	K %	M*K	%ΣM	ΣM*K	ΣKül %	ΣM %	ΣM*K	ΣKül %
-50+15 mm	-1,3	50.4	6.32	318.8	50.4	318.8	6.3	100.0	2810.8	28.1
	+1,3-1,4	7.3	29.01	212.6	57.8	531.4	9.2	49.6	2491.9	50.3
	+1,4-1,5	5.0	37.14	187.4	62.8	718.8	11.4	42.2	2279.4	54.0
	+1,5-1,6	3.7	38.98	145.5	66.5	864.3	13.0	37.2	2091.9	56.2
	+1,6-1,7	4.8	41.91	199.2	71.3	1063.5	14.9	33.5	1946.4	58.2
	+1,7-1,8	3.7	50.66	189.3	75.0	1252.8	16.7	28.7	1747.3	60.9
	+1,8-1,9	3.2	53.96	170.8	78.2	1423.6	18.2	25.0	1557.9	62.4
	+1,9	21.8	63.61	1387.2	100.0	2810.8	28.1	21.8	1387.2	63.6
	TOPLAM	100.0	28.11							
-15+4 mm	-1,3	53.5	8.02	428.9	53.5	428.9	8.0	100.0	2768.7	27.7
	+1,3-1,4	5.2	31.18	160.9	58.6	589.8	10.1	46.5	2339.8	50.3
	+1,4-1,5	3.4	35.82	120.1	62.0	709.9	11.5	41.4	2178.9	52.7
	+1,5-1,6	6.2	40.5	249.8	68.2	959.8	14.1	38.0	2058.7	54.2
	+1,6-1,7	6.5	47.25	307.5	74.7	1267.3	17.0	31.8	1808.9	56.8
	+1,7-1,8	7.0	53.45	376.7	81.7	1644.0	20.1	25.3	1501.4	59.3
	+1,8-1,9	3.4	57.07	192.8	85.1	1836.8	21.6	18.3	1124.7	61.5
	+1,9	14.9	62.52	931.9	100.0	2768.7	27.7	14.9	931.9	62.5
	TOPLAM	100.0	27.69							
-4+0.5 mm	-1,3	56.8	8.71	494.7	56.8	494.7	8.7	100.0	2793.4	27.9
	+1,3-1,4	1.5	29.5	43.4	58.3	538.2	9.2	43.2	2298.7	53.2
	+1,4-1,5	2.0	33.65	67.3	60.3	605.5	10.0	41.7	2255.3	54.0
	+1,5-1,6	4.1	36.49	148.3	64.3	753.7	11.7	39.7	2188.0	55.1
	+1,6-1,7	6.4	42.75	274.3	70.8	1028.0	14.5	35.7	2039.7	57.2
	+1,7-1,8	7.1	51.14	361.7	77.8	1389.7	17.9	29.2	1765.4	60.4
	+1,8-1,9	8.0	58.86	468.1	85.8	1857.7	21.7	22.2	1403.7	63.3
	+1,9	14.2	65.78	935.7	100.0	2793.4	27.9	14.2	935.7	65.8
	TOPLAM	100.0	27.93							
BİRLEŞTİRİLMİŞ	-1,3	53.7	7.74	415.5	53.7	415.5	7.7	100.0	2780.5	27.8
	+1,3-1,4	4.5	29.91	135.2	58.2	550.7	9.5	46.3	2365.0	51.1
	+1,4-1,5	3.4	35.46	120.5	61.6	671.3	10.9	41.8	2229.8	53.4
	+1,5-1,6	4.7	38.60	179.8	66.3	851.1	12.8	38.4	2109.2	55.0
	+1,6-1,7	5.9	43.98	260.7	72.2	1111.8	15.4	33.7	1929.4	57.2
	+1,7-1,8	6.0	51.76	311.7	78.2	1423.5	18.2	27.8	1668.7	60.1
	+1,8-1,9	4.9	56.74	280.3	83.2	1703.8	20.5	21.8	1357.0	62.4
	+1,9	16.8	64.02	1076.7	100.0	2780.5	27.8	16.8	1076.7	64.0
	TOPLAM	100.0	27.80							



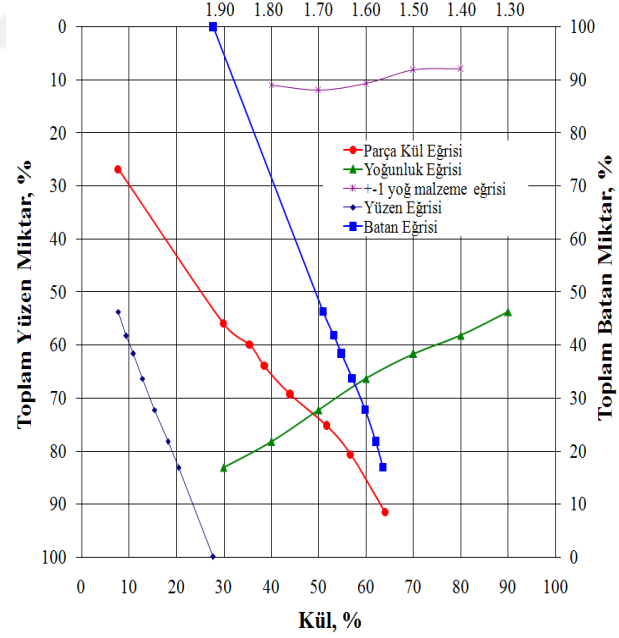
Şekil 6.14. Soma-Eynez AO -50+15 mm kömürünün yıkanabilirliği.



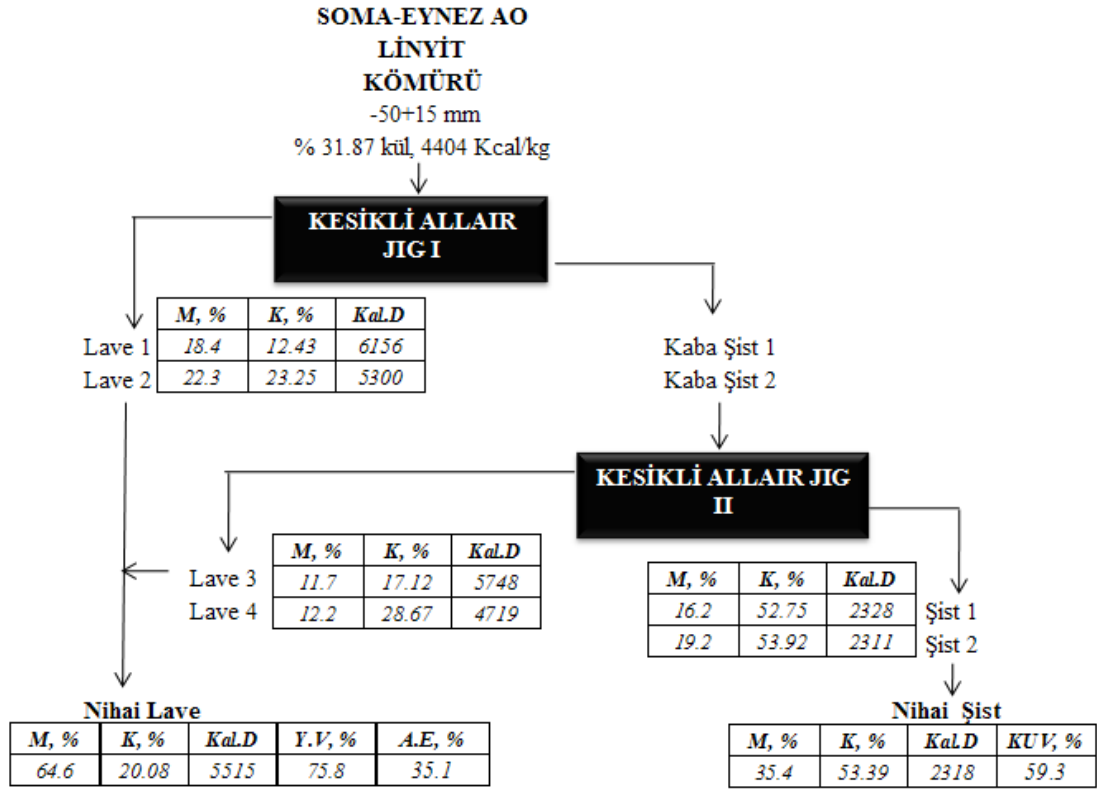
Şekil 6.15. Soma-Eynez AO -15+4 mm kömürünün yıkanabilirliği.



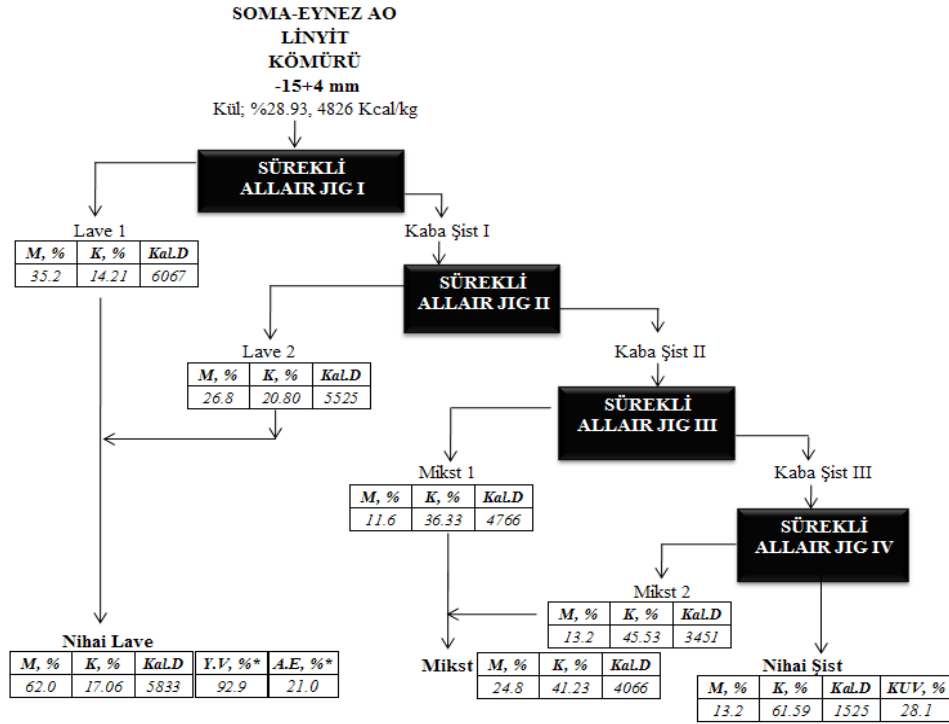
Şekil 6.16. Soma-Eynez AO -4+0.5 mm kömürünün yıkanabilirliği.



Şekil 6.17. Soma-Eynez AO kömürünün yıkanabilirliği.



Şekil 6.18. Soma-Eynez AO kömürü ile -50+15 mm boyut grubunda gerçekleştirilen Allair Jigi ile zenginleştirme akım şeması ve malzeme balansı.



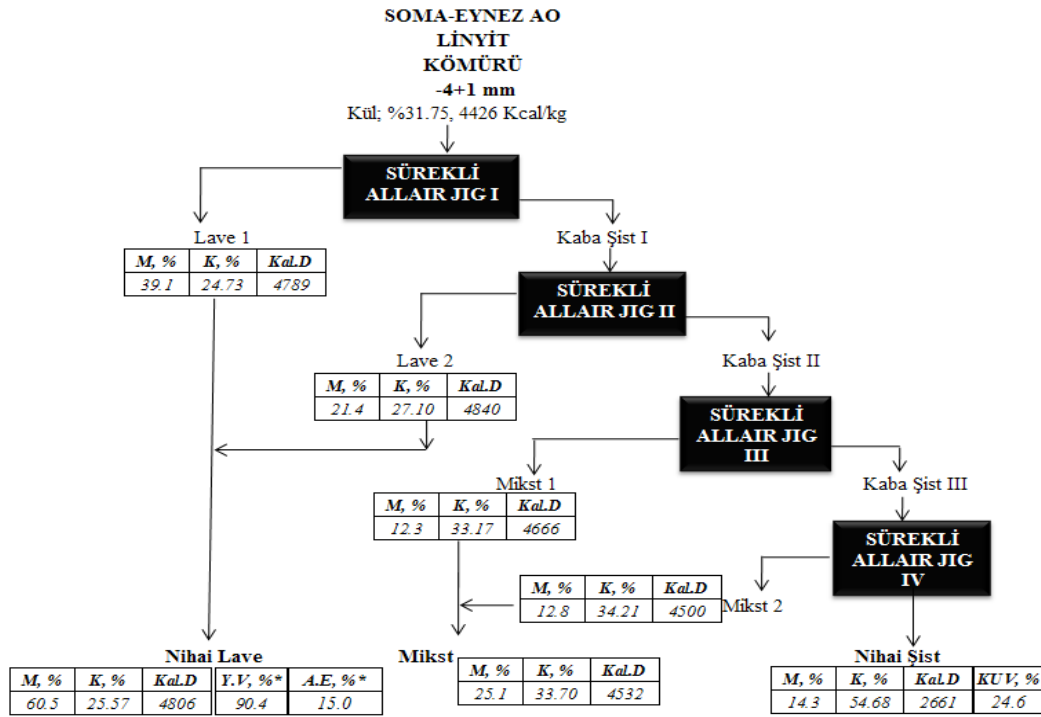
Şekil 6.19. Soma-Eynez AO Kömürü ile -15+4 mm boyut grubunda gerçekleştirilen Allair jigi ile zenginleştirme akım şeması ve malzeme balansı (Toplam nem: %10.4) (YV* ve AE* hesaplamalarında mikst laveye ilave edilmiştir). (YV: Yanabilir verim, %, KUV: Kül uzaklaştırma verimi, % ve AE: Ayırma etkinliği, %).

Şekil 6.20 ve 6.21’de -4+1 mm boyut grubunun sürekli çalışan Allair Jigi ve Akaflo aerodinamik ayırıcılarda kuru olarak zenginleştirme sonuçları ve malzeme balansı verilmiştir.

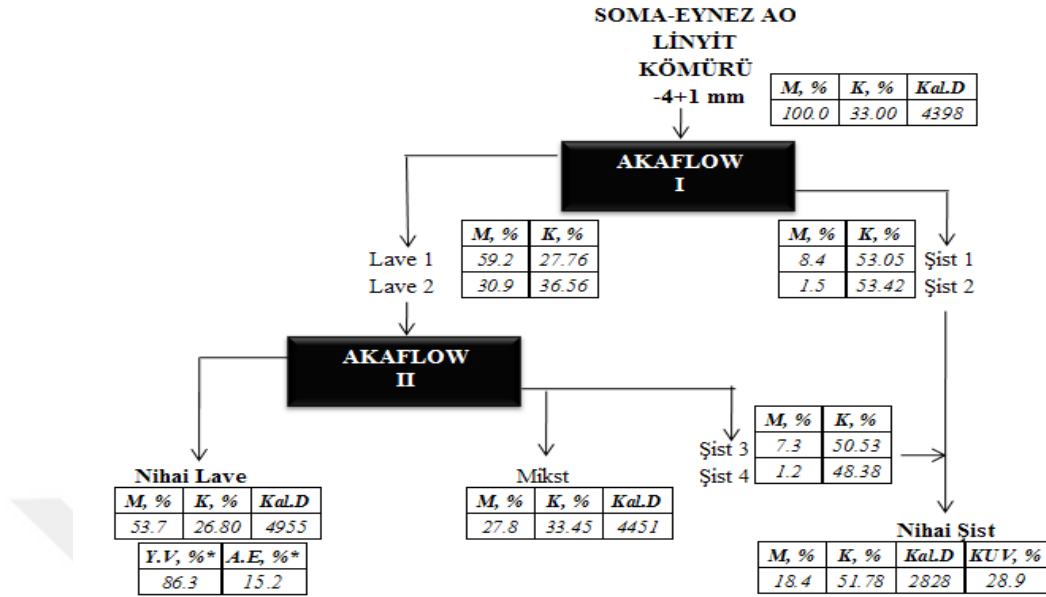
Şekil 6.20 ve 6.21’den görüleceği üzere; Allair jigi ve Akaflo aerodinamik ayırıcılarıyla yapılan zenginleştirmelerde elde edilen lave ve şistin kaliteleri birbirine oldukça yakındır. Ancak Allair jiginin gerek şist gerekse lave kalitelerinde 1-2 puan daha avantajlı olduğu belirlenmiştir. Kazanımlar açısından değerlendirildiğinde; Allair jigi ile beslenenin % 60.5 i ve % 14.3’ü oranlarında lave ve şist ürünleri, % 90.4 yanabilir verim ve % 24.6 kül uzaklaştırma verimleri ile kazanılmıştır. Akaflo aerodinamik ayırıcısı ile yapılan zenginleştirme sonrasında ise yanabilir ve kül uzaklaştırma verimleri sırasıyla % 86.3 ve 28.9 seviyesindedir. Ayırma etkinlikleride her iki cihazda yaklaşık % 15.0 olarak belirlenmiştir.

Yukarıdaki boyut gruplarında ayırma sonuçları değerlendirildiğinde; Şekil 6.21’de verilen nihai kuru zenginleştirme akım şeması ve malzeme balansı oluşturulmuştur. Nihai zenginleştirme akım şemasına göre; -50 mm’deki Soma-Eynez AO kömürünün -50+15, -15+4 ve -4+1 mm boyut gruplarında kuru zenginleştirilmesi ile, beslenenin % 50’si oranında % 19.83

küllü ve 5515 kcal/kg üst ısıl değerli lave alınması mümkün olmaktadır. Atılan şist ise beslenenin % 17.5'ini oluşturmaktadır. Ancak şistin üst ısıl değeri oldukça yüksek olduğundan, şist, -1 mm ve hatta mikst ürününün belirli oranlarda karıştırılarak santral yakıtı olarak kullanılması mümkün gözükmemektedir. Bu opsiyonun değerlendirilmesi yine müşteri kurumunun kendi tasarrufuna bırakılmıştır.



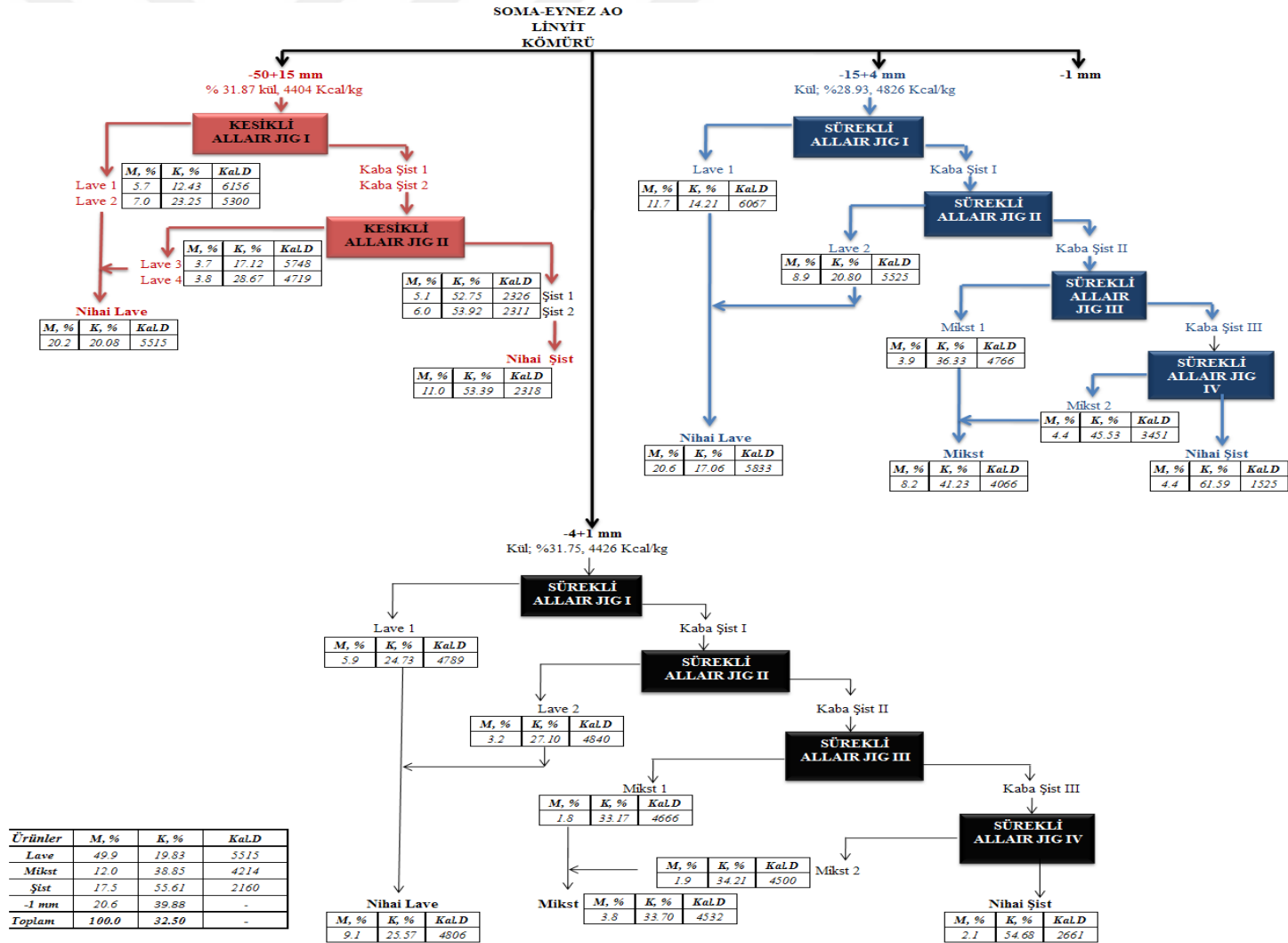
Şekil 6.20. Soma-Eynez AO kömürü ile -4+1 mm boyut grubunda gerçekleştirilen Allair jigi ile zenginleştirme akım şeması ve malzeme balansı (Toplam Nem: %13.6).



Şekil 6.21. Soma-Eynez AO kömürü ile -4+1 mm boyut grubunda gerçekleştirilen AkafLOW aerodinamik ayırıcı ile zenginleştirme akım şeması ve malzeme balansı (Toplam Nem: %13.6).

(YV* ve AE* hesaplamalarında mikst laveye ilave edilmiştir).

(YV: Yanabilir verim, %, KUV: Kül uzaklaştırma verimi, % ve AE: Ayırma etkinliği, %)



Şekil 6.22. Soma-Eynez AO kömürü ile gerçekleştirilen kuru zenginleştirme akım şeması ve malzeme balansı.

7. PİLOT ÖLÇEKTE KURU ZENGİNLEŞTİRME DENEYLERİ

Bu bölümde, Laboratuvar çaplı deneylerden elde edilen verilerin ışığında, All Mineral firması tarafından proje kapsamında Soma - Dereköy torbalama tesisine kurulan 20 t/h kapasiteli kuru ayırma tesisinde İmbat yeraltı, Eynez acık ocak ve Sarıkaya kömürünün zenginleştirilme çalışmaları yapılmıştır. Yapılan pilot ölçekli çalışmalar sonucunda elde edilen ürünlerden numuneler alınmış ve bu numuneler üzerinde TKİ tarafından standart kömür analizleri gerçekleştirilmiş ve sonuçlar tablo ve grafikler ile değerlendirilmiştir. Ayrıca pilot tesise ait fizibilite çalışmaları da yapılmış ve sonuçları bu bölümde irdelenmiştir.

Kuru zenginleştirme çalışmaları, her bir devrede en az 20 ton kömür numunesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Kuru zenginleştirme çalışmalarında, orijinal nemdeki yani yeni üretildiği haldeki kömür numunesi nemleri ile çalışılmıştır.

Kuru zenginleştirme çalışmalarında şartların optimizasyonu sonrasında, en az 5 kez, optimize edilmiş şartlarda testler gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde değişen besleme malına göre, ürün kalitesi ve ayırma şartlarının devamlılığı incelenmiştir.

Test çalışmalarında ürünlerin günlük ve gün içerisindeki değişimleri özellikle İmbat kömürü üzerinde detaylı çalışılmış olup, % 24-25 küllü (orijinal Alt ısı değeri 2200-2400 kcal/kg) lave alımına yönelik çalışmalar da ilave olarak gerçekleştirilmiştir.

7.1. Soma İmbat Kömürü Üzerinde Yapılan Çalışmalar

Soma İmbat kömürü üzerinde -50+10 mm ve -10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme çalışmaları sonuçları Çizelge 7.1-7.13'de verilmektedir.

Soma-İmbat kömürü üzerinde gerçekleştirilen kuru zenginleştirme çalışmalarında ocaktan üretildiği şekilde taze numuneler kullanılmış olup herhangi bir kurutma işlemi gerçekleştirilmemiştir. *Soma-İmbat Kömürü toplam nemleri % 11.5-14.5 arasında değişim göstermiştir.*

Soma-İmbat Kömürü üzerinde -50+10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme testleri sonucunda, kaba ayırma devresinde beslenen malzemenin kül içeriğinin % 42-53 arasında değişim göstermesine rağmen hemen hemen benzer kalitede lave alımı söz konusu olmuştur (% 17.69-21.48). Nihai ayırma devresinde ise ortalama % 63 kül içerikli bir şist atımı mümkün olmuştur.

Ayrırma şartları optimize edildikten sonra yapılan iki kademeli ayırma sonucunda beslenenin % 20.1'i oranında bir lave % 19.74 kül ve 5424 üst ısı değer ile (kuru baz) kazanılmıştır (Çizelge 7.5). Laveye ilave olarak beslenenin % 25.2'si oranında % 52.03 kül ve 1857 kcal/kg üst ısı değerli (kuru baz) bir mikst ürünü alımı ve % 15'i oranında % 63.31 kül içerikli ve 393 kcal/kg ısı değerli bir şist atımı mümkün olmuştur (Çizelge 7.6). -50 mm boyut grubundaki mazlemenin % 39.6'sının 10 mm altında olduğu ve üst ısı değerinin 3052 kcal/kg (kuru baz) olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 7.7)

-10 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme çalışmalarında beslenenin % 47.3'ü oranında bir kısım % 40.20 kül içeriği ve 3654 kcal/kg üst ısı değer ile lave olarak kazanılmıştır. Bu ürünün mikst kalitesinde olduğu ve termik santral kömürü karışımı olarak kullanılabileceği düşünülmektedir. -10 mm boyutlu beslenen malzemenin kül içeriğinin % 45.97 ve üst ısı değerinin 3024 olduğu düşünülürse; çok iyi bir ayırmanın olmadığı söylenebilir (Çizelge 7.8). Dolayısıyla -10 mm'nin kuru zenginleştirmeye sokulmasından ziyade doğrudan termik santral yakıtı olarak kullanılmasının daha avantajlı olduğu düşünülmüştür. Çizelge 7.11 böyle bir değerlendirmeyi göstermektedir. Öyleki; -50+10 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme sonucu elde edilen lave ve şist nihai temiz kömür ve şist olarak düşünülmüş, diğer ürünler ise birleştirilerek ara ürün olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 7.1'den gözlendiği üzere; temiz lave alımına yönelik kaba ayırma devresi ile beslenen kömür külünün % 42-52 arasındaki değişimlerine rağmen hemen hemen benzer kalitede (kül içeriği 17.69-21.48 %) lave alımı söz konusu olmuştur.

Çizelge 7.1. Soma İmbat kömürü -50+10 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme kaba devre ayırma sonuçları.

	Ürün Öz.	Test-1	Test-2	Test-3	Test-4	Test-5	Test-6
1 (Beslenen)	Topl. Nem	11.77	10.89	13.31	12.47	12.06	11.47
	Kuru Kül	48.51	52.04	45.34	41.18	44.11	53.22
	Or. AID	2273	1617	2429	2699	1403	1776
	Kuru AID	2654	1886	2891	3166	1676	2082
	Kuru T. S	0.69	0.39	0.76	0.64	0.67	0.61
2 (-10 mm)	Topl. Nem	13.26	15.23	14.18	13.79	15.27	14.34
	Kuru Kül	46.22	46.77	41.45	42.24	46.37	46.81
	Or. AID	2408	2344	2861	2891	2376	2361
	Kuru AID	2865	2870	3430	3447	2910	2853
	Kuru T. S	0.7	0.6	0.92	0.83	0.85	0.8
3 (-50+10 mm)	Topl. Nem	9.34	12.56	10.92	11.81	10.825	10.49
	Kuru Kül	48.02	43.08	48.21	42.51	51.98	52.18
	Or. AID	2220	2659	2239	2617	1737.5	1870.5
	Kuru AID	2508	3124	2584	3046	2019.5	2158.5
	Kuru T. S	0.68	0.59	0.72	0.67	0.755	0.675
4 (Kaba Şist)	Topl. Nem	6.86	9.07	8.42	9.35	11.01	10.26
	Kuru Kül	54.74	56.62	56.33	53.2	55.48	56.79
	Or. AID	1323	1301	1384	1818	1343	1382
	Kuru AID	1464	1489	1565	2065	1582	1607
	Kuru T. S	0.44	0.35	0.48	0.48	0.62	0.63
5 (Lave)	Topl. Nem	13.76	14.63	14.18	13.78	14.79	13.55
	Kuru Kül	19.12	20.92	19.74	17.69	21.15	21.48
	Or. AID	4694	4479	4580	4789	4457	4460
	Kuru AID	5535	5346	5433	5648	5332	5250
	Kuru T. S	1.09	1.07	1.2	1.36	1.14	1.15

Çizelge 7.2. Soma İmbat kömürü -50+10 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme nihai devre ayırma sonuçları.

	Ürün Öz.	Test-1	Test-2	Test-3
3b (Beslenen)	Topl. Nem	5.43	5.33	-
	Kuru Kül	58.67	56.82	-
	Or. AID	1013	1043	-
	Kuru AID	1105	1135	-
	Kuru T. S	0.38	0.4	-
4b (Nihai Şist)	Topl. Nem	3.72	3.29	3.92
	Kuru Kül	63.66	63.15	62.8
	Or. AID	308	385	386
	Kuru AID	343	417	425
	Kuru T. S	0.24	0.23	0.48
5b (Mikst)	Topl. Nem	6.26	4.84	5.24
	Kuru Kül	55.34	55.63	55.11
	Or. AID	1316	1185	1158
	Kuru AID	1443	1275	1255
	Kuru T. S	0.34	0.39	0.49

Çizelge 7.2’de ise temiz şist atımına yönelik nihai ayırma devresinden benzer kalitede nihai şist alınabileceği görülmektedir.

Çizelge 7.3. Soma İmbat kömürü -10 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme kaba devre ayırma sonuçları.

		Test-1	Test-2	Test-3	Test-4
3 (Beslenen)	Topl. Nem	11.38	-	-	-
	Kuru Kül	45.94	-	-	-
	Or. AID	2581	-	-	-
	Kuru AID	2988	-	-	-
	Kuru T. S	0.82	-	-	-
4 (Kaba Şist)	Topl. Nem	10.58	9.27	9.78	10.26
	Kuru Kül	51.31	52.88	48.91	53.14
	Or. AID	2117	2041	2319	1890
	Kuru AID	2436	2309	2633	2173
	Kuru T. S	0.65	0.63	0.66	0.53
5 (Lave)	Topl. Nem	13.51	12.09	12.36	12.66
	Kuru Kül	41.2	39.35	40.56	39.68
	Or. AID	3016	3234	3094	3128
	Kuru AID	3579	3759	3613	3665
	Kuru T. S	0.88	0.92	0.87	0.9
6 (Filtre Tozu)	Topl. Nem	12.33	-	-	14.64
	Kuru Kül	51.69	-	-	44.08
	Or. AID	2314	-	-	2737
	Kuru AID	2721	-	-	3306
	Kuru T. S	0.93	-	-	0.94

Çizelge 7.4. Soma İmbat kömürü -10 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme nihai devre ayırma sonuçları.

Ürün Öz.		
3b (Beslenen)	Topl. Nem	9.97
	Kuru Kül	51.56
	Or. AID	2092
	Kuru AID	2388
	Kuru T. S	0.62
4b (Nihai Şist)	Topl. Nem	7.19
	Kuru Kül	62.11
	Or. AID	740
	Kuru AID	842
	Kuru T. S	0.17
5b (Mikst)	Topl. Nem	11.96
	Kuru Kül	48.67
	Or. AID	2349
	Kuru AID	2748
	Kuru T. S	0.73
6b (Filtre Tozu)	Topl. Nem	14.26
	Kuru Kül	46.07
	Or. AID	2612
	Kuru AID	3143
	Kuru T. S	0.96

Çizelge 7.5. Soma-İmbat kömürü kaba devre malzeme balansı (-50+10 mm).

	Miktar	Kül	Kal.	Topl. S
	%	%*	Değer	%*
			%*	
lave	20.1	19.74	5424	1.17
Kaba şist	46.0	55.53	1629	0.50
-10 mm	33.9	49.14	3063	0.78
Toplam	100.0	46.21	2880	0.73

**Kuru baza göre*

Çizelge 7.6. Soma-İmbat kömürü nihai devre malzeme balansı (-50+10 mm).

	Miktar	Miktar	Kül	Kal.	Topl. S
	%	%*	%**	Değer	%**
				%**	
Mikst	54.9	25.2	52.03	1857	0.46
Nihai şist	32.7	15.0	63.31	393	0.27
-10 mm	12.4	5.7	57.26	2988	0.82
Toplam	100.0	46.0	56.37	1519	0.44

*Tüvenana göre

**Kuru baza göre

Çizelge 7.7. Soma-İmbat kömürü (-50+10 mm) üç ürünli kuru zenginleştirme devresi malzeme balansı (Kaba ve nihai devre birleştirilmiş) (-50+10 mm).

	Miktar	Kül	Kal. Değer	Topl. S
	%	%*	%*	%*
Lave	20.1	19.74	5424	1.17
Mikst	25.2	52.03	1857	0.46
Nihai şist	15.0	63.31	393	0.27
-10 mm	39.6	50.31	3052	0.79
Toplam	100.0	46.54	2829	0.70

*Kuru baza göre

Çizelge 7.8. Soma-İmbat kömürü kaba devre malzeme balansı (-10 mm).

	Miktar	Kül	Kal. Değer	Topl. S
	%	%*	%*	%*
lave	47.3	40.2	3654	0.89
Kaba şist	46.8	51.56	2388	0.62
Filtre Tozu	5.9	47.89	3014	0.94
Toplam	100.0	45.97	3024	0.77

*Kuru baza göre

Çizelge 7.9. Soma-İmbat kömürü nihai devre malzeme balansı (-10 mm).

	Miktar %	Miktar %*	Kül %**	Kal. Değer %**	Topl. S %**
Mikst	77.7	36.4	48.67	2748	0.73
Nihai şist	18.6	8.7	62.11	842	0.17
Filtre Tozu	3.6	1.7	46.07	3143	0.96
Toplam	100.0	46.8	51.08	2407	0.63

*Tüvenana göre

**Kuru baza göre

Çizelge 7.10. Soma-İmbat kömürü (-10 mm) üç ürünlü kuru zenginleştirme devresi malzeme balansı (Kaba ve nihai devre birleştirilmiş).

	Miktar %	Miktar %*	Kül %**	Kal. Değer %**	Topl. S %**
Lave	47.3	18.7	40.20	3654	0.89
Mikst	36.4	14.4	48.67	2748	0.73
Nihai şist	8.7	3.5	62.11	842	0.17
Filtre Tozu	7.6	3.0	47.48	3143	0.94
Toplam	100.0	39.6	45.74	3042	0.77

**Tüvenana göre

**Kuru baza göre

Çizelge 7.11. Soma-İmbat kömürü (-10 mm) üç ürünlü kuru zenginleştirme devresi malzeme balansı (Filtre tozu ve mikst birleştirilmiştir).

	Miktar %	Kül %*	Kal. Değer %**	Topl. S %**
Lave	18.7	40.20	3654	0.89
Mikst	17.4	48.46	2816	0.77
Nihai şist	3.5	62.11	842	0.17
Toplam	39.6	45.74	3041	0.77

Çizelge 7.12. Soma İmbat kömürü -50+10 ve -10 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme sonuçları-tüvenana göre değerlendirme.

Boyut	Ürünler	Miktar %	Kül %	Kal. D. Kcal/kg*	Topl. S %*
-50+10 mm	Lave	20.1	19.74	5424	1.17
	Mikst	25.2	52.03	1857	0.46
	Nihai şist	15.0	63.31	393	0.27
	Toplam	60.4	44.07	2682	0.65
-10 mm	Lave	18.7	40.20	3654	0.89
	Mikst	14.4	48.67	2748	0.73
	Nihai şist	3.5	62.11	842	0.17
	Filtre Tozu	3.0	47.48	3143	0.94
	Toplam	39.6	45.74	3041	0.77
TOPLAM		100.0	44.74	2825	0.70

**Kuru baza göre hesaplanmıştır.*

Çizelge 7.13. Soma İmbat kömürü -50 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme sonuçları-3 ürün bazında.

Ürünler	Miktar %	Kül. %	Kal. D. Kcal/kg*	Topl. S. %*
Lave	20.1	19.74	5424	1.17
Mikst**	61.3	47.48	2682	0.68
Nihai şist	18.6	62.68	474	0.25
TOPLAM	100.0	44.72	2824	0.70

**Kuru baza göre hesaplanmıştır.*

****** (Mikst -50+10 mm mikst+-10 mm Lave+-10 mm Mikst+Filtre tozu olarak birleştirilmiş üründür)



Şekil 7.1. Soma-İmbat kömürü üzerinde -50+10 mm ve -10 mm boyut grublarında gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrasında elde edilen ürünler.

7.2. Sarıkaya Kömürü Temiz Lave Alımı Devresi Ürünleri

Sarıkaya Kömürü üzerinde gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonuçları Çizelge 7.14-7.22’de verilmektedir. *Soma-Sarıkaya kömürü toplam nemleri % 11-14 arasında değişim göstermiştir.*

Sarıkaya Kömürü üzerinde -50+10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme testleri sonucunda, kaba ayırma devresinde beslenen kül içeriğinin % 36-61 arasında değişim göstermesine rağmen hemen hemen benzer kalitede lave alımı söz konusu olmuştur (% 19.56-24.43 (ortalama % 21 ± 1 civarında)). Nihai ayırma devresinde ise % 54.33 kül içerikli bir şist atımı mümkün olmuştur.

Ayırma şartları optimize edildikten sonra yapılan iki kadmeeli ayırma sonucunda beslenenin % 22.2’si oranında bir lave % 20.12 kül ve 5211 üst ısı değer ile (kuru baz) kazanılmıştır. Laveye ilave olarak beslenenin % 16.3 oranında % 54.33 kül ve 1830 kcal/kg üst ısı değerli (kuru baz) bir mikst ürünü alımı ve % 4.5’i oranında % 65.94 kül içerikli ve 311 kcal/kg ısı değerli bir şist atımı mümkün olmuştur. -50 mm boyut grubundaki mazlemenin % 57’sinin 10 mm altında olduğu ve üst ısı değerinin 3160 kcal/kg (kuru baz) olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 7.17)

-10 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme çalışmalarında beslenenin % 56.1’i oranında bir kısım % 41.52 kül içeriği ve 3443 kcal/kg üst ısı değer ile lave olarak kazanılmıştır. Bu ürünün mikst kalitesinde olduğu ve termik santral kömürü karışımı olarak kullanılabileceği düşünülmektedir. -10 mm boyutlu beslenen malzemenin kül içeriğinin % 44.32 ve üst ısı değerinin 3041 kcal/kg olduğu düşünülürse; çok iyi bir ayırmanın olmadığı söylenebilir (Çizelge 7.21). Dolayısıyla -10 mm’nin kuru zenginleştirmeye sokulmasından ziyade doğrudan termik santral yakıtı olarak kullanılmasının daha avantajlı olduğu düşünülmüştür. Çizelge 7.23 böyle bir değerlendirmeyi göstermektedir. Öyleki; -50+10 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme sonucu elde edilen lave ve şist nihai temiz kömür ve şist olarak düşünülmüş, diğer ürünler ise birleştirilerek ara ürün olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 7.14. -50+10 mm boyutlu Sarıkaya kömürü üzerinde gerçekleştirilen kaba ve nihai devre kuru zenginleştirme sonuçları.

SARIKAYA -50+10 mm KABA DEVRE						SARIKAYA -50+10 mm NİHAİ DEVRE		
	Test -1	Test -2	Test-3	Test -4	Test -5			
1	Topl. Nem	12.56	13.22	14.74	11.01	12.85	Topl. Nem	11.38
	Kuru Kül	36.51	37.12	44.22	61.91	46.88	Kuru Kül	51.64
	Or. AİD	3323	3250	2348	1441	2314	Or. AİD	1923
	Kuru AİD	3801	3746	2855	1692	2742	Kuru AİD	2251
	Kuru T. S	0.62	0.61	0.37	0.32	0.39	Kuru T. S	0.39
2	Topl. Nem	16.45	16.89	15.77	17.29	16.3	Topl. Nem	13.4
	Kuru Kül	40.12	42.42	34.17	42.56	38.08	Kuru Kül	53.98
	Or. AİD	2902	2714	3232	2731	30.5	Or. AİD	1808
	Kuru AİD	3474	3266	3914	3424	3758	Kuru AİD	2178
	Kuru T. S	0.51	0.51	0.47	0.49	0.53	Kuru T. S	0.41
3	Topl. Nem	11.45	11.57	18.07	14.37	10.67	Topl. Nem	10.09
	Kuru Kül	39.45	38.54	38.99	38.13	40.93	Kuru Kül	56.17
	Or. AİD	3130	3198	2881	3068	2940	Or. AİD	1231
	Kuru AİD	3535	3617	3646	3681	3360	Kuru AİD	1434
	Kuru T. S	0.53	0.52	0.56	0.51	0.43	Kuru T. S	0.16
4	Topl. Nem	10.20	9.87	12.56	11.96	9.63	Topl. Nem	5.5
	Kuru Kül	51.84	53.26	45.86	53.38	55.69	Kuru Kül	65.94
	Or. AİD	2166	2058	2429	1840	1501	Or. AİD	262
	Kuru AİD	2412	2284	2862	2169	1723	Kuru AİD	311
	Kuru T. S	0.30	0.32	0.57	0.32	0.29	Kuru T. S	0.1
5	Topl. Nem	15.89	17.33	16.41	16.78	17.4	Topl. Nem	10.23
	Kuru Kül	19.56	22.04	21.91	21.00	24.43	Kuru Kül	54.33
	Or. AİD	4488	4226	4161	4216	3936	Or. AİD	1583
	Kuru AİD	5336	5111	5092	5184	4888	Kuru AİD	1830
	Kuru T. S	0.70	0.69	0.64	0.71	0.72	Kuru T. S	0.39
6	Topl. Nem	14.42	14.55	15.92	14.05	14.31	Topl. Nem	13.96
	Kuru Kül	45.42	44.61	44.22	48.59	44.12	Kuru Kül	51.71
	Or. AİD	2562	2621	2653	2427	2726	Or. AİD	2097
	Kuru AİD	2994	3067	3266	2919	3279	Kuru AİD	2532
	Kuru T. S	0.54	0.55	0.54	0.54	0.55	Kuru T. S	0.45

1-

Beslenen. 2-(-10 mm). 3-(-50+10 mm). 4-Kaba Şist. 5-Lave. 6-Filtre Tozu. b kodlu olanlar nihai devre ürünleri (süpürme devresi)

Çizelge 7.15. -50+10 mm boyutlu Sarıkaya kömürü üzerinde optimum şartlarda gerçekleştirilen kaba devre kuru zenginleştirme sonuçları-genel değerlendirme.

Ürünler	Miktar	Kül*	Kal. Değer	Topl. S*
	%	%	Kcal/kg*	%
lave	22.2	20.12	5211	0.73
Kaba şist	28.2	54.71	1844	0.31
-10 mm	49.6	42.66	3252	0.49
Toplam	100.0	41.05	3291	0.49

**Kuru baza göre*

Çizelge 7.16. -50+10 mm boyutlu Sarıkaya kömürü üzerinde optimum şartlarda gerçekleştirilen nihai devre kuru zenginleştirme sonuçları-genel değerlendirme.

Ürünler	Miktar	Miktar	Kül**	Kal. D.	Topl. S**
	%	%*	%	Kcal/kg**	%
Mikst	58.0	16.3	54.33	1830	0.39
Nihai şist	15.8	4.5	65.94	311	0.10
-10 mm	26.2	7.4	51.71	2532	0.45
Toplam	100.0	28.2	55.48	1774	0.36

**Tüvenana göre.*

***Kuru baza göre*

Çizelge 7.17. -50+10 mm boyutlu Sarıkaya kömürü üzerinde optimum şartlarda gerçekleştirilen kaba ve nihai devre kuru zenginleştirme sonuçları-birleştirilmiş sonuçlar.

Ürünler	Miktar	Kül*	Kal. Değer	Topl. S*
	%	%	Kcal/kg*	%
Lave	22.2	20.12	5211	0.73
Mikst	16.3	54.33	1830	0.39
Nihai şist	4.5	65.94	311	0.10
-10 mm	57.0	43.86	3160	0.49
Toplam	100.0	41.30	3272	0.51

**Kuru baza göre*

Çizelge 7.18. -10 mm boyutlu Sarıkaya kömürü üzerinde gerçekleştirilen kaba ve nihai devre kuru zenginleştirme sonuçları.

Ürün Kodu	Özellikler	Ürün Kodu	Özellikler
3 (Beslenen)	Topl. Nem	3b (Beslenen)	Topl. Nem
	15.72		14.56
	Kuru Kül		Kuru Kül
	47.23		49.77
	Or. AID		Or. AID
4 (Kaba Şist)	2198	4b (Nihai Şist)	2002
	Kuru AID		Kuru AID
	2717		2443
	Kuru T. S		Kuru T. S
	0.46		0.47
5 (Lave)	Topl. Nem	5b (Mikst)	Topl. Nem
	14.56		11.79
	Kuru Kül		Kuru Kül
	49.77		56.3
	Or. AID		Or. AID
6 (Filtre Tozu)	2002	6b (Filtre Tozu)	1266
	Kuru AID		Kuru AID
	2443		1513
	Kuru T. S		Kuru T. S
	0.47		0.29
5 (Lave)	Topl. Nem	5b (Mikst)	Topl. Nem
	17.87		16.11
	Kuru Kül		Kuru Kül
	41.52		46.48
	Or. AID		Or. AID
6 (Filtre Tozu)	2723	6b (Filtre Tozu)	2304
	Kuru AID		Kuru AID
	3443		2858
	Kuru T. S		Kuru T. S
	0.58		0.53
6 (Filtre Tozu)	Topl. Nem	6b (Filtre Tozu)	Topl. Nem
	18.28		18.63
	Kuru Kül		Kuru Kül
	38.02		44.93
	Or. AID		Or. AID
6 (Filtre Tozu)	2939	6b (Filtre Tozu)	2403
	Kuru AID		Kuru AID
	3727		3087
	Kuru T. S		Kuru T. S
	0.74		0.55

Çizelge 7.19. -10 mm boyutlu Sarıkaya kömürü üzerinde optimum şartlarda gerçekleştirilen kaba devre kuru zenginleştirme sonuçları-genel değerlendirme.

Ürünler	Miktar %	Kül* %	Kal. Değer* Kcal/kg	Topl. S* %
lave	56.1	41.52	3443	0.58
Kaba şist	40.7	49.77	2443	0.47
Filtre Tozu	3.3	38.02	3727	0.74
Toplam	100.0	44.76	3046	0.54

*Kuru baza göre

Çizelge 7.20. -10 mm boyutlu Sarıkaya kömürü üzerinde optimum şartlarda gerçekleştirilen nihai devre kuru zenginleştirme sonuçları-genel değerlendirme.

Ürünler	Miktar %	Miktar* %	Kül %**	Kal. Değer Kcal/kg**	Topl. S %**
Mikst	72.0	29.3	46.48	2858	0.53
Nihai şist	23.6	9.6	56.30	1513	0.29
F. Tozu	4.4	1.8	44.93	3087	0.55
Toplam	100.0	40.7	48.73	2550	0.47

*Tüvenana göre

**Kuru baza göre

Çizelge 7.21. -10 mm boyutlu Sarıkaya kömürü üzerinde optimum şartlarda gerçekleştirilen kaba ve nihai devre kuru zenginleştirme sonuçları-birleştirilmiş sonuçlar.

Ürünler	Miktar %	Kül %*	Kal. Değer Kcal/kg*	Topl. S %*
Lave	56.1	41.52	3443	0.58
Mikst	29.3	46.48	2858	0.53
Nihai şist	9.6	56.30	1513	0.29
Filtre Tozu	5.0	40.11	3534	0.68
Toplam	100.0	44.32	3091	0.54

*Kuru baza göre

Çizelge 7.22. Sarıkaya kömürü üzerinde optimum şartlarda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonuçları-toplu gösterim.

	Ürünler	Miktar %	Kül %*	Kal. Değer Kcal/kg*	Topl. S %*
-50+10 mm	Lave	22.2	20.12	5211	0.73
	Mikst	16.3	54.33	1830	0.39
	Nihai şist	4.5	65.94	311	0.10
	Toplam	43.0	37.88	3417	0.54
-10 mm	Lave	32.0	41.52	3443	0.58
	Mikst	16.7	46.48	2858	0.53
	Nihai şist	5.5	56.3	1513	0.29
	Filtre Tozu	2.9	40.11	3534	0.68
	Toplam	57.0	44.32	3091	0.54
TOPLAM		100.0	41.55	3231	0.54

*Kuru baza göre

Çizelge 7.23. -50 mm Boyutlu Sarıkaya kömürü üzerinde optimum şartlarda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonuçları-toplu gösterim.

Ürünler	Miktar %	Kül %*	Kal. Değer Kcal/kg*	Topl. S %*
Lave	22.2	20.12	5211	0.73
Mikst I**	34.8	41.40	3450	0.59
Mikst II**	38.5	51.21	2231	0.44
Şist	4.5	65.94	311	0.10
Toplam	100.0	41.56	3231	0.54

*Kuru baza göre

** -10 mm Lave ve Filtre Tozu birleştirilmiştir.

*** -50+10 mm Mikst. -10 mm Mikst ve -10 mm nihai şist birleştirilmiştir.



Şekil 7.2. Sarıkaya kömürü üzerinde gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrasında elde edilen ürünler.



Şekil 7.3. Sarıkaya kömürü üzerinde gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrasında elde edilen ürünler.

7.3. Eynez Açık Ocak Kömürü İri ve İnce Boyutta Kuru Zenginleştirme

Eynez AO Kömürü üzerinde gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonuçları Çizelge 7.24-7.33’de verilmektedir. Eynez AO kömürü yapı itibarıyla ufalanmış, ezilmiş bir kömürdür. Yapılan incelemelerde tüvenan kömür numunesinin % 65.6’sının -10 mm boyutunda olduğu tespit edilmiştir. Çalışılan süreçte iklim şartları ılıman olduğundan nemin çok önemli boyutlarda olmadığı gözlenmiştir. *Eynez AO kömürü toplam nemleri % 11-15 arasında değişim göstermiştir.*

Eynez AO Kömürü üzerinde -50+10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme testleri sonucunda, kaba ayırma devresinde beslenen malzemenin kül içeriğinin % 26-50 arasında değişim göstermesine rağmen hemen hemen benzer kalitede lave alımı söz konusu olmuştur (% 13.55-19.22). Nihai ayırma devresinde ise % 50.43 kül içerikli bir şist atımı mümkün olmuştur.

Ayırma şartları optimize edildikten sonra yapılan iki kademeli ayırma sonucunda beslenenin % 19.3’ü oranında bir lave % 19.02 kül ve 5303 kcal/kg üst ısı değer ile (kuru baz) kazanılmıştır. Laveye ilave olarak beslenenin % 11.1’i oranında % 50.43 kül ve 2612 kcal/kg üst ısı değerli (kuru baz) bir mikst ürünü alımı ve % 4.0’ü oranında % 65.13 kül içerikli ve 418 kcal/kg ısı değerli bir şist atımı mümkün olmuştur (Çizelge 7.25-7.26). -50 m boyut grubundaki malzemenin % 65.6’sının 10 mm altında olduğu ve üst ısı değerinin 4267 kcal/kg (kuru baz) olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 7.27)

-10 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme çalışmalarında beslenenin % 59.3'ü oranında bir kısım % 26.99 kül içeriği ve 4808 kcal/kg üst ısı değer ile lave olarak kazanılmıştır. Bu ürünün her ne kadar çok temiz bir ürün olmasa da mikst kalitesinin biraz daha üzerinde olduğu ve toz kömür olarak doğrudan satılabileceği ve mekanik karıştırılabilir kazanlarda kullanılabileceği düşünülmektedir. Kaba ayırma devresi sonrasında elde edilen kaba şiste uygulanan nihai ayırma devresi ile, beslenenin % 20.5'i oranında bir kömürün % 35.02 kül ve 4073 kcal/kg üst ısı değer ile kazanılabilmektedir. Bu devrede elde edilen filtre tozunun (beslenenin % 4.8'i) kül ve ısı değerinin ise % 36.57 ve 3891 kcal/kg olduğu tespit edilmiştir.

Nihai ayırma devresinde atılan şistin (beslenenin % 7.4'ü) % 56.57 kül içeriği ve 1710 kcal/kg üst ısı değer ile atılabileceği tespit edilmiştir. Şistin ısı değeri zenginleştirme uygulamasına rağmen yeterince azaltılamamıştır. Bu sebeple -10 mm boyutlu kömürün zenginleştirilmesinden ziyade doğrudan kullanımının daha doğru olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 7.24. -50+10 mm boyutlu Eynez AO kömürü üzerinde gerçekleştirilen kaba ve nihai devre kuru zenginleştirme sonuçları.

EYNEZ AO -50+10 MM KABA DEVRE								EYNEZ AO -50+10 MM NİHAİ DEVRE			
	Özellik	Test-1	Test-2	Test-3	Test-4	Test-5	Test-6	Test-7			
1	Topl. Nem	14.71	11.88	14.31	7.92	11.67	13.73	11.84	1b	Topl. Nem	11.73
	Kuru Kül	41.51	38.84	26.27	44.68	49.69	34.02	50.62		Kuru Kül	49.75
	Or. AID	2742	2938	3766	2186	2355	3128	2358		Or. AID	2192
	Kuru AID	3316	3412	4492	2425	2743	3719	2753		Kuru AID	2573
	Kuru T. S	0.71	0.94	0.83	0.55	0.57	0.94	0.46		Kuru T. S	0.56
2	Topl. Nem	14.27	12.21	13.98	16.9	14.31	14.12	13.83	2b	Topl. Nem	14.11
	Kuru Kül	25.2	25.83	25.39	23.47	41.81	27.22	46.63		Kuru Kül	53.19
	Or. AID	4178	4232	4166	4034	2986	4065	2527		Or. AID	1910
	Kuru AID	4971	4901	4938	4973	3583	4830	3026		Kuru AID	2319
	Kuru T. S	1.07	1.05	1.32	1.08	0.72	0.95	0.55		Kuru T. S	0.71
3	Topl. Nem	14.27	12.77	14.5	12.81	14.55	11.7	15.46	3b	Topl. Nem	11.69
	Kuru Kül	29.37	33.51	37.17	31.02	32.11	52.54	26.5		Kuru Kül	50.75
	Or. AID	3767	3414	3110	3441	3547	2203	3945		Or. AID	2149
	Kuru AID	4491	3999	3736	4032	4250	2572	4773		Kuru AID	2511
	Kuru T. S	0.90	0.84	0.75	0.72	0.97	0.43	1.10		Kuru T. S	0.74
4	Topl. Nem	12.95	13.42	14.25	10.62	10.76	11.58	8.54	4b	Topl. Nem	6.76
	Kuru Kül	48.55	46.37	38.14	44.19	58.46	50.54	62.01		Kuru Kül	64.42
	Or. AID	2240	2448	3192	2376	1769	2096	1222		Or. AID	399
	Kuru AID	2660	2918	3819	2728	2053	2446	1390		Kuru AID	470
	Kuru T. S	0.59	0.58	0.8	0.63	0.43	0.56	0.30		Kuru T. S	0.17
5	Topl. Nem	14.2	14.76	14.36	13.89	17.25	15.44	13.14	5b	Topl. Nem	11.75
	Kuru Kül	18.75	16.96	13.55	15.01	19.22	15.51	37.81		Kuru Kül	50.43
	Or. AID	4688	4798	5071	4872	4312	4820	3311		Or. AID	2236
	Kuru AID	5560	5730	6019	5752	5332	5806	2923		Kuru AID	2612
	Kuru T. S	1.09	1.11	1.15	1.08	1.04	1.15	0.65		Kuru T. S	0.58
6	Topl. Nem	15.92	15.64	15.49	15.07	14.95	16.27	14.11	6b	Topl. Nem	13.47
	Kuru Kül	36.34	36.02	28.32	24.14	35.48	30.84	44.34		Kuru Kül	50.60
	Or. AID	3310	3343	3854	4162	3394	3648	2740		Or. AID	2312
	Kuru AID	4047	4071	4667	5004	4093	4471	3286		Kuru AID	2764
	Kuru T. S	1.03	1.06	1.28	1.20	0.88	1.10	0.75		Kuru T. S	0.74

1-Beslenen. 2-(-10 mm). 3-(-50+10 mm). 4-Kaba Şist. 5-Lave. 6-Filtre Tozu.

b-Beslenen (Kaba şist). 2b-(-10 mm). 3-Kaba şist (-50+10 mm). 4-Nihai Şist. 5-Mikst. 6-Filtre Toz

Çizelge 7.25. -50+10 mm boyutlu Eynez AO kömürü üzerinde optimum şartlarda gerçekleştirilen kaba devre kuru zenginleştirme sonuçları.

Ürünler	Miktar %	Kül %*	Kal. Değer Kcal/kg*	Topl. S %*
lave	19.3	19.02	5303	1.04
Kaba şist	21.0	55.40	2101	0.55
-10 mm	59.7	33.48	4098	0.96
Toplam	100.0	35.28	3912	0.89

*Kuru baza göre

Çizelge 7.26. -50+10 mm boyutlu Eynez AO kömürü üzerinde optimum şartlarda gerçekleştirilen nihai devre kuru zenginleştirme sonuçları.

Ürünler	Miktar %	Miktar %*	Kül %**	Kal. Değer Kcal/kg**	Topl. S %**
Mikst	52.8	11.1	50.43	2612	0.60
Nihai şist	19.1	4.0	65.13	418	0.19
-10 mm	28.1	5.9	51.20	2440	0.58
Toplam	100.0	21.0	53.46	2144	0.52

*Tüvenana göre

**Kuru baza göre

Çizelge 7.27. -50+10 mm boyutlu Eynez AO kömürü üzerinde optimum şartlarda gerçekleştirilen nihai devre kuru zenginleştirme sonuçları-birleştirilmiş.

Ürünler	Miktar %	Kül %*	Kal. Değer Kcal/kg*	Topl. S %*
Lave	19.3	19.02	5700	1.04
Mikst	11.1	50.43	2612	0.60
Nihai şist	4.0	65.13	418	0.19
-10 mm	65.6	35.07	4267	0.93
Toplam	100.0	40.94	3610	0.80

*Kuru baza göre

Çizelge 7.28. -10 mm boyutlu Eynez AO kömürü üzerinde gerçekleştirilen kaba ve nihai devre kuru zenginleştirme sonuçları.

Eynez AO -10 mm Kaba Devre			Eynez AO -10 mm Nihai Devre		
3 (-10 mm beslenen)	Topl. Nem. %	15.36	3b (Beslenen)	Topl. Nem. %	13.01
	Kuru Kül. %	32.86		Kuru Kül. %	42.21
	Orj. AID. Kcalk/kg	3533		Orj. AID. Kcalk/kg	2867
	Kuru AID	4280		Kuru AID	3383
	Kcalk/kg			Kcalk/kg	
4 (Kaba Şist)	Kuru Top. S. %	0.86	4b (Nihai Şist)	Kuru Top. S. %	0.71
	Topl. Nem. %	13.01		Topl. Nem. %	9.57
	Kuru Kül. %	42.21		Kuru Kül. %	56.57
	Orj. AID. Kcalk/kg	2867		Orj. AID. Kcalk/kg	1490
	Kuru AID	3383		Kuru AID	1710
5 (Lave)	Kcalk/kg		5b (Mikst)	Kcalk/kg	
	Kuru Top. S. %	0.71		Kuru Top. S. %	0.46
	Topl. Nem. %	16.79		Topl. Nem. %	13.43
	Kuru Kül. %	26.99		Kuru Kül. %	35.02
	Orj. AID. Kcalk/kg	3903		Orj. AID. Kcalk/kg	3448
6 (Filtre Tozu)	Kuru AID	4808	6b (Filtre Tozu)	Kuru AID	4073
	Kcalk/kg			Kcalk/kg	
	Kuru Top. S. %	1.06		Kuru Top. S. %	0.95
	Topl. Nem. %	18.44		Topl. Nem. %	15.77
	Kuru Kül. %	28.86		Kuru Kül. %	36.57
	Orj. AID. Kcalk/kg	3636		Orj. AID. Kcalk/kg	3185
	Kuru AID	4590		Kuru AID	3891
	Kcalk/kg			Kcalk/kg	
	Kuru Top. S. %	1.12		Kuru Top. S. %	1.15

Çizelge 7.29. -10 mm boyutlu Eynez AO kömürü üzerinde optimum şartlarda gerçekleştirilen kaba devre kuru zenginleştirme sonuçları.

Ürünler	Miktar %	Kül %*	Kal. Değer Kcal/kg*	Topl. S %*
lave	59.3	26.99	4808	1.06
Kaba şist	32.8	42.21	3383	0.71
Filtre Tozu	7.9	28.86	4590	1.12
Toplam	100.0	32.13	4323	0.95

*Kuru baza göre

Çizelge 7.30. -10 mm boyutlu Eynez AO kömürü üzerinde optimum şartlarda gerçekleştirilen nihai devre kuru zenginleştirme sonuçları.

Ürünler	Miktar %	Miktar %*	Kül %**	Kal. Değer Kcal/kg**	Topl. S %**
Mikst	62.6	20.5	35.02	4073	0.95
Nihai şist	22.7	7.4	56.57	1710	0.46
Filtre Tozu	14.7	4.8	36.57	3891	1.15
Toplam	100.0	32.8	40.13	3511	0.87

*Tüvenana göre

**Kuru baza göre

Çizelge 7.31. -10 mm boyutlu Eynez AO kömürü üzerinde optimum şartlarda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonuçları-birleştirilmiş.

Ürünler	Miktar %	Kül %*	Kal. Değer Kcal/kg*	Topl. S %*
Lave	59.3	26.99	4808	1.06
Mikst	20.5	35.02	4073	0.95
Nihai şist	7.4	56.57	1710	0.46
Filtre Tozu	12.7	31.8	4324	1.13
Toplam	100.0	31.45	4365	1.00

*Kuru baza göre

Çizelge 7.32. Eynez AO kömürü üzerinde optimum şartlarda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonuçları-toplu gösterim.

Boyut	Ürünler	Miktar %	Kül %*	Kal. Değer Kcal/kg*	Topl. S %*
-50+10 mm	Lave	19.3	19.02	5700	1.04
	Mikst	11.1	50.43	2612	0.60
	Nihai şist	4.0	65.13	418	0.19
	Toplam	34.4	34.50	4091	0.80
-10 mm	Lave	38.9	26.99	4808	1.06
	Mikst	13.5	35.02	4073	0.95
	Nihai Şist	4.9	56.57	1710	0.46
	Filtre Tozu	8.3	31.8	4324	1.13
	Toplam	65.6	31.45	4365	1.00
TOPLAM		100.0	32.50	4271	0.93

*Kuru baza göre

Çizelge 7.33. -50 mm Boyutlu Eynez AO kömürü üzerinde optimum şartlarda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonuçları-birleştirilmiş sonuçlar.

Ürünler	Miktar %	Kül %*	Kal. Değer Kcal/kg*	Topl. S %*
Lave	58.2	24.34	5104	1.05
Mikst I**	21.8	33.79	4169	1.02
Mikst II***	15.9	52.31	2336	0.56
Şist	4.0	65.13	418	0.19
Toplam	100.0	32.50	4271	0.93

*Kuru baza göre

** -10 mm Miksti ve Filtre Tozu birleştirilmiştir.

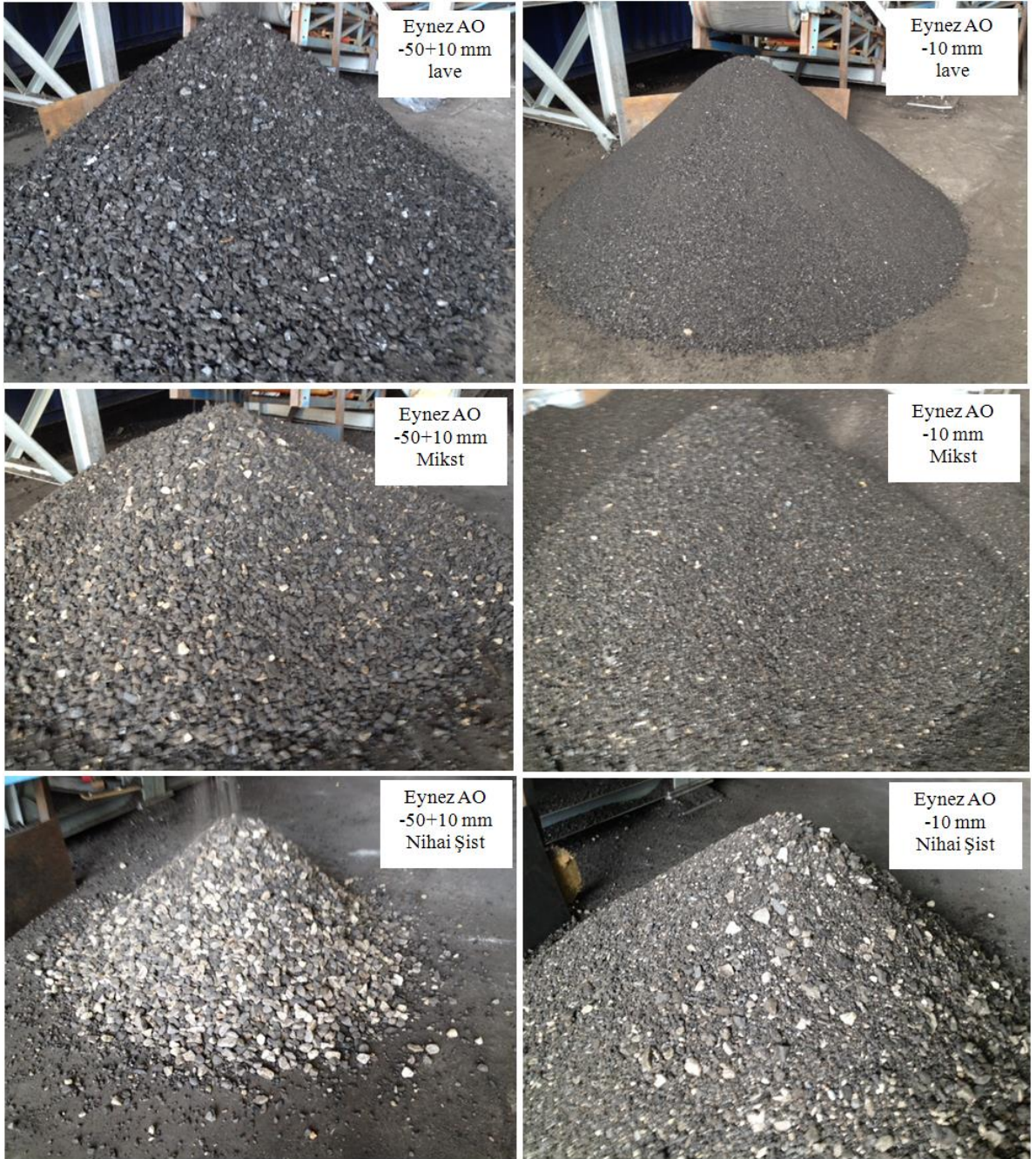
*** -50+10 mm miksti ve -10 mm nihai şisti birleştirilmiştir.



Şekil 7.4. Eynez açık ocak (AO) kömürü üzerinde gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrasında elde edilen ürünler.



Şekil 7.5. Eynez açık ocak (AO) kömürü üzerinde gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrasında elde edilen ürünler.



Şekil 7.6. Eynez açık ocak (AO) kömürü üzerinde gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrasında elde edilen ürünler.

7.4. Pilot Ölçekli Çalışmaların Değerlendirilmesi (Performans Etüdü)

15-20 ton/saat kapasiteli pilot ölçekli Allair Jigi kullanılarak gerçekleştirilen deneme çalışmaları sonucunda elde edilen optimum şartlarda gerçekleştirilen ayırma sonrasında lave, mikst ve nihai şistten örnekle alınmış ve performans testleri gerçekleştirilmiştir. Performans testleri; ayırma etkinliği (d50, hata faktörü ve hassasiyet faktörü) ve ürün boyutlarındaki değişimler bazında gerçekleştirilmiş olup, aşağıda sunulmuştur.

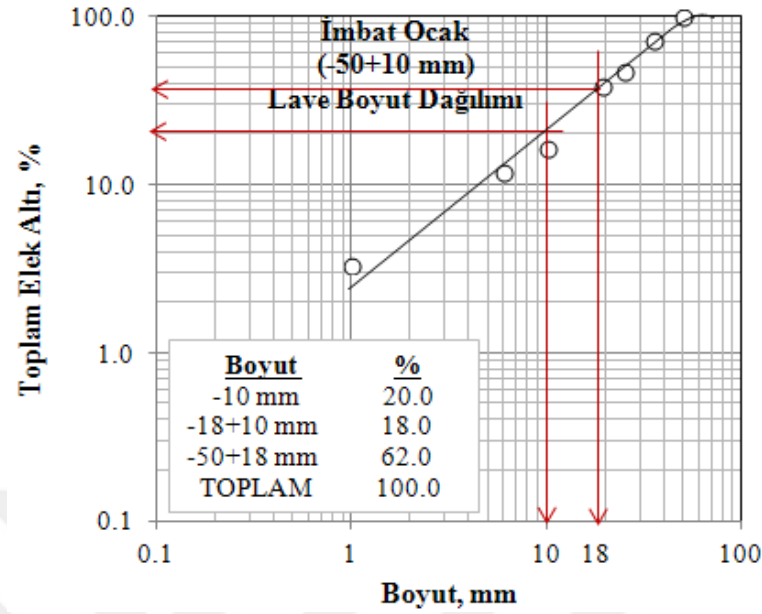
7.4.1. Pilot ölçekli havalı ayırıcıya beslenen kömürlerin boyut analizleri

Kuru zenginleştirme; akışkan ortam olarak havanın kullanıldığı bir ortamda, akışkanlandırma şartlarına ilave olarak tanelerin pülsasyon ya da vibrasyon etkisi ile ayrılması esasına dayanmaktadır. Ayrılacak olan malzeme kömür gibi kolay kırılğan bir malzeme olduğundan ayırmaya giren ve ayırma sonrası elde edilen ürünlerin boyut dağılımlarındaki değişimlerin gözlemlenmesi amacıyla boyut analizleri gerçekleştirilmiştir.

Ayırma işlemi sonrasında elde edilen lave ürünün boyut dağılımları, İmbat, Sarıkaya ve Eynez AO kömürleri için sırasıyla Şekil 7.7 -7.8, 7.9-7.10 ve 7.11-7.12’de, Allair jigine giren ve çıkan kömürün boyut dağılımlarının analizi ise çizelge 7.34-7.37, çizelge 7.38-7.41 ve çizelge 7.42-7.45’de verilmiştir.

Şekil 7.7’de gözlemlendiği üzere, İmbat kömürü üzerinde -50+10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kaba ayırma devresi sonucu elde edilen lavenin boyut dağılımı incelendiğinde; Lavenin % 62’sinin -50+18 mm boyut grubunda olduğu (Parça Kömür), -18+10 mm boyut grubundaki malzeme (findık kömür) oranının % 18 olduğu, -10 mm boyut grubundaki malzemenin ise % 20 civarında olduğu tesbit edilmiştir. -10 mm boyut grubundaki malzemenin varlığı iki nedenden kaynaklanmaktadır; proses esnasında iri kömürün ufalanması (i) ve -50+10 mm boyutlu malzeme elek üzerinden ayrılırken randımanlı bir eleme gerçekleşmemesi (ii).

Zenginleştirme devresine giren -50+10 mm boyut gruplu malzemenin orjinal haldeki ve zenginleştirme sonrası hesaplanan boyut dağılımlarının verildiği Çizelge 7.34 ve 7.35 incelendiğinde ise; beslenenin % 42,6’sı -50+18 mm boyut grubunda iken zenginleştirme sonrası bu değerin % 39.3 seviyelerine düştüğü; % 40,3 olan -10 mm boyut grubunun % 50.5 seviyelerine yükseldiği saptanmıştır.



Şekil 7.7. İmbat -50+10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrası elde edilen lave ürününün boyut dağılımı.

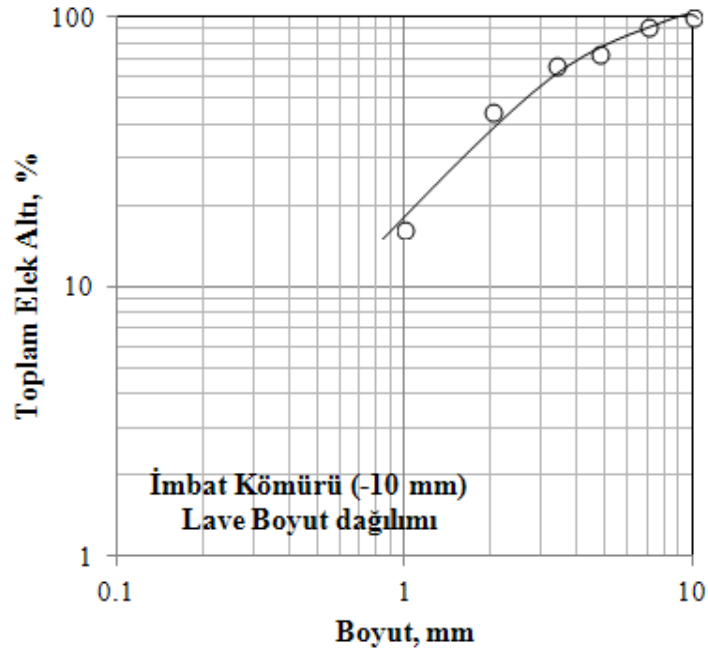
Çizelge 7.34. İmbat -50+10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme öncesi ve sonrası boyut dağılımları (nihai ayırma sonrası ürünlerin boyutları birleştirilerek hesaplanmıştır).

	Boyut Mm	ORİJİNAL			NİHAİ AYIRMA SONRASI		
		Miktar	Küm.	Küm.	Miktar	Küm.	Küm.
		%	E.A. %	Miktar. %	%	E.A. %	Miktar. %
İMBAT (-50+10) mm	-50+35	20.4	100.0		18.4	100.0	
	-35+25	15.9	79.6	42.6	15.1	81.6	39.3
	-25+18	6.4	63.7		5.8	66.5	
	-18+10	17.1	57.4	17.1	10.1	60.7	10.1
	-10	6.4	40.3	40.3	4.1	50.5	50.5
	TOPLAM	66.1		100.0	53.6		100.0

Çizelge 7.35. İmbat kömürü üzerinde -50+10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrası farklı boyut gruplarının ürünler içindeki dağılımları.

	Boyut	Lave	Mikst	Şist
	Mm	% Dağ.	% Dağ.	% Dağ.
İMBAT (-50+10 mm)	-50+35	29.2	55.2	15.6
	-35+25	34.1	54.3	11.6
	-25+19	29.9	53.1	17.0
	-19+10	44.4	32.7	22.9
	-10	14.2	2.8	-

-10 mm boyutlu İmbat Kömürü üzerinde gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonucunda elde edilen lavenin boyut dağılımı Şekil 7.8’de verilmektedir. Görüldüğü üzere -10 mm boyut grubunda kazanılan lavenin d80 boyutunun 5 mm olduğu saptanmıştır. Çizelge 7.36 ve 7.37 incelendiğinde ise orijinal beslenen malzeme ile zenginleştirme devresinden çıkan ürünün boyut dağılımlarının değiştiği ve mazlemenin zenginleştirme esnasında bir miktar ufalandığı tesbit edilmiştir. Bununla birlikte ince boyutlu grubun (-2 mm) büyük çoğunlukta lavede toplandığı (% 73-76 oranlarında) gözlenmiştir. Bu davranış; -10 mm gibi geniş boyut dağılımlarına sahip beslenen malzemelerde optimum olarak seçilen akışkanlandırma havasının küçük boyutlu fraksiyonlar için fazla gelmesi ve bu fraksiyonların hafif ürün olan ve akışkan yatağın üst seviyelerinde biriken laveye karışması şeklinde yorumlanmıştır.



Şekil 7.8. İmbat -10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrası elde edilen lave ürününün boyut dağılımı.

Çizelge 7.36. İmbat -10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme öncesi ve sonrası boyut dağılımları (nihai ayırma sonrası ürünlerin boyutları birleştirilerek hesaplanmıştır).

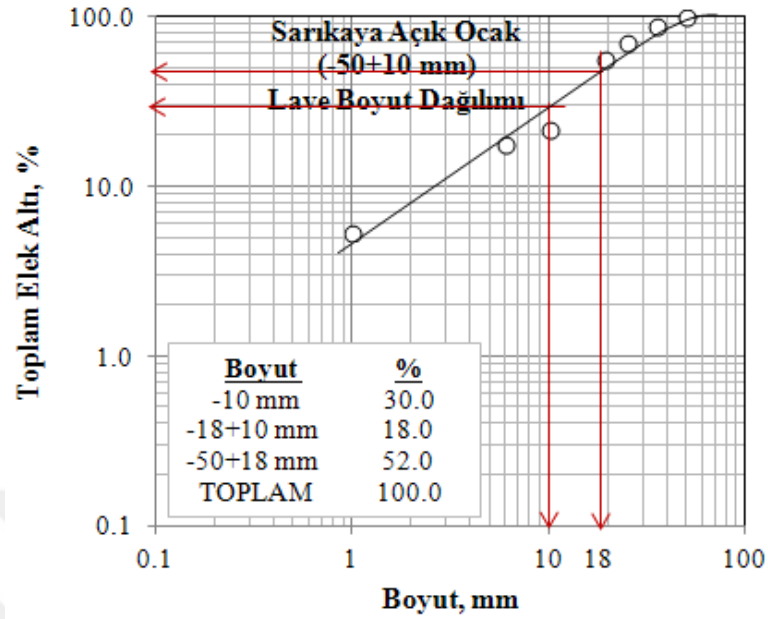
	Boyut Mm	ORJİNAL		NİHAİ SONRASI	
		Miktar	Küm.	Miktar	Küm.
		%	E.A. %	%	E.A. %
İMBAT (-10) mm	-10.0+7.0	18.2	100.0	12.8	100.0
	-7.0+4.70	27.2	81.8	24.0	87.2
	-4.70+3.36	7.5	54.6	7.9	63.1
	-3.36+2.0	16.0	47.1	19.0	55.2
	-2.0+1.0	15.6	31.1	18.4	36.3
	-1.0	9.6	15.5	10.2	17.9
	TOPLAM	94.1		92.4	

Çizelge 7.37. İmbat kömürü üzerinde -10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrası farklı boyut gruplarının ürünler içindeki dağılımları.

	Boyut	Lave	Mikst	Şist
	mm	% Dağ.	% Dağ.	% Dağ.
İMBAT (-50+10 mm)	-10.0+7.0	25.2	44.9	29.9
	-7.0+4.70	38.1	48.8	13.1
	-4.70+3.36	43.8	49.8	6.4
	-3.36+2.0	54.1	42.4	3.5
	-2.0+1.0	72.9	25.5	1.6
	-1.0	76.0	21.6	-

Sarıkaya kömürü üzerinde -50+10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kaba ayırma devresi sonucu elde edilen lavenin boyut dağılımı incelendiğinde (Şekil 7.9); Lavenin % 52'sinin 50+18 mm boyut grubunda olduğu, -18+10 mm boyut grubundaki malzeme oranının % 18 olduğu, -10 mm boyut grubundaki malzemenin ise % 30 civarında olduğu tesbit edilmiştir.

Zenginleştirme devresine giren -50+10 mm boyut gruplu malzemenin orjinal haldeki ve zenginleştirme sonrası hesaplanan boyut dağılımlarının verildiği Çizelge 7.38 ve 7.39 incelendiğinde ise; beslenenin % 28.4'ü -50+18 mm boyut grubunda iken zenginleştirme sonrası bu değerin % 26.4 seviyelerine düştüğü; % 57 olan -10 mm boyut grubunun % 62.6 seviyelerine yükseldiği saptanmıştır.



Şekil 7.9. Sarıkaya -50+10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrası elde edilen lave ürününün boyut dağılımı.

Çizelge 7.38. Sarıkaya -50+10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme öncesi ve sonrası boyut dağılımları (nihai ayırma sonrası ürünlerin boyutları birleştirilerek hesaplanmıştır).

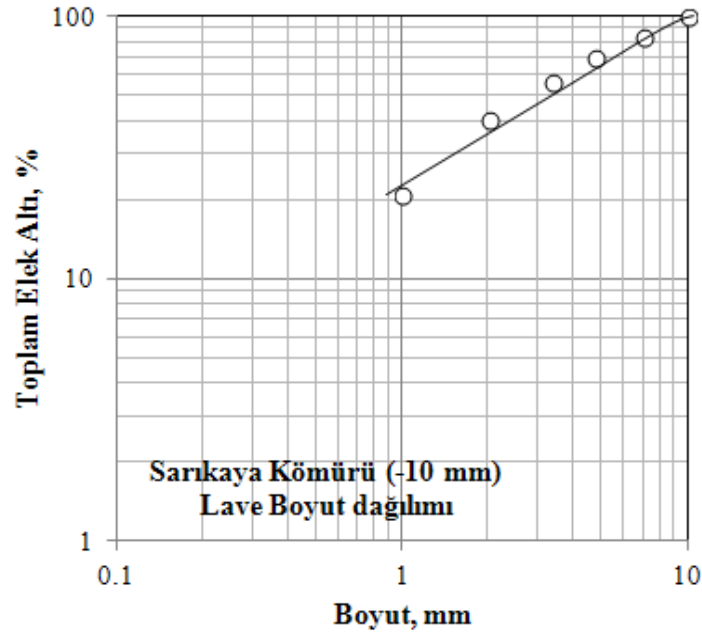
SARIKAYA AO (-50+10) mm	Boyut mm	ORJİNAL			NİHAİ AYIRMA SONRASI		
		Miktar	Küm.	Küm.	Miktar	Küm.	Küm.
		%	E.A. %	Miktar. %	%	E.A. %	Miktar. %
	-50+35	12.0	100.0		10.7	100.0	
	-35+25	10.1	88.0	28.4	10.1	89.3	26.7
	-25+19	6.3	77.9		5.8	79.2	
	-19+10	14.6	71.6	14.6	10.7	73.3	10.7
	-10	7.4	57.0	57.0	5.6	62.6	62.6
	TOPLAM	50.4		100.0	43.0		100.0

Çizelge 7.39 ise; yine beslenen malzemedeki ince boyut grubunun lavede toplandığını göstermektedir. Bilindiği üzere kömür yantaşına göre kolay kırılğan bir malzeme olup daha çok ince boyut gruplarında yer almaktadır. İri boyut grubunun ise daha çok mikst ürününde toplandığı saptanmıştır. Bu da tamamıyla mikstin miktarı ile ilgilidir.

Çizelge 7.39. Sarıkaya kömürü üzerinde -50+10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrası farklı boyut gruplarının ürünler içindeki dağılımları.

	Boyut mm	Lave	Mikst	Şist
		% Dağ.	% Dağ.	% Dağ.
SARIKAYA AO (-50+10 mm)	-50+35	22.3	63.3	14.5
	-35+25	38.8	51.9	9.3
	-25+19	57.7	32.4	9.9
	-19+10	70.8	18.7	10.5
	-10	13.1	1.5	-

-10 mm boyutlu Sarıkaya kömürü üzerinde üzerinde gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonucunda elde edilen lavenin boyut dağılımı Şekil 7.10'de verilmektedir. Görüldüğü üzere -10 mm boyut grubunda kazanılan lavenin d_{80} boyutunun 7 mm olduğu saptanmıştır. Çizelge 7.40 ve 7.41 incelendiğinde ise orijinal beslenen malzeme ile zenginleştirme devresinden çıkan ürünün boyut dağılımlarının çok fazla değişiklik göstermediği ve malzemenin kuru zenginleştirme prosesi esansında fazla ufalanmadığı tesbit edilmiştir. Bununla birlikte ince boyutlu grubun (-2 mm) büyük çoğunlukta lavede toplandığı (% 83-84 oranlarında) gözlenmiştir.



Şekil 7.10. Sarıkaya -10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrası elde edilen lave ürününün boyut dağılımı.

Çizelge 7.40. Sarıkaya -10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme öncesi ve sonrası boyut dağılımları (nihai ayırma sonrası ürünlerin boyutları birleştirilerek hesaplanmıştır).

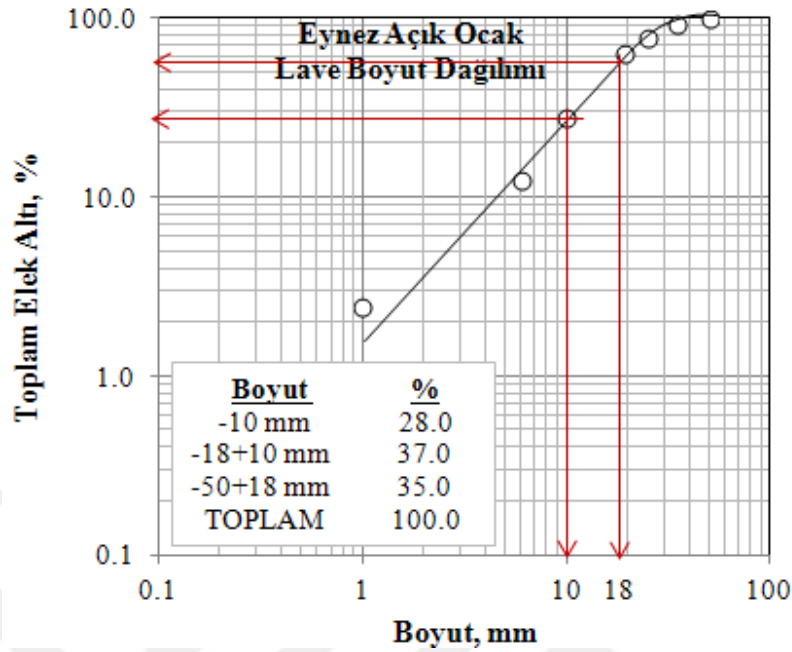
	Boyut mm	ORJİNAL		NİHAİ AYIRMA SONRASI	
		Miktar	Küm.	Miktar	Küm.
		%	E.A. %	%	E.A. %
SARIKAYA AO (-10) mm	-10.0+7.0	22.7	100.0	24.1	100.0
	-7.0+4.70	17.6	77.3	17.3	75.9
	-4.70+3.36	12.9	59.7	12.9	58.6
	-3.36+2.0	13.9	46.8	13.0	45.7
	-2.0+1.0	13.8	32.9	13.4	32.7
	-1.0	15.9	19.1	14.3	19.3
	TOPLAM	96.8		95.0	

Çizelge 7.41. Sarıkaya kömürü üzerinde -10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrası farklı boyut gruplarının ürünler içindeki dağılımları.

	Boyut	Lave	Mikst	Şist
	mm	% Dağ.	% Dağ.	% Dağ.
SARIKAYA AO (-10 mm)	-10.0+7.0	36.8	43.8	19.4
	-7.0+4.70	46.7	39.2	14.1
	-4.70+3.36	57.6	34.1	8.4
	-3.36+2.0	67.8	27.4	4.8
	-2.0+1.0	83.5	14.8	1.8
	-1.0	82.2	14.2	3.7

Eynez AO kömürü üzerinde -50+10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kaba ayırma devresi sonucu elde edilen lavenin boyut dağılımı incelendiğinde (Şekil 7.11); Lavenin % 35'inin 50+18 mm boyut grubunda olduğu, -18+10 mm boyut grubundaki malzeme oranının % 37 olduğu, -10 mm boyut grubundaki malzemenin ise % 28 civarında olduğu tesbit edilmiştir.

Zenginleştirme devresine giren -50+10 mm boyut gruplu malzemenin orjinal haldeki ve zenginleştirme sonrası hesaplanan boyut dağılımlarının verildiği Çizelge 7.42 ve 7.43 incelendiğinde ise; beslenenin % 17.9'u -50+18 mm boyut grubunda iken zenginleştirme sonrası bu değer % 16.5 seviyelerine düştüğü; % 9.5 olan -10 mm boyut grubunun % 6.5 seviyelerine düştüğü saptanmıştır. İnce boyut grubundaki malzeme oranının azalmasının sebebinin, çok ince boyutlu malzemenin bir kısmının filtreler tarafından çekilmesi olduğu düşünülmüştür.



Şekil 7.11. Eynez -50+10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrası elde edilen lave ürününün boyut dağılımı.

Çizelge 7.42. Eynez AO -50+10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme öncesi ve sonrası boyut dağılımları (nihai ayırma sonrası ürünlerin boyutları birleştirilerek hesaplanmıştır).

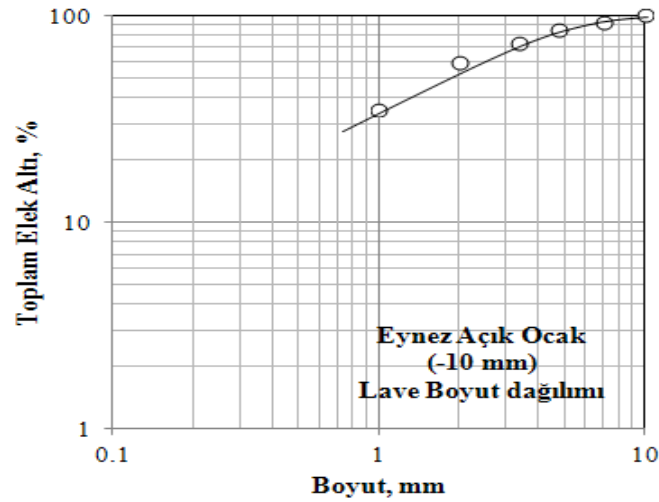
	Boyut mm	ORİJİNAL			NİHAİ AYIRMA SONRASI		
		Miktar	Küm.	Küm.	Miktar	Küm.	Küm.
		%	E.A. %	Miktar. %	%	E.A. %	Miktar. %
EYNEZ AO (-50+10) mm	-50+35	5.6	100.0		4.5	100.0	
	-35+25	7.1	94.4	17.9	7.1	95.5	16.5
	-25+19	5.3	87.4		4.9	88.4	
	-19+10	12.9	82.1	12.9	11.3	83.5	11.3
	-10	9.5	69.2	69.2	6.5	72.1	72.1
	TOPLAM	40.3		100.0	34.4		100.0

Çizelge 7.43’de görüldüğü gibi ince boyut fraksiyonlarının büyük bir kısmının lavede toplandığı tespit edilmiştir.

Çizelge 7.43. Eynez AO kömürü üzerinde -50+10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrası farklı boyut gruplarının ürünler içindeki dağılımları.

	Boyut mm	Lave	Mikst	Şist
		% Dağ.	% Dağ.	% Dağ.
EYNEZ AO (-50+10 mm)	-50+35	28.5	47.9	23.6
	-35+25	40.1	46.0	23.9
	-25+19	53.2	37.7	9.1
	-19+10	62.6	28.3	9.1
	-10	31.9	4.3	-

-10 mm boyutlu Eynez AO Kömürü üzerinde gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonucunda elde edilen lavenin boyut dağılımı Şekil 7.12’de verilmektedir. Görüldüğü üzere -10 mm boyut grubunda kazanılan lavenin d_{80} boyutunun 5.5 mm olduğu saptanmıştır. Çizelge 7.44 ve 7.45 incelendiğinde ise orijinal beslenen malzeme ile zenginleştirme devresinden çıkan ürünün boyut dağılımlarının çok fazla değişiklik göstermediği ve malzemenin kuru zenginleştirme prosesi esansında fazla ufalanmadığı tesbit edilmiştir. Bununla birlikte ince boyutlu grubun (-2 mm) büyük çoğunlukta lavede toplandığı (% 83-94 oranlarında) gözlenmiştir.



Şekil 7.12. Eynez -10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrası elde edilen lave ürününün boyut dağılımı.

Çizelge 7.44. Eynez -10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme öncesi ve sonrası boyut dağılımları (nihai ayırma sonrası ürünlerin boyutları birleştirilerek hesaplanmıştır).

	Boyut mm	ORJİNAL		NİHAİ AYIRMA SONRASI	
		Miktar	Küm.	Miktar	Küm.
		%	E.A. %	%	E.A. %
EYNEZ AO (-10) mm	-10.0+7.0	9.9	100.0	12.9	100.0
	-7.0+4.70	11.2	90.1	11.5	87.1
	-4.70+3.36	12.3	78.9	11.6	75.5
	-3.36+2.0	16.2	66.6	13.5	64.0
	-2.0+1.0	17.9	50.4	17.1	50.5
	-1.0	24.5	32.4	22.1	33.4
	TOPLAM	92.1		88.7	

Çizelge 7.45. Eynez AO kömürü üzerinde -10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonrası farklı boyut gruplarının ürünler içindeki dağılımları.

	Boyut	Lave	Mikst	Şist
	mm	% Dağ.	% Dağ.	% Dağ.
EYNEZ AO (-50+10 mm)	-10.0+7.0	29.9	48.3	21.8
	-7.0+4.70	44.6	35.9	19.5
	-4.70+3.36	54.4	30.6	15.0
	-3.36+2.0	66.8	24.2	9.0
	-2.0+1.0	82.9	14.3	2.8
	-1.0	94.3	4.1	1.6

7.4.2. Pilot ölçekli havalı jig'in tesis performansı

-50 mm boyutlu İmbat, Sarıkaya ve Eynez AO kömürleri üzerinde -50+10 mm ve -10 mm olmak üzere iki boyut grubunda ve iki kademedeki (temiz lave alımına yönelik kaba ayırma devresi ve temiz bir şist atımına yönelik nihai ayırma devresi) gerçekleştirilen kuru zenginleştirme sonuçları aynı zamanda ayırma performansı olarak değerlendirilmiş ve her bir kömür için her bir ayırma devresinde elde edilen ürünler üzerinde yüzdürme batırma testleri gerçekleştirilmiş ve d_{50} ayırma yoğunlukları, Hata fakörü $[E_p = (d_{25} - d_{75})/2]$ ve Hassasiyet faktörleri $[I = (E_p / (d_{50} - 1))]$ hesaplanmıştır. Bunun dışında araürün de mikstle birleştirmede söz konusu E_p ve I değerleri de

ayrıca hesaplanmıştır. Performans dataları İmbat -50+10 mm boyut grubu ve kaba ve nihai ayırma devresi için Şekil 7.13 ve Çizelge 7.46 ve 7.47’de verilmiştir. -50+10 mm boyut grubunda İmbat kömürü üzerinde yapılan ayırma sonrasında elde edilen Ep ve I değerleri Çizelge 7.48’de verilmiştir.

Çizelge 7.46. -50+10 mm boyut grubunda İmbat kömürü ile yapılan kaba devre kuru zenginleştirme sonrası ürünlerin yoğunluk dağılımları.

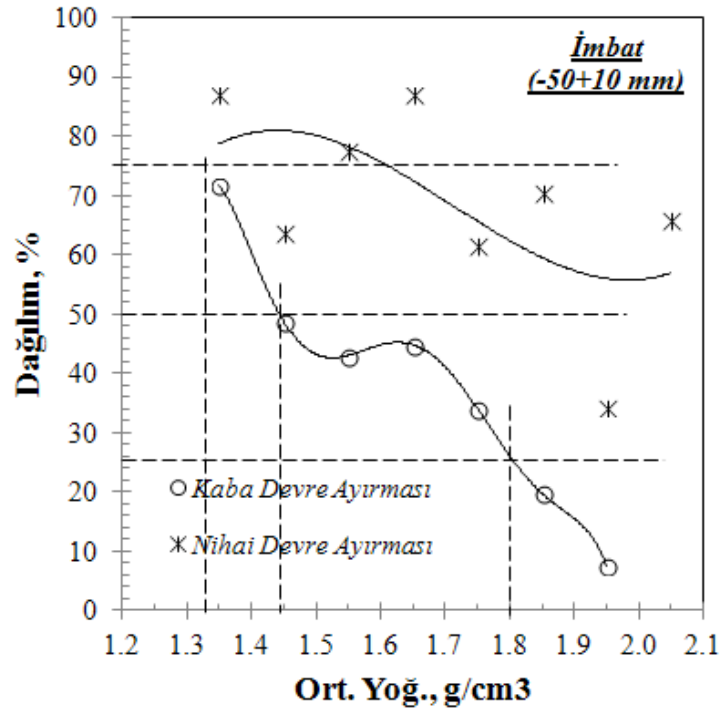
Yoğunluk g/cm ³	Ortalama Yoğunluk g/cm ³	Lave Miktarı (%)	Tüvenana Göre Lave Miktarı (%)	Şist Miktarı (%)	Tüvenana Göre Şist Miktarı (%)	Tüvenan Hesaben Miktar (%)	Dağılım Faktörü (%)
-1.3	/	50.5	15.4	7.5	5.2	20.6	74.5
+1.3-1.4	1.35	25.8	7.8	4.5	3.1	10.9	71.6
+1.4-1.5	1.45	8.3	2.5	3.8	2.6	5.1	48.8
+1.5-1.6	1.55	5.6	1.7	3.2	2.2	3.9	43.0
+1.6-1.7	1.65	2.4	0.7	1.3	0.9	1.6	44.8
+1.7-1.8	1.75	1.8	0.5	1.5	1.1	1.6	34.1
+1.8-1.9	1.85	0.8	0.2	1.4	1.0	1.2	19.7
+1.9-2.0	1.95	0.7	0.2	3.5	2.4	2.6	7.6
+2.0-2.1	2.05	3.2	1.0	28.5	19.8	20.8	4.7
+2.1	/	1.1	0.3	44.9	31.2	31.6	1.0
TOPLAM		100.0	30.4	100.0	69.6	100.0	

Çizelge 7.47. -50+10 mm boyut grubunda İmbat kömürü ile yapılan nihai devre kuru zenginleştirme sonrası ürünlerin yoğunluk dağılımları.

Yoğunluk g/cm ³	Ortalama Yoğunluk g/cm ³	Mikst Miktarı (%)	Tüvenana Göre Lave Miktarı (%)	N. Şist Miktarı (%)	Tüvenana Göre Şist Miktarı (%)	Tüvenan Hesaben Miktar (%)	Dağılım Faktörü (%)
-1.3	/	8.6	5.4	1.4	0.5	5.9	91.3
+1.3-1.4	1.35	6.7	4.2	1.7	0.6	4.8	87.1
+1.4-1.5	1.45	2.3	1.5	2.2	0.8	2.3	63.8
+1.5-1.6	1.55	2.9	1.8	1.4	0.5	2.4	77.5
+1.6-1.7	1.65	4.3	2.7	1.1	0.4	3.1	87.1
+1.7-1.8	1.75	2.3	1.4	2.4	0.9	2.3	61.7
+1.8-1.9	1.85	3.0	1.9	2.1	0.8	2.7	70.7
+1.9-2.0	1.95	2.9	1.8	9.1	3.4	5.2	34.5
+2.0-2.1	2.05	42.4	26.6	36.6	13.7	40.3	66.1
+2.1	/	24.7	15.5	42.0	15.7	31.1	49.7
TOPLAM		100.0	62.7	100.0	37.3	100.0	

Çizelge 7.48. -50+10 mm boyut grubunda İmbat kömürü ile yapılan kuru zenginleştirme sonrası elde edilen E_p , I ve d_{50} değerleri.

	d_{25}	d_{75}	d_{50}	E_p	I
Kaba ayırma Devresi	1.80	1.33	1.45	0.225	0.500
Nihai Ayırma Devresi	?	1.65	?	?	?



Şekil 7.13. İmbat kömürü üzerinde -50+10 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme sonrasında oluşturulan performans eğrileri.

Performans dataları İmbat -10 mm boyut grubu ve kaba ve nihai ayırma devresi için Şekil 7.14 ve Çizelge 7.49 ve 7.50'de verilmiştir. -10 mm boyut grubunda İmbat kömürü üzerinde yapılan ayırma sonrasında elde edilen E_p ve I değerleri Çizelge 7.51'de verilmiştir.

Çizelge 7.49. -10 mm boyut grubunda İmbat kömürü ile yapılan kaba devre kuru zenginleştirme sonrası ürünlerin yoğunluk dağılımları.

Yoğunluk g/cm ³	Ortalama Yoğunluk g/cm ³	Lave Miktarı (%)	Tüvenana Göre Lave Miktarı (%)	Şist Miktarı (%)	Tüvenana Göre Şist Miktarı (%)	Tüvenan Hesaben Miktar (%)	Dağılım Faktörü (%)
-1.3	/	40.1	20.2	14.1	7.0	27.2	74.2
+1.3-1.4	1.35	10.9	5.5	8.9	4.4	9.9	55.3
+1.4-1.5	1.45	7.1	3.6	4.5	2.3	5.9	61.4
+1.5-1.6	1.55	4.2	2.1	3.4	1.7	3.8	55.8
+1.6-1.7	1.65	3.8	1.9	3.7	1.9	3.8	50.8
+1.7-1.8	1.75	3.1	1.6	3.8	1.9	3.5	45.5
+1.8-1.9	1.85	2.3	1.1	3.2	1.6	2.7	41.6
+1.9-2.0	1.95	10.5	5.3	16.5	8.2	13.4	39.1
+2.0-2.1	2.05	4.8	2.4	12.0	5.9	8.4	29.0
+2.1	/	13.2	6.6	30.0	14.9	21.5	30.9
TOPLAM		100.0	50.3	100.0	49.7	100.0	

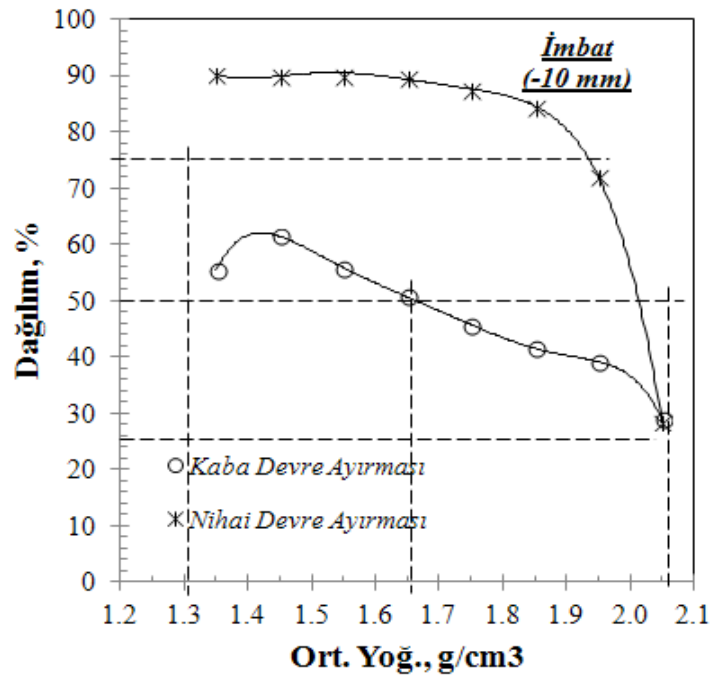
Çizelge 7.50. -10 mm boyut grubunda İmbat kömürü ile yapılan nihai devre kuru zenginleştirme sonrası ürünlerin yoğunluk dağılımları.

Yoğunluk g/cm ³	Ortalama Yoğunluk g/cm ³	Mikst Miktarı (%)	Tüvenana Göre Lave Miktarı (%)	N. Şist Miktarı (%)	Tüvenana Göre Şist Miktarı (%)	Tüvenan Hesaben Miktar (%)	Dağılım Faktörü (%)
-1.3	/	22.0	17.8	3.8	0.7	18.5	96.1
+1.3-1.4	1.35	8.1	6.6	3.7	0.7	7.3	90.1
+1.4-1.5	1.45	4.9	4.0	2.3	0.4	4.4	90.0
+1.5-1.6	1.55	3.3	2.6	1.5	0.3	2.9	90.1
+1.6-1.7	1.65	4.0	3.2	1.9	0.4	3.6	89.6
+1.7-1.8	1.75	3.6	2.9	2.2	0.4	3.4	87.4
+1.8-1.9	1.85	4.3	3.5	3.3	0.6	4.1	84.6
+1.9-2.0	1.95	8.9	7.1	14.4	2.8	9.9	72.1
+2.0-2.1	2.05	4.1	3.3	42.9	8.3	11.6	28.5
+2.1	/	36.8	29.7	24.1	4.6	34.3	86.5
TOPLAM		100.0	80.7	100.0	19.3	100.0	

Çizelge 7.51. -10 mm boyut grubunda İmbat kömürü ile yapılan kuru zenginleştirme sonrası elde edilen E_p , I ve d_{50} değerleri

	d_{25}	d_{75}	d_{50}	E_p	I
Kaba ayırma Devresi	2.00	1.30*	1.65	0.350	0.540
Nihai Ayırma Devresi	2.05	1.95	2.02	0.050	0.050

*Tahmini olarak alınmıştır.



Şekil 7.14. İmbat kömürü üzerinde -10 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme sonrasında oluşturulan performans eğrileri.

Sarıkaya -50+10 mm boyut grubu ve kaba ve nihai ayırma devresi için performans dataları Şekil 7.15 ve Çizelge 7.52 ve 7.53'de verilmiştir. -50+10 mm boyut grubunda Sarıkaya kömürü üzerinde yapılan ayırma sonrasında elde edilen E_p ve I değerleri Çizelge 7.54'de verilmiştir.

Çizelge 7.52. -50+10 mm boyut grubunda Sarıkaya kömürü ile yapılan kaba devre kuru zenginleştirme sonrası ürünlerin yoğunluk dağılımları.

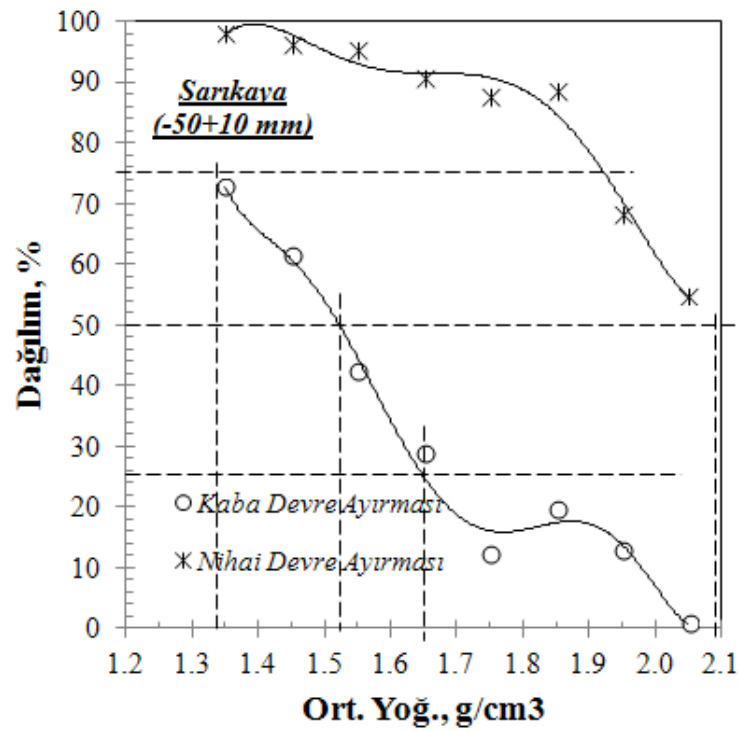
Yoğunluk g/cm ³	Ortalama Yoğunluk g/cm ³	Lave Miktarı (%)	Tüvenana Göre Lave Miktarı (%)	Şist Miktarı (%)	Tüvenana Göre Şist Miktarı (%)	Tüvenan Hesaben Miktar (%)	Dağılım Faktörü (%)
-1.3	/	53.2	23.4	4.7	2.6	26.0	89.8
+1.3-1.4	1.35	20.3	8.9	6.0	3.4	12.3	72.7
+1.4-1.5	1.45	13.1	5.8	6.4	3.6	9.4	61.6
+1.5-1.6	1.55	5.8	2.6	6.2	3.5	6.0	42.4
+1.6-1.7	1.65	3.9	1.7	7.5	4.2	5.9	28.8
+1.7-1.8	1.75	1.5	0.7	8.4	4.7	5.4	12.3
+1.8-1.9	1.85	1.6	0.7	5.1	2.8	3.5	19.7
+1.9-2.0	1.95	0.4	0.2	1.9	1.1	1.2	13.1
+2.0-2.1	2.05	0.1	0.1	14.1	7.9	8.0	0.8
+2.1	/	0.1	0.0	39.6	22.2	22.2	0.1
TOPLAM		100.0	44.0	100.0	56.0	100.0	

Çizelge 7.53. -50+10 mm boyut grubunda Sarıkaya kömürü ile yapılan nihai devre kuru zenginleştirme sonrası ürünlerin yoğunluk dağılımları.

Yoğunluk g/cm ³	Ortalama Yoğunluk g/cm ³	Mikst Miktarı (%)	Tüvenana Göre Lave Miktarı (%)	N.Şist Miktarı (%)	Tüvenana Göre Şist Miktarı (%)	Tüvenan Hesaben Miktar (%)	Dağılım Faktörü (%)
-1.3	/	7.6	6.0	0.5	0.1	6.1	98.2
+1.3-1.4	1.35	9.5	7.5	0.7	0.2	7.6	98.0
+1.4-1.5	1.45	7.4	5.8	1.1	0.2	6.0	96.2
+1.5-1.6	1.55	5.8	4.6	1.0	0.2	4.8	95.5
+1.6-1.7	1.65	4.8	3.8	1.8	0.4	4.1	90.8
+1.7-1.8	1.75	4.5	3.6	2.3	0.5	4.1	87.7
+1.8-1.9	1.85	6.2	4.9	2.9	0.6	5.5	88.7
+1.9-2.0	1.95	3.7	2.9	6.3	1.3	4.2	68.4
+2.0-2.1	2.05	19.6	15.4	59.5	12.7	28.2	54.8
+2.1	/	30.8	24.2	23.9	5.1	29.3	82.6
TOPLAM		100.0	78.6	100.0	21.4	100.0	

Çizelge 7.54. -50+10 mm boyut grubunda Sarıkaya kömürü ile yapılan kuru zenginleştirme sonrası elde edilen E_p , I ve d_{50} değerleri.

	d_{25}	d_{75}	d_{50}	E_p	I
Kaba ayırma Devresi	1.65	1.35*	1.52	0.150	0.29
Nihai Ayırma Devresi	?	1.90	2.10	?	?



Şekil 7.15. Sarıkaya kömürü üzerinde -50+10 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme sonrasında oluşturulan performans eğrileri.

Sarıkaya -10 mm boyut grubu ve kaba ve nihai ayırma devresi için performans dataları Şekil 7.16 ve Çizelge 7.55 ve 7.56'da verilmiştir. -10 mm boyut grubunda Sarıkaya kömürü üzerinde yapılan ayırma sonrasında elde edilen E_p ve I değerleri Çizelge 7.57'de verilmiştir.

Çizelge 7.55. -10 mm boyut grubunda Sarıkaya kömürü ile yapılan kaba devre kuru zenginleştirme sonrası ürünlerin yoğunluk dağılımları.

Yoğunluk g/cm ³	Ortalama Yoğunluk g/cm ³	Lave Miktarı (%)	Tüvenana Göre Lave Miktarı (%)	Şist Miktarı (%)	Tüvenana Göre Şist Miktarı (%)	Tüvenan Hesaben Miktar (%)	Dağılım Faktörü (%)
-1.3	/	10.6	6.1	3.8	1.6	7.7	79.4
+1.3-1.4	1.35	39.3	22.8	21.7	9.1	31.9	71.4
+1.4-1.5	1.45	9.5	5.5	6.4	2.7	8.2	67.2
+1.5-1.6	1.55	5.9	3.4	5.6	2.4	5.8	59.1
+1.6-1.7	1.65	5.0	2.9	7.2	3.0	6.0	49.0
+1.7-1.8	1.75	3.1	1.8	5.2	2.2	4.0	45.3
+1.8-1.9	1.85	9.1	5.3	7.9	3.3	8.6	61.3
+1.9-2.0	1.95	4.5	2.6	14.4	6.0	8.7	30.3
+2.0-2.1	2.05	4.7	2.8	13.9	5.8	8.6	32.0
+2.1	/	8.3	4.8	13.9	5.8	10.7	45.2
TOPLAM		100.0	58.0	100.0	42.0	100.0	

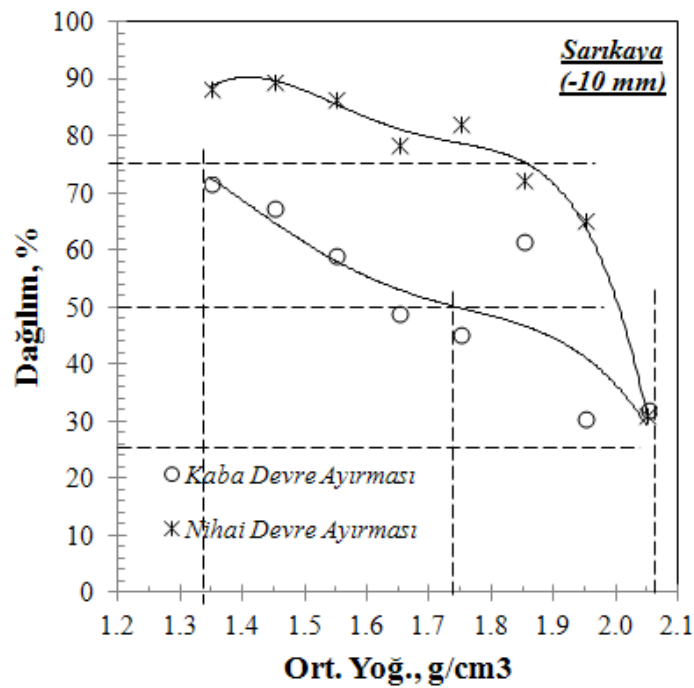
Çizelge 7.56. -10 mm boyut grubunda Sarıkaya kömürü ile yapılan nihai devre kuru zenginleştirme sonrası ürünlerin yoğunluk dağılımları.

Yoğunluk g/cm ³	Ortalama Yoğunluk g/cm ³	Mikst Miktarı (%)	Tüvenana Göre Lave Miktarı (%)	N. Şist Miktarı (%)	Tüvenana Göre Şist Miktarı (%)	Tüvenan Hesaben Miktar (%)	Dağılım Faktörü (%)
-1.3	/	8.7	6.6	0.6	0.2	6.7	97.7
+1.3-1.4	1.35	22.0	16.6	8.7	2.1	18.7	88.5
+1.4-1.5	1.45	8.9	6.7	3.2	0.8	7.5	89.6
+1.5-1.6	1.55	5.1	3.8	2.4	0.6	4.4	86.5
+1.6-1.7	1.65	5.5	4.1	4.6	1.1	5.3	78.5
+1.7-1.8	1.75	5.4	4.1	3.5	0.9	4.9	82.4
+1.8-1.9	1.85	7.2	5.4	8.3	2.1	7.5	72.6
+1.9-2.0	1.95	2.8	2.1	4.5	1.1	3.2	65.5
+2.0-2.1	2.05	5.2	3.9	34.8	8.6	12.5	31.1
+2.1	/	29.2	22.0	29.4	7.3	29.3	75.2
TOPLAM		100.0	75.3	100.0	24.7	100.0	

Çizelge 7.57. -10 mm boyut grubunda Sarıkaya kömürü ile yapılan kuru zenginleştirme sonrası elde edilen E_p , I ve d_{50} değerleri.

	d_{25}	d_{75}	d_{50}	E_p	I
Kaba ayırma Devresi	2.05*	1.35*	1.75	0.35	0.47
Nihai Ayırma Devresi	2.05*	1.87	2.00	0.09	0.09

*Tahmini olarak alınmıştır.



Şekil 7.16. Sarıkaya kömürü üzerinde -10 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme sonrasında oluşturulan performans eğrileri.

Eynez AO -50+10 mm boyut grubu ve kaba ve nihai ayırma devresi için performans dataları Şekil 7.17 ve Çizelge 7.58 ve 7.59'da verilmiştir. -50+10 mm boyut grubunda Eynez AO kömürü üzerinde yapılan ayırma sonrasında elde edilen E_p ve I değerleri Çizelge 7.60'de verilmiştir.

Çizelge 7.58. -50+10 mm boyut grubunda Eynez AO kömürü ile yapılan kaba devre kuru zenginleştirme sonrası ürünlerin yoğunluk dağılımları.

Yoğunluk g/cm ³	Ortalama Yoğunluk g/cm ³	Lave Miktarı (%)	Tüvenana Göre Lave Miktarı (%)	Şist Miktarı (%)	Tüvenana Göre Şist Miktarı (%)	Tüvenan Hesaben Miktar (%)	Dağılım Faktörü (%)
-1.3	/	37.7	18.0	6.4	3.3	21.4	84.5
+1.3-1.4	1.35	26.4	12.6	10.0	5.2	17.9	70.7
+1.4-1.5	1.45	9.6	4.6	11.6	6.0	10.6	43.4
+1.5-1.6	1.55	4.6	2.2	4.1	2.1	4.3	50.7
+1.6-1.7	1.65	4.2	2.0	5.9	3.1	5.1	39.6
+1.7-1.8	1.75	4.7	2.3	7.1	3.7	6.0	37.8
+1.8-1.9	1.85	4.9	2.3	6.6	3.5	5.8	40.2
+1.9-2.0	1.95	1.2	0.6	5.7	3.0	3.6	15.9
+2.0-2.1	2.05	4.8	2.3	26.3	13.7	16.0	14.3
+2.1	/	2.0	0.9	16.3	8.5	9.4	10.0
TOPLAM		100.0	47.9	100.0	52.1	100.0	

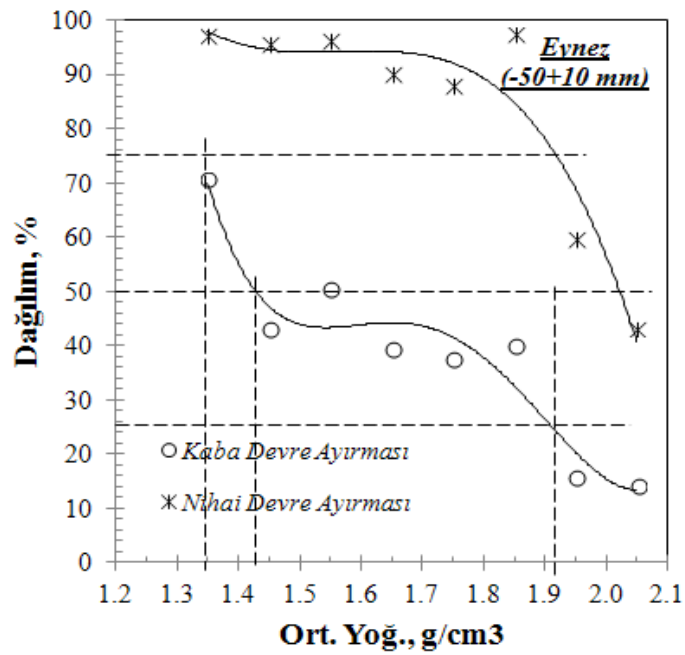
Çizelge 7.59. -50+10 mm boyut grubunda Eynez ao kömürü ile yapılan nihai devre kuru zenginleştirme sonrası ürünlerin yoğunluk dağılımları.

Yoğunluk g/cm ³	Ortalama Yoğunluk g/cm ³	Mikst Miktarı (%)	Tüvenana Göre Lave Miktarı (%)	N. Şist Miktarı (%)	Tüvenana Göre Şist Miktarı (%)	Tüvenan Hesaben Miktar (%)	Dağılım Faktörü (%)
-1.3	/	11.4	8.3	0.8	0.2	8.5	97.5
+1.3-1.4	1.35	11.1	8.1	0.9	0.2	8.4	97.2
+1.4-1.5	1.45	12.4	9.1	1.5	0.4	9.5	95.7
+1.5-1.6	1.55	8.6	6.3	1.0	0.3	6.6	96.1
+1.6-1.7	1.65	7.3	5.3	2.2	0.6	5.9	90.0
+1.7-1.8	1.75	7.9	5.8	3.0	0.8	6.6	88.0
+1.8-1.9	1.85	5.6	4.1	0.4	0.1	4.2	97.3
+1.9-2.0	1.95	2.6	1.9	4.9	1.3	3.3	59.6
+2.0-2.1	2.05	6.9	5.0	25.1	6.7	11.7	43.0
+2.1	/	26.5	19.4	60.4	16.1	35.5	54.7
TOPLAM		100.0	73.5	100.3	26.7	100.0	

Çizelge 7.60. -50+10 mm boyut grubunda Eynez AO kömürü ile yapılan kuru zenginleştirme sonrası elde edilen E_p , I ve d_{50} değerleri.

	d_{25}	d_{75}	d_{50}	E_p	I
Kaba ayırma Devresi	1.92	1.35*	1.42	0.285	0.68
Nihai Ayırma Devresi	2.12*	1.92	2.02	0.10	0.10

*Tahmini olarak alınmıştır.



Şekil 7.17. Eynez AO kömürü üzerinde -50+10 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme sonrasında oluşturulan performans eğrileri.

Eynez AO -10 mm boyut grubu ve kaba ve nihai ayırma devresi için performans dataları Şekil 7.18 ve Çizelge 7.61 ve 7.62’de verilmiştir. -10 mm boyut grubunda Eynez AO kömürü üzerinde yapılan ayırma sonrasında elde edilen E_p ve I değerleri Çizelge 7.63’de verilmiştir.

Çizelge 7.61. -10 mm boyut grubunda Eynez AO kömürü ile yapılan kaba devre kuru zenginleştirme sonrası ürünlerin yoğunluk dağılımları.

Yoğunluk g/cm ³	Ortalama Yoğunluk g/cm ³	Lave Miktarı (%)	Tüvenana Göre Lave Miktarı (%)	Şist Miktarı (%)	Tüvenana Göre Şist Miktarı (%)	Tüvenan Hesaben Miktar (%)	Dağılım Faktörü (%)
-1.3	/	46.2	29.7	20.5	7.3	37.0	80.3
+1.3-1.4	1.35	35.6	22.9	25.4	9.0	32.0	71.7
+1.4-1.5	1.45	4.4	2.9	6.2	2.2	5.1	56.3
+1.5-1.6	1.55	1.6	1.0	3.3	1.2	2.2	46.5
+1.6-1.7	1.65	1.3	0.8	3.1	1.1	1.9	43.4
+1.7-1.8	1.75	1.8	1.1	3.0	1.1	2.2	51.9
+1.8-1.9	1.85	1.6	1.0	3.5	1.3	2.3	45.3
+1.9-2.0	1.95	1.0	0.7	3.7	1.3	2.0	33.5
+2.0-2.1	2.05	2.1	1.4	15.4	5.5	6.9	20.0
+2.1	/	4.4	2.8	15.8	5.6	8.5	33.4
TOPLAM		100.0	64.4	100.0	35.6	100.0	

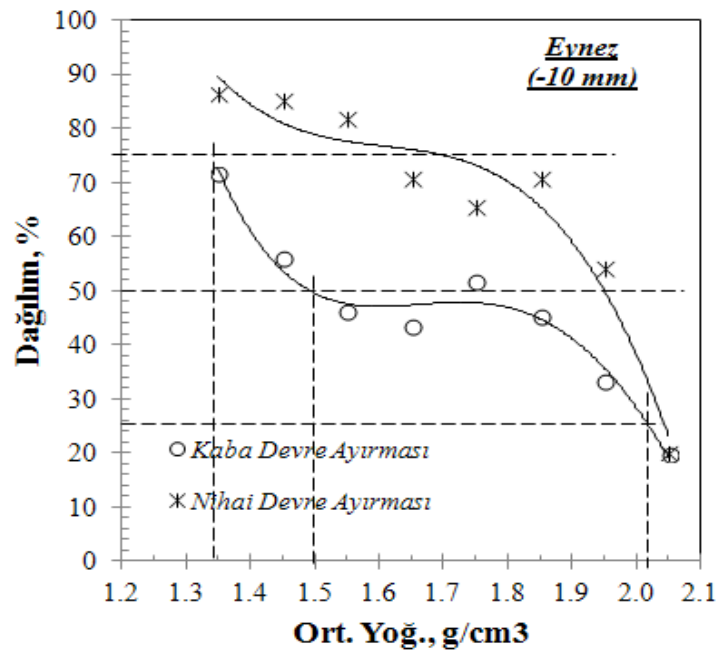
Çizelge 7.62. -10 mm boyut grubunda Eynez AO kömürü ile yapılan nihai devre kuru zenginleştirme sonrası ürünlerin yoğunluk dağılımları.

Yoğunluk g/cm ³	Ortalama Yoğunluk g/cm ³	Lave Miktarı (%)	Tüvenana Göre Lave Miktarı (%)	Şist Miktarı (%)	Tüvenana Göre Şist Miktarı (%)	Tüvenan Hesaben Miktar (%)	Dağılım Faktörü (%)
-1.3	/	33.5	24.6	4.7	1.3	25.8	95.2
+1.3-1.4	1.35	24.7	18.1	10.6	2.8	20.9	86.5
+1.4-1.5	1.45	7.4	5.4	3.5	0.9	6.3	85.5
+1.5-1.6	1.55	4.4	3.2	2.7	0.7	3.9	81.9
+1.6-1.7	1.65	2.5	1.8	2.8	0.7	2.6	70.8
+1.7-1.8	1.75	3.2	2.3	4.5	1.2	3.5	65.8
+1.8-1.9	1.85	4.7	3.4	5.3	1.4	4.8	71.0
+1.9-2.0	1.95	5.9	4.3	13.7	3.6	8.0	54.4
+2.0-2.1	2.05	2.7	2.0	29.0	7.7	9.7	20.2
+2.1	/	11.2	8.2	23.3	6.2	14.4	57.0
TOPLAM		100.0	73.4	100.0	26.6	100.0	

Çizelge 7.63. -10 mm boyut grubunda Eynez AO kömürü ile yapılan kuru zenginleştirme sonrası elde edilen E_p , I ve d_{50} değerleri.

	d_{25}	d_{75}	d_{50}	E_p	I
Kaba ayırma Devresi	2.02	1.35*	1.50	0.335	0.67
Nihai Ayırma Devresi	2.05	1.70	1.95	0.225	0.24

*Tahmini olarak alınmıştır.



Şekil 7.18. Eynez AO kömürü üzerinde -10 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme sonrasında oluşturulan performans eğrileri.

7.4.3. Pilot ölçekli ve laboratuvar ölçekli zenginleştirme sonuçlarının karşılaştırılması

Her iki cihaz ile yapılan sonuçlar değerlendirildiğinde sonuçların birbirine benzer çıktığı görülmüştür. (Çizelge 7.64 – 7.67) Özellikle pilot tesiste beslenen tüvenan malzeme ve tesisin çalışması belli bir süre içerisinde rejime girdiğinde, iri boyutta (-50+10mm) ayırma sonuçları şist atımında laboratuvar ölçeğe göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Temiz lave alımında ise bir değişiklik gözlemlenmemiştir.

Çizelge 7.64. İmbat yeraltı kömürünün laboratuvar çaplı zenginleştirme sonuçları.

İmbat Yeraltı Laboratuvar Sonuçları					
	Ürünler	Miktar %	Kül %	Kal. Değer Kcal/kg	Top. S %
-50+4mm	Lave	29,3	19,45	5296	-
	Mikst	2,5	44,54	3156	-
	Nihai Şist	40,9	67,79	671	-
	Toplam	72,7	47,49	2620	-
-4 mm	Lave	19,9	36,33	3808	-
	Mikst	1,5	43,15	3215	-
	Nihai Şist	5,9	60,57	425	-
	Filtre Tozu	-	-	-	-
	Toplam	27,3	41,94	3044	-
Toplam		100	45,97	2736	

Çizelge 7.65. İmbat yeraltı kömürünün pilot çaplı zenginleştirme sonuçları.

İmbat Yeraltı Pilot Tesis Sonuçları					
	Ürünler	Miktar %	Kül %	Kal. Değer Kcal/kg	Top. S %
-50+10mm	Lave	20,1	19,74	5424	1,17
	Mikst	25,2	52,03	1857	0,46
	Nihai Şist	15,0	63,31	393	0,27
	Toplam	60,4	44,07	2682	0,65
-10 mm	Lave	18,7	40,20	3654	0,89
	Mikst	14,4	48,67	2748	0,73
	Nihai Şist	3,5	62,11	842	0,17
	Filtre Tozu	3,0	47,48	3143	0,94
	Toplam	39,6	45,74	3041	0,77
Toplam		100	45,74	2825	0,70

Çizelge 7.66. Eynez A.O. kömürünün laboratuvar zenginleştirme sonuçları.

Eynez A.O. Laboratuvar Sonuçları					
	Ürünler	Miktar %	Kül %	Kal. Değer Kcal/kg	Top. S %
-50+4mm	Lave	40,8	18,55	5675	
	Mikst	8,2	41,23	4066	
	Nihai Şist	15,4	55,73	2091	
	Toplam	64,4	30,32	4613	
-4 mm	Lave	9,1	25,57	4806	
	Mikst	3,8	33,70	4532	
	Nihai Şist	2,1	54,68	2661	
	Filtre Tozu	20,6	39,88	3780	
	Toplam	35,6	36,43	4056	
Toplam		100	32,49	4415	0,70

Çizelge 7.67. Eynez A.O. kömürünün pilot çaplı zenginleştirme sonuçları.

Eynez A.O. Pilot Tesis Sonuçları					
	Ürünler	Miktar %	Kül %	Kal. Değer Kcal/kg	Top. S %
-50+10mm	Lave	19,3	19,02	5700	1,04
	Mikst	11,1	50,43	2612	0,60
	Nihai Şist	4,0	65,13	418	0,19
	Toplam	34,4	34,50	4091	0,80
-10 mm	Lave	38,9	26,99	4808	1,06
	Mikst	13,5	35,02	4073	0,95
	Nihai Şist	4,9	56,57	1710	0,46
	Filtre Tozu	8,3	31,8	4324	1,13
	Toplam	65,6	31,45	4365	1,00
Toplam		100	32,50	4271	0,93

Sonuçlar göstermiştir ki, laboratuvar ölçekli Allair Jig ile yapılan çalışmalar alınan sonuçlar, bir tesis kurulumu söz konusu olduğunda, tesis dizaynı, malzeme balansı gibi konularda yeterli ve doğru bilgiyi vermektedir.

7.4.4. Fizibilite çalışması

Pilot ölçekli tesis ile yapılan sonuçların fizibilitesi değerlendirildiğinde, her iki boyutun zenginleştirilmesi için 2 devre ayırma yapmak gerekmektedir. 2 ayırma devresi için 4 ünite Allair Jig kurulumu yapılmalıdır. Ayrıca ocaktan gelecek tüvenan malzemede ki ince boyutlu kömürün neminin alınması için (yüksek nemli tüvenan malzeme için gereklidir) kurutma fırını kurulması gerekmektedir. Tesis için gerekli olan Bunkerler, vibrasyonlu elekler, çeneli kırıcı, bantlar, titreşimli besleyiciler ve yaklaşık 3 dönümlük bir alanın 3,7 milyon \$ yatırım gerektirmektedir (Abka, 2014).

Tüm yatırımların 6 aylık bir sürede tamamlanacağı öngörüsü ile yıl – 0’da projeye başlanacağı varsayılırsa, yılın yarısında yatırımın tamamlanacağı düşünülmekte olup; yılın geri kalan döneminde ise üretime başlanacağı ve yarı yıllık dönem için gelir elde edileceği varsayılabilir. Tesis ömrünün, amortisman ömrü kadar, yani 10 yıl olacağı düşünülmüştür. Dolayısıyla fizibilite de 10 yıllık süre için hazırlanmıştır. Fizibilite ömrü amortisman ömrü kadar olduğu için, ilk yatırımda dikkate alınan yatırımlar haricinde herhangi bir yenileme & modernizasyon yatırımı dikkate alınmamıştır (Abka, 2014). Yatırım sonucu gerçekleşecek kapasite / üretim durumları Çizelge 7.68 – 7.69’da verilmiştir.

Çizelge 7.68. Kapasite üretim analizi (Abka, 2014).

		Yıl – 0	Yıl – 1	Yıl – 2	Yıl – 3	Yıl – 10
Üretim	Ton	300.000	600.000	600.000	600.000	600.000
Boyuta göre Üretim						
-1mm (%12,5)	Ton	37.500	75.000	75.000	75.000	75.000
-10+1mm (%27,5)	Ton	82.500	165.000	165.000	165.000	165.000
+10mm (%60)	Ton	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000

Çizelge 7.69. Üretim analizi (Lave ve Mikst) (Abka, 2014).

		Yıl – 0	Yıl – 1	Yıl – 2	Yıl – 3	Yıl - 10
Boyuta göre Üretim						
+10 mm (Lave)	Ton	63.000	126.000	126.000	126.000	126.000
+10 mm (Mikst)	Ton	76.050	152.100	152.100	152.100	152.100
-10 mm (Lave)	Ton	37.125	74.250	74.250	74.250	74.250
-10 mm (Mikst)	Ton	29.494	58.988	58.988	58.988	58.988
-1 mm (Toz)	Ton	37.500	75.000	75.000	75.000	75.000

Ocak işletme maliyeti olarak, işletme sahibi firmalardan alınan rakama göre 30 \$/ton'dur. Bu maliyetin içerisinde cevherin ocaktan çıkartılması, ocak – tesis nakliye, atıkların tesisten uzaklaştırılması kalemlerini kapsamaktadır. Kurulacak jiglerin her biri yaklaşık 750 kw/s elektirik harcayamaktadır. Ayrıca kurutucu, elek, kırıcı ve diğer tesis ekipmanları için 360 kw/s'lik bir kapasite öngörülmüştür. İnce boyutlu malzeme de nemin giderilmesi için kurulması düşünülen kurutucu için LNG maliyeti 1.3 \$/ton olarak hesaplanmıştır (nemin %5 düşürülmesi için). Tesisin 3 vardiya çalışacağı düşünüldüğünde her bir vardiyada 1'er usta ve 3'er işçi yerleştirilmesi öngörülmüştür. Toplam cironun %1'lik kısmı bakım & onarım için ayrılmış olup, faaliyet giderleri olarak kurulacak tesis için hiçbir marjinal gider hesaplanmamıştır. Amortisman bedeli yatırımın 10 yıl içerisinde kendini amorti edeceği varsayımına göre hazırlanmıştır. Vergi oranı %20 olarak kabul edilmiş olup, net bugünkü değerin hesap edildiği iskonto oranı %11 olarak alınmıştır. Satılabilecek olan ürünlerin fiyat varsayımları aşağıdaki gibidir,

- +10 mm Lave : 105 \$/ton
- +10 mm Mikst : 46 \$/ton
- -10 mm Lave : 70 \$/ton
- -10 mm Mikst : 23 \$/ton
- -1 mm Toz : 16 \$/ton

Belirtilen varsayımlar dahilinde, Tesis işletme maliyeti 3.5 \$/ton'dur. Ocak üretim maliyet, ile birlikte 41\$/ton olarak karşımıza çıkmaktadır. Ortalama kömür satış fiyatı 55\$/ton'dur. Brüt kar 14.3\$/ton'dur. Bu durumda, gerekli yatırımlar yapılarak kurulacak ve havalı jig ile kömür üretimi gerçekleştirecek tesisin fizibilite çalışması karlı görünmektedir. Bu yatırım ile işletmeler, oldukça kısa süreli geri ödeme süresine sahip bir yatırım gerçekleştirmiş olacaktır.

Bu bağlamda %11,0 ile indirgenmiş yatırımın net bugünkü değeri 34,27 milyon \$ seviyesinde oluşurken; iç karlılık oranı ise, geri ödeme süresinin çok kısa olmasının etkisiyle, %848 seviyesinde gerçekleşmektedir. Projenin geri ödeme yılı ise 1,1 yıl olarak hesap edilmektedir.



8. SONUÇ

Laboratuar ölçekli Allair Jigi uygulaması sonrasında, gerek laboratuar sonuçlarının test edilmesi gerekse ocaktan gelen taze numuneler kullanılarak ocaktan yeni çıkan kömür neminin ayırma üzerindeki etkisinin daha net olarak gözlenmesi amacıyla Soma-Dereköy Torbalama Tesisi Yedek ünitesine 15-20 ton/saat kapasiteli Allair Jigi kurulmuş ve Kuru Zenginleştirme çalışmaları Pilot ölçekli sistemde gerçekleştirilmiştir. Kuru zenginleştirme çalışmaları; çalışma şartlarının optimizasyonu, optimum şartlarda istikrarlı bir üretim (ürün kalitesi ve ayırma kalitesi devamlılığı) amaçlı tekrarlı testleri içermektedir. Günde en az 20 ton kömür numunesi kullanılmış ve testler her bir kömür için en az 5 gün boyunca tekrarlanmıştır. Optimum şartlarda üretimler süresince lave, şist ve mikstten örnekler alınmış ve ayrıca ürünler üzerinde yüzdürme batırma testleri yapılarak ayırma performansı da ölçülmüştür. Yapılan çalışmalar sonucunda;

Bireysel olarak her bir kömür numunesi incelendiğinde;

İmbat Kömürü ile yapılan çalışmalar'da;

(a) İri boyutta (-50+10 mm) yapılan kuru zenginleştirme ile % 20'den daha düşük küllü lavelerin alınmasının mümkün olduğu, değişen beslenen kül içeriklerine rağmen hemen hemen lave kalitesinin korunduğu tespit edilmiştir. Optimum şartlarda yapılan ayırma sonucunda; Kaba devre ayırması ile beslenenin % 20.1'i oranında bir kısım % 19.74 kül, kuru bazda 5424 kcal/kg üst ısı değer ve % 1.17 S içeriği ile lave olarak kazanılmıştır. Nihai devre ayırması sonucunda Beslenenin % 15'i % 63.31 kül içeriği ve 393 kcal/kg üst ısı değer ile atılabilmiştir. Bu devrede alınan mikstin miktarı % 25.2 olup, kül ve kalorifik değer içerikleri ise % 52.3 ve 1857 kcal/kg olarak saptanmıştır. Bu devrede ayrıca beslenenin % 39.6'sı oranında -10 mm boyutlu malzeme ayrılmış ve ikinci bir kuru zenginleştirme işlemine tabi tutulmuştur (Bknz. Çizelge 7.5-7.7).

(b) İnce boyutta (-10 mm) yapılan kuru zenginleştirme sonucunda; Kaba ayırma devresi ile, beslenenin % 47.3'ü % 40.2 kül ve % 0.89 S içeriği ile lave olarak kazanılmıştır. Lavenin üst ısı değeri kuru bazda 3654 kcal/kg olarak tespit edilmiştir. Bu devreden elde edilen kaba şiste uygulanan nihai ayırma devresi ile beslenenin % 8.7'si oranında bir kısım % 62.11 kül ve 842 kcal/kg üst ısı değer içeriği ile atılmıştır. Toplam ayırma sonucu lave mikst (Beslenenin % 14.4'ü, % 48.67 kül ve 2748 kcal/kg ısı değerli) ve şiste ilave olarak filtre tozu malzemesi de kazanılmış olup, beslenenin % 3'ünü oluşturmuş ve kül içeriği ve kalorifik değeri ise 47.48 % ve 3143 kcal/kg olarak tespit edilmiştir.

(c) İri boyutta ve ince boyutta yapılan ayırmalar sonucunda proses gereği beslenen kömür boyutunda bir miktar incelleme olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebi olarak mekanik etkiler

ve ikinci kez prosesten geçen numunenin kırıcılarda tekrar ufalanması ve ikinci eleme sonrası kaçakların kazanılması gösterilebilir.

(d) İri boyutta yapılan ayırma sonucunda elde edilen lavenin % 62'sinin -50+18 mm, % 18'inin -18+10 mm ve % 20'sinin -10 mm boyutunda olduğu tespit edilmiştir.

(e) İri boyutta yapılan ayırma sonucunda kaba ayırma devresinde d_{50} ayırma yoğunluğunun 1.45 g/cm^3 Ep değerinin 0.225 ve I değerinin 0.500 olduğu tespit edilmiştir. Nihai ayırma devresinde ise analiz sonuçlarından d_{25} ve d_{50} tespit edilemediğinden hata faktörü hesaplanamıştır. Nihai ayırma devresinde ayırmanın kötü olduğu düşünülmüştür.

(f) İnce boyutta yapılan ayırma sonucunda elde edilen lavenin d_{80} boyutunun 5 mm olduğu tespit edilmiştir.

(g) İnce boyutta yapılan ayırma sonucunda kaba ayırma devresinde d_{50} ayırma yoğunluğunun 1.65 g/cm^3 , Ep değerinin 0.350 ve I değerinin 0.540 olduğu tespit edilmiştir. Nihai ayırma devresinde ise d_{50} ayırma yoğunluğunun 2.02 g/cm^3 , Ep ve I değerinin 0.050 olduğu tespit edilmiştir.

Sarıkaya Kömürü ile yapılan çalışmalar'da;

(a) İri boyutta (-50+10 mm) yapılan kuru zenginleştirme ile % 20'den daha düşük küllü lavelerin alınmasının mümkün olduğu, değişen beslenen kül içeriklerine rağmen hemen hemen lave kalitesinin korunduğu tespit edilmiştir. Optimum şartlarda yapılan ayırma sonucunda; Kaba devre ayırması ile beslenenin % 22.2'si oranında bir kısım % 20.12 kül, kuru bazda 5211 kcal/kg üst ısı değer ve % 0.73 S içeriği ile lave olarak kazanılmıştır. Nihai devre ayırması sonucunda beslenenin % 4.5'i % 65.94 kül içeriği ve 311 kcal/kg üst ısı değer ile atılabilmektedir. Bu devrede alınan mikstin miktarı % 16.3 olup, kül ve kalorifik değer içerikleri ise % 54.33 ve 1830 kcal/kg olarak saptanmıştır. Bu devrede ayrıca beslenenin % 57'si oranında -10 mm boyutlu malzeme ayrılmış ve ikinci bir kuru zenginleştirme işlemine tabii tutulmuştur (Bknz. Çizelge 7.15-7.17).

(b) İnce boyutta (-10 mm) yapılan kuru zenginleştirme sonucunda; Kaba ayırma devresi ile, beslenenin % 56.1'i, % 41.52 kül ve % 0.58 S içeriği ile lave olarak kazanılmıştır. Lavenin üst ısı değeri kuru bazda 3443 kcal/kg olarak tespit edilmiştir. Bu devreden elde edilen kaba şiste uygulanan nihai ayırma devresi ile Beslenenin % 9.6'sı oranında bir kısım % 56.30 kül ve 1513 kcal/kg üst ısı değer içeriği ile atılmıştır. Toplam ayırma sonucu lave mikst (Beslenenin % 29.3'ü, % 46.48 kül ve 2858 kcal/kg ısı değerli) ve şiste ilave olarak filtre tozu malzemesi de kazanılmış olup, beslenenin % 5'ini oluşturmuş ve kül içeriği ve kalorifik değeri ise 40.11 % ve 3534 kcal/kg olarak tespit edilmiştir.

(c) İri boyutta ve ince boyutta yapılan ayırmalar sonucunda proses gereği beslenen kömür boyutunda bir miktar incelme olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebi olarak mekanik etkiler ve ikinci kez prosesten geçen numunenin kırıcılarda tekrar ufalanması ve ikinci eleme sonrası kaçakların kazanılması gösterilebilir.

(d) İri boyutta yapılan ayırma sonucunda elde edilen lavenin % 52'sinin -50+18 mm, % 18'inin -18+10 mm ve % 30'unun -10 mm boyutunda olduğu tespit edilmiştir.

(e) İri boyutta yapılan ayırma sonucunda kaba ayırma devresinde d_{50} ayırma yoğunluğunun 1.52 g/cm^3 Ep değerinin 0.150 ve I değerinin 0.290 olduğu tespit edilmiştir. Nihai ayırma devresinde ise analiz sonuçlarından d_{25} tespit edilemediğinden hata faktörü hesaplanamıştır. Nihai ayırma devresinde ayırmanın kötü olduğu düşünülmüştür.

(f) İnce boyutta yapılan ayırma sonucunda elde edilen lavenin d_{80} boyutunun 7 mm olduğu tespit edilmiştir.

(g) İnce boyutta yapılan ayırma sonucunda kaba ayırma devresinde d_{50} ayırma yoğunluğunun 1.75 g/cm^3 , Ep değerinin 0.350 ve I değerinin 0.470 olduğu tespit edilmiştir. Nihai ayırma devresinde ise d_{50} ayırma yoğunluğunun 2.00 g/cm^3 , Ep ve I değerinin 0.090 olduğu tespit edilmiştir.

Eynez AO Kömürü ile yapılan çalışmalar'da;

(a) İri boyutta (-50+10 mm) yapılan kuru zenginleştirme ile % 20'den daha düşük küllü lavelerin alınmasının mümkün olduğu, değişen beslenen kül içeriklerine rağmen hemen hemen lave kalitesinin korunduğu tespit edilmiştir. Optimum şartlarda yapılan ayırma sonucunda; Kaba devre ayırması ile beslenenin % 19.3'ü oranında bir kısım % 19.02 kül, kuru bazda 5303 kcal/kg üst ısı değer ve % 1.04 S içeriği ile lave olarak kazanılmıştır. Nihai devre ayırması sonucunda beslenenin % 4'ü, % 65.13 kül içeriği ve 418 kcal/kg üst ısı değer ile atılabilmektedir. Bu devrede alınan mikstin miktarı % 11.1 olup, kül ve kalorifik değer içerikleri ise % 50.43 ve 2612 kcal/kg olarak saptanmıştır. Bu devrede ayrıca beslenenin % 65.6'sı oranında -10 mm boyutlu malzeme ayrılmış ve ikinci bir kuru zenginleştirme işlemine tabi tutulmuştur (Bknz. Çizelge 7.25-7.27).

(b) İnce boyutta (-10 mm) yapılan kuru zenginleştirme sonucunda; Kaba ayırma devresi ile, beslenenin % 59.3'ü % 26.99 kül ve % 1.06 S içeriği ile lave olarak kazanılmıştır. Lavenin üst ısı değeri kuru bazda 4808 kcal/kg olarak tespit edilmiştir. Bu devreden elde edilen kaba şiste uygulanan nihai ayırma devresi ile beslenenin % 7.4'ü oranında bir kısım % 56.57 kül ve 1710 kcal/kg üst ısı değeri içeriği ile atılmıştır. Toplam ayırma sonucu lave mikst (Beslenenin % 20.5'i, % 35.02 kül ve 4073 kcal/kg ısı değeri) ve şiste ilave olarak filtre tozu malzemesi de kazanılmış olup, beslenenin % 4.8'ini oluşturmuş ve kül içeriği ve kalorifik değeri ise 36.57 % ve 3891 kcal/kg olarak tespit edilmiştir.

(c) İri boyutta ve ince boyutta yapılan ayırmalar sonucunda proses gereği beslenen kömür boyutunda bir miktar incelmeye olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebi olarak mekanik etkiler ve ikinci kez prosesten geçen numunenin kırıcılarda tekrar ufalanması ve ikinci eleme sonrası kaçakların kazanılması gösterilebilir.

(d) İri boyutta yapılan ayırma sonucunda elde edilen lavenin % 35'inin -50+18 mm, % 37'sinin -18+10 mm ve % 28'inin -10 mm boyutunda olduğu tespit edilmiştir.

(e) İri boyutta yapılan ayırma sonucunda kaba ayırma devresinde d_{50} ayırma yoğunluğunun 1.42 g/cm^3 Ep değerinin 0.285 ve I değerinin 0.680 olduğu tespit edilmiştir. Nihai ayırma devresinde ise d_{50} ayırma yoğunluğunun 2.02 g/cm^3 Ep değerinin 0.100 ve I değerinin 0.100 olduğu tespit edilmiştir.

(f) İnce boyutta yapılan ayırma sonucunda elde edilen lavenin d_{80} boyutunun 5.5 mm olduğu tespit edilmiştir.

(g) İnce boyutta yapılan ayırma sonucunda kaba ayırma devresinde d_{50} ayırma yoğunluğunun 1.50 g/cm^3 , Ep değerinin 0.335 ve I değerinin 0.670 olduğu tespit edilmiştir. Nihai ayırma devresinde ise d_{50} ayırma yoğunluğunun 1.95 g/cm^3 , Ep ve I değerinin 0.225 ve 0.24 olduğu tespit edilmiştir.

Çalışma sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde ise;

- **Ürün kalitesi ve ayırma etkinliğinin devamlılığının sağlanması:** Optimum şartlar sağlandıktan sonra yapılan tekrarlı deneylerde ürün kalitesinin korunduğu ve istikrarlı bir ayırmanın sağlandığı saptanmıştır. İmbat kömürü üzerinde -50+10 mm boyutlu fraksiyonun zenginleştirilmesinde lave kül değerinin 18-21 arasında değiştiği bu küçük değişimlerin de beslenen malzeme kül içeriği değişiminden kaynaklandığı saptanmıştır.

- **Manuel/otomatik boşaltma sisteminin kararı:** Allair Jigi çalışma şartları manuel olarak kontrol edilmiştir. Nükleer dedektör sistemi ile çalışma yapıldığında jig tabaka yüksekliği'nin optimum seviyede kalmaması sebebiyle iyi sonuçlar alınamamıştır

- **Kömür neminin Etkisi:** Ocaktan çıktığı şekilde kömürlerin sahip olduğu nemlerin özellikle iri boyut için ayırmada bir problem teşkil etmediği; bilhassa İmbat kömürü için % 12-14 civarında olan tüvenan kömür neminin -50+10 mm boyut grubuna $<10\%$ olarak yansıdığı ve bu boyut grubu için kuru zenginleştirmede bir sorun yaratmadığı gözlenmiştir. İmbat A.Ş., yeraltı üretimi ile kömür üretmektedir. Yeraltı kömürlerinde çok yüksek nemler söz konusu değildir. Bu kömürün mevcut nemi çoğunlukla ocak yangınlarının önlenmesi amacıyla ocaklara su basılması sonucudur. Eynez ve Sarıkaya kömürleri için de çalışılan süreçte nem açısından bir problem yaşanmamıştır. Ancak, Eynez ve Sarıkaya kömürleri açık ocak işletmeciliği ile üretildiğinden,

yağışlı iklimlerde nemin olumsuz etkilerinin görülebileceği düşünülmektedir. Çalışılan süreçte nemin tek etkisinin silolarda yapışma sorunu olduğu gözlenmiştir.

- **Boyut:** Allair jigi uygulamasına uygun boyutta kömürün ufalanması sonucunda kömürün inceye geçtiği ve parça kömür oranının azaldığı zaman zaman proses ile ilgilenenler tarafından ifade edilmektedir. Ancak, çalışmalar sonucunda yaptığımız değerlendirmelerde; İmbat kömürünün +50 mm boyut grubunun % 10-15 seviyelerinde olduğu ve kalorifik değerinin (kuru bazda üst ısı değer) 1100 kcal/kg olduğu saptanmıştır. Kaba bir hesaplama % 10-15'lik kısmın % 25'inin lave olarak alınabileceği düşünülürse; Allair jigi uygulaması ile, iri boyutta kömür olarak % 3-4 lük bir parça kömür zaiyatına sebep olabileceği düşünülmektedir. Eynez AO kömürü ise yapı itibarıyla ezilmiş bir kömür olduğundan dolayı zaten ince boyutlara geçmektedir. Sonuç olarak klasik yıkama tesislerinde uygulanan üst boyut olan -150 mm ile çalışmanın yerine Allair jigi uygulamasının gerektirdiği -50 mm boyutunda çalışmanın parça kömür açısından çok da önemli farklılıklar yaratmayacağı düşünülmektedir.

- **Ayırma performansı:** Kuru kömür zenginleştirme ile ilgili Pilot ölçekli çalışmalar sonrasında elde edilen ürünler üzerinde yapılan yüzdürme-batırma testi sonucu d_{50} ayırma yoğunluklarının $>1.90 \text{ g/cm}^3$ gibi yüksek değerlerde olduğu (mikst ve lave birleştiğinde), hata ve hassasiyet faktörlerinin klasik kömür yıkama cihazlarına (ağır ortam ya da jig) göre daha yüksek değerlerde olduğu ve her ne kadar $< \%20$ küllü lavelerin alımı ve $<500 \text{ kgcal/kg}$ ısı değerli şistlerin atılması mümkün olsa da büyük oranda lave ve şistin mikst ürününe karıştığı tespit edilmiştir. Bu durum söz konusu lave üretiminde bir miktar azalmaya ve şistin mikste karışarak mikst kalitesini düşmesine sebep olmaktadır.

- **Pilot ve Lab ölçekli havalı jig'in karşılaştırması:** İmbat kömürü üzerinde yapılan çalışmalarda iri boyutta ayırma'da her iki ayırma sisteminde de lave külü $\%20$ 'nin altında alınabilmiş ve $\%60$ 'ın üzerinde kül içerikli şist atımı sağlanabilmiştir. İnce boyut ayırımında ise, alınan lave ürünleri $\%35-40$ kül içeriğinde olup, $\%60$ kül içerikli şist atılabilmektedir. Eynez kömüründe ise her iki ayırma sisteminde iri boyutta $\%20$ 'nin altında kül içerikli lave alınabilmiştir. İnce boyutta yapılan ayırma da ise, her iki sistemde de $\%25$ kül içerikli lave alınabilmiş ve $\%55$ kül içerikli şist atılabilmektedir. Bu sonuçlar göstermektedir ki laboratuvar ölçekli AllAir Jig ile yapılan performans testleri, Pilot ya da büyük ölçekli sistemleri doğru şekilde simüle edebilmektedir.

- **Fizibilite:** pilot çaplı AllAir Jig ile yapılan testlerin sonuçları irdelendiğinde, yıllık 300.000 ton kapasiteli kuru ayırma sisteminin kurulması durumunda, ilk yatırım maliyeti 3.7 M\$'dır. İşletmenin faaliyete geçmesi ile birlikte 13,5 ay içerisinde yatırımın karşılığını alacağı öngörülmüş olup, 10 yıllık tesis ömründe 34.3 M\$'lık karlılık öngörülmüştür.

Kuru zenginleştirme ile yapılan çalışmaların sonucu göstermiştir ki; kuru sistemler, yaş sistemlere alternatif olarak düşünülmesi gereken sistemlerdir. Özellikle gelecekte yaşanacak su problemi ve teknolojik gelişmeleri göz önüne alındığında kuru sistemlerin avantajlı duruma geçeceği kaçınılmaz bir gerçektir. Ayrıca kuru ayırma sistemleri, yaş ayırma sistemlerine göre prosesinin basitliği, hesaplanan fizibilite sonuçlarına finansal açıdan da olumlu yansımalar göstermiştir. Gelecekte ülkemizde kuru ayırma sistemlerinin olması yadsınamaz bir gerçektir.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abka M. (2014), “İTÜ – TKİ Soma Havalı Jig ile Kömür Zenginleştirme Fizibilite Çalışması Raporu”.
- Atesok G. (2009), “Kömür Hazırlama ve Teknolojisi”, İTÜ Maden Fakültesi Cevher Hazırlama Müh. Böl.
- Ateşok G., Yıldırım İ., İlhan M., (1996). “Zonguldak Taşkömürünün Oksidasyon Özellikleri”, IX Müh. Semp., Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Bowden, F. P. ve D. Tabor, D. (1956), Friction and lubrication, Wiley, London.
- BP (2014), Statistical Review of World Energy
- BP (2016), Statistical Review of World Energy
- British Petroleum, (2008),. Early Release, “Statistical Review of World Energy, London.
- Chen, Q. ve Yang, Y. (2003), Development of Dry Beneficiation of Coal in China. *Coal Preparation* 23, 3 -12.
- Çelik, M. S., Yıldırım, I., (2000),. A New Physical Process for Desulfurization of Low-Rank Coals, *Fuel*.
- Donnelly, J. (1999),. Potential Revival of dry Cleaning of Coal. *The Australian Coal Review*.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Kömür Rezervlerinin Güncellenmesi Çalışmaları (2011) (ETKB 2013).
- Fan M., Chen Q., Zhao Y., Tao D. Luo Z., Tao X., Yang Y., Jiang X., Zhu J., (2005), Coal Ash Beneficiation and Utilization in Coal Separation Process.
- Fan, M., Chen, Q., Zhao, Y., Luo, Z. ve Guan, Y. (2003),. Fundamentals of a magnetically stabilized fluidized bed for coal separation. *Coal Preparation*, 23, 47-55.
- Fan, M., Luo, Z., Tao, D., Zhao, Y. ve Chen, Q. (2009).), Dry Coal Separation with a Vibrated Air -Dense Medium Fluidized Bed, SME Annual Meeting (Sfs. 1-4). Preprint 09-112, February 22-25.
- Gera, D., M. Gautam, M., Y. Tsuji, Y., T. Kawaguchi, T. ve Y. Tanaka, Y. (1998), Computer simulation of bubbles in large-particle fluidized beds, *Powder Technology* 98 (1998) 38.
- Honaker, R. Q. (2007),. Coarse Dry Coal Cleaning, Workshop on Coal Beneficiation and Utilization of Rejects : Initiatives, Policies and Best Practices Ranchi, India, August 22 – 24.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Jiang, X, ve Tao, D., (2003),; “Enhancement of Dry Triboelectric Separation of Fly Ash Using Seed Particles”, *Coal Preparation*, 23: 67–76.

Karatepe N., Yavuz R., Meriçboyu A.E., Öztürk M., (1998),. “Kömürün yakılmasından kaynaklanan kirleticiler ve emisyon değerleri”. *Kömür*, Kural, O. Ed., s 623-638.

Kawaguchi, T., T. Tanaka, T. ve Y. Tsuji, Y. (1998), Numerical simulation of two-dimensional fluidized beds using the discrete element method (comparison between two- and three-dimensional models), *Powder Technology* 96 (1998) 129.

Küçükbayrak S., (1998), Kömürün ısı analizi. kömür özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri. Kural O., Ed., Özgün Ofset, İstanbul, s. 113-127

Küçükbayrak S., Kadioğlu E., Kemal M., (1991),. “Kömürün fiziksel ve diğer bazı teknolojik özellikleri” *Kömür*, (Ed. Kural O.), Bölüm 3, s. 75-102.

Lekili M., (1986), “ Okside kömürün karakteristikleri ve kömür hazırlama tesisi performansına etkileri”. *Madencilik Bilimsel Teknik Kongresi*, Ankara.

Limtrakul, S., A. Chalermwattanatai, A., K. Unggerawirote, K., Y. Tsuji, Y., Kawaguchi, T. ve W. Tanthapanichakoon, W. (2003), Discrete particle simulations of solids motion in a gas-solid fluidized bed, *Chemical Engineering Science* 58 (2003) 915.

Luo, Z., Zhu, J., Fan, M., Zhao, Y. ve Tao, X. (2007),. Low Density Dry Coal Beneficiation Using an Air Dense Medium Fluidized Bed. *Journal of China University of Mining and Technology* (C. 17, 3, Sfs. 306-309).

Maoming, F., Qingru, C., Yuemin, Z., Zhenfu, L., Xinxi, Z., Xiuxiang, T. Guohua, Y., (2003), “Fine coal dry classification and separation”, *The European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection*, 3-2, 196-201

Meriçboyu, A. E., Beker, Ü. G., Küçükbayrak S., (1998). “Kömür ve çevre ilişkileri”, *Kömür*, Kural, O., Ed. S. 571-583.

Mikami, T., H. Kamiya, H. and ve M. Horio, M. (1998), Numerical simulation of cohesive powder behavior in a fluidized bed, *Chemical Engineering Science* 53 (10) (1998), 1927.

Osborne D. G. (1998),. “Coal Preparation Technology” Graham & Trotman Ltd.

Richardson, J.F. (1971), Incipient fluidization and particulate system, *Fluidization*, by J. F. Davidson and D. Harrison, (1971) Bölüm 2, s. 26.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Sampaio, C.H., W. Aliaga, W., E.T. Pacheco, E. T., E. Petter, E., H. Wotruba, H. (2008), Coal Beneficiation of Candiota mine by Dry Jigging. *Fuel Processing Technology*. 198-202.

Snoby, R., Thompson, K., Mishra, S. Ve Snoby, B. (2009), Dry Jigging Coal: Case History Performance. SME Annual Meeting, Denver.

Soong, Y., Link, T.A., Schoffstall, M.R., Gray, M.L., Fauth, D.J., Knoer, J.P. Jones, J.R., Gamwo, I.K. (2001), Dry Benefication of Slovakian Coal (*Fuel Processing Technology* C.72, 185-198)

Stevens A.B. ve ve Hrenya, C. M. (2005), “Comparison of soft-sphere models to measurements of collision properties during normal impacts”, *Powder Technology* 154 (2-3) (2005), 99-109.

Trigwell, S. Tennal, K. B., Mazumder M.K. ve Lindquist, D. A., (2003), “Precombustion Cleaning of Coal By Triboelectric Separation of Minerals”, *Particulate Science and Technology*, 21, 353–364.

Trigwell, S., Tennal, K. B., Mazumder, M. K. ve Lindquist, D. A. (2003), Precombustion cleaning of coal by triboelectric separation of minerals. *Particulate Science and Technology*, 21, 353-364.

Turki, D., ve Fatah, N. (2008),. Fluid dynamics; heat and mass transfer; and other topics, Behavior and fluidization of the cohesive powders: agglomerates sizes approach. *Brazilian Journal of Chemical Engineering* (VolC.25, No.4). São Paulo, Ekim-Aralık 2008.

Türkiye Taş Kömürü Kurumu Taş Kömürü Sektör Raporu (TTK 2013).

Weber, M. W. (2004). Simulation of cohesive particle flows in granular and gas-solid systems, PhD thesis (2004), University of Colorado.

Wright, P. C. ve Raper, J. A. (1998), “Role of liquid bridge forces in cohesive fluidization”, *Transactions of the Institution of Chemical Engineers* 76 (1998), 753.

Xu, B. H. ve Yu, A. B. (1997), Numerical simulation of the gas-solid flow in a fluidized bed by combining discrete particle method with computational fluid dynamics, *Chemical Engineering Science* 52 (16) (1997) 2785-2809.

Yuu, S., T. Umekage, T. ve Y. Johnno, Y. (2000), “Numerical simulation of air and particle motions in bubbling fluidized bed of small particles”, *Powder Technology* 110 (2000) 158.

Zhang, H., Akbari F., Yang, M.K. ve Mohanty, J. (2011),. Performance Optimization of the FGX Dry Separator for Cleaning High- Sulfur Coal, *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 31, 3-4, 161-186.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Tan ÇETİNEL

Doğum Tarihi : 07/07/1981

Eğitim Bilgileri

Lisans : Dumlupınar Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü (2006)

Yüksek Lisans : Dumlupınar Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü (2009)

Doktora : Dumlupınar Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü

İletişim Bilgileri

E-posta : tnctnl81@hotmail.com

Telefon : 0532 789 5585

Tez Kapsamında Yapılmış Olan Yayınlar

- ✓ “Optimum Separation Route for Semi bituminous Coal Using Semi-Pilot Scale Pneumatic Stratification Jig” F. Boylu, T. Cetinel, O. Guven, F. Karakas, K. Cinku, I.E. Karaagaciloglu, M.S. Celik, Physicochemical Problem Mineral Processing, 2015
- ✓ “Effect of Coal Moisture on the Treatment of a Lignitic Coal Through a Semi-Pilot Scale Pneumatic Stratification Jig” F. Boylu, K. Cinku, **T. Cetinel**, F. Karakas, I.E. Karaagaciloglu, M.S. Celik, International Journal of Coal Preparation and Utilization, 2015
- ✓ “Effect of Fluidizing Characteristics on Upgrading of Lignitic Coals in Gravity Based Air Jig” F.Boylu, E. Talı, **T. Cetinel**, M.S. Celik, International Journal of Mineral Processing, 2014
- ✓ “Dry processing Of -4mm Coal Fines Through Air Jig And Aerodynamic Separator” F. Boylu, K. Çinku, **T. Cetinel**, O. Güven, N. Yalçın, M.S. Çelik XV. Balkan Mineral Processing Congress 2013
- ✓ “Dry Processing Of Leonardite By Air Based Gravity Separator” F. Boylu, E.V. Tasdemiroglu, I.E. Karaagaciloglu, **T. Cetinel**, K. Cinku. XIII. Mineral Processing Symposium 2012
- ✓ “Development of Dry Beneficiation Scheme for Soma Imbat Lignite By Allair Jig” F. Boylu, **T. Cetinel**, K. Cinku, O.Kurulu, N.Yalcin, M.S.Celik 29. Internatioanl Pittsburgh Coal Conferance 2012