

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNCE TANE BOYUTUNDAKİ ZONGULDAK  
KÖMÜRLERİNİN  
ZENGİNLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Özcan ÖNEY**

**Eylül, 2012  
İZMİR**

**İNCE TANE BOYUTUNDAKİ ZONGULDAK  
KÖMÜRLERİNİN  
ZENGİNLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Doktora Tezi**

**Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama Anabilim Dalı**


**Özcan ÖNEY**

**Eylül, 2012**

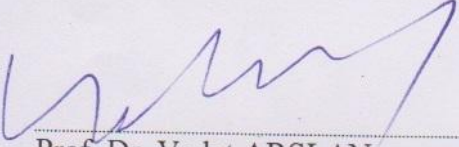
**İZMİR**

## DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

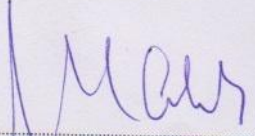
ÖZCAN ÖNEY, tarafından DOÇ. DR. MEHMET TANRIVERDİ yönetiminde hazırlanan “İNCE TANE BOYUTUNDAKİ ZONGULDAK KÖMÜRLERİNİN ZENGİNLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

  
Doç. Dr. Mehmet TANRIVERDİ

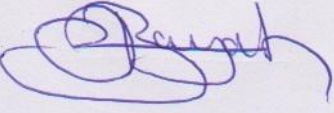
Yönetici

  
Prof. Dr. Vedat ARSLAN

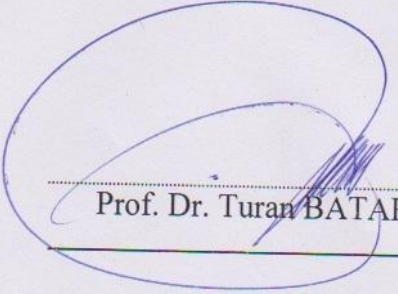
Tez İzleme Komitesi Üyesi

  
Prof. Dr. Mümtaz ÇOLAK

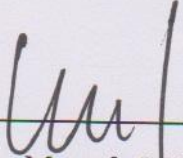
Tez İzleme Komitesi Üyesi

  
Prof. Dr. Oktay BAYAT

Jüri Üyesi

  
Prof. Dr. Turan BATAR

Jüri Üyesi

  
Prof. Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Doktora çalışmam boyunca her aşamada bana her türlü desteği ve ilgiyi sağlayan hocam, Sayın Doç. Dr. Mehmet TANRIVERDİ'ye en içten dileklerle teşekkür ederim.

Doktora çalışmam boyunca çalışmalarımı yönlendiren ve katkı koyan doktora tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. Vedat ARSLAN ve Doç. Dr. Mümtaz ÇOLAK'a teşekkür ederim.

Çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Turan BATAR, Doç. Dr. Bayram KAHRAMAN ve Yrd. Doç. Dr. M. Kemal ÖZFIRAT'a teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım sırasında SPSS kullanımındaki katkılarından dolayı Dr. Yüksel Vardar'a ve çizimlerdeki yardımlarından dolayı Harita Teknikeri Mehmet BARDIZ'a teşekkür ederim. Birlikte çalıştığımız değerli arkadaşlarım Jeloji Yük. Müh. Ali BALTAŞ ve Maden Müh. Mehmet TATLISÖZ'e teşekkür ederim.

Doktora çalışmamı yaptığım süre boyunca anlayışını ve desteğini benden esirgemeyen değerli eşim Felma ÖNEY'e teşekkür ederim.

Özcan ÖNEY

# İNCE TANE BOYUTUNDAKİ ZONGULDAK KÖMÜRLERİNİN ZENGINLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

## ÖZ

Kömür hazırlama tesisleri iri ve orta boyutlu kömürler için basit kırma, eleme ve yıkama işlemlerini içerirken, ince kömürler için karmaşık yıkama devreleri ve susuzlandırma prosesleri gerektirir.

Geçmişte ince kömür zenginleştirilmesinin zor olduğu düşünülmüş ve artık havuzlarına deşarj edilmiştir. Günümüzde ince kömürlerin zenginleştirilmesi kömür üretiminin artırılması, atıkların azaltılması ve çevre kirliliğinin azaltılması gibi nedenlerle büyük önem kazanmıştır. İnce kömürlerin değerlendirilmesinde flotasyon geleneksel olarak yaygın bir şekilde kullanılmıştır; ancak yüksek işletme maliyeti, reaktif kullanımı ile çevresel kirlenme gibi faktörler nedeniyle son yıllarda yaygın olarak yoğunluk farkına dayalı yıkama yöntemleri tercih edilmektedir.

Türkiye’de koklaşabilir taşkömürü sadece Zonguldak kömür havzasında bulunmaktadır. İnce kömür miktarı toplam üretimin yaklaşık yüzde yirmibeşini oluşturmaktadır. İnce kömürler herhangi bir zenginleştirme işlemine tabii tutulmadan susuzlandırılarak yüksek küllü santral yakıtı elde edilmektedir. Son yıllarda koklaşabilir taşkömürü piyasasına yaşanan tedarik güçlükleri, fiyat artışları gibi nedenler ince kömürlerin zenginleştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Bu çalışmada, Zonguldak havzasındaki farklı özelliklerdeki ince kömürlerden alınan numuneler üzerinde geleneksel ve geliştirilmiş yoğunluğa dayalı ayırıcılar ile deneyler yapılmış ve optimum çalışma şartları tespit edilmiştir.

**Anahtar sözcükler:** Zonguldak ince kömürleri, kömür zenginleştirme, gravite ayırıcılar, Knelson konsantratör, kömür spirali

# INVESTIGATION OF THE ENRICHMENT OF ZONGULDAK FINE COAL

## ABSTRACT

While coal preparation plants mainly consist of simple crushing, screening and cleaning processes for medium and size coal , fine coal circuits involves a series of sequential cleaning units and dewatering processes.

In the past, coal fines were often considered to be too difficult to upgrade and simply discarded into waste disposal. Today, fine coal cleaning plays a important role to increase coal production and to reduce waste disposal and to prevent environmental pollution. Froth flotation is an established technique for the beneficiation of the coal fines. But environmental hazards, intensive use of reagents gravity based concentrators have been widely used for processing coal fines recently.

Hard coal is only found in Zonguldak Coalfield in Turkey. Approximately twenty-five percent of the total coal is dewatered and fed to power plant without cleaning. Recently, some factors including difficulty of obtaining coking coal and high coal prices have been obligated the cleaning of coal fines.

In this study, experiments have been carried out using Zonguldak coal fines with different properties obtained from various collieries by applying traditional and enhanced gravity separators and then optimal conditions have been determined.

**Keywords:** Zonguldak fine coal, coal cleaning, gravity separators, Knelson concentrator, coal spiral.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ .....	iv
ABSTRACT.....	v
<b>BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Genel Bilgiler .....	1
1.2 İnce Kömürlerin Zenginleştirilmesinin Önemi .....	1
1.2.1 Türkiye Koklaşabilir Taşkömürü İhtiyacının Artması .....	3
1.2.2 Satılabilir Ürün Kalitesinin Arttırılması İhtiyacı.....	4
1.2.3 Taşkömürü Fiyatlarındaki Gelişmeler .....	5
<b>BÖLÜM İKİ – TÜRKİYE’DE TAŞKÖMÜRÜ .....</b>	<b>7</b>
2.1 Taşkömürü Özellikleri ve Rezervi .....	7
2.2 Zonguldak Kömürlerinin Karakteristikleri.....	10
2.2.1 Bölgede Görülen Kömür Damarlarının Genel Özellikleri.....	10
2.2.2 Maseraller .....	10
2.2.3 Mineraller .....	11
2.3 Türkiye Taşkömürü Kurumunda Faaliyetlerini Sürdüren Kömür Yıkama Tesisleri .....	11
<b>BÖLÜM ÜÇ – İNCE KÖMÜRLERİN ZENGİNLEŞTİRİLME</b>	
<b>    YÖNTEMLERİ.....</b>	<b>12</b>
3.1 Yüzey Ayırımına Dayalı Zenginleştirme Yöntemleri .....	13
3.1.1 Flotasyon .....	13
3.1.2 Aglomerasyon.....	14

3.2 Yoğunluk Farkına Dayalı Zenginleştirme Yöntemleri.....	14
3.2.1 Kömürlerin Yıkabilme Özelliklerinin Saptanması .....	14
3.2.2 Yoğunluk Farkına Dayalı Zenginleştirme Metotları .....	15
3.2.2.1 Knelson Ayırıcı.....	17
3.2.2.1.1 Hidrodinamik Analiz.....	19
3.2.2.1.2 Hava Enjeksiyonu Kullanarak Ayırma Verimliliğinin Arttırılması .....	22
3.2.2.1.3 Knelson Ayırıcıların Endüstriyel Uygulamaları .....	22
3.2.2.2 Falcon Ayırıcı .....	23
3.2.2.3 Multi Gravite Seperatör .....	25
3.2.2.3.1 Multi Gravite Seperatör İşletme Parametreleri .....	26
3.2.2.4 Kömür Spirali.....	27
3.2.2.4.1 Taneleri Etkileyen Kuvvetler .....	29
3.2.2.4.2 Kömür Spirali Dizaynındaki Gelişmeler.....	30
3.2.2.4.3 Kömür Spiralinin İşletme Parametreleri Üzerinde Yapılan Çalışmalar .....	31
3.2.2.4.4 Spiral Devreleri .....	32
3.2.2.5 Jigler.....	32
3.2.2.5.1 Kelsey Jig .....	32
3.2.2.5.2 Altar Jigi.....	34
3.2.2.6 Engelli Yatak Ayırıcıları.....	35
3.2.2.7 Su Siklonu.....	36
3.2.3 Yıkama Ekipmanlarının Değerlendirilmesi.....	36
3.2.3.1 Yoğunluk ile Korelasyon .....	39
3.2.3.2 Hatalı Tane Oranı.....	40
3.2.3.2 Yoğunluğa Dayalı Ayırma Cihazlarının Performansının Değerlendirilmesinde Yeni Bir Yaklaşım .....	41
<b>BÖLÜM DÖRT – İNCE KÖMÜRLERİN SUSUZLANDIRILMASI .....</b>	<b>44</b>
4.1 Susuzlandırma sisteminin seçiminde kriterler.....	45



4.2 Susuzlandırma Ekipmanları .....	45
4.3 Hiperbarik Filtreler .....	46
<b>BÖLÜM BEŞ – DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....</b>	<b>47</b>
5.1 Malzeme ve Yöntem .....	50
5.1.1 Numune analizleri.....	51
5.1.1.1 100 -1 mm Boyutlu Kömürlerin Yüzdürme-Batırma Analizi.....	51
5.1.1.2 -1 mm Boyutlu Kömürlerin Yüzdürme-Batırma Analizi.....	53
5.1.2 Amasra Tüvenan Taşkömürünün Özelliklerin Tespiti .....	54
5.1.2.1 -100 mm Amasra Kömürü Tane İrilik Dağılımı .....	54
5.1.2.2 100-1 mm Amasra Tüvenan Kömürü Yüzdürme-Batırma Testi.....	55
5.1.2.3 -1 mm Amasra Tüvenan Kömür Boyut İrilik Dağılımı .....	56
5.1.3 Karadon Tüvenan Kömürü Özellikleri .....	59
5.1.3.1 -100 mm Karadon Tüvenan Kömürü Özellikleri.....	59
5.1.3.2 100-1 mm Karadon Tüvenan Kömürü Özellikleri.....	60
5.1.3.3 -1 mm Boyutlu Karadon Tüvenan Kömürü Tane Dağılımı.....	61
5.1.4 Armutçuk Kömürü Özellikleri .....	63
5.1.4.1 -150 mm Amasra Tüvenan Kömürü Özellikleri .....	63
5.1.4.2 150-1 mm Amasra Tüvenan Kömürü Özellikleri .....	64
5.1.4.3 -1 mm Armutçuk Kömürü Özellikleri .....	65
5.2 Zonguldak İnce Kömürlerinin Zenginleştirilmesi Deneyleri .....	67
5.2.1 Multi Gravite Konsantratör İle Yapılan Deneyler .....	68
5.2.1.1 -1mm Amasra Kömürü MGS Deneyleri.....	69
5.2.1.2 -1 mm Karadon Kömürü MGS Deneyleri .....	72
5.2.2 Kömür Spirali Deneyleri .....	76
5.2.2.1 Amasra Kömürü Spiral Deneyleri .....	77
5.2.2.1.1 -1 mm Amasra Kömürü Spiral Deneyleri .....	77
5.2.2.1.2 1 - 0,15 mm Amasra Kömürü Spiral Deneyleri .....	91

5.2.2.2 Karadon Kömürü Spiral Deneyleri .....	100
5.2.2.2.1 -1 mm Karadon Kömürü Spiral Deneyleri.....	100
5.2.2.2.2 1- 0,15 mm Karadon Kömürü Spiral Deneyleri.....	108
5.2.2.3 Armutçuk Kömürü Spiral Deneyleri.....	117
5.2.2.3.1 -1 mm Armutçuk Kömürü Spiral Deneyleri .....	117
5.2.2.3.2 1-0,15 mm Armutçuk Kömürü Spiral Deneyleri .....	124
5.2.3 Knelson Konsantratör İle Yapılan Deneyler.....	132
5.2.3.1 Amasra Kömürü Knelson Ayırıcı Deneyleri .....	133
5.2.3.1.1 1 L/dk Su Besleme Miktarında Deneyler.....	133
5.2.3.1.2 1,5 L/dk Su Besleme Miktarında Deneyler.....	134
5.2.3.1.3 2 L/dk Su Besleme miktarında Deneyler .....	135
5.2.3.1.4 Değişik Su Basıncında Yapılan Deneylerin Değerlendirilmesi.....	136
5.2.3.1.5 550 dev/dk Devir Sayısında Deneyler.....	137
5.2.3.1.6 1500 dev/dk Devir Sayısında Deneyler.....	139
5.2.3.1.7 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	139
5.2.3.2 Karadon Kömürü Knelson Deneyleri .....	144
5.2.3.2.1 1 L/dk Su Besleme Miktarında Deneyler.....	144
5.2.3.2.2 1,5 L/dk Su Besleme Miktarında Deneyler.....	145
5.2.3.2.3 2 L/dk Su Besleme Miktarında Deneyler.....	146
5.2.3.2.4 Farklı Su Besleme Miktarındaki Deneylerin Değerlendirilmesi.....	148
5.2.3.2.5 550 dev/dk Devir Sayısında Yapılan Deneyler .....	149
5.2.3.2.6 1500 dev/dk'da Yapılan Deneyler.....	150
5.2.3.2.7 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	151
5.2.3.3 Armutçuk Kömürü Knelson Deneyler .....	154
5.2.3.3.1 1 L/dk Su Besleme Miktarı Knelson Konsantratör Konsantratör Deneyleri .....	154
5.2.3.3.2 1,5 L/dk Su Besleme Miktarı Knelson Konsantratör Deneyleri.....	155
5.2.3.3.3 2 L/dk Su Besleme Miktarında Knelson Konsantratör Deneyleri.....	156

5.2.3.3.4 Farklı Su Basıncında Yapılan Deneylerin Değerlendirilmesi.....	157
5.2.3.3.5 550 dev/dk Devir Sayısında Deneyler.....	158
5.2.3.3.6 1500 dev/dk Devir Sayısında Deneyler.....	159
5.2.3.3.7 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	160
5.3. Armutçuk 1- 0,15 mm Kömürü İle Yapılan Regresyon Analizi.....	163
5.3.1 Regresyon (Bağlanım) Analizi .....	163
5.3.2 Çok Değişkenli Regresyon Analizi .....	163
5.3.2.1 Çoklu Regresyon Analizi Modelleri .....	164
5.3.2.1.1 Merkezi Kompozit Tasarımı .....	165
5.3.3 Model Parametrelerinin Tahmini.....	165
5.3.4 Deneysel Çalışmalar .....	166
5.3.5 Deneyler Verileri İle Yapılan Regresyon Analizleri .....	169
5.3.5.1 Doğrusal Denklem İle Yapılan Regresyon Analizleri .....	169
5.3.5.1.1 Temiz Kömür Külü Regresyon Analizleri .....	169
5.3.5.1.2 Organik Verim Külü Regresyon Analizleri .....	171
5.3.5.2 İkinci Derece Polinom ile Regresyon Analizleri .....	172
5.3.5.2.1 Temiz Kömür Külü Regresyon Analizleri .....	172
5.3.5.2.2 Organik Verim Regresyon Analizleri .....	177
<b>BÖLÜM ALTI - SONUÇLAR.....</b>	<b>183</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>190</b>

# BÖLÜM BİR

## GİRİŞ

### 1.1 Genel Bilgiler

Kömür hazırlama çeşitli ünitelerin ardışık işlemler serisini gerektirir. Genel olarak bu işlemler boyut ayırımını gerçekleştirmek için eleme, yabancı maddeleri uzaklaştırma ve temiz kömür elde etmek için temizleme ve kuru kömür elde etmek için susuzlandırma. Bu basamak serisi besleme boyutu sınırlaması nedeniyle modern kömür hazırlama tesislerinde her fraksiyon için tekrar edilir. İri (+12 mm) ve orta (12 mm - 1 mm) fraksiyon için normal olarak sırasıyla ağır ortam banyosu, jigler ve ağır ortam siklonları kullanılır (Zhang, 2008).

1- 0,15 mm boyutlu kömürler ince kömür olarak tanımlanır. Birçok koklaşabilir kömür yıkama tesisinde tüvenan kömürün yaklaşık % 20-25'i bu boyutun altındadır. İnce kömürler yoğunluğa dayalı metotlar (spiral, multi-gravite ayırıcı vb.) ile zenginleştirilir (Zhang, 2008). 0,15 mm boyutu altındaki kömürler ise çok ince kömür olarak adlandırılır ve konvansiyonel flotasyon metotları ile zenginleştirilir, doğrudan susuzlandırılır veya artık havuzuna gönderilir.

İnce kömürlerin değerlendirilmesi kömür hazırlamanın en zor ve en pahalı basamağıdır. Ortalama olarak ince kömürlerin zenginleştirme maliyeti iri kömürlerin yıkama maliyetlerine oranla dört kat daha pahalıdır. Ayrıca ince kömürlerin yüksek nem içerikleri de başlıca sorunlardan birisidir (Kohmuench, 2000).

### 1.2 İnce Kömürlerin Zenginleştirilmesinin Önemi

Kömür hazırlama tesisleri iri ve orta boyutlu kömürler için basit kırma, eleme ve yıkama işlemlerini içerirken, ince kömürler için karmaşık yıkama devreleri ve susuzlandırma işlemlerini gerektirir. Son yıllarda ince kömürlerin zenginleştirilmesi ihtiyacı aşağıda belirtilen nedenlerden dolayı zorunluluk haline gelmiştir :

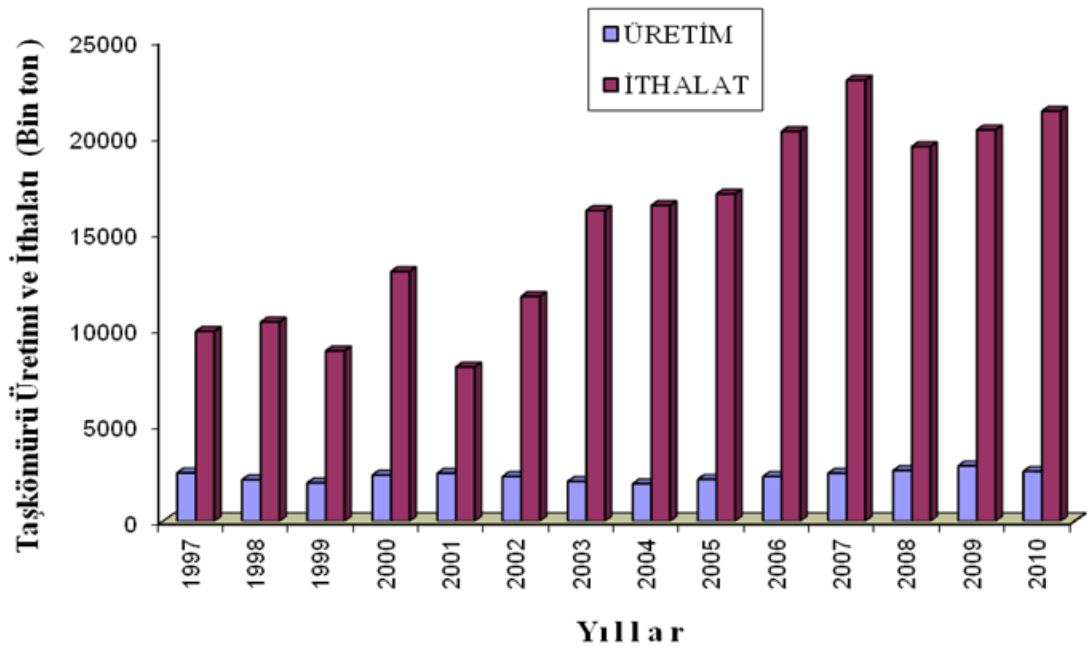
- Tüvenan kömür hazırlama maliyetleri artmış ve buna bağlı olarak satılabilir kömür miktarının arttırılmasına yönelik çalışmalar hızlanmıştır.
- Kömür hazırlama tesisi artık maliyetlerinin artması, artık içerisindeki kömür miktarının en aza indirilmesini gerekli kılmıştır.
- Kömür hazırlama tesisine beslenen tüvenan kömür içerisinde 1 mm'den daha az malzeme miktarı, mekanizasyon, karıştırma, harmanlama ve nakliyat gibi işlemler sonucunda hızlı bir şekilde artmıştır.
- 1 mm'den az tüvenan kömür kalitesi selektif olmayan madencilik faaliyetleri sonucunda hızla azalmıştır.
- Ara ürünün yeniden kırma ve temizlenmesi işlemleri sırasında ince kömür miktarı artmıştır.
- Kömür yakma ve karbonizasyon teknolojilerindeki gelişmeler ince kömürleri daha değerli hale getirmiştir.
- Artan kömür fiyatları ve çok ince fraksiyondaki yüksek kalitedeki koklaşabilir kömür özellikleri, ince ve çok ince kömüre daha fazla talep olmasına neden olmaktadır.
- İnce kömürlerin artık olarak değerlendirilmesi durumunda kömür üreticileri kazanç kaybına uğramakta ve ciddi çevresel sorunlar ortaya çıkmaktadır.

Bilindiği üzere ülkemizde en önemli taşkömürü rezervleri Zonguldak havzasında bulunmakta olup madencilik faaliyetleri Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) ve rödövan yolu ile özel sektör tarafından yapılmaktadır. Kurumca yıllık üretilen tüvenan taşkömürü miktarı yaklaşık 3 milyon ton olup ince kömür miktarı tüvenan kömürün yaklaşık % 15-20'sini oluşturmaktadır. Üretim artışına ve uygulanacak mekanize kazı sistemlerine paralel olarak ince kömür miktarı da artacaktır.

Zonguldak havzası ince kömürlerinin zenginleştirilmesi işleminde geçmişte tesis çapında sadece flotasyon metodu uygulanmıştır. Mevcut durumda herhangi bir zenginleştirme işlemine tabi tutulmadan susuzlandırılarak santral yakıtı elde edilen ince kömürlerin zenginleştirilmesi büyük önem kazanmıştır.

### 1.2.1 Türkiye Koklaşabilir Taşkömürü İhtiyacının Artması

Taşkömürü başta demir-çelik olmak üzere sanayinin vazgeçilmez enerji kaynağı ve girdisidir. Yurt içi üretim miktarının azalmasına karşılık taşkömürü ihtiyacı yıldan yıla artmakta, yurt içi üretimle karşılanamayan kısım ise ithal kömürle karşılanmakta, buna bağlı olarak da dışa bağımlılık giderek artmaktadır. Şekil 1.1’de 1997-2010 yılları arasında taşkömürü ithalat ve üretim miktarları verilmektedir.



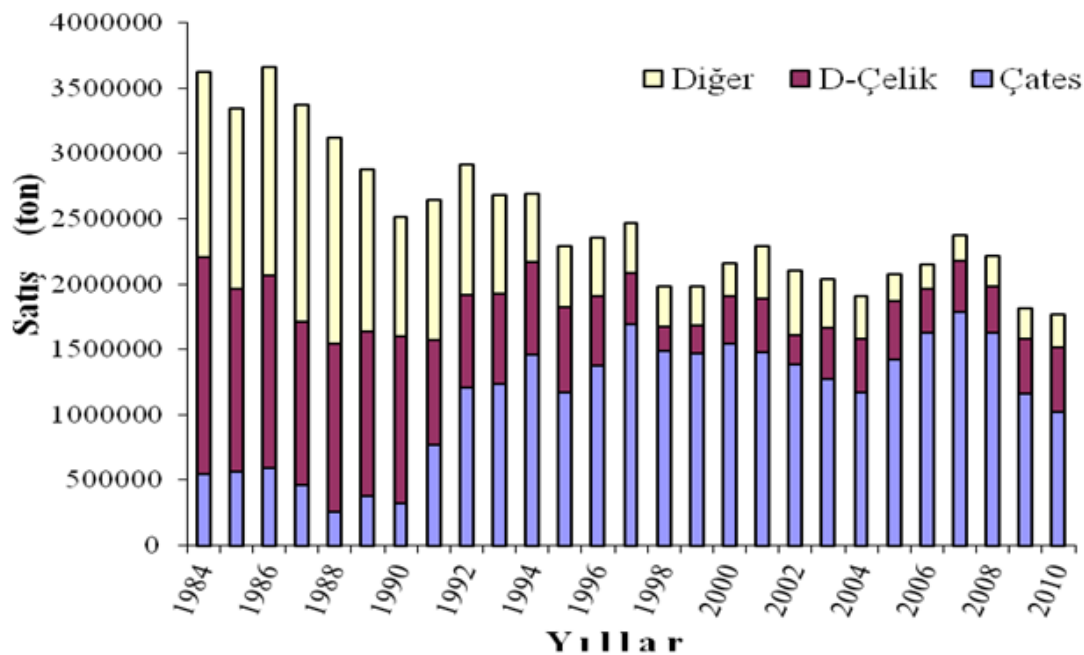
Şekil 1.1 1997-2010 Türkiye taşkömürü ithalat ve üretim miktarları (TTK sektör raporu 2011)

Türkiye koklaşabilir taşkömürü ihtiyacı 4,5-5 milyon ton olup bunun ancak % 8-10'u yerli kaynaklardan karşılanmaktadır. Ülkemiz demir-çelik sektörü son yıllarda büyük bir hızla gelişmektedir. Türkiye, 2000 yılında dünyanın en büyük 17., Avrupa'nın ise 5. çelik üreticisi konumunda iken, 2008 yılında dünyanın en büyük 11. Avrupa'nın ise 3. çelik üreticisi olmuştur. İhracata ağırlıklı bir üretim gerçekleştirmekte olan demir çelik sektörü, önümüzdeki yıllarda da gerek iç

piyasanın dinamizmine ve gerekse uluslararası piyasalardaki talep durumuna ve rekabet gücüne bağlı olarak, üretimini ve ihracatını arttırmaya devam etmeyi hedeflemekte olup koklaşabilir taşkömürü ihtiyacının ise 7,5-8 milyon seviyesine yükseleceği tahmin edilmektedir. Bu durumda ülkemiz taşkömürü temini açısından tamamen dışa bağımlı hale gelecektir. Bu nedenle başta demir çelik sektörü olmak üzere ülkemiz taşkömürü ihtiyacının yerli kaynaklardan sağlanması büyük önem arz etmektedir (TTK Sektör Raporu,2011).

### 1.2.2 Satılabilir Ürün Kalitesinin Arttırılması İhtiyacı

TTK taşkömürü satışlarında iki önemli pazar olan demir-çelik ve enerji sektörüne yapılan satışlarda önemli değişim yaşanmıştır. Şekil 1.2'den, 1965-1989 yılları arasında demir-çelik sektörüne yapılan satışların 1,5-2 milyon ton/yıl arasında seyrettiği görülmektedir.



Şekil 1.2 1984-2010 TTK sektörler itibariyle satışlar

Taşkömüründe en önemli kullanıcı sektörler başta enerji ve demir-çelik sektörü olmak üzere çimento, gıda, teshin ve diğer sanayidir. TTK'nın en önemli pazarı olan Çatalağzı Termik Santrali'nin (ÇATES) gücü 300 MW olup kömür tüketim

kapasitesi 5.500 ton/gündür. Tam kapasite ile çalıştığında ortalama 1,6 milyon ton/yıl kömür tüketebilmektedir.

Mevcut durumda -1 mm boyutlu kömürler filtrasyon ünitelerinde susuzlandırıldıktan sonra ince ve iri yıkama ünitelerinden elde edilen ara ürün ve ince şistlerle homojen bir şekilde karıştırılarak santral yakıtı elde edilmekte ve Çatalağzı termik santrale gönderilmektedir. Elde edilen santral yakıtı ürününün özellikleri şu şekildedir:

Kül % :47 ± 2,

Nem % :12-16,

Alt ısı değeri : 3350 ± 150 kcal/kg

Santral yakıtı; ürün özellikleri, kül oranı ve yüksek ısıl değer açısından havza taşkömürü özelliklerine göre oldukça düşüktür. Yıllık ortalama 2 milyon ton satılabilir kömür üretilmekte olup, santral yakıtı oranı toplam satılabilir ürünün yaklaşık % 60-65'ini oluşturmaktadır. Bu durum havza satılabilir kömürlerini büyük oranda santrale bağımlı hale getirmiştir. Demir-çelik fabrikalarına satılan 0-10 mm boyutlu metalurjik taşkömürü ürünü % 10 küllü ve alt ısıl değeri 8000-8400 kcal/kg olup toplam satılabilir kömür içerisindeki payı ise % 15-20 civarındadır. İnce kömürlerin zenginleştirilerek temiz kömür elde edilmesi ve 0-10 mm boyutlu kömürlerle karıştırılarak metalurjik kömür oranının yükseltilmesi ile ülkemiz kaynaklarının daha verimli bir şekilde değerlendirilmiş olacaktır.

### ***1.2.3 Taşkömürü Fiyatlarındaki Gelişmeler***

1980'li yılların başında düşüş eğilimine giren taşkömürü fiyatları 40 ABD \$/ton seviyelerine kadar düşmüş, 2000 yılların başında itibaren talep artışları nedeniyle yükselme trendine girmiştir. 2007 yılında Güney Afrika buhar kömürünün 6000 kcal/kg gemide teslim fiyatı 110 ABD \$/ton seviyesine kadar çıkmıştır. Dünyanın en büyük kömür üreticisi olan Avustralya ile en büyük alıcısı Japonya arasındaki 2008 yılı görüşmelerinde yeni sözleşme ile koklaşabilir 0-10 mm kömürlerin 2008 yılı satış fiyatı 325 ABD \$/ton fiyatlara kadar yükselmiştir (TTK Sektör Raporu,



2011). 2008 yılının 2. yarısında itibaren Dünyada başlayan ekonomik krizle birlikte koklaşabilir taşkömürü fiyatları 180 ABD \$/ton seviyelerine düşmüştür. Bu tarihten itibaren 150 -180 ABD \$ bandında seyreden koklaşabilir taşkömürü fiyatları çeşitli nedenlerle yükselerek 2011 yılı ilk yarısında ton başına 270-300 ABD \$ seviyelerine yükselmiştir. Yapılan projeksiyonlarda 2010-2030 yılları arasında talebin artan bir eğilim izleyeceği ve fiyatların da bu talebe bağlı belirleneceği beklenmektedir. Dünya koklaşabilir kömür pazarında yaşanan tedarik güçlükleri ve aşırı fiyat artışları nedeniyle koklaşabilir kömüre olan talebin artması kaçınılmazdır (TTK Sektör Raporu,2011).

## BÖLÜM İKİ

### TÜRKİYE'DE TAŞKÖMÜRÜ

Türkiye’de taşkömürü sadece Zonguldak havzasında bulunmaktadır. Havzada devlet ve özel sektör tarafından taşkömürü madenciliği yapılmaktadır. Merkezi Zonguldak’ta bulunan Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) faaliyetlerini Genel Müdürlük birimleri ile beş müessesede sürdürmektedir. Kurumun imtiyaz alanı 6.885 km<sup>2</sup> olup, 3.000 km<sup>2</sup> si denizde, 3.885 km<sup>2</sup> si karadadır. Ayrıca rödövens yolu ile 29 adet saha özel sektör tarafından çalıştırılmaktadır.

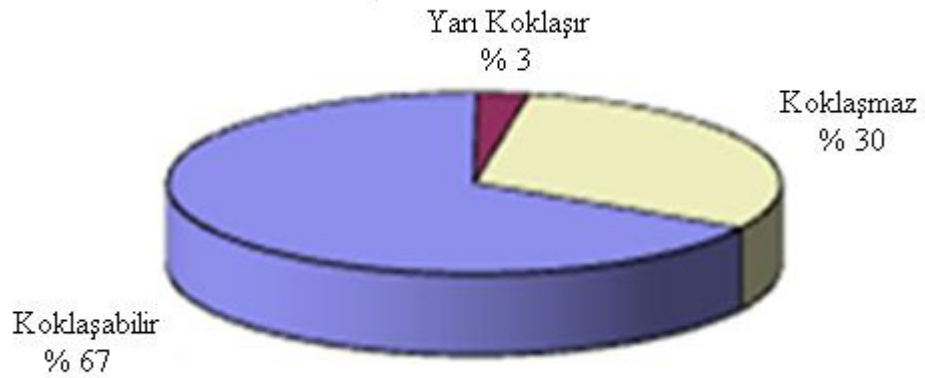
#### 2.1 Taşkömürü Özellikleri ve Rezervi

Zonguldak havzasında bugüne kadar yapılan rezerv arama çalışmalarında, -1200 m derinliğe kadar tespit edilmiş toplam jeolojik rezerv 1,319 Milyar ton olup (Tablo 2.1) bunun % 40’ı (yaklaşık 526 Milyon ton) görünür rezerv olarak kabul edilmektedir. Zonguldak taşkömürü havzası dışında, rezerv açısından önemsiz birkaç taşkömürü zuhuru daha (Antalya ve Diyarbakır yöresinde) bulunmaktadır.

Tablo 2.1 Zonguldak Havzası taşkömürü rezervleri (milyon ton)

Rezerv Türü	Koklaşabilir Rezervler				Yarı Koklaşabilir Rezerv	Koklaşmaz Rezerv	Havza Toplamı
	Karadon	Üzülmez	Kozlu	Toplam	Armutçuk	Amasra	
Görünür	137,07	137,52	70,04	344,63	10,13	171,24	526,00
Muhtemel	159,16	94,34	40,54	294,04	15,86	115,05	424,95
Mümkün	117,03	74,02	47,98	239,03	7,88	121,54	368,45
<b>TOPLAM</b>	<b>413,26</b>	<b>305,89</b>	<b>158,55</b>	<b>877,70</b>	<b>33,88</b>	<b>407,83</b>	<b>1.319,40</b>

Havzada; Kozlu, Üzülmez ve Karadon bölgelerinde koklaşabilir, Armutçuk bölgesinde yarı koklaşabilir ve Amasra bölgesinde koklaşma özelliği bulunmayan rezervler mevcuttur. Koklaşabilir taşkömürü rezervlerinin toplam içerisindeki payı yaklaşık % 67’dir (Şekil 2.1)



Şekil 2.1 Zonguldak taşkömürü koklaşabilirlik özelliklerine göre rezerv dağılımı (TTK Sektör Raporu, 2011)

Havza taşkömürlerinin kalorifik değeri 5.450-7.050 kcal/kg arasında değişmektedir. Kömür hazırlama tesisleri bazında üretilen satılabilir taşkömürlerinin özellikleri Tablo 2.2’de verilmiştir.

Kurum tarafından üretilen taşkömürlerin bir kısmı iyi koklaşma özelliğine sahiptir. Zonguldak taşkömürünün kükürt ve fosfor değeri düşük olduğundan, stabilitesi yüksek, kül miktarı düşük olan orta ve düşük uçuculu ithal kömürlerle karışıma girerek iyi kalitede kok vermektedir.

Taşkömürü kalitesinin artırılması ile kullanım miktarında da önemli artışlar sağlanmaktadır. Ayrıca Armutçuk Taşkömürü İşletme Müessesesi (TİM) kömürleri 0,075 mm altına öğütülerek pulverize kömür olarak kullanılmaktadır. Pulverize kömür enjeksiyonu, yüksek fırınlarda kok oranını azaltmak, proses kontrol kolaylığı sağlamak, fırın verimliliğini artırmak ve maliyet tasarrufu sağlamak amacıyla yapılan bir ilave yakıt enjeksiyon sistemidir.

Amasra bölgesi taşkömürlerinin koklaşma özelliği bulunmamakla birlikte, belirli oranlarda metalurjik kömürler ile harmanlandığında koklaşma özelliğini bozmamaktadır. Ülkemizin en büyük entegre demir-çelik kuruluşları olan Erdemir ve Kardemir Zonguldak havzasına coğrafi olarak yakınlık, liman ve demiryolu nakliyat altyapısı gibi sebeplerle potansiyel müşterilerdir.

Tablo 2.2 TTK taşkömürlerinin kömür yıkama tesisleri itibariyle karakteristik özellikleri (TTK Sektör Raporu 2011)

NİTELİKLER		ARMUTÇUK	KOZLU- ÜZÜLMEZ	ÇATALAĞZI	AMASRA
Nem	(ar) %	2-14	2-14	2-14	3-14
Kül	(ar) %	9	11-13	11-13	14-15
Uçucu Madde	(ar) %	29-34	25-27	25-27	32-35
Sabit Karbon	(ar) %	47-54	52-57	51-56	41-47
Üst Isı Değeri	(ar) Kcal/kg	6.250-7.250	6.500-7.150	6.400-7.150	5.650-6.050
Alt Isı Değeri	(ar) Kcal/kg	6.050-7.050	6.400-6.950	6.200-6.950	5.450-6.050
Uçucu Madde	(daf) %	38	32	32	43±2
Sabit Karbon	(daf) %	61±1	60-67	67±1	56±2
Üst Isı Değeri	(daf) Kcal/kg	8150	8400	8400	7600
Karbon, C	(ad) %	75±2	73-76	75±2	70±3
Hidrojen, H	(ad) %	4+1	4+1	4+1	4+1
Kükürt, S	(ad) % Max	0,9	0,8	0,8	1,5
Azot, N	(ad) %	1,1±0,3	1±0,2	1±0,2	1,2±0,4
Kül Ergime Noktası	Min °C	1270	1350	1350	1270
ISO Koklaşma Değeri		Orta-Zayıf	Orta-İyi	Çok-İyi	Pek Zayıf
ISO Kod No		622	533-534	534	711
ISO Sınıf		VIA	VC-VD	VC	VII
ASTM Rank Grubu		hvAb	HvAb	hvAb	hvBb
ASTM Rank Skalası		62-148	68-154	69-155	58-139
ASTM Rank Sınıfı		II-Bitümlü	II-Bitümlü	II-Bitümlü	II-Bitümlü

ar- orijinal numunede, daf- kuru külsüz, ad- havada kurutulmuş, ISO- Uluslararası Standartlar Organizasyonu, ASTM- Amerikan Standardı

## 2.2 Zonguldak Taşkömürlerinin Karakteristikleri

### 2.2.1 Bölgede Görülen Kömür Damarlarının Genel Özellikleri

Zonguldak kömür havzasındaki karbonifer formasyonları içerisinde, ortalama olarak 55 adet kömür damarı tanımlanmıştır. Bölgede kömür üretimi yaklaşık olarak 200 yıldan bu tarafa, kesintisiz olarak yapılmaktadır. Zonguldak kömür havzasında Alacağzı Serisi (Namuriyen), Kozlu Serisi (Westfalien A) ve Karadon Serisi (Westfalien B,C,D) olmak üzere üç adet kömürlü seri bulunmaktadır. Karadon, Üzülmaz ve Kozlu TİM'de sadece Kozlu Serisi içerisindeki damarlarından taşkömürü üretimi yapılmaktadır. Amasra TİM sahasında Kozlu ve Karadon serilerinde, Armutçuk TİM sahasında Kozlu ve Alacağzı serilerinde üretim yapılmaktadır.

### 2.2.2 Maseraller

Zonguldak taşkömürleri yüksek uçuculuğa sahiptir ve genellikle parlak görümlü, kaygan ve kırılğan özelliktedir. Kömür damarları başlıca yüksek miktarda vitrinitten oluşmuştur. Karayiğit (1989) tarafından yapılan bir çalışmada Westfalien-A yaşlı yüzen taşkömürlerin ortalama % 76 vitrinit, % 8 liptinit ve % 15 inertinitten oluştuğu, Amasra havzasındaki aynı yaşlı yüzen taşkömürlerin % 74 vitrinit, % 11 liptinit ve % 15 inertinitten oluştuğu belirlenmiştir. Batan fraksiyonlara ait analiz sonuçları incelendiğinde; vitrinit içeriği çoğunlukla orta-düşük, liptinit içeriği orta-yüksek ve inertinit içeriği çoğunlukla yüksektir. İnterinitler, özellikle füsinit bütün kömürlerde bulunmaktadır. Nadiren bazı inertinitler granül yapı gösterir. Eksinit fazla miktarda bulunur. Damarlar az yoğun haldeki vitren bandı ile başlarlar. Ayrıca inertinit maserali içerirler. İnterinitler ve özellikle füsinitler şu anda hemen hemen bütün kömürler damarlarında görülürler. Bu durum belki de, bölgedeki kömür damarlarının kazıldıkları zaman çok fazla miktarda toz çıkmasının ana nedenini oluşturmaktadır. Damarların arasında bulunan bazı şeyl bantlarının içinde de yüksek oranda mineral bulunmaktadır. Skerlonit, ışığı füsinite alçak olarak ve

vitrinte ise yüksek olarak yansıtır. Bu durum Zonguldak'taki taşkömürü damarlarının farklı bir özelliğidir (Karayığit,1989).

### 2.2.3 Mineraller

Kil grubu mineraller kömürlerde en çok bulunan minerallerdir. Bunlardan illit ve montmorilonitin yansıtma indeksi 1,6 dır. Diğer fraksiyonlar daha az yansıtma indeksi göstermekte olup, kaolinittir. Demir sülfürler (pirit ve markazit) ikincil minerallerdir. Kozlu Serisi'nde (Westfaliyen A) bulunan damarlara benzer şekilde, bazı damarların bünyelerinde bulunan piritler, çıplak gözle görülmektedir. Pirit frombidal, oyuk hücre dolgusu ve kırılma dolgusu olmak üzere üç ayrı formda bulunur. Kömür damarlarının ve şeyl bantlarının kırılma yüzeylerindeki kırık ve çatlaklarda, suların sedimantasyonuna bağlı olarak gelişen, kalsit, siderit ve kuvars dolguları gözlenmektedir (Karayığit, 1989).

## 2.3 Türkiye Taşkömürü Kurumunda Faaliyetlerini Sürdüren Kömür Yıkama Tesisleri

Tamamı yeraltından çıkarılan tüveanan taşkömürleri toplam kapasiteleri 1280 ton/saat olan 5 adet kömür yıkama tesisinde yıkanmaktadır. Bu tesislerde kullanılan başlıca yıkama ekipmanları Tablo 2.3' de verilmektedir.

Tablo 2.3. TTK'da faaliyet gösteren kömür hazırama tesisleri ve başlıca ekipmanlar

<b>Kömür Yıkama Tesisi</b>	<b>Kapasite (Ton/Saat)</b>	<b>Kuruluş yılı</b>	<b>Başlıca Yıkama Ekipmanı</b>
Çatalağzı	350	2011	Ağır ortam tamburu, Ağır ortam Siklonu, Filtrasyon, spiral
Armutçuk	220	1960	BaumJigi, Sallantılı Masa, Filtrasyon
Amasra	210	1978	Ağır ortam tamburu, Ağır ortam Siklonları, Flotasyon
Kozlu	250	2006	Ağır ortam tamburu, Ağır ortam siklonları, Filtrasyon
Kozlu	250	2006	Ağır ortam tamburu, Ağır ortam siklonları, Filtrasyon

## BÖLÜM ÜÇ

### İNCE KÖMÜRLERİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİ YÖNTEMLERİ

İnce kömürlerin zenginleştirilmesi çalışmaları yaklaşık 50 yıldır devam etmekte olup, bugüne kadar çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Başlangıçta zenginleştirilmesi zor olarak görünen ve artık olarak değerlendirilen ince kömürlerin değerlendirilmesinde flotasyon ve agglomerasyon gibi yüzey farklılığına dayalı prosesler geleneksel olarak yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Ancak yüksek işletme maliyeti, kömür selektivitesi, reaktif kullanımı ile çevresel kirlenme vb. faktörler farklı tipte ayırıcıların araştırılmasını gerekli kılmıştır. Kimyasal ve biyokimyasal yöntemler ise oldukça pahalı olduklarından tercih edilmemektedir (Demir, Khan ve Lytle, 2009).

İnce kömür zenginleştirmesinde temiz kömür taneleri az yoğunlukta mineral madde içerirken artık yüksek yoğunlukta mineral madde içerir. Bu nedenle temiz kömürün gang minerallerinden ayrılması işleminde son yıllarda yaygın olarak yoğunluk farkına dayalı yıkama yöntemleri kullanılmaktadır. Bir tesiste aynı ayırım farkına dayalı yöntemlerin kullanılması tesisin daha verimli işletilmesini sağlamakta ve tesis daha iyi kontrol edilmektedir (Kohmuench,2000).

Gravite ile ayırma metotları birçok kömür yıkama tesisinde en önemli ünite işlemlerini oluşturmaktadır. Gravite ayırıcıların birçok çeşitini elde etmek mümkündür. Bu nedenle kömür yıkama tesisleri kurulmadan önce yıkanacak kömürün karakteristiklerine uygun en verimli ayırma tipinin seçilmesi gereklidir. Bunu gerçekleştirmek için; çeşitli tipte makineler kullanarak laboratuvar ortamında deneylerin yapılması, her makinenin performansının ölçülmesi, en uygun işletme parametrelerinin saptanması ve yıkama devrelerinin tasarımını gereklidir.

Günümüzde yüksek miktarda merkezkaç kuvvet uygulayarak kömürlerin yoğunluk farklarına göre zenginleştirilmesi çalışmaları hız kazanmış ve bu yöntemlerle yüksek verim elde edilmiştir.

### 3.1 Yüzey Ayırımına Dayalı Zenginleştirme Yöntemleri

#### 3.1.1 Flotasyon

Köpük flotasyonu ince kömürlerin zenginleştirilmesinde 1920'den beri yaygın olarak uygulanan bir yöntemdir. Köpük flotasyonu fizikokimyasal bir işlem olup kömür tane yüzeylerinin hidrofob özelliğine bağlı olarak yüzdürülmesi prensibine dayanır. Temiz kömür yüzeyi doğal olarak hidrofob olduğundan kömürün gang minerallerinden ayrılması oldukça kolaydır. Kömürün doğal yüzebilirliği kimyasal ve petroğrafik yapısı ile kömürleşme derecesine bağlıdır. Kömürleşme derecesi arttıkça karbon içeriği artar. Bununla birlikte oksijen ve hidrojen gibi uçucu bileşenler azalır. En yüksek yüzebilirlik % 89 C içeriğinde olmaktadır. Bu kömür için temas açısı  $60^0$  dir. % 89 karbon içeriğinden az veya çok olması durumunda doğal yüzebilirlik azalır (Osborne, 1988). Kömürleşme derecesi az olan linyit hidrofilik karakterdedir. Ayrıca linyitlerin yüksek oranda nem içermesi nedeniyle flotasyon koklaşabilir kömür ve antrasite uygulanmaktadır. Bununla birlikte kömürden piritin ayrılmasında, fazla miktarda ara ürün içeren ve yüksek küllü kömürlerin flotasyonunda ayırım performansı sınırlıdır. Kömür flotasyonunda kollektör olarak gazyağı, köpürtücü olarak oktanol ve metil izobütil karbinol (MIBC) yaygın olarak kullanılmaktadır.

Flotasyon işleminin gerçekleştirildiği ilk makineler olan mekanik flotasyon hücrelerinin flotasyon hücreleri, geliştirilen yeni teknoloji flotasyon hücrelerine rağmen halen yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak, mekanik hücrelerdeki bazı olumsuz koşullar (yoğun türbülans, yıkama suyunun olmayışı, sığ köpük derinlikleri) özellikle çok ince boyutlu kömür tanelerinin flotasyonunda yeterli verim ve yüksek kül giderme oranlarını sağlayamamaktadır (Ding ve Laskowski, 2009). Bu yüzden, 1960'lı yıllarda daha temiz kömürlerin elde edilebilmesi için türbülansın oluşmadığı, daha yüksek köpük kalınlıklarının elde edilebildiği ve köpüğün su ile yıkanabildiği flotasyon kolonları geliştirilmiştir. Kolon hücrelerinden; Leeds kolonu, Dolgulu (packed) kolon, Flotaire kolonu, Hydrochem kolonu, Microcel kolonu, Siklonik



flotasyon kolonu ve Siklo-mikrokabarcık kolonu gibi alternatif tasarımları bulunmaktadır.

Jameson hücresi, 1989 yılında Profesör G. Jameson tarafından kolon flotasyonuna alternatif olarak geliştirilmiş olan yeni teknoloji bir flotasyon hücresidir. Bu sistemde herhangi bir havalandırma tertibatına (kompresör, sparger vs.) ihtiyaç duyulmaksızın hava kendiliğinden venturi etkisi ile hücre içerisine atmosferden emilmektedir. Kapasiteleri saatte 3000 m<sup>3</sup>'e kadar çıkabilmektedir (Hacıhafizoğlu,2008). Yukarıda sözü edilen hücrelerin dışında son 30 yıl içerisinde geliştirilmiş olan çok sayıda flotasyon hücresi bulunmaktadır.

### ***3.1.2 Aglomerasyon***

Yağ aglomerasyonu, flotasyon yönteminin ilke ve kurallarından yararlanan bir yöntemdir. Bu yöntem su içinde ince öğütülmüş kömür taneciklerinin bir yağ ile yüksek hızda etkileştirilmesine dayanır. Böylece hidrofobik kömür taneciklerinin kül yapıcı maddelerden ayrılması sağlanır.

Yağ aglomerasyonu ile toz kömürlerin zenginleştirilmesinde de verim ve konsantrinin kül içeriği üzerine etki edebilecek birçok çalışma değişkenleri vardır. Bunlar; karıştırma hızı, kullanılan yağın miktarı, pülpün katı oranı ve kullanılan örneğin boyutu gibi değişkenlerdir.

## **3.2 Yoğunluk Farkına Dayalı Zenginleştirme Yöntemleri**

### ***3.2.1 Kömürlerin Yıkanabilme Özelliklerinin Saptanması***

Kömürlerin kül ve kükürtten arındırılabilmeleri için öncelikle yıkamaya elverişli olup olmadıkları ve yıkama yöntemlerinin saptanması gereklidir. Bu da yıkanabilirlik deneyleri ile mümkündür. Kömürün yıkanabilirliğinin belirlenmesinde ilk adım yüzdürme batırma testleridir. Bundan sonraki aşama kömürün yıkanabilirliğinin yorumlanması ve buna göre uygun proses seçimidir.

### 3.2.2 Yoğunluk Farkına Dayalı Zenginleştirme Metotları

Cevher hazırlama metotları arasında yoğunluk farkına göre ayırma metotları düşük işletme maliyeti, yüksek kapasite ve işletme kolaylığına sahiptirler. Bu metotların verimli olması için, partiküllerin serbest hale gelmesi ve partiküller arası yoğunluk farkının büyük olması (1-1,5) gereklidir. Bununla birlikte birçok durumda geleneksel gravite konsantratörler (jig, sallantılı masa, spiral ve ağır ortam hidrosiklonları) tane büyüklüğü 0,5 mm'den daha küçük ve yoğunluk farkı 1 den daha az olan taneler üzerinde daha az verimliliğe sahiptir.

Türbülans akışkandaki eşit çökme oranı Taggart tarafından zenginleştirme kriteri olarak tarif edilmiştir.

$$K = (\sigma_A - \sigma) / (\sigma_H - \sigma) \quad (1)$$

Burada;  $\sigma_A$  ağır mineral yoğunluğu,  $\sigma_H$  hafif mineral yoğunluğu,  $\sigma$  ortam yoğunluğudur.

$k > 2,5$  ise ayırma çok küçük tane boyutlarına kadar uygulanabilir ve bütün gravite yöntemleri uygulanabilir.

$2.5 > k > 1.75$  ise ayırma kolaydır ancak 0,1 mm'ye kadar uygulanabilir.

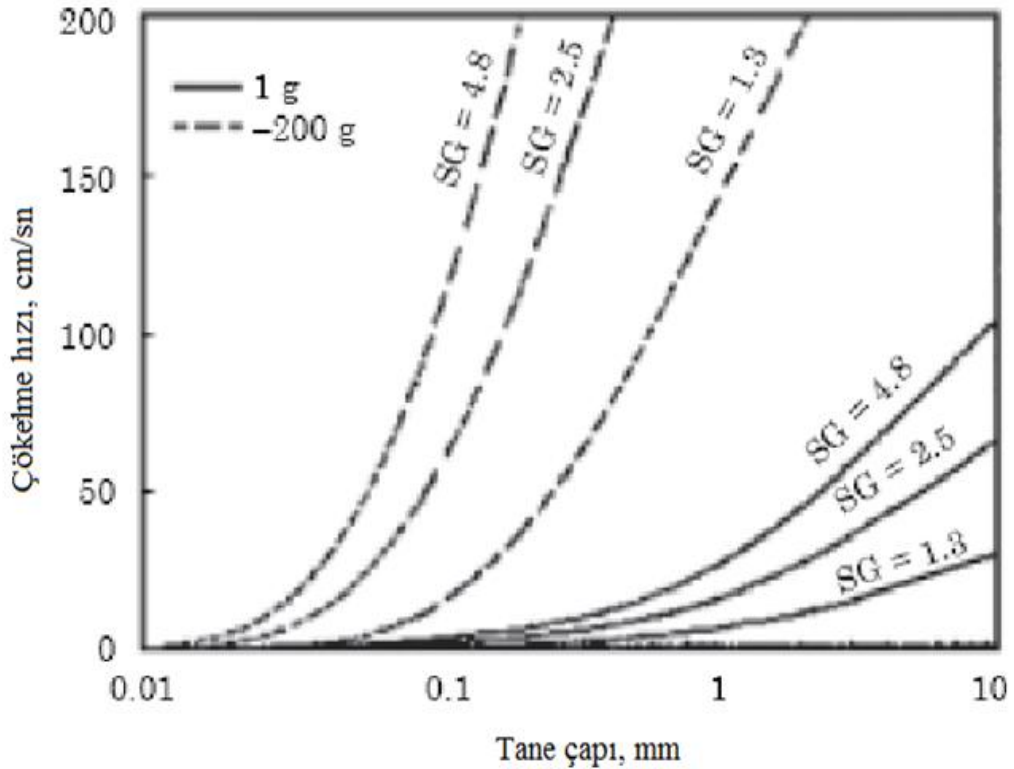
$1.75 > k > 1.50$  ise ayırma güçleşir ve alt uygulama boyutu 1 mm'dir.

$k < 1.25$  ise ekonomik bir ayırma mümkün değildir. Ancak akışkan ortam özgül ağırlığı ( $\sigma$ ) artırılarak ayırma yapılabilir.

Son 20 yılda geliştirilen birçok gravite ayırıcıları tanelerin boyut dağılımı sınırlamalarının üstesinden gelmek için büyük ölçüde "görünür gravite gradyanı" yaratan merkezkaç kuvvetlerin kuvvetlerinin kullanımına dayalıdır. Geliştirilmiş Gravite Ayırıcılar (EGS) olarak adlandırılan bu ünitelerin çalışma prensibi mekanik bir hareketle oluşturulan bir merkezkaç kuvvet alanında yoğunluğa dayalı ayırma tekniklerinin uygulanmasına dayalıdır.

Bir santrifüj ayırıcıda merkezkaç kuvvetin kullanımı farklı boyut ve yoğunlukta tanelerin bağıl çökme hızlarını artırır. Böylece çok ince boyutlarda bile ayırım mümkündür. Lutrell, Honaker ve Philips (2000) geliştirilmiş gravite ayırıcıların 0,044 mm'ye kadar ayırım yapabildiğini belirtmektedirler.

Şekil 3.2'de yoğunlukları 1,3 g/cm<sup>3</sup>, 2,5 g/cm<sup>3</sup> ve 4,8 g/cm<sup>3</sup> olan saf kömür, kil ve piritin normal 1 G gravite alanında ve 200 G yapay gravite alanında teorik çökme hızları gösterilmektedir. Bu şekilden 1 mm'den daha küçük kömür ve pirit taneleri yoğunluk farkları yüksek olmasına rağmen, normal gravite kuvveti altında birbirine yakın çökme hızları nedeniyle ayrılamazlar. Bununla birlikte 200G gravite kuvveti uygulandığında, 0,1 mm'den daha küçük tanelerde bile kil ve kömürün ayrılması gerçekleştirilir (Majumder ve Barnwall, 2008).



Şekil 3.2 Merkezkaç kuvvetin tane çökme hızı üzerindeki etkisi (Majumder ve Barnwall 2008)

Atmosferik yoğunlukta, çapı 0,040 mm'den daha az tanelerin çökme hızları tane büyüklüğünden çok özgül ağırlığına bağlıdır. Bununla birlikte bir santrifüj ekipmanında daha yüksek yerçekimi kullanarak yoğunluğu 0,5 g/cm<sup>3</sup> 'den daha az

partiküllerin bile efektif bir ayırma için çökelme hızı üzerinde yeterli farklılığa ulaşması sağlanır. Efektif bir ayırmanın anlamı konsantre ve artık arasında yüksek metalurjik kazanım farklılığının olmasıdır.

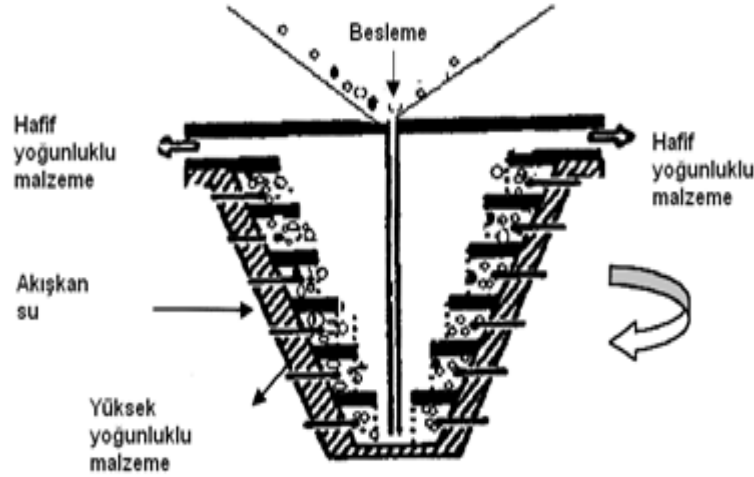
Merkezkaç kuvvete dayalı ayırıcılar yoğunluğa dayalı ayırım mekanizmasına bağlı olarak jigleme (Altar jigi, Kelsey jigi), akışkan film tabakası (Falcon konsantratör), masa (Multi Gravite Seperatör), akışkan yatak (Knelson konsantratör) vb. isimlendirilirler.

### 3.2.2.1 Knelson Ayırıcı

Knelson ve Falcon gibi santrifüjlü ayırıcılar yeni teknolojiler olarak gravite ayırıcıları arasında yerlerini almışlardır. Knelson ayırıcı, öğütme devrelerinden altın tanelerinin kazanımı ile ilgili geniş bir uygulama alanına sahiptir. Knelson ayırıcısının (KC) ilk olarak 1982 yılında kesintili çalışan tipi piyasaya çıkmış ve geliştirilerek sürekli çalışan ayırıcılar üretilmiştir (Majumdaer, Tiwari ve Barnwall, 2007). Knelson ayırıcı; Byron Knelson tarafından 1988 yılında Kanada'da patenti alınmış, dünyada damar tipi ve alüvyal altın üretiminde uygulama alanına sahip yüksek hızlı santrifüj seperatördür. Son zamanlarda ince kömürlerin zenginleştirilmesinde de kullanılmaktadır.

Bir Knelson ayırıcının şemantik görünüşü Şekil 3.3'de gösterilmektedir. KC dönme işlemini gerçekleştiren üniteyle birlikte, yüksek hızda dönen bir yataktan oluşur. Besleme standart model Knelson konsantratörün haznesi içine düşey bir boru vasıtasıyla gravite olarak yapılmaktadır. Besleme, merkezi besleme borusu vasıtasıyla tabana ve şlam şeklinde yapılır (Majumder ve Barnwall, 2006). Besleme % 0-70 pülp yoğunluğunda yapılabilir. Konsantratör haznesinin dibinde beslemeyi dağıtacak olan bir pervane mevcuttur. Teorik merkezkaç kuvveti yaklaşık 60 G civarındadır. Bu kuvvet beslenen katıların kanallar arası boşlukları tabandan üste doğru doldurmasına neden olur. Başlangıçta bu boşluklar katılarla doludur. Daha sonra yapılan besleme ayırma kademelerini başlatır. Burada ağır mineraller hafif minerallerle yer değiştirir ve sonuçta ağır mineraller kanallar arası boşluklarda

engellenirken hafif mineraller üst kısma taşınarak ayırım gerçekleştirilir. Merkezkaç kuvvet nedeniyle ağır mineral yatağının bozulmasını engellemek için akışkan yatak su kuvveti, yeteri kadar güçlü olmalıdır. Bir Knelson konsantratör içerisinde konsantrasyon mekanizması bir engelli çökme klasifikatörüne benzetilebilir.



Şekil 3.3. Knelson ayırıcısının şematik görünümü (Majumder ve diğer. 2007)

Haznenin içindeki paralel olukların içindeki küçük deliklerden hazneye su enjekte edilerek malzemenin hem yıkanması hem de haznenin dibinde toplanması sağlanır. Diğer santrifüj ayırıcılarıyla kıyaslandığında, ayırma mekanizması ve dizayn özellikleri açısından oldukça farklıdır.

Bir Knelson konsantratörünün başlıca ayırma mekanizmasından anlaşılacağı üzere tane ayırma verimliliği üzerinde en etken akışkan yatak suyudur. Akışkan yatak suyu ile birlikte ayırma teknesini farklı hızlarda döndürerek elde edilen merkezkaç kuvvet başka bir değişkendir. İnce kömür tanelerinin zenginleştirilmesinde, yüksek merkezkaç kuvvet kullanılan Knelson ve Falcon ayırıcılar mükemmel performans göstermektedir. KC'nin diğer değişkenleri besleme pülp yoğunluğu ve işlem süresidir (Honaker, Das ve Nombe, 2006).

Knelson ayırıcısının etkinliği gangın yoğunluğu ve besleme hızının etkisiyle değişmektedir. Besleme boyut dağılımının, (gang yoğunluğunun düşük olması şartıyla) Knelson ayırıcısı ile zenginleştirme üzerine çok az etkisi olduğu belirlenmiştir.

3.2.2.1.1 *Hidrodinamik analiz*: Son yıllarda ince veya çok ince taneli ağır minerallerin kazanımında merkezkaç kuvvetin uygulanması etkin bir teknoloji getirmiştir. Uygulanan merkezkaç kuvvetin şiddeti arttıkça kazanılacak tanelerin boyutu daha ince olmaktadır. Santrifüj ayırıcısında oluşturulan merkezkaç kuvvet ( $F_c$ ) şu şekilde ifade edilmektedir:

$$F_c = \frac{\pi}{6} d_p^3 (\sigma_s - \sigma_t) \omega^2 r \quad (2)$$

Burada;

$F_c$ : Santrifüj kuvvet,  $g.cm.s^{-2}$

$r$  : Tanenin dönme ekseninden bulunduğu yer arasındaki değiştirme mesafesi, cm

$d$  : Tanenin çapı, cm

$\delta t$  : Tanenin yoğunluğu,  $g/cm$

$\delta s$  : Ortamın yoğunluğu,  $g/cm$

$\omega$  : Tanenin açısal hızı, radyan/sn

Merkezkaç kuvvetiyle etkilenen tane boyutu oluşturulan kuvvete bağlıdır. Xia ve Peng (2007) santrifüj film tabakasında askıda kalan kritik tane boyutunu aşağıdaki şekilde formüllendirmiştir.

$$d_{cr} = k_0 \sqrt[4]{\frac{g}{\omega^2 r}} \quad (3)$$

$d_{cr}$  = Kritik tane boyutu, cm

$k_0$  = Oransal sabit

$r$  = Tanenin dönme ekseninden bulunduğu yer arasındaki değiştirme mesafesi, cm

$\omega$  = Tanenin açısal hızı rad/san

$g$  = Gravite kuvveti  $g.sn$

Tanelerin Serbest Çökme Hızlarının Hesaplanması: Deneysel verilerin sonuçlarını değerlendirmek için bir knelson ayırıcı içerisindeki tane ayırım mekanizmasını bilmek gereklidir. Tane ayırım mekanizması tanelerin birbirleri ile

çarpışması ayırma kutusu içerisindeki yüksek merkezkaç kuvvet nedeniyle doğal olarak rastgele oluşan türbülans girdaplarından dolayı oldukça karışıktır. Bununla birlikte bir merkezkaç kuvvet alanında tanelerin serbest çökme hızlarının basit olarak hesaplanması ve nodüllerden ortama verilen suların hızları deneysel verilerin değerlendirilmesine katkı sağlar (Majumder ve diğ., 2007). Merkezkaç kuvvetin gravite kuvvetine oranı bağıl merkezkaç kuvvet (G) şu şekildedir :

$$G = F_c / F_g = \omega^2 r / g \quad (4)$$

Bir merkezkaç kuvvet alanında sıkıştırılmayan bir akışkan içerisinde bir tanenin çökmesi :

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{\omega^2 r}{\sigma_p} [\sigma_p - \sigma_f] \quad (5)$$

Burada  $D_p$ ,  $\sigma_p$ ,  $\sigma_f$  ve  $\mu$  tane çapı, tane yoğunluğu, akışkan yoğunluğu ve akışkanın viskozitesidir. İvme sıfıra eşitlenirse terminal çökme hızı :

$$v = G v_g \quad (6)$$

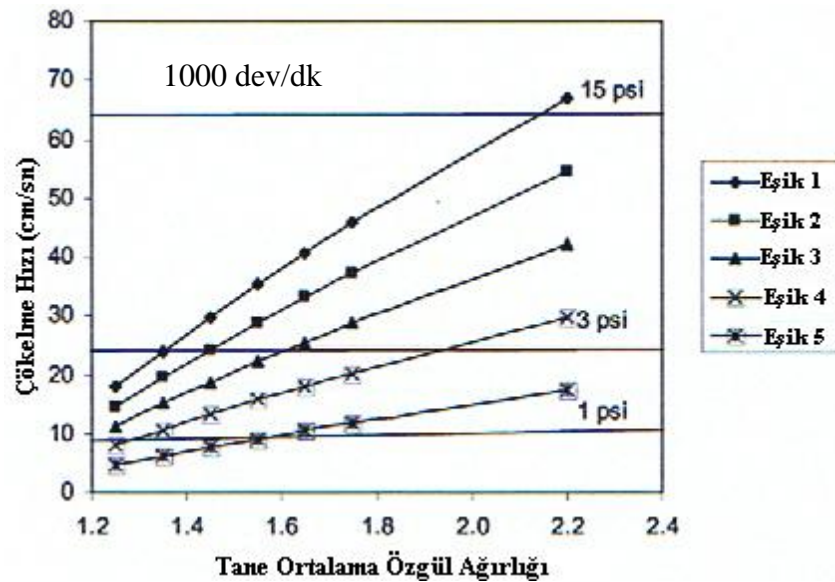
Eğer tane özellikleri, akışkan özellikleri ve merkezkaç kuvvet bilinirse bir akışkan içerisindeki bir tanenin serbest çökme hızı eşitlik (6) yardımıyla hesaplanabilir.

Şekil 3.3'den de görüleceği üzere ayırma kabı konik şekildedir ve eşit boşlukta beş eşik bulunmaktadır. Bu nedenle belirli bir dönüş hızında her bir eşik yakınında etki eden bir merkezkaç kuvvet değişimi olacaktır. Majumder ve diğ. (2007) tarafından yapılan çalışmada her bir eşikteki ve kabın her bir dönüş hızındaki G kuvvetindeki değişimler eşitlik (1) yardımıyla hesaplanmıştır. Burada eşik 1 ayırma kabının en üstündeki eşiktir ve eşik 5 ise ayırma kabının en alt kısmındaki eşiktir.

Tablo 3.1 G kuvvetindeki değişimler (Majumder ve diğ., 2007)

G kuvvetleri					
Dönüş hızı dev/dk	Eşik1	Eşik2	Eşik3	Eşik4	Eşik5
1000	30,2	24,6	19,0	13,4	7,8
1200	43,4	35,4	27,3	19,3	11,3
1425	61,2	49,9	38,6	27,2	15,9

Yüzeysel Su Hızlarının Hesaplanması: Eğer bir hazne farklı hızlarda dönerse hazneden gelen sular farklı hızlarda olacaktır. Majumder ve diğ. (2007) tarafından farklı dönüş hızlarında ve farklı işletme basınçlarında deneyler yapılmıştır.



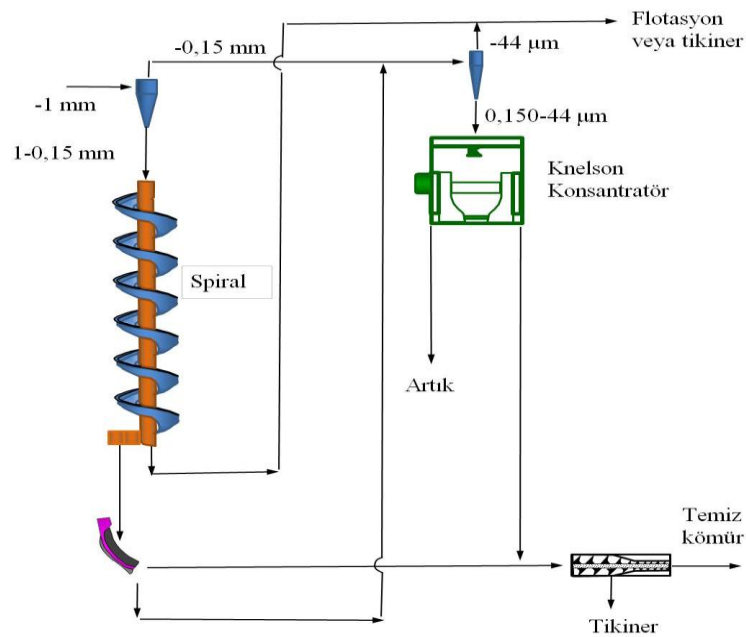
Şekil 3.4 Kömür tanelerinin çökelme hızları (Majumder ve diğ. 2007)

Deneyler 1000 dev/dk yapılmış olup hesaplanan değerler şekil 3.4'de verilmektedir. Buna göre 15 psi'de sadece 2,2 g/cm<sup>3</sup> yoğunluktaki tanelerin eşik1 de kalma şansı vardır. Bu yüksek basınçta bu eşikteki tane yatağının akışkanlık derecesinin yüksek olduğu farz edilir. Bu yüzden külün uzaklaştırılması önemsiz olacaktır. Benzer şekilde akışkan basıncı oldukça düşük olursa (1psi) kömür tanelerinin çoğunluğu eşiklerde kalacaktır ve muhtemelen yatak düşük basınç nedeniyle sıkışık olacaktır. Bu yüzden herhangi bir ayırım olmayacaktır.



3.2.2.1.2 *Hava Enjeksiyonu Kullanarak Ayırma Verimliliğinin Arttırılması*; Bu ayırıcılarda başlıca problem, kabul edilebilir ayırma performansına ulaşmak için tane boyutu aralığının sınırlı olmasıdır. Bu problemi çözmek için, akışkan su içerisine hava enjekte edilmiştir. Hava taneleri iri hidrofobik tanelere doğal hidrofobluk nedeniyle yapışırlar. Tane-hava toplamı suyun yoğunluğuna yakın veya daha az olduğunda, iri tanelerin üst akımdan kazanımı sağlanır. Böylece bu ayırıcılarda ayırım üst sınırı 1 mm den 2 mm'ye yükseltilmiştir. Yakın geçmişte Honaker, Das ve Noumbe (2005) tarafından yapılan bir araştırmada, aynı prensipleri kullanarak hava enjeksiyonu Knelson tip ayırıcılarda da değerlendirilmiştir. Sisteme hava enjeksiyonundan önce sıvı yüzey gerilimini azaltmak için köpürtücü metil izobütil karbinol (MIBC) ilave edilmiştir. Karıştırma sonrası hava taneleri kömür süspansiyonunda tane-kabarcık çarpışması ve birleşimini sağlamıştır. Yapılan deneylerde, temiz kömür kül oranlarında en az % 2'lik bir azalma ve yanabilir verimlerde % 10 ve daha fazla artış sağlanmıştır.

3.2.2.1.3 *Knelson Ayırıcıların Endüstriyel Uygulamalar*; Knelson ayırıcısı, konsantrenin otomatik ve elle boşaltma esasına göre; kesikli ve sürekli olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Boşaltma şekline göre elle boşaltma, merkezi boşaltma (CD) ve değişken boşaltma modelleri olarak sınıflandırılmaktadır.



Şekil 3.5. Knelson ayırıcısı kullanılan ince kömür akım şeması (Honaker ve Forrest, 2003)

Şekil 3.5’de bir kömür yıkama tesisinde Knelson ünitesinin uygulaması verilmektedir. Bu durumda ayırıcı 0,150 – 0,044 mm boyutundaki ince kömürlerin yıkanmasında kullanılmaktadır.

Son yıllarda ince veya çok ince taneli ağır minerallerin kazanımında merkezkaç kuvvetin uygulanması etkin bir teknoloji getirmiştir. Uygulanan merkezkaç kuvvetin şiddeti arttıkça kazanılacak tanelerin boyutu daha ince olmaktadır.

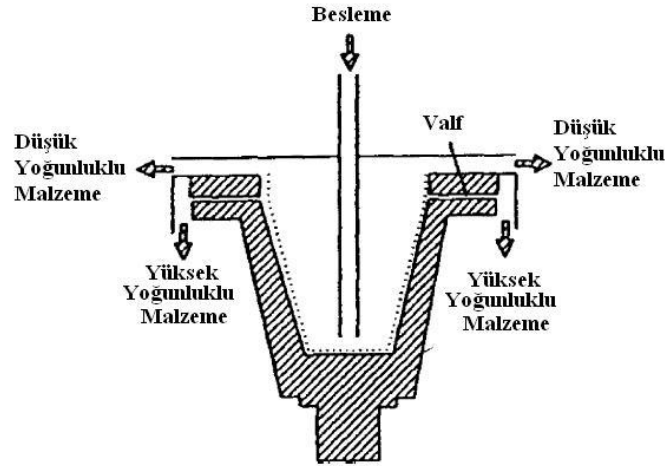
Honaker , Das ve Nombe (2005), tarafından yapılan bir çalışmada; 1-0,15 mm boyutlu kömürlerde mükemmel ayırma verimliliği elde edildiği ve Ep değerinin 0,1’in altında olduğu belirtilmektedir. Standart Knelson ayırıcısı, 6 mm ya da daha az üst besleme boyutuyla çalışabilmektedir. Basit yapısı, yüksek kapasite, geniş tane boyutu aralığında çalışabilmesi ve çok yüksek zenginleştirme oranlarında ayırım yapabilmesi en büyük avantajlarını oluşturmaktadır. 75 ton/saat kapasiteli bir ünite yüksek ayırma verimi ile başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Majumder ve diğ. (2008) tarafından yüksek küllü ince kömür numuneleri üzerinde yapılan deneylerde % 36 küllü besleme malından % 17 küllü temiz kömür konsantreleri elde edilmiştir.

### 3.2.2.2 Falcon Ayırıcı

Knelson konsantratörü gibi,Falcon süper kap bir düşey eksenli akışkan yataklı geliştirilmiş gravite konsantratörüdür. 1985 yılında ince altın tanelerinin kazanılması amacıyla geliştirilmiştir. Halen altın, kömür ve baz mineral endüstrisinde kullanılmaktadır. Kömürden piritin uzaklaştırılması işlemlerinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Değişik çaplarda üretilen Falcon ayırıcılardan C40 tipi ayırıcı düşey ile  $10^0$  açı yapacak şekilde dizayn edilmiştir. Bu açının amacı uygulanan merkezkaç kuvvetin bir kısmının kap duvarına paralel düşey hareket yaratarak katı yatağını kabın üst kısmına hareket ettirmektir (Honaker, Wang ve Voyles, 2000).

Ayırıcıda besleme malı ilk olarak tabakalanma zonuna gelir, kap duvarına ulaşmak için ağır taneler artık yatağından süzülür (Şekil 3.6). Böylece bu zonda taneler yoğunluk farklarına göre tabakalanır. Bu tabakalanma yatağından sonra akışkan

yatak zonu vardır. Burada ağır mineraller kanallar arası boşluklarda tutularak yatağın en alt kısmında yer alır. Ağır tanelerin boşaltılması oranı pnomatik vanalar vasıtasıyla kontrol edilir. Daha hafif taneler yatağın daha üst kısmında temiz kömür ürünü olarak yer alır ve Knelson konsantratöründe olduğu gibi kap dışına atılır.



Şekil 3.6 C40 tipi Falcon konsantratör (Majumder ve Barnwall, 2006).

Kabın dönme hızı bir motor vasıtasıyla 0 G'den 300 G'ye kadar yapılabilir (Majumder ve Barnwall,2006). Bu nedenle diğer ayırıcılara göre 4-10 kat daha fazla kapasiteye sahiptir. Gerçekte yüksek dönme hızları ve merkezkaç kuvveti enerji kazanımını arttırmaktadır. Dönme hızı (artan dönme hızı) yerçekimi kuvvetini yükselterek, besleme malı üzerindeki ayırma kuvvetini artırır. Konsantre delikleri atım sıklığını maksimuma getirmek suretiyle alınan temiz kömür miktarı artırır (Silva , Santos ve Torres, 1999).

Falconer (2003) tarafından yapılan deneylerde, Falcon ayırıcı ile mükemmel ayırım performansları elde edildiği belirtilmektedir. Yapılan deneylerde ayırıcıda  $1,5-1,7 \text{ g/cm}^3$  ayırma yoğunluğunda 0,12 hata oranı (Ep) sağlanmıştır. Bu oran 2-4 ton/saat kapasiteli 10 inç çaplı ünite de elde edilmiştir.

Honaker ve diğerleri (2000) tarafından ince kömürler üzerinde 50 G santrifüj kuvveti ile yapılan deneylerde; % 23 küllü kömürlerden 1-0,150 mm tane aralığında % 17 küllü temiz kömür % 92,3 verimle elde edilirken, 145 G ile yapılan deneylerde % 11,9 küllü temiz kömür % 88,2 verimle elde edilmiştir. Ayrıca piritik sülfürün

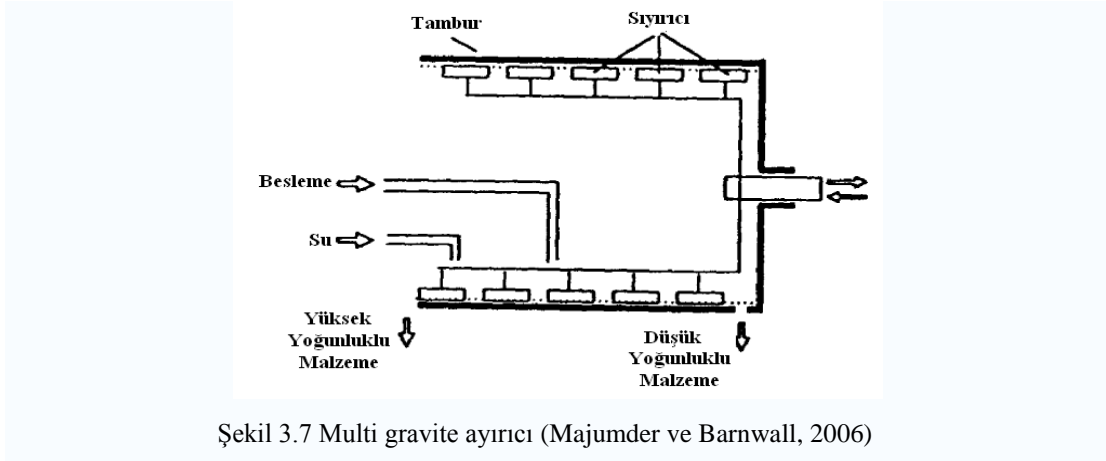
kömürden uzaklaştırılması amacıyla yapılan deneylerde, % 90 'ın üzerinde kazanım sağlanmıştır.

Falcon ayırıcının kap çapına bağlı olarak C10, C40 vb. çeşitli tipleri mevcuttur. C40 tipi ayırıcıların kapasitesi tahmini olarak 100 ton/saat olup, kapalı devre çalışan kömür yıkama tesislerinde ince kömürlerin yıkanması işlemlerinde kullanılmaktadır. Bir ünite için gerekli taban alanı 9.29 m<sup>2</sup> ve yüksekliği 4.57 metredir. 50 ton/saat besleme miktarında bu ayırıcı ile yapılan deneylerde, elektrik tüketim maliyetinin 0.10 ABD \$/ton altında olduğu tespit edilmiştir.

Falconer ayırıcının avantajları, çok ince tane boyutunda (0,038 mm'ye kadar) ayırım yapabilmeleri ve yüksek kapasitede dizayn edilebilmeleridir. Dezavantajları ise; mekanizmanın kompleks olması ve günlük bakım gerektirmesidir ( Falconer, 2003).

### 3.2.2.3 Multi Gravite Seperatör

Kısaca MGS olarak bilinen Multi Gravite Separatörün çalışma prensibi, bir tambur içerisinde konvansiyonel sarsıntılı masa yüzeyinin yatay eksen etrafında dönmesi olarak tanımlanabilir (Majumder ve Barnwall, 2000). Bu ayırıcının merkezi 8-22 G arasında bir merkezkaç kuvvet alanı oluşturmak için yatay eksen etrafında dönen ve hafifçe incelen bir tamburdur (Şekil 3.7). Bu şartlar altında, 0,002 mm çapındaki bir tane 1 G atmosferik standart ağırlık durumunda 0,045 mm çapındaki bir tane ile aynı davranışı gösterir. Besleme seyreltilmiş şlam şeklinde tambur içerisine yapılır. Bir dairesel cihaz pülp hızını azaltır ve tambur yüzeyine dağıtır. Merkezkaç kuvveti etkisiyle, partiküller tambur içinde birikerek, belirli kalınlıkta bir tabaka oluşturur. Özel olarak dizayn edilmiş küreyiciler tambur yüzeyinde hareket ederken taneciklerden oluşan tabakayı küremekte, böylece dereceli tabakalaşma sağlanmaktadır. Tamburun iç yüzeylerine tutunarak hareket eden yüksek yoğunluklu taneler küreyiciler tarafından yukarı doğru taşınarak üst çıkıştan, hafif yoğunluklu taneler ise yıkama suyu etkisiyle çıkış noktasına kadar taşınır.



Şekil 3.7 Multi gravite ayırıcı (Majumder ve Barnwall, 2006)

Ayırma kapasitesi tambur çapı ile bağlantılıdır. MGS sürekli bir proses olmasına karşılık başlıca dezavantajı düşük kapasiteli olmasıdır. Bir ünite 5 ton/saat kapasitelidir. Bununla birlikte yeni ikiz tambur dizaynında 60 ton/saat cevher ve 25 ton/saat kömür kapasitesine ulaşıldığı iddia edilmektedir.

*3.2.2.3.1 Multi Gravite Seperatörün İşletme Parametreleri:* MGS'nin çalışmasını etkileyen faktörler; tambur dönüş hızı, titreşim yoğunluğu, yıkama suyu miktarı, tambur eğim açısı, pülp yoğunluğu ve titreşim genliğidir. İnce kömürlerin yıkanması esnasında cihaz performansının kontrolünde tambur dönüş hızı ve pülp yoğunluğu en önemli parametrelerdir (Chan , Mozley ve Childs,1989).

**Tambur Dönüş Hızı:** Tambur dönüş hızı, MSG'nin çalışmasını iki şekilde etkiler. Öncelikle pülp akışını, tamburun alt çıkışına doğru hızlandırır. Bunun dışında, hız ile birlikte merkezkaç kuvveti artacağından, tanelerin tambur yüzeyine yapışmasını sağlar. Tamburun dönüş hızı 100-300 dev/dk arasında değiştirilebilmektedir. 300 dev/dk hızla dönen bir tambur içindeki bir taneye etkiyen merkezkaç kuvvet 24 G kadar arttırılmakta, buna karşın tane büyüklüğü 5 kez küçültülmüş olmaktadır. Başka bir deyişle MGS ünitesinde diğer klasik gravite ayırması yapan ünitelere göre 5 kez daha küçük boyutlu tanelerin ayrılması mümkün olmaktadır. Tambur hızı arttıkça verim artarken, kül oranı artar.

**Titreşim Hareketi:** Gövdeye verilen titreşim hareketi ile akışkan tabaka içindeki tanelere ek bir ayırma kuvveti uygulanmış olmaktadır. Titreşim sinuzoidal dalga

formunda eksen doğrultusunda olmaktadır. Tamburun titreşim frekansı 4,0, 4,8, 5,7 dev/sn, titreşim genliği ise 10, 15 ve 20 mm arasında seçilebilir. Bu titreşim hareketi, taneler üzerinde ek kesme kuvveti uygulamaktadır.

**Yıkama Suyu Miktarı:** Yıkama suyu, tamburun üst çıkışına yakın bir noktadan verilir. Yıkama suyu miktarı ve akış hızı ayırmayı önemli ölçüde etkilemektedir. Su miktarı temelde pülp yoğunluğuna bağlı olsa da, 0-10 L/dk seçilir.

**Tambur Eğim Açısı:** Bu açı, tamburun ekseninin yatayla yaptığı açı olarak tanımlanır. 0-9° arasında ayarlanabilir. Malzemenin ince boyutlu ve düşük yoğunlukta olması halinde küçük açı, iri boyutlu ve yüksek yoğunlukta olması halinde ise büyük eğim açısı tercih edilir. Tambur açısını değiştirerek konsantrasyon oranını ayarlamak mümkündür.

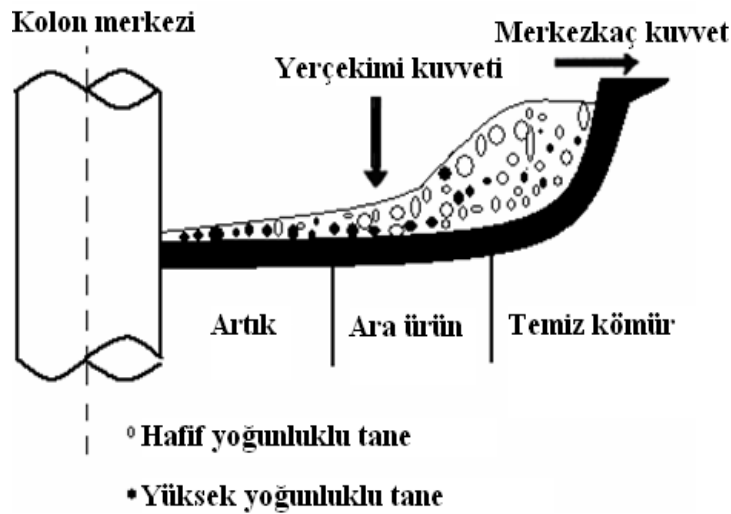
**Pülp Yoğunluğu:** MGS'ye beslenen malzemenin pülp yoğunluğu % 10-50 katı arasında değişiklik gösterebilir. Eğer beslenecek pülpün yoğunluğu daha fazlaysa, yıkama suyu buna göre ayarlanabilir.

#### 3.2.2.4 Kömür Spirali

1940'lı yıllarda Humpreys tarafından icat edilmesinden beri spirallerin çeşitli modelleri geliştirilmiştir. Spiraller; taneleri boyut, yoğunluk ve şekline göre ayıran basit aygıtlardır. Genel olarak tanelerin hareketi tane özelliklerine (boyut, yoğunluk ve şekil), işletme şartlarına (ortam yoğunluğu ve akış hızı) ve spiral dizaynına (oluk şekli, oluk sayısı ve eğim) bağlıdır. Kömür spiralleri bağıl olarak dış merkezkaç kuvveti sınırlayan daha küçük eksenel ve radyal eğime sahiptir (Glass , Minekus ve Daljmin, 1999).

Besleme spiralin uç noktasından % 15-45 katı oranında yapılır. Kompleks mekanizmaları, merkezkaç kuvveti de içeren birleşik etkileri, farklı tane çökme oranları ve engelli çökme, tanelerin tabakalaşmasını etkiler (Kohmuench, 2000). Spiral oluşu içinde akan artık şist ve kömür karışımı, malzeme santrifüj kuvvetinin

etkisi ile ayrılmaktadır. Glass ve diğerleri (1999) tarafından yapılan çalışmalara göre, bir kömür spirali bağıl olarak küçük yatay ve düşey eğime sahiptir. Bu nedenle dışsal merkezkaç kuvvet her zaman sınırlıdır. Sonuçta, ağır mineraller iç kısma doğru hareket ederken, hafif mineraller iç kısımdan uzakta toplanır. Spiral merkezinde ise, ara ürün toplanmaktadır (Şekil 3.8). Hata faktörü ( $E_p$ ) 0.10 ile 0.15 arasında değişmektedir (Kohmuench,2000).



Şekil 3.8 Spiral şematik kesit görünüşü (Koumanech, 2000)

Besleme spiralin uç noktasından % 15-45 katı oranında yapılır. Kompleks mekanizmaları, merkezkaç kuvveti de içeren birleşik etkileri, farklı tane çökme oranları ve engelli çökme, tanelerin tabakalaşmasını etkiler (Kohmuench, 2000). Spiral oluşu içinde akan artık şist ve kömür karışımı, malzeme santrifüj kuvvetinin etkisi ile ayrılmaktadır. Glass ve diğ. (1999) tarafından yapılan çalışmalara göre, bir kömür spirali bağıl olarak küçük yatay ve düşey eğime sahiptir. Bu nedenle dışsal merkezkaç kuvvet her zaman sınırlıdır. Sonuçta, ağır mineraller iç kısma doğru hareket ederken, hafif mineraller iç kısımdan uzakta toplanır. Spiral merkezinde ise, ara ürün toplanmaktadır (Şekil 3.8). Çalıştırma şartlarına bağlı olarak spiral ayırma yoğunluğu  $1.7$  ile  $2.0 \text{ g/cm}^3$  arasında değişmektedir. (Kohmuench,2000).

Besleme malzemesindeki ince materyalin miktarı arttıkça, spirallerde ayırma yoğunluğu artmakta ve ince boyutta olan artık şist malzeme temiz kömür ürününe karışmaktadır.

Bir spiralin performansı; çap, yükseklik, dönüş sayısı, eğim, oluğun şekli ve boyutları gibi dizayn parametrelerine bağlıdır (Kapur ve Meloy,1998). Geometrik olarak kanalın görünüşü kademesiz olarak çok sayıda aksenal kesişmeyen bitişik sarmal eğrilerden oluşmaktadır (MacHunter, Richards ve Palmer, 2003).

*3.2.2.4.1 Taneleri Etkileyen Kuvvetler:* Kapur ve Meloy (1998) tarafından yapılan çalışmaya göre; karışık, düzgün, geçişli ve sarmal akım şartlarının bir arada olması nedeniyle, spiraldeki taneler dalgalı, geçici ve düzgün kuvvet alanlarının rastgele bir karışımına maruz kalır. Bu kuvvetlerin miktarlarını tam olarak tespit etmek kolay değildir. Genel olarak; yerçekimi, merkezkaç, hidrodinamik sürüklenme, kaldırma ve sürtünme kuvveti olmak üzere başlıca 5 kuvveti tahmin etmek mümkündür

Yerçekimi Kuvveti: Çapı  $d$  ve yoğunluğu  $\sigma$  olan küresel bir tanenin yoğunluğu  $\rho$  olan bir sıvı içerisindeki yerçekimi kuvveti veya ağırlığı 7 nolu formülle hesaplanır.

$$F_g = \frac{\pi d^2 g (\sigma - \rho)}{6} \quad (7)$$

Burada  $g$  yerçekimi sabitidir.

Merkezkaç Kuvvet: Bir spiralde hızlı ve sıkı dönümlü akış durumunda merkezkaç kuvvet çok önemli bir rol oynar. Yarıçapı  $r$  olan bir daire içerisinde  $v$  hızı ile hareket eden bir taneye etki eden merkezkaç kuvvet;

$$F_c = \frac{\pi}{6} \frac{d^2 v^2}{r} (\sigma - \rho) \quad (8)$$

Genel olarak tane hızı boyutuna, yoğunluğuna, radyal yöndeki pozisyonuna ve su içerisindeki derinliğine bağlı olarak kendisini çevreleyen akışkandan farklı olacaktır.



Sürüklenme Kuvveti: Bir akışkan içerisinde hareket eden taneye etkiyen sürüklenme kuvveti tane yüzeyi ve onun üst akımı ile alt akım kenarları arasında basınç farkından oluşan girdaplardan meydana gelmektedir.

$$F_d = \frac{\pi}{6} g h d^2 \rho \sin \alpha \quad (9)$$

Burada h akış derinliğidir.

Kaldırma Kuvveti: Spirallerde kaldırma kuvveti yatağı gevşeterek ve açarak tanelerin boyut ve yoğunluklarına göre ayrılmasına yardım eder. Kaldırma kuvveti doğrudan sürüklenme kuvvetine bağlıdır.

$$F_l = k_l F_d \quad (10)$$

Mevcut durumda  $k_l$  sabiti ile ilgili bir fikir birliği bulunmamaktadır. Bu sabit , deneylerle tespit edilmekte ve 1/7 ile 1 arasında değişmektedir.

Sürtünme Kuvveti: Spiral üzerinde hareket eden taneye etki eden direnç kuvveti tüm kuvvetlerin  $F_n$  normal bileşenlerinin toplamıdır. Su altında dinamik sürtünme kuvveti katsayısı, su altındaki statik sürtünme kuvveti katsayısı ile gerçekte aynıdır. Bu yüzden normal kuvvete bağlı sürtünme kuvveti;

$$F_t = F_n \tan [\phi] \quad (11)$$

denklemlerle hesaplanır.

*3.2.2.4.2. Kömür Spirali Dizaynındaki Gelişmeler.* Bir kömür yıkama spiralinin performansı onunu dizayn parametrelerinin kritik bir fonksiyonudur. En önemli dizayn parametreleri; çap, yükseklik, dönüş sayısı, oluk yüksekliği ve eğim yanında oluk şeklidir (Zhang, 2008). 1960'lı yıllarda kömür spiralleri 2 tam dönüş içerirken, gerekli ayırımı yapabilmek için modern spiraller 7 tam dönüş kadar dizayn edilebilmektedir (Matthews, Fletcher ve Partridge, 1999).

Spirallerin imalatında önceleri dökme demir ve dökme beton kullanıldığından, ağır olmaları başlıca dezavantaj idi. Spiral teknolojisindeki başlıca yenilik hafif malzemedan imal edilmeleridir. 1960'lı yıllarda reçine ile güçlendirilmiş hafif ağırlıktaki cam elyaf teknolojisi üretilmiştir. 1970'li yılların başında ise kauçuk kaplı fiberglass yerini püskürtme teknikleri uygulanan poliüretana bırakmıştır. Bu gelişme spiral dizaynının gelişimine önemli katkı sağlamıştır (Weldon, 1997).

Spiraller esas olarak kömür ve gang mineralleri arasındaki yoğunluk farkınının az olmasını kullanır. Sonuçta, kömür spirallerinin dizaynı geleneksel mineral ayırım spirallerinden aşağıdaki özelliklerinden dolayı ayrılır (Richards, Hunter ve Holand-Batt, 1985):

-Daha küçük oluk yüksekliği kullanılır. Oluk yüksekliğinin küçültülmesi akışkan pülpün hızını azaltır ve pülpün duraylılığını arttırarak pülpün oluk içerisinde kalma süresini fazlalaştırır.

-Daha geniş dış çap pülp hacim taşıma kapasitesini arttırır ve böylece toplam ünite kapasitesi artmış olur.

-Daha az taban eğimi daha düz bir akış yaratır ve bu yüzden daha iyi ayırım gerçekleşir.

#### 3.2.2.4.3 Kömür Spiralinin İşletme Parametreleri Üzerinde Yapılan Çalışmalar:

Holand-Bat ve Holtham (1992) tarafından optimal besleme ve en iyi işletme şartlarının belirlenmesine yönelik bir çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalara göre besleme malı dağılımı, hacimsel akış oranı, splitter pozisyonu en kritik parametrelerdir.

Nicol, (1992) tarafından pilot çapta boyut analizi performans testleri yapılmıştır. Bu çalışmada 1-0,5 mm, 0,5-0,25 mm, 0,25-0,125 mm ve 0,125-0,053 mm boyutlarında olmak üzere dört farklı boyutta deneyler yapılmıştır. Analizlerde ince tane oranlarında ayırım düşüktür. Daha iri tanelerde 1-0,5 mm ayırım eğrisi daha

diktir, yani en iyi ayırım bu fraksiyonda olmuştur. Sonuç olarak yazar, 1-0,125 mm boyutunda iyi bir ayırımın gerçekleştiğini ortaya koymuştur.

Zhang (2008) tarafından yapılan çalışmada, bir kömür spiralinde katı oranının % 25-35 aralığında iyi sonuçlar verdiği, katı konsantrasyonu ve hacimsel besleme oranının ayırma performansını kontrol ettiği ortaya konmuştur.

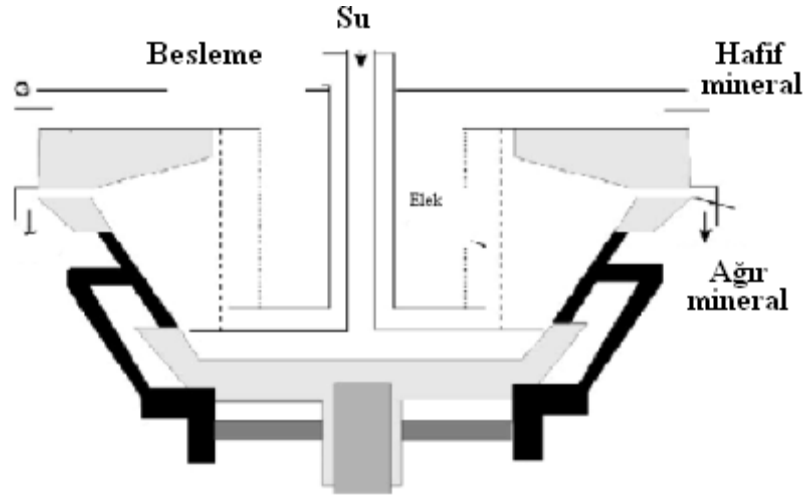
*3.2.2.4.4 Spiral Devreleri:* Konvansiyonel kömür spiralleri ile yüksek özgül ağırlıkta ayırım yapılır, bu durum bağıl olarak temiz kömür külünü ve verimin artırır. Bu nedenle, düşük küllü ürün elde edilmesini zorlaştırır. Bu problemlerin üstesinden gelmek için Lutrell ve arkadaşları (2001) yüksek ayırma yoğunluğu ve hatalı yer değiştiren tane oranını azaltmak amacıyla çok kademeli spiral devreleri önermişlerdir.

#### *3.2.2.5 Jigler*

Konvansiyonel jigler yaklaşık bir yüzyıldan beri kullanılmaktadır. Jiglerin çalışma esası farklı yoğunluktaki tanelerin bir ayırım eleği üzerinde yatak oluşturarak ayrılmasıdır. Yatak bir diyafram ve suyun akışı ile oluşturulan düşey pulsasyon hareketi ile orta ve belirli yoğunluktaki taneleri de içerecek şekilde tabakalandırılır. Yatak üzerinde pulsasyon ve açma hareketi ağır tanelerin tabaka içerisinde geçerek alt akıma doğru hareket etmesine, daha hafif ve küçük tanelerin üst akıma gitmesine neden olur. Son yıllarda merkezkaç kuvvetten yararlanan Kelsey jigi veya Altar jigi gibi yeni jigler geliştirilmiştir.

*3.2.2.5.1 Kelsey Jig:* Kelsey jigi son 20 yılda geliştirilmiş olup, santrifüj jiglerinin en iyi örneği olarak bilinir (Falconer, 2003). Şekil 3.9'da Kelsey jigi şematik görünümü verilmektedir. Bu jig bir santrifüj kuvveti ve konvansiyonel jiglerin pulsasyon prensiplerinin birlikte uygulanması sonucu çalışır. Kelsey jigi esas olarak bir merkezkaç kuvvet alanında Harz jiginin düşey olarak yerleştirilmiş şeklidir (Yerrisiwenty, Majumder, Barnwall ve Rao, 2003). Jig dönen bir kabı çevreleyen bireysel plakalar serisinden oluşur. Bu plakalar su hareketini tutar ve konsantreyi

çıkış deliklerine doğru sürükler. Bu kap ile bir ünite 80 G kadar merkezkaç kuvvet oluşturma kapasitesine sahiptir (Silva, 1999). Besleme, pülp şeklinde ünitenin ortasında bulunan besleme borusundan ortama verilir. Her plakada bulunan mekanik pülsatörler yatakta sallantı hareketi yaratarak, tanelerin yoğunluklarına göre farklı hareket etmelerini sağlar. Düşük yoğunluklu taneler yatak üzerinden hareket eder ve üst kısımdan alınır. Ağır yoğunluklu taneler yatak altından geçerek çıkış vanalarına doğru hareket eder (Majumder ve Barnwall,2006).

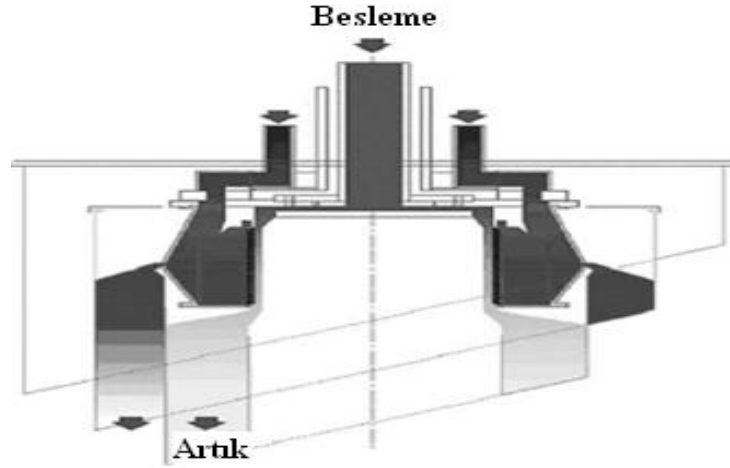


Şekil 3.9 Kelsey jigi şematik görünümü (Majumder ve Barnwall, 2006)

Yerriswany, Majumder, Barnwall, Govindarajan ve Rao (2003) tarafından % 30,97 küllü -0,5 mm boyutundaki kömürlerin yıkanması sonucu % 17 küllü temiz kömür % 61 verimle elde edilmiştir. Deneylerde besleme pülp yoğunluğu % 20-25, yatak malzemesi olarak silis kumu kullanılmış ve jig pulsasyon genliği 2-5 mm arasında alınmıştır.

Kelsey jigi 0,5-0,038 mm mesh tane boyutundaki ince kömürlerin zenginleştirilmesinde ve zor yıkanan metalurjik kömürlerin yıkanmasında verimli bir şekilde uygulanmıştır. İşletme parametreleri dönme hızı (dönme hızının artması ile yatağı ve yerçekimi kuvvetini sıkıştırır, konsantre kalitesini yükseltir, miktarını azaltır), besleme oranı, yıkanacak malzeme karakteristikleri, besleme suyu miktarı, elek boyutları, yatak karakteristikleri, elek üzerindeki yatak kalınlığı, genlik uzunluğu, elek boyunca suyun hidrodinamik hız profilidir.

3.2.2.5.2 *Altar Jigi*. Önceleri Campbell jigi olarak bilinen Altar santrifüj jigi, Kelsey jiginden farklı olarak dizayn edilmiştir. 1971 yılında icat edildikten sonra piyasadan gelen taleplere göre çeşitli değişiklikler yapılmıştır. Altar jigi konsantre ve artıkları toplayan ayırma bölümlerini içeren sabit bir kap içerisine yerleştirilmiş dönen bir hazneden oluşmaktadır (Şekil 3.10). Hazne ağız açıklığı bulunan silindirik bir elek içermekte olup, yüksekliği kabın dönmesine bağlı olarak elek üzerinde düşey pozisyonda kalan artığın doğal kalınlığına bağlı olarak ayarlanabilmektedir. Şlam besleme girişi altındaki difüzör tarafından elek üzerindeki yatak üzerine dağıtılır. Basınçlı su besleme malı ile yatağın büzülme ve genişleme değişikliğini sağlamak için dört atımlık pulsasyon sağlayıcaya kadar yatak altına periyodik olarak enjekte edilir. Bu işlem, dönen haznenin yüksek merkezkaç kuvvet sağlaması ile birleştirilerek jig için gerekli engelli çökmeyi oluşturur. Sonuçta değişik yoğunluktaki tanelerin fiziksel ayırımı sağlanır. Bağıl olarak daha ağır malzeme (örneğin  $2,4 \text{ g/cm}^3$ ) yatak üzerine yerleşir ve deşarj edilir. Temiz kömür taneleri (örneğin  $1,4 \text{ g/cm}^3$ ) elek üzerinde yerleşmek için gerekli süreyi bulamaz ve konsantre kabına alınır.



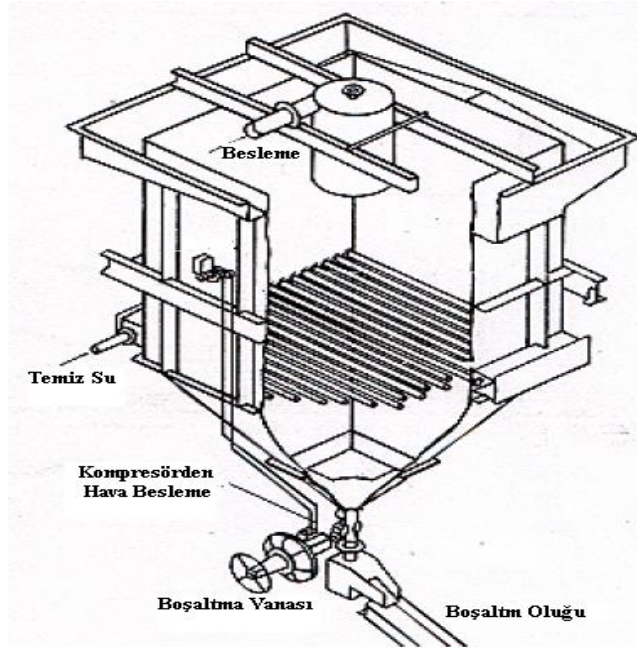
Şekil 3.10 Altar jigi şematik görünümü ( Mohanty, Honaker ve Patwardhan, 2001).

Mohanty, Honaker ve Patwardhan (2001) tarafından yapılan deneylerde % 20 küllü kömürlere % 6,25 küllü konsantreler % 82 verimle elde edilmiştir. Diğer yoğunluğa dayalı ayırıcılarla karşılaştırıldığında düşük G kuvveti (yaklaşık 50 G) ve düşük dönme hızları ile yüksek verim elde edilmektedir.

Altar jig modeli 1- 0,045mm tane boyutundaki zenginleştirme işlemlerinde 1,55 g/cm<sup>3</sup> ayırma yoğunluğunda mükemmel sonuçlar vermiş ve hata faktörü 0,09 olmuştur. Diğer gravite ayırıcılara göre karşılaştırıldığında bu sonuçlar oldukça iyidir. En iyi ayırım performansı, düşük besleme oranlarında sağlanmaktadır. Yüksek besleme oranlarında besleme malı yeterli miktarda iri taneler içermekte, bu da yatak malzemesi boyunca elek üzerine yerleşmekte, böylece gerekli jiglemenin yapılmasını engellemektedir. Bu da jigin ayırım performansını düşürmektedir. İşletme değişkenleri merkezkaç kuvvet, pulsasyon su besleme miktarı, besleme oranı, besleme katı oranı ve yatak kalınlığıdır.

### 3.2.2.6 Engelli Yatak Ayırıcıları

Engelli yatak sulu ayırıcılar genellikle boyut sınıflandırılmasında kullanılmasına karşın, belirli boyut aralığında kömür zenginleştirmede de kullanılmaktadır. Karşı akım ayırıcılar akışkan yatak kullanan mekanik olmayan ve engelli çökme şartları oluşan ayırıcılardır. Şekil 3.11’de bir Floatex engelli yatak ayırıcısı görünümü verilmektedir. İri taneler yatak boyunca yerleşirken ince taneler üst akıma karışır. Kohmunech (2000) tarafından yapılan bir çalışmada bu ayırıcıların 0,8 mm ile 0,1 mm tane aralığında ayırım yapabildiği belirtilmektedir.

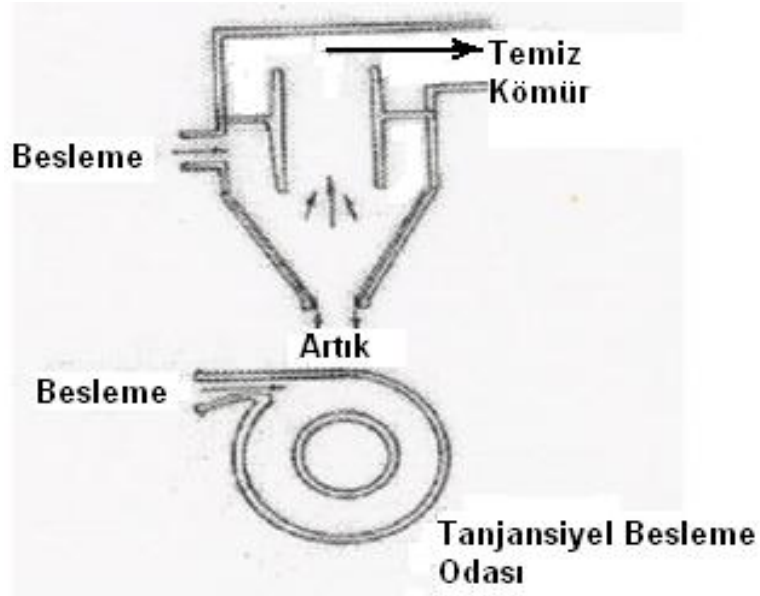


Şekil 3.11 Floatex engelli yatak ayırıcısı (Kohmuench, 2000)

Katı kapasitesi ayırma yoğunluğuna bağlı olarak 10 ton/m<sup>2</sup> den 40 ton/m<sup>2</sup> kadar değişmektedir.

### 3.2.2.7 Su Siklonu

Su siklonları uzun yıllardan beri ince kömürün yıkanmasında kullanılmaktadır. Ayırma ortamı olarak sadece suyun kullanılması en önemli avantajlarıdır. Piritik kömürün uzaklaştırılmasında ve yıkanabilme özelliği iyi olan kömürlerde iyi bir performans ortaya koymaktadırlar. Buna karşın su siklonlarında ince tane oranı arttıkça verim hızla kötüleşmektedir. Diğer siklonlardan farkları ise, geniş koniklik açısı ile uzun ve geniş üst çıkış borusudur (Kemal ve Arslan, 2000).



Şekil 3.12 Su Siklonu (Kemal ve Arslan, 2000)

### 3.2.3 Yıkama Ekipmanlarının Değerlendirilmesi

Yoğunluğa dayalı ayırma ünitelerinin performanslarının değerlendirilmesinde çeşitli göstergeler, katsayılar, ayırma verimliliği, konsantrasyon verimliliği vb. faktörler kullanılmaktadır. Lineer devre analizi Meloy (1983) tarafından geliştirilmiştir. Bu teknik kullanılarak bir seri deneylerle kömür yıkama prosesleri değerlendirilebilir. Tablo 3.2'de çok kademeli spiral devreleri için teorik bağlı ayırma verimlilikleri sunulmaktadır.

Tablo 3.2 Çok kademeli spiral devreleri için teorik bağıl ayırma verimlilikleri (Kouhmuench, 2000)

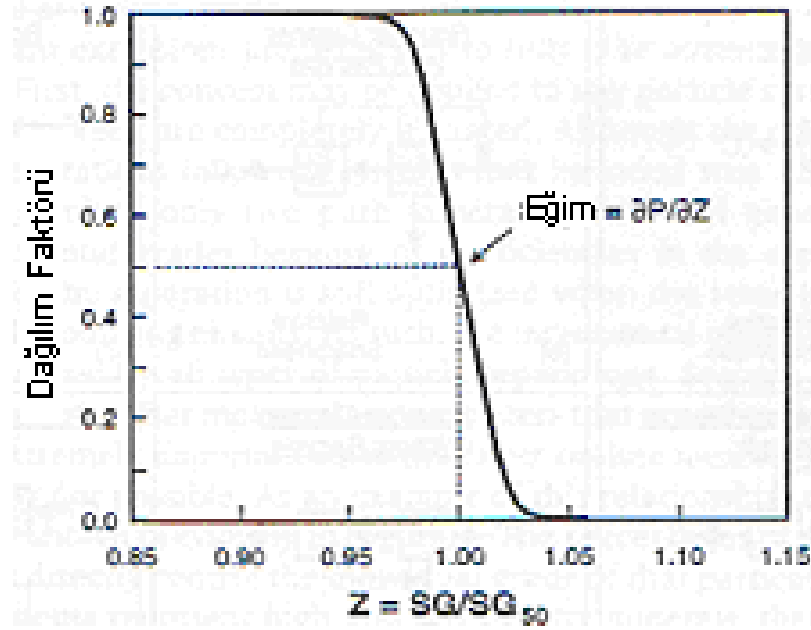
Devre	Akış diyagramı	Bağıl Verimlilik
(a) Kaba devre		1
(b) Kaba devre, Geri dönüşümlü temizleme devresi		1,33
(c) Kaba devre Temizleme devresi		1
(d) Kaba devre Geri dönüşümlü ara ürün temizleme devresi		1,22
(e) Kaba devre Geri dönüşümlü temizleme devresi		2

(F=Besleme, R=Artık, C= T.Kömür, M=Ara ürün, R= Kaba devre)



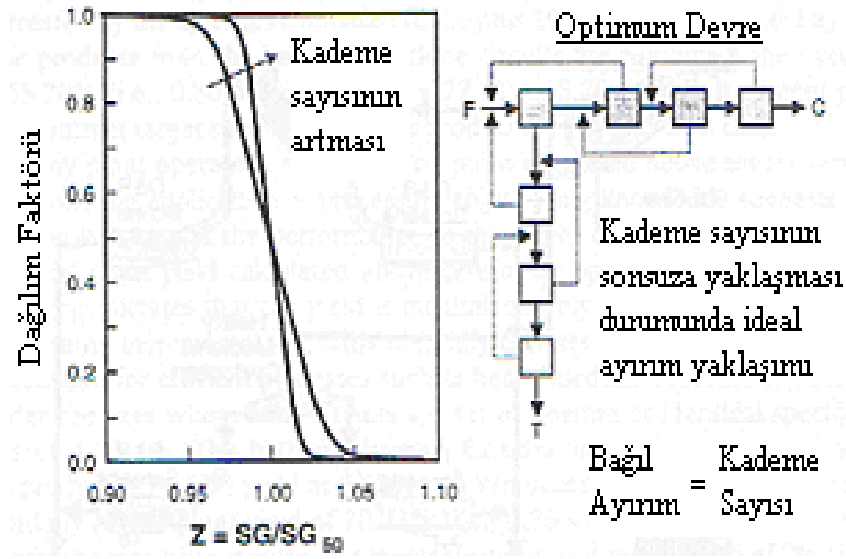
Tablo 3.2(a) da sunulan tek-kademeli proste, konsantre / besleme oranı (C/F) olan boyutsuz olasılık fonksiyonu (P) tanelerin bir veya daha fazla fiziksel özelliklere dayalı olarak konsantreye gittiğini belirtmektedir.

Yoğunluğa dayalı ayırılarda, P şekil 3.13’de bir örneği sunulan çeşitli muhtemel dağılım fonksiyonu eğrilerinden tahmin edilebilir. Bu eğri  $SG/SG_{50}$  oranından hesaplanan normal özgül ağırlık oranını (Z) göstermektedir.



Şekil 3.13 Yoğunluğa dayalı ayırılarda için muhtemel dağılım fonksiyonu (Lutrell, 2003)

Ayırma yoğunluğu ( $SG_{50}$ )  $P=0,5$  de  $Z=1$  değeri ile temsil edilir. Daha dik eğri iyi bir ayırımı temsil ettiğinden, eğrinin  $Z=1$  deki eğimi ayırım durumunun bağıl göstergesi olarak kullanılabilir. Lutrell (2003) tarafından yapılan çalışmaya göre, kaba-temizleme devresi için ayırım keskinliği teorik olarak tek kademeli devreden 1,33 kat daha fazladır. Tablo 3.2(e) kaba-süpürme-temizleme kademelerinden oluşan devre tek kademeli devreye nazaran 2 kat daha fazladır.



Şekil 3.14 Optimum devre performansında temizleme ve süpürme kademe sayısının etkisi (Lutrell, 2003)

Şekil 3.14'den de görüleceği üzere ayırım keskinliği, devrenin temizleme ve süpürme kademeleri altındaki ünite işlemleri artarken artar. Çünkü; süpürme ünitesindeki ikinci konsantr ve temizleme ünitesindeki ikincil artık, kolda önceki ayırım kademesine beslenir

### 3.2.3.1 Yoğunluk İle Korelasyon

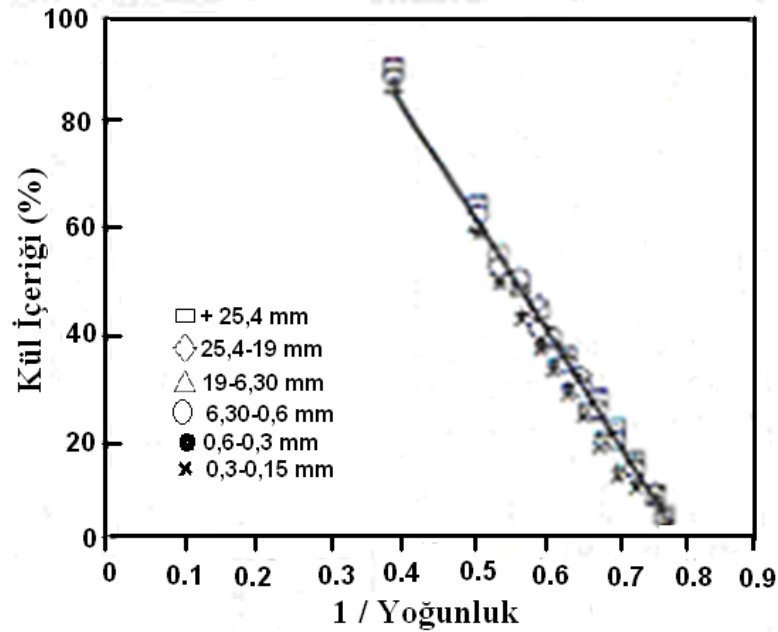
Kalite artışı değeri; eğer kalite parametresi kül ile ilgiliyse, ideal ayırımlar için bu değer tahmin edilebilir. Bu yaklaşım, tüvenan kömürlerin düşük yoğunluklu serbest kül içeren karbonlu malzeme ve yüksek yoğunluklu saf kül minerali içeren sadece iki bileşenden oluştuğu varsayımına dayanır (Lutrell, Barbee ve Stanley, 2003).

$$\text{Kül (\%)} = \frac{100}{(\rho_2 \rho_1)} \left[ \frac{\rho_2 \rho_1}{p} + \rho_2 \right] \quad (12)$$

Burada  $\rho_2$  ve  $\rho_1$  ağır ve hafif minerallerin yoğunluğudur.

Eşitlik (12) standart yüzdürme-batırma testlerinden elde edilen kömürün dar aralıklı yoğunluk fraksiyonlarının kül içeriğine karşı çizilmesiyle gösterilebilir (Şekil

3.15). Çok ince fraksiyonlarda görülen sapmalar, bu fraksiyonlarda yüzdürme-batırma testlerinin yeterli şekilde uygulanamamasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 3.15 Farklı fraksiyonlardaki tüvenan kömürün yoğunluk ve kül içeriği arasındaki ilişki (Lutrell, Barbie ve Stanley, 2003).

Bazı kömür fraksiyonlarında, pirit gibi üçüncü bir bileşenin varlığında doğrudan sapmalar meydana gelmektedir.

### 3.2.3.2 Hatalı Tane Oranı

Hatalı tanelerin ayırma yoğunluğu üzerindeki etkisi çeşitli matematiksel teknikler kullanılarak yapılabilir. En yaygın yaklaşım ideal ayırma eğrilerini, standart yüzdürme-batırma testlerinden yararlanılarak gerçek ayırma eğrilerine dönüştürmektir. Bu çevrim ampirik modeller ile yapılabilir. Optimum belirli ayırma yoğunluğu ( $SG_{50}$ ) ve ayırma verimliliği ( $E_p$ ) ile diğer hesaplamalar gerçekleştirilir. Hatalı alan tespitinde Tromp eğrisinin % 2'lik ordinat değeri için, alınan birim uzunluk aynen 0,1 absis değeri içinde alınmakta ve eğri standart hale getirilmektedir (Kemal ve Arslan, 2010).

Hatalı tane etkisinin belirlenmesinde kullanılan bir diğer parametre de yıkanabilirlik indeksi (CI) dir. Lutrell ve arkadaşları tarafından (2003) CI yıkanabilirlik indeksi matematiksel olarak aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$CI = \gamma_{1,3} / \gamma_{1,6} \quad (13)$$

Burada  $\gamma_{1,3}$  ve  $\gamma_{1,6}$  yıkanabilirlik verilerinden elde edilen  $1,3 \text{ g/cm}^3$  ve  $1,63 \text{ g/cm}^3$  özgül ağırlıktaki temiz kömür verimleridir. İyi ayırma özelliğine sahip kömürlerde yıkanabilirlik indeksi yüksek değer gösterirken, iyi ayırma özelliğine sahip olmayan kömürlerde bu oran oldukça düşüktür. Genel olarak CI indeksi hatalı tane oranının etkisini belirtmekte kullanılır ve 0'dan 1'e kadar değişir. Düşük Ep değerlerine sahip ayırımları optimize etmek için ve ayırma yoğunluğunu tam olarak belirlemek için detaylı simülasyon çalışmalarının yapılması gereklidir. Ancak bu tür çalışmalar oldukça fazla zaman almakta ve fazla sayıda deneysel çalışmayı gerekli kılmaktadır. En uygun ayırma yoğunluğu, hassasiyet faktörü fonksiyonu (Ep) ve kömür tipi (CI) kullanarak basitçe tespit edilebilir. Kömür tipi bağlı yıkanırılığa bağlı olarak kolay ( $CI > 50$ ), orta ( $50 > CI > 35$ ), zor ( $35 > CI > 25$ ), ve çok zor ( $CI < 25$ ) olmak üzere dört kategoride toplanabilir.

### *3.2.3.3 Yoğunluğa Dayalı Ayırma Cihazlarının Performansının Değerlendirilmesinde Yeni Yaklaşım*

Günümüzde en yaygın olarak kullanılan değerlendirme metodu, dağılım eğrisidir. Bu metodu kullanmak için çeşitli işletme şartlarında birçok deney yapmak gerekir. Bu nedenle yoğunluğa dayalı ayırma ünitelerinin performanslarının değerlendirilmesinde, yüzdürme-batırma deneylerinden elde edilen sonuçlarla, ünitelerde yapılan ayırım sonucu elde edilen temiz kömür kalitesi ve miktarı karşılaştırılır.

Majumder, Barnwall ve Ramakrishnan (2004) tarafından yoğunluğa dayalı cihazların ayırma performanslarının değerlendirilmesinde yeni bir yaklaşım gerçekleştirilmiştir. Bu işlem, temiz kömür fraksiyonunda yer alan hatalı tane miktarının değerlendirilmesi ile yapılır. Önerilen performans parametreleri hatalı (1)

ve hatalı (2) olarak 0 ve 1 olur. Hatalı tanelerin kül dağılımlarını dikkate alarak, yoğunluğa dayalı ayırım cihazlarının doğrudan karşılaştırılması ve optimal işletme şartlarının tespit edilmesi mümkündür. Verim değerleri aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanabilir.

$$R_N = 100 W (100 - C_A) / (100 - H_A) \quad (14)$$

$$R_A = 100 W C_A / H_A \quad (15)$$

Burada  $R_N$  ve  $R_A$  kül dışı ve kül verimleridir.  $W$  temiz kömür kümülatif ağırlığı,  $C_A$  temiz kömür külü,  $H_A$  besleme malı külü dür.

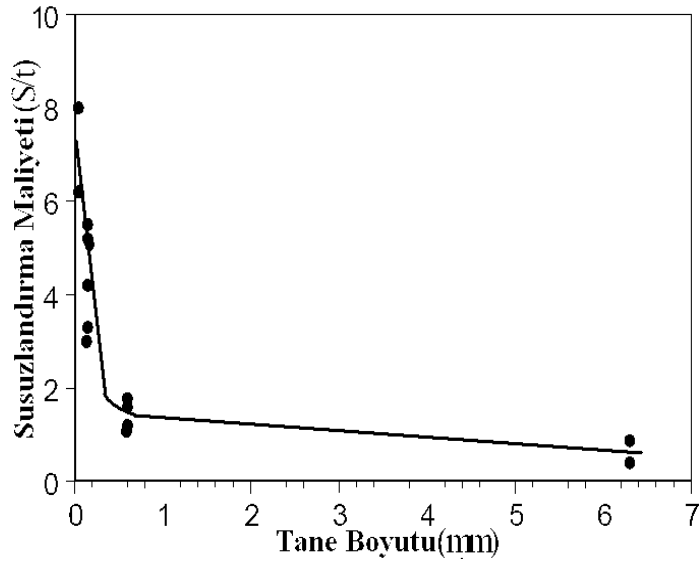
Yüzen kömür kümülatif ağırlığına karşılık olarak çizilen kazanım eğrileri hedeflenen temiz kömür kalitesi ve miktarının gösterilmesinde kullanılabilir. Kömür hazırlamanın ana hedeflerinden birisi istenilen kül seviyesinde (hedeflenen kalitede) temiz kömür üretmektir.

## BÖLÜM DÖRT

### İNCE KÖMÜRLERİN SUSUZLANDIRILMASI

Kömürlerin çoğu sulu yöntemler uygulanarak yıkanmaktadır. Su kömür yıkama işleminin başlıca dayanağı olmakla birlikte, nihai üründe en az olması istenen bileşendir. İri kömürlerin nemi konvansiyonel elek ve santrifüjlerle % 3-4 seviyesine indirilebilirken, ince kömür fraksiyonlarının susuzlandırılması oldukça zordur. Çünkü geniş yüzeyler daha fazla su tutar ve nemin uzaklaştırılması için daha fazla işletme kuvvetine gereksinim vardır.

İnce kömürlerin değerlendirilmesinde en önemli maliyet susuzlandırmada olmaktadır, Osborne (1988) tarafından yapılan bir çalışmada, susuzlandırma maliyetinin tane büyüklüğü azaldıkça hızla arttığı belirtilmektedir. Şekil 4.1'den de görüleceği üzere 0,5 mm altındaki boyutlarda susuzlandırma maliyeti hızla artmaktadır.



.....Şekil 4.1 Tane büyüklüğünün kömür susuzlandırma maliyetine etkisi (Adel,1991)

Su yüzey suyu, kapiler su ve kimyasal su olmak üzere üç formda bulunmaktadır. Yüzey suyu taneleri film tabakası şeklinde sararak absorbe olan ve taneler arası

boşlukları dolduran sudur. Bu su mekanik olarak uzaklaştırılabilir. Kömürün daha hidrofobik olması susuzlandırılmasını kolaylaştırır.

Susuzlandırma ekipmanlarının birçok tipi, tane-ortam sistemindeki birçok parametreye bağlıdır. Bu parametrelerin başlıcaları; tane büyüklüğü ve dağılımı, yüzey karakteristikleri, uygulanan basınç, kek kalınlığı, kil içeriği, katı/sıvı oranı ve ilave edilen kimyasalların varlığıdır (Eraydın, 2004).

#### **4.1 Susuzlandırma Sisteminin Seçiminde Kriterler**

Optimal ince kömür susuzlandırma sisteminin seçiminde başlıca kriterler; düşük kek nemi, yüksek kömür kazanımı, tek ünitelerle yüksek verim oranları, düşük bakım ve daha az işletmeci müdahalesi, kabul edilebilir yatırım ve kabul edilebilir enerji maliyetleridir.

#### **4.2 Susuzlandırma Ekipmanları**

İnce kömür konsantresi çeşitli metodlarla susuzlandırılır. Bu metotlar başlıca çöktürme, termal kurutma ve filtrasyondur. Geçmişte % 10'un altında nem içermesi istenen ince kömürler için tek pratik metodun termal kurutma olduğu düşünülüyordu. Ancak termal kurutucuların ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle tercih edilmemektedir. Ayrıca bir termal kurutucu kurulduğunda, oransal kapasite, yoğun emisyonlar, yeni hava kalite standartları ve gerekli izinlerin alınması gibi nedenler tesis üretimini sınırlayan faktörlerdir. Elek tipi santrifüjler Amerika'da tercih edilir. Vakum filtreler Avusturalya'da uygulanan metottur. Vakum filtrasyonunda sınırlı işletme kuvveti uygulanır ve bu nedenle kek nemi fazla düşmez (Asmatulu, Luttrell ve Yoon, 2005). Nem cezalarının uygulanması veya kurutucuların kurulması seçenekleri ekonomik değildir.

Çin ve diğer ülkelerde hiperbarik disk filtre veya diyafram filtre presleri kullanılır. Bu filtrelerde % 20-35 nemde ürünler elde edilmektedir. Bu oran çok ince (-0,15mm) ürünlerin artması ile yükselmektedir. Vakum filtreler kurma veya çalıştırma

açısından nisbi olarak ucuzdur fakat çok ince partikülleri kazanamaz. Tam olarak kazanım (flotasyon konsantresinin oranına bağlı veya bağlı olmaksızın) santrifij artıklarının ilave kazanımını gerektirir. Bu çok ince fraksiyonların yüksek yüzey alanları ve buna bağlı olarak fazla nem tutmaları nedeniyle susuzlandırılmaları özellikle zordur. Bu nedenle hiperbarik filtrasyonda olduğu gibi daha büyük susuzlandırma kuvvetlerinin uygulanması gerekir.

### 4.3 Hiperbarik Filtreler

Hiperbarik filtrasyon son 20 yıldır Avrupa ve Asya'da ince ve çok ince kömür filtrasyonu için çok başarılı bir çözümdür. Hiperbarik filtre basit olarak bir basınçlı tekne içerisindeki disk filtre olarak tanımlanır. Bunlar döner veya disk filtreden ibaret olup, böylece çeşitli basınç atmosferleri işletme kuvveti olarak vakum yerine yer değiştirebilir. Bunlar ayrıca hiperbarik, yüksek veya sürekli basınç disk filtreler olarak adlandırılır. Kömür susuzlandırılması için hiperbarik filtreler 2-6 bar arasında pratik işletme aralığına sahiptir ve vakum filtrelerle karşılaştırıldığında daha yüksek kuvveti vardır. Bu filtre tipinde susuzlandırmayı sağlayan kuvvetleri arttırmak için gaz basıncı ve santrifuj kuvvetin kombinasyonu sağlanmaktadır. Böylece konvansiyonel susuzlandırma ekipmanlarına göre nemi % 25-% 40 oranında daha fazla düşürür.

İnce kömür susuzlandırılmasında hiperbarik filtre ilk olarak 1985 yılında uygulanmış olup; Avrupa, Kuzey Amerika, Güney Amerika, Avustralya, Asya ve Afrika'da yoğun testler yapılmaktadır. Laboratuvar ile pilot çaptaki üniteler geleneksel yöntemlere göre verim ve kek nemi sonuçlarını doğrulamıştır. Avrupa'da bu testler hiperbarik filtre tesislerinin teknolojik kabulünü göstermektedir. Ruhrkohle AG, Almanya'daki en büyük bitümlü kömür üreticisi, kek nemini % 8 daha fazla azalttığını ve konvansiyonel vakum filtrelerle göre verimi iki katına çıkardığını belirtmiştir. Katı verimi vakum filtrelerle göre 2 kat ve konvansiyonel disk filtrelerle göre 4 kat daha fazladır. Böylece hiperbarik filtreler, 0.045 mm'den daha büyük çok ince boyutlardaki ince flotasyon konsantreleri için çok uygundur.



## BÖLÜM BEŞ DENEYSEL ÇALIŞMA

Türkiye Taşkömürü Kurumunca (TTK) üretilen tüvenan kömürler toplam kapasiteleri 1280 ton/saat olan kömür hazırlama tesislerinde yıkanmaktadır. Bu tesislerde % 12-14 küllü 100-10 mm boyutlu parça kömür, % 10 küllü ve 10-1 mm boyutlu metalurjik kömür elde edilmektedir. -1 mm boyutlu kömürler ise herhangi bir zenginleştirme işlemine tabii tutulamadan disk filtrelerde susuzlandırılmakta ve 10-0 mm ara ürün ile karıştırılarak yüksek küllü termik santral yakıtı elde edilmektedir. Elde edilen santral yakıtı ürününün özellikleri şu şekildedir:

% Kül	: 47 ± 2,
% Nem	:12-16,
Alt ısı değer	: 3350 ± 150 kcal/kg,

Santral yakıtı olarak kullanılan kömürler, kül oranları bakımından yüksek ve ısı değer açısından ise havza taşkömürlerine göre oldukça düşüktürler. Zonguldak Taşkömürü Havzasında yıllık ortalama 2 milyon ton satılabilir kömür üretilmekte olup, santral yakıtı oranı toplam satılabilir ürünün yaklaşık % 60-65'ini oluşturmaktadır. Bu durum havza satılabilir kömürlerini büyük oranda santrale bağımlı hale getirmiştir. Demir-çelik fabrikalarına satılan 10-0 mm boyutlu metalurjik taşkömürü ürünü % 10 küllü ve alt ısı değeri 8000-8400 kcal/kg olup toplam satılabilir kömür içerisindeki payı ise % 15-20 civarındadır. Demir çelik endüstrisine verilen kömür özellikleri Tablo 5.1'de verilmektedir.

Tablo 5.1 Demir-çelik tesislerine verilen kömür özellikleri

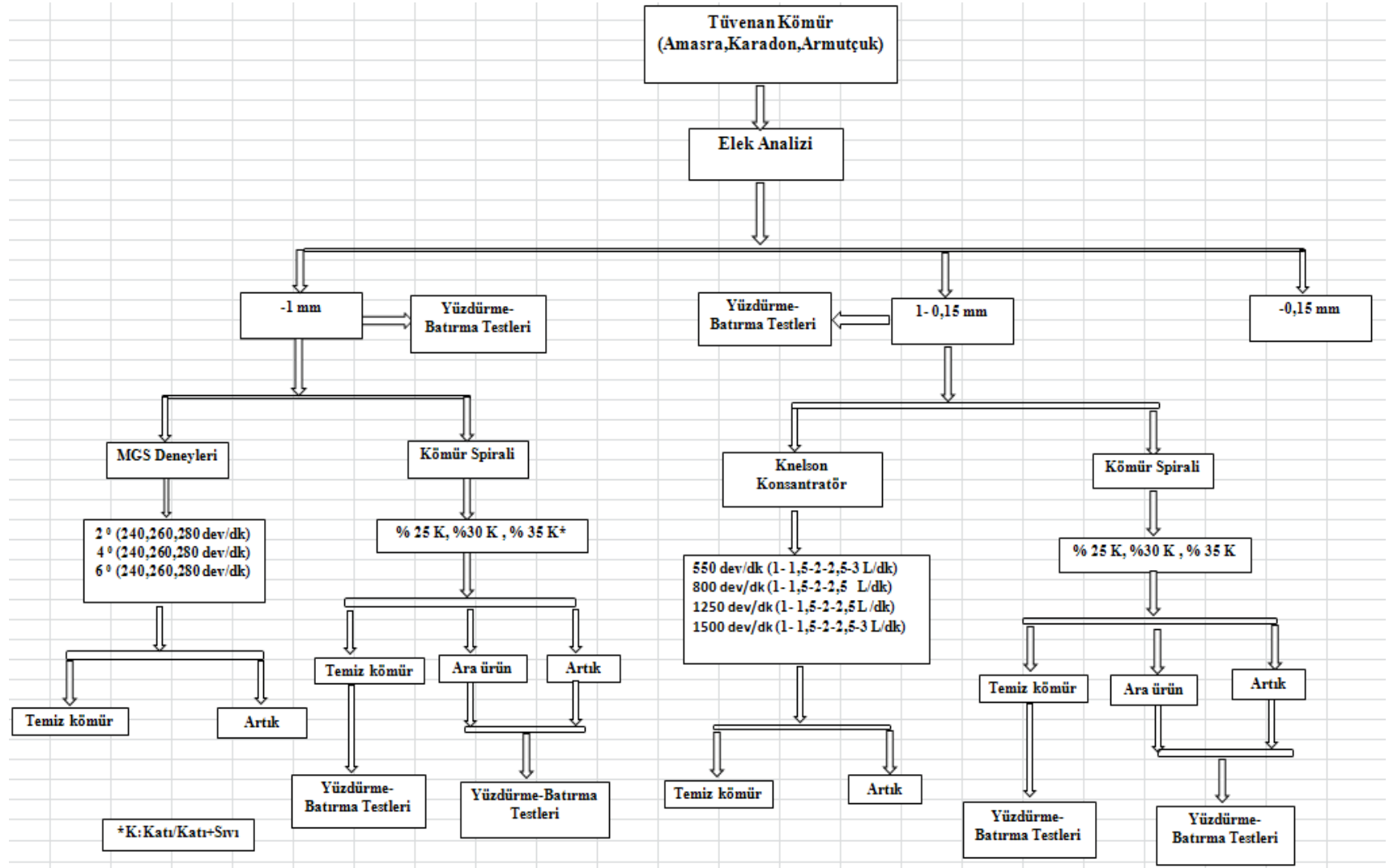
	<b>Kardemir</b>	<b>Erdemir</b>
Boyut (mm)	10-0	10-0
Kül (%)	11	10
Nem (%)	8	9,5
Kükürt maksimum (%)	0,7	
Uçucu madde kuru bazda (%)	22-28	
Serbest şişme indeksi	7-9	
Dilatasyon	70 min	

Demir-çelik endüstrisine verilen kömürün tane boyutu 10-0 mm ve kül oranı % 10-11'dir. Havzada yeraltından çıkarılan tüvönan taşkömürünün tamamının demir-çelik sektöründe kullanımının sağlanması için yıkama işlemleri sonucu elde edilen 100-10 mm boyutlu ve 10-1 mm boyutlu temiz kömürler ile -1 mm boyutlu kömürlerin zenginleştirilmesi gereklidir. Buna göre demir-çelik endüstrisine verilecek kömürün;

- 100-10 mm boyutlu temiz kömürün kırılarak -10 mm boyutuna indirilmesi
- 10-1 mm boyutlu temiz kömür
- -1 mm boyutlu kömürün zenginleştirilmesi sonrası elde edilen temiz kömür olmak üzere üç ayrı üründen oluşacaktır. Bu nedenle ince kömürler yanında 100-1 mm boyutlu kömürlerinde yüzdürme-batırma analizlerinin yapılarak elde edilecek ürünlerin özelliklerinin belirlenmesi gereklidir.

Bu çalışmanın amacı, Zonguldak Havzası kömürlerinin konvensiyonel yıkama cihazları ve kömür yıkama teknolojisinde kullanılan geliştirilmiş gravite ayırıcıları ile istenilen kül oranlarında metalurjik kömür elde edilmesi ve bunun için en uygun ekipman seçiminin yapılmasıdır. Bunun için yapılan deneysel çalışmaların genel akım şeması Şekil 5.1'de verilmektedir. Yapılan çalışmalar:

- i. Farklı kül oranları ve farklı özelliklerdeki Armutçuk, Karadon ve Amasra kömür yıkama tesislerinden uygun noktalardan tüvenan taşkömürden ve -1 mm boyutundaki kömürlerden numuneler alınmıştır.
- ii. +1 mm boyutlu numuneler üzerinde elek analizi ve yoğunluk analizi yapılarak teorik olarak elde edilebilecek metalurjik kömür miktarları ve kül değerleri saptanmıştır.
- iii. -1 mm boyutlu kömürler üzerinde MGS, spiral ve Knelson ayırıcılar kullanılarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu cihazların ayırma verimlilikleri ve optimum çalışma şartları tespit edilmiştir.



Şekil 5.1. Deneysel çalışmalar genel akım şeması

- iv. -1mm boyutlu kömürler elenerek 1- 0,15 mm ve -0,15 mm olmak üzere iki fraksiyona ayrılmıştır. 1 - 0,15 mm boyutundaki ince kömürler üzerinde spiral ve Knelson ayırıcı kullanılarak optimal çalışma şartları araştırılmıştır.
- v. Kullanılan cihazların ayırma performansının tespit edilmesi amacıyla gerekli testler yapılmış, konvansiyonel ayırma cihazları ve geliştirilmiş gravite ayırıcı arasındaki farklar ortaya konmuştur.
- vi. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek her bir numune için en uygun akım şeması belirlenmiş, elde edilecek ürünlerin ağırlık oranları ve kül değerleri tespit edilmiştir.
- vii. Knelson cihazında zenginleştirilen Armutçuk 1-0,15 mm boyutundaki ince taşkömürlerinin Merkezi Kompozit Tasarımı'na göre deneysel tasarım teknikleri kullanılarak, cihazın dönüş hızı, su besleme miktarı, temiz kömür toplama zamanı ve besleme katı oranlarının temiz kömür külü ve organik verim üzerindeki etkileri incelenmiştir.
- viii. Farklı özellik ve kül oranlarındaki numunelerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

## 5.1 Malzeme ve Yöntem

Deneylerde farklı kül oranları ve farklı özelliklerdeki Amasra, Armutçuk ve Karadon Taşkömürü İşletme Müesseselerince üretilen tüvenan taşkömürlerden ve kömür yıkama tesislerindeki susuzlandırma ünitelerine beslenen ince kömürlerden uygun noktalarda numuneler alınmıştır. Numuneler, yüzey nemini uzaklaştırmak amacıyla oda sıcaklığında kurutulmuştur. Konvansiyonel konileme ve dörtleme metodu ile örnekler ileri çalışmalarda kullanılmak üzere torbalarda saklanmıştır. Öncelikle tüvenan kömür karakteristiklerinin saptanması amacıyla 100-1 mm boyutlu tüvenan kömürler üzerinde elek analizi ve yüzdürme-batırma deneyleri yapılmıştır. Daha sonra deneylerde zenginleştirme işlemlerinde kullanılacak -1 mm ve 1- 0,15 mm boyutlarındaki kömürlerden konvansiyonel konileme ve dörtleme

metodu ile örnekler alınarak ileri çalışmalarda kullanılmak üzere torbalarda saklanmıştır. Deneysel çalışmalara başlamadan önce elek analizi, yüzdürme-batırma analizi, kül ve nem analizleri için temsili numuneler alınmıştır.

### **5.1.1 Numune analizleri**

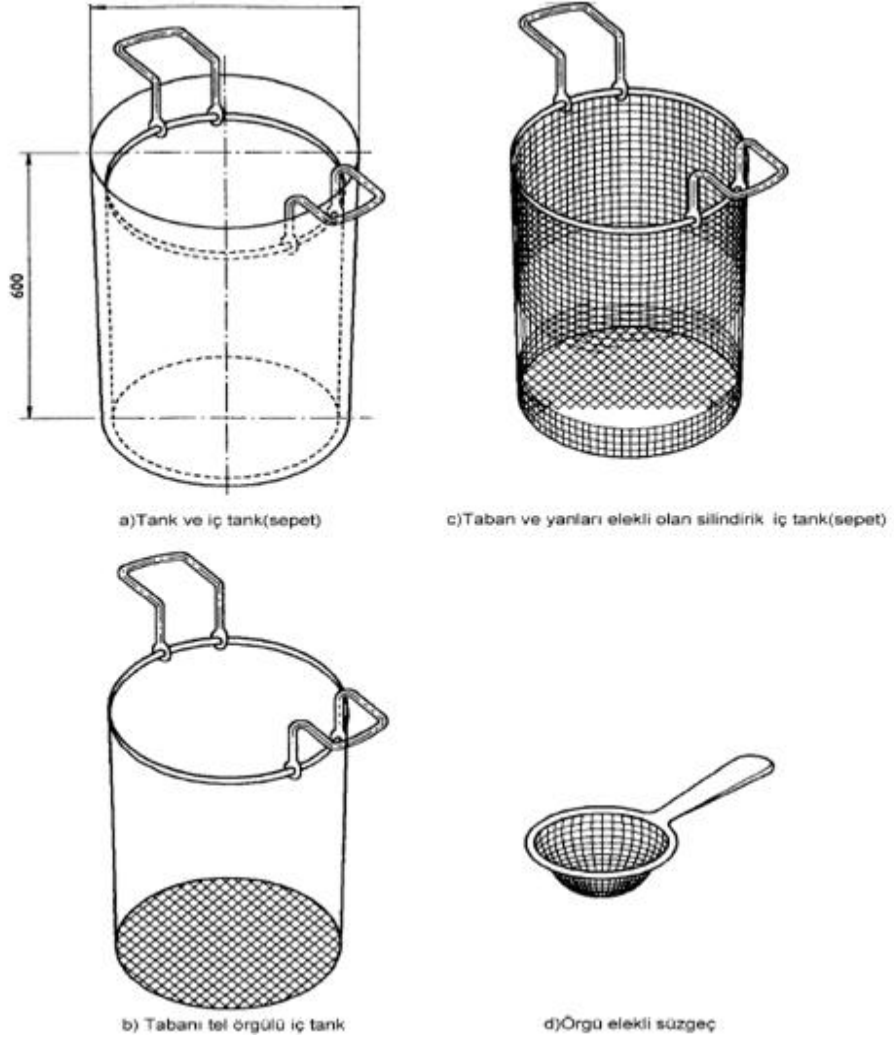
Besleme malı, temiz kömür ve artık numuneleri toplanarak aşağıdaki metotlarla analizler yapılmıştır.

Yaş eleme: Besleme malı, temiz kömür ve artık numunelerinin tüm elek analizleri yaş olarak 1000, 500, 315, 216 ve 106 mikronluk elekler kullanılarak yapılmıştır. Her bir fraksiyon kurutulduktan sonra her fraksiyon ağırlığı toplam ağırlığa bölünerek ağırlık yüzdeleri hesaplanmıştır.

Kül analizi: Besleme malı, temiz kömür ve artıktan alınan numuneler değirmende (Halkalı öğütücü) 0,1mm altına öğütülmüş, kül miktarı tayin edilecek numuneler sabit tartıma getirilmiş 72-C tipi krozelere konmuştur. Terazi sıfırlandıktan sonra üzerine yaklaşık 1 gr numune konularak 850 °C'ye ayarlanmış kül fırına verilmiş ve fırın sıcaklığı 850 °C'de kül oluncaya kadar yakılmıştır. Yakılan bu numuneler bir desikatörde 30 dakika soğutulmuştur. Krozeler soğuduktan sonra tartımları yapılmıştır. Bütün bu işlemlerden sonra numunenin kül içeriği hesaplanmıştır. Kül miktarı deneylerde kullanılan ayırma cihazların performansının değerlendirilmesi için kütle balansında kullanılan en önemli ölçüdür.

#### **5.1.1.1 100-1 mm Boyutlu Kömürlerin Yüzdürme-Batırma Analizi**

100-1 mm boyutlu kömürlerin yüzdürme-batırma testleri yapılmıştır (Şekil 5.2). Deneylerde 1.45 g/cm<sup>3</sup>, 1.6 g/cm<sup>3</sup>, 1.75 g/cm<sup>3</sup> ve 1.9 g/cm<sup>3</sup> olmak üzere 4 yoğunluk aralığı kullanılmıştır. Deneylerde ortam yoğunluğunu ayarlamak için çinko klorür kullanılmıştır. İnce tane fraksiyonlardaki numuneler için ayırma işleminde, viskozite etkisi nedeniyle daha uzun ayırma süresi gerektiğinden daldırılan numune miktarı, tam ayırmanın sağlanabilmesi için sürekli kontrol edilmiştir. Deneylerde kül ve ağırlık hatalarını ortadan kaldırmak için elde edilen ürünler bol su ile yıkanmıştır.



Şekil 5.2 İri tane büyüklüğü fraksiyonlarının ayırımında kullanılan uygun silindirik yüzdürme ve batırma aletleri (TS, 2003)

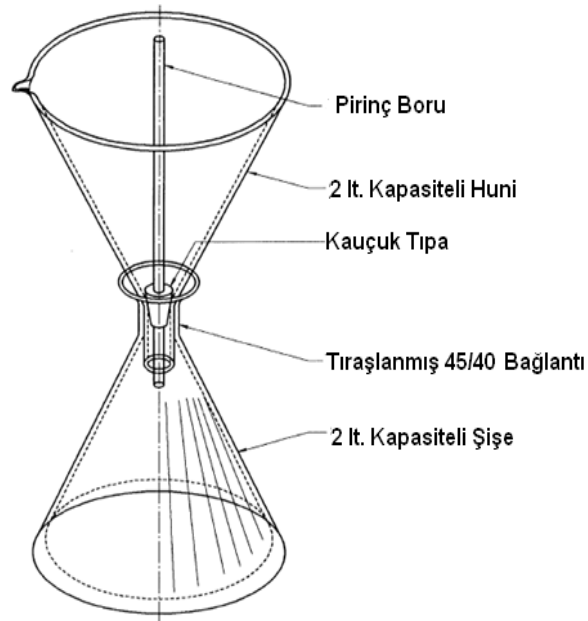
Taşkömürü düşük bağıl yoğunluğa sahip olduğu için deneyler artan bağıl yoğunluk sırasına göre yapılmıştır. Malzeme başlangıçta en düşük bağıl yoğunluk olan  $1,45 \text{ g/cm}^3$  yoğunluklu ortama konmuş, yüzen kısmı batan kısımdan ayırmak için kullanılan cihazlar, yüzen ve batan kısmın aynı anda ayrı ayrı alınmasını sağlayan, hareketli bölümleri olan sepet içermekte olup yüzen ve batan kısımların ayrı ayrı alınmasını sağlamıştır. Yüzen malzemenin hepsi, ortam uzaklaştırılıncaya kadar yıkanmış, kurutulduktan sonra tartılarak kül analizi için hazırlanmış, batan malzeme iyice süzülmüştür. Batan malzeme iyice süzülüp kurutulduktan sonra tartılarak kül

analizi için hazırlanmıştır. Bu işlem ayırımı en yüksek bağıl yoğunluk olan  $1,8 \text{ g/cm}^3$  yoğunluğa kadar tekrar edilmiş ve her bir deneyden önce yoğunluklar dansimetre ile kontrol edilmiştir.

#### 5.1.1.2 -1 mm Boyutlu Kömürlerin Yüzdürme-Batırma Analizi

İnce kömürlerin yıkanabilirlik özelliklerinin araştırılması için konvansiyonel yüzdürme-batırma testleri uygulanmıştır. Şekil 5,3'de sunulan yüzdürme-batırma cihazına uygun düzenek hazırlanmış, deneylerde  $1,3 \text{ g/cm}^3$ ,  $1,4 \text{ g/cm}^3$ ,  $1,5 \text{ g/cm}^3$ ,  $1,6 \text{ g/cm}^3$ ,  $1,7 \text{ g/cm}^3$  ve  $1,8 \text{ g/cm}^3$  olmak üzere 6 yoğunluk aralığı kullanılmıştır.

Deneylerde ortam yoğunluğunu ayarlamak için çinko klorür kullanılmıştır. Tane boyutu oldukça küçük olduğu için ayırma işleminde, viskozite etkisi nedeniyle daha uzun ayırma süresi gerektiğinden tam ayırmanın sağlanabilmesi için sürekli kontrol edilmiştir. Deneylerde kül ve ağırlık hatalarını ortadan kaldırmak için elde edilen ürünler bol su ile yıkanmış, her deneyden sonra yoğunluk değerleri dansimetre ile kontrol edilmiştir.



Şekil 5.3 İnce tane büyüklüğü fraksiyonlarının ayırımı için uygun yüzdürme ve batırma cihazı (TS, 2003)

### 5.1.2 Amasra Tüvenan Kömür Özelliklerin Tespiti

Başlangıçta 100-0 mm boyutundaki Amasra tüvenan kömürlerinden numune alınarak boyut analizi ve yüzdürme-batırma testleri yapılmıştır.

#### 5.1.2.1 -100 mm Amasra Tüvenan Kömürü Tane İrilik Dağılımı

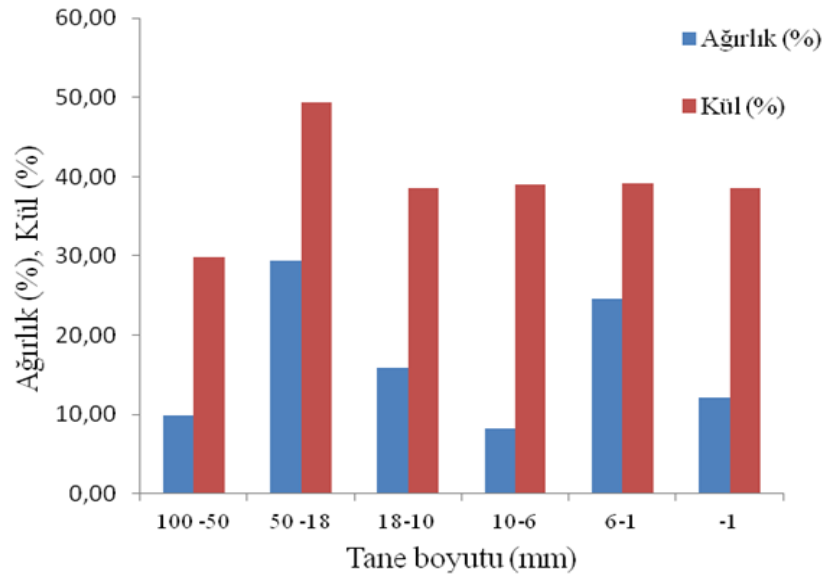
Amasra tüvenan kömür numuneleri ile yapılan elek analiz sonuçları Tablo 5.2 ve Şekil 5.4’de verilmektedir.

Tablo 5.2.Amasra tüvenan kömürü analiz sonuçları

Tane Boyutu (mm)	Ağırlık (%)	Kül (%)	Kümülatif Elek Üstü		Kümülatif Elek Altı	
			Ağırlık (%)	Kül (%)	Ağırlık (%)	Kül (%)
100 – 50	9,80	29,81	9,80	29,81	100,00	41,04
50 – 18	29,39	49,32	39,19	44,44	90,20	42,26
18- 10	15,92	38,54	55,11	42,74	60,81	38,85
10- 6	8,15	38,96	63,26	42,25	44,89	38,96
6 – 1	24,59	39,12	87,85	41,37	36,74	38,95
-1	12,15	38,62	100,00	41,04	12,15	38,62
<b>Toplam</b>	<b>100</b>	<b>41,04</b>				

-100 mm boyutlu tüvenan kömürün kül değeri % 41,04’tür. 50-18 mm boyutu toplam malzemenin % 29,39’unu oluşturmaktadır. 6-1 mm tane boyutu ağırlıkça % 24,59 olup, kül oranı ise % 39,12’dir. -1 mm boyutlu malzeme miktarı toplam malzeme miktarının % 12,15’ini oluşturmaktadır. Bu boyuttaki malzemenin kül oranı ise % 38,62’dir.





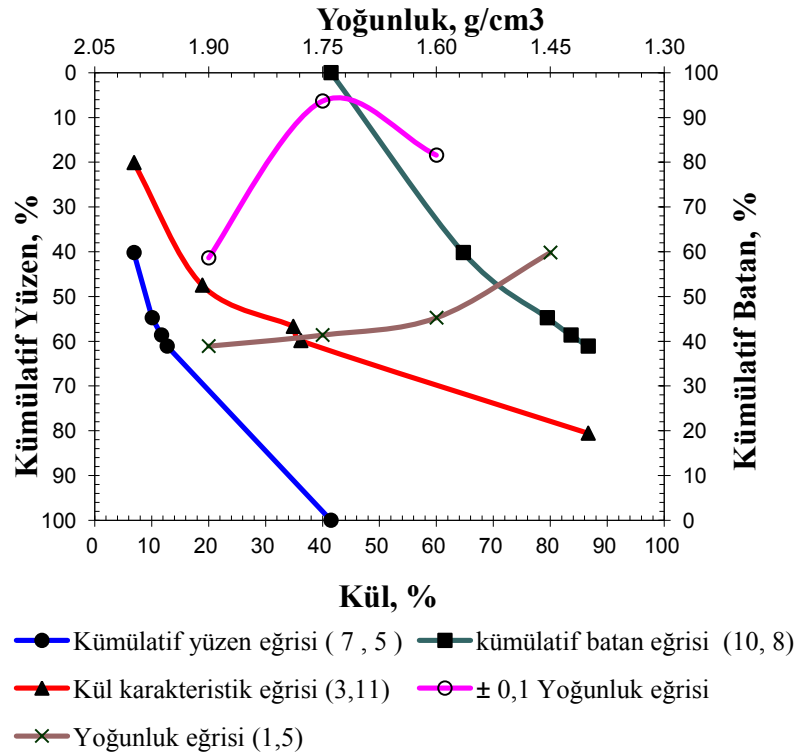
Şekil 5.4. Amasra tüvenan kömürü analiz sonuçları

#### 5.1.2.2 100-1 mm Amasra Tüvenan Kömür Yüzdürme-Batırma Testi

100-1 mm boyutundaki tüvenan taşkömürler yüzdürme batırma analizine tabii tutulmuş olup elde edilen sonuçlar Tablo 5.3 ve Şekil 5.5’de verilmektedir.

Tablo 5.3 Amasra 100-1 mm tüvenan kömür yüzdürme-batırma test sonuçları

Yoğunluk g/cm <sup>3</sup>				Kümülatif Yüzen			Kümülatif Batan			y=a <sub>0</sub> +a <sub>1</sub> /2
	Ağ. (%)	Kül (%)	İçerik	Ağ. (%)	İçerik	Kül (%)	Ağ. (%)	İçerik	Kül (%)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1,45 yüzen	40,19	6,9	277	40,19	277	6,90	100,00	4147	41,47	20,10
1,45 - 1,60	14,56	18,89	275	54,75	552	10,09	59,81	3870	64,71	47,47
1,60 - 1,75	3,87	34,85	135	58,62	687	11,72	45,25	3595	79,45	56,69
1,75 - 1,90	2,47	36,18	89	61,09	777	12,71	41,38	3460	83,62	59,86
1,9 batan	38,91	86,63	3371	100	4147	41,47	38,91	3371	86,63	80,55
<b>Toplam</b>	100	<b>41,47</b>	<b>4147</b>							



Şekil 5.5 Amasra 100-1 mm tüvenan kömür yüzdürme-batırma eğrileri

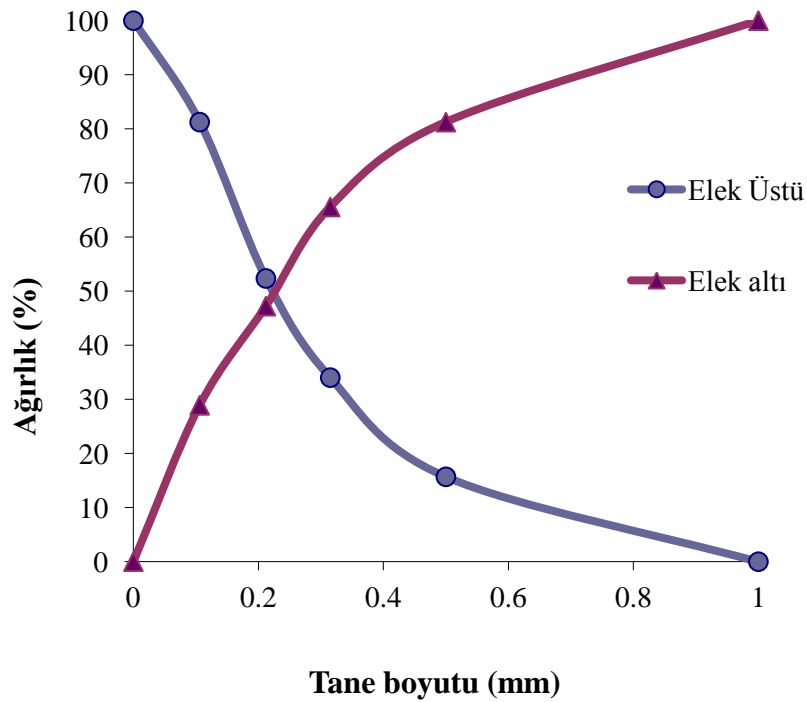
Yüzdürme batırma sonuçlarına göre  $1,45 \text{ g/cm}^3$  yoğunlukta tüvenan kömürün % 40,19'u % 6,90 küllü iken,  $1,75 \text{ g/cm}^3$  yoğunlukta tüvenan kömürün % 58,63'ü % 11,72 küldedir. 100-1 mm tüvenan kömürden % 10 küllü metalurjik kömür elde edilmek istendiğinde bu oran teorik olarak ağırlıkça % 54,76 oranında olacaktır.

### 5.1.2.3 -1 mm Amasra Tüvenan Kömür Tane İriliği Dağılımı

Amasra -1 mm tüvenan kömür özelliklerinin tespit edilmesi amacıyla boyut analizi ve yüzdürme-batırma testleri yapılmıştır. Boyut analiz sonuçları Tablo 5.4 ve Şekil 5.6'da verilmektedir.

Tablo 5.4 -1 mm Amasra tüvenan kömür tane iriliği dağılımı

Tane Fraksiyonu	Ağırlık (%)	Kül (%)	Elek Üstü		Elek Altı	
			Ağ (%)	Kül (%)	Ağ (%)	Kül (%)
<b>-1,00 + 0,500</b>	18,75	34,62	18,75	34,62	100,00	39,26
<b>-0,500+0,315</b>	15,69	29,9	34,44	32,47	81,25	40,34
<b>-0,315 +0,212</b>	18,33	35	52,77	33,35	65,56	42,84
<b>-0,212+0,106</b>	18,33	36,33	71,10	34,12	47,23	45,88
<b>-0,106</b>	28,9	51,94	100,00	39,26	28,90	51,94
<b>Toplam</b>	<b>100,00</b>	<b>39,26</b>				

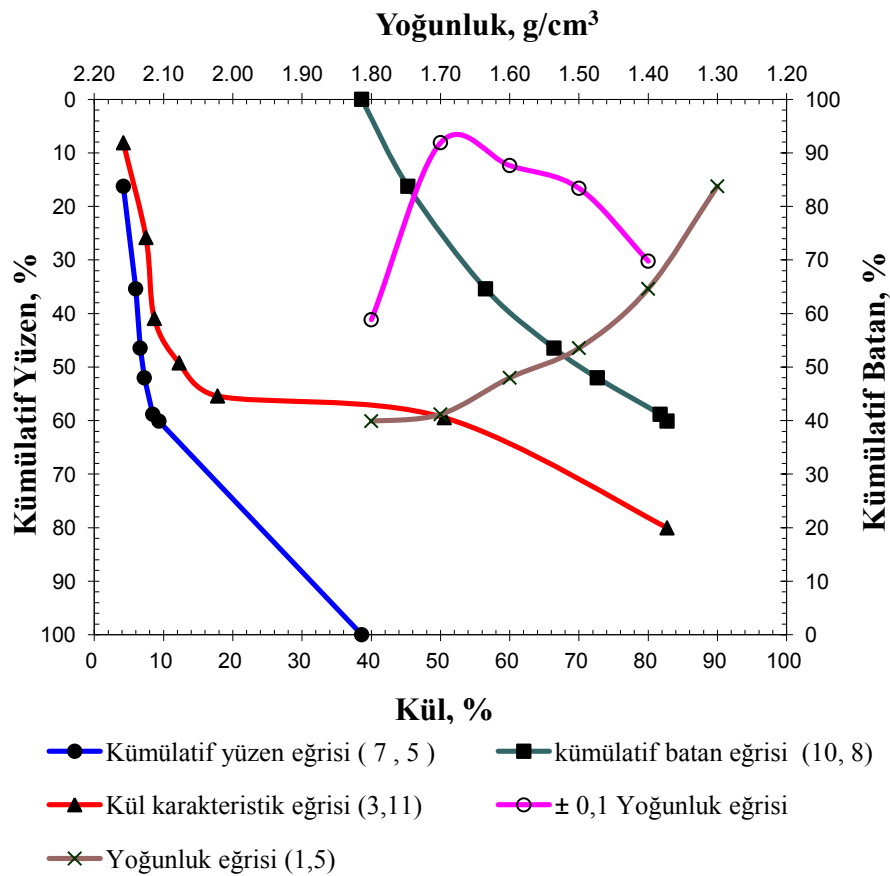


Şekil 5.6 Amasra -1mm tüvenan kömür elekaltı ve eleküstü grafiği

-1mm boyutundaki tüvenan kömür kül oranı % 38,62'dir. -0,106 mm boyutundaki malzeme oranı oldukça fazla (% 28,9) olup, kül oranı % 50,94'tür. 1-0,150 mm tane aralığındaki malzemenin kül oranı % 33,41'dir. -1 mm Amasra tüvenan kömürleri ile yapılan yoğunluk analizi sonuçları Tablo 5.5 ve Şekil 5.7'de verilmektedir.

Tablo 5.5. -1 mm Amasra tüvenan kömürü yüzdürme-batırma analiz sonuçları

Yoğunluk g/cm <sup>3</sup>	Kümülatif Yüzen			Kümülatif Batan			y=a <sub>0</sub> +a <sub>1</sub> /2
	Ağ. (%)	Kül (%)	İçerik	Ağ. (%)	İçerik	Kül (%)	
1,30 yüzen	16,24	4,20	68,22	16,24	68,22	4,20	100,00
1,30 - 1,40	19,15	7,47	143,13	35,40	211,35	5,97	83,76
1,40 - 1,50	11,07	8,68	96,08	46,47	307,43	6,62	64,60
1,50 - 1,60	5,55	12,26	67,98	52,01	375,42	7,22	53,53
1,60 - 1,70	6,82	17,81	121,36	58,83	496,77	8,44	47,99
1,70 - 1,80	1,28	50,55	64,47	60,10	561,24	9,34	41,17
1,8 batan	39,90	82,73	3300,74	100,00	3862	38,62	39,90
<b>Toplam</b>	<b>100,00</b>	<b>38,62</b>	<b>3862</b>				



Şekil 5.7 -1 mm Amasra tüvenan kömürü yüzdürme-batırma eğrileri

-1 mm boyutlu tüvenan kömür yüzdürme-batırma test sonuçlarına göre 1,3 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta yüzen ürün miktarı % 16,24 olup kül oranı % 4,20 dir. 1,3-1,4 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk aralığında besleme malının % 19,15'i bulunmakta olup kül oranı % 7,47'dir. 1,6 g/cm<sup>3</sup> yoğunluktan itibaren kül oranı hızla artmaktadır.

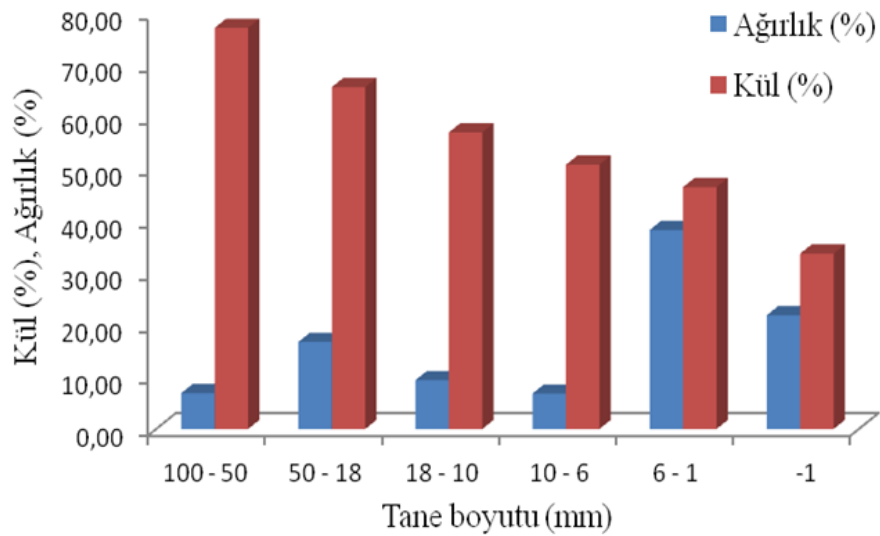
### 5.1.3 Karadon Tüvenan Kömür Özellikleri

#### 5.1.3.1 -100 mm Boyutlu Karadon Tüvenan Kömürü Özellikleri

-100 mm boyutlu Karadon tüvenan kömür boyut analizi Tablo 5.6 ve Şekil 5.8'de verilmektedir. Tüvenan kömür külü % 50,36'dır. 100- 50 mm boyutlu malzeme miktarı % 6,89 olup kül oranı oldukça yüksektir (77,19). 6-1 mm boyutundaki malzeme miktarı % 38,28'ini oluşturmakta olup kül oranı % 46,54'tür. -1 mm boyutlu malzeme miktarı toplam malzeme miktarının % 21,88'ini oluşturmaktadır. Bu boyuttaki malzemenin kül oranı % 33,76'dır.

Tablo 5.6 -100 mm Karadon tüvenan kömürü tane iriliği dağılımı

Tane boyutu (mm)	Ağırlık (%)	Kül (%)	Kümülatif Elek Üstü		Kümülatif Elek Altı	
			Ağırlık (%)	Kül (%)	Ağırlık (%)	Kül (%)
100 - 50	6,89	77,19	6,89	77,19	100,00	50,36
50 – 18	16,74	65,78	23,63	69,11	93,11	48,38
18 – 10	9,39	57,08	33,02	65,69	76,37	44,56
10 – 6	6,82	50,86	39,84	63,15	66,98	42,81
6 – 1	38,28	46,54	78,12	55,01	60,16	41,89
-1	21,88	33,76	100,00	50,36	21,88	33,76
<b>Toplam</b>	<b>100</b>	<b>50,36</b>				



Şekil 5.8 -100 mm Karadon tüvenan kömürü tane iriliği dağılımı

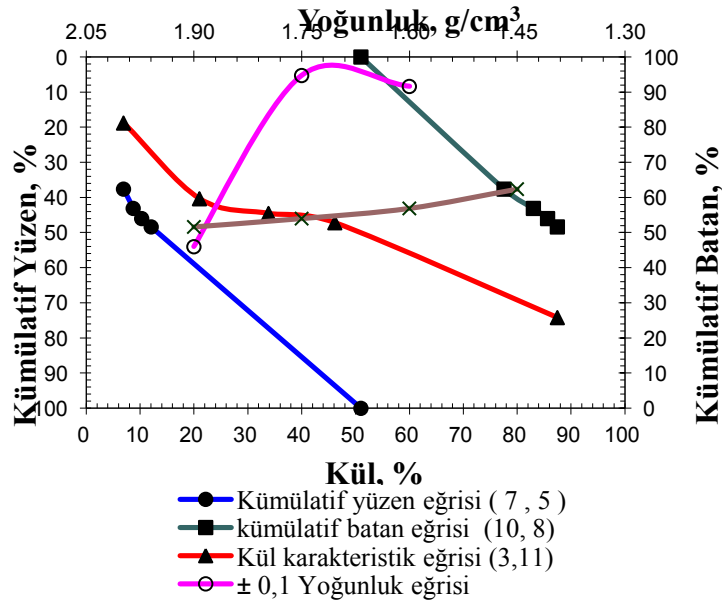
### 5.1.3.2 100-1 mm Boyutlu Karadon Tüvenan Kömür Özellikleri

100-1 mm boyutlu Karadon kömüründen elde edilebilecek metalurjik kömür miktarları ile kül yüzdelerinin tespiti için yüzdürme batırma testleri yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 5.7 ve Şekil 5.9'da verilmektedir.

Tablo 5.7 100-1 mm Karadon tüvenan kömürü yüzdürme-batırma analizi

Yoğunluk				Kümülatif Yüzen			Kümülatif Batan			y=a <sub>0</sub> +a <sub>1</sub> /2
	g/cm <sup>3</sup>	Ağ. (%)	Kül (%)	İçerik	Ağ. (%)	İçerik	Kül (%)	Ağ. (%)	İçerik	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1,45 yüzen	37,61	6,93	261	37,61	261	6,93	100,00	5100	51,00	18,81
1,45 - 1,60	5,49	21,03	115	43,10	376	8,73	62,39	4840	77,57	40,36
1,60 - 1,75	2,89	33,85	98	45,99	474	10,30	56,90	4724	83,03	44,55
1,75 - 1,90	2,38	46,16	110	48,37	584	12,07	54,01	4626	85,66	47,18
1,9 batan	51,63	87,48	4517	100,00	5100	51,00	51,63	4517	87,48	74,19
<b>Toplam</b>	<b>100</b>	<b>51,00</b>	<b>5100</b>							

Yüzdürme batırma sonuçlarına göre 1,45 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta tüvenan kömürün % 37,61 'i % 6,93 küllü iken, 1,75 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta % 45,99'u % 10,30 küllü dür.



Şekil 5.9 100-1 mm Karadon tüvenan kömürü yüzdürme-batırma eğrileri

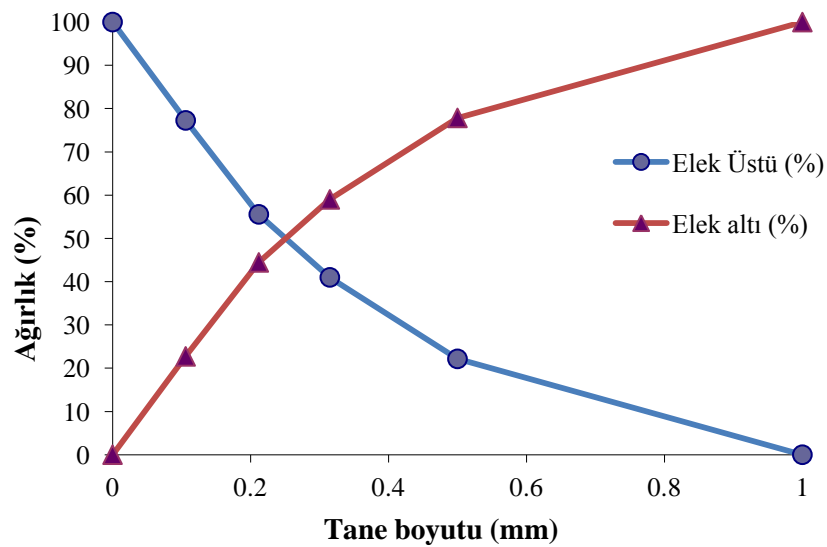
### 5.1.3.3 -1 mm Boyutlu Karadon Tüvenan Kömürü Tane İriliği Dağılımı

Deneilerde kullanılacak -1mm boyutundaki tüvenan kömürlerin boyut analizi ve yüzdürme-batırma testleri yapılmıştır. Boyut analiz sonuçları Tablo 5.8 ve Şekil 5.10'da verilmektedir.

Tablo 5.8 -1 mm Karadon tüvenan kömürü boyut analizi

Tane Fraksiyonu (mm)	Ağırlık (%)	Kül (%)	Kümülatif Elek üstü		Kümülatif Elek Altı	
			Ağırlık (%)	Kül (%)	Ağ (%)	Kül (%)
-1,00+ 0,500	22,15	20,48	22,15	20,48	100,00	33,76
-0,500 + 0,315	18,84	27,76	40,99	23,83	77,85	37,54
-0,315 + 0,212	14,56	34,81	55,55	26,71	59,01	40,66
-0,212 + 0,106	21,72	38,95	77,27	30,15	44,45	42,58
-0,106	22,73	46,05	100,00	33,76	22,73	46,05
<b>Toplam</b>	<b>100</b>	<b>33,76</b>				

-1mm fraksiyonu için kül oranı % 33,76'dır. Boyut analizi incelendiğinde 0,315-0,212 mm boyut aralığı besleme malının % 14,56 sını oluşturmakta olup kül oranı % 34,81 dir. 1-0,15 mm tane aralığındaki malzemenin kül oranı % 28,72 dir.

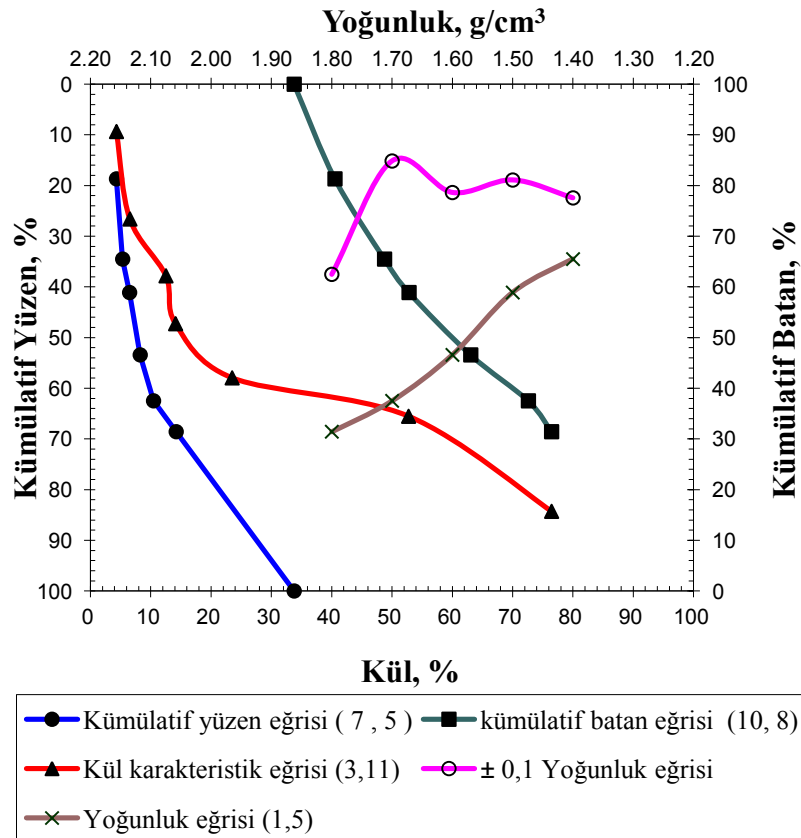


Şekil 5.10 -1 mm Karadon tüvenan kömürü elekaltı – elek üstü grafiği

-1mm boyutundaki kömürlerin yıkanabilirlik özelliklerinin araştırılması için yüzdürme-batırma testleri yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 5.9 ve Şekil 5.11'de verilmektedir.

Tablo 5.9 -1mm Karadon tüvenan kömür yüzdürme-batırma analiz sonuçları

Yoğunluk g/cm <sup>3</sup>		Kümülatif Yüzen			Kümülatif Batan			y=a <sub>0</sub> +a <sub>1</sub> /2			
		Ağ.	Kül	İçerik	Ağ.	İçerik	Kül				
		(%)	(%)		(%)		(%)	(%)			
1,3 batan		18,67	4,30	80,29	18,67	80,29	4,30	100,00	3376,39	33,76	9,34
1,30	1,40	15,84	6,53	103,44	34,51	183,73	5,32	81,33	3296,10	40,53	26,59
1,40	1,50	6,59	12,51	82,49	41,10	266,22	6,48	65,49	3192,66	48,75	37,81
1,50	1,60	12,31	14,10	173,56	53,41	439,78	8,23	58,90	3110,17	52,81	47,26
1,60	1,70	9,07	23,47	212,81	62,48	652,59	10,44	46,59	2936,61	63,04	57,95
1,70	1,80	6,09	52,73	320,93	68,57	973,52	14,20	37,52	2723,80	72,60	65,52
1,8 batan		31,43	76,44	2402,87	100,00	3376,39	33,76	31,43	2402,87	76,44	84,28
<b>Toplam</b>		<b>100,00</b>	<b>33,76</b>	<b>3376,39</b>							



Şekil 5.11 -1 mm Karadon tüvenan kömür yüzdürme-batırma eğrileri



Yüzdürme batırma test sonuçlarına göre  $1,3 \text{ g/cm}^3$  yoğunlukta yüzen ürün miktarı % 18,67 olup kül oranı oldukça düşüktür (% 4,30).  $1,8 \text{ g/cm}^3$  yoğunlukta batan malzeme miktarı besleme malının % 31,43' ünü oluşturmakta olup kül oranı oldukça yüksektir (%76,44).

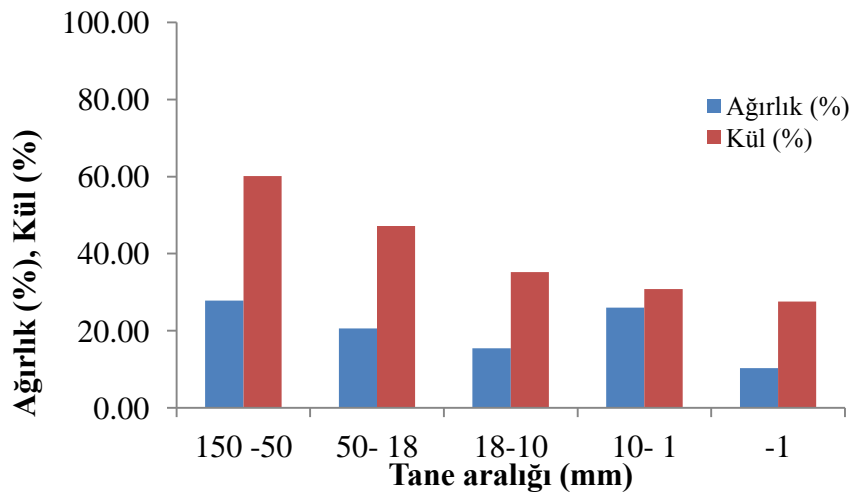
#### 5.1.4 ArmutçukTüvenan Kömür Özellikleri

##### 5.1.4.1 -150 mm Boyutlu Armutçuk Tüvenan Kömür Tane İriliği Dağılımı

Armutçuk tüvenan kömürü numunelerinden elde edilen elek analizi sonuçları Tablo 5.10 da ve Şekil 5.12'de verilmektedir.

Tablo 5.10 -150 mm Armutçuk tüvenan kömürü elek analizi sonuçları

Tane Boyutu (mm)	Ağırlık (%)	Kül (%)	Kümülatif Elek Üstü		Kümülatif Elek Altı	
			Ağırlık (%)	Kül (%)	Ağırlık (%)	Kül (%)
150-50	27,80	60,13	27,80	60,13	100,00	42,67
50-18	20,60	47,15	48,40	54,61	72,20	35,94
18-10	15,40	35,23	63,80	49,93	51,60	31,47
10-1	25,95	30,78	89,75	44,39	36,20	29,87
-1	10,25	27,55	100,00	42,67	10,25	27,55
<b>Toplam</b>	<b>100</b>	<b>42,67</b>				



Şekil 5.12 -150 mm Armutçuk tüvenan kömürü boyut dağılımı

-150 mm boyutlu tüvenan kömür külü % 42,67 olup, -1 mm boyutlu malzeme miktarı toplam malzeme miktarının % 10,25'ini oluşturmaktadır. Bu boyuttaki malzemenin kül oranı % 27,55'dir.

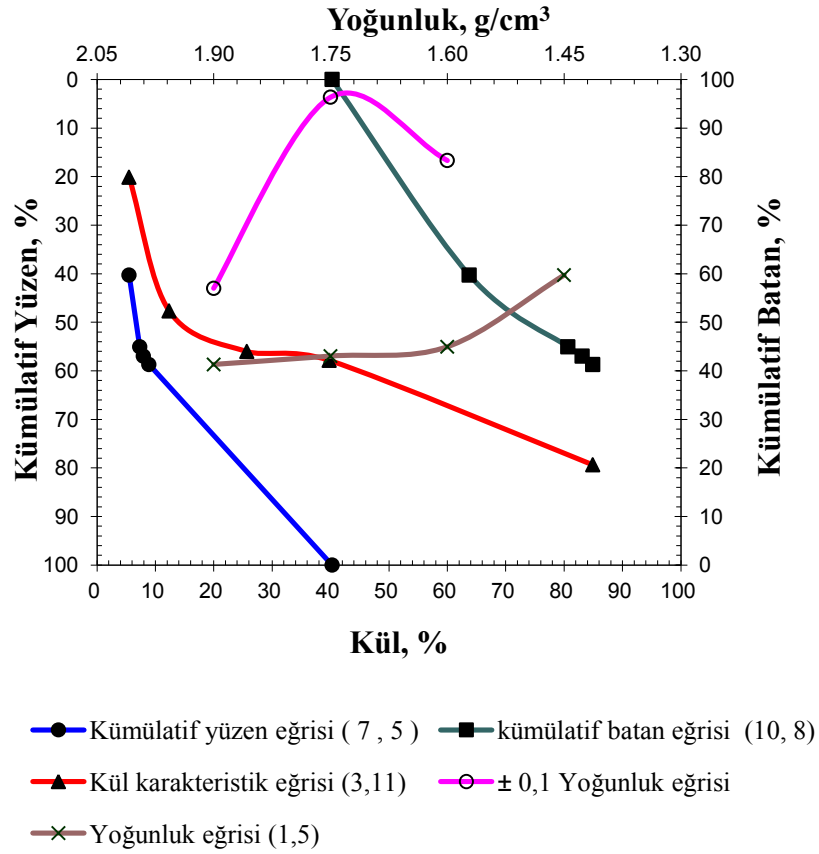
#### 5.1.4.2 150 -1 mm Boyutlu Armutçuk Tüvenan Kömürü Özellikleri

150-1 mm boyutlu Armutçuk tüvenan kömürünün yüzdürme batırma sonuçları Tablo 5.11 ve Şekil 5.13'de verilmiştir.

Tablo 5.11 150-1mm Armutçuk tüvenan kömürü yüzdürme-batırma analiz sonuçları

Yoğunluk			Kümülatif Yüzen			Kümülatif Batan						
g/cm <sup>3</sup>			Ağ.	Kül	İçerik	Ağ.	İçerik	Kül	Ağ.	İçerik	Kül	y=a <sub>0</sub> +a <sub>1</sub> /2
			(%)	(%)		(%)		(%)	(%)		(%)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
1,45 batan	40,29	5,49	221	40,29	221	5,49	100,00	4028	40,28	20,15		
1,45 - 1,60	14,77	12,35	182	55,06	404	7,33	59,71	3807	63,76	47,68		
1,60 - 1,75	1,92	25,67	49	56,98	453	7,95	44,94	3624	80,65	56,02		
1,75 - 1,90	1,73	39,78	69	58,71	522	8,89	43,02	3575	83,10	57,85		
1,9 batan	41,29	84,92	3506	100,00	4028	40,28	41,29	3506	84,92	79,36		
<b>Toplam</b>	<b>100</b>	<b>40,28</b>	<b>4028</b>									

Yüzdürme-batırma sonuçlarına göre 1,45 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta yüzen miktar tüvenan kömürün % 40,29'u olup % 5,49 küldedir. 1,60 yoğunlukta ise tüvenan kömürün % 14,77'si olup 12,35 küldedir. 1,60-1,90 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukları arasında yüzen kısım besleme malı çok az miktarda ( % 3,65) bulunmaktadır. 1,9 yoğunlukta batan kısım besleme malının % 41,29'unu oluşturmaktadır ve külü % 84,92 dir.



Şekil 5.13. 150-1 mm Armutçuk tüvenan kömürü yüzdürme-batırma eğrileri

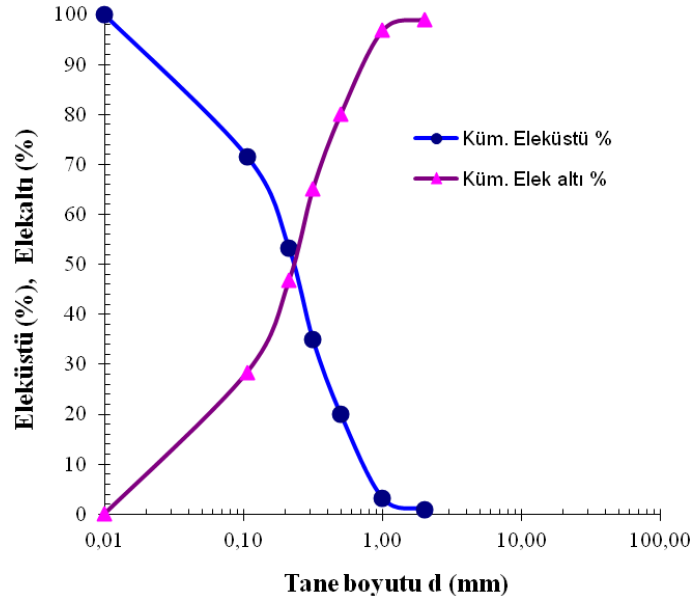
#### 5.1.4.3 -1 mm Boyutlu Armutçuk Kömürünün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Deneylerde kullanılacak -1mm boyutundaki kömürlerin boyut analizi boyut analizi sonuçları Tablo 5.12 ve Şekil 5.14’de verilmiştir.

Tablo-5.12 -1 mm Armutçuk tüvenan kömürü boyut analizi

Tane Fraksiyonu (mm)	Ağırlık (%)	Kül (%)	Kümlatif Elek Üstü		Kümlatif ,Elek Altı	
	(%)	(%)	Ağ (%)	Kül (%)	Ağ (%)	Kül (%)
-1,00 + 0,500	22,72	9,45	22,72	9,45	100,00	27,55
-0,500 + 0,315	23,27	14,56	45,99	12,04	77,28	32,87
-0,315 + 0,212	14,73	33,36	60,72	17,21	54,01	40,76
-0, 212+ 0,106	13,76	38,55	74,48	21,15	39,28	43,54
-0,106	25,52	46,23	100,00	27,55	25,52	46,23
<b>Toplam</b>	<b>100</b>	<b>27,55</b>				

1- 0,5 mm aralığındaki malzeme miktarı besleme malının ağırlıkça % 22,72 'sini oluşturmakta olup kül oranı % 9,45'dir. Tane boyutu azaldıkça tüvenan taşkömürlerinin külü hızla artmaktadır -0,315 mm boyutu altında kül oranı % 14,56 seviyelerinden % 46,23 düzeyine yükselmektedir.



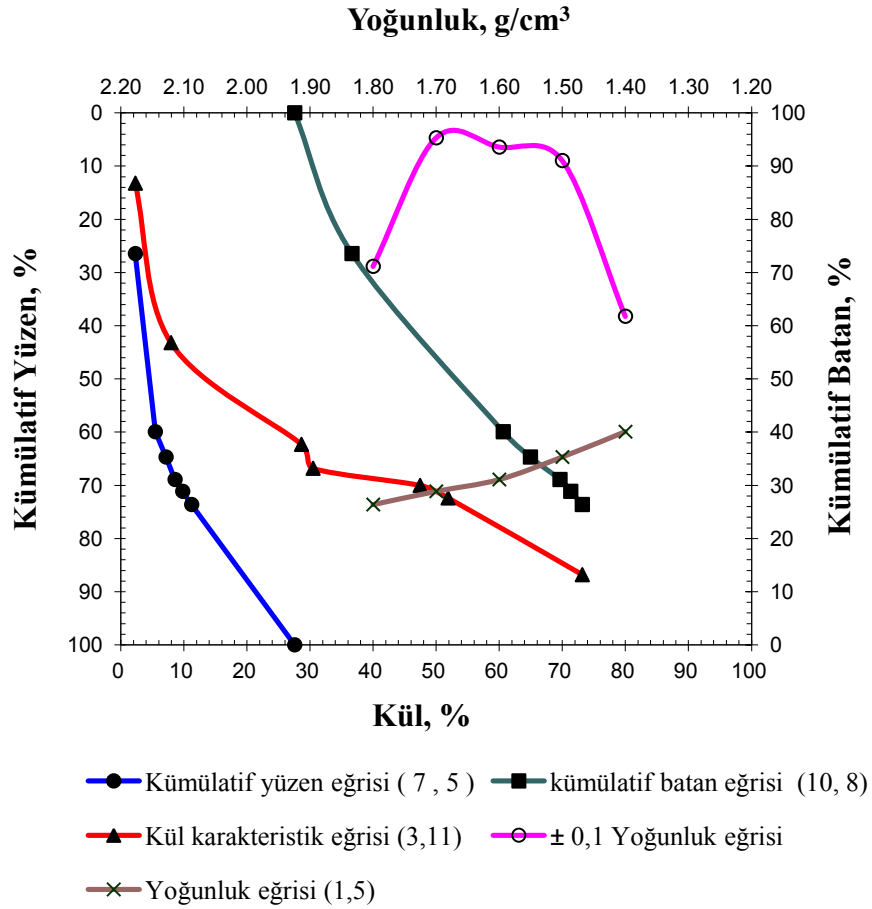
Şekil 5.14 -1mm Armutçuk tüvenan kömürü elek altı – elek üstü grafiği

-1 mm boyutundaki tüvenan kömürünün yüzdürme-batırma deneyleri sonuçları Tablo 5.13 ve Şekil 5.15'de verilmektedir. 1,3 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta besleme malının % 26,46'sı yüzmekte olup kül oranı % 2,29 dur. 1,4 g/cm<sup>3</sup> yoğunluktan itibaren kül oranı hızla artmaktadır.

Tablo 5.13. -1mm Armutçuk tüvenan kömürü yüzdürme-batırma analiz sonuçları

Yoğunluk			Kümülatif Yüzen			Kümülatif Batan			y=a <sub>0</sub> +a <sub>1</sub> /2			
g/cm <sup>3</sup>			%Ağ.	%Kül	İçerik	%Ağ.	İçerik	% Kül				
1,3 batan			26,46	2,29	60,59	26,46	60,59	2,29	100,00	2754,61	27,55	13,23
1,30		1,40	33,49	7,94	265,92	59,94	326,51	5,45	73,54	2694,02	36,63	43,20
1,40	-	1,50	4,76	28,62	136,11	64,70	462,63	7,15	40,06	2428,10	60,62	62,32
1,50	-	1,60	4,23	30,46	128,75	68,93	591,38	8,58	35,30	2291,99	64,93	66,81
1,60	-	1,70	2,22	47,44	105,24	71,14	696,62	9,79	31,07	2163,23	69,61	70,03
1,70	-	1,80	2,48	51,87	128,85	73,63	825,46	11,21	28,86	2058,00	71,32	72,39
1,8 batan			26,37	73,15	1929,15	100,00	2754,61	27,55	26,37	1929,15	73,15	86,81
<b>Toplam</b>			<b>100,00</b>	<b>27,54</b>	<b>2754,61</b>							

1,4-1,7 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk aralığında yüzen malzeme miktarı azdır.1,8 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta besleme malının % 26,37'si bulunmakta olup kül oranı % 73,15'tir.



Şekil 5.14 -1mm Armutçuk tüvenan kömürü yüzdürme-batırma eğrileri

## 5.2 İnce Kömürlerin Zenginleştirilmesi Deneyleri

Karadon, Amasra ve Armutçuk tüvenan kömürü ve şlam kömürü numuneleri üzerinde elek analizi, yüzdürme-batırma testleri yapılarak kimyasal ve fiziksel özellikler tespit edilmiştir.

Her üç kömürü numunesinde zenginleştirme deneyleri yapmak üzere yoğunluğa dayalı zenginleştirme metodlarının uygulanması amacıyla

- Multi Gravite konsantratör

- Kömür spirali
- Knelson ayırıcı

kullanılarak zenginleştirme deneyleri yapılmıştır.

### 5.2.1 Multi Gravite Konsantratör Deneyleri

Pilot ölçekli MGS Ünitesi; bir yanı açık uçlu 0.6 m uzunluğunda 0.5 m çapında tambur şeklinde bir gövdeye sahiptir. Tambur iç yüzeyi üzerinde 6 ile 24 g değerinde yerçekimi kuvvetine eşdeğer bir merkezkaç kuvveti oluşacak şekilde 150-300 d/d hızla saat yönünde dönmektedir. Tambur hareketini sağlayan konsantrik şaft tarafından tahrik edilen, tamburla aynı yönde, tambura göre biraz daha hızlı dönen ve üzerinde küreyiciler olan bir ünite bulunmaktadır (Şekil 5.16).



Şekil 5. 16 Laboratuvar ölçekli MGS ünitesi

Çalışma sırasında küreyiciler, katı taneleri tamburun dar, açık dış ağzına doğru hareket ettirecek şekilde dizayn edilmiştir. MGS Ünitesi; % 20-50 katı oranında 0,2 ton/saat kapasite ile çalışmaktadır

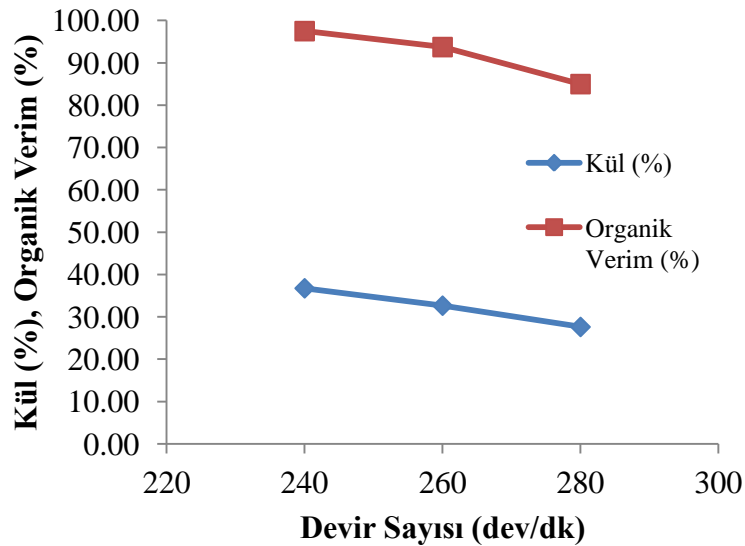
### 5.2.1.1 -1mm Amasra Kömürü MGS Deneyleri

Deneyleerde 240, 260 ve 280 devir/dakikavhız ve 2°, 4° ve 6° eğimler test edilmiştir. Testlerde yıkama suyu 5 L/dk ve pülp oranı % 25 katı olarak sabit parametreler seçilmiştir. Deney sonuçları Tablo 5.14 ve Şekil 5.17’de verilmektedir.

Tablo 5.14 -1mm Amasra kömürü 2° eğimde MGS sonuçları

Devir Sayısı (dev/dk)	Ağırlık (%)	Kül (%)	Organik Verim (%)	
240	Temiz kömür	93,16	36,78	97,52
	Artık	6,84	78,13	2,48
	Besleme Malı	100,00	39,61	100,00
260	Temiz kömür	81,62	32,67	93,75
	Artık	18,39	70,12	9,09
	Besleme Malı	100,00	39,56	100,00
280	Temiz kömür	70,98	27,65	85,01
	Artık	29,02	68,79	14,99
	Besleme Malı	100,00	39,59	100,00

Deneyleerde en düşük temiz kömür külü 280 dv/dk ile yapılan deneyleerde elde edilmiştir. Bu devirde temiz kömür miktarı % 70,98 olup kül oranı % 27,65 tir.



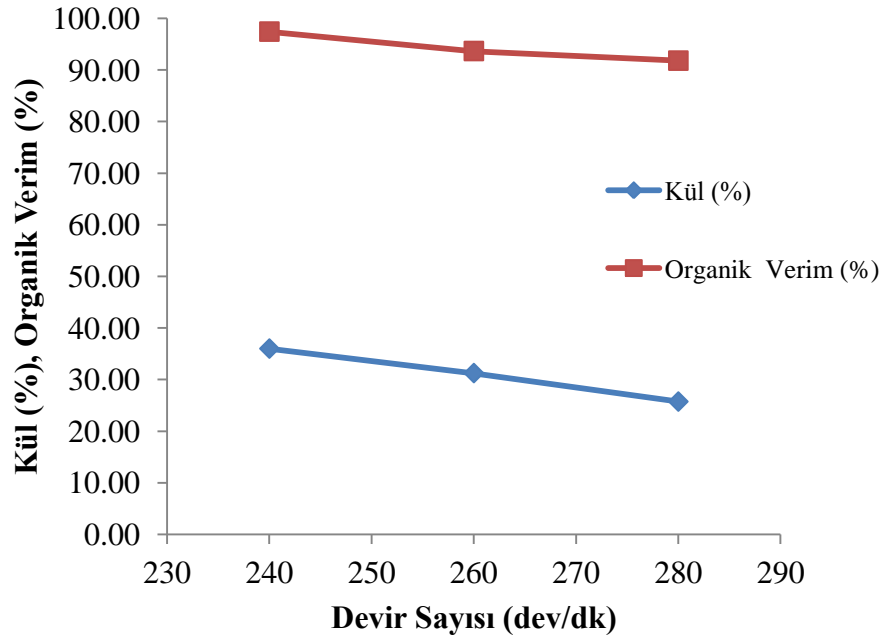
Şekil 5.17 - 1 mm Amasra kömürü 2° eğimde temiz kömür kül ve organik-verim grafiği

Organik verim (yanabilir verim) sırasıyla % 97,52, % 93,75 ve % 85,01 olmuştur. Devir sayısı arttıkça temiz kömür kül oranının hızla azalmasına karşılık temiz kömür miktarında da azalma meydana gelmiştir.

Tablo 5.15 - 1mm Amasra kömürü 4° eğimde MGS sonuçları

Devir Sayısı		Ağırlık	Kül	Organik Verim
(dev/dk)		(%)	(%)	(%)
240	Temiz kömür	92,05	35,98	97,40
	Artık	7,95	80,23	2,60
	Besleme Malı	100,00	39,50	100,00
260	Temiz kömür	82,10	31,23	93,64
	Artık	17,90	78,56	6,36
	Besleme Malı	100,00	39,70	100,00
280	Temiz kömür	74,71	25,71	91,78
	Artık	25,30	80,34	8,22
	Besleme Malı	100,00	39,53	100,00

4° eğimde yapılan deneyler 240, 260 ve 280 dev/dk olmak üzere üç farklı devir sayısında yapılmıştır. Tablo 5.15 ve Şekil 5.18' den de görüleceği üzere 240 dev/dk da besleme malının % 92,05'i temiz kömür olarak elde edilmiş olup kül oranı % 35,58 olmuştur.



Şekil 5.18 -1mm Amasra kömürü 4° eğimde temiz kömür kül ve organik -verim grafiği

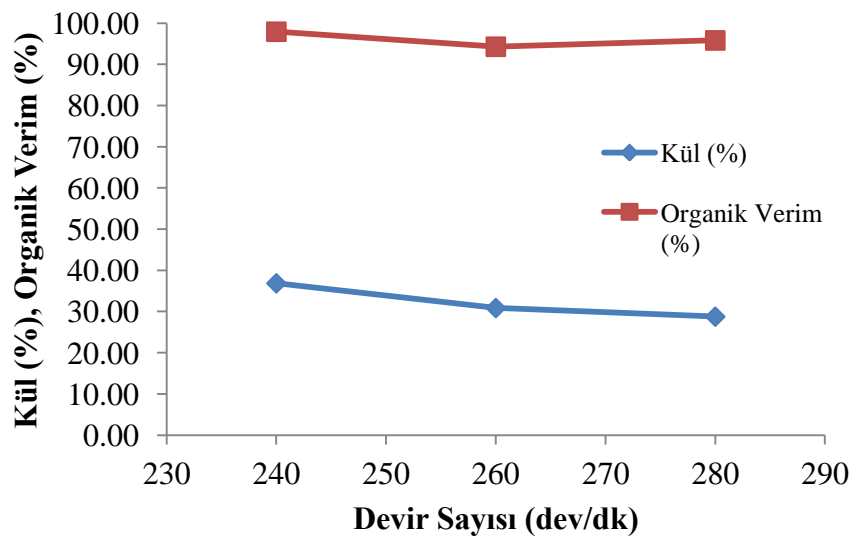


Deneyleerde 240 dev/dk 'da organik verim % 97,40 olurken 280 dev/dk'da % 91,78'e azalmıştır. 4° eğimde yapılan MGS sonuçları değerlendirildiğinde en düşük temiz kömür kül oranı 280 devir/dk da elde edilmiştir. 6° eğimde MGS ile yapılan deney sonuçları Tablo 5.16 ve Şekil 5.19'da verilmektedir.

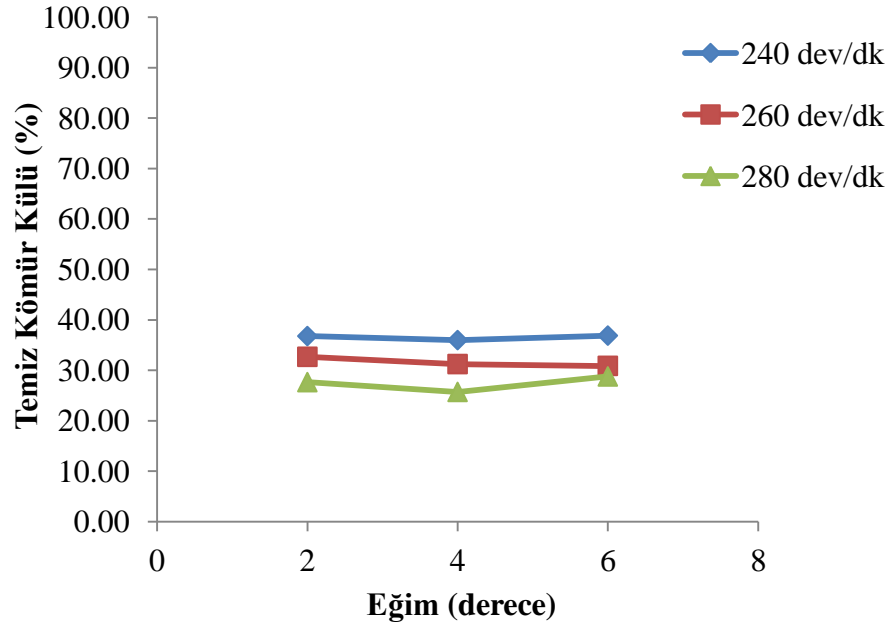
Tablo 5.16 -1mm Amasra kömürü 6° eğimde MGS sonuçları

Devir Sayısı	Ağırlık	Kül	Organik Verim	
(dev/dk)	(%)	(%)	(%)	
240	Temiz kömür	92,28	36,87	97,93
	Artık	7,72	84,07	2,07
	Besleme Malı	100,00	40,51	100,00
260	Temiz kömür	81,67	30,87	94,30
	Artık	18,33	81,38	5,70
	Besleme Malı	100,00	40,13	100,00
280	Temiz kömür	84,88	28,78	95,82
	Artık	15,12	82,57	4,18
	Besleme Malı	100,00	36,91	100,00

240 dv/dk da besleme malının % 92,28'i temiz kömür olarak % 36,87 külde elde edilmiştir. Deneyleerde organik verim sırasıyla % 97,33, % 94,30 ve % 95,82 olmuştur. En düşük kül oranı 280 dv/dk devir sayısında elde edilmiştir.



Şekil 5.19 -1 mm Amasra kömürü 6° eğimde temiz kömür kül ve organik-verim grafiği



Şekil 5.20 -1 mm Amasra kömürü değişik eğimlerde temiz kömür kül oranları

Amasra numunelerinde yapılan MGS testi sonuçları değerlendirildiğinde (Şekil 5.20) en düşük küllü temiz kömür % 25,71 kül değerinde olarak 4° eğimde ve 280 dv/dk dönme hızında elde edilmiştir.

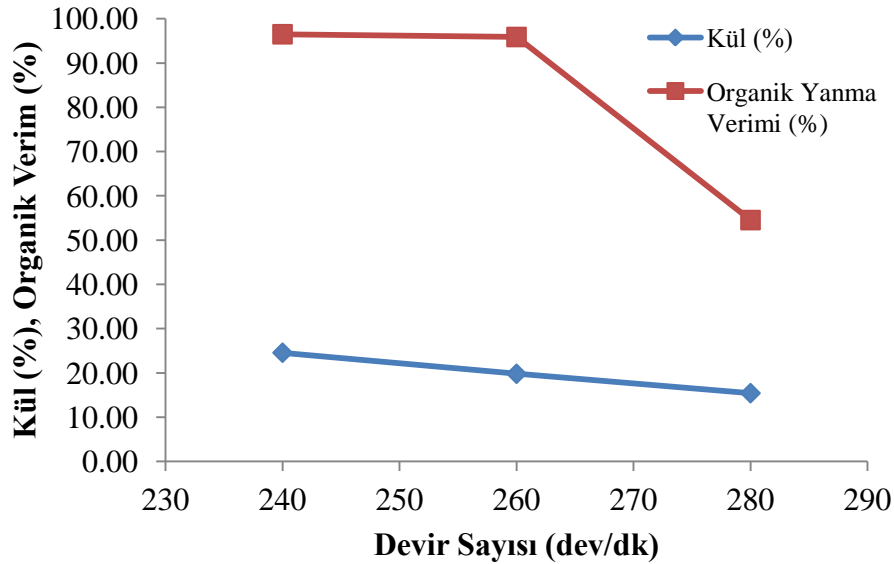
#### 5.2.1.2 -1 mm Karadon Kömürü MGS Deneyleri

Deneylerde 240, 260, 280 devir/dk hız ve 2°, 4°, 6° eğimler test edilmiştir. MGS 'de yıkama suyu 5 L/dk ve katı oranı % 25'dir. 2° eğimde yapılan deney sonuçları Tablo 5.17 ve Şekil 5.21'de verilmektedir.

Tablo 5.17 -1mm Karadon kömürü 2° eğimde MGS sonuçları

Devir Sayısı		Ağırlık	Kül	Organik Verim
(dev/dk)		(%)	(%)	(%)
240	Temiz kömür	85,45	24,55	96,50
	Artık	14,56	83,95	3,50
	Besleme malı	100,00	33,20	100,00
260	Temiz kömür	77,89	19,79	95,88
	Artık	22,11	87,86	4,12
	Besleme malı	100,00	34,84	100,00
280	Temiz kömür	42,83	15,41	54,51
	Artık	57,18	47,13	45,49
	Besleme malı	100,00	33,55	100,00

Deneylerde -1 mm boyutundaki tüvenan kömürler kullanılmış olup. 2° eğimde ve 240, 260 ve 280 dev/dk 'da gerçekleştirilmiştir. En düşük temiz kömür kül oranı 280 dev/dk'da elde edilmiştir.



Şekil 5.21 -1mm Karadon kömürü 2° eğimde temiz kömür kül ve organik verim grafiği

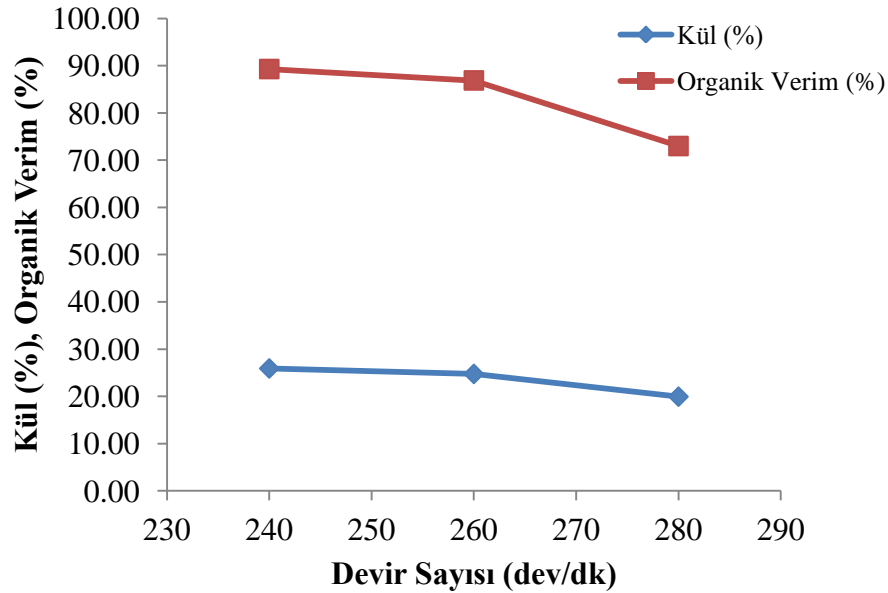
-1 mm boyutundaki Karadon kömürleri üzerinde 2° eğimde MGS ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçları incelendiğinde organik verim 280 dev/dk da % 54,51 olarak gerçekleşmiştir. Bu devirde artık kül oranı dolayısıyla organik yanma

verimi de oldukça düşük olmuştur. 4° eğimde MGS deney sonuçları Tablo 5.18 ve Şekil 5.22'de verilmektedir.

Tablo 5.18 -1mm Karadon kömürü 4° eğimde MGS sonuçları

Devir Sayısı		Ağırlık	Kül	Organik Verim
(dev/dk)		(%)	(%)	(%)
240	Temiz kömür	79,40	25,89	89,27
	Artık	20,61	65,67	10,73
	Besleme malı	100,00	34,09	100,00
260	Temiz kömür	76,19	24,73	86,86
	Artık	23,82	63,56	13,14
	Besleme malı	100,00	33,98	100,00
280	Temiz kömür	60,39	19,92	72,97
	Artık	39,61	54,78	27,03
	Besleme malı	100,00	33,73	100,00

Deneylerde en düşük temiz kömür 280 dev/dk'da elde edilmiştir. Bu devir ile yapılan deneylerde ise temiz kömür miktarı % 60,39 olurken kül oranı % 19,92 olmuştur.



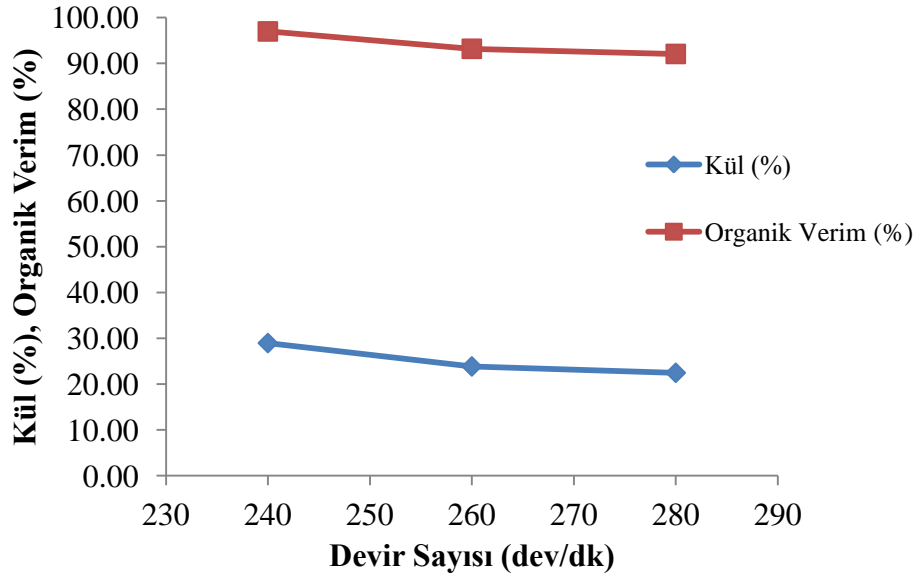
Şekil 5.22 -1mm Karadon kömürü 4° eğimde temiz kömür kül ve organik verim grafiği

4° eğimde MGS sonuçları incelendiğinde organik yanma verimi 240 dv/dk da % 89,27, 260 dv/dk da % 86,86, 280 dv/dk da % 72,97 olarak gerçekleşmiştir. 6° eğimde MGS deney sonuçları Tablo 5.19 ve Şekil 5.23'de verilmektedir.

Tablo 5.19 -1mm Karadon kömürü 6° eğimde MGS sonuçları

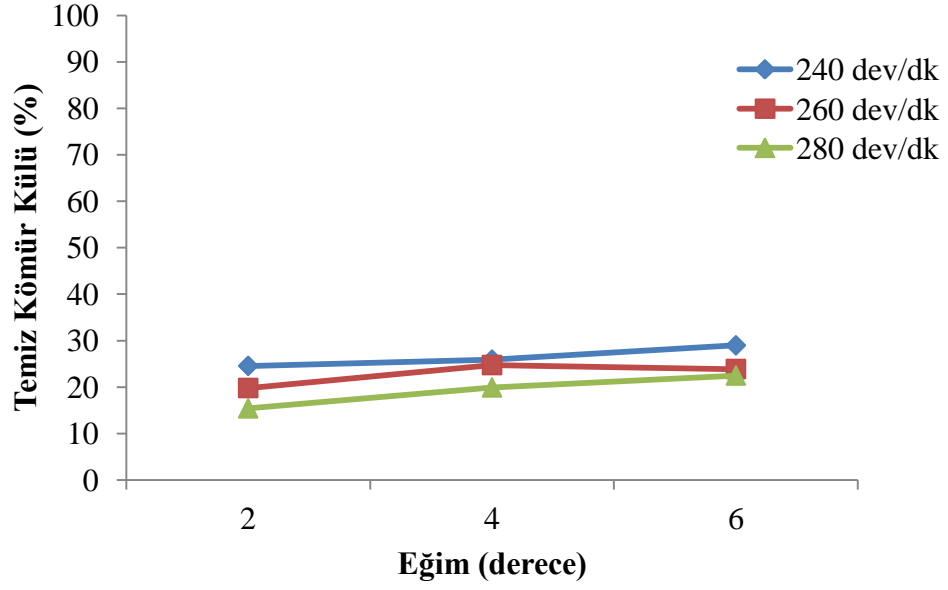
Devir Sayısı	Ağırlık	Kül	Organik Verim	
(dev/dk)	(%)	(%)	(%)	
240	Konsantre	90,50	28,97	96,98
	Artık	9,50	78,96	3,02
	Besleme Malı	100,00	33,72	100,00
260	Konsantre	80,89	23,87	93,19
	Artık	19,11	76,46	6,81
	Besleme Malı	100,00	33,92	100,00
280	Konsantre	78,84	22,48	92,07
	Artık	21,17	75,13	7,93
	Besleme Malı	100,00	33,62	100,00

240 dv/dk da besleme malının % 90,50'si temiz kömür olarak elde edilmiş olup kül oranı % 28,97'dir. 280 dv/dk ile yapılan deneylerde ise temiz kömür miktarı % 78,84 olurken kül oranı % 22,48 olmuştur.



Şekil 5.23 -1 mm Karadon kömürü 6° eğimde temiz kömür kül ve organik verim grafiği

Organik yanma verimi 240 dv/dk da % 96,98, 260 dv/dk da % 93,19, 280 dv/dk da % 92,07 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 5.24 –1 mm Karadon kömürü farklı eğimlerde temiz kömür kül -organikverim grafiği

MGS testi sonuçları değerlendirildiğinde (Şekil 5.24 ) en düşük temiz kömür kül oranı % 15,41 olarak 2° eğimde ve 280 dv/dk da elde edilmiştir.

### 5.2.2. Kömür Spirali Deneyleri

Amasra, Armutçuk ve Karadon TİM kömürleri üzerinde kömür spirali kullanılarak (Şekil 5.25) zenginleştirme deneyleri yapılmıştır.



Şekil 5.25 Kömür spirali

Deneysel çalışmalarda -1 mm ve 1- 0,15 mm olmak üzere iki farklı tane boyutu kullanılmıştır. Testler % 25, % 30 ve % 35 katı oranlarında gerçekleştirilmiştir.

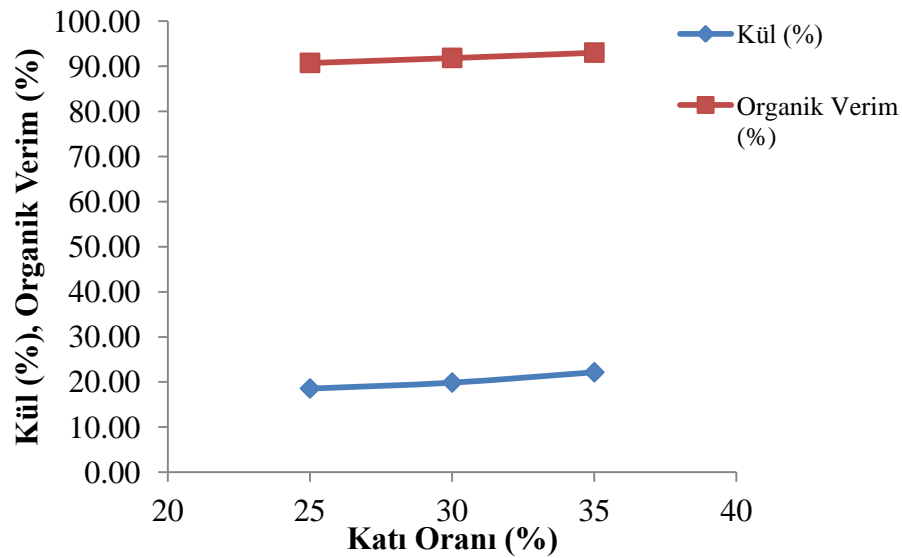
### 5.2.2.1 Amasra Kömürü Spiral Deneyleri

5.2.2.1.1 -1 mm Amasra Kömürü Spiral Deneyleri. Spiralin 60 L su ile çalıştırılmıştır. 60 L suyun 20 L' si devir daim halinde bulunmuştur. Kullanılan su pompasının hızı ise 9 m/sn'dir. Testler kömür numuneleri elenerek -1 mm altına indirildikten sonra % 25, % 30 ve % 35 katı-sıvı oranında yapılmıştır. Spiralden temiz kömür, ara ürün ve artık olmak üzere üç ürün elde edilmiştir. Belirli aralıklarla anlık numuneler alınmıştır. Sonuçlar Tablo 5.20 ve Şekil 5.26'da verilmektedir.

Tablo 5.20 -1 mm Amasra kömürü değişik katı oranlarında spiral deneyi sonuçları

Katı Oranı (%)		Ağırlık (%)	Kül (%)	Organik Verim (%)
25	Temiz Kömür	68,39	18,56	90,74
	Ara Ürün	1,78	54,35	1,32
	Artık	29,83	83,67	7,94
	<b>Toplam</b>	<b>100</b>	<b>38,62</b>	<b>100</b>
30	Temiz Kömür	70,34	19,87	91,85
	Ara Ürün	2,34	52,45	1,81
	Artık	27,32	85,76	6,34
	<b>Toplam</b>	<b>100</b>	<b>38,63</b>	<b>100</b>
35	Temiz Kömür	73,34	22,15	93,02
	Ara Ürün	2,59	55,98	1,86
	Artık	24,07	86,94	5,12
	<b>Toplam</b>	<b>100</b>	<b>38,62</b>	<b>100</b>

Tablo 5.20 den de görüleceği üzere en temiz kömür külü % 25 katı oranında elde edilmiştir. Bu katı oranında besleme malının % 68,39'u temiz kömür olarak elde edilmiş olup kül oranı % 18,56'dır.



Şekil 5.26 –1 mm Amasra kömürü değişik kati oranlarında spiral uygulaması temiz kömür kül ve organik verim grafiği

% 25, % 30 ve % 35 kati oranlarında organik verim oldukça yüksek olup sırasıyla % 90,74, % 91,85 ve % 93,02 olmuştur. Kati oranı arttıkça temiz kömür külü de artmaktadır. Bunun nedeni de spiral ayırıcıda tane ayırımı başlıca etkileyen engelli çökmenin neden olduğunun kanıtıdır. Eğer kati oranı yüksek ise tane-tane etkileşimi daha büyük olacaktır ve bu yüzden engelli çökme şartları daha fazla oluşacaktır. Daha düşük konsantrasyonlarda engelli çökmenin etkileri daha az olacağı için tanelerin ayırımı daha kolay olacaktır.

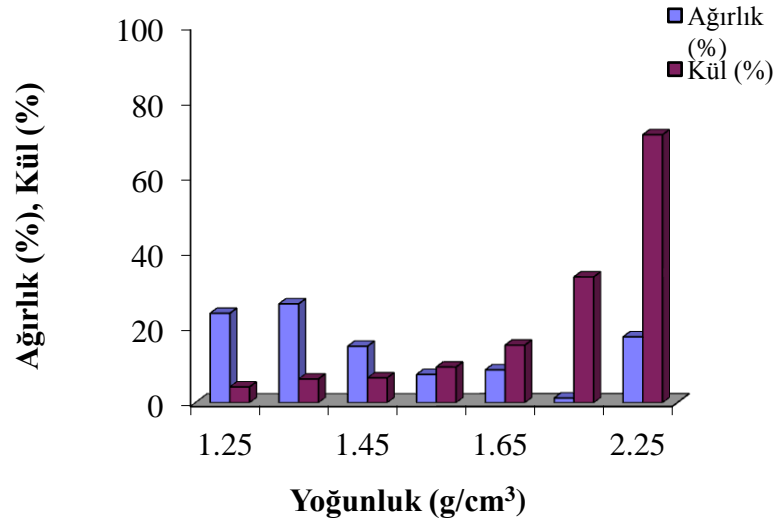
% 25 kati oranında elde edilen temiz kömür ile yüzdürme-batırma testleri yapılmıştır. Deney sonuçları Tablo 5.21 ve Şekil 5.27’de verilmektedir.

Tablo 5.21 -1mm Amasra kömürü spiral çıkışı temiz kömür yüzdürme-batırma analizi sonuçları

Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Ortalama Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Ağırlık (%)	Kül (%)	Kümülatif Ağırlık (%)	Kümülatif Kül (%)
1,30 yüzen	1,25	23,77	4,20	23,77	4,20
1,30 - 1,40	1,35	26,25	6,30	50,02	5,30
1,40 - 1,50	1,45	14,98	6,60	65,00	5,60
1,50 - 1,60	1,55	7,50	9,47	72,50	6,00
1,60 - 1,70	1,65	8,75	15,29	81,25	7,00
1,70 - 1,80	1,75	1,25	33,40	82,50	7,40
1,8 batan	2,25	17,50	71,17	100,00	18,56
<b>Toplam</b>		<b>100</b>			



1,3 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta yüzen kömür miktarı % 23,75 olup kül oranı oldukça düşüktür (% 4,20). Kül oranının oldukça düşük olması düşük yoğunluklu (1,1-1,2) vitrenin temiz kömürden alındığını göstermektedir. 1,3-1,4 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk aralığında yüzen kömür miktarı % 26,25 olup kül oranı % 6,30 dur. Bu yoğunluktan itibaren kül oranı hızla artmaktadır.



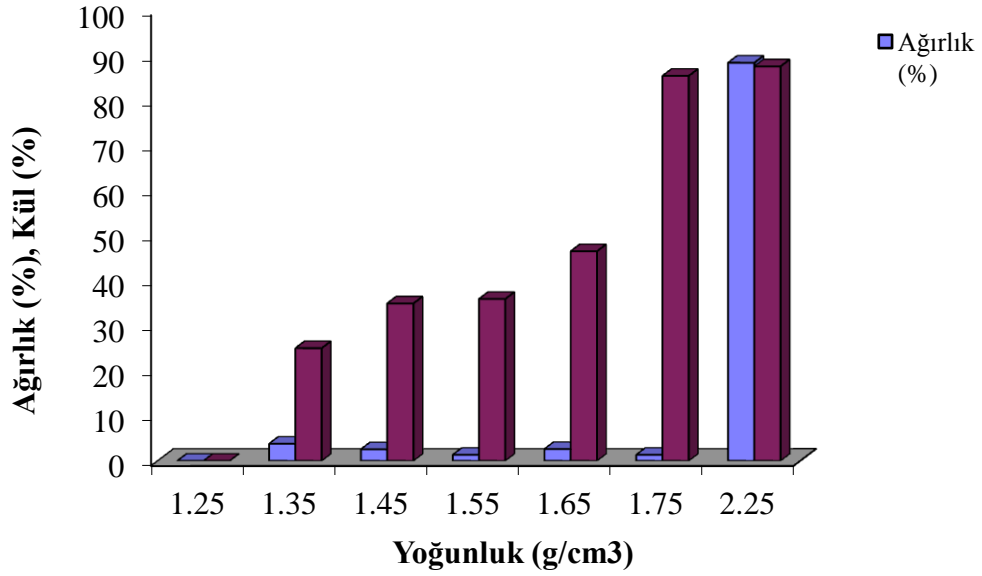
Şekil 5.27 –1 mm Amasra kömürü spiral çıkışı temiz kömür yoğunluk analiz değerleri

Deneyleerde elde edilen ara ürün ve artık miktarları birleştirilerek yoğunluk analizi yapılmıştır. Elde edilen yüzdürme-batırma analizi sonuçları Tablo 5.22 ve Şekil 5.28'de verilmektedir.

Tablo 5.22 -1mm Amasra kömürü ara ürün ve artık bileşimi yüzdürme-batırma analizi

Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Ortalama yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Ağırlık (%)	Kül (%)	Kümülatif Ağırlık (%)	Kümülatif Kül (%)
1,30 yüzen	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00
1,30 - 1,40	1,35	3,80	25,00	3,80	25,00
1,40 - 1,50	1,45	2,57	34,93	6,37	29,01
1,50 - 1,60	1,55	1,32	35,92	7,69	30,19
1,60 - 1,70	1,65	2,63	46,52	10,32	34,35
1,70 - 1,80	1,75	1,33	85,43	11,65	40,18
1,8 batan	2,25	88,35	87,54	100,00	82,02
<b>Toplam</b>		<b>100</b>			

1,3 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta besleme malının tamamı yüzen ürün içerisindedir. Diğer bir ifade ile 1,3 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğundan daha az yoğunluktaki malzemenin tamamı temiz kömüre gitmiştir. 1,30-1,40 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk aralığında artığın % 3,80'i % 25 küldedir. Bu yoğunluktan sonra kül oranı artarak 1,70-1,80 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk aralığında % 85,43'e yükselmektedir.



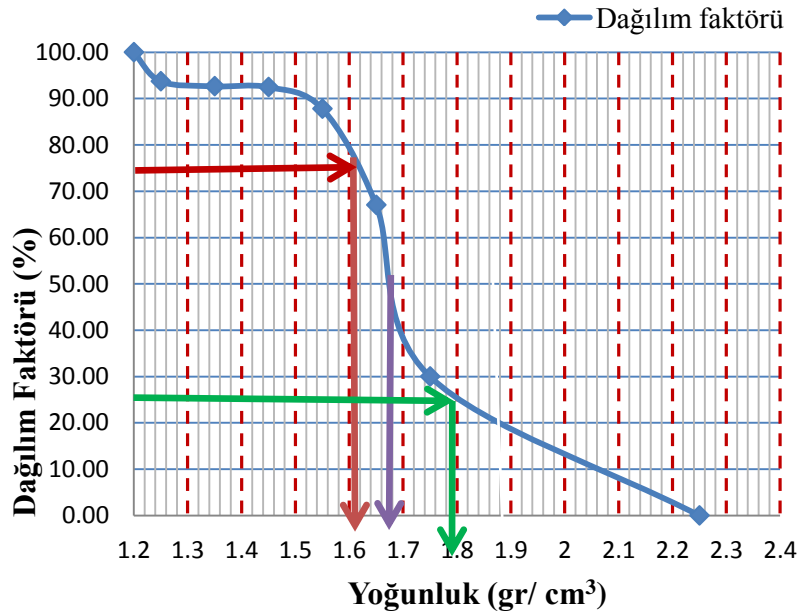
Şekil 5.28 –1 mm Amasra kömürü spiral ürünü artık yoğunluk analiz değerleri

1,35 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta artığın % 3,80'i % 25 küldedir iken 1,65 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta % 2,63 'ü % 33,99 küldedir. Tüm yoğunluk aralıklarında kül değerleri oldukça yüksektir. Ayırım hassasiyetinin tespit edilmesi amacıyla temiz kömür ve artık ile yapılan yüzdürme-batırma sonuçları birleştirilerek Tablo 5.23'de ve elde edilen dağılım eğrisi Şekil 5.29'da verilmektedir.

Tablo 5.23 -1mm Amasra kömürü birleştirilmiş yoğunluk tablosu

Yoğunluk Aralığı	Besleme Malı		Temiz kömür		Artık		Besleme Malına Göre Hesapla		Besleme Malı Hesapla	Dağılım Faktörü
	Ağırlık	Kül	Ağırlık	Kül	Ağırlık	Kül	Temiz Kömür	Artık		
(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
-1,3 yüzen	16,24	4,20	23,75	4,20	0	0	16,24	0,00	16,24	100,00
1,3-1,4	19,15	7,47	26,25	6,30	3,80	25,00	17,95	1,20	19,15	93,73
1,4-1,5	11,07	8,68	14,98	6,60	2,57	34,93	10,26	0,81	11,07	92,66
1,5-1,6	5,55	12,26	7,50	9,47	1,32	35,92	5,13	0,42	5,55	92,48
1,6-1,7	6,82	17,81	8,75	15,29	2,63	46,52	5,98	0,83	6,82	87,80
1,7-1,8	1,28	50,55	1,25	33,40	1,33	85,43	0,85	0,42	1,28	67,03
1,8 batan	39,90	82,73	17,50	71,17	88,35	87,54	11,97	27,93	39,90	30,00
<b>TOPLAM</b>	<b>100</b>	<b>38,39</b>	<b>100</b>	<b>18,56</b>	<b>100</b>	<b>82,02</b>	<b>68,39</b>	<b>31,61</b>	<b>100,00</b>	

Tüvenan kömürde bulunan ve yoğunlukları ayırma yoğunluğuna eşit olan tanelerin % 50'sinin temiz kömüre, % 50 sinin artık şiste geçeceği kabul edildiğinden eğrinin % 50 dağılım noktasındaki yoğunluk değeri ayırma yoğunluğu olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 5.29 -1mm Amasra kömürü dağılım faktörü eğrisi

Spiral ile % 25 katı oranında yapılan deneylerde özgül ağırlık ayırma yoğunluğu (SG 50)  $1,68 \text{ g/cm}^3$  olarak bulunmuştur. Dağılım eğrisinden % 25 ve % 75 dağılım faktörlerine karşılık gelen yoğunluklar farkının yarısı hata faktörü ( $E_p$ ) olarak tanımlanmaktadır. İyi ayırımlar için hata faktörü 0.02-0.125 arasındadır. % 25 katı oranında  $E_p$  değeri;

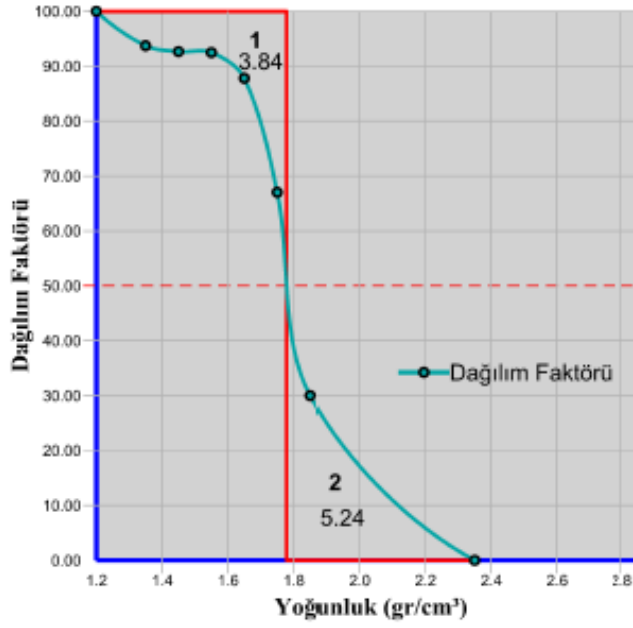
$$E_p = (SG_{75} - SG_{25})/2$$

$$E_p = (1,8 - 1,60)/2$$

$E_p = 0,10$  olarak hesaplanmıştır.

Kömürlerin yıkanabilirlikleri ile ilgili değerlendirmede kullanılan bir başka metod da yıkanabilirlik değerleridir. Daha önceki bölümde de belirtildiği üzere yıkanabilirlik değeri ne kadar yüksek olursa kömürün yıkanabilirliği de o derece kolaydır.  $1,3 \text{ g/cm}^3$  yoğunlukta yüzen malzeme miktarının  $1,6 \text{ g/cm}^3$  yoğunlukta toplam yüzen malzeme miktarına oranı olarak tarif edilen yıkanabilirlik indeksi  $CI = 16,26/52,01 = 0,31$  olarak hesaplanmıştır. Bu değer kolay yıkanabilirlik olan 0,35 değerinin altındadır.

Yoğunluğa dayalı ayırma ünitelerinin performanslarının değerlendirilmesinde çeşitli göstergeler, katsayılar, ayırma verimliliği, konsantrasyon verimliliği vb. faktörler kullanılmaktadır. Bununla birlikte bu parametreler belirli sınırlar içerisinde kalmakta ve hiçbirisi kömür hazırlama alanında geniş bir kabul görmemiştir. Bu nedenle günümüzde en yaygın olarak kullanılan değerlendirme metodu dağılım eğrisidir. Hata alanı gerçek dağılım eğrisi ile aynı ayırma yoğunluğundaki ideal dağılım eğrisi arasındaki kalan alandır.



Şekil 5.30 -1mm Amasra kömürü hata alanı grafiği

Ayırma yoğunluğu (SG(50)) alınarak  $1,68 \text{ g/cm}^3$  olarak tespit edilmiş olup ideal Tromp eğrisi bu ayırma yoğunluğuna göre çizilmiştir (Şekil 5.30). Ayırma yoğunluğundan düşük yoğunluklara karşılık gelen 1 nolu alan artıktaki temiz kömürü, ayırma yoğunluğundan yüksek yoğunluklara karşılık gelen 2 nolu alan temiz kömürdeki artığı temsil etmektedir. Bu iki alanın toplamı ayırma hassasiyetini vermektedir. Bu belirtilen alanlar hesaplanmıştır. Buna göre 1 nolu alan 3,84 olarak, 2 nolu alan 5,24 ve toplam alan 9,08 olarak hesaplanmıştır.

Yoğunluğa dayalı cihazların ayırma performanslarının değerlendirilmesinde bölüm 3.2.3.3'de belirtildiği üzere tarafından iri ve orta boyutlu kömürlerde kullanılan yoğunluğa dayalı cihazların ayırma performanslarının değerlendirilmesinde kullanılan yaklaşımın ince kömürlere de uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu modelde ayırma yoğunluğu belirlidir. Bu modelin ince kömürlerin yıkınması işlemlerinde kullanılan yoğunluğa dayalı ayırıcılarda kullanılabilmesi için ayırma yoğunluğunun bilinmesi gereklidir. Ayırma işlemi sonucunda temiz kömür ve artık ürünlerinin yüzdürme-batırma analizlerinin değerlendirilmesi ile çizilen tromp eğrisinden elde edilen ayırma yoğunluğu (SG (50)) bu yoğunluk olarak kullanılarak iri ve orta boyutlu kömürlere uygulanan bu metot ince kömürlere de uygulanabilir.

Bu işlem temiz kömür fraksiyonunda yer alan hatalı tane miktarının değerlendirilmesi ile yapılır. Önerilen performans parametreleri hatalı (1) ve hatalı (2) olarak 0'dan ve 1'e kadar olur. Hatalı tanelerin kül dağılımlarını dikkate alarak yoğunluğa dayalı ayırma cihazlarının doğrudan karşılaştırılması ve optimal işletme şartlarının tespit edilmesi mümkündür.

Yüzdürme batırma analizlerinden elde edilen verilerle temiz kömür ve kül verimi eğrileri kümülatif temiz kömür miktarı kullanılarak çizilebilir. Verim değerleri bölüm 3.3.2.3'de verilen 14 ve 15 nolu eşitlikler kullanılarak hesaplanabilir.

Yüzen kömür kümülatif ağırlığına karşılık olarak çizilen verim eğrileri hedeflenen temiz kömür kalitesi ve miktarının gösterilmesinde kullanılabilir. Kömür hazırlamanın ana hedeflerinden birisi istenilen kül seviyesinde (hedeflenen kalitede) temiz kömür üretmektir. Beslenen kömürün yıkanabilirlik özelliklerinden hedef temiz kömür kalitesini sağlamak için ayırma yoğunluğu saptanır. Bu ayırma yoğunluğunda verim temiz kömürün ideal/teorik verimi olarak gerçekleşir. Tablo 24'de Amasra -1mm tüvenan kömürün yoğunluğa bağlı elde edilen kül ve ağırlık oranları ile yukarıda belirtilen formüllere göre hesaplanmış kül ve kül dışı verimleri verilmektedir.

Tablo 5.24 -1mm Amasra kömürü kül dışı ve kül verimi tablosu

Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Ağırlık (%)	Kül (%)	İçerik	Kümülatif			Kül Dışı Verim (%)	Kül Verimi (%)
				Ağ. (%)	İçerik	Kül (%)		
	M	K	M*K	$\sum M\downarrow$	$\sum M\downarrow *K\downarrow$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,3 yüzen	16,24	4,20	68,2	16,24	68,2	4,20	25,35	1,77
1,3-1,40	19,15	7,47	143,1	35,40	211,3	5,97	54,22	5,47
1,40-1,50	11,07	8,68	96,1	46,47	307,4	6,62	70,70	7,96
1,50-1,60	5,55	12,26	68,0	52,01	375,4	7,22	78,62	9,72
1,60-1,70	6,82	17,81	121,4	58,83	496,8	8,44	87,75	12,86
1,70-1,80	1,28	50,55	64,5	60,10	561,2	9,34	88,78	14,53
1,8 batan	39,90	82,73	3301	100	3862	38,62	100	100
<b>TOPLAM</b>	<b>100,00</b>	<b>38,62</b>	<b>3.862,0</b>					

Burada örneğin 1,34 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta kül dışı verim (R<sub>N</sub>) ve kül verimi (R<sub>A</sub>) aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$R_N = 100 W (100 - C_A) / (100 - H_A)$$

$$R_N = 100 \cdot 0,1624 \cdot (100 - 4,20) / (100 - 38,62)$$

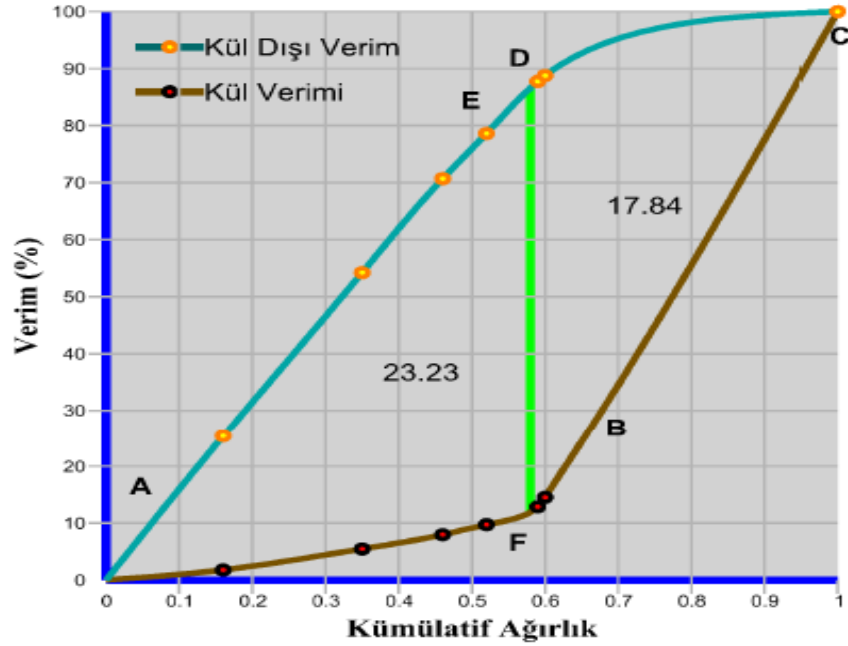
$$R_N = 25,35$$

$$R_A = 100 W C_A / H_A$$

$$R_A = 100 \cdot 0,1624 \cdot 4,20 / 38,62$$

$$R_A = 1,77$$

Elde edilen kül ve kül dışı verimlerinin kümülatif elek üstü yüzen miktarına göre çizilen eğriler Şekil 5.31'de verilmektedir



Şekil 5.31 -1mm Amasra tüvenan kömürü kül ve kül dışı verim eğrisi

Hedeflenen temiz kömür kalitesi geometrik olarak kül dışı verim eğrisi ADC ve kül verimi eğrisi ABC ile temsil edilir.

% 25 katı oranında yapılan spiral deneylerinde ayırma yoğunluğu (SG(50)) 1,68 g/cm<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Bu ayırma yoğunluğundaki teorik kömür miktarının ve temiz kömür külünü tespit etmek için -1 mm tüvenan kömürü üzerinde yapılan

yoğunluk analiz değerleri kullanılarak hesaplama yapılır. Amasra -1 mm yoğunluk analiz sonuçlarına göre kümülatif ağırlık ve kümülatif kül değerleri Tablo 5.5'de verilmektedir.

1,68 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta teorik verim % 58 ve kül oranı % 8,20 dir. Bu değerden çizilen doğrunun eğrileri kestiği noktalar E ve F olarak gösterilirse, hedef temiz kömür miktarı AEF alanı ile temsil edilir. EFC alanı artığın hedef miktarını temsil eder. Bu yüzden sapmalar her iki üründe temiz kömür ve artıktaki olabilir. İki alandan herhangi bir sapma optimal işletme şartlarından ve/veya procesteki verimsizliklerden kaynaklanmaktadır. Yeni metot bu sapmaların miktarının kesin olarak tespit edilmesini sağlamaktadır.

% 25 katı oranındaki spiral testlerinden elde edilen temiz kömürün yoğunluğa bağlı elde edilen kül ve ağırlık oranları ile yukarıda belirtilen formüllere göre hesaplanmış kül ve kül dışı verimleri Tablo 5.25 ve Şekil 5.32'de sunulmaktadır.

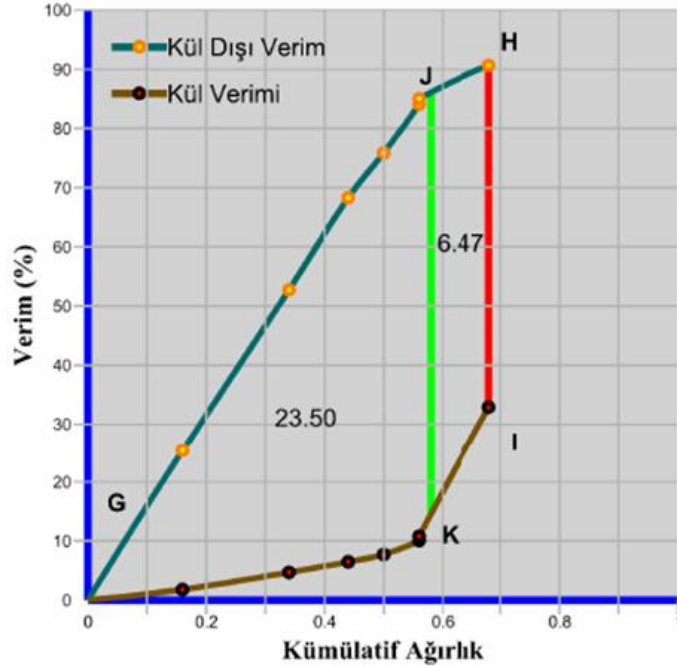
Tablo 5.25 -1mm Amasra temiz kömür kül dışı ve kül verimi tablosu

Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Ağırlık (%)	Kül (%)	İçerik	Kümülatif			Kül Dışı Verim (%)	Kül Verimi (%)
				Ağ. (%)	İçerik	Kül (%)		
	M	K	M*K	$\sum M\downarrow$	$\sum M\downarrow *K\downarrow$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,3 yüzen	23,75	4,2	99,8	23,75	99,8	4,20	25,35	1,77
1,3-1,40	26,25	6,3	165,4	50,00	265,1	5,30	52,71	4,69
1,40-1,50	15,00	6,6	99,0	65,00	364,1	5,60	68,31	6,45
1,50-1,60	7,50	9,47	71,0	72,50	435,2	6,00	75,87	7,71
1,60-1,70	8,75	15,29	133,8	81,25	568,9	7,00	84,12	10,07
1,70-1,80	1,25	33,4	41,8	82,50	610,7	7,40	85,05	10,81
1,8 batan	17,50	71,17	1.245,5	100,00	1.856,2	18,56	90,67	32,87
<b>TOPLAM</b>	<b>100</b>	<b>18,56</b>	<b>1.856</b>					

Şekilden temiz kömür kalitesi kül dışı malzeme ile külü oluşturan malzeme eğrileri olan GH ve GI eğrileri ile temsil edilmektedir. Temiz kömür miktarı GHI alanı ile temsil edilmektedir. AEF alanı ile GJK alanı arasındaki herhangi bir fark



temiz kömürün artığa karışmasından ve JHIK alanı ise artığın temiz kömüre karışmasından kaynaklanmaktadır. Bu yüzden Şekil 5.31'deki AEF alanı ile Şekil 5.32'deki GHI alanları arasındaki fark temiz kömürde olması gereken miktarın artıkta, JHIK alanı ise artıkta olması gereken miktarında temiz kömürde olması nedeniyle oluşmaktadır. Bu iki tip yer değiştirme hatalı yer değiştirme 1 ve hatalı yer değiştirme 2 olarak adlandırılabilir. Bu formüller aşağıdaki şekilde yazılabilir.



Şekil 5.32 -1 mm Amasra temiz kömür kül ve kül dışı verim eğrisi

$$\text{Hatalı yer değiştirme 1} = (\text{Alan AEF} - \text{alanGJK}) / \text{alan AEF}$$

$$\text{Hatalı yer değiştirme 2} = (\text{Alan GHI} - \text{alanGJK}) / \text{alan EFC}$$

Her iki tip hatalı yer değiştirmenin hesaplanan değerleri 0'dan 1'e kadar değişmektedir. Her iki değer toplam değerleri de 0'dan 1'e kadar değişmektedir. Çünkü hatalı yer değiştirme değeri 1 iken diğer değer 0 olmaktadır. Her iki yer değiştirme miktarı 0 ise ekipmanın optimal şartlarda çalıştığı kabul edilir. Tersine ekipmanda herhangi bir ayırım gerçekleşmiyor ise bu değer 1 olacaktır. Bu nedenle her iki hatalı yer değiştirmeleri değerleri herhangi bir graviteye dayalı ayırım yapan

kömür yıkama ekipmanlarının performanslarının değerlendirilmesinde performans kriteri olarak değerlendirilebilir.

Alan hesabının yapılabilmesi için Şekil 5.31'deki eğrileri 3. Dereceden polinom ile ifade edilmek istendiğinde ADC eğrisi  $y_1$  ve ABC eğrisi  $y_2$  olarak aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$y_1 = -127,52x^3 + 86,258x^2 + 141,03x + 0,29256,$$

$$y_2 = 219,79x^3 - 164,74x^2 + 45,421x - 0,58304,$$

AEF alanını hesaplamak için ayırma sınır yoğunluğu olan  $1,68 \text{ g/cm}^3$  yoğunlukta teorik olarak elde edilebilecek % 58 oranı sınır değer olarak kullanılarak 0 ile 0.58 aralığında iki eğrinin integrali arasındaki fark olan AEF alanı

$$\begin{aligned} & \int_0^{0,58} (-127,52 - 219,79)x^3 + (86,258 + 164,74)x^2 + (141,03 - 45,425)x + (0,29256 + 0,58304) dx \\ &= \frac{-347,31 x^4}{4} + \frac{250,998 x^3}{3} + \frac{95,609 x^2}{2} + 0,8756 x \Big|_0^{0,58} \\ &= \frac{-347,31 (0,58)^4}{4} + \frac{250,998 (0,58)^3}{3} + \frac{95,609 (0,58)^2}{2} + 0,8756 (0,58) \\ &= \frac{-39,3033}{4} + \frac{48,9727}{3} + \frac{32,1628}{2} + 0,5078 \\ &= 23,087 \end{aligned}$$

olarak hesaplanır.

EFC alanı ise 0.58 ile 1 aralığındaki iki eğri arasında kalan alandır.

$$\int_{0,58}^1 (-127,52 - 219,79)x^3 + (86,258 + 164,74)x^2 + (141,03 - 45,425)x + (0,29256 + 0,58304) dx$$

$$= \frac{-347,31 \cdot 1^4}{4} + \frac{250,998 \cdot 1^3}{3} + 0,8756 \cdot (1) - (23,087)$$

$$= -86,8275 + 83,666 + 47,8045 + 0,8756 - 23,087 = 22,4309$$

Şekil 5.31'deki eğriler Microstation v8i bilgisayar programı kullanılarak çizilmiştir. Şekildeki rakamlar bu program ile elde edilen alanları göstermekte olup hesapla bulunan alanlarla karşılaştırma yapmak için belirtilmiştir.

Şekil 5.32'deki eğriler 3. dereceden polinom olarak ifade edildiğinde GJH eğrisi  $y_3$  ve GKI eğrisi  $y_4$  olarak gösterilirse

$$y_3 = -225.78x^3 + 161.85x^2 + 128.27x + 0.38057$$

$$y_4 = 408.99x^3 - 308.94x^2 + 68.291x - 0.69517,$$

olarak ifade edilir. GJK alanını bulmak  $y_3$  ve  $y_4$  denklemlerinin 0 ile 0.58 aralığında integrali alınarak

$$\int_0^{0.58} \left( (-225.78x^3 + 161.85x^2 + 128.27x + 0.38057) - (408.99x^3 - 308.94x^2 + 68.291x - 0.69517) \right) dx = 23.37$$

JKIH alanı 0.58 ile 0.68 aralığındaki  $y_3$  ve  $y_4$  denklemlerinin integralleri farkıdır.

$$\int_{0.58}^{0.68} \left( (-225.78x^3 + 161.85x^2 + 128.27x + 0.38057) - (408.99x^3 - 308.94x^2 + 68.291x - 0.69517) \right) dx = 6.64$$

Hatalı yer değiştirme 1 = (Alan AEF - alan GJK) / alan AEF

Hatalı yer değiştirme 1 = (23.088 - 23.37) / 23.088 = 0

Hatalı yer değiştirme 2 = ((23.37 + 6.64) - 23.37) / 22.43

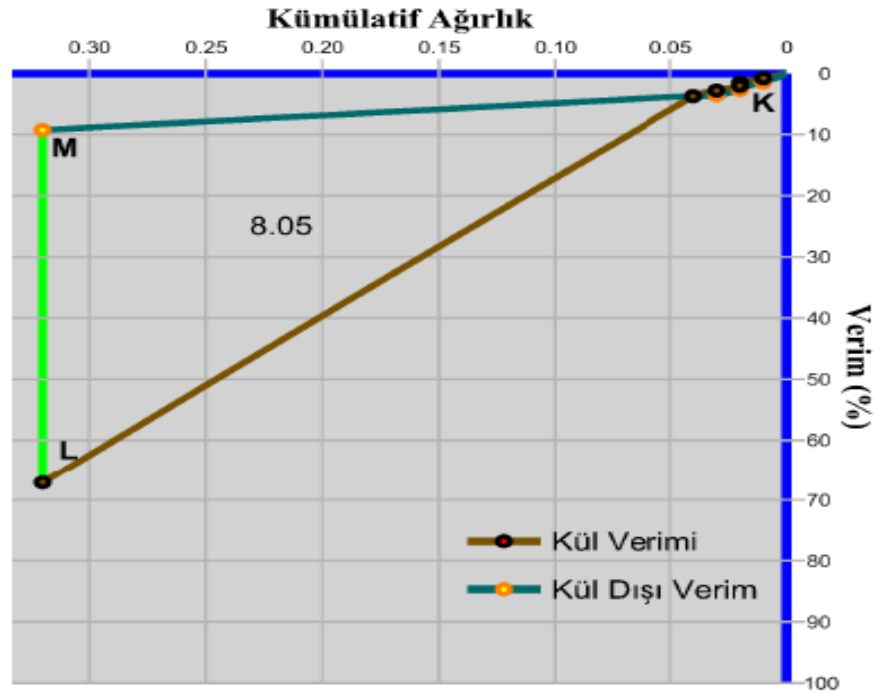
Hatalı yer değiştirme 2 = 0,29 olarak hesaplanmıştır.

Buradan bu ayırma yoğunluğunda artıkta temiz kömür kaçağının çok az olduğu, temiz kömür içerisinde ise kül oranı yüksek malzeme bulunduğu görülmektedir. Daha temiz küllü ürün elde edilmesi için işletme şartlarında ve spiralde gerekli değişikliklerin yapılması gereklidir.

Ayrıca % 25 katı oranındaki spiral testlerinden elde edilen artık ve ara ürünün birleştirilerek yüzdürme-batırma testleri yapılmıştır. Yukarıda belirtilen formüllere göre hesaplanmış kül ve kül dışı verimleri Tablo 5.26 ve Şekil 5.33’de sunulmaktadır

Tablo 5.26 -1mm Amasra artık kül dışı ve kül verimi tablosu

Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Ağırlık (%)	Kül (%)	İçerik	Kümülatif			Kül Dışı Verim (%)	Kül Verimi (%)
				Ağ. (%)	İçerik	Kül (%)		
	M	K	M*K	$\sum M\downarrow$	$\sum M\downarrow *K\downarrow$			
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
1,3 yüzen	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,3-1,40	3,80	25	95,0	3,80	95,0	25,00	1,47	0,78
1,40-1,50	2,57	34,93	89,8	6,37	184,8	29,01	2,33	1,51
1,50-1,60	1,32	35,92	47,4	7,69	232,2	30,19	2,76	1,90
1,60-1,70	2,63	46,52	122,3	10,32	354,5	34,35	3,49	2,90
1,70-1,80	1,33	85,43	113,6	11,65	468,2	40,18	3,59	3,83
1,8 batan	88,35	87,54	7.734,2	100,00	8.202	82,02	9,26	67,13
<b>TOPLAM</b>	<b>100</b>	<b>82,02</b>	<b>8.202</b>					



Şekil 5.33 -1 mm Amasra kömürü artık kül ve kül dışı verim eğrisi

Tablo 5.27'de -1mm boyutundaki kömürlerin spiral ile zenginleştirilmesi sonuçları verilmektedir.

Tablo 5.27 -1mm Amasra kömürü spiral zenginleştirilmesi sonuçları

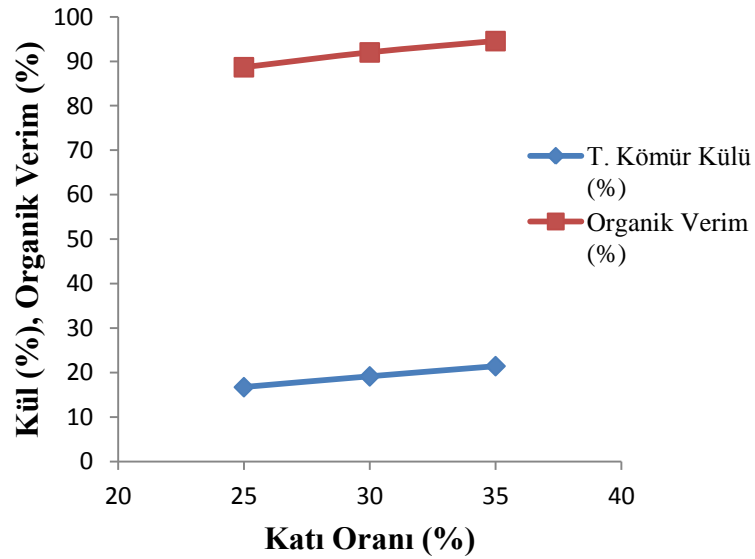
Ayırma Yoğunluğu (SG 50)	Hata Faktörü (Ep)	Yıkanabilirlik İndeksi (CI)	Hata Alanı (Aer)	Hatalı Yer Değişirme 1	Hatalı Yer Değişirme 2
1,68	0,10	0,31	9,08	0	0,29

5.2.2.1.2 1- 0,15 mm Amasra Kömürü Spiral Deneyleri. Spiral optimum verimde çalışması için 60 L su ile çalıştırılmıştır. Kullanılan su pompasının hızı ise 9 m/sn'dir. 1-0,15 mm boyutundaki kömür numuneleri kullanılarak, % 25, % 30 ve % 35 katı-sıvı oranında deneyler yapılmıştır. Spiralden temiz kömür, ara ürün ve artık olmak üzere üç ürün elde edilmiştir.

Tablo 5.28 1 - 0,15 mm Amasra kömürü değişik katı oranlarında spiral deneyi sonuçları

Katı Oranı (%)		Ağırlık (%)	Kül (%)	Organik Verim (%)
25	Temiz Kömür	70,45	16,72	88,67
	Ara Ürün	6,12	60,9	3,62
	Artık	23,43	78,23	7,71
	<b>Toplam</b>	<b>100</b>	<b>33,84</b>	<b>100</b>
30	Temiz Kömür	76,79	19,15	92,01
	Ara Ürün	5,99	66,45	2,98
	Artık	17,22	80,34	5,02
	<b>Toplam</b>	<b>100</b>	<b>32,52</b>	<b>100</b>
35	Temiz Kömür	79,80	21,45	94,55
	Ara Ürün	5,90	76,92	2,05
	Artık	14,30	84,26	3,39
	<b>Toplam</b>	<b>100</b>	<b>33,70</b>	<b>100</b>

25 katı oranında besleme malının % 70,45'i temiz kömür olarak elde edilmiş olup kül oranı % 16,72'dir. Ara ürün miktarı ise % 6,12 olup kül oranı % 60,09 dur.



Şekil 5.34 1- 0,15 mm Amasra kömürü spiral uygulaması temiz kömür kül ve organik verim grafiği

Şekil 5.34' den de görüleceği üzere % 25, % 30 ve % 35 katı oranlarında organik verim oldukça yüksek olup sırasıyla % 88,67, % 92,01 ve % 94,55 olmuştur. %25

katı oranında elde edilen temiz kömür ve artık ürünleri üzerinde yoğunluk analizi yapılmıştır. Deney sonuçları Tablo 5.29 'da verilmektedir.

Tablo 5.29 1 - 0,15 mm Amasra kömürü spiral çıkışı temiz kömür yüzdürme-batırma analizi sonuçları

Yoğunluk	Ortalama yoğunluk	Ağırlık	Kül	Kümülatif Ağırlık	Kümülatif Kül
(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(%)
1,30 yüzen	1,25	28,25	3,16	28,25	3,16
1,30 - 1,40	1,35	35,39	5,34	63,65	4,37
1,40 - 1,50	1,45	14,55	17,33	78,19	6,78
1,50 - 1,60	1,55	9,13	34,71	87,32	9,70
1,60 - 1,70	1,65	1,48	45,78	88,80	10,30
1,70 - 1,80	1,75	2,65	57,53	91,45	11,67
1,8 batan	2,25	8,55	70,75	100,00	16,72
<b>Toplam</b>		<b>100</b>			

1,3 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta yüzen kömür miktarı % 28,25 olup kül oranı % 3,16 dır. Bunun nedeni daha önceki bölümde belirtildiği gibi düşük yoğunluklu (1,1-1,2) vitrendir. Deneylerde elde edilen ara ürün ve artık miktarları birleştirilerek yoğunluk analizi yapılmıştır. Yüzdürme-batırma analizi sonuçları Tablo 5.30'da verilmektedir.

Tablo 5.30 1- 0,15 mm Amasra kömürü spiral çıkışı ara ürün ve artık bileşimi yüzdürme-batırma analizi sonuçları

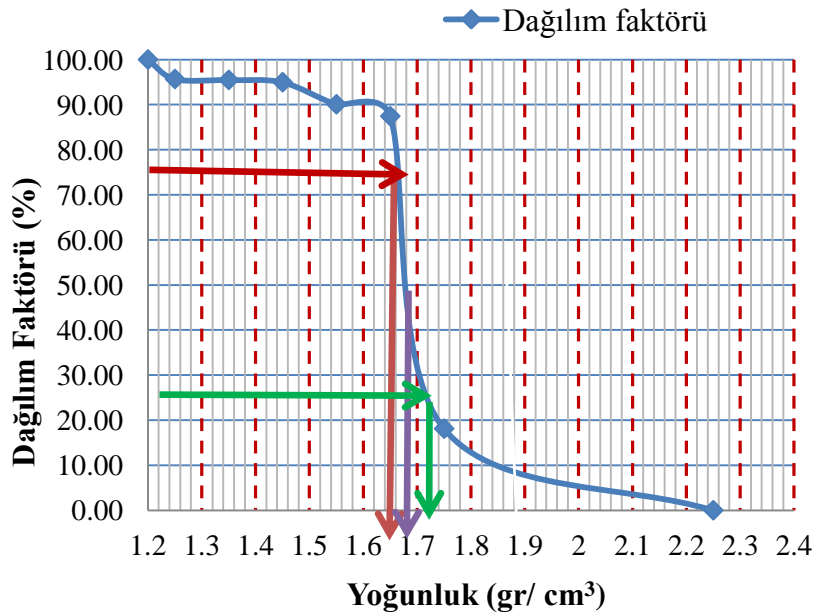
Yoğunluk	Ortalama yoğunluk	Ağırlık	Kül	Kümülatif Ağırlık	Kümülatif Kül
(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(%)
1,30 yüzen	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00
1,30 - 1,40	1,35	3,81	19,56	3,81	19,56
1,40 - 1,50	1,45	1,64	29,14	5,45	22,45
1,50 - 1,60	1,55	1,15	40,88	6,60	25,67
1,60 - 1,70	1,65	0,39	60,45	6,99	27,60
1,70 - 1,80	1,75	0,91	61,07	7,90	31,45
1,8 batan	2,25	92,10	78,35	100,00	74,64
<b>Toplam</b>		<b>100,00</b>			

1,3 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta besleme malının tamamı yüzen ürün içerisinde. 1,30-1,40 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk aralığında artığın % 3,81'i % 19,56 küldedir. Bu yoğunluktan sonra kül oranı artarak 1,70-1,80 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk aralığında % 61,07'ye yükselmektedir.

Ayırım hassasiyetinin tespit edilmesi amacıyla temiz kömür ve artık ile yapılan yüzdürme-batırma sonuçları birleştirilerek Tablo 5.31’de ve elde edilen dağılım eğrisi Şekil 5.35’ de verilmektedir.

Tablo 5.31 1- 0,15 mm Amasra kömürü birleştirilmiş yoğunluk tablosu

Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Besleme Malı		Temiz kömür		Artık		Besleme Malına Göre Hesapla		Besleme Malı Hesapla	Dağılım Faktörü
	Ağ.	Kül	Ağ.	Kül	Ağ.	Kül	Temiz Kömür	Artık		
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1,3 yüzen	19,90	3,16	28,25	3,16	0	0	19,90	0,00	19,90	100,00
1,3-1,4	26,06	5,95	35,39	5,34	3,81	19,56	24,93	1,13	26,06	95,68
1,4-1,5	10,73	17,86	14,55	17,33	1,64	29,14	10,25	0,49	10,73	95,47
1,5-1,6	6,77	35,02	9,13	34,71	1,15	40,88	6,43	0,34	6,77	94,97
1,6-1,7	1,15	47,24	1,48	45,78	0,39	60,45	1,04	0,11	1,15	90,07
1,7-1,8	2,14	57,98	2,65	57,53	0,91	61,07	1,87	0,27	2,14	87,43
1,8 batan	33,24	76,97	8,55	70,75	92,10	78,35	6,02	27,22	33,24	18,11
<b>TOPLAM</b>	<b>100</b>	<b>33,84</b>	<b>100</b>	<b>16,72</b>	<b>100</b>	<b>74,64</b>	<b>70,44</b>	<b>29,56</b>	<b>100</b>	



Şekil 5.35 1- 0,15 mm Amasra ince kömürü dağılım faktörü eğrisi

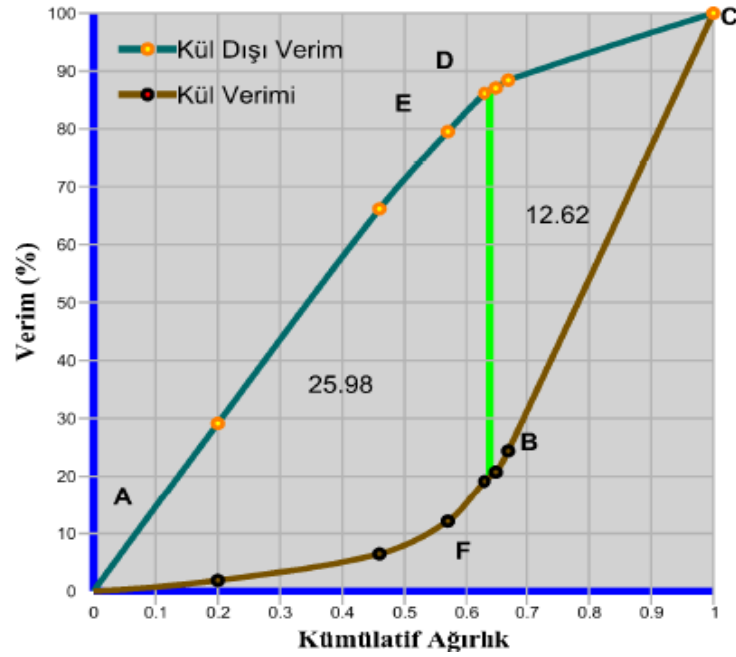


Spiral ile % 25 katı oranında yapılan deneylerde ayırma yoğunluğu (SG (50))  $1,68 \text{ g/cm}^3$  olarak bulunmuştur. 1 - 0,15 mm tüvenan kömürlerin kül ve kül dışı verim değerleri Tablo 5.32'de ve Şekil 5.36'da sunulmaktadır.

Tablo 5.32 1- 0,15 mm Amasra kömürü kül dışı ve kül verimi tablosu

Yoğunluk ( $\text{g/cm}^3$ )	Ağırlık (%)	Kül (%)	İçerik	Kümülatif			Kül Dışı Verim (%)	Kül Verimi (%)
				Ağ. (%)	İçerik	Kül (%)		
	M	K	M*K	$\sum M\downarrow$	$\sum M\downarrow *K\downarrow$			
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
1,3 yüzen	19,90	3,16	62,9	19,90	62,9	3,16	29,13	1,86
1,3-1,40	26,06	5,95	155,1	45,96	217,9	4,74	66,17	6,44
1,40-1,50	10,73	17,86	191,6	56,69	409,6	7,22	79,50	12,10
1,50-1,60	6,77	35,02	237,1	63,46	646,7	10,19	86,14	19,11
1,60-1,70	1,15	47,24	54,3	64,61	701,0	10,85	87,06	20,71
1,70-1,80	2,14	57,98	124,1	66,75	825,1	12,36	88,42	24,38
1,8 batan	33,25	76,97	2.559,3	100,00	3.384,3	33,84	100,00	100,00
<b>TOPLAM</b>	<b>100,00</b>	<b>33,84</b>	<b>3.384,3</b>					

Her iki eğriyi kesen EF dikmesi ayırma sınır yoğunluğu olan  $1,68 \text{ g/cm}^3$  yoğunlukta teorik olarak elde edilebilecek oranı göstermektedir.  $1,68 \text{ g/cm}^3$  ayırma yoğunluğunda teorik verim % 64 (EF doğrusu) ve temizkömür kül oranı % 10,60 dır.



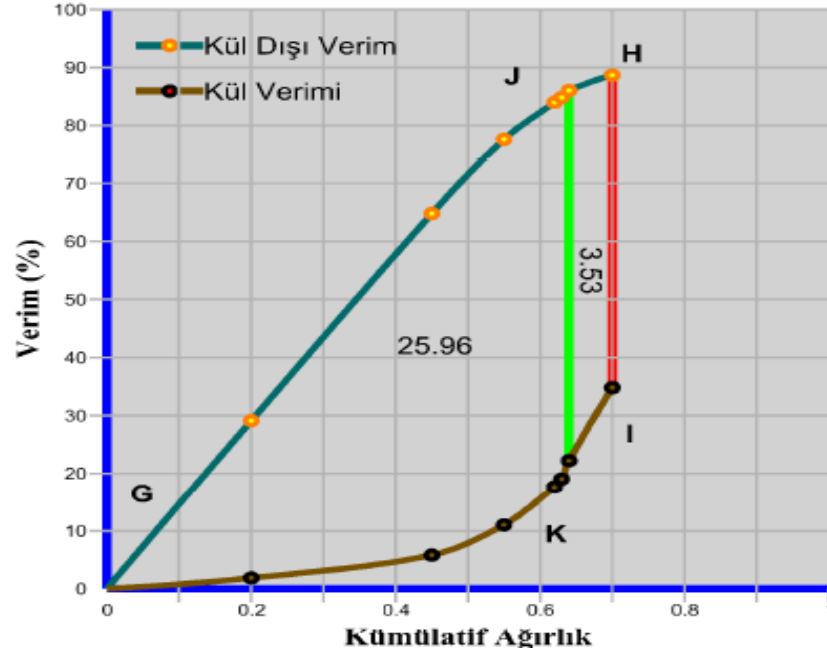
Şekil 5.36 1- 0,15 mm Amasra tüvenan kömürü kül ve kül dışı verim eğrisi

Amasra 1- 0,15 mm boyutlu temiz kömürleri kül ve kül dışı verim değerleri Tablo 5.33’de, bu değerler ile çizilen eğriler Şekil 5.37’de sunulmaktadır.

Tablo 5.33 1 - 0,15 mm Amasra temiz kömür kül dışı ve kül verimi tablosu

Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Ağırlık (%)	Kül (%)	İçerik	Kümülatif			Kül Dışı Verim (%)	Kül Verimi (%)
				Ağ. (%)	İçerik	Kül (%)		
	M	K	M*K	$\sum M\downarrow$	$\sum M\downarrow * K\downarrow$			
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
1,3 yüzen	28,25	3,16	89,3	28,25	89,3	3,16	29,13	1,86
1,3-1,40	35,39	5,34	189,0	63,64	278,3	4,37	64,80	5,79
1,40-1,50	14,55	17,33	252,2	78,19	530,4	6,78	77,61	11,04
1,50-1,60	9,13	34,71	316,9	87,32	847,3	9,70	83,96	17,64
1,60-1,70	1,48	45,78	67,8	88,80	915,1	10,30	84,81	19,05
1,70-1,80	2,65	57,53	152,5	91,45	1.067,5	11,67	86,01	22,22
1,8 batan	8,55	70,75	604,9	100,00	1.672,4	16,72	88,68	34,82
<b>TOPLAM</b>	<b>100,00</b>	<b>16,72</b>	<b>1.672,4</b>					

Her iki eğriyi kesen HI dikmesi ayırma işlemi sonucunda elde edilen temiz kömür oranını (%70) göstermektedir.



Şekil 5.37 1- 0,15 mm Amasra temiz kömür kül ve kül dışı verim eğrisi

Alan hesabının yapılabilmesi için Şekil 5.36'daki tüvenan kömür kül ve kül dışı eğrileri 3. Dereceden polinom ile ifade edilmek istendiğinde ADC eğrisi  $y_1$  ve ABC eğrisi  $y_2$  olarak aşağıdaki denklemler elde edilir

$$y_1 = -88.653x^3 + 48.067x^2 + 140.60x - 5.5081 \times 10^{-2},$$

$$y_2 = -46.675x^4 + 264.49x^3 - 146.87x^2 + 29.089x - 0.02121,$$

AEF alanını hesaplamak için ayırma sınır yoğunluğu olan  $1,68 \text{ g/cm}^3$  yoğunlukta teorik olarak elde edilebilecek % 64 oranı sınır değeri olarak kullanılarak 0 ile 0.64 aralığında iki eğrinin integrali arasındaki fark olan AEF alanı;

$$\int_0^{0.64} \left( (-88.653x^3 + 48.067x^2 + 140.60x - 5.5081 \times 10^{-2}) - (-46.675x^4 + 264.49x^3 - 146.87x^2 + 29.089x - 0.02121) \right) dx = 26.039$$

olarak hesaplanır. EFC alanı ise 0.64 ile 1 aralığındaki iki eğri arasında kalan alandır.

$$\int_{0.64}^1 \left( (-88.653x^3 + 48.067x^2 + 140.60x - 5.5081 \times 10^{-2}) - (-46.675x^4 + 264.49x^3 - 146.87x^2 + 29.089x - 0.02121) \right) dx = 15,710$$

Şekil 5.37' deki eğriler 3. dereceden polinom olarak ifade edildiğinde GJK eğrisi  $y_3$  ve GKI eğrisi  $y_4$  olarak gösterilirse

$$y_3 = -157.94x^3 + 109.11x^2 + 128.27x + 7.8993 \times 10^{-2}$$

$$y_4 = 344.81x^3 - 243.15x^2 + 49.291x - 0.22043,$$

olarak ifade edilir. GJK alanını bulmak  $y_3$  ve  $y_4$  denklemlerinin 0 ile 0.64 aralığında integrali alınarak

$$\int_0^{0.64} \left( (-157.94x^3 + 109.11x^2 + 128.27x + 7.8993 \times 10^{-2}) - (344.81x^3 - 243.15x^2 + 49.291x - 0.22043) \right) dx = 26,061$$

hesaplanır. JKIH alanı 0.64 ile 0.70 aralığındaki  $y_3$  ve  $y_4$  denklemlerinin integralleri farkıdır.

$$\int_{0.64}^{0.70} (-157.94x^3 + 109.11x^2 + 128.27x + 7.8993 \times 10^{-2} - (344.81x^3 - 243.15x^2 + 49.291x - 0.22043)) dx = 3,60$$

$$\text{Hatalı yer değiştirme 1} = (\text{Alan AEF} - \text{alan GJK}) / \text{alan AEF}$$

$$\text{Hatalı yer değiştirme 1} = (26.039 - 26.061) / 26.039 = 0$$

$$\text{Hatalı yer değiştirme 2} = ((26,061 + 3,60) - 26,061) / 15,71 = 0,23$$

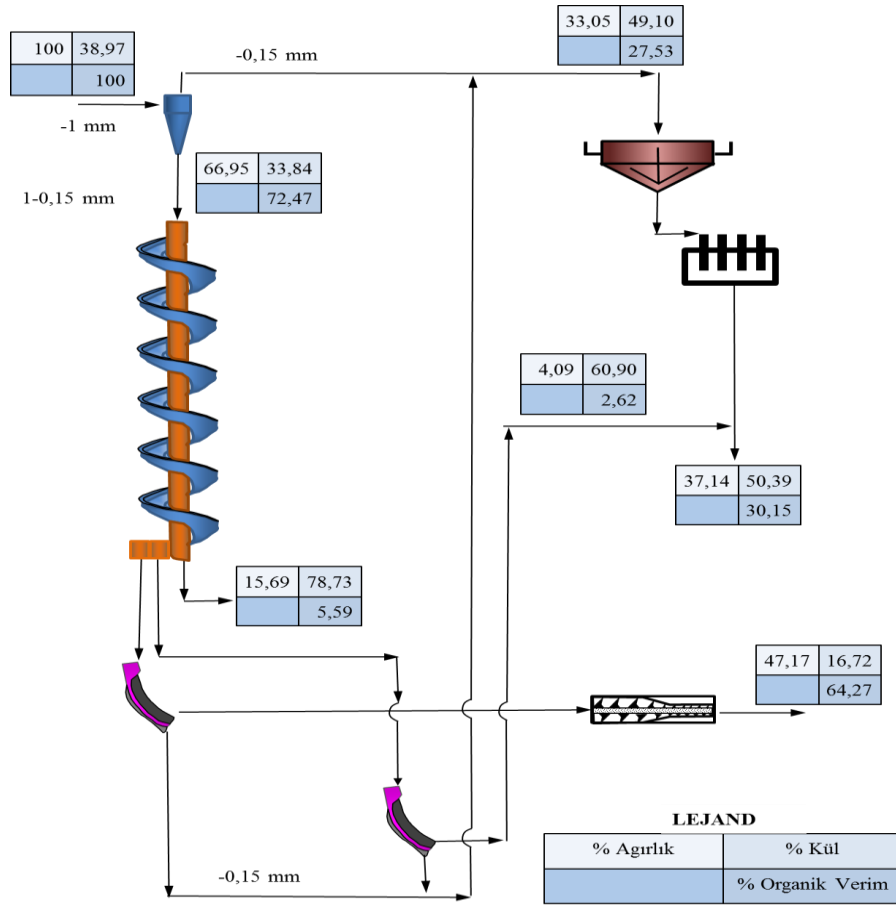
olarak hesaplanmıştır. Tablo 5.34'de Amasra 1-0,15 mm boyutlu ince kömürlerin spiral zenginleştirmesi ile yapılan deney sonuçlarının zeti verilmektedir.

Tablo 5.34 1 - 0,15mm Amasra kömürü spiral ile zenginleştirme sonuçları

<b>Ayrırma Yoğunluğu (SG 50)</b>	<b>Hata Faktörü (Ep)</b>	<b>Yıkabilirlik İndeksi (CI)</b>	<b>Hata Alanı (Aer)</b>	<b>Hatalı Yer Değiştirme 1</b>	<b>Hatalı Yer Değiştirme 2</b>
1,68	0,06	0,31	4,99	0	0,23

Amasra 1-0,15 mm boyutlu ince kömürleri üzerinde tek kademeli spiral kullanarak yapılan deneyler sonucunda -1 mm kömürlerin değerlendirilmesi için oluşturulan akım şeması Şekil 5.38'de verilmektedir. Buna göre -1 mm ince kömürler siklonlarda sınıflandırılarak 1-0,15 mm ve -0,15 mm olmak üzere iki fraksiyona ayrılmaktadır. 1- 0,15 mm ince kömürler spiralde zenginleştirilerek % 47,17 oranında ve % 16,72 külde temiz kömür elde edilmektedir. % 4,09 oranında ara ürün % 60,9 küllü olarak elde edilmektedir. Artık miktarı ise % 15,68 olup kül oranı % 78,23 tür.

-0,15 mm boyutlu kömürler filtrasyon devresinde susuzlandırıldıktan sonra 1 - 0,15 mm boyutlu ara ürün ile homojen şekilde karıştırılarak % 37,14 oranında ve % 50,09 külde termik santral yakıtı elde edilmektedir. Buna göre elde edilen ürünler Tablo 5.35 de verilmektedir.



Şekil 5.38 Amasra -1 mm kömürü spiral akım şeması

Tablo 5.35 -1mm Amasra kömürü ürün miktarları ve kül oranları

	<b>Ağırlık (%)</b>	<b>Kül (%)</b>
Toplam satılabilir kömür	84,31	31,56
Temiz kömür	47,17	16,72
-0,15 mm ara ürün	4,09	60,00
Filtrasyon ürünü	33,05	49,10
Artık	15,69	78,23
Toplam	100	38,97

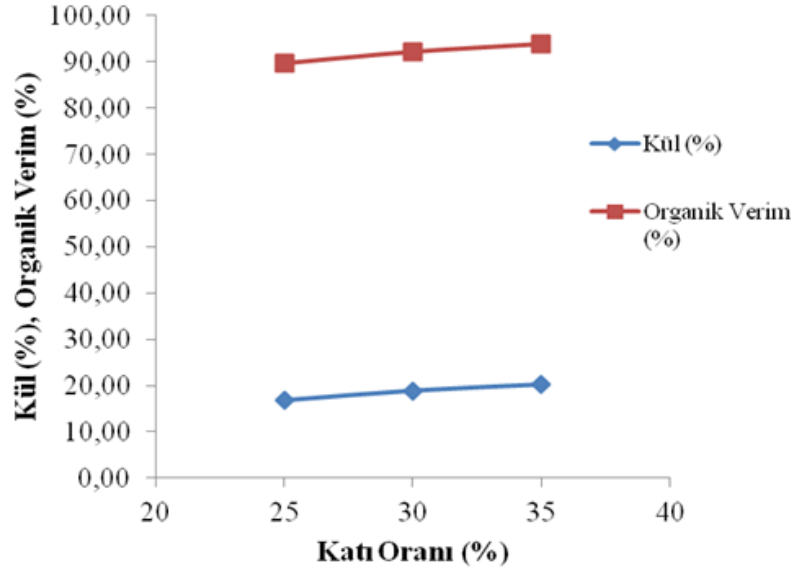
### 5.2.2.2 Karadon Kömürü Spiral Deneyleri

5.2.2.2.1 -1 mm Karadon Kömürü Spiral Deneyleri. Karadon kömürleri ile spiral kullanılarak %25, %30 ve %35 olmak üzere üç farklı katı oranında deneyler yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar Tablo 5.36 ve Şekil 5.39'da verilmektedir.

Tablo 5.36 -1 mm Karadon kömürü değişik katı oranlarında spiral deneyi sonuçları

<b>Katı Oranı (%)</b>		<b>Ağırlık (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Organik Verim (%)</b>
<b>25</b>	<b>Temiz Kömür</b>	71,48	16,92	89,66
	<b>Ara Ürün</b>	1,98	50,49	1,48
	<b>Artık</b>	26,54	77,89	8,86
	<b>Toplam</b>	<b>100</b>	<b>33,77</b>	<b>100</b>
<b>30</b>	<b>Temiz Kömür</b>	75,12	18,89	92,14
	<b>Ara Ürün</b>	2,34	47,85	1,85
	<b>Artık</b>	22,54	82,35	6,02
	<b>Toplam</b>	<b>100</b>	<b>33,87</b>	<b>100</b>
<b>35</b>	<b>Temiz Kömür</b>	77,67	20,16	93,8
	<b>Ara Ürün</b>	2,52	51,78	1,84
	<b>Artık</b>	19,81	85,46	4,36
	<b>Toplam</b>	<b>100</b>	<b>33,89</b>	<b>100</b>

En temiz kömür külü % 25 katı oranında elde edilmiştir. Bu katı oranında besleme malının % 71,48'i temiz kömür olarak elde edilmiş olup kül oranı % 16,92 dir. Ara ürün miktarı ise % 1,98 olup kül oranı % 50,49 dur.



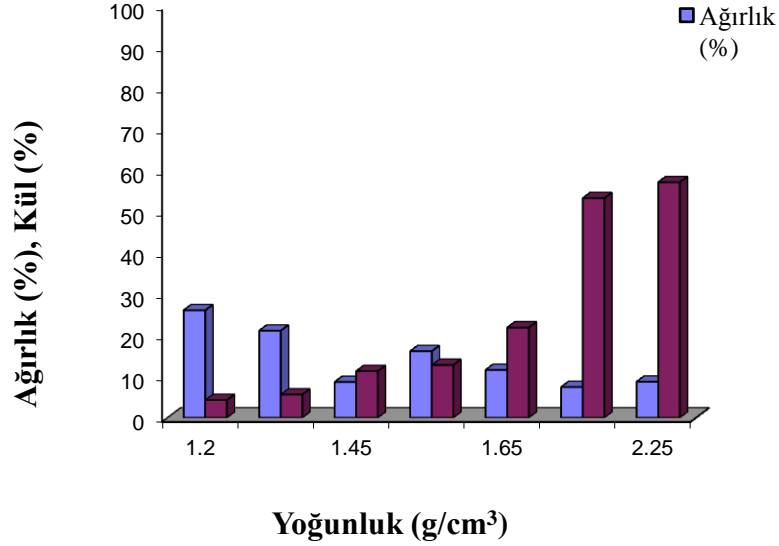
Şekil 5.39 -1 mm Karadon kömürü spiral ürünü kül ve organik verim grafiği

% 25, % 30 ve % 35 katı oranlarında organik verim oldukça yüksek olup sırasıyla % 89,66, % 92,14 ve % 93,80 dir. % 25 katı oranında elde edilen temiz kömür yüzdürme-batırma analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.37 ve Şekil 5.40'da verilmektedir. 1,3 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta yüzen kömür miktarı % 26,12 olup kül oranı oldukça düşüktür (% 4,30).

Tablo 5.37 -1mm Karadon temiz kömür yüzdürme-batırma analizi sonuçları

Yoğunluk	Ortalama yoğunluk	Ağırlık	Kül	Kümülatif Ağırlık	Kümülatif Kül
(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(%)
1,30 yüzen	1,25	26,12	4,30	26,12	4,30
1,30 - 1,40	1,35	21,15	5,64	47,27	4,90
1,40 - 1,50	1,45	8,71	11,33	55,97	5,90
1,50 - 1,60	1,55	16,17	12,82	72,14	7,45
1,60 - 1,70	1,65	11,63	21,93	83,78	9,46
1,70 - 1,80	1,75	7,46	53,35	91,24	13,05
1,8 batan	2,25	8,76	57,22	100,00	16,92
<b>Toplam</b>		<b>100,00</b>			

1,3-1,4 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk aralığında yüzen kömür miktarı %21,15 olup kül oranı % 5,64 dür. En yüksek kül değerleri ise 1,6-1,7 g/cm<sup>3</sup> ve 1,7-1,8 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk aralığında olmuştur.



Şekil 5.40 –1 mm Karadon spiral çıkışı temiz kömür yoğunluk analiz değerleri

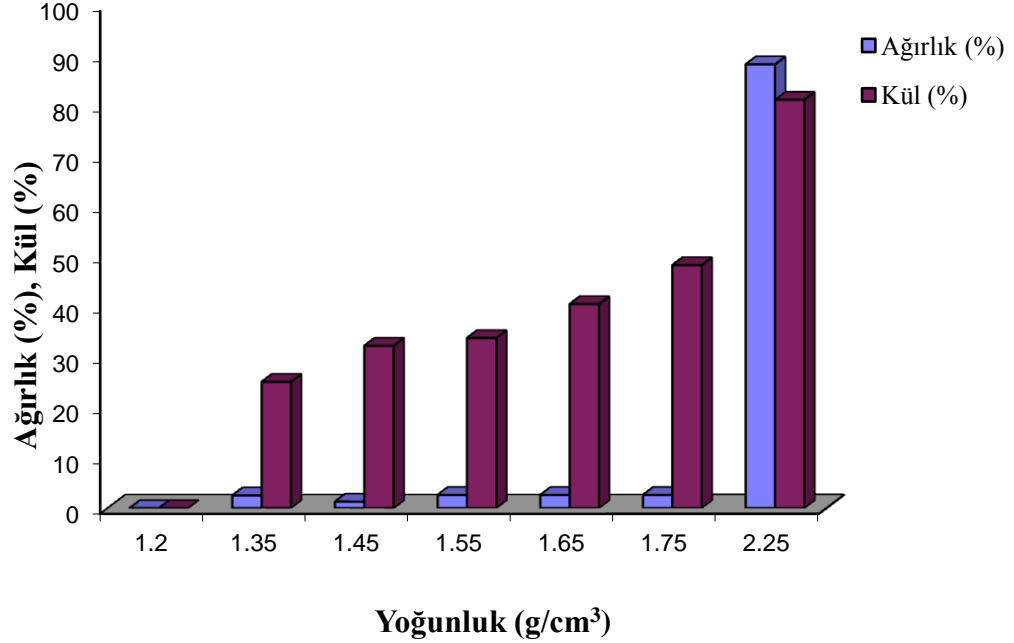
1,45 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta temiz kömürün % 55,97'si % 6 küllü olarak elde edilirken 1,65 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta % 83,78'i % 9,46 küllü elde edilmektedir. Deneylerde elde edilen ara ürün ve artık miktarları birleştirilerek yapılan yüzdürme-batırma sonuçları Tablo 5.38 ve Şekil 5.41'de verilmektedir.

Tablo 5.38 -1mm Karadon spiral çıkışı ara ürün ve artık bileşimi yüzdürme-batırma analizi sonuçları

Yoğunluk aralığı (g/cm <sup>3</sup> )	Ortalama yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Ağırlık (%)	Kül (%)	Kümülatif Ağırlık (%)	Kümülatif Kül (%)
1,30 yüzen	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00
1,30 - 1,40	1,35	2,54	25,13	2,54	25,13
1,40 - 1,50	1,45	1,30	32,30	3,84	27,56
1,50 - 1,60	1,55	2,64	33,85	6,47	30,12
1,60 - 1,70	1,65	2,64	40,59	9,11	33,15
1,70 - 1,80	1,75	2,64	48,35	11,74	36,56
1,8 batan	2,25	88,26	81,22	100	75,98
<b>Toplam</b>		<b>100</b>			



1,3 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta besleme malının tamamı yüzen ürün içerisindedir. 1,40-1,50 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk aralığında artığın % 2,54'ü % 25 küldedir. Bu yoğunluktan sonra kül oranı artarak 1,80 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğun üstünde % 81,31' e yükselmektedir.



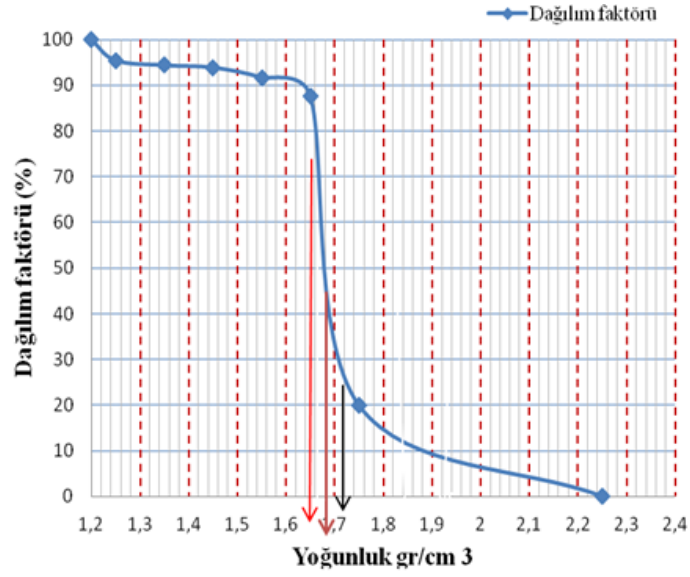
Şekil 5.41 –1 mm Karadon spiral uygulaması temiz kömür yoğunluk analiz değerleri

Temiz kömür ve artık ile yapılan yüzdürme-batırma sonuçları birleştirilerek Tablo 5.39'da verilmektedir. Bu veriler ile çizilen dağılım faktörü Şekil 5.42'de verilmiştir.

Tablo 5.39 -1mm Karadon kömürü birleştirilmiş yoğunluk tablosu

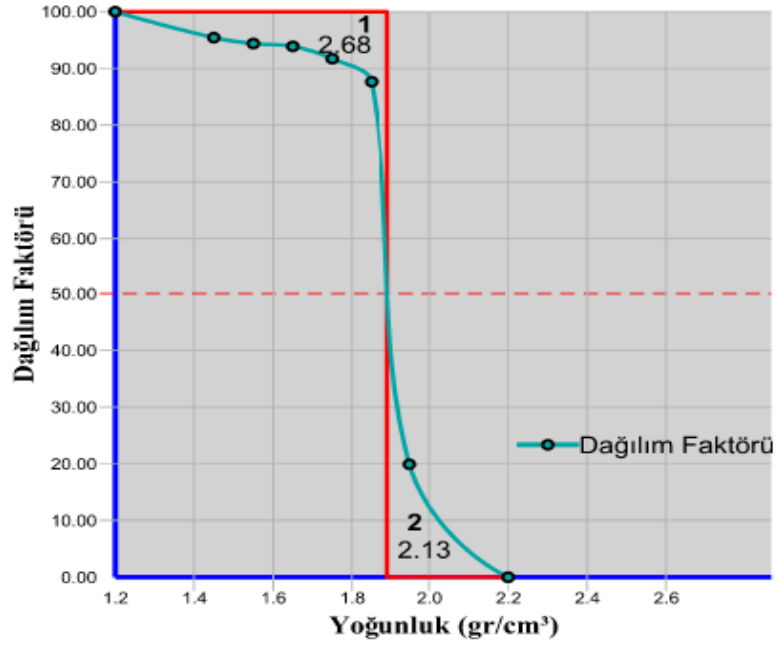
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Besleme Malı		Temiz Kömür		Artık		Besleme Malına Göre Hesapla		Besleme Malı Hesapla	Dağılım Faktörü
	Ağ.	Kül	Ağ.	Kül	Ağ.	Kül	Temiz Kömür	Artık		
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1,3 yüzen	18,67	4,30	26,12	4,30	0	0	18,67	0,00	18,67	100,00
1,3-1,4	15,84	6,53	21,15	5,64	2,54	25,13	15,11	0,72	15,84	95,43
1,4-1,5	6,59	12,51	8,71	11,33	1,30	32,30	6,22	0,37	6,59	94,38
1,5-1,6	12,31	14,10	16,17	12,82	2,64	33,85	11,56	0,75	12,31	93,89
1,6-1,7	9,07	23,47	11,63	21,93	2,64	40,59	8,31	0,75	9,07	91,71
1,7-1,8	6,09	52,73	7,46	53,35	2,64	48,35	5,33	0,75	6,09	87,65
1,8 batan	31,43	76,44	8,76	57,22	88,26	81,22	6,26	25,17	31,43	19,92
<b>TOPLAM</b>	<b>100</b>	<b>33,76</b>	<b>100</b>	<b>16,92</b>	<b>100</b>	<b>75,98</b>	<b>71,48</b>	<b>28,52</b>		

Spiral ile % 25 katı oranında yapılan deneylerde özgül ağırlık kesim noktası (SG 50)  $1,68 \text{ g/cm}^3$  olarak bulunmuştur. Ep değeri 0,05 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.42 -1mm Karadon kömürü dağılım faktörü eğrisi

Yıkanabilirlik indeksi  $CI = 18,64 / 53,41 = 0,35$  olarak hesaplanmıştır. Bölüm 5.3.2.1.1 de yapılan değerlendirme Karadon ince kömürlerinede uygulandığında % 25 katı oranında yapılan deneylerde ayırma yoğunluğu SG(50) alınarak  $1,68 \text{ g/cm}^3$  olarak tespit edilmiş olup ideal tromp eğrisi bu ayırma yoğunluğuna göre çizilmiştir (Şekil 5.43).



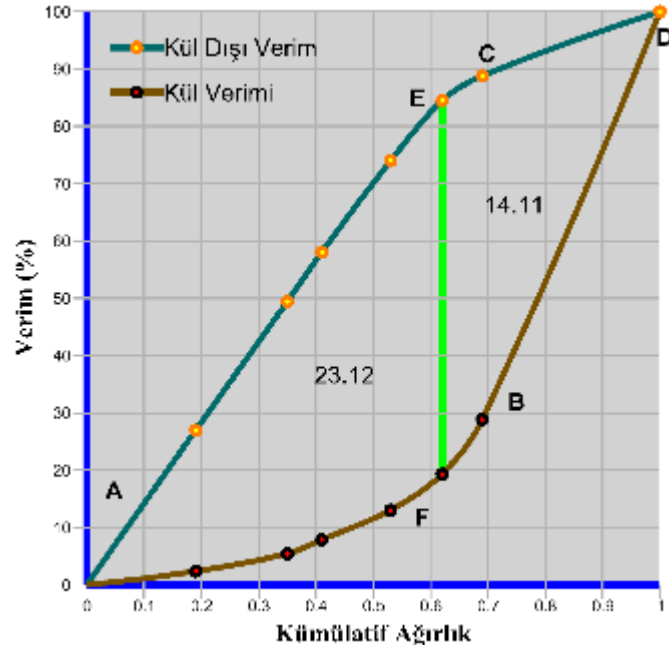
Şekil 5.43 -1mm Karadon kömürü hata alanı hesabı

Şekilden 1 nolu alan 2,68, 2 nolu alan 2,13 ve toplam alan 4,81 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.40 ve Şekil 5.44'de Karadon -1mm tüvenan kömürün yoğunluğa bağlı elde edilen kül ve ağırlık oranları ile yukarıda belirtilen formüllere göre hesaplanmış kül ve kül dışı verimleri sunulmaktadır.

Tablo 5.40 -1mm Karadon tüvenan kömürü kül dışı verim ve kül verimi tablosu

Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Ağırlık (%)	Kül (%)	İçerik	Kümülatif			Kül Dışı Verim (%)	Kül Verimi (%)
				Ağ. (%)	İçerik	Kül (%)		
	M	K	M*K	$\sum M \downarrow$	$\sum M \downarrow * K \downarrow$			
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
1,3 yüzen	18,67	4,30	80,3	18,67	80,3	4,30	26,98	2,38
1,3-1,40	15,84	6,53	103,4	34,51	183,7	5,32	49,33	5,44
1,40-1,50	6,59	12,51	82,5	41,10	266,2	6,48	58,04	7,88
1,50-1,60	12,31	14,10	173,6	53,41	439,8	8,23	74,00	13,03
1,60-1,70	9,07	23,47	212,8	62,48	652,6	10,44	84,48	19,33
1,70-1,80	6,09	52,73	320,9	68,57	973,5	14,20	88,82	28,83
1,8 batan	31,43	76,44	2.402,9	100,00	3.376,4	33,76	100,00	100,00
<b>TOPLAM</b>	<b>100,00</b>	<b>33,76</b>	<b>3.376</b>					

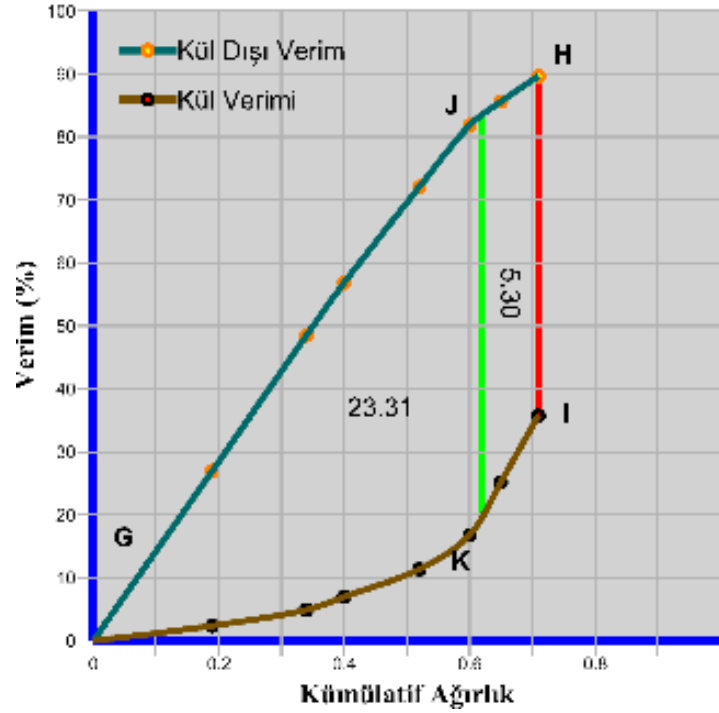


Şekil 5.44 . -1mm Karadon tüvenan kömürü kül ve kül dışı verim grafiği

% 25 katı oranında yapılan spiral deneylerinde ayırma yoğunluğu SG(50) 1,68 g/cm<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. 1,68 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta teorik verim % 62 ve kül oranı % 10,20 dir. Temiz kömürün yoğunluğa bağlı elde edilen kül ve ağırlık oranları ile hesaplanan kül ve kül dışı verimleri Tablo 5.41’de sunulmaktadır.

Tablo 5.41 Karadon -1mm temiz kömür kül dışı ve kül verimi tablosu

Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Ağırlık (%)	Kül (%)	İçerik	Kümülatif			Kül Dışı Verim (%)	Kül Verimi (%)
				Ağ. (%)	İçerik	Kül (%)		
	M	K	M*K	$\sum M\downarrow$	$\sum M\downarrow * K\downarrow$	$\sum K\downarrow$		
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
1,3 yüzen	26,12	4,30	112,3	26,12	112,3	4,30	26,98	2,37
1,3-1,40	21,15	5,64	119,3	47,27	231,6	4,90	48,51	4,89
1,40-1,50	8,71	11,33	98,6	55,97	330,2	5,90	56,84	6,98
1,50-1,60	16,17	12,82	207,2	72,14	537,5	7,45	72,06	11,36
1,60-1,70	11,63	21,93	255,0	83,78	792,5	9,46	81,86	16,75
1,70-1,80	7,46	53,35	398,1	91,24	1.190,7	13,05	85,61	25,16
1,8 batan	8,76	57,22	501,3	100,00	1.692,0	16,92	89,66	35,76
<b>TOPLAM</b>	<b>100</b>	<b>16,92</b>	<b>1.692</b>					



Şekil 5.45 -1 mm Karadon spiral çıkışı temiz kömür kül ve kül dışı verim eğrisi

Alan hesabının yapılabilmesi için Şekil 5.44'deki tüvenan kömür kül ve kül dışı eğrileri 3. Dereceden polinom ile ifade edilmek istendiğinde ADC eğrisi  $y_1$  ve ABC eğrisi  $y_2$  olarak aşağıdaki denklemler elde edilir

$$y_1 = -95.269x^3 + 63.127x^2 + 132.06x + 1.7012 \times 10^{-2},$$

$$y_2 = 173.74x^3 - 105.02x^2 + 31.438x - 0.22576,$$

AEF alanını hesaplamak için ayırma sınır yoğunluğu olan  $1,68 \text{ g/cm}^3$  yoğunlukta teorik olarak elde edilebilecek % 62 oranı sınır değeri olarak kullanılarak 0 ile 0.62 aralığında iki eğrinin integrali arasındaki fark olan AEF alanı:

$$\int_0^{0.62} ((-95.269x^3 + 63.127x^2 + 132.06x + 1.7012 \times 10^{-2}) - (173.74x^3 - 105.02x^2 + 31.438x - 0.22576)) dx = 22.91$$

olarak hesaplanır. EFC alanı ise 0.62 ile 1 aralığındaki iki eğri arasında kalan alandır.

$$\int_{0.62}^1 ((-95.269x^3 + 63.127x^2 + 132.06x + 1.7012 \times 10^{-2}) - (173.74x^3 - 105.02x^2 + 31.438x - 0.22576)) dx = 16,44$$

Şekil 5.45' deki eğriler 3. dereceden polinom olarak ifade edildiğinde GJH eğrisi  $y_3$  ve GKI eğrisi  $y_4$  olarak gösterilirse

$$y_3 = -124.21x^3 + 86.519x^2 + 127.77x + 8.9600 \times 10^{-2},$$

$$y_4 = 268.63x^3 - 185.28x^2 + 45.923x - 0.3028,$$

GJK alanını bulmak  $y_3$  ve  $y_4$  denklemlerinin 0 ile 0.64 aralığında integrali alınarak

$$\int_0^{0.62} ((-124.21x^3 + 86.519x^2 + 127.77x + 8.9600 \times 10^{-2}) - (268.63x^3 - 185.28x^2 + 45.923x - 0.3028)) dx = 23,055$$

JKIH alanı 0.62 ile 0.71 aralığındaki  $y_3$  ve  $y_4$  denklemlerinin integralleri farkıdır.

$$\int_{0.62}^{0.71} ((-124.21x^3 + 86.519x^2 + 127.77x + 8.9600 \times 10^{-2}) - (268.63x^3 - 185.28x^2 + 45.923x - 0.3028)) dx = 5,32$$

Hatalı yer değiştirme 1 = (Alan AEF - alan GJK) / alan AEF

Hatalı yer değiştirme 1 = (22,91 - 23,05) / 22,91 = 0 olarak hesaplanmıştır.

Hatalı yer değiştirme 2 = ((23,05 + 5,32) - 23,05) / 16,44

Hatalı yer değiştirme 2 = 0,32 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.42 - 1mm Karadon kömürü spiral sonuçları değerlendirme tablosu

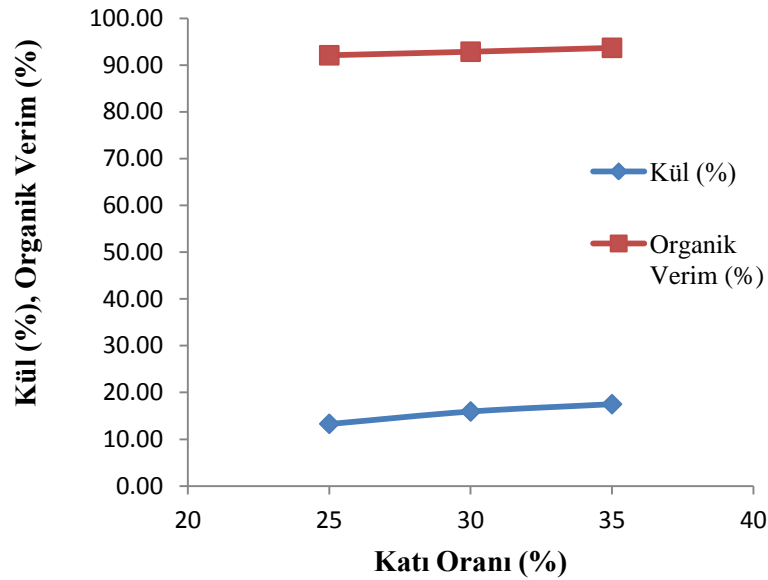
Ayırma Yoğunluğu (SG 50)	Hata Faktörü (Ep)	Yıkanabilirlik İndeksi (CI)	Hata Alanı (Aer)	Hatalı Yer Değiştirme 1	Hatalı Yer Değiştirme 2
1,68	0,05	0,35	4,81	0	0,32

5.2.2.2.2 1-0,15 mm Karadon Kömürü İle Yapılan Spiral Deneyleri. Karadon 1 - 0,15 mm ince kömür ile değişik katı oranlarında elde edilen spiral sonuçları Tablo

5.43 ve Şekil 5.46’da verilmektedir. % 25 katı oranında besleme malının % 75,67’si temiz kömür olarak elde edilmiş olup kül oranı % 13,28 dir.

Tablo 5.43 1- 0,15 mm Karadon kömürü değişik katı oranlarında spiral sonuçları

Katı Oranı (%)		Ağırlık (%)	Kül (%)	Organik Verim (%)
25	Temiz Kömür	75,67	13,28	92,07
	Ara Ürün	7,09	68,45	3,14
	Artık	17,24	80,19	4,79
	<b>Toplam</b>	<b>100</b>	<b>28,73</b>	<b>100</b>
30	Temiz Kömür	78,39	15,92	92,82
	Ara Ürün	6,66	69,13	2,90
	Artık	14,95	79,67	4,28
	<b>Toplam</b>	<b>100</b>	<b>28,99</b>	<b>100</b>
35	Temiz Kömür	81,12	17,48	93,66
	Ara Ürün	6,34	69,78	2,68
	Artık	12,54	79,14	3,66
	<b>Toplam</b>	<b>100</b>	<b>28,53</b>	<b>100</b>



Şekil 5.46 1- 0,15 mm Karadon spiral temiz kömür kül ve organik verim grafiği

% 25 katı oranında elde edilen temiz kömür ve artık ürünleri üzerinde yüzdürme-batırma testleri yapılmıştır (Tablo 5.44).

Tablo 5.44 1 - 0,15 mm Karadon spiral çıkışı temiz kömür yüzdürme-batırma analizi sonuçları

Yoğunluk	Ortalama yoğunluk	Ağırlık	Kül	Kümülatif Ağırlık	Kümülatif Kül
(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(%)
1,30 batan	1,25	42,08	3,12	42,08	3,12
1,30 - 1,40	1,35	27,35	14,11	69,42	7,45
1,40 - 1,50	1,45	10,29	17,29	79,71	8,72
1,50 - 1,60	1,55	4,52	19,89	84,23	9,32
1,60 - 1,70	1,65	6,73	31,35	90,97	10,95
1,70 - 1,80	1,75	2,52	33,54	93,49	11,56
1,8 batan	2,25	6,51	37,99	100,00	13,28
<b>Toplam</b>		<b>100,00</b>			

1,3 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta yüzen kömür miktarı % 42,08 olup kül oranı % 3,12 dir. Deneyle elde edilen ara ürün ve artık miktarları birleştirilerek yoğunluk analizi yapılmıştır. Elde edilen yüzdürme-batırma analizi sonuçları Tablo 5.45’ de verilmektedir.

Tablo 5.45 1- 0,15 mm Karadon spiral çıkışı ara ürün ve artık bileşimi yüzdürme-batırma analizi sonuçları

Yoğunluk	Ortalama yoğunluk	Ağırlık	Kül	Kümülatif Ağırlık	Kümülatif Kül
(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(%)
1,30 yüzen	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00
1,30 - 1,40	1,35	2,50	26,77	2,50	26,77
1,40 - 1,50	1,45	1,25	29,14	3,75	27,56
1,50 - 1,60	1,55	1,00	49,70	4,75	32,23
1,60 - 1,70	1,65	1,50	50,28	6,25	36,56
1,70 - 1,80	1,75	0,62	63,96	6,87	39,05
1,8 batan	2,25	93,13	79,54	100,00	76,76
<b>Toplam</b>		<b>100,00</b>			

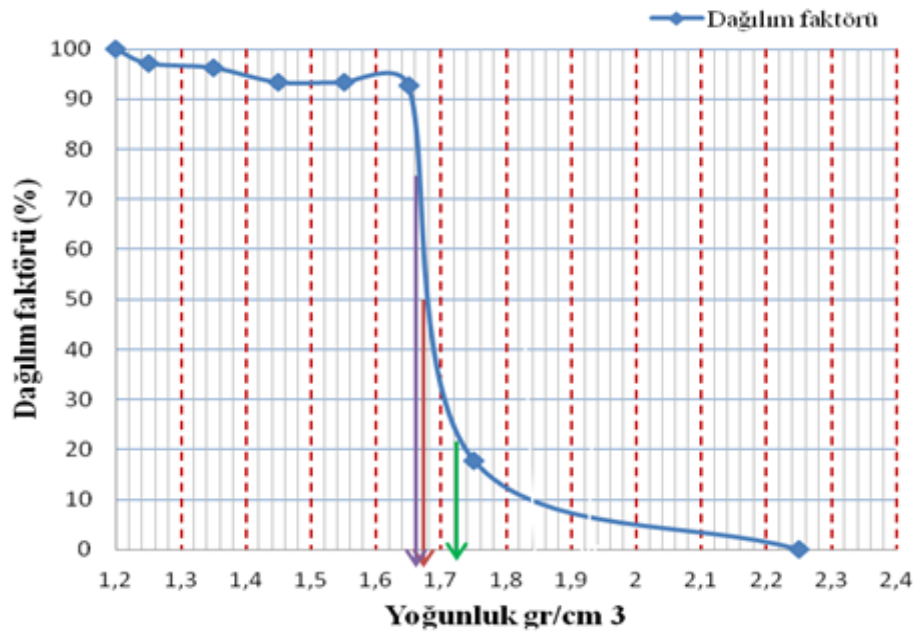
1,3 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta besleme malının tamamı yüzen ürün içerisinde. 1,30-1,40 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk aralığında artığın % 2,50’i % 26,77 küldedir. Bu yoğunluktan sonra kül oranı artarak 1,70-1,80 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk aralığında % 63,96’ya yükselmektedir. Temiz kömür ve artık ile yapılan yüzdürme-batırma sonuçları birleştirilerek Tablo 5.46 ‘da ve elde edilen dağılım eğrisi Şekil 5.47’de verilmektedir.



Tablo 5.46 Karadon 1- 0,15 mm ince kömür birleştirilmiş yoğunluk tablosu

Yoğunluk Aralığı	Besleme Malı		Temiz kömür		Artık		Besleme Malına Göre Hesapla		Besleme Malı Hesapla	Dağılım Faktörü
	Ağırlık	Kül	Ağırlık	Kül	Ağırlık	Kül	Temiz Kömür	Artık		
(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1,3 yüzen	31,84	3,12	42,08	3,12	0	0	31,84	0,00	31,84	100,00
1,3-1,4	21,30	14,47	27,35	14,11	2,50	26,77	20,70	0,61	21,30	97,15
1,4-1,5	8,09	17,74	10,29	17,29	1,25	29,14	7,78	0,30	8,09	96,24
1,5-1,6	3,67	21,87	4,52	19,89	1,00	49,70	3,42	0,24	3,67	93,35
1,6-1,7	5,46	32,61	6,73	31,35	1,50	50,28	5,09	0,36	5,46	93,32
1,7-1,8	2,06	35,78	2,52	33,54	0,62	63,96	1,91	0,15	2,06	92,63
+1,8 batan	27,58	72,12	6,51	37,99	93,13	79,54	4,93	22,66	27,58	17,86
<b>TOPLAM</b>	<b>100,00</b>	<b>28,72</b>	<b>100,00</b>	<b>13,28</b>	<b>100,00</b>	<b>75,98</b>	<b>75,67</b>	<b>24,33</b>		

Spiral ile % 25 katı oranında yapılan deneylerde ayırma yoğunluğu (SG 50) 1,68 g/cm<sup>3</sup> olarak bulunmuştur.

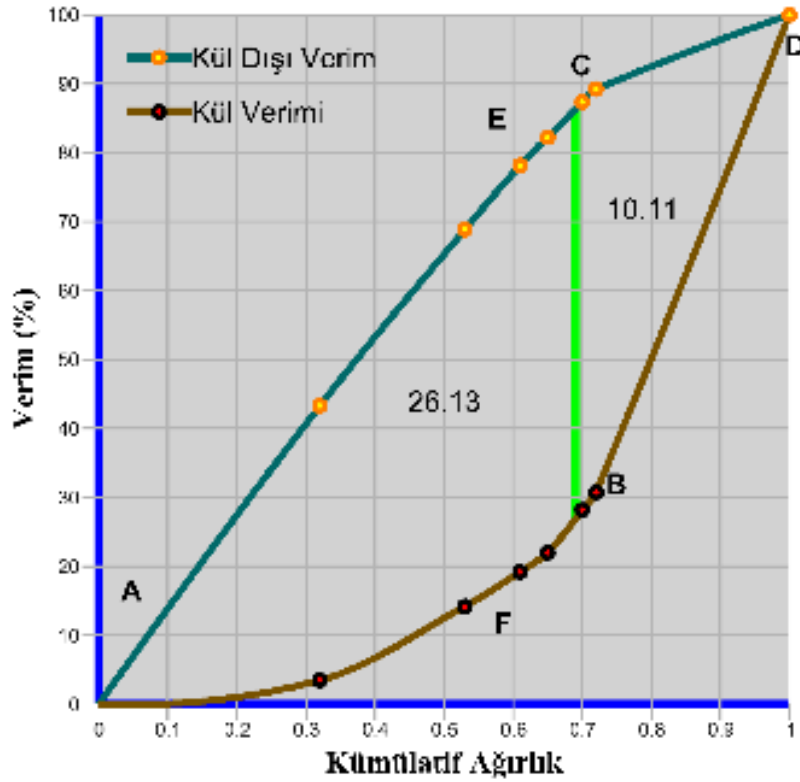


Şekil 5.47 1- 0,15 mm Karadon kömürü dağılım faktörü

1- 0,15 mm tüvenan kömürü kül ve kül dışı verim değerleri Tablo 5.47’de, elde edilen eğriler şekil 5.48’de sunulmaktadır. Her iki eğriyi kesen EF dikmesi ayırma sınır yoğunluğunda teorik olarak elde edilebilecek temiz kömür oranını göstermekte olup yüzdürme-batırma eğrilerinden % 69 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.47 1- 0,15 mm Karadon tüvenan kömürü kül dışı verim ve kül verimi tablosu

Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Ağırlık (%)	Kül (%)	İçerik	Kümülatif			Kül Dışı Verim (%)	Kül Verimi (%)
				Ağ. (%)	İçerik	Kül (%)		
	M	K	M*K	$\sum M\downarrow$	$\sum M\downarrow *K\downarrow$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,3 yüzen	31,84	3,12	99,3	31,84	99,3	3,12	43,28	3,46
1,3-1,40	21,30	14,47	308,3	53,14	407,7	7,67	68,84	14,19
1,40-1,50	8,09	17,74	143,4	61,23	551,1	9,00	78,17	19,19
1,50-1,60	3,67	21,87	80,2	64,90	631,3	9,73	82,19	21,98
1,60-1,70	5,46	32,61	178,0	70,35	809,3	11,50	87,35	28,18
1,70-1,80	2,06	35,78	73,8	72,42	883,1	12,19	89,21	30,74
1,8 batan	27,58	72,12	1.989,3	100,00	2.872,5	28,72	100,00	100,00
<b>TOPLAM</b>	<b>100,00</b>	<b>28,72</b>	<b>2.872,5</b>					

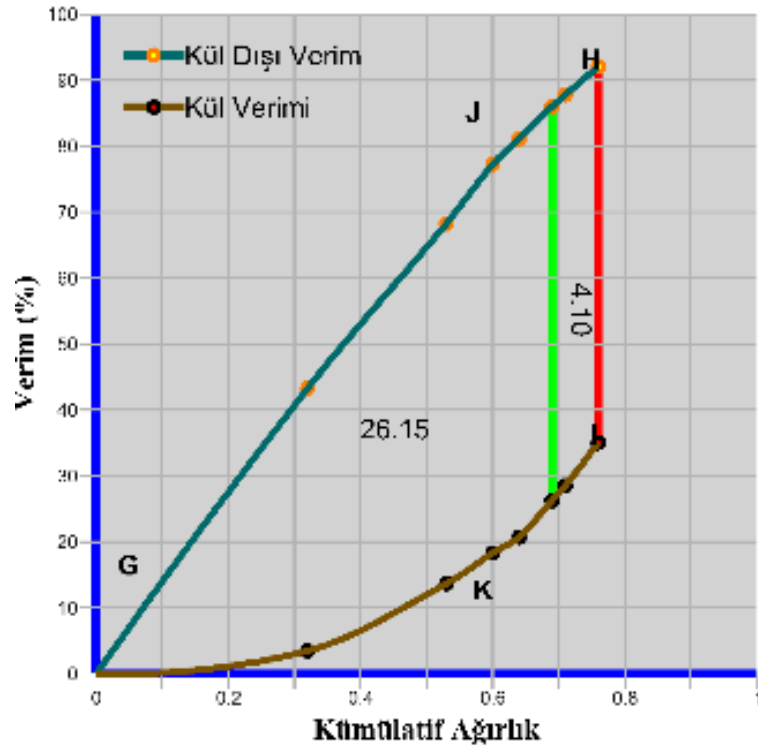


Şekil 5.48 1- 0,15 mm Karadon tüvenan kömürü kül ve kül dışı verim eğrisi

1-0,15 mm temiz kömür kül ve kül dışı eğrileri Tablo 5.48 ve Şekil 5.49'da sunulmaktadır.

Talo 5.48 1- 0,15 mm Karadon temiz kömür kül dışı verim ve kül verimi tablosu

Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Ağırlık (%)	Kül (%)	İçerik	Kümülatif			Kül Dışı Verim (%)	Kül Verimi (%)
				Ağ. (%)	İçerik	Kül (%)		
	M	K	M*K	$\sum M\downarrow$	$\sum M\downarrow * K\downarrow$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,3 yüzen	42,08	3,12	131,3	42,08	131,3	3,12	43,27	3,46
1,3-1,40	27,35	14,11	385,9	69,42	517,2	7,45	68,21	13,63
1,40-1,50	10,29	17,29	177,9	79,71	695,1	8,72	77,24	18,31
1,50-1,60	4,52	19,89	90,0	84,23	785,1	9,32	81,09	20,68
1,60-1,70	6,73	31,35	211,0	90,97	996,1	10,95	85,99	26,24
1,70-1,80	2,52	33,54	84,7	93,49	1.080,8	11,56	87,78	28,48
1,8 batan	6,51	37,98	247,2	100,00	1.328,0	13,28	92,06	34,99
<b>TOPLAM</b>	<b>100,00</b>	<b>13,28</b>	<b>1.328</b>					



Şekil 5.49 1 - 0,15 mm Karadon spiral çıkışı temiz kömür kül ve kül dışı verim eğrisi

Şekil 5.48'deki tüvenan kömür kül ve kül dışı eğrileri 3. dereceden polinom ile ifade edilmek istendiğinde ADC eğrisi  $y_1$  ve ABC eğrisi  $y_2$  olarak aşağıdaki denklemler elde edilir

$$y_1 = -82.512x^3 + 59.992x^2 + 122.56x + 8.2453 \times 10^{-2},$$

$$y_2 = 185.9x^3 - 121.05x^2 + 35.082x - 0.19174,$$

AEF alanını hesaplamak için ayırma sınır yoğunluğu olan  $1,68 \text{ g/cm}^3$  yoğunlukta teorik olarak elde edilebilecek % 69 oranı sınır değeri olarak kullanılarak 0 ile 0,69 aralığında iki eğrinin integrali arasındaki fark olan AEF alanı;

$$\int_0^{0.69} ((-82.512x^3 + 59.992x^2 + 122.56x + 8.2453 \times 10^{-2}) - (185.9x^3 - 121.05x^2 + 35.082x - 0.19174)) dx = 25.63$$

EFC alanı ise 0,69 ile 1 aralığındaki iki eğri arasında kalan alandır.

$$\int_{0.69}^1 ((-82.512x^3 + 59.992x^2 + 122.56x + 8.2453 \times 10^{-2}) - (185.9x^3 - 121.05x^2 + 35.082x - 0.19174)) dx = 11,63$$

Şekil 5.49'daki eğriler 3. dereceden polinom olarak ifade edildiğinde GJH eğrisi  $y_3$  ve GKI eğrisi  $y_4$  olarak gösterilirse;

$$y_3 = -38.145x^3 + 11.174x^2 + 134.89x + 2.1184 \times 10^{-2},$$

$$y_4 = -10.309x^3 + 96.654x^2 - 20.674x + 5.5862 \times 10^{-2},$$

GJK alanını bulmak  $y_3$  ve  $y_4$  denklemlerinin 0 ile 0,69 aralığında integrali alınarak;

$$\int_0^{0.69} ((-38.145x^3 + 11.174x^2 + 134.89x + 2.1184 \times 10^{-2}) - (-10.309x^3 + 96.654x^2 - 20.674x + 5.5862 \times 10^{-2})) dx = 26,07$$

JKIH alanı 0,69 ile 0,76 aralığındaki  $y_3$  ve  $y_4$  denklemlerinin integralleri farkıdır.

$$\int_{0.69}^{0.76} ((-38.145x^3 + 11.174x^2 + 134.89x + 2.1184 \times 10^{-2}) - (-10.309x^3 + 96.654x^2 - 20.674x + 5.5862 \times 10^{-2})) dx = 4,00$$

Hatalı yer değiştirme 1= (Alan AEF-alan GJK)/alan AEF

Hatalı yer değiştirme 1= (25,63-26,07)/ 25,63

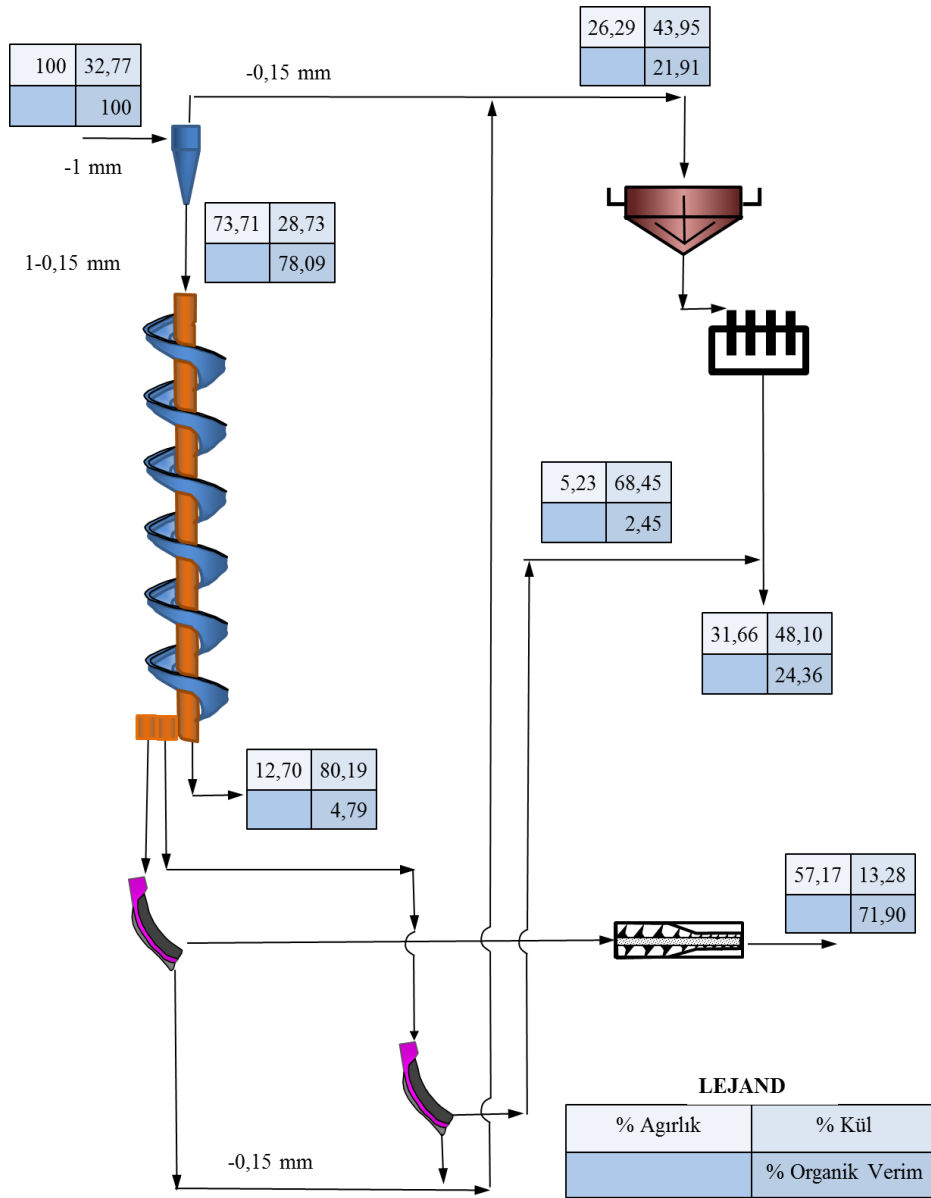
Hatalı yer değiştirme 1= 0 olarak hesaplanmıştır.

Hatalı yer değiştirme 2= ((26,07+4,00)-26,07)/ 11,63=0,34 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.49 Karadon 1- 0,15mm temiz kömür spiral sonuçları tablosu

<b>Ayrma Yoğunluğu ( SG 50 )</b>	<b>Hata Faktörü ( Ep )</b>	<b>Yıkanabilirlik İndeksi (CI)</b>	<b>Hata Alanı (Aer)</b>	<b>Hatalı Yer Değiştirme 1</b>	<b>Hatalı Yer Değiştirme 2</b>
1,68	0,06	0,49	4,11	0	0,34

Karadon 1-0,15 mm boyutlu ince kömürleri üzerinde tek kademeli spiral kullanılarak yapılan deneyler sonucunda oluşturulan akım şeması şekil 5.50'de verilmektedir. Buna göre -1 mm ince kömürler siklonlarda sınıflandırılarak 1-0,15 mm ve -0,15 mm olmak üzere iki fraksiyona ayrılmaktadır. 1-0,15 mm ince kömürler spiralde zenginleştirilerek ağırlıkça % 57,17 oranında ve % 13,28 külde temiz kömür elde edilmektedir. % 5,23 oranında ara ürün % 68,45 küllü olarak elde edilmektedir. Artık miktarı ise % 12,70 olup kül oranı % 80,19 dur.-0,15 mm boyutlu kömürler filtrasyon devresinde susuzlandırıldıktan sonra 1- 0,15 mm boyutlu ara ürün ile homojen şekilde karıştırılarak % 31,66 oranında ve % 48,10 külde termik santral yakıtı elde edilmektedir. Elde edilen rnler Tablo 5.50'de verilmektedir.



Şekil 5.50 Karadon -1 mm kömürü spiral akım şeması

Tablo 5.50 -1 mm Karadon kömürü ürün miktarları ve kül oranları

	<b>Ağırlık (%)</b>	<b>Kül (%)</b>
Toplam satılabilir kömür	87,29	26,03
Temiz kömür	57,17	13,28
-0,15 mm ara ürün	5,23	68,45
Filtrasyon ürünü	26,29	43,95
Artık	12,70	80,19
<b>Toplam</b>	<b>100,00</b>	<b>32,77</b>

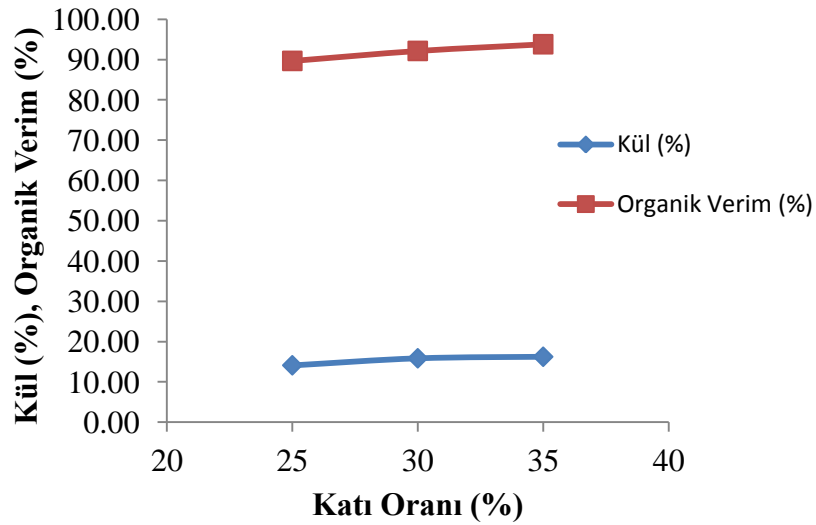
### 5.2.2.3 Armutçuk Kömürü Spiral Deneyleri

5.2.2.3.1 -1 mm Armutçuk Kömürü Spiral Deneyleri. Testler %25, % 30 ve % 35 katı-sıvı oranında yapılmıştır. Deney sonuçları Tablo 5.51 ve Şekil 5.51’de verilmektedir.

Tablo 5.51 -1 mm Armutçuk kömürü değişik katı oranlarında spiral sonuçları

Katı Oranı (%)		Ağırlık (%)	Kül (%)	Organik Verim (%)
25	Temiz Kömür	77,13	14,11	89,66
	Ara Ürün	5,57	64,50	1,48
	Artık	17,30	75,56	8,86
	<b>Toplam</b>	<b>100</b>	<b>27,55</b>	<b>100</b>
30	Temiz Kömür	80,96	15,85	92,14
	Ara Ürün	4,55	70,10	1,85
	Artık	14,49	79,20	6,02
	<b>Toplam</b>	<b>100</b>	<b>27,50</b>	<b>100</b>
35	Temiz Kömür	81,93	16,23	93,8
	Ara Ürün	5,78	72,10	1,84
	Artık	12,29	80,23	4,36
	<b>Toplam</b>	<b>100</b>	<b>27,33</b>	<b>100</b>

Besleme malı kül oranı % 27,55 tir. % 25 katı oranında besleme malının % 77,13’ü temiz kömür olarak elde edilmiş olup kül oranı % 14,11 dir. Ara ürün miktarı ise % 5,57 olup kül oranı % 64,35 dir.



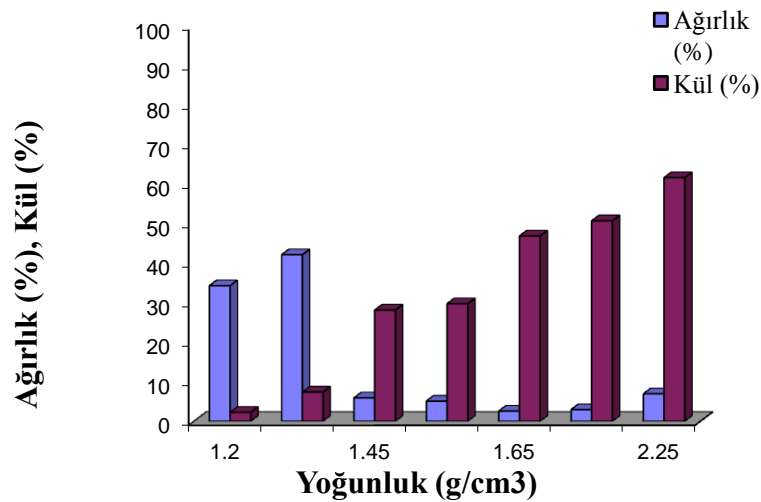
Şekil 5.51 -1 mm Armutçuk spiral çıkışı temiz kömür kül ve organik verim grafiği

% 25,% 30 ve % 35 katı oranlarında organik yanma verimi oldukça yüksek olup sırasıyla % 89,66, % 92,14 ve % 93,80 olmuştur.Spiral sonuçlarının değerlendirilmesi amacıyla % 25 katı oranında elde edilen temiz kömür ve birleştirilmiş ara ürün ve artık ürünleri üzerinde yüzdürme –batırma testleri yapılmıştır.

Tablo 5.52 -1mm Armutçuk kömürü spiral çıkışı temiz kömür yüzdürme-batırma analizi sonuçları

Yoğunluk	Ortalama yoğunluk	Ağırlık	Kül	Kümülatif Ağırlık	Kümülatif Kül
(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(%)
1,30 yüzen	1,25	34,30	2,29	34,30	2,29
1,30 - 1,40	1,35	42,14	7,42	76,45	5,12
1,40 - 1,50	1,45	5,94	28,14	82,39	6,78
1,50 - 1,60	1,55	5,11	29,74	87,49	8,12
1,60 - 1,70	1,65	2,58	46,89	90,07	9,23
1,70 - 1,80	1,75	2,96	50,73	93,03	10,55
1,8 batan	2,25	6,97	61,65	100,00	14,11
<b>Toplam</b>		<b>100,00</b>			

Tablo 5.52’den de görüleceği üzere ,3 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta yüzen kömür miktarı % 34,30 olup, kül oranı oldukça düşüktür (% 2,29). 1,3-1,4 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk aralığında yüzen kömür miktarı % 42,14 olup kül oranı % 7,42 dir. Bu yoğunluktan itibaren kül oranı hızla artmaktadır (Şekil 5.52).



Şekil 5.52 –1 mm Armutçuk kömürü spiral uygulaması temiz kömür yoğunluk analizi



Deneylerde elde edilen ara ürün ve artık miktarları birleştirilerek yoğunluk analizi yapılmıştır. Elde edilen yüzdürme-batırma analizi sonuçları Tablo 5.53’de verilmektedir.

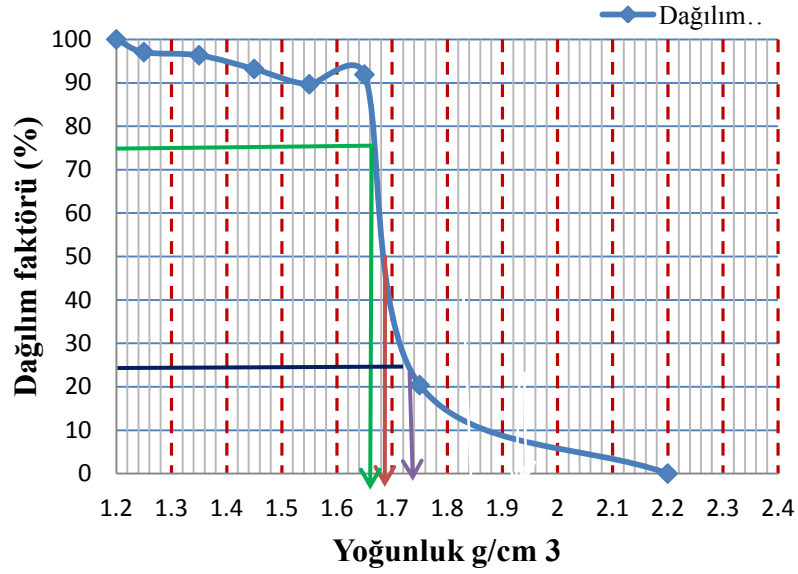
Tablo 5.53 -1mm Armutçuk %25 katı oranı spiral ara ürün ve artık bileşimi yüzdürme-batırma analizi sonuçları

Yoğunluk	Ortalama Yoğunluk	Ağırlık	Kül	Kümülatif Ağırlık	Kümülatif Kül
(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(%)
1,30 yüzen	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00
1,30 - 1,40	1,35	4,28	25,13	4,28	25,13
1,40 - 1,50	1,45	0,76	41,26	5,04	27,56
1,50 - 1,60	1,55	1,26	40,38	6,30	30,12
1,60 - 1,70	1,65	1,00	52,19	7,30	33,15
1,70 - 1,80	1,75	0,88	64,84	8,19	36,56
1,8 batan	2,25	91,81	76,10	100,00	72,86
<b>Toplam</b>		<b>100,00</b>			

1,3 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta besleme malının tamamı yüzen ürün içerisinde. 1,30-1,40 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk aralığında artığın % 4,28’i % 25,13 küldedir. Temiz kömür ve artık ile yapılan yüzdürme-batırma sonuçları birleştirilerek Tablo 5.54’de ve elde edilen dağılım eğrisi Şekil 5.53’ de verilmektedir.

Tablo 5.54 -1mm Armutçuk kömürü birleştirilmiş yoğunluk tablosu

Yoğunluk Aralığı	Besleme Malı		Temiz Kömür		Artık		Besleme Malına göre hesapla		Besleme Malı Hesapla	Dağılım Faktörü
	Ağ.	Kül	Ağ.	Kül	Ağırlık	Kül	Temiz Kömür	Artık		
(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
-1,3	26,46	2,29	34,30	2,29	0	0	26,46	0,00	26,46	100,00
1,3-1,4	33,49	7,94	42,14	7,42	4,28	25,13	32,51	0,98	33,49	97,07
1,4-1,5	4,76	28,62	5,94	28,14	0,76	41,26	4,58	0,17	4,76	96,35
1,5-1,6	4,23	30,46	5,11	29,74	1,26	40,38	3,94	0,29	4,23	93,19
1,6-1,7	2,22	47,44	2,58	46,89	1,00	52,19	1,99	0,23	2,22	89,66
1,7-1,8	2,48	51,87	2,96	50,73	0,88	64,84	2,28	0,20	2,48	91,89
+1,8	26,37	73,15	6,97	61,65	91,81	76,10	5,37	21,00	26,37	20,38
<b>TOPLAM</b>	<b>100</b>	<b>27,54</b>	<b>100</b>	<b>14,11</b>	<b>100</b>	<b>72,86</b>	<b>77,13</b>	<b>22,87</b>	<b>100</b>	

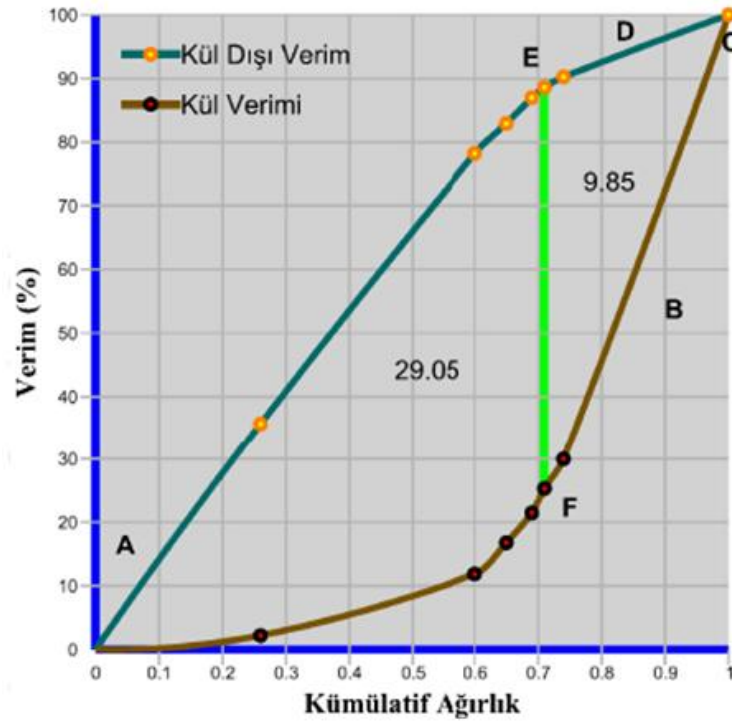


Şekil 5.53 -1mm Armutçuk kömürü dağılım faktörü eğrisi

Ayırma yoğunluğu (SG 50)  $1,68 \text{ g/cm}^3$  olarak bulunmuştur. Ep değeri 0,05,  $CI=26,46/ 68,93= 0,38$  olarak hesaplanmıştır. Bu değer kolay yıkanabilirlik olan 0,35 değerinin üzerindedir. Armutçuk -1 mm tüvenan kömürlerin yüzdürme-batırma testlerinden elde edilen kül ve kül dışı verim değerleri Tablo 5.55'de, bu değerler ile çizilen verim eğrileri Şekil 5.54'de verilmektedir.

Tablo 5.55 -1mm Armutçuk tüvenan kömürü yoğunluk tablosu

Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Ağırlık (%)	Kül (%)	İçerik	Kümülatif			Kül Dışı Verim (%)	Kül Verimi (%)
				Ağ. (%)	İçerik	Kül (%)		
	M	K	M*K	$\sum M\downarrow$	$\sum M\downarrow *K\downarrow$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,3 yüzen	26,46	2,29	60,6	26,46	61	2,29	35,68	2,20
1,3-1,40	33,49	7,94	265,9	59,94	327	5,45	78,23	11,85
1,40-1,50	4,76	28,62	136,1	64,70	463	7,15	82,91	16,79
1,50-1,60	4,23	30,46	128,8	68,93	591	8,58	86,97	21,47
1,60-1,70	2,22	47,44	105,2	71,14	697	9,79	88,58	25,29
1,70-1,80	2,48	51,87	128,8	73,63	825	11,21	90,23	29,97
1,8 batan	26,37	73,15	1.929	100	2.755	27,55	100	100
<b>TOPLAM</b>	100	<b>27,54</b>	<b>2.755</b>					



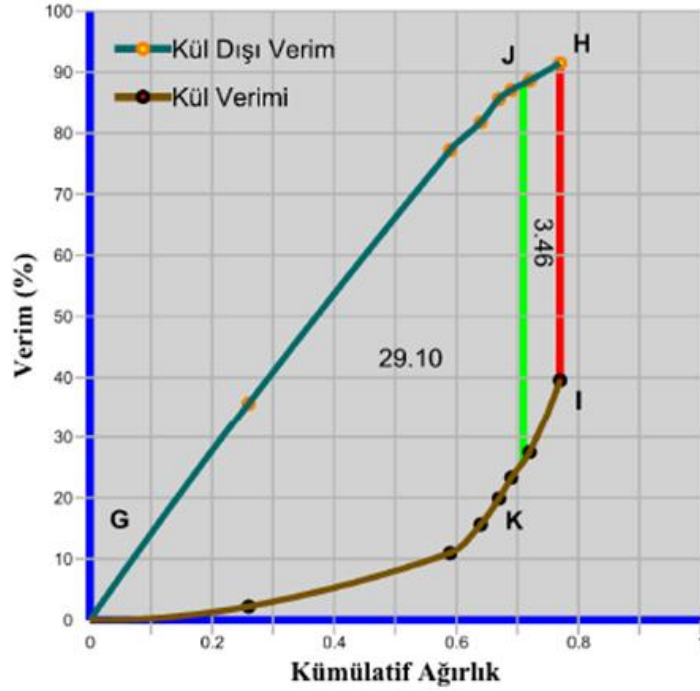
Şekil 5.54 -1 mm Armutçuk tüvenan kömürü kül ve kül dışı verim eğrisi

Ayrıma yoğunluğuSG(50) olan  $1,70 \text{ g/cm}^3$  yoğunlukta teorik verim % 71 olarak hesaplanmış olup kül oranı % 9,79 dur.

-1 mm temiz kömür yüzdürme-batırma testlerinden elde edilen kül ve kül dışı verim değerleri Tablo 5.56'da, verim eğrileri Şekil 5.55'de verilmektedir.

Tablo 5.56 -1mm Armutçuk temiz kömür kül dışı ve kül verimleri tablosu

Yoğunluk ( $\text{g/cm}^3$ )	Ağırlık (%)	Kül (%)	İçerik	Kümülatif			Kül Dışı Verim (%)	Kül Verimi (%)
				Ağ. (%)	İçerik	Kül (%)		
	M	K	M*K	$\sum M\downarrow$	$\sum M\downarrow *K\downarrow$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,3 yüzen	34,30	2,29	78,6	34,30	78,6	2,29	35,68	2,20
1,3-1,40	42,14	7,424	312,9	76,45	391,4	5,12	77,21	10,96
1,40-1,50	5,94	28,14	167,2	82,39	558,6	6,78	81,76	15,64
1,50-1,60	5,11	29,74	151,9	87,49	710,5	8,12	85,58	19,89
1,60-1,70	2,58	46,89	120,9	90,07	831,4	9,23	87,04	23,28
1,70-1,80	2,96	50,73	150,1	93,03	981,5	10,55	88,59	27,48
1,8 batan	6,97	61,65	429,5	100,00	1.411,0	14,11	91,43	39,51
<b>TOPLAM</b>	<b>100,00</b>	<b>14,11</b>	<b>1.411,0</b>					



Şekil 5.55 -1 mm Armutçuk temiz kömür kül ve kül dışı verim eğrisi

Şekil 5.54'deki tüvenan kömür kül ve kül dışı eğrileri 3. dereceden polinom ile ifade edilmek istendiğinde ADC eğrisi  $y_1$  ve ABC eğrisi  $y_2$  olarak aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$y_1 = -74.979x^3 + 44.047x^2 + 130.92x - 4.7551 \times 10^{-3},$$

$$y_2 = 221.98x^3 - 155.04x^2 + 33.086x + 3.8858 \times 10^{-2},$$

AEF alanını hesaplamak için ayırma sınır yoğunluğu olan  $1,68 \text{ g/cm}^3$  yoğunlukta teorik olarak elde edilebilecek % 71 oranı sınır değeri olarak kullanılarak 0 ile 0.71 aralığında iki eğrinin integrali arasındaki fark olan AEF alanı:

$$\int_0^{0.71} ((-74.979x^3 + 44.047x^2 + 130.92x - 4.7551 \times 10^{-3}) - (221.98x^3 - 155.04x^2 + 33.086x + 3.8858 \times 10^{-2})) dx = 29.15$$

olarak hesaplanır.

EFC alanı ise 0.71 ile 1 aralığındaki iki eğri arasında kalan alandır.

$$\int_{0.71}^1 ((-74.979x^3 + 44.047x^2 + 130.92x - 4.7551 \times 10^{-3}) - (221.98x^3 - 155.04x^2 + 33.086x + 3.8858 \times 10^{-2})) dx = 11,48$$

Şekil 5.55'deki eğriler 3. dereceden polinom olarak ifade edildiğinde GJH eğrisi  $y_3$  ve GKI eğrisi  $y_4$  olarak gösterilirse

$$y_3 = -101.52x^3 + 69.734x^2 + 125.57x + 1.9477 \times 10^{-2},$$

$$y_4 = 307.7x^3 - 235.23x^2 + 49.323x - 2.4774 \times 10^{-2}.$$

olarak ifade edilir.

GJK alanını bulmak  $y_3$  ve  $y_4$  denklemlerinin 0 ile 0.71 aralığında integrali alınarak

$$\int_0^{0.71} ((-101.52x^3 + 69.734x^2 + 125.57x + 1.9477 \times 10^{-2}) - (307.7x^3 - 235.23x^2 + 49.323x - 2.4774 \times 10^{-2})) dx = 29,64$$

JKIH alanı 0.71 ile 0.77 aralığındaki  $y_3$  ve  $y_4$  denklemlerinin integralleri farkıdır.

$$\int_{0.71}^{0.77} (-101.52x^3 + 69.734x^2 + 125.57x + 1.9477 \times 10^{-2}) - (307.7x^3 - 235.23x^2 + 49.323x - 2.4774 \times 10^{-2}) dx = 3,45$$

Hatalı yer değiştirme 1 = (Alan AEF - alan GJK) / alan AEF = (29,15 - 29,64) / 29,15

Hatalı yer değiştirme 1 = 0 olarak hesaplanmıştır.

Hatalı yer değiştirme 2 = ((29,64 + 3,45) - 29,64) / 11,48 = 0,30

Tablo 5.57'de Armutçuk -1 mm tüvenan kömürlerinin spiral ile zenginleştirilme sonuçları özetlenmiştir.

Tablo 5.57 -1mm Armutçuk kömürü spiral ile zenginleştirme sonuçları

Ayrırma Yoğunluğu (SG 50)	Hata Faktörü (Ep)	Yıkanabilirlik İndeksi (CI)	Hata Alanı (Aer)	Hatalı Yer Değiştirme 1	Hatalı Yer Değiştirme 2
1,69	0,05	0,38	5,19	0	0,30

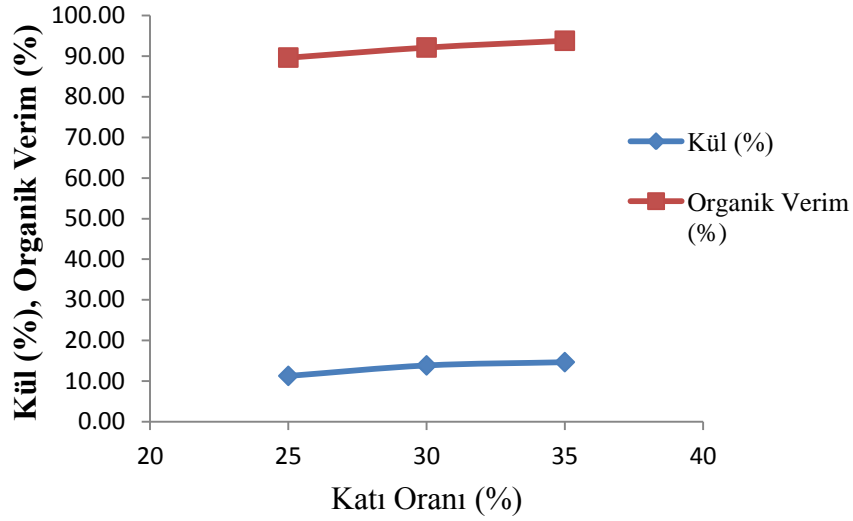
5.2.2.3.2 1- 0,15 mm Armutçuk Kömürü Spiral Deneyleri. Deneyler % 25, % 30 ve % 35 katı oranlarında yapılmıştır. Spiralden temiz kömür, ara ürün ve artık olmak üzere üç ürün elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.58’de ve Şekil 5.56’da verilmektedir.

Tablo 5.58 Armutçuk 1- 0,15 mm ince kömürü değişik katı oranlarında spiral deneyi sonuçları

Katı Oranı (%)		Ağırlık (%)	Kül (%)	Organik Verim (%)
25	Temiz Kömür	86,45	11,26	89,66
	Ara Ürün	3,41	45,74	1,48
	Artık	10,14	77,14	8,86
	<b>Toplam</b>	<b>100,00</b>	<b>19,12</b>	<b>100,00</b>
30	Temiz Kömür	89,23	13,84	92,14
	Ara Ürün	6,20	50,78	1,85
	Artık	4,57	77,56	6,02
	<b>Toplam</b>	<b>100,00</b>	<b>19,04</b>	<b>100</b>
35	Temiz Kömür	91,89	14,64	93,8
	Ara Ürün	3,52	57,80	1,84
	Artık	4,59	78,50	4,36
	<b>Toplam</b>	<b>100,00</b>	<b>19,09</b>	<b>100,00</b>

% 25 katı oranında besleme malının % 86,45’i temiz kömür olarak elde edilmiş olup, kül oranı % 11,26 dır. Ara ürün miktarı % 3,41 olup kül oranı % 45,749 dur. Ara ürün miktarı ise % 3,41 olup kül oranı % 45,74 olmuştur. -1mm ile yapılan deneyler ile karşılaştırıldığında ara ürün miktarında artış olduğu görülmektedir.

% 35 katı oranında yapılan deneylerde besleme malının % 91,89’u % 14,64 külde elde edilmiştir. Her üç katı oranında artık kül oranlarının yakın değerlerde olduğu görülmektedir.



Şekil 5.56 1- 0,15 mm Armutçuk kömürü spiral uygulaması temiz kömür kül ve organik verim grafiği

% 25 kati oranında elde edilen temiz kömür ürünü ile yoğunluk analizi yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 5.58’de verilmektedir.

Tablo 5.58 1-0,15 mm Armutçuk kömürü spiral çıkışı temiz kömür yüzdürme-batırma analizi sonuçları

Yoğunluk	Ortalama yoğunluk	Ağırlık	Kül	Kümülatif Ağırlık	Kümülatif Kül
(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(%)
1,30 yüzen	1,25	27,82	2,30	27,82	2,30
1,30 - 1,40	1,35	31,16	4,25	58,99	3,33
1,40 - 1,50	1,45	15,58	7,54	74,57	4,21
1,50 - 1,60	1,55	10,02	17,47	84,58	5,78
1,60 - 1,70	1,65	6,53	22,80	91,12	7,00
1,70 - 1,80	1,75	3,34	23,97	94,46	7,60
1,8 batan	2,25	5,54	73,61	100,00	11,26
<b>Toplam</b>		<b>100,00</b>			

1,3 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta yüzen kömür miktarı % 27,82 olup kül oranı % 2,30 dur. Deneyle elde edilen ara ürün ve artık miktarları birleştirilerek yoğunluk analizi yapılmıştır. Elde edilen yüzdürme-batırma analizi sonuçları Tablo 5.59’da verilmektedir.

Tablo 5.59 1 - 0,15 mm Armutçuk kömürü spiral çıkışı ara ürün ve artık bileşimi yüzdürme-batırma analizi sonuçları

Yoğunluk	Ortalama Yoğunluk	Ağırlık	Kül	Kümülatif Ağırlık	Kümülatif Kül
(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(%)
1,30 yüzen	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00
1,30 - 1,40	1,35	4,93	18,90	4,93	18,90
1,40 - 1,50	1,45	2,44	29,31	7,37	22,34
1,50 - 1,60	1,55	1,45	33,50	8,81	24,17
1,60 - 1,70	1,65	1,59	31,36	10,41	25,27
1,70 - 1,80	1,75	1,80	37,59	12,21	27,09
1,8 batan	2,25	87,79	75,09	100,00	69,23
<b>Toplam</b>		<b>100,00</b>			

1,30-1,40 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk aralığında artığın % 4,93'ü % 18,90 küldedir. 1,8 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta batan malzeme miktarı besleme malının % 87,9'udur.

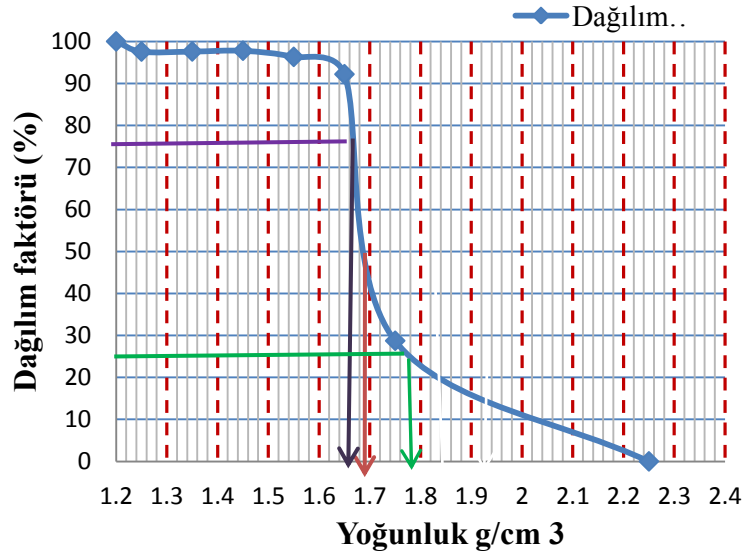
Temiz kömür ve artık ürünlerinin yoğunluk analizlerinin değerlendirilmesi yapıldıktan sonra ayırım ile ilgili ayırım hassasiyetinin tespit edilmesi amacıyla temiz kömür ve artık ile yapılan yüzdürme-batırma sonuçları birleştirilerek Tablo 5.60'da ve elde edilen dağılım eğrisi Şekil 5.57'de verilmektedir

Tablo 5.60 1 - 0,15 mm Armutçuk kömürü birleştirilmiş yoğunluk tablosu

Yoğunluk Aralığı	Besleme Malı		Temiz kömür		Artık		Besleme Malına göre hesapla		Besleme Malı Hesapla	Dağılım Faktörü
	Ağırlık	Kül	Ağırlık	Kül	Ağırlık	Kül	Temiz Kömür	Artık		
(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1,3 yüzen	24,05	2,30	27,82	2,30	0	0	24,05	0,00	24,05	100,00
1,3-1,4	27,61	4,60	31,16	4,25	4,93	18,90	26,94	0,67	27,61	97,58
1,4-1,5	13,80	8,06	15,58	7,54	2,44	29,31	13,47	0,33	13,80	97,61
1,5-1,6	8,86	17,82	10,02	17,47	1,45	33,50	8,66	0,20	8,86	97,79
1,6-1,7	5,86	23,11	6,53	22,80	1,59	31,36	5,65	0,22	5,86	96,32
1,7-1,8	3,13	25,04	3,34	23,97	1,80	37,59	2,89	0,24	3,13	92,19
1,8 batan	16,69	74,67	5,54	73,61	87,79	75,09	4,79	11,90	16,69	28,72
<b>TOPLAM</b>	<b>100</b>	<b>19,11</b>	<b>100,00</b>	<b>11,26</b>	<b>100</b>	<b>70,66</b>	<b>86,45</b>	<b>13,55</b>	<b>100,00</b>	

Spiral ile % 25 katı oranında yapılan deneylerde ayırma yoğunluğu (SG 50) 1,70 g/cm<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.



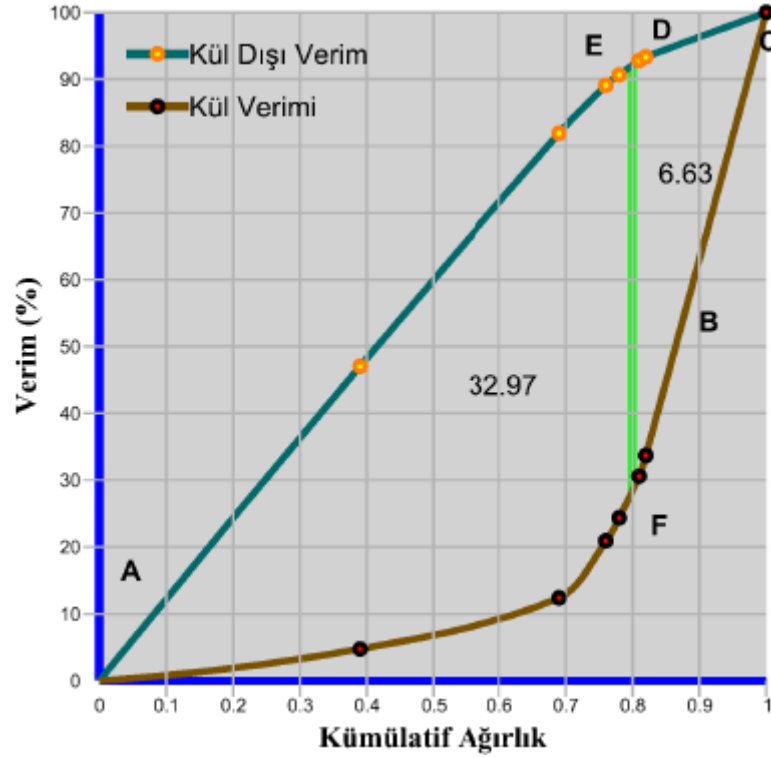


Şekil 5.57 Armutçuk -1 - 0,15 mm ince kömürü dağılım faktörü eğrisi

Ep değeri 0,06 ve yıkanabilirlik indeksi CI 0,33 olarak hesaplanmıştır. 1-0,15 mm ince kömür yüzdürme-batırma testlerinden elde edilen kül ve kül dışı verim değerleri Tablo 5.61'de, verim eğrileri Şekil 5.58'de verilmektedir.

Tablo 5.61 1 - 0,15 mm Armutçuk tüvenan kömürü kül ve kül dışı verim tablosu

Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Ağırlık (%)	Kül (%)	İçerik	Kümülatif			Kül Dışı Verim (%)	Kül Verimi (%)
				Ağ. (%)	İçerik	Kül (%)		
	M	K	M*K	$\sum M_{\downarrow}$	$\sum M_{\downarrow} * K_{\downarrow}$			
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
1,3 yüzen	38,96	2,33	90,8	38,96	90,8	2,33	47,04	4,75
1,3-1,40	29,67	4,91	145,7	68,63	236,5	3,45	81,93	12,37
1,40-1,50	7,43	21,89	162,5	76,06	399,0	5,25	89,10	20,87
1,50-1,60	1,94	33,93	65,9	78,00	464,9	5,96	90,68	24,32
1,60-1,70	2,93	40,64	119,3	80,93	584,2	7,22	92,84	30,56
1,70-1,80	1,01	58,71	59,4	81,94	643,5	7,85	93,35	33,67
1,8 batan	18,06	70,22	1.268,0	100,00	1.911,5	19,11	100,00	100,00
<b>TOPLAM</b>	<b>100,00</b>	<b>19,11</b>	<b>1.911,5</b>					

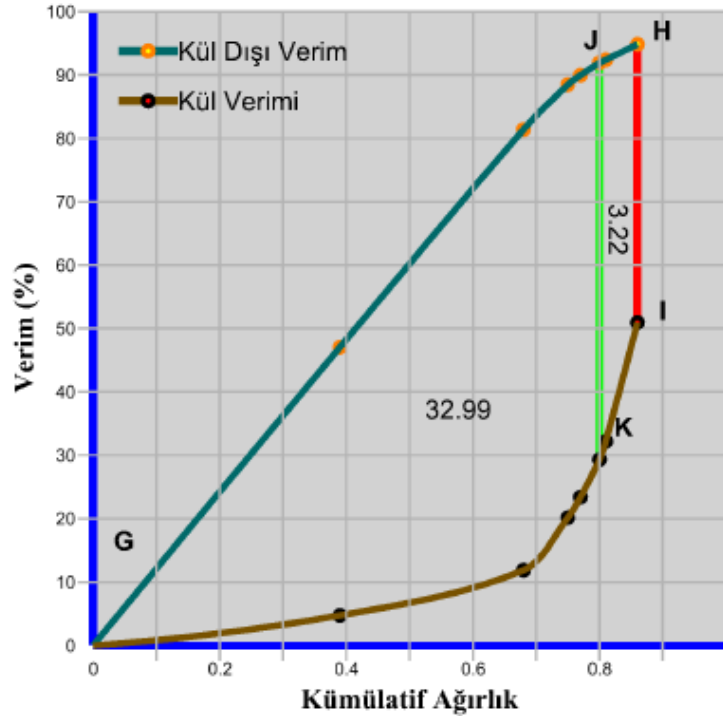


Şekil 5.58 Armutçuk 1- 0,15 mm ince kömürü tüvenan kömür kül ve kül dışı verim eğrisi

Spiral ürünü temiz kömürün yoğunluk analizi sonucu hesaplanan kül ve kül dışı verim değerleri Tablo 5.62 ve Şekil 5.59’da verilmektedir.

Tablo 5.62 1-0,15 mm Armutçuk temiz kömür kül ve kül dışı verim tablosu

Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Ağırlık (%)	Kül (%)	İçerik	Kümülatif			Kül Dışı Verim (%)	Kül Verimi (%)
				Ağ. (%)	İçerik	Kül (%)		
	M	K	M*K	$\sum M\downarrow$	$\sum M\downarrow * K\downarrow$			
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
1,3 yüzen	45,06	2,33	105,0	45,06	105,0	2,33	47,04	4,75
1,3-1,40	33,73	4,666	157,4	78,80	262,4	3,33	81,41	11,87
1,40-1,50	8,43	21,64	182,5	87,23	444,9	5,10	88,47	20,13
1,50-1,60	2,11	33,92	71,5	89,34	516,4	5,78	89,96	23,36
1,60-1,70	3,16	41,47	131,1	92,50	647,5	7,00	91,94	29,29
1,70-1,80	1,05	60,25	63,5	93,56	711,0	7,60	92,39	32,17
1,8 batan	6,44	64,39	415,0	100,00	1.126,0	11,26	94,84	50,94
<b>TOPLAM</b>	<b>100,00</b>	<b>11,26</b>	<b>1.126,0</b>					



Şekil 5.59 1- 0,15 mm Armutçuk temiz kömür kül ve kül dışı verim eğrisi

Şekil 5.58'deki tüvenan kömür kül ve kül dışı eğrileri 3. dereceden polinom ile ifade edilmek istendiğinde ADC eğrisi  $y_1$  ve ABC eğrisi  $y_2$  olarak aşağıdaki denklemler elde edilir;

$$y_1 = -100.39x^3 + 106.53x^2 + 93.937x + 1.8418 \times 10^{-2},$$

$$y_2 = 427.52x^3 - 452.14x^2 + 124.41x - 4.3012 \times 10^{-2},$$

AEF alanını hesaplamak için ayırma sınır yoğunluğu olan  $1,68 \text{ g/cm}^3$  yoğunlukta teorik olarak elde edilebilecek % 80 oranı sınır değeri olarak kullanılarak 0 ile 0.80 aralığında iki eğrinin integrali arasındaki fark olan AEF alanı;

$$\int_0^{0.80} \left( \left( -100.39x^3 + 106.53x^2 + 93.937x + 1.8418 \times 10^{-2} \right) - \left( 427.52x^3 - 452.14x^2 + 124.41x - 4.3012 \times 10^{-2} \right) \right) dx = 31,59.$$

EFC alanı ise 0.80 ile 1 aralığındaki iki eğri arasında kalan alandır.

$$\int_{0.80}^1 \left( \begin{array}{l} (-100.39x^3 + 106.53x^2 + 93.937x + 1.8418 \times 10^{-2}) \\ (427.52x^3 - 452.14x^2 + 124.41x - 4.3012 \times 10^{-2}) \end{array} \right) dx = 7,48$$

Şekil 5.59'daki eğriler 3. dereceden polinom olarak ifade edildiğinde GJH eğrisi  $y_3$  ve GKI eğrisi  $y_4$  olarak gösterilirse

$$y_3 = -118.13x^3 + 126.74x^2 + 88.930x + 9.067 \times 10^{-3},$$

$$y_4 = 498.23x^3 - 530.65x^2 + 144.61x - 5.2121 \times 10^{-2}.$$

GJK alanını bulmak  $y_3$  ve  $y_4$  denklemlerinin 0 ile 0,80 aralığında integrali alınarak;

$$\int_0^{0.80} \left( (-118.13x^3 + 126.74x^2 + 88.930x + 9.067 \times 10^{-3}) - (498.23x^3 - 530.65x^2 + 144.61x - 5.2121 \times 10^{-2}) \right) dx = 31,31$$

JKIH alanı 0,80 ile 0,86 aralığındaki  $y_3$  ve  $y_4$  denklemlerinin integralleri farkıdır.

$$\int_{0.80}^{0.86} \left( \begin{array}{l} (-118.13x^3 + 126.74x^2 + 88.930x + 9.067 \times 10^{-3}) \\ (498.23x^3 - 530.65x^2 + 144.61x - 5.2121 \times 10^{-2}) \end{array} \right) dx = 3,24$$

Hatalı yer değiştirme 1 = (Alan AEF - alan GJK) / alan AEF

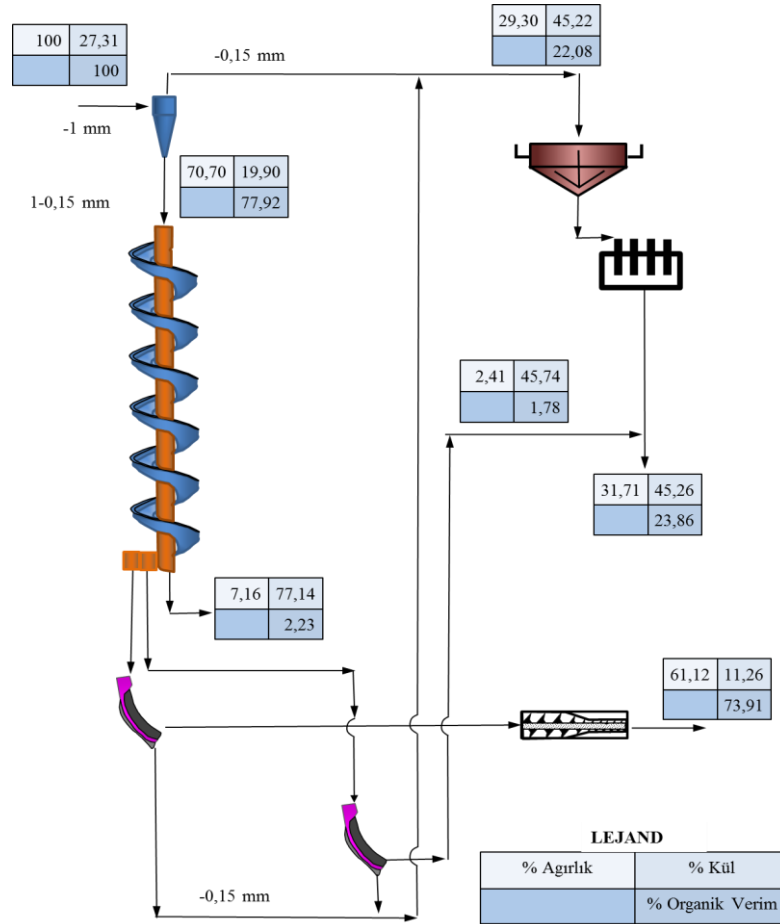
$$\text{Hatalı yer değiştirme 1} = (31,59 - 31,31) / 31,59 = 0,008$$

$$\text{Hatalı yer değiştirme 2} = ((31,31 + 3,24) - 31,31) / 7,48 = 0,43$$

Tablo 5.63 Armutçuk 1 - 0,15 mm temiz kömür spiral sonuçları tablosu

Ayırma Yoğunluğu (SG 50)	Hata Faktörü (Ep)	Yıkanabilirlik İndeksi (CI)	Hata Alanı (Aer)	Hatalı Yer Değiştirme 1	Hatalı Yer Değiştirme 2
1,68	0,06	0,33	4,09	0,008	0,43

Armutçuk 1- 0,15 mm boyutlu ince kömürleri üzerinde tek kademeli spiral kullanılarak yapılan deneyler sonucunda -1 mm kömürlerin değerlendirilmesi için oluşturulan akım şeması Şekil 5.60'da verilmektedir.



Şekil 5.60 -1 mm Armutçuk kömürü spiral akım şeması

Buna göre -1 mm boyutlu kömürler siklonlarda sınıflandırılarak 1- 0,15 mm ve - 0,15 mm olmak üzere iki fraksiyona ayrılmakta, 1-0,15 mm ince kömürler spiralde zenginleştirilerek ağırlıkça % 61,12 oranında ve % 11,26 külde temiz kömür elde edilmektedir. -0,15 mm boyutlu kömürler filtresyon devresinde susuzlandırıldıktan sonra 1-0,15 mm boyutlu ara ürün ile homojen şekilde karıştırılarak % 31,71 oranında ve % 45,26 külde termik santral yakıtı elde edilmektedir (Tablo 5.64).

Tablo 5.64 -1mm Armutçuk ürün miktarları ve kül oranları

Ürünler	Ağırlık (%)	Kül (%)
Toplam satılabilir kömür	92,83	22,87
Temiz kömür	61,12	11,26
-0,15 mm ara ürün	2,41	45,74
Filtresyon ürünü	29,30	45,22
Artık	7,17	77,14
Toplam	100	27,31

### 5.2.3 Knelson Konsantratör Deneyleri

Deneyleerde laboratuvar ölçekli Knelson MD3 modeli kesikli çalışın zenginleştirme cihazı kullanılmıştır. Şekil 5.61’de deneyleerde kullanılan Knelson konsantratörün görünümü verilmektedir.



Şekil 5.60 Laboratuvarda kullanılan Knelson konsantratör

Temel ayırma mekanizmasından da görüleceği üzere akışkan su bir Knelson konsantratöründe tane ayırma verimliliği üzerinde başlıca rol oynar. Akışkan su ile birlikte ayırma haznesinin farklı hızlarda döndürülmesi ile elde edilen merkezkaç kuvvet diğerk bir değışkendir. Ayrıca prosesin kinetiğı tane ayırımında önemli bir rol oynar. Önemli bir diğerk değışken ise su besleme miktarıdır. Knelson ayırıcı ile -1 mm tane boyutunda değışik dönme hızları ile yapılan deneyleerde herhangi bir ayırım sağlanamadığı için tane boyutunun değıştirilmesine ve spiral ile zenginleştirme çalışmalarında olduğı gibi 1-0,15 mm boyutunda deneyleer yapılmasına karar verilmiştir.

Bu çalışma için düşük, orta ve yüksek devirlerde deneyleer yapılabilmesi için 550, 800, 1250 ve 1500 dev/dk olmak üzere 4 farklı devir seçilmiştir. Başlangıçta 1L/dk, 1,5 L/dk ve 2 L/dk olmak üzere üç farklı su basınında deneyleer yapılmasına ve deneyleer esnasında elde edilecek veriler ışığında daha yüksek su basınçlarının

kullanılabileceğine karar verilmiştir. Deneylere başlamadan önce ağırlıkça % 20 katı içeren yaklaşık 20 litrelik bir karışım hazırlanmıştır. Şlamı beslemeden önce sabit basınçta akışkan su valfi sabit dönme hızına erişinceye kadar açılmıştır.

Deneylere karışım numunesi düzenli bir şekilde Knelson ayırıcıya beslenmiştir. Üst akımdan temiz su geliri oluncaya kadar cihaz çalıştırılmıştır. Üst akımdan elde edilen ürün temiz kömür, cihaz içerisinde kalan malzeme ise artık olarak elde edilmiştir.

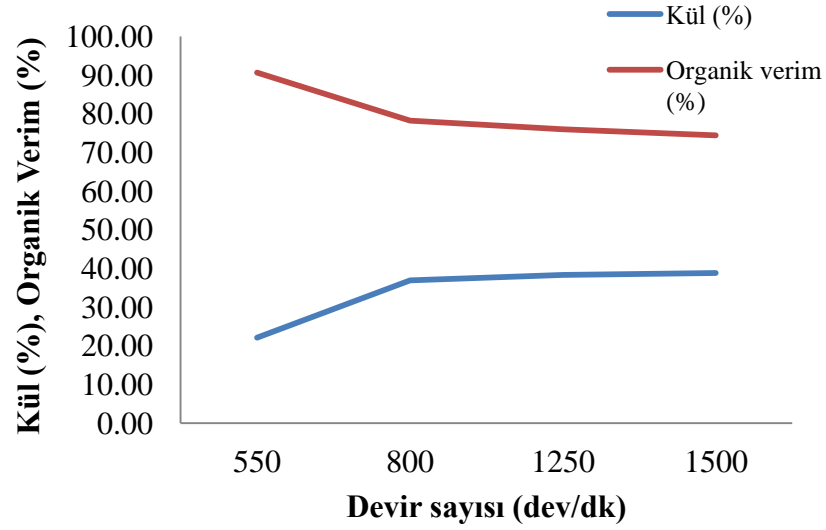
### 5.2.3.1 1-0,15 mm Amasra Kömürü Knelson Konsantratör Deneyleleri

5.2.3.1.1 1 L/dk Su Besleme Miktarı Deneyleler. 1-0,15 mm tane boyutunda, 1 L/dk su besleme miktarında Knelson ayırıcı ile yapılan deneyleler Tablo 5.65 ve Şekil 5.62’de verilmektedir. Deneylelerde 250 gr’lık numuneler kullanılmıştır.

Tablo 5.65 1- 0,15 mm Amasra taş kömürü 1 L/dk su besleme miktarında değişik devirlerde yapılan deney sonuçları

Devir Sayısı (dev/dk)		Ağırlık	Kül	Organik Verim
		(%)	(%)	(%)
550	Temiz kömür	76,27	22,13	90,64
	Artık	23,73	74,17	9,36
	<b>Toplam</b>	100,00	34,48	100,00
800	Temiz kömür	81,52	36,92	78,26
	Artık	18,48	22,72	21,74
	<b>Toplam</b>	100,00	34,30	100,00
1250	Temiz kömür	80,86	38,34	75,99
	Artık	19,14	17,71	24,01
	<b>Toplam</b>	100,00	34,39	100,00
1500	Temiz kömür	79,78	38,84	74,40
	Artık	20,22	17,00	25,60
	<b>Toplam</b>	100,00	34,42	100,00

Deney sonuçlarına göre 550 dev/dk’da % 22,13 küllü temiz kömür % 76,27 verimde elde edilmiştir. Bu devir sayısında artık kül oranı % 76,17 dir. 800 dev/dk’da yapılan deneylelerde temiz kömür kül oranı % 34,48 iken artık kül oranı % 22,72 dir. 1250 dev/dk’da kül oran % 17,71 iken 1500 dev/dk yapılan deneylede artık kül oranı %17 olmuştur.



Şekil 5.62 1- 0,15 mm Amasra kömürü 1 L/dk su besleme miktarında temiz kömür kül oranları ve organik verim değerleri

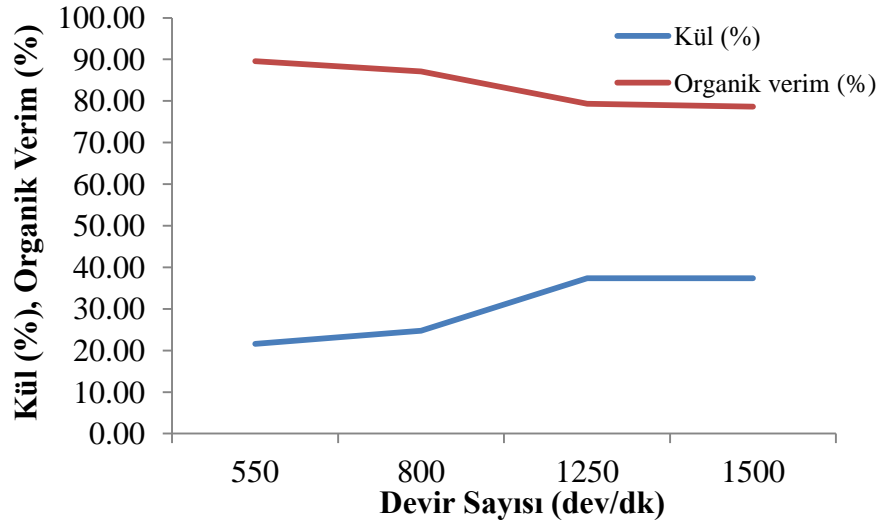
5.2.3.1.2 1,5 L/dk Su Besleme Miktarı Deneyleri. 1,5 L /dk su besleme miktarında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Tablo 5.66 ve Şekil 5.63’de verilmektedir. Buna göre en düşük temiz kömür külü 550 dev/dk’da elde edilmiştir. Bu devirde ağırlıkça % 75,18 oranında % 21,62 küllü temiz kömür elde edilmiştir.

Tablo 5.66 1-0,15 mm Amasra kömürü 1,5 L/dk su besleme miktarında değişik devirlerde yapılan deney sonuçları

Devir Sayısı (dev/dk)		Ağırlık	Kül	Organik Verim
		(%)	(%)	(%)
550	Temiz kömür	75,18	21,62	89,56
	Artık	24,82	72,33	10,44
	<b>Toplam</b>	<b>100,00</b>	<b>34,21</b>	100,00
800	Temiz kömür	75,93	24,71	87,13
	Artık	24,07	64,93	12,87
	<b>Toplam</b>	<b>100,00</b>	<b>34,39</b>	100,00
1250	Temiz kömür	83,26	37,39	79,30
	Artık	16,74	18,71	20,70
	<b>Toplam</b>	<b>100,00</b>	<b>34,26</b>	100,00
1500	Temiz kömür	82,69	37,35	78,66
	Artık	17,31	18,81	21,34
	<b>Toplam</b>	<b>100,00</b>	<b>34,14</b>	100,00



1500 dev/dk'da temiz kömür kül oranı % 37,35 iken artık kül oranı % 18,81 olmuştur.



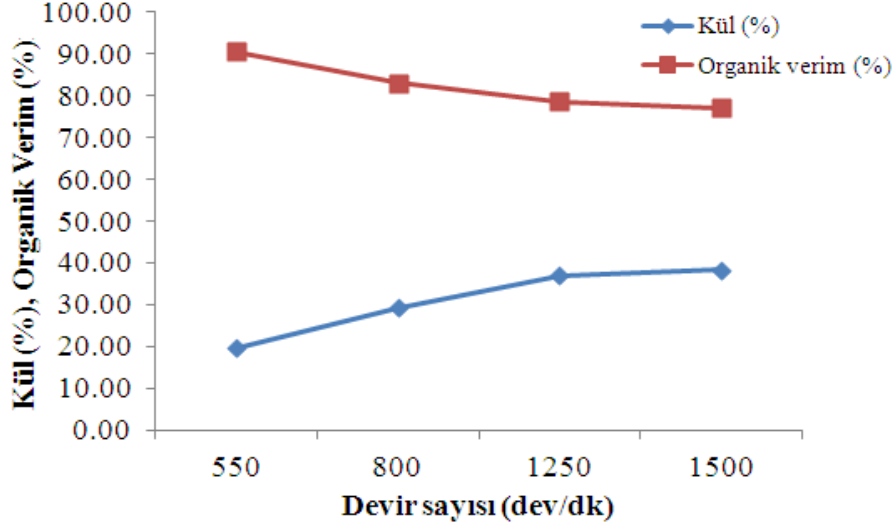
Şekil 5.63 1- 0,15 mm Amasra kömürü 1,5 L/dk su besleme miktarında temiz kömür kül oranları ve organik verim değerleri

5.2.3.1.3 2 L/dk Su Besleme Miktarı Deneyleri. 2 l/dk su besleme miktarında yapılan deney sonuçları Tablo 5.67 ve Şekil 5.64'de verilmektedir. En uygun sonuçlar 550 dev/dk'da elde edilmiş olup temiz kömür ağırlıkça % 75,39 oranında ve % 19,74 küldedir.

Tablo 5.67 1-0,15 mm Amasra kömürü 2 L/dk su besleme miktarında değişik devirlerdeki deney sonuçları

Devir Sayısı (dev/dk)		Ağırlık	Kül	Organik Verim
		(%)	(%)	(%)
550	Temiz kömür	75,39	19,74	90,55
	Artık	24,61	74,34	9,45
	<b>Toplam</b>	100,00	33,18	100,00
800	Temiz kömür	76,81	29,28	83,11
	Artık	23,19	52,41	16,89
	<b>Toplam</b>	100,00	34,64	100,00
1250	Temiz kömür	81,42	36,97	78,62
	Artık	18,58	24,89	21,38
	<b>Toplam</b>	100,00	34,72	100,00
1500	Temiz kömür	81,84	38,36	77,07
	Artık	18,16	17,38	22,93
	<b>Toplam</b>	100,00	34,55	100,00

1500 dev/dk ile yapılan deneylerde artık kül oranı temiz kömür kül oranına göre daha düşük olmuştur (%17,38).



Şekil 5.64 1- 0,15 mm Amasra kömürü 2 L/dk su besleme miktarında temiz kömür kül oranları ve organik verim değerleri

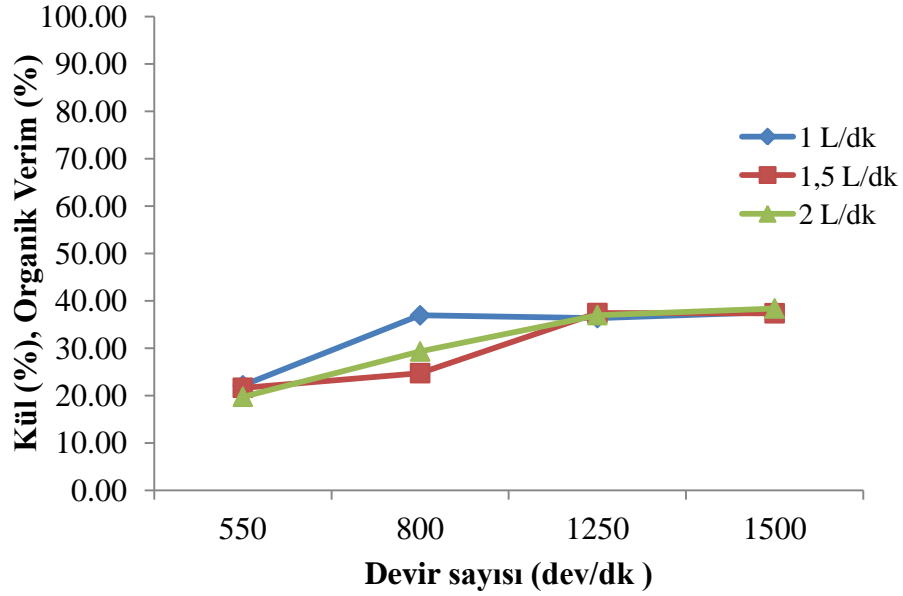
#### 5.2.3.1.4. Değişik Su Besleme Miktarında Yapılan Deneylerin Değerlendirilmesi.

Amasra 1- 0,15 mm ince kömürleri üzerinde farklı su basınçlarında ve farklı devir sayılarında yapılan deney sonuçları Tablo 5.68 ve Şekil 5.65’de verilmektedir.

Tablo 5.68 Amasra 1- 0,15 mm ince kömürü değişik su besleme miktarlarındaki deney sonuçları

Devir Sayısı (dev/dk)		Su Besleme Miktarı					
		1 L/dk		1,5 L/dk		2 L/dk	
		Ağırlık (%)	Kül (%)	Ağırlık (%)	Kül (%)	Ağırlık (%)	Kül (%)
550	Temiz kömür	76,27	22,13	75,18	21,62	75,39	19,74
	Artık	23,73	74,17	24,82	72,33	24,61	74,34
	<b>Toplam</b>	100,00	34,48	100,00	34,21	100,00	33,18
800	Temiz kömür	81,52	36,92	75,93	24,71	76,81	29,28
	Artık	18,48	22,72	24,07	64,93	23,19	52,41
	<b>Toplam</b>	100,00	34,30	100,00	34,39	100,00	34,64
1250	Temiz kömür	80,86	36,34	83,26	37,39	81,42	36,97
	Artık	19,14	17,71	16,74	18,71	18,58	24,89
	<b>Toplam</b>	100,00	34,39	100,00	34,26	100,00	34,72
1500	Temiz kömür	79,78	37,64	82,69	37,35	81,84	38,36
	Artık	20,22	17,00	17,31	18,81	18,16	17,38
	<b>Toplam</b>	100,00	34,42	100,00	34,14	100,00	34,55

Deney sonuçlarına en düşük temiz kömür külü 550 dev/dk'da ve 2 L/dk su besleme miktarında elde edilmiştir.



Şekil 5.65 1-0,15 mm Amasra kömürü değişik su basınçlarında temiz kömür kül oranları ve organik verim değerleri

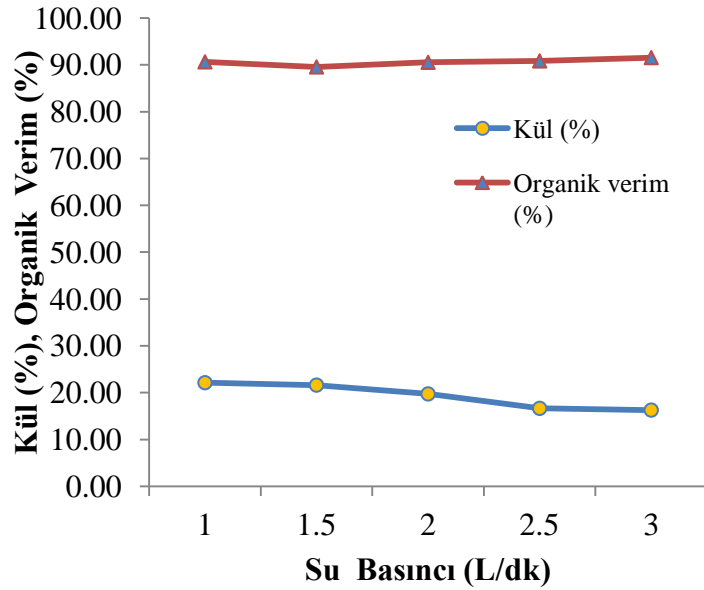
5.2.3.1.5. 550 dev/dk Devir Sayısındaki Deneyler. Deneylerde 550 dev/dk'da en uygun sonuçlar elde edilmiştir. Bu nedenle deney çalışmalarının bu devirde yapılmasına karar verilmiştir. Su besleme miktarının ayırma verimliliğine etkisini tespit edilmesi amacıyla 1L/dk, 1,5 L/dk, 2 L/dk, 2,5 L/dk ve 3 L/dk su basınçlarında deneyler yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 5.69 ve Şekil 5.66'da verilmektedir.

Tablo 5.69 1- 0,15 mm Amasra kömürü 550 dev/dk devirde değişik su basınçlarında yapılan Knelson deney sonuçları

Devir Sayısı (dev/dk)		Su Besleme Miktarı									
		1 L/dk		1,5 L/dk		2 L/dk		2,5 L/dk		3 L/dk	
		Ağ. (%)	Kül (%)	Ağ. (%)	Kül (%)	Ağ. (%)	Kül (%)	Ağ. (%)	Kül (%)	Ağ. (%)	Kül (%)
550	Temiz kömür	76,27	22,13	75,18	21,62	75,39	19,74	66,47	16,66	67,82	16,28
	Artık	23,73	74,17	24,82	72,33	24,61	74,34	33,53	66,77	32,18	69,25
	Toplam	100	34,48	100	34,21	100	33,18	100	33,45	100	33,32

1 L/dk ve 3 L/dk arasında 6 değişik su besleme miktarında yapılan deneylerde su besleme miktarı arttıkça temiz kömür kül oranının da hızla düştüğü görülmektedir.

En düşük kül oranı 3L/dk su besleme miktarında elde edilmiştir. Bu su besleme miktarında temiz kömür kül oranı % 16,28 dir. Artık kül oranı ise % 69,25 dir.



Şekil 5.66 1- 0,15 mm Amasra kömürü 550 dev/dk ve değişik su besleme miktarlarında temiz kömür kül oranları ve organik verim değerleri

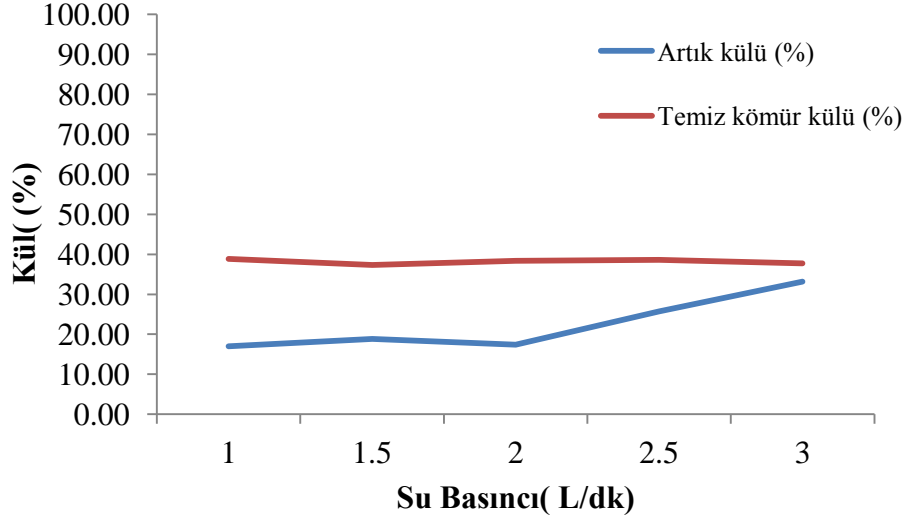
Temiz kömür külü % 22,13 düzeyinden % 16,28 düzeyine düşerken yanabilir verim % 91 seviyelerinde kalmıştır. Deney sonuçlarına göre 550 dev/dk'da ve 3L/dk su besleme miktarında % 16,28 küllü temiz kömür elde edilmiştir.

5.2.3.1.6. 1500 dev/dk Devir Sayısındaki Deneyler. Daha önceki deneylerde devir sayısı arttıkça temiz kömür kül oranının arttığı ve artık kül oranında hızla düştüğü tespit edilmiştir. Bu nedenle yüksek devirde deneyler yapılmış olup sonuçlar Tablo 5.70 ve Şekil 5.67'de verilmektedir.

Tablo 5.70 1-0,15 mm Amasra kömürü 1500 dev/dk'da ve değişik su besleme miktarlarında yapılan Knelson deney sonuçları

Devir Sayısı (dev/dk)		Su Besleme Miktarı									
		1 L/dk		1,5 L/dk		2 L/dk		2,5 L/dk		3 L/dk	
		Ağ. (%)	Kül (%)	Ağ. (%)	Kül (%)	Ağ. (%)	Kül (%)	Ağ. (%)	Kül (%)	Ağ. (%)	Kül (%)
1500	Temiz Kömür	79,78	38,84	82,69	37,35	81,84	38,36	64,58	38,63	60,93	37,72
	Artık	20,22	17,00	17,31	18,81	18,16	17,38	35,42	25,73	39,07	33,16
	Toplam	100	34,42	100	34,14	100	34,55	100	34,06	100	35,93

1 L/dk su besleme miktarında temiz kömür kül oranı % 37,64 ve artık kül oranı % 17 iken, 3 L/dk su besleme miktarında temiz kömür kül oranı aynı kalarak %37,72 olmuş; ancak artık kül oranı % 33,16 'ya yükselmiştir.



Şekil 5.67 1- 0,15 mm Amasra kömürü 1500 dev/dk ve değişik su besleme miktarlarında temiz kömür ve artık kül oranları

5.2.3.1.7. *Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.* Temiz kömür kül oranındaki artışın nedenlerini tespit etmek amacıyla, 2,5 L/dk su besleme miktarında yapılan deneylerden elde edilen temiz kömür ve artık ürünleri üzerinde elek analizi ve kül analizi yapılmıştır (Tablo 5.71).

Tablo 5.71 1- 0,15 mm Amasra kömürü 1500 dev/dk ve 2,5 L/dk da elde edilen ürünlerin elek analizi sonuçları

Tane Boyutu (mm)	Temiz Kömür Ağ. (%)	Temiz Kömür Külü (%)	Artık Ağ. (%)	Artık Külü (%)
1- 0,8	2,47	26,25	0,85	22,19
0,8- 0,5	14,94	27,35	4,32	10,90
0,5- 0,315	25,47	34,64	9,21	13,70
0,315 - 0,150	27,92	48,12	14,83	29,75
Toplam	70,80	38,13	29,20	21,68

Elek analizi sonuçlarına göre 1 - 0,315 mm tane aralığında temiz kömür taneleri artık ürününe karışmaktadır. -0,315 mm tane boyutunda herhangi bir ayırım söz konusu değildir. Ayrıca temiz kömür ve artık ürünleri üzerinde her bir boyut aralığı mikroskop altında incelemeler yapılmıştır.



Şekil 5.68 +0,8 mm Amasra temiz kömür mikroskop görünümü

Şekil 5.68'de temiz kömürün çoğunluğunun yan kayaç parçalarından (yaklaşık % 80 oranında) oluştuğu ve arada az sayıda kömür tanelerinin bulunduğu görülmektedir. Yoğunluk farkı nedeniyle yan kayaç parçalarının daha altta, kömür tanelerinin ise, üstte bulunmaktadır.



Şekil 5.69 +0,8 mm Amasra artık mikroskop görünümü

+0,8 mm artığın yaklaşık % 50 oranında kömür tanelerinden ve % 50 oranında da yan kayaç parçalarından oluştuğu görülmektedir (Şekil 5.69). Yoğunluk farkı nedeniyle yan kayaç parçalarının daha altta, kömür tanelerinin ise, üstte konumlanmışlardır.



Şekil 5.70 0,8- 0,5 mm Amasra artık mikroskop görünümü

0,8 - 0,5 mm artık içerisinde temiz kömür miktarının yan kayaç miktarına göre daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 5.70). 0,5-0,315 mm tane aralığında temiz kömür içerisinde kömür tanelerinin sayısında azalma, yan kayaç tanelerinin sayısında ise artma görülmektedir.

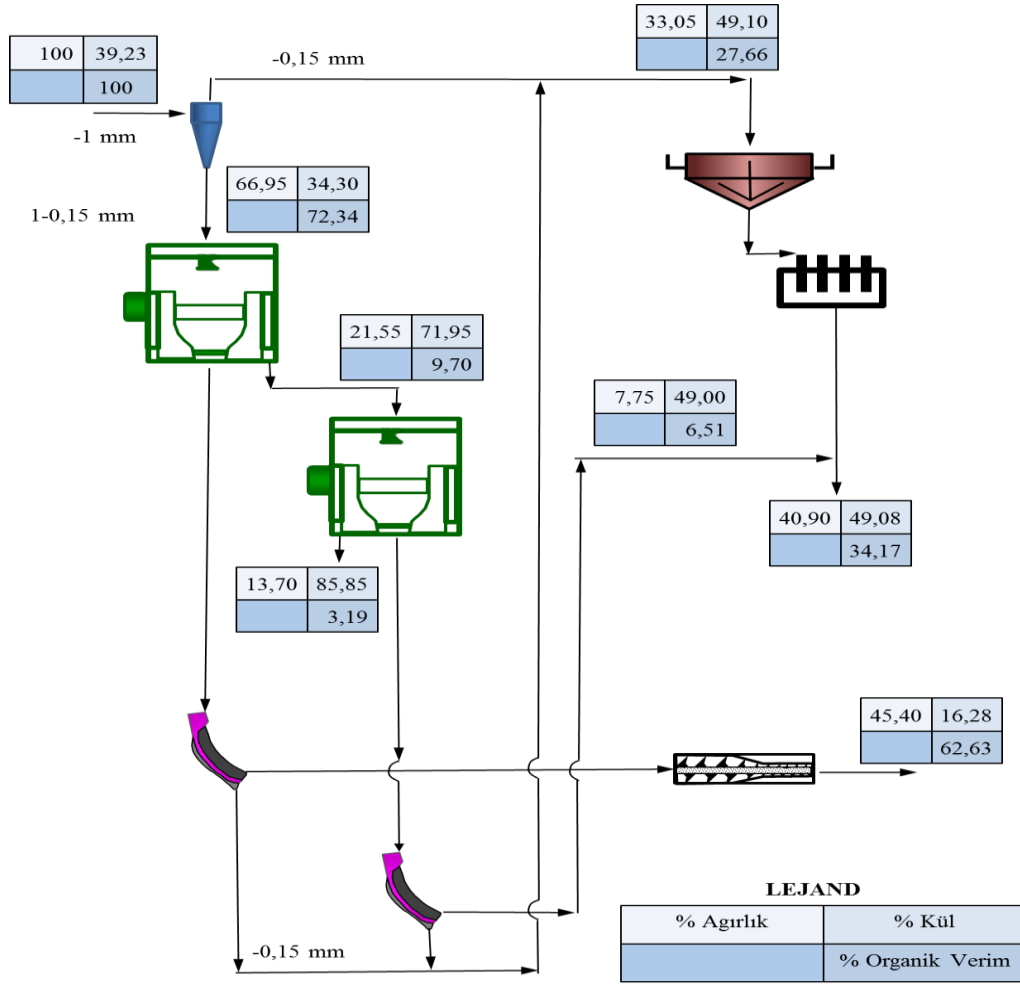
0,5-0,315 mm tane aralığındaki artık içerisinde temiz kömür örneğine benzer şekilde elek aralığındaki azalmaya bağlı olarak kömür tanelerinin sayısında azalma, yan kayaçların tanelerinde artma görülmektedir. Şekil 5.71’de kömür oranında azalma yan kayaç oranında ise artış belirgin olarak görülmektedir. Yaklaşık % 20 oranında kömür, % 80 oranında ise yan kayaçlar bulunmaktadır.



Şekil 5.71 -0,315 mm Amasra artık mikroskop görünümü

Amasra 1-0,15 mm boyutlu ince kömürleri üzerinde Knelson konsantratör kullanılarak yapılan deneyler sonucunda -1 mm kömürlerin değerlendirilmesi için oluşturulan akım şeması Şekil 5.72'de verilmektedir. Buna göre -1 mm ince kömürler siklonlarda sınıflandırılarak 1-0,15 mm ve -0,15 mm olmak üzere iki fraksiyona ayrılmaktadır. 1-0,15 mm ince kömürler Knelson konsantratörde zenginleştirilerek % 45,40 oranında verimde ve % 16,28 külde temiz kömür elde edilmektedir. Ara ürün tekrar süpürme devresinde Knelson konsantratör ile zenginleştirilerek % 7,75 oranında ve % 49 külde ara ürün elde edilmektedir.





Şekil 5.72 Amasra -1mm ince kömürü Knelson konsantratör kullanılarak düzenlenen akım şeması

-0,15 mm boyutlu kömürler filtrasyon devresinde susuzlandırıldıktan sonra 1-0,15 mm boyutlu ara ürün ile homojen şekilde karıştırılarak % 40,90 oranında ve % 49,08 külden termik santral yakıtı elde edilmektedir ( Tablo 5.72).

Tablo 5.72 -1mm Amasra kömürü ürün miktarları ve kül oranları

Ürünler	Ağırlık (%)	Kül (%)
Toplam satılabilir kömür	86,3	31,82
Temiz kömür	45,40	16,28
-0,15 mm ara ürün	7,75	49
Filtrasyon ürünü	33,05	49,10
Artık	13,70	85,85
Toplam	100,00	39,23

Toplam satılabilir miktarı besleme malının % 86,3'ünü oluşturmakta olup, kül oranı % 31,82 dir. % 13,70 oranında ve % 85,85 külde artık elde edilmektedir.

### 5.2.3.2 1-0,15 mm Karadon Kömürü Knelson Deneyleri

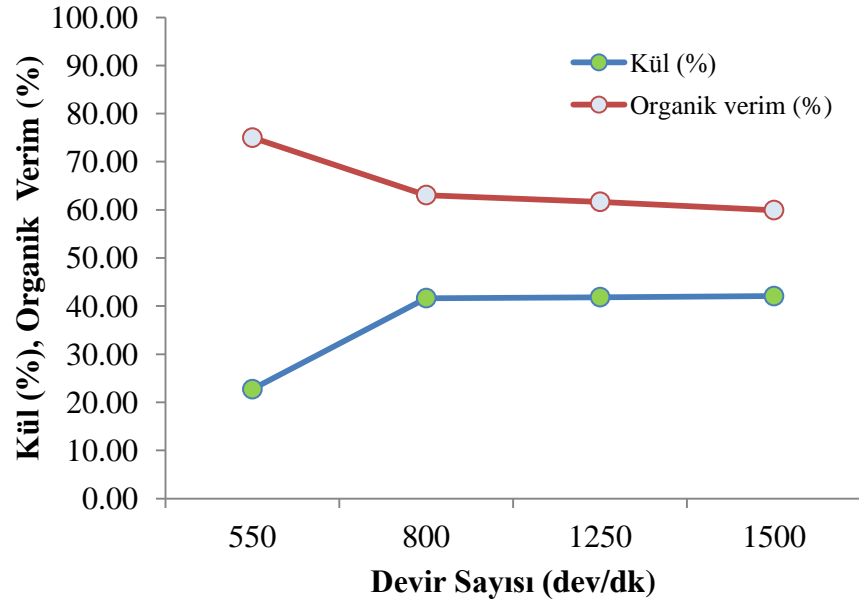
Deneylerde düşük, orta seviyede ve yüksek devir sayılarında (550, 800, 1250 ve 1500 dev/dk) deneyler yapılmıştır. Başlangıçta -1 mm ile deneyler yapılmış ancak herhangi bir zenginleşme sağlanamamıştır. 1-0,15 mm boyutundaki kömür numuneleri üzerinde deneyler yapılmıştır. Deneylerde yaklaşık 130 gr'lık numuneler kullanılmıştır.

5.2.3.2.1 L/dk Su Besleme Miktarı Deneyleri. 1-0,15 mm boyutundaki numuneler üzerinde 1 L/dk su besleme miktarında Knelson konsantratör ile yapılan deneyler Tablo 5.73 ve Şekil 5.73'de verilmektedir.

Tablo 5.73 1-0,15 mm Karadon kömürü 1 L/dk su besleme miktarında değişik devirlerde Knelson deney sonuçları

Devir Sayısı (dev/dk)		Ağırlık	Kül	Organik Verim
		(%)	(%)	(%)
550	Temiz kömür	59,19	22,72	75,00
	Artık	40,81	62,63	25,00
	<b>Toplam</b>	100,00	39,01	100,00
800	Temiz kömür	67,18	41,65	63,06
	Artık	32,82	30,06	36,94
	<b>Toplam</b>	100,00	37,85	100,00
1250	Temiz kömür	64,80	41,85	61,67
	Artık	35,20	33,46	38,33
	<b>Toplam</b>	100,00	38,90	100,00
1500	Temiz kömür	63,60	42,07	59,94
	Artık	36,40	32,36	40,06
	<b>Toplam</b>	100,00	38,53	100,00

Deney sonuçlarına göre 550 dev/dk lık devirde % 22,72 külde ve % 59,19 oranında temiz kömür elde edilmiştir. Bu devir sayısında artık kül oranı % 62,63 tür.



Şekil 5.73 1 - 0,15 mm Karadon kömürü 1 L / dk su besleme miktarında temiz kömür kül oranları ve organik verim değerleri

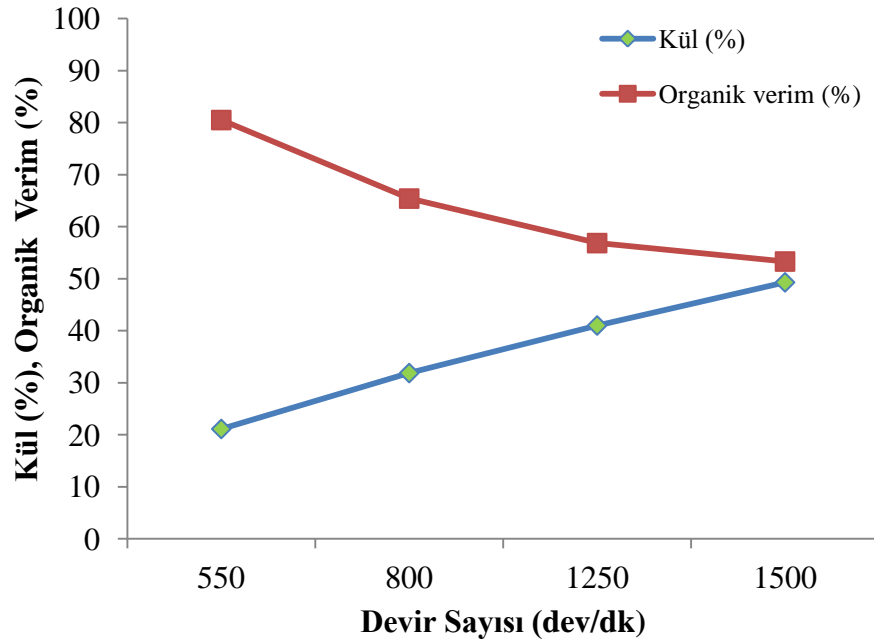
5.2.3.2.2 1,5 L / dk Su Besleme Miktarı Deneyle. Dene sonuçları Tablo 5.74 ve Şekil 5.74'de verilmektedir.

Tablo 5.74 1- 0,15 mm Karadon kömürü 1,5 L / dk su besleme miktarında değişik devirlerde Knelson deney sonuçları

Devir Sayısı (dev/dk)		Ağırlık (%)	Kül (%)	Organik Verim (%)
550	Temiz kömür	62,59	21,12	80,51
	Artık	37,41	68,05	19,49
	<b>Toplam</b>	<b>100,00</b>	<b>38,68</b>	100,00
800	Temiz kömür	58,65	31,87	65,41
	Artık	41,35	48,89	34,59
	<b>Toplam</b>	<b>100,00</b>	<b>38,91</b>	100,00
1250	Temiz kömür	58,87	41,02	56,85
	Artık	41,13	35,93	43,15
	<b>Toplam</b>	<b>100,00</b>	<b>38,92</b>	100,00
1500	Temiz kömür	64,35	49,31	53,31
	Artık	35,65	19,88	46,69
	<b>Toplam</b>	<b>100,00</b>	<b>38,81</b>	100,00

1,5 L /dk su besleme miktarında yapılan deneylerde 550 dev/dk devirde ağırlıkça % 62,59 oranında % 21,12 küllü temiz kömür elde edilmiştir. 800 dev/dk'da temiz kömür kül oranı % 31,87 olmuştur.

Devir sayısı arttıkça temiz kömür kül oranı da hızla artmakta ve herhangi bir ayırım olmamaktadır.

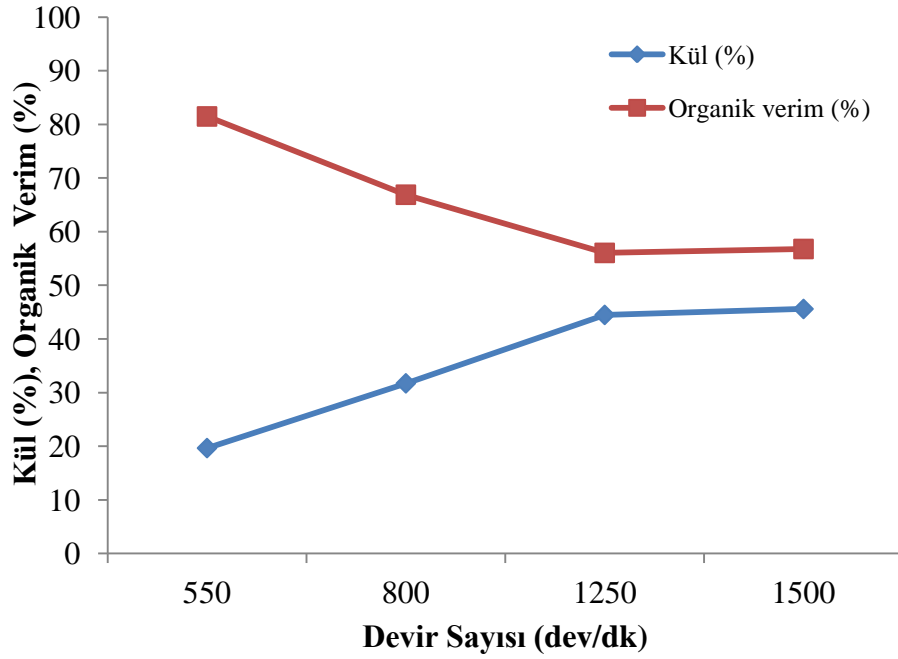


Şekil 5.74 1- 0,15 mm Karadon kömürü 1,5 L / dk su besleme miktarında temiz kömür kül oranları ve yanabilir verim değerleri

5.2.3.2.3. 2 L / dk Su Besleme Miktarı Deneyleri. 2 l/dk su besleme miktarında ve 550 dev/dk'da yapılan deneylerin sonuçları Tablo 5.75'de verilmektedir. Tablodan da görüleceği üzere de ağırlıkça % 62,31 oranında temiz kömür elde edilmiş olup kül oranı % 19,65 dir. 1250 dev/dk ve 1500 dev/dk ile yapılan deneylerde artık kül oranı temiz kömür kül oranına göre daha düşük olmuştur

Tablo 5.75 1 - 0,15 mm Karadon kömürü 2 L / dk su besleme miktarında değişik devirlerde Knelson deney sonuçları

Devir Sayısı (dev/dk)		Ağırlık	Kül	Organik Verim
		(%)	(%)	(%)
550	Temiz kömür	62,31	19,65	81,46
	Artık	37,69	69,78	18,54
	<b>Toplam</b>	100,00	38,54	100,00
800	Temiz kömür	60,38	31,72	66,87
	Artık	39,62	48,45	33,13
	<b>Toplam</b>	100,00	38,35	100,00
1250	Temiz kömür	61,87	44,47	56,03
	Artık	38,13	29,29	43,97
	<b>Toplam</b>	100,00	38,68	100,00
1500	Temiz kömür	64,40	45,58	56,76
	Artık	35,60	25,01	43,24
	<b>Toplam</b>	100,00	38,26	100,00

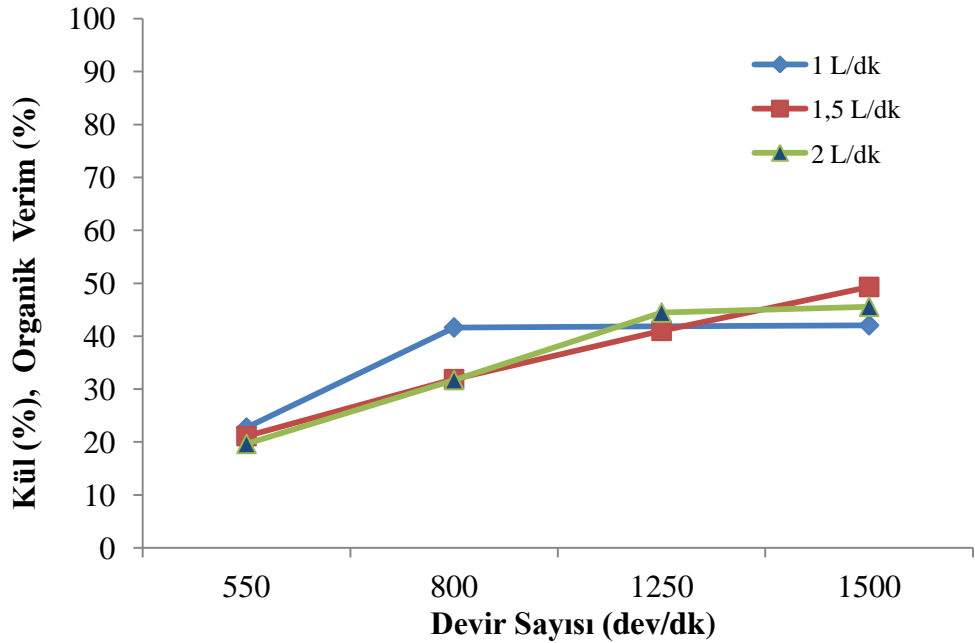


Şekil 5.75 1- 0,15 mm Karadon kömürü 2 L / dk su besleme miktarında temiz kömür kül oranları ve organik verim değerleri

5.2.3.2.4. *Farklı Su Besleme Miktarındaki Sonuçların Değerlendirilmesi.* Farklı su basınçlarında ve farklı devir sayılarında yapılan deney sonuçları Tablo 5.76 ve Şekil 5.76'da verilmektedir.

Tablo 5.76 1-0,15 mm Karadon kömürü farklı su basınçlarında ve devirlerdeki Knelson deney sonuçları

Devir Sayısı (dev/dk)		Su besleme miktarı					
		1 L		1,5 L		2 L	
		Ağırlık	Kül	Ağırlık	Kül	Ağırlık	Kül
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
550	Temiz kömür	59,19	22,72	62,59	21,12	62,31	19,65
	Artık	40,81	62,63	37,41	68,05	37,69	69,78
	<b>Toplam</b>	100,00	39,01	100,00	38,68	100,00	38,54
800	Temiz kömür	67,18	41,65	58,65	31,87	60,38	31,72
	Artık	32,82	30,06	41,35	48,89	39,62	48,45
	<b>Toplam</b>	100,00	37,85	100,00	38,91	100,00	38,35
1250	Temiz kömür	64,80	41,85	58,87	41,02	61,87	44,47
	Artık	35,20	33,46	41,13	35,93	38,13	29,29
	<b>Toplam</b>	100,00	38,90	100,00	38,92	100,00	38,68
1500	Temiz kömür	63,60	42,07	64,35	49,31	64,40	45,58
	Artık	36,40	32,36	35,65	19,88	35,60	25,01
	<b>Toplam</b>	100,00	38,53	100,00	38,81	100,00	38,26



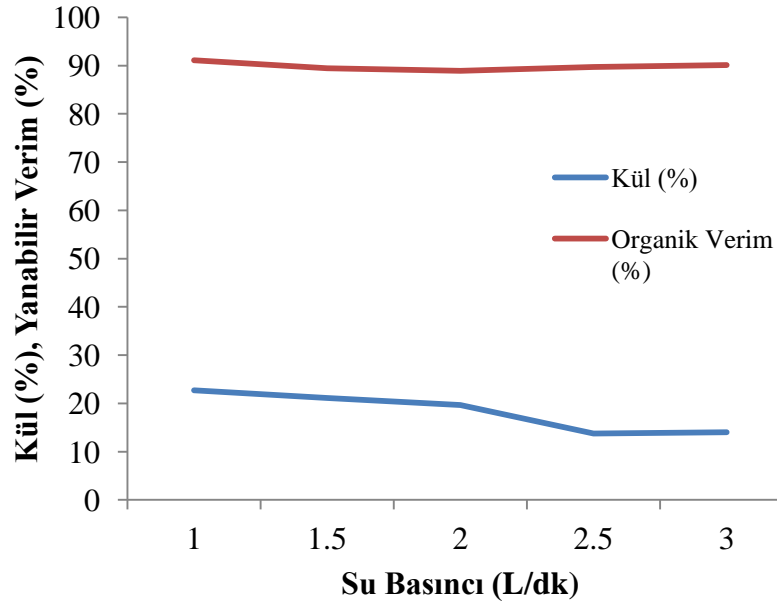
Şekil 5.76 1-0,15 mm Karadon kömürü değişik su basınçlarında temiz kömür kül oranları ve organik verim değerleri

5.2.3.2.5. 550 dev/dk Devir Sayısında Yapılan Deneyler. Deneylerde 550 dev/dk'da en düşük temiz kömür külü ve en yüksek artık külü elde edilmiştir. Bu nedenle deney çalışmalarının bu devirde yapılmasına karar verilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar Tablo 5.77 ve Şekil 5.77'de verilmektedir.

Tablo 5.77 Karadon 1- 0,15 mm ince kömürü 550 dev/dk'da ve değişik su basınçlarında yapılan Knelson deney sonuçları

Devir Sayısı (dev/dk)	Su besleme miktarı										
	1 L / dk		1,5 L / dk		2 L / dk		2,5 L/dk		3 L/dk		
	Ağ. (%)	Kül (%)	Ağ. (%)	Kül (%)	Ağ. (%)	Kül (%)	Ağ. (%)	Kül (%)	Ağ. (%)	Kül (%)	
550	Temiz kömür	59,19	22,72	62,59	21,12	62,31	19,65	58,24	13,78	59,74	14,00
	Artık	40,81	62,63	37,41	68,05	37,69	69,78	41,76	73,60	40,26	73,94
	Toplam	100	38,21	100	37,63	100	37,65	100	38,76	100	38,13

1L/dk ve 3 L/dk arasında 6 değişik su besleme miktarında yapılan deneylerde su besleme miktarı arttıkça temiz kömür kül oranının da hızla düştüğü görülmektedir. Temiz kömür En düşük kül oranı 2,5L/dk su besleme miktarında elde edilmiştir. Bu su besleme miktarında temiz kömür kül oranı % 13,78 olup temiz kömür verimi %56,96 dır. Artık kül oranı ise % 73,60 .



Şekil 5.77 1-0,15 mm Karadon kömürü 550 dev/dk ve değişik su basınçlarında temiz kömür kül oranları ve organik verim değerleri

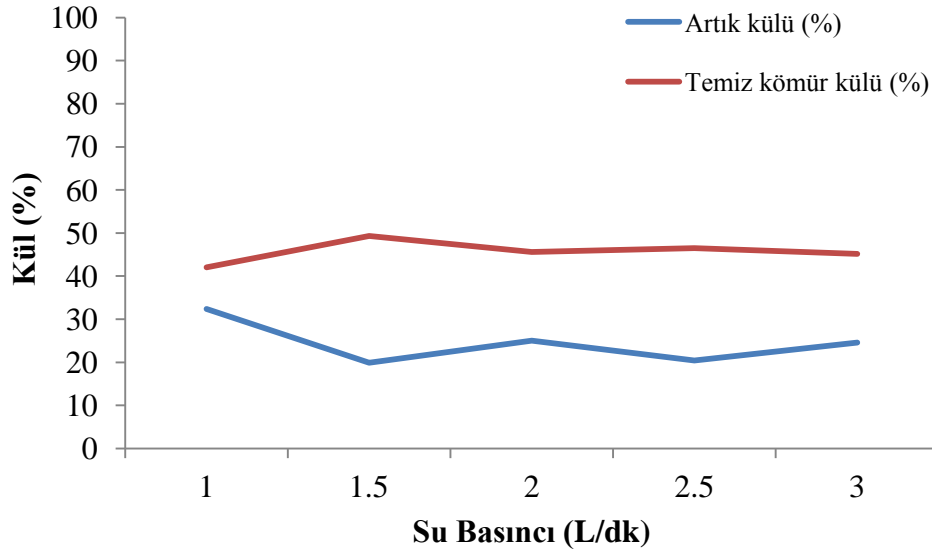
Şekil 5.76' dan da görüleceği üzere temiz kömür külü %22,72 düzeyinden % 14,00 düzeyine düşerken yanabilir verim % 90 seviyelerinde kalmıştır.

5.2.3.2.6 .1500 dev/dk'da Yapılan Deneyler. Daha önceki deneylerde devir sayısı arttıkça temiz kömür kül oranının arttığı ve artık kül oranında hızla düştüğü tespit edilmiştir. Bu nedenle 1500 dev/dk'dave değişik su basınçlarında deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları Tablo 5.78 ve Şekil 5.78'de verilmektedir.

Tablo 5.78 1-0,15 mm Karadon kömürü 1500 dev/dk devirde ve değişik su basınçlarında yapılan Knelson deney sonuçları

Devir Sayısı (dev/dk)		Su besleme miktarı									
		1 L/dk		1,5 L/dk		2 L/dk		2,5 L/dk		3 L/dk	
		Ağ.	Kül	Ağ.	Kül	Ağ.	Kül	Ağ.	Kül	Ağ.	Kül
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1500	Temiz kömür	63,60	42,07	64,35	49,31	64,40	45,58	64,58	46,49	60,93	45,14
	Artık	36,40	32,36	35,65	19,88	35,60	25,01	35,42	20,44	39,07	24,58
	Toplam	100	38,53	100	38,81	100	38,26	100	37,26	100	37,10

1 L/dk su besleme miktarında temiz kömür kül oranı % 42,07 ve artık kül oranı % 32,36 iken, 3 L/dk su besleme miktarında temiz kömür kül oranı % 45,14'e yükselirken artık kül oranı % 24,58'e düşmektedir.



Şekil 5.78 1- 0,15 mm Karadon kömürü 1500 dev/dk ve değişik su basınçlarında temiz kömür ve artık kül oranları



5.2.3.2.7 *Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.* 1500 dev/dk'da yapılan deneylerde temiz kömürün kül oranının çok, artığın kül oranının az çıkması üzerine, bunun nedenlerini araştırmak üzere 1500 dev/dk'da ve 2,5 L/dk su besleme miktarında tekrar deneyler yapılarak temiz kömür ve artık numuneleri üzerinde elek analizi yapılmıştır. Elek analiz sonuçları Tablo 5.79'da verilmektedir.

Tablo 5.79 1-0,15 mm Karadon kömürü 1500 dev/dk'da ve 2,5 l/dk ürün elek analizi sonuçları

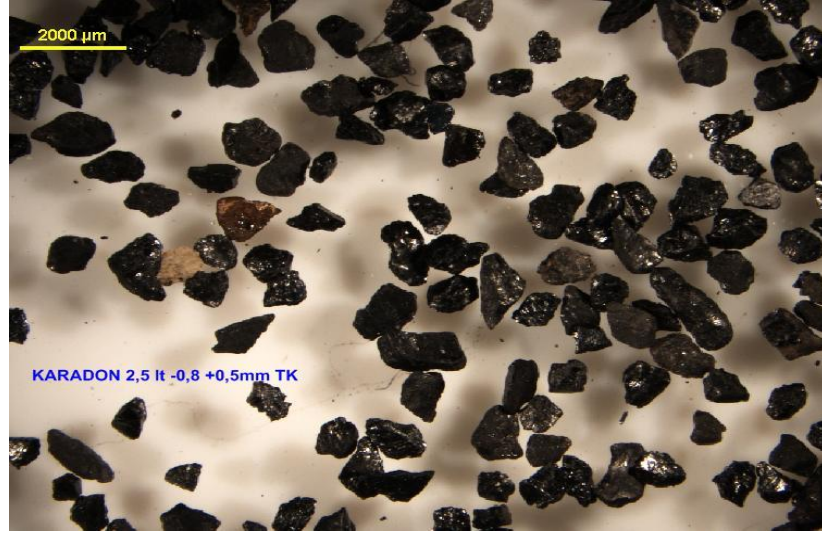
Tane Boyutu (mm)	Temiz Kömür Ağ. (%)	Temiz Kömür Kül (%)	Artık Ağ. (%)	Artık Kül (%)
1- 0,8	7,31	55,83	2,40	38,83
0,8 - 0,5	15,56	47,66	6,99	26,09
0,5 - 0,315	21,14	45,93	12,76	19,76
0,315-0,150	16,92	47,20	16,92	28,93
Toplam	60,93	47,91	39,07	26,04

Elek analizi sonuçlarına göre tüm tane boyutlarında artıka yoğunluğu daha düşük tanelerin olduğu buna karşılık temiz kömürde ağır tanelerin yer aldığı görülmektedir. Eleme sonucu elde edilen fraksiyonlar ayrıca mikroskop altında incelenmiştir.



Şekil 5.79 Karadon +0,8 mm (artık)

Şekil 5.79'da +0,8 mm boyutundaki temiz kömür fraksiyonundaki tanelerin çoğunluğunun (yaklaşık 4/3'ünün) kömür tanelerinden oluştuğu görülmektedir.



Şekil 5.80 Karadon 0,8- 0,5 mm temiz kömür

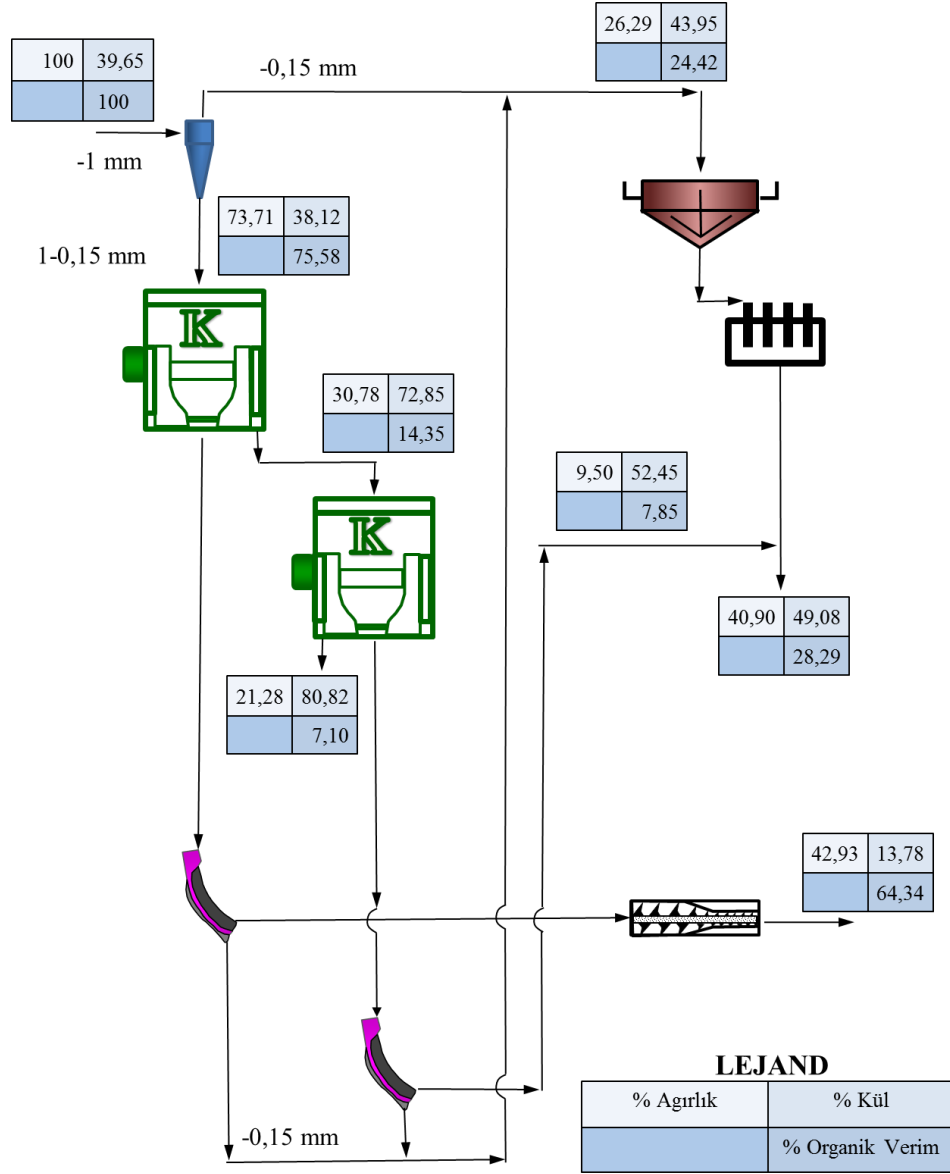
Elek boyutları küçüldükçe kömür oranında artış, yan kayaç oranında ise azalma görülmektedir. Tanelerin yaklaşık % 80'i kömür, geri kalan % 20'si ise yan kayaç parçalarından oluşmaktadır (Şekil 5.80).



Şekil 5.81 Karadon 0,5-0,315 mm artık

Şekil 5.80'de artığın tamamen temiz kömürden oluştuğu görülmektedir. Yan kayaç parçaları ise hiç görülmemektedir.

-1mm kömürlerin değerlendirilmesi için oluşturulan akım şeması Şekil 5.82'de verilmektedir. -1 mm ince kömürler siklonlarda sınıflandırılarak 1-0,15 mm ve -0,15 mm olmak üzere iki fraksiyona ayrılmaktadır. 1-0,15 mm ince kömürler Knelson konsantratörde zenginleştirilerek % 42,93 oranında ve % 13,78 külde temiz kömür elde edilmektedir.



Şekil 5.82 Karadon -1mm kömürü Knelson akım şeması

-0,15 mm boyutlu kömürler filtrasyon devresinde susuzlandırıldıktan sonra 1-0,15 mm boyutlu ara ürün ile homojen şekilde karıştırılarak % 40,90 oranında ve % 49,08 külde termik santral yakıtı elde edilmektedir.

Tablo 5.80 -1mm Karadon kömürü ürün miktarları ve kül oranları

Ürünler	Ağırlık (%)	Kül (%)
Toplam satılabilir kömür	78,72	28,52
Temiz kömür	42,93	13,78
-0,15 mm ara ürün	9,50	52,45
Filtrasyon ürünü	26,29	43,95
Artık	21,28	80,82
Toplam	100,00	39,65

### 5.2.3.3 1-0,15 mm Armutçuk Kömürü Knelson Deneyleri

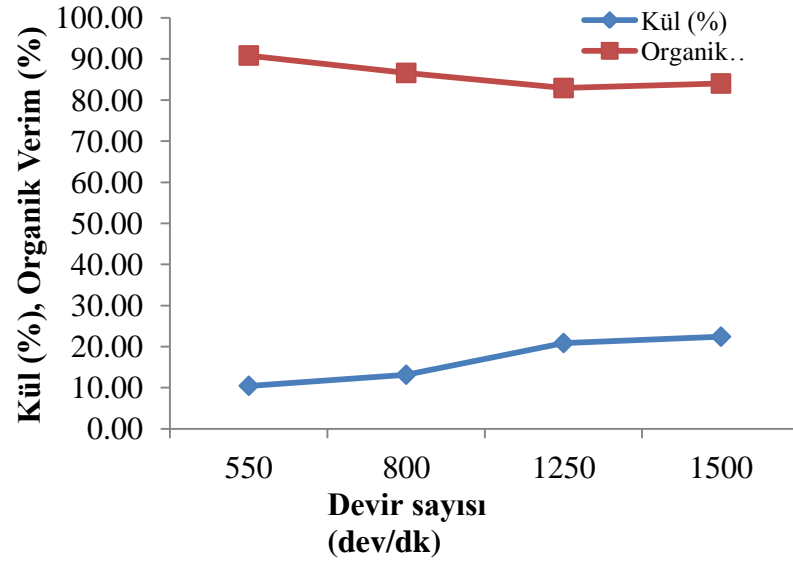
Deneyler 1 L/dk, 1,5 L/dk ve 2 L/dk olmak üzere değişik su basınçlarında ve 550, 800, 1250 ve 1500 dev/dk'da yapılmıştır. Deneylerde yaklaşık 250 gr'lık numuneler kullanılmıştır.

*5.2.3.3.1 1L/dk Su Besleme Miktarı Deneyleri.* 1L/dk su besleme miktarında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Tablo 5.81 ve Şekil 5.83'de sunulmaktadır.

Tablo 5.81 1- 0,15 mm Armutçuk kömürü 1 L/dk su besleme miktarında değişik devirlerde Knelson deney sonuçları

Devir Sayısı (dev/dk)		Ağırlık		Kül	Organik Verim
		(gr)	(%)	(%)	(%)
550	Temiz kömür	201,00	80,66	10,45	90,84
	Artık	48,20	19,34	62,32	9,16
	<b>Toplam</b>	249,20	100,00	20,48	100,00
800	Temiz kömür	201,60	79,90	13,14	86,59
	Artık	50,70	20,10	46,51	13,41
	<b>Toplam</b>	252,30	100,00	19,85	100,00
1250	Temiz kömür	206,20	83,69	20,86	82,91
	Artık	40,20	16,31	16,35	17,09
	<b>Toplam</b>	246,40	100,00	20,13	100,00
1500	Temiz kömür	226,30	85,65	22,41	84,02
	Artık	37,90	14,35	11,89	15,98
	<b>Toplam</b>	264,20	100,00	20,90	100,00

550 dev/dk'da ağırlıkça % 80,66 oranında temiz kömür % 10,45 külde ve % 19,34 oranında artık % 62,32 küllü olarak elde edilmiştir.

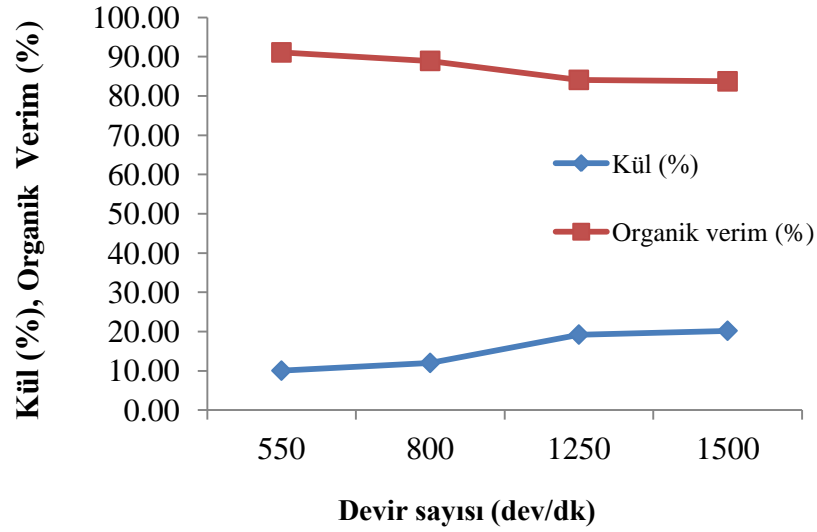


Şekil 5.83 1- 0,15 mm Armutçuk kömürü değişik devirlerde temiz kömür kül oranları ve organik verim değerleri

5.2.3.3.2 1,5L/dk Su Besleme Miktarı Deneyleri. Su besleme miktarının ayırma verimine etkisinin araştırılması için 1,5 L/dk su besleme miktarında değişik devir sayılarında deneyler yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar Tablo 5.82 ve Şekil 5.84’de verilmektedir.

Tablo 5.82 1- 0,15 mm Armutçuk kömürü 1,5 L/dk su besleme miktarında değişik devirlerde Knelson deney sonuçları

Devir Sayısı (dev/dk)		Ağırlık	Kül	Organik Verim
		(%)	(%)	(%)
550	Temiz kömür	81,38	10,04	91,06
	Artık	18,62	61,39	8,94
	<b>Toplam</b>	<b>100,00</b>	<b>19,60</b>	100,00
800	Temiz kömür	80,97	12,01	88,90
	Artık	19,03	53,27	11,10
	<b>Toplam</b>	<b>100,00</b>	<b>19,86</b>	100,00
1250	Temiz kömür	83,90	19,22	84,06
	Artık	16,10	20,23	15,94
	<b>Toplam</b>	<b>100,00</b>	<b>19,39</b>	100,00
1500	Temiz kömür	84,38	20,20	83,70
	Artık	15,62	16,07	16,30
	<b>Toplam</b>	<b>100,00</b>	<b>19,55</b>	100,00

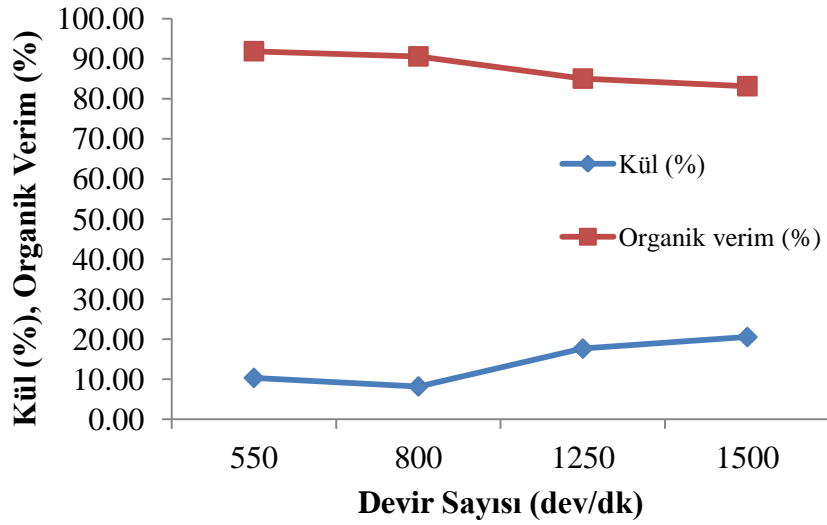


Şekil 5.84 Armutçuk 1- 0,15 mm ince kömürü 1,5 L/dk su besleme miktarında temiz kömür kül oranları ve organik verim değerleri

5.2.3.3.3 2 L/dk Su Besleme Miktarı Deneyleri. 2 L /dk su basınında ve 550 dev/dk devir sayısında yapılan deneylerde ağırlıkça % 81,74 oranında temiz kömür elde edilmiş olup kül oranı % 10,31 dir (Tablo 5.83). Bu devirde % 18,26 oranında artık % 64,56 küllü olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.83 Armutçuk 1-0,15 mm ince kömürü 2 L/dk su besleme miktarında değişik devirlerde Knelson deney sonuçları

Devir Sayısı (dev/dk)		Ağırlık (%)	Kül (%)	Organik Verim (%)
550	Temiz kömür	81,74	10,31	91,89
	Artık	18,26	64,56	8,11
	<b>Toplam</b>	100,00	20,21	100,00
800	Temiz kömür	79,50	8,17	90,60
	Artık	20,50	63,06	9,40
	<b>Toplam</b>	100,00	19,43	100,00
1250	Temiz kömür	83,11	17,63	85,06
	Artık	16,89	28,83	14,94
	<b>Toplam</b>	100,00	19,52	100,00
1500	Temiz kömür	82,91	20,52	83,16
	Artık	17,09	21,89	16,84
	<b>Toplam</b>	100,00	20,75	100,00

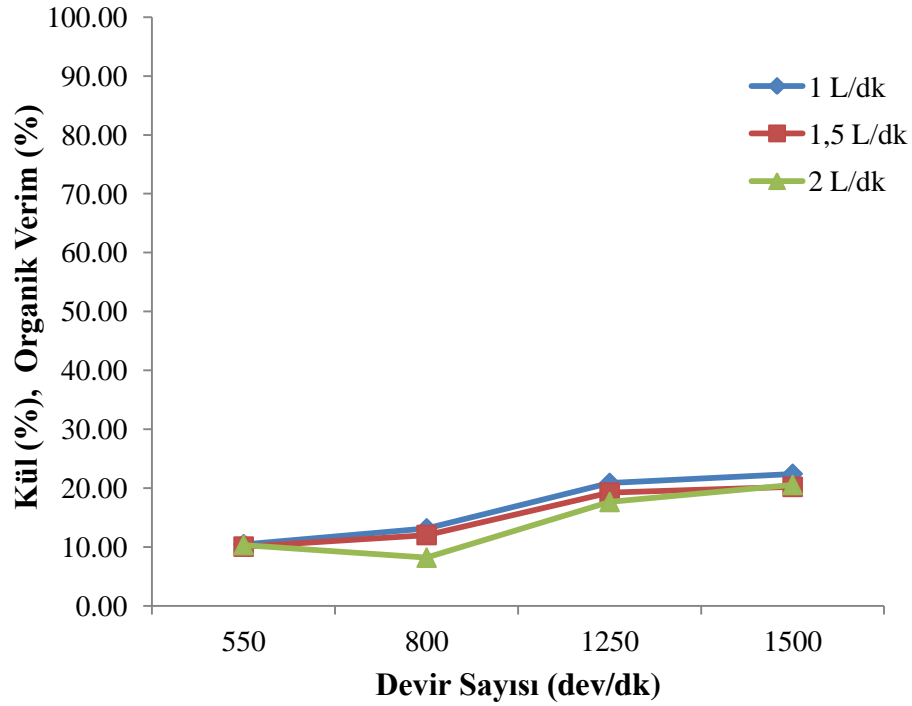


Şekil 5.85 1- 0,15 mm Armutçuk kömürü 2 L/dk su besleme miktarında temiz kömür kül oranları ve organik verim değerleri

5.2.3.3.4. *Farklı Su Besleme Miktarlarında Yapılan Deneyler.* Farklı su basınçlarında ve devir sayılarında yapılan deney sonuçları Tablo ve Şekil 5.86'da verilmektedir. Yapılan deneylerde en düşük temiz kömür külü 800 dev/dk devirde % 8,17 külden elde edilmiştir.

Tablo 5.84 1- 0,15 mm Armutçuk kömürü değişik su besleme miktarlarındaki deney sonuçları

Devir Sayısı (dev/dk)		Su besleme miktarı					
		1 l/dkt		1,5 L/dk		2 L/dk	
		Ağırlık (%)	Kül (%)	Ağırlık (%)	Kül (%)	Ağırlık (%)	Kül (%)
550	Temiz kömür	80,66	10,45	81,38	10,04	81,74	10,31
	Artık	19,34	62,32	18,62	61,39	18,26	64,56
	<b>Toplam</b>	100,00	20,48	100,00	19,60	100,00	20,21
800	Temiz kömür	79,90	13,14	80,97	12,01	79,50	8,17
	Artık	20,10	46,51	19,03	53,27	20,50	63,06
	<b>Toplam</b>	100,00	19,85	100,00	19,86	100,00	19,43
1250	Temiz kömür	83,69	20,86	83,90	19,22	83,11	17,63
	Artık	16,31	16,35	16,10	20,23	16,89	28,83
	<b>Toplam</b>	100,00	20,13	100,00	19,39	100,00	19,52
1500	Temiz kömür	85,65	22,41	84,38	20,20	82,91	20,52
	Artık	14,35	11,89	15,62	16,07	17,09	21,89
	<b>Toplam</b>	100,00	20,90	100,00	19,55	100,00	20,75



Şekil 5.86 1-0,15 mm Armutçuk kömürü değişik su basınçlarında temiz kömür kül oranları ve yanabilir verim değerleri

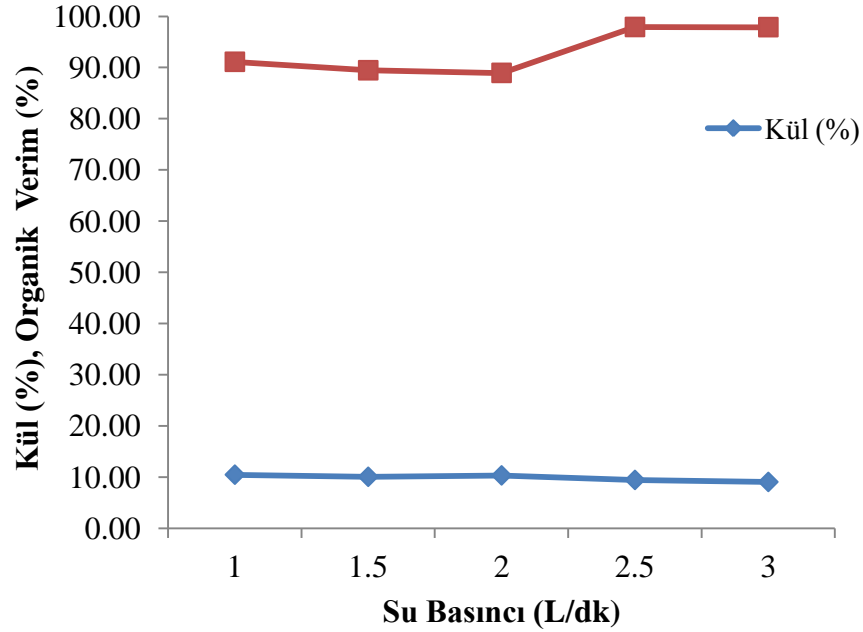
5.2.3.3.5. 550 Dev/Dk Devir Sayısında Yapılan Deneyler. 550 dev/dk devir sayısında yapılan deney sonuçları Tablo 5.85 ve Şekil 5.87’de verilmektedir.

Tablo 5.85 1-0,15 mm Armutçuk kömürü 550 dev/dk devirde değişik su basınçlarında Knelson deney sonuçları

Devir Sayısı (dev/dk)	Su besleme miktarı										
	1 L/dk		1,5 L/dk		2 L/dk		2,5 L/dk		3 L/dk		
	Ağ. (%)	Kül (%)	Ağ. (%)	Kül (%)	Ağ. (%)	Kül (%)	Ağ. (%)	Kül (%)	Ağ. (%)	Kül (%)	
550	Temiz kömür	80,66	10,45	81,38	10,04	81,74	10,31	82,87	9,42	81,99	9,04
	Artık	19,34	62,32	18,62	61,39	18,26	64,56	17,13	72,35	18,01	69,66
	Toplam	100	20,34	100	19,34	100	20,01	100	19,39	100	19,51

1L/dk ve 3 L/dk arasında 6 değişik su besleme miktarında yapılan deneylerde su besleme miktarı arttıkça temiz kömür kül oranının da hızla düştüğü görülmektedir. En düşük kül oranı 3L/dk su besleme miktarında elde edilmiştir. Bu su besleme miktarında temiz kömür kül oranı % 9,04 olup % 81,99 verimde elde edilmiştir. Artık kül oranı ise % 69,66 dır.





Şekil 5.87 1-0,15 mm Armutçuk kömürü 550 dev/dk ve farklı su besleme miktarlarındaki kül ve organik verim oranları

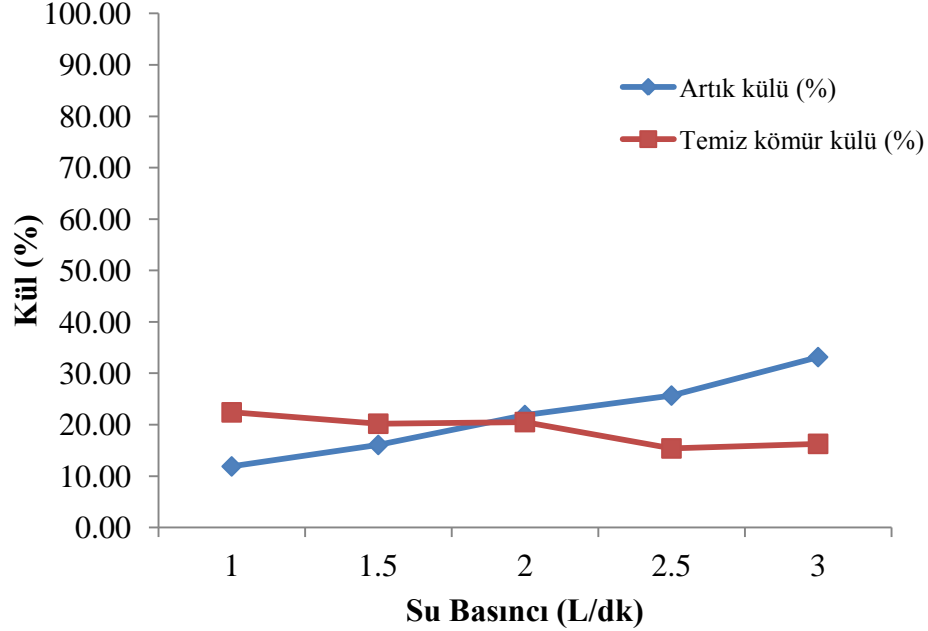
Temiz kömür külü %10,45 düzeyinden % 9,04 düzeyine düşmüştür. Organik verim ise % 91,10 seviyesinden % 97,90 seviyesine yükselmiştir.

5.2.3.3.6. 1500 Dev/Dk Devir Sayısında Yapılan Deneyle. Önceki deneylerde devir sayısı arttıkça temiz kömür kül oranının arttığı ve artık kül oranında hızla düştüğünden 1500 dev/dk devir sayısında deneyler yapılmıştır (Tablo 5.86).

Tablo 5.86 1- 0,15 mm Armutçuk kömürü 60 G devirde değişik su basınçlarında yapılan Knelson deney sonuçları

Devir Sayısı (dev/dk)		Su Besleme Miktarı									
		1 L/dk		1,5 L/dk		2 L/dk		2,5 L/dk		3 L/dk	
		Ağ. (%)	Kül (%)	Ağ. (%)	Kül (%)	Ağ. (%)	Kül (%)	Ağ. (%)	Kül (%)	Ağ. (%)	Kül (%)
1500	Temiz kömür	85,65	22,41	84,38	20,20	82,91	20,52	82,23	15,39	81,05	16,28
	Artık	14,35	11,89	15,62	16,07	17,09	21,89	17,77	25,67	18,95	33,16
	Toplam	100	20,90	100,00	19,55	100	20,75	100	17,21	100	19,47

1 L/dk su besleme miktarında temiz kömür kül oranı % 22,41 ve artık kül oranı % 14,35 iken, 3 L/dk su besleme miktarında temiz kömür kül oranı % 16,28'e azalmış artık kül oranı % 33,16 'ya yükselmiştir.



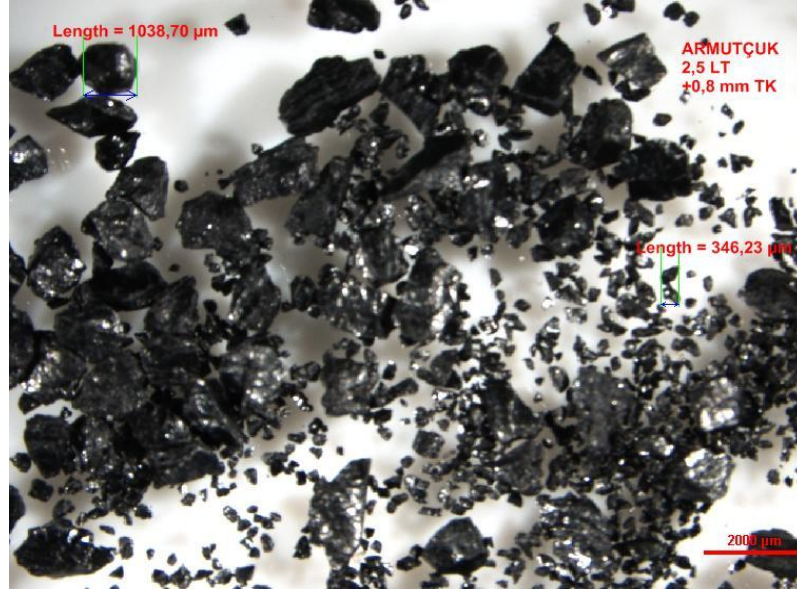
Şekil 5.88 1-0,15 mm Armutçuk kömürü 1500 dev/dk ve değişik su besleme miktarlarındaki temiz kömür ve artık kül oranları

5.2.3.3.7 *Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.* 2,5 L/dk su besleme miktarında yapılan deneylerden elde edilen temiz kömür ve artık ürünleri üzerinde elek analizi ve kül analizi yapılmıştır (Tablo 5.87).

Tablo 5.87 Armutçuk 1-0,15 mm ince kömürü 1500 dev/dk devirde ve 2,5 l/dk elde edilen ürünlerin elek analizi sonuçları

Tane Boyutu (mm)	Temiz Kömür Ağ. (%)	Temiz Kömür Kül (%)	Artık Ağ. (%)	Artık Kül (%)	Besleme Malı Ağ. (%)	Besleme Malı Kül (%)
1- 0,8	1,54	8,98	0,06	26,69	1,60	9,60
0,8 - 0,5	10,30	9,55	0,83	15,00	11,13	9,96
0,5- 0,315	27,92	12,22	3,90	17,13	31,82	12,82
0,315- 0,150	42,47	19,12	12,98	28,91	55,45	21,41
<b>Toplam</b>	<b>82,23</b>	<b>15,39</b>	<b>17,77</b>	<b>25,67</b>	<b>100,00</b>	<b>17,21</b>

Elek analizi sonuçlarına göre 1-0,8 mm ve 0,8-0,5 mm boyutundaki tanelerden düşük küllü tanelerin büyük bölümü temiz kömür olarak elde edilmiştir. -0,315 mm boyutunda temiz kömüre daha yüksek küllü taneler karışmıştır.



Şekil 5.89. Armutçuk +0,8 mm temiz kömür

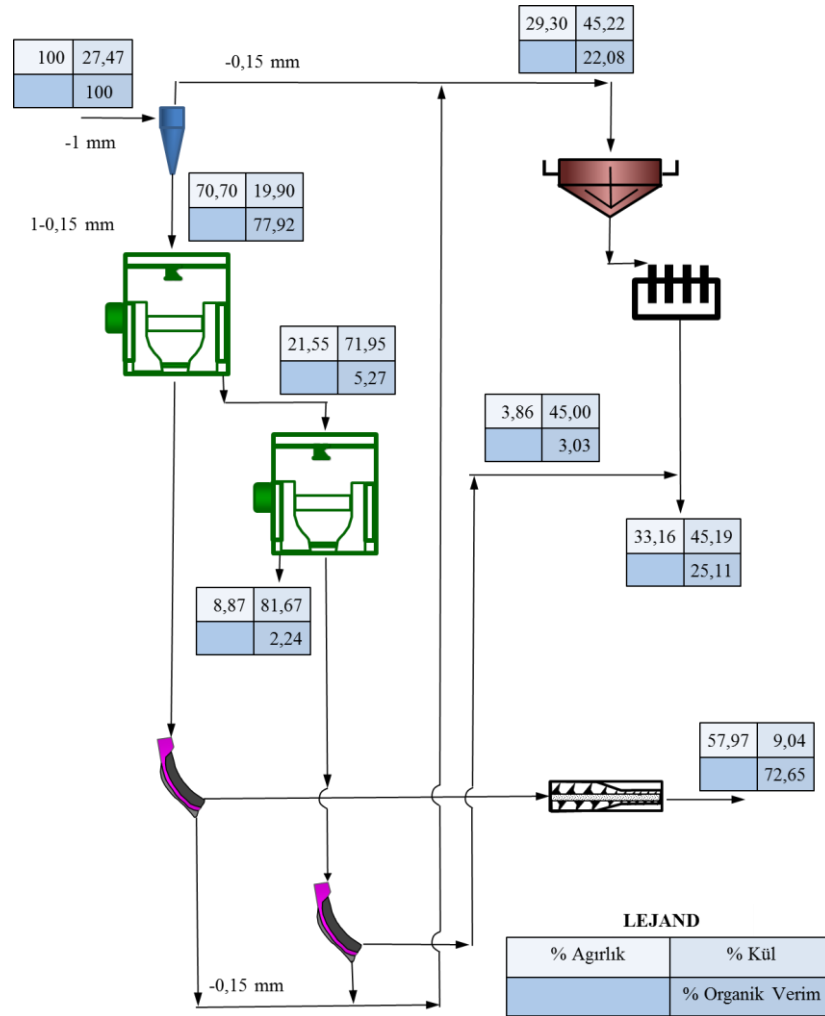
Şekil 5.89’da görülen kömür taneleri arasında artığa rastlanmamaktadır. Bu da yankayaç tanelerinin küçük boyutta olduğunu göstermektedir. Aynı şekilde temiz kömür içinde de normal olarak çok küçük boyutta taneler görülmektedir.



Şekil 5.90 Armutçuk 0,5-0,315 mm artık

Şekil 5.90'da 0,5-0,315 mm boyutundaki artık içerisinde fazla miktarda temiz kömür görülmektedir.

Armutçuk ince kömürleri üzerinde Knelson konsantratör kullanılarak yapılan deneyler sonucunda -1mm kömürlerin değerlendirilmesi için oluşturulan akım şeması Şekil 5.90'da verilmektedir. Buna göre -1 mm ince kömürler siklonlarda sınıflandırılarak 1-0,15 mm ve -0,15 mm olmak üzere iki fraksiyona ayrılmaktadır. 1- 0,15 mm ince kömürler Knelson konsantratörde zenginleştirilerek ağırlıkça % 57,97 oranında ve % 9,04 külde temiz kömür elde edilmektedir. Elde edilecek satılabilir ürün miktarları ve kül oranları Tablo 5.88'de verilmektedir



Şekil 5.90 Armutçuk -1mm kömürü akım şeması

Tablo 5.88 -1 mm Armutçuk kömürü ürün miktarları ve kül oranları

Ürünler	Ağırlık (%)	Kül (%)
Toplam satılabilir kömür	91,13	22,19
Temiz kömür	57,97	9,04
-0,15 mm ara ürün	3,86	45
Filtrasyon ürünü	29,30	45,22
Artık	8,87	81,67
Toplam	100,00	27,27

### 5.3 1- 0,15 mm Armutçuk Kömürü İle Yapılan Regresyon Analizi

Bu çalışmada, Knelson cihazında zenginleştirilen Armutçuk 1-0,15 mm boyutundaki ince kömürlerin Merkezi Kompozit Tasarımı' na göre deneysel tasarım teknikleri kullanılarak, cihazın dönüş hızı, su besleme miktarı, numune toplama zamanı ve besleme katı oranlarının temiz kömür külü ve organik verim üzerindeki etkileri incelenmiştir.

#### 5.3.1 Regresyon (Bağlanım) Analizi

Regresyon analizi, aralarında sebep-sonuç ilişkisi bulunan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi belirlemek ve bu ilişkiyi kullanarak o konu ile ilgili tahminler yapabilmek amacıyla yapılan istatistiksel analizdir. Regresyon analizi esas olarak değişkenler arasında ilişkinin niteliğini saptamayı amaçlar. Regresyon, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi ve doğrusal eğri kavramını kullanarak, bir tahmin eşitliği geliştirir.

#### 5.3.2 Çok Değişkenli Regresyon Analizi

Bir bağımlı değişken ve birden fazla bağımsız değişkenin yer aldığı regresyon modellerine çoklu değişkenli regresyon analizi denir. Çoklu değişkenli regresyon analizinde, eş zamanlı olarak bağımsız değişkenler ile eş zamanlı olarak (aynı anda) bağımlı değişkendeki değişim açıklanmaya çalışılmaktadır. Çoklu belirtme katsayısı

olan  $R^2$ , bağımsız değişkenlerce bağımlı değişkendeki değişikliğin yüzde ne kadarının açıklandığını gösteren bir değerdir.

### 5.3.2.1 Çoklu Regresyon Analizi Modelleri

Çoklu regresyon analizinden olumlu sonuç alınabilmesi için, bağımlı ve bağımsız değişkenlerin sayısal olarak ve aynı ölçüm birimiyle ölçülmesi daha iyi sonuçlar verebilmektedir.

Regresyon analizleri deneylerin yapılış amacına göre çeşitli gruplara ayrılır:

1-Karşılaştırma metodu: Eğer bir ve daha çok faktörü araştırıyorsanız ve amacınız en önemli faktörü bulmak ise karşılaştırmalı dizayn çözümleri uygulanır.

2- Eleme metodu: Deneyin başlıca amacı önemli olanları daha az önemli olanlardan ayırmak ise eleme dizaynları seçilir.

3- Cevap yüzeyi metodu: Eğer deneyler faktörler arasındaki ilişkiyi tespit etmek amacıyla yapılacaksa cevap yüzeyi metotları seçilir.

Cevap yüzey yöntemi, “Denemelerin Optimum Koşullara Ulaşması” ismi ile 1951 yılında Box and Wilson tarafından geliştirilmiş ve tanımlanmıştır. Box ve Wilson mümkün olan en az sayıda gözlem değeri ile cevap yüzeyi üzerinde bağımlı değişkenin maksimum noktaya ulaşılmasını amaçlayan deneme düzenini ortaya koymuşlardır. Cevap yüzey yöntemini, proseslerin geliştirilmesi ve optimizasyonu için gerekli istatistiksel ve matematiksel tekniklerin birlikte kullanıldığı bir yöntem olarak tanımlamıştır ( Aslan, 2007).

Cevap yüzey yöntemleri model regresyon analizi yardımıyla oluşturulur. Bir faktörün başlıca etkisinin veya diğer faktörlerle etkileşiminin (bağımlı) yanıt değişkenin değerlerinde ne derece önemli bir etkiye sahip olduğuna regresyon katsayıları yardımıyla karar verilir. Deneysel çalışmaların tasarlanması ve optimizasyonunda uygun yazılıma sahip paket programlar kullanılır. Bu paket programlarda birçok cevap yüzeyi yöntemi mevcuttur. Bunlardan başlıcaları;

faktoriyel tasarım, merkezi kompozit tasarımı (CCD), Box-Behnken tasarımı, üç düzeyli tasarım vb. şeklinde sıralanabilir.

*5.3.2.2.1 Merkezi Kompozit Tasarımı.* Merkezi kompozit tasarımı grafik oluşturmayı sağlayan, genişletilmiş merkez noktaları içeren deneysel tasarım metodudur. Her bir faktör için merkez noktadan uzaklık faktoriyel noktalar için  $\pm 1$  birim, yıldız noktalar için faktoriyel noktaların ötesinde  $\pm \alpha$  birimdir. Merkezi kompozit dizayn, full faktöriyel veya fraksiyonel faktöriyel ve star dizaynın kombinasyonu şeklindedir.

Merkezi kompozit dizayn yöntemi ile:

- 1- Faktörlerin etkisi incelenebilir,
- 2- Faktörler arasındaki etkileşim incelenebilir,
- 3- Tekrarlanan deneyler ile deneysel hatanın olup olmadığı anlaşılabilir,
- 4- Her bir faktörün parabolik etkileri incelenebilir ve optimum koşullar bulunur.

Merkezi kompozit dizaynda, deneysel hataların saptanabilmesi için, orta seviyede 5 tekrar deneyi yapılır ve 3 faktör için deney sayısı 15' den 20'ye; 4 faktör için 25'den 30' a çıkmaktadır. Deneysel dizayn tablosu oluşturulurken kodlanmış değerler kullanılır;  $2k'$  da ki seviyeler (-1) ve (+1),  $2 k'$  dakiler  $\pm \alpha$  ve  $1'$  deki seviye (0) olarak alınır. Genellikle incelenilen faktör değerleri arasındaki fark eşittir. Bu sebepten orta değer ile en yakın değer arasındaki fark, aralık boyutu olarak da düşünülebilir. Faktör değerlerinden star seviye değerleri elde edilir ve merkezi kompozit dizayn tablosu oluşturulur.

### ***5.3.3 Model Parametrelerinin Tahmini***

Çok yaygın olarak kullanılan lineer regresyon analizi, bağımlı değişken(yanıt) ile bir veya daha fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi fonksiyonel olarak inceleyen istatistiksel bir tekniktir. Polinomiyal modeller gibi lineer olan herhangi bir model, oluşturduğu yanıt yüzeyin şekli ne olursa olsun lineer regresyon modelidir.

Çoklu lineer regresyon modelinde, regresyon katsayıları en küçük kareler yöntemi kullanılarak tahmin edilmektedir. Armutçuk ince kömürleri ile yapılan testlerde deneysel tasarım yöntemleri olarak Cevap Yüzey (Merkezi Kompozit) yöntemi seçilmiştir. Deneysel tasarım ışığında yapılan deneylerde elde edilen cevaplar, faktörlerin fonksiyonu olarak tanımlanmakta, model denkleminin oluşturulması için çeşitli polinom modelleri kullanılmaktadır. Bu polinomlar, elde edilen sistem cevabının parametre değerlerinin aynı anda değiştirilmesinden nasıl etkilendiğini göstermektedir.

### 5.3.4 Deneysel Çalışmalar

Çalışılan merkezi kompozit deneysel tasarım yönteminde incelenmek üzere kodlanmış değerler ile gerçek değerler arasındaki ilişki Tablo 5.89'da sunulmaktadır.

Tablo. 5.89 Kodlanmış değerler ile gerçek değerler arasındaki ilişki

Kod	Bağımsız değişken değerleri
$-\beta$	$x_{\min}$
-1	$[(x_{\max} + x_{\min}) / 2] - [(x_{\max} - x_{\min}) / 2\alpha]$
0	$(x_{\max} + x_{\min}) / 2$
+1	$[(x_{\max} + x_{\min}) / 2] + [(x_{\max} - x_{\min}) / 2\alpha]$
$+\beta$	$x_{\max}$

$x_{\max}$  ve  $x_{\min}$ : maximum ve minimum değerler

Regresyon analizinin yapılabilmesi için, deneysel parametrelerin doğru seçilmesi gereklidir. Bu da cihazın özelliklerinin iyi bilinmesi ile mümkündür. Bir Knelson konsantratörünün başlıca ayırma mekanizmasından anlaşılacağı üzere, tane ayırma verimliliği üzerinde en etken akışkan yatak suyudur. Akışkan yatak suyu ile birlikte ayırma teknesini farklı hızlarda döndürerek elde edilen merkezkaç kuvvet başka bir değişkendir. Konsantratörün diğer değişkenleri besleme pülp yoğunluğu ve alıkonma süresidir. Bu nedenle deneysel çalışmalarda parametreler; dönüş hızı (425- 527,5-



630- 732,5- 835) dev/ dak, su besleme miktarı (1,5- 2- 2,5- 3-3,5 5) L/dk, besleme atı oranı % (15-17,5-20-22,5-25), temiz kömür toplama zamanı (20-30-40-50-60) sn aralığında seçilmiştir.

Tablo 5.90 Kodlanmış değerler

Devir sayısı dev/dk	Su besleme miktarı (L/dk)	Temiz kömür toplama zamanı (sn).	Katı oranı %
$X_{min}$ 425	$X_{min}$ 1,5	$X_{min}$ 20	$X_{min}$ 15
$X_{max}$ 835	$X_{max}$ 3,5	$X_{max}$ 60	$X_{max}$ 25
$\alpha$ 2	$\alpha$ 2	A 2	$\alpha$ 2

Deneyleerde numunenin ayırma cihazına düzenli beslenmesini sağlamak üzere peristatik pompa kullanılmıştır. Pompa 2 L/dk oranında çalıştırılmıştır. Knelson cihazı çalıştırdıktan sonra temiz kömür konsantresinin ilk elde edildiği zaman başlangıç olarak değerlendirilmiştir. Temiz kömür ve artık ürünleri etüvde 105 °C de kurutularak ayrı ayrı tartılmıştır. Bu ürünler kül analizine tabii tutulmuştur.



Şekil 5.91 Deneyleerden alınan numunelerin kurutulması

Tablo 5.91’de deneylerden elde edilen kül ve organik verim değerleri, merkezi kompozit tasarımına uygun yapılan 30 adet deneyin kodlanmış ve gerçek değerleri verilmektedir.

Tablo5.91 Merkezi kompozit tasarımı ile yapılan deney sonuçları

Deney No	Değişkenler				Bağımlı Değişkenler		Bağımsız Değişkenler			
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	Kül	Organik Verim	Devir	Su besleme miktarı	Katı Oranı	Zaman
					(%)	(%)	(dev/dk)	(L/dk)	(%)	(sn)
1	-1	-1	-1	1	5,77	83,99	527,5	2	17,5	50
2	-1	-1	1	-1	5,52	54,78	527,5	2	22,5	30
3	-1	1	-1	-1	5,32	60,39	527,5	3	17,5	30
4	-1	1	1	1	7,05	85,10	527,5	3	22,5	50
5	1	-1	-1	-1	5,30	53,82	732,5	2	17,5	30
6	1	-1	1	1	6,14	82,25	732,5	2	22,5	50
7	1	1	-1	1	6,03	80,44	732,5	3	17,5	50
8	1	1	1	-1	5,63	59,79	732,5	3	22,5	30
9	0	0	0	0	5,24	75,16	630	2,5	20	40
10	0	0	0	0	5,17	72,97	630	2,5	20	40
11	-1	-1	-1	-1	5,03	45,67	527,5	2	17,5	30
12	-1	-1	1	1	6,24	83,61	527,5	2	22,5	50
13	-1	1	-1	1	5,85	87,07	527,5	3	17,5	50
14	-1	1	1	-1	6,03	56,06	527,5	3	22,5	30
15	1	-1	-1	1	5,79	77,61	732,5	2	17,5	50
16	1	-1	1	-1	5,68	58,97	732,5	2	22,5	30
17	1	1	-1	-1	5,63	55,91	732,5	3	17,5	30
18	1	1	1	1	6,28	88,11	732,5	3	22,5	50
19	0	0	0	0	5,21	73,00	630	2,5	20	40
20	0	0	0	0	5,29	70,10	630	2,5	20	40
21	-2	0	0	0	4,85	68,59	425	2,5	20	40
22	2	0	0	0	6,73	73,46	835	2,5	20	40
23	0	0	0	0	5,54	70,36	630	2,5	20	40
24	0	-2	0	0	5,51	66,80	630	1,5	20	40
25	0	2	0	0	6,00	72,31	630	3,5	20	40
26	0	0	-2	0	5,41	67,32	630	2,5	15	40
27	0	0	2	0	6,14	73,27	630	2,5	25	40
28	0	0	0	-2	4,59	32,69	630	2,5	20	20
29	0	0	0	2	7,74	95,02	630	2,5	20	60
30	0	0	0	0	5,25	70,31	630	2,5	20	40

### 5.3.4. Deney Verileri İle Yapılan Regresyon Analizleri

Elde edilen sonuçlar, SPSS 16 (Statistical Packages for the Social Science) yazılımında çoklu regresyon analizine tabi tutularak, yapılan çalışmanın doğruluğu hakkında bir takım bilgiler elde edilmeye çalışılmıştır. Burada organik verim ve kül oranları bağımlı değişken olarak ele alınıp, birinci ve ikinci derecede denklemler oluşturularak ayrı ayrı regresyon modelleri kurulmuş ve bu modeller üzerinden tahminler yapılmıştır.

#### 5.3.4.1 Doğrusal Denklem ile Yapılan Regresyon Analizleri

Analizlerde kullanılan denklem

$$Y = a_1 + a_2 * x_1 + a_3 * x_2 + a_4 * x_3 + a_5 * x_4 \text{ şeklindedir.}$$

5.3.4.1.1 Temiz Kömür Külü Regresyon Analizleri. Tablo 5.92’de temiz kömür külü ve bağımsız değişkenlerle kendi aralarındaki doğrusal ilişkilerin miktarını ve yönünü veren ilişki katsayıları (korelasyon katsayıları) hesaplanmıştır. Korelasyon tablosundan kül ile devir hızı arasında 0,199’luk pozitif yönlü doğrusal bir ilişki olduğu söylenebilir. Benzer biçimde kül oranını, katı oranı ve zaman ile ilişki katsayıları sırasıyla 0,193, 0,308 ve 0,656 olarak bulunmuştur.

Tablo 5.92 Temiz kömür külü korelasyon tablosu

Korelasyonlar						
		Kül	Devir hızı	Su besleme miktarı	Katı Oranı	Zaman
		(%)	(dev/dk)	(L/dk)	(%)	(sn)
Pearson Korelasyonu	Kül (%)	1	0,199	0,193	0,308	0,656
	Devir sayısı (dev/dk)	0,199	1	0	0	0
	Su besleme miktarı (L/dk)	0,193	0	1	0	0
	Katı Oranı (%)	0,308	0	0	1	0
	Zaman (sn)	0,656	0	0	0	1
Sig (1-tailed)	Kül (%)		0,146	0,153	0,049	0
	Devir hızı (dev/dk)	0,146	0	0,5	0,5	0,5
	Su besleme miktarı (L/dk)	0,153	0,5	0	0,5	0,5
	Katı Oranı (%)	0,049	0,5	0,5	0	0,5
	Zaman (sn)	0	0,5	0,5	0,5	0

Korelasyon katsayılarının önem kontrolü gerçekleştirildiğinde (0,05 yanılma olasılığında), yokluk hipotezinin red edildiği durumlar (yani katsayıların önemli olduğu durumlar); katı oranının kül(%) ile ilişkisi (sig:0,049) ve zamanın kül(%) ile ilişkisi (sig: 0) katsayılarının (sırasıyla; 0,308 ve 0,656) olduğu görülmektedir. Bu durumda zaman ve katı oranı değişkenlerinin kül değerinin hesaplanmasında daha önemli değişkenler olarak ortaya çıktığı söylenir.

Tablo 5.93 Çoklu belirtme katsayı tablosu

Model	R	R <sup>2</sup>	Tahmini Standart Sapma	İstatistik Değişiklikleri					Durbin-Watson
				R2 değişimi	F değişimi	df1	df2	Sig. F. Değişimi	
1	0,778	0,539	0,44341	0,603	9,482	4	25	0	2,028

Tablo 5.93'de çoklu belirtme katsayı tablosu verilmektedir. Doğrusal denklemin çoklu belirtme katsayısı  $R^2 = 0,603$  olarak bulunmuştur.

Tablo 5.94 temiz kömür külü katsayı tablosu modelin tahmin edilmiş halini vermektedir. Yani değişkenlerin katsayılarının tahminlerini vermektedir. Buna göre  $a_0: 5,732$ ;  $a_1:0,143$ ;  $a_2:0,139$ ;  $a_3:0,221$ ;  $a_4:0,471$  olarak tahmin edilmiştir. Bu tablodan da katı oranı ile zaman değişkenlerinin katsayıları olan, 0,221 ile 0,471 katsayılarının istatistiksel olarak önemli katsayılar olduğu söylenebilmektedir.

Tablo 5.94 Temiz kömür külü regresyon modeli katsayı tablosu

	Standart Dışı Katsayılar		Standart Katsayılar	1	Sig.	B için %95 Güvenirlik		Korelasyonlar		
	B	Std. Hata	Beta			Alt Sınır	Üst Sınır	Başlangıç	Kısmi	Bölüm
Sabit	5,732	0,081		70,8	0	5,565	5,899			
Devir (dev/dk)	0,143	0,091	0,199	1,579	0,127	-0,04	0,329	0,199	0,301	0,199
Su besleme miktarı (L/dk)	0,139	0,091	0,193	1,533	0,138	-0,05	0,325	0,193	0,293	0,193
Katı oranı (%)	0,221	0,091	0,308	2,444	0,022	0,035	0,408	0,308	0,439	0,308
Zaman (sn)	0,471	0,091	0,656	5,207	0	0,285	0,658	0,656	0,721	0,656

5.3.4.5.1.2 *Organik Verim Regresyon Analizleri.* Tablo 5.95 ‘den organik verim ile zaman değişkeni arasında 0,961’lik, pozitif yönlü oldukça güçlü ve istatistiksel açıdan anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir. Korelasyon tablosundan organik verim ile su besleme miktarı hızı arasında 0,119’luk pozitif yönlü doğrusal bir ilişki olduğu söylenebilir. Bu durumda devir hız bir birim arttığında kül oranının da 0,119 birim artacağı söylenebilir. Benzer biçimde katı oranı ve devir sayısı ile ilişki katsayıları sırasıyla 0,099 ve 0,028 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.95 Organik verim korelasyon tablosu

Korelasyonlar						
		Kül	Devir hızı	Su besleme miktarı	Katı Oranı	Zaman
		(%)	(dev/dk)	(L/dk)	(%)	(sn)
Pearson korelasyonu	Kül (%)	1	0,028	0,119	0,099	0,961
	Devir hızı (dev/dk)	0,028	1	0	0	0
	Su besleme miktarı (L/dk)	0,119	0	1	0	0
	Katı Oranı (%)	0,099	0	0	1	0
	Zaman (sn)	0,961	0	0	0	1
Sig (1-tailed)	Kül (%)		0,443	0,265	0,302	0
	Devir hızı (dev/dk)	0,443	0,5	0,5	0,5	0,5
	Su besleme miktarı (L/dk)	0,265	0,5	0	0,5	0,5
	Katı Oranı (%)	0,302	0,5	0,5	0	0,5
	Zaman (sn)	0	0	0,5	0,5	0

Organik verim model özet tablosundaki 0,948’lik oldukça büyük bir çoklu belirtme katsayısı hesaplanmıştır. Bu değer kül değeri için hesaplanan katsayıdan (0,604) oldukça fazladır.

Tablo 5.96 Organik verim çoklu belirtme katsayı

Model	R	R <sup>2</sup>	Tahmini Standart Sapma	İstatistik Değişiklikleri					Durbin-Watson
				R2 değişimi	F değişimi	df1	df2	Sig. F. Değişimi	
1	0,973 3	0,948	3,38299	0,948	112,824	4	25	0	1,908

Tablo 5.97 organik verim modelinin tahmin edilmiş halini vermektedir. Yani değişkenlerin katsayılarının tahminlerini vermektedir. Buna göre katsayılar; a<sub>0</sub>: 69,831, a<sub>1</sub>:0,415, a<sub>2</sub>:1,8, a<sub>3</sub>:1,486, a<sub>4</sub>:14,477 olarak tahmin edilmiştir.

Tablo 5.97 Organik verim regresyon modeli tablosu

	Standart dışı Katsayılar		Standart Katsayılar	1	Sig.	B için %95 güvenirlilik		Korelasyonlar		
	B	Std. Hata	Beta			Alt sınır	Üst sınır	Başlangıç	Kısmi	Bölüm
Sabit	69,83	0,618		113,1	0	68,56	71,1			
Devir (dev/dk)	0,415	0,691	0,028	0,602	0,55	-1,007	1,838	0,028	0,119	0,028
Su besleme miktarı (L/dk)	1,8	0,691	0,119	2,606	0,02	0,377	3,222	0,119	0,462	0,119
Katı oranı (%)	1,486	0,691	0,099	2,152	0,04	0,064	2,908	0,099	0,395	0,099
Zaman (sn)	14,48	0,691	0,961	20,97	0	13,06	15,9	0,961	0,973	0,961

### 5.3.4.2 İkinci Derece Polinom ile Yapılan Regresyon Analizleri:

Deneyleerde kullanılan ikinci dereceden polinom :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{44} X_4^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{14} X_1 X_4 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{24} X_2 X_4 + \beta_{34} X_3 X_4$$

5.3.4.2.1 Temiz Kömür Külü Regresyon Sonuçları: Temiz kömür külü regresyon analiz sonuçları Tablo 5.98'de verilmektedir. Temiz kömür külü ortalama değeri % 5,73'dir.

Tablo 5.98 Temiz kömür regresyon modeli özet istatistik tablosu

	Ortalama	Standart Sapma	Deney Sayısı
Kül (%)	5,732	0,65317	30
x1	0	0,90972	30
x2	0	0,90972	30
x3	0	0,90972	30
x4	0	0,90972	30
x1x1	0,8	0,99655	30
x1x2	0	0,74278	30
x1x3	0	0,74278	30
x1x4	0	0,74278	30
x2x2	0,8	0,99655	30
x2x3	0	0,74278	30
x2x4	0	0,74278	30
x3x3	0,8	0,99655	30
x3x4	0	0,74278	30
x4x4	0,8	0,99655	30

Tablo 5.99'da temiz kömür külü çoklu belirtme katsayı tablosu verilmektedir. Temiz kömür külü için ikinci derece regresyon denklemi çoklu belirtme katsayısı  $R^2$  0,776 olarak hesaplanmıştır. Bu da eşitliğin sağ tarafındaki 4 bağımsız açıklayıcı değişkenin beraberce kül oranındaki değişimin % 77,6'sını açıkladığını göstermektedir. Bu da modelin kullanılabilir bir model olduğunu söylemektedir.

Tablo 5.99 Temiz kömür külü çoklu belirtme katsayı tablosu

Model	R	$R^2$	Tahmini Standart Sapma	İstatistik Değişiklikleri					Durbin-Watson
				R2 değişimi	F değişimi	df1	df2	Sig. F. Değişimi	
1	0,881	0,776	0,566	0,776	3,705	14	15	0,008	2,461

Varyans analizi tablosundan; en az bir katsayının önemli olduğunu, dolayısıyla modelin de önemli olduğunu, istatistiksel olarak söyleyebilmek mümkündür (Tablo 5.101).

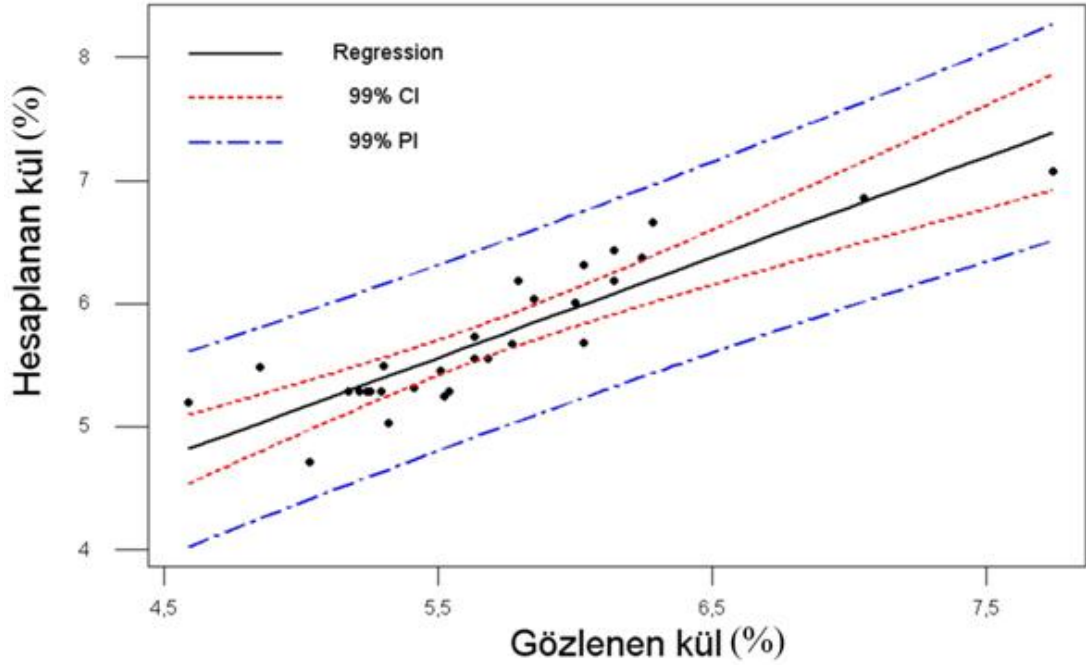
Tablo 5.101 Temiz kömür külü varyans analiz tablosu

Model	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kareler	F	Sig
<b>Regresyon</b>	9,597	14	0,686	3,705	0,008
<b>Kalan</b>	2,775	15	0,185		
<b>Toplam</b>	12,372	29			

Tablo 5.102'de temiz kömür külü regresyon modeli katsayı tablosu modelin tahmin edilmiş halini vermektedir. Yani değişkenlerin katsayılarının tahminlerini vermektedir. Buna göre temiz kömür külü için ikinci derece polinom ;

$$\text{Kül (\%)} = 5,283 + 0,143 x_1 + 0,139 x_2 + 0,221 x_3 + 0,471 x_4 + 0,12 x_1^2 - 0,064 x_1 x_2 - 0,118 x_1 x_3 - 0,063 x_1 x_4 + 0,111 x_2^2 + 0,002 x_4^2 + 0,029 x_2 x_3 + 0,012 x_2 x_4 + 0,116 x_3^2 + 0,043 x_3 x_4 + 0,214 x_4^2$$

Ayrıca Minitab 16 istatistik programı ile gözlenen ve hesaplanan kül değerleri Şekil 5.92'de verilmektedir.



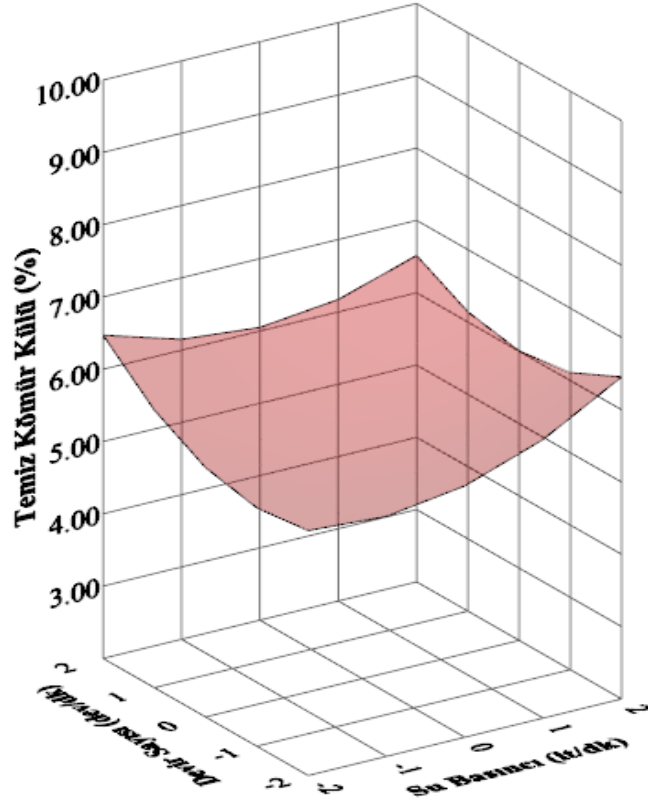
Şekil 5.92 Gözlenen kül ve hesaplanan kül

Tablo 5.102 Temiz kömür külü katsayı tablosu

	Standart dış Katsayılar		Std. Katsayılar	1	Sig.	B için %95 güvenirlilik	
	B	Std. Hata	Beta			Alt Sınır	Üst Sınır
Sabit	5,283	0,176		30,088	0	4,909	5,658
Devir (dev/dk)	0,143	0,088	0,199	1,628	0,124	-0,04	0,33
Su besleme miktarı (L/dk)	0,139	0,088	0,193	1,58	0,135	-0,05	0,326
Katı oranı (%)	0,221	0,088	0,308	2,52	0,024	0,034	0,408
Zaman (sn)	0,471	0,088	0,656	5,367	0	0,284	0,658
x1kare	0,12	0,082	0,183	1,46	0,165	-0,06	0,295
x2kare	-0,064	0,108	-0,073	-0,599	0,558	-0,29	0,165
x3kare	-0,118	0,108	-0,134	-1,099	0,289	-0,35	0,111
x4kare	-0,063	0,108	-0,072	-0,587	0,566	-0,29	0,166
x1_x2	0,111	0,082	0,17	1,353	0,196	-0,06	0,286
x1_x3	0,029	0,108	0,033	0,273	0,788	-0,2	0,259
x1_x4	0,012	0,108	0,014	0,11	0,914	-0,22	0,241
x2_x4	0,116	0,082	0,177	1,414	0,178	-0,06	0,291
x3_x4	0,043	0,108	0,049	0,401	0,694	-0,19	0,272
x2_x3	0,214	0,082	0,326	2,601	0,02	0,039	0,389



Sonuçların daha iyi anlaşılması amacıyla, tahmini modeller şekil 5.93-95'de sunulmaktadır. Şekil 5.93 devir sayısı ve su besleme miktarının ortalama katı oranı ve zamanda temiz kömür külüne etkisini göstermektedir. Buradan düşük devir sayısı ve su besleme miktarında kül oranı yüksektir. Düşük su besleme miktarında devir sayısı arttıkça temiz kömür kül oranı da hafifçe artmaktadır.

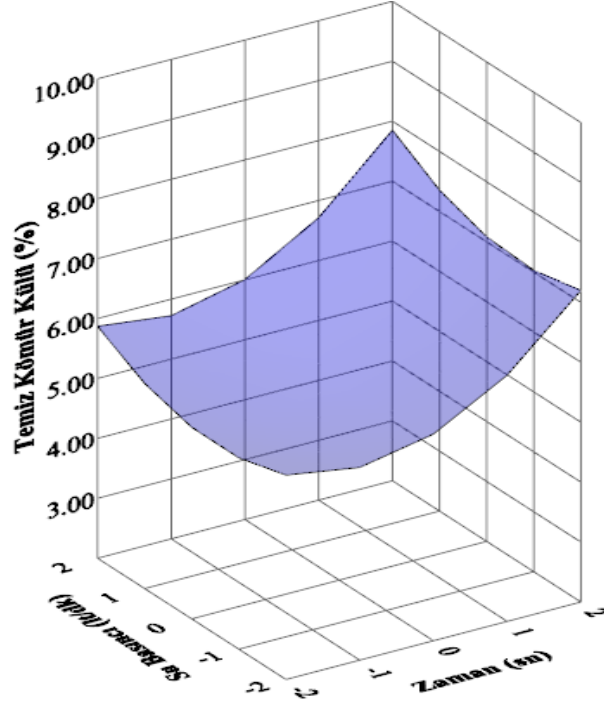


Şekil 5.93 Temiz kömür külünün su besleme miktarı ve devir sayısına göre cevap yüzeyi

En uygun temiz kömür külü 630 dev/dk devir sayısında ve 2 L/dk su besleme miktarında elde edilmiştir (% 5,26). Bu seviyeden itibaren devir sayısı ve su besleme miktarının artışı ile kül oranı da hızla yükselmektedir. En yüksek temiz kömür külü % 6,52 ile 3,5 L/dk su besleme miktarında ve 832,5 dev/dk devir sayısında elde edilmiştir.

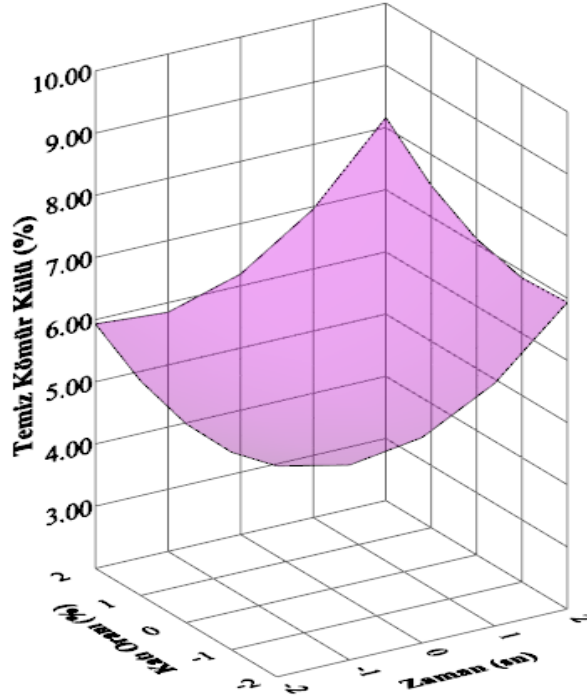
Şekil 5.94 su besleme miktarı ve temiz kömür toplama zamanının ortalama katı oranı ve devir sayısında temiz kömür külüne etkisini göstermektedir. 1,5 L/dk düşük

su besleme miktarında ve 20 sn temiz kömür toplama zamanında kül oranı % 5,41 dir.



Şekil 5.94 Temiz kömür külünün devir sayısı ve zamana göre cevap yüzeyi

Bu su besleme miktarında toplama zamanı arttıkça temiz kömür külü 30 sn'den itibaren artarak 60 saniyede % 5,82'ye ulaşmaktadır. En yüksek temiz kömür külü % 7,85 ile 60 saniyede ve 3,5 L/dk su besleme miktarında elde edilmiştir.



Şekil 5.95 Temiz kömür külünün kati oranı ve zamana göre cevap yüzeyi

Şekil 5.95 kati oranı ve temiz kömür külü toplama zamanının temiz kömür külüne etkisini göstermektedir. % 15 kati oranı ve 20 sn kömür toplama zamanında kül oranı % 5,39 dur. Tüm kati oranlarında 30 sn'den itibaren kül oranları artmaktadır. En temiz kömür külü % 17,5 kati oranında ve 30 sn'de elde edilmiştir. (% 4,96). En yüksek temiz kömür külü % 8,16 ile 60 sn temiz kömür toplama zamanında ve % 25 kati oranında elde edilmiştir.

**5.3.4.2.2 Organik Verim Regresyon Sonuçları.** Organik verim regresyon analiz sonuçları Tablo 5.103'de verilmektedir. Organik verim ortalama değeri % 69,83 olmuştur.

Tablo 5.103 Organik verim regresyon modeline ilişkin değişkenlerin özet istatistik sonuçları

	Ortalama	Standart Sapma	Deney Sayısı
Organik Verim (%)	69,831	13,71013	30
x1	0	0,90972	30
x2	0	0,90972	30
x3	0	0,90972	30
x4	0	0,90972	30
x1x1	0,8	0,99655	30
x1x2	0	0,74278	30
x1x3	0	0,74278	30
x1x4	0	0,74278	30
x2x2	0,8	0,99655	30
x2x3	0	0,74278	30
x2x4	0	0,74278	30
x3x3	0,8	0,99655	30
x3x4	0	0,74278	30
x4x4	0,8	0,99655	30

Tablo 5.104 ‘den organik verimdeki değişikliğin % 97,9 unun bağımsız değişkenlerdeki değişiklikle açıklanabildiği anlaşılmaktadır.

Tablo 5.104 Organik verim çoklu belirtme katsayı tablosu

Model	R	R <sup>2</sup>	Tahmini Standart Sapma	İstatistik Değişiklikleri					Durbin-Watson
				R2 Değişimi	F Değişimi	df1	df2	Sig. F. Değişimi	
1	0,99	0,979	0,96	0,979	50,687	14	15	0	1,84

Varyans analizi için hipotez testi:

$$H_0: \beta_0 = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 \dots = \beta_{34} = 0$$

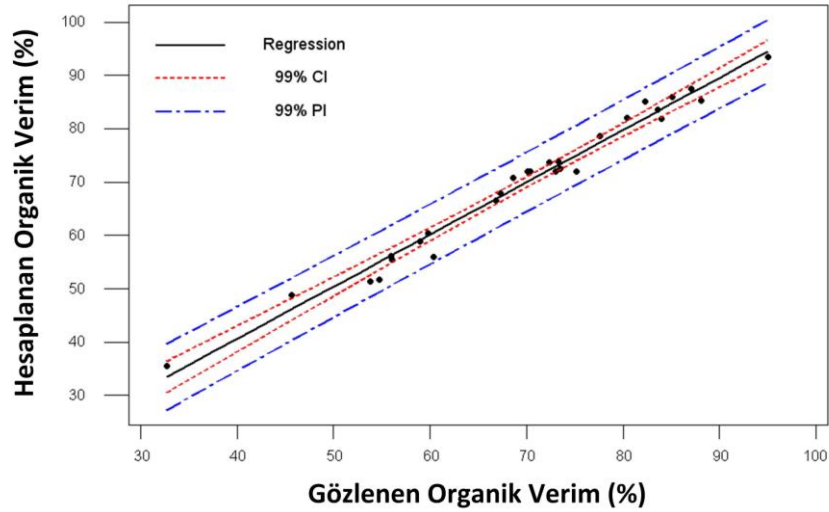
H<sub>a</sub>: En az bir  $\beta$  sıfırdan farklıdır. Tablo 5.105’te Sig=0,000 çıkmıştır. Yanılma olasılığı ( $\alpha$ ) =0,05 alınır (testin sonucuna % 95 güvenebiliriz demektir). Sig <  $\alpha$  olduğundan H<sub>0</sub> red edilir. Bu da modelin önemli bir model olduğunu ve katsayılarından en az birinin önemli olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.105 Organik verim varyans analiz tablosu

Model	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kareler	F	Sig
Regresyon	5338,218	14	381,301	50,687	0,000
Kalan	112,841	15	7,523		
Toplam	5451,059	29			

Tablo 5.106'da organik verim regresyon modeli tablosu modelin tahmin edilmiş halini vermektedir. Yani değişkenlerin katsayılarının tahminlerini vermektedir. Buna göre organik verim için ikinci derece polinom;

Organik verim (%) =  $71,983 + 0,415 x_1 + 1,8 x_2 + 1,486 x_3 + 14,477 x_4 - 0,087 x_1^2 - 0,561 x_1 x_2 + 1,182 x_1 x_3 - 1,434 x_1 x_4 - 0,454 x_2^2 - 0,829 x_2 x_3 - 0,353 x_2 x_4 - 0,269 x_3^2 - 0,241 x_3 x_4 - 1,879 x_4^2$  olarak tahmin edilmiştir.



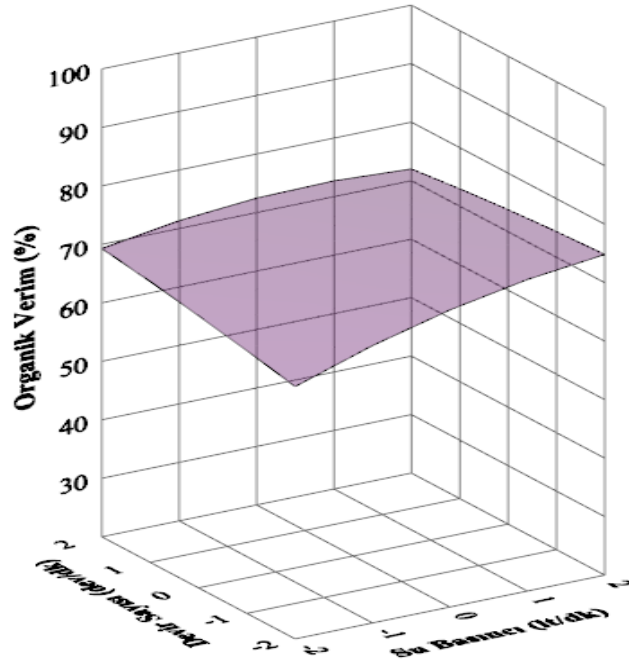
Şekil 5.96 Hesaplanan ve Gözlenen Organik Verim Değerleri

Hesaplanan ve gözlenen organik verim değerleri Minitab istatistik programında değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda % 97,9 çoklu belirtme katsayısı bulunmuştur. Buna göre gözlenen değerler ile hesaplanan değerler arasında güçlü bir doğrusal ilişki vardır. Hesaplanan noktaların hepsi % 99 güven aralığı içerisinde yer almıştır (Şekil 5.96).

Tablo 5.106 Organik verim regresyon modeli katsayı tablosu

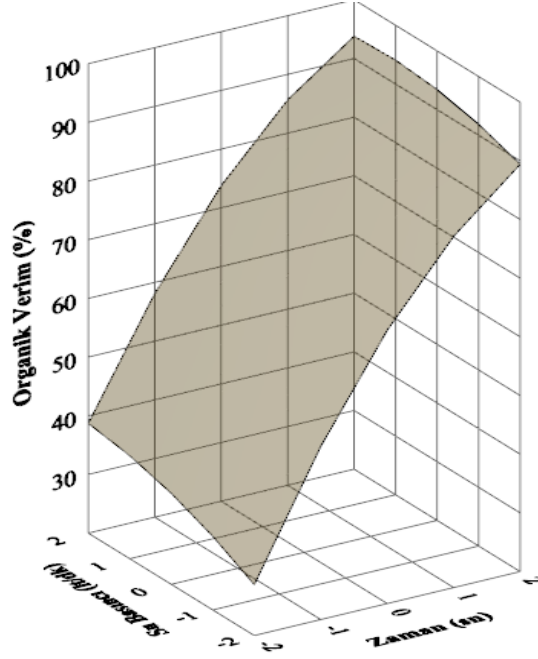
	Standart Dışı Katsayılar		Standart Katsayılar	1	Sig.	B için %95 Güvenirlilik	
	B	Std. Hata	Beta			Alt Sınır	Üst Sınır
Sabit	71,983	1,12		64,287	0	69,597	74,37
x1	0,415	0,56	0,028	0,742	0,47	-0,778	1,609
x2	1,8	0,56	0,119	3,214	0,006	0,606	2,993
x3	1,486	0,56	0,099	2,655	0,018	0,293	2,68
x4	14,477	0,56	0,961	25,858	0	13,284	15,67
x1x1	-0,087	0,524	-0,006	-0,166	0,87	-1,203	1,029
x1x2	-0,561	0,686	-0,03	-0,818	0,426	-2,022	0,901
x1x3	1,182	0,686	0,064	1,724	0,105	-0,28	2,643
x1x4	-1,434	0,686	-0,078	-2,092	0,054	-2,896	0,027
x2x2	-0,454	0,524	-0,033	-0,868	0,399	-1,571	0,662
x2x3	-0,829	0,686	-0,045	-1,21	0,245	-2,291	0,632
x2x4	-0,353	0,686	-0,019	-0,515	0,614	-1,815	1,108
x3x3	-0,269	0,524	-0,02	-0,515	0,614	-1,386	0,847
x3x4	-0,241	0,686	-0,013	-0,351	0,731	-1,702	1,221
x4x4	-1,879	0,524	-0,137	-3,589	0,003	-2,996	-0,763

Şekil 5.97’de devir sayısı ve su besleme miktarının ortalama katı oranı ve zamanda organik verime etkisi sunulmaktadır.



Şekil 5.97 Organik verimin devir sayısı ve su besleme miktarına göre cevap yüzeyi

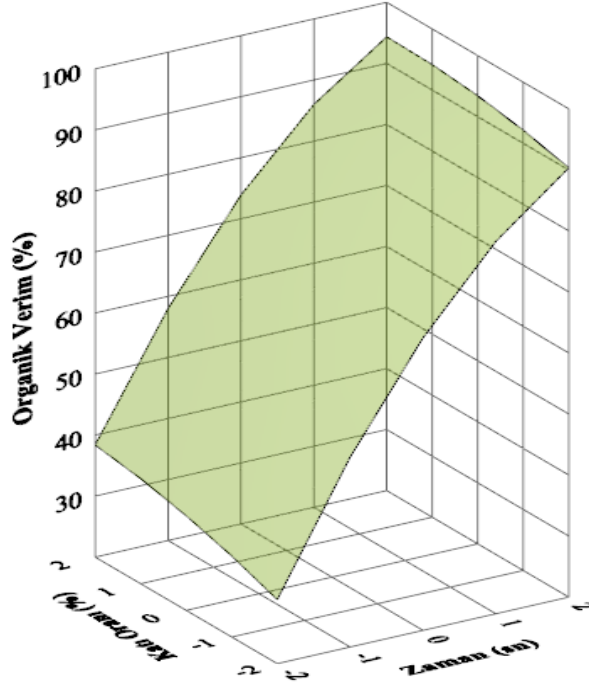
En düşük organik verim değeri (563,15) 1,5 L/dk su besleme miktarında ve 425 dev/dk devir sayısında elde edilmiştir. 1,5 Ldk su besleme miktarında devir sayısı arttırılırsa organik verimde artmaktadır. En yüksek organik verim % 74,83 ile 3,5 L/dk su besleme miktarında ve 425 dev/dk dönme hızında elde edilmiştir.



Şekil 5.98 Organik verimin su besleme miktarı ve zamana göre cevap yüzeyi

Şekil 5.98’de devir sayısı ve temiz kömür toplama zamanının ortalama katı oranı ve su besleme miktarında organik verime etkisi verilmektedir. Buna göre en düşük verim değerleri 20 sn toplama zamanında elde edilmektedir.

Tüm temiz kömür toplama zamanlarında organik verim artan su besleme miktarının 1,5 L/dk’dan 3,5 L/dk’ya artması ile birlikte yükselmektedir. En yüksek organik verim değeri % 94.06 ile 3 L/dk su besleme miktarında ve 60 sn toplama zamanında elde edilmiştir.



Şekil 5.99 Organik verimin katı oranı ve zamana göre cevap yüzeyi

Şekil 5.98’de su besleme miktarı ve temiz kömür toplama zamanının ortalama katı oranı ve su besleme miktarında organik verime etkisi verilmektedir. Tüm katı oranlarında temiz kömür toplama zamanı arttıkça organik verimde artmaktadır. En yüksek organik verim % 94,35 ile % 25 katı oranında ve 60 saniye teizm kömür toplama zamanında elde edilmiştir.



## BÖLÜM ALTI

### SONUÇLAR

Amasra, Karadon ve Armutçuk taşkömürleri ile MGS, kömür spirali ve Knelson konsantratör ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdadır.

Amasra tüvenan taşkömürleri ile yapılan deneylerde:

1- 150-0 mm boyutundaki tüvenan kömürler üzerinde yapılan analiz sonuçlarına göre tüvenan kömür külü % 41,04'tür.-1 mm boyutundaki kömür oranı tüvenan kömürün % 12,15'ini oluşturmakta olup kül oranı % 38,62 dir.

2- Tüvenan kömürün tamamından 10-0 mm boyutunda temiz kömür elde edilmek istendiğinde 100-1 mm boyutlu tüvenan kömür yüzdürme-batırma sonuçlarına göre 1,60 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta % 54,75 oranında ve % 10,09 küllü ürün elde edilecektir

3- -1 mm ile yapılan yoğunluk analizlerine göre 1,70 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta besleme malının % 58,83'ü %8,44 küldedir. 1-0,15 mm boyutundaki malzemenin kül oranı % 34,11 dir. -0,15 mm boyutundaki fraksiyonun kül oranı oldukça yüksek olup % 50,94 dir ve besleme malının % 28,9'unu oluşturmaktadır.

4- -1 mm boyutlu kömürler üzerinde MGS ile yapılan deneylerde en düşük temiz kömür külü 4° eğimde ve 280 dev/dk da elde edilmiştir. Bu eğimde ağırlıkça % 74,71 oranında ve % 25,71 küllü temiz kömür elde edilmiştir. 6° eğimde ve 280 dev/dk da yapılan deneylerde temiz kömür kül oranı % 28,78 olup ağırlıkça besleme malının % 84,88 'ini oluşturmaktadır.

5- -1mm kömürler üzerinde spiral ile % 25, % 30 ve % 35 katı oranı ile yapılan deneylerde en uygun sonuçlara % 25 katı oranında elde edilmiştir. Bu katı oranında besleme malının % 68,39'u % 18,56 küldedir elde edilmiştir. Artık kül oranı ise % 83,67 dir. Bu katı oranında ayrıca % 1,78 ağırlıkta ve % 54,35 küldedir ara ürün elde

edilmiştir. Katı oranı arttıkça temiz kömür kül oranı da artmaktadır. % 25 katı oranında elde edilen ürünlerle çizilen tromp eğrisinden ayırma yoğunluğu (SG 50)  $1,68 \text{ g/cm}^3$  olarak hesaplanmıştır. Hata faktörü (Ep) 0,10 olarak hesaplanmıştır. Ürünlerin değerlendirilmesinde kullanılan yeni yaklaşım modeli ile yapılan hesaplamalarda artığa karışan hatalı tane oranı 0, temiz kömüre karışan hatalı tane oranı ise 0,29 olmuştur.

6- 1-0,15 mm ince kömürler üzerinde yapılan spiral deneylerinde ağırlıkça % 70,46 oranında temiz kömür % 16,72 küllü olarak elde edilmiştir. Ayırma yoğunluğu (SG 50)  $1,68 \text{ g/cm}^3$  ve hata faktörü 0,05 olarak hesaplanmıştır. Bu boyutlu kömürlerin spiral ile zenginleştirilmesi ile 100-1 mm boyutlu tüvenan kömürlerden elde edilecek % 48,10 oranında ve % 10,09. küllü kömürün karışımı ile elde edilecek metalurjik kömür miktarı ağırlıkça % 53,33 ve karışım külü ise % 10,74 olacaktır.

7- 1-0,15 mm ince kömürler üzerinde yapılan spiral deneylerinde ara ürünün temiz kömüre karıştırılması durumunda tüvenan kömürün ağırlıkça % 6,22'si oranında ve % 20,24 külde temiz kömür elde edilecektir. Elde edilen ürünün 100-1 mm temiz kömür ile karıştırılması durumunda % 54,31 oranında ve %11,25 küllü temiz kömür elde edilecektir.

8- -1 mm kömürler üzerinde Knelson ayırıcı ile yapılan deneylerde herhangi bir zenginleşme sağlanamamıştır.

9- 1-0,15 mm ince kömürler üzerinde Knelson ayırıcı ile 550, 800, 1250 ve 1500 dev/dk olmak üzere dört farklı devirde ve 1L/dk, 1.5 L/dk , 2 L /dk , 2,5 L/dk ve 3 L/dk olmak üzere farklı su basınçlarında deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde en düşük temiz kömür külü % 16,28 olarak 550 dev/dk devirde ve 2,5 L/dk su besleme miktarında elde edilmiştir. Burada besleme malının % 45,40'ı temiz kömür olarak elde edilmiştir.

10- -1 mm kömürlerin Knelson cihazı kullanılması durumunda oluşturulan tesis akım şemasına göre -1 mm kömürler siklonlarda sınıflandırılarak 1-0,15 mm ve -0,15

mm olmak üzere iki fraksiyona ayrılmaktadır. 1-0,15 mm ince kömürler Knelson konsantratörde zenginleştirilerek % 45,40 oranında ve % 16,28 külde temiz kömür elde edilmektedir. Ara ürün tekrar süpürme devresinde Knelson konsantratör ile zenginleştirilerek % -1 mm boyutlu ince kömürler % 7,75 oranında ve % 49 külde ara ürün elde edilmektedir. -0,15 mm boyutlu kömürler filtrasyon devresinde susuzlandırıldıktan sonra 1-0,15 mm boyutlu ara ürün ile homojen şekilde karıştırılarak % 40,90 oranında ve % 49,08 külde termik santral yakıtı elde edilmektedir. Bu akım şemasında toplam satılabilir miktarı besleme malının % 86,30'unu oluşturmakta olup kül oranı % 31,82 dir. % 13,70 oranında ve % 85 külde artık elde edilmektedir.

11- -1 mm boyutlu kömürlerin Knelson cihazı kullanılarak zenginleştirilmesi durumunda, toplam tüvenan kömürün % 5,51'i oranında ve % 16,28 külde metalurjik kömür elde edilecektir. 100-1 mm boyutlu tüvenan kömürlerden elde edilecek miktarlar ile elde edilecek toplam metalurjik kömür miktarı % 53,61 ve karışım külü ise % 10,69. olacaktır.

Karadon tüvenan taşkömürleri ile yapılan deneylerde :

12- 100-0 mm boyutlu tüvenan kömür külü % 50,36'dır. -1 mm boyutlu malzeme miktarı toplam malzeme miktarının % 21,88'ini oluşturmaktadır. Bu boyuttaki malzemenin kül oranı % 33,76'dır.

13- 100-1 mm tüvenan kömürden metalurjik kömür elde edilmek istendiğinde; % 45,99 teorik verimde ve % 10,30 külde metalurjik kömür elde edilebilecektir.

14- -1 mm ile yapılan yoğunluk analizlerine göre;  $1,3 \text{ g/cm}^3$  yoğunlukta yüzen ürün miktarı % 18,67 olup, kül oranı oldukça düşüktür (% 4,30).  $1,70 \text{ g/cm}^3$  yoğunlukta yüzen malzeme miktarı besleme malının % 62,48 'ini oluşturmakta olup kül oranı % 10,44'tür.

15- -1 mm boyutlu kömürler üzerinde MGS ile yapılan deneylerde; Karadon numunelerinde yapılan MGS testi sonuçları değerlendirildiğinde, en düşük temiz kömür kül oranı % 15,41 olarak 2<sup>0</sup> eğimde ve 280 dv/dk da elde edilmiştir. 4<sup>0</sup> eğimde ve 240 dv/dk da elde edilen temiz kömür kül oranı % 19,79 dur. Ancak temiz kömür konsantre miktarları oldukça düşüktür.

16- -1mm kömürler üzerinde spiral ile % 25, % 30 ve % 35 katı oranı ile yapılan deneylerde, en uygun sonuçlara % 25 katı oranında elde edilmiştir. % 25 katı oranında besleme malının % 71,48'i temiz kömür olarak elde edilmiş olup, kül oranı % 16,92 dir. Ara ürün miktarı ise % 1,98 olup, kül oranı % 50,49' dur. % 25 katı oranında elde edilen ürünlerle çizilen tromp eğrisinin ayırım yoğunluğu (SG 50) 1,68 g/cm<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.

17- 1-0,15 mm boyutlu ince kömürler üzerinde yapılan spiral deneylerinde; % 25 katı oranında % 25 katı oranında besleme malının % 75,67'si temiz kömür olarak elde edilmiş olup, kül oranı % 13,28 dir. Ara ürün miktarı ise % 7,09 olup, kül oranı % 68,45 dir. Artık miktarı ise % 17,24 olup, kül oranı % 80,19 dur.

18- 1-0,15 mm ince kömürlerin spiral ile zenginleştirilmesi durumunda 100-0 mm tüvenan kömürün ağırlıkça % 12,50'si oranında ve % 13,28 külde temiz kömür elde edilecektir. Bu ürün 100-1 mm tüvenan kömürden metalürjik kömürden elde edilecek % 35,92 oranında ve % 10,30 külde temiz kömür ile karıştırılarak % 48,42 oranında ve % 11,06 külde metalürjik kömür elde edilecektir. Bu değerler halen demir-çelik fabrikalarına satılan kömürlerin özelliklerine uygundur.

19- 1-0,15 mm ince kömürler üzerinde yapılan spiral deneylerinde ara ürünün temiz kömüre karıştırılması durumunda tüvenan kömürün ağırlıkça % 13,65'i oranında ve % 17,9 külde temiz kömür elde edilecektir. Elde edilen ürünün 100-1 mm temiz kömür ile karıştırılması durumunda % 49,52 oranında ve %12,39 küllü metalürjik kömür elde edilecektir.

20- -1 mm kömürler üzerinde Knelson ayırıcı ile yapılan deneylerde herhangi bir zenginleşme sağlanamamıştır.

21- 1-0,15 mm boyutlu ince kömürler üzerinde Knelson ayırıcı ile yapılan deneylerde en düşük kül oranı 550 dev/dk devirde ve 2,5 L/dk su besleme miktarında elde edilmiştir. Bu su besleme miktarında temiz kömür kül oranı % 13,78 olup temiz kömür verimi % 42,93'tür. Artık kül oranı ise % 80,82'dir. Bu durumda 100-0 mm tüvenan kömürün % 9,38'i oranında ve % 13,78 külde metalurjik kömür elde edilecektir. 100-1 mm boyutlu tüvenan kömürlerden elde edilecek % 35,92 oranında ve % 10,30. küllü kömürün karışımı ile elde edilecek metalurjik kömür miktarı % 45,30, karışım külü ise % 11,02 olacaktır.

Armutçuk tüvenan taşkömürleri ile yapılan deneylerde:

22- 150-0 mm boyutundaki tüvenan kömürler üzerinde yapılan analiz sonuçlarına göre, tüvenan kömür külü % 42,66 dir. -1 mm boyutundaki kömür oranı tüvenan kömürün % 10,25'ini oluşturmakta olup, kül oranı % 27,55 dir.

23- Tüvenan kömürün tamamından 10-0 mm boyutunda temiz kömür elde edilmek istendiğinde, 150-1 yüzdürme-batırma sonuçlarına göre 1,90 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta % 58,71 oranında ve % 8,89 küllü ürün elde edilecektir

24- -1 mm ile yapılan yoğunluk analizlerine göre, 1,70 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta besleme malının % 71,14'ü % 9,79 küldedir. 1-0,15 mm boyutundaki malzemenin kül oranı % 19,96 dir. -0,106 mm boyutundaki fraksiyonun kül oranı oldukça yüksek olup, % 46,23 tür.

25- -1mm kömürler üzerinde spiral ile yapılan deneylerde en uygun sonuçlara % 25 katı oranında elde edilmiştir. Besleme malının % 77,13'ü temiz kömür olarak elde edilmiş olup, kül oranı % 14,11'dir. Ara ürün miktarı ise % 5,57 olup, kül oranı % 64,50'dir. Spiral ile % 25 katı oranında yapılan deneylerde ayırma yoğunluğu (SG 50) 1,69, hata alanı 5,19 olarak hesaplanmıştır.

26- 1-0,15 mm boyutlu ince kömürler üzerinde yapılan spiral deneylerinde; % 25 katı oranında % 86,45'i temiz kömür olarak elde edilmiş olup, kül oranı % 11,26 dır. Ara ürün miktarı ise % 3,41 olup, kül oranı % 45,74' dur. Akım şemasına göre, tüvenan kömüre göre 6,31 oranında temiz kömür %11,26 külde elde edilecektir. Böylece 150-1 mm tüvenan kömürlerden % 59 oranında temiz kömür % 9,14 küllü olarak elde edilecektir.

27- 1-0,15 mm ince kömürler üzerinde yapılan spiral deneylerinde ara ürünün temiz kömüre karıştırılması durumunda tüvenan kömürün ağırlıkça % 6,51'i oranında ve % 12,57 külde temiz kömür elde edilecektir. Elde edilen ürünün 100-1 mm temiz kömür ile karıştırılması durumunda % 59,2 oranında ve % 9,29 külde metalürjik kömür elde edilecektir.

28- 1-0,15 mm boyutlu ince kömürler üzerinde Knelson ayırıcı ile yapılan deneylerde, en düşük kül oranı 2,51 t/dk su besleme miktarında ve 550 dev/dk devirde elde edilmiştir. Bu su besleme miktarında temiz kömür kül oranı % 9,04 olup, temiz kömür verimi % 82,87 dir. Artık kül oranı ise % 81,67 dir.

29- 1 mm boyutlu kömürlerin Knelson cihazı kullanılarak zenginleştirilmesi durumunda, toplam tüvenan kömürün % 5,94'ü oranında ve % 9,04 külde metalürjik kömür elde edilecektir. 150-1 mm boyutlu tüvenan kömürlerden elde edilecek % 52,69 oranında ve % 8,89 küllü kömürün karışımı ile elde edilecek metalürjik kömür miktarı % 58,63, küllü ise % 8,90 olacaktır. Bu değerler halen demir-çelik fabrikalarına satılan kömürlerin özelliklerine uygundur.

30- Knelson cihazında zenginleştirilen Armutçuk 1-0,15 mm boyutundaki ince kömürlerinin Merkezi Kompozit Tasarımı'na göre deneysel tasarım teknikleri kullanılarak, cihazın dönüş hızı, su besleme miktarı, temiz kömür toplama zamanı ve besleme katı oranlarının temiz kömür külü ve organik verim üzerindeki etkileri incelenmiştir. İkinci derece polinom kullanılarak yapılan regresyon analizlerinde çoklu belirtme katsayısı ( $R^2$ ) temiz kömürü kül oranı için 0,776, organik verim için

0,979 olarak hesaplanmıştır. Temiz kömür külü ve organik verim için ikinci derece polinomlar oluşturularak cevap yüzeyi grafikleri çizilmiştir.

**KAYNAKLAR**

- Adel,G.T.ve Wang,D.(2005) The assessment of fine coal cleanability. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, (2),128-140.
- Arslan, V. (2011). Kömür yıkama tesis dizaynında ön araştırmanın önemi ve modelleme yaklaşımlarında dikkat edilmesi gereken hususlar. 22. Uluslararası Madencilik Kongresi,29-40
- Arslan, V. (2004). Evaluation of the collective washing of coals from Soma region with different characteristics, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, 113(2), 365-373
- Arslan, V.ve Kemal, M. (2004). Kömür hazırlama ve Türkiye'deki uygulamaları. *Türkiye 14. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*,
- Arslan, V. ve Kemal, M. (2006). Farklı kül oranlarındaki kömürlerin yıkanabilme özelliğinin tespitinde M-CM yönteminin kullanımı, *Madencilik Dergisi*, 45( 2), 17-25.
- Asmatututlu,R., Luttrell,G.H. ve Yoon,R.H.(2005). Dewatering of fine coal using hyperbaric centrifugation. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, (2),116-126
- Aslan, N. (2008). Application of response surface methodology and central composite rotatable design for modelling and optimization of a multi-gravity separator for chromite concentration, *Powder Technology*,185,80-86.
- Baltaş,A. (2009). Zonguldak taşkömürü havzasındaki kömürlerde tespit edilen maseraller ve mineraller. (*Derleme Çalışma, Yayınlanmamış*)



- Betbell F.J.ve Arnold, B.J.(2003). Comparing a two-stage spiral to two stages of spirals for fine coal preparation. *Advances in Gravity Concentration* ,107-114
- Benusa, M.D.ve Klima, M.S.(2008). An evaluation of a two-stage spiral processing untrafine bituminous coal. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, (28),237-260
- Chan B.S.K, Mozley R.H. ve Childs G.C.J.(1989). The multi gravity seperator (MGS). *Mineral Processing*, IMM, 107-123.
- Das,A. (2008). A novel beneficiation scheme for a medium coking coal fines from India., *International Journal of Coal Preparation and Utilization*,(4).
- Demir,İ.,Khan,L.ve Lytle,M.(2009). Advances in coal cleaning, *Illinois State Geological Survey*,110-114
- Eraydin, M.K. (2004). Evaluation of novel fine coal dewatering aids, *Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University*, master of science.in mining and mineral processing
- Ding,K.ve Laskowski,L.S.(2009). Effect of flotation on preparation of coal-water slurries. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*,2 (1).84-98
- Falconer, A. (2003). Gravity seperation old technique/new methods.*Physical Seperation in Science and Engineering*, (12), 31-48.
- Galvin, K.P.,(2006). Options for washability analysis of coal- a literature review, *Coal Preparation*, 26 (4)
- Glass H.J., Minekus N.J.ve Daljmin W.L.(1999). Mechanics of coal spirals. *Minerals Engineering*, 12,(3) 271-280.

- Holland-Batt,A.B.(1989). Spiral separation, theory and simulation, *Trans. Inst. Min. Met.*,98,46-50.
- Holland-Bat,A.B. (1994). The effect of feed rate on the performance of coal spiral. *Coal preparation*,14,3-4,199-202..
- Holland-Bat,A.B.ve Holtham, P.N. (1992).Particle and fluid motion on spiral separators. *Minerals Engineering*,4, 457-482.
- Honaker, R.Q.,Mohanty, M.K.ve Govindarajan, B. (1995). Enhanced gravity separators: New alternatives for fine coal cleaning, *In the proceedings of the XIII International Coal Preparation Congress*, 281-292.
- Honaker R.Q., Paul, B.C., Wang D.ve Huang M. (1995) The application of centrifugal washing for fine coal cleaning. *Minerals and Metallurgical Processing* ,(12),80-84.
- Honaker, R.Q.ve Wang D.(1998) Falcon concentrators: a high capacity finecoal technology. *SME Annual Meeting*,1-5
- Honeker, R.Q., Wang, D.ve Voyles ,R. (2000). Evaluation of a full scale C40 Falcon concentrator for fine coal cleaning. 20Şubat 2009.
- Honaker,R.Q. ve Forrest W.R.,(2003).Advances in gravity concentration. (1.edition). *Amerika:Society for Mining Metallurgy and Explanation,Inc(SME)*.
- Honaker R.Q.ve Das A.(2004). Ultrafine coal cleaning using a centrifugal fluidized-bed separator. *Coal preparation*,24(1-2)
- Honaker R.Q., Das A. ve Nombe M.(2005). Improving the separation efficiency of the Knelson concentrator using air injection. *Coal Preparation*, 25 ( 2), 99-116.

- Honaker, R.Q. ve Patwardhan,A.(2006). In-plant evaluation of dense medium process performances. *International Journal of Coal Preparation and Utilization* (3),149-165.
- Honaker R.Q.ve Bimbong C.(2008). Alternative materials for dense medium seperators. *International Journal of Coal Preparation and Utilization* (1),173-191
- Jia,R.,Harris, G. H. ve Fuerstenau D. W. (2002). Chemical reagents for enhanced coal flotation. *International Journal of Coal Preparation and Utilization* (2),123-149.
- Kalyani, V.K., et al, (2008). Coal-fine beneficiation studies of a bench-scale water-only cyclone using artificial neural network. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, (2)
- Kapur P.C. ve Meloy T.P. (1998). Spirals observed,*Int. Journal of Mineral Processing*,(53),15-28
- Karayığit, A. İhsan (1989), Zonguldak ve Amasra Kömürlerinin Petroğrafik Özellikleri, Hacettepe Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Kemal ,M. ve Arslan, V. (2010). *Kömür Teknolojisi* , İzmir : Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları,No:33.
- Kiran, K.R., Manohar,R.ve Divakar,S. (2001) Acentral composite design analysis of lipase catalyzed synthesis of lauroyl acid at bench-scale level,*Enzyme and Microbial Technology*,29,122-128.
- Kwak,J.S. (2005). Application of Taguchi and response surface methodologies for geometric error in surface grinding process, *Machine tools and manufacture* (2005),45,322-334.

Knelson,B.ve Jones,R., (1993). A new generation of Knelson concentrators a totally secure system goes on line. *Enviromental Aspects ofMminerals Engineering*,1-10

Kohmuench, J.N.(2000) Improving efficiencies in water-based seperators using mathematical analysis tools, doctor of philosophy, Virginia Polytechnic Institute and State University

Li,M.,Jancar.T.,Holtham,P.N.,Davis,J.J.ve Fletcher,C.A.(1995). Approaches to the develeopment of coal spiral models, *Soc. Mining, Metallurgy and Exploration*,335-345

Luttrell, G.H, ( 2003) Density seperations : are we existing really making use of existing process engineering knowledge. *Advances in Gravity Concentration* ,1-17.

Luttrell, G.H, Honaker R.Q.ve Philips D.I. (2000) *Enhanced gravity seperators*. 20Şubat 2009, [http:// www.concentrators.net](http://www.concentrators.net).

Luttrell, G.H, Honaker R.Q, Bethell, P.J. ve Stanley F.L. ( 2003) Operating guidelines for coal spiral circuits. *Coal Age*,108 (8),26-29.

Luttrell, G.H, Barbee,C.J ve Stanley F.L. ( 2003) Optimum cutpoints for heavy medium separators. *Advances in Gravity Concentration* ,81-91.

MacHunter, D.M.,Richards,R.G. ve Palmer,M.K. (2003). Improved gravity separation systems utilizing spiral separators incorporating new design parameters and features. *Heavy Minerals 2003, South Africa Instute of Mining and Metallurgy*,131-138.

Majumder, A.K. ve Barnwal J.P. ( 2008) New possibilities in fine coal beneficiation techniques, *Iternational Journal of* . (28),3-8

- Majumder, A.K., Barnwal, J.P. ve Singh D.N. (2004) Kelsey jig. A new technique for fine coal beneficiation. *Transactions on MGMI*, 101.
- Majumder, A.K. ve Barnwal J.P. (2004). Development of a new coal washability index. *Minerals Engineering*, 17, 93-96.
- Majumder, A.K., Barnwal J.P. ve Ramakrishnan, A. ( 2004). New approach to evaluate the performance of gravity-based coal. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, (1), 277-284.
- Majumder, A.K., Barnwal J.P. ve Ramakrishnan, A. ( 2006). Modelling of enhanced gravity. *Mineral Processing & Extractive Metallurgy*, (27), 61-86.
- Majumder, A.K., Bhol, K.S. ve Barnwal J.P. (2000) *Multi-gravity separator: an alternative gravity concentrator to process coal*. 20 Şubat 2009, <http://www.smenet.org>
- Majumder, A.K. ve Barnwal J.P. (2000) *Enhanced gravity concentrator prospects in fine coal beneficiation techniques*. 20 Şubat 2009
- Majumder, A.K., Tiwari, V. ve Barnwal J.P. (2007) *Separation characteristics of coal fines in a knelson concentrator*. *Coal preparation*, (27), 126-13.
- Majumder, A.K. ve Barnwal J.P. (2004). A computational method to predict particles free terminal settling velocity. *The Institution of Engineers Journal*, (85), 17-19.
- Majumder, A.K. ve Barnwal J.P. (2006). Modelling of enhanced gravity concentrators. *Mineral Processing & Extractive Metallurgy*, 27, 1-26 .
- Majumder, A.K. (2007). Multi-gravity separator: an alternate gravity concentrator to process coal fines. *Minerals & Metallurgical Processing*, 24(3),

- Mathews,B.W., Fletcher,C.A.J. ve Partridge,T.C. (1999). Particle flow modelling on spiral concentrators. *Second International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries*,211-216.
- McLeavy, M., Klein, B. ve Grewal,I.(2001). Knelson continuous discharge concentrator: analysis of operating variables, *In proceedings of the International Heavy Minerals Conference*, 119-225
- Mohanty, M.K., Honaker, R.Q. ve Patwardhan,A. (2001). Altar jig: an in-plant evaluation for fine coal cleaning. *Minerals Engineering*,(15),157-166.
- Mondal,K. ve Mohanty, M.K. (2009). A Theoretical approach to coal flotation washability correlation. *International Journal of Coal Preparation and Utilization* 2(1),140-151.
- Mukherjee, A.K. (2009). A new method for evaluation of gravity separation processes. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 30 (3),
- Nicol, S.K. (1992). Density based separation. *Fine Coal Benefication*,42-56
- Osborne, D.G (1988). *Coal Preparation Technology* (1st ed.).London: BP Coal Ltd
- Öney, Ö.ve Mordoğan, H.(1995). Determination of various operating parameters by using third degree regression equation on coal flotation. 6 th *Balkan Conference On Mineral Processing*,532-537.
- B.V. Rao, (2004).Weibull partition surface representation for gravity concentrators. *Minerals Engineering*, 17 (7-8),
- Richards, R.G., Hunter,J.L., ve Holand-Batt,A.B.(1985). Spiral concentrators for fine coal treatment. *Minerals Engineering*, (1) ,207-229

- Richards, R.G. ve Jones T.A.(2004). Kelsey centrifugal jig - an update on technology and application. *Minerals & Metallurgical Processing*, 21(4)
- Silva ,E., Santos N.A.ve Torres V.M.(1999). Centrifugal concentrators-a new era in gravity concentration, *SME Annual Meeting*
- Sripriya, S. Banerjee, P.K.ve Rao, P.V.T.(2004). Effect of operating variables on the performance of dense-media cyclones - a critical study. *Minerals and Metallurgical Processing*,21(2).
- Türk Standartları Enstitüsü (2003). TS 3037. Taşkömürü-yüzme-batma özelliklerinin tayini ve gösterilmesi-cihaz ve işlemler için genel talimatlar.Ankara
- Türkiye Taşkömürü Kurumu Genel Müdürlüğü.(2009) TTK Faaliyetleri (1. Baskı) , 65, Zonguldak.
- Wang, D. ve Adel, G.T.,(2005). The assessment of fine coal cleanability, *Coal Preparation*, 25 (3),
- Weldon,B.,(1997). Fine coal beneficiation: Spiral separation in the Australian industry, *The Australian Coal Review*,15,173-181.
- Xia, Y. ve Peng Felicia.(2007). Effect of structured plates on fine coal gravity separation in a liquid fluidized bed system. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*,1(3), 164-180.
- Van Kooy, L., Mooij, M. ve Rem, P.(2004). Kinetic gravity separation. *Physical Separation in Science and Engineering*.13(1)
- Venkatraman, P. Ve Lutrell G.H.,(1995). Fine coal cleaning using the multigravity separator,*In proceedings of the high efficiency coal preparation : An International SymposiumSME*,109-117.

Yerriswany, P.,Majumder, A:K., Barnwall, J. P., Govindarajan, B., ve Rao,T.C.(2003).Study on Kelsey Jig treating Indian coal fines, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy (Trans. Inst. Min. Metall)*. 112,208-210

Yuchi,W., Li,B., Li,W. ve Chen,W.(2005). Effects of Coal Characteristics on the Properties of Coal Water Slurry. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*,(3),239-249.

Zhang,B. (2008). Performance optimization of a compound spiral for fine and ultrafine coal cleaning. master thesis.Southern Illinois University,Amerika.