



**T.C.
SİVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**LİNYİT TESİS ATIĞINDAN TEMİZ KÖMÜR KAZANIMININ
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Nilüfer TIĞLI SAYIN
(200992111123)**

**Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yakup CEBECİ**

**SİVAS
2019**

Nilüfer TIĞLI SAYIN'ın hazırladığı ve “**LİNYİT TESİS ATIĞINDAN TEMİZ KÖMÜR KAZANIMININ ARAŞTIRILMASI**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı **Prof. Dr. Yakup CEBECİ**

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Jüri Üyesi **Prof. Dr. Nevzat ASLAN**

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Jüri Üyesi **Prof. Dr. Taki GÜLER**

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **Yüksek Lisans Tezi** olarak onaylanmıştır

Prof. Dr. İsmail ÇELİK
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu Tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisans Üstü Tez Yazım Kılavuzu'nda (Yönerge) belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.





Bütün hakları saklıdır.
Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

Nilüfer TIĞLI SAYIN, 2019

ETİK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu'nda (Yönerge) kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu;
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili esere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi;
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Cumhuriyet Üniversitesi veya başka bir üniversitede bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

19.06.2019

Nilüfer TIĞLI SAYIN

ÖZET

LİNYİT TESİS ATIĞINDAN TEMİZ KÖMÜR KAZANIMININ ARAŞTIRILMASI

Nilüfer TIĞLI SAYIN

Yüksek Lisans Tezi

Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Yakup CEBECİ

2019, 141+ xvi sayfa

Bu çalışmada Aydın ilinde bulunan linyit tesis atıklarından temiz kömür kazanımı araştırılmıştır. Aynı tesisten alınan kömür örneği üzerinde de yıkama testleri gerçekleştirilerek tesis atığının yıkanabilirliği karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir. Linyit atıklarının yıkanabilme özelliklerinin belirlenebilmesi için yüzdürme batırma deneyleri yapılmış. Yüzdürme-batırma testlerinde ağır ortam hazırlamak için çinko klorür ($ZnCl_2$) kullanılmıştır. Mineralojik analiz, linyit örneğinin yüksek oranda kil içerdiğini göstermiştir. Yüzdürme-batırma testleri, linyit örneğinin yıkanabilirliğinin zor olduğunu, tane boyu azaldıkça yıkanabilirliğin iyileştiğini ortaya koymuştur. Atıklardan en verimli temiz kömür kazanımı, atıkları 10 mm'nin altına kırarak elde edilmiştir. Yüzdürme-batırma testleri ile -10+0,5 mm tane boyunda sınıflandırılan atıktan % 20 kül içeriğine sahip, % 15,42 ağırlık oranında temiz kömür elde edilmiştir. Sarsıntılı masa, jig ve multi gravite seperatör (MGS) ile zenginleştirme çalışmaları da 10 mm'nin altına kırılan atık örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiş. Deneysel çalışmalardan elde edilen veriler ışığında atıkların kazanımına yönelik tesis akım şeması önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kömür yıkama tesis atığı, Yoğunluğa dayalı zenginleştirme, Ağır ortam, Temiz kömür.

ABSTRACT
INVESTIGATION OF CLEAN COAL RECOVERY FROM TAILINGS OF
LIGNITE PREPARATION PLANT

NİLÜFER TIĞLI SAYIN

Master of Science Thesis

Department of Mining Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Yakup CEBECİ

2019, 141 + xvi pages

In this study, clean coal recovery from tailings of a lignite preparation plant in Aydın province was investigated. Washability of lignite preparation plant tailings was comparatively evaluated by applying washability tests both on tailings and raw coal samples taken from same plant. Sink-float tests were performed to determine the washability properties of lignite tailings, in which zinc chloride ($ZnCl_2$) was used to prepare heavy medium. Mineralogical analysis stated that lignite sample contained high rate of clay. Sink-float tests demonstrated that the washability of coal sample was difficulty, and washability improved at finer sizes. The most efficient clean coal recovery from tailings was obtained by crushing the tailings down to -10 mm size. Clean coal having 20% ash and 15,42% recovery by weight could be obtained from -10+0.5 mm size plant tailings by sink-float tests. Cleaning of plant tailings by shaking table, jig and multi gravity separator (MGS) was also investigated on crushed plant tailings below 10 mm size. Under the light of experimental findings, coal washing plant flowsheet was proposed for the recovery of plant tailings.

Key Words: Tailings of coal preparation plant, Gravity separation, Heavy medium, Clean coal.

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında desteğini gördüğüm bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım danışman hocam Prof. Dr. Yakup CEBECİ'ye çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışması süresince bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren Prof. Dr. Ünal AKDEMİR'e;

Örneklerimin analizinde çok büyük yardımını gördüğüm Uzman İbrahim KULAKSIZ'a;

Deneylerimin her aşamasında yardımını esirgemeyen Feramuz ÇİFTÇİ'ye;

Örneklerimin temini aşamasında yardımları için Yusuf KUYUMCU'ya;

Çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemeyen arkadaşlarıma; çok teşekkür ederim.



Sevgili eşime ve canım OĞLUMA...

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xiv
1.GİRİŞ	1
2.GENEL BİLGİLER	5
2.1. Kömür Hakkında Genel Bilgiler	5
2.2. Kömürün Zenginleştirilmesi	6
2.2.1 İri Kömürün Zenginleştirilmesi	8
2.2.1.1 Ağır ortam ayırması.....	8
2.2.1.2 Jig	9
2.2.2 İnce Kömürün Zenginleştirilmesi	9
2.2.2.1 Ağır ortam siklonları	10
2.2.2.2 Sarsıntılı masalar	10
2.2.2.3 Spiraller	10
2.2.2.4 Reichert konileri	11
2.2.2.5 Multi Gravite Ayırıcısı (MGS).....	11
2.2.3 Toz (Çok İnce) Kömürün Zenginleştirilmesi.....	11
2.2.3.1 Flotasyon	12
2.2.3.2 Yağ aglomerasyonu	12
2.3 Kömür Hazırlama Tesis Atıkları Hakkında Bilgi	13
2.4 Kömürün Yıkanabilirliği	13
2.4.1 Henry - Reinhard'a göre kömür yıkanabilirlik eğrileri.....	14
2.4.2 Mayer Eğrisi (M-Eğrisi).....	16
3. MALZEME VE YÖNTEM	18
3.1 Malzeme	18
3.1.1 Kömür ve Atık Örneği	18
3.2 Yöntem.....	19
3.2.1 Kömür ve atık örneklerinin hazırlanması.....	19
3.2.1.1 Kömür örneğinin hazırlanması	19
3.2.1.2 Atık örneğinin hazırlanması	20
3.2.2 Kömür ve atık örneklerinin analizleri	23
3.2.2.1 Kimyasal analiz	23
3.2.2.2 Elek analizleri	25
3.2.2.2.1 Kömürün elek analizi	25
3.2.2.2.2 Atığın elek analizi	26
3.2.3 Deneylerin yapılışı	34
3.2.3.1 Yüzdürme - batırma deneylerinin yapılışı	34
3.2.3.1.1 Santrifüjlü yüzdürme - batırma deneylerinin yapılışı..	34
3.2.3.1.2 Santrifüjsüz yüzdürme - batırma deneylerinin yapılışı	35
3.2.3.2 Zenginleştirme deneylerinin yapılışı	37

3.2.3.2.1 Sarsıntılı masa deneylerinin yapılışı.....	37
3.2.3.2.2 Jig deneylerinin yapılışı.....	39
3.2.3.2.3 Multi Gravite Seperator (MGS) deneylerinin yapılışı.	39
4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME	40
4.1 Yüzdürme Batırma Deney Bulgularının Değerlendirilmesi	40
4.1.1 Kömürün yüzdürme - batırma deney bulgularının değerlendirilmesi.....	40
4.1.1.1 Santrifüjlü yüzdürme-batırma deney bulgularının değerlendirilmesi	40
4.1.1.2 Santrifüjsüz yüzdürme - batırma deney bulgularının değerlendirilmesi	44
4.1.1.2.1 -120+18 mm tane boyu deney sonuçları	44
4.1.1.2.2 -18+10 mm tane boyu deney sonuçları	49
4.1.1.2.3 -10+5,6 mm tane boyu deney sonuçları	53
4.1.1.2.4 -5,6+0,5 mm tane boyu deney sonuçları	57
4.1.2 Atığın yüzdürme - batırma deney bulgularının değerlendirilmesi.....	70
4.1.2.1 Santrifüjlü yüzdürme - batırma deney bulgularının değerlendirilmesi	70
4.1.2.2 Ana numune ile yapılan yüzdürme - batırma deney bulgularının değerlendirilmesi	78
4.1.2.2.1 -120+50 mm tane boyu deney sonuçları	79
4.1.2.2.2 -50+18 mm tane boyu deney sonuçları	83
4.1.2.2.3 -18+10 mm tane boyu deney sonuçları	86
4.1.2.2.4 -10+0.5 mm tane boyu deney sonuçları	89
4.1.2.3 Kırılmış numuneler ile yapılan yüzdürme - batırma deney bulgularının değerlendirilmesi	98
4.1.2.3.1 -78+18 mm tane boyu deney sonuçları	98
4.1.2.3.2 -18+10 mm tane boyu deney sonuçları	102
4.1.2.3.3 -10+0.5 mm tane boyu deney sonuçları	105
4.1.2.3.4 -25 mm'ye kırılmış atık örneğinin deney sonuçları ..	113
4.1.2.3.5 -10 mm'ye kırılmış atık örneğinin deney sonuçları ..	117
4.2 Zenginleştirme Deney Bulgularının Değerlendirilmesi	128
4.2.1. Jig deneyi bulgularının değerlendirilmesi.....	129
4.2.2 Sarsıntılı masa deney bulgularının değerlendirilmesi.....	130
4.2.3 Multi Gravite Seperator (MGS) deney bulgularının değerlendirilmesi ..	131
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	132
5.1 Tartışma.....	132
5.2 Sonuçlar	133
5.2.1 Tüvenan linyit ile yapılan deney sonuçları	133
5.2.2 Linyit atığı ana numune ile yapılan deney sonuçları	134
5.2.3 Linyit atığını farklı tane boylarına kırarak yapılan deney sonuçları.....	134
5.2.3.1 -78 mm'ye kırılan linyit atığı deney sonuçları	134
5.2.3.2 -25 mm'ye kırılan linyit atığı deney sonuçları	135
5.2.3.3 -10 mm'ye kırılan linyit atığı deney sonuçları	135
5.2.4 Kırılmış linyit atığına belirlenen tane aralığında zenginleştirme işlemi uygulanarak yapılan deney sonuçları.....	136
KAYNAKLAR	137
ÖZGEÇMİŞ	142

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1	Dört paralelli devreler birleştirilerek modern bir kömür hazırlama tesisi..... 8	akım şeması (Honaker and Forrest, 2003). 8
Şekil 2.2	Kömür Yıkanabilirlik Eğrileri 15	
Şekil 2.3	Mayer eğrisi (M-eğrisi) 17	
Şekil 3.1	Kömür örneğinin XRD analizi (Yalçın ve Bozkaya, 2002). 18	
Şekil 3.2	Atık örneğinin XRD analizi (Yalçın ve Bozkaya, 2002). 19	
Şekil 3.3	Linyit deneyleri için örnek hazırlama akım şeması..... 20	
Şekil 3.4	Ana numune ve -10 mm'ye kırılmış atık örneğinin deneyleri için örnek hazırlama akım şeması 21	
Şekil 3.5	-78 mm'ye kırılmış atık örneğinin deneyleri için örnek hazırlama akım şeması 22	
Şekil 3.6	-25 mm'ye kırılmış atık örneğinin deneyleri için örnek hazırlama akım şeması 23	
Şekil 3.7	-120 mm linyit örneğinin kümülatif elek altı (KEA) eğrisi..... 26	
Şekil 3.8	-120 mm atık numunesinin kümülatif elek altı (KEA) eğrisi..... 28	
Şekil 3.9	-78 mm atık numunesinin kümülatif elek altı (KEA) eğrisi..... 30	
Şekil 3.10	-25 mm atık örneğinin kümülatif elek altı (KEA) eğrisi 31	
Şekil 3.11	-10 mm atık örneğinin kümülatif elek altı (KEA) eğrisi 32	
Şekil 3.12	-500 µm atık ana numunesinin kümülatif elek altı (KEA) eğrisi 33	
Şekil 3.13	-500 µm atık örneğinin kümülatif elek altı (KEA) eğrisi..... 34	
Şekil 3.14	Santrifüj işlemi uygulanan örnekler 35	
Şekil 3.15	Kömürün yüzdürme - batırma yapılan yoğunluk diyagramı 36	
Şekil 3.16	Atığın yüzdürme - batırma yapılan yoğunluk diyagramı 37	
Şekil 3.17	Deneyde kullanılan sarsıntılı masa..... 38	
Şekil 3.18	Sarsıntılı masadan çıkan konsantre - ara ürün - atık örnekleri 38	
Şekil 4.1	-500 µm tane boyu kömürün yıkanabilirlik eğrileri 42	
Şekil 4.2	-500 µm tane boyu santrifüj deney sonuçlarına göre kül- yanabilir verimin değişimi 43	
Şekil 4.3	-120+18 mm Kömür Yıkanabilirlik Eğrileri 47	
Şekil 4.4	-18+10 mm Kömür Yıkanabilirlik Eğrileri 51	
Şekil 4.5	-10+5,6 mm Kömür Yıkanabilirlik Eğrileri 55	
Şekil 4.6	-5,6+0,5 mm Kömür Yıkanabilirlik Eğrileri 59	
Şekil 4.7	Kömürün ±0,1 yoğunluk grafiği..... 62	

Şekil 4.8 Kömürün yoğunluk değerlerine göre kümülatif yüzen yukarı ısıl değer grafiği	64
Şekil 4.9 Kömürün kümülatif yüzen kül değerlerine göre yukarı ısıl değer grafiği.....	65
Şekil 4.10 Kömürün yoğunluk değerlerine göre kümülatif yüzen aşağı ısıl değer grafiği	66
Şekil 4.11 Kömürün kümülatif yüzen kül değerlerine göre aşağı ısıl değer grafiği.....	67
Şekil 4.12 Kömür tane boylarına göre kümülatif yüzen eğrisi.....	68
Şekil 4.13 Kömür tane boylarına göre M eğrisi	69
Şekil 4.14 Atık ana numune -500 µm için santrifüjlü yüzdürme - batırma grafiği	71
Şekil 4.15 Atık -500+38 µm tane boyu için santrifüjlü yüzdürme- batırma grafiği.....	73
Şekil 4.16 -10 mm'ye kırılmış atık örneğinin -500 µm tane boyu için santrifüjlü yüzdürme- batırma grafiği	76
Şekil 4.17 -120+50 mm tane boyundaki atığın yıkanabilirlik eğrileri	82
Şekil 4.18 -50+18 mm tane boyu atığın yıkanabilirlik eğrileri	85
Şekil 4.19 -18+10 mm tane boyu atığın yıkanabilirlik eğrileri	88
Şekil 4.20 -10+0,5 mm tane boyu atığın yıkanabilirlik eğrileri	91
Şekil 4.21 Atık tane boylarına göre kümülatif yüzen eğrileri	92
Şekil 4.22 Atık tane boylarına göre M (Mayer) eğrisi	93
Şekil 4.23 Atık tane boylarına göre normalize eğrisi	94
Şekil 4.24 Atık ana numunenin tane iriliğine göre ±0,1 yoğunluk grafiği.....	96
Şekil 4.25 -78+18 mm tane boyu yıkanabilirlik eğrileri	101
Şekil 4.26 -18+10 mm tane boyu yıkanabilirlik eğrileri	104
Şekil 4.27 -10+0,5 mm tane boyu yıkanabilirlik eğrileri	107
Şekil 4.28 -78 mm atık örneğinin tane boyu fraksiyonlarına göre kümülatif yüzen eğrisi	108
Şekil 4.29 -78 mm atık örneğinin tane boylarına göre normalize grafiği.....	109
Şekil 4.30 -78 mm atık örneğinin tane boylarına göre M eğrisi.....	110
Şekil 4.31 -78 mm'ye kırılmış atığın ±0,1 yoğunluk grafiği.....	111
Şekil 4.32 -25+0,5 mm tane boyu yıkanabilirlik eğrileri	116
Şekil 4.33 -10+0,5 mm tane boyu yıkanabilirlik eğrileri	121
Şekil 4.34 -10+0,5 mm tane boyu kümülatif yüzen kül değerine karşı ısıl değer sonuçları.....	124
Şekil 4.35 Yüzdürme - batırma yapılan atık ana numune ve kırılmış numunelerin farklı kül içeriklerine göre beslemedeki ağırlıkça verim grafiği	125
Şekil 4.36 Tasarlanan tesis akım şeması	127

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 2.1	$\pm 0,1$ Yoğunluğundaki Malzeme Yüzdeleri ile Ayırmanın Güçlük veya Kolaylık Derecesi (Ateşok, 2004).....	15
Tablo 3.1	Deneylerde kullanılan kömürün kimyasal analiz sonuçları	24
Tablo 3.2	Deneylerde kullanılan atığın kimyasal analiz sonuçları	24
Tablo 3.3	-120 mm linyit örneğinin yaş elek analizi sonuçları.....	25
Tablo 3.4	-120 mm atık örneğinin yaş elek analizi sonuçları	27
Tablo 3.5	-78 mm atık örneği yaş elek analizi	29
Tablo 3.6	-25 mm atık numunesi yaş elek analizi sonuçları	30
Tablo 3.7	-10 mm atık örneği yaş elek analizi sonuçları	31
Tablo 3.8	Atık ana numune -500 μ m tane boyu örneğinin yaş elek analizi sonuçları..	32
Tablo 3.9	-10mm'ye kırılmış atık numunesinin -500 μ m tane boyu örneğinin yaş elek analizi sonuçları	33
Tablo 4.1	Kömürün -500 μ m tane boyu için santrifüj deney sonuçları	41
Tablo 4.2	Kül değerlerine göre teorik olarak elde edilecek temiz kömür miktarları	43
Tablo 4.3	-120+18 mm Tane Boyu Yıkanabilirlik Değerleri	46
Tablo 4.4	-120+18 mm tane boyu kömürün ısı değer hesabı.....	48
Tablo 4.5	-18+10 mm Tane Sınıfı Yıkanabilirlik Değerleri	50
Tablo 4.6	-18+10 mm tane boyu kömürün ısı değer hesabı.....	52
Tablo 4.7	-10+5,6 mm Tane Sınıfı Yıkanabilirlik Değerleri	54
Tablo 4.8	-10+5,6 mm tane boyu kömürün ısı değer hesabı.....	56
Tablo 4.9	-5,6+0,5 mm Tane Boyu Yıkanabilirlik Değerleri	58
Tablo 4.10	-5,6+0,5 mm tane boyu kömürün ısı değer hesabı.....	60
Tablo 4.11	Kömürün tane boylarına göre kül - yanabilir verim sonuçları.....	61
Tablo 4.12	Kömürün tane iriliğine göre $\pm 0,1$ yoğunluk değerleri	61
Tablo 4.13	Değişik kül oranlarında zenginleştirme yapıldığında teorik olarak elde edilecek temiz kömür miktarları	63
Tablo 4.14	Atık -500 μ m tane boyu için santrifüjlü yüzdürme -batırma deney sonuçları	71
Tablo 4.15	Değişik kül oranlarında zenginleştirme yapıldığında teorik olarak elde edilecek temiz kömür miktarları	72
Tablo 4.16	Atık -500+38 μ m santrifüjlü yüzdürme - batırma deney sonuçları	73
Tablo 4.17	Değişik kül oranlarında zenginleştirme yapıldığında teorik olarak elde edilecek temiz kömür miktarları	74

Tablo 4.18	-10 mm'ye kırılmış atık örneğinin -500 µm tane boyu için santrifüjlü yüzdürme -batırma deney sonuçları.....	75
Tablo 4.19	Değişik kül oranlarında zenginleştirme yapıldığında teorik olarak elde edilecek temiz kömür miktarları	77
Tablo 4.20	-120+50 mm Tane Sınıfı Yıkanabilirlik Değerleri	81
Tablo 4.21	-50+18 mm Tane Sınıfı Yıkanabilirlik Değerleri	84
Tablo 4.22	-18+10 mm Tane Sınıfı Yıkanabilirlik Değerleri	87
Tablo 4.23	-10+0,5 mm Tane Sınıfı Yıkanabilirlik Değerleri	90
Tablo 4.24	-120 mm atık tane fraksiyonlarına göre elde edilen kül ve yanabilir verim sonuçları.....	94
Tablo 4.25	Atık ana numunenin tane boylarına göre $\pm 0,1$ yoğunluk değerleri	95
Tablo 4.26	Değişik kül oranlarında zenginleştirme yapıldığında teorik olarak elde edilecek temiz kömür miktarları	97
Tablo 4.27	-78+18 mm Tane Sınıfı Yıkanabilirlik Değerleri	100
Tablo 4.28	-18+10 mm Tane Sınıfı Yıkanabilirlik Değerleri	103
Tablo 4.29	-10+0,5 mm Tane Sınıfı Yıkanabilirlik Değerleri	106
Tablo 4.30	$\pm 0,1$ yoğunluğundaki malzeme miktarı	110
Tablo 4.31	-78 mm atık tane boyu fraksiyonlarına göre elde edilen kül ve yanabilir verim sonuçları.....	111
Tablo 4.32	Değişik kül oranlarında zenginleştirme yapıldığında teorik olarak elde edilecek temiz kömür miktarları	112
Tablo 4.33	-25+0,5 mm Tane Boyu Yıkanabilirlik Değerleri	115
Tablo 4.34	-25 mm atık örneğinin tane boyu fraksiyonlarına göre elde edilen kül ve yanabilir verim sonuçları	116
Tablo 4.35	Değişik kül oranlarında zenginleştirme yapıldığında teorik olarak elde edilecek temiz kömür miktarları	117
Tablo 4.36	-10+0,5 mm Tane Sınıfı Yıkanabilirlik Değerleri	120
Tablo 4.37	Tane boyu aralığına göre kül-yanabilir verim sonuçları.....	121
Tablo 4.38	Değişik kül oranlarında zenginleştirme yapıldığında teorik olarak elde edilecek temiz kömür miktarları	122
Tablo 4.39	-10+0,5 mm tane boyu deney sonuçlarına göre kül-ısııl değer miktarları .	123
Tablo 4.40	Yüzdürme - batırma yapılan atık ana numune ve kırılmış numunelerin farklı kül içeriklerine göre beslemedeki temiz kömür miktarları	125
Tablo 4.41	Jig ve sarsıntılı masa deneylerinde kullanılan atık örneğinin elek analizi	128
Tablo 4.42	Multi Gravite Seperatör (MGS) deneyi için kullanılan atık örneği elek analizi	129

Tablo 4.43 Jig deney sonuçları.....	129
Tablo 4.44 -3,15+0,5 mm için sarsıntılı masa deney sonuçları	130



1.GİRİŞ

Enerji kaynakları içerisinde dünyada ve ülkemizde rezervi, yaygınlığı ve kullanım alanı sayısının fazla olması bakımından kömür enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahiptir. Endüstriyel üretimin artması, bilim ve teknolojinin gelişmesi, nüfusun çoğalması ve yaşama standartlarının yükselmesi ile birlikte, gelecekte enerji talebinde büyük artışlar olacaktır. Kömür pazarında yarıştaki artışla birlikte üreticiler tüvenan kömürden satılabilir kömür kazanımını maksimize etmenin (en üst düzeyde tutmanın) yollarını araştırmaktadır. Çevresel isteklerin karşılanması ve satılabilir ürün miktarının yüksek düzeyde tutulması talebin fazla olduğu iyi kaliteli (kükürt-nem-ince içeriği) uygun ürünleri üretmekle mümkündür (Ateşok, 2004). Ülkemizde bulunan ömür rezervlerinin önemli bir kısmının düşük kaliteli linyit kömürlerinden oluşması, maden ocağında yapılan üretim yöntemi ve üretim sonrası kömür hazırlama yöntemlerinin en doğru şekilde seçilmesi, seçilen bu yöntemlerle işletilen ocaklar ve kömür hazırlama tesislerinin en verimli şekilde çalıştırılması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır (Altınçelep ve Bayat, 2017).

Bilindiği gibi hem verim (kazanım) hem de ürünün kalitesi kömürde ki mineral maddelerin dağılımı ve serbestleşme durumuyla çok yakından ilişkilidir. Tane boyu küçültmeyle (ufalama) serbestleşme iyileşir fakat ufalamanın doğal sonucu olarak varlığı problemlere sebep olan ince kömür miktarı artmaktadır. İnce kömürler iri kömüre göre yüksek hazırlama maliyetleri, yüksek nem içeriği, parasal değerinin düşüklüğü ve birçok kullanım alanda problemlere sebep olmaktadır (Oliver vd., 1995).

Yukarıdaki açıklamalardan açıkça anlaşılacağı gibi ana gaye mümkün olduğunca az tane boyu küçültmeyle (minimum tane boyu küçültme) mineral maddelerin serbestleşmesi artmaktadır. Bu durum kömüre nispeten mineral maddelerin seçimli kırılmasına Avustralya'da CSIRO tarafından yapılan pilot ölçekli çalışmalarda ufalama cihazı enerji girişi, besleme ve boşalma çıkışının uygun şekillerde ayarlanmasıyla seçimli kırmanın belli bir derecede başarılabilceği gösterilmiştir. Oliver vd.'nin (1995) yaptıkları çalışmada -0,5 mm'nin altında ki incelerin miktarını önemli derecede artırmaksızın % 2,5 ve % 4,5'luk bir ağırlıkça verim artışı sağlamışlardır (satılabilir ürünü de artırmışlardır).

Seçimli kırma ile ilgili çalışmalar daha ziyade ara ürünün (middling) fraksiyonlarının kırılmasıyla ilgilidir. Bir tesiste ara ürün alınmıyorsa ara ürünün kalitesi tesisten tesise

değişmektedir (Oliver vd., 1995). Ara ürünleri değerlendirmek için yapılan çalışmalar yeterli sayıda mevcutken, atıklar üzerinde yapılan kömür kazanımı sınırlı sayıdadır. Kömür hazırlama tesislerinde temiz kömürler özel olarak belirlenmiş pazar kül içeriğinde üretilirken, ekonomik ve çevresel kısıtlamalar nedeni ile atıktaki yanabilir kısım minimum olması istenmektedir.

İngiltere’de ara ürünler (middling) satılabilir ürünün % 10’undan daha azını oluşturduğu için ve genellikle kül içeriğinin % 30 oranında değiştiği, temiz kömür kül içeriği ise % 10 - 4 arasında değişmektedir. Hemen hemen istisnasız ara ürünler termik santralin yakıt karışımına ilave edilirler. Termik santral yakıtları % 14 - 20 arasında kül içeriğine sahip olabilirler. Ara ürün bu karışımın % 5 - 10 arasında değişmektedir. Bilindiği gibi ara ürünler ve atığın miktarı, kalitesi ve bunlara uygulanan işlemler tesisten tesise değişiklik göstermektedir. Özellikle ara ürünler herhangi bir işleme tabi tutulmaksızın veya zenginleştirilmeksizin termik santrallerde değerlendirilmektedir. Ancak çoğunlukla kırılmaksızın alışıldığı şekliyle kırılarak zenginleştirilmeden doğrudan termik santral yakıtına(karışımına) ilave edilir.

Atıklar potansiyel olarak kazanılmamış kömür içeriği nedeni ile faydalı enerji içerdiği gibi atıkların depolanmasının sonucu olarak depolandığı veya bertaraf edildiği alanların israf (atıl) olarak kalmasına ve çevre kirliliğine neden olmaktadır. Kömür üreticisi ülkeler atıkların değerlendirilmesi için büyük çaba sarf etmektedirler. Atık yığınlarındaki kömür kazanımı gittikçe gelişen bir çalışma alanı haline gelmiştir. Bu atıklardaki kömür kazanılabilir veya geriye kalan atıklar farklı alanlarda (yeraltı dolgu malzemesi, yol yapım malzemesi ve diğer uygun şekillerde) değerlendirilebilir. Tesis atıkları günümüzde ve gelecekte enerji üretmek amacı ile kullanılabilir, işletmeler ve ülkelerin ekonomisine önemli katkılar sağlayabilir.

Atıklarda kömür kaybının başlıca iki sebebi bulunmaktadır. Bunlar verimsiz yıkama ve kömürün yıkanabilirliğidir. Verimsiz yıkamanın sonucu olarak bir kısım yanabilir madde atıklara gidebilmektedir. Aynı şekilde atıkta temiz kömüre karışabilmektedir. İşletme koşullarında ki küçük bir değişiklik atığa gidecek yanabilir kısım miktarını artırabilmektedir. Bu durum sulu ayırıcılara göre daha hassas bir ayırım yapan ağır ortam ayırıcılarında da (zenginleştirme) kömür kayıplarına sebep olabilmektedir. Kömür kaybının ikinci en büyük nedeni kömür yıkanabilirliği ile ilgilidir. Özellikle yıkanabilirliği zor/orta olan kömürlerden yüksek kaliteli temiz kömür üretilmek istendiğinde bir kısım ara ürünün (iki yönlü bir yıkama işleminde) atığa gitmesini

gerektirdiğinden atıktaki yanabilir kaybı artmaktadır. Bu ara ürün fraksiyonu atıktaki düşük kaliteli kömür kaynağıdır. Atıklar ve ara ürünler üzerinde yapılacak olan yüzdürme batırma testleriyle iri, orta ve ince atıkları zenginleştirmek için teknik ve ekonomik olarak uygun cihazlar belirlenir. Genel olarak kömür hazırlama tesis atıklarının büyük bir kısmını iri atık oluşturmaktadır. Toplam atığın kabaca %60-75'i iri atıktır. Atıkların yeniden yıkanması sonucu elde edilen kömürler ısıl değeri ve diğer özelliklerine bağlı olarak termik santrallerde yakıt olarak gazlaştırmada, ucuz dumansız yakıt üretiminde ve diğer sektörlerde kullanılabilir. Ayrıca atıklar depolanarak gelecekte enerji kaynağı olarak da kullanılabilir. Bu durumda atıklar gelişigüzel atılmaktan ziyade düzenli olarak depolanmalıdır. Atıktaki kömürün kazanım aşamasına kadar kendiliğinden yanmayı önlemek için sıkı bir şekilde yığın oluşturulması ve etrafının toprakla kapatılması gerekmektedir. Atık ve ara ürün değerlendirilmesinde ayırma ve elde edilen ürünün kalitesi yanabilir kısmın gangtan seçimli olarak ayrılmasını sağlamak için çok sayıda çalışma yapılmıştır. Kömür dünyadaki en önemli enerji kaynağı olarak bilinmektedir. Dünyada enerjinin yaklaşık % 28'i kömürden sağlanmaktadır (Url-1). Kömür yıkama tesisinin atığında kömür taneleri bulunmaktadır ve çeşitli problemlere sebep olmuştur. Atıktaki kömürün kazanımının çeşitli ekonomik ve çevresel avantajları mevcuttur. Örneğin; doğal kaynakların korunması ve atık yığınlarına atılacak olan materyallerin miktarının azaltılması en önemli olanıdır. Aslında atıktan kömür üretmek maliyet olarak ucuz, ekonomik ve çevresel olarak uyumludur. Atıklardaki kömür kazanımı kömür yıkama endüstrisi için yeni bir yaklaşımdır (Bahrami vd., 2018).

Kömür, petrol, su ve tabii gaz enerji talebini karşılayacaktır. Nükleer Enerji, rüzgar ve güneş enerjileri üretiminde çalışmalar sürdürülmekte olup, gelecekte ki payları hakkında bir şey söylemek şimdiden mümkün değildir. Kömür, enerji tüketim hacmi içinde bütün rekabetçi yakıtların baskısına rağmen yine de önemli bir seviyede kalacaktır. Kömür dışında ki enerji kaynakları, mevcut tüketim ve buna bağımlı üretim temposu içinde kısa bir dönemde tükenecektir. Tüklenen kaynakların yerine yeni imkanların aranması, teknolojinin uğraşısı olacaktır.

Gelişmiş endüstri ülkelerinde yapılan bilimsel değerlendirmelerde, gerekli önlemler alınmadığı takdirde yakın bir gelecekte hemen hemen tüm dünya ülkelerinde enerji sorununun ortaya çıkacağı saptanmıştır. Bu sorunun çözümü için düşünülen önlemler içinde, 1973 yılına kadar zahmetli bir hammadde türü nazarıyla bakılıp hor görülen

kömür, kurtarıcı olarak belirlenmiş ve kömürün eski “kara elmas” niteliğine kavuşması sağlanmıştır (Ateşok, 1986).

Dünya genelinde tüm jeolojik kömür yataklarının ancak % 6.32’si teknik ve ekonomik işletilebilir rezerv durumundadır. Bu işletilebilir rezervin ise yaklaşık % 77’si taş kömürü iken % 23’ü linyittir. Ancak dünya genelinde işletilebilir taş kömür rezervleri linyit rezervlerine oranla daha fazla olmasına rağmen, az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler bu dağılımdan aynı oranda şanslı çıkmamaktadırlar. Zira Rusya Federasyonu, Amerika Birleşik Devletleri, Almanya, Kanada, İngiltere ve Japonya gibi gelişmiş ülkeler işletilebilir taşkömürü rezervlerinin yaklaşık % 70’ini ellerinde bulundurmaktadırlar (Ateşok, 1986).

Kömür enerji kaynakları arasında, rezervinin bol olması, fazla olan kullanım alanı sayısı ve bu sayının giderek artması bakımından önemli bir konuma sahiptir. Kömürün kullanımı birtakım sorunları da beraberinde getirmiştir. Kömürün yanması ile ortaya çıkan gazlar, küresel ısınma ve asit yağmurları gibi çevresel sorunları teşkil etmektedir. Kömürün yanması ile ortaya çıkan SO₂ gazı, atmosferdeki nem ile birleşerek asitleri oluşturmakta, bu da çok ciddi çevresel sorunlara yol açmaktadır (Aktaş, vd., 1998).

Bu çalışmada, Aydın Bölgesinden alınan kömürlerin yanabilirlik özelliği belirlenmiş ve jig ünitesi atıklarından alınan örnekler üzerinde kırma ve yoğunluk analizi yapılarak satılabilir ürünün üretilebilirliği incelenmiştir.

2.GENEL BİLGİLER

2.1. Kömür Hakkında Genel Bilgiler

Kömür, kömürleşme derecesi ile kimyasal kompozisyonu değişen organik sedimanter bir kayadır. Karbon içeriğine bağlı olarak turbadan antrasite kadar geniş bir aralıkta değişim göstermektedir (Laskowski, 2001). Kömür heterojen bir yapıdadır. Kömürün kömürleşme derecesine (rank) bağlı olarak, organik kısmın kompozisyonu ve kömür özellikleri değişmektedir. Organik madde (maseral) ve inorganik maddelerin (mineral) bir karışımıdır. Organik maddeler, kömürleşme derecesi olarak tanımlanan biyokimyasal ve metamorfik değişimlere uğramış bitkilerin birikmesi yoluyla meydana gelmektedir. Kömürdeki maseraller vitrinit, eksinit ve inertinit olmak üzere 3 gruba ayrılır. Bu maserallerin elementer kompozisyonu, nem içeriği, sertliği, yoğunluğu ve petrografik özellikleri farklı olup bu özellikler kömürleşme derecesine bağlı olarak değişmektedir. Bundan dolayı bu maserallerin yüzey ve flotasyon özellikleri de önemli bir biçimde farklılık göstermektedir (Aplan 1976; Osborne, 1988; Kural, 1991; Horsfall, 1992; Laskowski, 2001; Ateşok, 2004).

Kömürün zenginleşme kalitesini gösteren en yaygın kriter ilgili ürünün kül içeriğidir. Zenginleşme esnasında düşük küllü partiküller ile yüksek kül içeren partiküller birbirinden ayrılır (Laskowski, 2001). Kömür, konutlarda yakıt olarak kullanılmaktan başlayarak likit gaz üretimine kadar sanayi gelişiminde en önemli temel tüketim maddesi olması nedeni ile apayrı bir özellik taşır. Üretilen kömürün yaklaşık % 80'i metallurji sanayinin gereksinimi için hazırlanmış olması, kömür zenginleştirmenin gereğini ekonomik yönden açıkça ortaya koymaktadır. Ayrıca, kömürün kullanımını etkileyen en önemli bileşenlerden biride kükürttür. Bazı kömürler yüksek oranda pirit kükürdü içermektedir. Gerek yüksek fırın kokunda, gerekse diğer sanayi alanında kullanılacak kömürlerde kükürdün sakıncaları bilinmektedir. Bu nedenle, piritik kükürt içeren kömürleri belirli boyutlara ufaltılarak yıkandığında, bir kısmın piritin atığa geçmesiyle temiz kömürde kükürt oranı kısmen düşürülebilir. Halen ülkemizde yarı koklaşır ve linyit kömürlerinin önemli bir kısmının herhangi bir temizleme işlemine tabi tutulmadan ısıtma amacıyla (yakıt) kullanıldığı ortadadır. % 50'ye yakın yabancı madde (atık) içeren bu tür kömürlerin taşınmada maliyet, yakmada meydana gelen güçlükler, yabancı maddelerin absorbe edeceği ısı kaybı ve en nihayet insan sağlığı ve çevre kirlenmesi tümü ile alındığında, kaliteli kömür elde etmek için yıkama ve temizleme işlemi zorunludur (Keskin, 1988).

Türkiye kömürleri dünya kömürlerine oranla teknik ve ekonomik işletilebilirlik açısından oldukça iyi bir durumdadır, çünkü dünyadaki jeolojik kaynakların sadece % 6.32'si işletilebilir rezerv iken Türkiye'de bu % 23.19 gibi bir değerdir. Ayrıca şu kesin olarak görülmektedir ki, dünya genelinin aksine Türkiye'de taşkömür linyite oranla çok azdır ve linyit kaynaklarının işletilebilirlik oranı taşkömüre göre çok çok fazladır (Ateşok, 1986).

Linyit kömürleri, turbalar ve taşkömürlere göre geniş bir alanı oluştururlar. Kömürleşme derecesine göre, değişik oranda orijinal nem içerirler. Linyit kömürleri dış görünüşlerine göre, yumuşak ve sert diye ikiye ayrılırlar. Yumuşak linyitler çok az parça sağlamlığına sahiptir. Değişik türlerinin parça sağlamlığı 2,4 ile 9,4 kg/cm² arasında ölçülmüştür. Ocaktan çıkarılarak depolandıkları takdirde, zamanla tamamı ile toz haline gelirler. Su ile temasa geçtiklerinde önemli ölçüde su alarak şişerler ve dağılırlar. Bu bakımdan yumuşak linyitlerin ocaktan çıkarıldıkları şekilde, ev yakıtı olarak kullanılmaları mümkün değildir. Sert linyitler, yumuşak linyitlerden sonra başlayarak taşkömürü sınırına kadar geniş bir alana yayılan kömür türleridir. Bu tür kömürler yumuşak linyitlere göre daha fazla parça sağlamlığına sahiptir. Sert linyitlerin kullanım alanı, yumuşak linyitlere göre daha fazladır. Her şeyden önce, bu linyitlerin karbon oranları ve ısı değerleri yumuşak linyitlere göre oldukça fazladır (Kemal ve Arslan, 2005).

2.2. Kömürün Zenginleştirilmesi

Doğada var olan değerli mineraller, cevher yataklarında bağlı taneler halinde bulunur. Bu bağlılık mineral faz boyutları ve cevher yapısına göre çok farklı şekiller gösterir. Aynı zamanda birden fazla değerli mineral aynı cevher bloku içerisinde bulunabilir. Bu nedenle cevherlere, zenginleştirme öncesi geniş ölçüde hazırlama işlemleri uygulanır (kırma, öğütme, sınıflandırma gibi) (Keskin, 1988).

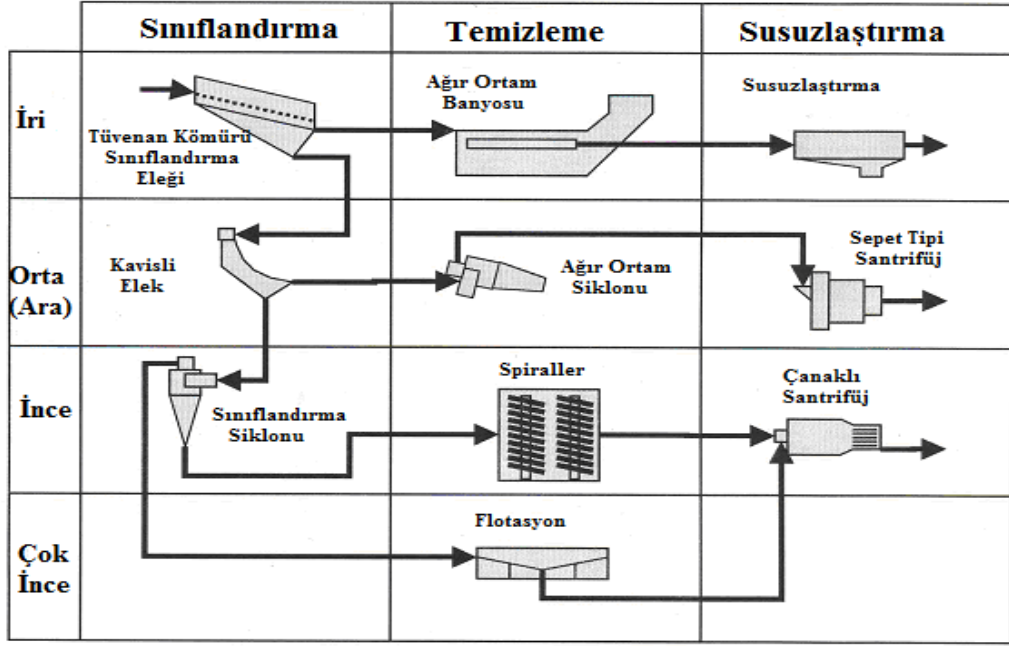
Kömürlerin kül ve kükürttan arındırılabilmesi için öncelikle yıkamaya elverişli olup olmadıkları ve yıkama yöntemlerinin saptanması gerekir. Bu da yıkanabilirlik verilerinin elde edilmesiyle mümkündür. Yıkanabilirlik deneyleri kömürlerin fiziksel özelliklerinin bir değerlendirilmesi olup, yıkama işlemi sonunda kömürün niteliğinin ne ölçüde yükseltilebileceğini gösterir. Diğer bir deyişle kömürün kül ve piritik kükürt gibi safsızlıklarından temizlenmesinin kolay ya da zor olacağı, elde edilen temiz kömürün içeriği ve yıkama verimi gibi özellikler yıkanabilirlik verilerinden çıkarılabilir.

Yıkanabilirlik verileri aynı zamanda temizleme yöntemlerinin teorik sınıflarını da belirtir. Yıkanabilirlik verilerinde, kükürt türleri ve miktarları ile fraksiyonların kalori değerlerinin içeriğine dikkat edilmektedir. Böylece hangi yoğunlukta ne kadar toplam piritik kükürt içerikli kömürün hangi verimle elde edilebileceği hemen saptanabilmektedir (Ateşok, 2004).

Genel olarak kömür yıkama işlemlerinde, tüvenan kömür üç ürüne ayrılır. Bunlar temiz kömür (lave), ara ürün (mikst) ve atıktır (şist). Yıkama Eğrileri sadece iki ürünlü yıkama işlemlerinde, temiz kömür ve atık miktarlarını, kül içeriklerini ve yıkama yoğunluklarını saptamaya uygundur. Üç ürünlü bir yıkama işleminde aynı bilgileri elde etmek için, iki grup yıkama eğrisinin çizilmesi gerekir. Birinci grup temiz kömürün, ara ürün ve atıktan, ikinci grupta ara ürünün atıktan ayrılması sonuçlarını görmek amacıyla çizilir. Ancak zorunlu olarak, tek bir grup deneyden elde edilen kömür yıkama eğrilerinden üç ürünlü sonuçlar istendiğinde, iki yoğunluk değerleri kullanılarak bulunan temiz kömür ve atık miktarları ile kül değerlerinden ara ürünün miktarı ve kül içeriği hesaplanarak yaklaşık olarak bulunabilir. Ancak bulunan sonuçlar sağlıklı olmamakta ve sadece kömürün yıkanabilirliği hakkında bilgi vermektedir. M-eğrisi üç ürünlü bir yıkama işleminde (2 yoğunluk kullanılarak) bilinmesi gerekli tüm bilgileri (miktar, kül ve ayırma yoğunluklarını) tek bir yıkama eğrisinde verir. Böylece, klasik yıkama eğrilerine göre zaman ve enerjiden tasarruf edilmiş olur. M-eğrisi bulucusunun adıyla “Mayer eğrisi” olarak bilinir ve kömür hazırlamada sıkça kullanılır (Ateşok, 2004).

Kömür madenciliğinde mekanizasyonun yaygın bir şekilde uygulanması, nakliye ve zenginleştirme sırasında iri kömürlerin ufalanması nedeniyle ince kömür miktarı sürekli olarak artmaktadır. Kömürün tane iriliği azaldığında ise serbestleşme derecesi artmakta, bu durum ise daha kaliteli temiz kömürlerin yüksek kömürle üretilebileceği anlamına gelmektedir. Ayrıca bazı alanlarda ince kömür kullanılması bu kömüre olan talebi arttırmış ve bunun sonucunda da ince kömürün zenginleştirilmesi önem kazanmıştır. İnce kömürlerin zenginleştirilmesi; tesis ve ülke ekonomisine katkıları yanında daha temiz bir çevre oluşmasına da imkan sağlayacaktır. Kömürün tane iriliği azaldıkça; zenginleştirme işlemlerinde ki davranışı da değişmekte ve buna bağlı olarak uygulanan zenginleştirme yöntemleri de farklılıklar göstermektedir. Bilindiği gibi klasik yoğunluğa dayalı zenginleştirme cihazları ince tanelerde etkinliğini yitirmekte ve bunun sonucu

olarak yüzey özelliklerine dayalı yöntemler önem kazanmaktadır (Şimşek, 2007). Şekil 2.1’de modern bir kömür hazırlama tesisinin dört paralelli akış çizelgesi verilmiştir.



Şekil 2.1 Dört paralelli devreler birleştirilerek modern bir kömür hazırlama tesisi akım şeması (Honaker and Forrest, 2003).

2.2.1 İri Kömürün Zenginleştirilmesi

İri boyutlu kömür zenginleştirmesinde, üst boyut eleğin açıklığına göre 150 veya 100 mm olarak seçilmekte ve genel olarak ağır yöntemi ve jiglerle zenginleştirilmektedir. Ağır ortam zenginleştirilmesi genellikle yıkanması güç olan kömürlerin temizlenmesinde tercih edilmektedir (Önal ve Ateşok, 1995).

2.2.1.1 Ağır ortam ayırması

Ağır ortam yöntemi ile yıkanacak kömürlerin 6 mm’den daha iri boyutta olanları statik (yer çekimi etkin) ve daha ince olanları ise (0,1 mm’ye kadar) dinamik (santrifüj kuvveti etkin) ayırıcılara beslenir. Durgun ve akışkan ortamda yapılan ağır ortam ayırması ile zenginleştirme işlemleri, kömür için 150 - 2 mm arasında boyutlarda uygulanabilir (Ateşok, 2004). Ağır ortam ayırma yöntemi, beslenen kömür içinde ortam yoğunluğuna yakın yoğunluktaki kömür oranı fazla olan kömürler için ideal

yıkayıcılar (Weiss,1985). Laboratuvarlarda, mineral ve kömürlerin farklı yoğunluklarda ayrılmasını sağlar ve “Yüzdürme-Batırma” yöntemi olarak da bilinir.

Kömürün ağır ortam ayırmasıyla zenginleştirilmesi günümüz için çok önemli ve ekonomik açıdan çok gerekli bir teknolojidir. Kömürün yoğunluğu 1,23 - 1,72 g/cm³ iken mineral maddenin yoğunluğu 2,0- 2,7 g/cm³ aralığındadır (Wright, 1984; Kohler vd., 1987). Aradaki bu yoğunluk farkı, kömür ile gangın, yoğunluğu belli olan bir ağır ortam ile ayrılmasını mümkün kılmaktadır.

Ağır ortam olarak tuzların sudaki çözeltileri, organik sıvılar ve katıların sudaki süspansiyonları olmak üzere üç çeşit ağır ortam kullanılmaktadır (Doğan, 1994).

Tuz olarak genellikle ZnCl₂ ve CaCl₂ kullanılırken, süspansiyon oluşturmak için katı olarak ise manyetit kullanılır. Organik sıvılar ise pahalı ve birçoğu sağlığa zararlı özellikler taşıdıklarından sadece laboratuvar ölçekli kullanılırlar. CaCl₂ ve ZnCl₂ kullanarak 1,35 - 1,70 yoğunluklar civarlarında sıvılar elde etmek mümkündür. Süspansiyonu oluşturan manyetitin derişiminin ayarlanması ile de özgül ağırlığı 1,3-2,0 g/cm³ arasında değişen ağır ortam sıvıları hazırlanabilir (Cavallaro ve Deurbrouck, 1977; Yaman vd., 1998).

2.2.1.2 Jig

Jigin çalışma prensibi, bir yatak içindeki tanelerin yoğunluklarına göre tabakalaşmasına dayanmaktadır. Tavandan tabana doğru artan bir yoğunluktaki tabakalaşma, suyun aşağı yukarı salınım hareketiyle sağlanmaktadır (Killmeyer, 1980).

Jigler genellikle 0,5 - 200 mm boyuttaki malzemelerin zenginleştirilmesinde kullanılır. Ayırma işlemine göre suya dakikada yaklaşık 50 - 300 kez hareket verilmektedir. Jig’lerde kullanılan elek açıklığı 2 -5 mm arasındadır. Jig’ler kömürün temizlenmesinde yaygın olarak kullanılmakta olup temizleme kapasitesi 150 mm’lik boyutta 24 t/h/m², 12 mm boyutta 12 t/h/m²’dir (Yıldız, 2010).

2.2.2 İnce Kömürün Zenginleştirilmesi

İnce atıklar spiraller gibi uygun zenginleştirme yöntemleriyle zenginleştirilerek kömür kazanılabilir. Çok ince atıklar da (-0,2 mm) zenginleşebilir ancak susuzlandırma maliyetleri genel olarak yüksektir. Özellikle çok ince atıklar atık barajlarında veya göletlerde depolanır ve çoğunlukla estetik kirlilik meydana getirmektedir. Ayrıca depolandığı arazi atıl durumda kalmaktadır. İnce kömür zenginleştirme yöntemleri

olarak, ağır ortam siklonlarını, ince kömür jiglerini, sarsıntılı masaları, multi gravite ayırıcısı (MGS), spiraller ve konileri vermek mümkündür (Ateşok, 2004).

2.2.2.1 Ağır ortam siklonları

Ağır ortam siklonlarının 2 mm altı kömürün temizlemesine olanak sağlamaktadır. Yapılan gelişmelerle, siklona beslenen malzemenin alt boyutu 0,4 mm'nin altına indirilmiştir. Ağır ortam siklonlarında performans, ayırma yoğunluğuna ve boyut dağılımına bağlı olarak değişmektedir (Ateşok, 2004). Santrifüj kuvvetinin uygulandığı bu ayırıcılarda, ortam akışkanlığı düşürülebildiği için daha küçük boyuttaki malzeme statik ayırıcılara nazaran yıkanabilmektedir (Önal ve Ateşok, 1995).

2.2.2.2 Sarsıntılı masalar

Yatay su akımı ile zenginleştirme aygıtları içinde, basitliği ve ayırma etkinliğinin iyi olması nedeni ile en çok kullanılan aygıtlardan biri sarsıntılı masadır (Wills, 1988).

Sarsıntılı masalara yapılan beslemenin üst boyutu cevherlerde 3 mm'ye kadar çıkmaktadır. Günümüzde çalışan tesislerin büyük bir çoğunda ise 2 mm'den daha iri boyutta besleme yapılmamaktadır. Kömürün zenginleştirilmesinde ise üst besleme boyutu 10 mm'ye kadar çıkabilmektedir. Beslemede alt boyut ise masa hareketinin ve yıkama suyunun fonksiyonudur. Çünkü masanın çalıştırılması sırasında pülpteki tanelerin çökmesine ve ağır tanelerin konsantre ucunda toplanmalarına olanak sağlanmalıdır. Terry'e (1974) göre beslemede alt boyutun 0,040 mm olduğunu söylemesine karşın, kasiterit, Wolframit, ve demir cevherlerinde, yoğunluğa bağlı olarak 0.020 mm'ye kadar inmektedir (Terry, 1974; Burt, 1975; Chong, 1978).

2.2.2.3 Spiraller

İnce ve toz kömürün zenginleştirilmesinde son yıllarda en fazla kullanılan yıkama ünitelerinden birisi de Reichert Spirali'dir. Spirallerde yoğunluğa göre ayırma yapmaktadır ve 0,075 - 3 mm tane boyutundaki kömürlerin yıkanmasında başarı ile kullanılmaktadır. Spiraller, 1,7-2,2 g/cm³ ayırma yoğunlukları arsında, en iyi ayırma hassasiyetine sahiptirler (Leonard, 1991; Arslan vd., 1996).

2.2.2.4 Reichert konileri

Genellikle seri halinde kullanılan, çapları 2 m ve konik açıları 145° civarında olan ince malzeme ayırma aygıtlarıdır. Kapasiteleri 65 –90 t/s arasındadır ve tane boyutu 0,050 - 3 mm olan kömürlerin yıkanması için uygundur (Osborne, 1988). Konilerde, % 35-45 katı oranı olan pülp, koninin üst kısmından beslenmekte ve koni yüzeyinden aşığı doğru akarken, yoğunluğu az tanecikler, akıma kapılıp hızlanırken, yoğunluğu yüksek taneler, koni yüzeyine süttündükleri için daha yavaş olarak aşığıya inmektedir (Ateşok, 2004).

2.2.2.5 Multi Gravite Ayırıcısı (MGS)

MGS bir yanı açık uçlu tambur şeklinde bir gövdeye sahiptir. Tamburun belirli bir hızla dönmesi ile mineral tanelerine karşı etkin olan yer çekimi kuvvetinden daha büyük bir merkezkaç kuvvetinin etkisi altında tanelerin tambur yüzeyinde yarı katı bir tabaka oluşturması ve yardımcı üniteler aracılığı ile zenginleştirme işlemi gerçekleştirilmektedir. Tambur hareketini sağlayan eksantrik şaft tarafından tahrik edilen, tamburla aynı yönde, tambura göre biraz daha hızlı dönen ve üzerinde küreyiciler bulunan bir ünite vardır. Çalışma sırasında küreyiciler katı taneleri tamburun dar, açık dış ağızına hareket ettirecek şekilde dizayn edilmiştir. MGS ünitesi % 20 - 50 katı oranında laboratuvar ölçekli 0,2 t/s kapasite, endüstriyel ölçekte ise 2 t/s kapasiteyle çalışabilmektedir.

Gövdeye verilen titreşim hareketi ile akışkan tabaka içerisindeki taneleri ek bir ayırma kuvveti uygulanmış olmaktadır. Özel olarak dizayn edilmiş küreyiciler ise tambur yüzeyinde hareket ederlerken tambur yüzeyinde oluşan tabakayı küremekte, böylece dereceli tabakalaşma sağlamaktadır. Tambur yüzeyine tutunarak hareket eden yüksek yoğunluklu taneler küreyiciler tarafından yukarı doğru taşınarak üst çıkıştan, hafif yoğunluklu taneler ise yıkama suyu etkisi ile alt çıkıştan alınır (Yıldırım vd., 1995).

2.2.3 Toz (Çok İnce) Kömürün Zenginleştirilmesi

Toz kömür dendiğinde, genel olarak 0,5 mm'den daha ince kömür anlaşılmalıdır. İnce kömürün zenginleştirilmesinde kullanılan bazı cihazlar, 0,1 mm boyutuna kadar kullanılmaktadır. Özellikle son yıllarda, toz kömürün zenginleştirilmesi ile ilgili olarak, bir çok teknik geliştirilmiş olup, çalışmalar devam etmektedir (Ateşok, 2004).

Cevher zenginleştirme işlemlerinde ince ve çok ince taneler boyut küçültme işleminin kaçınılmaz bir sonucudur. Bu boyuttaki değerli mineraller ve gang mineralleri zenginleştirme aşamasında büyük problemler doğurmaktadır. Bu nedenle klasik zenginleştirme yöntemleri bu boyuttaki tanelerin değerlendirilmesinde çoğu zaman yetersiz kalmakta, dolayısıyla yeni yöntemlerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır (Laskowski and Ralston, 1992).

2.2.3.1 Flotasyon

İnce kömürün ($< 0,5$ mm) zenginleştirilmesinde en büyük potansiyele sahip olan flotasyon yöntemi endüstride uzun bir süreden beri kullanılmaktadır (Jia vd., 2000). Bilindiği gibi kömürler beraber bulunduğu mineral maddelere göre daha fazla su sevmez (hidrofob) karaktere sahiptir. Başka bir ifadeyle kömür flotasyonu, kömürdeki karbonlu materyalin doğal hidrofobitesinden yararlanılarak yapılır. Köpük flotasyonu ile zenginleştirmede pülpdeki ince kömür partikülleri, birlikte olduğu mineral maddelerden seçimli olarak ayrılarak su yüzeyine çıkar ve buradan da sıyrılarak kazanılır. Mineral maddeler ise pülp içinde kalmaktadır (Brown, 1962; Aplan, 1976; Aplan ve Arnold, 1991; Aplan, 1993; Vamvuka ve Agridiotis, 2001).

2.2.3.2 Yağ aglomerasyonu

Yağ aglomerasyonu çok ince kömürlerin (-50 mikron) zenginleştirilmesini mümkün kılmaktadır. Genel olarak, kömür yüzeyi yağ ile ıslatılırken, gang yüzeyi su tarafından ıslatılmaktadır (Ateşok, 2004). Aglomerasyonun prensibi, doğal hidrofob olan veya inorganik maddelere göre daha az hidrofilik olan kömür partiküllerinin, karbonlu bileşenleri ıslatacak uygun bir bağlayıcı sıvı katılarak aglomera edilmesi ve mineral maddeden ayrılmasıdır (Pawlak vd., 1986).

Toz kömürün sudaki süspansiyonuna yağ ilave edilip uygun bir hızla karıştırıldığında, hidrofob olan kömür taneleri yüzeylerindeki yağında bağlayıcı özelliği sayesinde çarpışarak aglomeratları oluştururlar. Oluşan bu aglomeratlar eleme, dekantasyon veya flotasyon gibi uygun bir yöntemle sulu fazdan ayrılmaktadır (Kawashima vd., 1986). Yağ tarafından ıslanmayan tanecikler ise pülp içerisinde kalır. Bu yöntemin en önemli avantajı organik kısmın % 100'e yakın oranda kazanılmasıdır. Bu durum, yani kömür içeren bütün parçacıkların kazanılması seçimliliği azaltsa da, metodun mikron boyutuna

uygulanması yüksek verim ve düşük küllü sonuçlar alınmasını sağlamaktadır (Horsfall, 1992).

2.3 Kömür Hazırlama Tesis Atıkları Hakkında Bilgi

Kömür atıkları, madenin hazırlama ve işletme safhalarında ve de kömürün temizlenmesi sırasında ortaya çıkan, taş, gang mineralleri ve temizleme sisteminden kurtarılamayan kömür taneciklerinden oluşur. Atığın yüzdesi, bileşimi ve karakteristiği, maden işletme ve hazırlama yöntemlerine bağlı olduğu kadar, kömür damarının jeolojisi ile atık ve kömür malzemesinin jeokimyasal özelliklerine de bağlıdır. Yaklaşık olarak, üretilen kömürün % 30'u, atık olarak açığa çıkmaktadır. Sadece ABD'de, 1990 yılında 120 milyon ton atık üretilmiştir (Sevim vd., 1992).

Kömürlerin yıkanması ve kullanımı sonunda, yıkama tesisi atıkları ve yakma sonu atıkları olmak üzere iki tür atık elde edilmektedir. Yıkama tesislerinden elde edilen atıklar doğal halinde olup, genelde kil ve şistleri içerirler. Söz konusu bu atıklarda kil oranı fazla olduğu takdirde, kalitelerine bağlı olarak seramik ve tuğla endüstrisinde kullanılırlar. Örneğin, Amasra bölgesi kömürlerinin tavan ve taban taşı genellikle ateşe dayanıklı refrakter kildir. Bu tesisin atıkları tuğla fabrikalarında rahatlıkla kullanılabilir. Aynı durum Kilyos ve İstanbul civarındaki bazı linyit yatakları içinde geçerlidir. Genellikle bu atıklarda alüminyum içeriği % 18 - 45 arasında ise tuğla yapımında kullanılabilirler. Atıkların CaCO_3 içeriği % 65 - 75 arasında ise çimento yapımında, % 90'dan fazla ise kireç yapımında kullanılmaları mümkündür. İri boyutlu atıklar ise demir yolu ve yol yapımında kullanılabilirler. Termik santrallerden elde edilen pulverize kömür külleri çimento katkı malzemesi olarak kullanılır. Bunun yanında, bazı küllerin içeriği de önem taşıyabilir. Bazı linyit küllerinin uranyum içerdiği çeşitli araştırmacılar tarafından saptanmıştır. Uranyum oranı (U_3O_8) küllerde % 0,08 - 0,73 arasında ise bu küller ekonomik olur. Mn, Cu, Zn, Co ve Mo gibi bazı metalleri içeren küller ise tarımda kullanılabilirler (Ateşok, 2004).

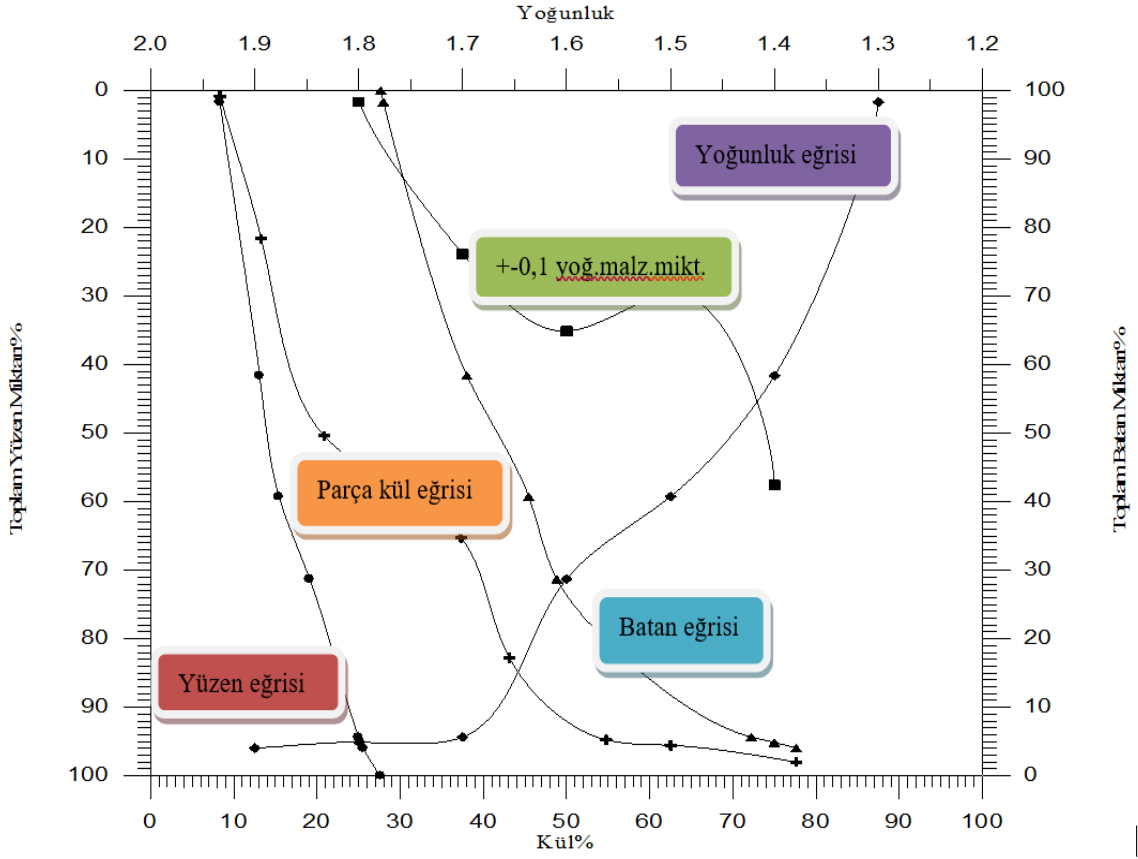
2.4 Kömürün Yıkanabilirliği

Kömürlerin kül ve kükürttten arındırılabilmesi için öncelikle yıkamaya elverişli olup olmadıkları ve yıkama yöntemlerinin saptanması gerekir. Buda yıkanabilirlik verilerinin elde edilmesiyle mümkündür. Yıkanabilirlik deneyleri kömürlerin fiziksel özelliklerinin bir değerlendirilmesi olup, yıkama işlemi sonunda kömürün niteliğinin ne derecede yükseltilebileceğini gösterir yani kömürün kül ve piritik kükürt gibi safsızlıklarından

temizlenmesinin kolay ya da zor olacağı, elde edilen temiz kömürün içeriği ve yıkama verimi gibi özellikler yıkanabilirlik deney sonuçlarından çıkarılabilir. Yıkanabilirlik sonuçları aynı zamanda temizleme yöntemlerinin teorik sınıflarını da belirler (Ateşok, 2004).

2.4.1 Henry - Reinhard'a göre kömür yıkanabilirlik eğrileri

Farklı tane boylarındaki kömürler yüzdürme-batırma deneyleri ile çeşitli yoğunluk gruplarına ayrılır. Bu yoğunluk gruplarına göre ayrılan kömürler kurutulup tartılır ve kül içerikleri belirlenir. Belirlediğimiz bu sonuçları çizelge üzerinde toplam yüzen ve batan değerlerini matematiksel olarak hesaplayarak yıkanabilme eğrilerinin verilerini elde etmiş oluruz. Kömür yıkanabilirlik eğrileri toplam yüzen, toplam batan, yıkama yoğunluğu, $\pm 0,1$ dağılım ve parça kül değerleri hesaplandıktan sonra çizilir. $\pm 0,10$ yoğunluk dağılım eğrisi, herhangi bir yoğunluğun 0.10 birim altı ve 0.10 birim üstündeki yoğunlukları arasında bulunan toplam kömür ağırlık yüzdesini verir. Kömürün yıkanabileceği en düşük yoğunluk bu eğriyle belirlenir. $\pm 0,10$ yoğunluğunda bulunan madde miktarından, kömürlerin yıkanmasındaki zorluk derecesi saptanır. Ayırma yoğunluğuna yakın yoğunluktaki madde miktarı arttıkça kömürün temizlenmesi zorlaşır. Şekil 2.2'de kömür yıkanabilirlik eğrileri gösterilmiştir. $\pm 0,1$ yoğunluğundaki malzeme yüzdelere göre ayırmanın güçlük veya kolaylık derecesini Tablo 2.1'de, farklı yıkanabilirlik özelliğine göre kömürler için proses seçimi ise Tablo 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Kömür Yıkabilirlik Eğrileri

Tablo 2.1 $\pm 0,1$ Yoğunluğundaki Malzeme Yüzdeleri ile Ayırmanın Güçlük veya Kolaylık Derecesi (Ateşok, 2004)

$\pm 0,1$ Yoğunluğundaki Malzeme Miktarı %	Ayırma Güçlük veya Kolaylık Derecesi
0-7	Çok Kolay
7-10	Kolay
10-15	Orta Güçlükte
15-20	Güç
20'den büyük	Çok Güç

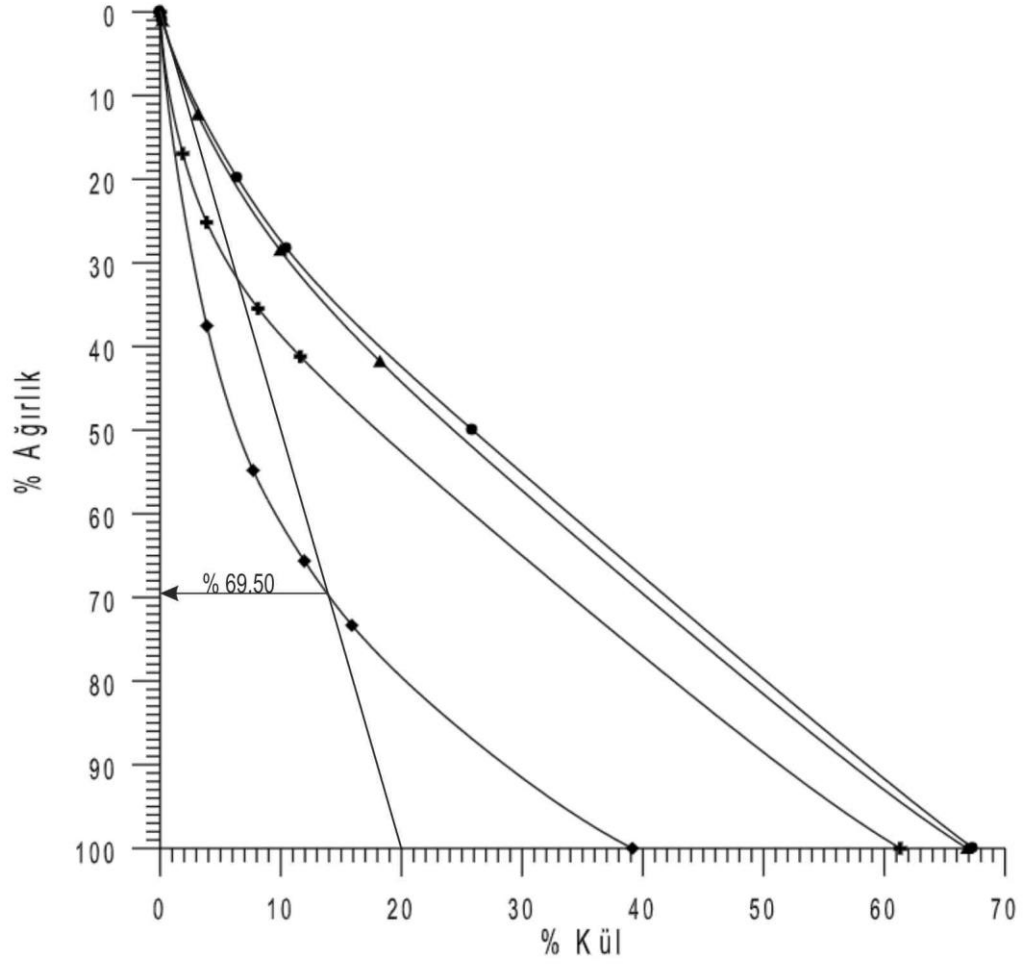
Tablo 2.2 Farklı yıkanabilirlik özelliğindeki kömürler için proses seçimi (Bhattachary vd., 2015)

±0,1 yoğ. Malzeme Miktarı (%)	Süreç Gereksinimleri	Uygun İşlem
0-10	Herhangi Bir Su Esaslı Proses	Jigler, Spiraller, Kaynayan Yataklı Ayırıcılar
10-25	Yüksek Verimlilik	Ağır Ortam Banyoları(DMB), Ağır Ortam Siklonu(DMC)
>25	Mevcut En İyi Verimlilik	Yoğun ortam banyoları, DMC

2.4.2 Mayer Eğrisi (M-Eğrisi)

M-eğrisi üç ürünlü bir yıkama işleminde, bilinmesi gerekli bütün bilgileri yani ürünlerin miktarlarını, küllerini ve ayırma yoğunluklarını bir tek bir yıkama eğrisinde verir. Böylece, klasik yıkama eğrilerine göre zaman ve enerjiden tasarruf edilmiş olur. M-eğrisi bulucusunun adıyla Mayer eğrisi olarak da bilinir ve kömür hazırlamada sıkça kullanılır. Mayer eğrisinin şekli belirli özellikler gösterir. Bu şekillere bakarak bir kömürün kül içeriğine göre elde edilen temiz kömür miktarını bulmamıza yardımcı olur (Ateşok, 2004).

M- eğrisi, özellikle düşük yoğunluk ve düşük kül içerikli ayırımlar için çok sağlıklı sonuçlar verir. M- eğrisinin, bu özelliği ile yıkama eğrileri yerine geçebildiği gibi, yıkama eğrileri ile çözüm bulunamayan (özellikle üç ve daha üstü ürün almaya yönelik yıkamalarda) kömür yıkama sorunlarının çözümünü de olanaklı kılar (Ünlü, 1989). Şekil 2.3’de Mayer eğrisi (M- Eğrisi) gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Mayer eğrisi (M-eğrisi)

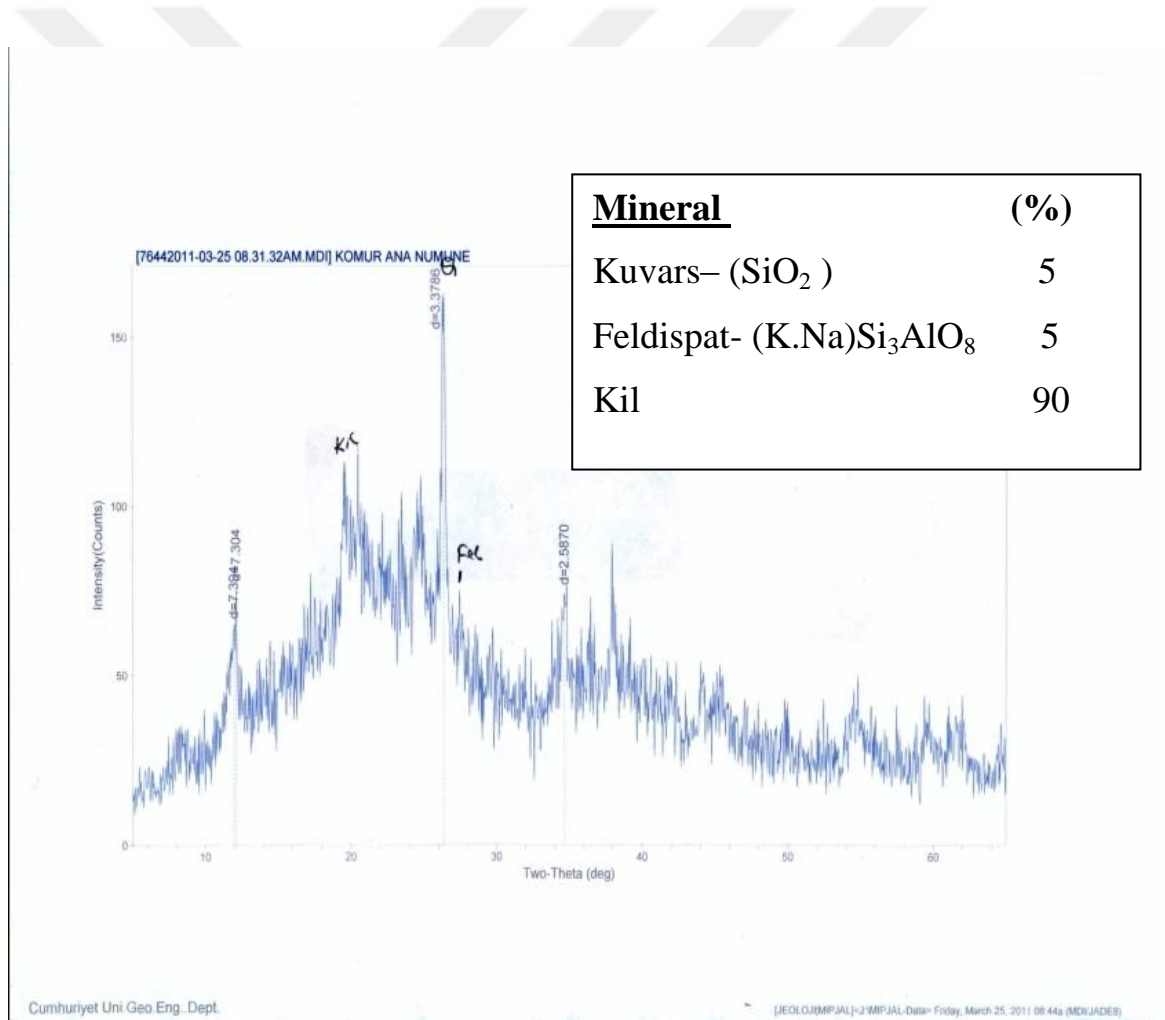
3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 Malzeme

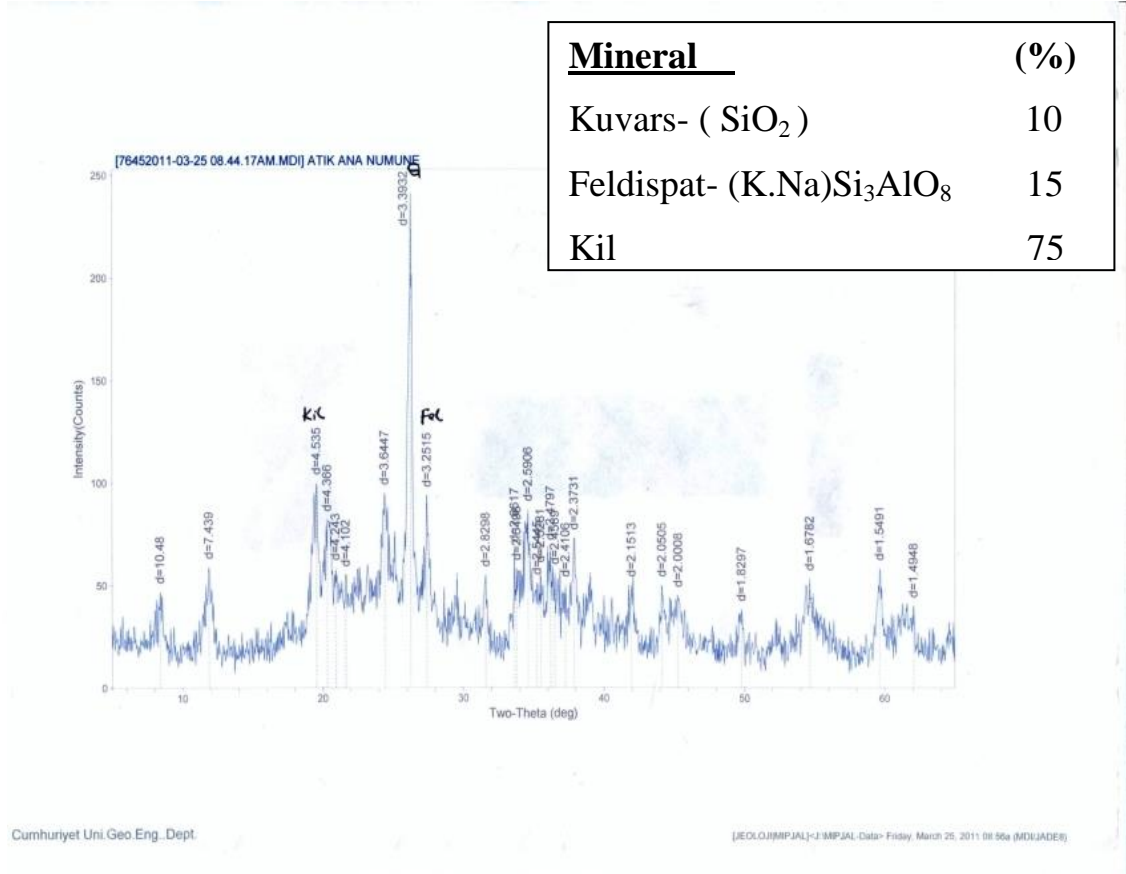
Bu çalışmada kullanılan malzemeler aşağıdaki başlıklarda tanımlanmıştır.

3.1.1 Kömür ve Atık Örneği

Bu deneylerde kullanılan linyit ve linyit atığı örneği, Aydın bölgesine ait linyit ve linyit atığı yığınlarından alınmıştır. Linyit ve linyit atığından alınan örneklerin mineralojik incelenmesi Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği laboratuvarında yapılmıştır (Yalçın ve Bozkaya, 2002). XRD analizleri Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.1 Kömür örneğinin XRD analizi (Yalçın ve Bozkaya, 2002).



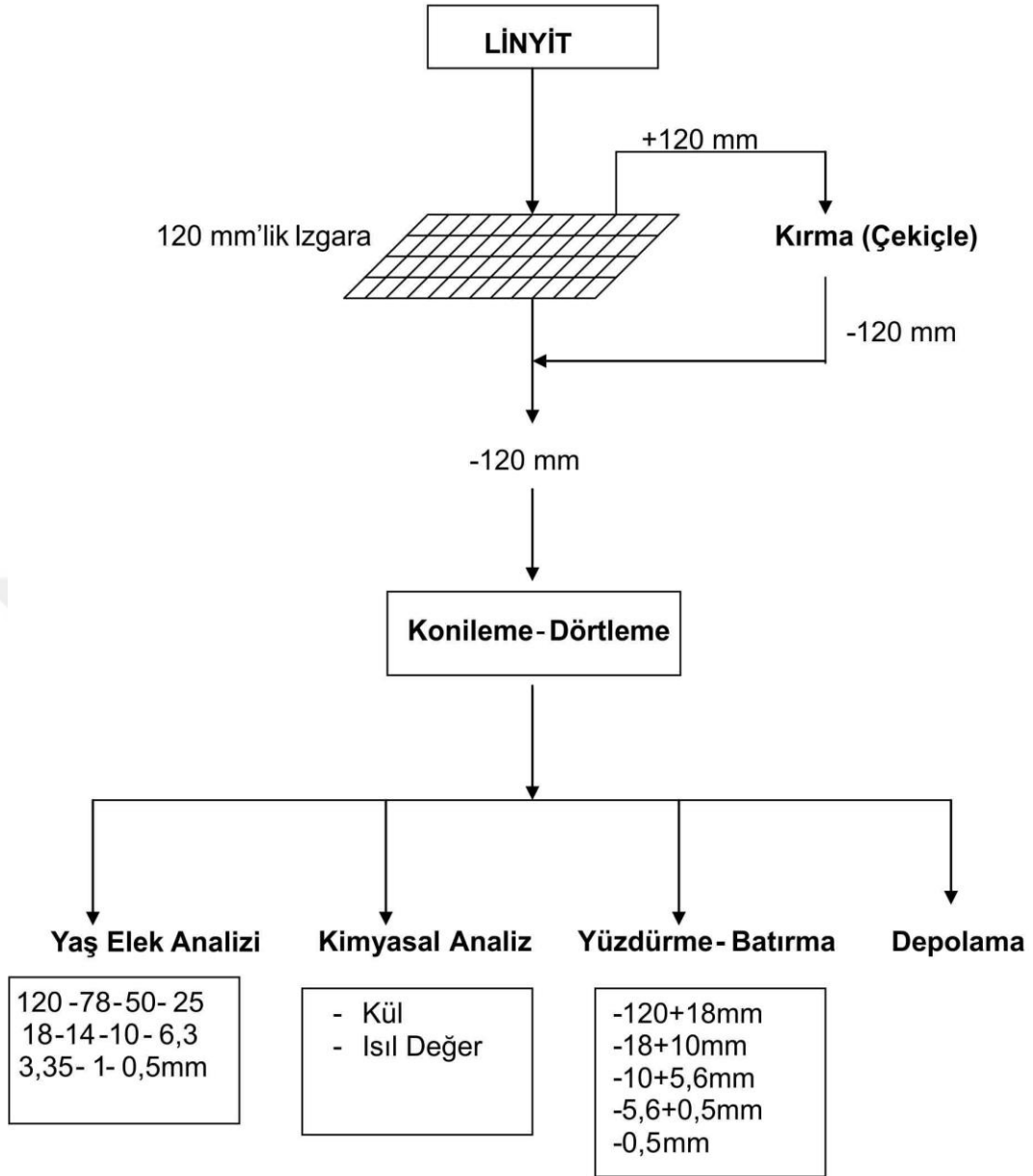
Şekil 3.2 Atık örneğinin XRD analizi (Yalçın ve Bozkaya, 2002).

3.2 Yöntem

3.2.1 Kömür ve atık örneklerinin hazırlanması

3.2.1.1 Kömür örneğinin hazırlanması

Deneyde kullanılan 250 kg linyit örneğinin +120 mm'lik kısmı (% 5,71) çekiç ile -120 mm tane boyuna kırılmıştır. Kırılan numuneler konileme - dörtleme yöntemi ile homojen bir şekilde eşit parçalara ayrılmıştır. Ayrılan numuneler yaş elek analizi yapılarak deneylerde kullanılmak üzere hazırlanmıştır. Örnek hazırlama akım şeması Şekil 3.3'de verilmiştir.

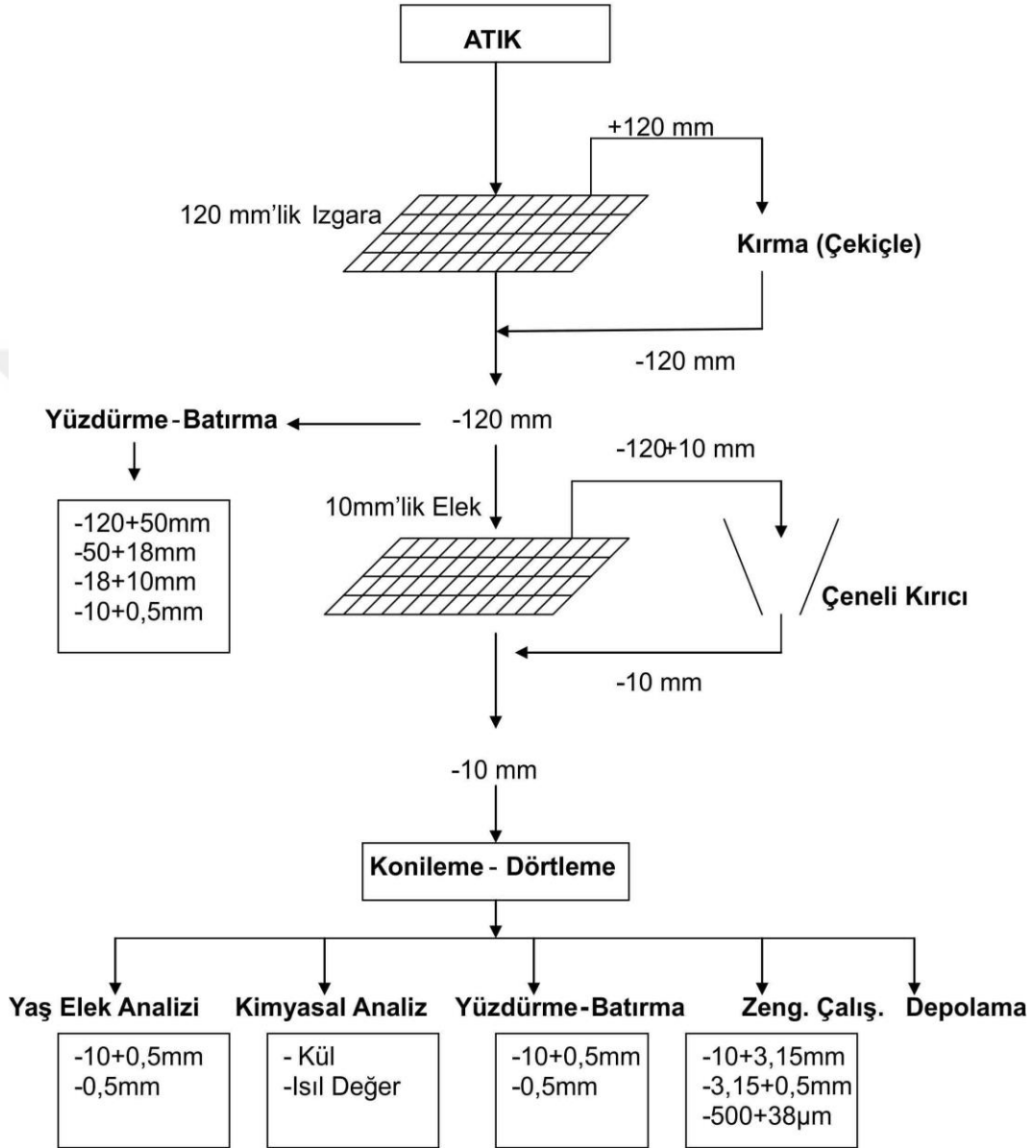


Şekil 3.3 Linyit deneyleri için örnek hazırlama akım şeması

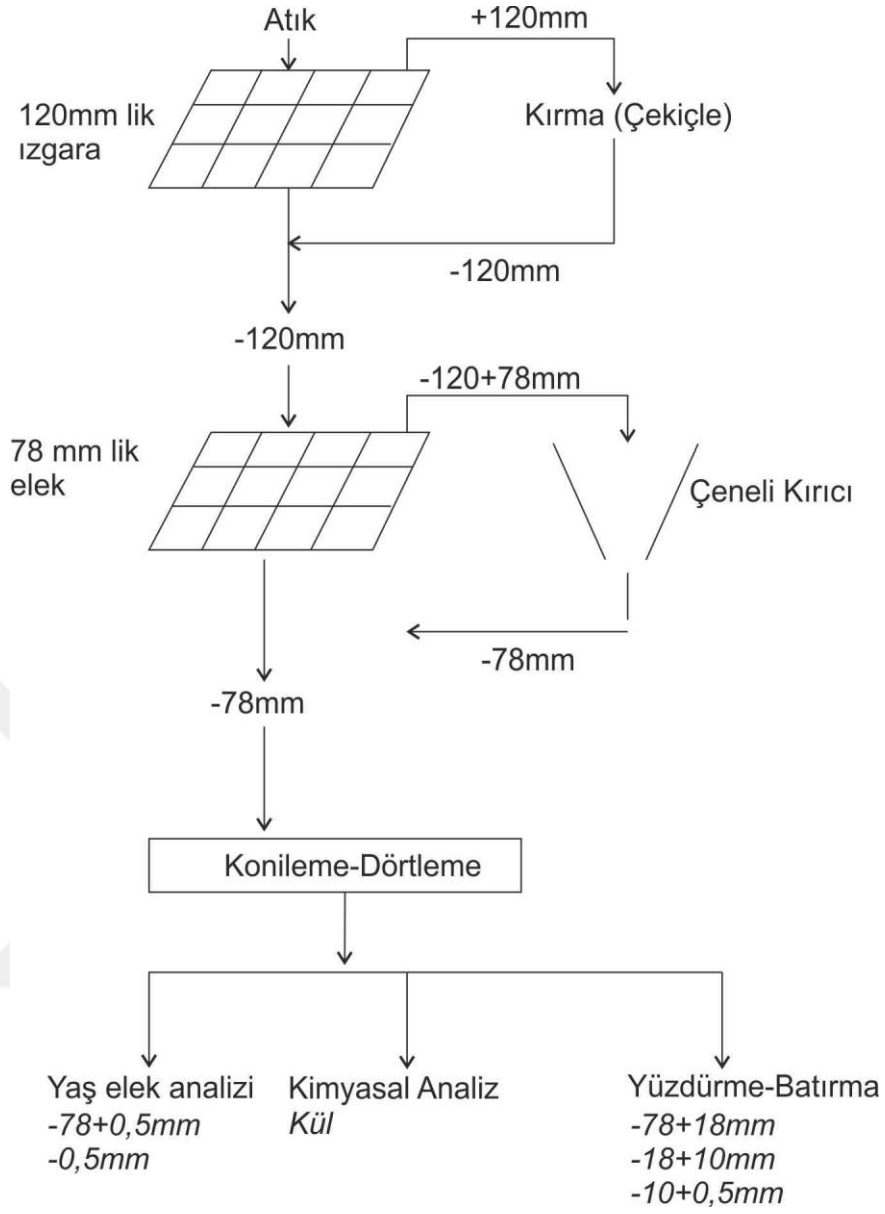
3.2.1.2 Atık örneğinin hazırlanması

Deneylerde kullanılacak olan 300 kg linyit atığı örneğinin +120 mm'lik kısmı çekiçle -120 mm'ye kırılmıştır. -120 mm'ye kırılan numuneler konileme - dörtleme yöntemi ile homojen bir şekilde eşit parçalara ayrılmıştır. Ana numuneyi -120+50 mm, -50+18 mm, -18+10 mm, -10+5,6 mm ve -5,6+0,5 mm tane aralıklarına ayırarak yüzdürme- batırma deneyleri yapıldı. Ayrıca atıkta boyut küçültmeyle (serbestleşmenin artmasıyla) kül

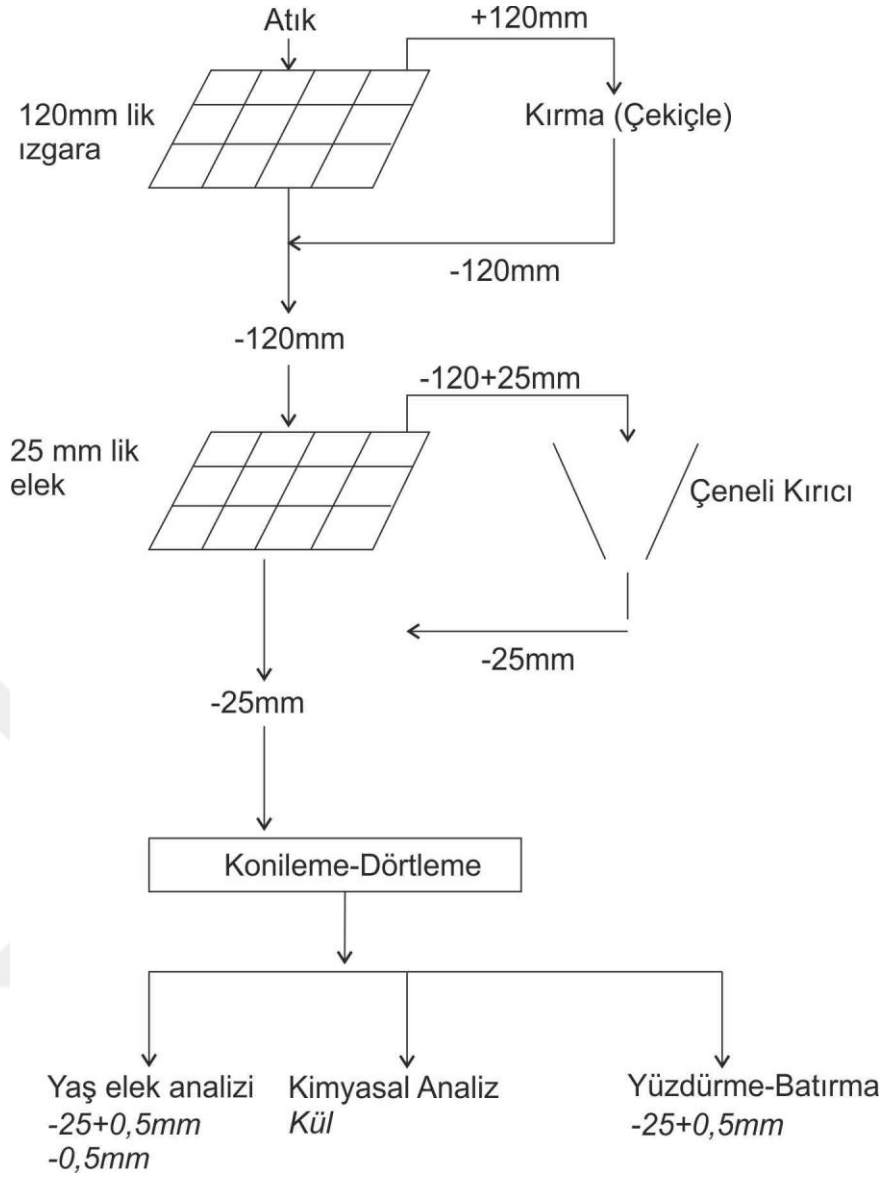
oranındaki azalmanın ve temiz kömür miktarındaki artışı en verimli hangi boyutta elde edebilmek için farklı tane boylarına kırarak (-78 mm, -25 mm, -10 mm) yüzdürme batırma deneyleri yapılmıştır. Örnek hazırlama akım şemaları Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.4 Ana numune ve -10 mm'ye kırılmış atık örneğinin deneyleri için örnek hazırlama akım şeması



Şekil 3.5 -78 mm'ye kırılmış atık örneğinin deneyleri için örnek hazırlama akım şeması



Şekil 3.6 -25 mm'ye kırılmış atık örneğinin deneyleri için örnek hazırlama akım şeması

3.2.2 Kömür ve atık örneklerinin analizleri

3.2.2.1 Kimyasal analiz

Deneylerde kullanılan linyit ve linyit atığının kimyasal analiz sonuçları Tablo 3.1 ve Tablo 3.2' de verilmiştir.

Tablo 3.1 Deneylerde kullanılan kömürün kimyasal analiz sonuçları

	Analiz Tipleri	Orijinal Kömürde	Havada Kuru Kömürde	Kuru Kömürde
Kısa Analiz	Nem (%)	7,16	2,38	-
	Kül (%)	27,32	28,73	29,43
Isıl Değer (kcal/kg)	Aşağı Kalori	4233	4481	4605
	Yukarı Kalori	4465	4695	4809

Tablo 3.2 Deneylerde kullanılan atığın kimyasal analiz sonuçları

	Analiz Tipleri	Orijinal Kömürde	Havada Kuru Kömürde	Kuru Kömürde
Kısa Analiz	Nem (%)	7,05	2,31	-
	Kül (%)	62,02	65,18	66,72
Isıl Değer (kcal/kg)	Aşağı Kalori	1788	1909	1968
	Yukarı Kalori	1919	2016	2064

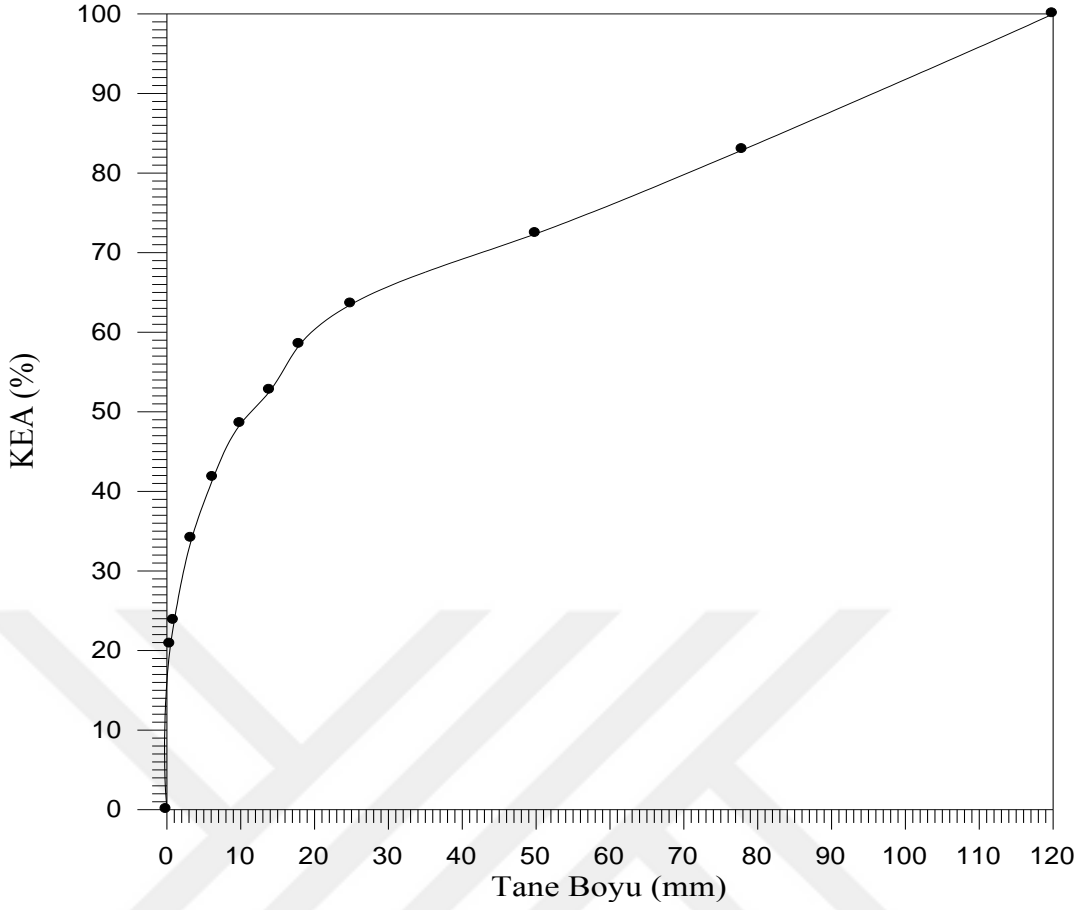
3.2.2.2 Elek analizleri

3.2.2.2.1 Kömürün elek analizi

Linyit örneği yaş elek analizi yapılırken özellikle iri tane aralığı suyla teması esnasında kil ve çamur şeklinde dağılma meydana gelmiştir. Bu da iri tanelerin çamur halinde dağılarak ince boyut aralığına geçmesine sebep olmuştur. Özellikle 0,5 mm'nin alt boyutunda balçık şeklinde gözlemlenmiştir. Bu görülenler atık örneği içinde gözlemlenmiştir. Deneysel çalışmalar için hazırlanan linyit örneğinin elek analizi sonuçları Tablo 3.3'de, kümülatif elek altı eğrisi Şekil 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.3 -120 mm linyit örneğinin yaş elek analizi sonuçları

Tane İriliği (mm)	Ağırlık (%)	KEÜ (%)	KEA (%)
-120+78	17,06	17,06	100
-78+50	10,56	27,62	82,94
-50+25	8,86	36,48	72,38
-25+18	5,08	41,56	63,52
-18+14	5,77	47,33	58,44
-14+10	4,17	51,50	52,67
-10+6,3	6,78	58,28	48,50
-6,3+3,35	7,64	65,92	41,72
-3,35+1	10,32	76,24	34,08
-1+0,5	2,99	79,23	23,76
-0,5	20,77	100,00	20,77
Toplam	100,00		



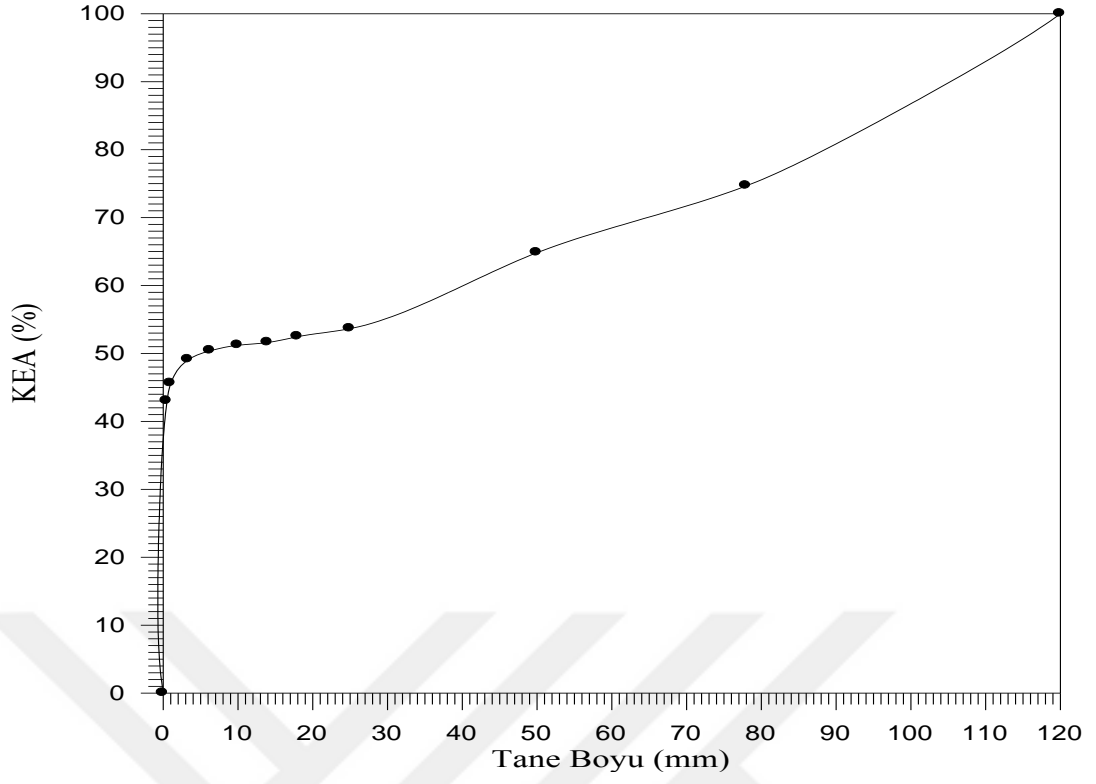
Şekil 3.7 -120 mm linyit örneğinin kümülatif elek altı (KEA) eğrisi

3.2.2.2.2 Atığın elek analizi

-120 mm tane boyutunda ki atığın yaş elek analizi sonuçları Tablo 3.4'de ve kümülatif elek altı (KEA) eğrisi Şekil 3.8'de, ayrıca kırıdığımız -78 mm, -25 mm, -10 mm tane boylarındaki numunelerinde yaş elek analiz sonuçları Tablo 3.5, Tablo 3.6 ve Tablo 3.7'de, kümülatif elek altı eğrileri sırasıyla Şekil 3.9, Şekil 3.10, Şekil 3.11'de verilmiştir. Atık ana numunenin -500 µm tane boyu için elek analizi Tablo 3.8'de, Kümülatif elek altı eğrisi Şekil 3.12'de gösterilmiştir. -10 mm'ye kırılmış atık örneğinin -500 µm tane boyu için elek analizi ve kümülatif elek altı eğrisi Tablo 3.9 ve Şekil 3.13'de verilmiştir.

Tablo 3.4 -120 mm atık örneğinin yaş elek analizi sonuçları

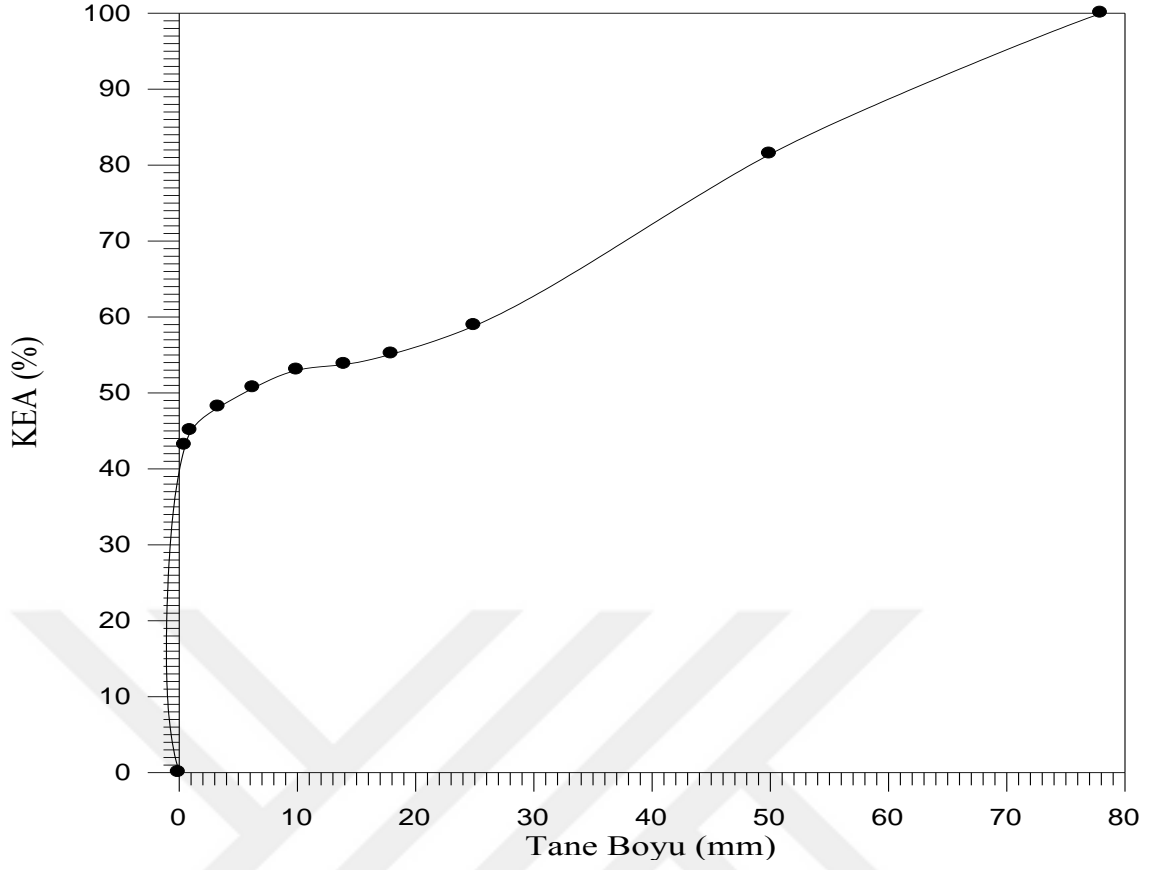
Tane İriliği (mm)	Ağırlık (%)	KEÜ (%)	KEA (%)
-120+78	25,34	25,34	100
-78+50	9,83	35,17	74,66
-50+25	11,18	46,35	64,83
-25+18	1,19	47,54	53,65
-18+14	0,86	48,40	52,46
-14+10	0,41	48,81	51,60
-10+6,3	0,79	49,60	51,19
-6,3+3,35	1,30	50,90	50,40
-3,35+1	3,50	54,40	49,10
-1+0,5	2,62	57,02	45,60
-0,5	42,98	100,00	42,98
Toplam	100,00		



Şekil 3.8 -120 mm atık numunesinin kümülatif elek altı (KEA) eğrisi

Tablo 3.5 -78 mm atık örneği yaş elek analizi

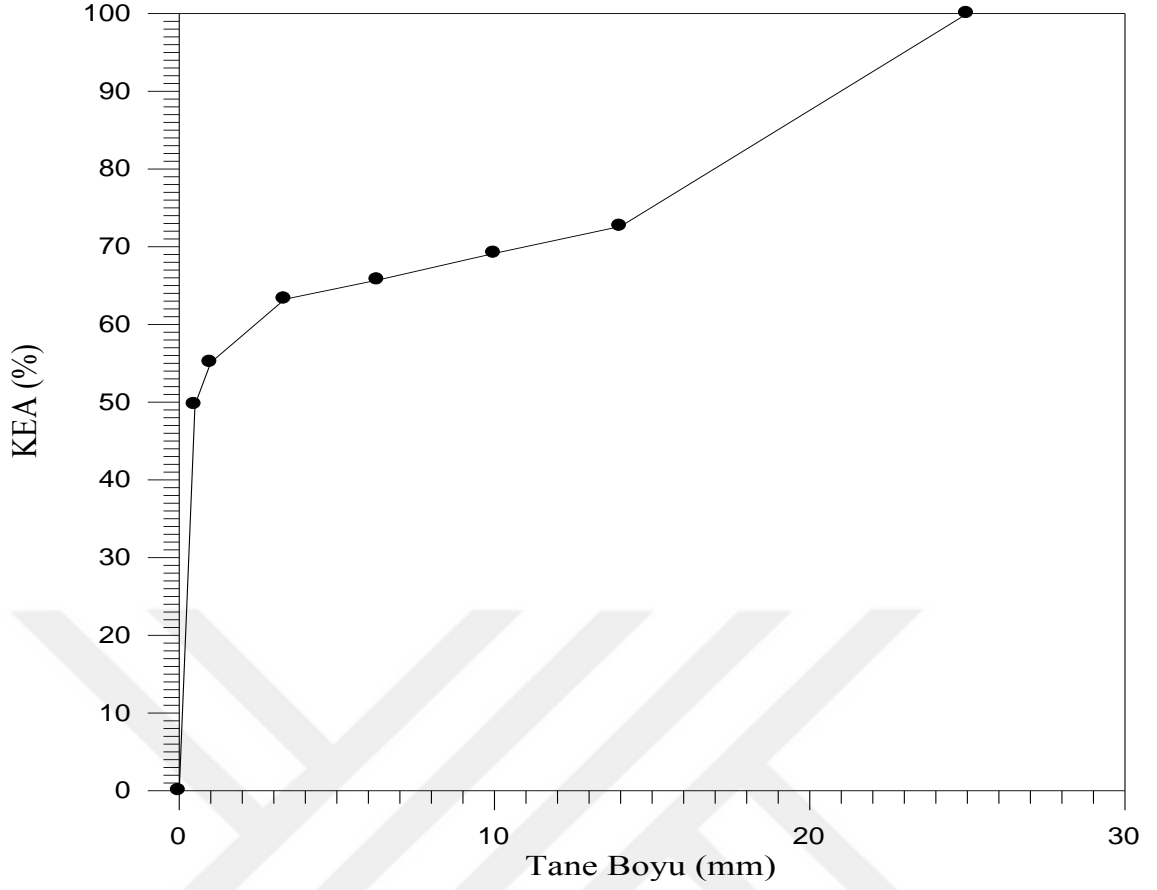
Tane İriliği (mm)	Ağırlık (%)	KEÜ (%)	KEA (%)
-78+50	18,54	18,54	100
-50+25	22,62	41,16	81,46
-25+18	3,73	44,89	58,84
-18+14	1,37	46,26	55,11
-14+10	0,75	47,01	53,74
-10+6,3	2,33	49,34	52,99
-6,3+3,35	2,54	51,88	50,66
-3,35+1	3,09	54,97	48,12
-1+0,5	1,94	56,91	45,03
-0,5	43,09	100,00	43,09
Toplam	100,00		



Şekil 3.9 -78 mm atık numunesinin kümülatif elek altı (KEA) eğrisi

Tablo 3.6 -25 mm atık numunesi yaş elek analizi sonuçları

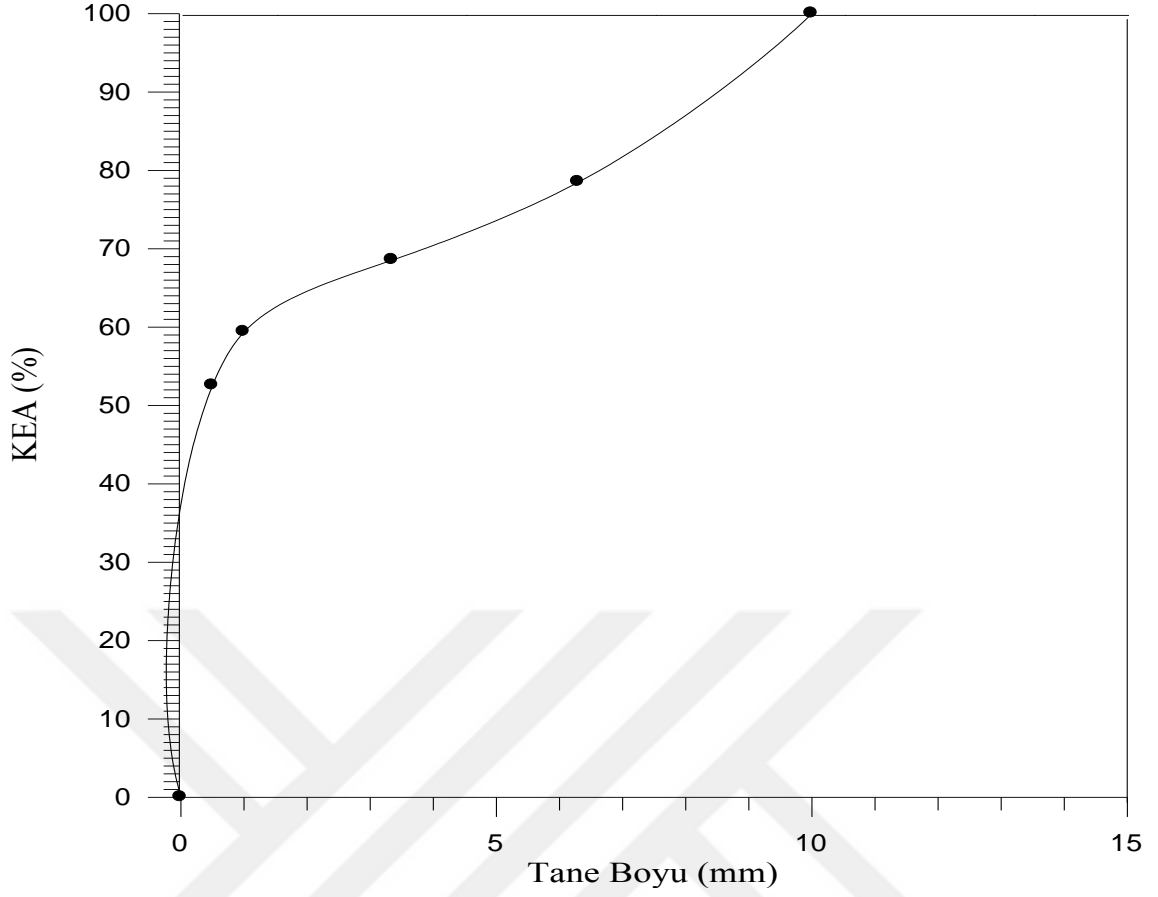
Tane İriliği (mm)	Ağırlık (%)	KEÜ (%)	KEA (%)
-25+14	27,39	27,39	100
-14+10	3,47	30,86	72,61
-10+6,3	3,43	34,29	69,14
-6,3+3,35	2,46	36,75	65,71
-3,35+1	8,16	44,91	63,25
-1+0,5	5,42	50,33	55,09
-0,5	49,67	100,00	49,67
Toplam	10,00		



Şekil 3.10 -25 mm atık örneğinin kümülatif elek altı (KEA) eğrisi

Tablo 3.7 -10 mm atık örneği yaş elek analizi sonuçları

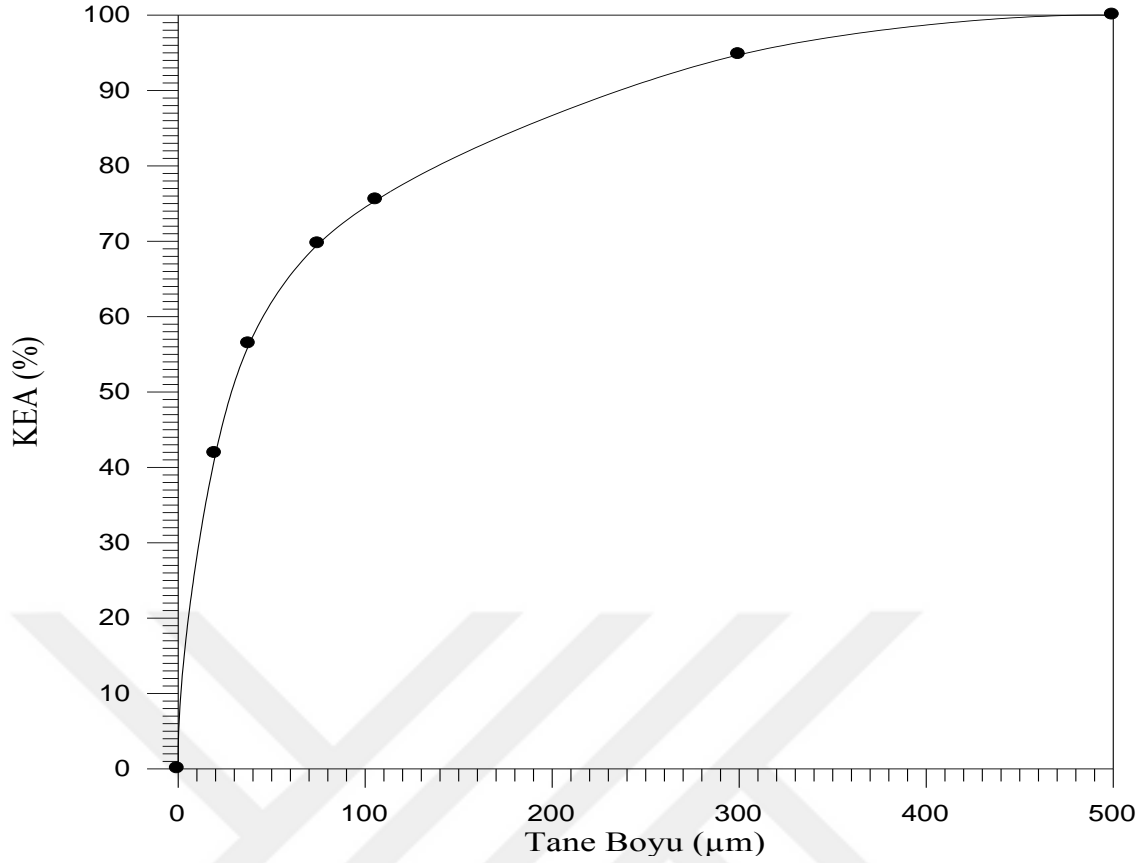
Tane İriliği (mm)	Ağırlık (%)	KEÜ (%)	KEA (%)
-10+6,3	21,47	21,47	100
-6,3+3,35	9,98	31,45	78,53
-3,35+1	9,17	40,62	68,55
-1+0,5	6,84	47,46	59,38
-0,5	52,54	100,00	52,54
TOPLAM	100,00		



Şekil 3.11 -10 mm atık örneğinin kümülatif elek altı (KEA) eğrisi

Tablo 3.8 Atık ana numune -500 µm tane boyu örneğinin yaş elek analizi sonuçları

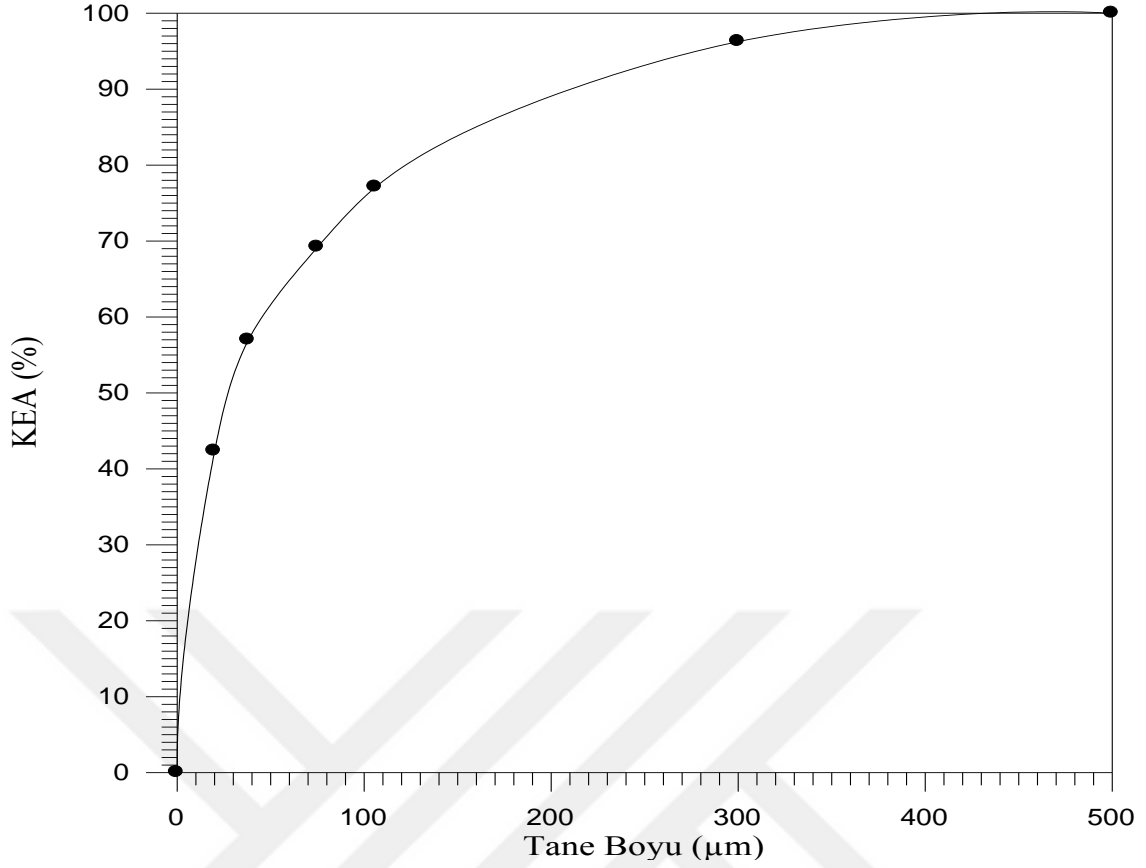
Tane İriliği (µm)	Miktar (%)	KEÜ(%)	KEA(%)
-500+300	5,25	5,25	100
-300+106	19,26	24,51	94,75
-106+75	5,84	30,35	75,49
-75+38	13,27	43,62	69,65
-38+20	14,55	58,17	56,38
-20	41,83	100	41,83
Toplam	100		



Şekil 3.12 -500 µm atık ana numunesinin kümülatif elek altı (KEA) eğrisi

Tablo 3.9 -10mm'ye kırılmış atık numunesinin -500 µm tane boyu örneğinin yaş elek analizi sonuçları

Tane İriliği(µm)	Miktar (%)	KEÜ(%)	KEA(%)
-500+300	3,73	3,73	100
-300+106	19,17	22,90	96,27
-106+75	7,92	30,82	77,10
-75+38	12,23	43,05	69,18
-38+20	14,63	57,68	56,95
-20	42,32	100	42,32
Toplam	100		



Şekil 3.13 -500 μm atık örneğinin kümülatif elek altı (KEA) eğrisi

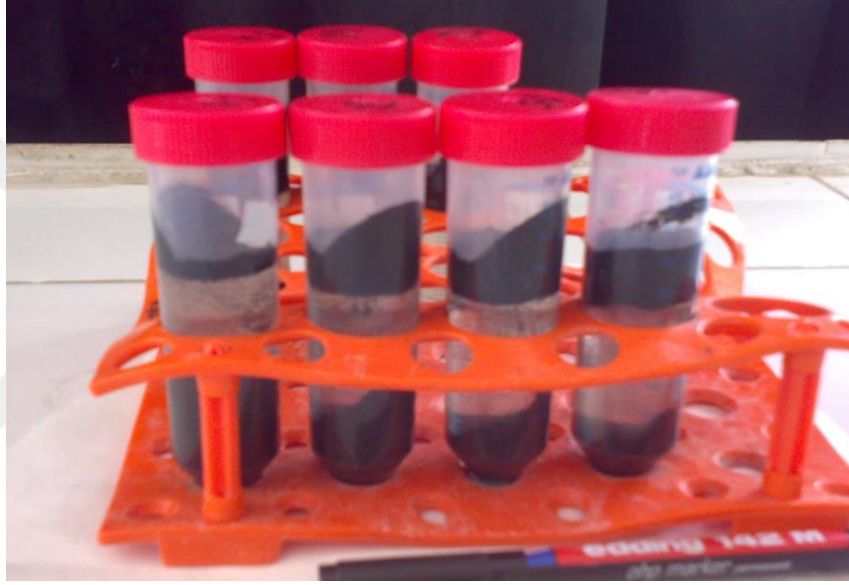
3.2.3 Deneylerin yapılışı

3.2.3.1 Yüzdürme - batırma deneylerinin yapılışı

3.2.3.1.1 Santrifüjlü yüzdürme - batırma deneylerinin yapılışı

Linyit örneği ile yapılan yüzdürme-batırma deneylerinde -500 μm tane boyuna santrifüj işlemi uygulanmıştır. Ağır ortam sıvısı olarak bromoform, karbontetraklorür, metil alkol kullanılmış ve $1,30 \text{ g/cm}^3$ - $1,40 \text{ g/cm}^3$ - $1,50 \text{ g/cm}^3$ - $1,60 \text{ g/cm}^3$ - $1,70 \text{ g/cm}^3$ - $1,80 \text{ g/cm}^3$ - $1,90 \text{ g/cm}^3$ yoğunluklarında ağır ortam sıvıları hazırlanmıştır. Yapılan bütün santrifüjlü yüzdürme-batırma deneylerinde 50 ml'lik santrifüj tüpü kullanılmış, tüplerin içine 10'ar gram örnek konulmuş ve katı oranı % 25 olacak şekilde üzerine yoğunluğu bilinen sıvı ilave edilmiştir. Kömür taneciklerinin yüzeyinin ağır ortam sıvısı tarafından iyi bir şekilde ıslatılabilmek için kömür + sıvı karışımı bir cam baget yardımıyla karıştırılmıştır. Atıklarla yapılan deneylerde, ana numunenin -500 μm ve -500+38 μm

tane boylarına santrifüj işlemi uygulanmıştır. Ayrıca -10 mm'ye kırılmış olan atık numunesinin -500 µm tane boyuna santrifüj işlemi uygulanmıştır. Atıklarla yapılan santrifüj deneylerinde ağır ortam sıvısı olarak yine bromoform, karbontetraklorür, metil alkol kullanılmış fakat farklı olarak 1,30 g/cm³ - 1,45 g/cm³ - 1,60 g/cm³ - 1,75 g/cm³ ve 1,90 g/cm³ yoğunluklarında çalışılmıştır. Santrifüjleme işlemi EBA 21 Hettich Universal santrifüj aygıtı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Santrifüj süresi 30 dk. ve hızı 5000 dev/dk. olarak alınmıştır. Santrifüjleme işlemi sonucunda elde edilen yüzen ürünler cam baget ile alınmış ve batan ürünler mavi bantlı süzgeç kağıdından süzülerek ağır ortam sıvısından ayrılmış ve iyice yıkanarak 24 saat süreyle 105 °C'de etüvde kurutulmuştur.



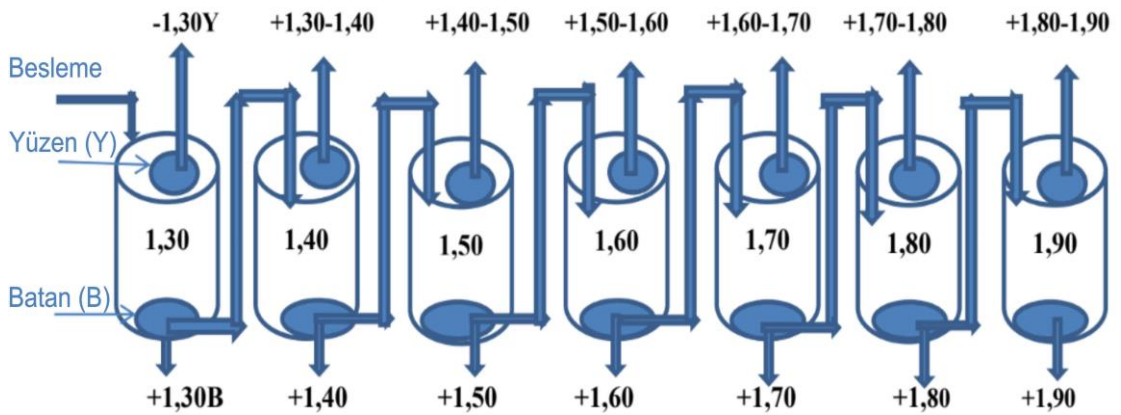
Şekil 3.14 Santrifüj işlemi uygulanan örnekler

3.2.3.1.2 Santrifüjsüz yüzdürme - batırma deneylerinin yapılışı

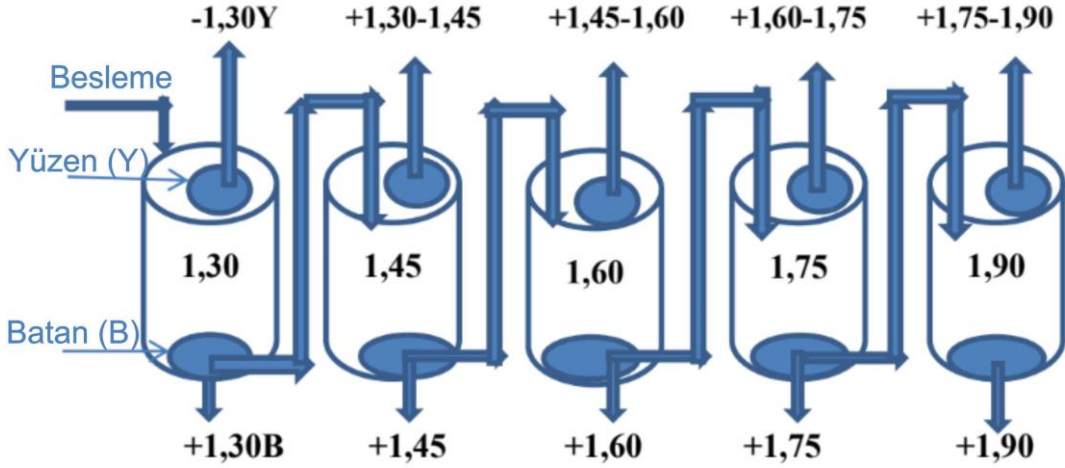
Deneylerde ağır ortam sıvısı olarak yaklaşık 150 kg çinko klorür (ZnCl₂) kullanılarak hazırlanmış olan 1,3 g/cm³ - 1,4 g/cm³ - 1,5 g/cm³ - 1,6 g/cm³ - 1,7 g/cm³ - 1,8 g/cm³ - 1,9 g/cm³ yoğunluklarında, yüzdürme-batırma işlemleri 20 litrelik saydam plastik kaplarda yapılmıştır. Yüzdürme-batırma işlemi düşük yoğunluktaki sıvıdan başlanarak yapılmıştır ve yüzen ürünler alınarak batan ürünler bir üst yoğunluktaki sıvıya beslenmiştir. Kaplara konulan kömür örneğindeki her kömür tanesinin tam olarak ıslanmasını sağlamak için, pülp halindeki kömür - sıvı karışımı bir cam baget

yardımıyla karıştırılmıştır. Pülp halindeki karışım yüzen - batan ürünler ayrılincaya kadar bekletilmiş. Aynı işlem diğer yoğunluktaki sıvılar için de sırasıyla tekrarlanmıştır. Yüzdürme – batırma sonrasında alınan kömürler suyla iyice yıkandıktan sonra etüvde 105 °C’de kurutulmuştur.

Atık örneğinin yüzdürme-batırma işlemleri aynı şekilde yapılmış fakat 1,30 g/cm³ - 1,45 g/cm³ - 1,60 g/cm³ - 1,75 g/cm³ ve 1,90 g/cm³ yoğunluklarında çalışılmıştır. Atıktan alınan örnekler farklı üst tane boylarına kırılmıştır (-78 mm, -25 mm, -10 mm). -78 mm’ye kırılan atık numunesini -78+18 mm, -18+10 mm ve -10+0,5 mm tane boyu gruplarında yüzdürme - batırma deneyleri yapılarak sonuçlar incelenmiştir. -25 mm ve -10 mm’ye kırılan numuneler ise -25+0,5 mm ve -10+0,5 mm tane boylarında ayrı ayrı yüzdürme - batırma işlemleri yapılmıştır. Burada farklı tane boylarına kırmada amaç mineral madde maseral (kömür) serbestleşmesini sağlayarak kömür kazanımının artırılması hedeflenmiştir. Başka bir ifadeyle iyi bir ayırmanın yapılması hedeflenmiştir. Bilindiği gibi tane boyu küçültmeyle serbestleşme artırılmasına rağmen doğası gereği problem doğuran ince malzemelerin (-0,5 mm) miktarı da artmakta buda kazanım verilerini olumsuz etkilemektedir. Yaş zenginleştirme yöntemlerinde ince tanenin nem oranı artmakta ve genellikle ayırma verimleri daha düşük olmaktadır. Kömürün ve atığın yüzdürme – batırma yapılan yoğunluk diyagramları sırasıyla Şekil 3.15 ve Şekil 3.16’da verilmiştir.



Şekil 3.15 Kömürün yüzdürme - batırma yapılan yoğunluk diyagramı



Şekil 3.16 Atığın yüzdürme - batırma yapılan yoğunluk diyagramı

3.2.3.2 Zenginleştirme deneylerinin yapılışı

Zenginleştirme deneyleri sarsıntılı masa, jig ve multi gravite seperatör (MGS) cihazları kullanılarak yapılmıştır. Atıkların değerlendirilmesine yönelik yapılacak olan zenginleştirme çalışmaları atıkların teknik ve ekonomik olarak değerlendirilmesi hususunda bilgiler verecektir.

3.2.3.2.1 Sarsıntılı masa deneylerinin yapılışı

Sarsıntılı masa deneyleri WILFLEY TABLE tipi cihazla çalışılmış ve deneyin yapıldığı koşullar aşağıda verilmiştir. Sarsıntılı masanın derinliği 5 mm, iç genişlik 14 mm, çita kalınlığı ise 5 mm'dir. Deneyde kullanılan sarsıntılı masa Şekil 3.17'de gösterilmiştir. Deney sonrasında alınan ürün örnekleri ise Şekil 3.18'de gösterilmiştir.

- Tane Boyutu: -3,15+0,5 mm Atık
- Yıkama Suyu: 7,5 L/dk,
- Masa Eğimi: 3°
- Masa Frekansı: 280 dev/dk
- Katı Oranı: % 35
- Besleme: 2 dk.

Deneylerde atık + su 1 dk. karıştırılarak pülp haline getirilmiştir. Yukarıda belirtilen şartlar sağlandıktan sonra malzeme beslenmeye başlanmıştır. Beslenen malzeme sarsıntılı masadan konsantre, ara ürün ve atık olarak alınmıştır. Bu işlemler sonucu alınan malzemeler iyice süzülüp etüvde 105 °C'de 24 saat süreyle kurutulmuştur.



Şekil 3.17 Deneyde kullanılan sarsıntılı masa



Şekil 3.18 Sarsıntılı masadan çıkan konsantre - ara ürün - atık örnekleri

3.2.3.2.2 Jig deneylerinin yapılışı

Deneylerde harz tipi jig ile çalışılmıştır ve elek açıklığı 1 mm'dir. Jig deney çalışmaları -10+3,15 mm tane boyu aralığında yapılmıştır. Şekil 3.19'da deneyde çalışılan Harz tipi Jig gösterilmiştir.



Şekil 3.19 Deneyde kullanılan Harz tipi Jig

3.2.3.2.3 Multi Gravite Separatör (MGS) deneylerinin yapılışı

Deneyler Mozley marka (C 900-3) multi gravite separatör cihazında (MGS) yapılmıştır. MGS deneylerinin yapıldığı koşullar aşağıda verilmiştir.

- Tambur eğimi: $3^0 - 5^0$
- Tambur dönüş hızı: 205 - 230 dev/dk
- Tambur titreşim genliği: 15 mm
- Tambur titreşim frekansı: $4,8 \text{ sn}^{-1}$
- Yıkama suyu miktarı: 51 L/dk

Deney sonucu kazanılan konsantre ve atık kovalara alındıktan sonra basınçlı süzme ünitesi yardımıyla susuzlandırılarak 105^0C 'de kurutulmuştur.

4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Bu bölümde tez kapsamında gerçekleştirilen deneysel bulguların değerlendirilmesi verilmiştir. Değerlendirmelerde yanabilir verim (%) formülünden yararlanılmıştır.

Yanabilir verim (%);

$$YV (\%) = [C(100-c)/ F(100- f)] \times 100$$

- C: Konsantrenin miktarı (%)
- c: Konsantrenin külü (%)
- F: Beslemenin miktarı (%)
- f: Beslemenin külü (%)

Yanabilir verimdeki artışla beraber kül içeriği düşmektedir veya daha fazla yanabilir verim demek daha düşük kül içeriği anlamına gelmektedir. Kömür ve atık örneklerinin kül, yanabilir verim sonuçları tablolarda verilmiştir.

4.1 Yüzdürme - Batırma Deney Bulgularının Değerlendirilmesi

4.1.1 Kömürün yüzdürme - batırma deney bulgularının değerlendirilmesi

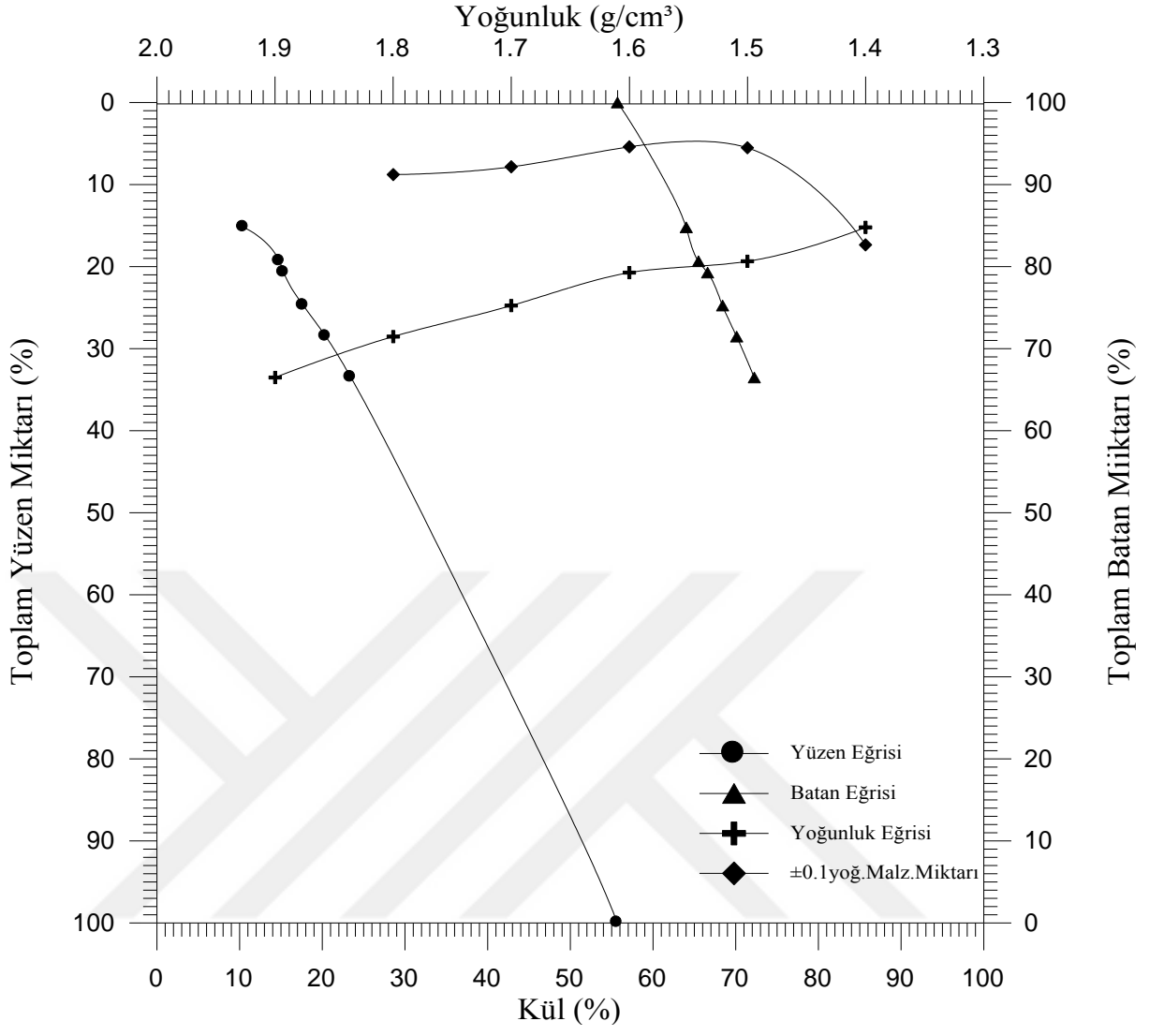
4.1.1.1 Santrifüjlü yüzdürme - batırma deney bulgularının değerlendirilmesi

Deneyde -0,5 mm tane boyutunda ki kömürden 10'ar gram örnek plastik santrifüj tüplerine tartılarak konulmuş, daha sonra ise üzerlerine bromoform, karbondioklorür ve metil alkol kullanılarak hazırlanmış değişik yoğunluklarda ağır ortam sıvıları (1,30 g/cm³- 1,40 g/cm³- 1,50 g/cm³- 1,60 g/cm³- 1,70 g/cm³- 1,80 g/cm³- 1,90 g/cm³) ilave edilmiştir ve 30 dakika santrifüjleme uygulanmıştır. 5000 dev/dk.'da 30 dakika süre ile santrifüjlenen kömürün yüzen ve batan ürünleri alınmıştır daha sonra iyice yıkanarak etüvde 24 saat süre ile kurutulduktan sonra kül analizleri yapılmıştır. Yüzdürme batırma deney sonuçları Tablo 4.1'de, yıkama eğrileri Şekil 4.1'de ve kül-yanabilir verim grafiği ise Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Tablo 4.2'de kül değerlerine göre teorik olarak elde edilecek temiz kömür miktarları verilmiştir. Tablo 4.1 ve Şekil 4.1'den görüleceği gibi % 10,48 kül içeriğine sahip ayırma yoğunluğu 1,40 g/cm³ olan % 15,21 ağırlık oranında temiz kömür elde edilmektedir ve yanabilir verimi % 30,74 olarak elde edilir. Tablo 4.2'de beslemeye göre ise % 3,16 ağırlık oranında temiz kömür % 6,39 yanabilir verimle üretilmektedir. % 15,32 kül içeriğine sahip ayırma yoğunluğu

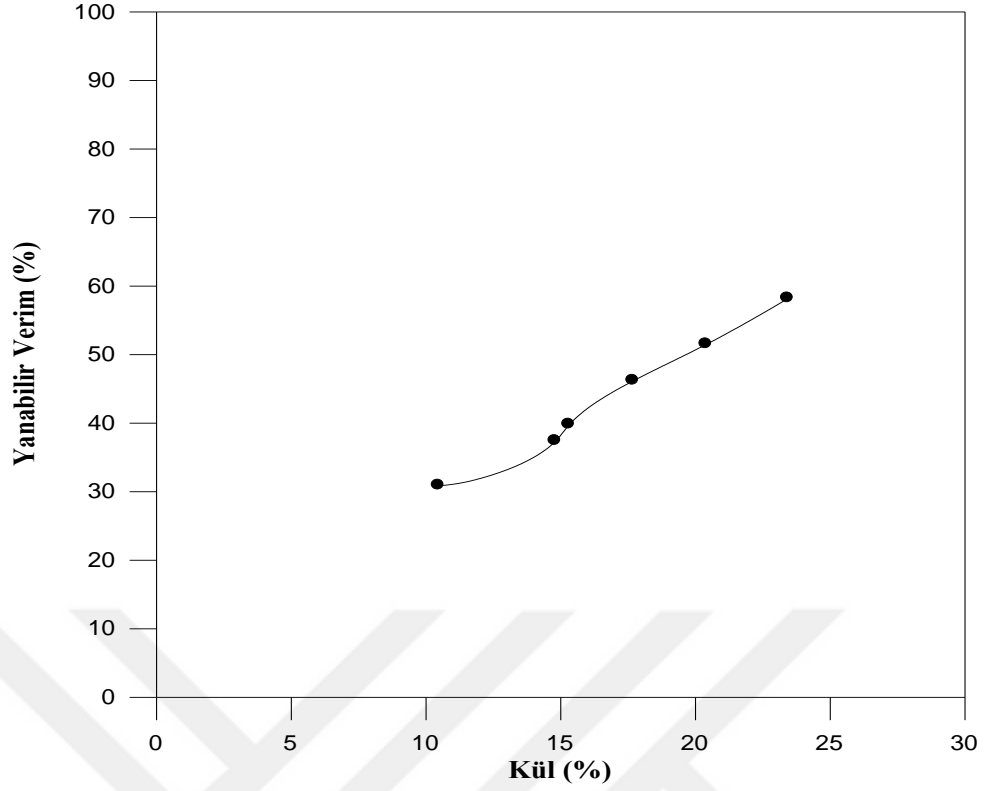
1,60 g/cm³ olan % 20,72 ağırlık oranında temiz kömür elde edilir ve yanabilir verimi % 39,61 olarak elde edilmektedir. Tablo 4.2’de beslemeye göre ise ağırlıkça % 4,30 temiz kömür üretilmekte ve yanabilir verimi ise % 8,22 olarak elde edilir. Tablo 4.1’de $\pm 0,1$ yoğunluk değerlerine baktığımızda bazı yoğunluk değerlerinde sapmalara rağmen genel olarak azalma görülmektedir. 1,60 g/cm³ yoğunluğunda $\pm 0,1$ değeri % 5,40 değerinde ve yakın yoğunluktaki malzemeyi esas alan Ateşok’un (2014) değerlendirme tablosu dikkate alındığında kömürün yıkanabilirlik karakteristiğinin çok kolay olduğunu söyleyebiliriz.

Tablo 4.1 Kömürün -500 μ m tane boyu için santrifüj deney sonuçları

Yoğunluk (g/cm ³)	Σ Yüzen (%)	Σ Yüzen Kül (%)	Σ Batan (%)	Σ Batan Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	$\pm 0,1$ Yoğ. Malzeme	
						Yoğ.	$\pm 0,1$ Yoğ. Malz. Mik. (%)
1,30	-	-	100,00	55,70	-		
1,40	15,21	10,48	84,79	64,02	30,74	1,40	17,34
1,50	19,35	14,81	80,65	65,51	37,21	1,50	5,51
1,60	20,72	15,32	79,28	66,61	39,61	1,60	5,40
1,70	24,75	17,70	75,25	68,42	45,98	1,70	7,82
1,80	28,54	20,41	71,46	70,13	51,28	1,80	8,78
1,90	33,53	23,44	66,47	72,26	57,95		



Şekil 4.1 -500 μm tane boyu kömürün yıkanabilirlik eğrileri



Şekil 4.2 -500 µm tane boyu santrifüj deney sonuçlarına göre kül- yanabilir verimin değişimi

Tablo 4.2 Kül değerlerine göre teorik olarak elde edilecek temiz kömür miktarları

Tane İriliği (mm)	Ağırlık (%)	Temiz Kömür	ÜRÜNLER			BESLEMeye GÖRE ÜRÜNLER	
			Ağırlık(%)	Kül(%)	Yanabilir Verim(%)	Ağırlık (%)	Yanabilir Verim(%)
-0,5	20,77	Temiz Kömür	15,21	10,48	30,74	3,16	6,39
			20,72	15,32	39,61	4,30	8,22

4.1.1.2 Santrifüjsüz yüzdürme - batırma deney bulgularının değerlendirilmesi

Bu grup deneyler, -120+18 mm, -18+10 mm, -10+5,6 mm, -5,6+0,5 mm tane boylarına ayrılarak yüzdürme-batırma işlemi uygulanmıştır. Çinko klorür kullanılarak 20 lt'lik kaplarda 1,3- 1,4- 1,5- 1,6- 1,7- 1,8 ve 1,9 g/cm³ yoğunluğunda ağır ortam sıvıları hazırlanmıştır. 1,30 g/cm³ yoğunluğunda ki ağır ortam sıvısından başlanarak yüzen ve batan ürünlerin ayrıldığı tespit edildikten sonra, batan ürünleri bir üst yoğunluğa besleyip yüzen ürünler alınarak tartılmış ve kül içeriğine bakılmıştır. Yüzdürme batırma deney sonuçları Tablo 4.3, 4.5, 4.7 ve Tablo 4.9'de, Henry-Reinhard'a göre çizilen yıkanabilirlik eğrileri Şekil 4.3, 4.4, 4.5 ve Şekil 4.6'da, kül yanabilir verim sonuçları Tablo 4.11'de, $\pm 0,1$ yoğunluk değerleri Tablo 4.12'de, $\pm 0,1$ yoğunluk eğrisi Şekil 4.7'de verilmiştir. Kümülatif yüzen eğrisi (KY) Şekil 4.12'de ve M eğrisi de Şekil 4.13'de verilmiştir. Her bir tane tane boyu için yapılan yüzdürme batırma deney sonuçlarına göre kümülatif kül değerlerine göre kuru bazda yukarı ısıl değer miktarları Tablo 4.4, 4.6, 4.8 ve Tablo 4.10'da verilmiş ve eğrileri topluca Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Yoğunluk değerlerine göre kümülatif yukarı ısıl değer eğrisi ise Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Ayrıca yoğunluk ve kül değerlerine göre aşağı ısıl değer eğrileride sırasıyla Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de verilmiştir. Tane iriliğine göre yapılan yüzdürme - batırma deney sonuçlarından elde ettiğimiz ürünler ve beslemeye göre ürünler hesaben bulunmuş Tablo 4.13'de gösterilmiştir.

4.1.1.2.1 -120+18 mm tane boyu deney sonuçları

Tablo 4.3 ve Şekil 4.3'ün incelenmesinden görüldüğü gibi kömürün yıkanabilirliğini karakterize eden parça kül eğrisinin şekli kömürün zenginleştirilebilmesinin kolay mı yoksa zor mu olduğu hususu ile ilgili önemli bilgiler içermektedir. Parça kül eğrisinin şekli L harfine ne kadar yaklaşırsa kömürün temizlenebilmesi o kadar kolay demektir. Yani eğrinin şekli ne kadar dik açılı ise ilgili kömürün yıkanabilirliğinin o kadar kolay olduğu söylenilebilir. Dik açılıya şekil veren atıklar gravimetrik yöntemlerle kolaylıkla zenginleştirilebilirliği söylenebilir (Osborne, 1988).

-120+18 mm tane boyunda kömür üzerinde yapılan yüzdürme-batırma deneylerinde tane boyu inceldikçe yıkanabilirlik eğrilerinde iyileşme görülmektedir. Bu durum parça kül eğrilerinin şeklinden anlaşılabilir. Benzer durumlar M eğrilerinden görülebilir. Şekil 4.13'de M eğrilerinin değerlendirilmesinden görüleceği gibi tane boyu inceldikçe kömür ve mineral madde arasında serbestleşmenin artmasıyla birlikte yıkanabilirlikte iyileşmeler görülmektedir. Ayrıca Şekil 4.12'de kümülatif yüzen eğrisinden görüleceği

gibi kömürün tane boyu inceldikçe aynı kül oranındaki malzemeyi daha yüksek verimlerle kazanılabildiği görülmektedir. Dolayısıyla ince boyutlara inildikçe serbestleşme sonucu olarak iyileşme görülmektedir.

Kömürün zenginleştirilebilirliğinin değerlendirilmesinde, uygulamada en çok yararlanılan eğri $\pm 0,1$ dağılım eğrisidir. Bu eğri herhangi bir ayırma yoğunluğunda ayırmanın zorluğu veya kolaylığıyla ilgili bilgi verir. Yüksek değerlerde ayırmanın zor, düşük değerlerde ($< \%10$) ayırmanın kolay olduğunu göstermektedir. Tablo 4.12'de kömürün tane iriliğine bağlı olarak $\pm 0,1$ değerlerine baktığımızda düşüş eylemi görülmektedir. Bu durum serbestleşmenin artmasına dayandırılabilir.

Tablo 4.3'de yakın yoğunluktaki malzeme miktarları verilmiş ve tablodaki değerler incelendiğinde $\pm 0,1$ değerlerinde düşüş eğilimi görülmektedir. Yakın yoğunluktaki malzemeyi esas alan Ateşok'un (2014) değerlendirme tablosu dikkate alındığında kömürün yıkanabilirlik karakteristiğinin $1,60 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda çok güç, $1,70 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda orta güçlükte ve $1,80 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda ise çok kolay olduğu görülmektedir.

$-1,60 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda zenginleştirme yapıldığında % 26,60 kül içeren bir beslemeden yaklaşık % 74,29 ağırlık oranında bir konsantre (temiz kömür) % 16,74 kül oranıyla üretilmektedir. Bu durumda yanabilir verim % 84,27 olarak elde edilir. $\pm 0,1$ değeri ise 22,80 olarak hesaplanmıştır ve Ateşok'a (2004) göre ayırma çok güçtür.

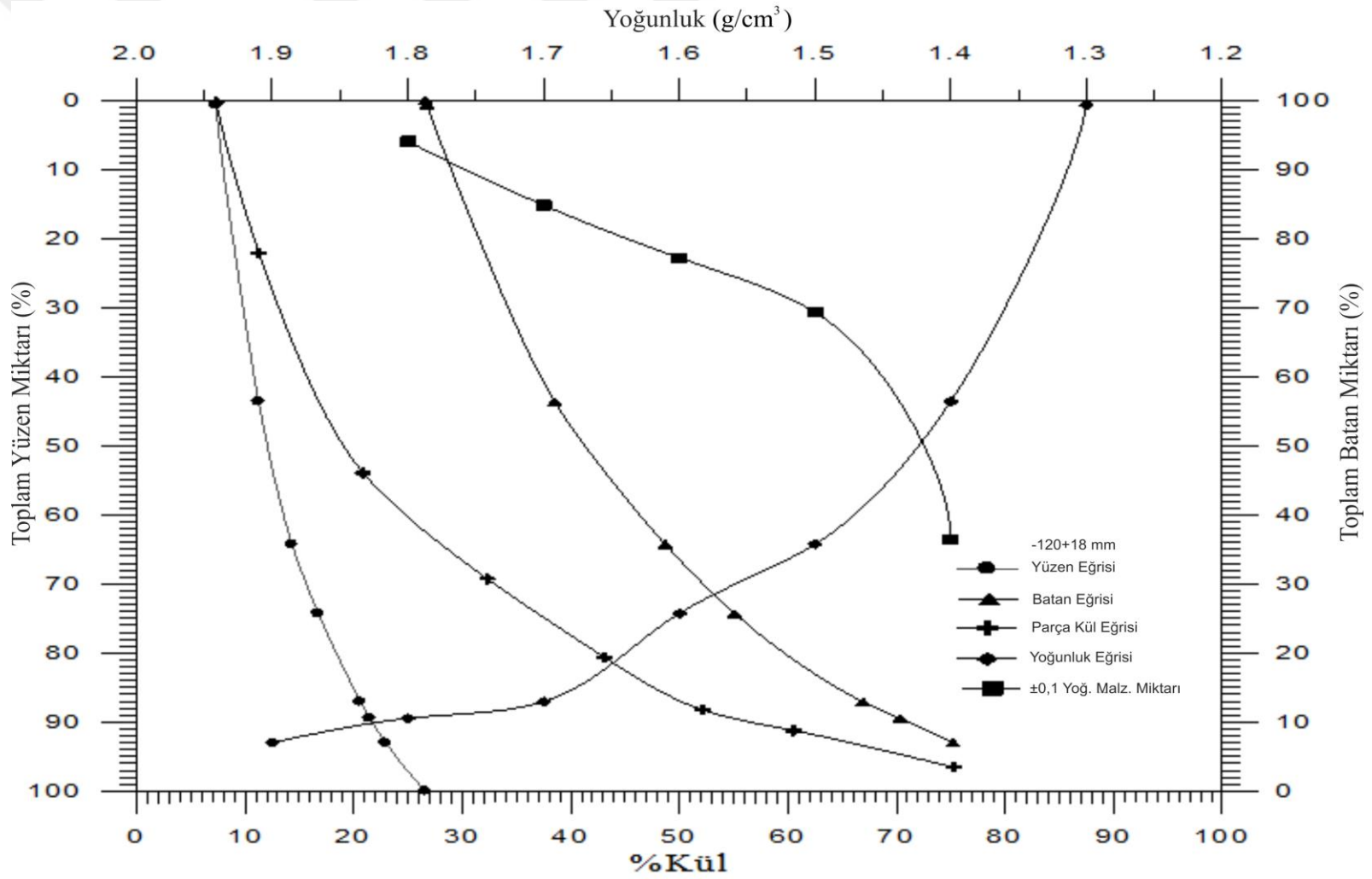
$-1,70 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda zenginleştirme yapıldığında % 26,60 kül içeren bir beslemeden yaklaşık % 87,05 ağırlık oranında bir konsantre (temiz kömür) % 20,61 kül oranıyla üretilmektedir. Bu durumda yanabilir verim % 94,15 olarak elde edilir. $\pm 0,1$ değeri ise 15,18 olarak hesaplanmıştır ve Ateşok'a (2004) göre ayırma orta güçlüktedir.

$-120+18 \text{ mm}$ tane iriliğinde yapılan yüzdürme batırma deney sonuçlarına göre Şekil 4.3'e baktığımızda hesaben bulunan (%10 kül ve %15 kül) % 10 kül içeriğine sahip, ayırma yoğunluğu $1,37 \text{ g/cm}^3$ olan küttelece % 31,50 ağırlık oranında konsantre elde edilir ve yanabilir verim % 38,62 olarak hesaplanmıştır. Beslemeye göre ise % 13,09 ağırlık oranında konsantre ve beslemedeki yanabilir verim % 16,05 olarak elde edilir.

% 15 kül içeriğine sahip, ayırma yoğunluğu $1,53 \text{ g/cm}^3$ olan küttelece % 67,00 ağırlık oranında konsantre elde edilirken, yanabilir verim % 77,59 olarak hesaplanmıştır. Beslemeye göre ise % 27,85 ağırlık oranında konsantre ve beslemedeki yanabilir verim % 32,25 olarak elde edilir.

Tablo 4.3 -120+18 mm Tane Boyu Yıkanabilirlik Değerleri

Yoğunluk Aralığı (g/cm ³)	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme			Toplam Yüzen			Toplam Batan			±0,1Yoğ. Malzeme		
	Miktar (%) M	Kül (%) K	MxK	Miktar (%) Σ M ↓	ΣMxK↓	Kül,% ΣMxK↓ ΣM↓	Miktar (%) Σ M ↑	ΣMxK↑	Kül,% ΣMxK↑ ΣM↑	Yoğ.	± 0,1 Yoğ. Malzeme Miktarı. %	y
-1,30	0,68	7,31	4,97	0,68	4,97	7,31	100	2660,41	26,60			0,34
1,30-1,40	42,92	11,28	484,14	43,60	489,11	11,22	99,32	2655,44	26,74	1,4	63,57	22,14
1,40-1,50	20,65	20,84	430,35	64,25	919,46	14,31	56,40	2171,30	38,50	1,5	30,69	53,93
1,50-1,60	10,04	32,29	324,19	74,29	1243,65	16,74	35,75	1740,95	48,70	1,6	22,80	69,27
1,60-1,70	12,76	43,11	550,08	87,05	1793,73	20,61	25,71	1416,76	55,11	1,7	15,18	80,67
1,70-1,80	2,42	52,15	126,20	89,47	1919,93	21,46	12,95	866,68	66,93	1,8	5,92	88,26
1,80-1,90	3,50	60,50	211,75	92,97	2131,68	22,93	10,53	740,48	70,32			91,22
+1,90	7,03	75,21	528,73	100	2660,41	26,60	7,03	528,73	75,21			96,49
Toplam	100	26,60	2660									



Şekil 4.3 -120+18 mm Kömür Yıkanabilirlik Eğrileri

Tablo 4.4 -120+18 mm tane boyu kömürün ısı değer hesabı

Yoğunluk Aralığı (g/cm ³)	Miktar (%) M	Kül (%) K	Yukarı Isıl Değer Kcal/g I	MxK	MxI	Miktar (%) $\Sigma M \downarrow$	$\Sigma MxK \downarrow$	Kül% $\frac{\Sigma MxK \downarrow}{\Sigma M}$	$\Sigma MxI \downarrow$	Yukarı Isıl Değer % $\frac{\Sigma MxI \downarrow}{\Sigma M \downarrow}$
-1,30	0,68	7,31	6223	4,97	4231,64	0,68	4,97	7,31	4231,64	6223,00
+1,30-1,40	42,92	11,28	5687	484,14	244086,04	43,60	489,11	11,22	248317,68	5695,36
+1,40-1,50	20,65	20,84	5233	430,35	108061,45	64,25	919,46	14,31	356379,13	5546,77
+1,50-1,60	10,04	32,29	4150	324,19	41666,00	74,29	1243,65	16,74	398045,13	5357,99
+1,60-1,70	12,76	43,11	3696	550,08	47160,96	87,05	1793,73	20,61	445206,09	5114,37
+1,70-1,80	2,42	52,15	2712	126,20	6563,04	89,47	1919,93	21,46	451769,13	5049,39
+1,80-1,90	3,50	60,50	2086	211,75	7301,00	92,97	2131,68	22,93	459070,13	4937,83
+1,90	7,03	75,21	x	528,73		100,00	2660,41	26,60		
TOPLAM	100	26,60		2660						

X: Belirlenememiştir.

4.1.1.2.2 -18+10 mm tane boyu deney sonuçları

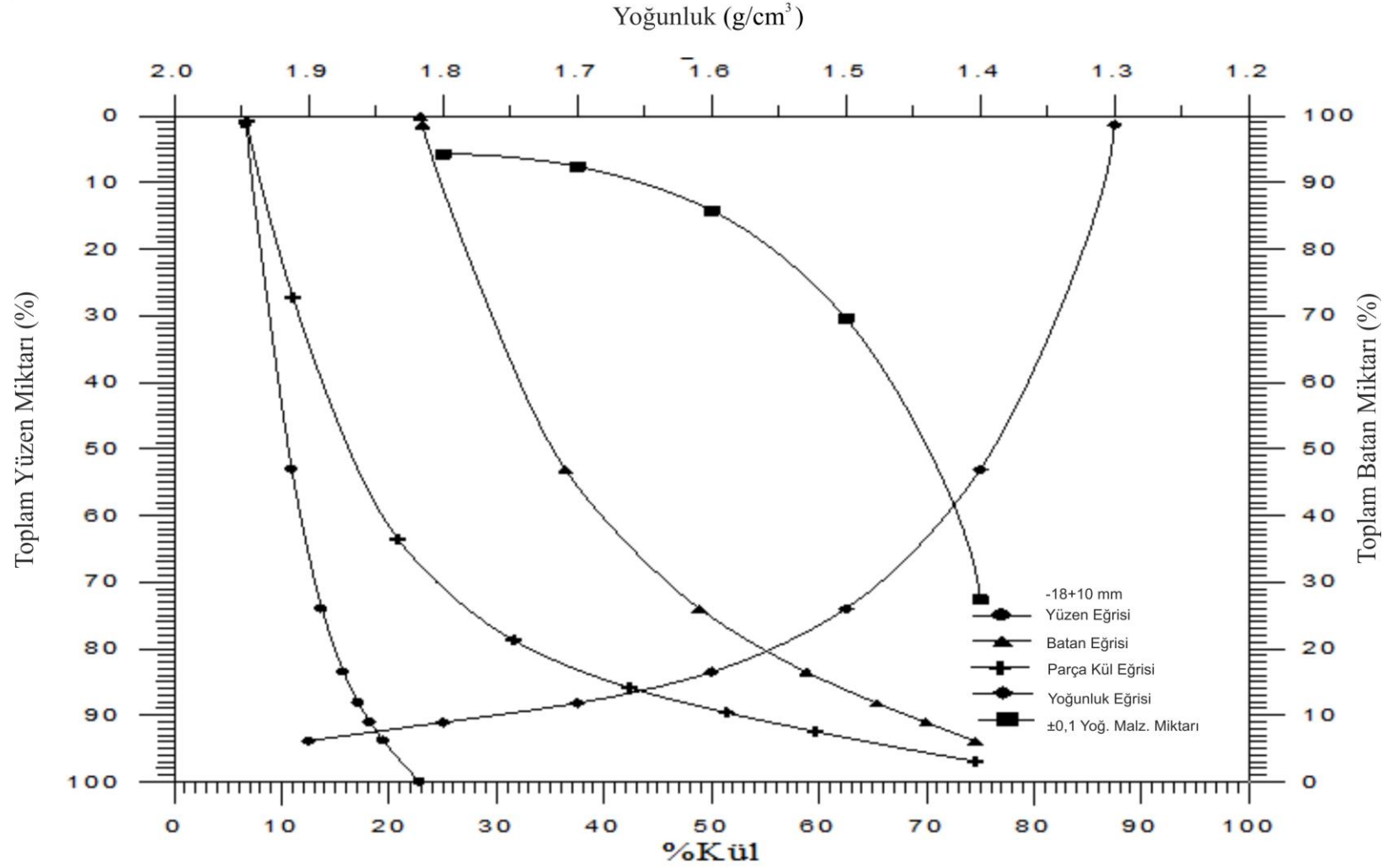
Tablo 4.5 ve Şekil 4.4'ün incelenmesinden görüldüğü gibi kömürün yıkanabilirliğini karakterize eden parça kül eğrisinin şekline baktığımızda yıkanabilirliğinin kolay olduğunu söyleyebiliriz. Şekil 4.13'de M eğrilerinin değerlendirilmesinden görüleceği gibi kömür ve mineral madde arasında serbestleşmenin artmasıyla birlikte yıkanabilirlikte iyileşmeler artmış ve kül içerikleri düşmüştür. Şekil 4.12'de kümülatif yüzen eğrisinden görüleceği gibi kömürün tane boyu inceldikçe aynı kül oranındaki malzemeyi daha yüksek verimlerle kazanılabildiği görülmektedir. -18+10 mm tane boyu için yüzdürme - batırma deney sonuçlarına göre atığın zenginleştirilebilirliğinin değerlendirilmesinde Tablo 4.5'de $\pm 0,1$ değerlerine baktığımızda düşüş eğilimi görülmektedir, yakın yoğunluktaki malzemeyi esas alan Ateşok'un (2014) değerlendirme tablosu dikkate alındığında kömürün yıkanabilirlik karakteristiğinin $1,60 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda orta güçlükte, $1,70 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda kolay ve $1,80 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda ise çok kolay olduğu görülmektedir. $-1,60 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda zenginleştirme yapıldığında % 22,86 kül içeren bir beslemeden yaklaşık % 83,50 ağırlık oranında bir konsantre (temiz kömür) % 15,75 kül oranıyla üretilmektedir. Bu durumda yanabilir verim % 83,50 olarak elde edilir. $\pm 0,1$ değeri ise 14,16 olarak hesaplanmıştır ve Ateşok'a (2004) göre ayırma orta güçlükte, $-1,70 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda zenginleştirme yapıldığında % 22,86 kül içeren bir beslemeden yaklaşık % 88,17 ağırlık oranında bir konsantre (temiz kömür) % 17,15 kül oranıyla üretilmektedir. Bu durumda yanabilir verim % 94,70 olarak elde edilir. $\pm 0,1$ değeri ise 7,57 olarak hesaplanmıştır ve Ateşok'a (2004) göre ayırma kolaydır.

-18+10 mm tane iriliğinde yapılan yüzdürme - batırma deney sonuçlarına göre Şekil 4.4'e baktığımızda hesaben bulunan (%10 kül ve %15 kül) % 10 kül içeriğine sahip, ayırma yoğunluğu $1,37 \text{ g/cm}^3$ olan kütleye % 42,00 ağırlık oranında konsantre elde edilmiş ve yanabilir verim % 49,00 olarak hesaplanmıştır. Beslemeye göre ise % 4,18 ağırlık oranında konsantre ve beslemedeki yanabilir verim % 4,88 olarak elde edilir.

% 15 kül içeriğine sahip, ayırma yoğunluğu $1,57 \text{ g/cm}^3$ olan kütleye % 80,50 ağırlık oranında konsantre elde edilir ve yanabilir verim % 88,70 olarak görülmektedir. Beslemeye göre ise % 8,00 ağırlık oranında konsantre ve beslemedeki yanabilir verim % 8,82 olarak elde edilir.

Tablo 4.5 -18+10 mm Tane Sınıfı Yıkanabilirlik Değerleri

Yoğunluk Aralığı (g/cm ³)	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme			Toplam Yüzen			Toplam Batan			±0,1 Yoğ. Malzeme		
	Miktar (%) M	Kül (%) K	MxK	Miktar (%) Σ M ↓	ΣMxK↓	Kül,% ΣMxK↓ ΣM↓	Miktar (%) Σ M ↑	ΣMxK↑	Kül,% ΣMxK↑ ΣM↑	Yoğ.	± 0,1 Yoğ. Malzeme Miktarı. %	y
-1,30	1,33	6,71	8,92	1,33	8,92	6,71	100	2285,61	22,86			0,67
1,30-1,40	51,77	11,03	571,02	53,10	579,94	10,92	98,67	2276,69	23,07	1,40	72,68	27,22
1,40-1,50	20,91	20,81	435,14	74,01	1015,08	13,72	46,90	1705,67	36,37	1,50	30,40	63,56
1,50-1,60	9,49	31,58	299,69	83,50	1314,77	15,75	25,99	1270,53	48,89	1,60	14,16	78,76
1,60-1,70	4,67	42,27	197,40	88,17	1512,17	17,15	16,50	970,84	58,84	1,70	7,57	85,84
1,70-1,80	2,90	51,39	149,03	91,07	1661,20	18,24	11,83	773,44	65,38	1,80	5,68	89,62
1,80-1,90	2,78	59,71	165,99	93,85	1827,19	19,47	8,93	624,41	69,92			92,46
+1,90	6,15	74,54	458,42	100	2285,61	22,86	6,15	458,42	74,54			96,93
Toplam	100	22,86	2286									



Şekil 4.4 -18+10 mm Kömür Yıkanabilirlik Eğrileri

Tablo 4.6 -18+10 mm tane boyu kömürün ısı değer hesabı

Yoğunluk Aralığı (g/cm ³)	Miktar (%) M	Kül (%) K	Yukarı Isıl Değer Kcal/g I	MxK	MxI	Miktar (%) $\sum M \downarrow$	$\sum MxK \downarrow$	Kül% $\frac{\sum MxK \downarrow}{\sum M}$	$\sum MxI \downarrow$	Yukarı Isıl Değer % $\frac{\sum MxI \downarrow}{\sum M \downarrow}$
-1,30	1,33	6,71	6568	8,92	8735,44	1,33	8,92	6,71	8735,44	6568
+1,30-1,40	51,77	11,03	6029	571,02	312121,13	53,10	579,94	10,92	320856,57	6042,50
+1,40-1,50	20,91	20,81	5325	435,14	111345,75	74,01	1015,08	13,72	432202,32	5839,78
+1,50-1,60	9,49	31,58	4542	299,69	43103,58	83,50	1314,77	15,75	475305,90	5692,29
+1,60-1,70	4,67	42,27	3841	197,40	17937,47	88,17	1512,17	17,15	493243,37	5594,23
+1,70-1,80	2,90	51,39	3214	149,03	9320,60	91,07	1661,20	18,24	502563,97	5518,44
+1,80-1,90	2,78	59,71	2535	165,99	7047,30	93,85	1827,19	19,47	516658,57	5505,15
+1,90	6,15	74,54	x	458,42		100,00	2285,61	22,86		
TOPLAM	100	22,86		2286						

X: Belirlenememiştir.

4.1.1.2.3 -10+5,6 mm tane boyu deney sonuçları

Tablo 4.7 ve Şekil 4.5'in incelenmesinden görüldüğü gibi kömürün yıkanabilirliğini karakterize eden parça kül eğrisinin şekline göre kömürün yıkanabilirliğinin kolay olduğunu söyleyebiliriz. Şekil 4.13'de M eğrisinden görüleceği üzere tane boyu inceldikçe kömür ve mineral madde arasında serbestleşmenin artmasıyla kül değerlerindeki düşüşü görebiliriz ve yıkamanın kolay olduğunu benzer şekilde söyleyebiliriz. Şekil 4.12'de kümülatif yüzen eğrisinden görüleceği gibi kömürün tane boyu inceldikçe aynı kül oranındaki malzemeyi daha yüksek verimlerle kazanılabildiği görülmektedir. -10+5,6 mm tane boyu için yüzdürme batırma deney sonuçlarına göre atığın zenginleştirilebilirliğinin değerlendirilmesinde Tablo 4.7'ye baktığımızda $\pm 0,1$ değerlerinde düşüş eğilimi görülmektedir. Yakın yoğunluktaki malzemeyi esas alan Ateşok'un (2014) değerlendirme tablosu dikkate alındığında kömürün yıkanabilirlik karakteristiğinin $1,60 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda orta güçlükte, $1,70 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda kolay ve $1,80 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda ise çok kolay olduğu görülmektedir. $1,60 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda zenginleştirme yapıldığında % 20,67 kül içeren bir beslemeden yaklaşık % 84,53 ağırlık oranında bir konsantre (temiz kömür) % 14,22 kül oranıyla üretilmektedir. Bu durumda yanabilir verim % 91,40 olarak elde edilir. $\pm 0,1$ değeri ise 14,25 olarak hesaplanmıştır ve Ateşok'a (2004) göre ayırma orta güçlükte.

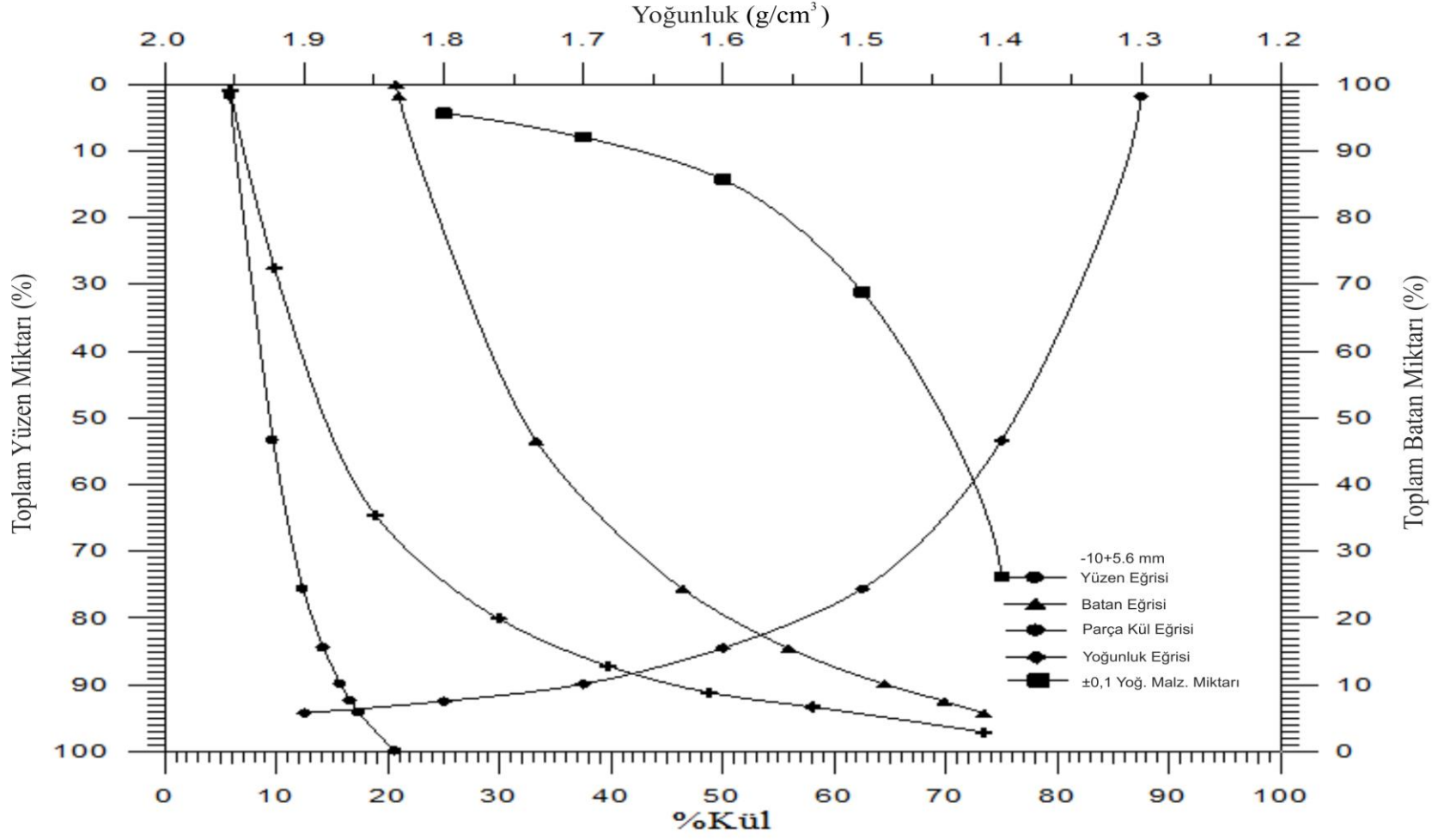
$1,70 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda zenginleştirme yapıldığında % 20,67 kül içeren bir beslemeden yaklaşık % 89,89 ağırlık oranında bir konsantre % 15,74 kül oranıyla üretilmektedir ve yanabilir verim %95,48 olarak elde edilir. $\pm 0,1$ değeri ise 7,94 olarak hesaplanmıştır ve Ateşok'a (2004) göre ayırma kolaydır.

-10+5,6 mm tane iriliğinde yapılan yüzdürme batırma deney sonuçlarına göre Şekil 4.5'e baktığımızda hesaben bulunan (%10 kül ve %15 kül) % 10 kül içeriğine sahip, ayırma yoğunluğu $1,41 \text{ g/cm}^3$ olan küttelece % 56,00 ağırlık oranında konsantre elde edilir ve yanabilir verim % 63,53 olarak hesaplanmıştır. Beslemeye göre ise % 4,48 ağırlık oranında konsantre ve beslemedeki yanabilir verim % 5,08 olarak elde edilir.

% 15 kül içeriğine sahip, ayırma yoğunluğu $1,64 \text{ g/cm}^3$ olan küttelece % 87,00 ağırlık oranında konsantre elde edilirken yanabilir verimi % 93,22 olarak hesaplanmıştır. Beslemeye göre ise % 6,96 ağırlık oranında konsantre ve beslemedeki yanabilir verim % 7,46 olarak elde edilir.

Tablo 4.7 -10+5,6 mm Tane Sınıfı Yıkanabilirlik Değerleri

Yoğunluk Aralığı (g/cm ³)	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme			Toplam Yüzen			Toplam Batan			±0,1Yoğ. Malzeme		y
	Miktar (%) M	Kül (%) K	MxK	Miktar (%) Σ M ↓	ΣMxK↓	Kül,% ΣMxK↓ ΣM↓	Miktar (%) Σ M ↑	ΣMxK↑	Kül,% ΣMxK↑ ΣM↑	Yoğ.	± 0,1 Yoğ. Malzeme Miktarı. %	
-1,30	1,79	5,86	10,49	1,79	10,49	5,86	100	2066,87	20,67			0,90
1,30-1,40	51,62	9,83	507,42	53,41	517,91	9,70	98,21	2056,38	20,94	1,40	73,85	27,60
1,40-1,50	22,23	18,83	418,59	75,64	936,50	12,38	46,59	1548,96	33,25	1,50	31,12	64,53
1,50-1,60	8,89	29,89	265,72	84,53	1202,22	14,22	24,36	1130,37	46,40	1,60	14,25	80,09
1,60-1,70	5,36	39,71	212,85	89,89	1415,07	15,74	15,47	864,65	55,89	1,70	7,94	87,21
1,70-1,80	2,58	48,79	125,88	92,47	1540,95	16,66	10,11	651,80	64,47	1,80	4,33	91,18
1,80-1,90	1,75	58,06	101,61	94,22	1642,56	17,43	7,53	525,92	69,84			93,35
+1,90	5,78	73,41	424,31	100	2066,87	20,67	5,78	424,31	73,41			97,11
Toplam	100	20,67	2067									



Şekil 4.5 -10+5,6 mm Kömür Yıkanabilirlik Eğrileri

Tablo 4.8 -10+5,6 mm tane boyu kömürün ısı değer hesabı

Yoğunluk Aralığı (g/cm ³)	Miktar (%) M	Kül (%) K	Yukarı Isıl Değer Kcal/g I	MxK	MxI	Miktar (%) $\sum M \downarrow$	$\sum MxK \downarrow$	Kül% $\frac{\sum MxK \downarrow}{\sum M}$	$\sum MxI \downarrow$	Yukarı Isıl Değer % $\frac{\sum MxI \downarrow}{\sum M \downarrow}$
-1,30	1,79	5,86	6614	10,49	11839,06	1,79	10,49	5,86	11839,06	6614
+1,30-1,40	51,62	9,83	6116	507,42	315707,92	53,41	517,91	9,70	327546,98	6132,69
+1,40-1,50	22,23	18,83	5522	418,59	122754,06	75,64	936,50	12,38	450301,04	5953,21
+1,50-1,60	8,89	29,89	4784	265,72	42529,76	84,53	1202,22	14,22	492830,80	5830,25
+1,60-1,70	5,36	39,71	3899	212,85	20898,64	89,89	1415,07	15,74	513729,44	5715,09
+1,70-1,80	2,58	48,79	3417	125,88	8815,86	92,47	1540,95	16,66	522545,30	5650,97
+1,80-1,90	1,75	58,06	2725	101,61	4768,75	94,22	1642,56	17,43	527314,05	5596,63
+1,90	5,78	73,41	x	424,31		100,00	2066,87	20,67		
TOPLAM	100	20,67		2067						

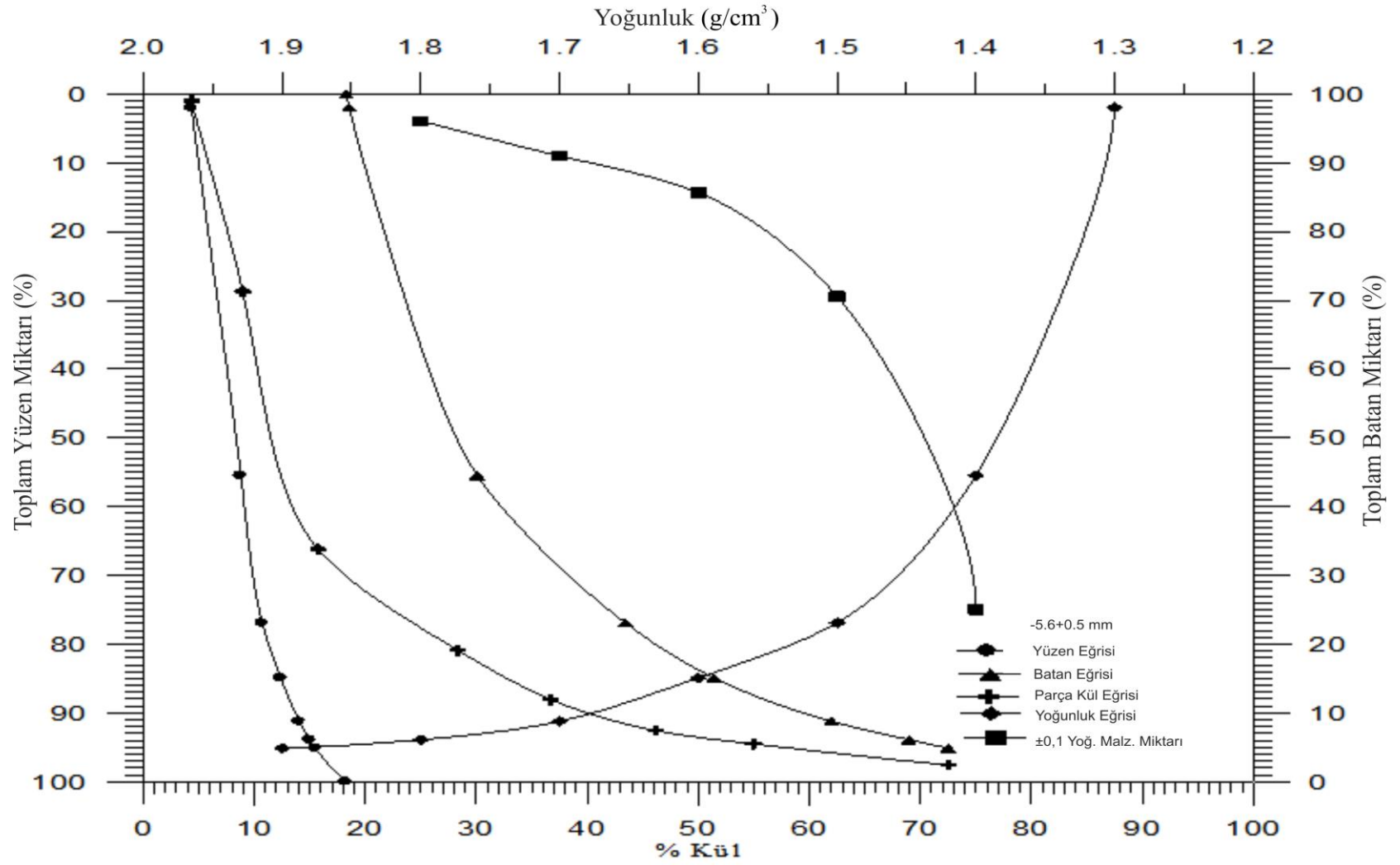
4.1.1.2.4 -5,6+0,5 mm tane boyu deney sonuçları

Tablo 4.9 ve Şekil 4.6'nın incelenmesinden görüldüğü gibi kömürün yıkanabilirliğini karakterize eden parça kül eğrisinin şekline baktığımızda oldukça dik açılı olduğunu görüyoruz ve bu durumda yıkamanın kolay olduğunu söyleyebiliriz. Bu kömürde gravimetrik yöntemlerle kolaylıkla zenginleştirilebilirliği söylenebilir (Osborne, 1988). -5,6+0,5 mm tane fraksiyonu için Şekil 4.13'de M eğrisine baktığımızda benzer durumları görebiliriz. Şekil 4.12'de kümülatif yüzen eğrisinden görüleceği gibi kömürün tane boyu inceldikçe aynı kül oranındaki malzemeyi daha yüksek verimlerle kazanılabildiği görülmektedir. Dolayısıyla ince boyutlara inildikçe serbestleşme sonucu olarak iyileşmeler olduğu söylenilebilir. Kömürün zenginleştirilebilirliğinin değerlendirilmesinde Şekil 4.6'da görülen $\pm 0,1$ dağılım eğrisine baktığımızda $\pm 0,1$ değerlerinde düşüş eğilimi görülmektedir. Yakın yoğunluktaki malzemeyi esas alan Ateşok'un (2014) değerlendirme tablosu dikkate alındığında kömürün yıkanabilirlik karakteristiğinin $1,60 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda orta güçlükte, $1,70 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda kolay ve $1,80 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda ise çok kolay olduğu görülmektedir. -5,6+0,5 mm tane boyunda yapılan yüzdürme batırma sonuçlarına göre Tablo 4.9'a baktığımızda $-1,60 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda zenginleştirme yapıldığında % 18,26 kül içeren bir beslemeden yaklaşık % 84,92 ağırlık oranında bir konsantre, % 12,37 kül oranıyla üretilmektedir ve yanabilir verim %91,04 olarak elde edilir. $\pm 0,1$ değeri ise 14,31 olarak hesaplanmıştır ve Ateşok'a (2004) göre ayırma orta güçlüktedir. $-1,70 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda zenginleştirme yapıldığında % 18,26 kül içeren bir beslemeden yaklaşık olarak % 91,22 ağırlık oranında konsantre, % 14,05 kül oranıyla üretilmektedir ve yanabilir verim % 95,92 olarak elde edilir. $\pm 0,1$ değeri ise 8,99 olarak hesaplanmıştır ve Ateşok'a (2004) göre ayırma kolaydır. -5,6+0,5 mm tane iriliğinde yapılan yüzdürme batırma deney sonuçlarına göre Şekil 4.6'ya baktığımızda hesaben bulunan (%10 kül ve %15 kül) % 10 kül içeriğine sahip, ayırma yoğunluğu $1,47 \text{ g/cm}^3$ olan kütlice % 71,00 ağırlık oranında konsantre elde edilir ve yanabilir verim % 78,17 olarak hesaplanmıştır. Beslemeye göre ise % 14,01 ağırlık oranında konsantre ve beslemedeki yanabilir verim % 15,43 olarak elde edilir.

% 15 kül içeriğine sahip, ayırma yoğunluğu $1,83 \text{ g/cm}^3$ olan kütlice % 94,00 ağırlık oranında konsantre, % 97,75 yanabilir verimle elde edilmektedir. Beslemeye göre ise % 18,55 ağırlık oranında konsantre ve beslemedeki yanabilir verim % 19,29 olarak elde edilir.

Tablo 4.9 -5,6+0,5 mm Tane Boyu Yıkanabilirlik Değerleri

Yoğunluk Aralığı (g/cm ³)	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme			Toplam Yüzen			Toplam Batan			±0,1Yoğ. Malzeme		y
	Miktar (%) M	Kül (%) K	MxK	Miktar (%) Σ M ↓	ΣMxK↓	Kül,% ΣMxK↓ ΣM↓	Miktar (%) Σ M ↑	ΣMxK↑	Kül,% ΣMxK↑ ΣM↑	Yoğ.	± 0,1 Yoğ. Malzeme Miktarı. %	
-1,30	1,96	4,32	8,47	1,96	8,47	4,32	100	1826,04	18,26			0,98
1,30-1,40	53,52	8,94	478,47	55,48	486,94	8,78	98,04	1817,57	18,54	1,40	74,95	28,72
1,40-1,50	21,43	15,73	337,09	76,91	824,03	10,71	44,52	1339,10	30,08	1,50	29,44	66,20
1,50-1,60	8,01	28,32	226,84	84,92	1050,87	12,37	23,09	1002,01	43,40	1,60	14,31	80,92
1,60-1,70	6,30	36,68	231,08	91,22	1281,95	14,05	15,08	775,17	51,40	1,70	8,99	88,07
1,70-1,80	2,69	46,13	124,09	93,91	1406,04	14,97	8,78	544,09	61,97	1,80	3,92	92,57
1,80-1,90	1,23	54,96	67,60	95,14	1473,64	15,49	6,09	420,00	68,97			94,53
+1,90	4,86	72,51	352,40	100	1826,04	18,26	4,86	352,40	72,51			97,57
Toplam	100	18,26	1826									



Şekil 4.6 -5,6+0,5 mm Kömür Yıkanabilirlik Eğrileri

Tablo 4.10 -5,6+0,5 mm tane boyu kömürün ısı değer hesabı

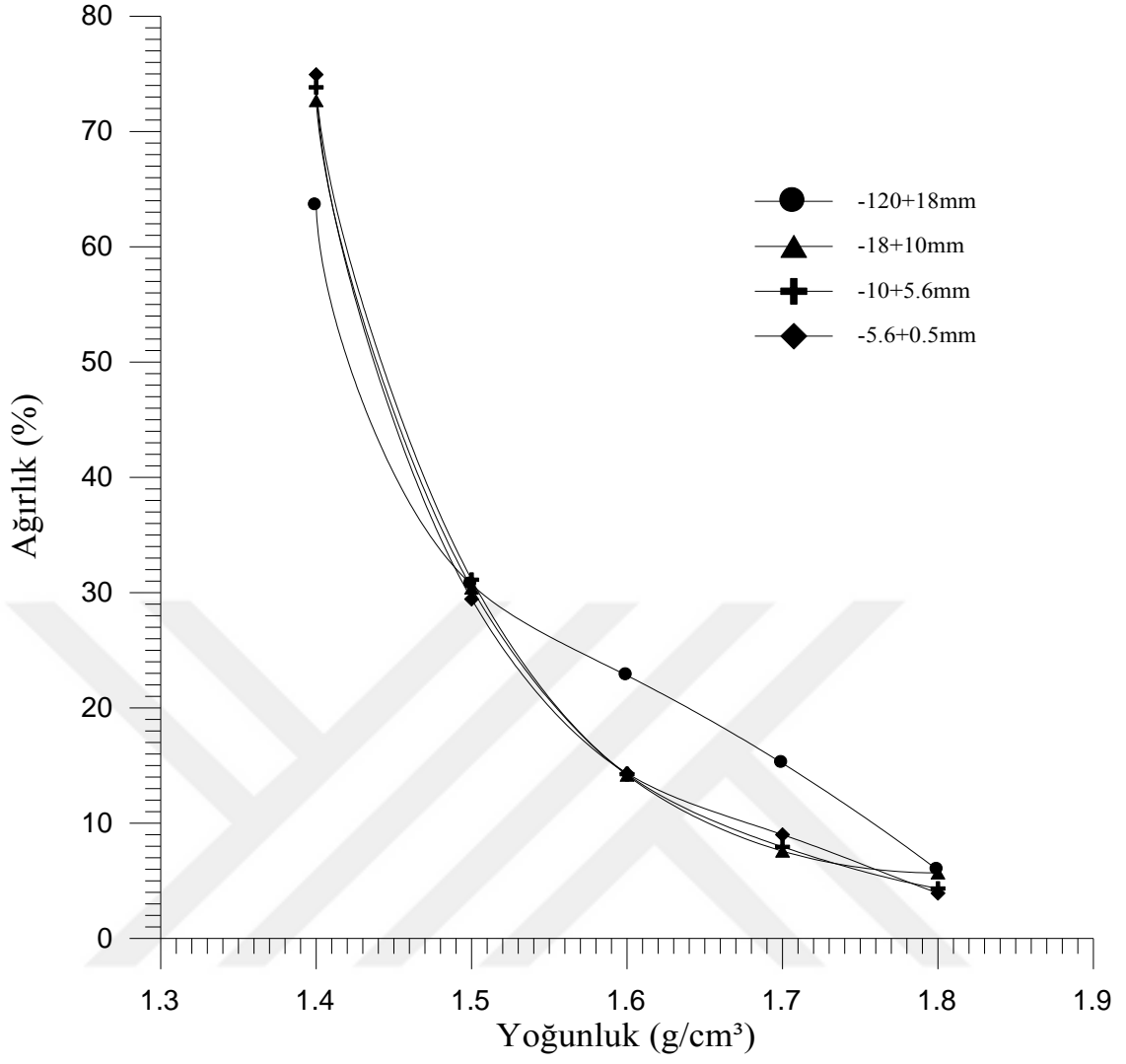
Yoğunluk Aralığı (g/cm ³)	Miktar (%) M	Kül (%) K	Yukarı Isıl Değer Kcal/g I	MxK	MxI	Miktar (%) $\sum M \downarrow$	$\sum MxK \downarrow$	Kül% $\frac{\sum MxK \downarrow}{\sum M \downarrow}$	$\sum MxI \downarrow$	Yukarı Isıl Değer % $\frac{\sum MxI \downarrow}{\sum M \downarrow}$
-1,30	1,96	4,32	6692	8,47	13116,32	1,96	8,47	4,32	13116,32	6692
+1,30-1,40	53,52	8,94	6134	478,47	328291,68	55,48	486,94	8,78	341408,00	6153,71
+1,40-1,50	21,43	15,73	5603	337,09	120072,29	76,91	824,03	10,71	461480,29	6000,26
+1,50-1,60	8,01	28,32	4797	226,84	38423,97	84,92	1050,87	12,37	499904,26	5886,77
+1,60-1,70	6,30	36,68	3999	231,08	25193,70	91,22	1281,95	14,05	525097,96	5756,39
+1,70-1,80	2,69	46,13	3512	124,09	9447,28	93,91	1406,04	14,97	534545,24	5692,10
+1,80-1,90	1,23	54,96	2835	67,60	3487,05	95,14	1473,64	15,49	538032,90	5655,17
+1,90	4,86	72,51	1439	352,40	6993,54	100,00	1826,04	18,26	545026,44	5450,26
TOPLAM	100	18,26		1826						

Tablo 4.11 Kömürün tane boylarına göre kül - yanabilir verim sonuçları

Tane İriliği (mm)	Ağırlık (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)
-120+18mm	41,56	26,60	43,67
-18+10mm	9,94	22,86	10,98
-10+5,6mm	8,00	20,67	9,09
-5,6+0.5mm	19,73	18,26	23,09
-0.5mm	20,77	55,70	13,17
Toplam	100	30,15	100

Tablo 4.12 Kömürün tane iriliğine göre $\pm 0,1$ yoğunluk değerleri

Yoğunluk (g/cm³)	120+18 (mm)	-18+10 (mm)	-10+5,6 (mm)	-5,6+0,5 (mm)
1,40	63,57	72,68	73,85	74,95
1,50	30,69	30,40	31,12	29,44
1,60	22,80	14,16	14,25	14,31
1,70	15,18	7,57	7,94	8,99
1,80	5,92	5,68	4,33	3,92

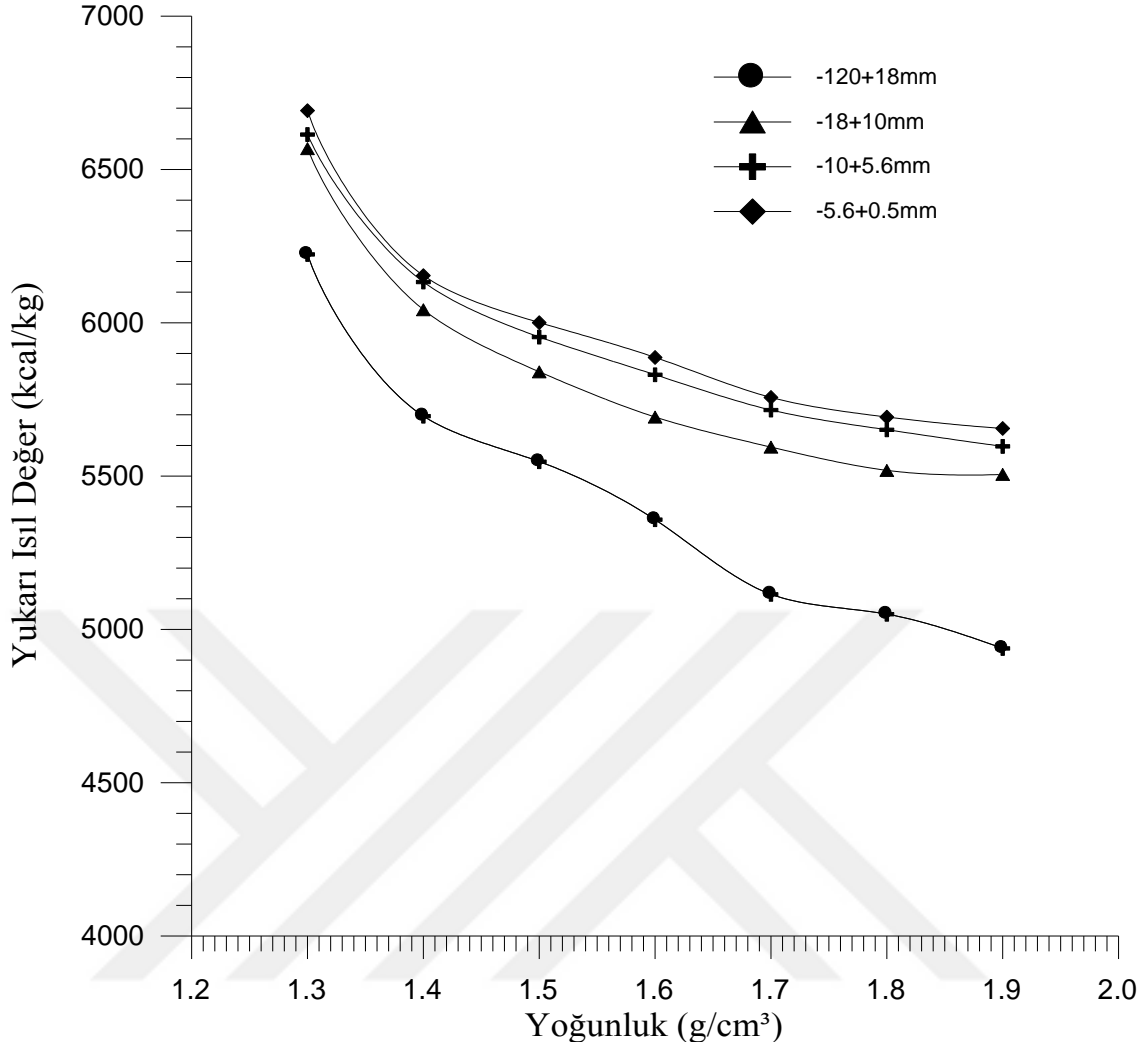


Şekil 4.7 Kömürün $\pm 0,1$ yoğunluk grafiği

Tablo 4.13 Değişik kül oranlarında zenginleştirme yapıldığında teorik olarak elde edilecek temiz kömür miktarları

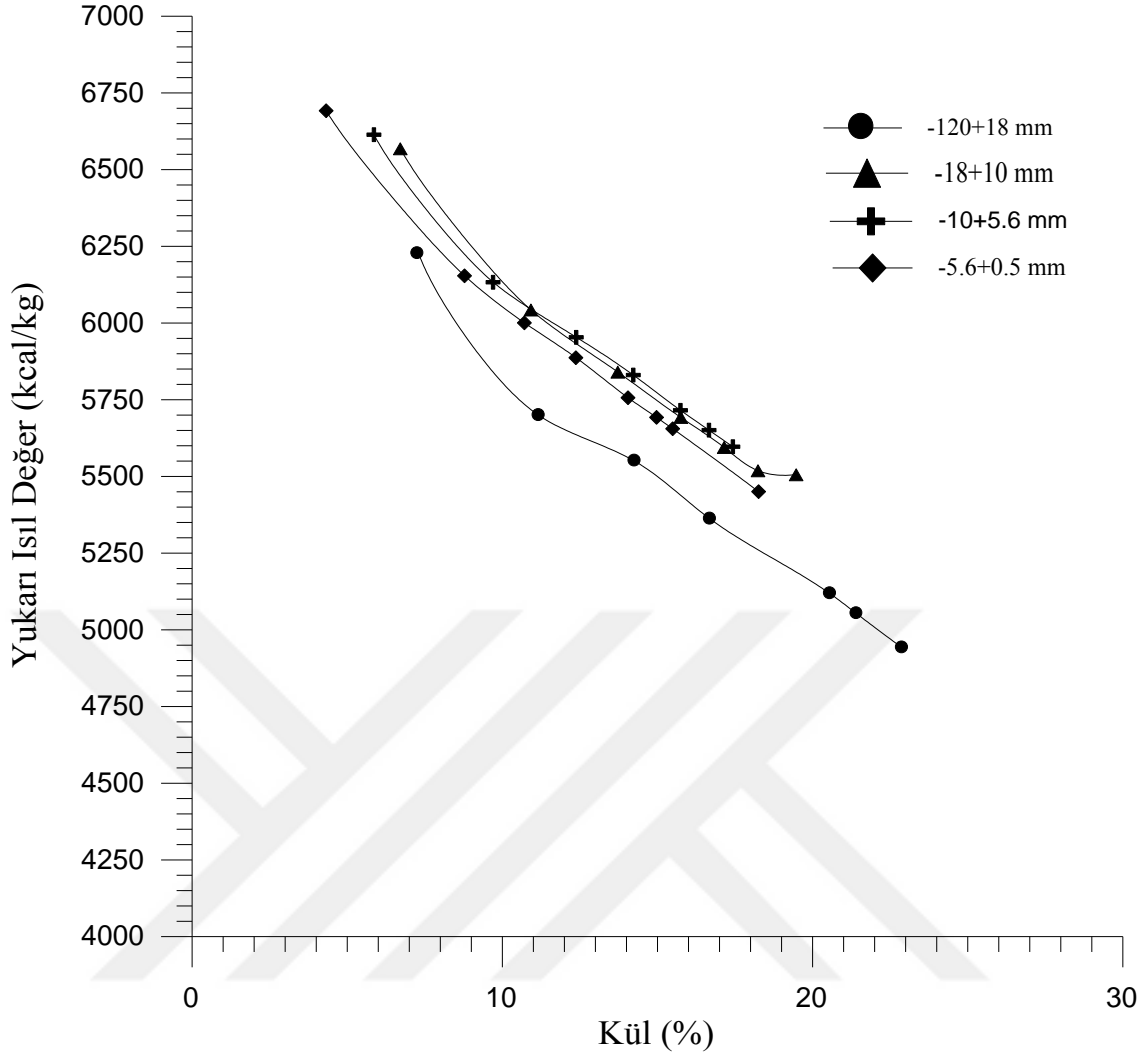
Tane İriliği (mm)	Ağırlık (%)	Temiz Kömür	ÜRÜNLER			BESLEMeye GÖRE ÜRÜNLER	
			Ağırlık (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim(%)	Ağırlık (%)	Yanabilir Verim(%)
-120+18	41,56	Temiz Kömür 1	31,50	10	38,62	13,09	16,05
			67,00	15	77,59	27,85	32,25
-18+10	9,94	Temiz Kömür 2	42,00	10	49,00	4,18	4,88
			80,50	15	88,70	8,00	8,82
-10+5,6	8,00	Temiz Kömür 3	56,00	10	63,53	4,48	5,08
			87,00	15	93,22	6,96	7,46
-5,6+0,5	19,73	Temiz Kömür 4	71,00	10	78,17	14,01	15,43
			94,00	15	97,75	18,55	19,29

Tablo 4.13 'den görüldüğü gibi hesaben bulunan -120+0,5 mm tane boyu fraksiyonu için % 10 kül içeriğine sahip ağırlıkça % 35,76 temiz kömür kazanımı sağlanmıştır. % 15 küllü kömür için ise ağırlıkça % 61,36 temiz kömür elde edilmiştir.



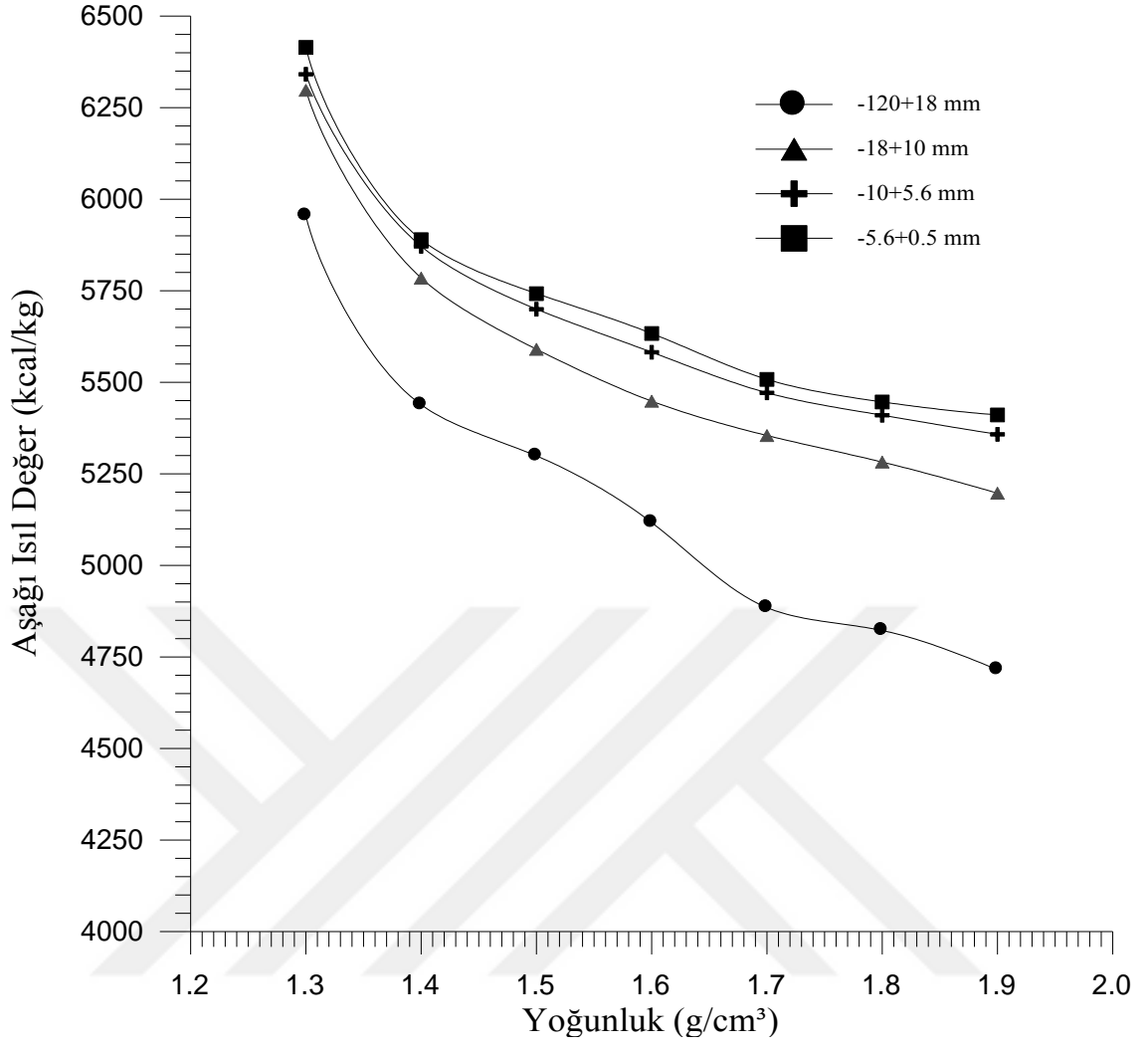
Şekil 4.8 Kömürün yoğunluk değerlerine göre kümülatif yüzen yukarı ısıl değer grafiği

Şekil 4.8'den görüleceği gibi tane iriliği azaldıkça kümülatif ısıl değer miktarları artmaktadır. -120+18 mm tane boyunda 1,40 g/cm³ yoğunluğunda üst ısıl değer 5695,36 kcal/kg iken -18+10 mm tane boyunda üst ısıl değer 6042,50 kcal/kg olmaktadır. -10+5,6 mm tane boyunda 1,40 g/cm³ yoğunluğunda ısıl değer miktarı 6132,69 kcal/kg iken -5,6+0,5 mm tane boyunda ise 1,40 g/cm³ yoğunluğunda 6153,71 kcal/kg olarak artmaktadır. Genel olarak tane boylarında yapılan yüzdürme - batırma deney sonuçlarına göre yoğunluk miktarları arttıkça üst ısıl değer sonuçlarının azaldığını söyleyebiliriz.

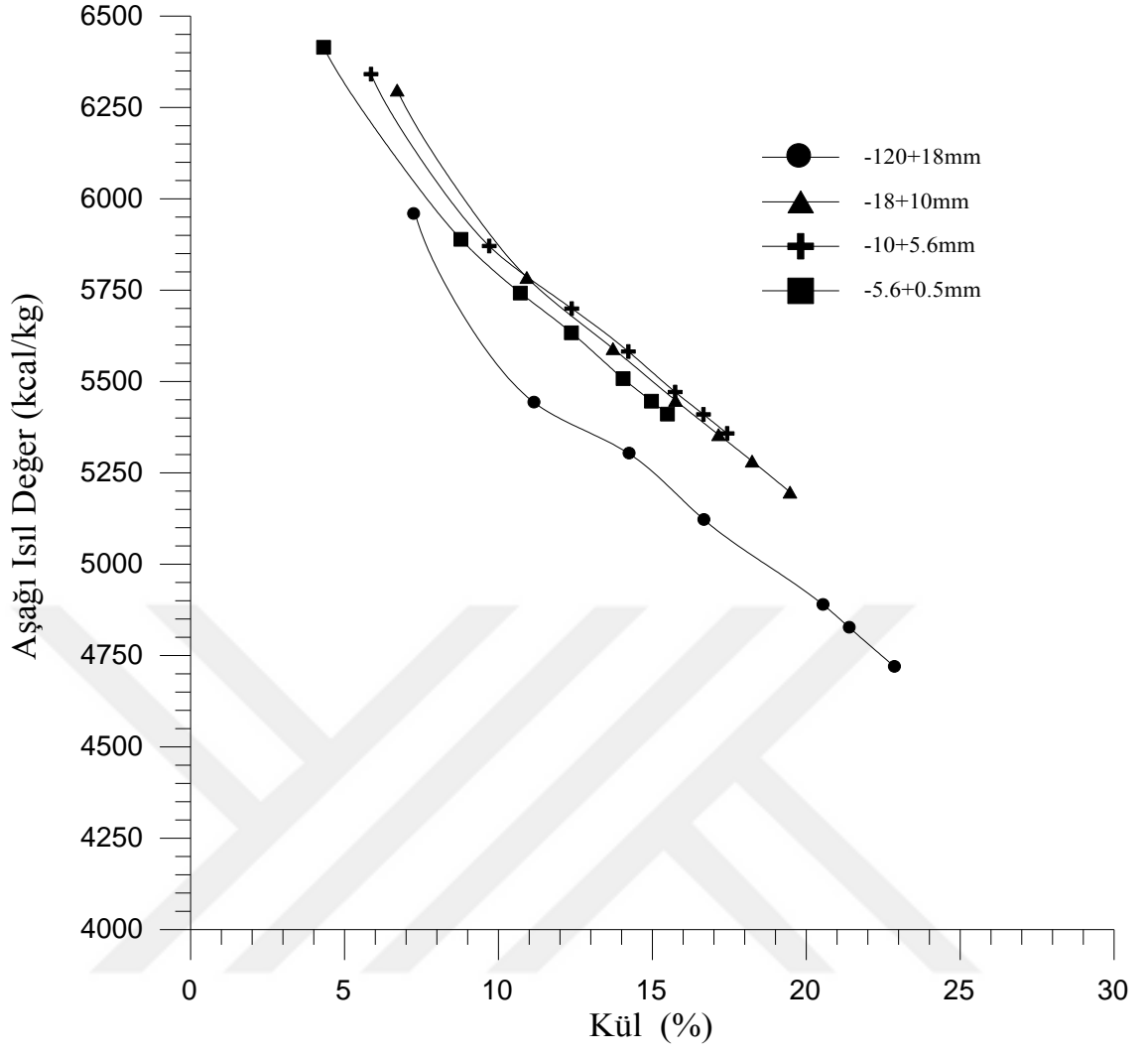


Şekil 4.9 Kömürün kümülatif yüzen kül değerlerine göre yukarı ısıl değer grafiği

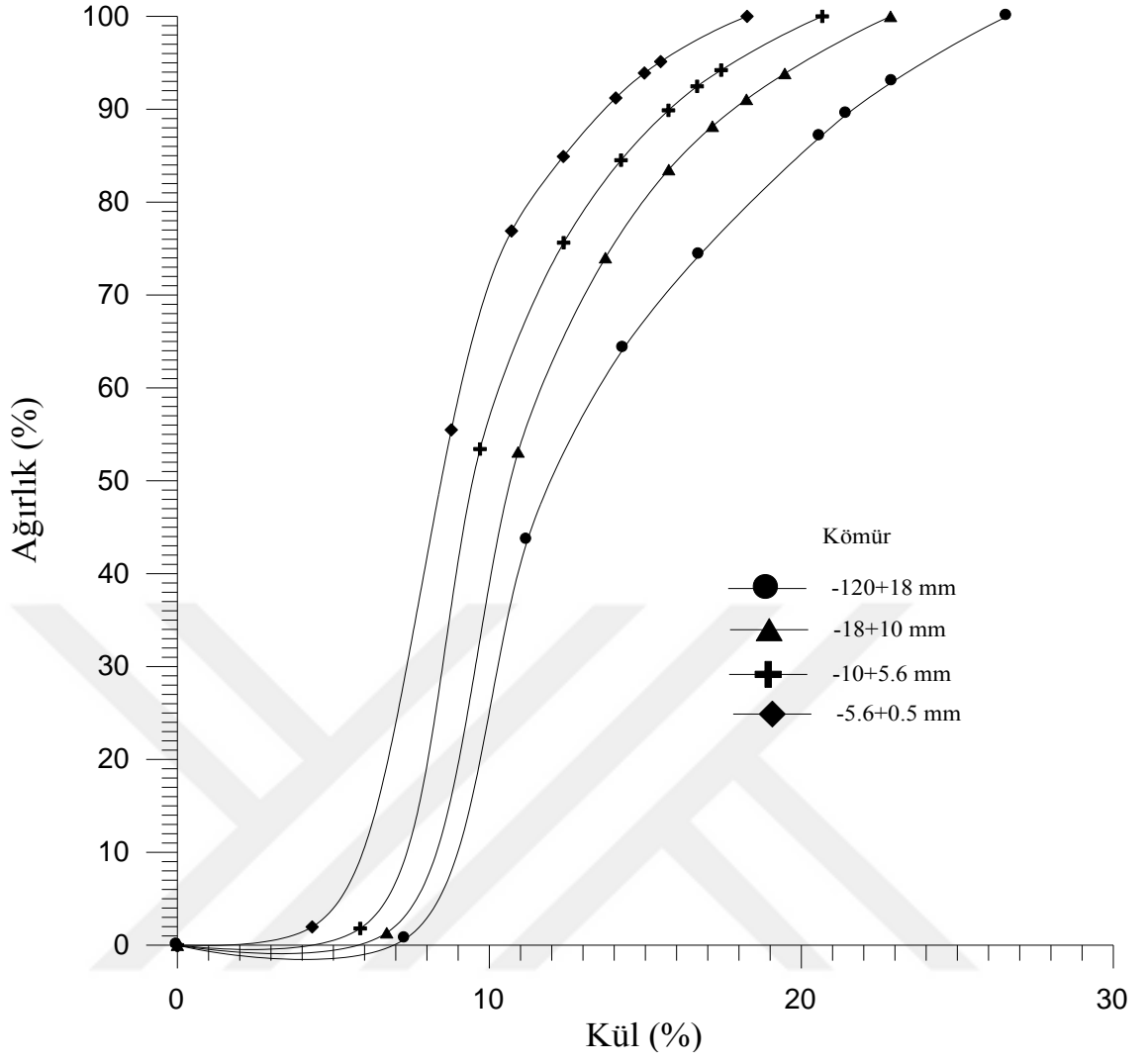
Şekil 4.9’da yukarı ısıl değer grafiğine baktığımızda -120+18 mm tane boyu için kuru bazdaki ısıl değer sonuçlarına göre % 10 kül içeriğinde 5800 kcal/kg ısıl değer, % 15 kül içeriğine sahip ısıl değer miktarı ise 5500 kcal/kg olarak görülmektedir. -18+10 mm tane boyu için kuru bazdaki ısıl değer sonuçlarına göre %10 kül içeriğinde ısıl değer miktarı 6125 kcal/kg ve % 15 kül içeriğine sahip ısıl değer miktarı ise 5750 kcal/kg olarak görülmektedir. -10+5,6 mm tane boyu için kuru bazdaki ısıl değer sonuçlarına göre %10 kül içeriğindeki ısıl değer miktarı 6120 kcal/kg ve % 15 kül içeriğine sahip ısıl değer miktarı ise 5770 kcal/kg olarak elde edilir. -5,6+0,5 mm tane boyu için kuru bazdaki ısıl değer sonuçlarına göre % 10 kül içeriğine sahip 6050 kcal/kg ısıl değer miktarı ve % 15 küllü kömürde ise ısıl değer 5700 kcal/kg olarak görülmektedir.



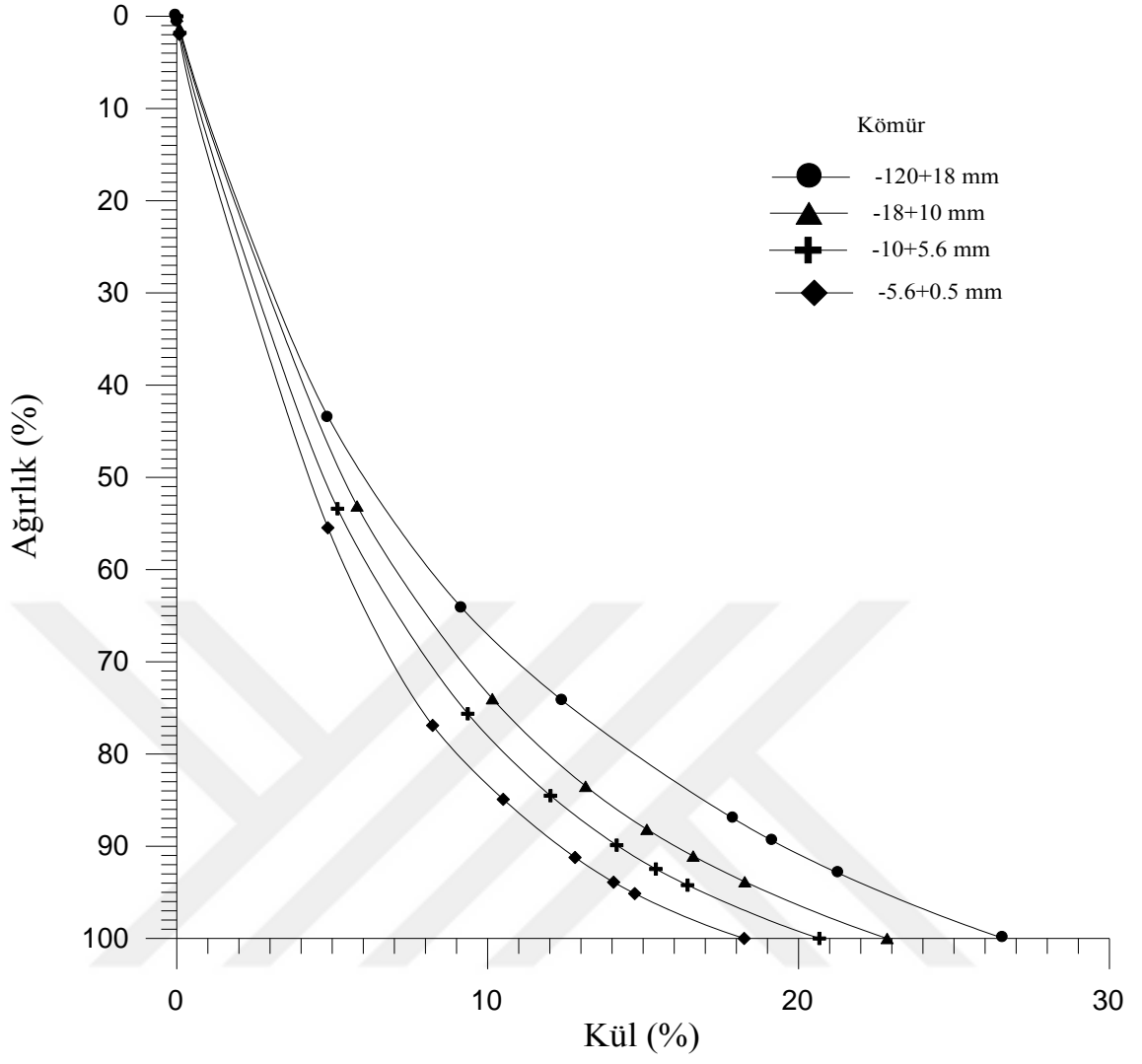
Şekil 4.10 Kömürün yoğunluk değerlerine göre kümülatif yüzen aşağı ısıl değer grafiği



Şekil 4.11 Kömürün kümülatif yüzen kül değerlerine göre aşağı ısıl değer grafiği



Şekil 4.12 Kömür tane boylarına göre kümülatif yüzen eğrisi



Şekil 4.13 Kömür tane boylarına göre M eğrisi

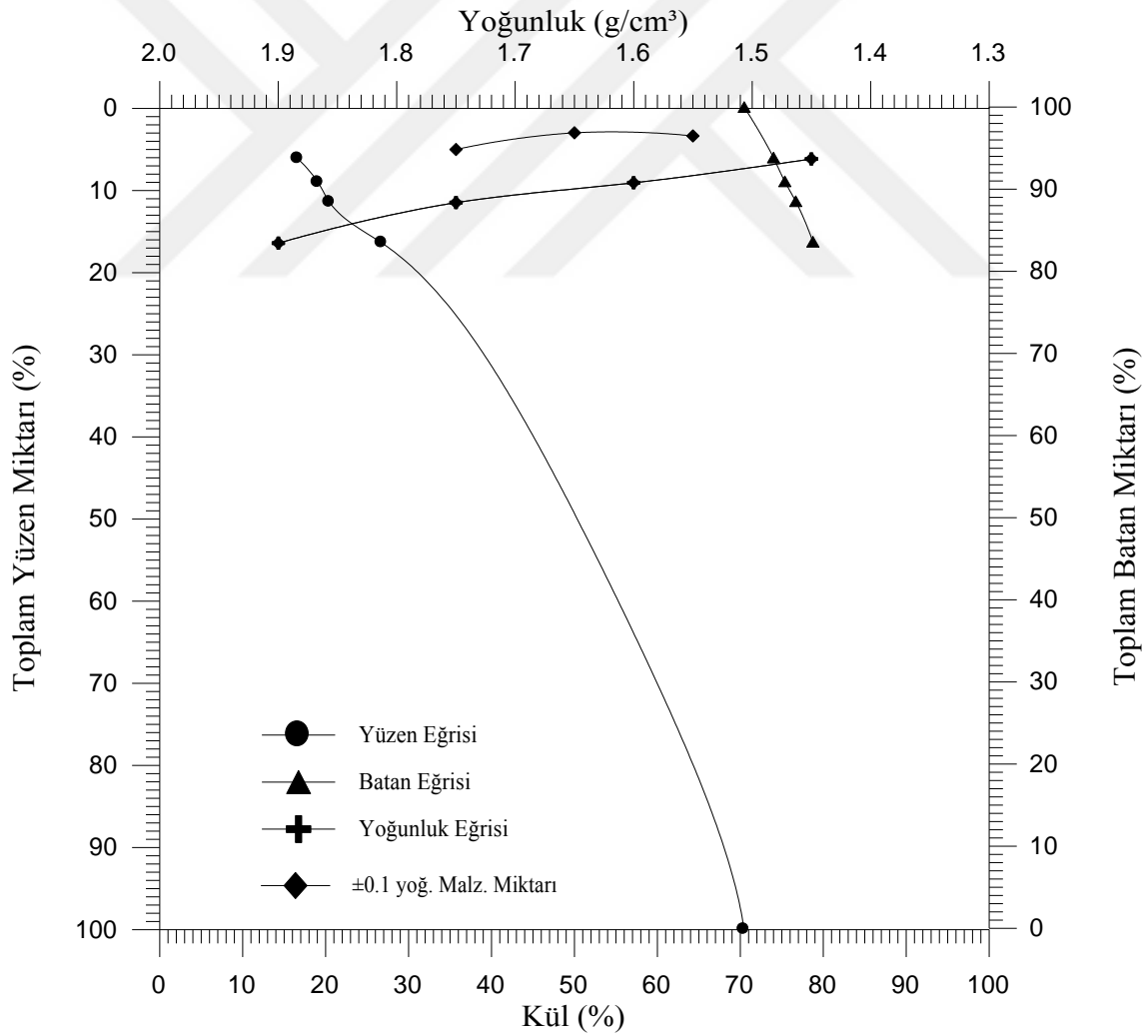
4.1.2 Atığın yüzdürme - batırma deney bulgularının değerlendirilmesi

4.1.2.1 Santrifüjlü yüzdürme - batırma deney bulgularının değerlendirilmesi

Deneylerde atık ana numunesinin -500 µm ve -500+38 µm tane boylarında santrifüj işlemi uygulanmıştır. Ayrıca -10mm'ye kırılmış olan atık örneğinin -500µm tane boyuna santrifüj işlemi uygulanmıştır. 10'ar gram örnek plastik santrifüj tüplerine tartılarak konulmuş, daha sonra ise üzerlerine bromoform, karbontetraklorür ve metil alkol kullanılarak hazırlanmış değişik yoğunluklarda ağır ortam sıvıları (1,30g/cm³- 1,45 g/cm³- 1,60 g/cm³- 1,75 g/cm³- 1,90 g/cm³) ilave edilmiştir ve 30 dakika santrifüjleme uygulanmıştır. 5000 dev/dk.'da 30 dakika süre ile santrifüjlenen atığın etüvde 24 saat süre ile kurutulduktan sonra kül analizleri yapılmıştır. Yüzdürme - batırma deney sonuçları Tablo 4.14, 4.16, 4.18'de, ürünler ve beslemeye göre ürünler Tablo 4.15, 4.17 ve 4.19'da, yıkama eğrileri ise Şekil 4.14, 4.15 ve 4.16'da verilmiştir. İnce partiküller genel olarak düşük çökme hızına sahiptirler. Bu nedenle santrifüjle yüzdürme batırma deneyleri yapılmıştır. Tane boyu inceldikçe serbestleşmenin artmasının sonucu olarak özellikle düşük yoğunluklarda kül içeriğinin düşmesi beklenirdi fakat Tablo 4.18 ve Şekil 4.16'nın incelenmesinden görüleceği gibi -10+0,5 mm tane boyu grubuna göre karşılaştırıldığında kül içeriğinin yüksek olduğu görülmektedir. Örneğin -500 µm tane boyundaki beslemenin kül içeriği % 77,37, -10+0,5 mm tane boyundaki beslemenin kül içeriği yaklaşık olarak % 57 civarındadır. Ayrıca XRD sonuçları değerlendirildiğinde büyük ölçüde kil minerallerinin mevcudiyeti görülmektedir. İnce boyutta, kil mineralleri yüzen üründe yüzen kömür taneleri arasına hapsolması sonucu özellikle düşük yoğunluklarda kül içeriğinin yükselmesine sebep olduğu değerlendirilmiştir. Sonuç olarak ince tane boyunda verimli bir ayırma görülmemiş düşük yoğunluklarda kül içeriğinde yükselme meydana gelmiştir. Ayrıca mineral madde fazlalığı nedeni ile ayarlanan ortam yoğunluğunda bozulma ve viskozitesinde artışta bu sonuçlarda etkili olduğu değerlendirilmiştir.

Tablo 4.14 Atık -500 μm tane boyu için santrifüjlü yüzdürme -batırma deney sonuçları

Yoğunluk (g/cm^3)	Σ Yüzen (%)	Σ Yüzen Kül(%)	Σ Batan (%)	Σ Batan Kül(%)	Yanabilir Verim(%)	$\pm 0,1$ Yoğ. Malzeme	
						Yoğ	$\pm 0,1$ Yoğ. Malzeme Miktarı(%)
1,30	-	-	100,00	70,48	-		
1,45	6,15	16,66	93,85	74,01	17,36	1,55	3,35
1,60	9,05	19,09	90,95	75,38	24,80	1,65	2,96
1,75	11,46	20,49	88,54	76,69	30,87	1,75	5,00
1,90	16,40	26,80	83,60	78,75	40,67		



Şekil 4.14 Atık ana numune -500 μm için santrifüjlü yüzdürme - batırma grafiği

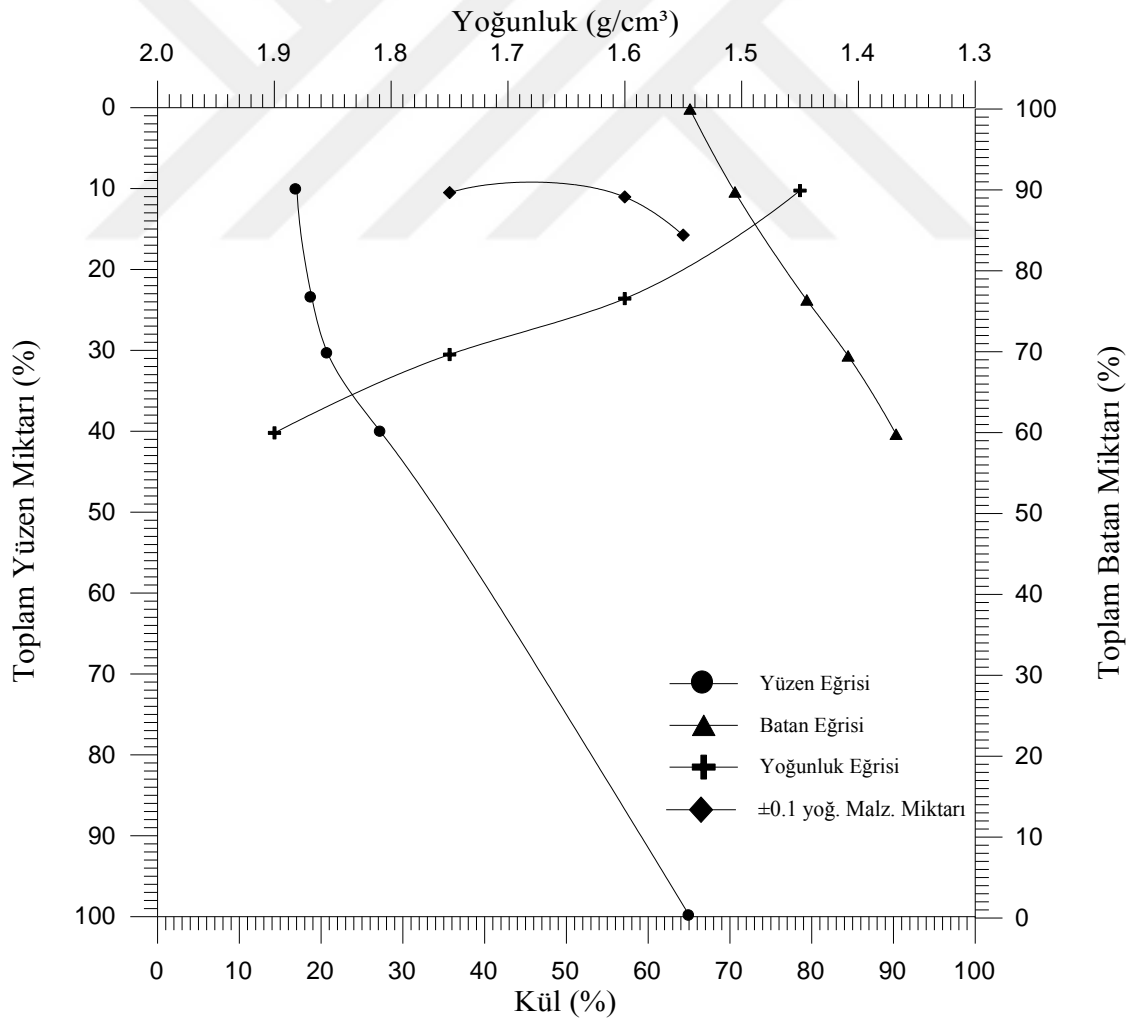
Tablo 4.15 Değişik kül oranlarında zenginleştirme yapıldığında teorik olarak elde edilecek temiz kömür miktarları

Tane İriliği (mm)	Ağırlık (%)	Temiz Kömür	ÜRÜNLER			BESLEMeye GÖRE ÜRÜNLER	
			Ağırlık(%)	Kül(%)	Yanabilir Verim(%)	Ağırlık (%)	Yanabilir Verim(%)
-0,5	42,98	Temiz Kömür	10,30	20	27,91	4,43	12,01
			15,00	25	38,11	6,45	16,39
			19,00	30	45,05	8,17	19,37

Tablo 4.14, Tablo 4.15 ve Şekil 4.14'ün incelenmesinden görüleceği gibi % 20 kül içeriğine sahip, ayırma yoğunluğu $1,70 \text{ g/cm}^3$ olan kütleye % 10,30 ağırlık oranında konsantre elde edilir ve yanabilir verimi % 27,91 olarak hesaplanır. Beslemeye göre ise % 4,43 ağırlık oranında konsantre, beslemedeki yanabilir verim % 12,01 olarak elde edilir. % 25 kül içeriğine sahip ayırma yoğunluğu $1,87 \text{ g/cm}^3$ olan kütleye % 15,00 ağırlık oranında konsantre elde edilir ve yanabilir verimi hesaben % 38,11 olarak bulunur. Beslemeye göre ise % 6,45 ağırlık oranında konsantre, beslemedeki yanabilir verim % 16,39 olarak elde edilir. %30 kül içeriğine sahip, ayırma yoğunluğu $1,95 \text{ g/cm}^3$ olan kütleye % 19,00 ağırlık oranında konsantre elde edilir ve yanabilir verimi % 45,05 olarak hesaplanır. Beslemeye göre ise % 8,17 ağırlık oranında konsantre, beslemedeki yanabilir verim % 19,37 olarak elde edilir.

Tablo 4.16 Atık -500+38 µm santrifüjlü yüzdürme - batırma deney sonuçları

Yoğunluk (g/cm ³)	ΣYüzen (%)	ΣYüzen Kül (%)	ΣBatan (%)	ΣBatan Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	±0,1Yoğ. Malzeme	
						Yoğ	±0,1Yoğ. Malz.Mik. (%)
1,30	-	-	100,00	65,12	-		
1,45	10,25	17,05	89,75	70,63	24,38	1,55	15,75
1,60	23,59	18,87	76,41	79,40	54,87	1,65	11,02
1,75	30,52	20,86	69,48	84,46	69,25	1,75	10,50
1,90	40,20	27,36	59,80	90,33	83,72		



Şekil 4.15 Atık -500+38 µm tane boyu için santrifüjlü yüzdürme- batırma grafiği

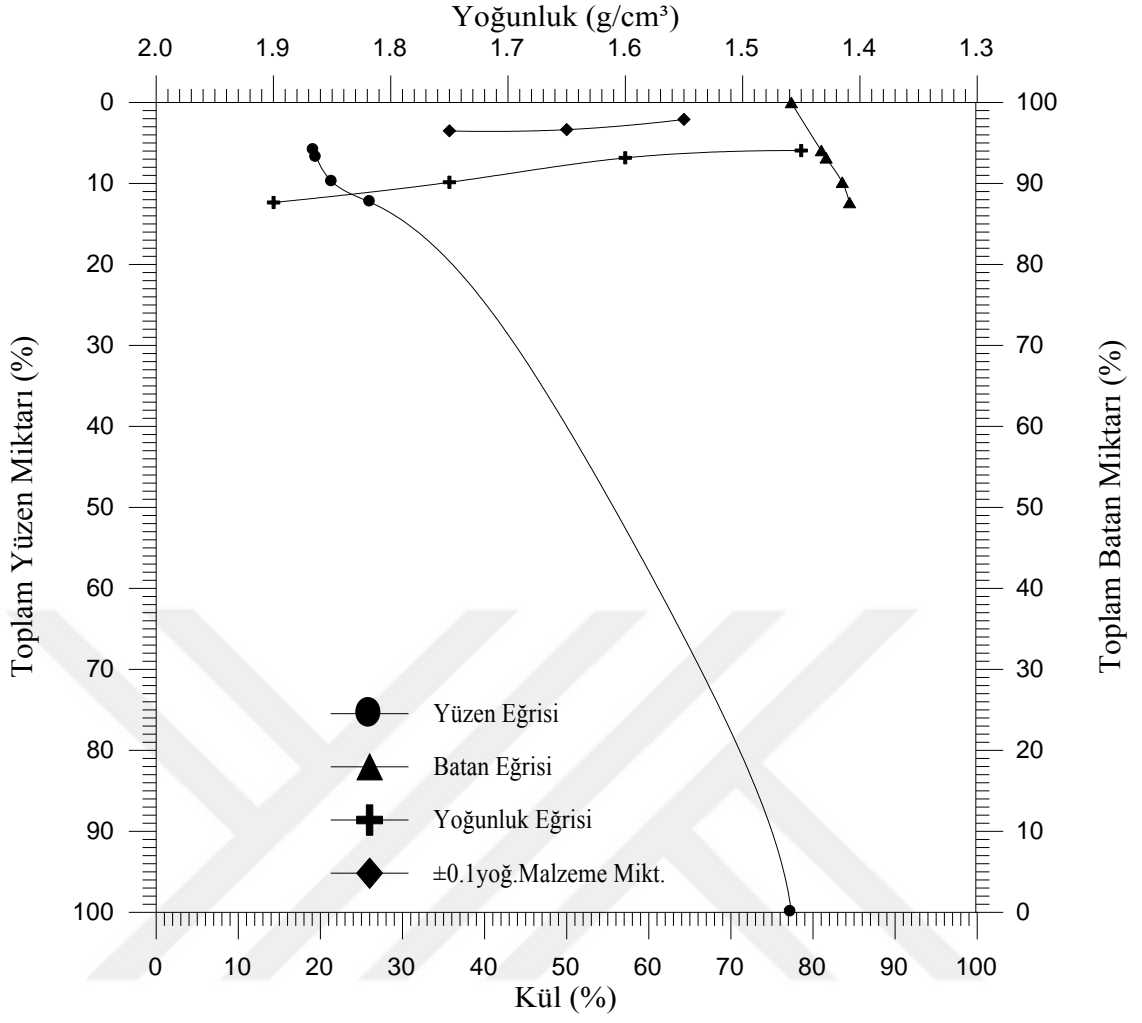
Tablo 4.17 Değişik kül oranlarında zenginleştirme yapıldığında teorik olarak elde edilecek temiz kömür miktarları

Tane İriliği (μm)	Ağırlık (%)	Temiz Kömür	ÜRÜNLER			BESLEMeye GÖRE ÜRÜNLER	
			Ağırlık(%)	Kül(%)	Yanabilir Verim(%)	Ağırlık (%)	Yanabilir Verim(%)
-500+38 μm	43,62	Temiz Kömür	27,50	20	63,07	12,00	27,52
			37,20	25	79,99	16,23	34,90
			43,00	30	86,30	18,76	37,65

Tablo 4.16, Tablo 4.17 ve Şekil 4.15'in incelenmesinden görüleceği gibi hesaben bulunan (%20 kül, %25 kül ve %30 kül) % 20 kül içeriğine sahip, ayırma yoğunluğu $1,69 \text{ g/cm}^3$ olan kütleye % 27,50 ağırlık oranında konsantre elde edilir ve yanabilir verimi hesaben % 63,07 olarak elde edilmiştir. Beslemeye göre ise % 12,00 ağırlık oranında konsantre, beslemedeki yanabilir verim % 27,52 olarak elde edilir. % 25 kül içeriğine sahip ayırma yoğunluğu $1,86 \text{ g/cm}^3$ olan kütleye % 37,20 ağırlık oranında konsantre elde edilir ve yanabilir verimi % 79,99 olarak hesaplanmıştır. Beslemeye göre ise % 16,23 ağırlık oranında konsantre, beslemedeki yanabilir verim % 34,90 olarak elde edilir. % 30 kül içeriğine sahip, ayırma yoğunluğu $1,93 \text{ g/cm}^3$ olan kütleye % 43,00 ağırlık oranında konsantre elde edilir ve yanabilir verimi hesaben % 86,30 olarak elde edilir. Beslemeye göre ise % 18,76 ağırlık oranında konsantre, beslemedeki yanabilir verim % 37,65 olarak elde edilir. Tablo 4.16'da $\pm 0,1$ yoğunluk değerlerinde düşüş eylemi görülmektedir ve $1,65 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda $\pm 0,1$ yoğunluk değeri % 11,02 ve Ateşok'a (2004) göre ayırma orta güçlüktedir.

Tablo 4.18 -10 mm'ye kırılmış atık örneğinin -500 µm tane boyu için santrifüjlü yüzdürme - batırma deney sonuçları

Yoğunluk (g/cm ³)	ΣYüzen (%)	ΣYüzen Kül (%)	ΣBatan (%)	ΣBatan Kül(%)	Yanabilir Verim (%)	±0,1Yoğ. Malzeme	
						Yoğ.	±0,1Yoğ. Malzeme Miktarı(%)
1,30	-	-	100,00	77,37	-		
1,45	5,92	19,25	94,08	81,03	21,12	1,55	2,08
1,60	6,83	19,54	93,17	81,61	24,28	1,65	3,35
1,75	9,85	21,47	90,15	83,57	34,18	1,75	3,50
1,90	12,35	26,12	87,65	84,45	40,32		



Şekil 4.16 -10 mm'ye kırılmış atık örneğinin -500 µm tane boyu için santrifüjli yüzdürme- batırma grafiği

Tablo 4.19 Değişik kül oranlarında zenginleştirme yapıldığında teorik olarak elde edilecek temiz kömür miktarları

Tane İriliği (mm)	Ağırlık (%)	Temiz Kömür	ÜRÜNLER			BESLEMESİNE GÖRE ÜRÜNLER	
			Ağırlık(%)	Kül(%)	Yanabilir Verim(%)	Ağırlık (%)	Yanabilir Verim(%)
-0,5	52,54	Temiz Kömür	8,50	20	30,05	4,47	15,80
			12,00	25	39,77	6,30	20,88
			15,00	30	46,40	7,88	24,37

Tablo 4.18, Tablo 4.19 ve Şekil 4.16'nın incelenmesinden görüleceği gibi hesaben bulunan % 20 kül içeriğine sahip, ayırma yoğunluğu $1,68 \text{ g/cm}^3$ olan kütleye % 8,50 ağırlık oranında konsantre elde edilir ve yanabilir verimi hesaben % 30,05 olarak elde edilir. Beslemeye göre ise % 4,47 ağırlık oranında konsantre, beslemedeki yanabilir verim % 15,80 olarak elde edilir. % 25 kül içeriğine sahip ayırma yoğunluğu $1,88 \text{ g/cm}^3$ olan kütleye % 12,00 ağırlık oranında konsantre elde edilir ve yanabilir verimi % 39,77 olarak hesaplanır. Beslemeye göre ise % 6,30 ağırlık oranında konsantre, beslemedeki yanabilir verim % 20,88 olarak elde edilir. % 30 kül içeriğine sahip, ayırma yoğunluğu $1,97 \text{ g/cm}^3$ olan kütleye % 15,00 ağırlık oranında konsantre elde edilir ve yanabilir verimi hesaben % 46,40 olarak bulunur. Beslemeye göre ise % 7,88 ağırlık oranında konsantre, beslemedeki yanabilir verim % 24,37 olarak elde edilir.

4.1.2.2 Ana numune ile yapılan yüzdürme - batırma deney bulgularının değerlendirilmesi

Bu deneyde öncelikle atık ana numunesiyle farklı tane boylarında (-120+50 mm, -50+18 mm, -18+10 mm, -10+0,5 mm) yüzdürme batırma deneyleri yapılmıştır. Yüzdürme - batırma test sonuçları Tablo 4.20, 4.21, 4.22, 4.23'de, Henry-Reinhard'a göre çizilen yıkanabilirlik eğrileri Şekil 4.17, 4.18, 4.19, 4.20'de, gösterilmiştir. $\pm 0,1$ değerleri $1,55 \text{ g/cm}^3$ - $1,65 \text{ g/cm}^3$ – $1,75 \text{ g/cm}^3$ yoğunluklarında hesaplanmıştır çünkü en düşük yoğunlukta yüzen ürün elde edilememiştir. $\pm 0,1$ yoğunluk değerleri Tablo 4.25'de grafiği ise Şekil 4.24'de gösterilmiştir. Kümülatif yüzen eğrisi Şekil 4.21'de ve M eğrisi Şekil 4.22'de ve normalize grafiği Şekil 4.23'de verilmiştir. Tane boylarına göre elde edilen kül ve yanabilir verim sonuçları Tablo 4.24'de verilmiş, tane iriliğine göre yapılan yüzdürme batırma deney sonuçlarından elde ettiğimiz ürünler ve beslemeye göre ürünler hesaben bulunmuş Tablo 4.26'da gösterilmiştir.

4.1.2.2.1 -120+50 mm tane boyu deney sonuçları

Tablo 4.20 ve Şekil 4.17'ün incelenmesinden görüldüğü gibi atığın yıkanabilirliğini karakterize eden parça kül eğrisinin şekli atığın gravimetrik (yerçekimi) yöntemlerle zenginleştirilebilmesinin kolay mı yoksa zor mu olduğu hususu ile ilgili önemli bilgiler içermektedir. Benzer şekilde kümülatif yüzen eğrilerinin şekilleri de önemli göstergelerdir (Laskowski, 2001). Parça kül eğrisinin şekli atığın temizlenebilmesinin kolay ya da zor olduğu hakkında bilgi verir. Dik açığa şekil veren atıklar gravimetrik yöntemlerle kolaylıkla zenginleştirilebilirliği söylenebilir (Osborne, 1988).

-120+50 mm tane boyu fraksiyonuna göre ocaktan getirildiği haliyle atık üzerinde yapılan yüzdürme-batırma deneylerinde tane boyu incelidikçe yıkanabilirlik eğrilerinde iyileşme olmasına rağmen genellikle zor yıkanabilirlik özelliği olduğunu göstermektedir. Bu durum parça kül eğrilerinin şeklinden de anlaşılabilir. Tablo 4.20'de parça kül eğrisi genellikle eğrinin başlangıcından itibaren belli kül değerlerine kadar doğruya yakın şekiller almaktadır. Benzer durumlar Şekil 4.22 ve Şekil 4.23 'de verilen M eğrisi ve normalize edilmiş M eğrilerinden görülebilir. M eğrilerinin değerlendirilmesinden görüleceği gibi tane boyu incelidikçe atık ve mineral madde arasında serbestleşmenin artmasıyla birlikte yıkanabilirlikte iyileşmeler görülmektedir. Ayrıca Şekil 4.21'de kümülatif yüzen eğrisinden görüleceği gibi atığın tane boyu incelidikçe aynı kül oranındaki malzemeyi daha yüksek verimlerle kazanılabildiği görülmektedir. Dolayısıyla ince boyutlarda serbestleşme sonucu olarak iyileşme görülmektedir.

Atığın zenginleştirilebilirliğinin değerlendirilmesinde, uygulamada en çok yararlanılan eğri $\pm 0,1$ dağılım eğrisidir. Düşük değerlerde ($< \%10$) ayırma kolayken, yüksek değerlerde ayırma zorlaşmaktadır. Tablo 4.25'de tane iriliğine bağlı olarak yakın yoğunluktaki malzemenin değişimi gösterilmiş, bazı yoğunluk değerlerinde sapsmalara rağmen tane iriliği azaldıkça genel olarak $\pm 0,1$ yoğunluk değerlerinde düşüş eğilimi görülmektedir. Bu durum serbestleşmenin artmasına dayandırılabilir. Tablodaki değerler incelendiğinde $\pm 0,1$ değerlerinin $\% 10$ 'dan büyük olduğu görülmektedir. Bu durum sulu gravimetrik cihazlarla ayırmanın (zenginleştirmenin) kolay olmadığını göstermektedir. Yakın yoğunluktaki malzemeyi esas alan Ateşok'un (2014) değerlendirme tablosu dikkate alındığında atığın yıkanabilirlik karakteristiğinin güç ve çok güç olduğu görülmektedir.

Tablo 4.20'de görüldüğü gibi $-1,60 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda zenginleştirme yapıldığında % 67,37 kül içeren bir beslemeden yaklaşık % 19,84 ağırlık oranında temiz kömür % 32,25 kül oranıyla üretilmektedir. Bu durumda yanabilir verim % 41,19 olarak elde edilir. $1,60 \text{ g/cm}^3$ ve $1,90 \text{ g/cm}^3$ arasındaki malzeme (%30,16) yüksek miktardadır ve ara ürün miktarının yüksekliğinin başka bir göstergesidir. Serbestleşme olmamasının da başka bir ifadesidir.

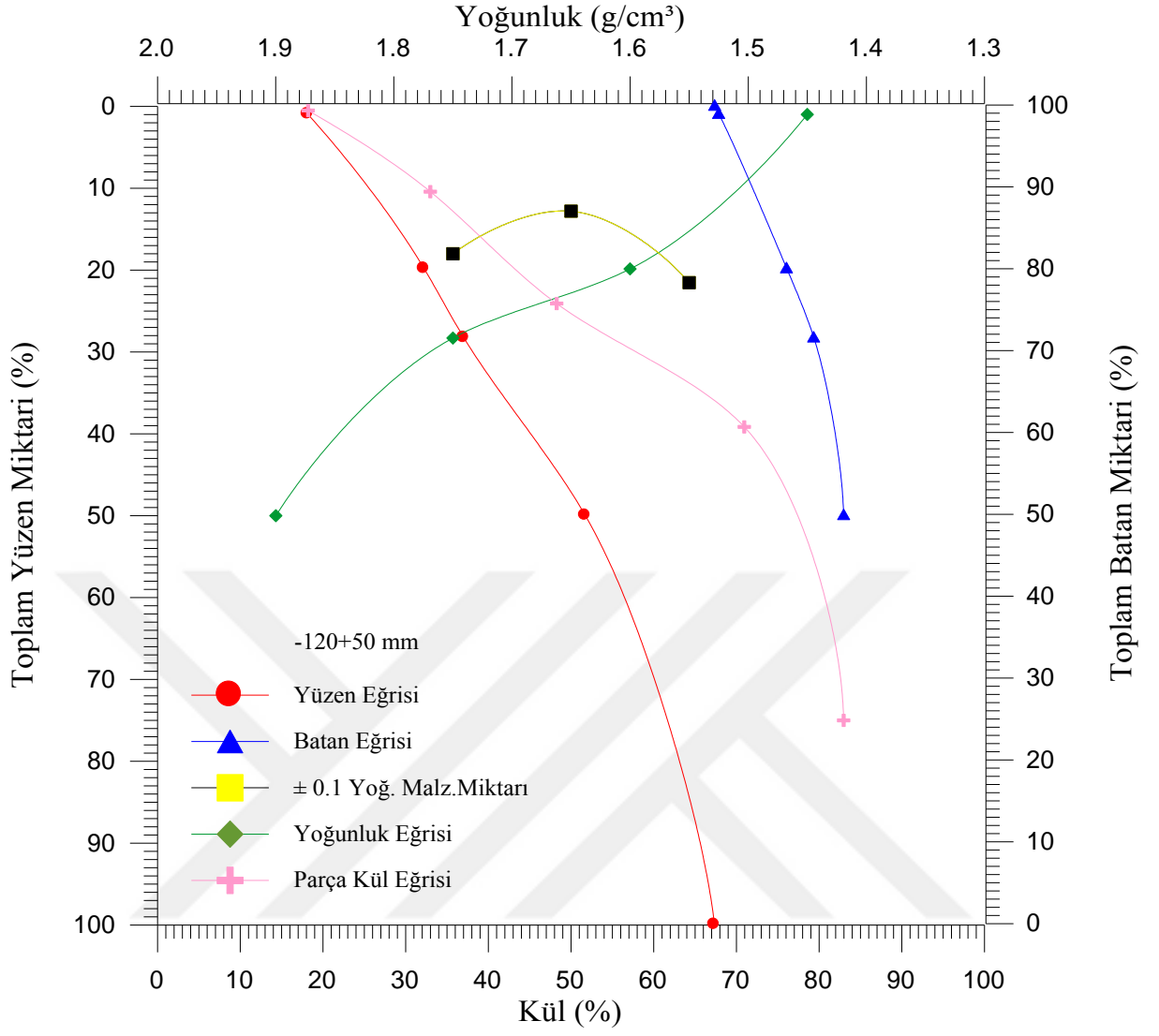
-120+50 mm tane iriliğinde yapılan yüzdürme - batırma deney sonuçlarına göre Şekil 4.17'den hesaben bulunan (%20 - %25 ve %30 kül) % 20 kül içeriğine sahip, ayırma yoğunluğu $1,47 \text{ g/cm}^3$ olan kütlice % 3,50 ağırlık oranında temiz kömür elde edilir. $\pm 0,1$ yoğunluğunda malzeme miktarı yaklaşık olarak % 32 ve yanabilir verim % 8,58 olarak hesaplanmıştır. Beslemeye göre ise % 1,23 ağırlık oranında konsantre ve beslemedeki yanabilir verim % 3,02 olarak elde edilir.

% 25 kül içeriğine sahip ve ayırma yoğunluğu $1,50 \text{ g/cm}^3$ olan kütlice % 9,00 ağırlık oranında konsantre (temiz kömür) elde edilebilir. $\pm 0,1$ yoğunluğunda malzeme miktarı yaklaşık olarak % 28 ve yanabilir verim hesaben % 20,69 olarak bulunur. Beslemeye göre ise % 3,17 ağırlık oranında konsantre (temiz kömür) ve beslemedeki yanabilir verim % 7,29 olarak elde edilir.

% 30 kül içeriğine sahip, ayırma yoğunluğu $1,56 \text{ g/cm}^3$ olan kütlice % 16,30 ağırlık oranında temiz kömür elde edilir. $\pm 0,1$ yoğunluğundaki malzeme miktarı ise yaklaşık olarak % 20,50 ve yanabilir verim % 34,97 olarak elde edilir. Beslemeye göre ise % 5,73 ağırlık oranında konsantre ve beslemedeki yanabilir verim % 12,29 olarak elde edilir.

Tablo 4.20 -120+50 mm Tane Sınıfı Yıkanabilirlik Değerleri

Yoğunluk Aralığı (g/cm ³)	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme			Toplam Yüzen			Toplam Batan			±0,1Yoğ. Malzeme		y
	Miktar (%) M	Kül (%) K	MxK	Miktar (%) Σ M ↓	ΣMxK↓	Kül,% $\frac{\Sigma MxK\downarrow}{\Sigma M\downarrow}$	Miktar (%) Σ M ↑	ΣMxK↑	Kül,% $\frac{\Sigma MxK\uparrow}{\Sigma M\uparrow}$	Yoğ.	± 0,1 Yoğ. Malzeme Miktarı. %	
-1,30	-											
+1,30-1,45	0,98	18,19	17,83	0,98	17,83	18,19	100	6736,90	67,37	1,55	21,52	0,49
+1,45-1,60	18,86	32,98	622,00	19,84	639,83	32,25	99,02	6719,07	67,86	1,65	12,80	10,41
+1,60-1,75	8,46	48,28	408,45	28,30	1048,28	37,04	80,16	6097,07	76,06	1,75	18,00	24,07
+1,75-1,90	21,70	70,95	1539,62	50,00	2587,90	51,76	71,70	5688,62	79,34			39,15
+1,90	50,00	82,98	4149,00	100	6736,90	67,37	50,00	4149,00	82,98			75,00
TOPLAM	100	67,37	6737									



Şekil 4.17 -120+50 mm tane boyundaki atığın yıkanabilirlik eğrileri

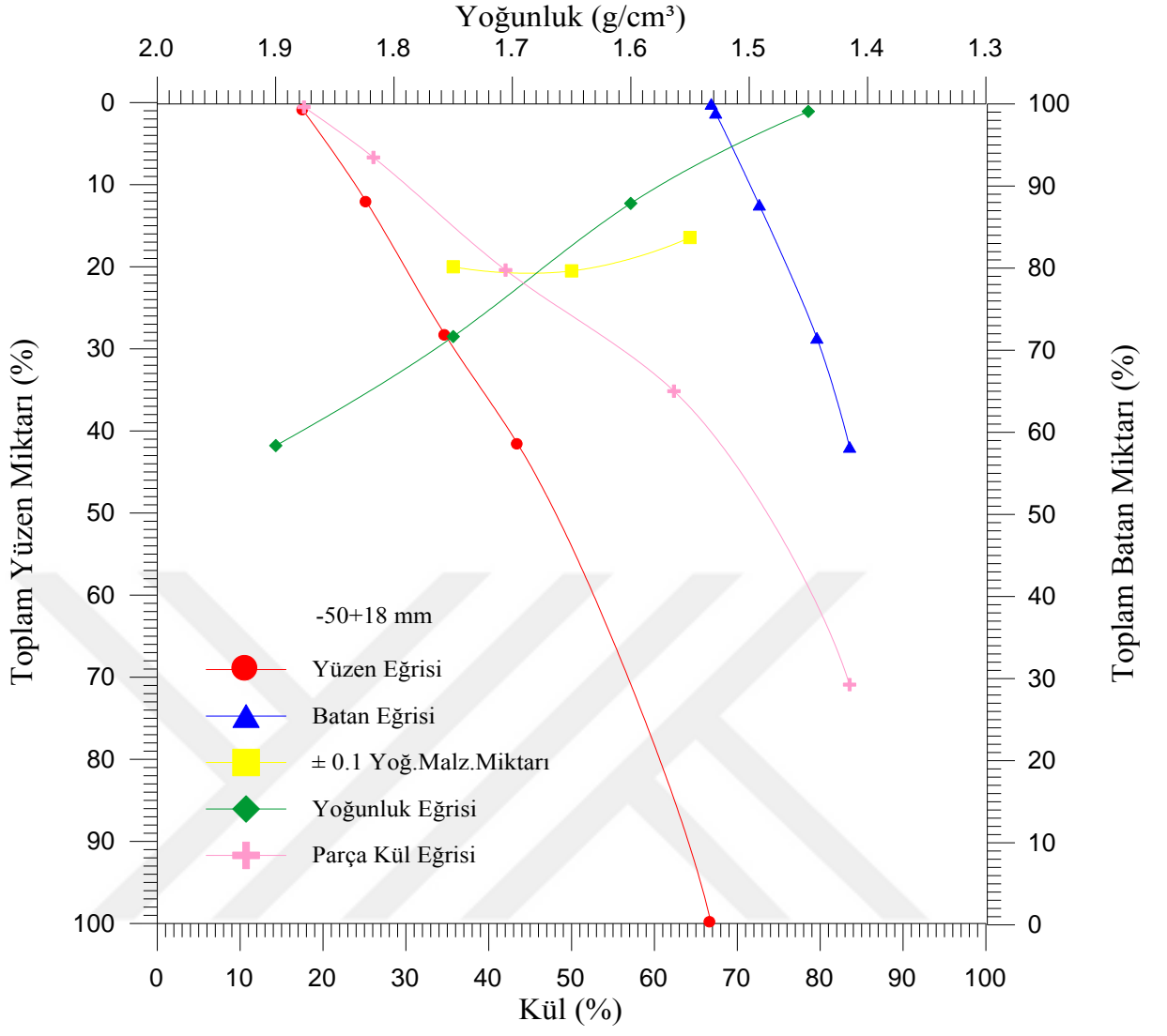
4.1.2.2.2 -50+18 mm tane boyu deney sonuçları

-50+18 mm tane boyu fraksiyonu için Tablo 4.21 ve Şekil 4.18'in incelenmesinden görüldüğü gibi parça kül eğrisinin şeklinden atığın zor yıkanabilirlikte olduğunu söyleyebiliriz. Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'den M eğrisi ve normalize edilmiş M eğrilerinden benzer durumları görebiliriz. Şekil 4.21'de kümülatif yüzen eğrisine baktığımızda ince boyutlarda serbestleşme sonucu olarak iyileşme görülmektedir, atığın tane boyu inceldikçe aynı kül oranındaki malzeme daha yüksek verimlerle kazanılabildiği görülmektedir. -50+18 mm tane boyu için yüzdürme batırma deney sonuçlarına baktığımızda Tablo 4.21'de $\pm 0,1$ değerleri, yakın yoğunluktaki malzemeyi esas alan Ateşok'un (2014) değerlendirme tablosuna göre yıkanabilirlik karakteristiğinin güç ve çok güç olduğunu göstermektedir. $1,60 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda zenginleştirme yapıldığında % 66,85 kül içeren bir beslemeden yaklaşık % 12,28 ağırlık oranında temiz kömür % 25,34 kül oranıyla üretilmektedir. Bu durumda yanabilir verim hesaben % 27,66 olarak elde edilir. $1,60 \text{ g/cm}^3$ ve $1,90 \text{ g/cm}^3$ arasındaki malzemenin (% 29,51) yüksek olması ara ürün miktarının yüksekliğinin göstergesidir. -50+18 mm tane iriliğinde yapılan yüzdürme batırma deney sonuçlarına göre Şekil 4.18'e baktığımızda hesaben bulunan % 20 kül içeriğine sahip, ayırma yoğunluğu $1,50 \text{ g/cm}^3$ olan kütleye % 4 ağırlık oranında konsantre (temiz kömür) elde edilir. $\pm 0,1$ yoğunluğunda malzeme miktarı yaklaşık olarak % 12,00 ve yanabilir verim % 9,65 olarak elde edilir. Beslemeye göre ise % 0,49 ağırlık oranında konsantre ve beslemedeki yanabilir verim % 1,18 olarak çok düşük miktarlarda olduğunu söyleyebiliriz.

% 25 kül içeriğine sahip ve ayırma yoğunluğu $1,60 \text{ g/cm}^3$ olan kütleye % 12 ağırlık oranında konsantre (temiz kömür) elde edilebilir. $\pm 0,1$ yoğunluğunda malzeme miktarı yaklaşık olarak % 18,50 ve hesaben bulunan yanabilir verim % 27,15 olarak elde edilir. Beslemeye göre ise % 1,48 ağırlık oranında temiz kömür ve beslemedeki yanabilir verim % 3,35 olarak elde edilir. % 30 kül içeriğine sahip, ayırma yoğunluğu $1,68 \text{ g/cm}^3$ olan kütleye % 20,00 ağırlık oranında temiz kömür elde edilir. $\pm 0,1$ yoğunluğundaki malzeme miktarı ise yaklaşık olarak % 21,00 ve yanabilir verim % 42,23 olarak hesaben bulunmuştur. Beslemeye göre ise % 2,47 ağırlık oranında konsantre (temiz kömür) ve beslemedeki yanabilir verim % 5,22 olarak elde edilir.

Tablo 4.21 -50+18 mm Tane Sınıfı Yıkanabilirlik Değerleri

Yoğunluk Aralığı (g/cm ³)	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme			Toplam Yüzen			Toplam Batan			±0,1 Yoğ. Malzeme		y
	Miktar (%) M	Kül (%) K	MxK	Miktar (%) Σ M ↓	ΣMxK↓	Kül,% $\frac{\Sigma MxK\downarrow}{\Sigma M\downarrow}$	Miktar (%) Σ M ↑	ΣMxK↑	Kül,% $\frac{\Sigma MxK\uparrow}{\Sigma M\uparrow}$	Yoğ.	± 0,1 Yoğ. Malzeme Miktarı. %	
-1,30	-											
+1,30-1,45	1,08	17,69	19,11	1,08	19,11	17,69	100	6684,95	66,85	1,55	16,42	0,54
+1,45-1,60	11,20	26,08	292,10	12,28	311,21	25,34	98,92	6665,84	67,39	1,65	20,50	6,68
+1,60-1,75	16,23	42,03	682,15	28,51	993,36	34,84	87,72	6373,74	72,66	1,75	20,00	20,40
+1,75-1,90	13,28	62,36	828,14	41,79	1821,50	43,59	71,49	5691,59	79,61			35,15
+1,90	58,21	83,55	4863,45	100	6684,95	66,85	58,21	4863,45	83,55			70,90
TOPLAM	100	66,85	6685									



Şekil 4.18 -50+18 mm tane boyu atığın yıkanabilirlik eğrileri

4.1.2.2.3 -18+10 mm tane boyu deney sonuçları

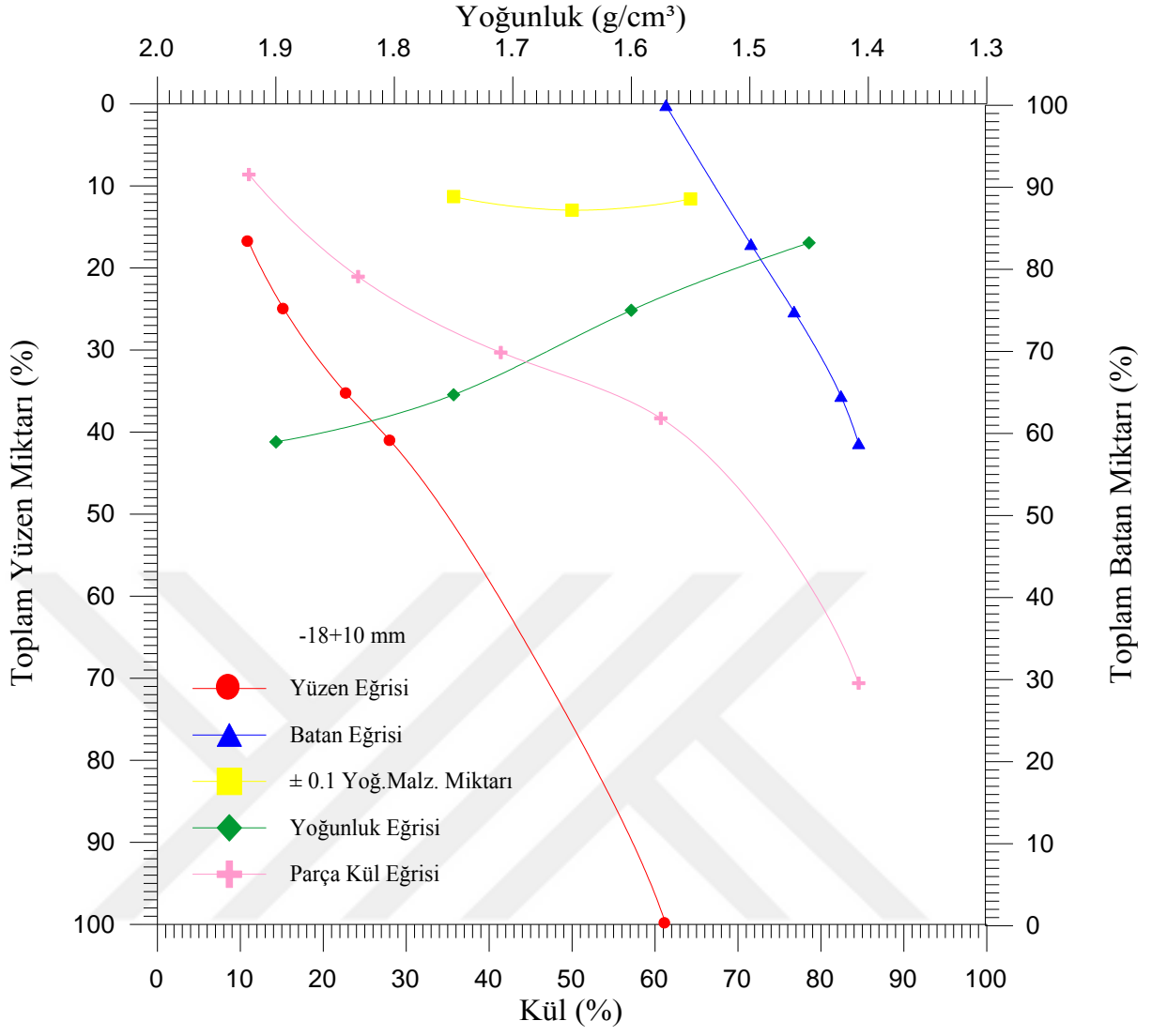
Tablo 4.22 ve Şekil 4.19'un incelenmesinden görüldüğü gibi atığın yıkanabilirliğini karakterize eden parça kül eğrisinin şekline baktığımızda ayırmanın zor olduğunu söyleyebiliriz. Şekil 4.21'de kümülatif yüzen eğrisinden görüldüğü gibi ince boyutlarda serbestleşme sonucu olarak iyileşme görülmektedir, atığın tane boyu incelidikçe aynı kül oranındaki malzeme daha yüksek verimlerle kazanılabildiğini söyleyebiliriz. -18+10 mm tane boyu için yüzdürme - batırma deney sonuçlarına baktığımızda atığın $\pm 0,1$ yoğunluk değerlerinde bazı sapmalara rağmen $1,65 \text{ g/cm}^3$ ve $1,75 \text{ g/cm}^3$ yoğunluk aralığında düşüş eğilimi görülmektedir. Bu durum serbestleşmenin artmasına dayandırılabilir. Yakın yoğunluktaki malzemeyi esas alan Ateşok'un (2014) değerlendirme tablosuna göre yıkanabilirlik karakteristiğinin orta güçlükte olduğunu söyleyebiliriz. $1,60 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda zenginleştirme yapıldığında % 61,33 kül içeren bir beslemeden yaklaşık % 25,15 ağırlık oranında bir konsantre (temiz kömür) % 15,33 kül oranıyla üretilmektedir. Bu durumda yanabilir verim % 55,07 olarak elde edilir. -18+10 mm tane iriliğinde yapılan yüzdürme batırma deney sonuçlarına göre Şekil 4.19'a baktığımızda hesaben bulunan % 20 kül içeriğine sahip, ayırma yoğunluğu $1,70 \text{ g/cm}^3$ olan kütlece % 32,00 ağırlık oranında temiz kömür elde edilir. $\pm 0,1$ yoğunluğunda malzeme miktarı yaklaşık olarak % 12,50 ve yanabilir verim % 66,20 olarak elde edilmektedir. Beslemeye göre ise % 0,41 ağırlık oranında konsantre ve beslemedeki yanabilir verim % 0,85 olarak çok düşük miktarlarda olduğunu söyleyebiliriz.

% 25 kül içeriğine sahip ve ayırma yoğunluğu $1,80 \text{ g/cm}^3$ olan kütlece % 37,80 ağırlık oranında temiz kömür elde edilebilir. $\pm 0,1$ yoğunluğunda malzeme miktarı yaklaşık olarak % 9,00 ve yanabilir verim hesaben % 73,31 olarak elde edilir. Beslemeye göre ise % 0,48 ağırlık oranında temiz kömür ve beslemedeki yanabilir verim % 0,93 olarak elde edilir.

% 30 kül içeriğine sahip, ayırma yoğunluğu $2,00 \text{ g/cm}^3$ olan kütlece % 43,50 ağırlık oranında temiz kömür % 78,74 yanabilir verimle üretilmektedir. Beslemeye göre ise % 0,55 ağırlık oranında konsantre ve beslemedeki yanabilir verim % 1,00 olarak elde edilir.

Tablo 4.22 -18+10 mm Tane Sınıfı Yıkanabilirlik Değerleri

Yoğunluk Aralığı (g/cm ³)	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme			Toplam Yüzen			Toplam Batan			±0,1Yoğ. Malzeme		y
	Miktar (%) M	Kül (%) K	MxK	Miktar (%) Σ M ↓	ΣMxK↓	Kül,% ΣMxK↓ ΣM↓	Miktar (%) Σ M ↑	ΣMxK↑	Kül,% ΣMxK↑ ΣM↑	Yoğ.	± 0,1 Yoğ. Malzeme Miktarı. %	
-1,30	-						100					
+1,30-1,45	16,62	11,02	186,46	16,92	186,46	11,02	99,70	6132,52	61,33	1,55	11,58	8,61
+1,45-1,60	8,23	24,20	199,17	25,15	385,63	15,33	83,08	5946,06	71,57	1,65	12,95	21,04
+1,60-1,75	10,30	41,39	426,32	35,45	811,95	22,90	74,85	5746,89	76,78	1,75	11,30	30,30
+1,75-1,90	5,75	60,70	349,03	41,20	1160,98	28,18	64,55	5320,57	82,43			38,33
+1,90	58,80	84,55	4971,54	100	6132,52	61,33	58,80	4971,54	84,55			70,60
TOPLAM	100	61,33	6133									



Şekil 4.19 -18+10 mm tane boyu atığın yıkanabilirlik eğrileri

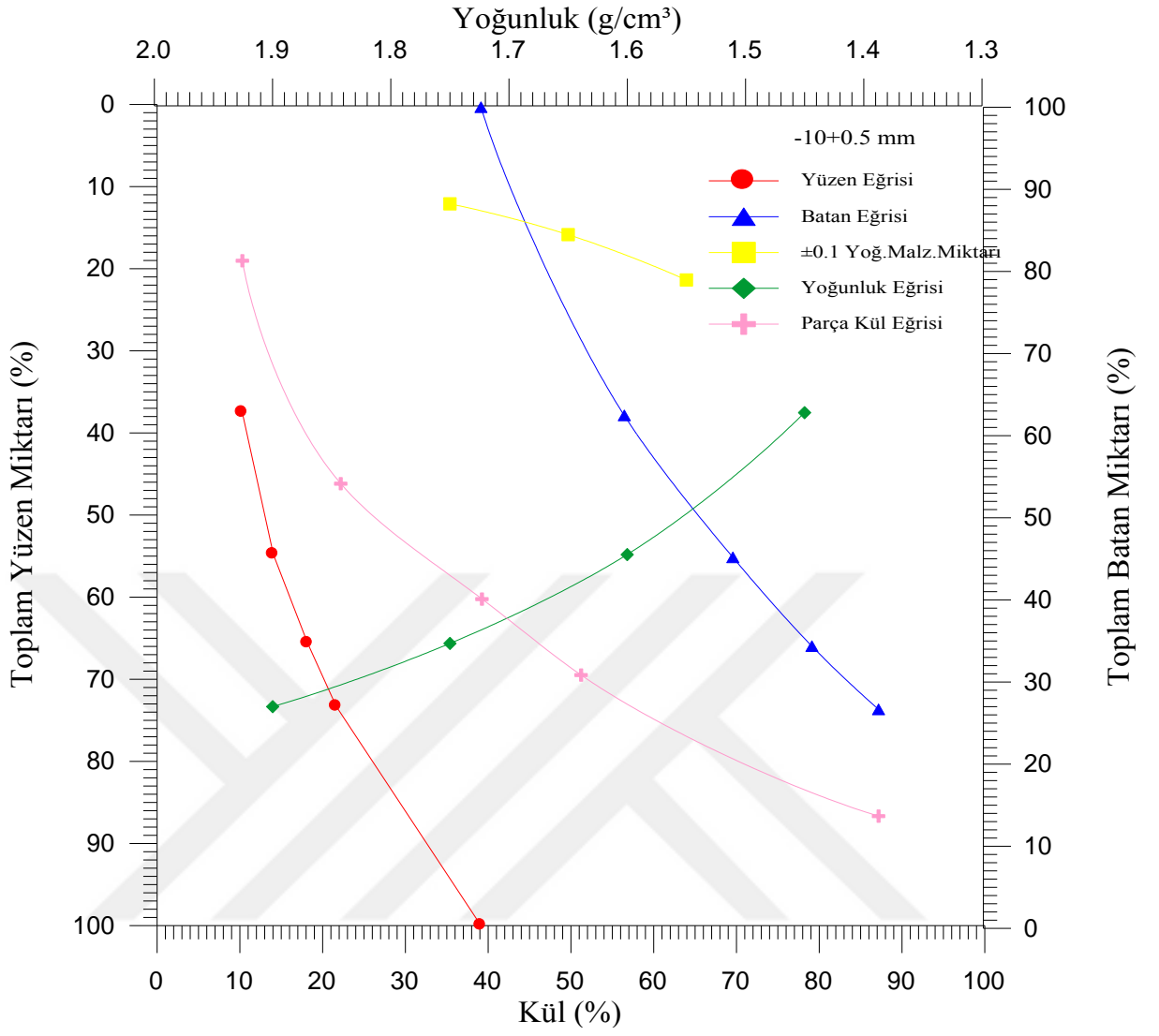
4.1.2.2.4 -10+0.5 mm tane boyu deney sonuçları

Tablo 4.23 ve Şekil 4.20'nin incelenmesinden görüldüğü gibi atığın yıkanabilirliğini karakterize eden parça kül eğrisinde tane boyu inceldikçe iyileşmeler görülmekte ve bu tane boyunda yıkanabilirliğinin kolay olduğunu söyleyebiliriz. Şekil 4.22'de M eğrilerinin değerlendirilmesinden görüleceği gibi atık ve mineral madde arasında serbestleşmenin artmasıyla birlikte yıkanabilirlikte iyileşmeler görünmektedir. -10+0,5 mm tane boyu için yüzdürme - batırma deney sonuçlarına göre atığın zenginleştirilebilirliğinin değerlendirilmesinde $\pm 0,1$ dağılım eğrisine baktığımızda $\pm 0,1$ değerlerinde düşüş eğilimi görülmektedir. Bu durum serbestleşmenin artmasına dayandırılabilir. Şekil 4.21'de kümülatif yüzen eğrisinden görüleceği gibi atığın tane boyu inceldikçe aynı kül oranındaki malzemeyi daha yüksek verimlerle kazanılabildiği görülmektedir. Dolayısıyla ince boyutlarda serbestleşme sonucu olarak iyileşme görülmektedir. -1,60 g/cm³ yoğunluğunda zenginleştirme yapıldığında % 39,13 kül içeren bir beslemeden yaklaşık % 54,83 ağırlık oranında bir temiz kömür % 14,05 kül oranıyla üretilmektedir. Bu durumda yanabilir verim % 77,42 olarak hesaplanır. -10+0,5 mm tane iriliğinde yapılan yüzdürme batırma deney sonuçlarına göre Şekil 4.20'ye baktığımızda hesaben bulunan % 20 kül içeriğine sahip, ayırma yoğunluğu 1,83 g/cm³ olan kütlece % 69,50 ağırlık oranında konsantre (temiz kömür) elde edilir. $\pm 0,1$ yoğunluğunda malzeme miktarı yaklaşık olarak % 9,00 ve yanabilir verim % 91,34 olarak elde edilmektedir. Beslemeye göre ise % 5,71 ağırlık oranında konsantre ve beslemedeki yanabilir verim % 7,51 olarak çok düşük miktarlarda olduğunu söyleyebiliriz.

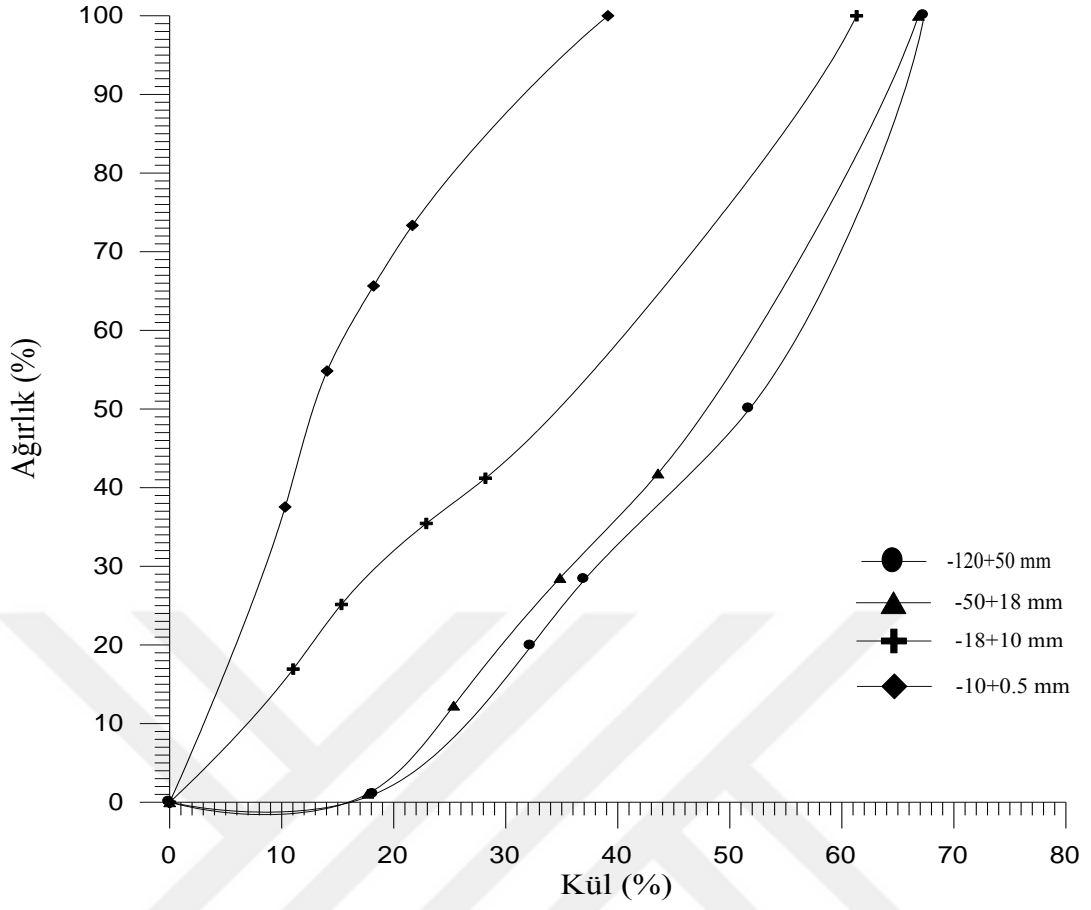
% 25 kül içeriğine sahip ve ayırma yoğunluğu 2,10 g/cm³ olan kütlece % 78,50 ağırlık oranında konsantre(temiz kömür) elde edilebilir. $\pm 0,1$ yoğunluğunda malzeme miktarı yaklaşık olarak % 7,00 ve yanabilir verim hesaben % 96,72 olarak elde edilir. Beslemeye göre ise % 6,45 ağırlık oranında temiz kömür ve beslemedeki yanabilir verim % 7,95 olarak elde edilir. % 30 kül içeriğine sahip, ayırma yoğunluğu 2,30 g/cm³ olan kütlece % 85,50 ağırlık oranında temiz kömür elde edilir. $\pm 0,1$ yoğunluğunda malzeme miktarı yaklaşık olarak % 5,00 ve yanabilir verim % 98,32 olarak elde edilir. Beslemeye göre ise % 7,02 ağırlık oranında konsantre ve beslemedeki yanabilir verim % 8,07 olarak elde edilir.

Tablo 4.23 -10+0,5 mm Tane Sınıfı Yıkanabilirlik Değerleri

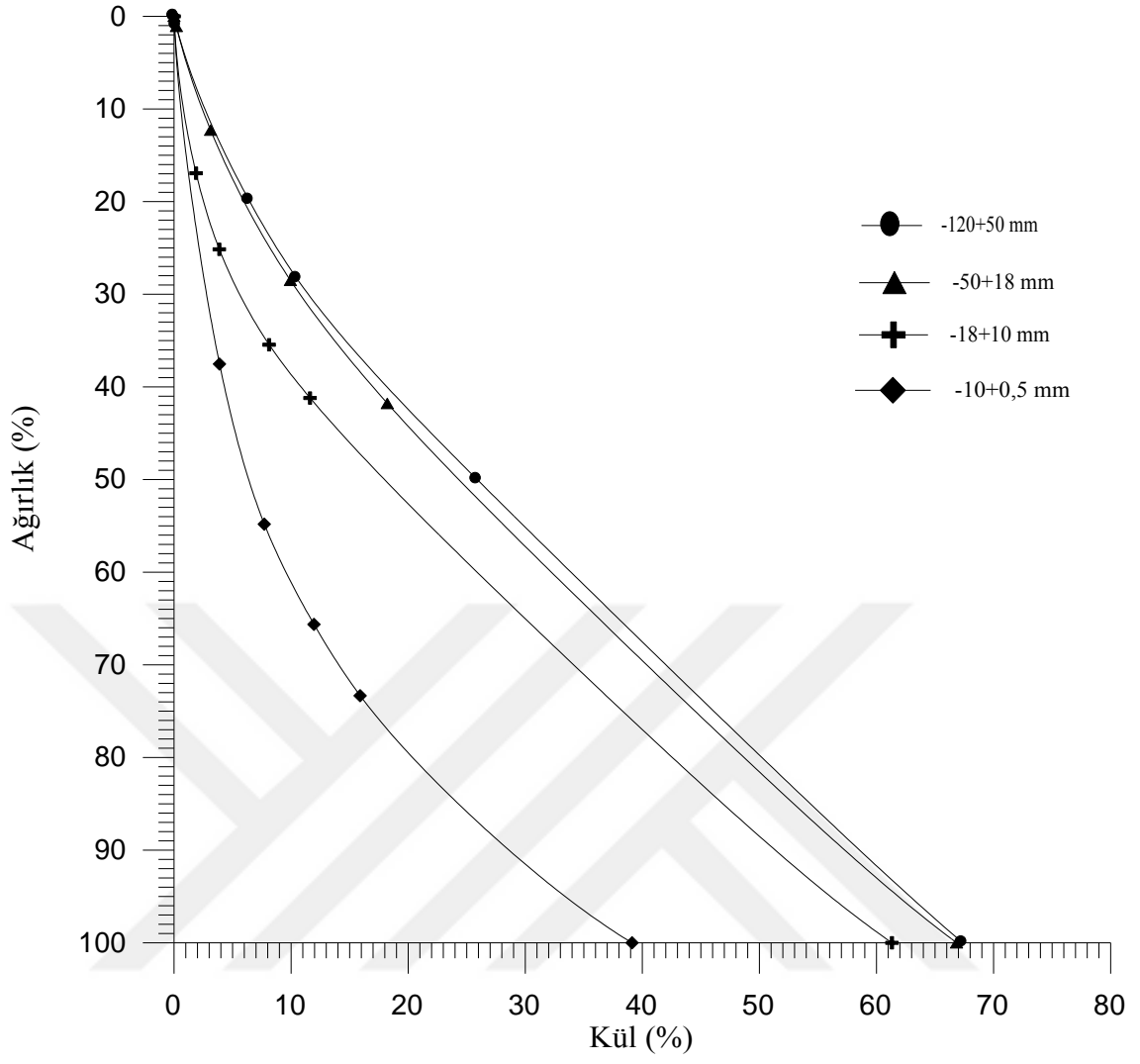
Yoğunluk Aralığı (g/cm ³)	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme			Toplam Yüzen			Toplam Batan			±0,1Yoğ. Malzeme		y
	Miktar (%) M	Kül (%) K	MxK	Miktar (%) Σ M ↓	ΣMxK↓	Kül,% ΣMxK↓ ΣM↓	Miktar (%) Σ M ↑	ΣMxK↑	Kül,% ΣMxK↑ ΣM↑	Yoğ.	± 0,1 Yoğ. Malzeme Miktarı. %	
-1,30	-						100					
+1,30-1,45	37,54	10,30	386,66	37,54	386,66	10,30	99,50	3913,10	39,13	1,55	21,36	19,02
+1,45-1,60	17,29	22,18	383,49	54,83	770,15	14,05	62,46	3526,44	56,46	1,65	15,84	46,19
+1,60-1,75	10,81	39,24	424,18	65,64	1194,33	18,20	45,17	3142,95	69,58	1,75	12,10	60,24
+1,75-1,90	7,70	51,24	394,55	73,34	1588,88	21,66	34,36	2718,77	79,13			69,49
+1,90	26,66	87,18	2324,22	100	3913,10	39,13	26,66	2324,22	87,18			86,67
TOPLAM	100	39,13	3913									



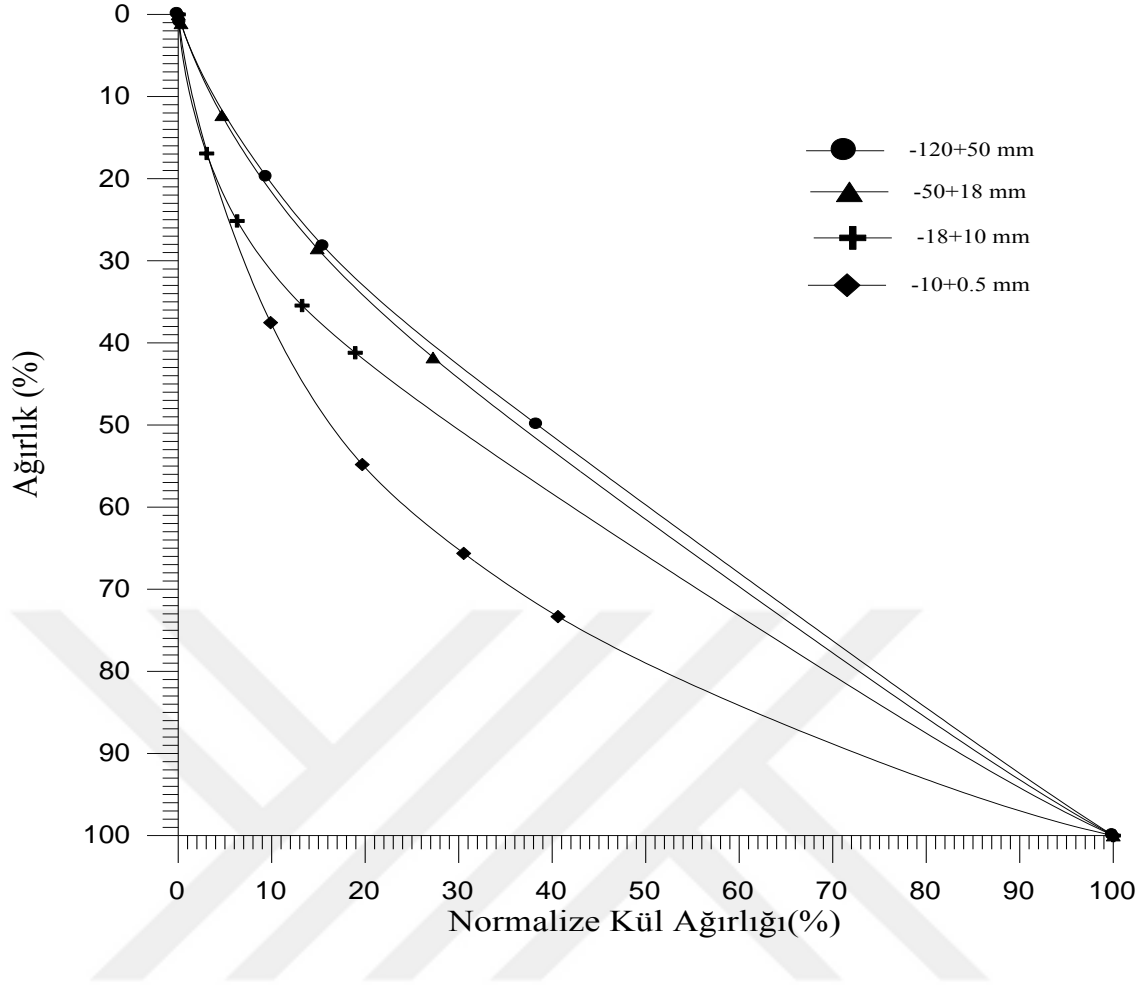
Şekil 4.20 -10+0,5 mm tane boyu atığın yıkanabilirlik eğrileri



Şekil 4.21 Atık tane boylarına göre kümülatif yüzen eğrileri



Şekil 4.22 Atık tane boylarına göre M (Mayer) eğrisi



Şekil 4.23 Atık tane boylarına göre normalize eğrisi

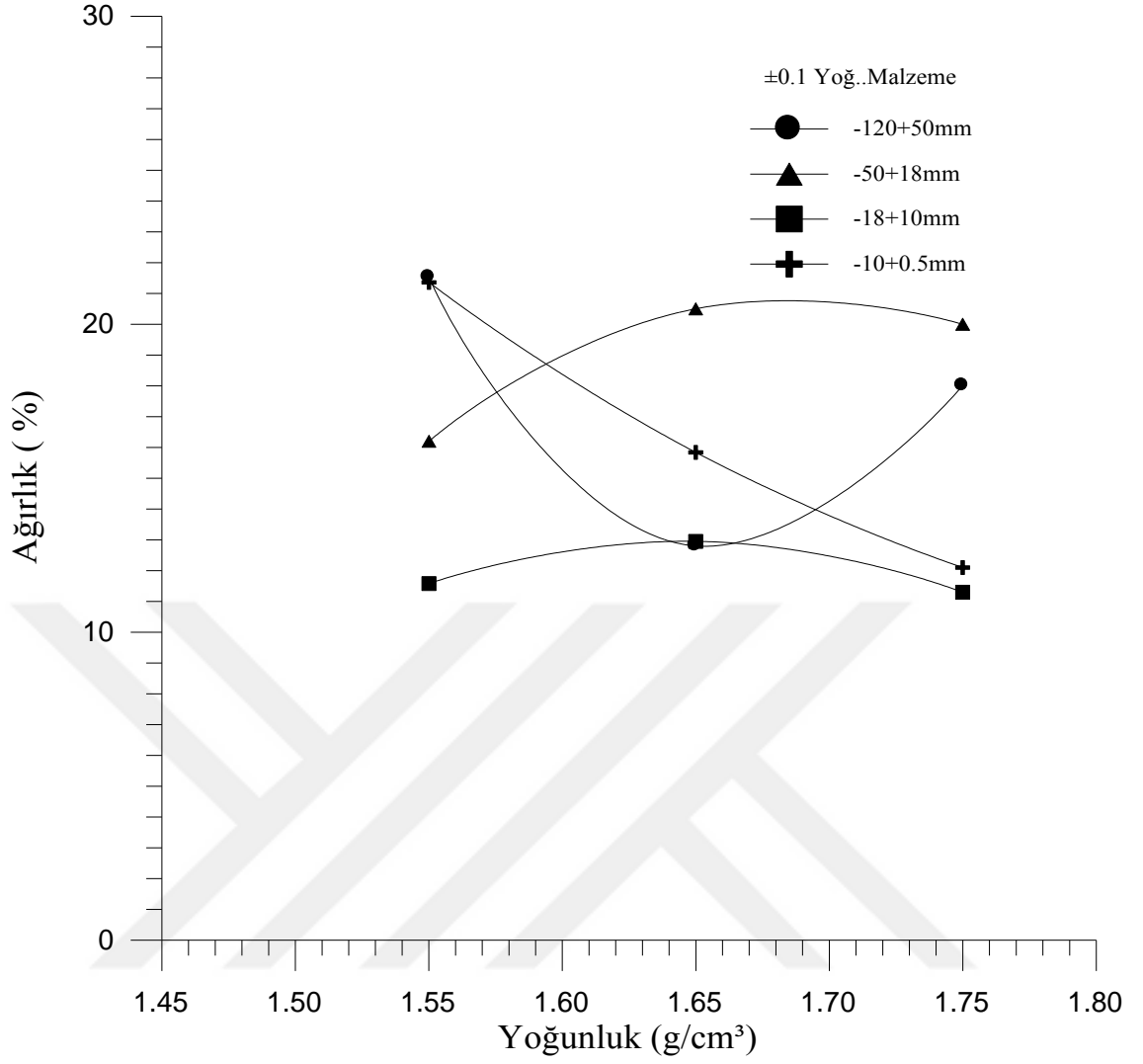
Tablo 4.24 -120 mm atık tane fraksiyonlarına göre elde edilen kül ve yanabilir verim sonuçları

Tane İriliği (mm)	Ağırlık (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)
-120+50mm	35,17	67,37	34,00
-50+18mm	12,37	66,85	12,15
-18+10mm	1,27	61,33	1,46
-10+0.5mm	8,21	39,13	14,81
-0.5mm	42,98	70,48	37,58
Toplam	100	66,25	100

Tablo 4.24’de görüldüğü gibi tüm malzemenin % 57,02’si +0,5 mm’nin üzerindedir. Deneyde kullanılan atığın büyük bir kısmı (%35,17) -120+50 mm tane aralığındadır. Görüldüğü gibi tüm tane boylarına göre 0,5 mm’nin üstündeki tane boylarındaki kül içerikleri % 39,13 ve % 67,37 değerleri arasında değişmektedir. Bu durum atıkta kömür kaçağı (yanabilir verim) olduğunu göstermektedir. -120+50 mm tane boyunda yanabilir verim % 34’lük kısmı içerirken, -0,5 mm’lik tane boyunda ise yaklaşık % 38’i yanabilir verim kısmını içermektedir. Başka bir ifadeyle +0,5 mm’lik kısım atıktaki yanabilir kısmın % 62,42’sini içermektedir. Bunun nedeni ise eski bir teknoloji olan jig benzeri karmaşık yapısı olan sulu bir ortamda zenginleştirme cihazından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Tesis kapasitesi ve mevcut atık yığını dikkate alındığında büyük kayıpların olduğu görülmektedir.

Tablo 4.25 Atık ana numunenin tane boylarına göre $\pm 0,1$ yoğunluk değerleri

Yoğunluk Aralığı (g/cm³)	-120+50 mm	-50+18 mm	-18+10 mm	-10+0,5 mm
1,55	21,52	16,42	11,58	21,36
1,65	12,80	20,50	12,95	15,84
1,75	18,00	20,00	11,30	12,10



Şekil 4.24 Atık ana numunenin tane iriliğine göre $\pm 0,1$ yoğunluk grafiği

Tablo 4.25'in incelenmesinden görüleceği gibi tane iriliğine bağlı olarak aynı yoğunluk değeri için $\pm 0,1$ yoğunluk aralığındaki malzeme miktarı dar bir aralıkta değişmektedir. $1,55 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda $-120+50 \text{ mm}$ 'de $\pm 0,1$ değeri 21,52 iken $-10+0,5 \text{ mm}$ 'de 21,36 değerini almıştır. $1,65 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda $-120+50 \text{ mm}$ için 12,80 iken $-10+0,5 \text{ mm}$ $\pm 0,1$ yoğunluk değeri 15,84 olmaktadır. $1,75 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda ise $-120+50 \text{ mm}$ için $\pm 0,1$ yoğunluk değeri 18,00 iken $-10+0,5 \text{ mm}$ 'de 12,10 değerini almaktadır. Şekil topluca değerlendirildiğinde yüksek yoğunluk değerinde genel olarak $\pm 0,1$ yoğunluk değerlerinin dar bir aralıkta değiştiğini söylemek mümkündür. Bu durum tesisten gelen haliyle her bir tane aralığı için yakın yoğunlukta ki tanelerin tüm yoğunluklarda homojene yakın bir dağılım gösterdiğini söylenebiliriz. Farklı yıkanabilirlik özeliğindeki kömürler için Bhattachary vd.'nin (2015) proses seçimi tablosu dikkate

alındığında $\pm 0,1$ değerlerine göre ağır ortam banyoları ve ağır ortam siklonu bu kömürler için zenginleştirmede uygun olduğunu söyleyebiliriz.

Tablo 4.26 Değişik kül oranlarında zenginleştirme yapıldığında teorik olarak elde edilecek temiz kömür miktarları

Tane İriliği (mm)	Ağırlık (%)	Temiz Kömür	ÜRÜNLER			BESLEMESİNE GÖRE ÜRÜNLER	
			Ağırlık (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim(%)	Ağırlık (%)	Yanabilir Verim(%)
-120+50	35,17	Temiz Kömür 1	3,50	20	8,58	1,23	3,02
			9,00	25	20,69	3,17	7,29
			16,30	30	34,97	5,73	12,29
-50+18	12,37	Temiz Kömür 2	4,00	20	9,65	0,49	1,18
			12,00	25	27,15	1,48	3,35
			20,00	30	42,23	2,47	5,22
-18+10	1,27	Temiz Kömür 3	32,00	20	66,20	0,41	0,85
			37,80	25	73,31	0,48	0,93
			43,50	30	78,74	0,55	1,00
-10+0,5	8,21	Temiz Kömür 4	69,50	20	91,34	5,71	7,51
			78,50	25	96,72	6,45	7,95
			85,50	30	98,32	7,02	8,07

Tablo 4.26'ya baktığımızda hesaben bulunan -120+0,5 mm tane boyu için % 20 kül içeriğine sahip, ağırlıkça % 7,84 oranında temiz kömür elde edilir. % 25 kül içeriğine sahip ağırlıkça % 11,58 verimle temiz kömür elde edilir ve % 30 kül içeriğine sahip ağırlıkça % 15,77 oranında temiz kömür kazanımı sağlanmıştır.

4.1.2.3 Kırılmış numuneler ile yapılan yüzdürme - batırma deney bulgularının değerlendirilmesi

Ocaktan alındığı şekliyle yapılan yüzdürme - batırma testlerinde yüksek verimle temiz kömür konsantrelerinin (yanabilir verim) üretilmediği görüldüğünden atıktan alınan örnekler farklı tane boylarına kırılmıştır (-78 mm, -25 mm, -10 mm). -78 mm'ye kırılan atık numunesini -78+18 mm, -18+10 mm ve -10+0,5 mm tane boyu gruplarında yüzdürme batırma deneyleri yapılarak sonuçlar incelenmiştir. -25 mm ve -10 mm'ye kırılan numuneler ise -25+0,5 mm ve -10+0,5 mm tane boylarında ayrı ayrı yüzdürme batırma deneyleri yapılmıştır.

İnce tane boyların eğrilerinde azda olsa iyileşme görülmektedir. Fakat tüm bunlar etkin bir maseral mineral ve farklı maseral tipleri arasında verimli bir ayırımın olmadığını göstermektedir. Yüzdürme - batırma test sonuçları Tablo 4.27, 4.28, 4.29'da, Henry - Reinhard'a göre çizilen yıkanabilirlik eğrileri Şekil 4.25, 4.26, 4.27'de, kümülatif yüzen eğrisi Şekil 4.28'de, normalize eğrisi Şekil 4.29'da ve M eğrisi Şekil 4.30'da verilmiştir. $\pm 0,1$ yoğunluğundaki malzeme miktarı Tablo 4.30'da, grafiği ise Şekil 4.31'de gösterilmiştir. Tane boyu fraksiyonlarına göre elde edilen kül ve yanabilir verim sonuçları Tablo 4.31'de, tane iriliğine göre yapılan yüzdürme - batırma deney sonuçlarından hesaben elde ettiğimiz ürünler ve beslemeye göre ürünler Tablo 4.32'de gösterilmiştir.

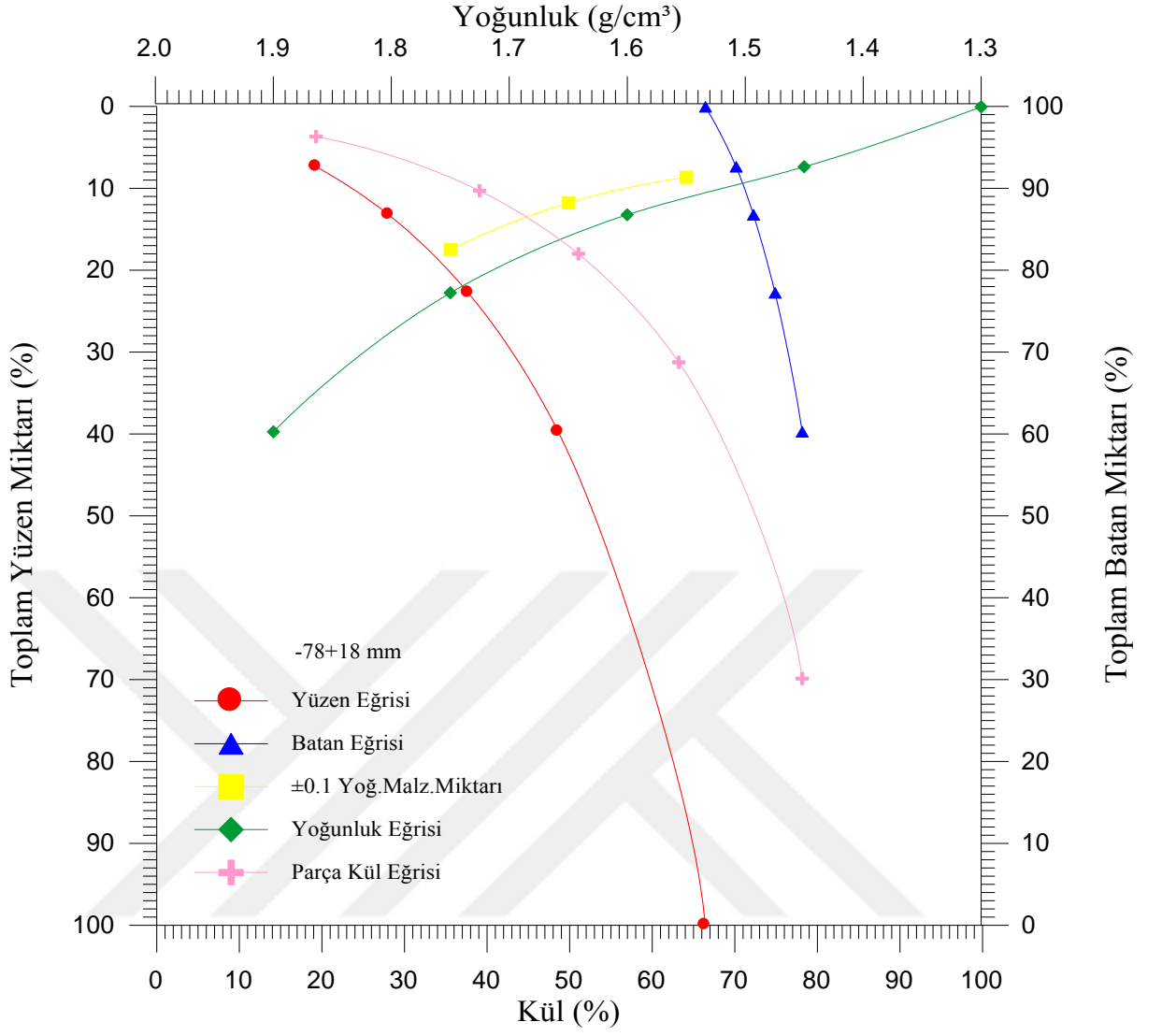
4.1.2.3.1 -78+18 mm tane boyu deney sonuçları

Tablo 4.27 ve Şekil 4.25'in incelenmesinden görüldüğü gibi atığın yıkanabilirliğini karakterize eden parça kül eğrisinin şekli atığın zenginleştirilebilmesinin kolay mı yoksa zor mu olduğu hususu ile ilgili önemli bilgiler içermektedir (Laskowski, 2006). -78+18 mm tane boyu için Şekil 4.25'de görüldüğü gibi parça kül eğrisinin şekli atığın zor yıkanabilirlik özelliğe olduğunu göstermektedir. Benzer durumlar Şekil 4.29 ve Şekil 4.30'da verilen M eğrisi ve normalize edilmiş M eğrilerinden görülebilir. Şekil 4.28'de kümülatif yüzen eğrisinden görüleceği gibi atığın tane boyu incelidikçe aynı kül oranındaki malzemeyi daha yüksek verimlerle kazanılabildiği görülmektedir. Dolayısıyla ince boyutlarda serbestleşme sonucu olarak iyileşmeler görülmektedir. Tablo 4.27'de $\pm 0,1$ değerlerine baktığımızda yoğunluk değerlerine göre düşüş görülmemektedir ve tüm bunlar etkin bir maseral mineral ve farklı maseral tipleri

arasında verimli bir ayırmanın olmadığını göstermektedir. $-1,60 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda zenginleştirme yapıldığında % 66,43 kül içeren bir beslemeden yaklaşık % 13,22 ağırlık oranında bir konsantre % 28,07 kül oranıyla üretilmektedir. Bu durumda yanabilir verim % 28,33 olarak elde edilir. $1,60 \text{ g/cm}^3$ ve $1,90 \text{ g/cm}^3$ arasındaki malzeme (% 26,52) yüksek miktardadır yani ara ürün miktarının yüksek olduğunu ve serbestleşme olmamasının da başka bir göstergesi olarak söyleyebiliriz. $-78+18 \text{ mm}$ tane iriliğinde yapılan yüzdürme - batırma deney sonuçlarına göre Şekil 4.25'e baktığımızda hesaben bulunan % 20 kül içeriğine sahip, ayırma yoğunluğu $1,47 \text{ g/cm}^3$ olan kütlece % 8,00 ağırlık oranında konsantre (temiz kömür) elde edilir. $\pm 0,1$ yoğunluğunda malzeme miktarı yaklaşık olarak % 7,50 ve hesaben bulunan yanabilir verim % 19,06 olarak elde edilir. Beslemeye göre ise % 3,59 ağırlık oranında konsantre ve beslemedeki yanabilir verim % 8,56 olarak elde edilir. % 25 kül içeriğine sahip ve ayırma yoğunluğu $1,55 \text{ g/cm}^3$ olan kütlece % 11,00 ağırlık oranında temiz kömür elde edilebilir. $\pm 0,1$ yoğunluğunda malzeme miktarı yaklaşık olarak % 8,64 ve yanabilir verim % 24,58 olarak hesaplanmıştır. Beslemeye göre ise % 4,94 ağırlık oranında temiz kömür ve beslemedeki yanabilir verim % 11,04 olarak elde edilir. % 30 kül içeriğine sahip, ayırma yoğunluğu $1,65 \text{ g/cm}^3$ olan kütlece % 16,00 ağırlık oranında konsantre elde edilir. $\pm 0,1$ yoğunluğundaki malzeme miktarı ise yaklaşık olarak % 11,76 ve yanabilir verim hesaben % 33,36 olarak bulunmuştur. Beslemeye göre ise % 7,18 ağırlık oranında konsantre ve beslemedeki yanabilir verim % 14,97 olarak elde edilir.

Tablo: 4.27 -78+18 mm Tane Sınıfı Yıkanabilirlik Değerleri

Yoğunluk Aralığı (g/cm ³)	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme			Toplam Yüzen			Toplam Batan			±0,1Yoğ. Malzeme		y
	Miktar (%) M	Kül (%) K	MxK	Miktar (%) Σ M ↓	ΣMxK↓	Kül,% $\frac{\Sigma MxK\downarrow}{\Sigma M\downarrow}$	Miktar (%) Σ M ↑	ΣMxK↑	Kül,% $\frac{\Sigma MxK\uparrow}{\Sigma M\uparrow}$	Yoğ.	± 0,1 Yoğ. Malzeme Miktarı. %	
-1,30	-						100					
+1,30-1,45	7.36	19.30	142.05	7.36	142.05	19.30	99.95	6643,11	66,46	1,55	8,64	3,68
+1,45-1,60	5.86	39.09	229.07	13.22	371.12	28.07	92.64	6501,06	70,18	1,65	11,76	10,29
+1,60-1,75	9.54	51.07	487.21	22.76	858.33	37.71	86.78	6271,99	72,27	1,75	17,50	17,99
+1,75-1,90	16.98	63.23	1073.65	39.74	1931.98	48.62	77.24	5784,78	74,89			31,25
+1,90	60.26	78.18	4711.13	100	6643.11	66.43	60.26	4711,13	78,18			69,87
TOPLAM	100	66.43	6643									



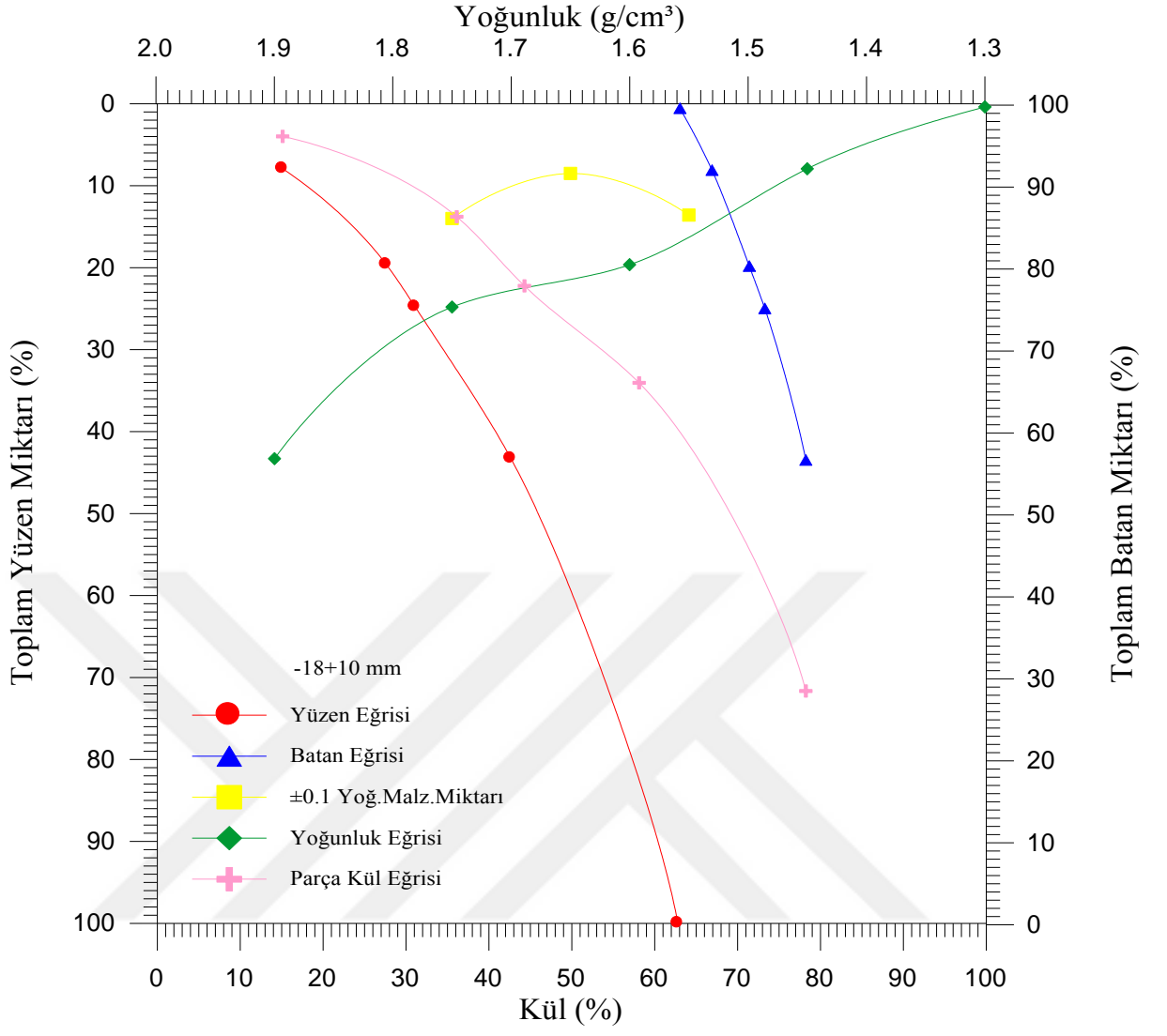
Şekil 4.25 -78+18 mm tane boyu yıkanabilirlik eğrileri

4.1.2.3.2 -18+10 mm tane boyu deney sonuçları

Tablo 4.28 ve Şekil 4.26'nın incelenmesinden görüldüğü gibi atığın yıkanabilirliğini karakterize eden parça kül eğrisinin şekli genellikle eğrinin başlangıcından itibaren belli kül değerlerine kadar doğruya yakın şekiller almaktadır ve buda atığın zor yıkanabilirlik özellikte olduğunu göstermektedir. Şekil 4.29 ve Şekil 4.30'da M eğrisi ve normalize edilmiş M eğrilerinden benzer durumları görebiliriz. Şekil 4.28'de kümülatif yüzen (KY) eğrisinden görüleceği gibi atığın tane boyu inceldikçe aynı kül oranındaki malzemeyi daha yüksek verimlerle kazanılabildiği görülmektedir. Dolayısıyla ince boyutlarda serbestleşme sonucu olarak iyileşmeler görülmektedir. Tablo 4.28'de atığın $\pm 0,1$ değerlerine baktığımızda bazı yoğunluk değerlerinde sapmalara rağmen $1,55 \text{ g/cm}^3$ ve $1,65 \text{ g/cm}^3$ yoğunluk aralığında düşüş eğilimi görülmektedir. Bu durum serbestleşmenin artmasına dayandırılabilir. $-1,60 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda zenginleştirme yapıldığında % 62,82 kül içeren bir beslemeden yaklaşık % 19,62 ağırlık oranında temiz kömür % 27,62 kül oranıyla üretilmektedir. Bu durumda yanabilir verim % 38,20 olarak elde edilir. -18+10 mm tane iriliğinde yapılan yüzdürme - batırma deney sonuçlarına göre Şekil 4.26'ya baktığımızda hesaben bulunan % 20 kül içeriğine sahip, ayırma yoğunluğu $1,50 \text{ g/cm}^3$ olan kütleye % 11,50 ağırlık oranında temiz kömür elde edilir. $\pm 0,1$ yoğunluğunda malzeme miktarı yaklaşık olarak % 19,00 ve yanabilir verim % 24,74 olarak elde edilmiştir. Beslemeye göre ise % 0,24 ağırlık oranında konsantre ve beslemedeki yanabilir verim % 0,52 olarak çok düşük oranlarda elde edilir. % 25 kül içeriğine sahip ve ayırma yoğunluğu $1,55 \text{ g/cm}^3$ olan kütleye % 16,00 ağırlık oranında temiz kömür elde edilebilir. $\pm 0,1$ yoğunluğunda malzeme miktarı yaklaşık olarak % 13,50 ve yanabilir verim % 32,28 olarak elde edilmiştir. Beslemeye göre ise % 0,34 ağırlık oranında temiz kömür ve beslemedeki yanabilir verim % 0,69 oranında düşük olduğu hesaplanmıştır. % 30 kül içeriğine sahip, ayırma yoğunluğu $1,71 \text{ g/cm}^3$ olan kütleye % 23,00 ağırlık oranında temiz kömür elde edilir. $\pm 0,1$ yoğunluğundaki malzeme miktarı ise yaklaşık olarak % 10,50 ve yanabilir verim hesaben % 43,30 olarak elde edilmiştir. Beslemeye göre ise % 0,49 ağırlık oranında konsantre ve beslemedeki yanabilir verim % 0,92 olarak elde edilir.

Tablo 4.28 -18+10 mm Tane Sınıfı Yıkanabilirlik Değerleri

Yoğunluk Aralığı (g/cm ³)	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme			Toplam Yüzen			Toplam Batan			±0,1 Yoğ. Malzeme		y
	Miktar (%) M	Kül (%) K	MxK	Miktar (%) Σ M ↓	ΣMxK↓	Kül,% ΣMxK↓ ΣM↓	Miktar (%) Σ M ↑	ΣMxK↑	Kül,% ΣMxK↑ ΣM↑	Yoğ.	± 0,1 Yoğ. Malzeme Miktarı. %	
-1,30	-						100					
+1,30-1,45	7.93	15.11	119.82	7.93	119.82	15.11	99,62	6282,50	63,06	1,55	13,57	3,97
+1,45-1,60	11.69	36.11	422.13	19.62	541.95	27.62	92,07	6162,68	66,93	1,65	8,50	13,78
+1,60-1,75	5.18	44.27	229.32	24.80	771.27	31.10	80,38	5740,55	71,42	1,75	14,00	22,21
+1,75-1,90	18.51	58.12	1075.80	43.31	1847.07	42.65	75,20	5511,23	73,29			34,06
+1,90	56.69	78.24	4435.43	100	6282.50	62.82	56,69	4435,43	78,24			71,66
TOPLAM	100	62.82	6282									



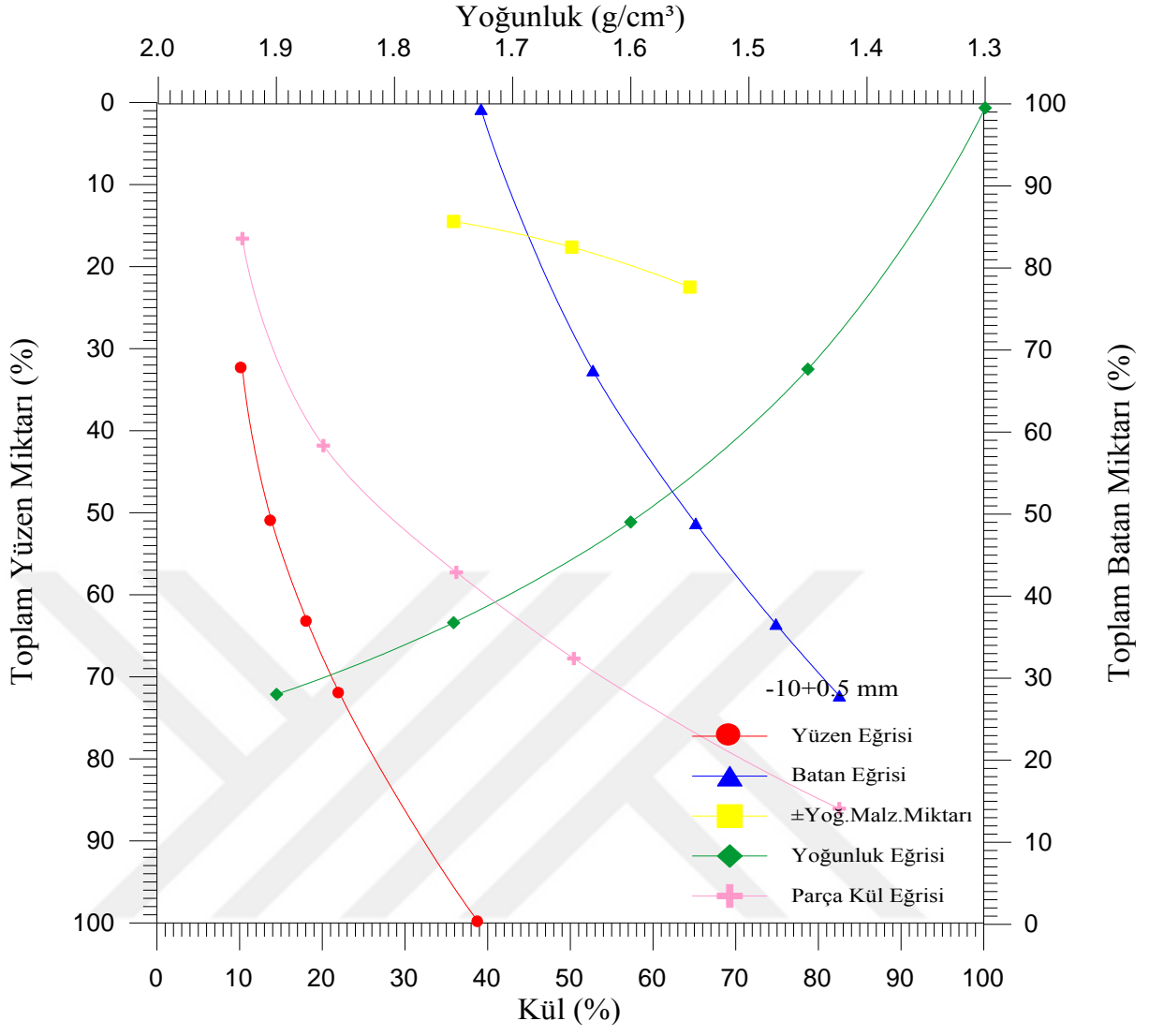
Şekil 4.26 -18+10 mm tane boyu yıkanabilirlik eğrileri

4.1.2.3.3 -10+0.5 mm tane boyu deney sonuçları

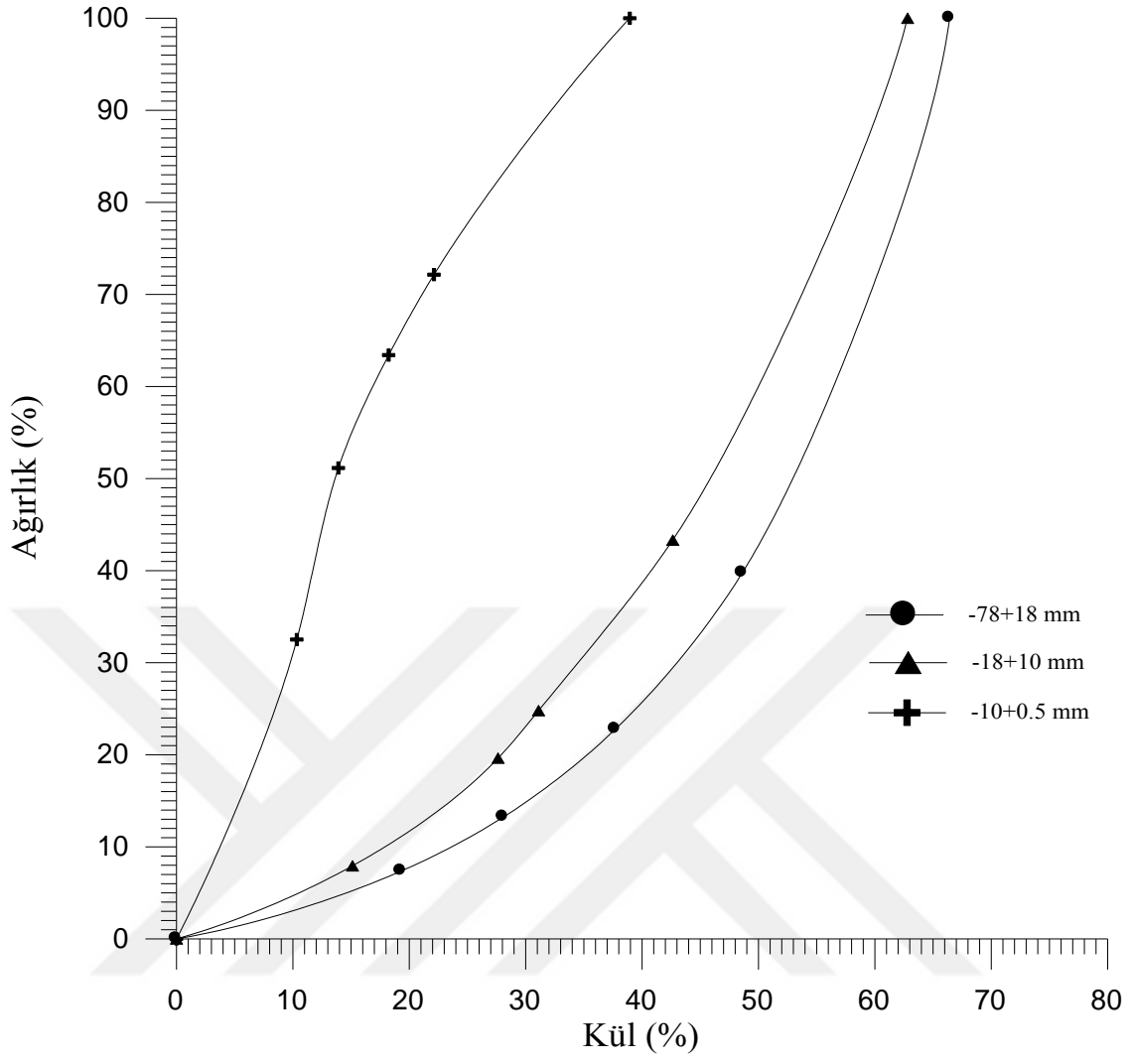
Tablo 4.29 ve Şekil 4.27'nin incelenmesinden görüldüğü gibi atığın yıkanabilirliğini karakterize eden parça kül eğrisinin şekli atığın yıkanabilirliğinin zor olduğunu göstermektedir. Şekil 4.30'da M eğrilerinin değerlendirilmesinden görüleceği gibi atık ve mineral madde arasında serbestleşmenin artmasıyla birlikte yıkanabilirlikte iyileşmeler görülmektedir. Şekil 4.28'de kümülatif yüzen eğrisinden görüleceği gibi atığın tane boyu inceldikçe aynı kül oranındaki malzemeyi daha yüksek verimlerle kazanılabildiği görülmektedir. Dolayısıyla ince boyutlarda serbestleşme sonucu olarak iyileşmeler görülmektedir. Tablo 4.29'da atığın zenginleştirilebilirliğinin değerlendirilmesinde $\pm 0,1$ dağılım eğrisine baktığımızda $\pm 0,1$ değerlerinde düşüş eğilimi görülmektedir. Bu durum serbestleşmenin artmasına dayandırılabilir. Yakın yoğunluktaki malzemeyi esas alan Ateşok'un (2014) değerlendirme tablosu dikkate alındığında atığın yıkanabilirlik karakteristiğinin güç ve çok güç olduğu görülmektedir. Tablo 4.29'a baktığımızda $-1,60 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda zenginleştirme yapıldığında % 38,95 kül içeren bir beslemeden yaklaşık % 51,14 ağırlık oranında temiz kömür % 13,90 kül oranıyla üretilmektedir. Bu durumda yanabilir verim % 72,12 olarak elde edilir. $1,60 \text{ g/cm}^3$ ve $1,90 \text{ g/cm}^3$ arasındaki malzeme % 21,00 olarak görülmektedir. -10+0,5 mm tane iriliğinde yapılan yüzdürme batırma deney sonuçlarına göre Şekil 4.27'ye baktığımızda hesaben bulunan % 20 kül içeriğine sahip, ayırma yoğunluğu $1,82 \text{ g/cm}^3$ olan kütlice % 67,50 ağırlık oranında temiz kömür elde edilir. $\pm 0,1$ yoğunluğunda malzeme miktarı yaklaşık olarak % 13,00 ve yanabilir verim % 88,45 olarak elde edilmiştir. Beslemeye göre % 6,68 ağırlık oranında konsantre ve beslemeye göre yanabilir verim % 8,75 olarak elde edilir. % 25 kül içeriğine sahip ve ayırma yoğunluğu $2,00 \text{ g/cm}^3$ olan kütlice % 77,00 ağırlık oranında temiz kömür elde edilebilir ve yanabilir verim % 94,59 olarak hesaplanmıştır. Beslemeye göre ise %7,62 ağırlık oranında temiz kömür ve beslemedeki yanabilir verim % 9,36 olarak elde edilir. % 30 kül içeriğine sahip, ayırma yoğunluğu $2,5 \text{ g/cm}^3$ olan kütlice % 86,00 ağırlık oranında temiz kömür elde edilir ve yanabilir verim hesaben % 98,61 olarak elde edilmektedir. Beslemeye göre ise % 8,51 ağırlık oranında konsantre ve beslemedeki yanabilir verim % 9,76 olarak elde edilir

Tablo 4.29 -10+0,5 mm Tane Sınıfı Yıkanabilirlik Değerleri

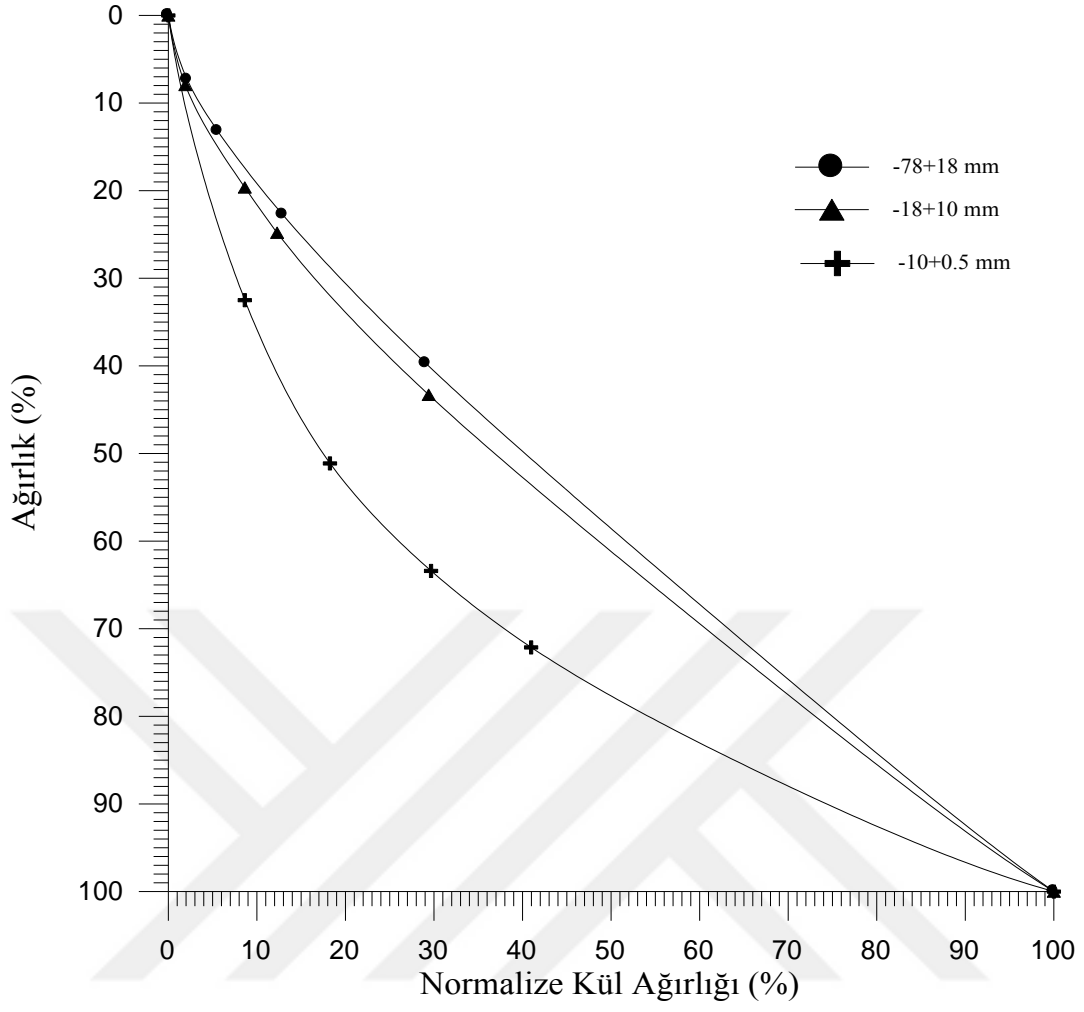
Yoğunluk Aralığı (g/cm ³)	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme			Toplam Yüzen			Toplam Batan			±0,1Yoğ. Malzeme		y
	Miktar (%) M	Kül (%) K	MxK	Miktar (%) Σ M ↓	ΣMxK↓	Kül,% $\frac{\Sigma MxK\downarrow}{\Sigma M\downarrow}$	Miktar (%) Σ M ↑	ΣMxK↑	Kül,% $\frac{\Sigma MxK\uparrow}{\Sigma M\uparrow}$	Yoğ.	± 0,1 Yoğ. Malzeme Miktarı. %	
-1,30	-						100					
+1,30-1,45	32.51	10.33	335.83	32.51	335.83	10.33	99,35	3894,96	39,20	1,55	22,49	16,58
+1,45-1,60	18.63	20.13	375.02	51.14	710.85	13.90	67,49	3559,13	52,74	1,65	17,61	41,83
+1,60-1,75	12.27	36.21	444.30	63.41	1155.15	18.22	48,86	3184,11	65,17	1,75	14,50	57,28
+1,75-1,90	8.73	50.43	440.25	72.14	1595.40	22.12	36,59	2739,81	74,88			67,78
+1,90	27.86	82.54	2299.56	100	3894.96	38.95	27,86	2299,56	82,54			86,07
TOPLAM	100	38.95	3895									



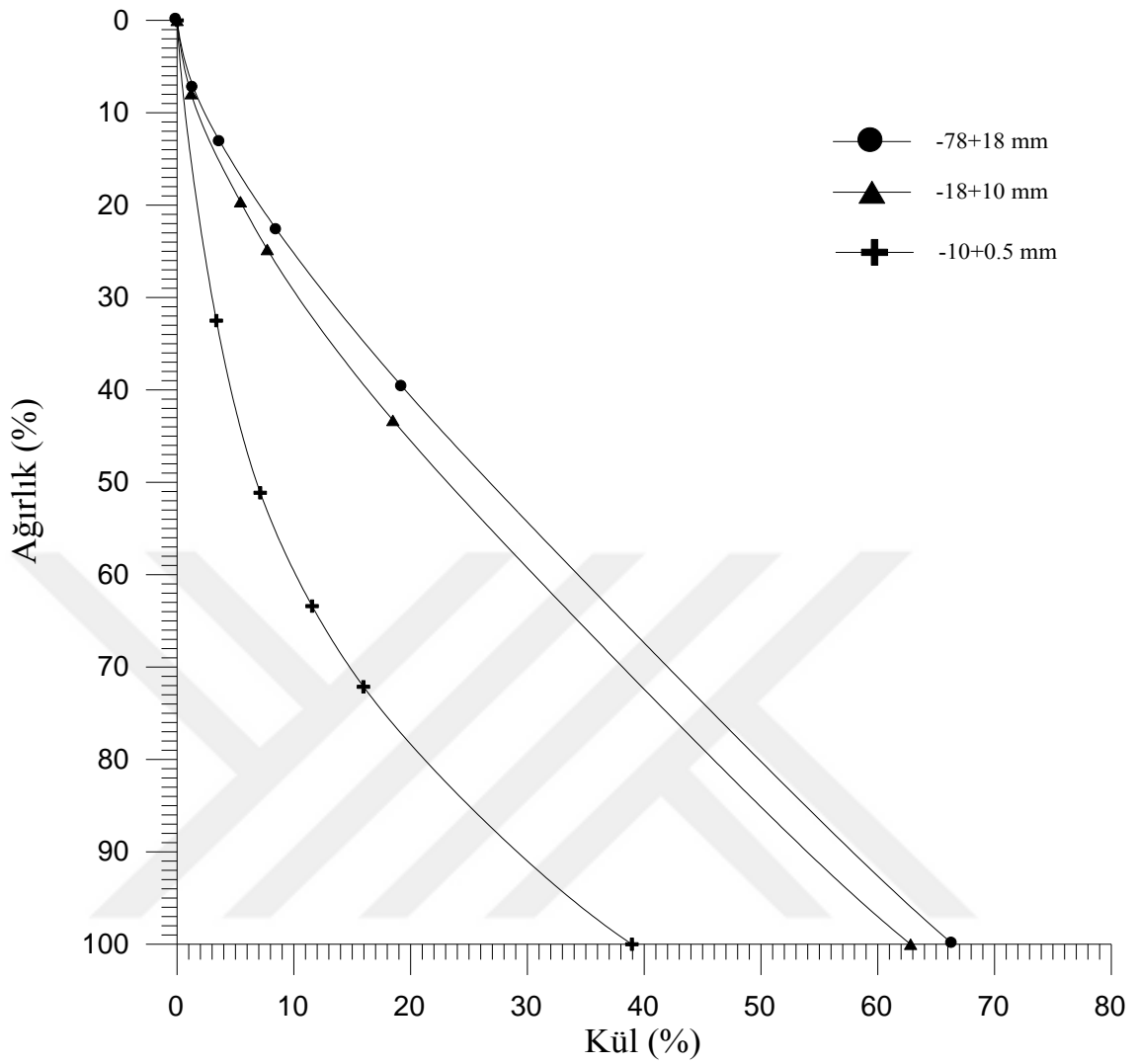
Şekil 4.27 -10+0,5 mm tane boyu yıkanabilirlik eğrileri



Şekil 4.28 -78 mm atık örneğinin tane boyu fraksiyonlarına göre kümülatif yüzen eğrisi



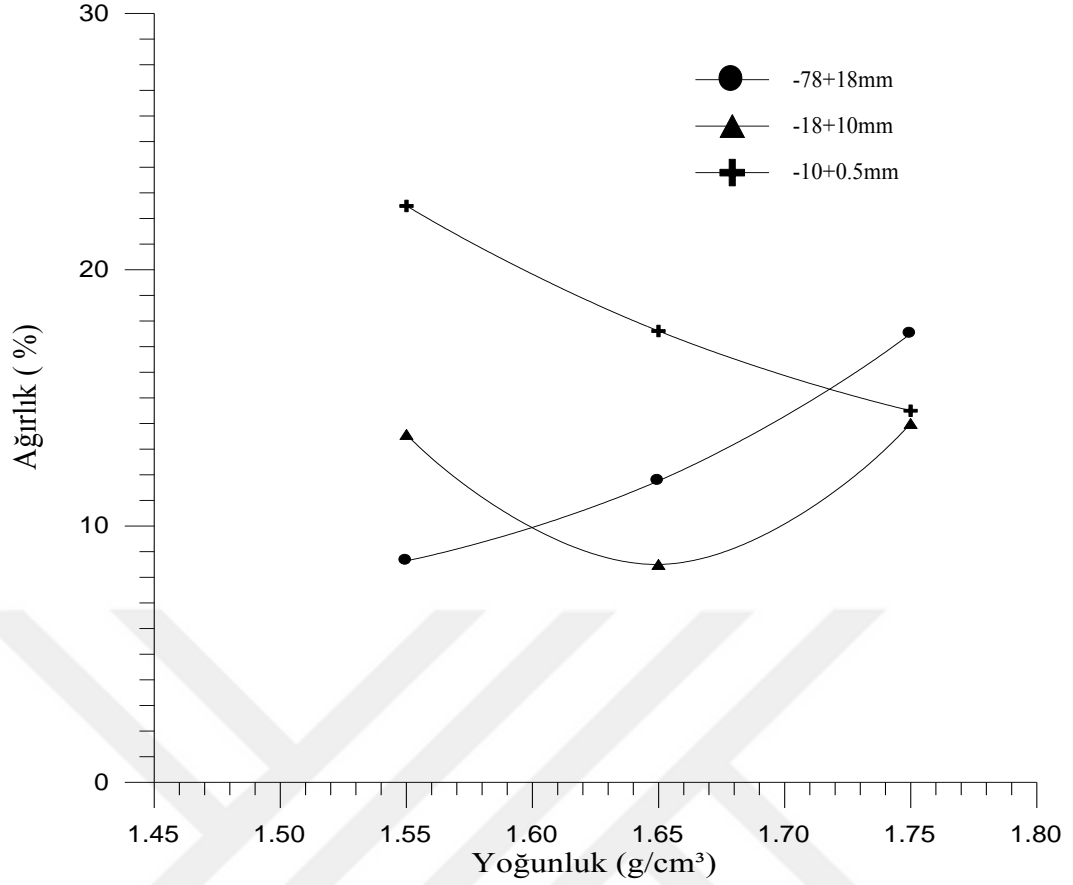
Şekil 4.29 -78 mm atık örneğinin tane boylarına göre normalize grafiği



Şekil 4.30 -78 mm atık örneğinin tane boylarına göre M eğrisi

Tablo 4.30 $\pm 0,1$ yoğunluğundaki malzeme miktarı

Yoğunluk Aralığı (g/cm ³)	-78+18mm	-18+10mm	-10+0,5mm
1,55	8,64	13,57	22,49
1,65	11,76	8,50	17,61
1,75	17,50	14,00	14,50



Şekil 4.31 -78 mm'ye kırılmış atığın $\pm 0,1$ yoğunluk grafiği

Tablo 4.30 ve Şekil 4.31'in incelenmesine göre -78 mm'ye kırılmış atık örneğinin farklı tane boylarında ki ± 0.1 yoğunluk dağılımının dar bir aralıkta değiştiği görülmektedir. Buda ± 0.1 yoğunluğunda ki malzeme dağılımlarının tüm yoğunluk sınıflarında nispeten homojen olduğu söylenebilir.

Tablo 4.31 -78 mm atık tane boyu fraksiyonlarına göre elde edilen kül ve yanabilir verim sonuçları

Tane İriliği (mm)	Ağırlık (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)
-78+18mm	44,89	66,43	46,67
-18+10mm	2,12	62,82	2,44
-10+0,5mm	9,90	38,95	18,72
-0,5mm	43,09	75,89	32,17
	100	67,71	100

Tablo 4.31’de görüldüğü gibi tüm malzemenin % 56,91’i +0,5 mm’nin üzerindedir. 0,5 mm’nin üstündeki tane boylarında kül içerikleri % 38,95 ve % 66,43 değerleri arasında değişmektedir ve bu durum atıkta kömür kaçağı olduğunun göstergesidir. -78+18 mm tane boyunda yanabilir verim % 46,67 iken -0,5 mm’lik kısmında ise yanabilir verim % 32,17 olarak hesaplanmıştır. 78 mm’nin altına kırılan atık numunesinde büyük kayıpların olduğu söylenebilir.

Tablo 4.32 Değişik kül oranlarında zenginleştirme yapıldığında teorik olarak elde edilecek temiz kömür miktarları

Tane İriliği (mm)	Ağırlık (%)	Temiz Kömür	ÜRÜNLER			BESLEMeye GÖRE ÜRÜNLER	
			Ağırlık(%)	Kül(%)	Yanabilir Verim(%)	Ağırlık (%)	Yanabilir Verim(%)
-78+18	44,89	Temiz Kömür 1	8,00	20	19,06	3,59	8,56
			11,00	25	24,58	4,94	11,04
			16,00	30	33,36	7,18	14,97
-18+10	2,12	Temiz Kömür 2	11,50	20	24,74	0,24	0,52
			16,00	25	32,28	0,34	0,69
			23,00	30	43,30	0,49	0,92
-10+0,5	9,90	Temiz Kömür 3	67,50	20	88,45	6,68	8,75
			77,00	25	94,59	7,62	9,36
			86,00	30	98,61	8,51	9,76

Tablo 4.32'ye baktığımızda hesaben bulunan -78+0,5 mm tane boyunda % 20 kül içeren bir beslemeden ağırlıkça % 10,51 verim sağlanmıştır. % 25 kül içeren bir beslemeden ağırlıkça % 12,90 verim ve % 30 kül içeren bir beslemeden ise ağırlıkça % 16,18 verimle temiz kömür elde edilebilir.

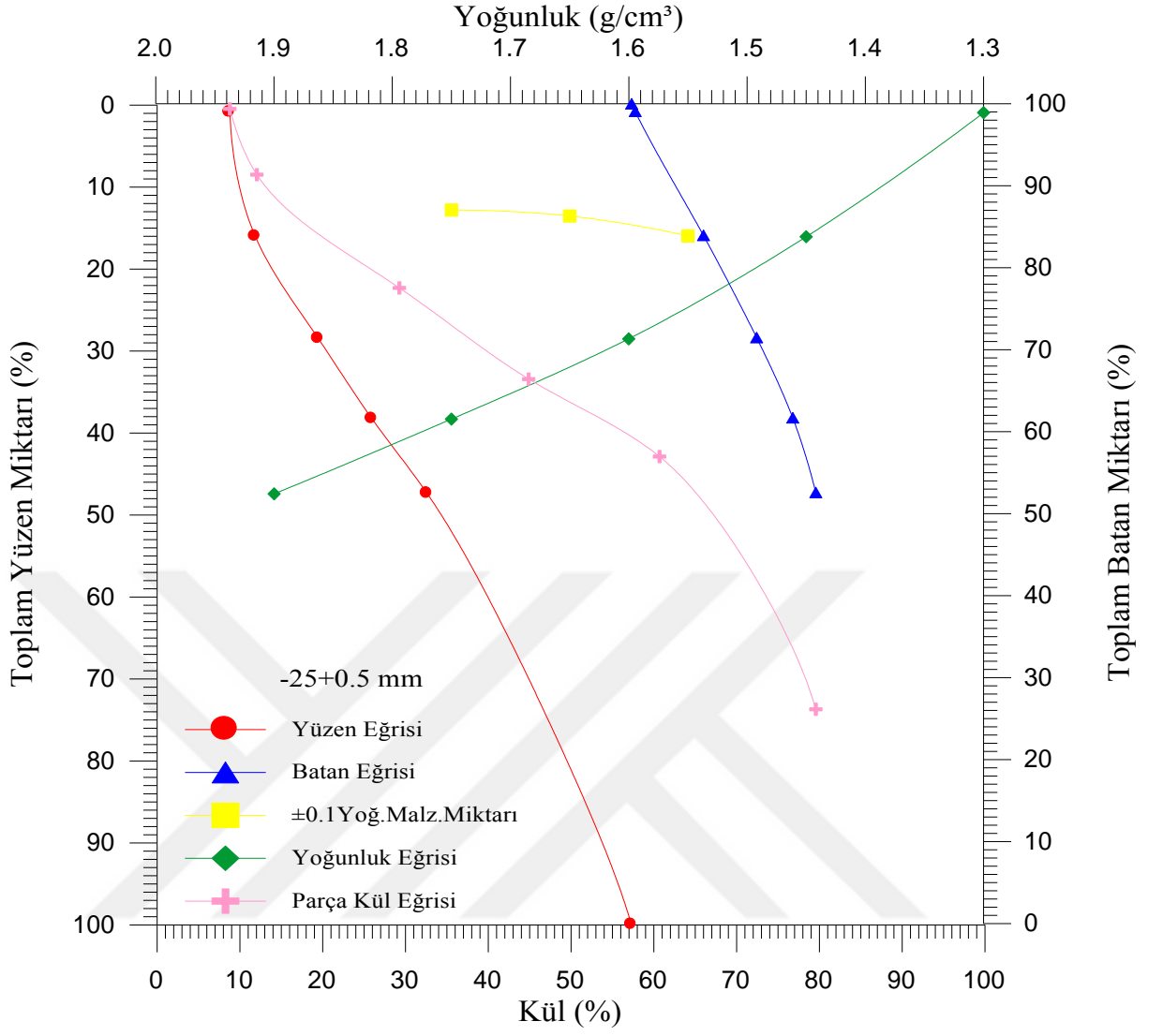
4.1.2.3.4 -25 mm'ye kırılmış atık örneğinin deney sonuçları

Kömür kazanım verimini artırmak için -25 mm'ye kırılmış atık örneği üzerinde yüzdürme batırma testleri yapılmıştır. Bu grup deneyde -25+0,5 mm tane aralığı herhangi bir sınıflandırmaya tabi tutulmadan doğrudan yüzdürme batırma deneyleri yapılmış, deneyler esnasında ince tanelerin ayrılması için yeterince bekletilmiştir. Deneyde elde edilen bulgular Tablo 4.33'de ve yıkanabilirlik eğrileri de Şekil 4.32'de verilmiştir. Kül ve yanabilir verim sonuçları Tablo 4.34'de, değişik kül oranlarında zenginleştirme yapıldığında teorik olarak elde edilecek temiz kömür miktarları Tablo 4.35'de verilmiştir. -25 mm'ye kırılmış numunenin elek analizi sonuçlarına göre beslemenin % 50,33'lük kısmı +0,5 mm'lik kısmını oluşturmaktadır. Tablo 4.34'den görüldüğü gibi yanabilir kısmın % 64,39'u -25+0,5 mm tane aralığında elde edilmektedir. Farklı yoğunluklarda $\pm 0,1$ yoğunluk değerleri Tablo 4.33'de görüldüğü gibi 12,80 - 15,95 olarak çok dar aralıkta değiştiği ve yoğunluğa bağlı olarak $\pm 0,1$ yoğunluk değerleri homojen bir dağılımı ifade etmektedir. Yakın yoğunluktaki malzemeyi esas alan Ateşok,'un (2014) değerlendirme tablosu dikkate alındığında atığın yıkanabilirlik karakteristiğinin orta güçlükte olduğu söylenilebilir. Bhattachary vd.'nin (2015) farklı yıkanabilirlik özelliğinde kömürler için proses seçimi tablosu dikkate alındığında zenginleştirmede ağır ortam banyoları ve ağır ortam siklonu uygun olarak görülmektedir. Bu tane boyu grubunda Tablo 4.33'den görüleceği gibi azda olsa 1,30 yoğunluğunda yüzen malzeme elde edilmiştir ve serbestleşmenin diğer boyutlara göre az da olsa iyileşmesinin bir göstergesidir. Tablo 4.33'e baktığımızda $-1,60 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda zenginleştirme yapıldığında %57,32 kül içeren bir beslemeden yaklaşık % 28,52 ağırlık oranında bir konsantre % 19,47 kül oranıyla üretilmektedir. Bu durumda yanabilir verim % 53,81 olarak elde edilir. $1,60 \text{ g/cm}^3$ ve $1,90 \text{ g/cm}^3$ arasındaki malzeme yüzdesi 18,90 olması ara ürünün azımsanmayacak şeklinde olduğu görülmektedir. -25+0,5 mm tane boyu yüzdürme batırma deney sonuçlarına göre Şekil 4.32'ye baktığımızda hesaben bulunan % 20 kül içeriğine sahip, ayırma yoğunluğu $1,62 \text{ g/cm}^3$ olan kütleye % 29,50 ağırlık oranında temiz kömür elde edilir. $\pm 0,1$ yoğunluğunda

malzeme miktarı yaklaşık olarak % 14,50 ve yanabilir verim % 55,30 olarak elde edilir. Beslemeye göre ise % 14,85 ağırlık oranında konsantre ve beslemeye göre yanabilir verim % 27,84 olarak elde edilmektedir. %25 kül içeriğine sahip ve ayırma yoğunluğu $1,73 \text{ g/cm}^3$ olan kütlece % 37,00 ağırlık oranında konsantre elde edilebilir. $\pm 0,1$ yoğunluğunda malzeme miktarı yaklaşık olarak % 12,50 ve yanabilir verim % 65,02 olarak elde edilir. Beslemeye göre ise % 18,62 ağırlık oranında temiz kömür ve beslemedeki yanabilir verim hesaben % 32,72 olarak elde edilmektedir. % 30 kül içeriğine sahip, ayırma yoğunluğu $1,84 \text{ g/cm}^3$ olan kütlece % 43,80 ağırlık oranında temiz kömür elde edilir. $\pm 0,1$ yoğunluğundaki malzeme miktarı ise yaklaşık olarak % 11,00 ve yanabilir verim % 71,84 olarak hesaplanmıştır. Beslemeye göre ise % 22,04 ağırlık oranında konsantre ve beslemedeki yanabilir verim % 36,15 olarak elde edilmektedir.

Tablo 4.33 -25+0,5 mm Tane Boyu Yıkanabilirlik Değerleri

Yoğunluk Aralığı (g/cm ³)	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme			Toplam Yüzen			Toplam Batan			±0,1Yoğ. Malzeme		y
	Miktar (%) M	Kül (%) K	MxK	Miktar (%) Σ M ↓	ΣMxK↓	Kül,% ΣMxK↓ ΣM↓	Miktar (%) Σ M ↑	ΣMxK↑	Kül,% ΣMxK↑ ΣM↑	Yoğ.	± 0,1 Yoğ. Malzeme Miktarı. %	
-1,30	0,91	8,78	7,99	0,91	7,99	8,78	100	5731,74	57,32			0,46
+1,30-1,45	15,14	12,04	182,29	16,05	190,28	11,86	99,09	5723,75	57,76	1,55	15,95	8,48
+1,45-1,60	12,47	29,26	364,87	28,52	555,15	19,47	83,95	5541,46	66,01	1,65	13,51	22,29
+1,60-1,75	9,79	44,88	439,38	38,31	994,53	25,96	71,48	5176,59	72,42	1,75	12,80	33,42
+1,75-1,90	9,11	60,69	552,89	47,42	1547,42	32,63	61,69	4737,21	76,79			42,87
+1,90	52,58	79,58	4184,32	100	5731,74	57,32	52,58	4184,32	79,58			73,71
TOPLAM	100	57,32										



Şekil 4.32 -25+0,5 mm tane boyu yıkanabilirlik eğrileri

Tablo 4.34 -25 mm atık örneğinin tane boyu fraksiyonlarına göre elde edilen kül ve yanabilir verim sonuçları

Tane İriliği (mm)	Ağırlık (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)
-25+0,5 mm	50,33	57,32	64,39
-0,5 mm	49,67	76,09	35,61
	100	66,64	100

Tablo 4.35 Değişik kül oranlarında zenginleştirme yapıldığında teorik olarak elde edilecek temiz kömür miktarları

Tane İriliği (mm)	Ağırlık (%)	Temiz Kömür	ÜRÜNLER			BESLEMeye GÖRE ÜRÜNLER	
			Ağırlık (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Ağırlık (%)	Yanabilir Verim (%)
-25+0,5	50,33	Temiz Kömür	29,50	20	55,30	14,85	27,84
			37,00	25	65,02	18,62	32,72
			43,80	30	71,84	22,04	36,15

Şekil 4.32'den hesaben bulunan -25+0,5 mm tane iriliğinde % 20 kül içeriğine sahip, % 14,85 ağırlık oranında temiz kömür elde edilir ve yanabilir verimi ise % 27,84 olarak hesaplanmıştır. % 25 kül içeriğine sahip % 18,62 ağırlık oranında temiz kömür kazanımı sağlanmaktadır ve yanabilir verimi % 32,72 olarak elde edilir. % 30 küllü kömürden ise % 22,04 ağırlık oranında temiz kömür, % 36,15 yanabilir verimle elde edilmiştir.

4.1.2.3.5 -10 mm'ye kırılmış atık örneğinin deney sonuçları

-10+0,5 mm tane iriliğinde yapılan yüzdürme batırma deney sonuçlarına baktığımızda bu grup malzemenin +10 mm'lik kısmın tamamı çeneli kırıcıda -10 mm'ye kırılmıştır. Tablo 4.37'de görüldüğü gibi malzemenin % 47,46'sı -10+0,5 mm aralığında ve yanabilir kısmın % 63'ünde -10+0,5 mm aralığında bulunmaktadır. Bu grup deneylerde azda olsa serbestleşmenin iyileştiği gözlemlenmiştir ancak Şekil 4.33'de yıkanabilirlik eğrileri incelendiğinde zor yıkanabilir katagoride olduğu söylenebilir. -10+0,5 mm tane sınıfına ait deneylerde farklı yoğunluk aralığında kuru bazdaki aşağı ve yukarı ısı değerleri belirlenmiştir. Bu değerlerde Tablo 4.39'da verilmiştir. Kümülatif yüzen kül değerlerine göre ısı değer değişim grafiği Şekil 4.34'de verilmiştir. Ayrıca bu tane boyuna kırılmış örneğin -0,5 mm'lik kısmıyla yüzdürme batırma deneyleri yapılmıştır.

-10+0,5 mm tane iriliğinde yapılan deneye ait sonuçlar Tablo 4.36'da, yıkanabilirlik eğrileri de Şekil 4.33'de gösterilmiştir. Tane boyu aralığına göre kül-yanabilir verim sonuçları Tablo 4.37'de, değişik kül oranlarında zenginleştirme yapıldığında teorik olarak elde edilecek temiz kömür miktarları Tablo 4.38'de verilmiştir.

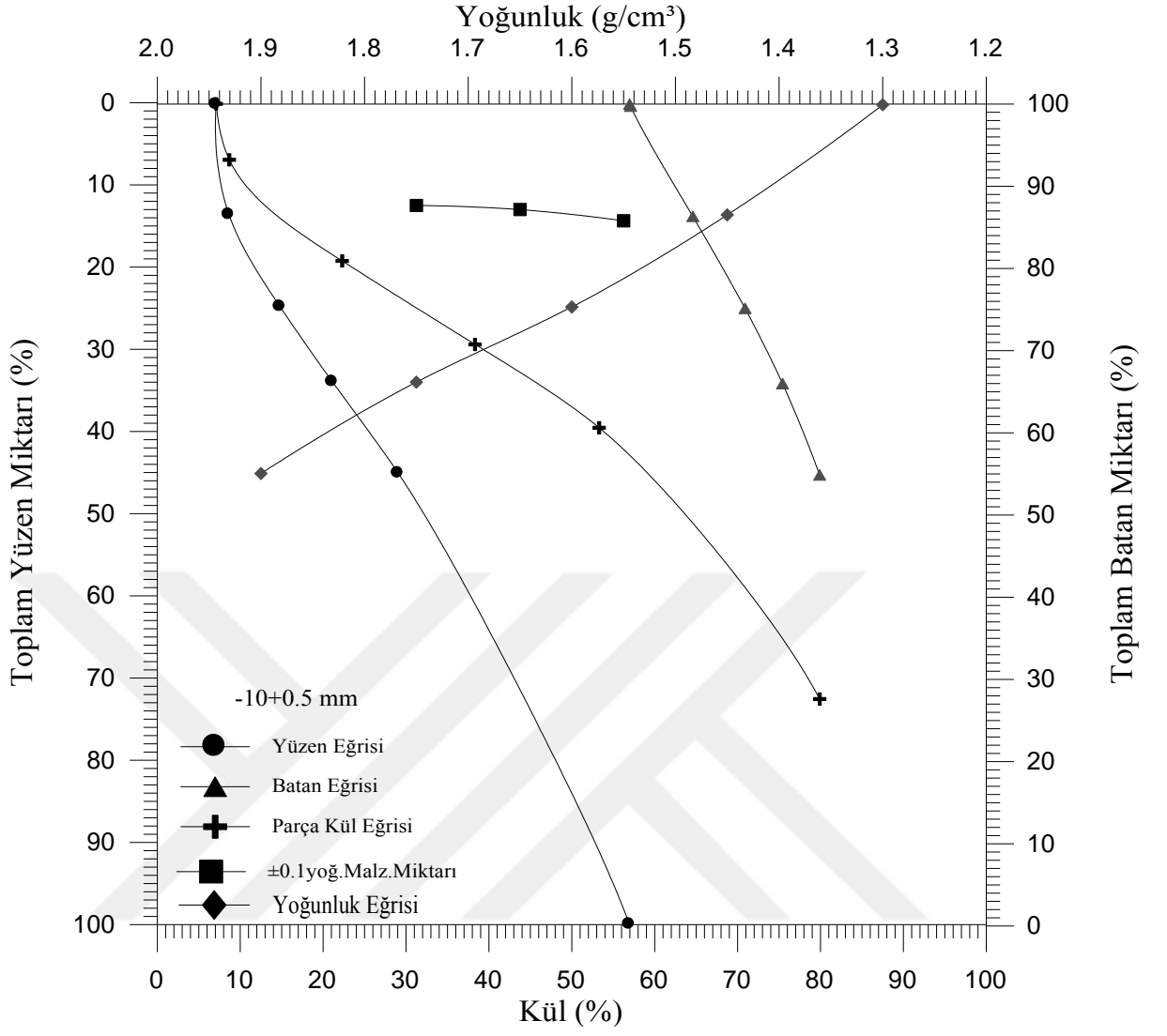
Bilindiği gibi (tavan - taban taşları ve bantlı yapıda ki mineraller) harici mineral maddeler kolaylıkla kömürden (yanabilir kısımdan) ayrılabilir. Tamamı -10 mm'ye kırılmış atıkta bile yeterince serbestleşmenin sağlanamaması atıktaki kömür ve yanmaz kısımların (mineral maddeler ve maseraller) çok sıkı birleşmesi ve birbiri içine karışmasına dayandırılabilir. Tablo 4.36 ve Şekil 4.33'ün incelenmesinden görüleceği gibi atığın $\pm 0,1$ değerlerinde düşüş eğilimi görülmektedir. Bu durum serbestleşmenin arttığını gösterir. Yakın yoğunluktaki malzemeyi esas alan Ateşok'un (2014) değerlendirme tablosu dikkate alındığında atığın yıkanabilirlik karakteristiğinin orta güçlükte olduğu görülmektedir. Tablo 2.2'de farklı yıkanabilirlik özelliğindeki kömürler için Bhattachary vd.'nin (2015) proses seçimi tablosu dikkate alındığında ağır ortam banyoları (DMB) ve DMC uygun proses olarak görülmektedir. Tablo 4.36'ya baktığımızda -1,60 yoğunluğunda zenginleştirme yapıldığında % 56,97 kül içeren bir beslemeden yaklaşık % 24,85 ağırlık oranında temiz kömür, % 14,81 kül oranıyla üretilmektedir. Bu durumda yanabilir verim % 49,20 olarak elde edilir. 1,60 ve 1,90 arasındaki malzeme % 20,27 olarak görülmektedir buda ara ürünün azımsanmayacak şekilde olduğunu göstermektedir. -10+0,5 mm tane boyu yüzdürme batırma deney sonuçlarına göre Şekil 4.33'e baktığımızda hesaben bulunan (% 20 kül - % 25 kül - % 30 kül) % 20 kül içeriğine sahip, ayırma yoğunluğu $1,73 \text{ g/cm}^3$ olan kütlice % 32,50 ağırlık oranında temiz kömür elde edilir. $\pm 0,1$ yoğunluğunda malzeme miktarı yaklaşık olarak % 12,80 ve yanabilir verim % 60,42 olarak elde edilir. Beslemeye göre ise % 15,42 ağırlık oranında konsantre ve beslemeye göre yanabilir verim % 28,67 olarak elde edilmektedir. % 25 kül içeriğine sahip ve ayırma yoğunluğu $1,82 \text{ g/cm}^3$ olan kütlice % 39,00 ağırlık oranında temiz kömür elde edilebilir. $\pm 0,1$ yoğunluğunda malzeme miktarı yaklaşık olarak % 11,50 ve yanabilir verim % 67,98 olarak elde edilir. Beslemeye göre ise % 18,51 ağırlık oranında temiz kömür ve beslemedeki yanabilir verim % 32,26 olarak hesaplanmıştır. % 30 kül içeriğine sahip, ayırma yoğunluğu $1,93 \text{ g/cm}^3$ olan kütlice % 46,50 ağırlık oranında konsantre (temiz kömür) elde edilir. $\pm 0,1$ yoğunluğundaki malzeme miktarı ise yaklaşık olarak % 11,00 ve yanabilir verim

% 75,64 olarak elde edilir. Beslemeye göre ise % 22,07 ağırlık oranında konsantre ve beslemedeki yanabilir verim hesaben % 35,90 olarak elde edilmektedir.



Tablo 4.36 -10+0,5 mm Tane Sınıfı Yıkanabilirlik Değerleri

Yoğunluk Aralığı (g/cm ³)	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme			Toplam Yüzen			Toplam Batan			±0,1Yoğ. Malzeme		
	Miktar (%) M	Kül (%) K	MxK	Miktar (%) Σ M ↓	ΣMxK↓	Kül,% $\frac{\Sigma MxK\downarrow}{\Sigma M\downarrow}$	Miktar (%) Σ M ↑	ΣMxK↑	Kül,% $\frac{\Sigma MxK\uparrow}{\Sigma M\uparrow}$	Yoğ	± 0,1 Yoğ. Malz. Mik. (%)	y
-1,30	0,24	7,10	1,70	0,24	1,70	7,08	100	5696,80	56,97			0,12
+1,30-1,45	13,40	8,68	116,31	13,64	118,01	8,65	99,76	5695,10	57,09	1,55	14,36	6,94
+1,45-1,60	11,21	22,30	249,98	24,85	367,99	14,81	86,36	5578,79	64,60	1,65	13,00	19,25
+1,60-1,75	9,15	38,31	350,54	34,00	718,53	21,13	75,15	5328,81	70,91	1,75	12,50	29,43
+1,75-1,90	11,12	53,31	592,81	45,12	1311,34	29,06	66,00	4978,27	75,43			39,56
+1,90	54,88	79,91	4385,46	100	5696,80	56,97	54,88	4385,46	79,91			72,56
TOPLAM	100	56,97	5697									



Şekil 4.33 -10+0,5 mm tane boyu yıkanabilirlik eğrileri

Tablo 4.37 Tane boyu aralığına göre kül-yanabilir verim sonuçları

Tane İriliği (mm)	Ağırlık (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim(%)
-10+0,5	47,46	56,97	63,00
-0,5	52,54	77,16	37,00
Toplam	100,00	67,57	100,00

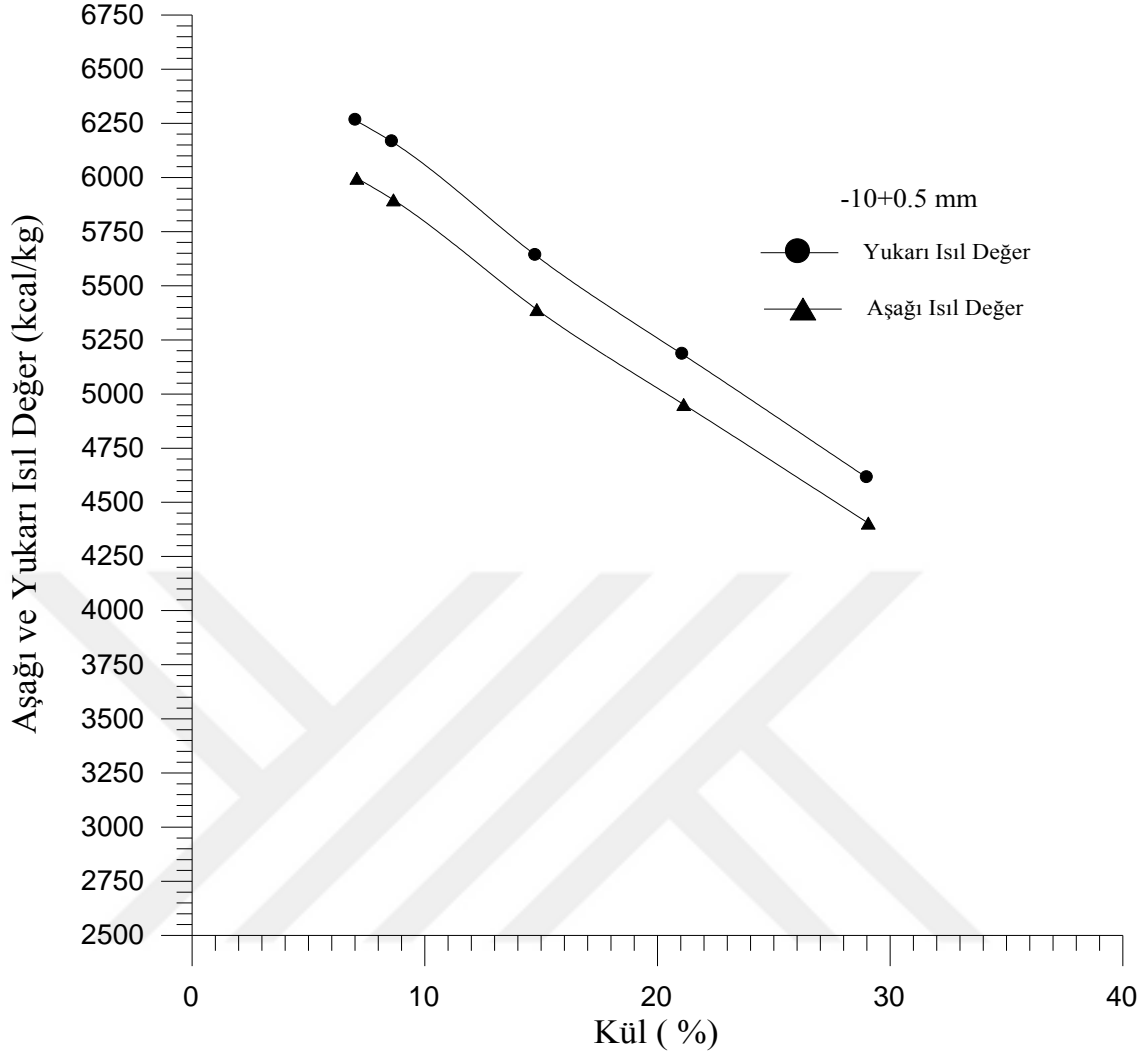
Tablo 4.38 Değişik kül oranlarında zenginleştirme yapıldığında teorik olarak elde edilecek temiz kömür miktarları

Tane İriliği (mm)	Ağırlık (%)	Temiz Kömür	ÜRÜNLER			BESLEMeye GÖRE ÜRÜNLER	
			Ağırlık(%)	Kül(%)	Yanabilir Verim(%)	Ağırlık (%)	Yanabilir Verim(%)
-10+0,5	47,46	Temiz Kömür	32,50	20	60,42	15,42	28,67
			39,00	25	67,98	18,51	32,26
			46,50	30	75,64	22,07	35,90

Tablo 4.39 -10+0,5 mm tane boyu deney sonuçlarına göre kül-ısııl değer miktarları

Yoğunluk Aralığı (g/cm ³)	Miktar (%) M	Kül (%) K	Yukarı Isıl Değer Kcal/kg I	Aşağı Isıl Değer Kcal/kg I	Yukarı Isıl değer MxI	Aşağı Isıl Değer MxI	Miktar (%) $\Sigma M \downarrow$	Kül% $\frac{\Sigma MxK \downarrow}{\Sigma M}$	Yukarı Isıl Değer $\Sigma MxI \downarrow$	Yukarı Isıl Değer $\frac{\Sigma MxI \downarrow}{\Sigma M \downarrow}$	Aşağı Isıl Değer $\Sigma MxI \downarrow$	Aşağı Isıl Değer $\frac{\Sigma MxI \downarrow}{\Sigma M \downarrow}$
-1,30	0,24	7,10	6260	5997	1502,40	1439,28	0,24	7,08	1502,40	6260	1439,28	5997
+1,30-1,45	13,40	8,68	6159	5895	82530,60	78993,00	13,64	8,65	84033,00	6160,78	80432,28	5896,79
+1,45-1,60	11,21	22,30	4997	4772	56016,37	53494,12	24,85	14,81	140049,37	5635,79	133926,40	5389,39
+1,60-1,75	9,15	38,31	3939	3760	36041,85	34404,00	34,00	21,13	176091,22	5179,15	168330,40	4950,89
+1,75-1,90	11,12	53,31	2866	2731	31869,92	30368,72	45,12	29,06	207961,14	4609,07	198699,12	4403,79
+1,90	54,88	79,91	x	x	-	-	100	56,97	-	-	-	-
TOPLAM	100	56,97										

X: Belirlenememiştir.

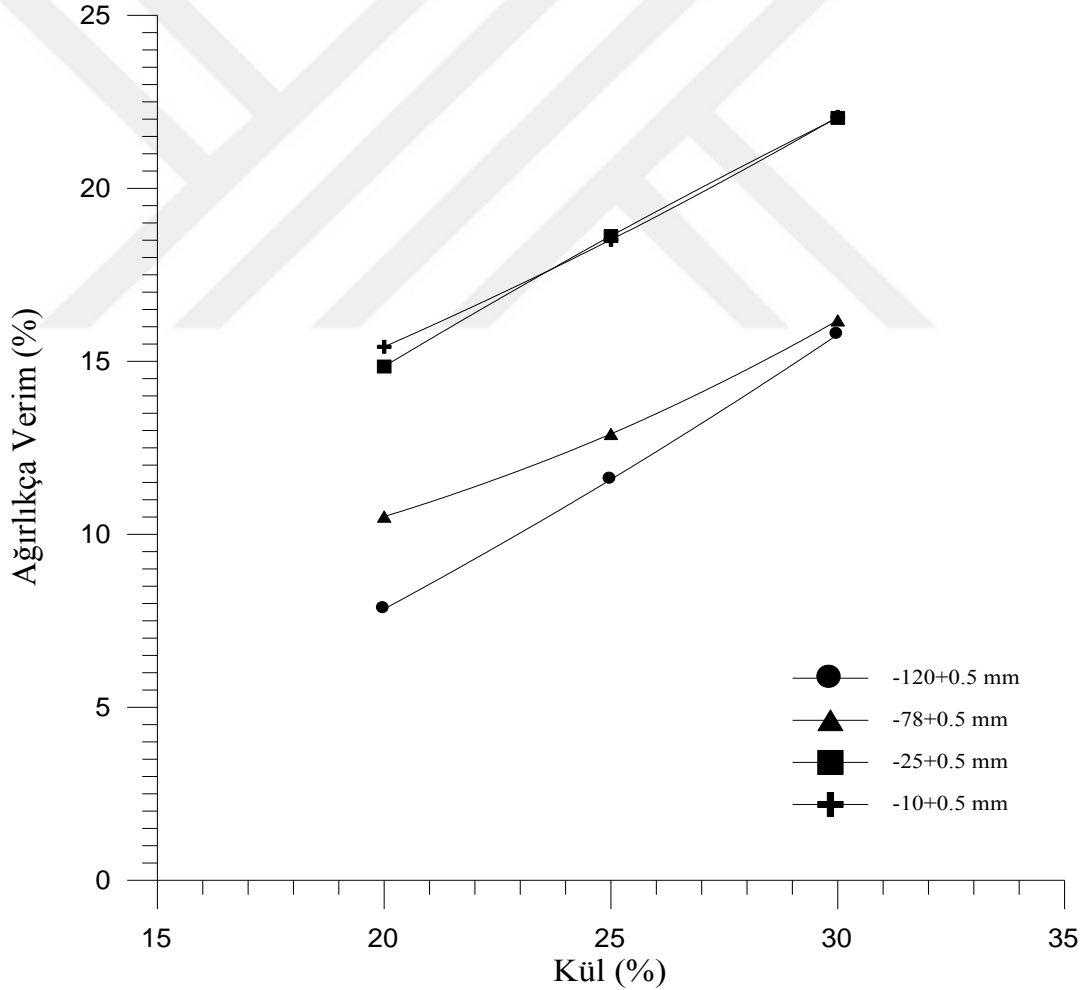


Şekil 4.34 -10+0,5 mm tane boyu kümülatif yüzen kül değerine karşı ısıl değer sonuçları

-10+0,5 mm tane boyunda Şekil 4.34'e baktığımızda kuru bazdaki ısıl değer sonuçlarına göre % 20 kül içeriğinde 5250 kcal/kg yukarı ısıl değer, 5025 kcal/kg aşağı ısıl değer- % 25 kül içeriğinde 4900 kcal/kg yukarı ısıl değer, 4700 kcal/kg aşağı ısıl değer - % 30 kül içeriğinde ise 4525 kcal/kg yukarı ısıl değer, 4325 kcal/kg aşağı ısıl değer sonuçları elde edilmektedir. Ayrıca Tablo 4.39'da görülen +1,90 g/cm³ yoğunluğunda ısıl değer tayini sonuç vermemiş ve belirlenememiştir.

Tablo 4.40 Yüzdürme - batırma yapılan atık ana numune ve kırılmış numunelerin farklı kül içeriklerine göre beslemedeki temiz kömür miktarları

Kül (%)	Ağırlıkça Verim (%)			
	-120+0,5 mm	-78+0,5 mm	-25+0,5 mm	-10+0,5 mm
20	7,84	10,51	14,85	15,42
25	11,58	12,90	18,62	18,51
30	15,77	16,18	22,04	22,07



Şekil 4.35 Yüzdürme - batırma yapılan atık ana numune ve kırılmış numunelerin farklı kül içeriklerine göre beslemedeki ağırlıkça verim grafiği

Tablo 4.40'da elde edilen temiz kömür miktarları verilmiştir. Tane iriliğine göre, yaklaşık olarak özel sektör fiyatları esas alınarak, temiz kömür miktarlarına göre elde edilen kazanım hesaplanmıştır. -120+0,5 mm tane aralığında % 100 verimle ayırma yapıldığında teorik olarak % 20 küllü kömürden % 7,84 ağırlık oranında temiz kömür üretilmektedir. Piyasa fiyatı dikkate alındığında (65 \$/ton) 100 ton kömürden 509,60 \$/ton kazanım sağlanmaktadır. % 100 verimle ayırma yapıldığında teorik olarak % 25 küllü kömürden % 11,58 ağırlık oranında temiz kömür üretilmektedir. Piyasa fiyatı dikkate alındığında 100 ton kömürden 752,70 \$/ton kazanım sağlanmaktadır. % 100 verimle ayırma yapıldığında teorik olarak %30 küllü kömürden % 15,77 ağırlık oranında temiz kömür üretilmektedir. Piyasa fiyatı dikkate alındığında 100 ton kömürden 1025,05 \$/ton kazanım sağlanmaktadır.

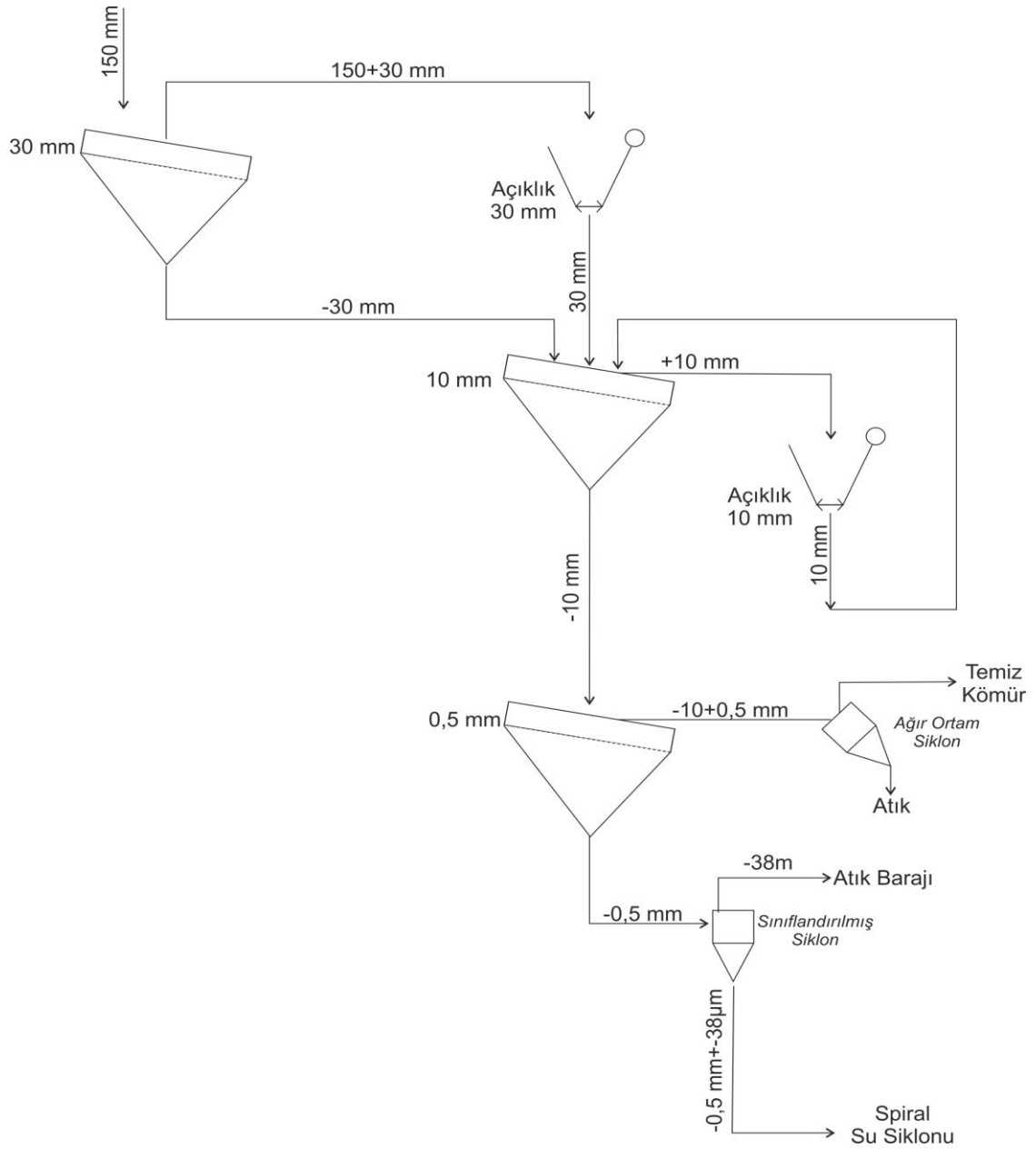
-78+0,5 mm tane aralığında % 100 verimle ayırma yapıldığında teorik olarak % 20 küllü kömürden % 10,51 ağırlık oranında temiz kömür üretilmektedir. Piyasa fiyatı (65 \$/ton) dikkate alındığında 100 ton kömürden 683,15 \$/ton kazanım sağlanmaktadır. % 100 verimle ayırma yapıldığında teorik olarak % 25 küllü kömürden % 12,90 ağırlık oranında temiz kömür üretilmektedir. Piyasa değeri dikkate alındığında 100 ton kömürden 838,50 \$/ton kazanım sağlanmaktadır. % 100 verimle ayırma yapıldığında teorik olarak %30 küllü kömürden % 16,18 ağırlık oranında temiz kömür üretilmektedir. Piyasa fiyatı dikkate alındığında 100 ton kömürden 1051,70 \$/ton kazanım sağlanmaktadır.

-25+0,5 mm tane aralığında % 100 verimle ayırma yapıldığında teorik olarak % 20 küllü kömürden % 14,85 ağırlık oranında temiz kömür üretilmektedir. Piyasa fiyatı (50 \$/ton) dikkate alındığında 100 ton kömürden 742,50 \$/ton kazanım sağlanmaktadır. % 100 verimle ayırma yapıldığında teorik olarak % 25 küllü kömürden % 18,62 ağırlık oranında temiz kömür üretilmektedir. Piyasa fiyatı dikkate alındığında 100 ton kömürden 931,00 \$/ton kazanım sağlanmaktadır. % 100 verimle ayırma yapıldığında teorik olarak %30 küllü kömürden % 22,04 ağırlık oranında temiz kömür üretilmektedir. Piyasa fiyatı dikkate alındığında 100 ton kömürden 1102,00 \$/ton kazanım sağlanmaktadır.

-10+0,5 mm tane aralığında % 100 verimle ayırma yapıldığında teorik olarak %20 küllü kömürden % 15,42 ağırlık oranında temiz kömür üretilmektedir. Piyasa fiyatı (50 \$/ton) dikkate alındığında 100 ton kömürden 771,00 \$/ton kazanım sağlanmaktadır. % 100 verimle ayırma yapıldığında teorik olarak % 25 küllü kömürden % 18,51 ağırlık

oranında temiz kömür üretilmektedir. Piyasa fiyatı dikkate alındığında 100 ton kömürden 925,50 \$/ton kazanım sağlanmaktadır. % 100 verimle ayırma yapıldığında teorik olarak % 30 küllü kömürden % 22,07 ağırlık oranında temiz kömür üretilmektedir. Piyasa fiyatı dikkate alındığında 100 ton kömürden 1103,50 \$/ton kazanım sağlanmaktadır.

Linvit atığının kazanımı sonucunda tasarlanan tesis akım şeması Şekil 4.36'da verilmiştir.



Şekil 4.36 Tasarlanan tesis akım şeması

4.2 Zenginleştirme Deney Bulgularının Değerlendirilmesi

Zenginleştirme deneyleri yüzdürme - batırma deneyleri sonucunda en verimli sonucu aldığımız -10 mm'ye kırılan atık örneği ile yapılmıştır. Atık örneğinin büyük bir kısmı mineral maddelerden oluştuğundan (kül oranı % 56,97) ve yüksek yoğunluklara doğru $\pm 0,1$ yoğunluk dağılımı 10 değerine yaklaşmaktadır. Laboratuvarda mevcut olan yoğunluk farkına dayalı zenginleştirme yapan basit gravimetrik cihazlarla atık üzerinde zenginleştirme çalışmaları da yapılmıştır. Çalışılan tane boyu jig ve sarsıntılı masa için uygun tane irilikleridir (Laskowski, 2001). Bu cihazlarda ayırma yoğunluğu (kesme yoğunluğu) yaklaşık olarak 1,6 - 1,8 g/cm³ aralığında değişirken masalar için ise 1,6 – 2 g/cm³ aralığında değişmektedir. Bilindiği gibi bu cihazların muhtemel hata değerleri de tane iriliğine bağlı olarak değişmektedir. Her cihaz için ayırmanın verimli olduğu, hata değerinin minimum olduğu (EP değerinin düşük olduğu) optimum bir tane aralığı vardır. Bu çalışmada farklı denemeler yapılmıştır.

-10+0,5 mm tane iriliğinde ki malzeme sınıflandırılarak -10+3,15 mm'lik kısmı jigde, -3,15+0,5 mm'lik kısmı sarsıntılı masada zenginleştirme çalışmaları yapılmıştır. Bilindiği gibi MGS (Multi Gravite Seperator) deneyleri -500+38 μ m aralığındaki malzemeye çalışılmıştır. MGS ince ve ultra ince tanelerin zenginleştirilmesinde kullanılmaktadır. MGS deneyleri katı oranı: % 20, katı miktarı: 3 kg, genlik: 10 mm, frekans: 4,8 sn⁻¹, besleme 2 dk. (30 sn sonra atık alındı) deney koşullarında yapılmıştır. Sarsıntılı masa ve jig deneyi için hazırlanan örneklerin elek analizi Tablo 4.41'de, MGS deneyi için hazırlanan örneklerin elek analizi ise Tablo 4.42'de verilmiştir Jig deney sonuçları Tablo 4.43'de verilmiştir. Sarsıntılı masa deneylerinde yıkama suyu: 7,5 L/dk, masa eğimi: 3⁰, masa frekansı: 280 dev/dk koşullarında yapılmış ve deney sonuçları Tablo 4.44'de verilmiştir.

Tablo 4.41 Jig ve sarsıntılı masa deneylerinde kullanılan atık örneğinin elek analizi

Tane Boyu (mm)	Miktar (%)
-10+3,15	68,53
-3,15+0,5	31,47
Toplam	100,00

Tablo 4.42 Multi Gravite Seperatör (MGS) deneyi için kullanılan atık örneği elek analizi

Tane Boyu (μm)	Miktar (%)
-500+38	43,00
-38	57,00
Toplam	100,00

4.2.1. Jig deneyi bulgularının değerlendirilmesi

Tablo 4.43'deki değerlerden görüldüğü gibi % 63,46 kül içeren beslemeden % 49,12 kül içeren konsantre % 63,76 verimle kazanılmıştır. Jig ile zenginleştirmede düşük küllü konsantre üretilmeyeceği görülmektedir.

Tablo 4.43 Jig deney sonuçları

Tane İriliği (mm)	Ürünler	Miktar (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)
-10+3,15	Konsantre	45,79	49,12	63,76
	Ara Ürün	10,20	70,43	8,25
	Atık	44,01	76,76	27,99
	Toplam	100,00	63,46	100,00

4.2.2 Sarsıntılı masa deney bulgularının değerlendirilmesi

Deneyde tane iriliği $-3,15+0,5$ mm olan atık örneğinden 500 g hazırlanıp % 35 katı oranıyla pülp halinde beslenerek deney yapılmıştır. Ayrılma gerçekleşince konsantre, ara ürün ve atık şeklinde ürünler alınmıştır. Alınan ürünlerin miktarları ve kül içerikleri Tablo 4.44’de verilmiştir. Tablo 4.44’e baktığımızda sarsıntılı masayla yapılan deneyde % 45,59 kül içeren beslemeden % 17,19 kül oranında konsantre, % 17,04 ağırlık oranıyla üretilmiştir. Yanabilir verim % 25,93 olarak bulunmuştur. % 17 küllü konsantre üretilmesine rağmen ara ürün miktarının fazla olduğu görülmektedir. Ara ürün + konsantre birleştirildiğinde % 36,31 kül oranındaki konsantre yaklaşık % 85 yanabilir verimle üretilir. Ara ürün hesaben dağıtıldığında % 17,19 küllü konsantre % 17,04 ağırlık oranıyla ve yanabilir verim % 25,93 olarak üretilir.

Tablo 4.44 $-3,15+0,5$ mm için sarsıntılı masa deney sonuçları

Tane İriliği (mm)	Ürünler	Miktar (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)
$-3,15+0,5$	Konsantre	17,04	17,19	25,93
	Ara Ürün	55,67	42,16	59,18
	Atık	27,29	70,32	14,89
	Toplam	100,00	45,59	100,00

4.2.3 Multi Gravite Seperatör (MGS) deney bulgularının değerlendirilmesi

Bu grupta yapılan deneylerde beslemenin içinde bulunan şlam boyundaki atığın -38 µm'lik kısmı yüksek kül içeriği nedeniyle ayrılmıştır. Deneyler 3 kg örnekle % 20 katı oranıyla farklı şartlarda 4 deney, içinde şlam bulundurmayan -500+38 µm tane aralığındaki örnekler ile yapılmıştır. Multi gravite ayırıcısıyla (MGS) yapılan zenginleştirme çalışmalarından yaklaşık % 66,24 kül içeren beslemeden, % 62,49 kül içeren temiz kömür elde edildi ve MGS ile yapılan zenginleştirmede önemli bir başarı sağlanamamış ve deney sonuçları verilmemiştir.



5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

5.1 Tartışma

Kömür hazırlamada farklı boyutlarda ve farklı kalitelere talebe göre kömür üretilmektedir. Özellikle yoğunluğa dayalı zenginleştirme süreçlerinde, tane boyu önemli bir parametredir. Dolayısıyla farklı tane boylarında, kömürün yapısı da göz önünde bulundurularak çeşitli avantajlarından dolayı farklı tip zenginleştirme ekipmanları ve farklı ortamlar kullanılmaktadır. Kömür yıkamada, yıkama ekipmanları genel olarak su ortamlı ve ağır ortamlı olarak ikiye ayrılmakta, bu ekipmanlar ise kendi içlerinde iri ve ince kömürde kullanılan ekipmanlar olarak farklı gruplara ayrılmaktadır (Horsfall, 1980).

Organik ve inorganik bileşiklerin oluşturduğu kükürt, nem ve kül yapıcı mineraller kömür bünyesinde bulunan zararlı maddelerdir. (Atak vd.,1991). Kömür hazırlamanın amaçları; kül ve nemi uzaklaştırarak kömürün ısı değerini yükseltmek, kükürdü uzaklaştırarak çevre kirliliği ve korozyonun önüne geçmek ve kömürü tüketim yerinin istediği boyut gruplarına sınıflandırmaktır (Çelik, 2002).

Kömür numunesinin zenginleştirilmesinde, kömür - inorganik madde ayırımı açısından, optimum bir ayırım şartı ya da kesme yoğunluğu söz konusudur. Bu durumda, en verimli yoğunlukta en yüksek yanabilir verim ile en iyi temiz kömür külünün kazanımı söz konusudur. Böyle bir değerlendirme, yüzdürme-batırma testi sonucunda kolaylıkla yapılabilmektedir. Yüzdürme-Batırma testi sonucunda elde edilen kümülatif temiz kömür miktarı ve kül değerlerini hesaplayarak optimum yıkanabilirlik derecesinde saptanabilir (Rao ve Gouricharan, 2016).

Ayhan vd.'nin (2008) yer üstü ve yer altı linyit örnekleriyle çinko klorür ağır ortam sıvısı kullanarak, -50+20 mm, -20+4,75 mm ve -4,75+0,5 mm tane boylarında yaptıkları yüzdürme- batırma deney sonuçlarına göre yer üstü linyit örneklerinde en iyi sonuç $\pm 0,1$ değerleri en düşük olan -50+20 mm tane boyunda yıkanabilirliğini kolay olarak bulmuşlardır. Yer altı linyit örnekleriyle yaptıkları çalışmalarda ise tüm tane boylarında yıkanabilirlik özelliği kolay olarak elde edilmiştir. Ayrıca yer üstü linyitleriyle yaptığı deneyler sonucunda % 20,99 ve yer altı linyitlerinde ise % 28,22 ağırlık oranında temiz kömür kazanımı sağlanmıştır. Her iki kömürde +0,5 mm tane boyunda yıkama prosesi olarak ağır ortam siklonu önerilmiştir (Ünlü, 1990).

Abakay Temel ve Bozkurt'un (2008) Adıyaman - Gölbaşı linyitleriyle yaptığı yıkanabilirlik çalışmalarında -50+20 mm, -20+4,75 mm ve -4,75+0,5 mm tane boylarında çinko klorür çözeltisi kullanılarak yapılmıştır. Bütün tane boylarında $\pm 0,1$ yoğunluk ayırma değerleri 25'den büyük olduğu için ayırma yoğunluğuna yakın madde miktarının ayırma üzerindeki etkisi göz önüne alınarak Özbayoğlu ve Bilgen (1997) tarafından oluşturulan tablo ayırmanın mümkün olmadığını göstermektedir. Buda tane boyu küçüldükçe serbestleşmenin olmaması ve linyit içerisinde çok ince boyutlarda kilin bulunması sebebiyle yıkanabilme özelliğinde bir iyileşme olmadığını bir göstergesidir.

5.2 Sonuçlar

Bu bölümde deneyler genel olarak dört grupta yapılmıştır.

1. Aydın bölgesine ait tüvenan linyit ile yapılan deneyler
2. Aydın bölgesine ait linyit atığı ana numune ile yapılan deneyler
3. Linyit atığını farklı tane boylarına kırarak yapılan deneyler
4. Kırılmış linyit atığını belirlenen tane aralığında zenginleştirme işlemi uygulanarak yapılan deneyler.

5.2.1 Tüvenan linyit ile yapılan deney sonuçları

Birinci grupta yapılan deneylerde linyit ana numunesinin % 29,43 kül içeriğine sahip olan bir örneği beş farklı tane boyuna ayırarak yüzdürme batırma deneyleri yapılmıştır. Tüm tane boylarında $\pm 0,1$ yoğunluk ayırma değerleri $1,80 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda 7'nin altında bulunmaktadır. Ateşok'a (2004) göre oluşturulan tabloda ayırmanın çok kolay olduğunu söyleyebiliriz. Yıkama prosesi olarak da Bhattachary vd.'nin (2015) oluşturduğu proses tablosuna göre jigler, spiraller ve kaynayan yataklı ayırıcıları söyleyebiliriz. Kömürün tane boyu azaldıkça kül içeriğinde azalma ve serbestleşmenin artmasıyla yıkanabilme özelliğinde iyileşmeler görülmüştür. Hesaben bulunan -120+0,5 mm tane boyu linyitte beslemeye göre % 10 kül içeriğine sahip ağırlıkça % 35,76 temiz kömür kazanımı sağlanmıştır ve % 15 küllü kömür için ise ağırlıkça % 61,36 temiz kömür elde edilmiştir. Kömürde +5,6 mm tane boyuna kadar yapılan yüzdürme – batırma sonuçlarına göre ısı değer miktarlarında artış gözlenmiştir ve % 10 kül içeren bir kömürde kuru bazda üst ısı değer 6120 kcal/kg değerine ulaşılmıştır. Fakat -5,6+0,5

mm tane boyunda ısıl değerlerde sapmalar oluşmuştur ve bunun sebebi mineral maddenin kömürden uzaklaştırılmamasına dayandırılabilir. 0,5 mm'nin altına santrifüjlü yüzdürme batırma deneyi yaparak kül değerlerinin ince boyutta düşüşü beklenmekteydi fakat verimli sonuç alınamamıştır. İnce tanelerde kil mineralleri kömür mineralleri arasına hapsolmasıyla kül içeriğinin yükselmesine sebep olduğu değerlendirilmiştir. Ayrıca mineral madde fazlalığı nedeni ile ayarlanan ortam yoğunluğunun bozulması da sonuçlarda etkili olduğu değerlendirilmiştir.

5.2.2 Linyit atığı ana numune ile yapılan deney sonuçları

İkinci grup deneylerde linyit atığı ana numunesinin % 66,25 kül içeriğine sahip olan örneği altı farklı tane boyu aralığına ayrılarak yüzdürme batırma deneyleri yapılmıştır. Tane boyu azaldıkça kül içeriğinde düşüş gözlemlenmiştir ve -10+0,5mm tane boyunda yıkama sonucunda kül içeriği % 39,13 değerine inmiştir. Tüm tane boylarında $\pm 0,1$ yoğunluk değerleri dar bir aralıkta değişmiştir ve bunun sebebi tesisten gelen haliyle her bir tane aralığı için yakın yoğunluktaki tanelerin tüm yoğunluklarda homojene yakın bir dağılım göstermiş olduğunu söyleyebiliriz. Bhattachary vd.'nin (2015) oluşturduğu proses seçimi tablosuna göre ağır ortam banyoları ve ağır ortam siklonu bu kömürler için uygundur. Hesaben bulunan -120+0,5 mm tane boyunda beslemeye göre % 20 kül içeriğine sahip, ağırlıkça % 7,84 temiz kömür elde edilir. % 25 kül içeriğine sahip ağırlıkça % 11,58 verimle temiz kömür elde edilir ve % 30 kül içeriğine sahip ağırlıkça % 15,77 oranında temiz kömür kazanımı sağlanmıştır. 0,5 mm'nin altına santrifüj deneyi yapılmıştır fakat ince tanede kül değerlerinde düşüş görülmemiştir yani verimli sonuç alınamamıştır. Ayrıca -38 μm 'lik kısmı çıkarılarak yapılan santrifüj deney sonuçlarından da verimli sonuçlar alınamamıştır. Buda linyit atığındaki kil minerallerinin yüksek olması ve ince tanelere hapsolmasıyla kül içeriğinin yükselmesine sebep olduğu değerlendirilmiştir.

5.2.3 Linyit atığını farklı tane boylarına kırarak yapılan deney sonuçları

Üçüncü grupta yapılan deneylerde linyit atığı -78 mm, -25 mm ve -10 mm'ye kırılmıştır.

5.2.3.1 -78 mm'ye kırılan linyit atığı deney sonuçları

-78 mm'ye kırılan atık örneğini farklı tane boylarına ayırarak yapılan yüzdürme batırma deneylerinde tane boyu azaldıkça serbestleşmenin artmasıyla kül değerlerinde düşüş

elde edilmiştir ve -10+0,5 mm tane boyunda kül içeriği % 38,95'e düşürülmüştür ve yanabilir verimi % 18,72 olarak elde edilmiştir. ± 0.1 yoğunluğunda ki malzeme dağılımları tüm tane boylarında dar bir aralıkta değişmiştir ve her bir tane aralığı için yakın yoğunluktaki tanelerin tüm yoğunluklarda homojene yakın bir dağılım göstermiş olduğunu söyleyebiliriz. Hesaben bulunan -78+0,5 mm tane boyunda % 20 kül içeren bir beslemeden ağırlıkça % 10,51 verim sağlanmıştır. % 25 kül içeren bir beslemeden ağırlıkça % 12,90 verim ve % 30 kül içeren bir beslemeden ise ağırlıkça % 16,18 verimle temiz kömür kazanımı sağlanmıştır.

5.2.3.2 -25 mm'ye kırılan linyit atığı deney sonuçları

-25+0,5 mm tane boyunda $\pm 0,1$ yoğunluk değerleri 12,80 - 15,95 olarak çok dar aralıkta değiştiği ve yoğunluğa bağlı olarak $\pm 0,1$ yoğunluk değerleri homojen bir dağılımı ifade etmektedir. Ateşok'un (2014) yakın yoğunluktaki malzemeyi esas alan değerlendirme tablosu dikkate alındığında atığın yıkanabilirlik karakteristiğinin orta güçlükte olduğu görülmektedir. Bhattachary vd.'nin (2015) farklı yıkanabilirlik özelliğinde kömürler için proses seçimi tablosu dikkate alındığında zenginleştirmede ağır ortam banyoları ve ağır ortam siklonu uygun olarak görülmektedir.

Yıkama sonuçlarına göre hesaben bulunan beslemeye göre % 20 kül içeriğine sahip ve % 14,85 ağırlık oranında temiz kömür kazanımı sağlanmıştır ve yanabilir verimi ise % 27,84 olarak elde edilir. % 25 kül içeriğine sahip % 18,62 ağırlık oranında temiz kömür kazanımı sağlanmaktadır ve yanabilir verimi % 32,72 olarak elde edilir. % 30 küllü kömürden ise % 22,04 ağırlık oranında temiz kömür kazanımı % 36,15 yanabilir verimle elde edilmektedir.

5.2.3.3 -10 mm'ye kırılan linyit atığı deney sonuçları

-10+0,5 mm tane boyunda $\pm 0,1$ yoğunluk değerleri 12,50 – 14,36 değerleri arasında değişmektedir. Yıkanabilirlik karakteristiğinin Ateşok'un (2014) değerlendirme tablosuna göre orta güçlükte olduğunu söyleriz. Proses seçiminde Bhattachary vd.'nin (2015) tablosuna göre ağır ortam banyoları ve ağır ortam siklonu uygun olarak görülmektedir. Aynı tane boyunda hesaben bulunan % 20 kül içeriğine sahip beslemeye göre % 15,42 ağırlık oranında temiz kömür elde edilmekte ve yanabilir verimi % 28,67 olarak görülmektedir. % 25 kül içeren bir beslemeden % 18,51 ağırlık oranında temiz kömür ve yanabilir verimi % 32,26 olarak elde edilir. Kuru bazdaki ısıl değer sonuçlarına göre kül değerlerindeki azalmayla beraber ısıl değer oranlarında artış

sağlanmış ve teorik olarak hesaplanan % 20 kül içeren bir kömürde 5250 kcal/kg - 5025 kcal/kg ısı değer sonuçları elde edilmiştir. % 25 kül içeren bir kömürde ise 4900 kcal/kg - 4700 kcal/kg ısı değer sonuçları elde edilmektedir.

5.2.4 Kırılmış linyit atığına belirlenen tane aralığında zenginleştirme işlemi uygulanarak yapılan deney sonuçları

Dördüncü grup deneylerde -10 mm'ye kırılan atığın zenginleştirme deney sonuçları verilmiştir. -10+3,15 mm tane iriliğinde jig deney sonuçlarına göre %63,46 kül içeren beslemeden %49,12 kül içeren konsantre % 63,76 verimle kazanılmıştır. Jig ile zenginleştirmede düşük küllü konsantre üretilemeyeceği görülmektedir. -3,15+0,5 mm sarsıntılı masayla yapılan deneyde % 45,59 kül içeren beslemeden % 17,19 kül oranında konsantre, % 17,04 ağırlık oranıyla üretilmiştir ve yanabilir verim % 25,93 olarak bulunmuştur. % 17 küllü konsantre üretilmesine rağmen ara ürün miktarının fazla olduğu görülmektedir. Ara ürün + konsantre birleştirildiğinde % 36,31 kül oranındaki konsantre yaklaşık % 85 yanabilir verimle üretilir. Ara ürün hesaben dağıtıldığında % 17,19 küllü konsantre % 17,04 ağırlık oranıyla ve yanabilir verim % 25,93 olarak üretilir. Multi gravite ayırıcısıyla (MGS) yapılan zenginleştirme çalışmalarından yaklaşık % 66,24 kül içeren beslemeden, % 62,49 kül içeren temiz kömür üretilir ve yanabilir verim % 89,14 olarak elde edilir. MGS ile yapılan zenginleştirmede önemli bir başarı sağlanamamıştır.

KAYNAKLAR

- Abakay Temel H., Bozkurt V.** (2008). “Adıyaman-Gölbaşı Linyitinin Yıkama Olanaklarının Araştırılması”, Vol.47, no. 4, 13-21.
- Aktaş, Z., Karacan, F. And Aral, O.** (1998). Centrifugal Float-Sink Separation of Fine Turkish Coals in Dense Media, *Fuel Processing Technology*, Vol.55, 235-250.
- Altınçelep, Z., Bayat, O.** (2017). Sekköy (TKİ-GELİ) kömür Hazırlama Tesisinin Performansının Değerlendirilmesi, 56(2), 77-84.
- Aplan, F. F.** (1976). Coal Flotation, in Flotation, A.M. Gaudin Memorial Volume, AIME, New York, Chapter 45, 1235-1264.
- Aplan, F. F. and Arnold, B. J.** (1991). Flotation, In: Leonard, J. W. And Hardinge, B. C. (Eds.), *Coal Preparation*, SME, Littleton, CO, 450-485.
- Aplan, F. F.** (1993). Coal Properties Dictate Coal Flotation Strategies, *Mining Engineering*, Volume 45, 83-96.
- Arslan, V., Kemal, M. ve Çiçek, T.** (1996). HÜSTAŞ Kömür Şlamının Spiralle Zenginleştirilme Olanakları, *Dokuz Eylül Üniversitesi*, Yayınlanmamış Çalışma.
- Atak, S., Ateşok, G., Yıldırım, İ.** (1991). “Kömür Hazırlamada Yenilikler”, Kömür Tenolojisi ve Kullanımı Semineri, *Yurt madenciliğini Geliştirme Vakfı*, 79-91.
- Ateşok, G.** (1986). Kömür Hazırlama, *Kurtiş matbaası*, 2s.
- Ateşok, G.** (2004). Kömür Hazırlama ve Teknolojisi, *Beril Yayıncılık Matbaacılık Ltd. Şti.*, İstanbul.
- Ayhan, F.D., Abakay Temelci, H.** (2008). Eskişehir Mihaliççik Linyitinin Yıkabilme Özelliklerinin Araştırılması, *Madencilik*, Vol 47, No:4, pp 35-42.
- Ayhan, F.D., Abakay, H., Kahraman, F.** (2003). Şırnak Asfaltitlerinden Külün Flotasyon Yöntemi İle Uzaklaştırılması, Vol 42,No:1, 27-34.
- Bahrami, A., vd.** (2018). The Beneficiation of Tailing of Coal Preparation Plant by Heavy-Medium Cyclone, s40789-018-0221-6.
- Bhattacharya, S., vd.** (2015). Coal Cleaning Operations: The Question of Near Gravity Material, 69(1), 157-172.

- Brown, D. J.** (1962). Coal Flotation, In: D. W. Fuerstenau (Editor), Froth Flotation-50 th Anniversary Volume. *AIME*, New York, 518-538.
- Burt, R. O.** (1975). "Development of the Bartles Crossbelt Concentration for the Gravity Concentration of Fines", *Int. J. Min. Proc.*, 2, pp. 219-234.
- Cavallaro, J. A. and Deurbrouck, A. W.** (1977). An Overview of Coal Preparation, *ACS Symposium Series*, Vol.64, 35-37.
- Çelik, H.** (2002). İnce Kömürlerin Temizlenmesinde Köpük Flotasyonu ve Ağır Ortam Siklonlarının Entegrasyonu, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Doktora Tezi), İzmir.
- Chong, S. P.** (1978). "Gravity Concentration Successfully Treats Iron Ore Fines at Carol Lake" , *Min. Eng.*, Dec., pp. 1639-1643.
- Doğan, Z.** (1994). Özgül Ağırlık Farkı (Gravite) ile Zenginleştirme, Cevher Hazırlama El Kitabı, Ed:Önal, G. ve Ateşok, G., 147-172.
- Honaker , R. Q. and Forrest W. R.** (2003). Advances in Gravity Concentration, Society for Mining, *Metallurgy, and Exploration, Inc*, 82s.
- Horsfall, D. W.,** (1980). "Coal Preparation and Usage", *Coal Publications Ltd.*, Johannesburg, South Africa.
- Horsfall, D. W.** (1992). Coal Preparation and Usage, *Coal Publications Ltd*, Johannesburg, South Africa.
- Jia, R., Haris, G. H. and Fuerstenau, D. W.** (2000). An Improved Class of Universal Collectors for the Flotation of Oxidized and/or Low-Rank Coal, *International Journal of Mineral Processing*, Volume 58, Number 1, 99-118.
- Kawashima, Y., Hanada, T., Takeuchi, H., Takenaka, Y.N.H. and Lin, S. Y.** (1986). Spherical Agglomeration of Calcium Carbonate Dispersed In Aqueous Medium Containing Sodium Oleate, *Powder Technology* , 46, 61-66.
- Kemal, M., Arslan, V.** (2010). Kömür Teknolojisi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları* No: 033, İzmir.
- Keskin, Y.** (1988). Kömür Hazırlama Yöntemleri, *İlkadım Matbaası*, Zonguldak, 7s.
- Kızıgut, S.** (1990). TTK Karadon Bölge Kömür Damarlarının Yıkabilirlik Özelliklerinin Araştırılması, *Madencilik*, Vol 29, No:1, 33-40.

- Killmeyer, R. P.**, (1980). "Performance Characteristics of Coal Washing Equipment: Baum and Batac Jig." *U.S. Depart. Of Energy*, RI-PMTC-Oct.
- Kural, O.** (1991). Kömür, *Kurtiş Matbaası*, İstanbul.
- Laskowski, J. S. and Ralston, J.** (1992). Colloid Chemistry in Mineral Processing, *Developments in Mineral Processing*, D. W. Fuerstenau / Advisory Editor, Volume 12, Elsevier.
- Laskowski, J. S.** (2001). Coal Flotation and Fine Coal Utilization, *Elsevier Science Ltd*, ISBN0-444-50537-7, Volume 14, Chapter 3, Amsterdam.
- Laskowski, J. S.** (2006). Coal Flotation-The Future, Proceedings of XXIII International *Mineral Processing Congress*, Volume 2, İstanbul, Turkey, 3-8 September, 1101-1110.
- Leonard, J. W.** (1991). Coal Preparation, Fifth Edition, *Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc.*, Littleton-Colorado.
- Oliver, E. T., Abbot, J. and Miles, N. J.** (1995). Liberation Characteristics of a Coal Middlings, *Department of Mineral Resources Engineering, University of Nottingham*, Nottingham, England.
- Osborne, D. G.** (1988). Flotation, Agglomeration and Selective Flocculation, *Coal Preparation Technology*, Volume 1, Chapter 9, Graham and Trotman Limited Publishers, London.
- Önal, G., Ateşok, G. ve Perek, K.T.** (2014). Cevher Hazırlama El Kitabı, *Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı Yayını*, İstanbul.
- Önal, G., Ateşok, G.** (1995). Editör, "Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri III", *Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı Yayını*, Çayırhan-Ankara.
- Özbayoğlu, G., Bilgen, S.** (1997). "Türkiye'de Kömür Yıkama Tesisleri", Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri IV, *Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı*, 107-123.
- Pawlak, W., Turak, A., Janiak, J., Briker, Y. and Ignasiak, B.** (1986). Oil Agglomeration of Low Rank Coals and Development of Methods for Recovery of Oil Agglomerates Proceedings, *11 th Annual Epricontractor's Conference on Clean Liquid and Solid Fuels*, 1-26.

- Rao, S ve Gouricharan, T.** (2016). Coal Processing and Utilization, SBN 9781138029590, CRC press.
- Sevim, H., Wang, Q. and Saluja, P.** (1992). Guidelines for Evaluating Environmental Impacts and Technical Features of Underground Coal Waste Disposal in the Midwest, *Environmental Issues and Management of Waste in Energy and Mineral Production*, R. Singhal et al., Eds., Balkema.
- Şimşek, S.** (2007). Farklı Kömürlerin Flotasyon ile Zenginleştirilmesinde Klasik Flotasyon Yağları ile Bitkisel Kökenli Yağların Performanslarının Karşılaştırılması, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı*, Sivas.
- Terry, R. L.** (1974). "Minerals Concentration by Wet Tabling", *Mineral Processing*, 15, p. 14.
- Ünlü, M.** (1989). "M-Eğrisi ve Kullanımı" *Madencilik*, Cilt XXVII, Sayı 1, Mart, s.25-33.
- Ünlü, M.** (1990). "Linyitlerimizin Yıkabilme Özellikleri ve Yıkama Olanakları", 3. *Uluslar Arası Cevher Hazırlama Sempozyumu*, İstanbul, 274-286.
- Vamvuka, D. and Agridiotis, V.** (2001). The Effect of Chemical Reagents on Lignite Flotation, *International Journal of Mineral Processing*, Volume 61, Number 3, 209-224.
- Venkatesan, S.** (1976). Use of M-Curve Predicts Washing Properties of Coal", *Coal Age*, s. 108-111.
- Yalçın, H. ve Bozkaya, Ö.** (2002). "Hekimhan (Malatya) çevresindeki Üst Kretase Yaşlı Volkaniklerin Alterasyon Minerolojisi ve Jeokimyası: Denizsuyu-kayaç Etkileşimine Bir Örnek " *C.Ü. Müh. Fakültesi Dergisi Seri A-Yerbilimleri*, 19, s:81-98.
- Yaman, S., Çelik, M.S. ve Küçükbayrak, S.** (1991). Kömür, Ed. Orhan Kural, *Özgün Ofset Matbaacılık A.Ş.*, 337-351.
- Yıldırım, İ., Ateşok, G. Ve Çelik M.** (1995). Laboratuvar-Pilot Tip Multi Gravite Cihazı ile Kömür-Su Karışımları İçin Süper Düşük Küllü Kömür Üretimi, *Türkiye 14.Madencilik Kongresi*, 443-444.

- Yıldız, N.** (2010). Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme, *Ertem Basım Yayın Dağıtım Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.*, Ankara, 305-310.
- Yiğit, E.** (1999). Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü*, Zonguldak.
- Xia, Y., Li, J.** (2007). Fine coal circuitry considerations in treatment of soft coal with difficult washabilities, *Fuel Processing Technology*, 759–769.
- Weiss, N.L. ed.** (1985). “SME Mineral Processing Handbook”, *Section 13 and 24, Society of Mining Engineers of AIMM*, New York.
- Wills, B. A.,** (1988). “Mineral Processing Technology”, *4th Edt., Pergamon Press*, U.K.
- Wright, A.** (1984). Magnetite Recovery Systems for Heavy-Media Cleaning Circuits, *Coal Age*, July, 89, 58-61.
- Url-1** <https://www.bp.com/tr_tr/turkey.html>, alındığı tarih: 22.08.2018.

ÖZGEÇMİŞ



Adı Soyadı Nilüfer TİĞLİ SAYIN
Doğum Yeri ve Tarihi Giresun, 13.05.1986
Medeni Hali Evli
Yabancı Dil İngilizce
İletişim Adresi Eğri köprü mah. 75-1. Sokak Netcity C blok daire
No: 8 Merkez/SİVAS
İletişim No: 0506 862 5131
E-posta Adresi niluferriglii@gmail.com

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise Giresun Lisesi, 2003
Lisans Cumhuriyet Üniversitesi, 2009
Yüksek Lisans Cumhuriyet Üniversitesi, 2019