

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET.....	i
SUMMARY	iii
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ.....	x
1.GİRİŞ.....	1
2.GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Yağ Aglomerasyonu	3
2.2. Flotasyon.....	7
2.3. Agloflotasyon.....	10
2.4. Multi Gravite Seperator (MGS)	12
2.5. Ağır Ortam Ayırması	12
3.MALZEME VE YÖNTEM.....	14
3.1. Malzeme.....	14
3.1.1. Kömür örneği.....	14
3.1.2. Deneylerde kullanılan reaktifler.....	14
3.2. Yöntem	15
3.2.1.Kömür örneklerinin hazırlanması.....	15
3.2.1.1. Aglomerasyon, flotasyon ve agloflotasyon deneyleri için örneklerin hazırlanması.....	15
3.2.1.2. Düşük küllü kömür üretimi için örneklerin hazırlanması.....	19
3.2.2. Analizler.....	20
3.2.2.1. Kimyasal analiz.....	20
3.2.2.2. Elek analizleri.....	21
3.2.3. Deneylerin yapılışı.....	25
3.2.3.1. Aglomerasyon deneylerinin yapılışı	25
3.2.3.2. Flotasyon deneylerinin yapılışı.....	26
3.2.3.3. Agloflotasyon deneylerinin yapılışı.....	26
3.2.3.4. Yüzdürme-Batırma deneylerinin yapılışı.....	27
3.2.3.4.1.Santrifüjlü yüzdürme-batırma deneylerinin yapılışı.....	27
3.2.3.4.2.Santrifüjsüz yüzdürme-batırma deneylerinin yapılışı.....	28

3.2.3.5. MGS deneylerinin yapılışı.....	28
3.2.3.6. Zeta potansiyeli ölçümlerinin yapılışı.....	29
3.2.3.7. Temas açısı ölçümlerinin yapılışı.....	29
4.BULGULAR.....	31
4.1. Ananumune ile Yapılan Deneylerin Bulgularının Değerlendirilmesi.....	32
4.1.1.Aglomerasyon deney bulgularının değerlendirilmesi.....	32
4.1.1.1.Bağlayıcı sıvı oranının etkisi	32
4.1.1.2.Aglomerasyon süresinin etkisi.....	44
4.1.1.3.Karıştırma hızının aglomerasyona etkisi.....	46
4.1.1.4. Katı oranının aglomerasyona etkisi.....	48
4.1.1.5. pH'ın aglomerasyona etkisi.....	50
4.1.1.6. Na ₂ SiO ₃ 'ün aglomerasyona etkisi.....	52
4.1.1.7. Sodyum polifosfat'ın etkisi	53
4.1.2.Flotalasyon deney bulgularının değerlendirilmesi.....	56
4.1.3. Agloflotalasyon deney bulgularının değerlendirilmesi.....	68
4.1.4. Santrifüjlü yüzdürme-batırma deney bulgularının değerlendirilmesi.....	73
4.1.5.Santrifüjsüz yüzdürme-batırma deney bulgularının değerlendirilmesi.....	78
4.1.6. MGS deney bulgularının değerlendirilmesi.....	80
4.1.7. Zeta potansiyeli ölçümleri deney bulgularının değerlendirilmesi.....	81
4.2. Yüzdürme-batırma ve MGS Konsantreleri ile Yapılan Deneylerin Bulgularının Değerlendirilmesi.....	86
4.2.1. Yüzdürme-batırma ve MGS konsantreleri ile yapılan aglomerasyon deneylerinin sonuçları.....	86
4.2.1.1. Yüzdürme-Batırma ürünü ile yapılan aglomerasyon deneylerinin sonuçları.....	86
4.2.1.2.MGS Ürünü ile yapılan aglomerasyon deneylerinin sonuçları.....	87
4.2.2. Yüzdürme-batırma ve MGS konsantreleri ile yapılan agloflotalasyon deneylerinin sonuçları	87
4.2.2.1.Yüzdürme-batırma ürünü ile yapılan agloflotalasyon deneylerinin sonuçları.....	87
4.2.2.2. MGS ürünü ile yapılan agloflotalasyon deneylerinin sonuçları.....	90
4.3. Temas Açısı Ölçümlerinin Değerlendirilmesi.....	91
5.SONUÇ.....	94
6.KAYNAKLAR.....	96
ÖZGEÇMİŞ	100

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1. Yağ aglomerasyonu akım şeması.....	4
Şekil 2. Kömür Zenginleştirmede Kullanılan tipik bir akım şeması.....	9
Şekil 3. Tipik tek aşamalı agloflotasyon yönteminin akım şeması.....	11
Şekil 4. Kömür örneğinin XRD analizi.....	16
Şekil 5. Aglomerasyon, flotasyon ve agloflotasyon deneyleri için örnek hazırlama akım şeması.....	18
Şekil 6. Düşük küllü kömür üretimi için örnek hazırlama akım şeması.....	19
Şekil 7. -600 µm kömür numunesinin kümülatif elek altı eğrisi.....	21
Şekil 8. -250 µm kömür numunesinin kümülatif elek altı eğrisi.....	22
Şekil 9. -125 µm kömür numunesinin kümülatif elek altı eğrisi.....	23
Şekil 10. -63 µm kömür numunesinin kümülatif elek altı eğrisi.....	24
Şekil 11. Bağlayıcı sıvı (gazyağı) oranına bağlı olarak 600 µm için yanabilir verimin,kül atımının ve verim indeksinin değişimi.....	33
Şekil 12. Bağlayıcı sıvı (n-heptan) oranına bağlı olarak 600 µm için yanabilir verimin, kül atımının ve verim indeksinin değişimi.....	34
Şekil 13. Bağlayıcı sıvı (gazyağı) oranına bağlı olarak 250 µm için yanabilir verimin,kül atımının ve verim indeksinin değişimi.....	35
Şekil 14. Bağlayıcı sıvı (n-heptan) oranına bağlı olarak 250 µm için yanabilir verimin,kül atımının ve verim indeksinin değişimi.....	36
Şekil 15. Bağlayıcı sıvı (gazyağı) oranına bağlı olarak 125 µm için yanabilir verimin,kül atımının ve verim indeksinin değişimi.....	37
Şekil 16. Bağlayıcı sıvı (n-heptan) oranına bağlı olarak 125 µm için yanabilir verimin,kül atımının ve verim indeksinin değişimi.....	38
Şekil 17. Bağlayıcı sıvı (gazyağı) oranına bağlı olarak 63 µm için yanabilir verimin,kül atımının ve verim indeksinin değişimi.....	39
Şekil 18. Bağlayıcı sıvı (n-heptan) oranına bağlı olarak 63 µm için yanabilir verimin,kül atımının ve verim indeksinin değişimi.....	40
Şekil 19. Bağlayıcı sıvı (gazyağı) oranına bağlı olarak 28 µm için yanabilir verimin,kül atımı ve verim indeksinin değişimi.....	41
Şekil 20. Bağlayıcı sıvı (n-Heptan) oranına bağlı olarak 28 µm için yanabilir verimin,kül atımı ve verim indeksinin değişimi.....	42

Şekil 21. Aglomerasyon süresine bağlı olarak yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimi.....	45
Şekil 22. Karıştırma hızına bağlı olarak yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimi.....	47
Şekil 23. Katı oranına bağlı olarak yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimi.....	49
Şekil 24. pH'a bağlı olarak yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimi.....	51
Şekil 25. İlave edilen Na_2SiO_3 miktarına göre yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimi.....	53
Şekil 26. İlave edilen $(\text{NaPO}_3)_n$ miktarına göre yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimi.....	54
Şekil 27. Na_2SiO_3 ve $(\text{NaPO}_3)_n$ 'ın karşılaştırılması.....	55
Şekil 28. Toplayıcı miktarına göre yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimleri (600 μm , gazyağı).....	57
Şekil 29. Toplayıcı miktarına göre yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimleri (600 μm , n-heptan).....	58
Şekil 30. Toplayıcı miktarına göre yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimleri (250 μm , gazyağı).....	59
Şekil 31. Toplayıcı miktarına göre yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimleri (250 μm , n-heptan).....	60
Şekil 32. Toplayıcı miktarına göre yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimleri (125 μm , gazyağı).....	61
Şekil 33. Toplayıcı miktarına göre yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimleri (125 μm , n-heptan).....	62
Şekil 34. Toplayıcı miktarına göre yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimleri (63 μm , gazyağı).....	63
Şekil 35. Toplayıcı miktarına göre yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimleri (63 μm , n-heptan).....	64
Şekil 36. Toplayıcı miktarına göre yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimleri (28 μm , gazyağı).....	65
Şekil 37. Toplayıcı miktarına göre yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimleri (28 μm , n-heptan).....	66

Şekil 38. Toplayıcı kullanılmadan yapılan flotasyon deneylerinde (-28 μ m , -63 μ m, -125 μ m, -250 μ m ve -600 μ m) kömürlerin kül içeriğinin tane boyutuna göre değişimi.....	67
Şekil 39. Bağlayıcı sıvı oranına göre yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimi (-125 μ m).....	70
Şekil 40. Bağlayıcı sıvı oranına göre yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimi (-63 μ m).....	71
Şekil 41. Bağlayıcı sıvı oranına göre yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimi (-28 μ m).....	72
Şekil 42. 600 μ m için santrifüjlü yüzdürme-batırma deneyi sonuçlarına göre kül,verim ve yanabilir verimin değişimi.....	74
Şekil 43. 250 μ m için santrifüjlü yüzdürme-batırma deneyi sonuçlarına göre kül,verim ve yanabilir verimin değişimi.....	75
Şekil 44. 125 μ m için santrifüjlü yüzdürme-batırma deneyi sonuçlarına göre kül,verim ve yanabilir verimin değişimi.....	76
Şekil 45. 28 μ m için santrifüjlü yüzdürme-batırma deneyi sonuçlarına göre kül,verim ve yanabilir verimin değişimi.....	77
Şekil 46. Ağır ortam sıvısının yoğunluğuna göre elde edilen yüzen ürünün yanabilir veriminin, verim indeksinin ve kül içeriğinin değişimi.....	79
Şekil 47. Ananumune, konsantre ve gangın 10 ⁻³ M'lık tuz çözeltisinde zeta potansiyellerinin pH'a bağlı değişimi.....	82
Şekil 48. Konsantrenin zeta potansiyelinin 10 ⁻³ M'lık tuz çözeltisinde ve saf suda pH'a bağlı değişimi.....	83
Şekil 49. Ananumune, konsantre ve gangın aglomerasyon deneylerinde bağlayıcı sıvı oranına göre zeta potansiyellerinin değişimi.....	84
Şekil 50. Gazyağının ve n-heptanın 10 ⁻³ M'lık tuz çözeltisinde zeta potansiyellerinin pH'a bağlı değişimi.....	85
Şekil 51. Çift aşamalı agloflotasyon deneyi ile %3,95 kül içerikli konsantreye ulaşmak için uygulanan akım şeması.....	89

TABLOLAR LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 1. Deneilerde Kullanılan taşkömürünün kimyasal analiz sonuçları.....	20
Tablo 2. -600 µm kömür örneğinin elek analizi sonuçları.....	21
Tablo 3. -250 µm kömür örneğinin elek analizi sonuçları.....	22
Tablo 4. -125 µm kömür örneğinin elek analizi sonuçları.....	23
Tablo 5. -63 µm kömür örneğinin elek analizi sonuçları.....	24
Tablo 6. Bağlayıcı sıvı oranının aglomerasyona etkisi (Gazyağı,600 µm).....	33
Tablo 7. Bağlayıcı sıvı oranının aglomerasyona etkisi (n-heptan,600 µm).....	34
Tablo 8. Bağlayıcı sıvı oranının aglomerasyona etkisi (Gazyağı,250 µm).....	35
Tablo 9. Bağlayıcı sıvı oranının aglomerasyona etkisi (n-heptan,250 µm).....	36
Tablo 10. Bağlayıcı sıvı oranının aglomerasyona etkisi (Gazyağı, 125 µm).....	37
Tablo 11. Bağlayıcı sıvı oranının aglomerasyona etkisi (n-heptan, 125 µm).....	38
Tablo 12. Bağlayıcı sıvı oranının aglomerasyona etkisi (Gazyağı,63 µm).....	39
Tablo 13. Bağlayıcı sıvı oranının aglomerasyona etkisi (n-heptan,63 µm).....	40
Tablo 14. Bağlayıcı sıvı oranının aglomerasyona etkisi (Gazyağı,28 µm).....	41
Tablo 15. Bağlayıcı sıvı oranının aglomerasyona etkisi (n-heptan,28 µm).....	42
Tablo 16. Aglomerasyon konsantrlerinin üst ısıl değerleri.....	44
Tablo 17. Aglomerasyon süresinin etkisi.....	45
Tablo 18. Karıştırma hızının aglomerasyona etkisi.....	46
Tablo 19. Katı oranının aglomerasyona etkisi.....	48
Tablo 20. pH'in aglomerasyona etkisi.....	50
Tablo 21. Na ₂ SiO ₃ 'in Aglomerasyona etkisi.....	52
Tablo 22. Sodyum Polifosfat'ın aglomerasyona etkisi.....	54
Tablo 23. Toplayıcı miktarının flotasyona etkisi (600 µm,gazyağı).....	57
Tablo 24. Toplayıcı miktarının flotasyona etkisi (600 µm,n-heptan).....	58
Tablo 25. Toplayıcı miktarının flotasyona etkisi (250 µm,gazyağı).....	59
Tablo 26. Toplayıcı miktarının flotasyona etkisi (250 µm,n-heptan).....	60
Tablo 27. Toplayıcı miktarının flotasyona etkisi (125 µm,gazyağı).....	61
Tablo 28. Toplayıcı miktarının flotasyona etkisi (125 µm,n-heptan).....	62
Tablo 29. Toplayıcı miktarının flotasyona etkisi (63 µm,gazyağı).....	63
Tablo 30. Toplayıcı miktarının flotasyona etkisi (63 µm,n-heptan).....	64
Tablo 31. Toplayıcı miktarının flotasyona etkisi (28 µm,gazyağı).....	65

VII

Tablo 32. Toplayıcı miktarının flotasyona etkisi (28 µm,n-heptan).....	66
Tablo 33. Bağlayıcı sıvı oranının agloflotasyona etkisi (125µm).....	70
Tablo 34. Bağlayıcı sıvı oranının agloflotasyona etkisi (63µm).....	71
Tablo 35. Bağlayıcı sıvı oranının agloflotasyona etkisi (28µm).....	72
Tablo 36. 600 µm için santrifüjlü yüzdürme-batırma deney sonuçları.....	74
Tablo 37. 250 µm için santrifüjlü yüzdürme-batırma deney sonuçları.....	75
Tablo 38. 125 µm için santrifüjlü yüzdürme-batırma deney sonuçları.....	76
Tablo 39. 28 µm için santrifüjlü yüzdürme-batırma deney sonuçları.....	77
Tablo 40. Santrifüzsüz Yüzdürme-Batırma deneyinin ön test sonuçları.....	78
Tablo41. -600+250µm iriliğindeki kömüre uygulanan yüzdürme-batırma deneyinin sonucu.....	80
Tablo 42. -600+250µm iriliğindeki kömüre uygulanan MGS deneyinin sonucu.....	80
Tablo 43. Yüzdürme-batırma deneyleri sonucu elde edilen ürün ile yapılan aglomerasyon deneylerinin sonuçları.....	86
Tablo 44. MGS deneyleri sonucu elde edilen ürün ile yapılan aglomerasyon deneylerinin sonuçları.....	87
Tablo 45. Yüzdürme-batırma deneyleri sonucu elde edilen ürün ile yapılan tek aşamalı agloflotasyon deneylerinin sonuçları	88
Tablo 46. Yüzdürme-batırma deneyleri sonucu elde edilen ürün ile yapılan çift aşamalı agloflotasyon deneylerinin sonuçları.....	88
Tablo 47. MGS deneyleri sonucu elde edilen ürün ile yapılan tek aşamalı agloflotasyon deneylerinin sonuçları.....	90
Tablo 48. MGS deneyleri sonucu elde edilen ürün ile yapılan çift aşamalı agloflotasyon deneylerinin sonuçları.....	90
Tablo 49. Yüzdürme-batırma ve MGS ürünlerine uygulanan çift aşamalı agloflotasyon deneylerinden elde edilen konsantrelerin üst ısı değerleri.....	91
Tablo 50. Aglomerasyon deneylerinden elde edilen konsantrelerin temas açıları.....	92
Tablo 51. Flotasyon deneylerinden elde edilen konsantrelerin temas açıları.....	92
Tablo 52. Agloflotasyon deneylerinden elde edilen konsantrelerin temas açıları.....	92

GİRİŞ

Dünya, enerji kaynaklarının giderek azaldığı günümüzde, gerek rezervinin bol olması , gerekse fazla olan kullanım alanı sayısı ve bu sayının giderek artması bakımından kömür enerji kaynakları arasında önemli bir konuma sahiptir.

Ancak kömürün kullanımı, birtakım sorunları da beraberinde getirmiştir. Özellikle küresel ısınma ve asit yağmurları gibi çevresel sorunların tartışıldığı günümüzde, kömürün yanması ile ortaya çıkan gazlar sorun teşkil etmektedir. Örneğin, kömürün yanması ile çıkan SO₂ gazı, atmosferdeki nem ile birleşerek asitleri oluşturmakta, bu da çok ciddi çevresel sorunlara yol açmaktadır (Aktaş ve diğ., 1998).

Bu gelişmeler kömürün gelecekteki kullanım şeklinin değişmesi gerektiğini ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle günümüzde çok düşük küllü kömüre olan talep artmış ve temiz kömür üretme çalışmaları hız kazanmıştır.

Temiz kömürler gaz türbinlerinde doğrudan yakılarak yüksek verimle elektrik enerjisi üretimine imkan sağlamakta ve bunun sonucunda karbondioksit emisyonları azaltılabilmektedir. Çok düşük küllü kömür aynı zamanda işlenerek , şu anda petrol ve doğalgazdan üretilmekte olan geniş bir alandaki malzemelerin (yakıt, kimyasal malzeme vs.) üretiminde kullanılabilir (Steel ve Patrick, 2001). Aynı zamanda kömür, geleceğin yakıtı olarak kabul edilen kömür-su karışımlarında (KSK) kullanılabilmekte, gazlaştırma, sıvılaştırma, koklaştırma, piroliz veya briketleme gibi yöntemlerle de daha geniş bir alanda kullanılabilir. Ancak kömürün içindeki mineral maddeler, kömürün bu alanlardaki kullanımını kısıtlamaktadır. Kömürün içinde dağılmış halde bulunan bu mineral maddeler ancak çok ince boyutlara öğütme ile serbestleşebilmektedir. Bu durumda, çok düşük küllü kömür üretimi için ince boyutlarda çalışmanın zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.

Kömürün boyutu inceldikçe kazandığı fiziksel özellik ve uygulanan zenginleştirme yöntemi değişiklik göstermektedir. Örneğin kömürün boyutu inceldikçe, partikül kütlesi azalmakta ve buna bağlı olarak çökme hızı azalmakta, aynı miktar malzeme için partikül sayısı ve toplam yüzey alanı

artmaktadır. Maliyeti düşük ayırma imkanı sağlayan gravimetrik cihazlar bu ince boyutlarda etkinliğini kaybetmekte, bunların yerine yzey özellik farkına göre ayırma yapan aglomerasyon, flotasyon ve agloflotasyon gibi yöntemler önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada, Zonguldak Kozlu Bölgesi İncirharmanı ocağı taşkömüründen çok düşük küllü kömür üretilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla kömür değişik boyutlara öğütülerek mineral maddelerin serbestleşmesinin sağlanması amaçlanmış ve öğütülen malzemeye yukarıda bahsedilen yöntemler uygulanmıştır.

Çalışmamızda ayrıca, bu yöntemler ile birlikte ön zenginleştirme amacıyla multi gravite seperator (MGS) ve ağır ortam ile zenginleştirme gibi gravimetrik yöntemlerden de faydalanılmıştır.

Düşük küllü kömür üretimi için bu zenginleştirme metotlarının hepsi denenmiş, ayrıca bu metotların kombinasyonlarının da nasıl sonuç verdiği incelenmiştir.

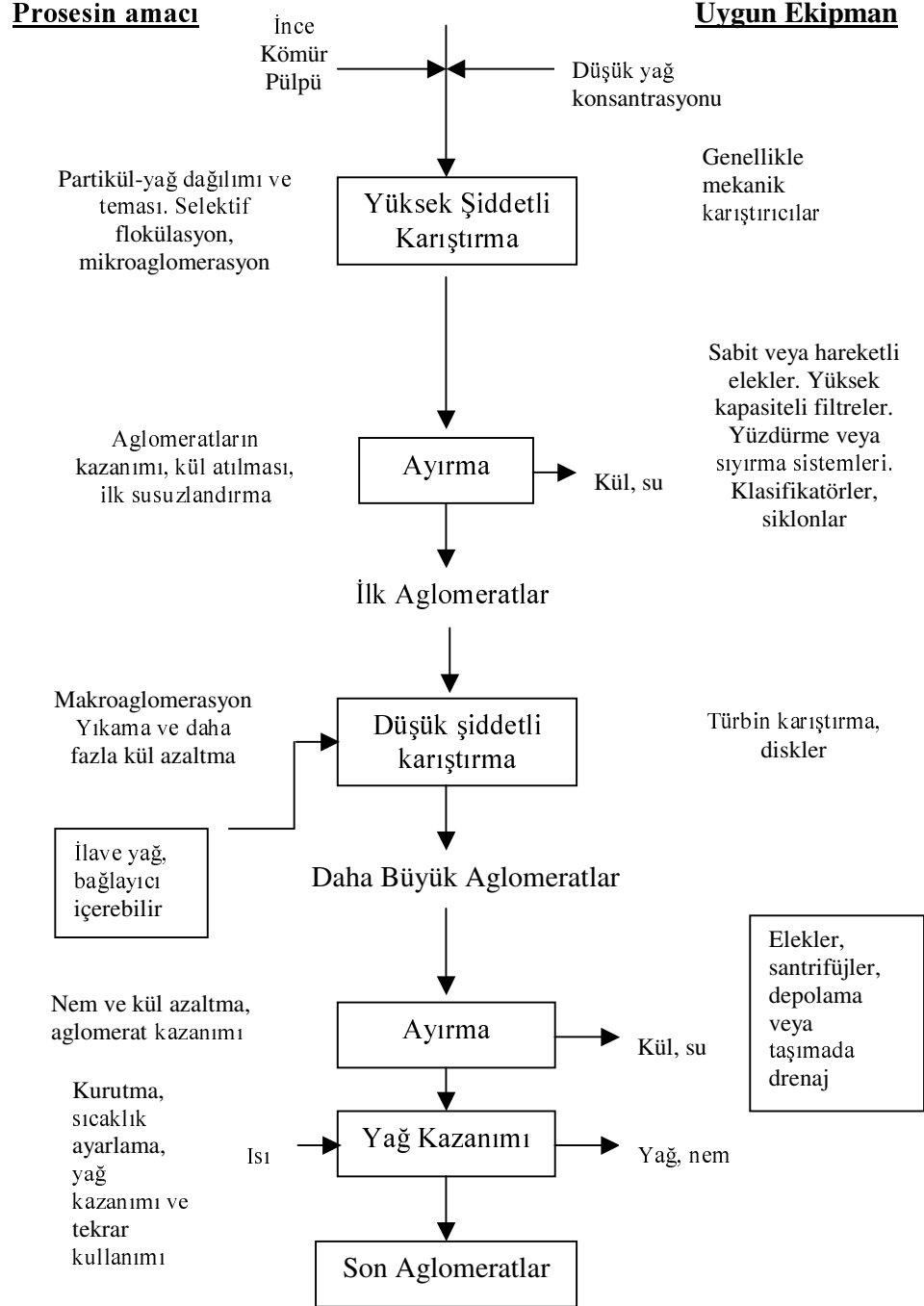
2.GENEL BİLGİLER

Bu kısımda, çalışmada yararlanılan zenginleştirme yöntemleri kısaca açıklanmıştır.

2.1. Yağ Aglomerasyonu

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 ve diğ.,1986). Toz kömürün sudaki süspansiyonuna yağ ilave edilip uygun bir hızla karıştırıldığında, hidrofob olan kömür taneleri yüzeylerindeki yağın da bağlayıcı özelliği sayesinde çarpışarak aglomeratları oluştururlar. Oluşan bu aglomeratlar eleme, dekantasyon veya flotasyon gibi uygun bir yöntemle sulu fazdan ayrılmaktadır (Kawashima ve diğ.,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 yani iyi serbestleşmiş tanelere uygulanması yüksek verim ve düşük küllü sonuçlar alınmasını sağlamaktadır (Horsfall,1992).

Yağ aglomerasyonu ilk kez kömür zenginleştirme için 1921'de uygulanmıştır. Ancak %30'lara ulaşan yüksek yağ sarfiyatı nedeniyle endüstriyel uygulama alanı bulamamıştır (Blaschke, 1998). Günümüze kadar birçok aglomerasyon prosesi planlanmış, kullanılmış ve geliştirilmiştir. Bu proseslerin içinde özellikle yedi tanesinin (Trent, Conventol, NRCC (National Research Council of Canada), Shell, Olifloc, CFRI (Central Fuel Reserch Institute) ve BHP (Broken Hill Proprietary)) üzerinde diğerlerine oranla daha fazla durulmuştur (Mehrotra ve diğ., 1983). Yağ aglomerasyonunun şematik görünümü Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Yağ aglomerasyonu akım şeması (Capes,1979)

Yağ aglomerasyonunu etkileyen başlıca faktörleri toplayıcı yağ özellikleri, kömürün ıslanabilirlik özelliği, pülp yoğunluğu, partikül boyutu ve nem içeriği olarak sıralayabiliriz.

Pülpe katılan yağın özellikleri, aglomerasyon için çok önemlidir. İnce kömürlerin kazanılması için genellikle orta yoğunluktaki yağlar tercih edilmektedir. Düşük yoğunluktaki yağlar, viskoziteleri düşük olduğu için kömür taneciklerinin bir araya gelip sağlam aglomeratları oluşturmada yetersiz kalmaktadır. Yüksek viskoziteye sahip yağlar ise pülpün içinde yeterince dağılmamakta bu da aglomerasyon için gerekli olan taneciklerin yüzeylerinin ıslanamamasına yol açmaktadır (Capes,1979).

Aglomerasyonun başarısında en önemli etken doğru yağın seçiminin yanı sıra aynı zamanda yağın doğru miktarda kullanılmasıdır. Doğru yağın, kömürün yüksek verim ve düşük kül içeriği ile kazanılmasını sağlayan yağ olduğu söylenebilir. Yağın düşük konsantrasyonlarda kullanılması sonucu partiküller ve birleşmemiş iki boyutlu bir flok yapı arasında çok gevşek yapıda köprüler oluşur. Böyle bir durumda partiküller arasındaki boşluk hacminin %20'si yağ ile kaplanır ve kolayca dağılabilen "pendular" yapısı oluşur. Bu nedenle düşük yağ konsantrasyonlarında oluşan aglomeratlar, elek üzerinde bile kolaylıkla dağılabilmektedir. Yağ miktarının yüksek olduğu durumlarda ise gözeneklerin hemen hemen tamamı yağ ile dolmaktadır. "Kapiler" yapısı adı verilen bu durumda aglomeratlar küresel yapıda değil, daha iri boyutlarda salkımlar halinde oluşmaktadır. Bu durumda partiküller yağ fazı içerisinde dağılmaktadır (Sadowski, 1994). İnce kömürlerin aglomerasyonu için yağdan başka heptan, pentan, hegzan, gazyağı, mazot, diğer petrol türevleri ve bitkisel yağlarda kullanılabilir (Cebeci ve Eroğlu,1998 ; Ünal ve Aktaş,2001).

Yağ karakteristiğinin yanında kömürün ıslanabilirlik özelliği de aglomerasyonda verimi etkileyen çok önemli bir etkidir. Kömürler, kömürleşme derecelerine göre farklı ıslanabilirlik özellikler gösterirler. Daha düşük karbon içerikli, daha fazla nem içeren sub-bitümlü kömürler ve linyitlerin ıslanabilirliği fazla iken, taşkömürleri daha hidrofob yapıya sahiptir. Bu nedenle linyitlerin veya

sub-bitümlü kömürlerin aglomerasyonu için daha fazla yağ tüketmek gerekecektir(Osborne,1990).

Genel olarak pülpün katı oranının artması, taneciklerin birbirine çarpışma olasılığını arttıracığı için verimi artırır ve aglomerasyon için gereken zamanı azaltır. Ancak ürünün kül içeriğine çok önemli etkisi yoktur.

Aglomerasyona tabi tutulan örneğin tanecik boyutunun küçülmesi ile serbestleşme artacağından, daha düşük küllü ürün elde etmek mümkün olacaktır. Ancak aynı zamanda , tane boyutunun küçülmesi ile yüzey alanı artacağı için, aglomerasyon için gereken yağ miktarı artacak, bu da aglomerasyon prosesinin en önemli dezavantajı olan yağ tüketiminin biraz daha artmasına neden olacaktır (Capes,1979).

Düşük yağ konsantrasyonlarında taneler arası boşluğun az miktarı yağ ile dolacağı, kalan boşluğun ise muhtemelen su ile dolacağı için ürünün nem içeriği bir hayli yüksek olacaktır. Aglomeratlar oluştuğu zaman, nem içeriğinde bir hayli düşme gözlenir. Yine yüksek yağ konsantrasyonlarında oluşacak kömür-yağ karışımı yapıda, partiküller arasına giren az miktarda sudan dolayı, çok az miktarda nem içerecektir.

2.2.Flotasyon

Flotasyon yönteminin temeli, çok ince boyuttaki kömür partikülünün su ile oluşturduğu pülpün içine uygun reaktifler katılarak, taneciğin hava kabarcığına tutunarak suyun yüzeyine çıkmasının sağlanması, buradan da sıyrılarak kazanılmasıdır.

Flotasyon yöntemi, ince kömürlerin temizlenmesinde en büyük potansiyele sahip olup, 1920'lerden beri taşkömürü ve antrasitin $-0,5$ mm'lik kısmına uygulanmaktadır (Osborne, 1990).

Flotasyon genel olarak kömüre 4 amaçla uygulanır;

- Yıkama suyu içinde kalan toz kömürü kazanmak
- Lavvardan atılan ve siyah su denilen proses suyunu temizleyerek çevre kirliliğinin önlemek
- Kömürde bulunan kükürdü gidermek
- Kömür içinde bulunan maseralleri ayırarak koklaşabilir karışımlar hazırlamak (Kural,1991).

Kömürlerin yüzebilirliğini etkileyen birçok faktör vardır. Bunları partikül boyutu, kömürün oksitlenme ve kömürleşme derecesi, pülp yoğunluğu, pH ve su karakteristiği, tane boyutu, flotasyon reaktifleri ve flotasyon ekipmanları olarak sayabiliriz (Sun,1968).

Yeni çıkarılmış kömür genellikle uzun süre havayla temas etmiş kömüre oranla daha iyi yüzer. Bunun nedeni oksitlenmeye bağlanmıştır. Genel olarak oksitlenme reaksiyonu, fenolik-OH gruplarının karboksilik asit gruplarına oksitlenmesi olarak yorumlanır. Bu nedenle de oksitlenmiş yüzey polar bir özellik kazanmakta ve kömürün ıslanabilirliği artmaktadır (Nicol, 1992).

Kömür geniş bir pH aralığında başarıyla yüzmektedir. Ancak en iyi yüzebilirliği nötr pH'ta göstermiştir. Yağ tipi toplayıcılarla yapılan kömür flotasyonunda optimum verime pH $7,5$ 'ta ulaşılmıştır (Brown,1962; Özbayoğlu,1994).

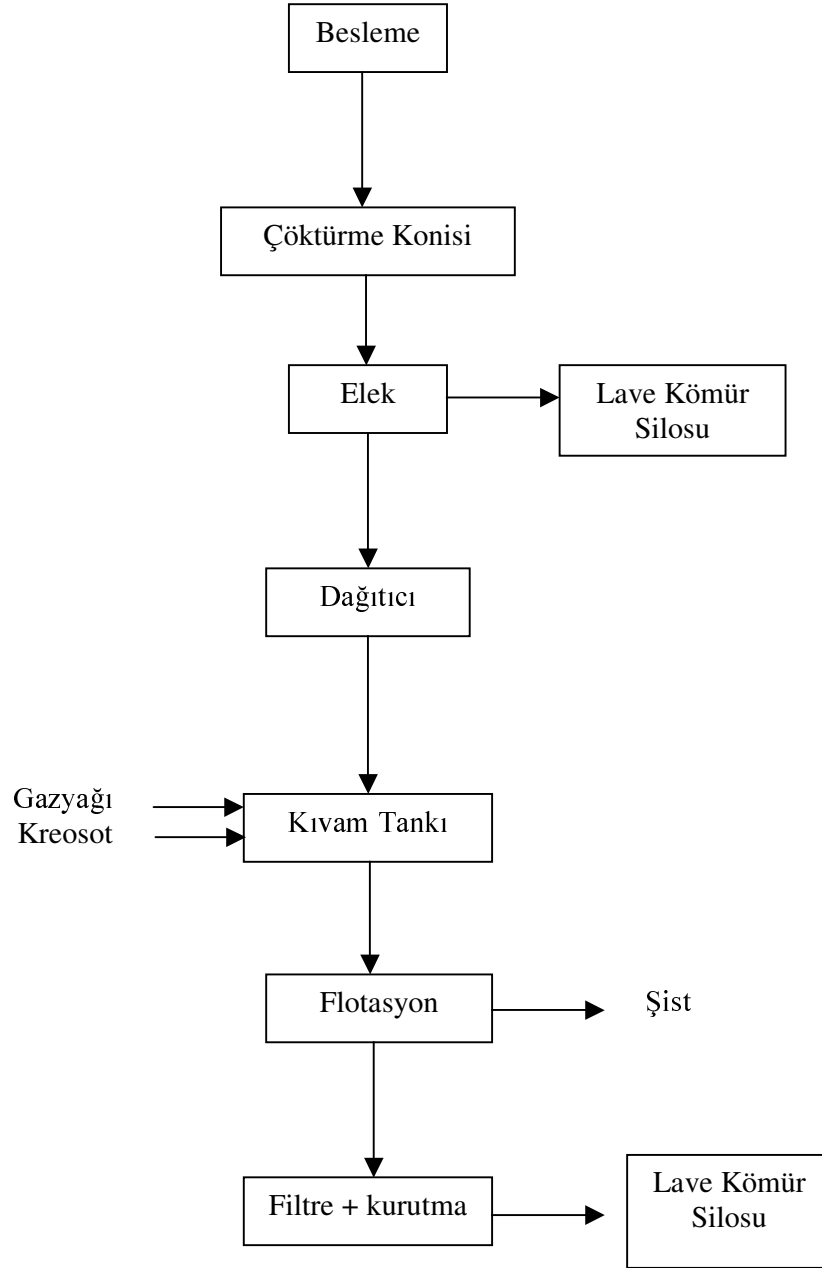
Flotasyon yöntemi genellikle ince kömüre uygulanır. İri kömür boyutlarında daha ekonomik olan gravimetrik yöntemler tercih edilmektedir. Genel olarak flotasyonun uygulama boyutu -0,5 mm'dir (Tefek, 1984).

Kömürün pülp yoğunluğu çok yüksek tutulmalıdır. Değişik çalışmalar optimum pülp yoğunluğunun %12 -15 civarında olduğunu göstermiştir. Temiz kömür konsantresi ancak düşük pülp yoğunluklarında elde edilebilmektedir. Elde edilen verim ise, yüksek pülp yoğunluğunda elde edilen toplam verimden daha düşük olmaktadır (Ateşok, 1986).

Kömür flotasyonunda genel olarak 2 tip reaktif kullanılır. Bunlar toplayıcılar ve köpürtücülerdir.

Toplayıcılar : Kömür zaten doğal yüzebilen yapıda olduğu için genellikle toplayıcılar sadece kömürün yüzebilirliğini arttırmak veya desteklemek amacıyla kullanılır. Yüksek kömürleşme derecesine sahip kömürler için sadece köpürtücü kullanmak yeterli olurken, orta ve düşük derecede kömürleşmiş kömürler için 500-1500 g/t yağ kullanmak iyi derecede geri kazanım sağlamaktadır. Linyitlerin flotasyonunda ise çok fazla yağ tüketimi gerekmekte, buna rağmen kömürler başarıyla kazanılamamaktadır (Aplan, 1976). Genellikle kömür flotasyonunda kollektör olarak fuel oil ve gazyağı gibi hidrokarbon kökenli yağlar kullanılmaktadır (Laskowski, 2001).

Köpürtücüler: Flotasyon prosesi sırasında, bir hidrokarbon toplayıcının bulunması kabarcık-partikül yapışmasını desteklemekte, ancak partikül taşıyan kabarcık flotasyon hücresinin üst kısmına geldiğinde bunları almakta sorun yaşanmaktadır. Çünkü kabarcık bu noktada dağılmakta ve kömür tanecikleri pülpe geri dönmektedir. Kabacıkların erken dağılmasını önlemek ve daha uzun süre stabil kalmasını sağlamak amacıyla köpürtücüler kullanılmaktadır. Köpürtücüler aynı zamanda flotasyon kinetiğini arttıracak uygun kabarcık boyutunun üretilmesinde en önemli rolü oynar. En çok kullanılan köpürtücüler MIBC (metil izobütül karbinol) gibi kısa zincirli alkollerdir (Nicol, 1992). Bunun dışında kresilik asit, çamyacı ve alkollerin çeşitli türevleri de köpürtücü olarak kullanılabilir. Kömürün flotasyon ile zenginleştirilmesinde kullanılan tipik bir akım şeması Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Kömür zenginleştirmede kullanılan tipik bir akım şeması (Kural, 1991)

2.3. Agloflotasyon

Agloflotasyon yöntemi, aglomerasyon ve flotasyon yöntemlerinin eksikliklerini gidermek amacıyla kullanılan, her iki yöntemin birleştirilmesinden oluşan bir yöntemdir.

Flotasyon ince kömürlerin zenginleştirilmesi için kullanılan bir yöntem olsa da, killi şlamın ve oksitlenmiş kömürün varlığında flotasyonun etkinliği azalmaktadır. İnce tanelerin büyük özgül yüzey alanı ve konumunu daha çabuk bozma eğilimi, flotasyon işleminin seçimliliğini ve verimini etkilemektedir. Flotasyon hız sabitinin partikül ve kabarcık çapıyla ilişkisi aşağıda verilmiştir;

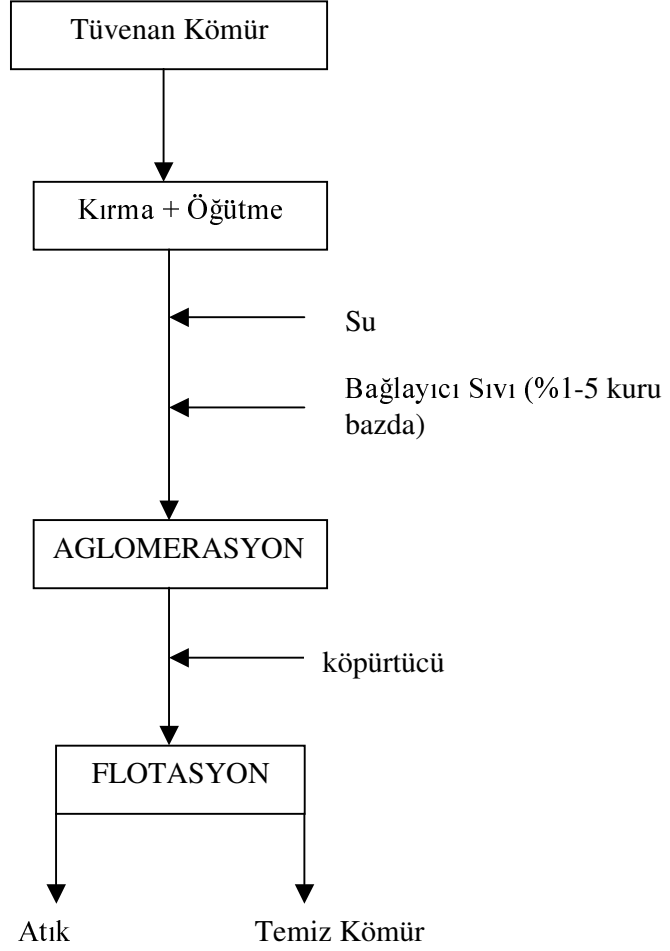
$$K\alpha \frac{(\text{Partikül Çapı})^2}{(\text{Kabarcık çapı})^3}$$

Yukarıdaki ifadeden de anlaşılacağı gibi ince kömürlerin flotasyon hız sabitini arttırmak için 2 yaklaşım söz konusudur.

- 1) Flotasyon gazını daha ince kabarcıklar halinde dağıtma
- 2) İnce kömür tanelerinin aglomera ederek daha iri salkımlar oluşturma

(Wojcik and Taweel, 1984).

Agloflotasyon prosesinin ilk aşamasında mikro aglomeratların oluşması amacıyla çok düşük konsantrasyonda aglomerasyon işlemine bağlayıcı sıvı katılır. Amaç yukarıdaki denklemden de görüldüğü üzere flotasyon işlemine besleme olacak malzemenin partikül çapını arttırarak hız sabitinin artmasını sağlamaktır. Aglomerasyon sonucu oluşan mikro aglomeratlar olduğu gibi flotasyon işlemine tabi tutularak agloflotasyon deneyi gerçekleştirilmiş olur. Şekil 3'te tipik tek aşamalı agloflotasyon yönteminin akım şeması verilmiştir.



Şekil 3. Tipik tek aşamalı agloflotasyon yönteminin akım şeması (Pawlak ve diğ., 1986).

2.4. Multi Gravite Seperator (MGS)

MGS bir yanı açık uçlu tambur şeklinde bir gövdeye sahiptir. Tamburun belirli bir hızla döndürülmesiyle mineral tanelerine karşı etkin olan yerçekimi 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 ağzına hareket ettirecek şekilde dizayn edilmiştir.

MGS ünitesi %20 - 50 katı oranında laboratuvar ölçekli 0,2 t/s kapasite, endüstriyel ölçekte ise 2 t/s kapasite ile çalışabilmektedir.

Gövdeye verilen titreşim hareketiyle akışkan tabaka içindeki tanelere 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 etkisiyle alt çıkıştan alınır (Yıldırım ve diğ., 1995).

2.5. Ağır Ortam Ayırması

Kömürün yoğunluğu 1,23-1,72 gr/cm³ iken mineral maddenin yoğunluğu 2,0-2,7 gr/cm³ aralığındadır (Wright, 1984; Kohler ve diğ., 1987). Aradaki bu yoğunluk farkı, kömür ile gangın, yoğunluğu belli olan bir ağır ortam ile ayrılmasını mümkün kılmaktadır.

Kömürün içinde dağılmış halde bulunan gang mineralinin serbestleşmesini sağlamak için kömür ince fraksiyonlara öğütülmelidir. İnce öğütülmüş kömür örneği ve yoğunluğu belli ağır ortam sıvısı ile bir pülp hazırlanıp beklemeye bırakılınca, sıvıdan daha ağır olan gang mineralleri batarak dipte toplanırken, daha hafif olan kömür tanecikleri yüzerek sıvının yüzeyinde toplanacaktır.

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

Tuz olarak genellikle $ZnCl_2$ ve $CaCl_2$ kullanılırken, süspansiyon oluşturmak için katı olarak ise manyetit kullanılır. Organik sıvılar ise pahalı ve birçoğu sağlığa zararlı özellikler taşıdıklarından sadece laboratuvar ölçekli kullanılırlar. $CaCl_2$ ve $ZnCl_2$ kullanarak 1,35-1,70 yoğunluklar civarlarında sıvılar elde etmek mümkündür. Süspansiyonu oluşturan manyetitin derişiminin ayarlanması ile de özgül ağırlığı 1,3-2,0 arasında değişen ağır ortam sıvıları hazırlanabilir (Cavallaro ve Deurbrouck, 1977;Yaman ve diğ., 1998).

3.MALZEME VE YÖNTEM

3.1.Malzeme

Bu çalışmada kullanılan malzemeler aşağıdaki başlıklarda tanımlanmıştır.

3.1.1.Kömür örneği

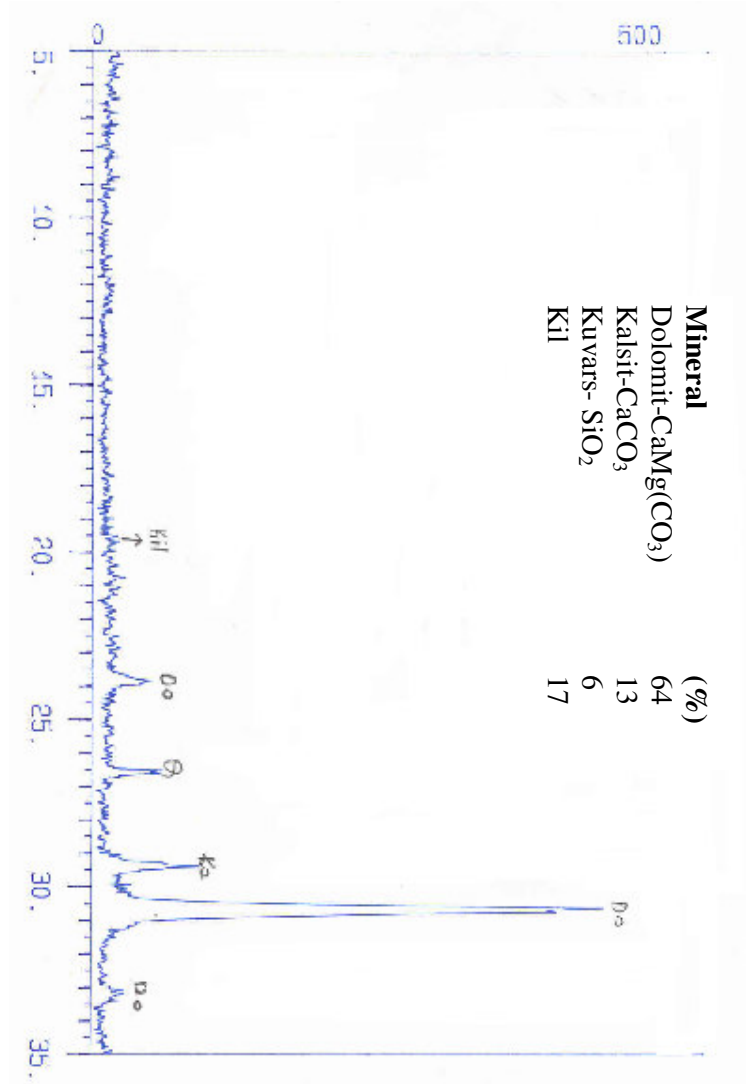
Deneylerde kullanılan kömür örneği, Türkiye Taşkömürü Kurumu (Zonguldak) Kozlu Müessese Müdürlüğü İncirharmanı 3. ocaktan temin edilmiştir. Kömür örneğinin XRD analizi Şekil 4'te verilmiştir.

3.1.2. Deneylerde kullanılan reaktifler

Deneylerde kullanılan reaktifler ve bazı özellikleri aşağıda verilmiştir.

- Gazyağı: Flotasyonda kollektör, aglomerasyonda bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Gazyağı aromatik ve alifatik hidrokarbonların kompleks karışımıdır. C sayısı 9-16 arasında değişmektedir. Yoğunluğu $0,82 \text{ gr/cm}^3$ 'tür.
- N-Heptan ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}_3$) : Flotasyon deneylerinde kollektör, aglomerasyon ve agloflotasyon deneylerinde ise bağlayıcı sıvı / kollektör olarak kullanılmıştır. Markası Carlo Erba olup yoğunluğu $0,684 \text{ gr/cm}^3$ 'tür.
- NaOH ve HCl: Bunlar pH ayarlayıcı olarak kullanılmıştır. Ağırılıkça %1'lik çözeltiler halinde hazırlanmıştır.
- Sodyum Silikat (Na_2SiO_3): Flotasyon, aglomerasyon ve agloflotasyon deneylerinde gang minerallerini dağıtmak amacıyla kullanılmıştır. Yoğunluğu $1,37 \text{ gr/cm}^3$ 'tür.

- Sodyum Polifosfat ((NaPO₃)_n): Aglomerasyon deneylerinde gang minerallerini dağıtmak amacı ile kullanılmıştır. Merck marka ve molekül ağırlığı 101,96 gr/mol'dür. %1'lik çözelti halinde hazırlanmıştır.
- Çamyacı : Flotasyon ve agloflotasyon deneylerinde köpürtücü olarak kullanılmıştır. %1'lik çözelti halinde hazırlanmıştır.
- Aseton : Aglomerasyon deneyleri sonucu elde edilen aglomeratların yıkanarak gazyağının uzaklaştırılması için kullanılmıştır.
- ZnCl₂: Yüzdürme-batırma deneylerinde ağır ortam sıvısını hazırlamak için kullanılmıştır. Carlo Erba marka ZnCl₂ kullanılmış olup molekül ağırlığı 136,38 gr/mol ve yoğunluğu 2,91 gr/cm³ tür
- İzopropil Alkol (CH₃CH(OH)CH₃): Santrifüjlü yüzdürme – batırma deneylerinde ağır ortam sıvısının hazırlanmasında kullanılmıştır. Dop marka olup molekül ağırlığı 60,097gr/mol ve yoğunluğu 0,785gr/cm³ tür.
- Bromoform (CHBr₃): Santrifüjlü yüzdürme – batırma deneylerinde ağır ortam sıvısının hazırlanmasında kullanılmıştır. Merck marka olup molekül ağırlığı 252,75 gr/mol ve yoğunluğu 2,816 gr/cm³ tür.
- NaCl: Zeta potansiyeli ölçüm deneylerinde 10⁻³M'lık tuz çözeltisinin hazırlanmasında kullanılmıştır. Riedel-de Haen marka olup molekül ağırlığı 58,44 gr/mol'dür.



Şekil 4. Kömür Örneğinin XRD analizi (Yalçın ve Bozkaya, 2002).

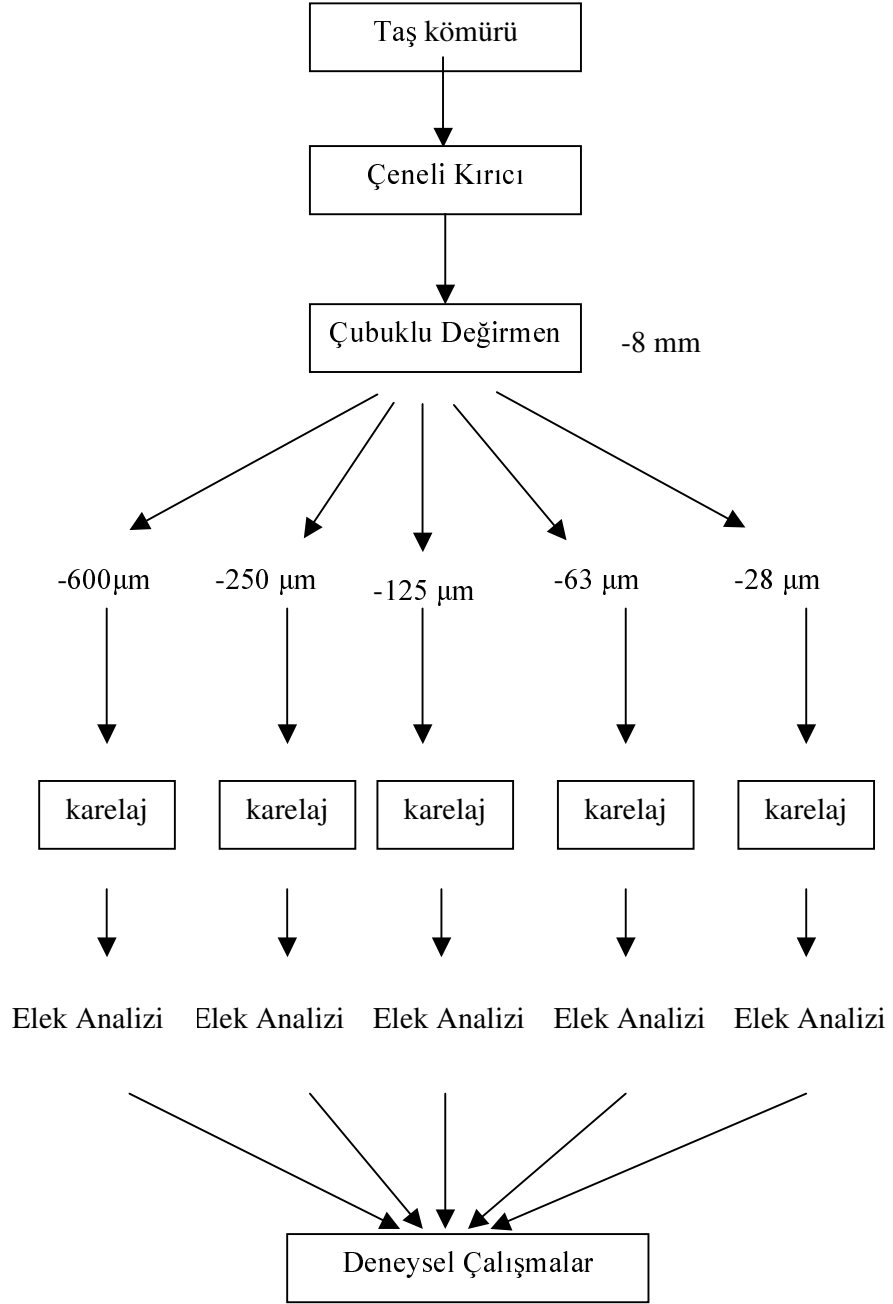
3.2. Yöntem

3.2.1. Kömür örneklerinin hazırlanması

3.2.1.1. Aglomerasyon, flotasyon ve agloflotasyon deneyleri için örneklerin hazırlanması

Deneylerde kullanılan taşkömürü örneği çeneli kırıcıda – 8mm boyutuna kırılmıştır.

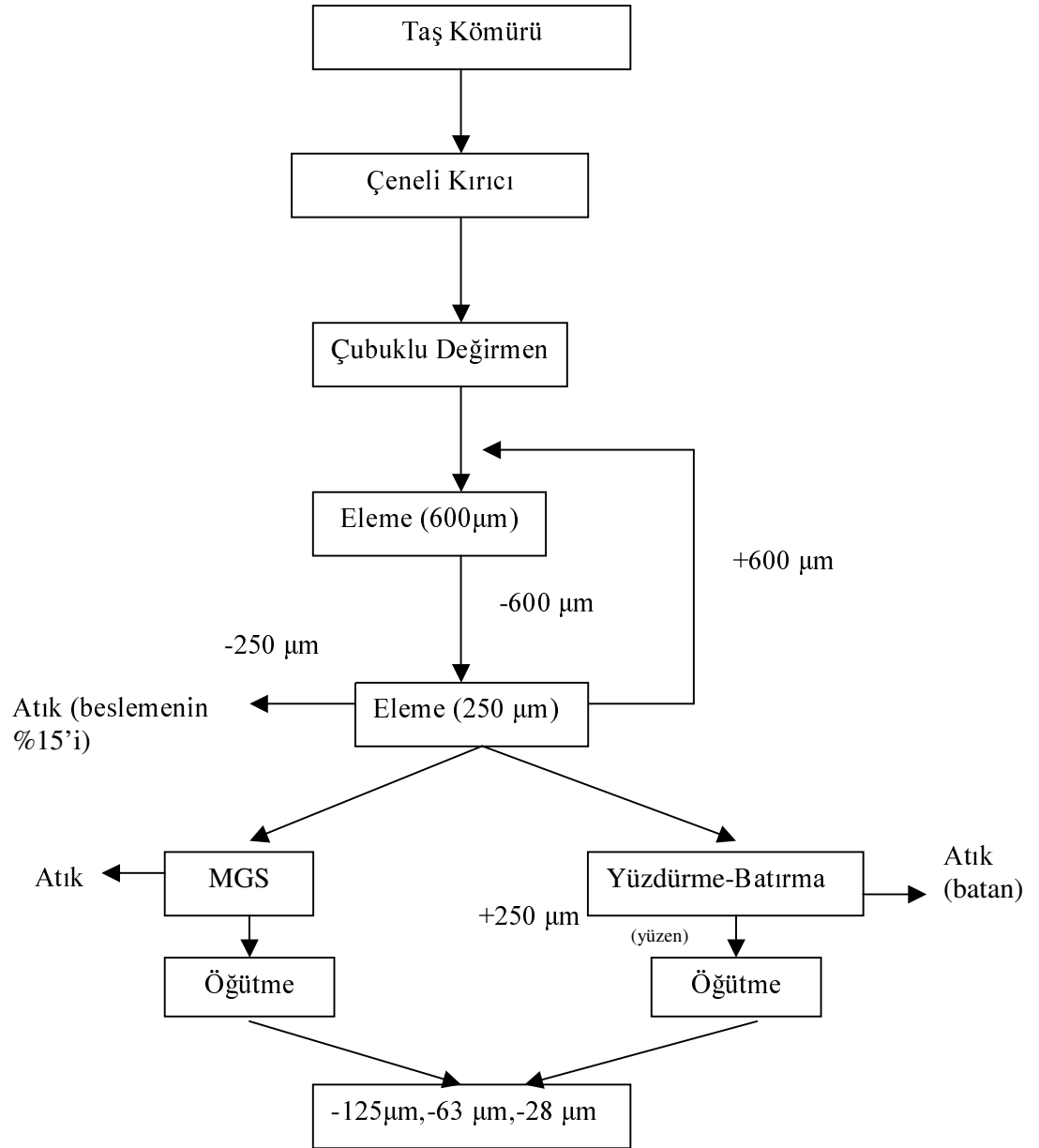
Kırılan numune daha sonra çubuklu değirmen ile -600 μ m, -250 μ m, -125 μ m, -63 μ m ve -28 μ m'a öğütülmüş ve deneylerde kullanılmak üzere 500gr'lık naylon poşetlerde paketlenmiştir. Örnek hazırlama akım şeması Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Aglomerasyon, flotasyon ve agloflotasyon deneyleri için örnek hazırlama akım şeması

3.2.1.2. Düşük küllü kömür üretimi için örneklerin hazırlanması

Bu amaçla, taşkömürü örnekleri çeneli kırıcı ile -8mm boyutuna kırılmış daha sonra ise kontrollü olarak -600+250 μm aralığına öğütülmüştür. Örneklerin hazırlanması için uygulanan akım şeması aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 6. Düşük küllü kömür üretimi için örnek hazırlama akım şeması

3.2.2. Analizler

3.2.2.1. Kimyasal analiz

Deneylerde kullanılan taşkömürünün kimyasal analiz sonuçları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 1. Deneylerde kullanılan taşkömürünün kimyasal analiz sonuçları

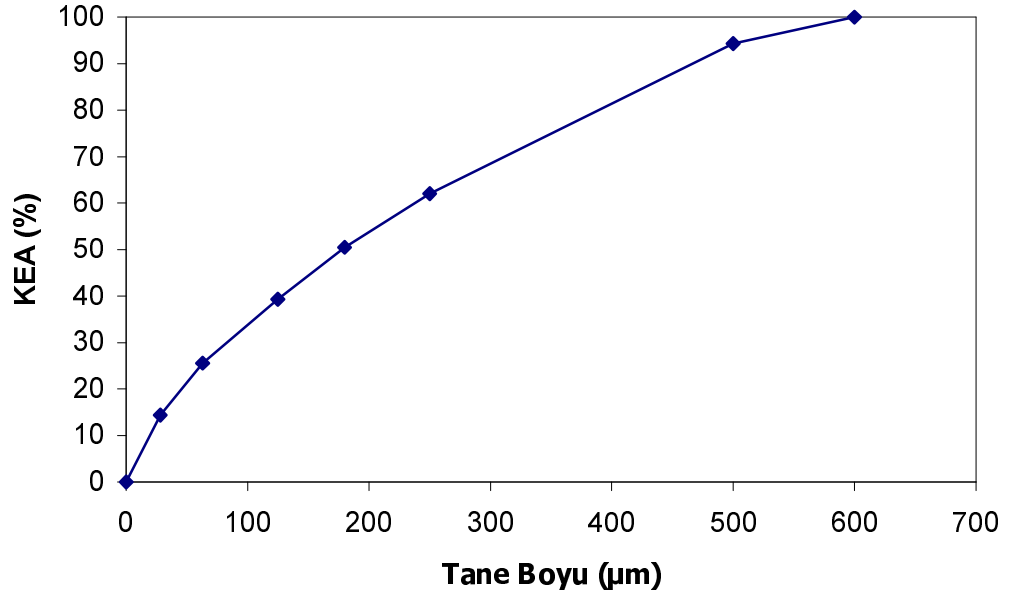
	Analiz Tipleri	Orijinal Kömürde	Havada Kuru Kömürde	Kuru Kömürde
Kısa Analiz	Nem (%)	0,91	0,71	-
	Kül(%)	13,28	13,30	13,40
	Uçucu Madde(%)	25,15	25,20	25,38
	Sabit Karbon(%)	60,66	60,79	61,22
	TOPLAM (%)	100,00	100,00	100,00
	Kükürtler	Yanar Kükürt(%)	0,12	0,12
Külde Kükürt (%)		0,37	0,37	0,37
Toplam Kükürt(%)		0,49	0,49	0,49
Koklaşma	Kok (%)	73,94	74,09	74,62
	Gaz(%)	26,11	25,91	25,38
Isıl Değer (kcal/kg)	Aşağı Kalori	6892	6907	6960
	Yukarı Kalori	7146	7160	7211

3.2.2.2. Elek Analizleri

Deneyisel çalışmalar için farklı boyutlarda hazırlanan kömür örneğinin elek analizi sonuçları aşağıda verilmiştir.

Tablo 2. -600 μm kömür örneğinin elek analizi sonuçları

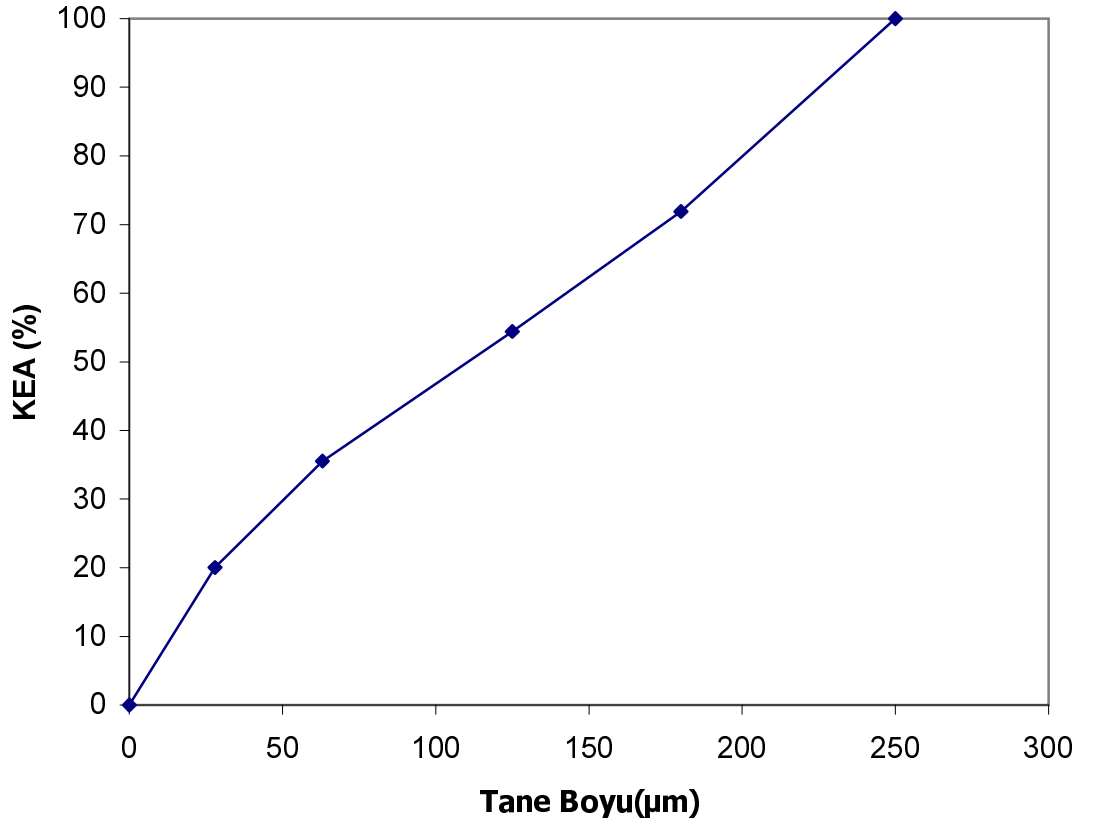
Tane İriliği (μm)	Ağırlık (gr)	Ağırlık (%)	KEÜ (%)	KEA (%)
-600+500	2,84	5,68	5,88	100,00
-500+250	16,17	32,34	38,02	94,32
-250+180	5,74	11,48	49,50	61,98
-180+125	5,61	11,22	60,72	50,50
-125+63	6,85	13,70	74,42	39,28
-63+28	5,61	11,22	85,64	25,58
-28	7,18	14,36	100,00	14,36
Toplam	50,00	100,00		



Şekil 7. -600 μm kömür örneğinin kümülatif elek altı (KEA) eğrisi

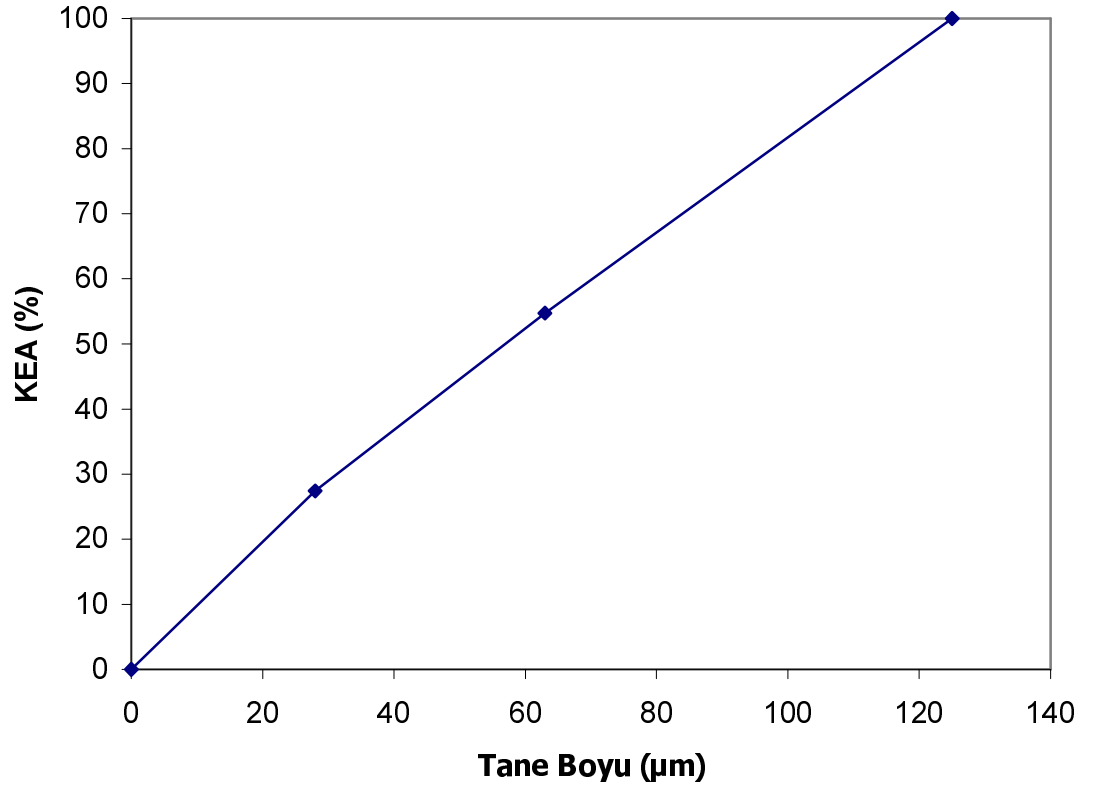
Tablo 3. -250 μm kömür örneğinin elek analizi sonuçları

Tane İriliği (μm)	Ağırlık (gr)	Ağırlık (%)	KEÜ (%)	KEA (%)
-250+180	14,04	28,08	28,08	100,00
-180+125	8,74	17,48	45,56	71,92
-125+63	9,44	18,88	64,44	54,44
-63+28	7,77	15,54	79,98	35,56
-28	10,01	20,02	100,00	20,02
Toplam	50,00	100,00		

Şekil 8. -250 μm kömür örneğinin kümülatif elek altı eğrisi

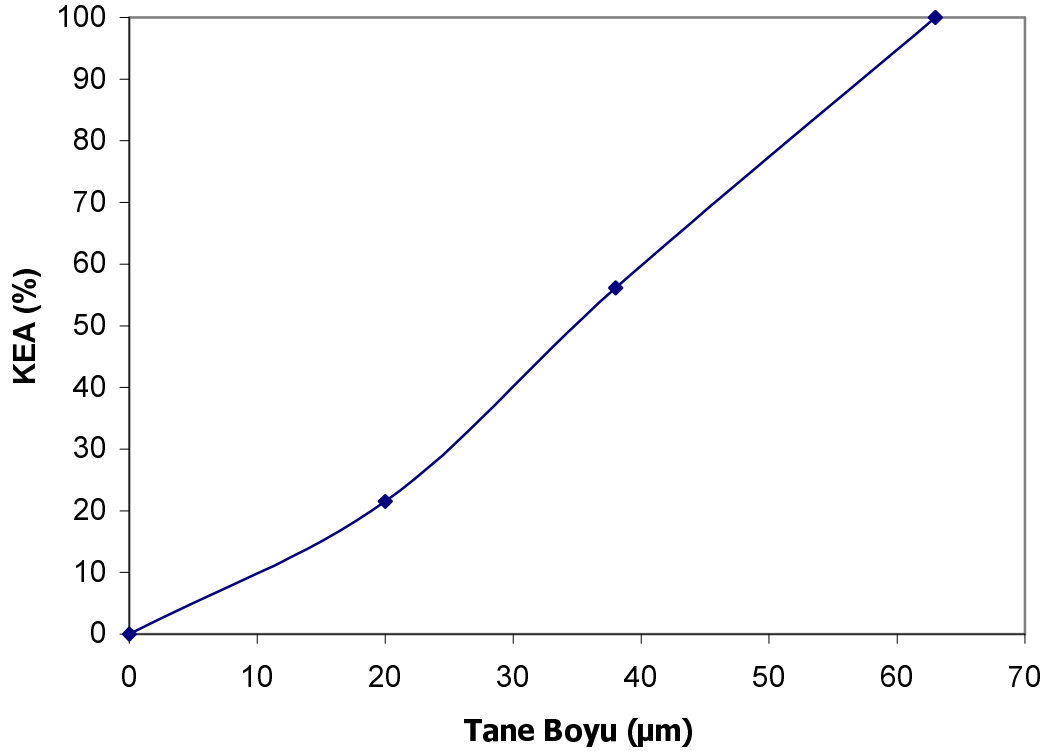
Tablo 4. -125 μm kömür örneğinin elek analizi sonuçları

Tane İriliği (μm)	Ağırlık (gr)	Ağırlık (%)	KEÜ (%)	KEA (%)
-125+63	22,63	45,26	45,26	100
-63+28	13,67	27,34	72,60	54,74
-28	13,70	27,40	100	27,40
Toplam	50,00	100		

Şekil 9. -125 μm kömür örneğinin kümülatif elek altı eğrisi

Tablo 5. -63 μm kömür örneğinin elek analizi sonuçları

Tane İriliği (μm)	Ağırlık (gr)	Ağırlık (%)	KEÜ (%)	KEA (%)
-63+38	8,77	43,85	43,85	100,00
-38+20	6,93	34,65	78,50	56,15
-20	4,30	21,50	100,00	21,50
Toplam	20,00	100,00		

Şekil 10. -63 μm kömür örneğinin kümülatif elek altı eğrisi

3.2.3. Deneylerin yapılışı

3.2.3.1. Aglomerasyon deneylerinin yapılışı

Deney kabı olarak 1000 ml'lik beher kullanılmış olup karıştırma işlemi Ika-werk tipi hızı ayarlanabilen dijital göstergeli mekanik karıştırıcı ile sağlanmıştır. Deneyler sırasında behere türbülans oluşturucu levha yerleştirilmiştir. Deneylerde damıtılmış su (pH~7,8) kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan ekipmanların özellikleri aşağıda verilmiştir.

-Beher: Yükseklik 138mm, dış çap 114mm, iç çap 108mm

-Türbülans oluşturucu: Yükseklik 153 mm, et kalınlığı 1,4mm'dir

-Mekanik karıştırıcı: 3 kanatlı, kanat boyu 22 mm ve kanatlar yatayla 45⁰ lik açı yapmaktadır.

Deneylerde 15 gr'lık örnekler kullanılmıştır. Kömür+su karışımı pülpe bağlayıcı sıvı (n-heptan veya gazyağı) ilave edilmeden önce 5 dakika süre ile karıştırılmıştır. Bu süre -63 µm ve -28 µm boyutundaki örneklerle yapılan deneylerde, kömür taneciklerinin tam olarak ıslanmadığının gözlenmesi üzerine bu iki boyut için 10 dakikaya çıkarılmıştır. Bağlayıcı sıvı ilave edildikten sonra ise karıştırmaya 15 dakika daha devam edilmiştir. Aglomerasyonda sodyum silikat ve sodyum polifosfatın etkisinin incelendiği deneylerde ise reaktifler ilave edildikten sonra 5 dakika daha karıştırma süresi verilmiştir. Aglomerasyon deneyleri sonucunda oluşan aglomeratları kazanmak amacı ile oluşan karışımlar, deneyin yapıldığı örneğin boyutuna göre farklı eleklerde elenmiştir. 600 µm'luk örnek için 710 µm'luk elek, 250 µm boyutundaki örnek için 300 µm'luk elek, 125 µm boyutundaki örnek için 180 µm'luk elek, 63 µm boyutundaki örnek için 108 µm'luk elek ve 28 µm boyutundaki örnek için 63 µm'luk elek kullanılmıştır. Bağlayıcı sıvı olarak gazyağının kullanıldığı deneyler sonucu elde edilen aglomeratlar asetonla yıkanarak gazyağından arındırılmaları sağlanmıştır. Aglomerasyon deneyleri sonucu elde edilen bütün aglomeratlar 105⁰C'de 16 saat

süreyile kurutulmuştur. Deneylerde kullanılan bağlayıcı sıvıların miktarları kömürün ağırlığının yüzdesi olarak verilmiştir.

3.2.3.2. Flotasyon deneylerinin yapılışı

Flotasyon deneylerinin yapıldığı koşullar aşağıda verilmiştir.

Makine tipi: Denver tipi flotasyon makinesi

Karıştırıcı çapı: 9,5 cm ve 4 delikli

Selül hacmi: 1 lt

Örnek miktarı: 50 gr

Karıştırma hızı : 1000 dev/dak

Ağırlıkça katı oranı: %5

Suyun pH'ı: ~6,80

Pülün pH'ı: ~7,15 (kömür + su)

Köpürtücü miktarı : 100 gr/ton

Deneylerde kömür+su karışımı kollektör ilavesinden önce 3 dak. ilave edildikten sonra da 3 dak. süre ile karıştırılmıştır. Ön deneylerde 2 dak köpük alma süresi optimum bulunduğu için, hava girişi açıldıktan sonra 2 dakika süreyle köpük alınmıştır. Flotasyon işlemi sonucu alınan konsantre (köpük) 105⁰C`de 16 saat süreyle kurutulmuştur.

3.2.3.3. Agloflotasyon deneylerinin yapılışı

Bu yöntemde ince boyuttaki kömür ilk önce aglomerasyon kabında çok düşük bağlayıcı sıvı oranlarında aglomera edilmiş ve herhangi bir eleme veya ayırma işlemine tabi tutulmadan beher içindeki malzeme flotasyon selülüne beslenmiş ve flotasyon deneyleri yapılmıştır.

Bu deneylerde aglomerasyon ve flotasyon deneylerinde kullanılan ekipmanlar kullanılmıştır. Aglomerasyon deneylerinde verimin düşmesini engellemek için örnek iki eşit bölüme ayrılarak aynı şartlarda iki kere aglomerasyona tabi tutulup flotasyon hücresine aktarılmıştır.

Agloflotasyon deneylerinde gang minerallerini dağıtmak amacı ile kullanılan Na_2SiO_3 , deneyde aglomerasyon aşamasında ilave edilmiştir.

Örnek miktarı : 50 gr

Katı oranı: %5

Karıştırma hızı : 1000 dev/dak (hem aglomerasyon hem de flotasyon için)

Köpürtücü miktarı: 100 gr/ton

3.2.3.4 Yüzdürme-Batırma deneylerinin yapılışı

3.2.3.4.1.Santrifüjlü yüzdürme-batırma deneylerinin yapılışı

Ağır ortam sıvısının hazırlanmasında izopropil alkol ve bromoform kullanılmış ve 1,30-1,40-1,50-1,60 ve 1,80 gr/cm^3 yoğunluklarında ağır ortam sıvıları hazırlanmıştır.

Yapılan bütün santrifüjlü yüzdürme-batırma deneylerinde 50 ml'lik santrifüj tüpü kullanılmış ve tüpün içine 5gr örnek konulmuş ve katı oranı %10 olacak şekilde üzerine yoğunluğu bilinen sıvı ilave edilmiştir. Kömür taneciklerinin yüzeyinin ağır ortam sıvısı tarafından iyi bir şekilde ıslatılabilmesi için kömür+sıvı karışımı bir cam baget yardımıyla karıştırılmıştır.

Santrifüjleme işlemi Hettich Universal santrifüj aygıtı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Santrifüj süresi 10 dakika ve hızı 3500 dev/dak olarak alınmıştır.

Santrifüjleme işlemi sonucunda elde edilen yüzen ve batan fraksiyonlar mavi bantlı süzgeç kağıdından süzülerek ağır ortam sıvısından ayrılmış, 24 saat süreyle 85°C 'de etüvde kurutulmuştur.

3.2.3.4.2. Santrifüjsüz yüzdürme-batırma deneylerinin yapılışı

Deneylerde ağır ortam sıvısı olarak $ZnCl_2$ kullanılarak hazırlanmış $1,3 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluğundaki sıvı kullanılmış olup, yüzdürme-batırma işlemleri 1 litrelik cam beherlerde yapılmıştır. Yüzdürme – batırma işlemi için behere koyulan kömür örneğindeki her kömür partikülünün tam olarak ıslanmasını sağlamak için, pülp halindeki kömür-sıvı karışımı bir cam baget vasıtasıyla karıştırılmıştır. Pülp halindeki karışım yüzen – batan ürünler ayrılincaya kadar bekletilmiş, daha sonrada yüzen ürün sıvının yüzeyinden sıyrılarak alınmıştır. Beherin dibinde kalan batan kısım ise, beherin içinde kalan malzemenin süzgeç kağıdında süzülmesiyle alınmış ve suyla yıkandıktan sonra etüvde $105^{\circ}C$ 'de kurutulmuştur.

3.2.3.5. MGS deneylerinin yapılışı

Deneyler Mozley marka multi gravite seperatörü (MGS)'de yapılmıştır. MGS deneylerinin yapıldığı koşullar aşağıda verilmiştir:

Örnek miktarı: 3 kg (örnek 2 eşit parçaya bölünerek deney uygulanmıştır)

Tambur eğimi: 2°

Tambur dönüş hızı: 275 dev/dak

Tambur titreşim genliği : 15 mm

Tambur titreşim frekansı: $4,7 \text{ sn}^{-1}$

Yıkama suyu miktarı :2 lt/dak

Deney sonucu kazanılan konsantre kovalara alındıktan sonra basınçlı süzme ünitesi yardımıyla susuzlandırılarak $105^{\circ}C$ 'de kurutulmuştur. Yukarıda verilen koşullar, literatür bulgularına bağlı kalınarak belirlenmiştir (Yıldırım ve diğ.,1995).

3.2.3.6. Zeta potansiyeli ölçümlerinin yapılışı

Ölçümler Malvern marka nano serisi zeta potansiyeli ölçüm cihazında yapılmıştır. Zeta potansiyeli ölçülecek kömür örneği saf su içeren 50 ml'lik plastik kaplarda yaklaşık %1 kömür katı oranı içerecek şekilde hazırlanmış ve bir enjektör yardımıyla çekilerek hücreye (disposable capillary cuvett) konulmuş, daha sonra da bu hücre cihaza yerleştirilerek zeta potansiyeli değeri okunmuştur. Kömür örneğinin tuz çözeltisi içindeki zeta potansiyelinin tayini içinse saf su yerine NaCl ile 10^{-3} M'lık tuz çözeltisi hazırlanmış ve kömür örneği bu çözeltiyle birlikte hücre içerisine yerleştirilmiştir.

Gazyağı ve n-heptanın zeta potansiyeli ölçümleri için ise 500 ml'lik şişelerde %0,25 lik çözeltiler hazırlanmış ve bu çözeltilerden enjektör yardımıyla örnek alınarak "dipcell" adı verilen kare biçimindeki hücrelere konulmuştur. Bu hücrelerin zeta potansiyeli ölçüm cihazına yerleştirilmesiyle değerler okunmuştur.

Her kömür örneği, gazyağı ve n-heptan için zeta potansiyeli değeri 3 kere okunmuş olup daha sonra bu 3 değer aritmetik ortalaması alınarak esas değer hesaplanmıştır.

3.2.3.7. Temas açısı ölçümlerinin yapılışı

Temas açısı ölçümleri Ramé- hart marka gonyometre kullanılarak yapılmıştır. Temas açısı ölçümü için pres kullanılarak hazırlanan peletlerde 0,6 gr kömür örneği kullanılmış olup, hazırlanan peletlerin çapı 12mm'dir. Peletlerin üzerine su damlası, plastik damlalık kullanılarak damlatılmıştır. Ölçülen temas açısı değerleri, su damlacığının kömür yüzeyi ile yaptığı açının hem sağ hem de sol tarafından su fazına doğru ölçülen değerlerdir. Zamanla su damlacığının kömür yüzeyinde yayılarak

temas açısının değişmesini önlemek için, ölçümler su damlatıldıktan sonraki 30 saniye içerisinde yapılmıştır.

4.BULGULAR

Bu bölümde tez kapsamında gerçekleştirilen deneysel bulguların değerlendirilmesi verilmiştir. Değerlendirmelerde yanabilir verim (%), kül atımı (%) ve verim indeksinden (Efficiency index) yararlanılmıştır. Hesaplamalarda aşağıdaki formüller kullanılmıştır (Garcia ve diğ., 1995).

Yanabilir verim (%);

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

Yanabilir verim, beslemedeki organik kısmın ne kadarının konsantre bünyesinde kazanıldığıнын bir göstergesidir.

Kül atımı (%);

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

Kül atımı, beslemedeki külün ne kadarının artığa gittiğinin bir göstergesidir.

Verim indeksi (%);

$$Vİ (\%) = \text{Yanabilir verim} (\%) + \text{Kül atımı} (\%) - 100$$

C: Konsantrenin ağırlığı (%)

c: Konsantrenin külü (%)

F: Beslemenin ağırlığı (%)

f: Beslemenin külü (%)

Yanabilir verimdeki artışa kül atımındaki azalma eşlik etmektedir, veya daha fazla yanabilir verim demek daha düşük kül atımı anlamına gelmektedir. Bu olgu ise yanabilir verim ve kül atımını birlikte değerlendirecek bir kritere ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Verim indeksi, hem yanabilir verimi hem de kül atımını birlikte değerlendiren bir kriterdir. Bu değer ne kadar yüksek ise zenginleştirme işlemi o kadar başarılıdır.

4.1. Ananumune ile Yapılan Deneylerin Bulgularının Değerlendirilmesi

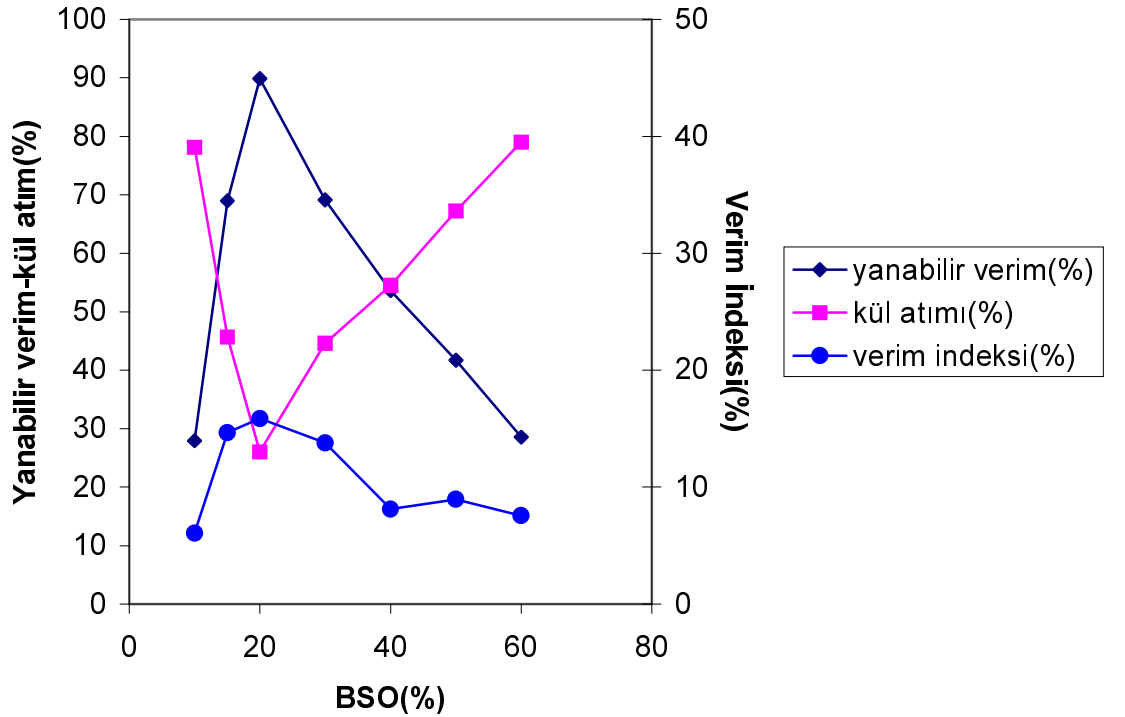
4.1.1. Aglomerasyon deney bulgularının değerlendirilmesi

4.1.1.1. Bağlayıcı sıvı oranının etkisi

Bu deneyler 15 gr örnek kullanarak 1000 dev/dak karıştırma hızında, %5 katı oranında ve doğal pülp pH(7,95)'ında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde aglomerasyon süresi 15 dak. alınmıştır. Aglomerasyon deneyleri -600µm, -250 µm, -125 µm, -63 µm ve -28 µm olmak üzere beş farklı boyut grubu için ve bağlayıcı sıvı olarak hem gazyağı hem de n-heptan kullanılarak yapılmıştır. Deney sonucu elde edilen aglomeratlar kurutularak tartımları alınmış, daha sonrada kül analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar tablo 6,7,8,9,10,11,12,13,14 ve 15'de gösterilmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak her boyut için yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimi ise şekil 11,12,13,14,15,16,17,18,19 ve 20'de gösterilmiştir.

Tablo 6. Bağlayıcı sıvı oranının aglomerasyona etkisi (Gazyağı, 600 µm)

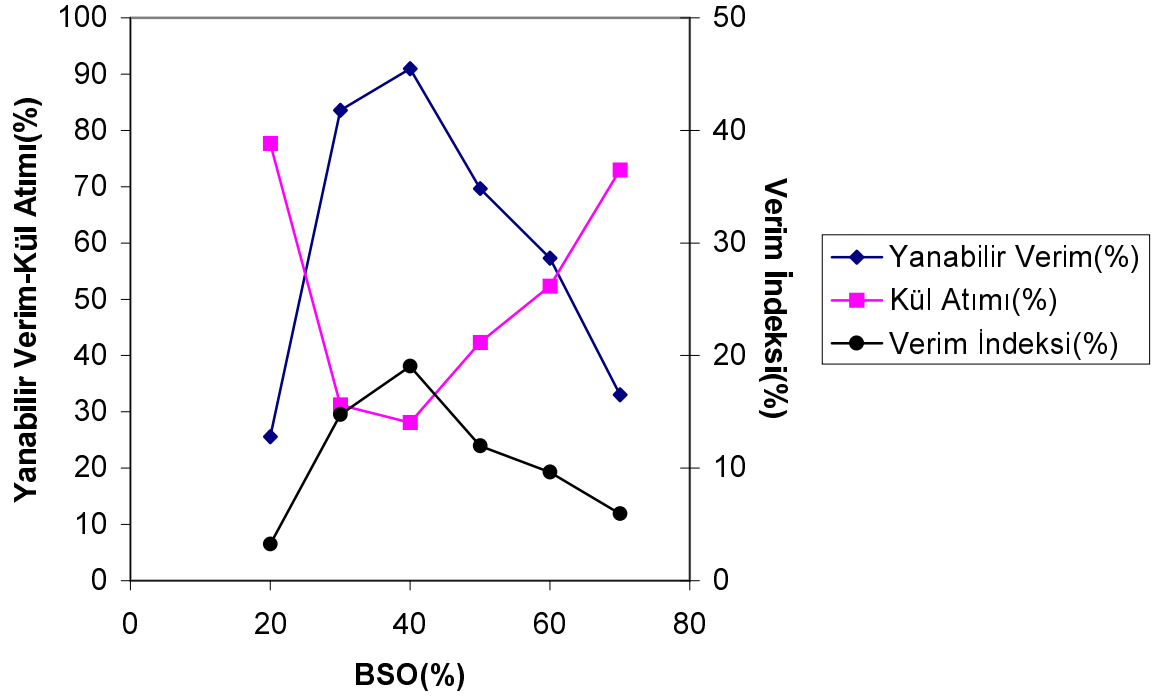
BSO (%)	Ağ. (gr)	Ağ. (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
5	-	-	-	-	-	-
10	4,07	27,13	10,80	27,95	78,13	6,08
15	10,05	67,00	10,86	68,96	45,70	14,66
20	13,16	87,73	11,30	89,86	26,01	15,87
30	10,5	70,00	10,60	69,16	44,62	13,78
40	7,88	52,53	11,60	53,62	54,52	8,14
50	6,08	40,53	10,84	41,73	67,21	8,94
60	4,13	27,53	10,21	28,54	79,02	7,56
Besleme	15,00	100,00	13,40	100,00		



Şekil 11. Bağlayıcı sıvı (gazyağı) oranına bağlı olarak 600 µm için yanabilir verimin, kül atımının ve verim indeksinin değişimi

Tablo 7. Bağlayıcı sıvı oranının aglomerasyona etkisi (n-heptan,600 µm)

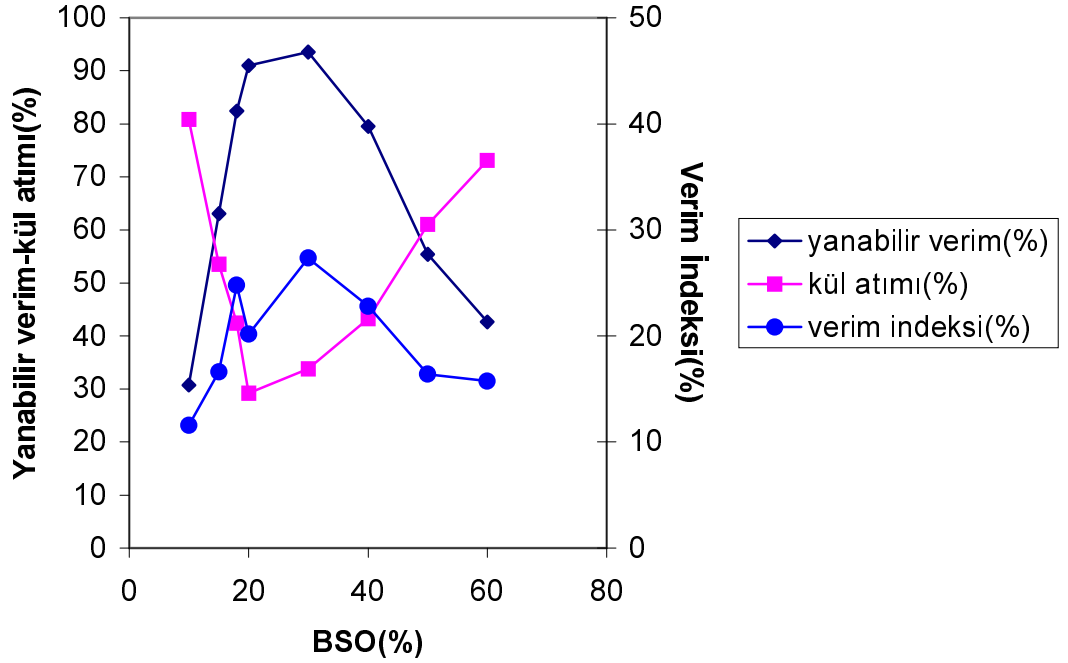
BSO (%)	Ağ. (gr)	Ağ. (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
5	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-
20	3,77	25,13	11,90	25,56	77,68	3,24
30	12,24	81,60	11,30	83,57	31,18	14,75
40	13,26	88,40	10,90	90,95	28,09	19,04
50	10,21	68,06	11,36	69,67	42,30	11,97
60	8,40	56,00	11,40	57,29	52,35	9,64
70	4,83	32,20	11,25	32,99	72,96	5,95
Besleme	15,00	100,00	13,40	100,00		



Şekil 12. Bağlayıcı sıvı (n-heptan) oranına bağlı olarak 600 µm için yanabilir verimin, kül atımının ve verim indeksinin değişimi

Tablo 8. Bağlayıcı sıvı oranının aglomerasyona etkisi (gazyağı, 250 µm)

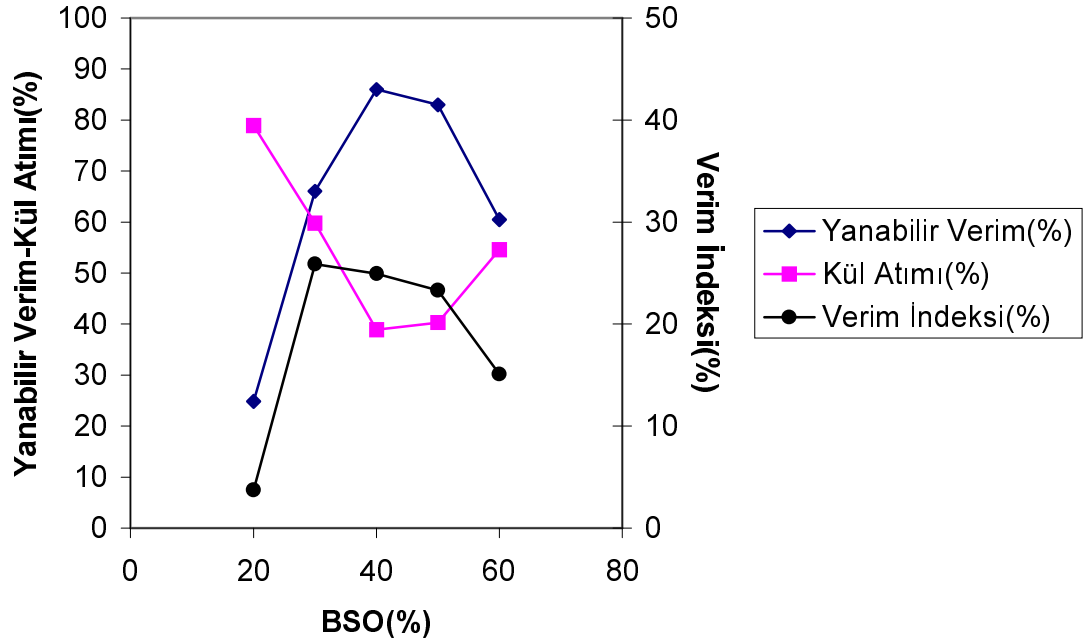
BSO (%)	Ağ. (gr)	Ağ. (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
5	-	-	-	-	-	-
10	4,38	29,20	8,80	30,75	80,82	11,57
15	9,13	60,87	10,23	63,09	53,53	16,62
18	11,86	79,06	9,76	82,39	42,41	24,80
20	13,24	88,27	10,75	90,97	29,19	20,16
30	13,48	89,87	9,87	93,53	33,80	27,33
40	11,47	76,46	9,94	79,52	43,28	22,80
50	7,98	53,20	9,82	55,39	61,01	16,40
60	6,08	40,53	8,89	42,64	73,11	15,75
Besleme	15,00	100,00	13,40	100,00		



Şekil 13. Bağlayıcı sıvı (gazyağı) oranına bağlı olarak 250 µm için yanabilir verimin, kül atımının ve verim indeksinin değişimi

Tablo 9. Bağlayıcı sıvı oranının aglomerasyona etkisi (n-Heptan-250 µm)

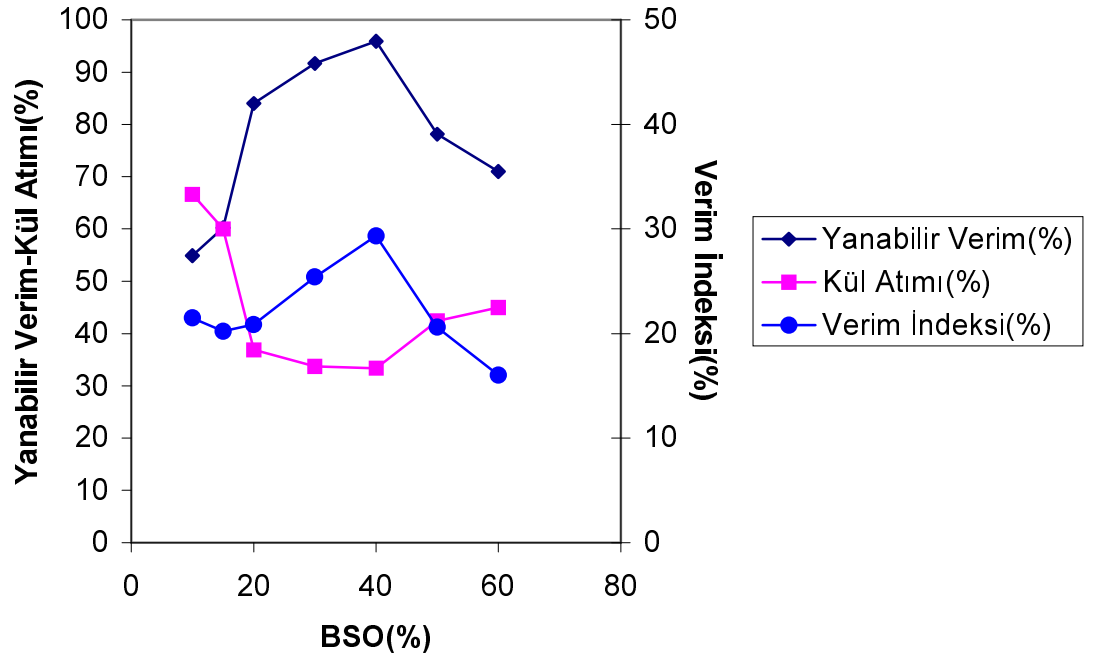
BSO (%)	Ağ. (gr)	Ağ. (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
5	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-
20	3,65	24,33	11,60	24,83	78,93	3,76
30	9,39	62,60	8,60	66,06	59,82	25,88
40	12,40	82,66	9,90	86,00	38,93	24,93
50	11,98	79,86	10,01	82,99	40,34	23,33
60	8,77	58,46	10,40	60,49	54,62	15,11
Besleme	15,00	100,00	13,40	100,00		



Şekil 14. Bağlayıcı sıvı (n-heptan) oranına bağlı olarak 250 µm için yanabilir verimin, kül atımının ve verim indeksinin değişimi

Tablo 10. Bağlayıcı sıvı oranının aglomerasyona etkisi (gazyağı, 125 µm)

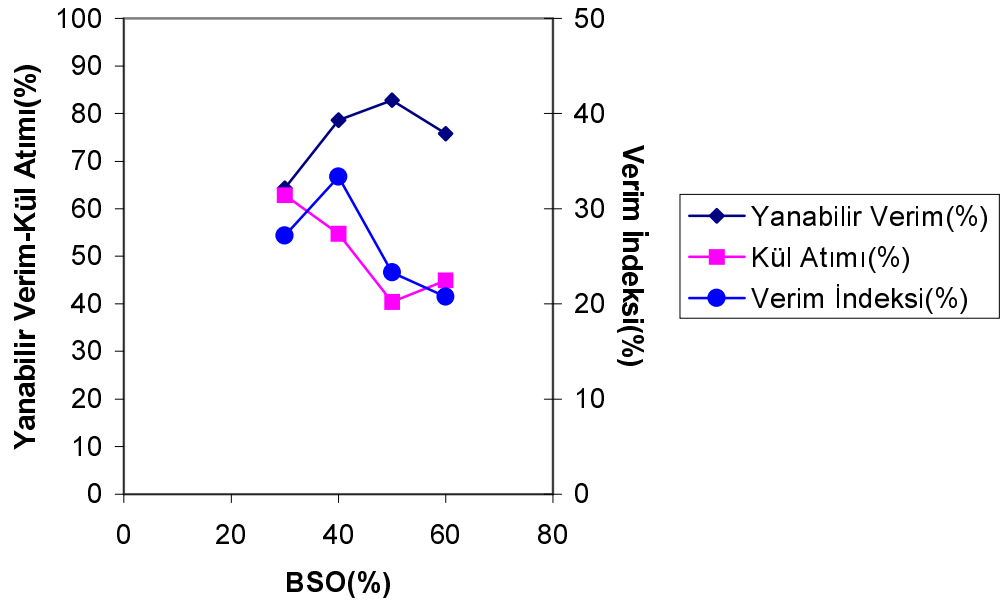
BSO (%)	Ağ. (gr)	Ağ. (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
5	-	-	-	-	-	-
10	7,80	52,00	8,60	54,88	66,62	21,50
15	8,63	57,53	9,32	60,24	59,99	20,23
20	12,18	81,20	10,42	83,99	36,86	20,85
30	13,24	88,27	10,06	91,67	33,73	25,40
40	13,80	92,00	9,70	95,93	33,40	29,33
50	11,31	75,40	10,23	78,16	42,43	20,59
60	10,33	68,86	10,70	71,01	45,01	16,02
80	-	-	-	-	-	-
Besleme	15,00	100,00	13,40	100,00		



Şekil 15. Bağlayıcı sıvı (gazyağı) oranına bağlı olarak 125 µm için yanabilir verimin, kül atımının ve verim indeksinin değişimi

Tablo 11. Bağlayıcı sıvı oranının aglomerasyona etkisi (n-heptan, 125 µm)

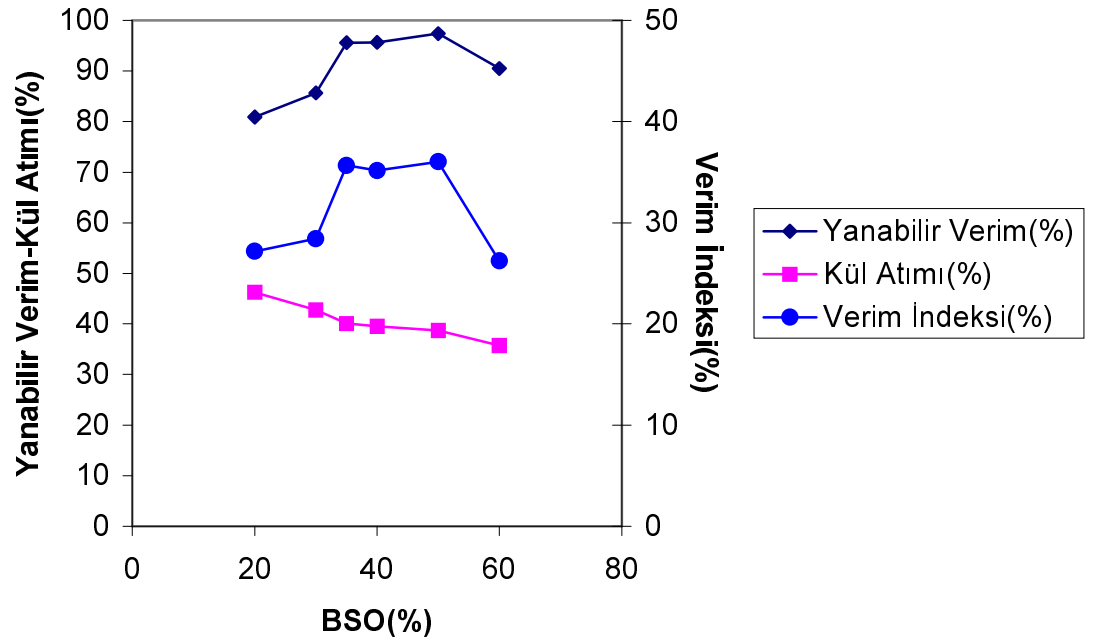
BSO (%)	Ağ. (gr)	Ağ. (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
5	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-
30	9,10	60,66	8,20	64,30	62,87	27,17
40	11,12	74,13	8,18	78,60	54,75	33,35
50	11,96	79,73	10,01	82,85	40,44	23,29
60	10,95	73,00	10,10	75,78	44,97	20,75
80	-	-	-	-	-	-
Besleme	15,00	100,00	13,40	100,00		



Şekil 16. Bağlayıcı sıvı (n-heptan) oranına bağlı olarak 125 µm için yanabilir verimin, kül atımının ve verim indeksinin değişimi

Tablo 12. Bağlayıcı sıvı oranının aglomerasyona etkisi (gazyağı, 63 µm)

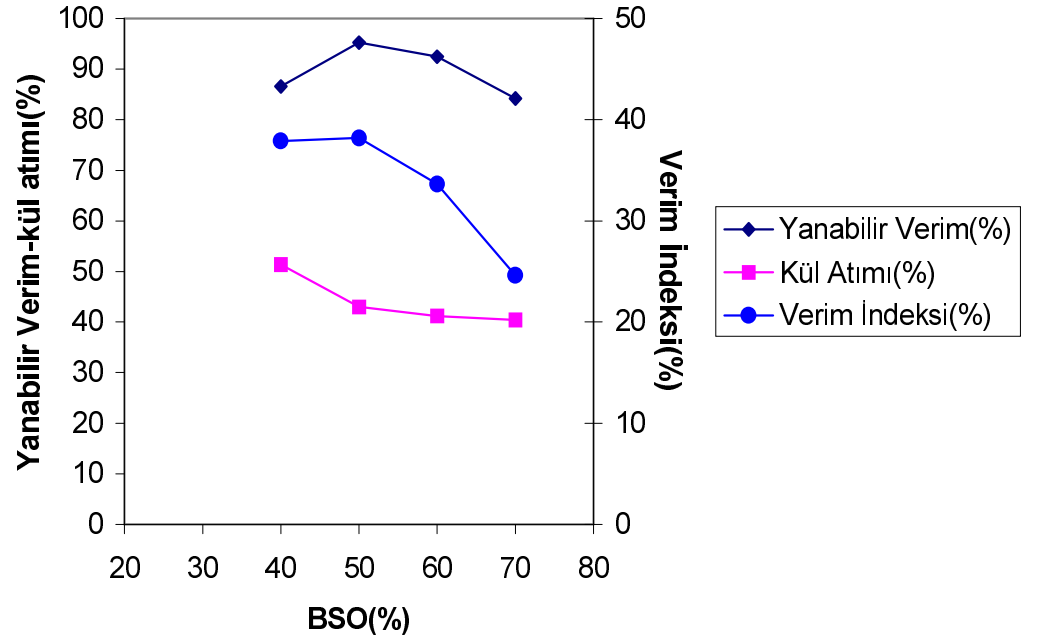
BSO (%)	Ağ. (gr)	Ağ. (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
5	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-
20	11,59	77,26	9,32	80,90	46,26	27,16
30	12,28	81,87	9,37	85,67	42,75	28,42
35	13,62	90,80	8,84	95,58	40,09	35,67
40	13,64	90,93	8,91	95,64	39,54	35,18
50	13,88	92,53	8,88	97,36	38,68	36,04
60	13,05	87,00	9,90	90,51	35,72	26,23
Besleme	15,00	100,00	13,40	100,00		



Şekil 17. Bağlayıcı sıvı (gazyağı) oranına bağlı olarak 63 µm için yanabilir verimin, kül atımının ve verim indeksinin değişimi

Tablo 13. Bağlayıcı sıvı oranının aglomerasyona etkisi (n-heptan,63 µm)

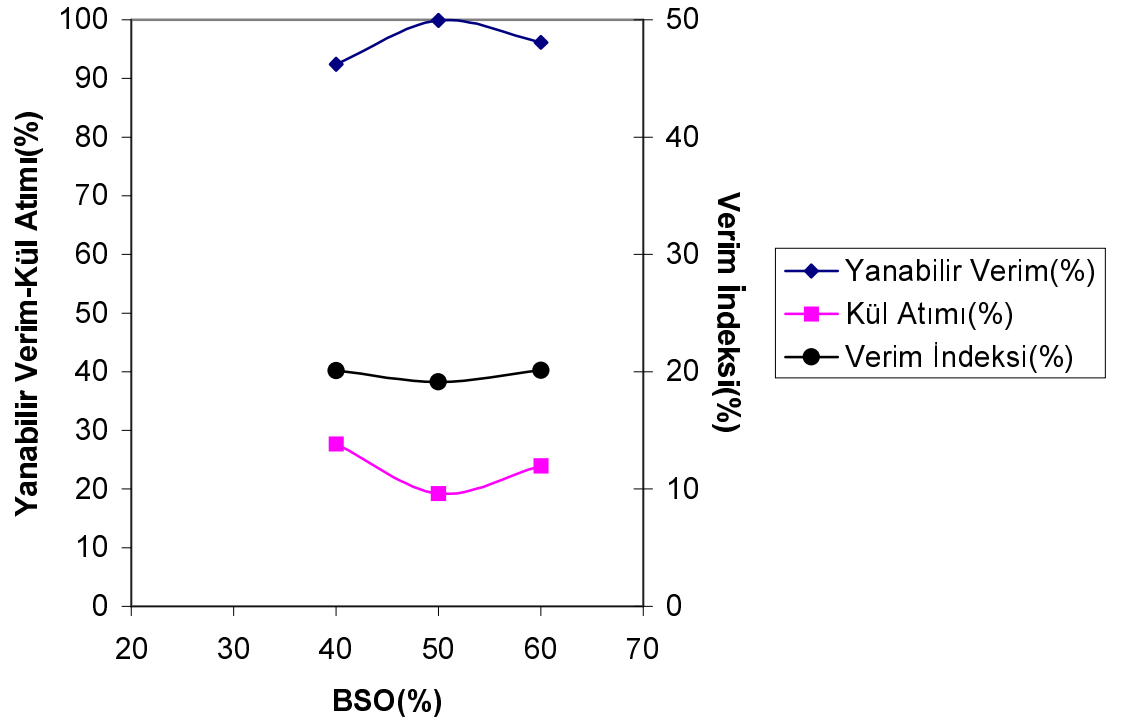
BSO (%)	Ağ. (gr)	Ağ. (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
5	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-
40	12,22	81,46	8,00	86,54	51,36	37,90
50	13,52	90,13	8,48	95,25	42,96	38,21
60	13,19	87,93	8,96	92,44	41,20	33,64
70	12,13	80,86	9,87	84,16	40,44	24,60
Besleme	15,00	100,00	13,40	100,00		



Şekil 18. Bağlayıcı sıvı (n-heptan) oranına bağlı olarak 63 µm için yanabilir verimin, kül atımının ve verim indeksinin değişimi

Tablo 14. Bağlayıcı sıvı oranının aglomerasyona etkisi (gazyağı, 28 µm)

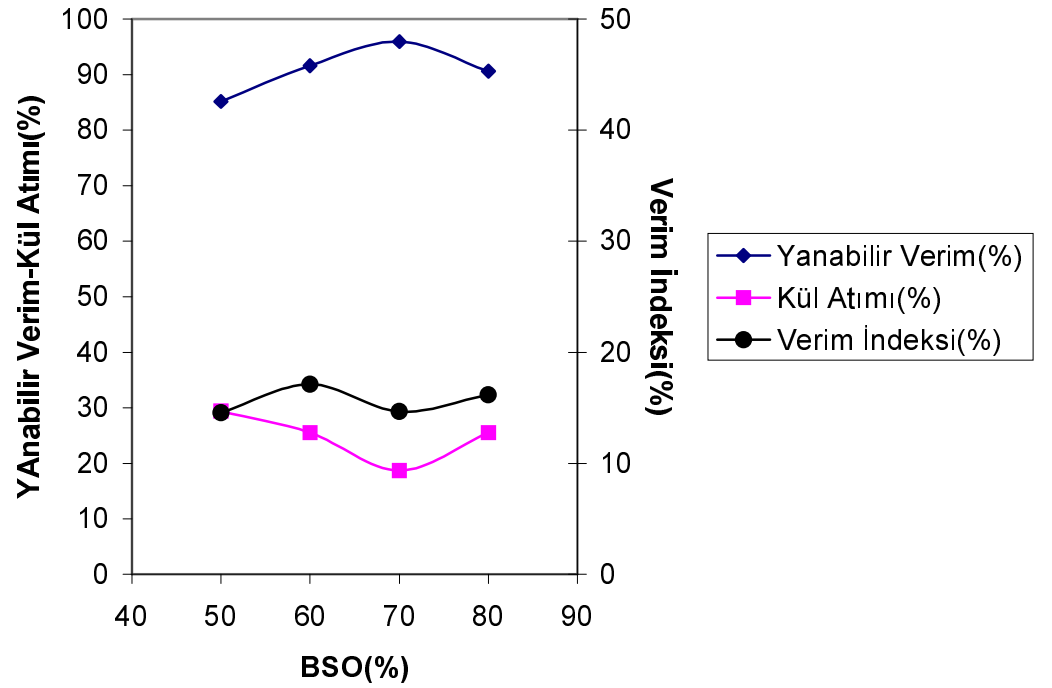
BSO (%)	Ağ. (gr)	Ağ. (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
5	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-
40	13,46	89,73	10,80	92,42	27,68	20,10
50	14,60	97,33	11,12	99,89	19,23	19,12
60	14,02	93,46	10,90	96,16	23,97	20,13
80	-	-	-	-	-	-
Besleme	15,00	100,00	13,40	100,00		



Şekil 19. Bağlayıcı sıvı (gazyağı) oranına bağlı olarak 28 µm için yanabilir verimin, kül atımı ve verim indeksinin değişimi

Tablo 15. Bağlayıcı sıvı oranının aglomerasyona etkisi (n-heptan, 28 µm)

BSO (%)	Ağ. (gr)	Ağ. (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
10	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-
40	-	-	-	-	-	-
50	12,48	83,20	11,37	85,15	29,40	14,55
60	13,40	89,33	11,17	91,60	25,53	17,13
70	14,10	94,00	11,59	95,96	18,69	14,65
80	13,27	88,46	11,28	90,63	25,53	16,16
Besleme	15,00	100,00	13,40	100,00		



Şekil 20. Bağlayıcı sıvı (n-heptan) oranına bağlı olarak 28 µm için yanabilir verimin, kül atımının ve verim indeksinin değişimi

Tablo ve şekillerin incelenmesinden görüleceği gibi genel olarak aynı yanabilir verim değerine ulaşmak için tane iriliği inceldikçe gerekli olan bağlayıcı sıvı miktarı artmaktadır. Tane boyu azaldıkça kömürün toplam yüzey alanı arttığı için bağlayıcı sıvı, kömür yüzeyini yeterince ıslatamamakta, bu da aglomerasyon veriminin düşmesine neden olmaktadır. Bağlayıcı sıvı oranının çok yüksek olduğu durumlarda ise küresel aglomeratlar yerine çamur formunda bir yapı oluşmakta ve ince kömür partiküllerinin bir kısmı bağlayıcı sıvı içinde dağılarak eleme sırasına elek altına geçmektedir. Bu nedenle yüksek bağlayıcı sıvı konsantrasyonlarında da verim azalmaktadır. Bu bulgular literatürde verilen bulgularla uyumludur (Capes, 1979; Capes, 1980; Cebeci ve diğ.,2002; Garcia ve diğ., 1996).

Bağlayıcı sıvı olarak gazyağı ve n-heptan arasındaki farkı incelersek, her boyut grubunda aynı miktarda gazyağı ve n-heptan kullanıldığı zaman gazyağı kömür partiküllerinin yüzeyini daha iyi kaplayarak verimin daha yüksek olmasını sağlamıştır. Genel olarak gazyağının sağladığı verime n-heptanda ulaşabilmek için gazyağına oranla daha fazla miktarda n-heptan kullanmak gerekmiştir.

Gazyağı ile daha düşük konsantrasyonlarda daha yüksek verime ulaşılmıştır. Seçimlilik yönünden ise optimum bağlayıcı sıvı oranlarında n-heptan daha iyi sonuçlar vermiştir.

Aglomerasyon deneyleri sonucunda, aglomerasyon öncesi üst ısı değeri 7211 kcal/kg olan kömür örneğinin ısı değeri önemli artışlar elde edilmiştir. Her tane iriliğindeki kömür örneği için, hem gazyağı hem de n-heptan kullanılarak elde edilen bazı kömür konsantrasyonlarının ulaştığı üst ısı değerleri Tablo 16'da verilmiştir.

Tablo 16. Aglomerasyon konsantrelerinin üst ısıl değerleri

Tane Boyu (μm)	Bağlayıcı Türü	BSO (%)	Kül (%)	Üst Isıl Değer (kcal/kg)
600	gazyağı	15	10,86	7228
600	n-heptan	40	10,90	7731
250	gazyağı	10	8,61	7445
250	n-heptan	30	8,60	7605
125	gazyağı	10	8,60	7747
125	n-heptan	40	8,18	8016
63	gazyağı	40	8,91	7953
63	n-heptan	40	8,00	7980
28	gazyağı	40	10,80	7634
28	n-heptan	60	11,17	7451

4.1.1.2. Aglomerasyon süresinin etkisi

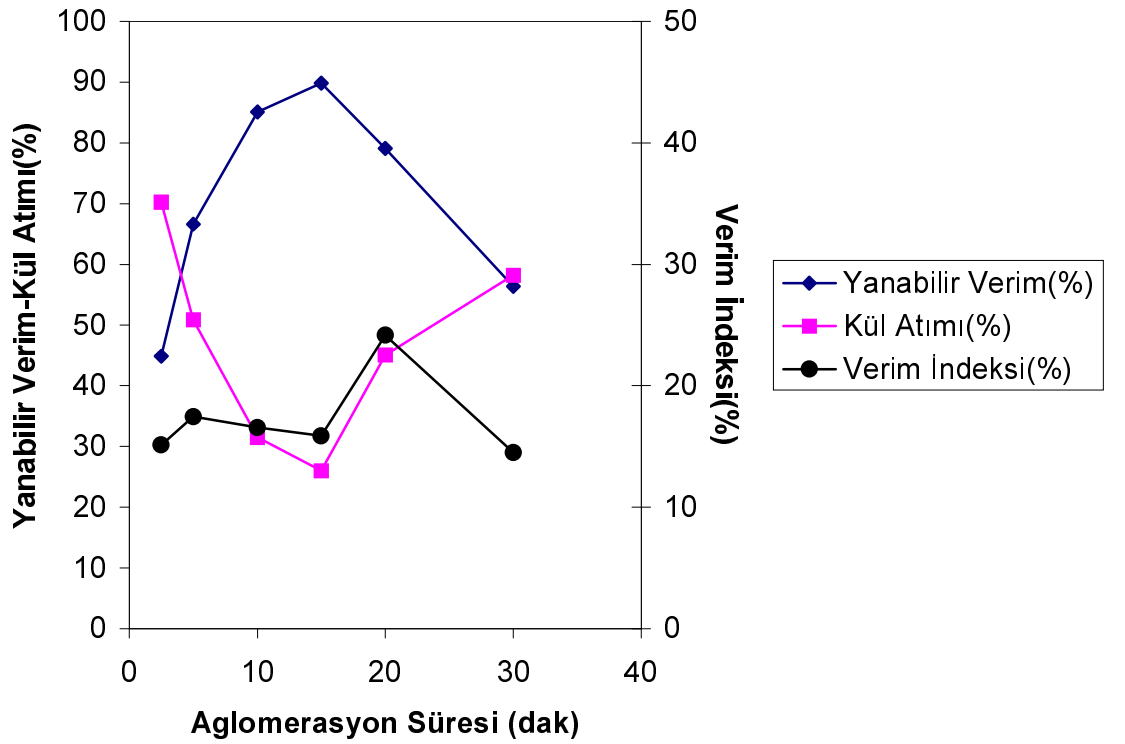
Optimum aglomerasyon koşullarını belirlemek amacı ile -600 μm tane iriliğinde deneyler yapılmış ve bağlayıcı sıvı olarak gazyağı kullanılmıştır.

Aglomerasyon süresinin incelendiği deneyler, -600 μm boyutundaki numune ve %20 bağlayıcı sıvı konsantrasyonunda gazyağı kullanılarak incelenmiştir. Deneylerde 15 gr örnek, 1000 dev/dak karıştırma hızında, %5 katı oranında ve doğal pülp pH (7,95)'ında değişik sürelerle aglomerasyona tabi tutulmuştur.

Deneylerden elde edilen bulgular Tablo 17'de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimi ise Şekil 21'de gösterilmiştir.

Tablo 17. Aglomerasyon süresinin etkisi

Süre (dak)	Ağırlık (gr)	Ağırlık (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
2,5	6,43	42,86	9,30	44,89	70,25	15,14
5	9,64	64,26	10,25	66,60	50,85	17,45
10	12,43	82,86	11,08	85,08	31,48	16,56
15	13,16	87,73	11,30	89,86	26,01	15,87
20	11,38	75,86	9,70	79,10	45,08	24,18
30	8,16	54,40	10,30	56,34	58,18	14,52



Şekil 21. Aglomerasyon süresine bağlı olarak yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimi

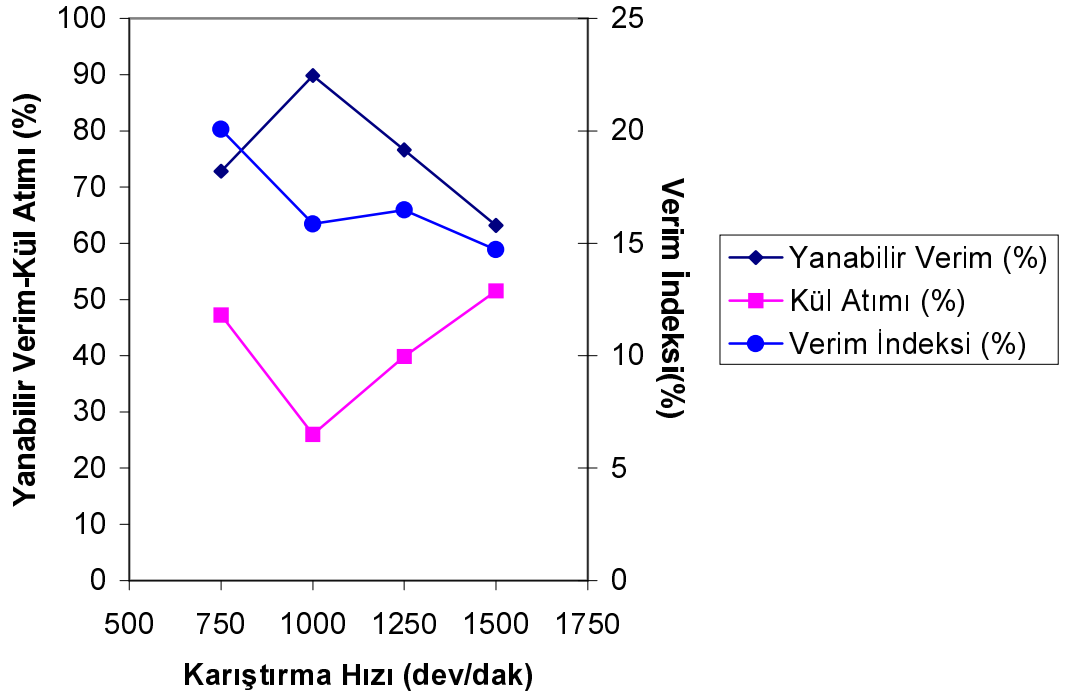
Tablo ve Şeklin incelenmesinden, düşük aglomerasyon sürelerinde aglomerasyon veriminin düştüğü gözlemlenmiştir. Bunun nedeni aglomeratların oluşması için gerekli olan partikül-partikül temasının yeteri kadar sağlanamamasıdır. Tablo ve şekilden yine görüldüğü üzere, yüksek aglomerasyon sürelerinde verimde düşüş olmaktadır. Bunun nedeni ise muhtemelen aglomeratların belli bir zamandan sonra direncinin azalması ve karıştırmanın etkisiyle behere veya türbülans oluşturucu levhalara çarparak ufalanmasıdır. Bu veriler ışığında optimum aglomerasyon süresi 15 dakika bulunmuş ve bütün aglomerasyon deneyleri için bu süre sabit olarak alınmıştır.

4.1.1.3. Karıştırma hızının aglomerasyona etkisi

Karıştırma hızının aglomerasyon verimine etkisi, -600µm boyutundaki 15 gr numune ve %20 bağlayıcı sıvı (gazyağı) kullanılarak incelenmiştir. Deneyler %5 katı oranında, 15 dakika aglomerasyon süresi ve doğal pülp pH (7,95)'inde yapılmıştır. Deney bulguları tablo 18'de verilmiş ve bu bulgulara bağlı yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimi Şekil 22'de gösterilmiştir.

Tablo 18. Karıştırma hızının aglomerasyona etkisi

Karıştırma Hızı (dev/dak)	Ağırlık (gr)	Ağırlık (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
750	10,52	70,13	10,08	72,82	47,24	20,06
1000	13,16	87,73	11,30	89,86	26,01	15,87
1250	11,16	74,40	10,83	76,61	39,87	16,48
1500	9,18	61,20	10,61	63,17	51,54	14,71



Şekil 22. Karıştırma hızına bağlı olarak yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimi

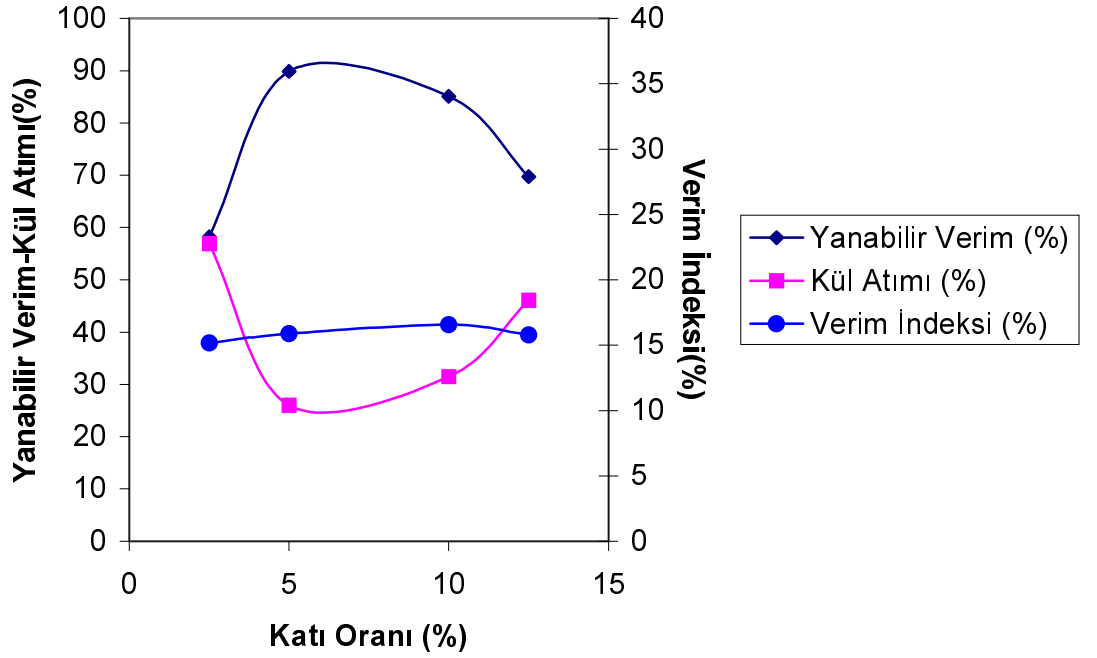
Tablo ve Şekilden görüldüğü gibi düşük ve yüksek karıştırma hızlarında verimde düşüş olmaktadır. Bunun nedeni düşük karıştırma hızlarında yüzeyi bağlayıcı sıvı ile kaplanmış kömür tanecikleri yeterince etkili çarpışmamakta ve dolayısıyla aglomeratları oluşturamamaktadır. Yüksek karıştırma hızında verimin düşmesine neden olan sebep ise aglomeratların behere ve türbülans oluşturucu levhalara normalden daha şiddetli çarpması ve bunun sonucu olarak ufalanması veya dağılması olabilir. Deney sonuçlarına göre 1000 dev/dak'lık karıştırma hızı aglomerasyon deneyleri için uygun karıştırma hızı olarak bulunmuştur.

4.1.1.4. Katı oranının aglomerasyona etkisi

Bu deneylerde kömür miktarı diğer deneylerde olduğu gibi 15 gr alınmış, ancak su miktarı değiştirilerek katı oranı değiştirilmiş ve bunun aglomerasyon üzerine etkisi incelenmiştir. 600 µm boyutundaki örnek kullanılarak %20 bağlayıcı sıvı (gazyağı) oranında deneyler yapılmıştır. Deneyler 1000 dev/dak karıştırma hızında, 15 dak. aglomerasyon süresi ve doğal pülp pH(7,95)'ında yapılmıştır. Deneylerden elde edilen bulgular Tablo 19'da gösterilmiş ve katı oranına bağlı olarak yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimi Şekil 23'de gösterilmiştir.

Tablo 19. Katı oranının aglomerasyona etkisi

Süre (dak)	Ağırlık (gr)	Ağırlık (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
2,5	8,43	56,20	10,27	58,23	56,93	15,16
5	13,16	87,73	11,30	89,86	26,01	15,87
10	12,43	82,86	11,08	85,08	31,48	16,56
12,5	10,14	67,60	10,69	69,71	46,07	15,78



Şekli 23. Katı oranına bağlı olarak yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimi

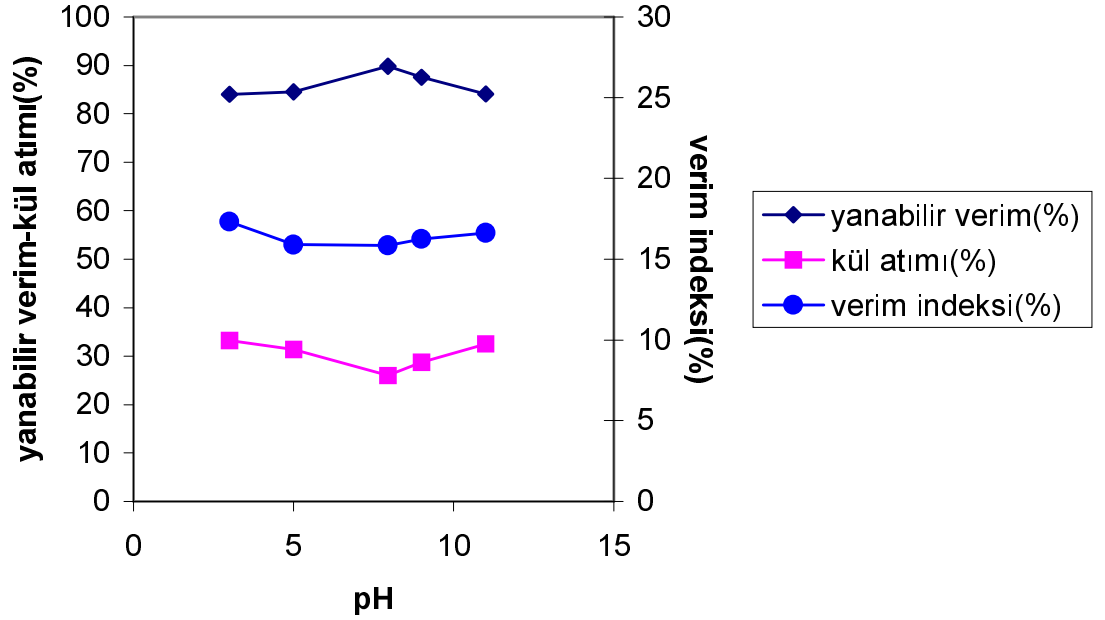
Şekil ve Tablo incelendiğinde düşük katı oranında yeterli miktarda aglomerat oluşmadığı ve dolayısıyla verimin düştüğü görülmektedir. %2,5 katı oranında yanabilir verimin düşmesinin nedeni , karıştırma ile taneciklerin yeteri kadar birbirlerine yaklaşamamalarına dayandırılmıştır (Osborne, 1990). %5 katı oranında yanabilir verimdeki artma aglomerat boyutundaki artıştan kaynaklanmaktadır. Daha yüksek katı oranlarında verimdeki azalma ise aglomeratların hem birbirleriyle hem de kömür partikülleriyle sürtünmesi sonucu tane iriliğinin azalmasına dayandırılmıştır. Bu bulgular literatürdeki bulgularla uyumludur (Cebeci, 1996). Katı oranının aglomerasyona etkisinin incelendiği deneyler sonucunda optimum katı oranı %5 olarak belirlenmiş ve bütün deneyler bu katı oranında gerçekleştirilmiştir.

4.1.1.5. pH'in aglomerasyona etkisi

Deneylerde -600 μm boyutundaki örnek ve bağlayıcı sıvı olarak ise %20 oranında gazyağı kullanılmıştır. 15 gr örnek kullanılarak 1000 dev/dak. karıştırma hızında, %5 katı oranında 15 dakika süre ile aglomerasyon deneyleri yapılmıştır. pH değerleri %1'lik NaOH ve HCl çözeltileriyle ayarlanmıştır. Deneyler sonucu elde edilen bulgular Tablo 20'de verilmiş, bu bulgulara göre yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimi ise Şekil 24'de gösterilmiştir.

Tablo 20. pH'in aglomerasyona etkisi

pH	Ağırlık (gr)	Ağırlık (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
3,0	12,26	81,73	10,94	84,05	33,27	17,32
5,0	12,36	82,40	11,16	84,53	31,37	15,90
7,95	13,16	87,73	11,30	89,86	26,01	15,87
9,0	12,80	85,33	11,19	87,51	28,74	16,25
11,0	12,28	81,87	11,04	84,09	32,54	16,63



Şekil 24. pH'a bağlı olarak yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimi

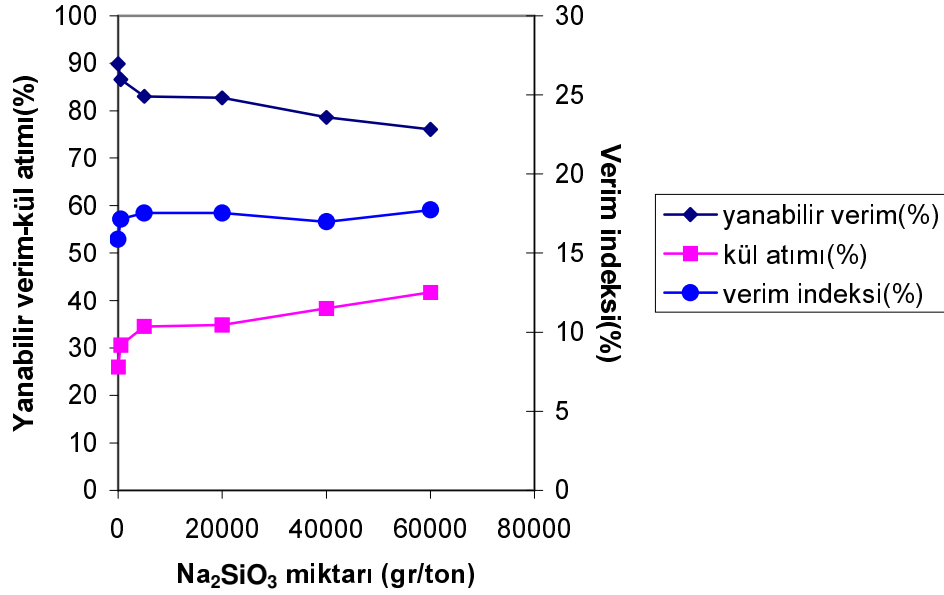
Deney sonuçları incelendiğinde , pH'ın değişimiyle verimde çok keskin iniş ve çıkışların olmadığı gözlenmekle birlikte, en iyi sonuca doğal pülp (kömür+su) pH'ında ulaşıldığı görülmüştür. Yüksek pH'lardaki yanabilir verimin düşmesini gazyağı damlaları ile kömür tanecikleri arasında itme elektrostatik kuvvetlerin oluşmasına bağlayabiliriz. Düşük pH değerlerindeki yanabilir verimin kısmi düşüşünün nedeni ise, hem pozitif yüklenmiş parçacıklar arasındaki itici kuvvetlere hem de kömür yüzeyinin daha hidrofilik karakter kazanmasına dayandırılabilir (Cebeci ve diğ.,2002).

4.1.1.6. Na₂SiO₃'ün aglomerasyona etkisi

Deneyleerde 15 gr örnek (-600µm), %20 bağlayıcı sıvı oranı (gazyağı), 1000 dev/dak karıştırma hızı, %5 katı oranı ve doğal pülöp pH(7,95)'ında 15 dakika süreyle aglomerasyona tabi tutulmuştur. Bağlayıcı sıvı ilave edilmeden 5 dakika önce, gang minerallerinin ıslanabilirliğini/dağılmasını arttırmak ve daha temiz aglomeratlar elde etmek amacı ile pülöp değişik miktarlarda Na₂SiO₃ ilave edilmiştir. Deneyleerden elde edilen sonuçlar Tablo 21'de verilmiştir. Şekil 25'de ise ilave edilen Na₂SiO₃ miktarına göre yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimi gösterilmiştir.

Tablo 21. Na₂SiO₃ 'ın Aglomerasyona etkisi

Na ₂ SiO ₃ (gr/ton)	Ağırlık (gr)	Ağırlık (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül atımı (%)	Verim İndeksi (%)
0	13,16	87,73	11,30	89,86	26,01	15,87
500	12,64	84,26	11,04	86,56	30,58	17,14
5000	12,10	80,66	10,88	83,01	34,51	17,52
20000	12,05	80,33	10,87	82,68	34,84	17,52
40000	11,45	76,33	10,82	78,61	38,37	16,98
60000	11,05	73,66	10,61	76,04	41,67	17,71



Şekil 25. İlave edilen Na₂SiO₃ miktarına göre yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimi

Na₂SiO₃ özellikle çok yüksek konsantrasyonlarda kullanıldığında az da olsa külün düşmesini sağlasa da, elde edilen ürün miktarında önemli miktarda azalmaya yol açmakta ve yanabilir verim düşmektedir. Sonuç olarak Na₂SiO₃ kullanmanın seçicilik yönünden çok avantaj sağlamadığı görülmüştür.

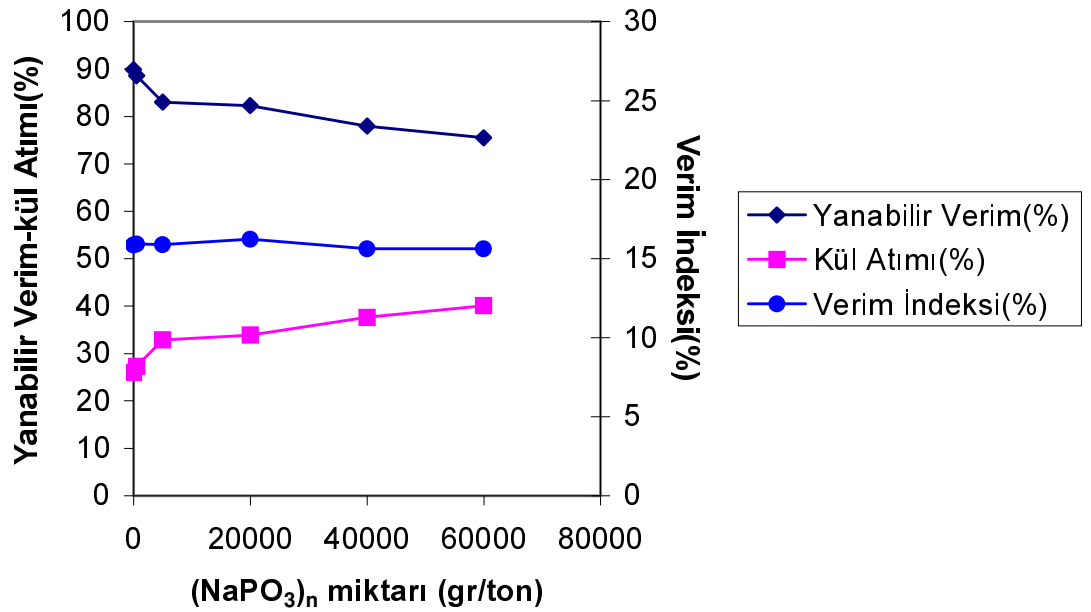
4.1.1.7. Sodyum polifosfatın etkisi

Deneyleerde 15 gr örnek (-600 µm), %20 bağlayıcı sıvı oranı (gazyağı), 1000 dev/dak karıştırma hızı, %5 katı oranı ve doğal pülp pH(7,95)'ında 15 dakika süreyle aglomerasyona tabi tutulmuştur. Na₂SiO₃'ün etkisinin incelendiği deneyleerde olduğu gibi, (NaPO₃)_n'ün etkisinin incelendiği deneyleerde de bağlayıcı sıvı ilave edilmeden 5 dakika önce (NaPO₃)_n ilave edilmiştir. Deneyleerden elde edilen bulgular Tablo 22'de verilmiş, ilave edilen (NaPO₃)_n miktarına göre

yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimi ise Şekil 26'da gösterilmiştir.

Tablo 22. Sodyum Polifosfat'ın aglomerasyona etkisi

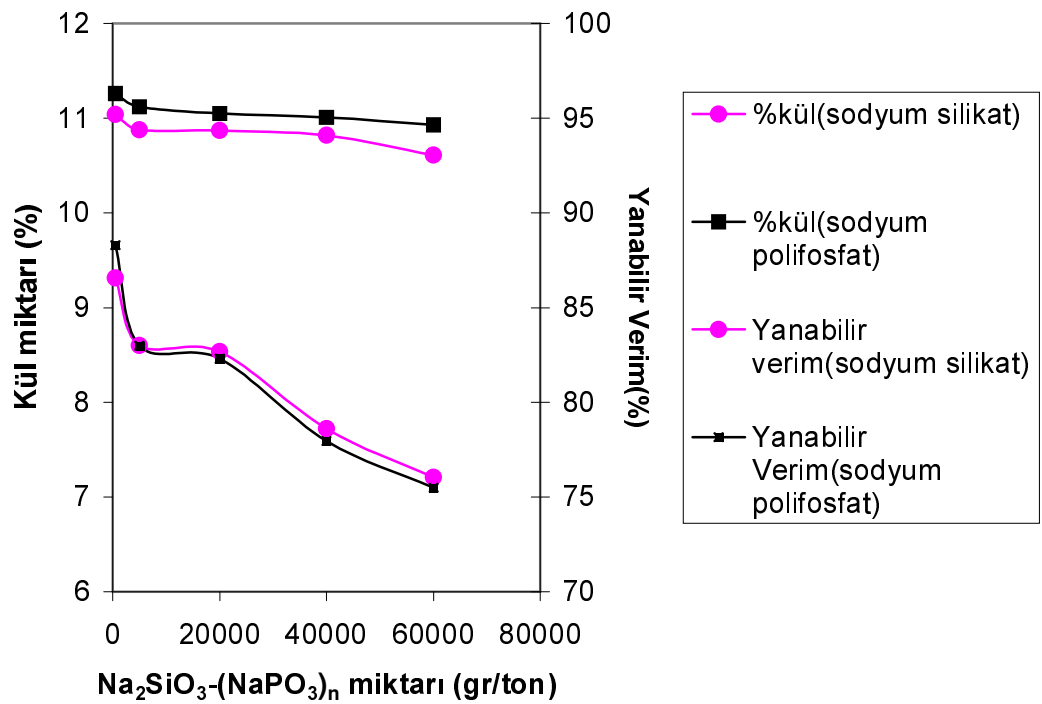
(NaPO ₃) _n (gr/ton)	Ağırlık (gr)	Ağırlık (%)	Kl (%)	Yanabilir Verim (%)	Kl Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
0	13,16	87,73	11,30	89,86	26,01	15,87
500	12,97	86,47	11,26	88,60	27,34	15,94
5000	12,13	80,87	11,12	82,99	32,89	15,88
20000	12,02	80,13	11,05	82,31	33,92	16,23
40000	11,38	75,87	11,01	77,96	37,66	15,62
60000	11,01	73,40	10,93	75,49	40,13	15,62



Şekil 26. İlave edilen (NaPO₃)_n miktarına göre yanabilir verim, kl atımı ve verim indeksinin değişimi

Tablo ve Şekil incelendiğinde sodyum polifosfatın miktarı arttıkça kül miktarındaki kısmi azalmaya karşılık yanabilir verimde önemli düşüşler yaşandığı görülmektedir.

Bundan sonra yapılacak deneylerde bastırıcı olarak (Na_2SiO_3 veya $(\text{NaPO}_3)_n$) hangisinin kullanılacağına karar vermek için yapılan sodyum silikat ve sodyum polifosfat karşılaştırılması şekil 27’da gösterilmiştir.



Şekil 27. Na_2SiO_3 ve $(\text{NaPO}_3)_n$ 'in karşılaştırılması

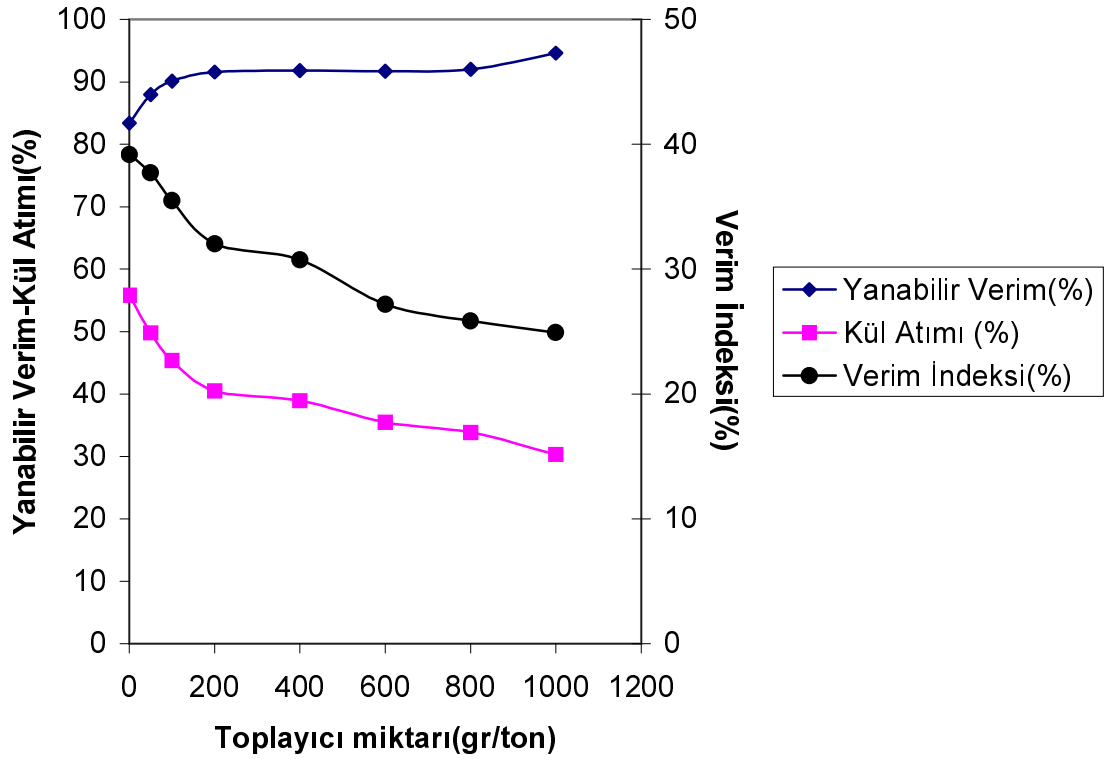
Şekilden de görüldüğü Na_2SiO_3 ve $(\text{NaPO}_3)_n$ aynı miktarlarda kullanıldığında, Na_2SiO_3 ile az da olsa daha düşük kül içerikli ürünler daha yüksek yanabilir verim ile elde edilmiştir. Bu nedenle bundan sonra yapılan deneylerde bastırıcı olarak Na_2SiO_3 kullanılmıştır.

4.1.2. Flotasyon deney bulgularının değerlendirilmesi

Flotasyon deneyleri 1 lt'lik hücrelerde 50 gr örnek ile yapılmıştır. Deneylerde 1000 dev/dak karıştırma hızı, %5 katı oranı, 100 gr/ton çamyacı miktarı, doğal pülp pH (kömür+su=7,15)'ı sabit olarak alınmıştır. Deneylerde -600 µm, -250 µm, -125 µm, -63 µm ve -28 µm boyutlarındaki kömürler ile yapılmış, toplayıcı olarak ise her boyut grubu için gazyağı ve n-heptan ayrı ayrı kullanılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen bulgular Tablo 23,24,25,26,27,28,29,30,31 ve 32'de verilmiştir. Toplayıcı miktarına göre yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimleri ise Şekil 28,29,30,31,32,33,34,35,36 ve 37'de gösterilmiştir. Tablolarda "0-0" olarak verilen sonuçlar hem köpürtücü hem de toplayıcı kullanılmadan yapılan deneylerin sonuçları olup bu değerler grafiksel olarak gösterilmemiştir. Tablolarda toplayıcı miktarının "0" olarak verildiği deneylerde hiç toplayıcı kullanılmamış, sadece diğer deneylerde de olduğu gibi 100 gr/ton miktarında çamyacı kullanılmıştır.

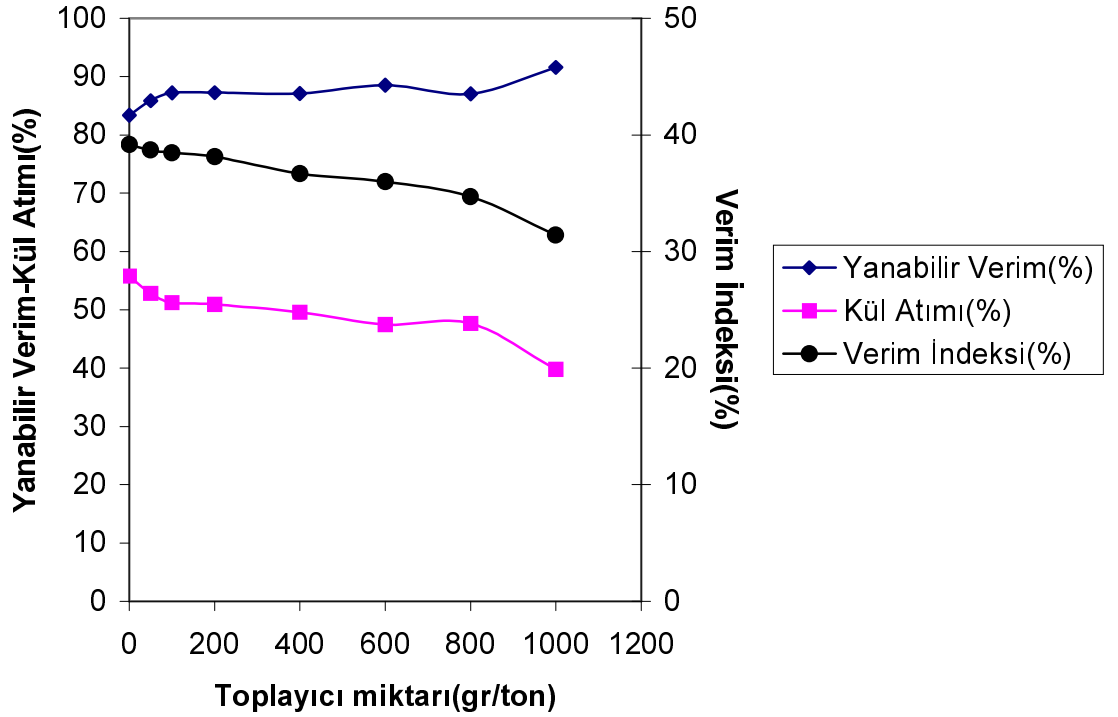
Tablo 23. Toplayıcı miktarının flotasyona etkisi (600 μm , Gazyağı)

Toplayıcı Miktarı (gr/ton)	Yüzen (gr)	Yüzen (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
0-0	28,75	57,50	7,22	61,60	69,02	30,62
0	39,06	78,12	7,58	83,37	55,80	39,17
50	41,44	82,88	8,12	87,93	49,77	37,70
100	42,69	85,38	8,58	90,13	45,33	35,46
200	43,63	87,26	9,14	91,55	40,48	32,03
400	43,85	87,70	9,33	91,82	38,93	30,75
600	44,04	88,08	9,82	91,72	35,45	27,17
800	44,27	88,54	10,01	92,00	33,85	25,85
1000	45,63	91,26	10,23	94,60	30,32	24,92

Şekil 28. Toplayıcı miktarına göre yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimleri (600 μm -Gazyağı)

Tablo 24. Toplayıcı miktarının flotasyona etkisi (600 µm,n-heptan)

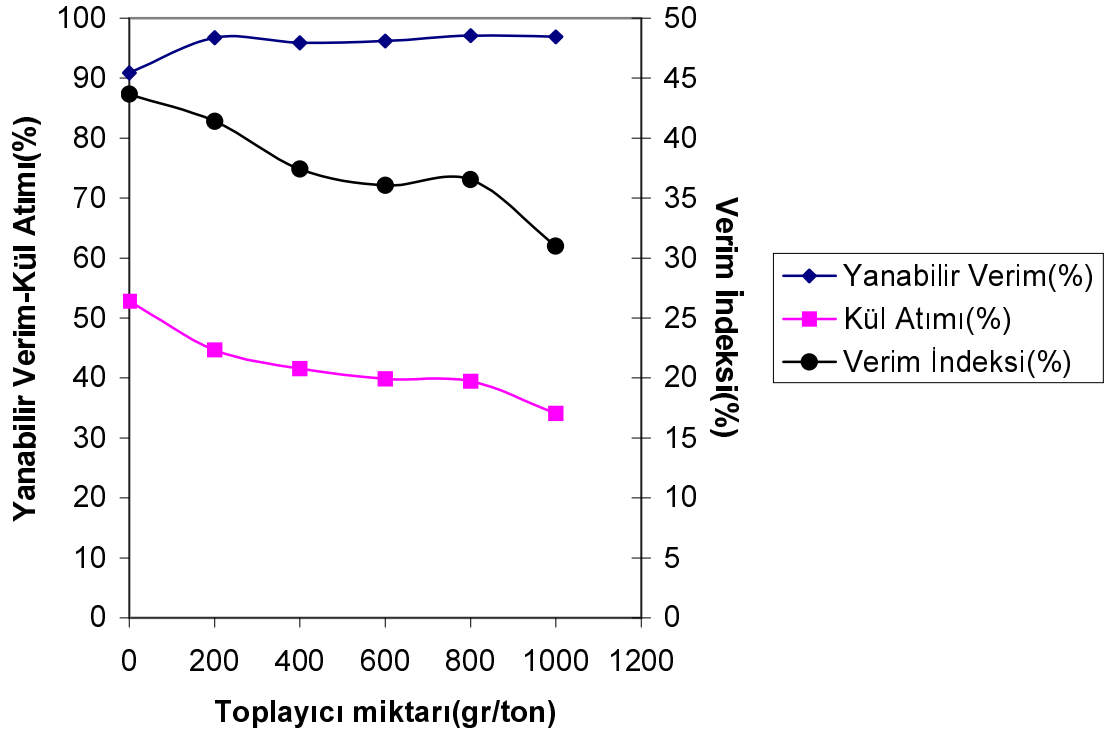
Toplayıcı Miktarı (gr/ton)	Yüzen (gr)	Yüzen (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
0-0	28,75	57,50	7,22	61,60	69,02	30,62
0	39,06	78,12	7,58	83,37	55,80	39,17
50	40,33	80,66	7,83	85,84	52,86	38,70
100	41,03	82,06	7,96	87,21	51,25	38,46
200	41,06	82,12	8,01	87,23	50,91	38,14
400	41,10	82,20	8,22	87,11	49,57	36,68
600	41,85	83,70	8,41	88,52	47,46	35,98
800	41,20	82,40	8,51	87,05	47,66	34,71
1000	43,70	87,40	9,23	91,60	39,79	31,39



Şekil 29. Toplayıcı miktarına göre yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimleri (600 µm,n-heptan)

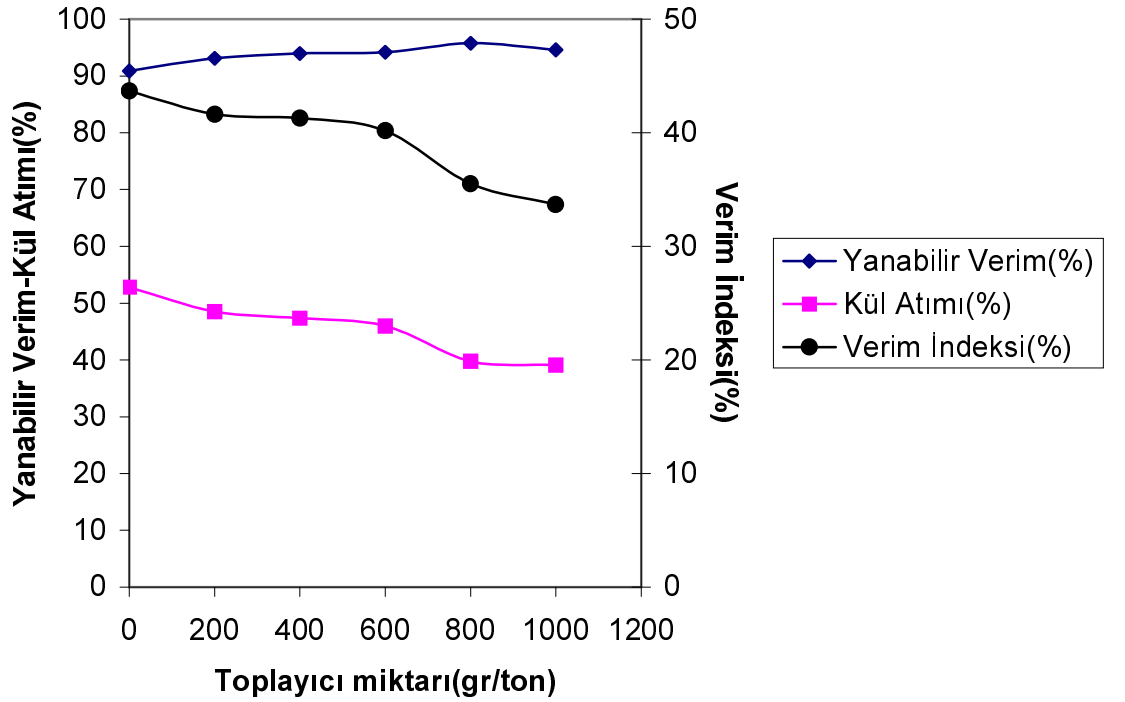
Tablo 25. Toplayıcı miktarının flotasyona etkisi (250 μm , gazyağı)

Toplayıcı Miktarı (gr/ton)	Yüzen (gr)	Yüzen (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
0-0	31,14	62,28	7,13	66,79	66,86	33,65
0	42,51	85,02	7,44	90,87	52,79	43,66
200	45,59	91,18	8,13	96,72	44,68	41,40
400	45,43	90,86	8,62	95,87	41,55	37,42
600	45,68	91,36	8,82	96,19	39,86	36,05
800	46,10	92,20	8,80	97,09	39,45	36,54
1000	46,38	92,76	9,52	96,91	34,09	31,00

Şekil 30. Toplayıcı miktarına göre yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimleri (250 μm , gazyağı)

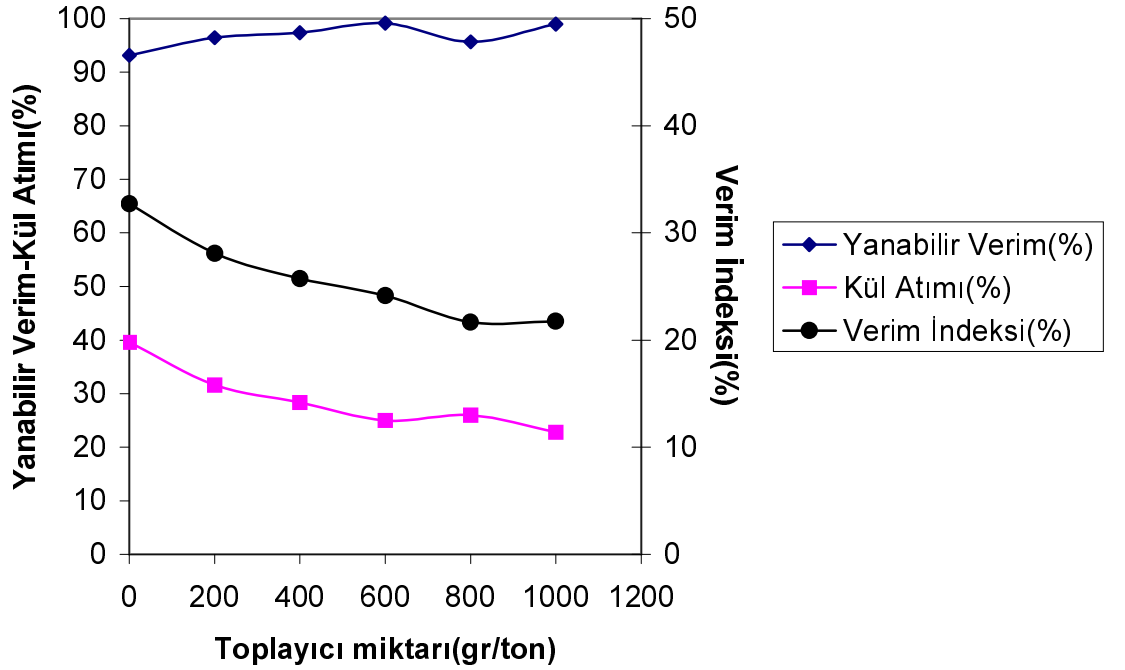
Tablo 26. Toplayıcı miktarının flotasyona etkisi (250 μ m,n-heptan)

Toplayıcı Miktarı (gr/ton)	Yüzen (gr)	Yüzen (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
0-0	31,14	62,28	7,13	66,79	66,86	33,65
0	42,51	85,02	7,44	90,87	52,79	43,66
200	43,76	87,52	7,88	93,09	48,53	41,62
400	44,22	88,44	7,98	93,97	47,33	41,30
600	44,41	88,82	8,15	94,20	45,98	40,18
800	45,50	91,00	8,87	95,76	39,76	35,52
1000	45,04	90,08	9,06	94,59	39,09	33,68

Şekil 31. Toplayıcı miktarına göre yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimleri (250 μ m,n-heptan)

Tablo 27. Toplayıcı miktarının flotasyona etkisi (125 µm,gazyacağı)

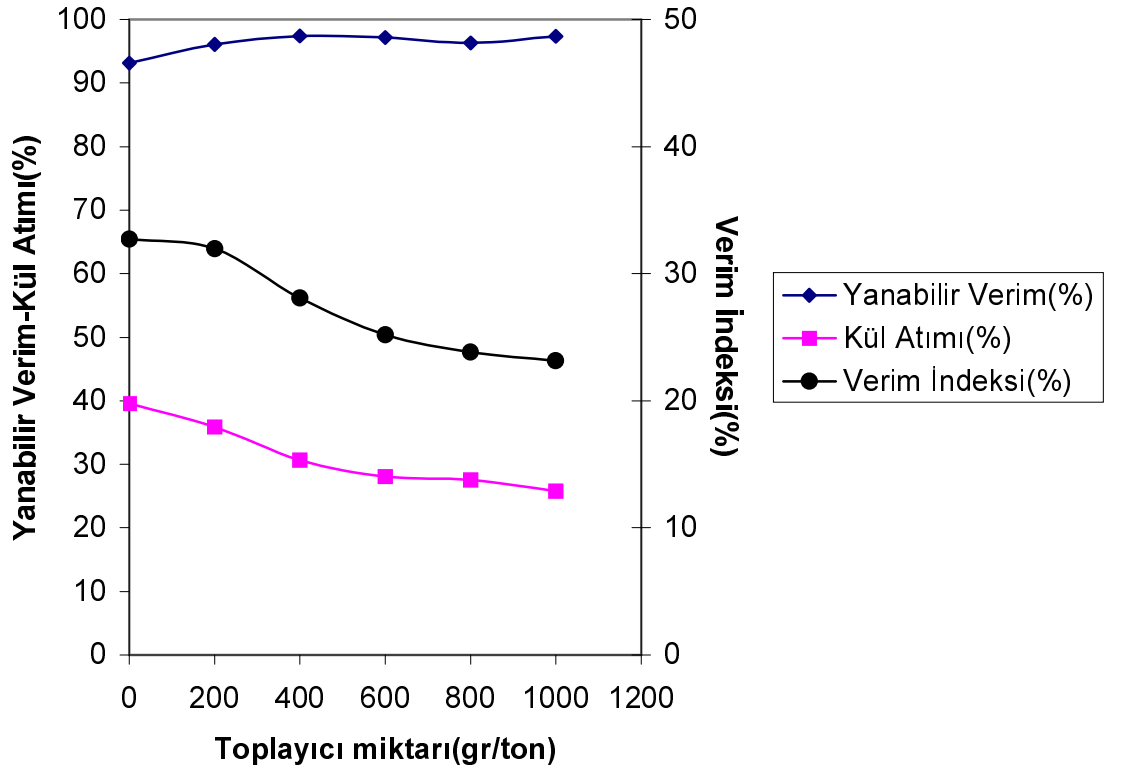
Toplayıcı Miktarı (gr/ton)	Yüzen (gr)	Yüzen (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
0-0	33,27	66,54	8,86	70,02	56,00	26,02
0	44,39	88,78	9,12	93,16	39,57	32,73
200	46,36	92,72	9,88	96,48	31,63	28,11
400	46,96	93,92	10,22	97,36	28,37	25,73
600	47,97	95,94	10,48	99,17	24,97	24,14
800	46,38	92,76	10,69	95,66	26,00	21,66
1000	48,04	96,08	10,77	98,99	22,78	21,77



Şekil 32. Toplayıcı miktarına göre yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimleri (125 µm,gazyacağı)

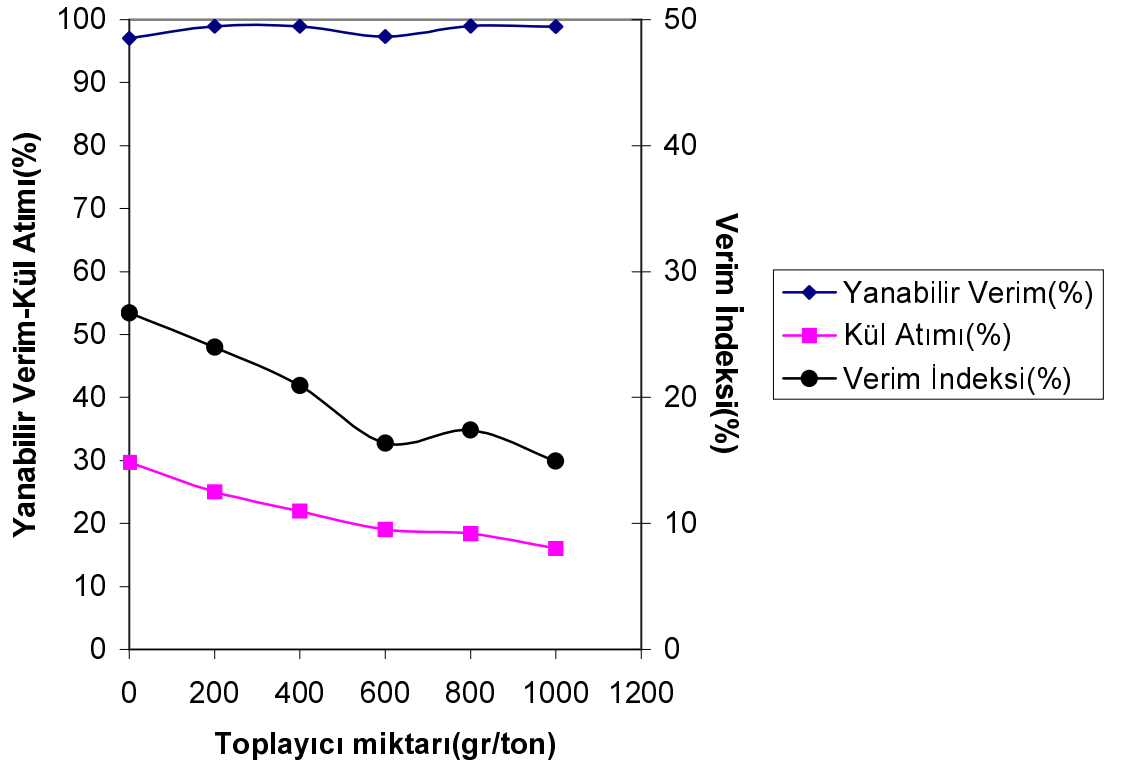
Tablo 28. Toplayıcı miktarının flotasyona etkisi (125 μ m,n-heptan)

Toplayıcı Miktarı (gr/ton)	Yüzen (gr)	Yüzen (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
0-0	33,27	66,54	8,86	70,02	56,00	26,02
0	44,39	88,78	9,12	93,16	39,57	32,73
200	45,90	91,80	9,36	96,08	35,88	31,96
400	46,83	93,66	9,92	97,42	30,66	28,08
600	46,89	93,78	10,28	97,15	28,05	25,20
800	46,55	93,10	10,43	96,29	27,53	23,82
1000	47,12	94,24	10,55	97,34	25,80	23,14

Şekil 33. Toplayıcı miktarına göre yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimleri (125 μ m,n-heptan)

Tablo 29. Toplayıcı miktarının flotasyona etkisi (63 µm,gazyağı)

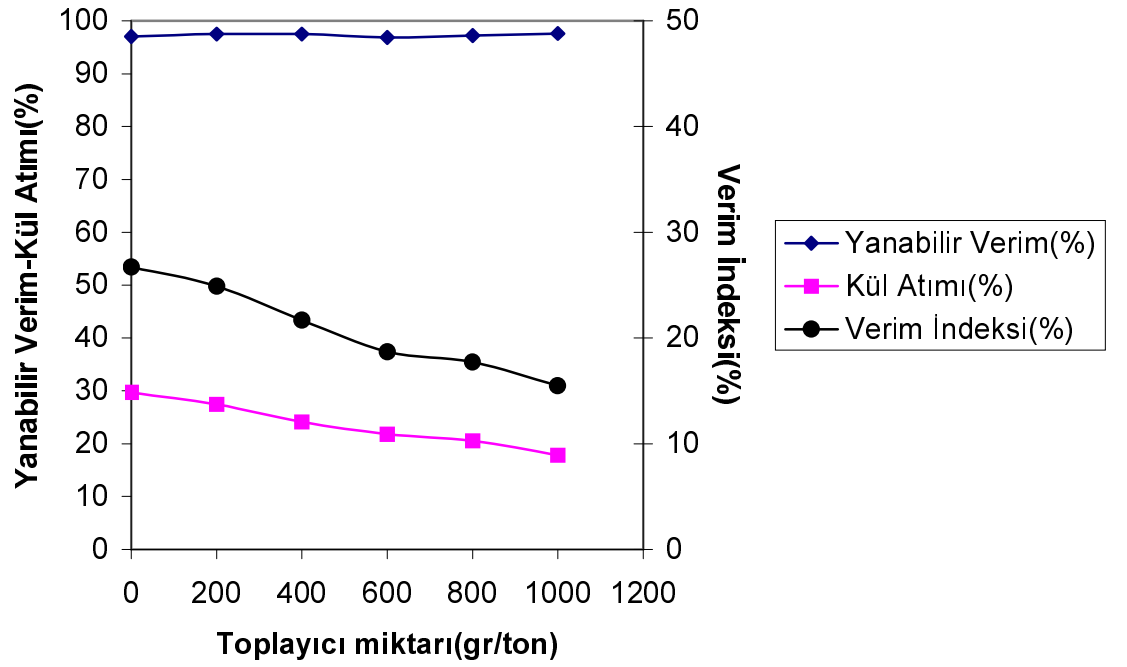
Toplayıcı Miktarı (gr/ton)	Yüzen (gr)	Yüzen (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
0-0	38,42	76,84	9,83	80,01	43,63	23,64
0	46,72	93,44	10,08	97,02	29,71	26,73
200	47,88	95,76	10,49	98,97	25,03	24,00
400	48,08	96,16	10,87	98,96	21,99	20,95
600	47,57	95,14	11,40	97,33	19,06	16,39
800	48,34	96,68	11,31	99,01	18,40	17,41
1000	48,45	96,90	11,61	98,90	16,04	14,94



Şekil 34. Toplayıcı miktarına göre yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimleri (63 µm,gazyağı)

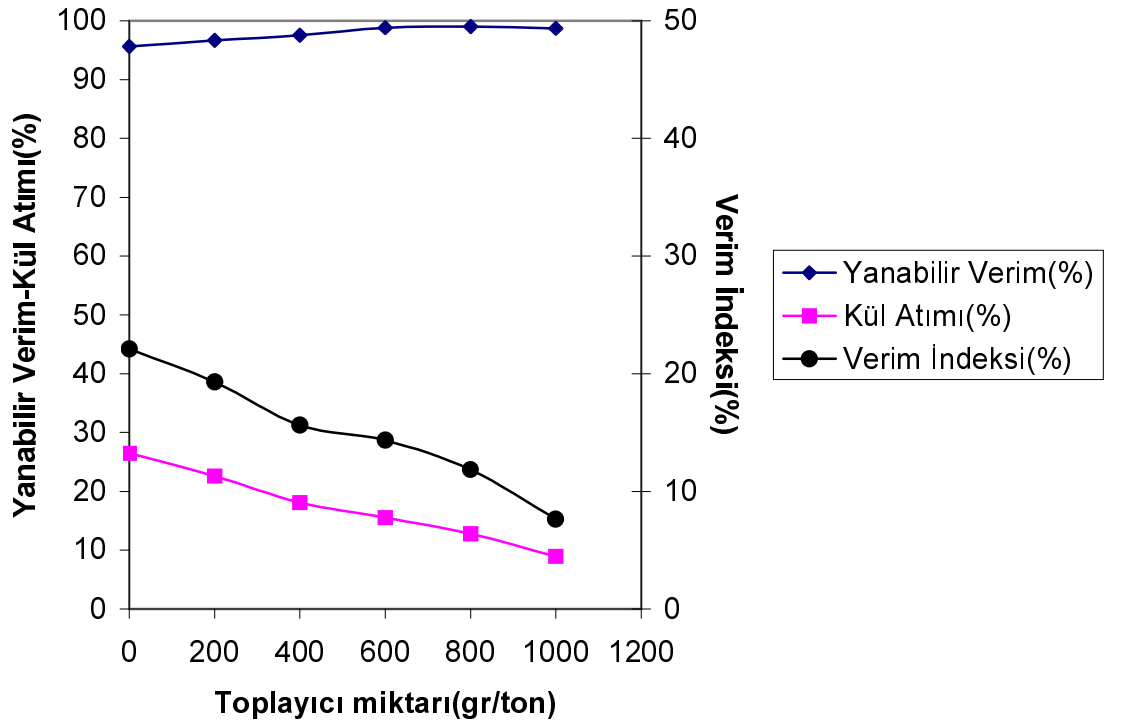
Tablo 30. Toplayıcı miktarının flotasyona etkisi (63 μm ,n-heptan)

Toplayıcı Miktarı (gr/ton)	Yüzen (gr)	Yüzen (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
0-0	38,42	76,84	9,83	80,01	43,63	23,64
0	46,72	93,44	10,08	97,02	29,71	26,73
200	47,07	94,14	10,33	97,47	27,43	24,90
400	47,31	94,62	10,74	97,52	24,16	21,68
600	47,19	94,38	11,10	96,88	21,82	18,70
800	47,41	94,82	11,23	97,19	20,53	17,72
1000	47,78	95,56	11,52	97,63	17,84	15,47

Şekil 35. Toplayıcı miktarına göre yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimleri (63 μm ,n-heptan)

Tablo 31. Toplayıcı miktarının flotasyona etkisi (28 µm, gazyağı)

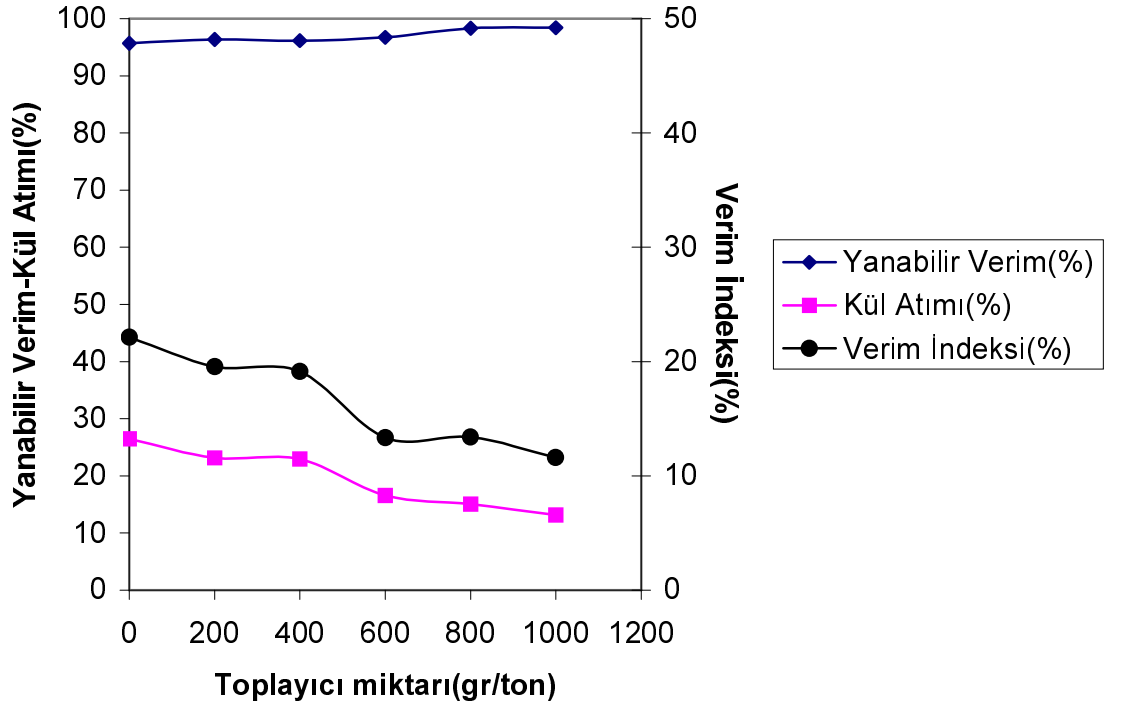
Toplayıcı Miktarı (gr/ton)	Yüzen (gr)	Yüzen (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
0-0	39,91	79,82	10,21	82,76	39,18	21,94
0	46,35	92,70	10,63	95,66	26,46	22,12
200	47,05	94,10	11,02	96,68	22,61	19,29
400	47,72	95,44	11,50	97,53	18,09	15,62
600	48,44	96,88	11,68	98,80	15,55	14,35
800	48,73	97,46	11,99	99,04	12,79	11,83
1000	48,84	97,68	12,49	98,70	8,95	7,65



Şekil 36. Toplayıcı miktarına göre yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimleri (28 µm, gazyağı)

Tablo 32. Toplayıcı miktarının flotasyona etkisi (28 μ m,n-heptan)

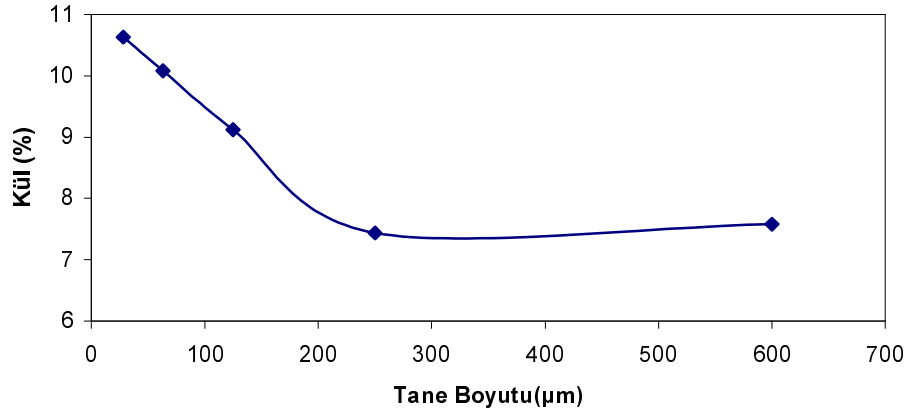
Toplayıcı Miktarı (gr/ton)	Yüzen (gr)	Yüzen (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
0-0	39,91	79,82	10,21	82,76	39,18	21,94
0	46,35	92,70	10,63	95,66	26,46	22,12
200	46,88	93,76	10,98	96,38	23,17	19,55
400	46,81	93,62	11,03	96,18	22,94	19,12
600	47,48	94,96	11,77	96,74	16,59	13,33
800	48,27	96,54	11,79	98,33	15,06	13,39
1000	48,44	96,88	12,01	98,43	13,17	11,60

Şekil 37. Toplayıcı miktarına göre yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimleri (28 μ m,n-heptan)

Kömür flotasyonu çalışmalarında, flotasyon beslemesindeki iri kömür partiküllerinin seçimli olarak fakat düşük verimlerle yüzdüğü, ince partiküllerin ise yüksek verimle kazanıldığı fakat seçimliliğin düşük olduğu yaygın olarak karşılaşılan bir durumdur (Laskowski, 2001).

İnce tane iriliklerinde seçimliliğin düşük olmasının nedeni, kabarcıklar arasındaki suda ince parçacıkların askıda kalması ve suyla sürüklenerek kazanılmasıdır. Bu durum literatürde verilen bulgularla uyumludur (Warren,1985).

Tüm bulgular incelendiğinde , toplayıcı kullanılmadan sadece köpürtücü kullanılarak yapılan deneylere baktığımızda külün en düşük değerlerde olduğu görülmekle birlikte bu grup deneyler için boyut incelidikçe külün arttığı görülmüştür. Şekil 38 incelendiğinde ise özellikle 125 mikronun altındaki boyutlarda boyut incelidikçe seçimliliğin kaybolduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 38. Toplayıcı kullanılmadan yapılan flotasyon deneylerinde (-28µm , -63 µm, -125 µm, -250 µm ve -600 µm) kömürlerin kül içeriğinin tane boyutuna göre değişimi

Toplayıcı kullanılarak yapılan deneylerde de, her toplayıcı konsantrasyonu için durum pek farklı olmamakta ve tane boyutu incelidikçe kül içeriği daha yüksek ürün elde edildiği görülmektedir.

4.1.3. Agloflotasyon deney bulgularının değerlendirilmesi

Deneylerde 50 gr örnek ilk önce aglomerasyon işlemine tabi tutulmuş , daha sonra aglomerasyon kabındaki kömür-su karışımı olduğu gibi flotasyon hücresine aktarılarak flotasyon deneyleri yapılmıştır. Aglomerasyon deneylerinde karıştırmanın etkinliğinin azalmaması ve dolayısıyla verimin düşmemesi için 50 gr'lık örnek iki eşit bölüme ayrılarak aglomerasyon deneylerine tabi tutulmuştur. İlk aglomerasyon deneyinden çıkan ürün flotasyon hücresinde bekletilmiş, ikinci aglomerasyon deneyinden çıkan ürün de flotasyon hücresine aktarılıp ilk ürünle birleştirilerek flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Agloflotasyon deneyleri, flotasyonun kömürün tane boyutunun inceliğinden dolayı başarısız olduğu -125 µm, -63 µm ve -28 µm boyutlarındaki kömürlere uygulanmıştır. Çünkü bu tane boyutlarında yanabilir verim yüksek olurken, ürünün kül içeriklerinde yeterli düşme sağlanamamaktadır.

Deneylerde doğal pülp pH(7,15)'ında yapılmış olup aglomerasyon süresi 15 dak., flotasyonda köpük alma süresi 30 saniyedir. Bu köpük alma süresi yapılan deneyler sonucunda belirlenmiş olup, 30 saniyeden sonra gelen köpükte kül miktarının arttığı görülmüştür. Hem flotasyon hem de aglomerasyon deneylerinde karıştırma hızı 1000 dev/dak , ağırlıkça katı oranı ise %5'tir. Deneyin aglomerasyon aşamasında 1000 gr/ton konsantrasyonunda Na₂SiO₃ katılmıştır. Deneylerde çok düşük boyutta aglomeratlar oluşturup bunların flotasyon aşamasında seçimli olarak yüzebilmelerini sağlamak amacıyla aglomerasyon deneyleri çok düşük bağlayıcı sıvı oranlarında yapılmıştır. Çalışmada esas amacımız düşük küllü kömür üretmek olduğu için, agloflotasyon deneylerinde reaktif olarak düşük kül veren reaktifin seçilmesi hedeflenmiştir. n-heptan ile gazyağı arasında bir seçim yapmak gerekirse, aglomerasyon ve flotasyon deneylerinin sonuçları karşılaştırıldığında n-heptan ile daha düşük kül

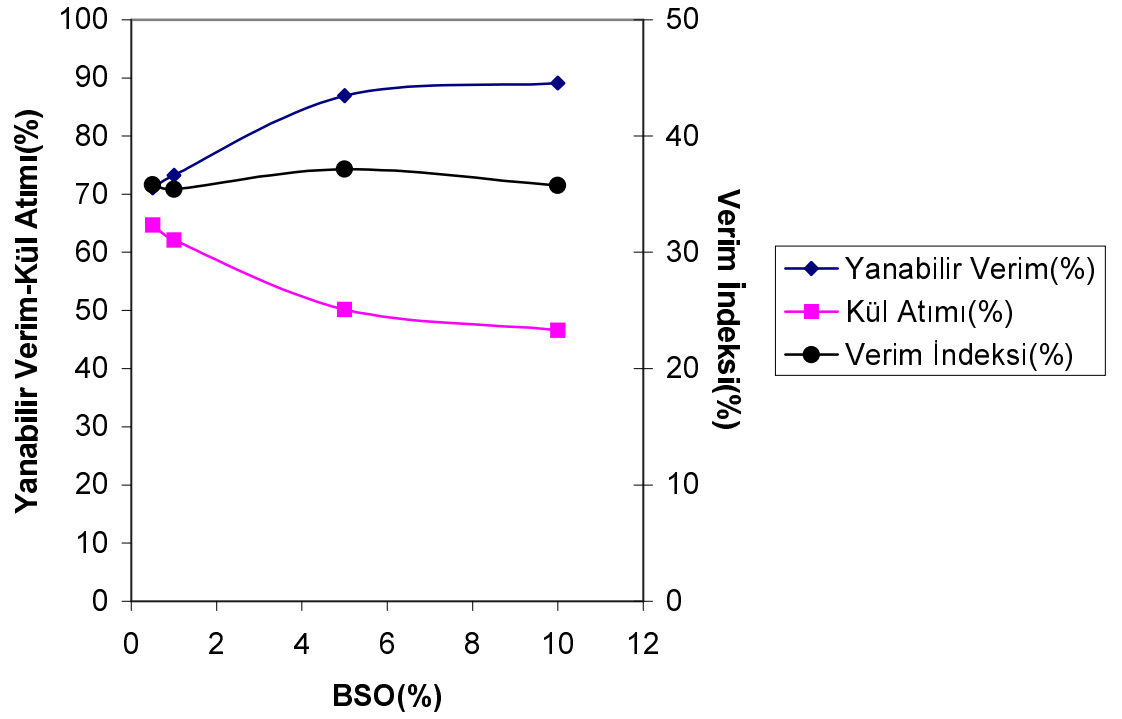
değerlerinin elde edilebildiği görülmüş ve bu nedenle agloflotasyon deneylerinde, aglomerasyon deneyleri aşamasında bağlayıcı sıvı ve flotasyon aşaması için ise toplayıcı görevi görmesi için n-heptan kullanılmıştır.

Aglomerasyon aşamasında hiç bağlayıcı sıvı katılmadığı zaman, agloflotasyon deneyleri sonucu elde edilen ürünün miktar ve kül içeriği bakımından flotasyon deneyleri sonucunda elde edilen ürünler ile benzerlik gösterdiği görülmüştür.

Deneylerden elde edilen bulgular Tablo 33,34 ve 35'de verilmiş, bağlayıcı sıvı oranına göre yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimi ise Şekil 39, 40 ve 41'de gösterilmiştir.

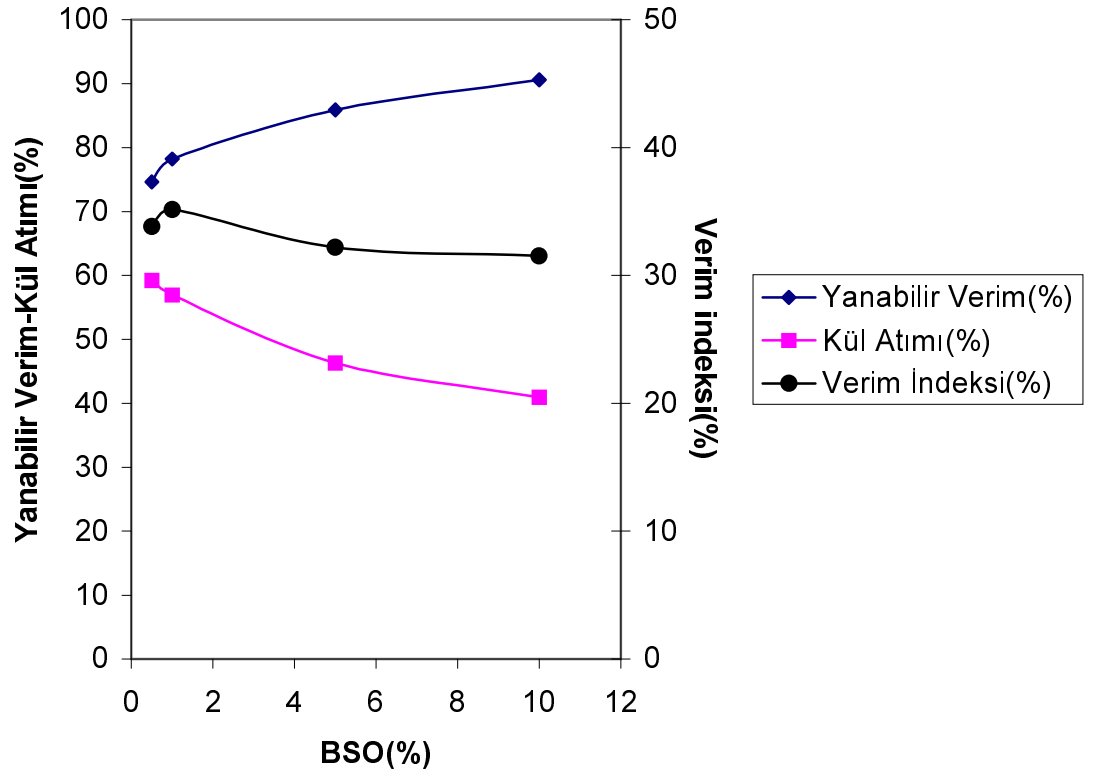
Tablo 33. Bağlayıcı sıvı oranının agloflotasyona etkisi (125 μ m)

Bağlayıcı sıvı oranı (%)	Yüzen (gr)	Yüzen (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
0,5	33,15	66,30	7,13	71,10	64,72	35,82
1	34,27	68,54	7,40	73,28	62,15	35,43
5	40,99	81,98	8,14	86,96	50,20	37,16
10	42,18	84,36	8,48	89,15	46,61	35,76

Şekil 39. Bağlayıcı sıvı oranına göre yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimi (-125 μ m)

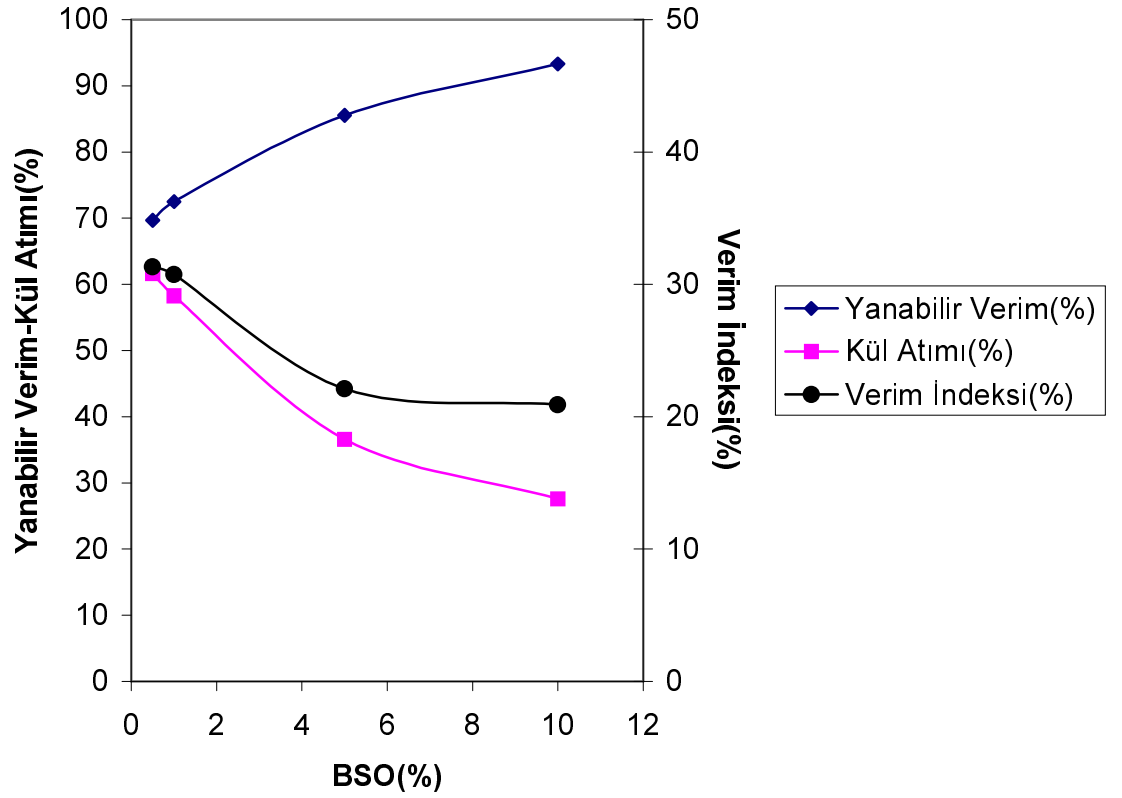
Tablo 34. Bağlayıcı sıvı oranının agloflotasyona etkisi (63 μ m)

Bağlayıcı sıvı oranı (%)	Yüzen (gr)	Yüzen (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
0,5	35,05	70,10	7,80	74,63	59,19	33,82
1	36,75	73,50	7,85	78,21	56,94	35,15
5	40,79	81,58	8,82	85,89	46,30	32,19
10	43,18	86,36	9,16	90,58	40,96	31,54

Şekil 40. Bağlayıcı sıvı oranına göre yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimi (-63 μ m)

Tablo 35. Bağlayıcı sıvı oranının agloflotasyona etkisi (28 μ m)

Bağlayıcı sıvı oranı (%)	Yüzen (gr)	Yüzen (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
0,5	32,74	65,48	7,85	69,68	61,64	31,32
1	34,18	68,36	8,18	72,48	58,27	30,75
5	41,29	82,58	10,29	85,54	36,58	22,12
10	45,27	90,54	10,72	93,34	27,57	20,91

Şekil 41. Bağlayıcı sıvı oranına göre yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksinin değişimi (-28 μ m)

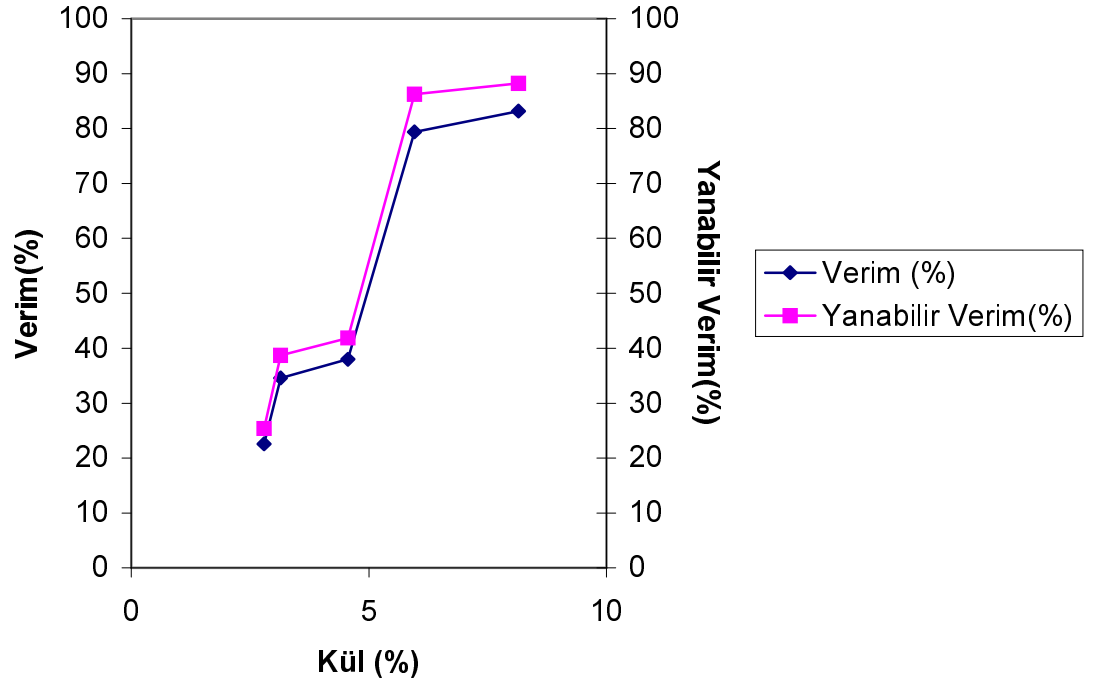
Tablo ve Şekillerin incelenmesinden bağlayıcı sıvı oranının %5 ve %10 olduğu deneylerde bütün boyutlar için yanabilir verimin artmasına rağmen külün istenilen seviyelere düşmediği görülmüştür. Agloflotasyon yönteminde özellikle yüksek bağlayıcı sıvı oranlarına çıkıldığı zaman kül atım değerinin düşmesi floklar arasında kalan mineral maddelerin köpükle taşınmasına dayandırılmıştır (Garcia ve diğ.,1995; Alonso ve diğ.,2002). Çok düşük bağlayıcı sıvı oranlarında başarıya ulaşılmış ve düşük küllü ürünler elde edilebilmiştir.

4.1.4.Santrifüjlü yüzdürme-batırma deney bulgularının değerlendirilmesi

Deneylerde her boyut grubundan(-600µm, -250 µm, -125 µm ve -28 µm) 5'er gram örnek plastik santrifüj tüplerine tartılarak konulmuş, daha sonra ise üzerlerine izopropil alkol ve bromoform kullanılarak hazırlanmış değişik yoğunluklarda ağır ortam sıvıları (1,30gr/cm³- 1,40gr/cm³- 1,50gr/cm³- 1,60gr/cm³ ve 1,80gr/cm³) ilave edilmiştir. Literatür bulgularından 10dakika santrifüj süresi yeterli bulunduğu ve daha fazla santrifüj süresinin performansı etkilemediği görüldüğü için 10 dakika santrifüjleme uygulanmıştır (Aktaş ve diğ.,1998). 3500 dev/dak'da 10 dakika süre ile santrifüjlenen kömür örneklerinin etüvde 24 saat süre ile kurutulduktan sonra kül analizleri yapılmıştır. Yüzen ve batan ürünlerin miktarları ve kül içerikleri tablo 36,37,38 ve 39'da, yüzen ürünlerin kül içerikleri, verimleri ve yanabilir verimleri ise şekil 42,43,44 ve 45'de gösterilmiştir.

Tablo 36. 600 μm için santrifüjlü yüzdürme-batırma deney sonuçları

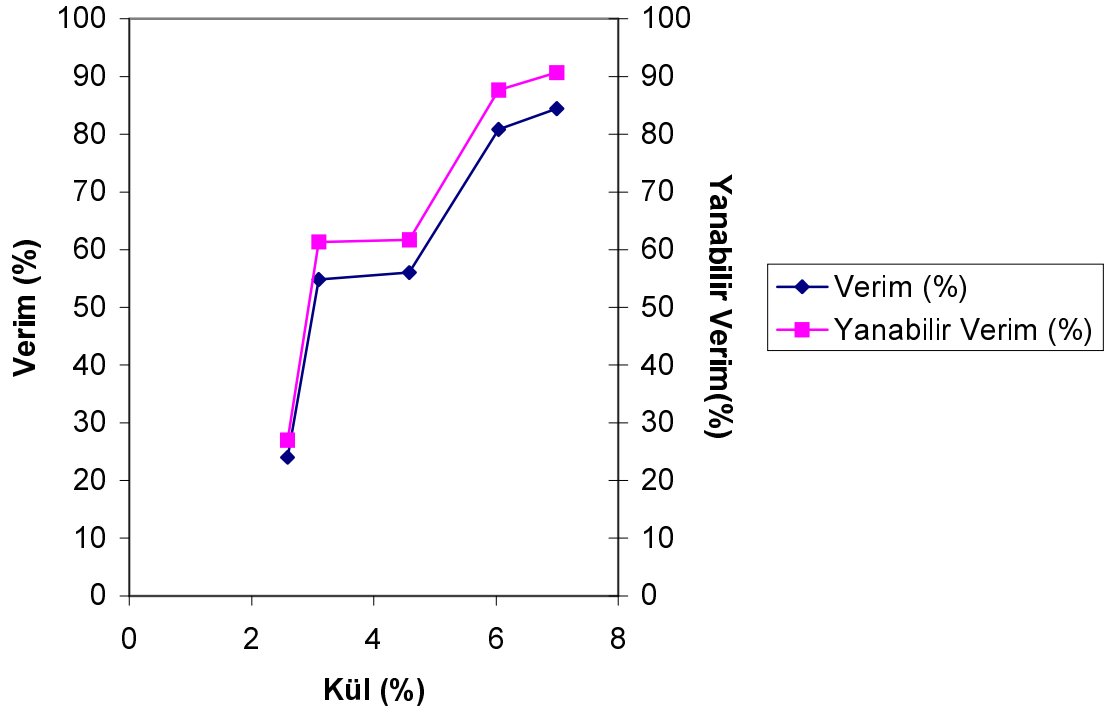
Yoğunluk (gr/cm^3)	Yüzen (%)	Yüzen Kül (%)	Yanabilir Verim (%)
1.3	22,6	2,79	25,36
1.4	34,6	3,14	38,70
1.5	38,0	4,56	41,88
1.6	79,4	5,96	86,22
1.8	83,2	8,15	88,24



Şekil 42. 600 μm için santrifüjlü yüzdürme-batırma deneyi sonuçlarına göre kül, verim ve yanabilir verimin değişimi

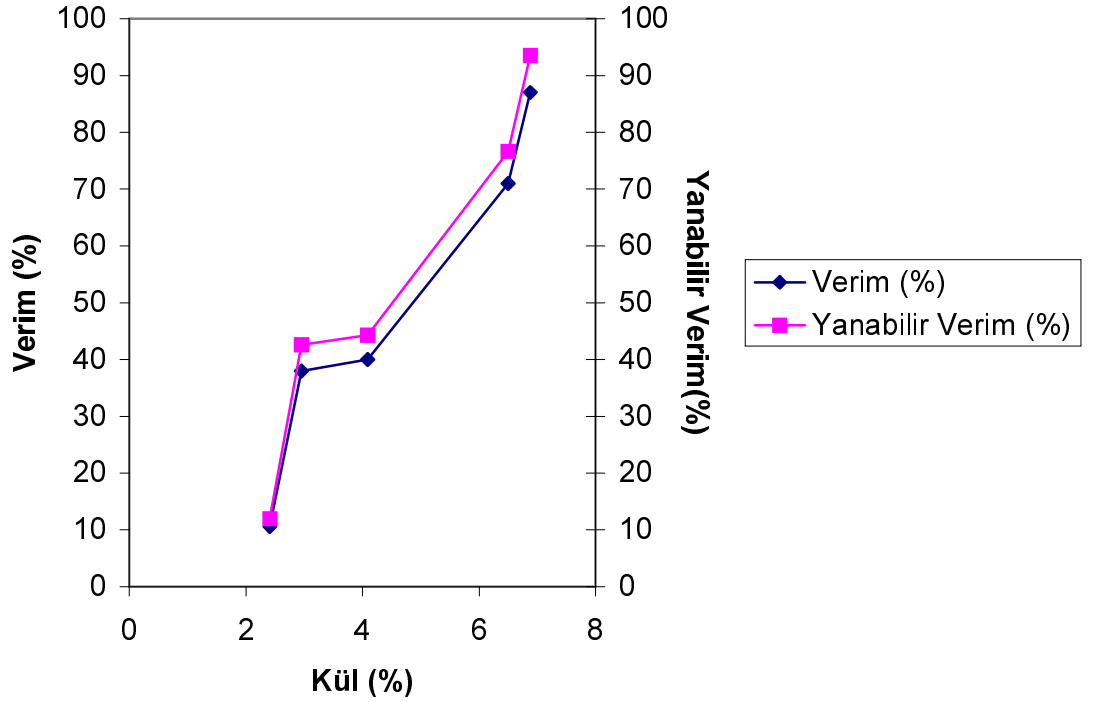
Tablo 37. 250 μm için santrifüjlü yüzdürme-batırma deney sonuçları

Yoğunluk (gr/cm^3)	Yüzen (%)	Yüzen Kül (%)	Yanabilir Verim (%)
1.3	24,0	2,59	27,00
1.4	54,8	3,10	61,32
1.5	56,0	4,58	61,70
1.6	80,8	6,04	87,67
1.8	84,4	6,99	90,65

Şekil 43. 250 μm için santrifüjlü yüzdürme-batırma deneyi sonuçlarına göre kül, verim ve yanabilir verimin değişimi

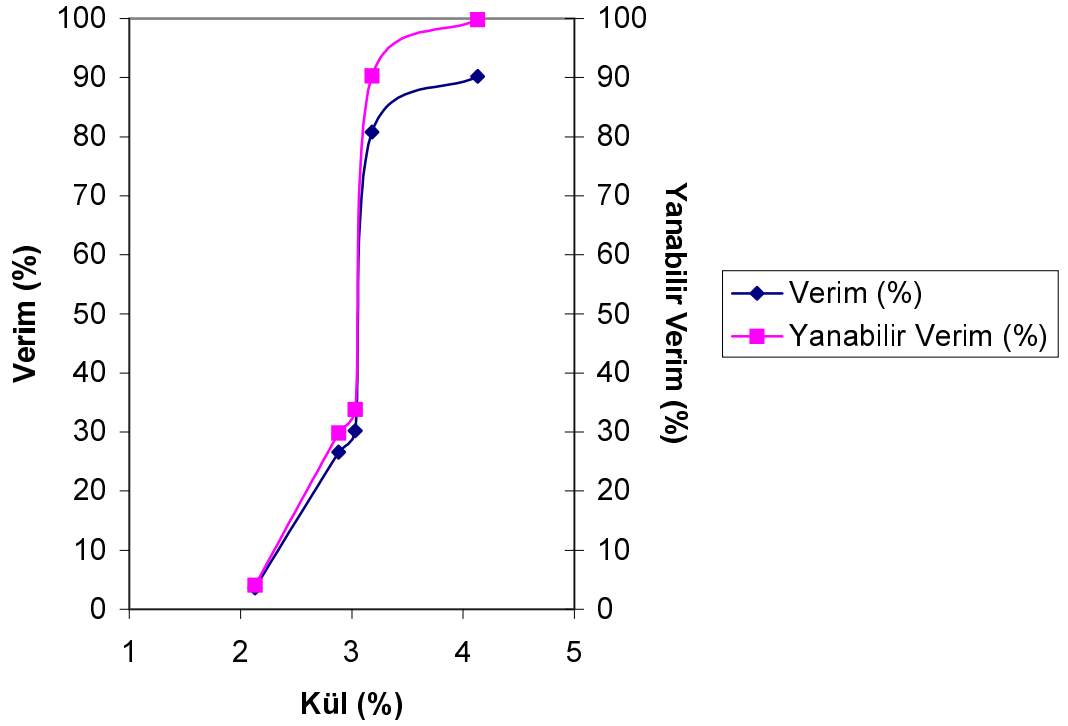
Tablo 38. 125 μm için santrifüjlü yüzdürme-batırma deney sonuçları

Yoğunluk (gr/cm^3)	Yüzen (%)	Yüzen Kül (%)	Yanabilir Verim (%)
1.3	10,60	2,41	11,95
1.4	38,00	2,95	42,58
1.5	40,00	4,09	44,30
1.6	71,00	6,50	76,66
1.8	87,00	6,88	93,55

Şekil 44. 125 μm için santrifüjlü yüzdürme-batırma deneyi sonuçlarına göre kül, verim ve yanabilir verimin değişimi

Tablo 39. 28 μm için santrifüjlü yüzdürme-batırma deney sonuçları

Yoğunluk (gr/cm^3)	Yüzen (%)	Yüzen Kül (%)	Yanabilir Verim (%)
1.3	3,60	2,13	4,06
1.4	26,60	2,88	29,83
1.5	30,20	3,03	33,82
1.6	80,80	3,18	90,33
1.8	90,20	4,13	99,85



Şekil 45. 28 μm için santrifüjlü yüzdürme-batırma deneyi sonuçlarına göre kül, verim ve yanabilir verimin değişimi

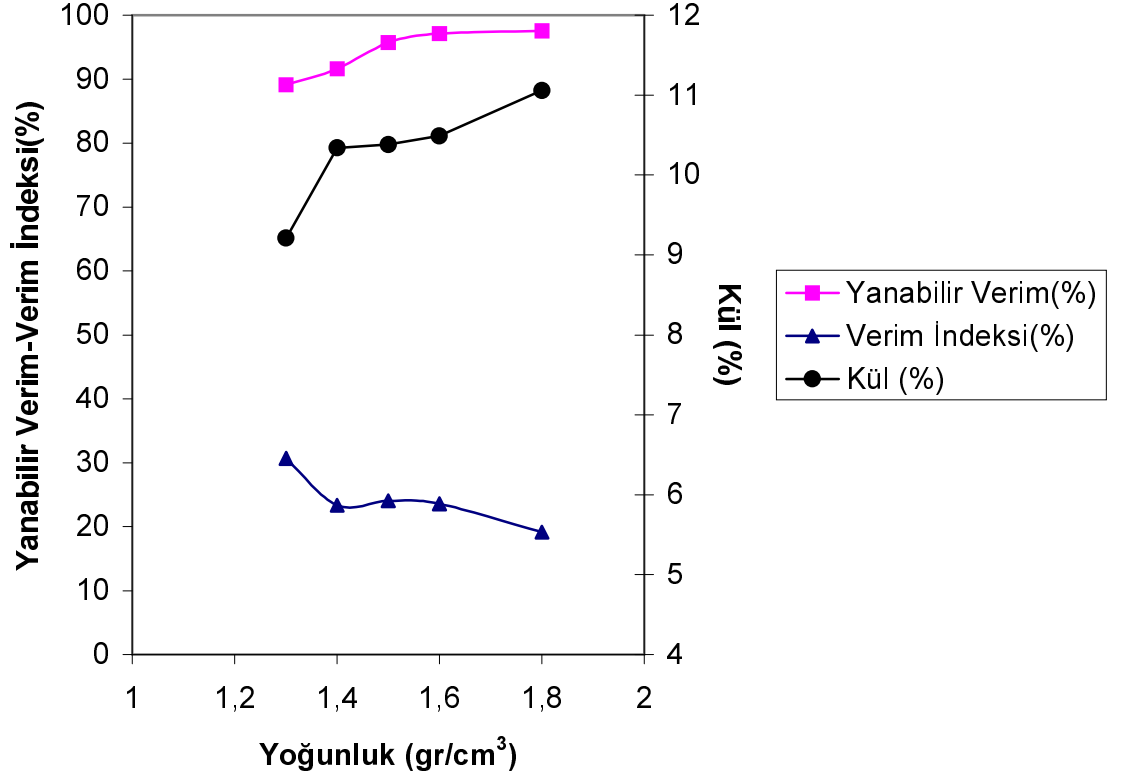
Deney bulguları incelendiği zaman kömür ne kadar ince boyuta öğütülürse kömürün içinde dağılmış halde bulunan mineraller o kadar iyi serbest hale geçeceğinden kül içeriği çok daha düşük seviyelere çekilebilecektir. Örneğin -600 μ m için kül %2,79'a düşmüş iken, -28 μ m boyutundaki örneğin kül içeriği santrifüjlü ayırma ile %2,13'e kadar inmiştir. -28 μ m için sıvının yoğunluğu 1,3'ten 1,8 gr/cm³'e çıktığı zaman, yüzen ürünün kül içeriğinin de %2,13'ten %4,13'e çıktığı görülmektedir.

4.1.5.Santrifüjsüz yüzdürme-batırma deney bulgularının değerlendirilmesi

Bu grup deneyler, -0,600+0,250 μ m tane iriliğindeki kömürden yüzdürme-batırmayla düşük küllü kömür üretilebilirliğini incelemek amacıyla yapılmıştır. Öncelikle, ön testte ZnCl₂ kullanılarak 1,3-1,4-1,5-1,6 ve 1,8 gr/cm³ yoğunluğunda ağır ortam sıvıları hazırlanmış ve 500cm³'lük beherlerde bulunan bu sıvıların her birine örneğimizden 2'şer gram koyularak yüzen ve batan kısmın ayrılması beklenmiştir. Ayrılma gerçekleşince yüzen ve batan ürünler alınarak tartılmış ve yüzen kömürün kül içeriğine bakılmıştır. Sonuçlar Tablo 40'da verilmiştir. Bu sonuçlara göre yanabilir verim, verim indeksi ve ürünün % kül içeriğinin değişimi ise Şekil 46'da gösterilmiştir.

Tablo 40. Santrifüjsüz Yüzdürme-Batırma deneyinin ön test sonuçları

Yoğunluk (gr/cm ³)	Besleme (gr)	Yüzen (gr)	Yüzen (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
1,3	2	1,70	85,00	9,21	89,11	41,58	30,69
1,4	2	1,77	88,50	10,34	91,63	31,71	23,34
1,5	2	1,85	92,50	10,38	95,72	28,35	24,07
1,6	2	1,88	94,00	10,49	97,15	26,41	23,56
1,8	2	1,90	95,00	11,06	97,56	21,59	19,15



Şekil 46. Ağır ortam sıvısının yoğunluğuna göre elde edilen yüzen ürünün yanabilir veriminin, verim indeksinin ve kül içeriğinin değişimi

Tablo ve Şeklin incelenmesinden sonra düşük küllü kömür üretimi için bir ön temizleme devresi teşkil edecek yüzdürme batırma işleminin, 1,3 gr/cm³ yoğunluğundaki ağır ortam sıvısında yapılmasına karar verilmiştir.

Yapılan yüzdürme-batırma işleminin verileri aşağıda Tablo 41'de verilmiştir.

Tablo 41. -600+250 μ m iriliğindeki kömüre uygulanan yüzdürme-batırma deneyinin sonucu

Yoğunluk (gr/cm ³)	Besleme (gr)	Yüzen (gr)	Yüzen (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
1,3	3200	2712	84,75	9,25	88,81	41,50	30,31

Deney sonucu elde edilen sonuç ön testteki sonuca çok yakın olup, bu deney sonucu elde edilen 2712 gr'lık ürün ileriki aşamada düşük küllü kömür üretimi için öğütüldükten sonra aglomerasyon ve agloflotasyon deneylerinde kullanılmıştır.

4.1.6. MGS deney bulgularının değerlendirilmesi

Bu grup deneyler, santrifüjsüz yüzdürme-batırma deneylerinde olduğu gibi çok düşük küllü kömür üretimi için ön temizlemeye tabi tutulmuş kömür elde etmek amacıyla yapılmıştır. Deneylerde 3 kg -600+250 μ m boyut aralığındaki örnek ile %25 katı oranında bir pülp hazırlanarak multi-gravite ayırıcısına beslenmiştir. Besleme malının içinde bulunan şlam boyutundaki kömür, MGS'deki şartları bozduğundan elde edilen temiz kömür ürünündeki kül içeriği yüksek olmaktadır (Yıldırım ve diğ.,1995). Bu nedenle içinde şlam bulundurmayan -600+250 μ m boyut aralığındaki örnek ile deney yapılmıştır. Deneyden elde edilen sonuç Tablo 42'de verilmiştir.

Tablo 42. -600+250 μ m iriliğindeki kömüre uygulanan MGS deneyinin sonucu

Besleme (gr)	Ürün (gr)	Ürün (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
3000	2470	82,33	10,47	85,11	35,67	20,78

Deney sonucunda küllü %13,40 olan beslemeden %10,47 küllü konsantre üretilmiştir ve düşük küllü kömür üretimi için, çubuklu değirmen ile -125 μ m,

-63 μm ve -28 μm 'a öğütüldükten sonra aglomerasyon ve agloflotasyona deneylerine tabi tutulacaktır.

4.1.7. Zeta potansiyeli ölçümleri deney bulgularının değerlendirilmesi

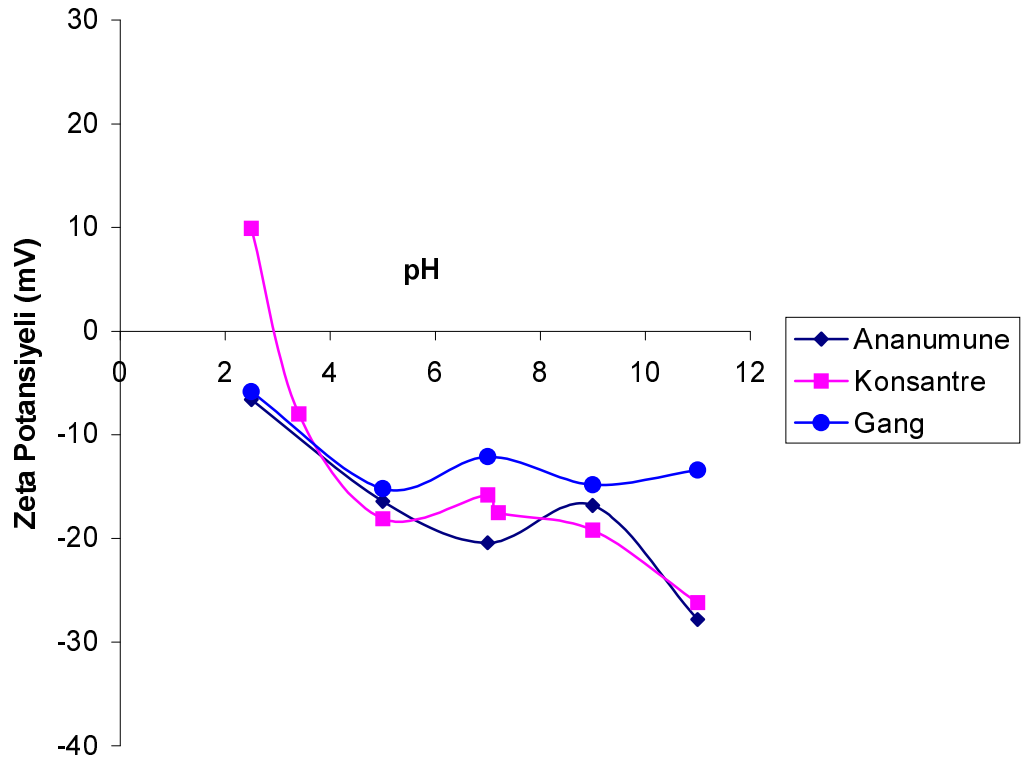
Ölçümler Malvern marka nano serisi zeta potansiyeli ölçüm cihazında yapılmıştır. Zeta potansiyeli ölçümlerinde kullanılan kömür konsantresi, tüvenan kömürün taşıma ve nakliye sırasında ufalanmış küçük ve ince parçalarının hiçbir işleme tabi tutulmadan 1,3 gr/cm^3 yoğunluğunda yüzdürülmesi sonucundaki yüzen ürün alınarak elde edildi. Kül içeriği %6,74'e düşürülmüş bu yüzen ürün, Glen Creston marka halkalı değirmen ile -38 μm boyuna indirilerek deneylerde kullanıldı.

Zeta potansiyeli ölçümlerinde kullanılan gang örneği ise , konsantrenin hazırlanmasında olduğu gibi tüvenan kömür parçalarının 1,8 gr/cm^3 yoğunluğundaki sıvıda yüzdürülmesi sonucu alınan batan kısmın, Carl Zeiss Jena marka mikroskop altında kömür içindeki safsızlıkların ayrılarak alınması ile elde edildi. Kül içeriği %52,37 olan bu örnek de halkalı değirmen ile -38 μm 'a öğütülerek zeta potansiyeli ölçüm deneylerinde kullanıldı. Bu örneklerin zeta potansiyeli değerleri 10^{-3}M 'lık tuz çözeltisinde ölçüldü. Ayrıca aglomerasyon deneylerinde bağlayıcı sıvı olarak kullandığımız gazyağı ve n-heptan'ın da zeta potansiyelleri 10^{-3}M 'lık tuz çözeltisinde ölçülmüştür.

Son olarak ise, yukarıda bahsedilen 3 kömür örneğinin zeta potansiyellerinin aglomerasyon deney koşullarında bağlayıcı sıvı oranının değişmesine göre değişimi incelenmiştir. Bu amaçla bu örnekler, aglomerasyon deneylerinin yapıldığı 1000 ml'lik beherde 1000 dev/dak karıştırma hızında değişik oranlarda bağlayıcı sıvı katılarak aglomerasyona tabi tutulmuşlardır. Aglomerasyon deneylerinde olduğu gibi 15 dak. aglomerasyon süresi verilmiş ve süre sonunda oluşan aglomeratlar alınarak 10^{-3}M 'lık tuz çözeltisindeki zeta potansiyel değerleri ölçülmüştür.

Ananumune, konsantre ve gangın 10^{-3}M 'lık tuz çözeltisinde zeta potansiyellerinin pH'a bağlı değişimi şekil 47'de, Konsantrenin zeta

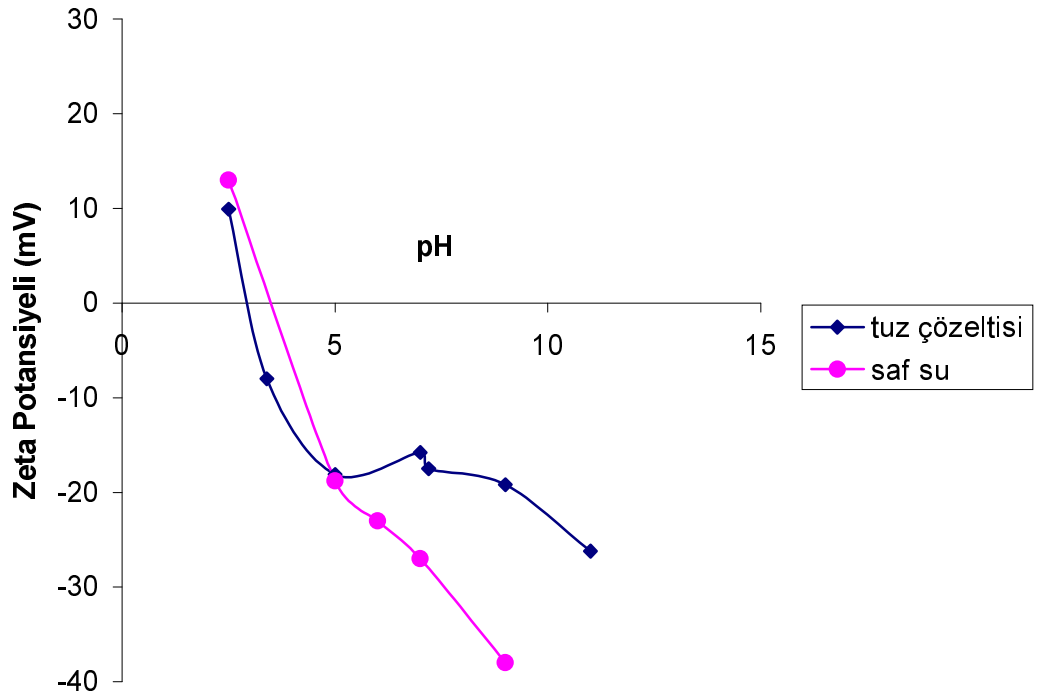
potansiyelinin 10^{-3} M'lık tuz çözeltisinde ve saf suda pH'a bağlı değişimi şekil 48'de, Ananumune, konsantre ve gangın aglomerasyon deneylerinde bağlayıcı sıvı oranına göre zeta potansiyellerinin değişimi şekil 49'da ve gazyağı ve n-heptanın 10^{-3} M'lık tuz çözeltisinde zeta potansiyellerinin pH'a bağlı değişimi şekil 50'de gösterilmiştir.



Şekil 47. Ananumune, konsantre ve gangın 10^{-3} M'lık tuz çözeltisinde zeta potansiyellerinin pH'a bağlı değişimi

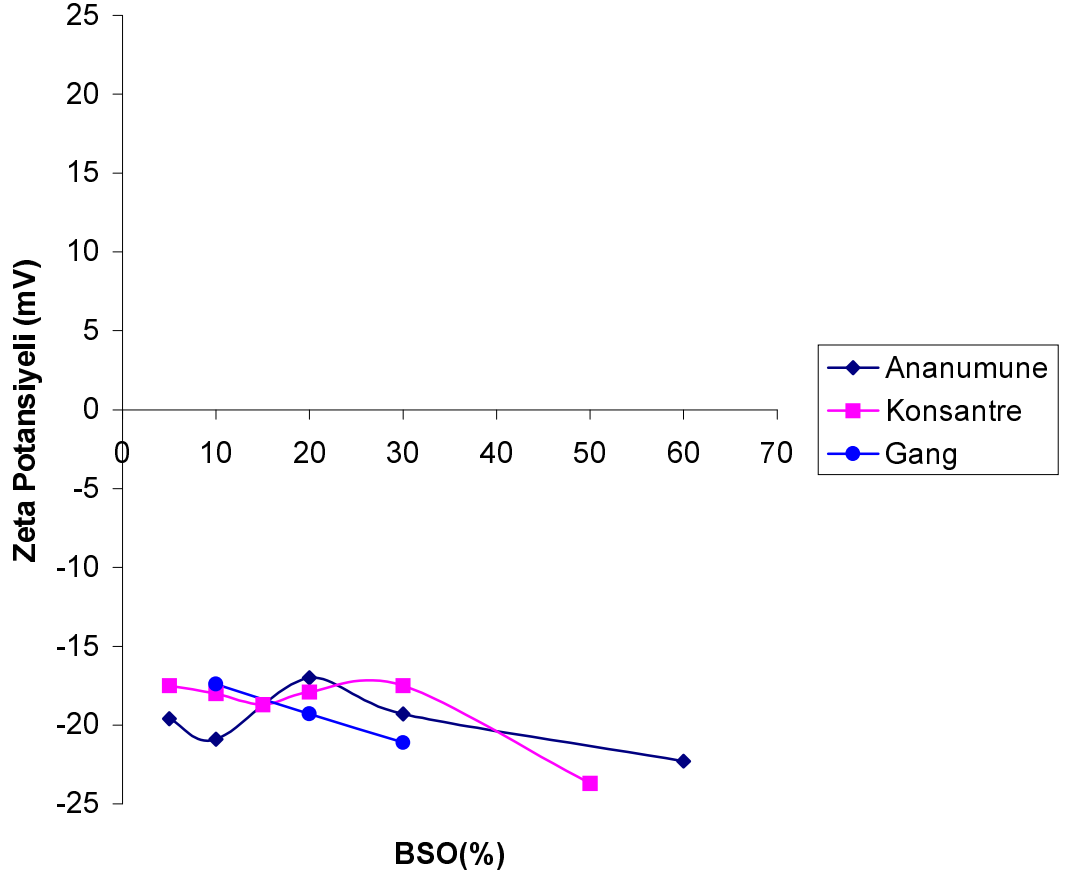
Şekil 47'den görüleceği gibi , geniş bir pH aralığında tüm örnekler negatif zeta potansiyeli değerlerine sahiptirler. Deneysel çalışmaların yapıldığı pH(7,15 ve 7,95) değerlerinde ise zeta potansiyeli değerleri -12 ile -20 mV arasında değişmektedir. Şekilden görüldüğü gibi pH 5'ten sonra ananumune ve konsantrenin zeta potansiyeli daha negatif değerler alırken gangın pH'ında önemli

bir değişme gözlemlenememiştir. Çalışılan kömürün izo elektrik noktasının (i.e.p) yaklaşık pH 3 civarında olduğu görülmektedir. Hem ananumune hem de konsantre için pH'taki artma ile zeta potansiyelinin negatif değerindeki artma, OH⁻ iyonlarının adsorbsiyonuna dayandırılabilir (Crawford ve Mainwaring, 2001; Laskowski, 2001).



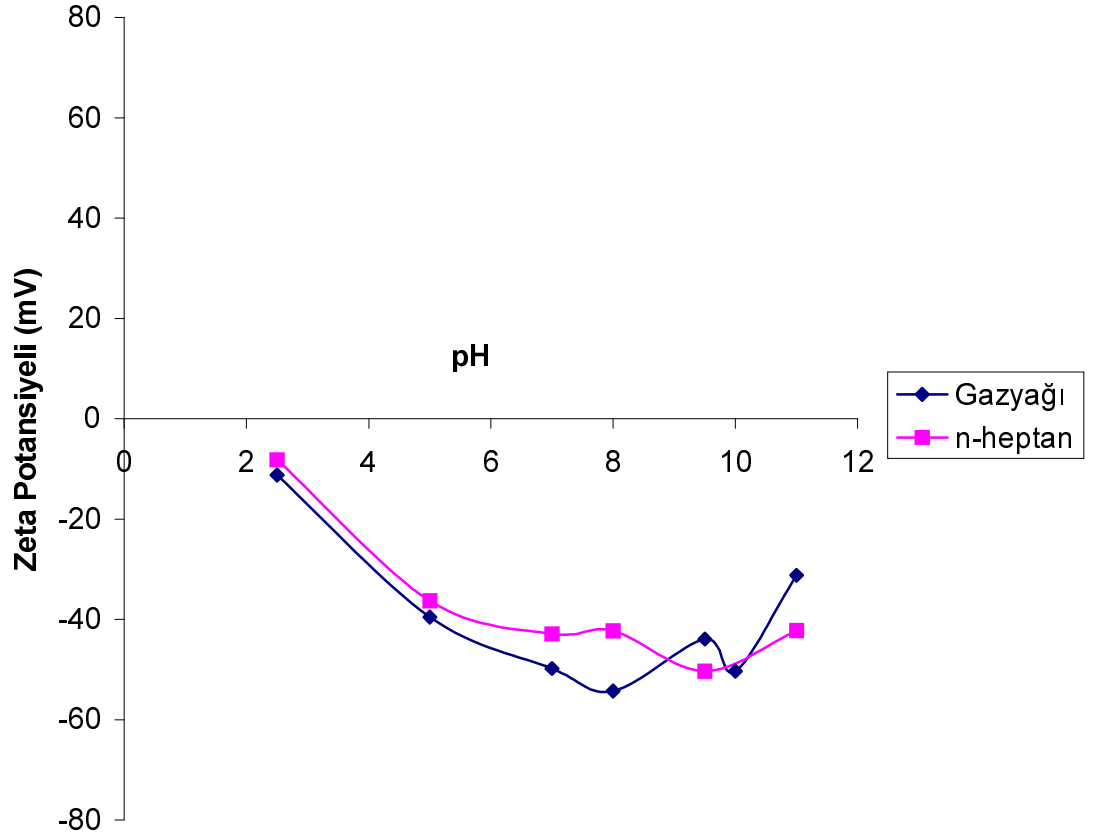
Şekil 48. Konsantrenin zeta potansiyelinin 10^{-3} M'luk tuz çözeltisinde ve saf suda pH'a bağlı değişimi

Şekil 48'den görüldüğü gibi konsantrenin saf sudaki zeta potansiyeli değerleri tuz çözeltisindeki zeta potansiyeli değerlerine göre daha negatif ve daha pozitif değerler almaktadır.



Şekil 49. Ananumune, konsantre ve gangin aglomerasyon deneylerinde bağlayıcı sıvı oranına göre zeta potansiyellerinin değişimi

Şekil 49'dan görüldüğü gibi geniş bir bağlayıcı sıvı konsantrasyonu aralığında, zeta potansiyeli değerlerinde önemli bir değişme gözlemlenememiştir. Bu grup zeta potansiyeli ölçümleri, aglomerasyon deneylerinin yapıldığı pH (7,95) değerinde yapılmıştır. Şekilden görüldüğü gibi zeta potansiyeli değerleri ananumune için $-17,0$ ile $-22,3$ mV aralığında değişmektedir.



Şekil 50. Gazyağının ve n-heptanın 10^{-3} M'lık tuz çözeltisinde zeta potansiyellerinin pH'a bağlı değişimi

Şekilden görüldüğü gibi hem gazyağı hem de n-heptan, çalışılan tüm pH değerlerinde negatif şarj taşımaktadır. Genel olarak pH 9,5'a kadar zeta potansiyelinin negatif değerleri artmakta ve bu değerden sonra azalmaktadır. Zeta potansiyeli değeri gazyağı için pH 2,5'ta $-11,2$ mV ve pH 8'de $-54,3$ mV değerini alırken, n-heptan için pH 2,5'ta $-8,15$ mV pH 8'de ise $-42,3$ mV değerlerine ulaşmıştır. Bu bulgular literatürdeki bulgular ile uyumludur (Wen and Sun, 1981).

4.2. Yüzdürme-Batırma ve MGS Konsantreleri ile Yapılan Deneylerin Bulgularının Değerlendirilmesi

Düşük küllü kömür üretimi amacıyla, küllü yüzdürme-batırma deneyi sonucu %9,25'e ve MGS deneyi sonucu %10,47'e düşürülmüş kömür örnekleri, çubuklu değirmen ile -125 μ m, -63 μ m ve -28 μ m'a öğütülmüş ve aglomerasyon ve agloflotasyon deneyleri sonucu bulunan optimum koşullarda deneylere tabi tutulmuşlardır.

4.2.1. Yüzdürme-Batırma ve MGS konsantreleri ile yapılan Aglomerasyon deneylerinin sonuçları

4.2.1.1. Yüzdürme-Batırma ürünü ile yapılan aglomerasyon deneylerinin sonuçları

Yüzdürme-batırma deneyi ile kül içeriği %13,4 ten %9,25'e düşürülmüş olan kömür -600+250 μ m tane iriliğindeki örneği, serbestleşmenin arttırılarak külünün daha da düşürülmesi için -125 μ m, -63 μ m ve -28 μ m'a öğütülmüş ve aglomerasyon deneyleri uygulanmıştır. Aglomerasyon deneyleri 15 gr örnek ile 1000 dev/dak karıştırma hızında, doğal pülp pH'ında yapılmıştır. Bastırıcı olarak 1000gr/ton Na₂SiO₃ ve bağlayıcı sıvı olarak n-heptan kullanılmıştır. Deneylerin sonucunda elde edilen bulgular Tablo 43'de gösterilmiştir.

Tablo 43. Yüzdürme-batırma deneyleri sonucu elde edilen ürün ile yapılan aglomerasyon deneylerinin sonuçları

Boyut (μ m)	BSO (%)	Ürün (gr)	Ürün (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
125	40	12,82	85,46	5,32	89,16	50,85	40,01
63	50	13,29	88,60	6,20	91,57	40,61	32,18
28	60	13,38	89,20	6,45	91,95	37,80	29,75

4.2.1.2. MGS ürünü ile yapılan aglomerasyon deneylerinin sonuçları

MGS deneyleri sonucu külü %13,4'ten %10,47'e düşürülmüş -600+250 μm boyutundaki kömür örneği, -125 μm , -63 μm ve -28 μm 'a öğütülerek deneylerde kullanılmıştır. Deneyler sonucu elde edilen bulgular Tablo 44'te verilmiştir.

Tablo 44. MGS deneyleri sonucu elde edilen ürün ile yapılan aglomerasyon deneylerinin sonuçları

Boyut (μm)	BSO (%)	Ürün (gr)	Ürün (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
125	40	12,24	81,60	6,49	85,23	49,42	34,65
63	50	12,95	86,33	6,83	89,84	43,68	33,52
28	60	13,14	87,60	7,18	90,82	39,93	30,75

4.2.2. Yüzdürme-Batırma ve MGS konsantreleri ile yapılan agloflotasyon deneylerinin sonuçları

4.2.2.1. Yüzdürme-Batırma ürünü ile yapılan agloflotasyon deneylerinin sonuçları

Yüzdürme-batırma ürünü ile yapılan agloflotasyon deneyleri tek aşamalı ve çift aşamalı olmak üzere iki şekilde yapılmıştır. Çift aşamalı deneylerin tek aşamalı deneylerden farkı, aglomerasyondan sonra yapılan flotasyon deneyi sonucu alınan köpüğün herhangi bir işleme tabi tutulmadan olduğu gibi tekrar hiçbir reaktif eklemeyen flotasyona tabi tutulmasıdır. Deneyler 50 gr örnek ile ana numune ile yapılan agloflotasyon deneylerinin şartlarında yapılmıştır. Deneyler sonucu elde edilen bulgular Tablo 45 ve 46'da verilmiştir.

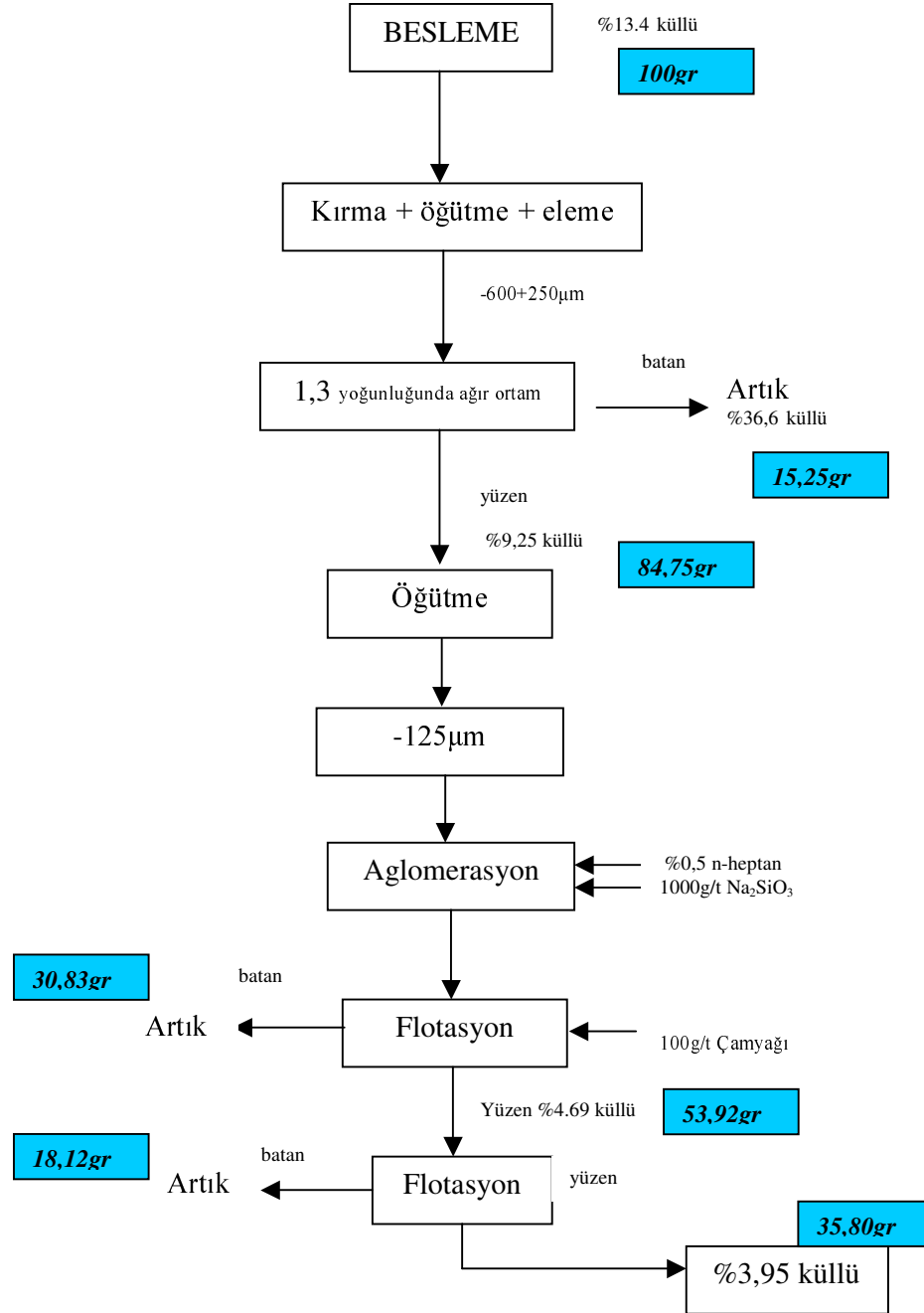
Tablo 45. Yüzdürme-batırma deneyleri sonucu elde edilen ürün ile yapılan tek aşamalı agloflotasyon deneylerinin sonuçları

Boyut (µm)	BSO (%)	Ürün (gr)	Ürün (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
125	0,5	31,81	63,62	4,69	66,82	67,74	34,56
125	1	36,24	72,48	5,15	75,75	59,64	35,39
63	0,5	32,44	64,88	5,10	67,85	64,23	32,08
63	1	38,19	76,38	5,83	79,26	51,86	31,12
28	0,5	34,02	68,04	4,92	71,28	63,81	35,09
28	1	39,88	79,76	5,54	83,02	52,23	35,25

Tablo 46. Yüzdürme-batırma deneyleri sonucu elde edilen ürün ile yapılan çift aşamalı agloflotasyon deneylerinin sonuçları

Boyut (µm)	BSO (%)	Ürün (gr)	Ürün (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
125	0,5	21,12	42,24	3,95	44,71	81,96	26,67
125	1	23,66	47,32	4,20	49,95	78,51	28,46
63	0,5	24,15	48,30	4,88	50,63	74,52	25,15
63	1	26,91	53,82	5,12	56,27	70,21	26,48
28	0,5	25,14	50,28	4,41	52,96	76,02	28,98
28	1	27,51	55,02	4,98	57,61	70,38	27,99

Çift aşamalı agloflotasyon deneyi ile %3,95 kül içerikli konsantreye ulaşmak için uygulanan akım şeması Şekil 51'de gösterilmiştir.



Şekil 51. Çift aşamalı agloflotasyon deneyi ile %3,95 kül içerikli konsantreye ulaşmak için uygulanan akım şeması

4.2.2.2. MGS ürünü ile yapılan agloflotasyon deneylerinin sonuçları

MGS konsantresi ile yapılan deneyler de yüzdürme-batırma konsantresine uygulanan agloflotasyon deneylerinde olduğu gibi tek ve çift aşamalı olarak yapılmıştır. Deney sonucu elde edilen bulgular Tablo 47 ve 48'de verilmiştir.

Tablo 47. MGS deneyleri sonucu elde edilen ürün ile yapılan tek aşamalı agloflotasyon deneylerinin sonuçları

Boyut (µm)	BSO (%)	Ürün (gr)	Ürün (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
125	0,5	30,85	61,70	5,59	65,06	67,06	32,12
125	1	38,14	76,28	6,42	79,73	53,27	33,00
63	0,5	33,47	66,94	6,23	70,11	60,17	30,28
63	1	38,46	76,92	6,88	80,00	49,45	29,45
28	0,5	34,66	69,32	5,63	73,07	62,72	35,79
28	1	39,03	78,06	6,41	81,59	52,21	33,80

Tablo 48. MGS deneyleri sonucu elde edilen ürün ile yapılan çift aşamalı agloflotasyon deneylerinin sonuçları

Boyut (µm)	BSO (%)	Ürün (gr)	Ürün (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Atımı (%)	Verim İndeksi (%)
125	0,5	19,25	38,50	4,81	40,93	82,31	23,24
125	1	23,50	47,00	5,12	49,81	77,01	26,82
63	0,5	20,49	40,98	5,44	43,28	78,71	21,99
63	1	24,86	49,72	6,03	52,18	71,36	23,54
28	0,5	21,09	42,18	5,02	44,74	79,77	24,51
28	1	26,13	52,26	5,93	54,91	70,40	25,31

Yüzdürme-batırma ve MGS ürünlerine çift aşamalı agloflotasyon deneyleri uygulandığı zaman 125 µm tane iriliğinde ve %0,5 BSO'da elde edilen konsantrelerin üst ısıl değerleri Tablo 49'da gösterilmiştir. Her ikisinde de,

zenginleştirme işlemi öncesindeki kömürün ısı değerine göre yaklaşık 1000 kcal/kg'lık bir ısı artışı sağlanmıştır.

Tablo 49. Yüzdürme-batırma ve MGS ürünlerine uygulanan çift aşamalı agloflotasyon deneylerinden elde edilen konsantrelerin üst ısı değerleri

Deney	Tane Boyu (μm)	Bağlayıcı Türü	BSO (%)	Kül (%)	Isıl Değer (kcal/kg)
Yüzdürme-batırma	125	n-heptan	0,5	3,95	8300
MGS	125	n-heptan	0,5	4,81	8131

4.3. Temas Açısı Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

Temas açısı ölçümleri bütün deneylerin yapıldığı ananumune üzerinde, zeta potansiyeli ölçümlerinin de yapıldığı konsantre ve gang örneği üzerinde, ve ayrıca aglomerasyon , flotasyon ve agloflotasyon deneyleri sonucu elde edilen konsantreler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Her ölçüm için aynı örnekten 2 adet pelet hazırlanmış ve ölçümler her pelet için ayrı ayrı hem damlacığın sağdan hem de soldan yaptığı açılar okunmak suretiyle gerçekleştirilmiştir.

Ananumune, gang ve konsantre ile yapılan temas açısı ölçümlerinde , ananumunenin temas açısı 84^0 , konsantrenin temas açısı 101^0 ve gangın temas açısı 75^0 olarak bulunmuştur.

Deneylerden elde edilen ürünlerin temas açısı değerleri ise Tablo 50,51 ve 52'de verilmiştir.

Tablo 50. Aglomerasyon deneylerinden elde edilen konsantrelerin temas açıları

Tane Boyu (μm)	Bağlayıcı Sıvı	BSO (%)	1.pelet temas açısı değerleri		Ort.	2. pelet temas açısı değerleri		Ort.	1. ve 2. pelet ort.
125	Gazyağı	20	105	109	107	104	111	107,5	107,25
125	Gazyağı	40	102	98	100	106	119	112,5	106,25
125	n-heptan	40	125	117	121	122	127	124,5	122,75
125	n-heptan	50	122	128	125	128	124	126	125,5

Tablo 51. Flotasyon deneylerinden elde edilen konsantrelerin temas açıları

Tane Boyu (μm)	Toplayıcı Sıvı	Toplayıcı miktarı (gr/ton)	1.pelet temas açısı değerleri		Ort.	2. pelet temas açısı değerleri		Ort.	1. ve 2. pelet ort.
125	Gazyağı	200	109	109	109	113	111	112	110,5
125	n-heptan	200	116	118	117	118	120	119	118

Tablo 52. Agloflotasyon deneylerinden elde edilen konsantrelerin temas açıları

Tane Boyu (μm)	Bağlayıcı Sıvı	BSO (%)	1.pelet temas açısı değerleri		Ort.	2. pelet temas açısı değerleri		Ort.	1. ve 2. pelet ort.
125	n-heptan	1	118	114	116	116	117	116,5	116,25
125	n-heptan	5	115	112	113,5	111	116	113,5	113,5

Ayrıca son olarak 125 μm tane iriliğindeki yüzdürme-batırma deneyi ürününe uygulanan çift aşamalı agloflotasyon deneyi ile elde edilmiş %3,95 küllü konsantrenin külüne bakılmış ve 124⁰'lik bir temas açısı değerine ulaşılmıştır.

Herhangi bir zenginleştirme işlemine tabi tutulmadan önce 84⁰'lik temas açısına sahip olan kömür örneğimizin zenginleştirme işlemlerinden sonra temas açısı değerinin 105-125⁰ gibi oldukça yüksek değerler arasında değiştiği görülmektedir. Temas açısı değerlerindeki bu artış, kömür örneğinin hidrofobluğunun artması anlamına gelmekle beraber, flotasyon deneyleri için bu kömür örneğinin daha iyi yüzebileceği anlamına da gelmektedir. Kömür

partiküllerinin ıslanabilirliği az olduğundan su ile daha az temas edecek ve hava kabarcığına daha iyi tutunarak yüzecek, daha hidrofilik olan gang mineralleri ise ıslanarak pülp içinde kalacaktır.

5.SONUÇ

Deneyler genel olarak iki grupta yapılmıştır;

- 1) Tüvenan Zonguldak Taşkömürü ile yapılan deneyler
- 2) Zonguldak Taşkömürü'nün bir ön zenginleştirmeye tabi tutulduktan sonra elde edilen ürün ile yapılan deneyler.

Birinci grup deneylerde, %13,40 kül içeren örneğe 5 farklı boyutta deneyler yapılmış ve elde edilen sonuçlar yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksi yönünden incelenmiştir.

Santrifüjlü yüzdürme-batırma deneyi yaparak, kömürümüzün külünün en iyi şartlarda hangi değere düşürülebileceği tespit edilmiştir. En iyi sonuç -28µm boyutu için %2,13 olarak bulunmuştur.

Aglomerasyon deneyleri sonucunda kül her tane iriliği için yaklaşık %7-8 değerlerine indirilebilmiştir. Bu deneylerden elde edilen bulgular,temiz kömür üretmek amacı için sonucu çok ince fraksiyonlarda (125-63-28 µm) bağlayıcı sıvı olarak ne kullanılacağı ve optimum bağlayıcı sıvı miktarı tespit edilmiştir. Yukarıda belirtilen tane irilikleri için optimum bağlayıcı sıvı miktarı sırasıyla %40,%50 ve %60 olarak belirlenmiştir.

Aglomerasyon deneylerinden sonra birinci grup örnek ile flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda -600 µm ve -250 µm için kül %7-8 civarına indirilebilse de, diğer üç ince tane boyut grubu için yanabilir verim artarken seçimliliğin sağlanamadığı görülmüştür. Bu nedenle bu üç tane iriliği için (-125,-63 ve -28 µm) agloflotasyon deneyleri yapılmıştır. Agloflotasyon deneyleri sonucunda her üç boyut içinde %0,5-1 bağlayıcı sıvı oranı ve 30 sn'lik köpük alma süresi optimum bulunmuştur.

Aglomerasyon, flotasyon ve agloflotasyonla zenginleştirmenin yapıldığı tane iriliklerinde (-125,-63 ve -28 µm) genel olarak düşük küllü ürünler agloflotasyon ile elde edilmiştir. Yüksek küllü ürünleri ise flotasyon vermiştir.

Birinci grup deneylerde son olarak yaklaşık 3'er kg -600+250 µm boyut aralığındaki örneklerle yüzdürme-batırma ve MGS deneyleri yapılmış, buradan elde edilen ürün ikinci grup deneylerde kullanılmak üzere -125 µm, -63 µm ve -28 µm'a öğütülmüştür.

İkinci grup deneylerde, ilk grup deneylerde yapılan yüzdürme-batırma ve MGS deneylerinden elde edilen ürünler kullanılmıştır. Bir başka deyişle, besleme olarak %13,40 küllü ana kömür değil, küllü yüzdürme-batırma deneyi ile %9,25 ve MGS deneyi ile %10,47'e düşürülmüş kömür kullanılmıştır. Bu grup deneyler -125 µm, -63 µm ve -28 µm'da, birinci grup deneylerden elde edilen optimum şartlarda gerçekleştirilmiştir.

Bu grup deneylerin sonucu olarak, kül içeriği belli bir noktaya kadar azaltılmış olan kömür numunesinin külü daha düşük değerlere indirilebilmiştir. Yüzdürme- batırma ürünü ile yapılan aglomerasyon deneylerinde kül %5,32'e, agloflotasyon deneylerinde ise %4,69 'a düşürülmüştür. Kül içeriğinin biraz daha düşürülmesi amaçlanarak çift aşamalı agloflotasyon yapılmış ve kül içeriği %3,95'e düşürülmüştür.

Elde edilen konsantrenin üst ısı değeri 8300 kcal/kg olarak bulunmuştur.

6.KAYNAKLAR

Aktaş, Z., Karacan,F. and Aral,O.,(1998), “Centrifugal Float-Sink Separation of Fine Turkish Coals in Dense Media”, Fuel Processing Technology, Vol.55, pp: 235-250

Alonso, M.I., Valdes, A.F., Tarazona, R.M.M. and Garcia, A.B.,(2002), “Coal Recovery From Fines Cleaning Wastes by Agglomeration with Colza Oil: A Contribution to the Environment and Energy Preservation”, Fuel 75, pp:85-95

Aplan, F.F., (1976), “Coal Flotation, in Flotation”, A.M. Gaudin Memorial Volume, AIME, New York, Chapter 45, pp: 1235-1264

Ateşok,G., (1986), Kömür Hazırlama, Kurtiş matbaası, s:118-123

Blaschke,Z., (1998), “Oil Agglomeration Of Coal Slurries”, Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production, pp: 639-642

Brown, D.J., (1962), “Coal Flotation, Froth Flotation”, 50th Anniversary Volume, AIME, New York, pp: 518-538

Capes, C.E., (1979), “Oil Agglomeration Process Principles and Commercial Application for Fine Coal Cleaning”, Coal Preparation , 4th Edition, The American Institute of Mining Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc, New York, pp:1020-1041

Capes, C.E., (1980), “Principles and Applications of Size Enlargement in Liquid System”, Fine Particle Process, 2.New York : AIME, pp:1442-1456

Cavallaro,J.A. and Deurbrouck,A.W., (1977), “An Overview of Coal Preparation”, ACS Symposium Series, Vol.64, pp:35-57

Cebeci, Y., (1996), “The Investigation of Effects of Some Parameters on the Performance of Selective Agglomeration of Lignites”, Changing Scopes in Mineral Processing, Balkema, Rotterdam, pp:455-459

Cebeci,Y. and Eroğlu,N., (1998), “Determination of Bridging Liquid Type in Oil agglomeration of Lignites”, Fuel, 77(5), pp: 419-424

Cebeci, Y., Ulusoy, U. and Şimşek, S., (2002), "Investigation of the Effect of Agglomeration Time, pH, and Various Salts on the Cleaning of Zonguldak Bituminous Coal by Oil Agglomeration", *Fuel*, Vol 81, pp: 1131-1137

Crawford, R.J. and Mainwaring D.E., (2001), "The Influence of Surfactant Adsorption on the Surface Characterisation of Australian Coals", *Fuel* 80, pp:313-320

Doğan, Z., (1994), "Özgül Ağırlık Farkı (Gravite) ile Zenginleştirme", *Cevher Hazırlama El Kitabı*, Ed: Önal, G. ve Ateşok, G., s:147-172

Garcia, A.B., Vega, J.M.G. and Tarazona, M.R.M., (1995), "Effects of Oil Concentration and Particle Size on the Cleaning of Spanish High-Rank Coals by Agglomeration with n-Heptane", *Fuel*, 74, pp:1692-1697

Garcia, A.B., Vega, J.M.G. and Tarazona, M.R.M., (1996), "Cleaning of Spanish high-rank coals by agglomeration with vegetable oils", *Fuel*, 75, pp: 885-890

Horsfall, D.W., (1992), "Coal Preparation and Usage", *Coal Publications LTD*, Chapter 19, pp: 19.1-19.23

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, pp:61-66

Kohler, J.L., Sottile, J. and Placha, D., (1987), "Process Control of Heavy Media System For Coal Preparation Plants", *IEEE Transaction on Industry Application*, IA-23(2), pp:382-388

Kural, O., (1991), *Kömür*, Kurtiş Matbaası, İstanbul, s: 248-252

Laskowski, J., (2001), "Coal Flotation and Fine Coal Utilization", Elsevier Science Ltd, ISBN0-444-50537-7, Volume 14, Chapter 3, Amsterdam.

Mehrotra, V.P., Sastry, K.V.S. and Morey, B.W.K., (1983), "Review Of Oil Agglomeration Techniques For Processing Of Fine Coals", *International Journal of Mineral Processing*, Vol.11, pp:175-199

Nicol, S.K., (1992), "Fine Coal Benefication", *Advanced Coal Preparation Monograph Series*, Eds: Swanson, A.R and Partridge, A.C., Australian Coal Preparation Society, Newcastle, pp:37-53

Osborne,D.G., (1990), “Chapter 9 Flotation, Agglomeration and Selective Flocculation, Coal Preparation Technology”, Graham and Trotman, London, Vol.1, pp: 460-469

Özbayoğlu,G., (1994), “Kömür Zenginleştirme Yöntemleri”, Cevher Hazırlama El Kitabı, Ed: Önal,G. ve Ateşok, G., s:349-365

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”, 11th Annual Epricontractor’s Conference on Clean Liquid and Solid Fuels, pp:1-26

Sadowski, Z.,(1994), “Hydrophobic Agglomeration of Fine Particles”, Technical University of Wroclow, Poland, pp: 1-20

Steel, K.M. and Patrick,J.M.,(2001), “The Production of Ultra Clean Coal by Chemical Demineralisation”, Fuel, Vol.80, pp: 2019-2023

Sun, S.C.,(1968), “Froth Flotation”, Coal Preparation, Eds:Leonard,W. And Mitchell,D.R., The AIMMPE, Inc., New York, pp: 10.66-10.89

Tefek,M.,(1984), “İnce Kömür Flotasyonunda Parçacıkların Davranışları”, Türkiye 4.Kömür Kongresi, Zonguldak, s: 262-263

Ünal, İ. and Aktaş,Z.,(2001), “Effect of Various Bridging Liquids on Coal Fines Agglomeration Performance”, Fuel Processing Technology,vol.69, pp:141-155

Warren, L.J., (1985), “Determination of the Contributions of True Flotation and Entrainment in Batch Flotation Tests”, Int.J. Mineral Processing, Volume 14, pp: 33-44

Wen, W.W. and Sun, S.C., (1981), “An Electrokinetic Study on the Oil Flotation of Oxidized Coal”, Separation Science and Technology,16(10), pp:1491-1521

Wojcik, W. and Taweel,A.M.A., (1984), “Benefication of Coal Fines by Aggregative Flotation”, Powder Technology, Vol.40, pp:179-185

Wright, A., (1984), “Magnetite Recovery Systems For Heavy-Media Cleaning Circuits”, Coal Age, July,89, pp:58-61

Yalçın, H. ve Bozkaya,Ö., (2002),”Hekimhan (Malatya) çevresindeki Üst Kretase yaşlı volkaniklerin alterasyon mineralojisi ve jeokimyası: Denizsuyukayaç etkileşimine bir örnek” C.Ü.Müh. Fakültesi Dergisi Seri A-Yerbilimleri, 19, s:81-98

Yaman,S., Çelik,M.S., ve Küçükbayrak,S., (1998), Kömür, Ed.Orhan Kural, Özgün Ofset Matbaacılık A.Ş., s: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, s:443-444

ÖZGEÇMİŞ

Güray SÖNMEZ 1980 yılında Ankara'da doğdu. İlk orta ve lise öğrenimini Kayseri'de tamamladıktan sonra Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2003 senesinde Maden Mühendisi olarak Hacettepe Üniversitesi'nden mezun oldu. Aynı yıl, Sivas Cumhuriyet Üniversitesinde Yüksek Lisans'a başladı. 2004 yılının Aralık ayından beri Maden Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır