

UÇUCU KÜL DEĞERLENDİRİLMESİNİN MALİYET ANALİZİ

Cost Estimations for the Beneficiation of Fly Ash

Oktaç BAYAT <*)

Anahtar Sözcükler: Uçucu Kül, Küresel Tanecik, Katı Küresel Tanecik, Salkımlaştırma, Rotasyon

ÖZET

Bu çalışmada, uçucu külden salkımlaştırma ve flotasyon yöntemleri ile küresel tanecikler (cenospheres ve solid spheres) kazanımının teknik fizibilitesinin ekonomik değerlendirilmesi yapılmıştır. Günümüz koşullarında Gale Common uçucu külden küresel tanecik kazanımının ekonomik olmadığı ancak küresel tanecik satış fiyatındaki artışın bu durumu değiştirebileceği gözükmektedir. Ancak, katı küresel taneciklerin ikincil ürün olarak salkımlaştırma+flotasyon yöntemiyle elde edilmesi halinde kurulacak bir hazırlama tesisi büyük kazanç sağlayacaktır. Eggborough uçucu külden salkımlaştırma yöntemiyle küresel tanecik kazanımının mevcut küresel tanecik fiyatlarına (1 700 \$/t) göre vergi ve faiz oranları bu durumu değiştirebilir olmasına rağmen ilk 10 yılda yaklaşık 680 000\$ kazanç sağlayacağı tahmin edilmiştir.

ABSTRACT

In this study, a preliminary economic evaluation has been done to determine the technical feasibility of using flocculation and froth flotation to recover cenospheres and solid spheres from fly ash. The processing plant for the recovery of alone from Gale Common fly ash appears to be unprofitable in today's economic situation, but increases in the price of cenospheres could affect this. If the solid spheres are considered as a second product from this fly ash, a processing plant using flocculation and froth flotation could be extremely profitable. The treatment of Eggborough fly ash for the recovery of cenospheres would provide in the first 10 years US\$ 680 000 total at the current price of cenospheres (US\$/t 1700), although taxation and interest payments could affect the profitability.

O Yrd. Doç. Dr. Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Maden Müh. Bölümü, Balcalı 01330, Adana, Türkiye

1. GİRİŞ

Termik santrallarda elektrik enerjisi üretimi amacıyla yakıt olarak kullanılan kömürün yakılması sonucunda açığa çıkan en önemli artık malzeme, yanmadan dolayı baca tarafından çekilen gazlarla birlikte yukarıya sürüklenen çok ince kül (fly ash) tanecikleridir. Bu yaklaşık 1-150 jim çapındaki uçucu kül parçacıkları, büyük oranda (yaklaşık %50-70) amorf, alümina-silikat içerikli küresel tanecikler (microspheres), daha az miktarda mineraller (kuvars, manyetit v.b.) ve yanmamış karbon parçacıklarını içermektedir. Uçucu külün kimyasal bileşimi kullanılan kömürdeki mineral maddelerin cinsine ve miktarına bağlı olarak değişmektedir. Birçok uçucu külün %85 den daha fazlasını SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO ve SO_3 in yer aldığı kimyasal bileşenler oluşturmaktadır. Bu kimyasal bileşimi ile uçucu kül, yapay pozzolan olarak elde edilen en modern malzeme olarak bilinmekte ve başta inşaat sanayinde (çimento-betona tuğla, hafif agraga, gaz-beton v.b.) olmak üzere seramik, plastik, atık su arıtımı ve zirai amaçlarla katkı maddesi olarak kullanım alanı bulmaktadır.

Kömür içindeki mineral maddeler yakma sistemine büyük oranda bağımlı olarak yanma esnasında ergiyerek ıslanmayan bir yüzey (karbon) üzerinde içi gaz (CO_2 veya N_2) dolu damlacıklar (cenospheres) veya içi katı dolu (solid spheres) küresel tanecikler halinde sonuçlanmaktadır. Kaolin ayrışımı, pirit oksidasyonu, kalsiyum ve magnezyum ayrışımı ve kalsiyum karbonat ile dolomit ayrışımı yaklaşık 1000 °C civarında gerçekleşmekte ve küresel tanecikler (cenospheres veya solid spheres) oluşumu için yeterli gaz basıncını sağlamaktadır. Bu küresel tanecikler uçucu küle nazaran hemen hemen aynı kimyasal bileşime sahip olmakla birlikte genellikle daha yüksek mik-

tarda silikat ve daha az miktarlarda Fe_2O_3 , CaO , Na_2O ve K_2O içermektedir. Uçucu kül veya katı küresel taneciklerin ortalama özgül ağırlıkları $2.4-2.8 g/cm^3$ iken bu değer küresel tanecik için $0.4-0.6g/cm^3$ arasında değişmektedir. Aynı şekilde küresel tanecikler uçucu küle nazaran daha iri tane boyutlarına (20-200 um) sahiptir.

Termik santrallarda açığa çıkan uçucu külün santral dışına, genellikle oldukça uzak yere, bantla veya borut hattı ile taşınması gerekmektedir. Ancak taşıma esnasında birtakım sorunların mevcudiyeti, ek maliyet girdisi ve zamanla ortaya çıkan çevre kirliliği açısından uçucu külün endüstri malzemesi olarak değerlendirilmesi son yıllarda önem kazanmıştır.

Bu çalışmada salkımlaştırma ve flotasyon yöntemleri ile Gale Common (FA1) ve Eggborough (FA2) (İngiltere) termik santral uçucu küllerinden küresel tanecikler kazanımının laboratuvar deney sonuçlarına göre teknik ve ekonomik analizi yapılmıştır (2). Tesis akım şeması geliştirilmesinde temel olarak küresel tanecik üretimi esas alınmış ve katı küresel tanecik üretimi ise ikincil bir ürün olarak düşünülmüştür.

2. MALZEME VE YÖNTEM

İngiltere'deki iki termik santralden (Gale Common ve Eggborough) alınan temsili baca külü numuneleri ile Kuzey Yorkshire (İngiltere) yakınlarındaki Gale Common baca külü toplama sahasında doğal göletlerde su üstünde yüzen küresel tanecikler (cenospheres) referans numunesi olarak bu çalışmada kullanılmıştır. Bütün numuneler mekanik eleme ve siklon-sınıflandırma (Warman cylosizer) yöntemi ile sınıflandırılmış ve her tane fraksiyonu SEM (Scanning Electron Microscope), XRD ve kimyasal analize tabi tutulmuştur. Uçucu kül-

lerin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1 de verilmektedir.

ünde kullanılmıştır. Tüm salkımlaştırma deneylerinde saf su kullanılmıştır.

Çizelge 1. Gale Common ve Eggborough Uçucu Külünün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Özellik	Gale Common Uçucu Külü (FA1)	Eggborough Uçucu Külü (FA2)
Renk	Gri	Gri
Yığın Yoğunluk ($g\ m^{-3}$)	1.40	1.38
Özgül Ağırlık ($g\ m^{-3}$)	2.49	2.47
Tane irilik	%69.74 si (ağırlıkça) -53 μm	%98.38 si (ağırlıkça) -53 pim

Element (%)		
SiO ₂	50.82	50.09
Al ₂ O ₃	24.80	24.16
Fe ₂ O ₃	10.87	10.31
CaO	2.56	3.40
MgO	1.41	1.34
Na ₂ O	2.84	2.39
K ₂ O	3.09	3.57
TiO ₂	0.81	0.57
SO ₃	0.31	0.92
P ₂ O ₅	0.25	0.40
MnO	0.04	0.09
Kızdırma Kaybı	2.27	1.96

Zeta potansiyel çalışmalarında pH 3.0 de ve 300 g/t Dispex N40 ilavesinde Gale Common ve Eggborough ham baca külleri ve küresel tanecik (referans numunesi) arasında yaklaşık 20 ile 40 MV lik bir zeta potansiyel farkının olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni çok açık değildir. Ancak neden ne olursa olsun bu yüzey potansiyelindeki farkın küresel tanecik ile baca külünün birbirlerinden seçimli salkımlaştırma yöntemi ile uygun bir seçimli dağıtıcı ilavesinde birbirinden ayrılabilceği deneysel olarak kanıtlanmaya çalışılmıştır. Salkımlaştırma deneysel çalışmasında katyonik, noniyonik ve aniyonik flokülantlar ve dağıtıcı olarak da Sodyum Silikat (cam suyu), Dispex N40, Calgon ve Sodyum Karbonat kullanılmıştır. Ayrıca NaOH ve HCl de pH değerini kontrol amacıyla % 10 luk çözelti ha-

Flotasyon deneyleri sınıflandırılmış (250-22 um) Gale Common baca külü kullanılarak yapılmıştır. Toplayıcı olarak katyonik aminlerin çözünebilir klorid ve asetat tuzları kullanılmıştır. Ayrıca HCl ve kireç de pH değerini ayarlamak, Aero 633 ve Sodyum Silikat ise bastırıcı olarak kullanılmıştır.

3. AKIM ŞEMASI DİZAYNI

Gale Common (FA1) ve Eggborough (FA2) termik santral uçucu küllerinden küresel tanecikler kazanımı için proses akım şemaları her uçucu kül için ayrı ayrı dizayn edilmiş ve değerlendirilmiştir. Hazırlama tesisinin yılda 335 gün çalışması kalan günlerin ise bakım-onarım için ayrılması planlanmıştır. Tesis yılda 402 000 ton (50 t/s) uçucu kül işleyecektir.

3.1 Salkımlaştırma

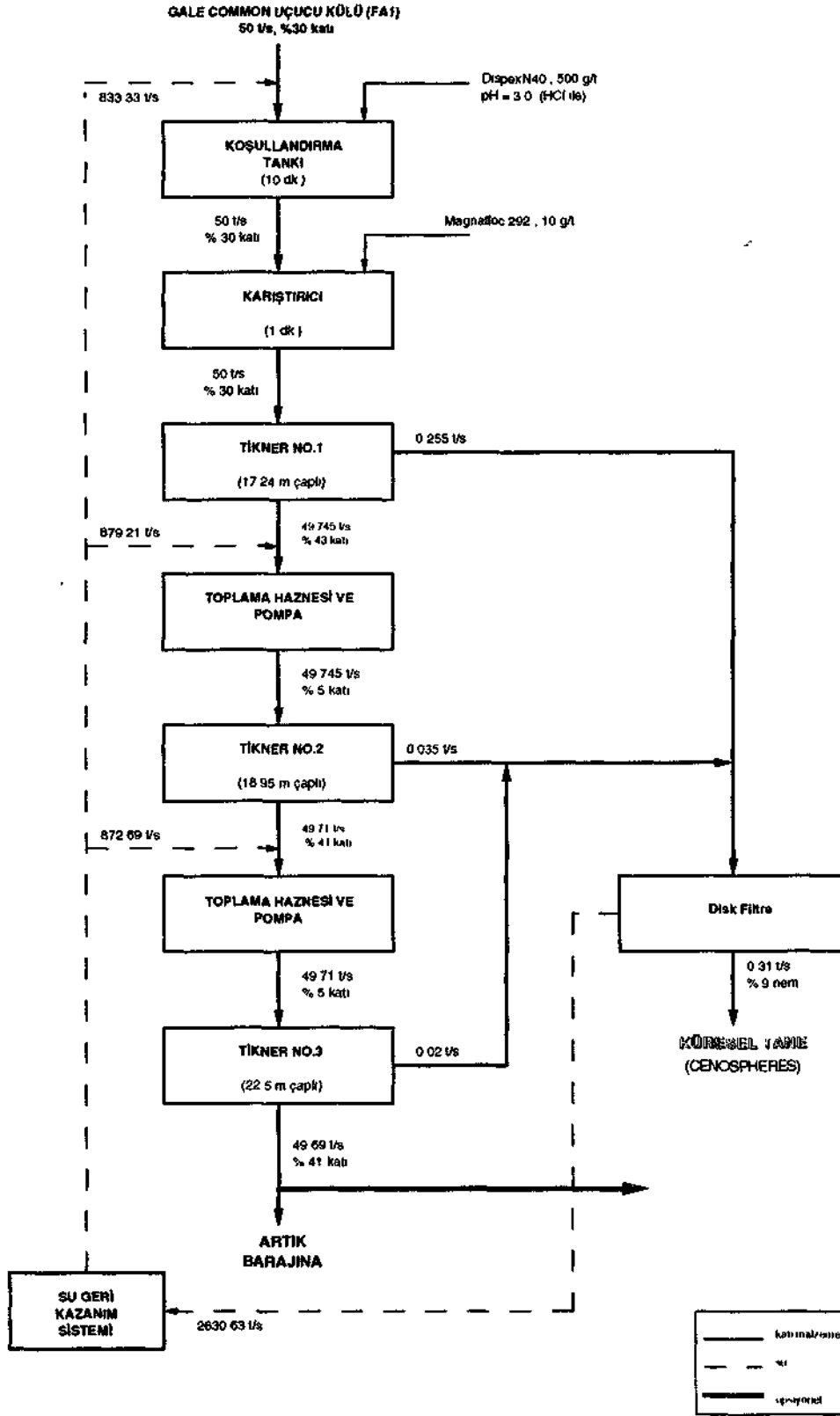
FA1 uçucu külü için salkımlaştırma akım şeması Şekil 1 de verilmektedir. Uçucu kül % 30 katı içerikli bulamaç halinde termik santralden hazırlama tesisine boru hattı ile 50 t/s kapasitede beslenecektir. Bulamaç, koşullandırma tanklarında % 5 katı olarak seyreltilmekte, (Dispex N40, 500 g/t) ilave edilmekte ve pH ise asit (HCl, 4.47 kg/t) ile 3.0 e ayarlanmaktadır. 10 dakika koşullandırma süresi sonunda süspansiyon bir karıştırıcıya pompalanmakta ve burada flokülant (Magnaflov-292, 10 g/t) 1 dakika boyunca katılmaktadır. Bu sürenin sonunda süspansiyon 1 nolu Tiknere (17.24 m çaplı) beslenmekte ve yaklaşık 7 dakika çökme zamanı sonunda %43 katı içerikli alt akım ve 0.255 t/s küresel tanecik üst akımdan elde edilmektedir. Tikner 1 den alınan alt akım tekrar %5 katı halinde 2 nolu Tiknere (18.95 m çaplı) beslenmektedir. Bu aşamada herhangi bir flokülant ilavesi yapılmamaktadır. Yaklaşık 8.5 dk lık çökme süresi sonunda üst akımdan 0.035 t/s küresel tanecik ve alt akımdan %41 katı içerikli malzeme alınmaktadır. Bu alt akım ürünü % 5 katı halinde 3 nolu Tiknere (22.5 m çaplı) verilmekte ve alt akım (%41 katı içerikli) artık barajına gönderilmekte ve üst akımdan 0.02 t/s küresel tanecik elde edilmektedir. Tüm tiknerlerin üst akımlarından elde edilen küresel tanecik ürünleri disk filtre ile susuzlandırılmakta ve %9 nem içerikli olarak bant konveyörle taşınarak satış için silolara gönderilmektedir.

FA2 uçucu külünden küresel tanecik kazanım akım şeması Şekil 2 de verilmektedir. Termik santralden 50 t/s kapasite ile %30 katı içerikli pülp halinde pompalanan uçucu kül -22 µm ayırma tane iriliğine sahip santrifüje (solid-bowl tipi) beslenerek sınıflandırılmaktadır. İnce malzeme (47.84 t/s, -22 µm) %29.24 katı içerikli olarak artık barajına gönderilmekte, iri malzeme (2.16 t/s,

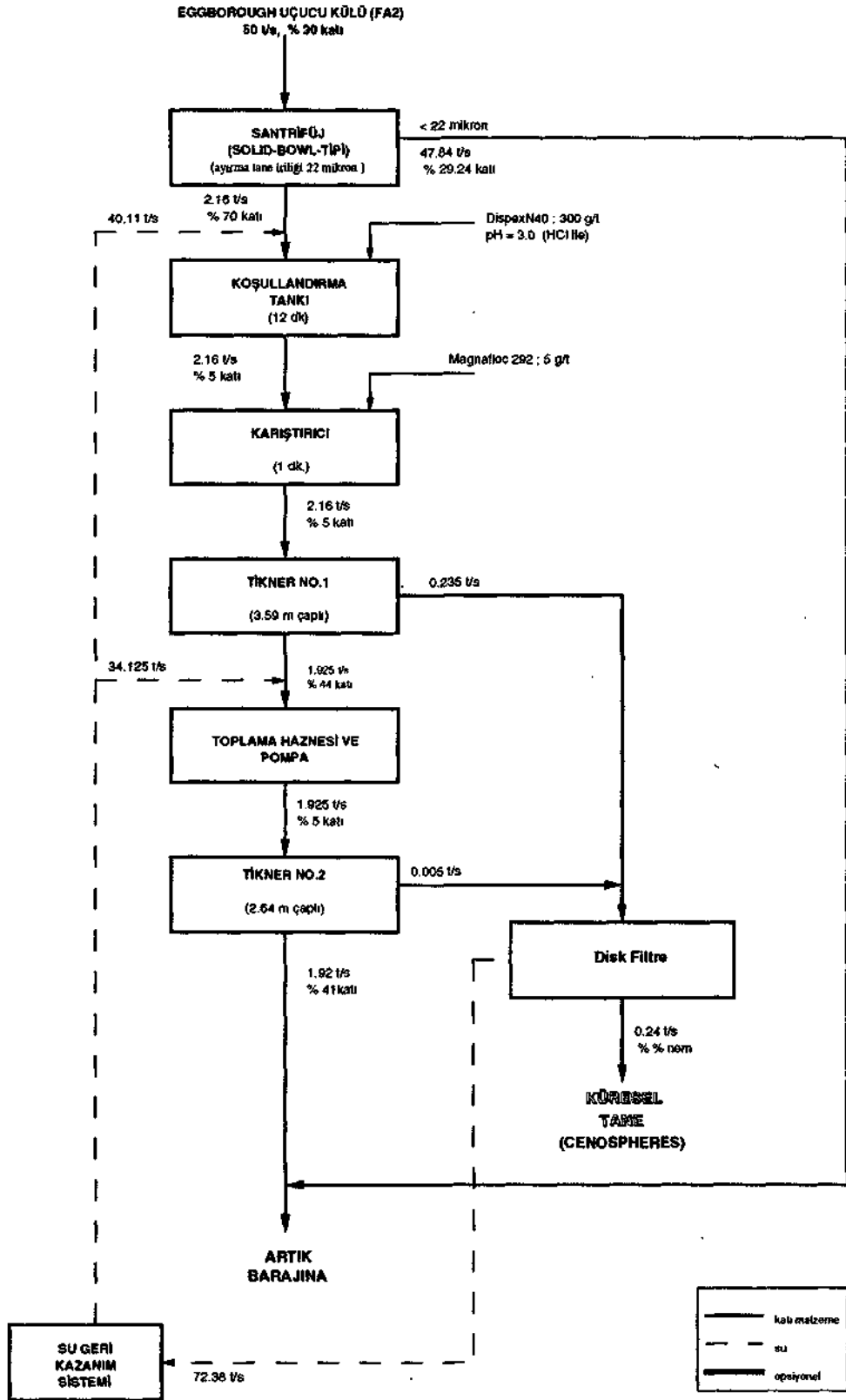
+22 µm) ise %70 katı içerikli olarak 10 m³ lük koşullandırma tankına beslenmektedir, Burada bulamaç katı oranı %5 e indirilmekte, dağıtıcı (Dispex N40, 300 g/t) ilave edilmekte ve pH ise asit (HCl, 3.23 kg/t) ile 3.0 e ayarlanmaktadır. 12 dakika koşullandırma süresi sonunda bulamaç karıştırıcıya pompalanmakta ve burada flokülant (Magnafloc 292,5 g/t) ilave edilmektedir. Süspansiyon 1 nolu Tiknere beslenmekte ve 7 dk lık çökme süresi sonunda %44 katı içerikli alt akım ve üst akımdan 0.235 t/s küresel tanecik elde edilmektedir. Tikner 1 den alınan alt akım %5 katı konsantrasyonu halinde Tikner 2 ye gönderilmekte ve burada 8.5 dk lık çökme süresi sonunda 0.005 t/s küresel tanecik ve %41 katı içerikli alt akım elde edilmektedir. Toplanan tüm küresel tanecik ürünleri disk filtre ile susuzlandırılmakta ve %9 nem içerikli nihai küresel taneler satış için silolara bant konveyör ile taşınmaktadır. Tikner çöken mal ise artık barajına pompalanmaktadır.

3.2. Flotasyon

FA1 numunesinden flotasyon yöntemi ile katı küresel tanecik kazanım akım şeması Şekil 3 de verilmektedir. Bu numunenin salkımlaştırma devresinden gelen tikner alt akım bir spirall sınıflandırıcıya saatte 49.69 ton olarak beslenmektedir. Klasifikatör iri ürünü (1.138 t/s, %60 katı) artık barajına pompalanmakta, taşınan ürün ise (48.552 t/s, -250 µm) 22 µm ayırma tane iriliğine sahip santrifüje beslenmektedir. Buradan elde edilen -22 µm tane boyutuna sahip malzeme de artık barajına pompalanmaktadır. İri ürün (22.397 t/s, %50.26 katı) ise 15 m³ lük koşullandırma tankına gönderilmektedir. Burada süspansiyona bastına (Aero 633, 10 g/t) ilave edilmekte, pH kireç ile 9.0 a ayarlanmakta ve en az 5 dk lık bir koşullandırma süresi verilmektedir. Bu sürenin bitiminde bulamaç %15 katı halinde kaba flotasyon üni-



Şekil 1. Gale Common uçucu külü salkımlaştırma akım şeması



Şekil 2. Eggborough uçucu külü salkımlaştırma akım şeması

**GALE COMMON UÇUCU KÜLÜ
SALKIMLAŞTIRMA DEVRESİ ALT AKIM ÖRÜNÜ**
49.69 t/s % 41 katı

tesine beslenmekte (8x2.5 m³ lük flotasyon hücresi, 700 g/t Amine MA) ve buradan 19.27 t/s ağırlıkça verimle katı küresel tanecek kaba konsantresi elde edilmektedir. Kaba konsantrenin iki kademeli temizlenmesi sonucunda 17.042 t/s nihai katı küresel tanecik konsantresi %23 katı halinde tiknere (22.5 m çaplı) gönderilmekte ve 9.5 dk ılık çökme süresi sonucu elde edilen alt akım disk filtrede susuzlandırılmaktadır. Bu ürün daha sonra bant konveyörle satış için silolara nakledilmektedir.

4. EKONOMİK DEĞERLENDİRME

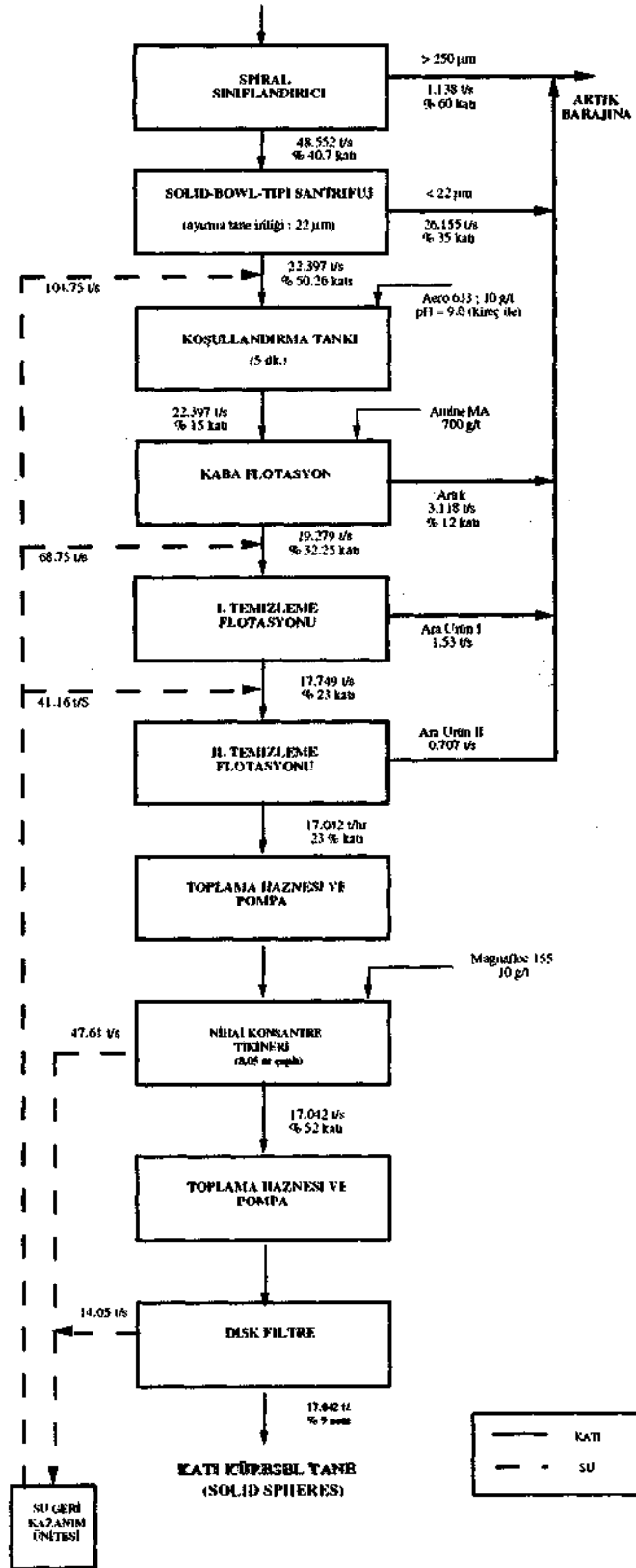
Yukarıda detayı verilen işlemlerin ilk yatırım ve işletme maliyetleri her uçucu kül için ayrı ayrı hesaplanmıştır (1-12). İlk yatırım maliyetlerinin hesaplanmasında M&S indeksi (Marshall and Swift Cost Index, Mining & Milling, 963.6, a Ekim 1991) kullanılmıştır. Maliyetler ABD doları (1 \$ ABD = 1.118 Kanada \$) olarak verilmiştir.

4.1 İlk Yatırım

Çizelge 2-3 den görüldüğü gibi FA1 uçucu külü için salkımlaştırma tesisi ilk yatırım maliyeti 8 768 900 \$, FA2 için ise 4 369 000 \$ olarak tahmin edilmiştir. FA1 uçucu külü için salkımlaştırma+flotasyon tesisinin ilk yatırım maliyeti 11 100 140 \$ dır (Çizelge 4).

4.2 İşletme Maliyeti

İşletme Maliyetinin hesaplanmasında uçucu külün maliyeti sıfır olarak alınmıştır Zira bu malzemenin termik santrallerde atık olarak kabul edildiği ve dolayısıyla ekonomik bir değere sahip olmadığı düşünülmüştür, FA1 külünün işletme maliyeti 8.01 \$/t (Çizelge 5) ve FA2 külü için ise 4.71 \$/t olarak hesaplanmıştır (Çizelge 6). Salkımlaştırma+flotasyon tesisinin FA1 uçucu külü için çalışması halinde işletme maliyeti 13.57 \$/t olmaktadır (Çizelge 7).



Şekil 3. Gale Common uçucu külü flotasyon akım şeması

Çizelge 2. Gale Common Uçucu Külü Salkımlaştırma Tesisi İlk Yatırım Maliyeti

Yatırım Konusu	Hk Yatırım Maliyeti (\$)
1. Makina ve Donanım	2 927 870
2. Monte edilmiş Makina ve donanım ^a	4 186 850
3. Tesis içi boru (esisatı) ^b	418 680
4. Kontrol cihazları ^c	125 600
5. Bina inşaat ve çevre düzenleme ^d	628 030
6. Yardımcı tesisler ^e (elektrik, su v.b.)	125 600
7. Dis yardımcı (esisler) ^f	209 340
8. Toplam tesis ^g	5 694 100
9. Mühendislik ve inşaat ^h	1 138 820
10. Beklenmeyen giderler ⁱ	854 110
11. Tesis ölçek faktörü ^j	284 700
12. Toplam monte edilmiş tesis ^k	7 971 730
13. İşletme linansı ^l	797 170
14. Toplam ilk yatırım	8 768 900

a 1 nolu madde x 1.43	h Madde 8 nin % 20 si
b Madde 2 nin % 10u	i Madde 8 nin % 15 i
c Madde 2 nin % 3 ü	j Madde 8 nin % 5 i
d Madde 2 nin % 15 i	k Madde 8+9+10+11 nin toplamı
e Madde 2 nin % 3 il	l Monte edilmiş tesis ilk yatırımının %10 u
i Madde 2 nin % 5 i	
o Madde 2+3+4+5+6+7 nin toplamı	

Çizelge 3. Eggborough Uçucu Külü Salkımlaştırma Tesisi İlk Yatırım Maliyeti

Yatırım Konusu	ilk Yatırım Maliyeti (\$)
1. Makina ve Donanım	1 458 910
2. Monte edilmiş Makina ve donanım ^a	2 086 240
3. Tesis içi boru tesisatı ^b	208 620
4. Kontrol cihazları ^c	62 580
5. Bina inşaat ve çevre düzenleme ^d	312 930
6. Yardımcı tesisler ^e (elektrik, su v.b.)	62 580
7. Dış yardımcı tesisler ^f	104 310
8. Toplam tesis ^g	2 837 260
9. Mühendislik ve inşaat ^h	567 450
10. Beklenmeyen giderler ⁱ	425 590
11. Tesis ölçek faktörü ^j	141 860
12. Toplam monte edilmiş tesis ^k	3 972 160
13. İşletme finansı ^l	397 200
14. Toplam ilk yatırım	4 369 360

Çizelge 4. Gale Common Uçucu Külü Salkımlaştırma+Flotasyon Tesisi İlk Yatırım Maliyeti

Yatırım Konusu	Hk Yatırımı Maliyeti (\$)
1. Makina ve Donanım	
Salkımlaştırma	2 927 870
Flotasyon	1 780 030
Toplam	4 707 900
2. Monte edilmiş Makina ve donanım ^a	6 732 300
3. Tesis içi boru tesisatı [^]	673 230
4. Kontrol cihazları ^c	201 970
5. Bina inşaat ve çevre düzenleme ^d	1 009 850
6. Yardımcı tesisler [°] (elektrik, su v.b.)	201 970
7. Dış yardımcı tesisler ^f	336 610
8. Toplam tesis ⁸	9 155 930
9. Mühendislik ve inşaat ⁿ	1 831 190
10. Beklenmeyen giderler [']	1 373 390
11. Tesis ölçek faktörü ^J	457 800
12. Toplam monte edilmiş tesis ^k	12 818 310
13. İşletme finansı [']	1281830
14. Toplam ilk yatırım	14 100 140

Çizelge 5. Gale Common Uçucu Külü (FAİ) Salkımlaştırma Tesisi İşletme Maliyeti

Konu	İşletme Maliyeti (\$/t) (Mart 1992)
1. Uçucu kül	-
2. Hlekrik, Su v.b. temini	1.4870
3. Dağıtıcı (Dispex N40)	0.2650
4. Asit (HCl, %35 lik)	1.0274
5. Polimer flokülant (Magnafloc 292)	0.0329
6. Tesis Suyu	0.0143
7. Ekipman giderleri	0.4210
8. Servis	0.1000
9. Emniyet	0.1000
10. Yedek parça	0.6900
11. Artık stoklama	0.1 (XX)
12. İşçilik	1.1005
13. Toplam Direk İşletme Maliyeti	5.3381
14. İndirck İşletme Maliyeti (Direk maliyetin %30 u)	1.6014
15. Beklenmeyen giderler (Direk maliyetin %20 i)	1.0676
16. Toplam Tesis İşletme Maliyeti	8.0071

Çizelge 6. Eggborough Uçucu Külü (FA2) Salkımlaşırma Tesisi İşletme Maliyeti

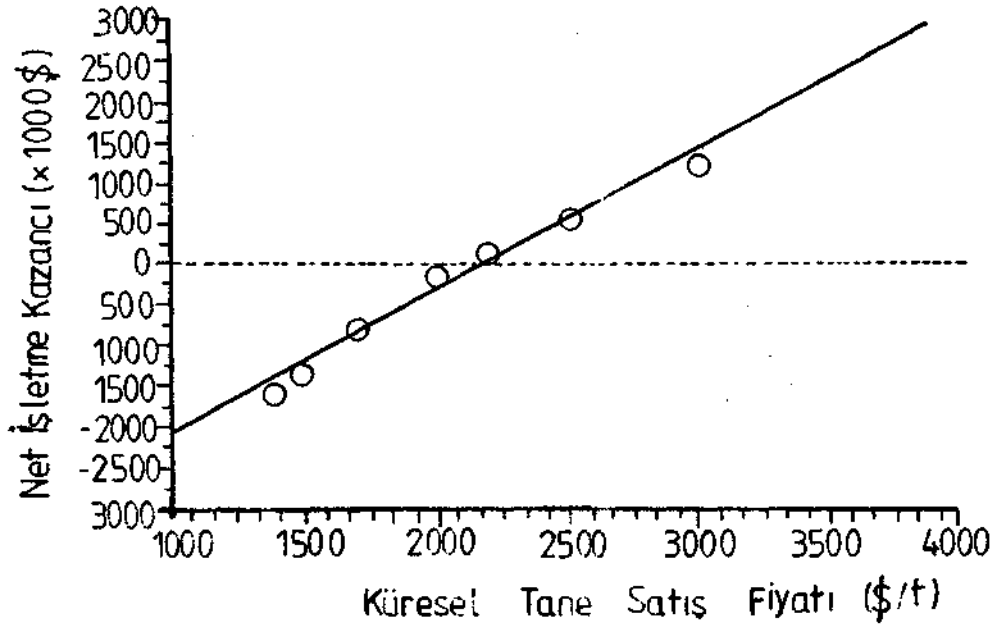
Konu	İşletme Maliyeti (\$/t) (Mart 1992)
I. Uçucu kül	-
2. Elektrik, Su v.b. temini	0.8834
3. Dağıtıcı (Dispex N40)	0.0069
4. Asit (MCI, %35 lik)	0.0307
5. Poliincir İlokülant (Ma.analloc 292)	0.0007
6. Tesis Suyu	0.0237
7. Ekipman giderleri	0.4117
8. Servis	0.1000
9. Emniyet	0.1000
10. Yedek parça	0.3800
11. Artık stoklama	0.1000
12. İşçilik	1.1005
13. Toplam Direk İşletme Maliyeti	3.1376
14. İndirek İşletme Maliyeti (Direk maliyetin #30 u)	0.9413
15. Beklenmeyen giderler (Direk maliyetin <7r20 i)	0.6272
16. Toplam Tesis İşletme Maliyeti	4.7064

Çizelge 7. Gale Common Uçucu Külü (FA1) Salkımlaşırma+Flolasyon Tesisi İşletme Maliyeti

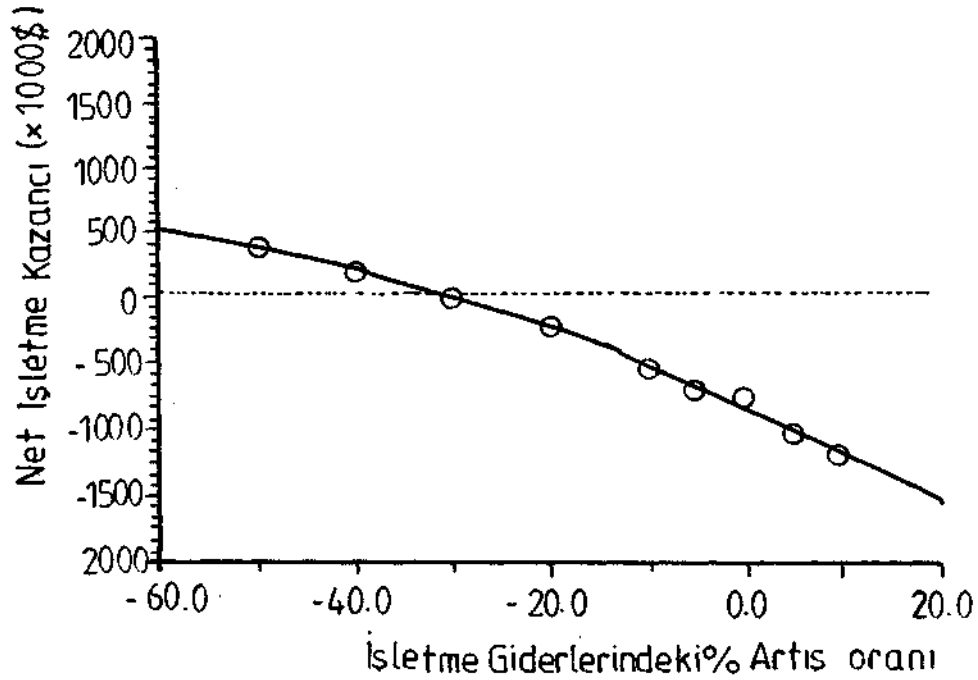
Konu	İşletme Maliyeti (\$/t) (Mart 1992)
1. Uçucu kül	-
2. Elektrik, Su v.b. (emini)	2.0000
3. Damıtıcı (Dispex N40)	0.2650
4. Asit (IICI, %35 lik)	1.0274
5. Poliincir İlokülant (Magnalloc 155)	0.0120
6. Kireç	0.1700
7. Basırıcı (Aero 633)	0.0078
8. Toplayıcı (Amine MA)	1.0660
9. Polimer İlokülant (Magnalloc 292)	0.0329
6. Tesis Suyu	0.0453
7. Ekipman giderleri	0.9940
8. Servis	0.1000
9. Emniyet	0.1000
10. Yedek parça	1.1160
11. Arlık stoklama	0.1000
12. İşçilik	2.0100
13. Toplam Direk İşletme Maliydi	9.0464
14. İndirek İşletme Maliyeti (Direk maliyetin %?>() u)	2.7139
15. Beklenmeyen giderler (Direk maliyetin %20 i)	1.8093
16. Toplam Tesis İşletme Maliyeti	13.5696

Çizelge 8. Gale Common Uçucu Külü Salkınlaştırma Prosesi Nakit Akışı

Yıl	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tonaj (x1000 ton)	-	201	402	402	402	402	402	402	402	402	402
Gelir (x1000 \$)	-	2 118.54	4 237.08	4 237.08	4 237.08	4 237.08	4 237.08	4 237.08	4 237.08	4 237.08	4 237.08
İşletme Giderleri (x1000 \$)	-	1 609.42	3 218.84	3 379.78	3 548.77	3 726.21	3 912.52	4 108.15	4 313.55	4 529.23	4 755.69
Amortisman (x1000 \$)	-	876.89	876.89	876.89	876.89	876.89	876.89	876.89	876.89	876.89	876.89
Faizler (10%) (x1000 \$)	-	876.89	789.20	701.51	613.82	526.13	438.44	350.76	263.07	175.38	87.69
Brüt Kazanç (x1000 \$)	-	(1 244.66)	(647.85)	(721.10)	(802.40)	(892.15)	(990.77)	(1 098.72)	(1 216.43)	(1 344.42)	(1 483.19)
Vergi (40%) (x1000 \$)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T. Santrala Yapılan Geri Ödeme (3%) (x1000 \$)	-	63.56	127.12	127.12	127.12	127.12	127.12	127.12	127.12	127.12	127.12
Net Kazanç (x1000 \$)	-	(1 308.22)	(774.97)	(848.22)	(929.52)	(1 019.27)	(1 117.89)	(1 225.84)	(1 343.55)	(1 471.54)	(1 610.31)
Kümülatif Net Kazanç (x1000 \$)	-	(1 308.22)	(2 083.19)	(2 931.41)	(3 860.93)	(4 880.20)	(5 998.09)	(7 223.93)	(8 567.48)	(10 039.02)	(11 649.33)



Şekil 4. Gale Common uçucu külü salkımlaştırma prosesinde küresel tane satış fiyatı-işletme geliri değişimi



Şekil 5. Gale Common uçucu külü salkımlaştırma prosesinde işletme dönemi giderleri-işletme geliri değişimi

4.3 Satış Fiyatı

Küresel tanecik satış fiyatı Dicaperl (ABD) firmasından (25.03.1992 tarihi itibarıyla) elde edilmiştir. Katı küresel tanecik satış fiyatı ise küresel tane (microspheres) piyasasından ortalama fiyat olarak hesaplamalarda kullanılmıştır. Aşağıda her iki uçucu kül için salıklaştırma ve flotasyon yöntemlerinin uygulanması halinde elde edilmesi mümkün olan işletme gelirleri ile küresel tanecik ve katı küresel tanecik satış fiyatları verilmektedir.

Ürün	Satış Fiyatı (S/t)	Üretim Miktarı (t/yıl)	İşletme Geliri (S/0)
Küresel tanecik (FAİ)	1700	2 492.4	4 237 080
Küresel tanecik (FA2)	1700	1 929.6	3 280 320
Katı küresel tanecik	1 100	137 017.7	150 719 448

4.4 Nakit Akışı ve Hassasiyet Analizleri

10 yıllık bir işletme ömrü tahmin edilerek nakit akışı analizleri yapılmıştır. İşletme maliyetinin enflasyon oranına (yıllık %5) bağımlı olarak artacağı ve faiz oranlarının ise %10 olarak sabit kalacağı varsayılmıştır. Termik santrale ödenecek miktar kesin olarak belirlenmemesine rağmen hesaplama kolaylığı için yıllık gelirin %3 ü olarak alınmıştır.

FAİ uçucu külünün salıklaştırma tesisinde işlenmesinde 10 yıllık bir süre için nakit akış tahminleri Çizelge 8 de verilmektedir. Çizelgeden görüldüğü gibi böyle bir tesisin kurulması ekonomik olmamaktadır. Ancak küresel tanecik satış fiyatının %27 lik bir artış göstermesi (Şekil 4) veya işletme maliyetlerinde %30 luk bir azalma (Şekil 5) olması halinde işletme kazanç getirmeye başlayacaktır.

FA2 uçucu külünün salıklaştırma tesisinde işlenmesinde nakit akış tahminleri Çizelge 9 da verilmektedir. Çizelgeden gö-

Çizelge 9. Eggborough Uçucu Külü Salıklaştırma Prosesi Nakit Akışı

Yıl	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tonaj (x1000 ton)	-	201	402	402	402	402	402	402	402	402	402
Gelir (x1000 \$)	-	1 640.16	3 280.32	3 280.32	3 280.32	3 280.32	3 280.32	3 280.32	3 280.32	3 280.32	3 280.32
İşletme Giderleri (x1000 \$)	-	945.99	1 891.97	1 986.57	2 085.90	2 190.19	2 299.70	2 414.69	2 535.42	2 662.19	2 795.30
Amortisman (x1000 \$)	-	436.94	436.94	436.94	436.94	436.94	436.94	436.94	436.94	436.94	436.94
Faizler (10%) (x1000 \$)	-	436.94	393.25	349.55	305.86	262.16	218.47	174.78	131.08	87.39	43.69
Brüt Kazanç (x1000 \$)	-	(179.71)	558.16	507.26	451.62	391.03	325.21	253.91	176.88	93.80	4.39
Vergi (40%) (x1000 \$)	-	-	223.26	202.90	180.65	156.41	130.08	101.56	70.75	37.52	1.76
T. Santrale Yapılan Geri Ödeme (3%) (x1000 \$)	-	49.20	98.41	98.41	98.41	98.41	98.41	98.41	98.41	98.41	98.41
Net Kazanç (x1000 \$)	-	(228.91)	236.49	205.95	172.56	136.21	96.72	53.94	7.72	(42.13)	(95.78)
Kümülatif Net Kazanç (x1000 \$)	-	(228.91)	7.58	213.53	386.09	522.30	619.02	672.96	680.68	638.55	542.77

Çizelge 10. Gale Common Uçucu Külü Salkımlaştırma+Flotasyon Prosesi Nakit Akışı

Yıl	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tonaj (x1000 ton)	-	201	402	402	402	402	402	402	402	402	402
Gelir (x1000 \$)	-	77 478.26	154 956.52	154 956.52	154 956.52	154 956.52	154 956.52	154 956.52	154 956.52	154 956.52	154 956.52
İşletme Giderleri (x1000 \$)	-	2 727.49	5 454.98	5 727.73	6 014.12	6 314.82	6 630.56	6 962.09	7 310.19	7 675.70	8 059.49
Amortisman (x1000 \$)	-	1 410.01	1 410.01	1 410.01	1 410.01	1 410.01	1 410.01	1 410.01	1 410.01	1 410.01	1 410.01
Faizler (10%) (x1000 \$)	-	1 410.01	1 269.01	1 128.01	987.01	846.01	705.00	564.00	423.00	282.00	141.00
Brüt Kazanç (x1000 \$)	-	71 930.75	146 822.52	146 690.77	146 545.38	146 385.68	146 210.95	146 020.42	145 813.32	145 588.81	145 346.02
Vergi (40%) (x1000 \$)	-	28 772.30	58 729.01	58 676.31	58 618.15	58 554.27	58 484.38	58 408.17	58 325.33	58 235.52	58 138.41
T. Santrale Yapılan Geri Ödeme (3%) (x1000 \$)	-	2 324.35	4 648.70	4 648.70	4 648.70	4 648.70	4 648.70	4 648.70	4 648.70	4 648.70	4 648.70
Net Kazanç (x1000 \$)	-	40 834.10	83 444.81	83 365.76	83 278.53	83 182.71	83 077.87	82 963.55	92 839.29	82 704.59	82 558.91
Kümülatif Net Kazanç (x1000 \$)	-	40 834.10	124 278.91	207 644.67	290 923.20	374 105.91	457 183.78	540 147.33	622 986.62	705 691.21	788 250.12

Çizelge 11. Optimum Salkımlaşırma ve Flotasyon Şartlarında Elde Edilen Küresel Taneciklerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Özellik	Küresel Tanecik I (Gale Common)	Küresel Tanecik II (Eggborough)	Küresel Tanecik (Referans numunesi)	Ammospheres CN- Grade (AML) (Ticari Küresel Tanecik)	Katı Küresel Tanecik
Şekil	İçi boş küresel taneler (Micro Balloons)				İçi katı küresel tanecikler (Solid micro balloons)
Renk	Kirli beyaz	Kirli beyaz	Kirli beyaz	Kirli beyaz	Gri
Yığın yoğunluk (gcm^{-3})	0.50	0.40	0.43	0.40 - 0.44	1.18
Özgül ağırlık (gcm^{-3})	0.73	0.71	0.70	0.70 - 0.80	2.32
SiO ₂ (%)	55.48	54.72	55.04	55.0 - 60.0	55.27
Al ₂ O ₃ (%)	30.58	31.61	32.01	25.0 - 30.0	27.65
Fe ₂ O ₃ (%)	3.04	2.83	2.73	4.0 - 10.0	2.67
CaO (%)	1.08	1.11	1.12	0.2 - 0.6	2.82
MgO (%)	1.25	1.26	1.31	1.0 - 2.0	2.06
(Na ₂ O ve K ₂ O) (%)	5.54	6.26	6.25	0.5 - 4.0	5.42
Kızdırma Kaybı (%)	1.99	0.83	0.10	-	0.49
Tane iriliği (%)					
+125 μm	21.47	9.30	23.82	10 - 300 μm	73.50
-125+53 μm	74.36	80.85	71.18		6.25
-53 μm	4.17	9.85	5.00		20.25

rüldüğü gibi böyle bir tesisin kurulması halinde 10 yıl sonunda yaklaşık 550 000 \$ net kar elde edilmesi mümkün görülmektedir.

FA1 külünün salkımlaştırma+flotasyon tesisinde işlenmesi halinde ise işlemin ekonomik olacağı ve 10 yıllık bir işletme ömrü sonunda 780 000 000 \$ net kar elde edilebileceği tahmin edilmiştir (Çizelge 10).

5. ÜRÜNLERİN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Optimum salkımlaştırma ve lotasyon deney şartlarında elde edilen küresel taneciklerin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 11 de verilmektedir.

6. SONUÇLAR

Gale Common ve Eggborough uçucu küllerinden küresel tanecik ve katı küresel tanecik üretiminin teknik olarak mümkün olduğuna ancak kurulması düşünülen bir tesisin net karının vergi, faiz oranı ve termik santrole yapılan geri ödemeler gibi faktörlere büyük ölçüde bağımlı olduğu görülmektedir. Ayrıca burada sunulan hem teknik analizi sonuçlarının hemde ekonomik analizinin doğası ile ön fizibilite şeklinde olduğu ve sadece uçucu külün potansiyel değerlendirilmesinin mümkün olduğunun belirtilmesi amacı taşıdığı unutulmamalıdır.

KAYNAKLAR

ASSOCIATION OF AMERICAN COST ENGINEERS (AACE) 1987; Cost Estimating System Handbook,

Bureau of Mines, USA, 560 p.

BAYAT, O., 1992; Recovery and Treatment of Cenospheres from Şy Ash, PhD Thesis, Leeds University, Leeds, England, 260 p.

CYANAMID, 1986; Mining Chemicals Handbook, Mineral Dressing Notes No. 26, 178p

De GARMO, EP. and CANADA, J.R., 1973; Engineering Economy, 5th ed., The MacMillan Company, NewYork, 563 p.

ENGINEERING EQUIPMENT USERS ASSOCIATION (EEUA), 1968; Separation of Dust from Gases, Costable & Company Ltd., London, no. 19, 112 P-

INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS., 1988; A Guide to Capital Cost Estimating, 3rd ed., 131 p.

MULAR, A.L., 1978; Mineral Processing Equipment Costs and Preliminary Capital Cost Estimations, Special Volume 18, CIM, 166 p.

MULAR, A.L., 1982; Mining and Mineral Processing Equipment Cost and Preliminary Capital Cost Estimations, Special Volume No. 25.

MULAR, A.L. and ANDERSON, M.A., 1986; Design and Concentration and Dewatering Circuits.

MULAR, A.L. and BHAPPU, R.B., 1980; Mineral Processing Plant Design, 2nd ed., 946 p.

SVAROVSKY, L, 1981; Solid-Liquid Separation, 2nd ed., Butterworth, London, 556 p.

WILLS, B.A., 1988; Mineral Processing Technology, 4th Edition, Pergamon Press, 773 p.