

**HAVALI SINIFLANDIRICILARIN MODELLENMESİNDE
PERFORMANS EĞRİSİNE DAYALI FARKLI MODEL
YAKLAŞIMLARININ KARŞILAŞTIRILMASI**

**COMPARISON of DIFFERENT EFFICIENCY CURVE
APPROACHES IN MODELLING of AIR CLASSIFIERS**

OKAY ALTUN

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

MADEN Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır

2007

HAVALI SINIFLANDIRICILARIN MODELLENMESİNDE PERFORMANS EĞRİSİNE DAYALI FARKLI MODEL YAKLAŞIMLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Okay ALTUN

ÖZ

Bu çalışmada, havalı sınıflandırıcıların verimlilik eğrilerini tanımlayan matematiksel eşitliklerin endüstriyel verilerle olan uyumunun incelenmesi hedeflenmiştir.

Çalışma kapsamında Italcementi Set Çimento Ambarlı çimento öğütme tesisi, Bolu çimento sanayii Kazan çimento öğütme tesisi, Çimsa Kayseri çimento tesisi, Çimsa Mersin çimento tesisi, Çimsa Lalahan çimento öğütme tesisi, Antalya Özgür çimento ve beton tesislerinde bulunan, Sepol, Sepax, QDK ve O-Sepa üçüncü nesil dinamik sınıflandırıcılarının bulunduğu devreler örneklenmiş, örneklerin tane boyu dağılımları belirlenmiş ve önceki dönemlerde alınan veriler de kullanılarak madde denkliği çalışmaları yürütülmüştür. Madde denkliği çalışmalarıyla birlikte deneysel veriler hatalardan arındırılmış ve ileriki aşama olan modelleme çalışmaları için uygun olup olmadığı belirlenmiştir. Sonraki aşamada ise, her veri seti için verimlilik eğrileri çizilmiş ve sınıflandırıcıların gerçek kesme boyu, düzeltilmiş kesme boyu ve kaçak değerleri belirlenmiştir.

Elde edilen bu veriler ışığında aralarında Finch, Plitt, Zhang, Lynch ve Rao, Whiten, Molerus, Lippek ve Espig eşitliklerinin bulunduğu verimlilik eğrisi yaklaşımlarının başarısı sınanmıştır. Eşitliklerin tahmin gücü ölçülen ve hesaplanan verimlilik eğrilerinin grafiksel olarak gösterilmesi ile ölçülmüştür. Çalışmalar sırasında matematiksel eşitliklerdeki değişkenler doğrusal olmayan regresyon yöntemi ile tayin edilmiştir. Bu yöntem ile belirlenen değişkenler, verimlilik eğrilerinden elde edilen deneysel değişkenler ile karşılaştırılmış ve aralarındaki ilişkiler ortaya koyulmuştur.

Bu çalışmalar sonunda Whiten tarafından geliştirilen matematiksel fonksiyonun verimlilik eğrisini tanımlayan en iyi yaklaşım olduğunun anlaşılmasından sonra modelleme çalışmaları için en uygun eşitlik olduğu sonucuna varılmış ve bu eşitlikte karşılaşılan problemlerin çözülmesi yoluna gidilmiştir. Bu çalışma kapsamında ilk olarak eşitlikten elde edilen parametreler ile deneysel olarak grafik üzerinden bulunan parametreler arasındaki ilişkiler ortaya koyulmuştur. Yürütülen

bu çalışma sonunda geliştirilen eşitliklerle Whiten yaklaşımının deneysel verilerle uyumu sağlanmıştır.

Çalışmanın bundan sonraki bölümünde ise tasarım ve işletme değişkenlerinin sınıflandırıcı performansı üzerine etkisi incelenmiştir. Bu bölümden elde edilen sonuçlar ile istenilen ürün boyuna ve kapasite miktarına göre kullanılacak olan sınıflandırıcıya ait gerekli hava miktarı, rotor hızı ve sınıflandırıcı çapı gibi tasarım parametrelerine ulaşmak mümkün olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: havalı sınıflandırıcı, verimlilik eğrisi

Danışman: Doç. Dr. A. Hakan BENZER
Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama ABD

COMPARISON of DIFFERENT EFFICIENCY CURVE APPROACHES IN MODELLING of AIR CLASSIFIERS

Okay ALTUN

ABSTRACT

This study aims at, investigating the prediction capabilities of different efficiency curve approaches and their correlation with the industrial data.

Within the context of this study, sampling studies were carried out at Italcementi Set Ambarlı cement plant, Bolu Cement Corp. Kazan cement grinding plant, Çimsa Kayseri cement plant, Çimsa Mersin cement plant, Çimsa Lalahan cement grinding plant, Antalya Özgür cement and concrete plant in which high efficiency dynamic classifiers such as Sepol, Sepax, QDK and O-Sepa were operated. Following this study, particle size distribution of the samples was determined and mass balancing technique was used to adjust all data account for experimental errors and to calculate the flow rates for all streams. Following this study, efficiency curves of the air separator were drawn and by pass, cut size and corrected cut size parameters were determined.

By using the data obtained from the previous sections, the prediction capabilities of the efficiency curve approaches developed by many researchers such as Finch, Plitt, Zhang, Lynch & Rao, Whiten, Molerus, Lippek & Espig were tested. The results were evaluated by drawing the measured and the calculated efficiency curves. The parameters of each approach were calculated by non linear regression method and finally experimental parameters were compared with the calculated parameters and the correlations between them were examined.

The results of the efficiency curve calculations showed that the approach developed by Whiten was the only equation which was in good correlation with the industrial data. From this point of view, it was concluded that the Whiten's approach was the most appropriate model to be used during the modelling studies of air classifiers. The drawbacks of this equation were determined and the problems were fixed.

At the end of this study, the effects of the operating and the design parameters of air classifiers on air classifier performance were examined. The operating parameters such as rotor speed, air velocity were related with the cut size while air

classifier feed amount, air velocity and the dust load of the air classifier feed were related with the by pass. Finally, rotor surface area were related with the air classifier feed amount, the product amount and the air amount needed for separation process.

Keywords: Air classifier, efficiency curve

Advisor: Assoc. Prof. A. Hakan BENZER
Hacettepe University, Department of Mining Engineering, Mineral Processing Division

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım süresince bölüm imkanlarından yararlanmamı sağlayan Maden Mühendisliği Bölüm Baőkanı, Sayın Prof. Dr. A. Erhan Tercan'a,

Çalıőmalarım süresince her konuda yardımcı olan, fikirleriyle ve bilgisiyle yol gösteren tez danışmanım, Sayın Doç. Dr. A. Hakan Benzer'e,

Deneysel çalışmalar sırasında göstermiő oldukları özen ve sabırdan dolayı Araő. Gör. Ömürden Genç'e ve Araő. Gör. Hakan Dündar'a,

Tez yazım aőamasındaki yardımlarından dolayı Dr. Abdullah Obut'a,

Yardımlarından dolayı Dr. Namık Aydoğan, Araő. Gör. Serkan Dikmen'e, bölümümüzün teknisyenleri Mustafa Aydemir, Iőın Aslıyüksek'e ve bölümümüzün sekreterleri Sıddık Yılmazoğlu ve Birgül Atay'a,

Her türlü maddi ve manevi desteklerinden dolayı anneme, kardeőime ve dostlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii

1. GİRİŞ.....	1
---------------	---

2. HAVALI SINIFLANDIRICILARIN ÇALIŞMA PRENSİPLERİ.....	3
--	---

2.1. Malzemenin Beslenmesi.....	3
2.1.1. Besleme Yönüne Ters Akım.....	3
2.1.2. Beslemeyi Kesen Akım.....	4
2.1.3. Merkezkaç-Karşı Akım.....	4
2.1.4. Merkezkaç-Beslemeyi Kesen Akım.....	5
2.2. Malzemenin Sınıflanması.....	6
2.3. Son Ürünün Alınması.....	6
2.3.1. Toz Tutma Siklonları.....	6
2.3.2. Filtreler.....	8

3. HAVALI SINIFLANDIRICI TİPLERİ.....	9
---------------------------------------	---

3.1. Statik Sınıflandırıcılar.....	10
3.1.1. Dik-Karşı Akımlı sınıflandırıcılar.....	10
3.1.2. Havalı Kaskat Sınıflandırıcılar.....	11
3.1.2.1. V SINIFLANDIRICILAR.....	12
3.1.3. Akışkan Yataklı Sınıflandırıcılar.....	17
3.1.4. Yerçekimsel Havalı Sınıflandırıcılar.....	20
3.2. Dinamik Sınıflandırıcılar.....	21
3.2.1. Birinci Nesil Dinamik Sınıflandırıcılar.....	21
3.2.1.1. Sturtevant Sınıflandırıcıları.....	22
3.2.1.2. Raymond Mekanik Sınıflandırıcıları.....	24
3.2.2. İkinci Nesil Dinamik Sınıflandırıcılar.....	25
3.2.2.1. Turbo Sınıflandırıcı (Krupp Polysius AG).....	25
3.2.2.2. Siklon Sınıflandırıcılar (KHD Humboldt Wedag AG).....	26
3.2.2.3. Siklon Sınıflandırıcılar CYCLOPOL (Polysius).....	27
3.2.3. Yüksek Verimli Sınıflandırıcılar.....	27
3.2.3.1. TSV Yüksek Verimli Sınıflandırıcılar.....	31
3.2.3.2. Sepax Yüksek Verimli Sınıflandırıcı.....	34
3.2.3.3. O-Sepa Yüksek Verimli Sınıflandırıcı.....	41
3.2.3.4. VSK Sınıflandırıcılar.....	45
3.2.3.5. Sepol Sınıflandırıcılar.....	50
3.2.3.6. QDK Sınıflandırıcılar.....	52

4. HAVALI SINIFLANDIRICILARIN VERİMLİLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ ..	54
4.1. Gerçek Verimlilik Eğrisi	54
4.2. Düzeltilmiş ve İndirgenmiş Verimlilik Eğrisi	56
4.3. Havalı Sınıflandırıcılarda Performans Üzerinde Etkili Olan Parametreler ..	59
4.3.1. Kesme Boyu	59
4.3.2. Hava Akımı İçerisinde Tanelerin Davranımı	59
4.3.3. Malzemenin Topaklanma Eğilimi	59
4.3.4. Gaz Akışının Viskozitesi	60
4.3.5. Yüzey Alanı	61
5. GÜNÜMÜZE KADAR GELİŞTİRİLMİŞ VERİMLİLİK EĞRİSİ YAKLAŞIMLARI	62
5.1. Finch Eşitliği	62
5.2. Plitt Eşitliği	63
5.3. Whiten Eşitliği	63
5.4. Zhang Eşitliği	63
5.5. Lynch ve Rao (1975)	64
5.6. Lippek ve Espig Eşitliği	64
5.7. Molerus Eşitliği	65
6. HAVALI SINIFLANDIRICILARIN MODELLENMESİNDE GÜNÜMÜZE KADAR GELİŞTİRİLMİŞ AMPİRİK YAKLAŞIMLAR	66
7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE MADDE DENKLİĞİ ÇALIŞMALARİ	72
7.1. Örneklenen Sepol Dinamik Sınıflandırıcı Devreleri	73
7.1.1. Italcementi Set Çimento Ambarlı Çimento Öğütme Tesisi	73
7.1.2. Bolu Çimento Sanayii Kazan Çimento Öğütme Tesisi	76
7.2. Örneklenen Sepax Dinamik Sınıflandırıcı Devreleri	78
7.2.1. ÇİMSA Kayseri Çimento Tesisi	78
7.2.1. ÇİMSA Mersin Çimento Tesisi	80
7.3. Örneklenen QDK Dinamik Sınıflandırıcı Devreleri	83
7.3.1. Antalya Özgür Çimento ve Beton Tesisi	83
7.4. Örneklenen O-Sepa Dinamik Sınıflandırıcı Devresi	86
7.4.1. Çimsa Lalahan Çimento Öğütme Tesisi	86
7.5. Önceki Dönemlerde Alınmış Numuneler	87
7.5.1. Nuh Çimento Tesisi	87
7.5.2. Bolu Çimento Tesisi	91
7.5.3. Bursa Çimento Tesisi	93
7.5.4. Adana Çimento Tesisi	97
7.6 MADDE DENKLİĞİ SONUÇLARI	101
7.7. Farklı Performans Eğrisi Yaklaşımlarının Endüstriyel Verilerle Olan Uyumunun İncelenmesi	103
7.7.1. Finch (1982) Eşitliği	103
7.7.2. Plitt (1971) Eşitliği	106
7.7.3. Molerus Eşitliği	108
7.7.4. Whiten Eşitliği	111
7.7.5. Lynch & Rao Eşitliği	114
7.7.6. Lippek & Espig Eşitliği	116
7.7.7. Zhang Eşitliği	118
7.8. Performans Eğrisine Dayalı Hesaplamaların Sonuçları	121

8. BAZI İŞLEM ve TASARIM DEĞİŞKENLERİNİN SINIFLANDIRICI PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ	122
8.1. Kaçak Parametresi Üzerine Etkili Olan Değişkenler	122
8.2. İşletme Parametrelerinin Kesme Boyu Parametresi Üzerine Etkisi.....	124
8.3. Rotor Alanının İşletme Parametreleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi	1266
8.4. İşletme Parametrelerinin Ayırım Keskinliği (α) Parametresi Üzerine Etkisi	128
8.5. İşletme Parametrelerinin Balık Oltası Parametresi Üzerine Etkisi.....	130
9. SONUÇLAR	132
10. ÖNERİLER.....	134
KAYNAKLAR DİZİNİ	135
EK-1	139
EK-2	148
EK-3	156
EK-4	164
EK-5	172
EK-6	180
EK-7	188

ÖZGEÇMİŞ

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Havalı sınıflandırıcıların ayırım mekanizmaları	3
Şekil 2.2. Besleme yönüne ters akım.....	4
Şekil 2.3. Beslemeyi kesen akım.....	4
Şekil 2.4. Merkezkaç – karşı akım	5
Şekil 2.5. Merkezkaç- beslemeyi kesen akım	5
Şekil 2.6. Toz tutma siklonlarının çalışma prensipleri	7
Şekil 2.7. 1D3D & 2D2D siklonlarının dizayn parametreleri	7
Şekil 2.8. Elektrofiltrelerin çalışma prensipleri.....	8
Şekil 3.1. Havalı kaskat sınıflandırıcı çeşitleri.....	12
Şekil 3.2. Merdaneli değirmen çıkışında oluşan keklerin dağıtıcı kullanılarak dağıtıldığı devre düzeni.....	13
Şekil 3.3. V-sınıflandırıcıların çalışma prensibi.....	13
Şekil 3.4. V-sınıflandırıcıların son öğütme devresinde kullanımı.....	15
Şekil 3.5. V-sınıflandırıcıların yarı-son öğütme devresinde kullanımı (Örnek 1).....	16
Şekil 3.6. V-sınıflandırıcıların yarı-son öğütme devresinde kullanımı (Örnek 2).....	16
Şekil 3.7. Akışkan yataklı sınıflandırıcılarda etkin olan kuvvetler	18
Şekil 3.8. Konik bölmeli akışkan yataklı sınıflandırıcı	19
Şekil 3.9. Konik çok bölmeli akışkan yataklı sınıflandırıcı	19
Şekil 3.10. Akışkan yataklı sınıflandırıcı	20
Şekil 3.11. Yerçekimsel Havalı Sınıflandırıcı	20
Şekil 3.12. Mumford & Moodie Sınıflandırıcıları.....	22
Şekil 3.13. Sturtevant mekanik sınıflandırıcı	22
Şekil 3.14. Sturtevant sınıflandırıcılarda taneye etkiyen kuvvetler.....	23
Şekil 3.15. Raymond mekanik sınıflandırıcı	25
Şekil 3.16. İki noktadan destekli TSU tipi turbo sınıflandırıcı.....	26
Şekil 3.17. Valsli değirmen	29
Şekil 3.18. Yüksek verimli sınıflandırıcıların sınıflandırma prensibi	30
Şekil 3.19. Hava süpürmeli TSV sınıflandırıcılar	32
Şekil 3.20. Mekanik beslemeli TSV sınıflandırıcılar	32
Şekil 3.21. Hava süpürmeli mekanik beslemeli TSV sınıflandırıcılar	33
Şekil 3.22. Sepax sınıflandırıcı.....	35
Şekil 3.23. Filtreli Sepax sınıflandırıcı devre düzeni	37
Şekil 3.24. Siklonlu Sepax sınıflandırıcı devre düzeni.....	37
Şekil 3.25. Merdaneli değirmen ve bilyalı değirmenli Sepax sınıflandırıcı devre düzeni ..	39
Şekil 3.26. Sepax sınıflandırıcı ve merdaneli değirmenli son öğütme devre düzeni.....	40
Şekil 3.27. O-Sepa sınıflandırıcı.....	41
Şekil 3.29. O-Sepa sınıflandırıcılarda etkin olan kuvvetler.....	42
Şekil 3.28. O-Sepa sınıflandırıcısının ayırma prensibi	42
Şekil 3.30. Tam havalandırmalı O-Sepa sınıflandırıcı devre düzeni.....	43
Şekil 3.31. Siklonlu O-Sepa sınıflandırıcı devre düzeni	44
Şekil 3.32. VSK sınıflandırıcıların çalışma prensibi	45
Şekil 3.33. VSK sınıflandırıcılı birleşik öğütme devresi.....	47
Şekil 3.34. VSK dinamik sınıflandırıcı performans eğrisi	48
Şekil 3.35. VSK sınıflandırıcılarda rotor hızının ürün boyuna etkisi.....	49
Şekil 3.36. Sepol sınıflandırıcı	50
Şekil 3.37. Sepol sınıflandırıcı ayırım bölgesi	51
Şekil 3.38. QDK sınıflandırıcı.....	52
Şekil 3.39. QDK sınıflandırıcılarda etkin olan kuvvetler.....	53

Şekil 3.40. QDK sınıflandırıcılarda soğutma sistemi.....	53
Şekil 4.1. İdeal ve gerçek verimlilik eğrileri	54
Şekil 4.2. Farklı veri setlerine ait gerçek verimlilik eğrileri.....	55
Şekil 4.3. Kaçak modeli.....	56
Şekil 4.4. Düzeltilmiş performans eğrileri	57
Şekil 4.5. İndirgenmiş performans eğrileri	58
Şekil 5.1. Finch eşitliğindeki parametrelerin anlamları.....	62
Şekil 5.2. Lippek ve Espig eşitliğindeki parametrelerin anlamları	65
Şekil 6.1. Hesaplamalı akışkanlar mekaniği çalışmasında kullanılan havalı sınıflandırıcı. 70	
Şekil 6.2. Hesaplamalı akışkanlar mekaniği çalışmasının sonuçları.....	70
Şekil 7.1. Ölçülen hesaplanan tane boyu değerleri.....	72
Şekil 7.2. Set Ambarlı çimento öğütme tesisi akım şeması.....	73
Şekil 7.3.a. Ölçülen ve hesaplanan tane boyu dağılımları.....	74
Şekil 7.3.b. SET Ambarlı tesisi ölçülen ve hesaplanan tane boyu dağılımları.....	75
Şekil 7.4. SET Ambarlı sınıflandırıcı gerçek performans eğrileri.....	75
Şekil 7.5. SET Ambarlı tesisi sınıflandırıcı indirgenmiş performans eğrileri	76
Şekil 7.6. Bolu çimento sanayii Kazan çimento öğütme tesisi.....	76
Şekil 7.7. Bolu Kazan tesisi ölçülen ve hesaplanan tane boyu dağılımları	77
Şekil 7.8. Bolu Kazan tesisi sınıflandırıcı gerçek performans eğrileri.....	77
Şekil 7.9. Bolu Kazan tesisi sınıflandırıcı indirgenmiş performans eğrileri	78
Şekil 7.10. Çimsa Kayseri Çimento Tesisi	78
Şekil 7.11. Çimsa Kayseri tesisi ölçülen ve hesaplanan tane boyu dağılımları.....	79
Şekil 7.12. Çimsa Kayseri tesisi sınıflandırıcı gerçek performans eğrileri	80
Şekil 7.13. Çimsa Kayseri tesisi sınıflandırıcı indirgenmiş performans eğrileri.....	80
Şekil 7.14. Çimsa Mersin Çimento Tesisi akım şeması	81
Şekil 7.15. Çimsa Mersin Çimento Tesisi akım şeması	81
Şekil 7.16. Çimsa Mersin tesisi ölçülen ve hesaplanan tane boyu dağılımları.....	82
Şekil 7.17. Çimsa Mersin tesisi sınıflandırıcı gerçek performans eğrileri	82
Şekil 7.18. Çimsa Mersin tesisi indirgenmiş performans eğrileri	83
Şekil 7.19. Antalya Özgür çimento ve beton tesisi akım şeması.....	83
Şekil 7.20. Antalya Özgür çimento ve beton tesisi akım şeması.....	84
Şekil 7.21.a. Antalya Özgür çimento tesisi ölçülen ve hesaplanan tane boyu dağılımları..	84
Şekil 7.21.b. Antalya Özgür çimento tesisi ölçülen ve hesaplanan tane boyu dağılımları..	85
Şekil 7.22. Antalya Özgür çimento tesisi sınıflandırıcı gerçek performans eğrileri	85
Şekil 7.23. Antalya Özgür çimento tesisi sınıflandırıcı indirgenmiş performans eğrileri..	85
Şekil 7.24. Çimsa Lalahan çimento öğütme tesisi akım şeması.....	86
Şekil 7.25 Çimsa Lalahan tesisi ölçülen ve hesaplanan tane boyu dağılımları	86
Şekil 7.26. Çimsa Lalahan tesisi sınıflandırıcı gerçek performans eğrileri.....	87
Şekil 7.27. Çimsa Lalahan tesisi sınıflandırıcı indirgenmiş performans eğrileri	87
Şekil 7.28. Nuh çimento tesisi akım şeması	88
Şekil 7.29.a. Nuh çimento tesisi ölçülen ve hesaplanan tane boyu dağılımları.....	89
Şekil 7.29.b. Nuh çimento tesisi ölçülen ve hesaplanan tane boyu dağılımları	90
Şekil 7.30. Nuh çimento tesisi 1 ve 2 numaralı devreler için farklı dönemlere ait sınıflandırıcı gerçek performans eğrileri	90
Şekil 7.31. Nuh çimento tesisi 1 ve 2 numaralı devreler için farklı dönemlere ait sınıflandırıcı indirgenmiş performans eğrileri.....	90
Şekil 7.32. Bolu çimento tesisi akım şeması	91
Şekil 7.33. Bolu çimento tesisi akım şeması	91
Şekil 7.34. Bolu çimento tesisi ölçülen ve hesaplanan tane boyu dağılımları.....	92
Şekil 7.35. Bolu çimento tesisi sınıflandırıcı gerçek performans eğrileri	92

Şekil 7.36. Bolu çimento tesisi sınıflandırıcı indirgenmiş performans eğrileri.....	93
Şekil 7.37. Bursa çimento tesisi akım şeması.....	93
Şekil 7.38. Bursa çimento tesisi akım şeması.....	94
Şekil 7.39.a. Bursa çimento tesisi ölçülen ve hesaplanan tane boyu dağılımları	95
Şekil 7.39.b. Bursa çimento tesisi ölçülen ve hesaplanan tane boyu dağılımları	96
Şekil 7.40. Bursa çimento tesisi M1, M2, M3 devreleri için farklı dönemlere ait sınıflandırıcı gerçek performans eğrileri	96
Şekil 7.41. Bursa çimento tesisi M1, M2, M3 devreleri için farklı dönemlere ait sınıflandırıcı indirgenmiş performans eğrileri	96
Şekil 7.42. Bursa çimento tesisi M4 devreleri için farklı dönemlere ait sınıflandırıcı gerçek performans eğrileri	97
Şekil 7.43. Bursa çimento tesisi M4 devreleri için farklı dönemlere ait sınıflandırıcı indirgenmiş performans eğrileri	97
Şekil 7.44. Adana çimento tesisi M6 ve M5 devreleri akım şeması	98
Şekil 7.45. Adana çimento tesisi M4 ve M3 devreleri akım şeması	98
Şekil 7.46. Adana çimento tesisi ölçülen ve hesaplanan tane boyu dağılımları	99
Şekil 7.47. Adana çimento tesisi M5 ve M6 devrelerinde farklı dönemlere ait sınıflandırıcı gerçek performans eğrileri.....	99
Şekil 7.48. Adana çimento tesisi M5 ve M6 devrelerinde farklı dönemlere ait sınıflandırıcı indirgenmiş performans eğrileri	100
Şekil 7.49. Adana çimento tesisi M4 ve M3 devrelerinde farklı dönemlere ait sınıflandırıcı gerçek performans eğrileri.....	100
Şekil 7.50. Adana çimento tesisi M4 ve M3 devrelerinde farklı dönemlere ait sınıflandırıcı indirgenmiş performans eğrileri	100
Şekil 7.51. Finch eşitliğinin ölçülen hesaplanan verimlilik değerleri	103
Şekil 7.52. Finch eşitliğinden hesaplanan kaçak (Rf) ile deneysel yolla hesaplanan kaçığın (C) karşılaştırılması	104
Şekil 7.53. Finch eşitliğinden hesaplanan kesme boyu (X50) ile deneysel yolla hesaplanan düzeltilmiş kesme boyunun (d50c) karşılaştırılması	104
Şekil 7.54. Plitt eşitliğinin ölçülen hesaplanan verimlilik değerleri.....	106
Şekil 7.55. Plitt (1971) eşitliğinden hesaplanan kesme boyu ile deneysel yolla hesaplanan kesme boyunun karşılaştırılması	106
Şekil 7.56. Molerus (1971) eşitliğinin ölçülen hesaplanan verimlilik değerleri	108
Şekil 7.57. Molerus (1971) eşitliğinden hesaplanan kaçak değeri ile deneysel yolla hesaplanan kaçığın karşılaştırılması	109
Şekil 7.58. Molerus eşitliğinden hesaplanan kesme boyu ile deneysel yolla hesaplanan kesme boyunun karşılaştırılması	109
Şekil 7.59. Whiten eşitliğinin ölçülen hesaplanan verimlilik değerleri.....	111
Şekil 7.60. Whiten eşitliğinden hesaplanan kaçak değeri ile deneysel yolla hesaplanan kaçığın karşılaştırılması	112
Şekil 7.61. Whiten eşitliğinden hesaplanan kesme boyu ile deneysel yolla hesaplanan kesme boyunun karşılaştırılması	112
Şekil 7.62. Lynch & Rao eşitliğinin ölçülen hesaplanan verimlilik değerleri.....	114
Şekil 7.63. Lynch & Rao eşitliğinden hesaplanan kesme boyu ile deneysel yolla hesaplanan kesme boyunun karşılaştırılması	114
Şekil 7.64. Lippek & Espig eşitliğinin ölçülen hesaplanan verimlilik değerleri.....	116
Şekil 7.65. Lippek & Espig eşitliğinden hesaplanan kaçak değeri ile deneysel yolla hesaplanan kaçığın karşılaştırılması	116
Şekil 7.66. Zhang eşitliğinin ölçülen hesaplanan verimlilik değerleri	118

Şekil 7.67. Zhang eşitliğinden hesaplanan kaçak değeri ile deneysel yolla hesaplanan kaçığın karşılaştırılması	119
Şekil 7.68. Zhang eşitliğinden hesaplanan kesme boyu değeri ile deneysel yolla hesaplanan kaçığın karşılaştırılması	119
Şekil 8.1. Sınıflandırıcı besleme tonajı ile kaçak miktarı arasındaki ilişki	122
Şekil 8.2. Hava hızının kaçak miktarı üzerine etkisi	123
Şekil 8.3. Sınıflandırıcı beslemesindeki toz yükü miktarı ile kaçak miktarı arasındaki ilişki	123
Şekil 8.4. Rotor hızı ile kesme boyu (μm) arasındaki ilişki	124
Şekil 8.5. Bütün sınıflandırıcılar için d_{50c} (μm) parametresine göre geliştirilmiş model	125
Şekil 8.6. Hava hızının kesme boyu üzerine etkisi.....	125
Şekil 8.7. Rotor alanına ait işletme parametreleri abağı.....	126
Şekil 8.8. Rotor alanı ile sınıflandırıcı besleme tonajı ilişkisi.....	127
Şekil 8.8'den anlaşılacağı gibi, sınıflandırıcı rotor alanının artması daha fazla miktarda malzemenin sınıflandırılmasına olanak tanımaktadır.....	127
Şekil 8.9. Rotor alanı ile sınıflandırıcı ürün miktarı ilişkisi	127
Şekil 8.10. Rotor alanı hava miktarı ilişkisi	128
Şekil 8.11. Sepol, Sepax, O-Sepa, QDK, SKS sınıflandırıcılarına ait indirgenmiş performans eğrileri	129
Şekil 8.12. Toz yükü ile ayırım keskinliği arasındaki ilişkisi	130
Şekil 8.13. Farklı sınıflandırıcılara ait gerçek verimlilik eğrileri	1300
Şekil 8.14. Balık oltası miktarının belirlenmesi	131
Şekil 8.15. Kaçak miktarı ile balık oltası parametresi arasındaki ilişki	131

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. KVT tipi kaskat sınıflandırıcıların işletim parametreleri	17
Çizelge 3.2. TSV sınıflandırıcıların farklı çaplardaki işletme koşulları.....	34
Çizelge 3.3. Farklı çaplara sahip Sepax sınıflandırıcılarda önerilen hava debileri	40
Çizelge 3.4. Farklı tipteki O-Sepa sınıflandırıcılara ait teknik özellikler.....	42
Çizelge 3.5. VSK sınıflandırıcıların kullanıldıkları devre çeşitleri ve tesisler.....	50
Çizelge 4.1. Gerçek verimlilik eğrisinin hesaplanması	55
Çizelge 4.2. Düzeltilmiş performans eğrisi hesap sonuçları	57
Çizelge 6.1. Zhang model çalışmalarının sonuçları	66
Çizelge 7.1. Set Ambarlı tesisi örnekleme dönemlerine ait işletme koşulları.....	73
Çizelge 7.2. Bolu çimento Kazan tesisi örnekleme dönemlerine ait işletme koşulları	76
Çizelge 7.3. Çimsa Kayseri tesisi örnekleme dönemlerine ait işletme koşulları.....	79
Çizelge 7.4. Çimsa Mersin tesisi örnekleme dönemlerine ait işletme koşulları.....	82
Çizelge 7.5. Antalya Özgür çimento örnekleme dönemlerine ait işletme koşulları	84
Çizelge 7.6. Çimsa Lalaha tesisi örnekleme dönemlerine ait işletme koşulları	86
Çizelge 7.7. Nuh çimento tesisi örnekleme dönemlerine ait işletme koşulları.....	88
Çizelge 7.8. Bolu çimento tesisi örnekleme dönemlerine ait işletme koşulları.....	92
Çizelge 7.9. Bursa çimento M1, M2, M3 devreleri için örnekleme dönemlerine ait işletme koşulları	94
Çizelge 7.10. Bursa çimento M4 devresi için örnekleme dönemlerine ait işletme koşulları	94
Çizelge 7.11. Adana çimento tesisi örnekleme dönemlerine ait işletme koşulları.....	99
Çizelge 7.12. Madde denkliği sonuçları	101
Çizelge 7.13. Doğrusal olmayan regresyon yöntemi ile hesaplanan Finch eşitliği parametreleri.....	105
Çizelge 7.14. Doğrusal olmayan regresyon yöntemi ile hesaplanan Plitt eşitliği parametreleri.....	107
Çizelge 7.15. Doğrusal olmayan regresyon yöntemi ile hesaplanan Molerus eşitliği parametreleri.....	110
Çizelge 7.16. Doğrusal olmayan regresyon yöntemi ile hesaplanan Whiten eşitliği parametreleri.....	113
Çizelge 7.17. Doğrusal olmayan regresyon yöntemi ile hesaplanan Lynch & Rao eşitliği parametreleri.....	115
Çizelge 7.18. Doğrusal olmayan regresyon yöntemi ile hesaplanan Lippek & Espig eşitliği parametreleri.....	117
Çizelge 7.19. Doğrusal olmayan regresyon yöntemi ile hesaplanan Zhang eşitliği parametreleri.....	120
Çizelge 8.1. Çimsa Kayseri çimento tesisi hava hızı ve kaçak miktarı değerleri.....	123
Çizelge 8.2. Çimsa Kayseri çimento tesisi hava hızı ve kesme boyu değerleri	125
Çizelge 8.3. Sınıflandırıcılara ait ortalama işletme değişkenleri.....	127
Çizelge 8.4. Sınıflandırıcılara ait ayırım keskinliği değerleri	130

1. GİRİŞ

Havalı sınıflandırma, farklı boylara sahip tanelerden meydana gelen kuru karışımın, ayırım boyutu genellikle 2 mm ve daha az olan ekipman içerisinde boyutlandırılması ve gruplandırılması işlemidir (Anonim, 2004). Uygulamalardaki temel amaç ürün kalitesindeki malzemenin devreyi terk etmesini sağlamak ve aşırı öğütmeyi engellemektir.

Havalı sınıflandırma 19. yüzyılın sonlarına doğru portland çimentosuna olan ihtiyacın artması ve bunu takiben tüp değirmenlerin geliştirilmesi ile birlikte önem kazanmıştır. Öğütme sistemleri, o yıllarda değirmen çıkışı gibi ince malzeme içerikli akışlarda verimli olmayan elekler yerine, verimli bir şekilde sınıflama yapacak ekipmanlara ihtiyaç duymuştur. Bu bağlamda 1885 yılında Mumford ve Moodie sınıflandırıcıları geliştirilmiştir. Bu ekipmanların ayırma prensipleri günümüz dinamik sınıflandırıcılarının temelini oluşturmaktadır. Bu sınıflandırıcıların 100 yıllık gelişimi sonucunda, ikincil ve üçüncü nesil dinamik sınıflandırıcılar geliştirilmiştir (Jardi, 2005).

Havalı sınıflandırıcılar ilaç, gıda, boya, mineral ve çimento endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Uygulamanın tipine ve istenilen ürüne bağlı olarak farklı devre çeşitleri tercih edilmektedir (Duda, 1985).

Çimento ve mineral endüstrilerinde karşılaşılan genel uygulama tipinde, havalı sınıflandırıcılar bilyalı değirmen ile kapalı devre işletilmektedirler. Bu endüstrilerde öğütme ve sınıflama işlemleri ayrı ekipmanlarda gerçekleştirilebileceği gibi dik değirmenlerin adapte edilmesi ile tek bir çatı altında da toplanabilmektedir.

İlaç endüstrisinin gereksinimi olan ince malzeme üretimi akışkan enerjili değirmen ile kapalı devre çalışan sınıflandırıcılar ile yapılmaktadır. Bu işlem tek bir ekipmanda gerçekleştirilmekte ve bu devre sistemi ile %97'sinin geçtiği tane boyu 10 µm olan ürün elde etmek mümkün olmaktadır. Bu devre tipinde ekipman içerisinde sonik ya da supersonik akış sağlamak amacı ile hava, gaz veya buhar, özel uçlardan verilmektedir. Oluşturulan bu koşullar doğrultusunda, beslenen malzeme turbulanslı akışın etkisi ile çarpışmalara maruz kalmakta ve bu çarpışmalar sonucu öğütme işlemi gerçekleştirilmektedir. Öğütme işlemi sonrasında sınıflanan ince malzeme filtre ya da siklonlarda toplanmaktadır.

Toner endüstrisinin gereksinimi olan ince malzeme de genelde akışkan enerjili değirmenler ile elde edilmektedir. Bu endüstride kullanılan sınıflandırıcılar için gerekli olan hava miktarı 1120-7200 m³/saat, besleme miktarı da 170-1080 kg/saat değerleri arasında değişmektedir (Anonim 8).

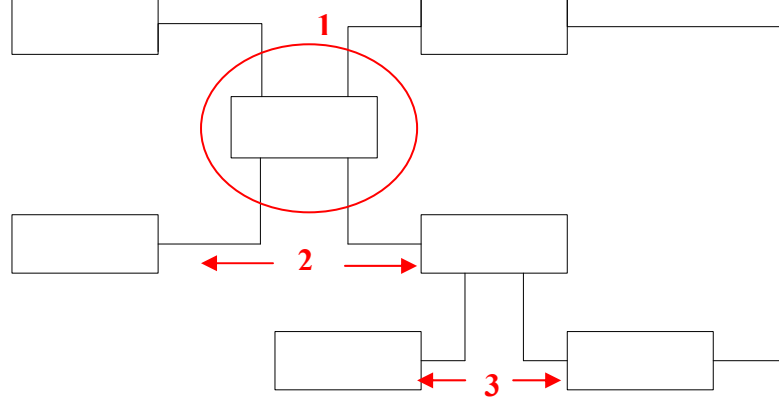
Boya endüstrisinde dolgu malzemesi olarak kullanılan kireçtaşı, mermer gibi hammaddelerin istenilen inceliklere öğütülmesi işlemi için genelde sınıflandırıcı ile kapalı devre çalışan bilyalı değirmenler tercih edilmektedir. Yapılan bu üretimde kapasite 3-6 ton/saat, ürünün %97'sinin geçtiği tane boyu ise 8-8,5 µm arasında değişmektedir (Anonim 8).

Giderek önem kazanan bir diğer uygulama alanı da nanotanelerin elde edilmesi ve sınıflandırılmasıdır. Nanotaneler, özellikle elektronik, askeri ve sağlık alanlarında büyük potansiyele sahiptir. Taneler nano boya indirildikçe optik, ısısal ve elektrik özelliklerinin mikron boyutlu tanelere göre değişkenlik göstermesi bu alana olan ilginin daha da artmasına neden olmaktadır. Bu boyuttaki taneler birçok ürünün iyileştirilmesinde ve yeni malzemelerin üretilmesinde kullanılmaktadır (Çıracı, 2005). Bu boyuttaki tanelerin üretilmesi için çok ince öğütme ve bunun sonucunda da sınıflama gerekmektedir. Hosokawa Alpine şirketi tarafından üretilen yaş çalışan AHM karıştırmalı değirmenler 10 nm boyuna kadar taneleri inceltmektedir. Bu boya kadar öğütme işleminin gerçekleştirilmesine rağmen, sınıflama ekipmanlarının %80 gibi yüksek kaçak değerlerinde çalışması öğütme-sınıflandırma sisteminin en büyük dezavantajıdır.

Ülkemizin en önde gelen sektörlerinden biri olan ve yıllık üretim miktarı 32-33 milyon ton olan çimento endüstrisinde, havalı sınıflandırıcılar yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde çimento öğütme devrelerinde yüksek verimli sınıflandırıcılar tercih edilmektedir. Yapılan tez çalışması kapsamında Sepol, Sepax, SKS, O-Sepa ve QDK sınıflandırıcılarına ait çimento öğütme devrelerinde örnekleme çalışmaları yürütülmüş ve alınan endüstriyel verilerin hatalardan arındırılması ve her akıştaki tonaj değerinin belirlenebilmesi amacıyla madde denkligi çalışmaları yürütülmüştür. Madde denkligi çalışmaları sonrasında sınıflandırıcı veri setlerine ait performans eğrileri çizilmiş ve performans eğrisini tanımlayan eşitlikler ile bu veri setlerinden bulunan veriler arasındaki uyum incelenmiştir. Çalışmanın son bölümünde ise sınıflandırıcılara ait işletme ve tasarım değişkenlerinin sınıflandırıcı performansı üzerine etkileri incelenmiştir.

2. HAVALI SINIFLANDIRICILARIN ÇALIŞMA PRENSİPLERİ

Havalı sınıflandırıcılar temel olarak beslenen malzemeyi iri ve ince ürün olarak gruplandırmaktadırlar. Bu işlem malzemenin beslenmesi, sınıflandırılması ve son ürünün alınması olmak üzere üç aşamada gerçekleşmektedir (Şekil 2.1),



Şekil 2.1. Havalı sınıflandırıcıların ayırım mekanizmaları

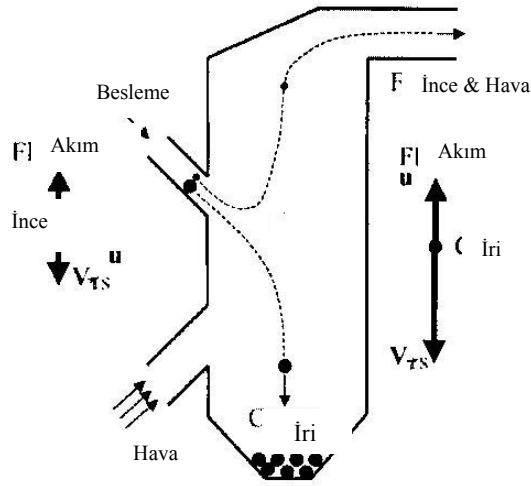
Malzeme Besleme

2.1. Malzemenin Beslenmesi

Sınıflama işlemine tabi tutulacak malzemenin hava ile sınıflandırma bölgesine beslenmesidir. Shapiro ve Galperin 2005 sınıflandırma bölgelerini besleme yönüne Malzemenin Hava Beslenmesi ters akım, beslemeyi kesen akım, merkezkaç-karşı akım, merkezkaç-beslemeyi kesen akım olarak tanımlamaktadır.

2.1.1. Besleme Yönüne Ters Akım

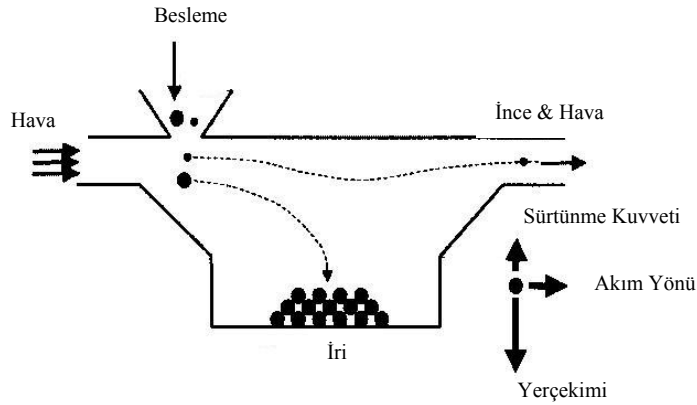
Bu tür besleme mekanizmasının kullanıldığı bölge, paralel iki yüzey arasında yükselen hava hızının bulunduğu dik bir bölmeden oluşmaktadır (Şekil 2.2). Tanelerin maruz kaldığı yerçekimi ve sürtünme kuvvetleri birbirlerine ters yönde etki etmektedirler. Hava hızından daha yüksek terminal hıza sahip taneler aşağıdan iri ürün olarak alınmakta, ince taneler ise hava ile taşınmaktadırlar. Ekipmanın kesme boyu $G = F_d$ denliğinden hesaplanmaktadır.



Şekil 2.2. Besleme yönüne ters akım

2.1.2. Beslemeyi Kesen Akım

Bu tür besleme mekanizmasının kullanıldığı bölgeye giren hava, bölme içerisinde daha geniş kesit alanından geçerek çıkışa doğru yol almaktadır (Şekil 2.3). Sıfır hızla beslenen malzeme yatay sürtünme kuvveti tarafından ivmelendirilmektedir. İri ürün alt bölmeden alınmaktayken aşağı yol alamayan ince taneler ise hava ile taşınarak çıkıştan alınmaktadır.

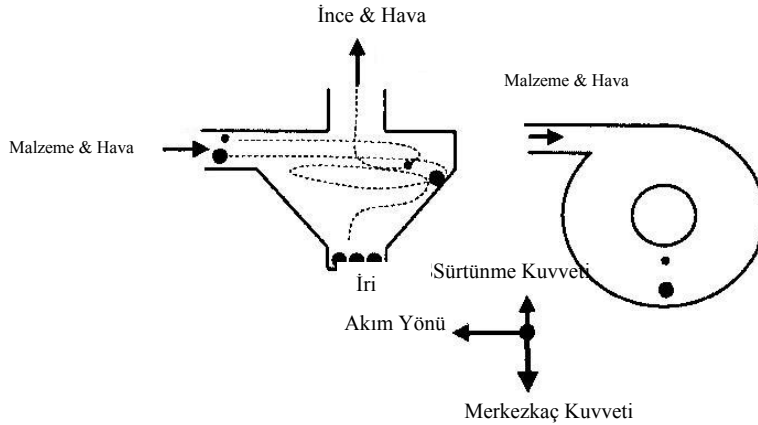


Şekil 2.3. Beslemeyi kesen akım

2.1.3. Merkezkaç-Karşı Akım

Bu tür besleme mekanizmasının kullanıldığı bölge, teğetsel besleme, merkezi çıkış ve silindirik bir bölmeden oluşmaktadır (Şekil 2.4). Hava radyal olarak bölmenin merkezine doğru malzeme ile beraber akmakta, bunun sonucunda da tanelerin

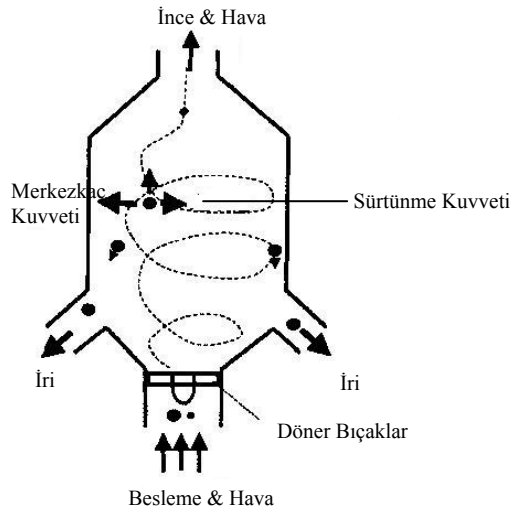
ayırım bölgesi ortaya çıkmaktadır. Ayırımında etkin olan kuvvetler yerçekimi kuvveti ve sürtünme kuvvetleridir.



Şekil 2.4. Merkezkaç – karşı akım

2.1.4. Merkezkaç-Beslemeyi Kesen Akım

Bu tür besleme mekanizmasının kullanıldığı bölgede malzeme ile hava, döner bıçaklar aracılığı ile sisteme beslenmektedir (Şekil 2.5). Bu hareket sonucu bölme içerisinde oluşan döngüsel akım sayesinde malzemeler, dönerek kenarlara doğru çapları oranında kazandıkları hızlarla sürüklenmektedirler. İri taneler kenara daha kısa sürede ulaşır ve çökmekte iken, ince tanelerde bu süre daha fazladır. Bu farklılıktan yararlanan sistemde, hava akımına karşı gelemeyen ince taneler üst ve iriler de alt akımdan alınmaktadır (Shapiro ve Galperin, 2005).



Şekil 2.5. Merkezkaç- beslemeyi kesen akım

2.2. Malzemenin Sınıflanması

Sınıflandırma işleminin bu aşamada, iri taneler, ince tanelerden ve havadan, yerçekimi, merkezkaç ve eylemsizlik kuvvetlerine karşılık gelen sürtünme kuvveti yardımıyla ayrılmaktadırlar. Taneler üzerinde etkili olan bu kuvvetler tane boyu ile doğru orantılıdır. Yerçekimi kuvveti tanelerin çapının küpü ile doğru orantılıdır. Dolayısıyla eğer taneler yeterince inceyse yerçekimi kuvvetinin etkisi azalmakta ve hava akımı yardımı ile taşınmaktadırlar. Eğer kuvvetler arası eşitlik söz konusu ise taneler denge durumunda kalmakta ve bu koşuldaki tane boyu kesme boyu olarak adlandırılmaktadır. Ayırma işlemi de d_{50} olarak adlandırılan bu değer ile kontrol edilmekte ve bu boydan daha büyük tane boyuna sahip taneler iri üründe toplanırken, daha düşük tane boyuna sahip taneler ince ürün olarak alınmaktadır. Hava türbülansı ve tanelerin birbirleriyle olan çarpışmalarından dolayı bir kısım ince taneler iri ürüne gitme eğilimindedirler. Bu durum kaçak olarak ifade edilmektedir. Sınıflandırma işleminin kalitesi de kaçak miktarının düşük olması ile belirlenmektedir (Shapiro ve Galperin, 2005).

2.3. Son Ürünün Alınması

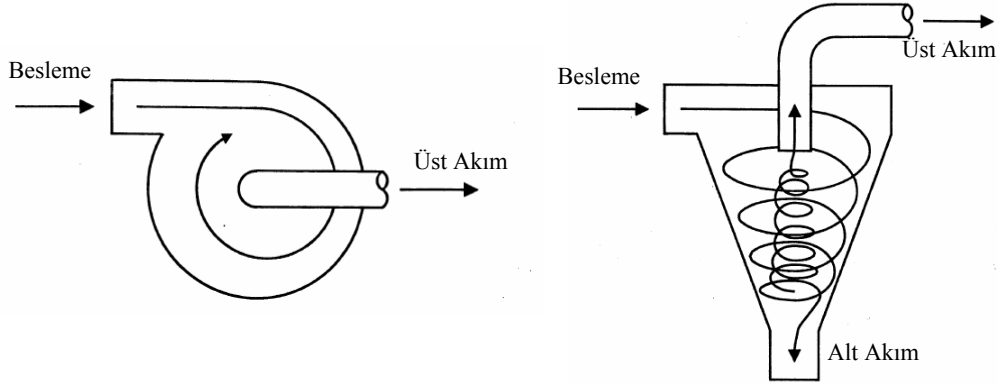
Son adımda ise ince taneler havadan ayırılmakta ve toplanmaktadırlar. Malzemedan ayrılan hava, atmosfere geri verilebilmekte (açık sistem) ya da sisteme tekrar kazandırılabilir (kapalı sistem). Filtreler ve toz tutma siklonları, endüstride bu amaç için kullanılmaktadırlar.

2.3.1. Toz Tutma Siklonları

Bu tip siklonlar, temel olarak merkezkaç kuvvetinden yararlanarak katı ve akışkanı birbirinden ayıran, basit ve düşük maliyete sahip ekipmanlardır. Malzeme içerikli hava, teğetsel olarak silindirik bölmenin üstünden ekipmana beslenmekte ve bölme içerisinde aşağı yönlü dairesel harekette bulunması sonucu merkezkaç kuvveti oluşturmaktadır. Havanın aşağı yönlü dairesel akışı sırasında, taneler siklon duvarlarına doğru itilmekte ve alt akımdan alınmakta iken akışkan üst akımdan sistemi terk etmektedir (Şekil 2.6) (Richardson, 2002).

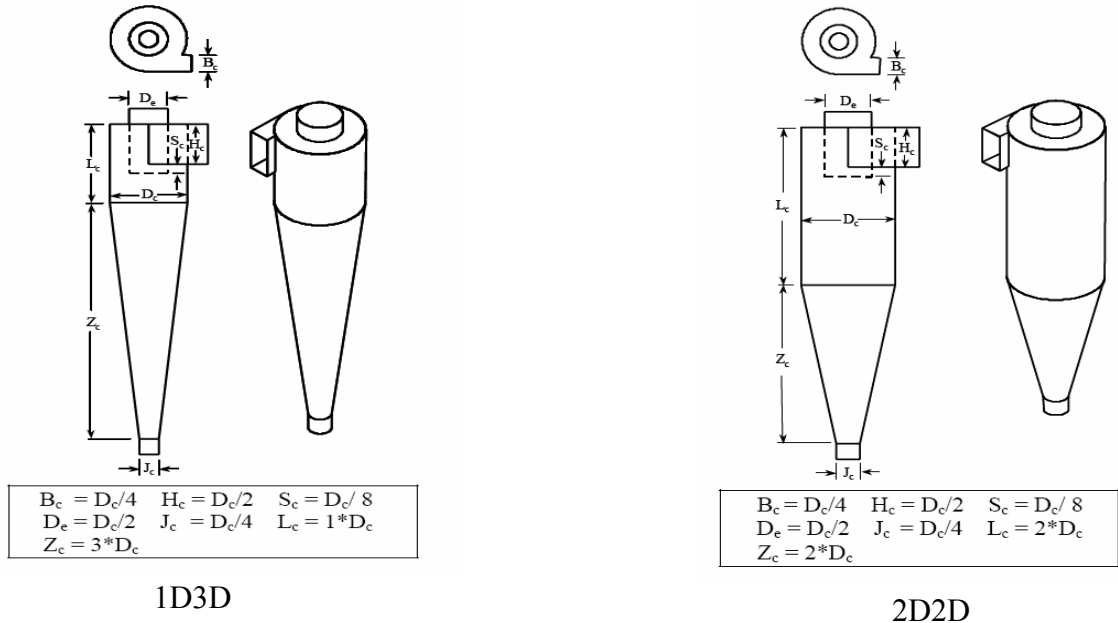
Siklonlar, tarımsal alan başta olmak üzere geniş kullanım alanına sahiptirler. Ayrıca 1980'lerin başlarında yüksek verimli havalı sınıflandırıcıların üretilmesi ile birlikte, sınıflandırıcılarla birlikte işletilmeye başlanmıştır. Buradaki kullanımında temel amaç, sınıflandırıcıda ayırım sonucu elde edilen ince malzeme ve hava

karışımının birbirinden ayrılmasını ve havanın sisteme geri kazandırılmasını sağlamaktır. Bu tip uygulamalarda kullanılan siklon toz tutucuların boyutları, uygulama tipine göre değişiklik göstermektedir.



Şekil 2.6. Toz tutma siklonlarının çalışma prensipleri

Elde edilen deneyimler doğrultusunda düşük toz yüklerinde ($0,00023-0,014 \text{ kg malzeme} / \text{m}^3 \text{ hava}$) ve yüksek basınç düşmesinde ($0,015-0,025 \text{ kg/cm}^2$) çalışan küçük çaplı siklonların toplama verimliliğinin daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Toz yükü arttıkça ekipmanın tıkanma olasılığının artması ve tane boyu, taneler üzerine etkileyen kuvvetler ve tanelerin durma zamanı gibi diğer parametrelerin de verimlilik üzerinde etkili olması bu sonucun doğmasına neden olmaktadır. Günümüzde işletilen siklonlar ($0,11-0,23 \text{ kg malzeme} / \text{m}^3 \text{ hava}$) toz yükü değerlerinde ve düşük basınç düşmesi ($0,0038-0,0076 \text{ kg/cm}^2$) değerlerinde rahatlıkla işletilebilmektedir (Wvnn vd., 2006).



Şekil 2.7. 1D3D & 2D2D siklonlarının dizayn parametreleri

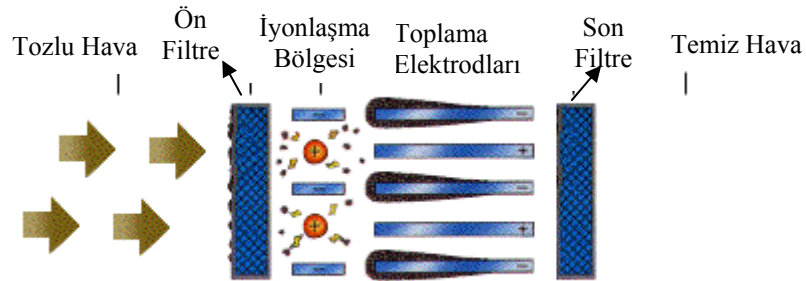
Endüstride uzun senelerdir 1D3D, 2D2D adlı iki tip siklon kullanılmaktadır. Şekil 2.7'de siklonlara ait karakteristik dizayn değerleri verilmektedir (Wang, 2003).

2.3.2. Filtreler

Filtrelerin endüstride kullanılmasındaki temel amaç, havanın içerisindeki toz tanelerini tutmak ve sistemden temiz havanın çıkmasını sağlamaktır. Günümüzde en yaygın olarak elektrofiltreler kullanılmaktadır.

Elektrofiltrelerin çalışma prensibi üç ana kısımdan oluşmaktadır. Bu aşamalar toz taneciklerine elektrik şarj edilmesi, şarj edilen taneciklerin bir elektrik alanı içerisinde toplanması, toplanan taneciklerin toplama elektrodları üzerinden ayrılması olarak tanımlanabilmektedir.

Elektrofiltrelerde negatif yüklü elektrodlar ve pozitif yüklü topraklanmış elektrodlar bulunmaktadır. Toz içerikli hava ekipmana beslendiğinde, öncelikli olarak iyonlaşma bölgesinde negatif yük ile yüklenmekte sonra da pozitif yüklü toplayıcı elektrodlar tarafından tutulmaktadır. Malzemenin ekipmandan alınması işlemi, toplayıcı elektrodların titreştirilmesi sonucu tanelerin düşmesi ile gerçekleştirilmektedir (Turgut, 1996) (Şekil 2.8) .



Şekil 2.8. Elektrofiltrelerin çalışma prensipleri

Elektrofiltreler birçok alanda kullanılmakla birlikte, havalı sınıflandırıcılardan çıkan son ürünün alınması ve havalı sınıflandırıcılarla birlikte kullanılan siklonlardan çıkan havanın temizlenmesi işlemlerinde de kullanılmaktadır.

3. HAVALI SINIFLANDIRICI TIPLERİ

Bugüne kadar birçok havalı sınıflandırıcı dizaynı geliştirilmiştir. Üretilen her ekipmanın çalışma prensibi ve teknik özellikleri farklı olduğundan, sınıflandırılması istenen farklı özelliklerdeki besleme malzemeleri için evrensel bir sınıflandırıcı dizaynı önerilememektedir. Havalı sınıflandırıcılar, yapılarına, besleme sistemlerine ve beraber işletildikleri ekipmanlara göre farklılık göstermektedir (Duda,1985).

Havalı sınıflandırıcılar dahili ya da harici aerodinamik ekipmanlarla birlikte işletilmektedirler. Önceki bölümlerde bahsedilen ve sınıflandırıcılarla birlikte işletilen toz toplayıcılar ve fanlar harici ekipmanlar olarak adlandırılmaktadır.

Havalı sınıflandırıcılar besleme sistemlerine göre de farklılık göstermektedirler. Malzeme, sisteme hava ile beraber beslenebildiği gibi ayrı olarak da beslenebilmektedir. Ayrı besleme mekanizmaları, alınan ürünün verimliliğini etkileyen faktörlerden birisi olmaktadır. Tanelerin hava ile beraber sınıflandırıcıya beslenmesi koşulunda, yerçekimi kuvvetinin havanın sürtünme kuvvetinden daha baskın olması iri tanelerin alınma verimliliğini yükseltmektedir. Tanelerin hava ile ayrı ayrı beslenmesi koşulunda ise havanın sürtünme kuvvetinin etkisi fazla olacağından ince tanelerin alınma verimliliği yükselmektedir (Shapiro ve Galperin 2005).

Sınıflandırıcılarda ayırımı sağlayan kuvvetler temel olarak yerçekimi, havanın sürtünme kuvveti, mekanik bir parça (dağıtıcı döner tabla) tarafından veya ekipman içinde oluşan hava hortumu tarafından yaratılan merkezkaç kuvveti ve tanelerin yüzeye ve birbirlerine çarpması sonucu oluşan çarpışma kuvvetleridir. Çarpışma kuvveti, rotor içeren ekipmanlarda yapılan ayırma işleminde etkili olan bir parametredir. Taneler üzerinde etkili olan bu kuvvetler sınıflandırıcı tiplerine göre farklılık göstermektedir.

Havalı sınıflandırıcılar yapısal özelliklerine göre de farklılık göstermektedir. Örneğin havanın veya hava-malzeme karışımının yönünü değiştiren ve çarpışma yüzeyleri sağlayan zigzag zeminlere sahip olan sınıflandırıcılara zigzag sınıflandırıcılar adıyla hitap edilmektedir.

Fan ve incelerin toplandığı bölgenin konumu da sınıflandırıcılarda farklılık göstermektedir. Bu iki faktör ayırım sürecini direkt olarak etkilemese de kontrol ve

dizayn açısından önemli parametrelerdir. İncelerin ekipman içerisinde toplanmasının, siklon toplayıcılarda harici olarak toplanmasına kıyasla daha az verimli olduğu bildirilmektedir (Klumpar ve Currier, 1986).

Temelde havalı sınıflandırıcılar mekanik özelliklerine göre statik ve dinamik sınıflandırıcılar olmak üzere iki başlık altında toplanmaktadır.

3.1. Statik Sınıflandırıcılar

Statik sınıflandırıcılarda hareketli parçalar bulunmamakta olup ayırım, havanın yönü ve şiddetinin değiştirilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Genellikle hava emişli değirmenlerin çıkışına yerleştirilen bu sınıflandırıcılar grit sınıflandırıcılar olarak da tanımlanabilmektedir.

Hava emişli değirmenlerde statik sınıflandırıcıların kullanılması ile değirmen içerisinden ürün boyutunda olan malzemenin çıkarılmasına katkı sağlanmakta böylelikle ana sınıflandırıcıya giden malzeme yükü de azalmaktadır. Malzeme içerikli hava sınıflandırıcıya alt bölmeden beslenmekte ve iç konik bölmeye doğru yol almaktadır. Hava ve malzeme karışımı iç konik bölmeye girerken dairesel hareket veren ayarlanabilir kanatlardan geçmektedir. Ekipman içerisinde ayarlanabilir kanatlar dışında hareketli parça bulunmamaktadır. Ayarlanabilir kanatların açısına göre taneler üzerine etkiyen merkezkaç kuvveti de farklılık göstermekte ve sonuç olarak sınıflandırıcı geri dönüşü doğrudan etkilenmektedir. Açının artırılması durumunda merkezkaç kuvvetinin etkisi artacağından daha ince ürün elde etmek mümkün olmaktadır. Buna karşılık geri dönüş miktarı artış göstermektedir (Knoflicek, 2004). Statik sınıflandırıcıların çeşitleri sonraki bölümde verilmektedir.

3.1.1. Dik-Karşıt Akımlı sınıflandırıcılar

Dik bölmeden oluşan bu sınıflandırıcılarda malzeme beslemesi ekipmanın tepesinden, yükselen hava içerisine doğru yapılmaktadır. Ucuz ve yapımı kolay olan bu sistemin en önemli dezavantajı, beslenen tanelerin hava akım rejimini bozması ve türbülansa neden olması olarak tanımlanmaktadır. Bu sınıflandırıcılar tane boyları arasında ciddi fark olan iki malzemeyi ayırmada ve iri tane boylarında kullanılmaktadırlar (Shapiro ve Galperin 2005).

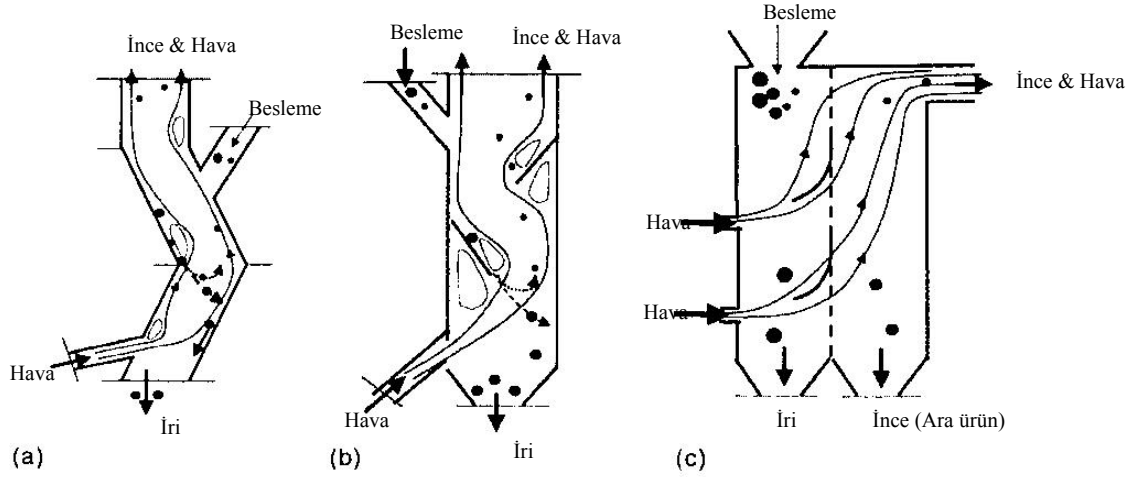
3.1.2. Havalı Kaskat Sınıflandırıcılar

Kaskat sınıflandırıcılar, zigzag sınıflandırıcı olarak da bilinmektedirler (Şekil 3.1.a). Dikdörtgen kesit alanına sahip, eğimli birkaç borunun birleşmesi ile zigzag bir yapı oluşturulmaktadır. Besleme ekipmanının tepesinden yapılmakta ve aşağıdan verilen hava ile ayırım sağlanmaktadır. Dolayısı ile ekipman içerisinde kullanılan hava hızı ayırımdaki en önemli etken olmaktadır.

Alpine tarafından demirli cevherler, gübre ve plastik sanayinde kullanılmak üzere üretilen zigzag sınıflandırıcıların kesme boyu ve kapasite değerleri sırası ile 0,1-10 mm, 1-10 ton/saat arasında değişmektedir. Ekipmanda bulunan paralel bölmelerin sayısı ise 1 ile 16 arasında değişmektedir. Bölme sayısının artması ayırım kapasitesini de arttırmakla beraber, her bölmede iri tanelerin incelerle çarparak karışması, verimliliği ve ayırım keskinliğini düşürmektedir. Ekipmanın önemli dezavantajlarından birisi olarak yüksek miktardaki basınç düşmesi (2,5-3,5 kPa) gösterilmektedir.

Kaskat sınıflandırıcıların bir diğer türü de raflı sınıflandırıcılardır (Şekil 3.1.b). Bu tip sınıflandırıcılarda zigzag yapı ekipman içerisine yerleştirilen raflar ile sağlanmaktadır. Aynı şekilde basınç düşmesi yüksek (4-5 kPa) ve enerji harcaması da fazla olmaktadır.

Kaskat sınıflandırıcıların bir diğer türünde kaskat mantığı, dik bir bölme içerisinde bölmelerin birbirinden konkav raflara sahip geçirgen bir grit ayırıcı ile ayrıldığı iki farklı çökme alanından oluşan ve havanın yatay olarak beslendiği ekipmanla birleştirilmektedir (Şekil 3.1.c). Yukarıdan beslenen malzeme üst rafa dökülürken, süzülerek düşmekte ve hava ile taşınmaktadır. Ayırma işleminden sonra iri taneler ayırım bölgesinde kalırken ince taneler çökme bölgesini terk etmektedir (Shapiro ve Galperin 2005).



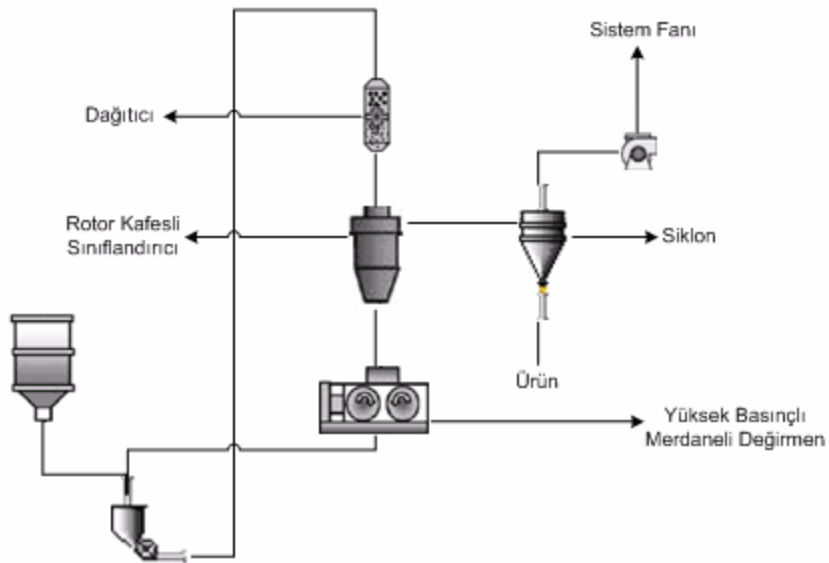
Şekil 3.1. Havalı kaskat sınıflandırıcı çeşitleri

3.1.2.1. V SINIFLANDIRICILAR

Schönert (1979)'in çalışmaları sonucunda, malzemelerin ufalanmasında sıkıştırmanın etkili bir yol olduğunun anlaşılması merdaneli değirmenlerin geliştirilmesini sağlamıştır. Bu değirmenlerde malzeme ters yönde dönen iki merdane tarafından sıkıştırılmaktadır. Bu merdanelerden birisi sabit yatağa oturtulmuşken diğeri hidrolik bir sistem aracılığı ile sabit merdaneye doğru itilmektedir. Merdaneli değirmenlerin çimento endüstrisindeki uygulamaları ise 1985'de klinker ve hammadde öğütme devrelerinde başlamıştır (Aydoğan, 2006). Merdaneli değirmenler çalışma prensipleri gereği malzemeleri sıkıştırdıklarında çıkışlarında 20-30 mm kalınlığa sahip kekler oluşturmaktadırlar (Aydoğan, 2006). İstenilen kalitedeki ürünün ekipmanı terk etmesini sağlamak dolayısı ile bir sonraki ekipmana uygun boylarda besleyebilmek için bu keklerin dağıtılması gerekmektedir.

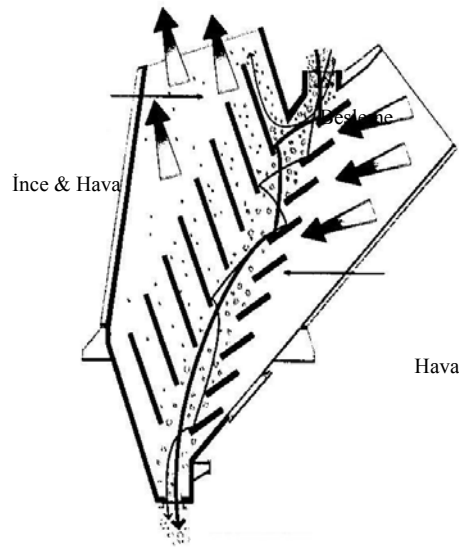
Keklerin dağıtılmasında izlenen yollardan ilki Şekil 3.2'de gösterilmektedir. Bu sistemde öğütülen malzeme dağıtıcıya taşınmaktadır. Dağıtıcıda yüksek hızlarda çalışan rotor, kekleri dağıtmakta ve ince malzemeler, sistemde bulunan rotor kafesli sınıflandırıcılarla ayrılmaktadır. Bu sistemlerde aşınma en büyük sorunu teşkil etmektedir. Boyları 30 mm'ye kadar varan taneler döner elemanlarla temas halinde olduğundan dağıtıcıda ve sınıflandırıcıda yüksek miktarda aşınmaya yol açmaktadır. Bu sistemin kurutma kapasitesinin düşük olması dezavantajlarından bir diğeridir. Dinamik sınıflandırıcıya sıcak gaz beslense dahi malzemenin

sistemde alıkonma zamanının az olması verimli bir kurutma işlemini, dolayısıyla ayırmayı engellemektedir.



Şekil 3.2. Merdaneli değirmen çıkışında oluşan keklerin dağıtıcı kullanılarak dağıtıldığı devre düzeni

Karşılaşılan bu tür sorunları çözmek amacı ile V ve VSK sınıflandırıcıları geliştirilmiştir (Strasser vd., 2003).



Şekil 3.3. V-sınıflandırıcıların çalışma prensibi

İri

Şekil 3.3'te V sınıflandırıcı gösterilmektedir. V-sınıflandırıcılarda ekipmana besleme yukarıdan yapılmakta, beslenen malzeme sınıflandırıcı merkezine doğru

yönlendirilmekte ve kaskat diyaframlara çarparak aşağı doğru yol almaktadır. Böylelikle merdaneli pres çıkışında oluşan kekler, bu çarpışmalar sonucu dağıtılmaktadır. Ayırımı sağlayan hava ise diyafram aralıklardan beslenmektedir. Sonuç olarak, yerçekimi kuvveti ve sisteme verilen hava, sınıflamayı gerçekleştiren ana unsurlar olarak öne çıkmaktadırlar. Havanın taşıyabildiği incelikteki malzemeler üst, tekrar işleme sokulacak olan iri taneler de alt bölümden alınmaktadır (Strasser vd., 1997).

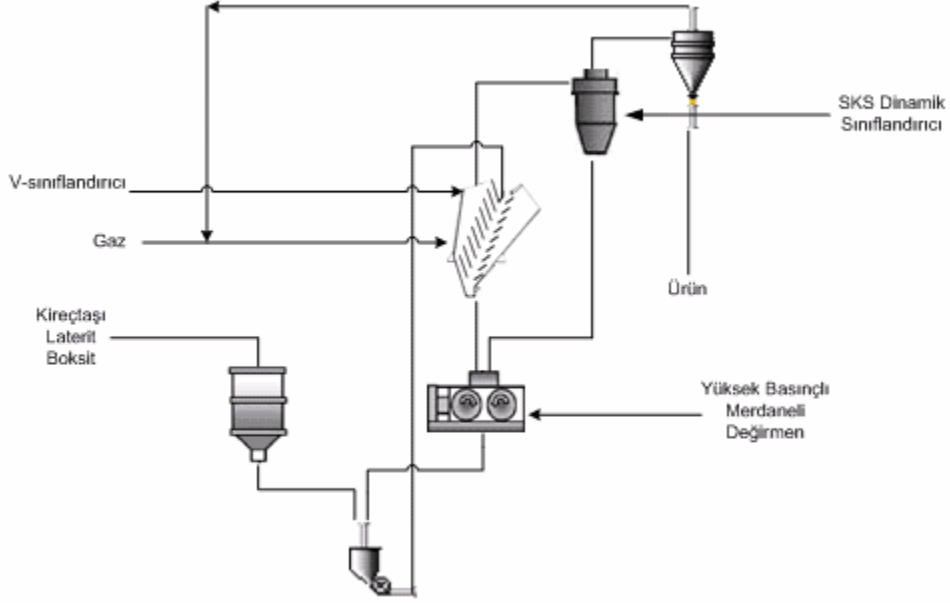
Malzemenin hava ile beraber ekipmana beslendiği sistemlerde gerek taşıma zorluklarından ve gerekse ayırma olan etkilerinden dolayı en az malzeme/hava oranı istenmektedir. Ancak, V-sınıflandırıcıların çalışma prensibi gereği besleme hızı havadan neredeyse bağımsız hale gelmektedir. Havanın malzeme yüklemesi de diğer havalı sınıflandırıcılara oranla üç kat daha fazla olmaktadır (Anonim 5).

V-sınıflandırıcılar 100 µm ile 1,5 mm kesme boyu aralığında çalışmakta olup besleme yönüne ters akım ve beslemeyi kesen akımı birleştiren sistemlerdir. Ekipmanda herhangi bir hareketli parça bulunmamaktadır. İstenilen inceliğe hava hızının ve ayırıcı bıçakların ayarlanması ile ulaşılmaktadır. Üreticilere göre ayırım işlemi sırasında malzemelerin ısıtılması ve kurutulması işlemleri de gerçekleştirilmektedir.

Bir V-sınıflandırıcıda gerçekleştirilen dört işlev aşağıda verilmektedir (Anonim 5).

- İnce malzemenin ayrılması
- Malzemenin kurutulması ve soğutulması
- Kek malzemesinin dağıtılması
- Taze beslemenin ve geri dönüş malzemesinin karıştırılması

V-sınıflandırıcıların endüstride kullanımına 1995 yılında, Hindistan'da faaliyet gösteren Rajashree çimento fabrikasında yüksek basınçlı merdaneli değirmen ile kapalı devre çalıştırılması ile başlanmıştır (Strasser vd., 1997). Tesise tane boyu olarak %85'i 35 mm altı olan, %3,5 nem içerikli ve sertliği Bond iş indeksi testine göre 14-17 kWs/t olan malzeme beslenmiştir.



Şekil 3.4. V-sınıflandırıcıların son öğütme devresinde kullanımı

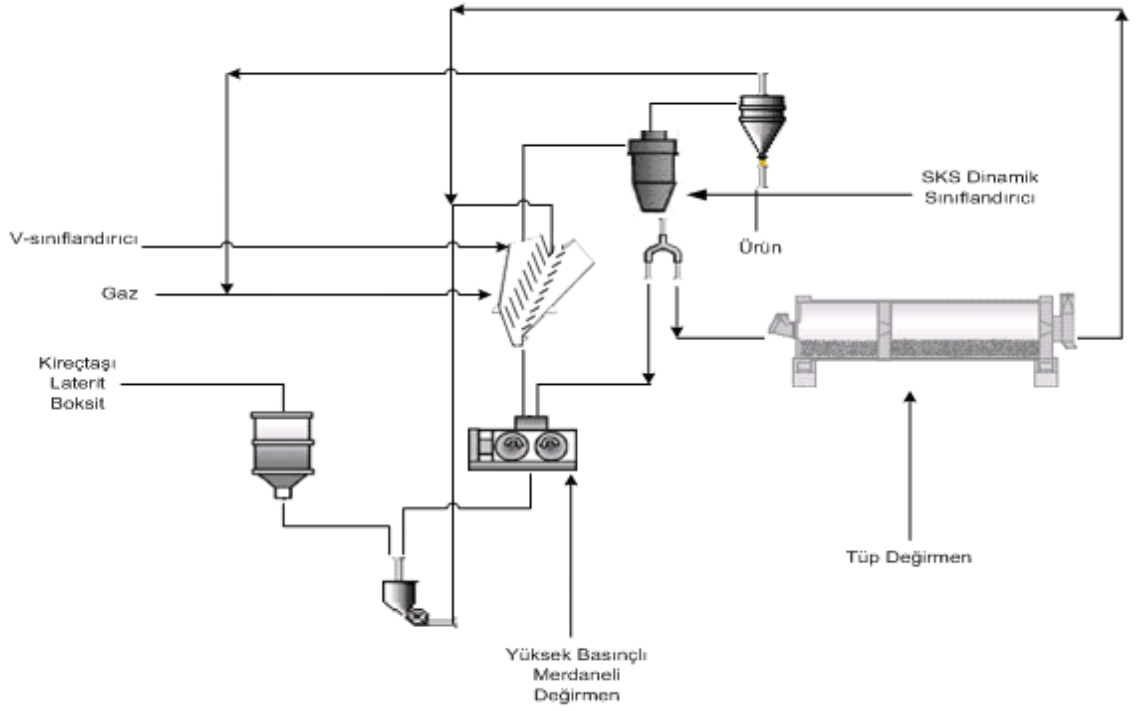
V-sınıflandırıcıları farklı devre tiplerinde işletilmektedir. Şekil 3.4'de V-sınıflandırıcı ile merdaneli presin son öğütme devresindeki kullanımı gösterilmektedir. Taze besleme ve değirmeni terk eden öğütülmüş malzeme, dağıtma, kurutma ve incelerin ayrılması işlevlerini gerçekleştiren V-sınıflandırıcıya beslenmektedir.

Şekil 3.5'te gösterilen bir diğer uygulama, yarı-son öğütme devresi olarak adlandırılmaktadır. V-sınıflandırıcı geri dönüşü ve taze besleme yüksek basınçlı merdaneli değirmene beslenmektedir. V-sınıflandırıcıyı terk eden malzeme dinamik sınıflandırıcıda sınıflandırılmaktadır. Dinamik sınıflandırıcı iri ürün çıkışı ise iki akışa bölünmekte, bir bölüm merdaneli değirmene kalanı ise bilyalı değirmene beslenmektedir. Buradaki amaç merdaneli değirmenin öğütme performansını arttırmaktır.

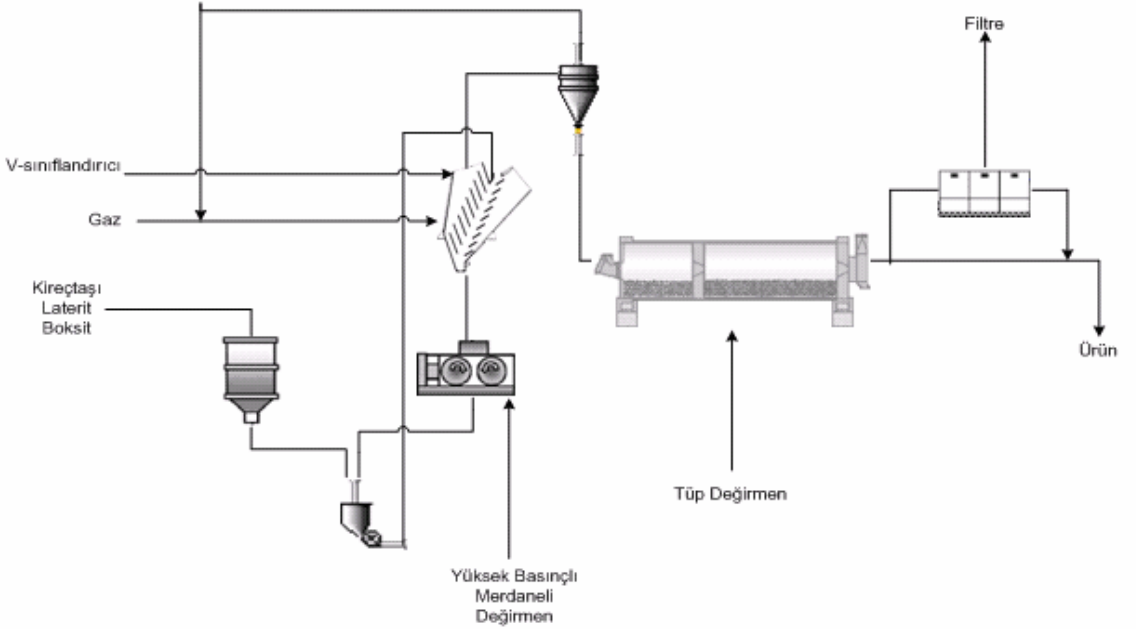
Bu iki devre tipi kapasite olarak karşılaştırıldıklarında, son öğütmedeki üretim 175 ton/saat iken, aynı devre yarı-son öğütme devresi olarak işletildiğinde üretimin 300 ton/saat'e çıktığı görülmüştür (Strasser vd., 1997).

Öte yandan, V-sınıflandırıcı Şekil 3.6'da gösterildiği gibi klinker üreten yarı-son öğütme devresinde de kullanılmıştır. Yarı-son öğütme devresi için geliştirilen akım şeması önceleri dağıtıcı ve dinamik sınıflandırıcı ekipmanlarını içerirken, V-sınıflandırıcıların bu devre türüne adapte edilmesi ile iki işlem tek ekipmanda birleştirilmiştir. Bu devre tipinde besleme malzemesi merdaneli değirmende

öğütülükten sonra V-sınıflandırıcıda sınıflandırılmakta ve sınıflandırıcı incesinin tamamı tüp değirmenlere beslenip istenilen inceliğe öğütülmektedir.



Şekil 3.5. V-sınıflandırıcıların yarı-son öğütme devresinde kullanımı (Örnek 1)



Şekil 3.6. V-sınıflandırıcıların yarı-son öğütme devresinde kullanımı (Örnek 2)

Üretici firmanın (Anonim, 2005) verilerine dayanarak çizilen V-sınıflandırıcıların işletim koşulları Çizelge 3.1'de verilmektedir.

Çizelge 3.1. KVT tipi kaskat sınıflandırıcıların işletim parametreleri

Tipi	Hava Miktarı (m ³ /saat)	Besleme malzeme miktarı (ton/saat)	Malzeme Giriş Yeri Sayısı
KVT 300	12000	40	1
KVT 400	20000	70	1
KVT 500	28000	100	1
KVT 600	40000	140	1
KVT 700	50000	170	1
KVT 800	60000	200	1
KVT 900	70000	240	1
KVT 1000	85000	280	1
KVT 1100	100000	330	1
KVT 1200	110000	360	1
KVT 1300	120000	390	1
KVT 1400	130000	420	2
KVT 1600	160000	500	2
KVT 1800	180000	600	2
KVT 2000	200000	670	2
KVT 2200	220000	740	2
KVT 2400	240000	800	2
KVT 2600	260000	870	2
KVT 2800	280000	940	3
KVT 3000	300000	1000	3

3.1.3. Akışkan Yataklı Sınıflandırıcılar

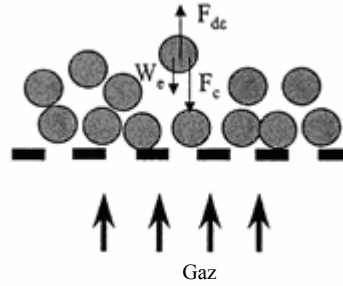
Akışkan yataklı sınıflandırıcılar endüstride kurutma, filtrasyon ve topaklanma gibi katı-gaz sistemleri olmak üzere geniş kullanım alanına sahiptirler. Stevens vd., (2001) akışkan yatakların diğer katı/akışkan ayırma işlemlerine göre avantajlarını yüksek kütle ve ısı transfer hızı, sıcaklık homojenizasyonu ve tanelerin yüksek akışkanlığı olarak sıralamaktadır.

Bu tip sınıflandırıcıların çalışmasında önemli bir unsur olan akışkan davranışının üzerine yapılan deneysel çalışmaların sonuçları akışkan davranışının, malzeme tane boyuna ve akışkanın cinsine göre şiddetli bir şekilde değiştiğini göstermektedir. Kwauk (1948), Jackson (1963), Rietema (1973) tarafından yürütülmüş olan deneysel çalışmaların detayları aşağıda verilmektedir (Stevens vd., 2001).

Kwauk (1948) katının sıvı veya gaz ile akışkan yataklanmasının duraylılığını tanımlamaktadır. Froude sayısına bağlı olarak tanımlanan davranışlar sonucunda taneli ve topaklanmış akışkan olmak üzere iki çeşit akışkanlaştırma gözlemlenmektedir. Katı-sıvı deneyleri sırasında gözlemlenen taneli akışkanlaştırmada, taneler gaz molekülleri gibi davranmakta ve topaklanma

olmadan homojen bir yatak oluşturmaktadır. Katı-hava deneylerinde gözlemlenen topaklanmalı akışkanlaştırmada, taneler topak olarak kalmakta ve heterojen bir yatak oluşturmaktadır. Jackson (1963) tarafından, gaz ve katı fazları için, akışkan yatakta taneler arasında kuvvetler etkileşimi olmadan yatağın duraysız olacağını gösteren bir eşitlik geliştirilmiştir. Rietema (1973) ise birbirleri ile temas halinde olan tanelerin arasındaki bağlayıcı kuvvetin, yatağı duraylı yapabileceğini göstermektedir.

Yapılan birçok çalışma, tane-tane ve akışkan-tane arası etkileşimlerin akışkanlaştırma kalitesini doğrudan etkilediğini göstermektedir. Tane boyu ve yoğunluğu, akışkanın viskozitesi ve yoğunluğu, yerçekimi kuvveti ve çekim kuvvetleri, kaliteyi ve duraylılığı etkileyen parametreler olarak tanımlanmaktadır.

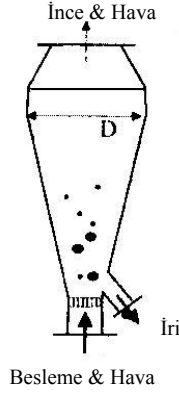


Şekil 3.7. Akışkan yataklı sınıflandırıcılarda etkin olan kuvvetler

Şekil 3.7.'de akışkan yatakta taneleri etkileyen kuvvetler gösterilmektedir. F_d sürtünme kuvvetini, F_c çekim kuvvetini ve W_e tanenin etkin ağırlığını temsil etmektedir (Stevens vd., 2001).

Akışkan yataklı sınıflandırıcılarda ayırım, yatağın üzerindeki boşlukta, tanenin ağırlığı, taneler arası çekim kuvveti ve küresel tane üzerindeki kaldırma kuvvetlerinin birleşkesi uyarınca gerçekleşmektedir. Bu tip sınıflandırıcılarda etkin olan beslemeye karşı akım ayırma prensibi, tanelerin ekipman içerisinde beklemeye sürelerini artırmak için kullanılmaktadır.

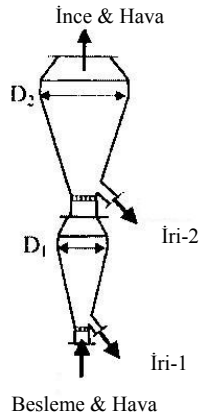
İri tanelerin yatak üzerinde yatay hareket ederek sistemi terk etmesi bu sistemin bir avantajı olarak gösterilmektedir (Shapiro ve Galperin, 2005).



Şekil 3.8. Konik bölmeli akışkan yataklı sınıflandırıcı

Şekil 3.8'de konik bir bölme içerisine geçirgen ızgara aracılığı ile aşağıdan besleme yapılan akışkan yataklı sınıflandırıcı gösterilmektedir. Sisteme beslenen hava, bütün taneleri konik bölmeye taşıyacak derecede yüksek hızlarda verilmektedir. Havanın taşıyabildiği ince taneler, sistemi üst akımdan terk etmekte, iri taneler ızgaraya dönmekte ve alt akımdan alınmaktadır. Konik bölmenin üst çapı (D), hava hızının iri tanelerin terminal hızını geçemeyeceği şekilde seçilmektedir.

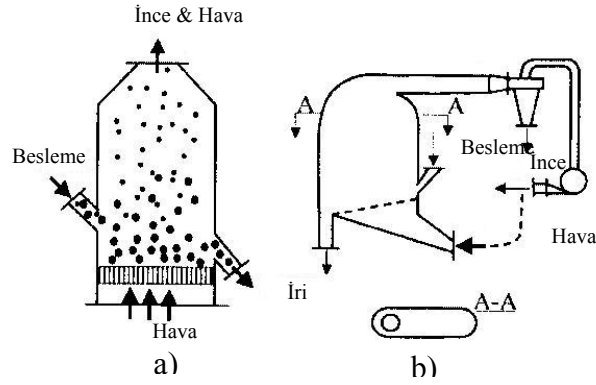
Geçirgen ızgaralı sistem birden fazla konik bölmenin birleşmesine olanak tanımaktadır (Şekil 3.9). Bu sistemlerde her bölmedeki hava hızlarındaki farklılıktan dolayı alınan ürünler de farklılık göstermektedir (Shapiro ve Galperin, 2005).



Şekil 3.9. Konik çok bölmeli akışkan yataklı sınıflandırıcı

Akışkan yataklı sınıflandırıcıların bir sonraki gelişiminde malzeme ızgaraya üstten beslenmektedir (Şekil 3.10.a). Bu tip sınıflandırıcı için konik veya silindirik çapı

350-1700 mm, üretim kapasitesi 0,5-10 ton/saat, iri ürün verimi %75-92 arasında değişen ekipmanlar geliştirilmiştir.

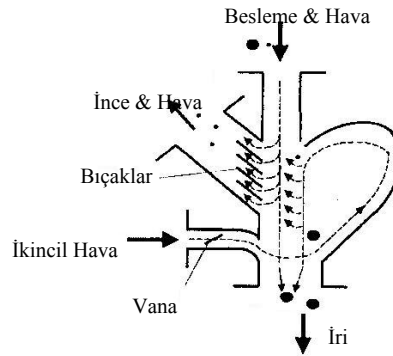


Şekil 3.10. Akışkan yataklı sınıflandırıcı

Geniş silindirik bölme çapına sahip akışkan yataklı sınıflandırıcılarda karşılaşılan en büyük sorun, tanelerin hareket etmediği ölü bölgelerin oluşmasıdır. Karşılaşılan bu dezavantaj Şekil 3.10.b'de gösterilen, 40 ton/saat üretime ve 160 µm kesme boyuna sahip ekipmanların yapılması ile giderilmiştir (Shapiro ve Galperin, 2005).

3.1.4. Yerçekimsel Havalı Sınıflandırıcılar

Bu tip sınıflandırıcılar arasında en bilineni Franken veya Vandenhock sınıflandırıcılarıdır. Malzeme hava karışımı üstten beslenmekte ve yerçekiminin etkisi ile yoluna devam ederken, ekipmana verilen ikincil bir hava ile ayırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu ekipmanlar özellikle çok ince malzemelerin sınıflandırılmasında kullanılmaktadır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Yerçekimsel Havalı Sınıflandırıcı

Buell şirketi tarafından üretilen bu sınıflandırıcı tipinde, 300 µm ile 75 µm arası malzemeleri etkin ayırmak için yerçekimsel, eylemsizlik, merkezkaç ve aerodinamik kuvvetleri birleştirilmektedir (Bateman, 2006). Üretilen bu ekipmanın

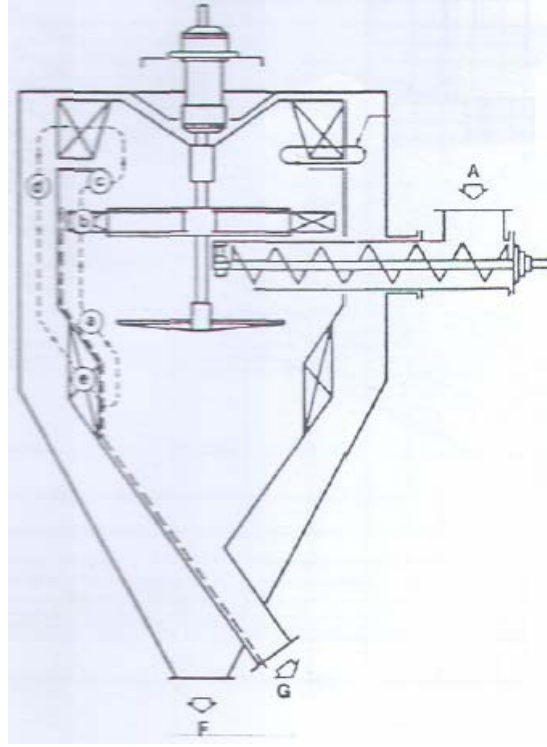
kireçtaşındaki uygulamasında, 150 µm kesme boyunda 600 ton/saat üretim kapasitesine ulaşılmaktadır (Shapiro ve Galperin, 2005).

3.2. Dinamik Sınıflandırıcılar

Dinamik sınıflandırıcılar temelde dağıtıcı ve ayırıcı görevi gören rotor ile ekipmana hava sağlayan dahili ya da harici fandan oluşmaktadır (Duda, 1985). Bu sınıflandırıcılarda da ayırım, gelen malzemenin işletim parametreleri ile iri ve ince malzeme içerikli iki ayrı akışa bölünmesi ile gerçekleşmektedir. Dinamik sınıflandırıcılar birinci, ikinci ve üçüncü nesil olarak gruplandırılmaktadırlar.

3.2.1. Birinci Nesil Dinamik Sınıflandırıcılar

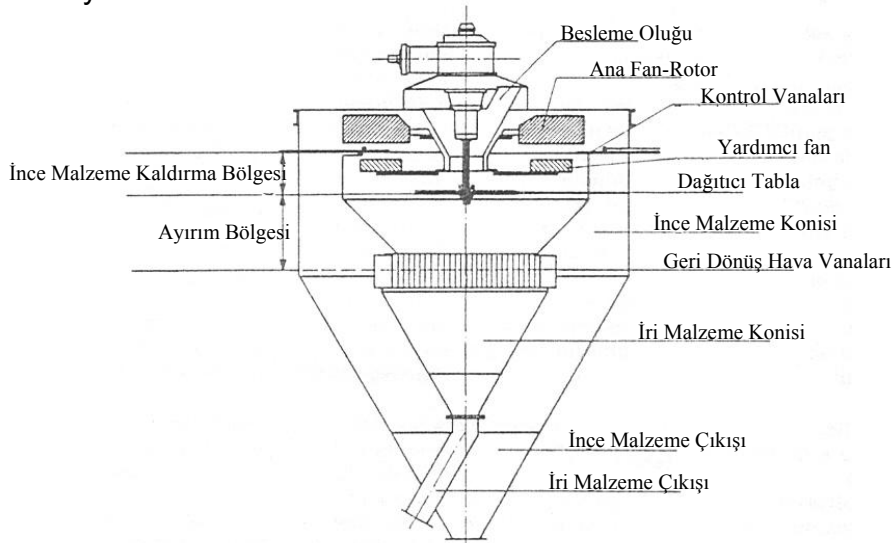
Birinci nesil sınıflandırıcılar çimento endüstrisinde geniş kullanım alanı bulmuştur. Bu tip sınıflandırıcıların ilki 1885 yılında patenti alınan Mumford ve Moodie sınıflandırıcılarıdır (Şekil 3.12) (Pastala, 1975). Ekipmanda sınıflanacak olan malzeme, mekanik besleyici ile (A) dağıtıcı tablanın merkezine beslenmektedir. Beslenen taneler, tablanın dönme hareketi ile dışarı doğru savrulmakta, bu bölgeyi terk ettikten sonra da sınıflandırıcı fanı tarafından yaratılan havanın etkisine maruz kalmaktadırlar. Dolayısı ile ilk sınıflama bu bölgede gerçekleşmektedir. Havanın taşıyabileceği inceliğe sahip taneler, ayırıcı bıçaklara sahip yardımcı fanın bulunduğu (b) ikincil sınıflama bölgesine taşınmaktadırlar. Bu bölgede iri ve ağır taneler reddedilirken, ince ve hafif taneler ise hava ile son sınıflama işleminin gerçekleştirileceği (c) üst bölmeye taşınmaktadırlar. Bu bölgede havanın yönünün değişmesi ile birlikte son sınıflama işlemi gerçekleştirilmektedir. Bütün bu aşamalardan geçen taneler ise dış konik bölmeye geçerek (d) çökelmektedirler (Pastala, 1975). Ekipmanda iri taneler G bölümünden, ince taneler ise F bölgesinden alınmaktadır. Son olarak ekipman içerisindeki hava (e) bölgesinden geçerek devrini tamamlamaktadır.



Şekil 3.12. Mumford & Moodie Sınıflandırıcısı

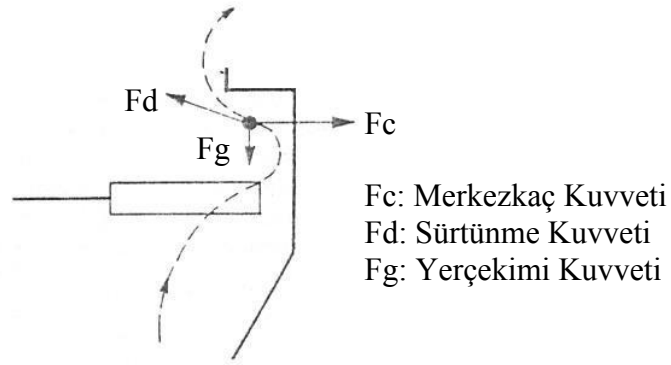
3.2.1.1. Sturtevant Sınıflandırıcıları

Sturtevant SD sınıflandırıcılara (Şekil 3.13) besleme, döner tablanın merkezinden yapılmaktadır. Döner tabla, hareketli bir parça olduğundan merkezkaç kuvveti oluşturarak, tanelerin merkezden uzaklaştırmaktadır. Tablayla olan etkileşim sonrası taneler açısız olarak ivmelendirilmektedir. Taneler açısız hız kazandıklarında, merkezkaç kuvvetinin etkisiyle tabla kenarına doğru, düzlemi terk ettikleri noktaya sürüklenmektedir.



Şekil 3.13. Sturtevant mekanik sınıflandırıcı

Döner tablayı terk eden malzemeler üç kuvvetin etkisine maruz kalmaktadır. Bu kuvvetler ayırımı sağlayan hava hızı (miktarı) ve tabla dönüş hızı gibi işletim değişkenleri tarafından yaratılan merkezkaç kuvveti, hava akımının yarattığı sürtünme kuvveti ve yerçekimi kuvvetidir (Şekil 3.14). Dağıtıcı tabla tarafından yaratılan merkezkaç kuvveti tanenin hacmi ile yani ortalama boyun küpüyle doğru orantılıdır. Tane üzerine etkiyen hava akımı ise tanelerin hava akımı içerisinde yarattığı yüzey ile, dolayısıyla ortalama tane boyunun karesiyle doğru orantılıdır (Klumpar ve Currier, 1986).



Şekil 3.14. Sturtevant sınıflandırıcılarda taneye etkiyen kuvvetler

Ağır ve iri taneler, dağıtıcı tabla tarafından fırlatılıp çepere çarptırıldıktan sonra hızlarını kaybetmekte ve yerçekimi etkisi ile geri dönüş konisine çökmektedir (Anonim 6). İnce ve hafif taneler, iri taneler kadar uzağa gidemediklerinden, ana sirkülasyon fanı tarafından üretilen yükselen hava akımının etkisiyle üst bölmeye taşınmakta ve ana fan ile yardımcı fan arasındaki bıçaklardan geçirilip ince tanelerin toplandığı konik bölmeye alınmaktadır.

Malzemenin geçtiği bıçak açıklıklarının sayısı, boyutları ve tanelerin bu açıklıklardan geçiş hızları inceliği etkileyen ve kontrol eden değişkenlerdir. Ekipman içerisinde bıçak açıklıklarının değişimi anafan ile yardımcı fan arasına yerleştirilmiş kontrol vanaları ile sağlanmaktadır. Ana fanın girişindeki açıklıkları değiştirmek için bu vanalar içeri ya da dışarı doğru hareket ettirebilmektedir. Vanaların içeri doğru hareketi, açıklıkları küçültmekte ve ana fandan geçen hava debisini düşürmektedir. Böylece daha ince tanelerin seçilimini mümkün kılmaktadır (Anonim 6).

Ayırım bölgesinin altında hava vanaları bulunmaktadır. Ana fan, hava akımını, incelerin bulunduğu konik bölmeden ayırım bölmesine bu vanalar aracılığı ile

aktarmaktadır. İnce tanelerin hava akımından ayrılması işlemi de bu noktada hava hızının düşürülmesi veya yönünün değiştirilmesi ile gerçekleştirilmektedir.

Ana fan sınıflandırıcıda sürekli bir hava sirkülasyonunun gerçekleşmesini sağlamaktadır. İçeri çekilen hava, sınıflandırma bölgesinden geçerek yükselmekte, geri dönüş hava vanalarından geçip ince malzeme konisinden geçerek sınıflandırma bölgesine tekrar ulaşınca sirkülasyonunu tamamlamaktadır (Duda, 1985).

Bu sınıflandırıcılarda tercih edilecek olan işletim koşulları, malzemenin yoğunluğuna, istenilen ürünün boyuna, beslenen malzemedeki ince malzeme miktarına bağlı olmaktadır. Ekipmandan alınacak ürün tane boyuna etkileyen değişkenler aşağıda verilmektedir (Duda, 1985),

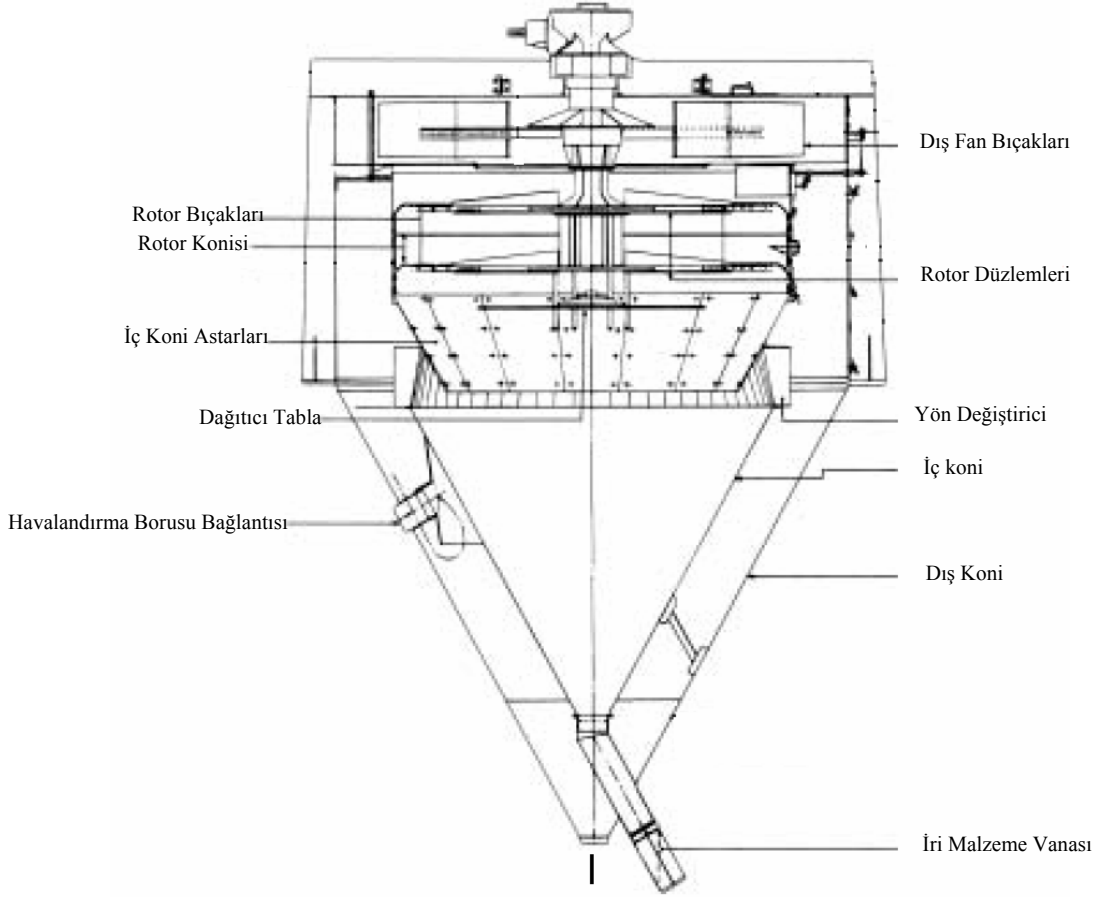
- İç gövde kapağının altındaki kontrol vanaları.
- Ana fan ayarı.
- Çalışma hızı.
- Bıçak sayısı.

3.2.1.2. Raymond Mekanik Sınıflandırıcıları

Üreticilere göre Raymond sınıflandırıcıları (Şekil 3.15) kapalı ve açık devre olarak işletilebilmekte, kurutma ve soğutma işlemlerini gerçekleştirebilmekte, ayrıca tek veya çift rotor seçenekleri ile ince taneleri daha hızlı ve iri taneleri de daha etkili ayırabilmektedir. Bu sınıflandırıcıların çalışma prensipleri Sturtevant sınıflandırıcılar ile benzerdir.

Sınıflandırıcıya yapılan besleme, sınıflandırıcının üstünde bulunan boru aracılığı ile dağıtıcı döner tablanın merkezine yapılmaktadır. Bu tabla, fan tarafından ortama verilen hava içerisinde malzemenin dağıtılmasını sağlamak ve taneler üzerinde merkezkaç kuvveti oluşturmaktadır.

Sturtevant sınıflandırıcılarda olduğu gibi tablanın yarattığı bu hareket sonrası savrulan iri taneler, yerçekimi kuvvetinin etkisi ile iç konik bölmenin altındaki çıkıştan alınmaktadır. İstenilen incelikteki taneleri taşıyan hava akımı da fandan geçerek son ürünün alındığı dış konik bölmeye gönderilmektedir. Burada tanelerden ayrılan hava, yön değiştirici kanatların bulunduğu yerden sisteme tekrar verilmektedir (Anonim 7).



Şekil 3.15. Raymond mekanik sınıflandırıcı

3.2.2. İkinci Nesil Dinamik Sınıflandırıcılar

3.2.2.1. Turbo Sınıflandırıcı (Krupp Polysius AG)

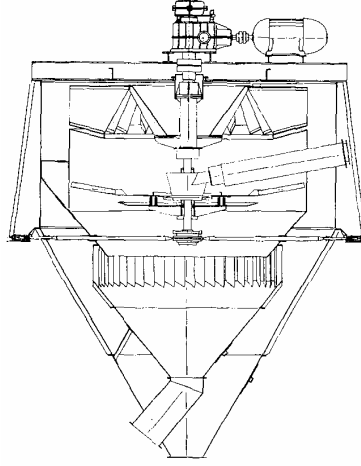
Birinci nesil dinamik sınıflandırıcıların maliyetlerinin düşük olmasına karşın, verimliliklerinin de yüksek miktarda kaçak nedeniyle düşük olması yeni sınıflandırıcı dizaynına gidilmesine neden olmuştur.

Geliştirilen Turbopol sınıflandırıcılarda sisteme yardımcı bir fan eklenmiştir. Bu sınıflandırıcılarda yardımcı fan, ayrı bir tahrik sistemi tarafından kontrol edilmektedir. Ekipmanda bulunan ana ve yardımcı fanların çevresel hızları 40 m/sn ve 18-30 m/sn olarak tasarlanmıştır. Sınıflandırıcı, ürün inceliğinin 250-550 m²/kg yüzey alanı arasında değiştirilmesine olanak tanımıştır (Jardi, 2005).

Ekipmana besleme, iç konik bölmenin üst kısmından yapılmakta ve yerçekimi kuvvetinin etkisi ile döner tablanın üzerine düşmektedir. Tablanın etkisi ile merkezkaç kuvvetine maruz kalan taneler yükselen havanın bulunduğu tabla ve çeper arasındaki bölgeye fırlatılmaktadır. Havanın kaldırabileceği incelikteki

taneler iç konik bölmeden alınıp ayırım bölgesine taşınmaktadır. Ayırım işlemi; merkezkaç kuvveti, yerçekimi kuvveti ve havanın sürtünme kuvvetinin bileşkesine göre yapılmaktadır. Merkezkaç kuvvetinin sürtünme kuvvetinden daha baskın olduğu tane boylarında, taneler çepere çarpmakta ve geri dönüş akışına gönderilmektedir. Sürtünme kuvvetinin merkezkaç kuvvetinden baskın olduğu tane boylarında ise taneler hava ile birlikte fan tarafından dış konik bölmeye alınmaktadır. Bu bölgede ince tanelerin alınabilmesi için hava hızı düşürülmektedir (Knoflicek, 2004).

Ekipmanda bulunan döner parçalar da esnek, iki noktadan destekli sistemle tutulur. Sınıflandırıcı verimliliğini arttırmak için sınıflandırıcı beslemesinin dağıtıcı tabla üzerinden dairesel ayırım bölgesine düzenli aktarılmasını sağlayan bir besleme sistemi geliştirilmiştir (Duda, 1985) (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. İki noktadan destekli TSU tipi turbo sınıflandırıcı

3.2.2.2. Siklon Sınıflandırıcılar (KHD Humboldt Wedag AG)

İkinci nesil dinamik sınıflandırıcılarda getirilen diğer bir yenilik ise ince malzemenin hava akımından ayrılmasına olanak tanıyan toz tutma siklonlarının ekipmana eklenmesi ve ana fanın sınıflandırıcı gövdesinin dışına alınmasıdır. Siklon sınıflandırıcılarda sınıflandırıcıyı terk eden hava, ekipman etrafında bulunan siklon serilerine teğetsel olarak verilmektedir. Siklonlar ince malzemelerin ayrılmasında konik bölmelere nazaran daha etkilidir.

Sınıflandırıcıya getirilen bu yenilikler sonucunda turbo sınıflandırıcılara oranla toz yüklerinde azalma olmuş, kaçak miktarı düşürülmüş ve ayırım keskinliği arttırılmıştır (Knoflicek, 2004).

Bu tip sınıflandırıcılarla, ince tane boylarında 500 ton/saat üretim kapasitesine ulaşmak mümkün olmaktadır. Sınıflandırıcıda gerçekleştirilen ayırımda dağıtıcı tabla ve sisteme verilen hava miktarı etkili parametrelerdir (Duda, 1985).

Üreticiye göre ekipmanın avantajları,

- Ayırım bölgesindeki malzeme yükü, ince ürün üretimi 500 ton/saat olacak şekilde arttırılabilmektedir.
- Sınıflandırıcı beslemesindeki değişiklikler ürünün inceliğini değiştirmemektedir.
- Devreden yük miktarı azaldığından dolayı sınıflandırıcı neredeyse titreşim olmadan çalışmaktadır.
- Dışarı yerleştirilen fan sınıflandırıcı içerisindeki çalışmasına kıyasla daha verimli olmaktadır.
- Sınıflandırıcının çalışması sırasında istenilen incelik, yardımcı fan hızının ve hava miktarının değiştirilmesi ile elde edilebilmektedir.

3.2.2.3. Siklon Sınıflandırıcılar CYCLOPOL (Polysius)

Bu tip sınıflandırıcıların en büyüğü 210 ton/saat üretim kapasitesine sahiptir. Malzeme sınıflandırıcıya yatay olarak hava ile beraber beslenmekte ve dağıtıcı tabla tarafından ayırım bölgesi içinde düzgün olarak dağıtılmaktadır. Ekipmana bağlanan harici fan ile tanelerin ayırım bölgesi içinde yerçekimi ve hava akımının etkisi ile iri ve ince olarak sınıflandırılmasını sağlayacak gerekli hava üretilmektedir. İnceler hava akımı ile sürüklenip ve siklonlar içinde çökelmektedir. Malzemeden arındırılmış hava ise sınıflandırıcıya tekrar verilmektedir (Duda, 1985). İncelik, dağıtıcı tablanın, hava vanalarının ve dolayısı ile hava akımının akış hızının değiştirilmesi ile kontrol edilmektedir.

3.2.3. Yüksek Verimli Sınıflandırıcılar

Statik sınıflandırıcıların, birinci ve ikinci nesil dinamik sınıflandırıcılarının ardından yüksek verimli tipte olanları (üçüncü nesil sınıflandırıcı) geliştirilmiştir. 1980'li yılların başında geliştirilmiş olan bu sınıflandırıcı tipi ile birlikte, çimento kalitesi yükseltilmiş, üretim miktarı arttırılmış ve kullanılan enerji miktarı azaltılmıştır (Detwiler, 1995).

Yüksek verimli sınıflandırıcıların çalışma prensipleri geleneksel sınıflandırıcılarla aynıdır. Ancak, bu tip sınıflandırıcılarda kontrol daha kolay sağlanmaktadır.

Ekipman temelde, rotor kafesi, havayı yönlendiren kanatlar ve havayı sağlayan harici fanları içermektedir.

Kapalı devre çalışan öğütme ve sınıflandırma sistemlerinde kullanılan geleneksel sınıflandırıcılar çoğunlukla yüksek miktarda kaçakla çalışmak ve ayrıca verimlilik eğrilerinin de yeterli keskinlikte olmamasından dolayı iyi ayırım yapamadıkları anlaşılmıştır. Bu tip sınıflandırıcılarda görülen düşük performansın sebepleri aşağıda sıralanmaktadır (Onuma ve Ito, 1994),

- Dağıtma işleminin tamamlanamaması ve taneler arasındaki etkileşimin fazla olmasından dolayı tanelerin bağlı kütleler gibi davranıp kaçağa neden olmaları.
- Sınıflandırmada etkili olan kuvvetlerin ve tanelerin izleyeceği yolun belirsiz olması, dolayısıyla kesme boyunun sınıflandırıcı bölgelerine göre değişiklik göstermesi.
- İnce tanelerin toplanması işleminin tam olarak gerçekleştirilememesi ve sonuç olarak sınıflandırıcıya geri gönderilmeleri.

Yukarıda sayılan sebeplerden sonuncusu, siklon sınıflandırıcıların devreye sokulması ile çözümlenirken birinci ve ikinci sorunlar çözümlenememiştir. Bu dezavantajlar içerisinde olan kaçak miktarı, düşük malzeme-hava oranı tutturularak veya yüksek hava miktarında çalışan yüksek hacimli sınıflandırıcılar kullanılarak azaltılabilirken, kuvvetler dengesindeki ve tane yörüngesindeki belirsizlikler bu yöntemler ile ortadan kaldırılamamıştır. Yüksek verimli sınıflandırıcı fikri de bu noktadan yola çıkarak doğmuştur. Faydaları şöyle sıralanmaktadır (Brugan, 1988),

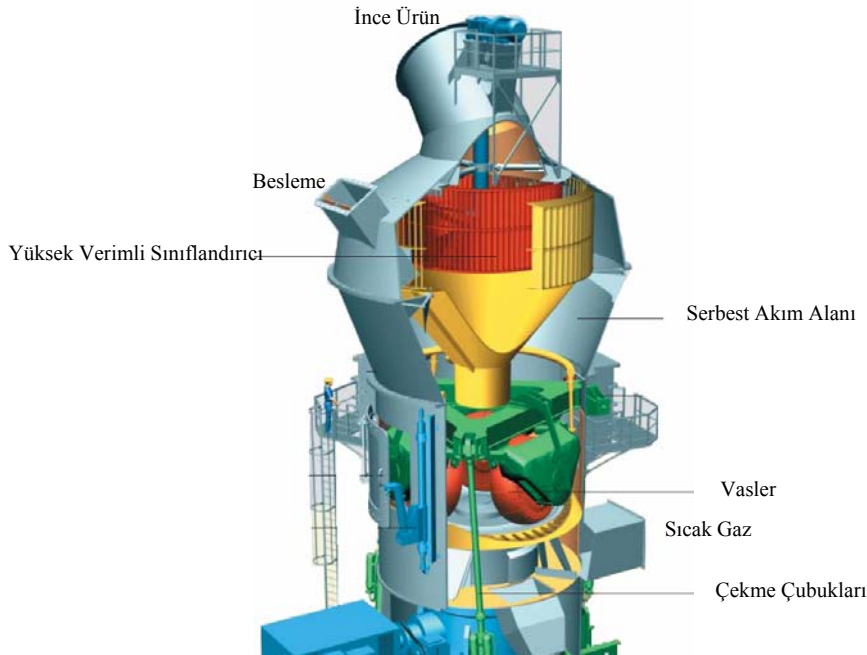
- Tesiste mevcut bilyalı değirmenlerde %20-40 üretim artışı
- Öğütmede özgül enerji miktarında %15-35 azalma
- Değirmen içinde sıvanmayı ve paketlemede çıkacak sorunları önleyen düşük sıcaklıkta çimento üretimi.
- Ürün inceliğinin rotor hızı ile kontrol edilmesi sonucu sınıflandırıcıda ayarlama yapmak için değirmeni durdurma gereksiniminin ortadan kalkması
- Çimento dayanımının daha iyi kontrol edilebilmesi.

Bu sınıflandırıcıların geliştirilmesiyle birlikte uygulama alanı sadece klasik öğütme sistemleri ile sınırlı kalmamış, valsli değirmenlerle yapılan çalışmalardan da olumlu

sonuçlar alınmıştır. Valsli değirmenlerde ilk zamanlarda sınıflandırıcı tipi olarak diğer öğütme sistemlerinde olduğu gibi çoğunlukla statik sınıflandırıcılar kullanılmaktayken, bu sınıflandırıcılarla olan uygulamalarda karşılaşılan sorunlar sonucunda, 1980'lerin başında üretilen yüksek verimli sınıflandırıcılar kullanılmaya başlanmıştır (Jardi, 2005). Valsli değirmenlerde kullanılan statik sınıflandırıcıların dezavantajları aşağıda sıralanmaktadır (Onuma ve Ito, 1994).

- Verimsiz gerçekleşen sınıflandırma işlemi sonucu ince tanelerin değirmende birikmesi ile öğütücü tabla üzerinde malzeme yatağının oluşamaması ve sonuç olarak öğütme işleminin de verimsiz hale gelmesi.
- İnce tanelerin birikmesi sonucu basınç kaybının artması ve güç harcamasının artması.

Karşılaşılan problemler yüksek verimli sınıflandırıcıların kullanılması ile çözülmüştür.



şekil 3.17. Valsli değirmen

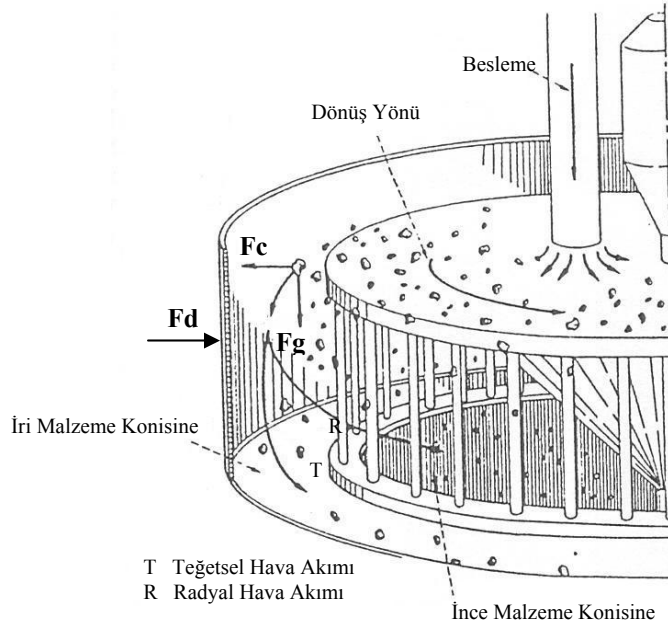
Valsli değirmenler temel olarak döner öğütme tablası, valsler ve sınıflandırıcı içeren ekipmanlardır (şekil 3.17). Ekipmanda tabla üzerine beslenen malzeme, yüzey ve valsler arasında basınç ve kesme kuvvetlerinin etkisi ile öğütölmektedir. Öğütmede etkili olan basınç kuvveti, hidropinomatik sistemlerle valslere verilmektedir (Brundiek, 1989).

Valsli değirmenlerde, öğütme tablası hava halkaları ile çevrelenmektedir. Bu noktalardan yükselen hava, valslerde öğütülmüş ve tablanın kenarına doğru yol alan malzemeye yukarı doğru yön vermekte ve sınıflandırıcının bulunduğu bölmeye taşımaktadır. Havanın taşıyamayacağı irilikteki taneler değirmen bölümünde kalırken, inceler sınıflandırılmak üzere sınıflandırıcıya gönderilmektedir.

Sınıflandırıcıya gelen taneler, dışarı doğru merkezkaç kuvvetinin ve içeri doğru havanın sürtünme kuvvetinin etkisi altına girmektedir. Nihai sınıflama bu kuvvetlerin taneler üzerindeki bileşkesine göre gerçekleşmektedir. Yeterli inceliğe sahip taneler sistemi terk ederken, iri taneler değirmene geri beslenmektedir (Brundiek, 1989).

Yüksek verimli sınıflandırıcılar birden fazla değirmenin kullanıldığı sistemlerde de başarılı olmuşlardır. Bu uygulamalardan ilki Kuzey Amerika'da iki değirmen ve dört adet toplayıcının bulunduğu sistemdir. Sonuç olarak aynı üretim tipinde %10 üretim miktarı artışı sağlanmıştır (Kohan, 1995).

Yüksek verimli havalı sınıflandırıcıların ayırım mekanizması ve ayırımda etkili olan kuvvetler aşağıdaki şekilde gösterilmektedir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Yüksek verimli sınıflandırıcıların sınıflandırma prensibi

Aşağıda havalı sınıflandırıcıda ayırım mekanizmasında etkili olan temel işletim değişkenleri ve neden oldukları kuvvetlerin eşitlikleri verilmektedir (Kolacz, 2002).

Rotor merkezkaç kuvveti oluşturmaktadır;

Bu eşitlik
$$F_c = \frac{4}{3} * \Pi * r_p^3 * \rho_p * \left(\frac{v^2}{r} \right) \quad (3.1)$$

şeklinde olup, burada;

ρ_p = malzeme yoğunluğu

r = rotor çapı

r_p = tane boyu

v = rotorun çevresel hızı

Hava sürtünme kuvveti oluşturmaktadır;

Bu eşitlik
$$F_d = c_x * \rho * \Pi * r_p^2 * \left(\frac{v_a^2}{2} \right) \quad (3.2)$$

şeklinde olup, burada;

c_x = sürtünme katsayısı

r_p = tane boyu

ρ = gaz yoğunluğu

v_a = hava hızı

Sonraki bölümlerde bugüne kadar geliştirilmiş olan yüksek verimli sınıflandırıcı tipleri verilmektedir.

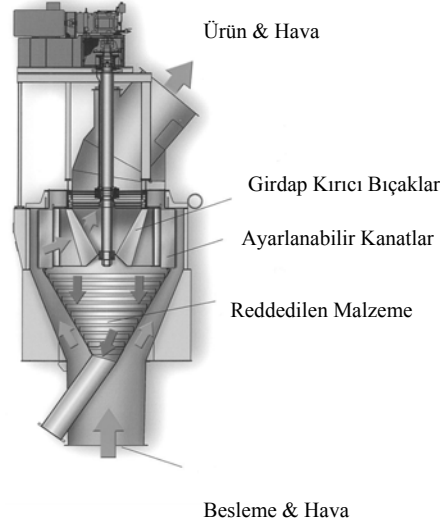
3.2.3.1. TSV Yüksek Verimli Sınıflandırıcılar

TSV sınıflandırıcıları ayırımın rotor kafes ile yapıldığı üçüncü nesil sınıflandırıcılardır. Bu tip sınıflandırıcılarda taneler iki karşıt kuvvetin etkisine maruz kalmaktadır. Bu kuvvetler rotor kafesi tarafından yaratılan merkezkaç kuvveti ve ayırımda kullanılan hava tarafından yaratılan karşıt sürtünme kuvvetidir (Şekil 3.18).

Sınıflandırıcı içerisine giren hava, ayarlanabilir kanatlar ile yönlendirilmekte, böylece havanın teğetsel hızı, rotorun hızı ile eşitlenmekte ve rotor içerisinde sadece radyal hız akımı etkili olmaktadır. Sonuç olarak merkezkaç kuvvetine ters yönde sürtünme kuvveti oluşmaktadır.

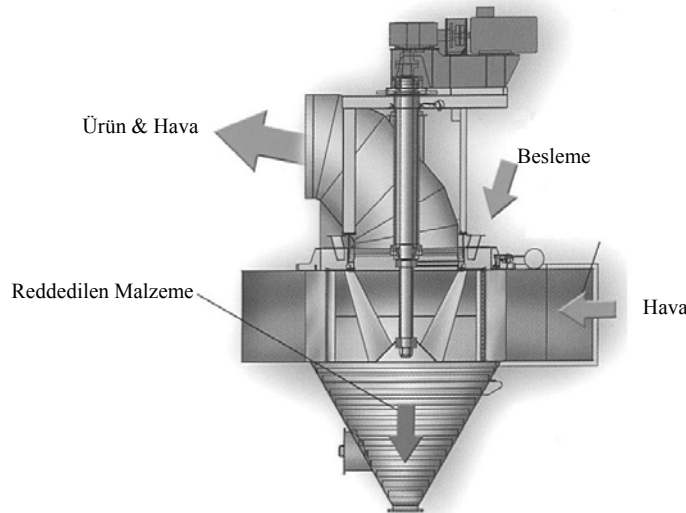
Ekipmanın kesme boyu iki kuvvetin dengesine göre belirlenmektedir. Kesme boyundan daha büyük olan taneler, merkezkaç kuvvetinin etkisi ile reddedilirken daha ince olan taneler rotor kafesinde bulunan bıçaklardan geçerek ve hava yardımıyla sınıflandırıcıdan dışarı alınmaktadır (Duhamel vd., 1997).

TSV sınıflandırıcılarının, malzeme ve gaz girişine göre üç farklı kurulumu belirtilmektedir (Anonim 3).



Şekil 3.19. Hava süpürmeli TSV sınıflandırıcılar

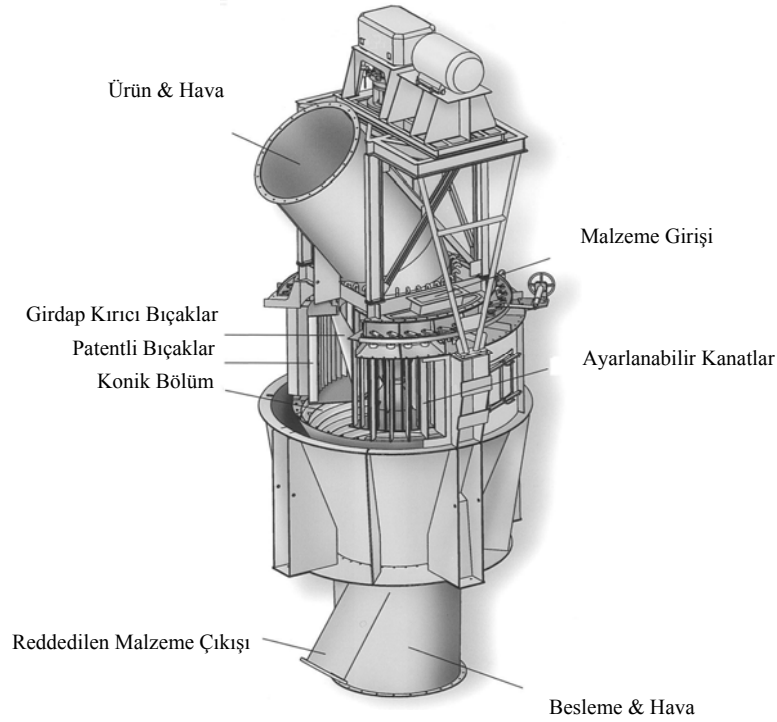
Birinci tip, hava süpürmeli sınıflandırıcılardır (Şekil 3.19). Bu tip sınıflandırıcılar dik değirmenlerde ve hava emişli çalışan tüp değirmenlerde kullanılmaktadır (Anonim 3).



Şekil 3.20. Mekanik beslemeli TSV sınıflandırıcılar

İkinci tip, yukarıdan mekanik beslemeli sınıflandırıcılardır (Şekil 3.20) . Malzeme, rotor kafesin üzerine beslenmekte ve dağıtılması sağlanmaktadır. Yüksek üretim miktarlarında, hava süpürmeli sınıflandırıcıların yerine kullanılmaktadırlar (Anonim 3).

Son tip TSV sınıflandırıcı, birinci ve ikinci kurulum modellerinin birleşimidir (Şekil 3.21). Malzeme, hava ile beraber ya da mekanik olarak beslenebilmektedir. Bu sınıflandırıcılarda yüksek üretim miktarlarına ulaşılabilir. Farklı tasarım özelliklerine sahip TSV sınıflandırıcıların işletme koşulları Çizelge 3.2'de verilmektedir.



Şekil 3.21. Hava süpürmeli mekanik beslemeli TSV sınıflandırıcılar

TSV sınıflandırıcılarda, rotor kafesin merkezine, incelerin hava akımından daha rahat ayrılması ve dönel akımın doğrusal akıma dönüşmesini sağlamak amacıyla girdap kırıcılar monte edilmiştir.

Üreticilere göre bu yapının getirdiği avantajlar (Duhamel vd., 1997):

- Girdap akışından dolayı oluşan basınç düşmesi engellenmektedir.
- Sınıflandırıcı çıkışındaki teğetsel hızın düşük olmasından dolayı aşınmalar azaltılmaktadır.

TSV sınıflandırıcılar, 3,2 kg malzeme / m³ hava miktarına kadar ayırım verimliliğinde bozulma olmadan işletilebilmektedir (Anonim 3).

Çizelge 3.2. TSV sınıflandırıcıların farklı çaplardaki işletme koşulları

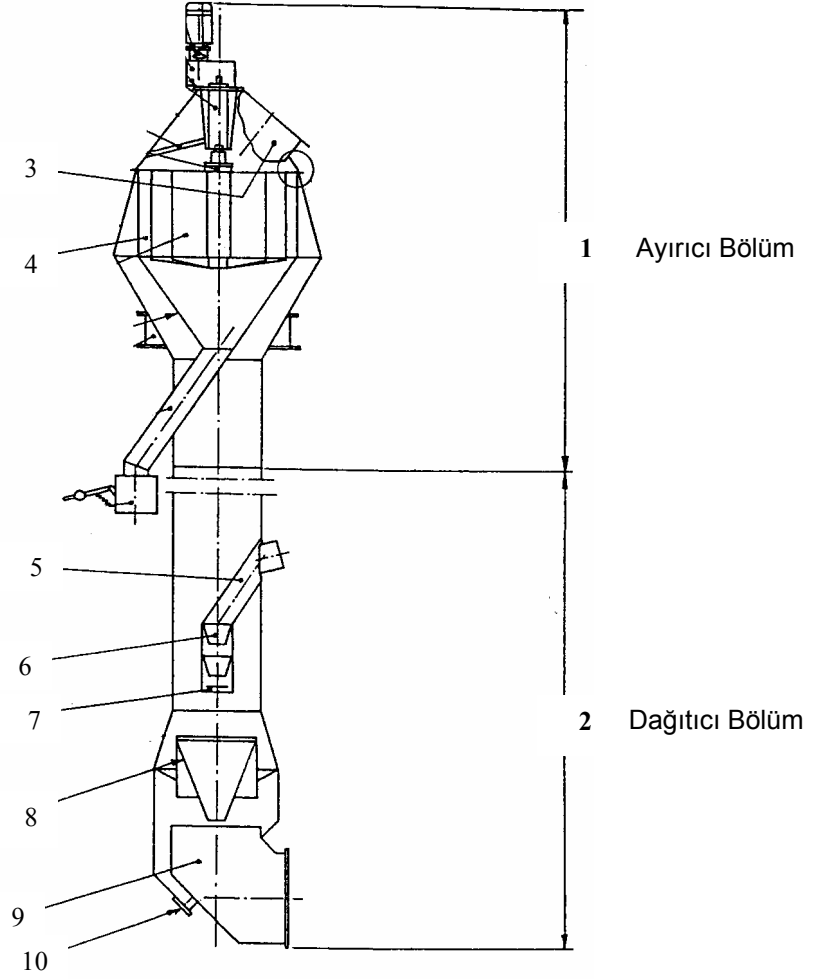
Sınıflandırıcı Çapı	Rotor Çapı	Toplam Yükseklik	Besleme	Ürün	Rotor Hızı	
mm	m	m	t/saat	t/saat	rpm min	rpm maks
1400	0,97	3,7	51	20	156	623
1600	1,11	4,1	67	26	137	549
1800	1,25	4,8	85	33	123	491
2000	1,39	5	105	41	111	444
2200	1,53	5,4	127	50	101	406
2400	1,67	5,7	151	59	93	373
2600	1,81	6,2	177	69	87	346
2800	1,95	6,7	205	80	81	323
3000	2,09	7	235	92	76	302
3200	2,23	7,6	268	105	71	284
3600	2,51	8,3	339	133	64	254
4000	2,79	9,1	419	164	57	230
4500	3,13	10,2	530	207	51	206
5000	3,48	11,4	654	256	46	186
5500	3,83	12,6	792	310	42	170
6000	4,18	13,6	942	369	39	156

3.2.3.2. Sepax Yüksek Verimli Sınıflandırıcı

Sepax sınıflandırıcıları çimento endüstrisinde kapalı devre sistemlerde tercih edilmektedir. Sınıflandırıcı temelde ayırıcı bölüm ve dağıtıcı bölüm olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır (Şekil 3.22). Ayırıcı bölüm, dik sabit bıçaklarla çevrili rotor gövdesini içermekte ve incelerin ayırımı için düşük kesme boyutlu sınıflandırıcı görevini üstlenmektedir. Rotorun altında çıkışa uzanan konik kısım bulunmaktadır. İnce malzeme çıkışı ise bu bölümün üzerinde yer almaktadır. Dağıtıcı bölüm ise boru kısmı ve alt bölümden oluşmaktadır. Boru kısmı sınıflandırılacak olan malzemeyi ekipmana veren besleme borusunu içermektedir. Ayrıca dağıtıcı tabla ve hava kanalı da bu bölümde yer almaktadır. Alt bölüm ise konik kısım, hava girişi ve çıkıştan oluşmakta ve dağıtıcı, yüksek kesme boyutlu sınıflandırıcı görevini görmektedir (Anonim 2).

Sepax sınıflandırıcılara besleme besleme borusundan girmekte (5), hava kanalından geçmekte (6), dağıtıcı tablaya düşmekte (7) ve yükselen hava içerisinde dağıtılmaktadır. Ekipmana verilen sınıflandırma havası ise hava girişinden girip (9) sınıflandırıcının çıkış kısmından sistemi terk etmektedir (3). Hava, konik kısımdan geçerken (8) hem malzemenin dağıtılmasına yardımcı olmakta hem de düşen malzemelerin toplanmasını sağlamaktadır.

Genellikle düşen malzeme değirmenden çıkan öğütülmüş malzeme içindeki ağır nesnelere içermekte ve konik kısımdan (8) kaçak olarak sistemin dışına alınmaktadır (10). Sonuçta, ayırım havası ve sınıflandırılacak olan malzeme, boru yardımı ile ayırıcı bölüme taşınmaktadır. Malzeme hava karışımı rotor içerisine girmeden önce sabit kanatlardan geçmektedir (4). Buradaki kanatlar havanın bütün rotor içerisinde eşit olarak dağıtılmasını sağlamaktadır.



Şekil 3.22. Sepax sınıflandırıcı

Hava malzeme karışımı rotor bölümüne geldiğinde ve rotor kanatları arasında rotorun çevresel hızı kadar ya da teğetsel hava hızı kadar ivmelendirilmektedir. İnce taneler havanın da etkisi ile daha çabuk ivmeleneceğinden rotorun içerisine alınmaktadır. İri ve ağır taneler rotor tarafından yaratılan merkezkaç kuvvetinin etkisi ile daha yavaş ivmelenip rotor kanatları tarafından tutulmaktadır. Sınıflandırıcı tarafından reddedilen iri ürün konik bölümden değirmene tekrar verilmektedir.

İnce taneler ise rotordan geçip ve ayırım havası yardımıyla son ürün olarak alınacağı filtreye ya da siklonlara taşınmaktadır.

Sepax sınıflandırıcılarında inceliği kontrol eden iki parametre bulunmaktadır,

- 1- Rotor hızı
- 2- Hava miktarı

Bu iki parametre birbiri ile bağlantılıdır. Öyle ki hava miktarına bağlı olarak farklı rotor hızlarında aynı inceliğe sahip ürün almak mümkündür.

Kontrol seçenekleri

- a) Sabit hava miktarında:
Düşük rotor hızı : İri ürün
Yüksek rotor hızı : İnce ürün
- b) Sabit rotor hızında:
Düşük hava miktarı : İnce ürün
Yüksek hava miktarı: İri ürün
- c) Sabit ürün inceliğinde:
Yüksek hava miktarı : Yüksek rotor hızı
Düşük hava miktarı : Düşük rotor hızı

Hava miktarı, sınıflandırıcı verimliliği üzerinde etkili olduğundan Sepax tipi sınıflandırıcılarda yapılacak olan iyileştirmeler temelde hava miktarı ile ilişkili olmaktadır. Hava miktarı sınıflandırma işlemi sırasında sabit tutulmalı ve incelik sadece rotor hızı değiştirilerek ayarlanmalıdır (Anonim 2).

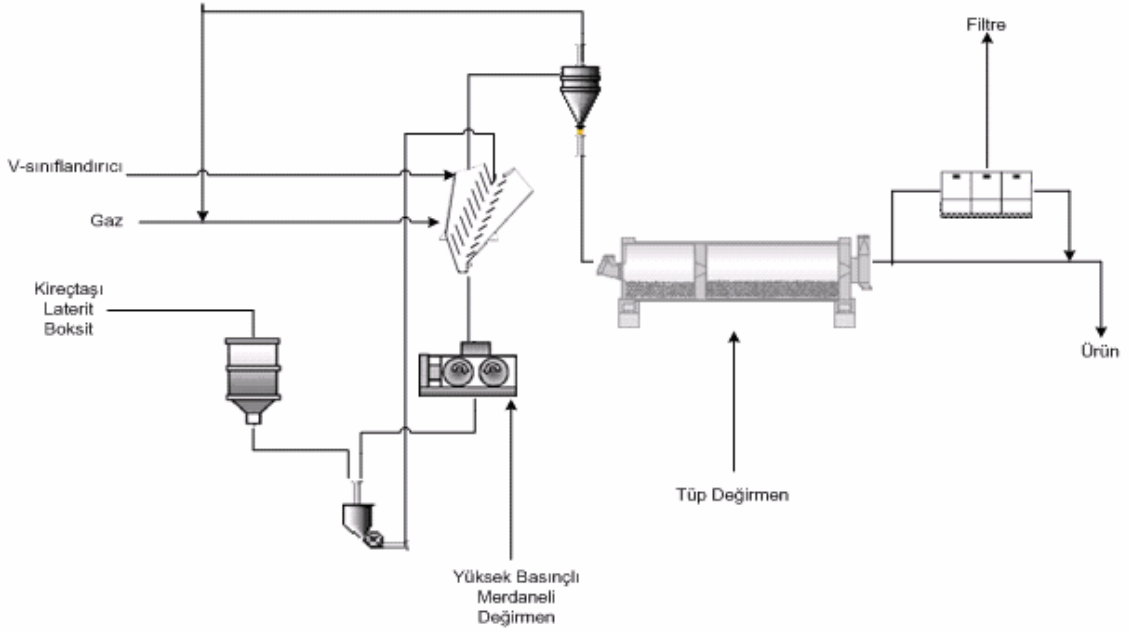
Sepax sınıflandırıcıları 2 kg besleme malzemesi / m³ hava yüküne kadar performansında bozulma olmadan işletilebilmektedir. Bu değerlerin üzerinde, verimliliği düşmektedir (Anonim 2).

İlerleyen bölümlerde, Folsberg (1991) tarafından verilmiş olan Sepax uygulamaları gösterilmektedir.

Sepax-Bilyalı Değirmen Düzeni

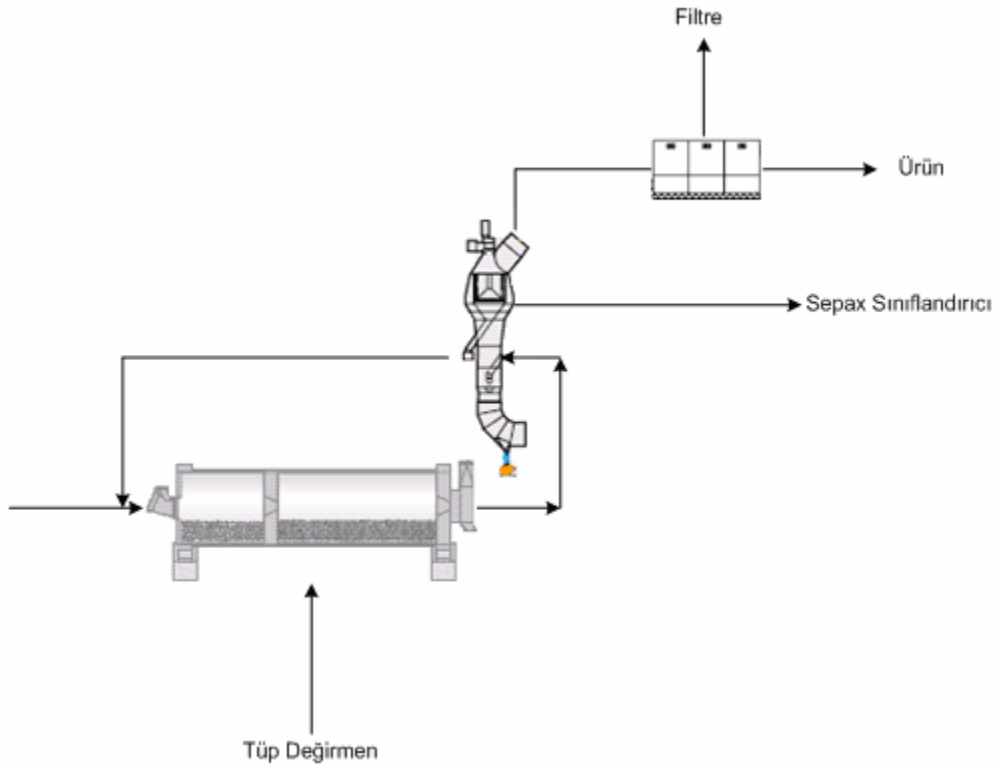
Bu sistem için dizayn edilmiş sınıflandırıcıda ayırma ve dağıtma işlemleri önceki bölümlerde tarif edildiği gibi olup sadece iki ünite arasındaki uzaklık azaltılmıştır.

Şekil 3.23'te torba filtreli Sepax sınıflandırıcı sistemi gösterilmektedir. Bu sistemle maksimum malzeme soğutulması gerçekleştirilmektedir (Folsberg, 1991).



Şekil 3.23. Filtreli Sepax sınıflandırıcı devre düzeni

Şekil 3.24'te siklonlu Sepax sınıflandırıcı sistemi gösterilmektedir. Önceki sistemle karşılaştırıldığında düşük yatırım maliyetine ve işletme maliyetine sahiptir.



Şekil 3.24. Siklonlu Sepax sınıflandırıcı devre düzeni

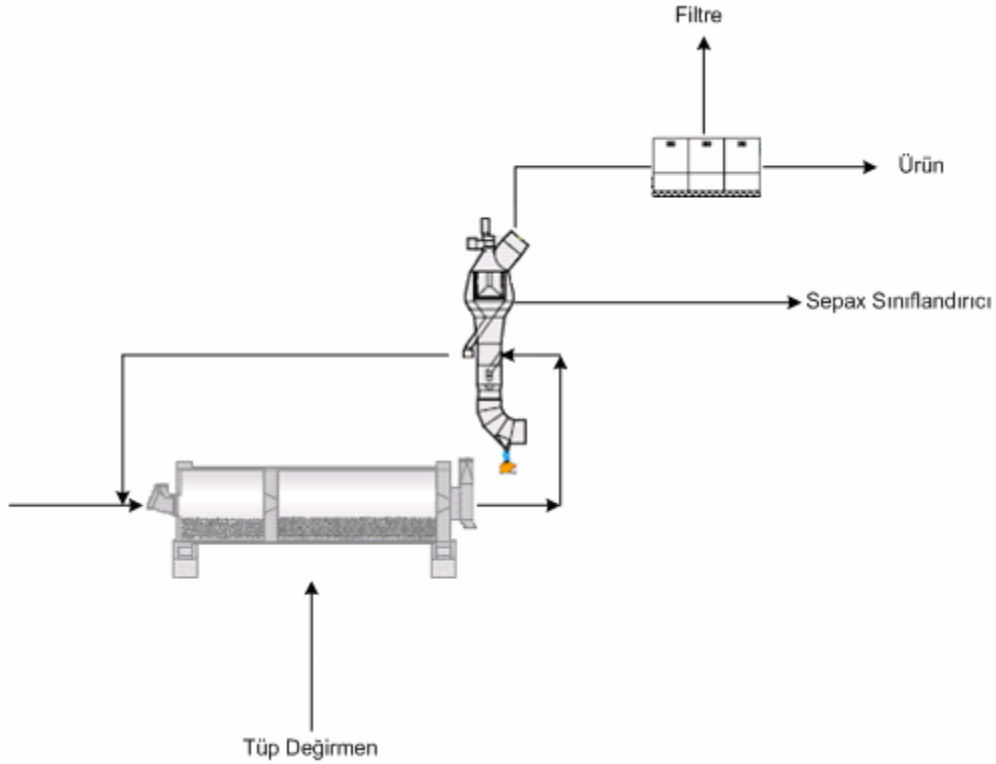
Merdaneli Değirmen-Bilyalı Değirmen-Sepax Sınıflandırıcı

Merdaneli değirmen bilyalı değirmen düzeneğinin önceki aşamalarında, merdaneli değirmenler açık devre tipinde, ön öğütme amaçlı kullanılmıştır. Ancak, merdaneli değirmenlerde oluşan basma kuvvetinin, pres çıkışı malzeme ve sınıflandırıcı geri dönüşünün bir kısmının tekrar ekipmana beslenmesiyle artırılması sonucu ekipmandan daha kalın kekler elde edilmeye başlanmış, bu durum da pres çıkış malzemesinin ince tane içeriğinin artmasına neden olmuştur. Bu sonuçlar doğrudan doğruya sınıflandırıcı kullanılması fikri etkin olmaya başlamıştır (Folsberg, 1991).

Merdaneli değirmen çıkışına yerleştirilen sınıflandırıcı ile ince tanelerin sistemden uzaklaştırılması sağlanmakta, merdaneli değirmenin performansı artmakta ve bilyalı değirmene kontrollü yapılan besleme sonucu değirmen bilya şarjında yapılan iyileştirme ile üretim miktarlarında artış sağlanmaktadır.

Yaygın olarak kullanılan merdaneli değirmen bilyalı değirmen düzenleri (Folsberg, 1991) aşağıdaki gibidir,

- a) Merdaneli değirmenden çıkan malzemeyi doğrudan bilyalı değirmene vermek: Bu düzende, preslenmiş malzemede merdanelerin kenar kısımlarında basıncın düşük olmasından dolayı iri tanelerin bulunması bilyalı değirmen şarjının iyileştirilmesi kısıtlamaktadır.
- b) Merdaneli değirmende yarı son öğütme ve bilyalı değirmende son öğütme (Şekil 3.25) : Bu düzende, merdaneli değirmen için sınıflandırıcı ve nihai öğütmenin yapıldığı sınıflandırıcılı veya sınıflandırıcısız bilyalı değirmen düzeneği içermektedir (Şekil 3.25). Bu düzende bilyalı değirmen beslemesinin yüksek ince malzeme içeriği değirmendeki topaklanma eğilimini artırmakta ve verimliliğin düşmesine neden olmaktadır.



Şekil 3.25. Merdaneli değirmen ve bilyalı değirmenli Sepax sınıflandırıcı devre düzeni

Şekil 3.25'te gösterilen sınıflandırıcı sisteminin avantajları (Folsberg, 1991),

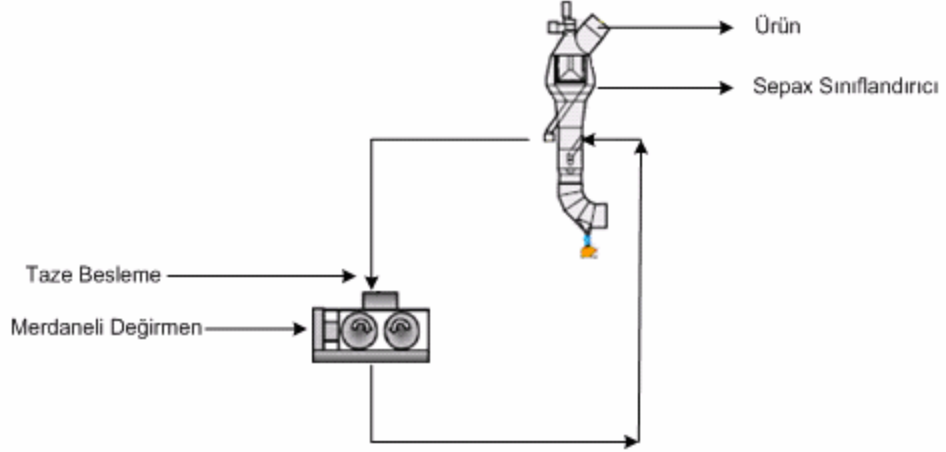
- Sınıflandırıcıdan dönen irilerin merdaneli değirmene verilmesi, merdaneli değirmenin performansını artırmaktadır.
- Merdaneli değirmen çıkışı ince malzemelerin ayrılması, bilyalı değirmende aşırı öğütmeyi engellemektedir.
- Merdaneli değirmen ve bilyalı değirmen ince malzemesinin üst kısımda karıştırılması homojen ürün elde edilmesini sağlamaktadır.

Sepax Sınıflandırıcı Merdaneli Değirmen Düzeneği

Çift katlı Sepax sınıflandırıcılar, son öğütme sistemlerinde merdaneli değirmenlerle beraber işletilebilmektedir (Şekil 3.26). Fakat bu sistemler tasarlanmadan önce birtakım faktörlerin hesaba katılması gerekmektedir, bunlar;

- İstenilen incelik değeri
- İstenilen tane boyu dağılımı
- İstenilen devreden yük değeri
- Pres malzemesinin geri dönüşü
- Tek ya da çift kademedeki ayırım

Geleneksel sınıflandırıcılarda, devreden yükün fazla olması ve 15-50 µm kesme boyunun istenmesi, yüksek özgül enerji harcamasına neden olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı çift-katlı Sepax sınıflandırıcı kurulumu kullanışlı olmuştur (Folsberg, 1991).



Şekil 3.26. Sepax sınıflandırıcı ve merdaneli değirmenli son öğütme devre düzeni

Çizelge 3.3'te farklı çaplara sahip Sepax sınıflandırıcılarının hava akış değerleri verilmektedir (Anonim 2).

Çizelge 3.3. Farklı çaplara sahip Sepax sınıflandırıcılarda önerilen hava debileri

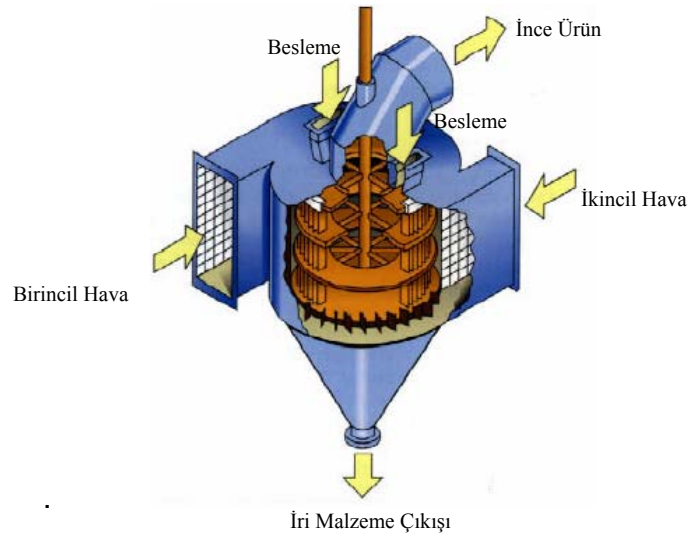
Boyut (cm)	Hava Akımı (m ³ /saat)
190	7,3
212	10
236	13,5
250	15,7
265	18,3
280	21,1
300	25,1
315	28,3
335	32,8
355	37,7
375	42,9
400	49,9
425	57,4
450	65,4
475	73,9
500	83
530	94,5
560	106,8

3.2.3.3. O-Sepa Yüksek Verimli Sınıflandırıcı

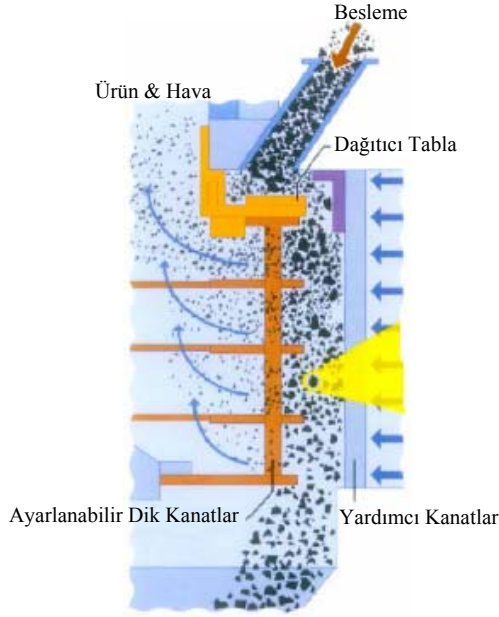
Onuma ve Furukawa (1984)'ya göre, Onoda Çimento Ltd. tarafından geliştirilecek olan yeni sınıflandırıcıların aşağıda belirtilen özellikleri karşılaması gerekmektedir,

- Sınıflandırmada etkili olan kuvvetler kesin ve net bir şekilde tanımlanmalıdır.
- Sınıflandırma mekanizması bozulmamalıdır.
- Tanelerin dağıtılması, yüksek malzeme hava karışımında ayırım verimliliğini bozmayacak düzeyde iyi olmalıdır.
- İyi bir sınıflandırma için ekipman içerisindeki ayırma bölgesi yeterli hacime sahip olmalıdır.

Şekil 3.27'de O-Sepa sınıflandırıcı gösterilmektedir. Malzeme, besleme borusu aracılığı ile sınıflandırıcı içerisindeki dağıtıcı tabla üzerine beslenmektedir. Tabla tarafından yaratılan merkezkaç kuvvetinin etkisi ile taneler teğetsel olarak sisteme beslenen havanın içerisine atılmaktadır (Şekil 3.28). Çoğu zaman değirmen havasının da kullanıldığı sınıflandırma havası, sabit kanatlardan geçerek sınıflandırma bölgesine beslenmektedir. Bu bölgede gerçekleştirilen temel ayırım Şekil 3.29'da gösterilen kuvvetlerin dengesine göre yapılmaktadır. Birincil hava değirmen havasından alınırken ikincil hava öğütme sistemindeki yardımcı ekipmanlardan temin edilmektedir. Birincil ve ikincil hava sisteme teğetsel olarak beslenmekte ve sınıflandırma bölgesinde girdap oluşturmaktadır. Sınıflandırma işleminden sonra ince ürün taşınmakta ve toplanmaktadır. İri malzeme ise yardımcı kanatların içinden aşağı doğru yol almaktadır (Onuma ve Furukawa, 1984).



Şekil 3.27. O-Sepa sınıflandırıcı



Şekil 3.29. O-Sepa sınıflandırıcılarda etkin olan kuvvetler

Şekil 3.28. O-Sepa sınıflandırıcısının ayırma prensibi

O-Sepa sınıflandırıcıların adlandırılması, sınıflandırıcının içinden geçen havaya göre yapılmaktadır. N-1000 adı verilen bir O-Sepa sınıflandırıcıdan 1000 m³/dak hava geçmektedir. Üreticilere göre O-Sepa sınıflandırıcıda her m³ giriş havası için 2.5 kg malzeme ayrılabilir. Dolayısı ile 1000 m³/dak hava geçen sınıflandırıcı 2500 kg/dak veya 150 t/s malzeme ayırabilir. Bu değerlerin üzerine çıkılması durumunda sınıflandırıcı verimliliğinde düşüş gözlemlenmektedir. Çizelge 3.4'de farklı O-Sepa sınıflandırıcılarına ait teknik özellikler verilmektedir (Baker, 1999).

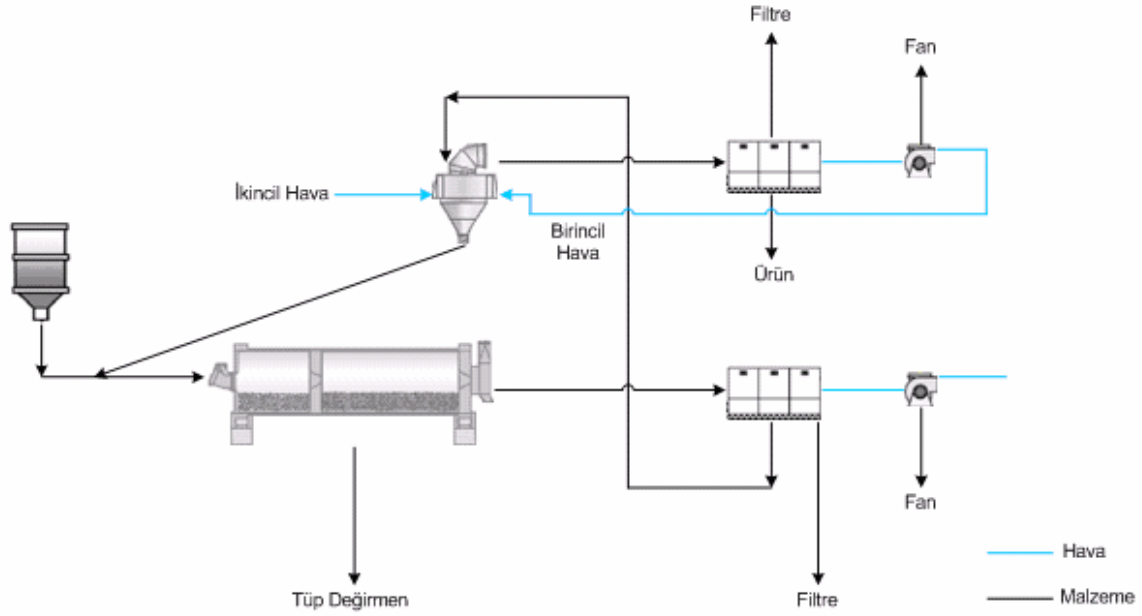
Çizelge 3.4. Farklı tipteki O-Sepa sınıflandırıcılara ait teknik özellikler

Sınıflandırıcı Çapı	Rotor Çapı	Rotor Yüksekliği	Besleme	Ürün	Rotor Hızı		Hava Hızı
					rpm min	rpm maks	
mm	mm	mm	ton/saat	ton/saat	rpm min	rpm maks	m ³ /dak
N-250	940	550	37,5	13	250	550	250
N-350	1040	518	52,5	18	169	368	350
N-500	1220	580	75	26	190	420	500
N-750	1460	730	112,5	38	170	360	750
N-1000	1660	850	150	51	150	320	1000
N-1500	2000	1060	225	77	120	260	1500
N-2000	2270	1240	300	102	105	230	2000
N-2500	2530	1390	375	128	95	205	2500
N-3000	2760	1530	450	153	85	190	3000
N-3500	2970	1660	525	179	80	175	3500
N-4000	3150	1780	600	204	75	165	4000
N-4500	3330	1900	675	230	70	155	4500
N-5000	3480	2000	750	255	65	147	5000

O-Sepa Uygulamaları

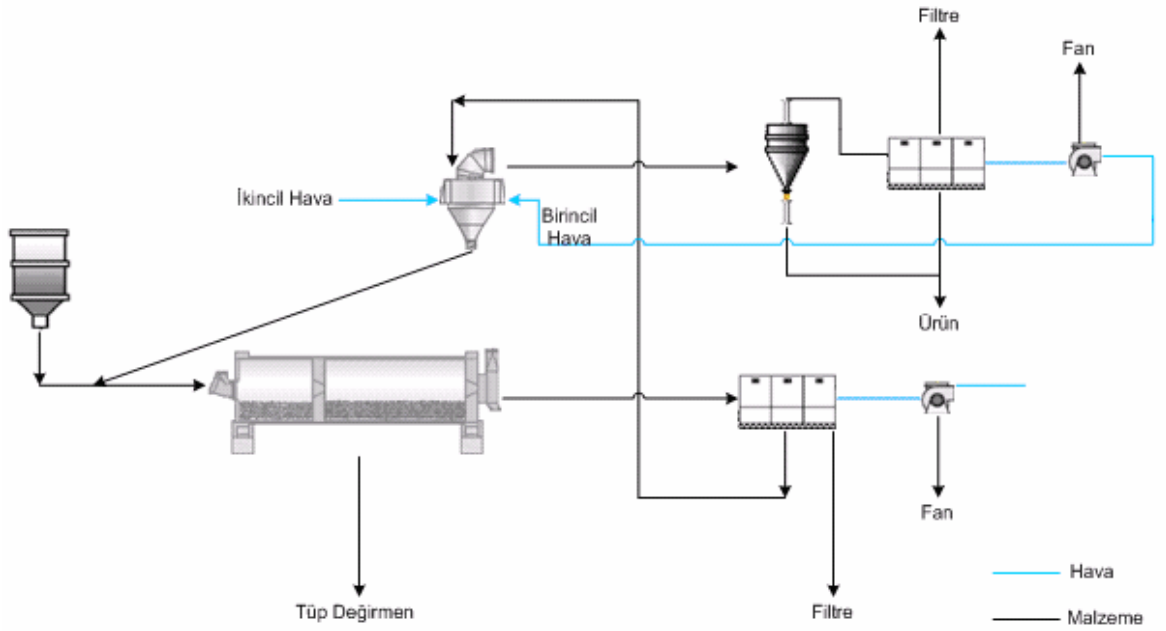
Şekil 3.30'da O-Sepa sınıflandırıcıların tam havalandırmalı sistemlerdeki kullanımını gösterilmektedir. Sınıflandırıcıya yüksek miktarda beslenen taze hava ile çimento sıcaklığının düşürülmesi sağlanmaktadır. Bu sayede ek bir soğutucuya ihtiyaç duyulmamaktadır.

Sınıflandırıcıyı terk eden hava ve yeterli incelikteki malzeme karışımı, yüksek miktarda toz ile çalışabilen filtrede toplanmaktadır (Anonşim 4). Filtrede malzemeden arındırılan hava, fan aracılığı ile sisteme tekrar kazandırılmaktadır.



Şekil 3.30. Tam havalandırmalı O-Sepa sınıflandırıcı devre düzeni

Şekil 3.31'de verilen siklonlu O-Sepa sınıflandırıcı sistemi mevcut sistemlere rahatlıkla uyarlanabilmektedir. Ayrıca, esnek olan bu sistem, diğer sistemlere kıyasla daha az yer kaplamaktadır. Bu düzende az miktarda gazın dışarı salınması çevresel kısıtlamalar açısından önemli bir avantajdır. Ancak, taze hava girişi miktarı sınırlı olduğundan bu sistemde soğutma yapılması oldukça güç olmaktadır (Anonim 4).



Şekil 3.31. Siklonlu O-Sepa sınıflandırıcı devre düzeni

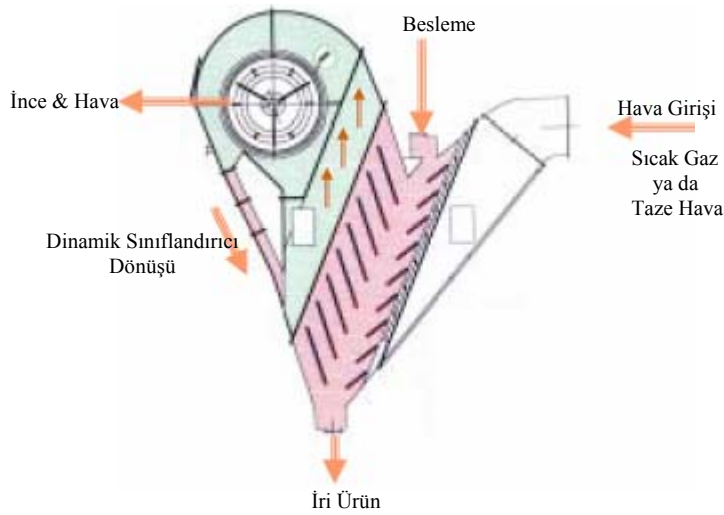
İki düzende de sınıflandırma havası atmosferden alınabilmektedir. Bu özelliğinden dolayı sınıflandırıcının soğutma kapasitesi yüksektir. Geri dönüş malzemesinin de sıcaklığının yüksek olmaması, değirmen içerisindeki bilyaların sıvanmasını da azaltmaktadır (Anonim 4).

Üreticilere göre O-Sepa sınıflandırıcıların avantajları (Anonim 4),

- Sınıflandırıcı veriminin yüksek olmasından dolayı değirmene dönen ince malzeme miktarı da azalmaktadır. Sonuç olarak, belirlenen incelikteki özgül enerji harcaması da azalmaktadır.
- Üretim miktarında % 50'ye varan artış ile yatırım maliyeti azalmaktadır
- Kurutma işlemi iyileştirilmiştir,
- Geleneksel sınıflandırıcılara göre kapladığı yer alanında 1/2, 1/6'ya varan azalma,
- Ürün tane boyutunun rotor hızı ve hava hızı ile kolayca kontrol edilebilmektedir.

3.2.3.4. VSK Sınıflandırıcılar

V-sınıflandırıcıların üretilmesinden itibaren yüksek verimli dinamik sınıflandırıcı ile V-sınıflandırıcıyı tek bir çatı altında toplamak, üreticilerin temel amacını oluşturmuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda VSK sınıflandırıcılar geliştirilmiştir. Bu sınıflandırıcı tipinde, V-sınıflandırıcı üzerine yatay olarak desteklenen rotor kafesi modül olarak eklenmiştir. İki ekipman arasındaki uzaklığın fazla olmaması nedeniyle basınç kaybı ve aşınma miktarı da minimum düzeyde tutulmuştur (Strasser, 2003). Şekil 3.32'de VSK sınıflandırıcıların çalışma prensibi gösterilmektedir (Anonim 5).



Şekil 3.32. VSK sınıflandırıcıların çalışma prensibi

Uygulamalarda V-sınıflandırıcı ile VSK sınıflandırıcı arasında yapılacak olan seçim, istenilen tane boyuna göre değişmektedir. V-sınıflandırıcılar 100 μm ve daha iri kesme boyu üzerinde çalışırken, VSK sınıflandırıcılar 200 μm -20 μm kesme boylarında çalışabilmektedir (Anonim 5).

VSK sınıflandırıcılar da V-sınıflandırıcıların kullanıldıkları sistemlerde işletilebilmektedir. Şekil 3.4'te merdaneli değirmen ile V-sınıflandırıcının bulunduğu sistem gösterilmektedir. Buradaki V-sınıflandırıcı, VSK sınıflandırıcı ile yer değiştirebilir. İki sistem arasında, sistem fanının harcadığı enerji karşılaştırıldığında, V-sınıflandırıcıda 3-4 kWh/ton enerji harcanırken, VSK sınıflandırıcı kullanıldığında bu rakam 2-2,5 kWh/ton değerine kadar düşmektedir (Strasser, 2003).

Sağladığı diğer avantajlar ise,

- daha düşük aşınma,
- daha az malzeme aktarım elemanı,
- kurutma kapasitesinin sınırlı olmayışı,
- daha düşük basınç kaybı sonucu enerji harcamasının düşmesidir.

VSK sınıflandırıcılar Şekil 3.5 ve 3.6'da yarı son öğütme devresinde kullanılan V-sınıflandırıcıların yerine de işletilebilmektedir. Aşağıda belirtildiği gibi iki farklı yarı son öğütme devresi bulunmaktadır.

- M-devresi

V-sınıflandırıcı ya da VSK sınıflandırıcı'dan çıkan malzeme bilyalı değirmene beslenmektedir.

M-devresinde (Şekil 3.6) ön öğütme devresi kendi sistem fanına sahiptir. Bu tip devreler, açık devre çalışan bir ya da daha fazla bilyalı değirmenin önünde kullanılabilir. Ancak, yüksek miktarda katkı malzemesi (kül, cüruf vb.) kullanıldığında kapalı devre çalışan bilyalı değirmen tercih edilmekte ve ürün tane boyunun kontrolü için katkı malzemesi, klinker ile birlikte öğütülmektedir.

M-sistemleri düşük kalitede çimento üretiminde V-sınıflandırıcı, merdaneli değirmen ve açık devre bilyalı değirmen içeren sistemlerde verimli olarak çalıştırılabilir. Yüksek kalite çimentolarda ürün tane boyunu iyileştirmek için VSK sınıflandırıcıları tercih edilmektedir (Strasser, 2003).

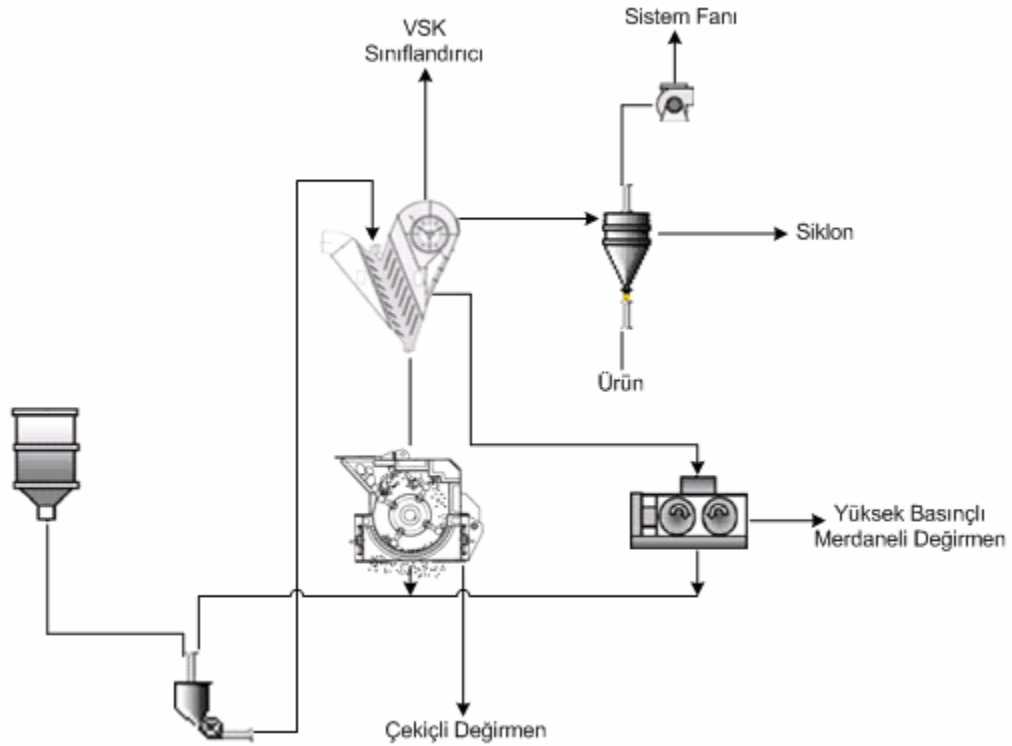
- S-devresi

Bu sistemde ön kırıcıdan gelen malzeme, incelerin sistemden uzaklaşmasını sağlamak için sınıflandırıcıya beslenmektedir. S-devresi (Şekil 3.5) daha ince çimento üretimi istenildiğinde ya da son ürün tane boyu dağılımının daha dik olması istendiği koşullarda kullanılmaktadır. Ayrıca silika gibi aşındırıcı ve öğütülmesi zor olan hammaddelerin üretiminde de S-devresi önerilmektedir (Strasser, 2003).

Bir diğer devre sistemi birleşik öğütme devresi olarak adlandırılmaktadır (Şekil 3.33). Çekiçli değirmen, bilyalı değirmen ve merdaneli değirmeni içeren bu sistem hammadde öğütme işlemlerinde kullanılmaktadır. Kapalı devre öğütme sistemini tamamlamak üzere, V-sınıflandırıcı ya da VSK sınıflandırıcı devrede yer

almaktadır. Sistem, çok iri malzeme beslemesinde dahi yüksek kurutma kapasitesine sahiptir. Merdaneli değirmen ile verimli öğütme yapılırken, yüksek aşındırıcı özelliğe sahip malzemeler bilyalı değirmen ile rahatlıkla öğütülebilmektedir.

Malzeme öncelikle sınıflandırıcıya beslenmekte, bu ekipmanda çekiçli değirmen öncesi ince taneler ayrılmakta ve aynı zamanda kurutma işlemi yapılmaktadır. İri taneler ise çekiçli değirmene beslenmektedir. VSK sınıflandırıcı dinamik sınıflandırıcı dönüşü de merdaneli ya da tüp değirmene beslenmektedir. Merdaneli ya da tüp değirmenlerden çıkan malzemeler, sınıflandırıcıya tekrar gönderilmekte böylece nihai dağıtma, kurutma ve sınıflama işlemleri gerçekleştirilmektedir (Strasser, 2003).

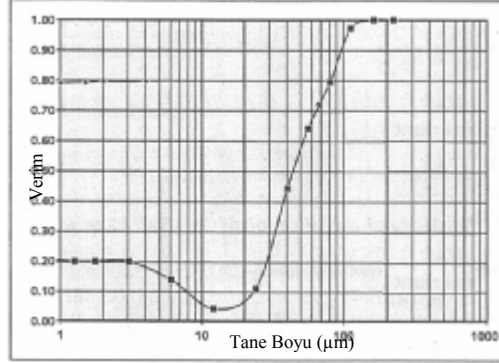


Şekil 3.33. VSK sınıflandırıcılı birleşik öğütme devresi

Üreticilerin kazandıkları deneyimler sonrası VSK sınıflandırıcı bulunan tesislerden alınan verilere dayanarak elde edilen bilgiler aşağıda sıralanmaktadır (Süßegger, 2004),

VSK Dinamik Sınıflandırıcının Ayırım Verimliliği

Şekil 3.34'te dinamik sınıflandırıcının verimlilik eğrisi gösterilmektedir. Grafikten de anlaşılacağı gibi VSK sınıflandırıcıların performans eğrisi, yüksek verimli sınıflandırıcılarda karşılaşılan performans eğrilerine yakın bir değerdedir. Tromp eğrisi çizilirken, VSK sınıflandırıcının dinamik sınıflandırıcı beslemesinden numune alınmadığı için besleme tane boyu dağılımı madde denkliği ile hesap edilmiştir.



Şekil 3.34. VSK dinamik sınıflandırıcı performans eğrisi

VSK Rotor Kafesinin Harcadığı Enerji

VSK sınıflandırıcılar düşük rotor hızlarında az miktarda enerji harcarken, yüksek rotor hızlarında çalıştırıldıklarında harcadıkları enerji miktarı, yüksek verimli sınıflandırıcıların harcadığı enerji miktarına ulaşmaktadır (Süßegger, 2004).

VSK Fanının Harcadığı Enerji

VSK sınıflandırıcıların çalışma koşulları göz önüne alındığında, ekipmanda gerçekleşen basınç kaybının yüksek verimli dinamik sınıflandırıcılardakinin %65'i kadar olduğu anlaşılmıştır. Bu sınıflandırıcılarda 4 kg malzeme / m³ hava miktarı toz yükü değerine kadar verimli ayırım yapmak mümkündür. Bu iki etkinin sonucunda enerji harcamasında %45'e varan tasarruf sağlanmıştır (Süßegger, 2004).

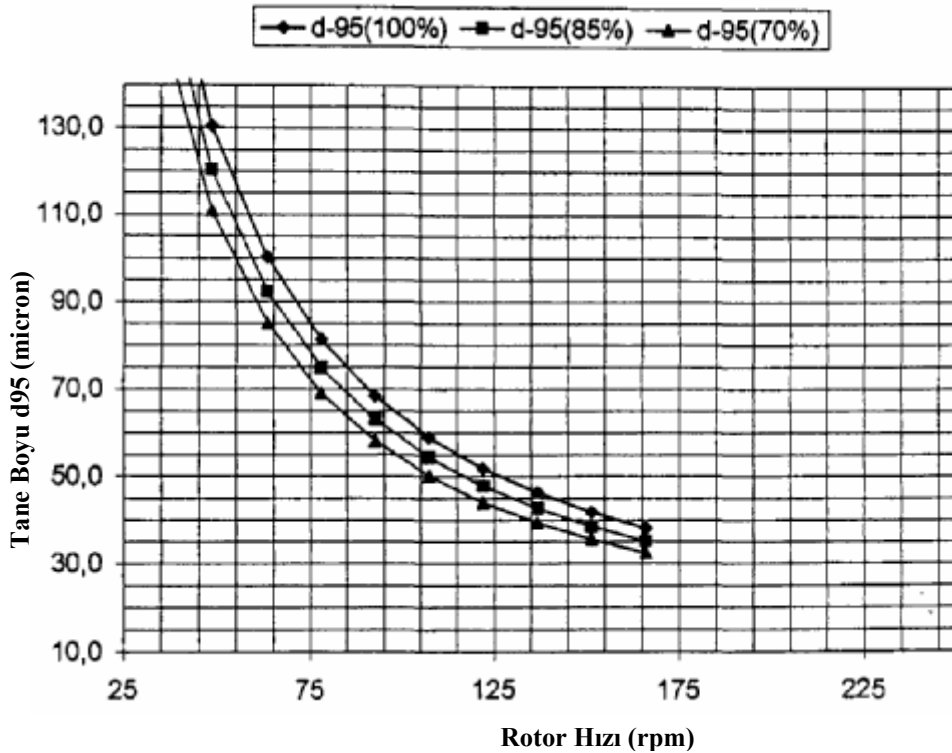
VSK uygulamaları

Tesislerde ürün sıcaklığı büyük önem taşımaktadır. Bu sınıflandırıcı uygulamalarından birinde (Süßegger, 2004), yüksek sıcaklıktaki klinker merdaneli değirmene beslenmeden önce taze hava beslenmekte ve VSK sınıflandırıcı

tarafından soğutulmaktadır. Böylece sıcak iklime sahip bölgelerde bile çimento sıcaklığı 80°C altında tutulmaktadır.

Diğer bir uygulamada tesise soğuk ve %9-13 neme sahip cüruf beslenmektedir. Bu özelliğe sahip cürufun, merdaneli değirmende verimli öğütülebilmesi için ısıtılması ve kurutulması gerekmektedir. Bu tesiste VSK sınıflandırıcı, merdaneli değirmen önüne yerleştirilmiş ve ekipmana sıcak hava, harici elemanlar tarafından sağlanmıştır. Kurutma işlemi VSK sınıflandırıcı içerisinde gerçekleştirilmekte ve çıkan gazın sıcaklığı ile kontrol edilmektedir (Süßegger, 2004).

VSK sınıflandırıcılarda kesme boyunun kontrolü, hava hızı, ayırıcı kanatların pozisyonu ve dinamik sınıflandırıcının rotor hızı ile sağlanmaktadır. Şekil 3.35. farklı hava klape oranlarında rotor hızının ürün tane boyu üzerine olan etkisini vermektedir (Anonim 5).



Şekil 3.35. VSK sınıflandırıcılarda rotor hızının ürün boyuna etkisi

Ayrıca Çizelge 3.5'te VSK sınıflandırıcıların buldukları tesisler verilmektedir (Süßegger, 2004).

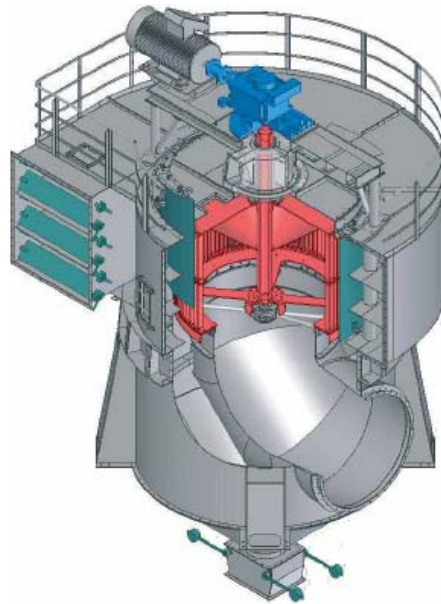
Çizelge 3.5. VSK sınıflandırıcıların kullanıldıkları devre çeşitleri ve tesisler

Çimento Üreticisi	Ürün Bileşimi	Üretim Miktarı (ton/saat)	Birincil Öğütme	İkincil Öğütme
Jingyang Çimento Jingyang/Çin	Klinker, Jips, Kireçtaşı	225	Merdaneli değirmen ve VSK	Açık Devre Tüp Değirmen
Trinidad Çimento Trinidad/Batı Hindistan	Klinker, Jips	180	Merdaneli değirmen ve VSK	Kapalı Devre Tüp Değirmen
Çimsa Mersin/Türkiye	Klinker, Jips, Kireçtaşı Cüruf, Uçucu Kül	315	Merdaneli değirmen ve VSK	Birincil öğütme devresindeki VSK ile kapalı devre çalışan Tüp Değirmen
Oysa Çimento İskenderun/Türkiye	Klinker, Jips, Kireçtaşı Cüruf, Puzzolan	228	Merdaneli değirmen ve VSK	Birincil öğütme devresindeki VSK ile kapalı devre çalışan Tüp Değirmen
Tabuk Çimento Duba/Suudi Arabistan	Klinker, Jips	180	Merdaneli değirmen ve VSK	Sepmaster SKS ile kapalı devre çalışan Tüp Değirmen

3.2.3.5. Sepol Sınıflandırıcılar

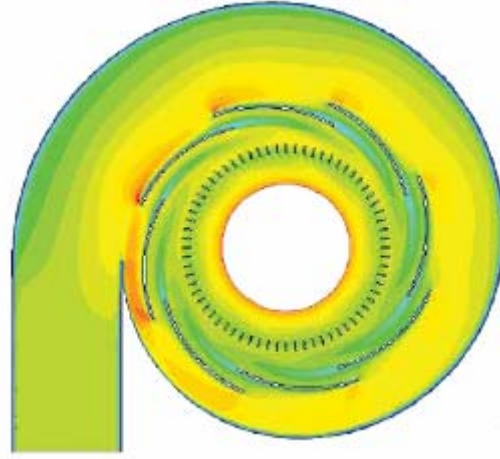
İstenilen ürün kalitesinin yüksek olması ve öğütme sistemlerinde az enerji harcanmak istenmesi sınıflandırıcıların önemini arttırmaktadır. Ekipmanlardan, soğutma, kurutma gibi işlemleri verimli yapabilmesi, malzemelerin sistemi çabuk terk etmelerinin sağlanması, harcanan özgül enerji miktarının düşük olması ve düşük yatırım maliyeti beklenmektedir (Anonim 1).

Sepol sınıflandırıcılarda (Şekil 3.36), diğer verimli sınıflandırıcılarda olduğu gibi ayırma işlemi rotor tarafından yaratılan merkezkaç, hava tarafından yaratılan sürtünme kuvveti ve yerçekimi kuvvetleri ile gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.36. Sepol sınıflandırıcı

Sınıflandırılacak olan malzeme rotor kafes üzerine beslenmekte ve eşit olarak tabla üzerinde dağıtılmaktadır. Bu ekipmanın yarattığı merkezkaç kuvveti ile fırlatılan taneler kenarlara çarptırılıp ayırım bölgesine gelmektedir. Bu bölgeye gelen taneler, harici fan tarafından üretilen ve ekipmana teğetsel olarak beslenen (Şekil 3.37) havanın yarattığı sürtünme kuvvetinin etkisi altına girmektedir. Böylece, tane üzerine rotor tarafından yaratılan merkezkaç kuvveti ile hava tarafından oluşturulan sürtünme kuvveti etki etmiş olur. Havanın taşıyabileceği inceliğe sahip hafif taneler rotor kafesinde bulunan bıçaklardan geçerek iç kısımda bulunan konik bölmeye oradan da siklonlara ya da filtreye taşınmaktadır. Bıçaklardan geçemeyen ve havanın taşıyamadığı iri ve ağır taneler de yerçekimi kuvvetinin etkisi ile dış konik bölmeden alınmaktadır (Anonim 1).



Şekil 3.37. Sepol sınıflandırıcı ayırım bölgesi

Ekipmandan alınacak ürünün inceliği ve tane boyu dağılımı geniş bir aralıkta, birincil olarak rotor hızı, ikincil olarak hava hızının ayarlanması ile değiştirilebilmektedir.

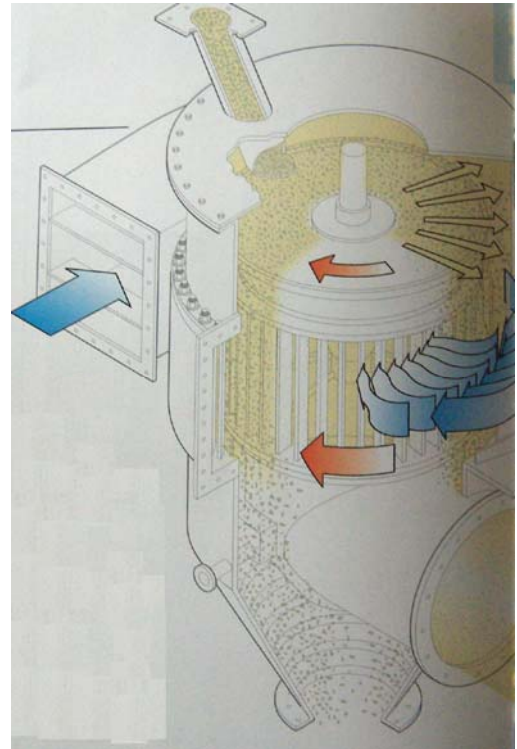
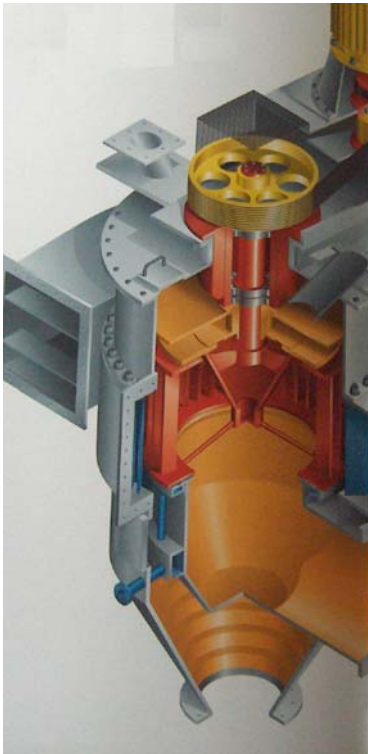
Sepol sınıflandırıcılar tüp değirmenlerle beraber iki farklı sistemde kullanılmaktadır. Kullanılacak olan ekipmanın teknik özellikleri de öğütme işlemine bağlı olmaktadır. Bu sistemlerden ilkinde ince taneler siklonlar tarafından alınmaktadır. Sınıflandırıcının iç konik kısmını terk eden ince taneler hava ile beraber siklonlara taşınmaktadır. Siklonlarda, ince taneler havadan ayrılmakta ve tozsuzlandırılan hava sisteme geri beslenmektedir (Anonim 1).

Diğer sistemde ise ince taneler siklonlar yerine filtreler tarafından tutulmaktadır. Eğer ürün, taze hava girişi ile yeterince soğutulursa bu sistem kullanılabilir.

3.2.3.6. QDK Sınıflandırıcılar

QDK sınıflandırıcılar Christian Pfeiffer tarafından dizayn edilmiş olan ve 1987 yılından itibaren kullanılmaya başlanan yüksek verimli sınıflandırıcılardır. 8 - 530 ton/saat üretim miktarına ve 5-350 kW arası güç tüketimine sahip olup çimento, uçucu kül, jips, kuvars kumu ve kömür için kullanılabilir (Anonim 9).

QDK sınıflandırıcılarda malzeme iki girişten dağıtıcı tablaya beslenmektedir. Tabla, malzemeyi kenara fırlatacak şekilde yüksek hızlarda dönmektedir. Duvarlara çarpan taneler ayırım bölgesine düşmektedir.

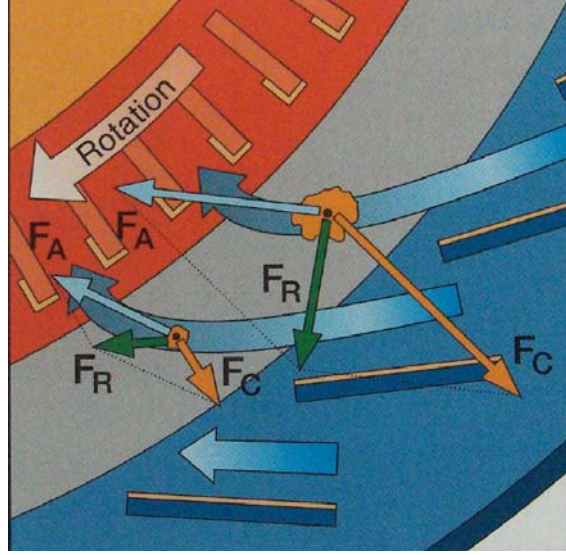


Şekil 3.38. QDK sınıflandırıcı

Malzemelerin serbest düşüşü sırasında kanatlar tarafından yaratılan teğetsel hava ayırımın yapılmasını sağlamaktadır (Şekil 3.38). Teğetsel hava, ince ve hafif malzemeyi toplayıp bıçaklardan geçirerek rotor kafesinin içine taşımaktadır. Rotorun içerisine giren ince taneler, siklonlar ya da filtreler aracılığı ile sistemi terk etmektedir. Hava ile taşınamayan ve rotor kafesi içerisine giremeyecek kadar iri ve ağır olan taneler iri malzeme konisinden aşağı düşmektedir.

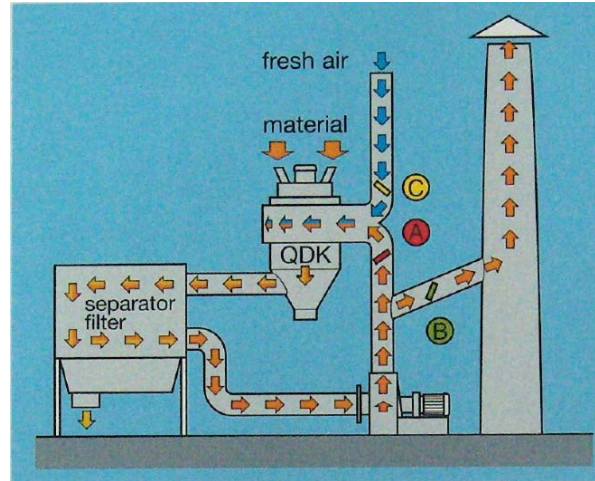
Birçok sınıflandırıcı tipinde olduğu gibi QDK sınıflandırıcılarda da ayırım, merkezkaç kuvveti, havanın sürtünme kuvveti ve yerçekimi kuvveti yardımı ile

yapılmaktadır. Ayırım bölgesinde etkili olan merkezkaç kuvveti (F_C) ve havanın sürtünme kuvvetinin (F_A) birleşimi olan kuvvet (F_R), ince tanelerin rotor kafesine girmesini sağlarken iri taneleri de kafesten uzak tutmaktadır (Şekil 3.39). Böylelikle bu kuvvetlerin etkisi ile besleme iki farklı ürüne bölünmektedir.



Şekil 3.39. QDK sınıflandırıcılarda etkin olan kuvvetler

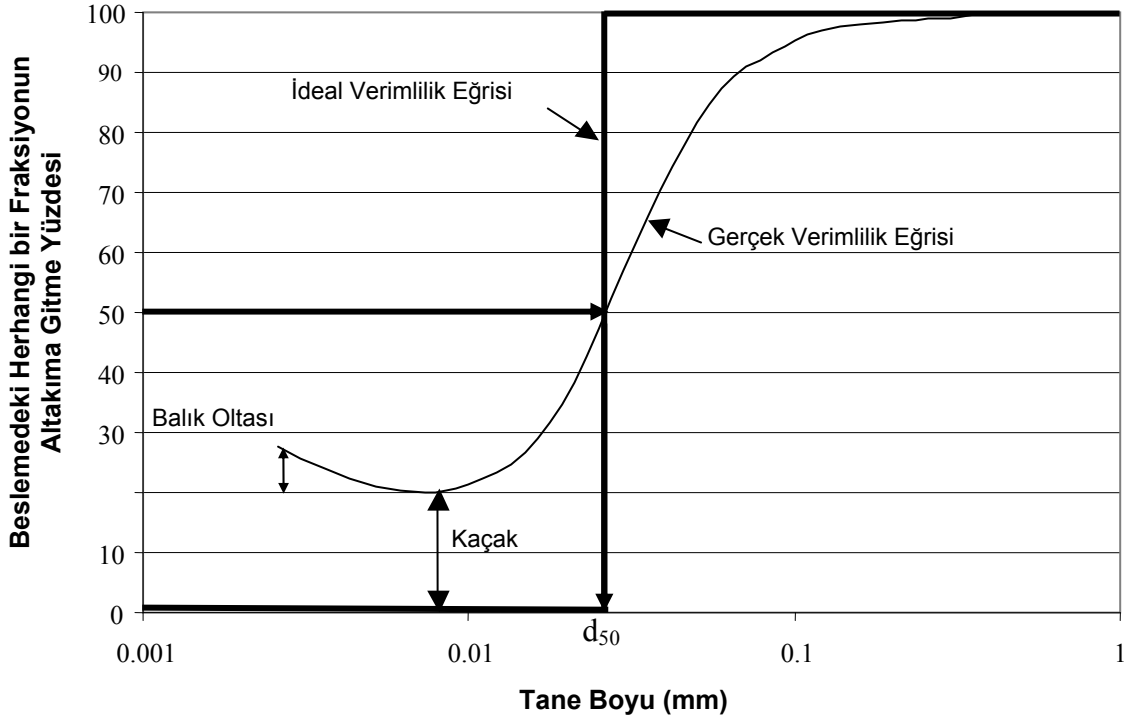
Sınıflandırıcılardan alınan ürün siklonlara veya filtrelere gönderilmektedir. İki sistem arasında seçim yapılırken soğutma işlemi dikkate alınmaktadır. Soğutma istenildiğinde siklonlar yerine filtreler kullanılmaktadır. Otomasyona bağlanan bu sistemde (Şekil 3.40) ürün sıcaklığı belirlenen değerin üzerinde ise taze hava klapesi (C) otomatik olarak açılmakta ve sirkülasyon hava klapesi (A) kapatılmaktadır. Ayırım taze hava ile yapıldığında maksimum soğutma elde edilmektedir. Bu durumda ürün sıcaklığı 60°C'ye kadar indirilebilmektedir (Anonim 9).



Şekil 3.40. QDK sınıflandırıcılarda soğutma sistemi

4. HAVALI SINIFLANDIRICILARIN VERİMLİLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Tromp eğrisi veya verimlilik eğrisi sınıflandırıcıların verimliliğini belirlemede kullanılan en yaygın yöntemdir. Verimlilik eğrisi, beslemede bulunan her fraksiyondaki malzemenin, iri ya da ince akıştaki bulunma oranlarını ifade eder. Grafikte X eksenini tane boyunu Y eksenini de ince ya da iri akıştaki olasılığı göstermektedir (Onuma ve Furukawa, 1984).



Şekil 4.1. İdeal ve gerçek verimlilik eğrileri

4.1. Gerçek Verimlilik Eğrisi

Tesiste çalışmakta olan bir sınıflandırıcının performansı gerçek verimlilik eğrisi ile izlenmektedir (Şekil 4.2). Eğrinin çizilmesi ile birlikte, sınıflandırıcının kesme boyu ve sınıflandırıcıdaki kaçak miktarı gibi işletme için hayati öneme sahip bilgiler elde edilebilmektedir. Çizelge 4.1'de gerçek verimlilik eğrisinin hesaplanması verilmektedir.

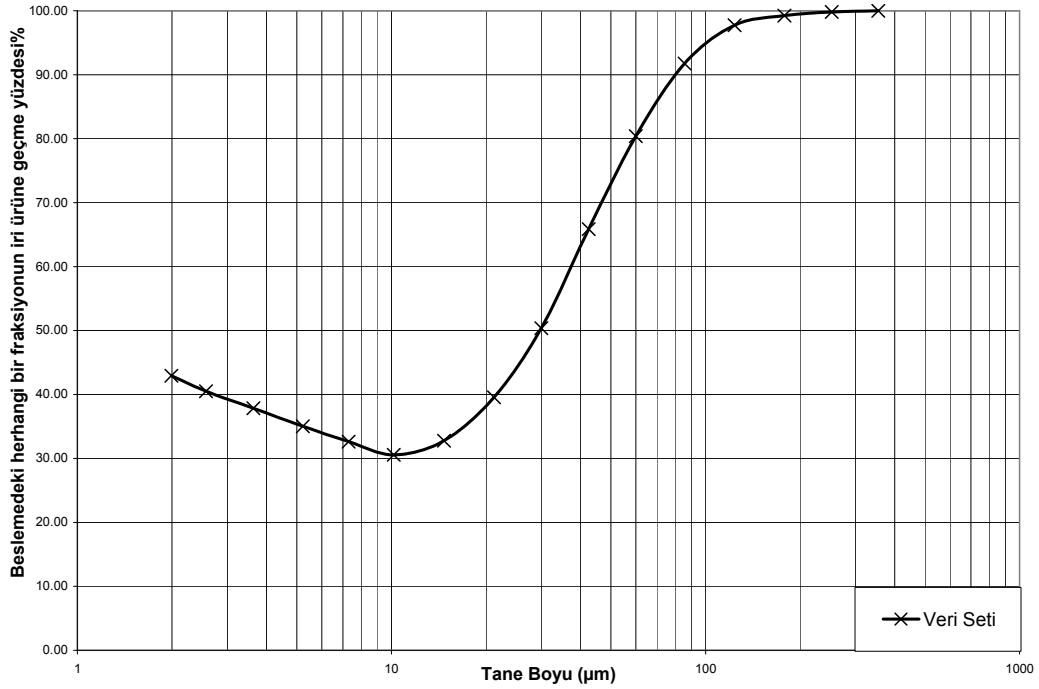
Gerçek verimlilik eğrisinin hesaplanmasında izlenecek yol sırasıyla,

- Sınıflandırıcı beslemesinden, iri ve ince akışından numune alınması ve tane boyu dağılımlarının belirlenmesi.
- Deneysel verilerdeki hataları gidermek ve her akıştaki malzeme miktarını belirlemek amacı ile madde denkliliği çalışmasının yürütülmesi.

- Beslemedeki her fraksiyonun iri ya da ince akıştaki bulunma oranlarının belirlenmesi.

Çizelge 4.1. Gerçek verimlilik eğrisinin hesaplanması

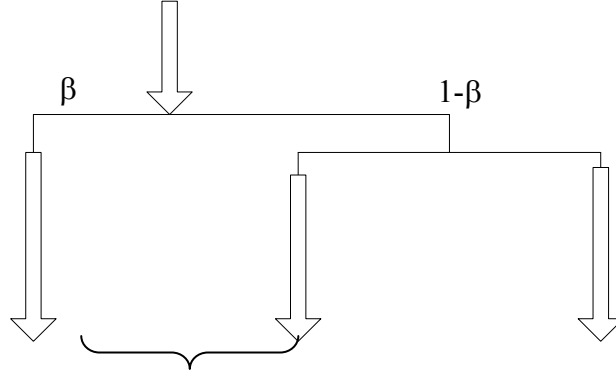
Tane Boyu (µm)	Partisyon Boyu (µm)	F (ton/saat)	U (ton/saat)	R	Besleme Miktarı (ton/saat)	Alt Akım Miktarı (ton/saat)	% Verim
		598.3	466.3	32.7			
206							
122	159	2,5	3,3		1515,7	1515,5	100,0
86	102	7,1	9,2		4266,6	4266,6	100,0
60	71,8	15,9	20,2		9513,0	9419,3	99,0
42	50,2	21,2	25,8		12666,0	12025,9	94,9
30	35,5	16,4	17,9		9812,1	8360,8	85,2
21	25,1	10,4	9,1		6210,4	4220,0	68,0
15	17,7	6,1	3,7		3637,7	1739,3	47,8
10	12,2	5,2	2,4		3105,2	1123,8	36,2
7,4	8,6	2,7	1,1		1609,4	526,9	32,7
5,2	6,2	2,4	1,1		1412,0	498,9	35,3
3,6	4,3	2,1	1,1		1268,4	526,9	41,5
2,6	3,1	1,8	1,1		1071,0	503,6	47,0



Şekil 4.2. Farklı veri setlerine ait gerçek verimlilik eğrileri

4.2. Düzeltilmiş ve İndirgenmiş Verimlilik Eğrisi

Gerçek verimlilik eğrisinde (Şekil 4.2) Y eksenine çoğu zaman 0 değerine ulaşmamaktadır. Bu nedenle kaçak modeli geliştirilmiştir (Onuma ve Ito, 1993). Geliştirilen modelde, sınıflandırıcı beslemesindeki belirli bir miktarın, sınıflandırma işlemine tabi tutulmadan kaçak olarak iri akışa gittiği kabul edilmektedir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Kaçak modeli

Sınıflandırıcı Beslemesi

Bu modele göre verimlilik eğrisi ilki kaçak bölüm (β olarak gösterilmekte) ve ikincil olarak kaçak olmamış bölüm (d_{50c} ve ayırım keskinliği olarak ifade edilir.) olmak üzere iki parçaya bölünmektedir. Gerçek performans eğrisinde Y eksenindeki değerlere Eşitlik 4.1'in uygulanması ve her bir fraksiyondan kaçak olarak belirlenen miktarın çıkarılmasıyla düzeltilmiş performans eğrisi elde edilmektedir (Şekil 4.4).

Eşitlik
$$E_{uc} = \frac{y - R}{100 - R} \quad (4.1)$$

Biçiminde olup, burada;

Kaçak

E_{uc} = Alt akıma göre hesaplanmış düzeltilmiş performans eğrisi olasılık değerleri

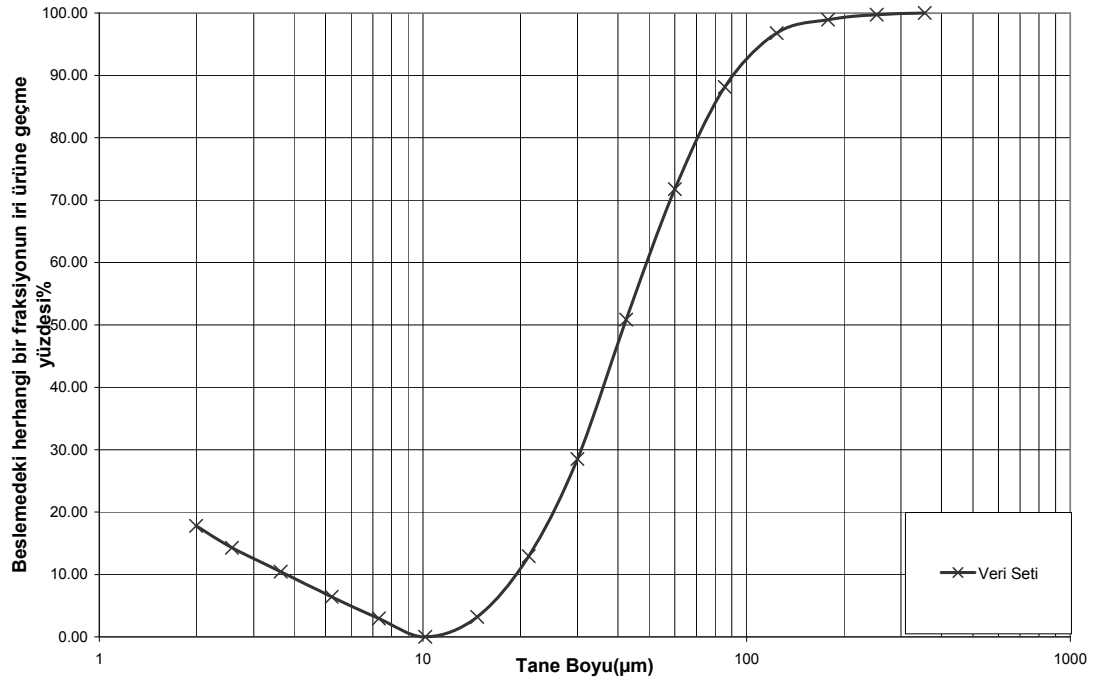
R = Kaçak miktarı

y = Alt akıma göre hesaplanmış gerçek performans eğrisi olasılık değerleri

Çizelge 4.2'de gerçek performans eğrisinden kaçak miktarının çıkarılması sonucu hesaplanan düzeltilmiş performans eğrisi değerleri verilmektedir. **Değirmene Dönen**

Çizelge 4.2. Düzeltilmiş performans eğrisi hesap sonuçları

Tane Boyu (µm)	% Verim	Düzeltilmiş Verim (%)
206		
122	100,0	100,0
86	100,0	100,0
60	99,0	98,5
42	94,9	92,5
30	85,2	78,0
21	68,0	52,4
15	47,8	22,4
10	36,2	5,1
7.4	32,7	0,0
5.2	35,3	3,9
3.6	41,5	1,1
2.6	47,0	2,2

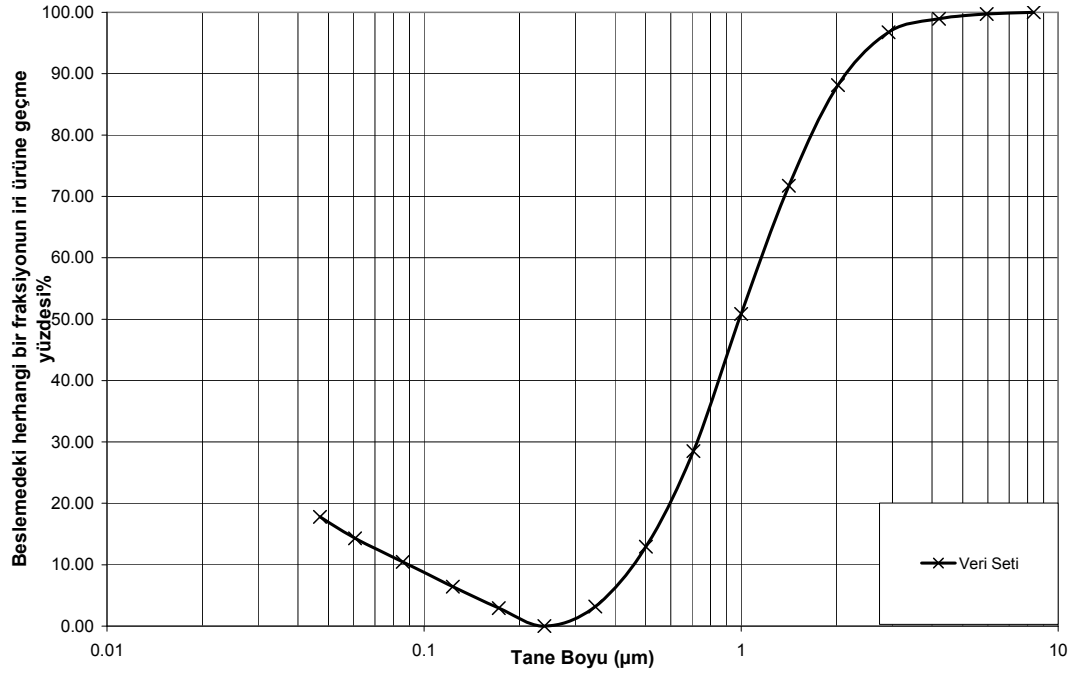


Şekil 4.4. Düzeltilmiş performans eğrileri

Eğer X ekseninde yer alan tane boyları düzeltilmiş performans eğrisinden elde edilen kesme boyuna (d_{50c}) bölünürse eğri normalize edilmekte ve indirgenmiş performans eğrisi elde edilmektedir (Şekil 4.5).

İndirgenmiş performans eğrisi her bir fraksiyondaki tanelerin ayırma işleminde diğer tane boylarına kıyasla nasıl davrandığını göstermektedir. Her sınıflandırıcı için bu eğrinin çizilmesi ile farklı sınıflandırıcıların performanslarının tek bir egride karşılaştırılması sağlanmış olmaktadır (Nageswararao, 1999).

Lynch ve Rao indirgenmiş performans eğrisinin sınıflandırıcı boyutlarından ya da işletim koşullarından bağımsız olduğunu, sadece malzemenin özelliklerine göre değişim gösterdiğini belirtmişlerdir. Çalışmaları sonucunda, malzeme yoğunluğunun ve şeklinin performans eğrisi üzerinde etkili olduğu anlaşılmıştır (Nageswararao, 1999).



Şekil 4.5. İndirgenmiş performans eğrileri

4.3. Havalı Sınıflandırıcılarda Performans Üzerinde Etkili Olan Parametreler

4.3.1. Kesme Boyu

Kesme boyu, sınıflandırıcı içerisinde taneler üzerine etkiyen kuvvetlerin dengede olduğu koşuldaki tane boyunu ifade etmektedir. Bu boya sahip tanelerin iri ya da ince ürüne gitme olasılıkları birbirine eşittir.

Her sınıflandırıcı, sınıflandırma işlemini sahip oldukları performans eğrisine göre yapmaktadır. Bu eğriden de anlaşılacağı gibi taneler irileştikçe iri üründe toplanma verimlilikleri artarken, beraberinde taneler inceldikçe, ince üründe toplanma verimlilikleri de artmaktadır. Dolayısı ile ekipmanın kesme boyunda yapılacak olan bir değişiklik, verimliliğe direkt olarak etki etmektedir (Anonim, 2004).

4.3.2. Hava Akımı İçerisinde Tanelerin Davranımı

Havalı sınıflandırıcılar taneleri, kesit alanına bağlı olarak sınıflama gerçekleştiren elek sistemlerinden farklı olarak, hava akımı içerisinde sergilemiş oldukları çökme hızlarındaki farklılıktan yararlanarak sınıflamaktadırlar. Yapılan deneysel çalışmalar, havalı sınıflandırıcılardaki bu farklılığı desteklemektedir (Anonim, 2004).

- Yoğunluktaki değişim tanelerin çökme hızlarına doğrudan etki etmektedir. Akışkan içerisinde, 2 g/cm^3 yoğunluğa sahip $74 \mu\text{m}$ 'lik tane ile 4 g/cm^3 yoğunluğa sahip $53 \mu\text{m}$ 'lik tane aynı davranışı sergilemektedir.
- Uçucu kül gibi gözenekli tanelere sahip malzemeler, sınıflandırılacak olan malzemelerin yoğunluklarına, dolayısıyla çökme hızlarına etki etmektedir.
- Tanelerin şekli küresellikten uzaklaştıkça, yüzey alanındaki değişkenlikten dolayı, hava akımının tane üzerine etkisi her noktada aynı olmamaktadır. Örneğin, uzunluğu, kalınlığının altı katı olan yapraksı bir mika tanesi düşünüldüğünde, ortalama çapına bakıldığında iri üründe alınması gerekirken, yapraksı yapısından dolayı hava ile birlikte taşınıp ince üründen alınabilmektedirler.

4.3.3. Malzemenin Topaklanma Eğilimi

Topaklanma, ince tanelerin birleşerek $125 \mu\text{m}$ 'den büyük tane boyuna sahip bir küme ya da topak oluşturması olarak tanımlanmaktadır. Sınıflandırıcılara beslenen malzeme topluluğunda, $10 \mu\text{m}$ tane boyunun altındaki malzeme miktarındaki artış,

tanelerin topaklanma eğilimini de arttırmaktadır. Dolayısı ile beslemenin akışkanlık karakteristiği de zayıflamaktadır. Sonuç olarak sınıflandırıcı beslemesindeki tane boyu dağılımı da değişmektedir (Richardson, 2002). Bu değişim sınıflandırıcı performansı üzerinde olumsuz etki yapmaktadır.

Taneler arası topaklanma, ikili etkileşim serisi sonucu oluşmaktadır. Buna göre i ve j taneleri için topaklanma hızı Eşitlik 4.2'de ifade edilmektedir (Refstrup, 1992).

$$\text{Eşitlik} \quad K_{ij} * E_{ij} * n_i * n_j \quad (4.2)$$

Biçiminde olup, burada;

K_{ij} , çarpışma sıklığı sabitidir.

E_{ij} , çarpışma verimliliğidir (yapışma olasılığı). Malzeme topluluğunun kimyasal bileşimi ve tanelerin yapışmasını etkileyen nem içeriği ile belirlenen bir parametredir.

n_i ve n_j ise iki malzemenin ayrı ayrı konsantrasyonlarını ifade eder.

Topaklanmaya neden olan etkenler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Richardson, 2002),

- Nem Miktarı: Öğütülen malzeme içerisindeki nemin topaklanma üzerine iki etkisi vardır. İlk olarak taneler arası yüzey gerilimini arttırarak, tanelerin birleşmelerine neden olması, ikincil olarak da bir miktar katının çözünmesine neden olup bağlayıcı eleman gibi davranmalarını sağlaması.
- Yüzey Çekimi: Van der Waals gibi yüzey kuvvetleri 10 μm 'nin altındaki taneler için artış göstermekte ve sonuç olarak birleşme eğilimini arttırmaktadır.
- Elektrostatik Çekim: Ekipmana beslenen tanelerin yüklü olmaları tanelerin kuvvetler aracılığı ile birleşip topaklanmalarına neden olur.

4.3.4. Gaz Akışının Viskozitesi

Havalı sınıflandırıcılar ısıtılmış, soğutulmuş hava ile ya da nitrojen gibi havadan farklı viskoziteye sahip diğer gazlarla işletilebilmektedirler. Farklı gazların viskozitelerinin de farklı olması, taneler üzerinde yarattıkları sürtünme kuvvetlerinin de değişmesine neden olmaktadır. Dolayısı ile farklı gazlar kullanan ekipmanlarda aynı kesme boyunu ayarlamak için taneler üzerine etki eden yerçekimsel,

eylemsizlik ve merkezkaç kuvvetlerinin de aynı oranda değiştirilmesi gerekmektedir (Anonim, 2004).

4.3.5. Yüzey Alanı

Birim hacimde bulunan tane sayısı, sınıflandırıcı kapasitesinin belirlenmesinde önemli bir etkidir. Sınıflandırıcılara daha ince taneli malzeme beslendiğinde, aynı hacimde daha fazla tane bulunacağından sınıflandırıcının verimi olumsuz yönde etkilenecektir.

Öğütülen malzemenin heterojen bir yapıya sahip olmasından dolayı yüzey alanı ölçümünde tane sayımı kullanılmamakta, belirli bir akış için yüzey alanı ölçümü yaygın olarak Blaine testi ile elde edilen değer ile ifade edilmektedir.

Yukarıda bir havalı sınıflandırıcının performansına etki eden parametreler sıralanmıştır. Bu değişkenlerden bazıları hava hızı, besleme hızı ve rotor hızı gibi sınıflandırıcının işletim değişkenleri ile kontrol edilebilmektedir.

Önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi sınıflandırma verimliliğini etkileyen önemli parametrelerden biri de malzemenin ekipman içerisinde dağıtılmasıdır. Malzemeler ayırma sürecinde dağıtılamadığında ince taneler iri tanelere yapışmakta ve incelerin toplandığı iç konik bölüm yerine iri tanelerin olduğu bölgeye gitmektedirler. Bu nedenden dolayı etkin bir dağıtım yapılması gereklidir (Kolacz, 2002).

Sınıflandırma havası da kritik bir öneme sahiptir. Hava hızı arttırıldıkça kaçak miktarı azalmaktadır. Hava hızı üretici firmanın belirlediği aralıkta olmalıdır. Sınıflandırıcının işletmesinin uygun olup olmadığı, statik basınç ile sınıflandırıcı fan performansı karşılaştırılarak hızlı bir şekilde bulunabilir (Anonim 2).

Sınıflandırma havasındaki malzeme içeriği de ortamın viskozitesi ve yoğunluğu üzerinde etkili olduğu kadar ürün tane boyunun değişmesine de neden olmaktadır. Yüksek katı miktarında çalışan ekipmanlarda tane boyu yatay iken, düşük malzeme içeriğinde daha dik olmaktadır. Dolayısıyla malzeme miktarındaki fazlalık sınıflandırıcı performansına olumsuz etki etmektedir (Kolacz, 2002).

5. GÜNÜMÜZE KADAR GELİŞTİRİLMİŞ VERİMLİLİK EĞRİSİ YAKLAŞIMLARI

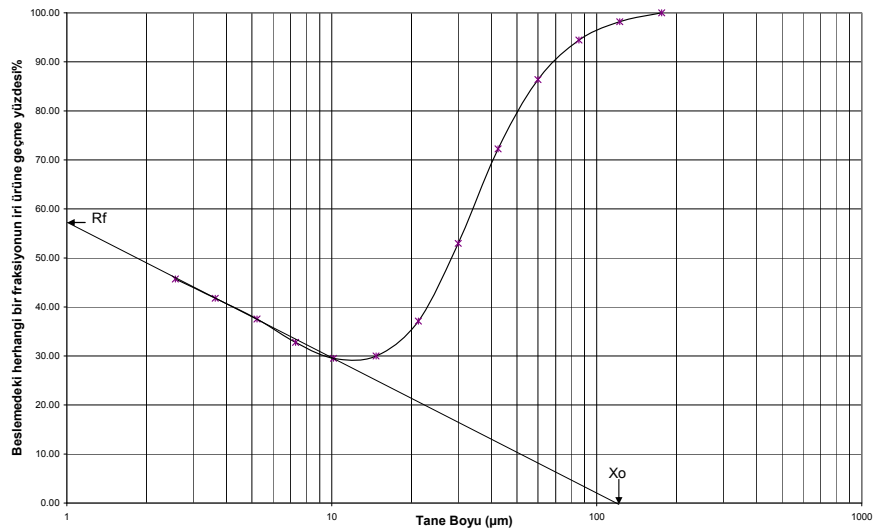
Bugüne kadar geliştirilmiş olan verimlilik eğrisini tanımlayan eşitlikler aşağıda verilmektedir,

5.1. Finch Eşitliği

$$S(x) = C(x) + a(x) \quad (5.1)$$

Finch modeli iki ayrı eşitliğin toplanması olarak tanımlanmaktadır (Eşitlik 5.1). $C(x)$ beslemedeki fraksiyonun sınıflandırmada etkin olan kuvvetler aracılığı ile x boyutunda alt ürüne geçme yüzdesini, $a(x)$ beslemedeki fraksiyonun sınıflandırmada etkin olan kuvvetlerden bağımsız olarak, x boyutunda alt ürüne geçme yüzdesini ifade eder. Belirli bir tane boyunun altında, x_0 , $a(x)$ ' in azalan tane boyu ($x < x_0$) ile $a(0) = R_f$ noktasına kadar lineer olarak arttığı varsayılır (Şekil 5.1) (Finch, 1982). Bu form $a(x)$ ' i açıklamak için, Plitt/Reid eşitliği de $C(x)$ 'i açıklamak için kullanıldığında eşitlik aşağıdaki hale gelir (Eşitlik 5.2). Şekil 5.1'de kullanılan değişkenlerin anlamları verilmektedir. Eşitliğin ilk bölümünün Plitt eşitliği kullanılarak tanımlanmasından dolayı bu bölümde yer alan x_{50} parametresi düzeltilmiş kesme boyunu ifade etmektedir. N parametresi ayırım keskinliğini ifade etmekte, R_f ve x_0 parametrelerinin anlamları ise Şekil 5.1'de gösterilmektedir.

$$S(x) = 1 - \exp \left[-0,693 \left(\frac{x}{x_{50}} \right)^n \right] + R_f \left(\frac{x_0 - x}{x_0} \right) \quad (5.2)$$



Şekil 5.1. Finch eşitliğindeki parametrelerin anlamları

5.2. Plitt Eşitliği

Plitt eşitliği indirgenmiş verim eğrisini tanımlamaktadır (Eşitlik 5.3).

$$E_{uc} = 1 - \exp \left[- \ln 2 \left(\frac{d}{d_{50c}} \right)^m \right] \quad (5.3)$$

m, ayırım keskinliğini, d_{50c} tanelerin iri ya da ince akışa geçme olasılığının eşit olduğu düzeltilmiş kesme boyunu ifade etmektedir (Plitt, 1976).

5.3. Whiten Eşitliği

Whiten performans eğrisini Eşitlik 5.4 ile ifade etmektedir. Bu eşitlik, üst akıma göre çizilecek olan gerçek performans eğrisini ifade etmektedir. Bu model olta etkisini de tanımlamaktadır (Napier-Munn vd., 1997).

$$E_{oa} = C \left[\frac{(1 + \beta \beta^* X)(\exp(\alpha) - 1)}{\exp(\alpha \beta^* X) + \exp(\alpha) - 2} \right] \quad (5.4)$$

Bu eşitlikte;

β : Olta etkisini ifade eden değişken

α : Ayırım keskinliğini ifade eden değişken

β^* : d_{50c} nin tanımından gelen bir değişken ; $E=(1/2)C$ iken $d=d_{50c}$

X : $\frac{d}{d_{50c}}$

C : Gerçek sınıflandırma işlemine maruz kalan fraksiyon; (1-kaçak)

d_{50c} : Düzeltilmiş kesme boyu

E_{oa} : Üst akıma göre hesaplanmış gerçek verimlilik eğrisi

5.4. Zhang Eşitliği

Zhang eşitliği aşağıda verilmektedir (Eşitlik 5.5),

$$E_{oa} = C \left[\frac{\exp \left(- \alpha \left(\frac{d}{d_{50c}} \right) \right)}{A \left(\frac{d}{d_{50c}} \right)^2 - B \left(\frac{d}{d_{50c}} \right) + 1} \right] \quad (5.5)$$

Eşitlik 5.5, üst akıma göre çizilecek olan gerçek performans eğrisini ifade etmektedir.

Bu eşitlikte;

C : Gerçek sınıflama işlemine maruz kalan fraksiyon, (1-kaçak)

d_{50c} : Düzeltilmiş kesme boyu

α, B, A : Verimlilik eğrisinin şeklini tanımlayan değişkenler

Bu modelle de olta etkisi tanımlanabilmektedir (Zhang vd., 1988).

5.5. Lynch ve Rao (1975)

$$E_{oa} = C \left[\frac{(\exp(\alpha) - 1)}{\left(\exp\left(\alpha \left(\frac{d}{d_{50c}} \right) \right) + \exp(\alpha) - 2 \right)} \right] \quad (5.6)$$

Eşitlik 5.6, üst akıma göre çizilecek olan verimlilik eğrisini ifade etmekte ve verimlilik eğrisinde olta etkisinin gözlenmediği şartlarda kullanılmaktadır.

Değişkenlerin anlamı, Whiten eşitliği ile aynıdır (Napier-Munn vd. 1997). Bu eşitlikte,

α : Ayırım keskinliğini ifade eden değişken

d_{50c} : Düzeltilmiş kesme boyu

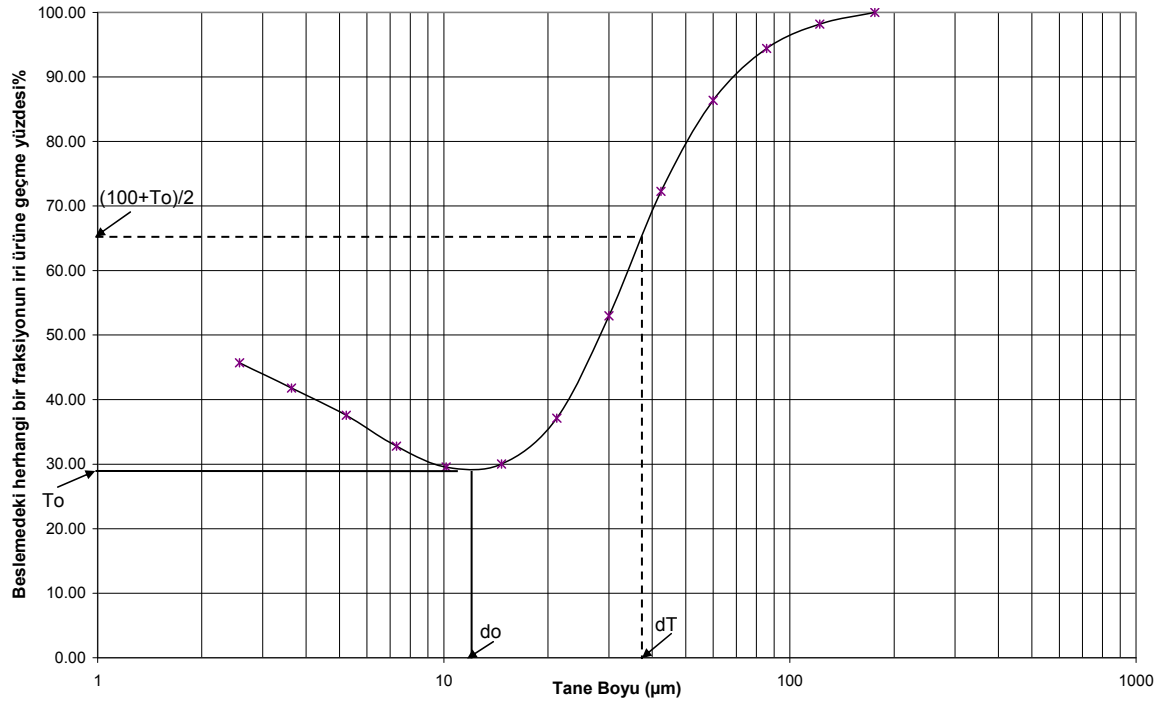
5.6. Lippek ve Espig Eşitliği

$$T(d) = T_0 + (1 - T_0) \left[1 - \exp\left(-\ln(2) \left| \frac{d - d_0}{d_T - d_0} \right|^\delta \right) \right] \quad (5.7)$$

Eşitlik 5.7, alt akıma göre çizilecek olan gerçek performans eğrisini ifade etmektedir. Bu eşitlikte

δ : Verimlilik eğrisinin şeklini tanımlayan değişkendir

Değişkenlerin anlamı Şekil 5.2'de gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Lippek ve Espig eşitliğindeki parametrelerin anlamları

5.7. Molerus Eşitliği

Molerus tarafından geliştirilen bu eşitlik, alt akıma göre ifade edilen gerçek performans eğrisini vermektedir (Ito vd., 1996).

$$T(D_p) = \frac{(1-C) \left(\frac{d_{50c}}{D_p} \right)^2 \exp \left[\lambda \left(1 - \left(\frac{D_p}{d_{50c}} \right)^2 \right) \right]}{1 + \left(\frac{d_{50c}}{D_p} \right)^2 \exp \left[\lambda \left(1 - \left(\frac{D_p}{d_{50c}} \right)^2 \right) \right]} \quad (5.8)$$

Bu eşitlikte,

- λ : Ayırım keskinliğini ifade eden değişken,
- C : İri ürüne göre hesaplanmış kaçak miktarıdır.

6. HAVALI SINIFLANDIRICILARIN MODELLENMESİNDE GÜNÜMÜZE KADAR GELİŞTİRİLMİŞ AMPİRİK YAKLAŞIMLAR

Havalı sınıflandırıcılar için geliştirilmiş olan ampirik modelleme yaklaşımları, verimlilik eğrisini ifade eden eşitlikler ile işletim değişkenleri arasındaki ilişkilerin tanımlanması ile ortaya çıkmaktadır. Günümüze kadar birçok araştırmacı tarafından bu tür çalışmalar yürütülmüştür (Benzer vd., 2001; Benzer, 2005; Lynch vd., 2000; Zhang, 1992).

Zhang (1992), modelleme için aralarında O-Sepa, hava soğutmasız Sturtevant, Pfeiffer ve hava soğutmalı Sturtevant bulunduğu dört farklı tipteki havalı sınıflandırıcıdan numuneler almıştır. O-Sepa sınıflandırıcısında, farklı iki koşul için numune alma çalışmalarını yürütmüştür. Aldığı veriler üzerinde madde denklığı çalışmaları yürütmüş ve her koşul için verimlilik eğrilerini çizmiştir. Bundan sonraki aşamada ise Eşitlik 5.5'i kullanarak modelleme çalışmalarına başlamış ve işletme parametreleri ile model parametreleri arasındaki uyumu incelemiştir.

Çalışmaları sonucunda verimlilik eğrisinin şeklini tanımlayan α ve B parametrelerinin işletim parametrelerinden bağımsız ancak sınıflandırıcı tipine bağlı olduğu ortaya çıkmıştır. Herbir örnekleme dönemi için yaptığı hesaplamalar sonucu elde ettiği değerler Çizelge 6.1'de verilmektedir (Zhang, 1992).

Çizelge 6.1. Zhang model çalışmalarının sonuçları

Sınıflandırıcı Tipi	α Parametresi	B Parametresi
O-Sepa	0,35	2,4655
O-Sepa	0,35	2,1440
Hava Soğutmasız Sturtevant	0,5756	1,7325
Hava Soğutmalı Sturtevant	0,2115	1,1910
Pfeiffer	0,00	1,6803

Zhang (1992), eşitlikteki diğer parametreleri (C ve d50c) işletim değişkenleri ile ilişkilendirebilmiştir. Buradaki C değeri üst akıma göre hesaplanmış kaçağı ifade etmektedir. Modeli oluştururken kullandığı temel denklik aşağıda verilmektedir.

$$\text{Parametre (C veya } \ln(d_{50c}) = a_0 + a_1.TTON + a_2.TAIR + a_3.DSIZE + a_4.SPEED \quad (6.1)$$

TTON : Sınıflandırıcıya yapılan besleme (ton/saat)

TAIR : Sınıflandırıcıya giren hava miktarı (m³/saat)

DSIZE: Sınıflandırıcı beslemesinde 53 µm ve 19 µm arasında kalan malzeme %

SPEED: Sınıflandırıcı rotor hızı (rpm)

Kaçak ve kesme boyu parametreleri için yaptığı regresyon çalışmalarının sonucunda elde ettiği denklıklar Eşitlik 6.2 ve Eşitlik 6.3'te verilmektedir. Kaçak parametresi için hesapladığı eşitlik sonucu elde ettiği R² değeri 0,88 iken, düzeltilmiş kesme boyu için hesapladığı eşitlik sonucu elde ettiği R² değeri 0,955 olarak verilmektedir (Zhang, 1992).

$$C = 0,2403 - 0,1485E - 02TTON + 0,2654E - 05TAIR + 0,7785E - 02DSIZE \quad (6.2)$$

$$\ln(d_{50c}) = -2,275 + 0,2752E - 05TAIR - 0,8630E - 03SPEED - 0,1893E - 01DSIZE \quad (6.3)$$

Havalı sınıflandırıcıların ampirik modellenmesi ile ilgili yapılan bir diğer çalışma ise Günlü (2006) tarafından tamamlanmıştır. Alınan numuneler üzerinde madde denklığı çalışmaları yapılmış, her bir veri seti için de verimlilik eğrileri çizilmiştir. Modelleme çalışmaları sırasında Whiten eşitliğinin kullanıldığı çalışmada, işletim parametreleri ile Whiten eşitliği parametreleri arasındaki ilişkiler incelenmiş ve Sepol ve Sepax tipi yüksek verimli sınıflandırıcılar için ayrı modeller geliştirilmiştir.

Yapılan hesaplamalar sonucu verimlilik eğrisinin şeklini tanımlayan parametrelerden biri olan α , sınıflandırıcılar için sabit tanımlanmıştır. Sepol tipi sınıflandırıcılar için 0,7 değeri alınırken, Sepax tipi sınıflandırıcılar için 1,5 değeri kabul edilmiştir (Günlü, 2006).

Sepol tipi sınıflandırıcılarda yapılan çalışmalar sonucu elde edilen kesme boyu ile işletim parametreleri arasındaki ilişki Eşitlik 6.4'te verilmektedir (Günlü, A., 2006).

$$d_{50c} = 0,3652 * (\text{hava hızı/rotor hızı}) - 0,0353 \quad (6.4)$$

R^2 değeri 0,9815 olan eşitliğe göre sınıflandırıcı kesme boyu hava hızı ile doğru orantılı iken rotor hızı ile ters orantılıdır.

Whiten eşitliğindeki bir diğer parametre olan C ile işletim değişkenleri arasındaki ilişki de incelenmiştir. Modelden hesaplanan C parametresi üst akıma göre hesaplanmış kaçak değerini temsil etmektedir. Yapılan çalışmalar sonrası elde edilen denklik Eşitlik 6.5'te verilmektedir (Günlü, 2006).

$$C = -10027 * (\text{kapasite}/(\text{hava hızı})^3) + 68,51 \quad (6.5)$$

Whiten eşitliğindeki bir diğer parametre olan β ile de işletim parametreleri arasındaki ilişkiler incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Eşitlik 6.6'da verilmiştir.

$$\beta = 458,73 * (\text{kapasite}/(\text{hava hızı})^3) + 1,0493 \quad (6.6)$$

Sepax sınıflandırıcılar için yapılan çalışmalarda da aynı yöntem izlenmiştir. Elde edilen eşitlikler aşağıda verilmektedir (Günlü, 2006).

$$d_{50c} = 0,9401 * (\text{hava hızı}/\text{rotor hızı}) - 0,068 \quad (6.7)$$

$$C = -1034,3 * (\text{kapasite}/(\text{hava hızı})^3) + 92,133 \quad (6.8)$$

$$\beta = 205,08 * (\text{kapasite}/(\text{hava hızı})^3) + 0,4771 \quad (6.9)$$

Zhang (1992) tarafından geliştirilen denklikler sonucunda, sınıflandırıcı besleme tonajının üst akıma göre hesaplanmış kaçak ile ters orantılı olduğu ve sınıflandırıcı beslemesindeki $-53 \mu\text{m} +19 \mu\text{m}$ malzeme yüzdesinin ve sınıflandırıcıda kullanılan hava miktarının üst akıma göre hesaplanmış kaçak ile doğru orantılı olduğu anlaşılmaktadır. Düzeltilmiş kesme boyu üzerinde yaptığı çalışmalar sonucunda, kesme boyunun hava hızı ile doğru orantılı olduğu, sınıflandırıcı hızı ve sınıflandırıcı beslemesindeki $-53 \mu\text{m} +19 \mu\text{m}$ malzeme yüzdesinin ise ters orantılı olduğu anlaşılmaktadır.

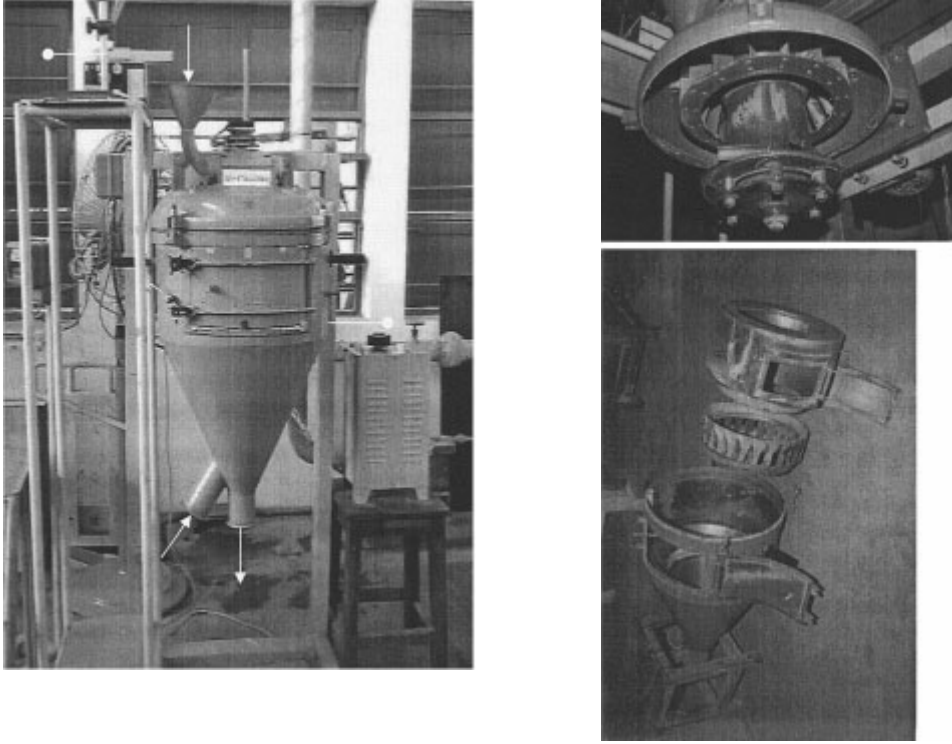
Günlü (2006) tarafından geliştirilen ve Whiten eşitliği (Eşitlik 5.4) kullanılarak elde edilen denklikler sonucunda, düzeltilmiş kesme boyunun hava hızı ile doğru orantılı ve rotor hızı ile ters orantılı olduğu anlaşılmaktadır. Üst akıma göre hesaplanmış C parametresi üzerine yaptığı çalışmalar sonucunda ise bu

parametrenin sınıflandırıcıya yapılan besleme miktarının artırılması ile azaldığı, hava hızındaki artış ile arttığı anlaşılmaktadır. Ancak Whiten eşitliğinden hesaplanan ve modelleme çalışmalarında kullandığı C değeri, gerçek kaçak değerini temsil etmemekte, kaçak ile balık oltası etkisinin birleşimini vermektedir. Dolayısı ile bu modelden elde edilecek olan C değeri, verimlilik eğrisinden elde edilen kaçak değerini temsil etmemektedir. Bu tez kapsamında verimlilik eğrisini en iyi tanımlayan eşitliğin bulunması ve yukarıdaki modellerde belirtilen eksikliklerin giderilmesi hedeflenmiştir.

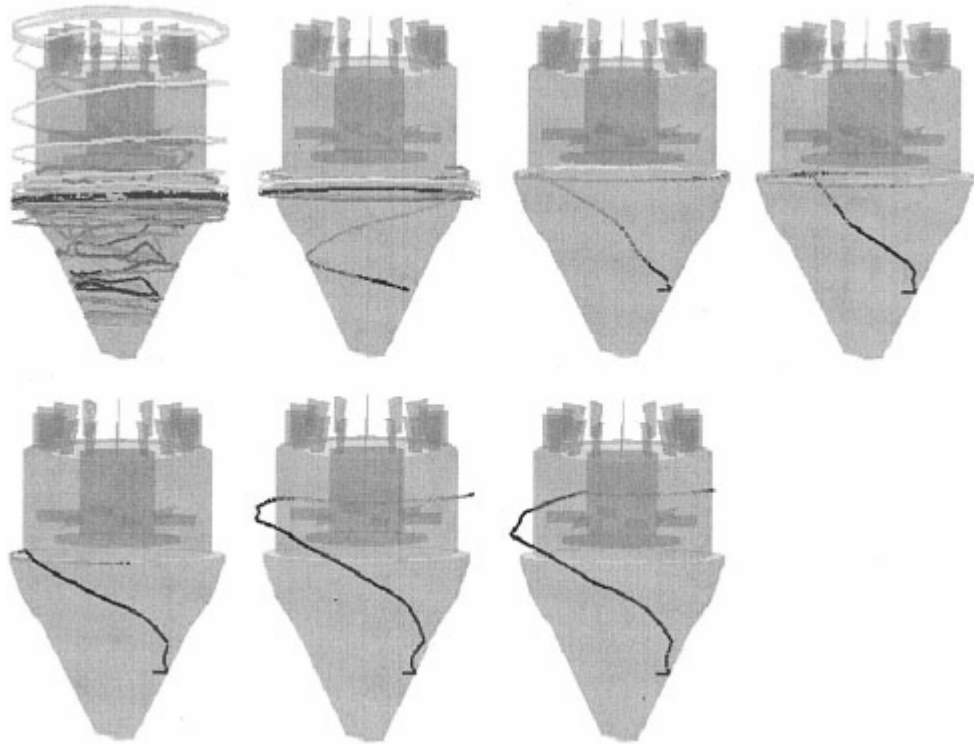
Modelleme çalışmalarında ampirik yaklaşımların yanı sıra bilgisayar teknikleri de kullanılmaya başlanmıştır. Son yıllarda hesaplamalı akışkanlar dinamiği teknikleri kullanılarak yeni modeller geliştirilmiş ve tanelerin sınıflandırıcı içerisindeki davranışlarına ışık tutulmaya çalışılmıştır.

Katı ya da sıvıların hareketliliğini anlamak birçok mühendislik dalı için büyük önem arz etmektedir. Bugüne kadar bu alandaki eksikliği gidermek için laboratuvar çalışmaları yürütülmüş ancak bilgisayarların hızla gelişmesi ile birlikte akış karakteristikleri matematiksel olarak çözümlenmeye başlanmıştır. Günümüzde ise bu çözümler sonucunda hesaplamalı akışkanlar mekaniği, mühendislik dizayn çalışmalarında ya da proseslerde daha uygulama başlamadan sonuçları görmeye ve değerlendirmeye olanak tanımaktadır (Ansys, 2005).

Hesaplamalı akışkanlar mekaniği modelleme tekniğinin akışkan içeren ekipmanlarda kullanılması, havalı sınıflandırıcıların da bu teknikle modellenmesine olanak tanımaktadır. Narayanan vd., (2005) tarafından yapılan çalışmada rotorlu bir havalı sınıflandırıcı modellenmiştir. Bu çalışma, üst kısmında fan kanatlarının monte edildiği rotoru bulunan, açısı ayarlanabilen yardımcı kanatlar içeren ve titreşimli besleyicisi olan bir ekipmanda gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.1). Döner fan kanatlarının bulunması, havanın hava girişlerinden emilmesini sağlamaktadır. Emilen hava, hava çıkışından sistemi terk etmektedir. Malzeme beslemesi ise titreşimli besleyici aracılığı ile rotorun üzerine yapılmaktadır. Çalışmaların sonucunda farklı tane boylarına sahip tanelerin belirli koşullar altında nasıl sınıflandırıldıkları ve davrandıkları sunulmuştur (Şekil 6.2).



Şekil 6.1. Hesaplamalı akışkanlar mekaniği çalışmasında kullanılan havalı sınıflandırıcı



Şekil 6.2. Hesaplamalı akışkanlar mekaniği çalışmasının sonuçları

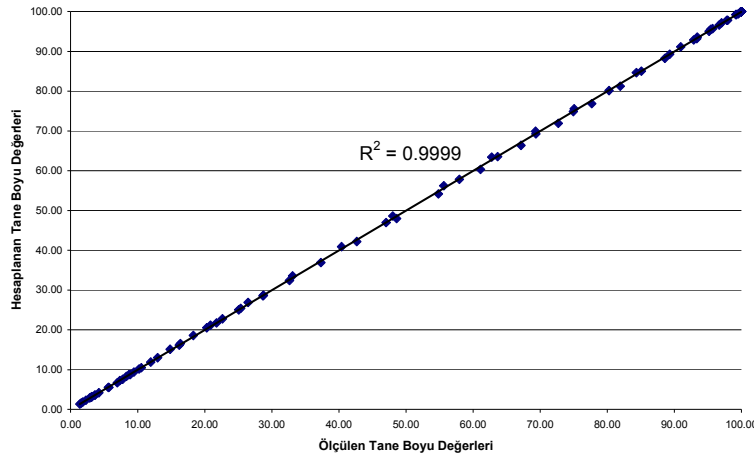
Şekil 6.2'de 10, 25 ,50, 100, 200, 300 ve 400 mikronluk tanelerin davranımı gösterilmektedir. 10 mikron boyuna sahip taneler hava akımına kapılma eğiliminde

iken boy irileştikçe bu eğilim azalmaktadır. Bunun nedeni ise boy arttıkça tanelerin merkezkaç kuvvetinden daha fazla etkilenmeleri ve kendilerini hava akımının oluşturduğu sürtünme kuvvetinden rahatlıkla kurtarabilmeleridir. Bu veriler ışığında 50-200 µm arası tane boyunda, merkezkaç kuvvetinin ve duvar etkisinin taneler üzerinde daha etkili olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca, hesaplamalı akışkanlar mekaniği kullanılarak besleme hızı ve hava hızı gibi işletim parametrelerinin ayırmaya olan etkisi de incelenmiştir. Buna göre kesme boyunun besleme hızı ile ters orantılı, hava hızı ile ise doğru orantılı olduğu ortaya konulmuştur (Narayanan vd., 2005).

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE MADDE DENKLİĞİ ÇALIŞMALARI

Tez kapsamında farklı çimento öğütme devrelerinden numuneler alınmış ve elde bulunan eski veriler de kullanılarak farklı verimlilik eğrisi yaklaşımlarının sonuçları değerlendirilmiştir.

Bu bağlamda, çimento öğütme devrelerinde kullanılan, Sepol dinamik sınıflandırıcı, Sepax dinamik sınıflandırıcı, QDK dinamik sınıflandırıcı, SKS dinamik sınıflandırıcı ve TSV dinamik sınıflandırıcılarından numuneler alınmıştır. Alınan numunelerden deneysel hataların arındırılması amacıyla madde denklığı çalışmaları yürütülmüş ve verilerin modelleme için uygun olup olmadığına karar verilmiştir. Madde denklığı çalışmalarındaki temel prensip, sistemin kararlı durumda çalıştığı yaklaşımının kabul edilmesidir. Bu çalışmalar sırasında JK-SimMet paket programındaki madde denklığı modülü kullanılmıştır. Çalışmanın başarısını gösteren ölçülen ve hesaplanan tane boyu değerlerine ait grafik Şekil 7.1'de verilmektedir. Bu grafikteki değerler aynı tane boyuna karşılık gelen kümülatif elekaltı değerlerini temsil etmektedir. Şekil 7.1'de gösterilen grafik bir veri setine ait olup diğer veri setleri için de aynı uyum gözlemlenmiş ancak grafikleri verilmemiştir.



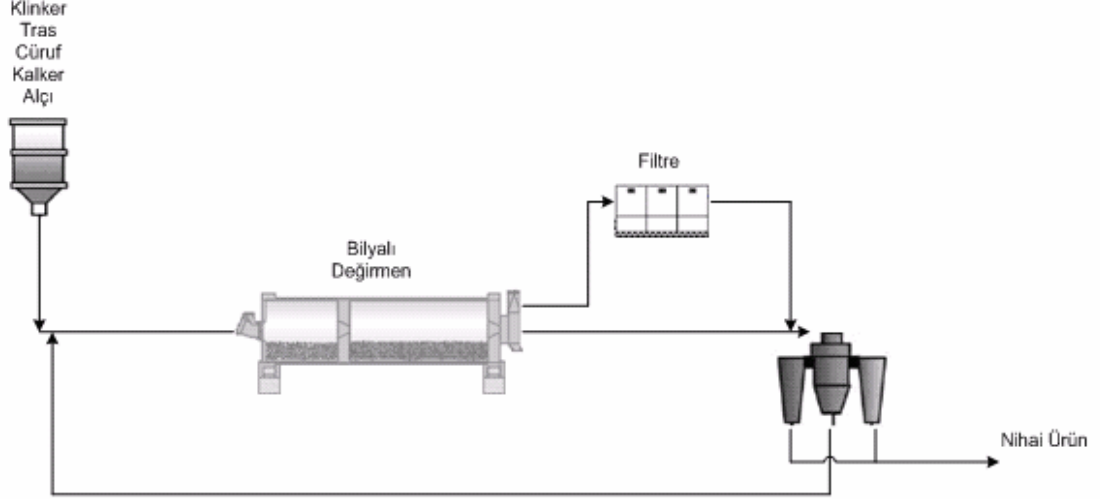
Şekil 7.1. Ölçülen hesaplanan tane boyu değerleri

İlerleyen bölümlerde madde denklığı çalışmalarının sonuçları ölçülen ve hesaplanan tane boyu dağılımı grafikleriyle gösterilmektedir. Madde denklığı çalışmaları sonucu elde edilen her set veri için verimlilik eğrisi çizilip, sınıflandırıcı performansı için çok önemli olan, kaçak, gerçek kesme boyu ve düzeltilmiş kesme boyu değerleri tayin edilmiştir.

7.1. Örneklenen Sepol Dinamik Sınıflandırıcı Devreleri

7.1.1. Italcementi Set Çimento Ambarlı Çimento Öğütme Tesisi

Tesiste 14 farklı işletme koşulu için örnekleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Örnekleme dönemlerine ait işletme koşulları Çizelge 7.1'de verilmektedir.



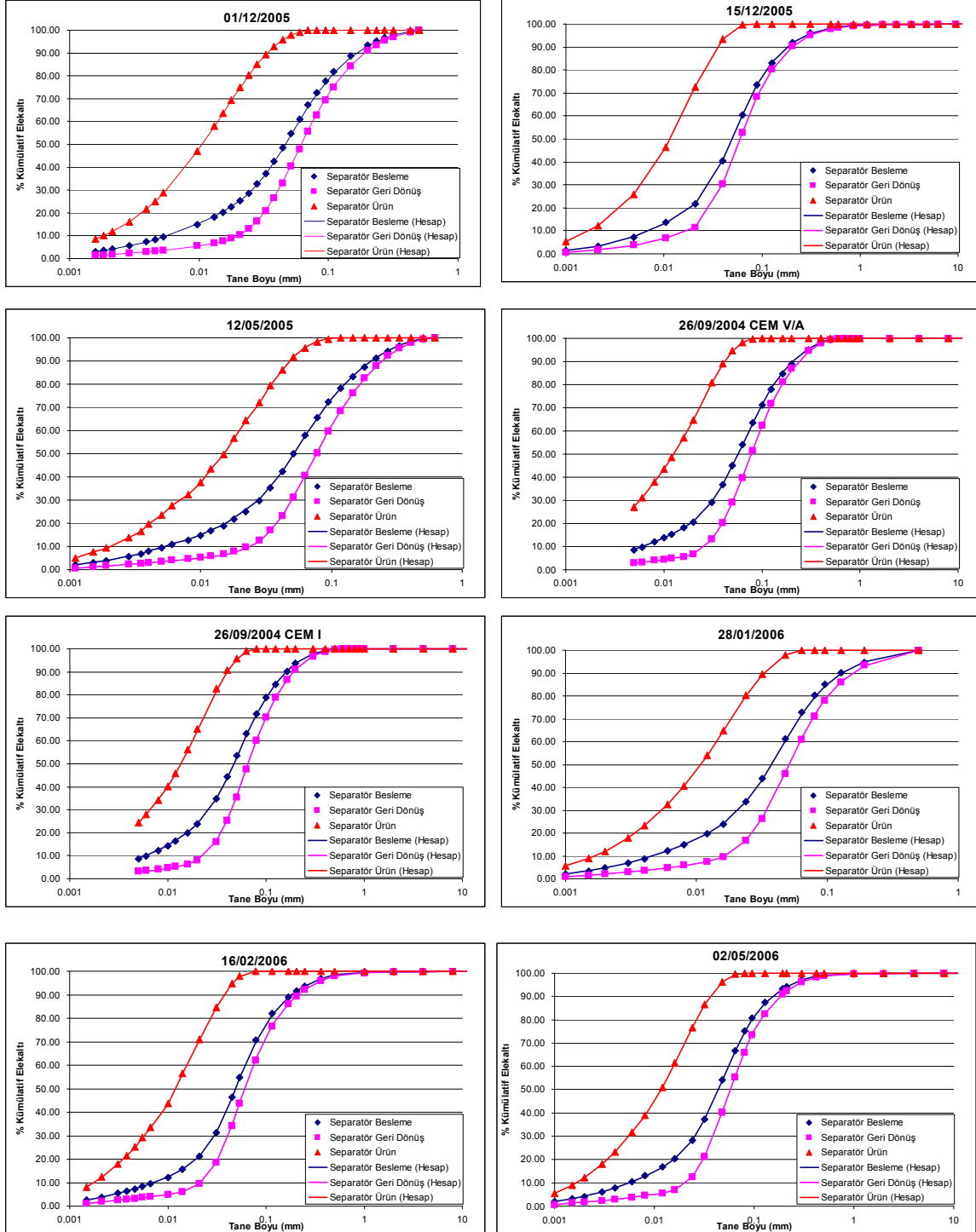
Şekil 7.2. Set Ambarlı çimento öğütme tesisi akım şeması

Şekil 7.2'de tesise ait akım şeması verilmektedir. Devre, ilk kamara uzunluğu 4,8 metre, ikinci kamara uzunluğu 8,8 metre olan bilyalı değirmen ile kapalı devre çalışan Sepol SVZ 215/4 yüksek verimli havalı sınıflandırıcıdan oluşmaktadır.

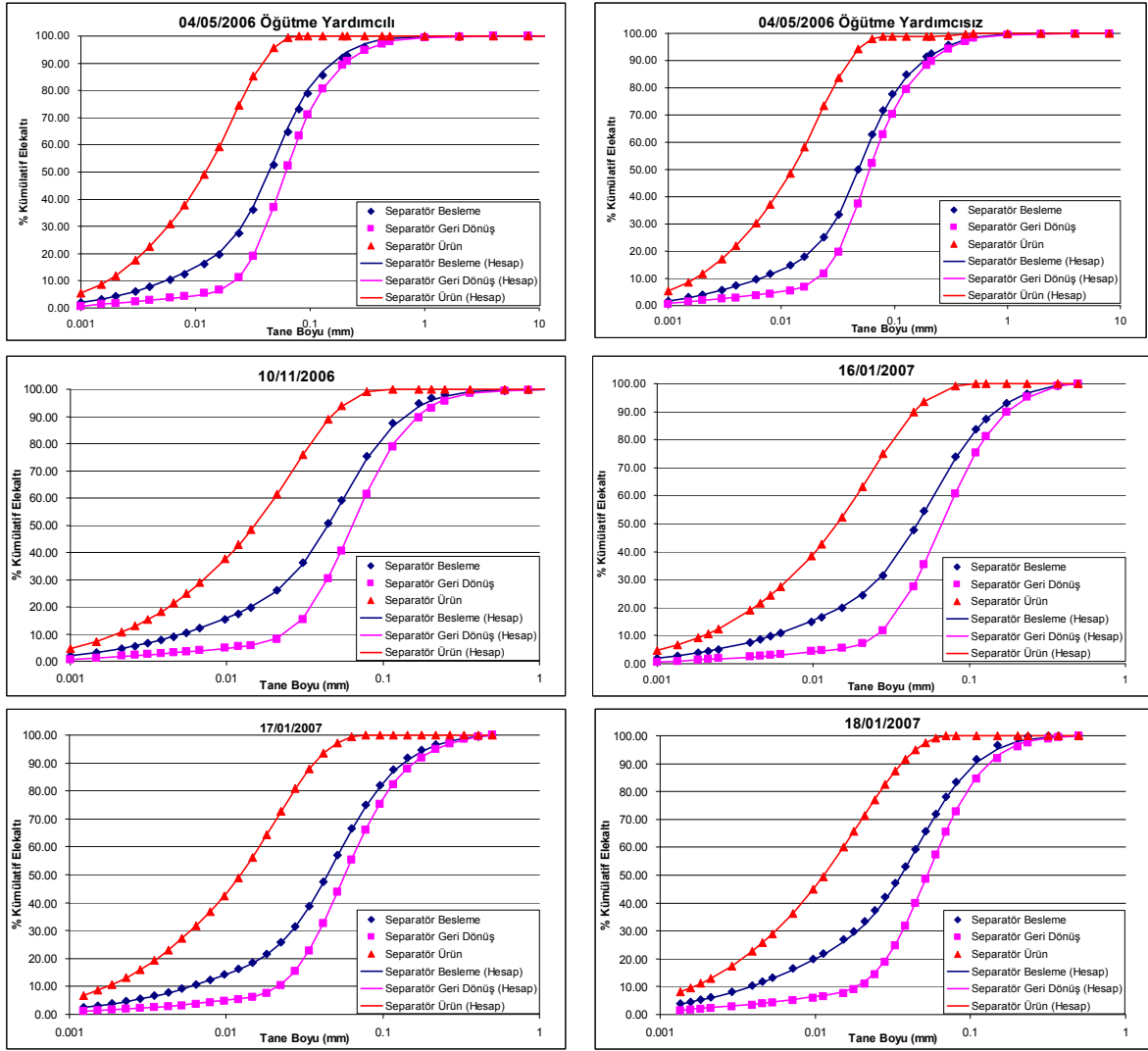
Çizelge 7.1. Set Ambarlı tesisi örnekleme dönemlerine ait işletme koşulları

Üretim Tipi	Örnekleme Zamanı	Taze Besleme (ton/saat)	Rotor Hızı (m/sn)	Hava Miktarı (m ³ /saat)
CEM V/B	01.12.2005	58,2	22,88	121000
CEM V/B	15.12.2005	58,2	22,88	121000
CEM V/B	17.02.2006	55	23,49	121000
CEM V/B	02.05.2006	55	23,19	121000
CEM V/B	12.05.2005	80	18,61	121000
CEM I	26.09.2004	71	19,95	110715
CEM V/A	26.09.2004	71,7	19,74	120395
CEM V/A	10.11.2006	62,7	19,83	121000
CEM V/B	17.01.2007	51	23,49	121000
CEM V/B	18.01.2007	49,46	23,8	121000
CEM V/A	16.01.2007	62	20,75	121000
CEM V/B	04.05.2006 Öğütme yardımcılı	58,5	21,97	121000
CEM V/B	04.05.2006 Öğütme yardımcısız	57	21,97	121000
CEM V/B	28.01.2006	54,5	24,41	121000

Set Ambarlı çimento öğütme tesisine ait farklı dönemlerden alınmış numunelerin tane boyu dağılımlarıyla (ölçülen) ve madde denklığı sonucunda hesaplanan tane boyu dağılımları aşağıdaki grafiklerde verilmektedir (Şekil 7.3.a, Şekil 7.3.b).

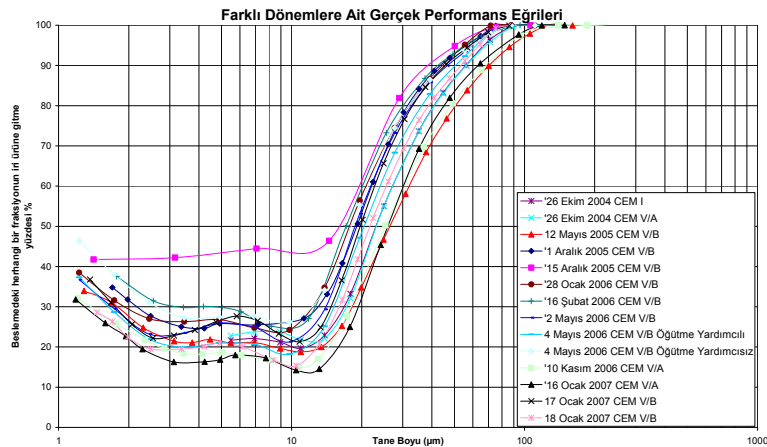


Şekil 7.3.a. Ölçülen ve hesaplanan tane boyu dağılımları

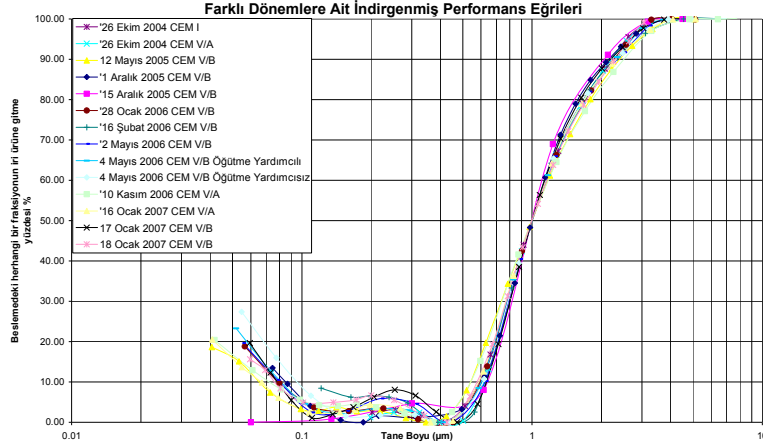


Şekil 7.3.b. SET Ambarlı tesisi ölçülen ve hesaplanan tane boyu dağılımları

Madde denklığı çalışmaları sonucu elde edilen tane boyu değerleri üzerinden, herbir koşul için sınıflandırıcının gerçek ve indirgenmiş performans eğrileri çizilmiştir (Şekil 7.4, Şekil 7.5).



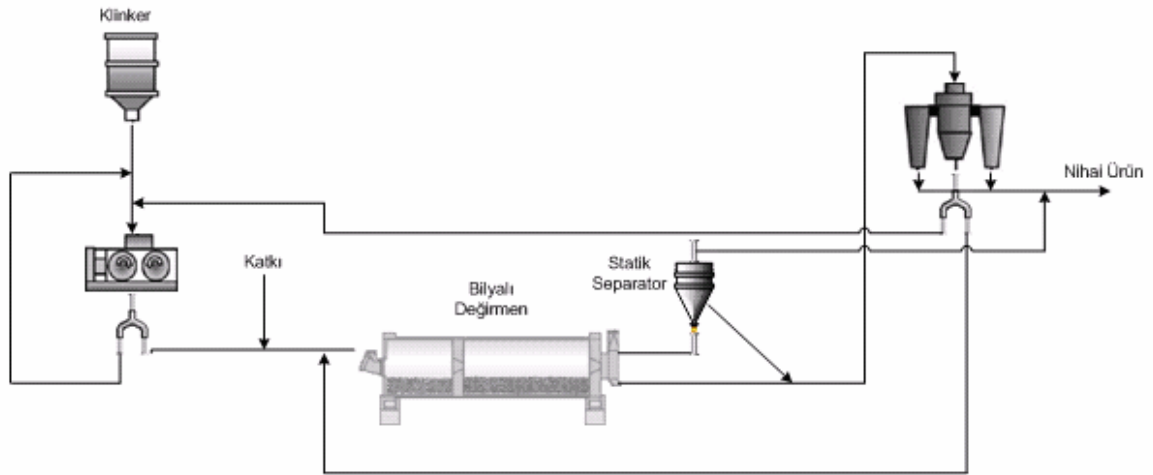
Şekil 7.4. SET Ambarlı sınıflandırıcı gerçek performans eğrileri



Şekil 7.5. SET Ambarlı tesisi sınıflandırıcı indirgenmiş performans eğrileri

7.1.2. Bolu Çimento Sanayii Kazan Çimento Öğütme Tesisi

Devreden 4 farklı koşul için numuneler alınmıştır. Tesis akım şeması Şekil 7.6'da, örnekleme dönemleri de Çizelge 7.2'de verilmektedir.



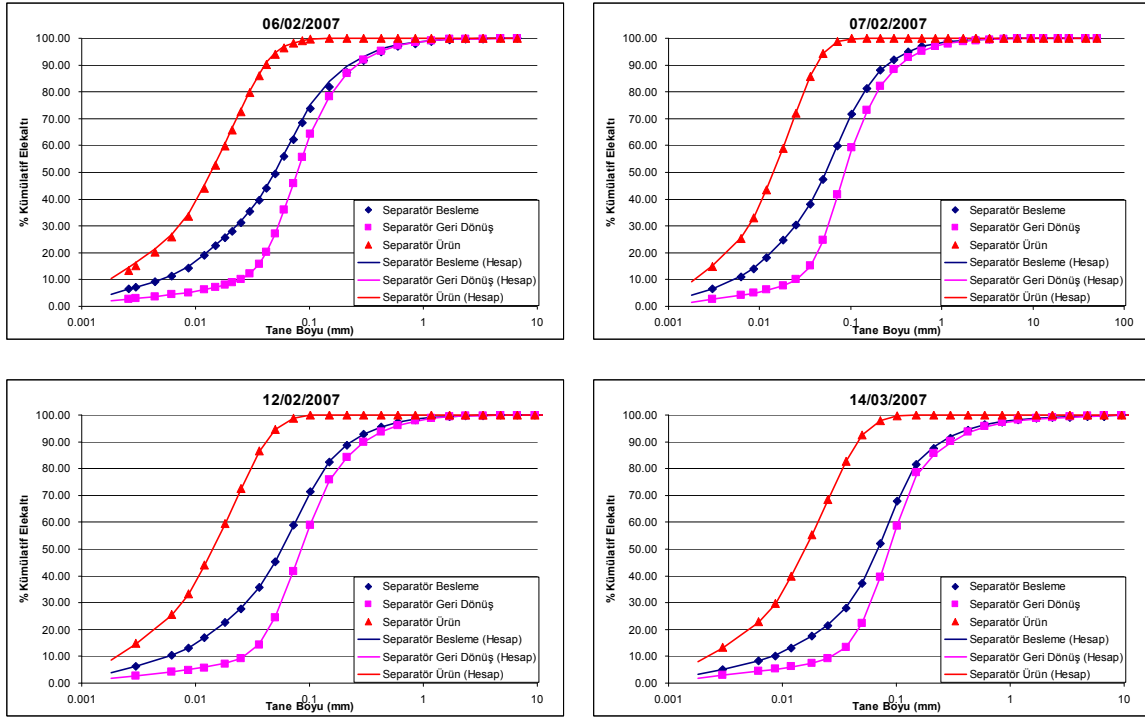
Şekil 7.6. Bolu çimento sanayii Kazan çimento öğütme tesisi

Çimento öğütme devresi, klinkerin ön öğütülmesini sağlayan yüksek basınçlı değirmen , 3,2 m çapa sahip, ilk kamara uzunluğu 3,2 m ikinci kamara uzunluğu 5 m olan bilyalı değirmen ve 2,5 m çapa sahip Sepol tipi dinamik sınıflandırıcının bulunduğu hybrid öğütme sisteminin gerçekleştiği bir devredir.

Çizelge 7.2. Bolu çimento Kazan tesisi örnekleme dönemlerine ait işletme koşulları

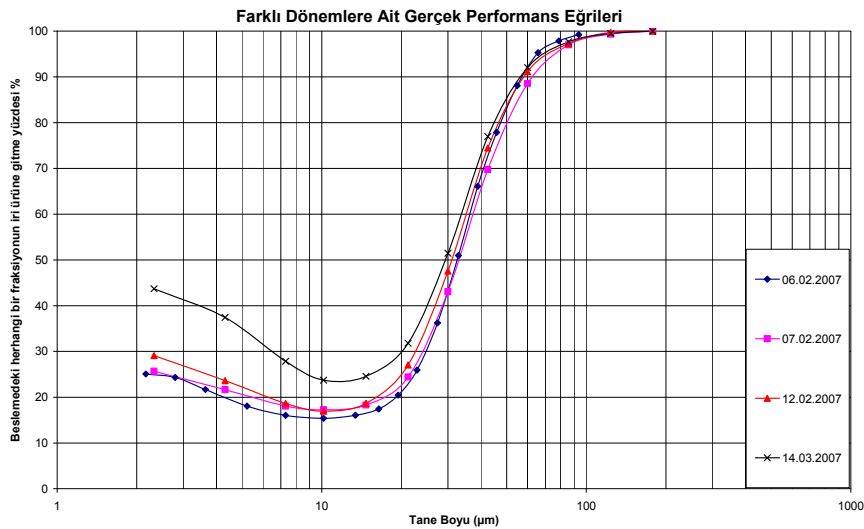
Örnekleme Dönemleri	Üretim Tipi	Taze Besleme (ton/saat)	Rotor Hızı (m/sn)	Hava Miktarı (m ³ /saat)
06.02.2007	CEM I	85,34	21,30	164000
07.02.2007	CEM I	93,00	21,05	164000
12.02.2007	CEM I	92,98	21,49	164000
14.03.2007	CEM I	80,20	21,58	164000

Alınan veriler üzerinden yapılan madde denkliği çalışmalarının sonuçları, ölçülen ve hesaplanan tane boyu dağılımları ile birlikte aşağıdaki grafiklerde verilmektedir (Şekil 7.7).

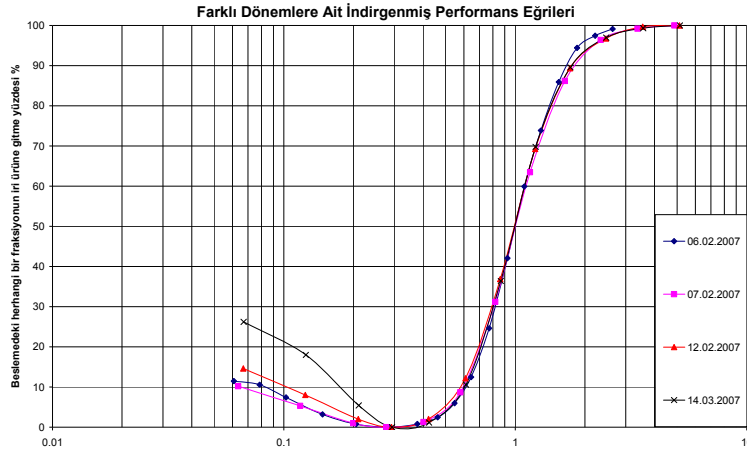


Şekil 7.7. Bolu Kazan tesisi ölçülen ve hesaplanan tane boyu dağılımları

Madde denkliği çalışmaları sonucu elde edilen tane boyu değerleri üzerinden, herbir koşul için sınıflandırıcının gerçek ve indirgenmiş performans eğrileri çizilmiştir (Şekil 7.8, Şekil 7.9).



Şekil 7.8. Bolu Kazan tesisi sınıflandırıcı gerçek performans eğrileri

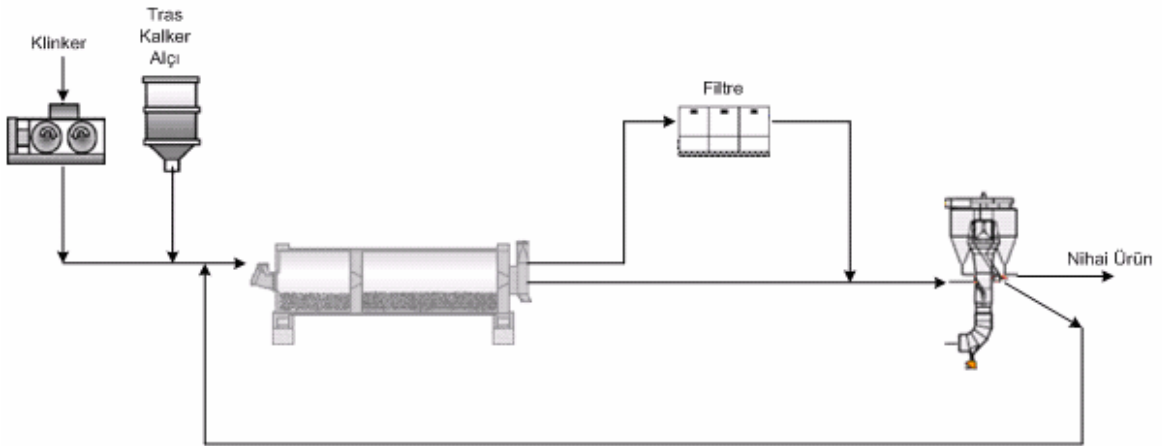


Şekil 7.9. Bolu Kazan tesisi sınıflandırıcı indirgenmiş performans eğrileri

7.2. Örneklenen Sepax Dinamik Sınıflandırıcı Devreleri

7.2.1. ÇİMSA Kayseri Çimento Tesisi

Devreden 5 farklı koşul için numuneler alınmıştır. Tesisin akım şeması Şekil 7.10'da verilmektedir. Ayrıca numune alma dönemlerine ait işletme koşulları da Çizelge 7.3'te de belirtilmiştir.



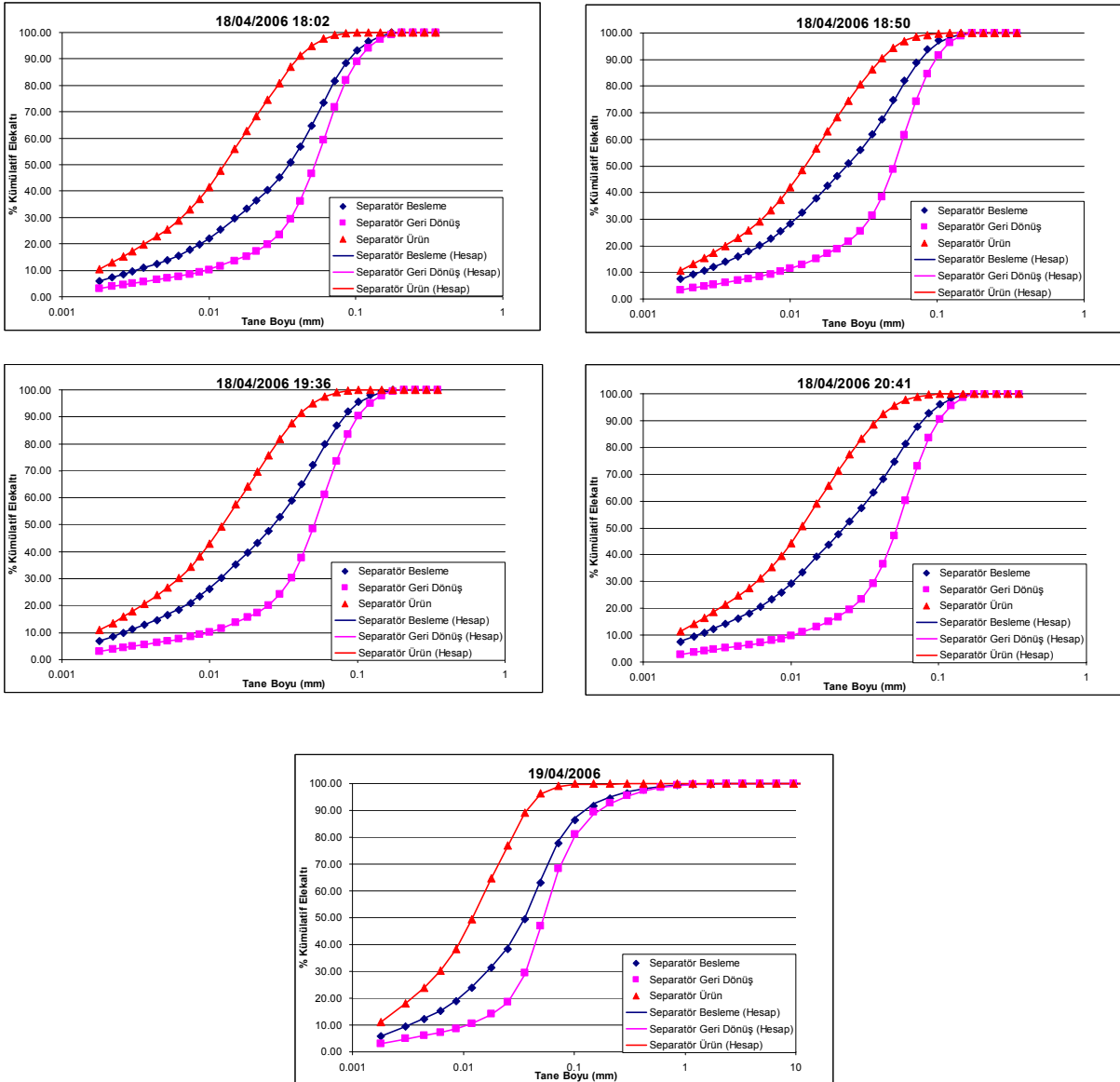
Şekil 7.10. Çimsa Kayseri Çimento Tesisi

Çimento öğütme devresi, çapı 3,55 m olan 4 siklonlu sepax havalı sınıflandırıcıyla kapalı devre çalışan, ilk kamara uzunluğu 4,48 m, ikinci kamara uzunluğu 5,9 m ve çapı 4 m olan 2 kamaralı bilyalı değirmenden oluşmaktadır. Ayrıca devrede, klinkerin ön öğütülmesi için kullanılan açık devre çalışan yüksek basınçlı merdaneli pres yer almaktadır.

Çizelge 7.3. Çimsa Kayseri tesisi örnekleme dönemlerine ait işletme koşulları

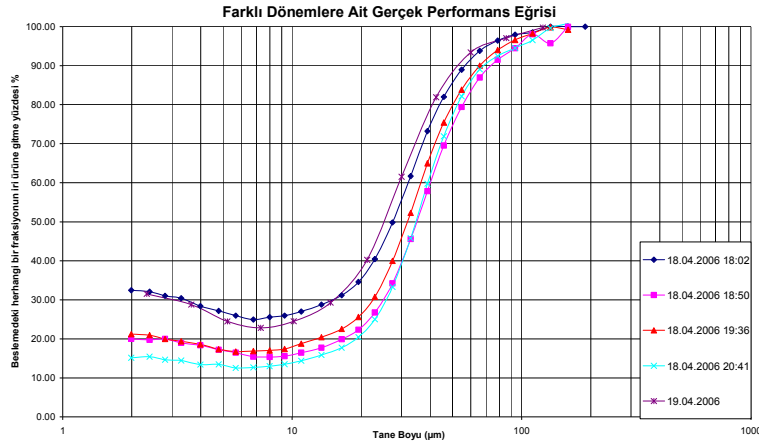
Üretim Tipi	Örnekleme Zamanı	Taze Besleme (ton/saat)	Rotor Hızı (m/sn)	Hava Miktarı (m ³ /saat)
CEM II/B	18.04.2006 18:02	105	14,49	97551
CEM II/B	18.04.2006 18:50	105	15,39	104569
CEM II/B	18.04.2006 19:36	105	16,29	107929
CEM II/B	18.04.2006 20:41	105	18,32	
CEM II/B	19.04.2006	100	15.39	97404

Alınan veriler üzerinden yapılan ürün madde denklığı çalışmalarının sonuçları, ölçülen ve hesaplanan tane boyu dağılımları ile birlikte verilmektedir (Şekil 7.11).

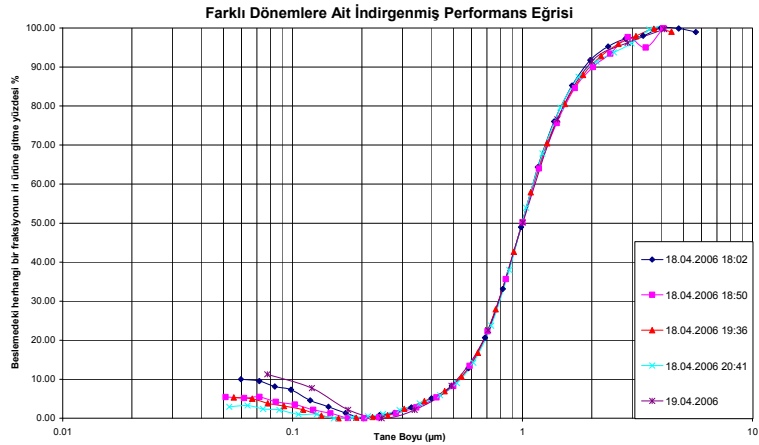


Şekil 7.11. Çimsa Kayseri tesisi ölçülen ve hesaplanan tane boyu dağılımları

Madde denkliği sonucu elde edilen tane boyu dağılımları kullanılarak hesaplanan gerçek ve indirgenmiş performans eğrileri aşağıdaki grafiklerde verilmektedir (şekil 7.12, şekil 7.13).



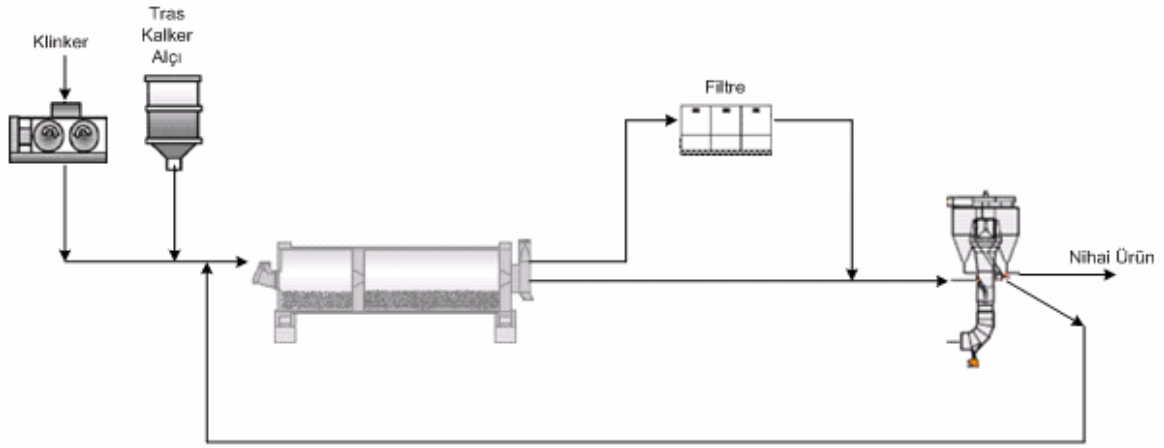
şekil 7.12. imsa Kayseri tesisi sınıflandırıcı gerçek performans eğrileri



şekil 7.13. imsa Kayseri tesisi sınıflandırıcı indirgenmiş performans eğrileri

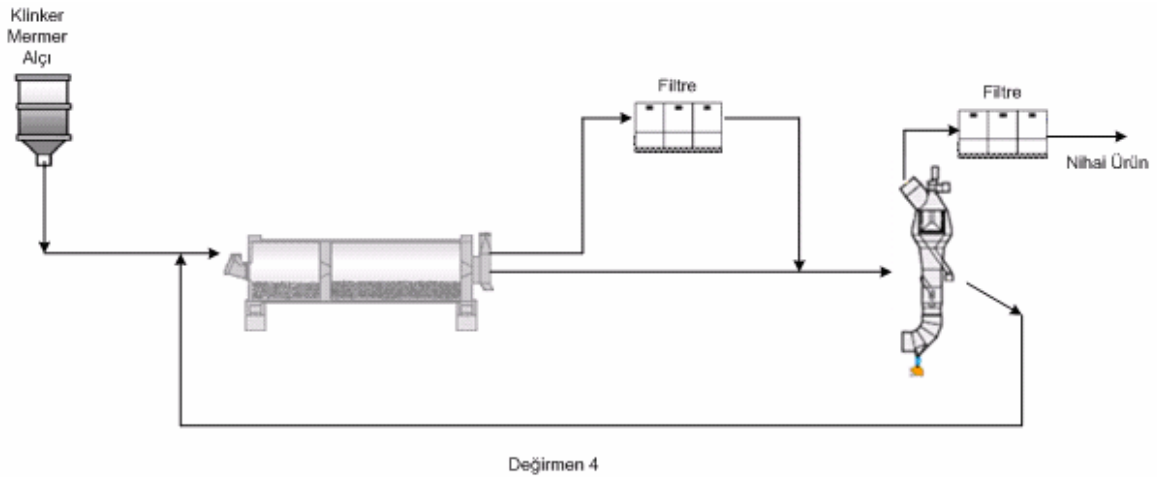
7.2.1. ÇİMSA Mersin imento Tesisi

Tesiste farklı tipte üretim yapan 4 ve 1 numaralı imento öğütme devrelerinde örnekleme çalışmaları yürütölmüştür. Ancak verilerin sunumu sırasında, 1 numaralı değirmende daha önceden yürütölmüş olan örnekleme çalışmalarının koşulları ve grafikleri de dahil edilmiştir. Devrelerin akım şemaları şekil 7.14 ve 7.15'te verilmektedir. Ayrıca numune alma dönemlerine ait işletme koşulları izelge 7.4'te verilmektedir.



Şekil 7.14. Çimsa Mersin Çimento Tesisi akım şeması

1 No'lu çimento öğütme devresi, çapı 4 m olan 4 siklonlu sepax havalı sınıflandırıcıyla kapalı devre çalışan, ilk kamara uzunluğu 4,75 m, ikinci kamara uzunluğu 6,9 m ve çapı 4 m olan 2 kamaralı bilyalı değirmenden oluşmaktadır. Ayrıca devrede, klinkerin ön öğütülmesi için kullanılan açık devre çalışan yüksek basınçlı merdaneli pres yer almaktadır (Şekil 7.14).



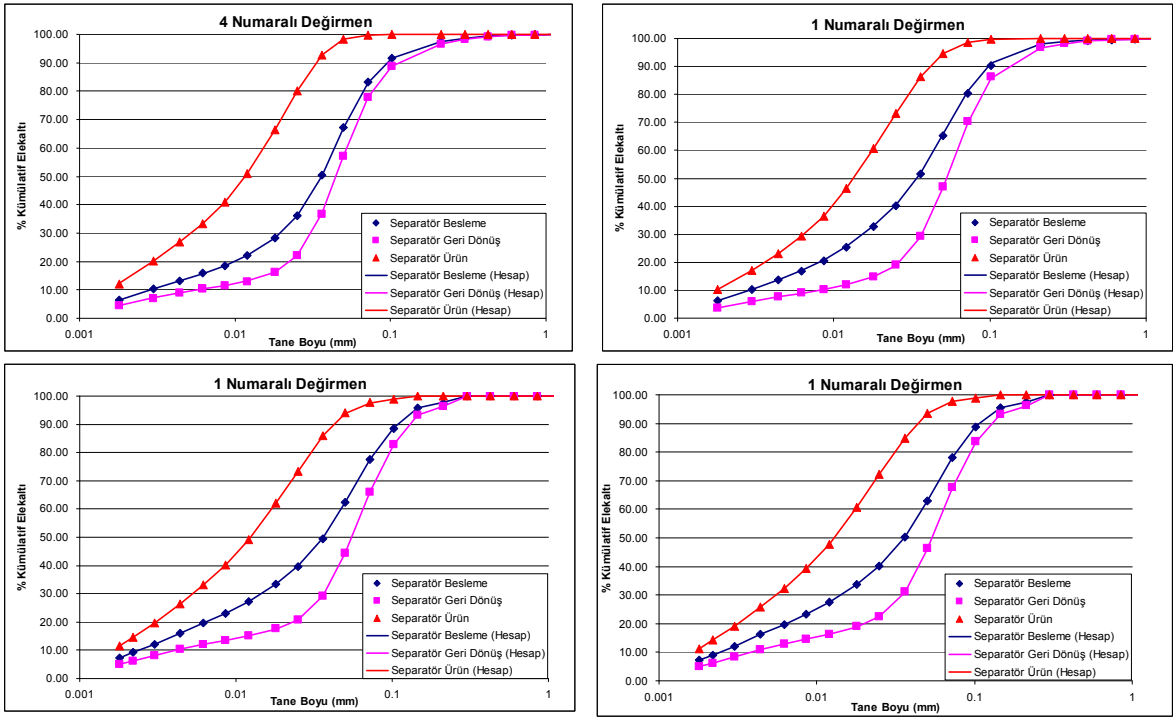
Şekil 7.15. Çimsa Mersin Çimento Tesisi akım şeması

4 No'lu çimento öğütme devresi, çapı 4,25 m olan sepax havalı sınıflandırıcıyla kapalı devre çalışan, ilk kamara uzunluğu 2,32 m, ikinci kamara uzunluğu 10,5 m ve çapı 5 m olan 2 kamaralı bilyalı değirmenden oluşmaktadır. Separatör incesi malzeme filtrelerde tutularak ürüne gönderilmektedir (Şekil 7.15).

Çizelge 7.4. Çimsa Mersin tesisi örnekleme dönemlerine ait işletme koşulları

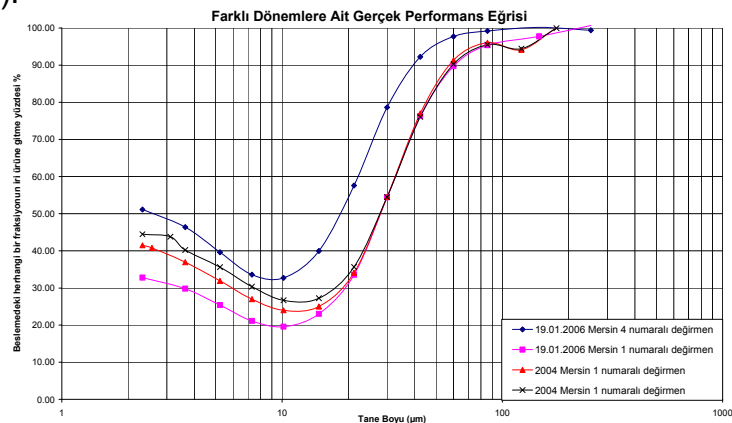
Devre	Üretim Tipi	Taze Besleme (ton/saat)	Rotor Hızı (m/sn)	Hava Miktarı (m ³ /saat)
4 No'lu Öğütme Devresi	Beyaz CEM I	89,7	25,56	100000
1 No'lu Öğütme Devresi	CEM II/B	133	19,89	96075
1 No'lu Öğütme Devresi	CEM II/B	136	21,16	172020
1 No'lu Öğütme Devresi	CEM II/B	141	20,50	161040

Alınan veriler üzerinden yapılan madde denklığı çalışmalarının sonuçları, tane boyu dağılımı grafikleri ile birlikte verilmektedir (Şekil 7.16).

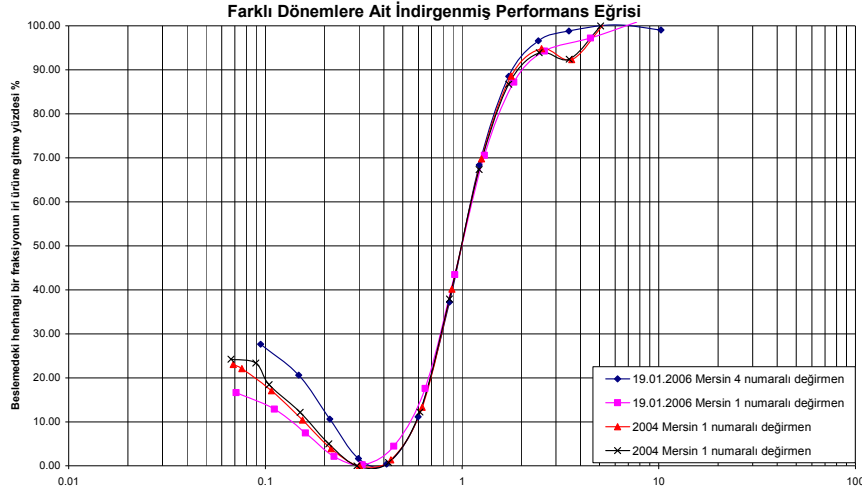


Şekil 7.16. Çimsa Mersin tesisi ölçülen ve hesaplanan tane boyu dağılımları

Madde denklığı sonucu elde edilen tane boyu dağılımları kullanılarak hesaplanan gerçek ve indirgenmiş performans eğrileri aşağıdaki grafiklerde verilmektedir Şekil 7.17, Şekil 7.18).



Şekil 7.17. Çimsa Mersin tesisi sınıflandırıcı gerçek performans eğrileri



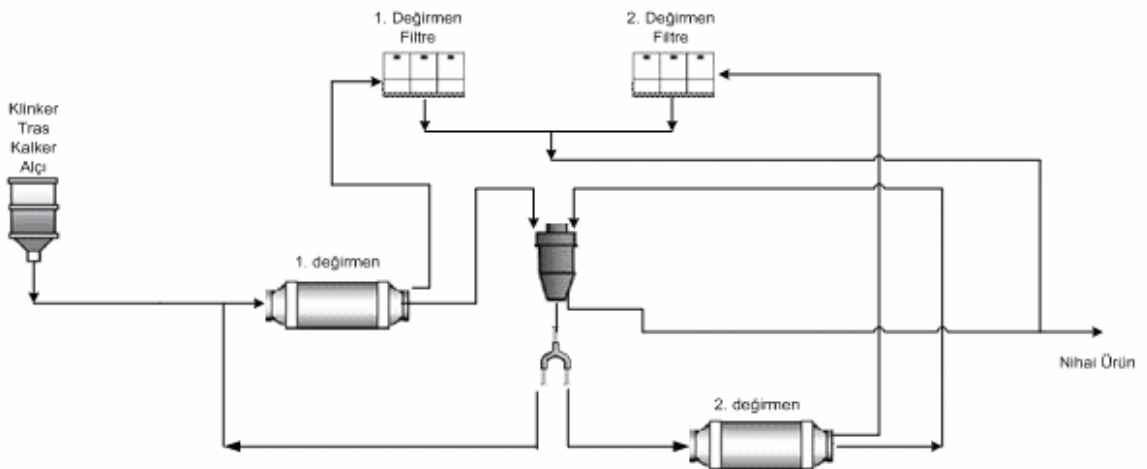
Şekil 7.18. Çimsa Mersin tesisi indirgenmiş performans eğrileri

7.3. Örneklenen QDK Dinamik Sınıflandırıcı Devreleri

7.3.1. Antalya Özgür Çimento ve Beton Tesisi

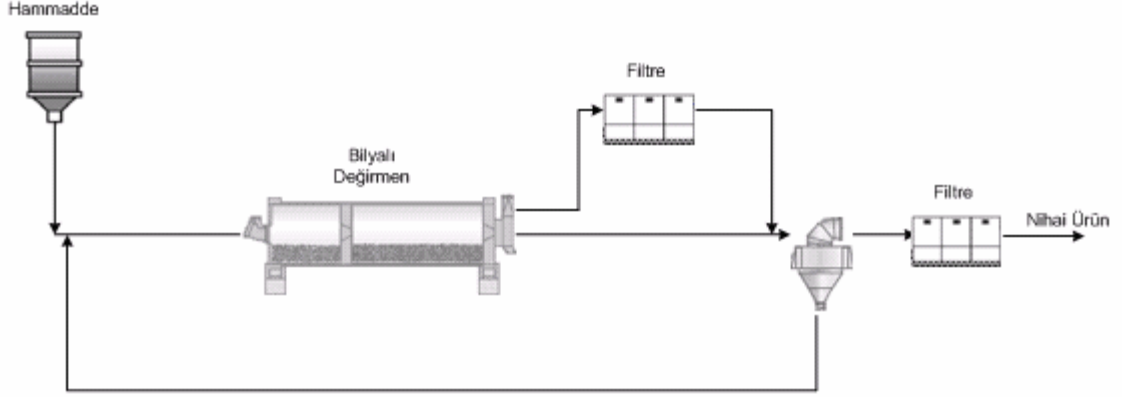
Tesiste iki farklı üretim tipi için üç farklı koşulda örnekleme çalışmaları yürütülmüştür. Çimento öğütme devresi 2 siklonlu QDK havalı sınıflandırıcıyla kapalı devre çalışan, uzunlukları sırası ile 2,4 m ve 2,47 m, çapları da sırası ile 2,2 m ve 2,33 m olan 2 adet tek kamaralı bilyalı değirmenden oluşmaktadır. Ayrıca devrede, klinkerin ön öğütülmesi için kullanılan açık devre çalışan yüksek basınçlı merdaneli pres yer almaktadır. Ancak yüksek basınçlı merdaneli presin de işletildiği CEM II/A tipi üretimde bir adet örnekleme yapılmıştır. Diğer uygulamalardaki örnekleme sırasında pres devre dışı bırakılmıştır.

Tesise ait akım şeması Şekil 7.19 ve Şekil 7.20’de ve numune alma sırasındaki işletme parametreleri Çizelge 7.5’te verilmektedir.



Şekil 7.19. Antalya Özgür çimento ve beton tesisi akım şeması

Şekil 7.19’da gösterilen devre üzerinde CEM II/A ve CEM II/B olmak üzere iki farklı üretim koşulunda numune alma işlemi gerçekleştirilmiştir.



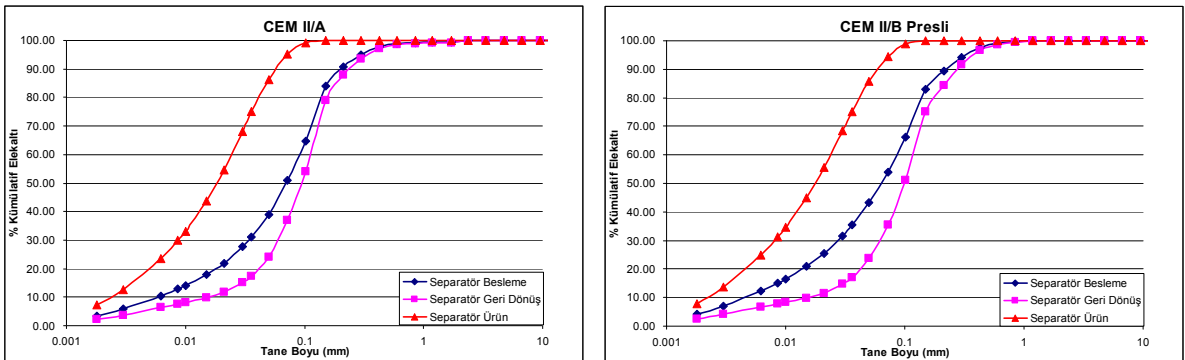
Şekil 7.20. Antalya Özgür çimento ve beton tesisi akım şeması

Klinkerin merdaneli presten geçirildiği bir diğer koşulda ise, CEM II/B üretim tipinde örnekleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

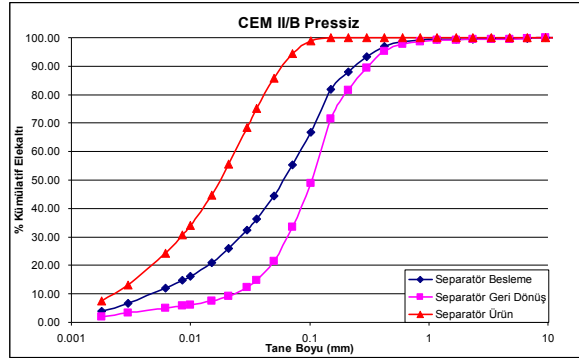
Çizelge 7.5. Antalya Özgür çimento örnekleme dönemlerine ait işletme koşulları

Devre	Üretim Tipi	Taze Besleme (ton/saat)	Rotor Hızı (m/sn)	Hava Miktarı (m ³ /saat)
Presli	CEM II/B	27,85	14,22	47000
Pressiz	CEM II/B	28	14,22	47000
Pressiz	CEM II/A	24,92	14,22	47000

Alınan veriler üzerinden yapılan madde denklığı çalışmalarının sonuçları, tane boyu dağılımı grafikleri ile birlikte verilmektedir(Şekil 7.21.a, Şekil 7.21.b).

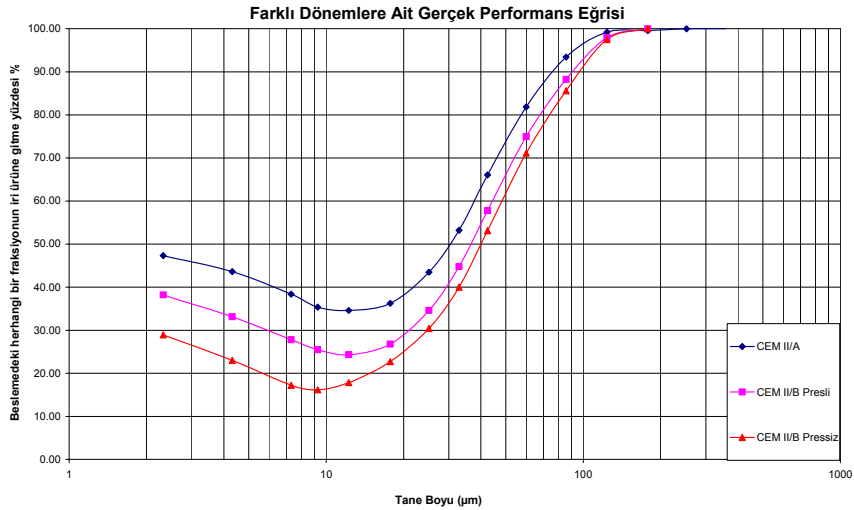


Şekil 7.21.a. Antalya Özgür çimento tesisi ölçülen ve hesaplanan tane boyu dağılımları

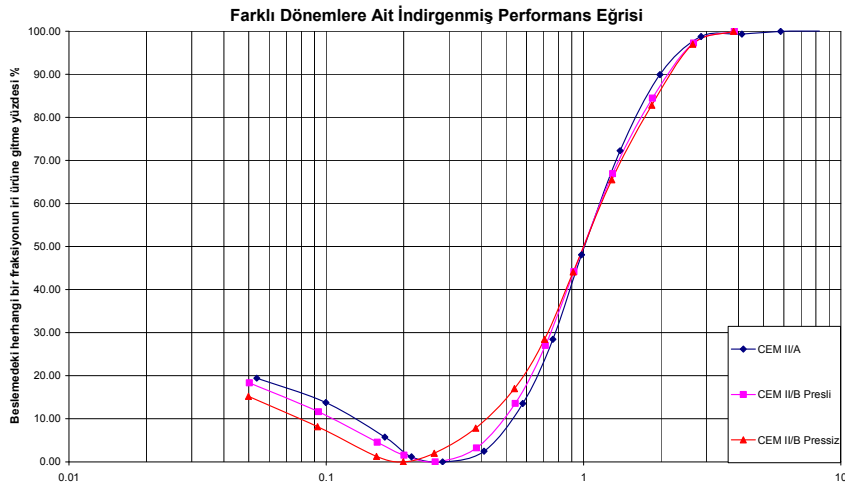


Şekil 7.21.b. Antalya Özgür çimento tesisi ölçülen ve hesaplanan tane boyu dağılımları

Madde denklığı sonucu elde edilen tane boyu dağılımları kullanılarak hesaplanan gerçek ve indirgenmiş performans eğrileri aşağıdaki grafiklerde verilmektedir (Şekil 7.22, Şekil 7.23).



Şekil 7.22. Antalya Özgür çimento tesisi sınıflandırıcı gerçek performans eğrileri



Şekil 7.23. Antalya Özgür çimento tesisi sınıflandırıcı indirgenmiş performans eğrileri

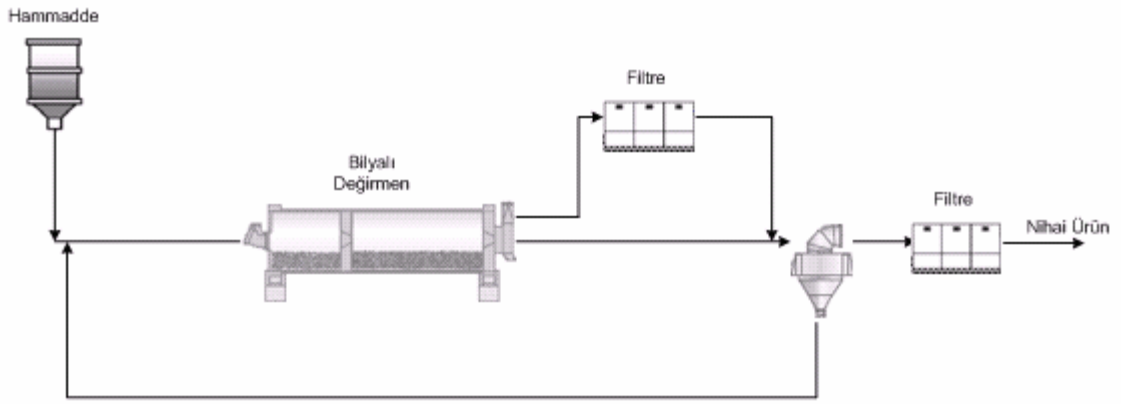
7.4. Örneklenen O-Sepa Dinamik Sınıflandırıcı Devresi

7.4.1. Çimsa Lalahan Çimento Öğütme Tesisi

Devreden 2 farklı koşul için numuneler alınmıştır. Tesisin akım şeması Şekil 7.24'te verilmektedir. Ayrıca numune alma dönemlerine ait işletme koşulları da Çizelge 7.6'da belirtilmiştir.

Çizelge 7.6. Çimsa Lalaha tesisi örnekleme dönemlerine ait işletme koşulları

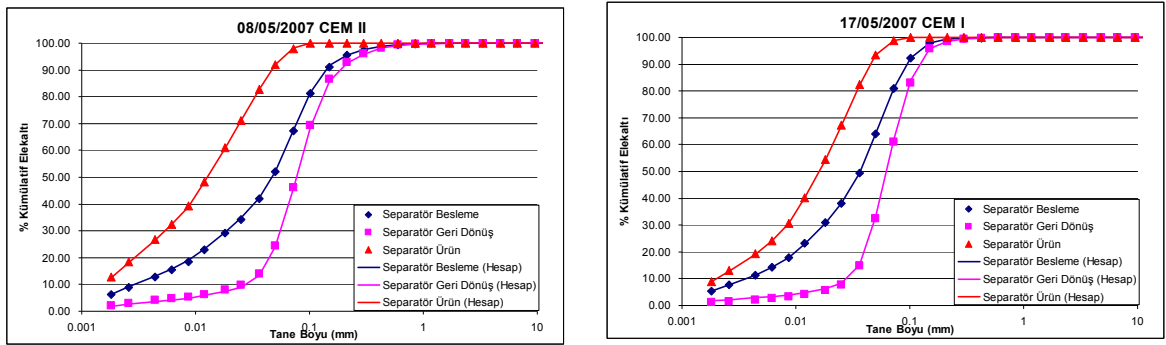
Örnekleme Dönemi	Üretim Tipi	Taze Besleme (ton/saat)	Rotor Hızı (m/sn)	Hava Miktarı (m ³ /saat)
08.05.2007	CEM II	102	19,61	117936
17.05.2007	CEM I	80,9	20,49	117936



Şekil 7.24. Çimsa Lalahan çimento öğütme tesisi akım şeması

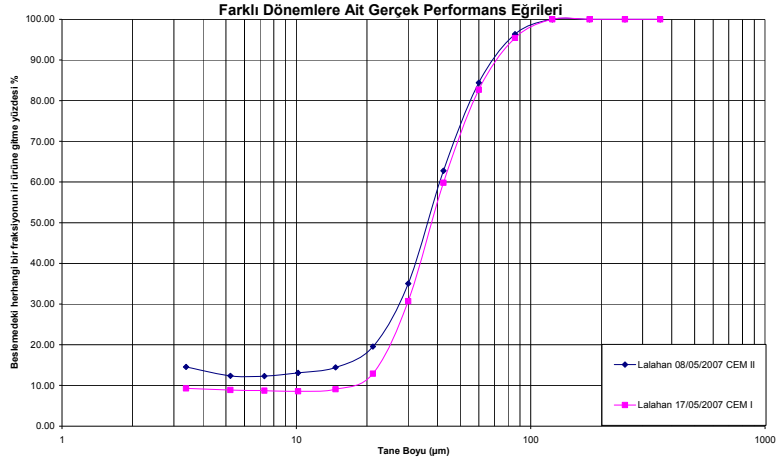
Çimento öğütme devresi, çapı 2,5 m olan O-Sepa havalı sınıflandırıcıyla kapalı devre çalışan, ilk kamara uzunluğu 3,9 m, ikinci kamara uzunluğu 8,5 m ve çapı 4 m olan 2 kamaralı bilyalı değirmenden oluşmaktadır.

Alınan veriler üzerinden yapılan madde denklığı çalışmalarının sonuçları, tane boyu dağılımı grafikleri ile birlikte verilmektedir (Şekil 7.25).

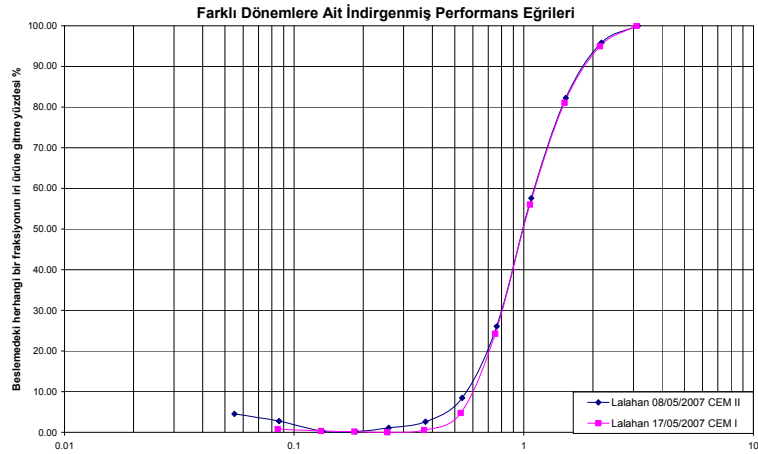


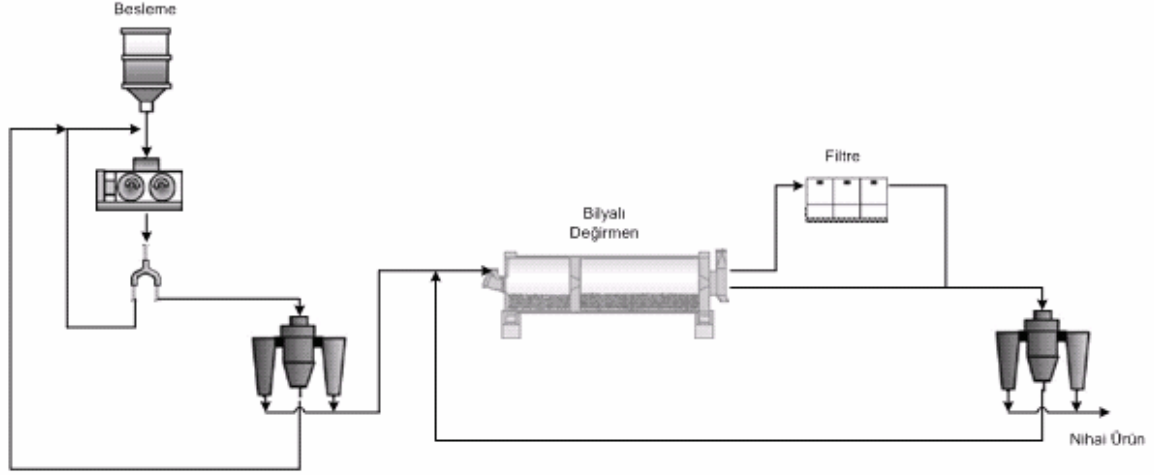
Şekil 7.25 Çimsa Lalahan tesisi ölçülen ve hesaplanan tane boyu dağılımları

Madde denkliği sonucu elde edilen tane boyu dağılımları kullanılarak hesaplanan gerçek ve indirgenmiş performans eğrileri aşağıdaki grafiklerde verilmektedir (Şekil 7.26, Şekil 7.27).



Şekil 7.26. Çimsa Lalahan tesisi sınıflandırıcı gerçek performans eğrileri





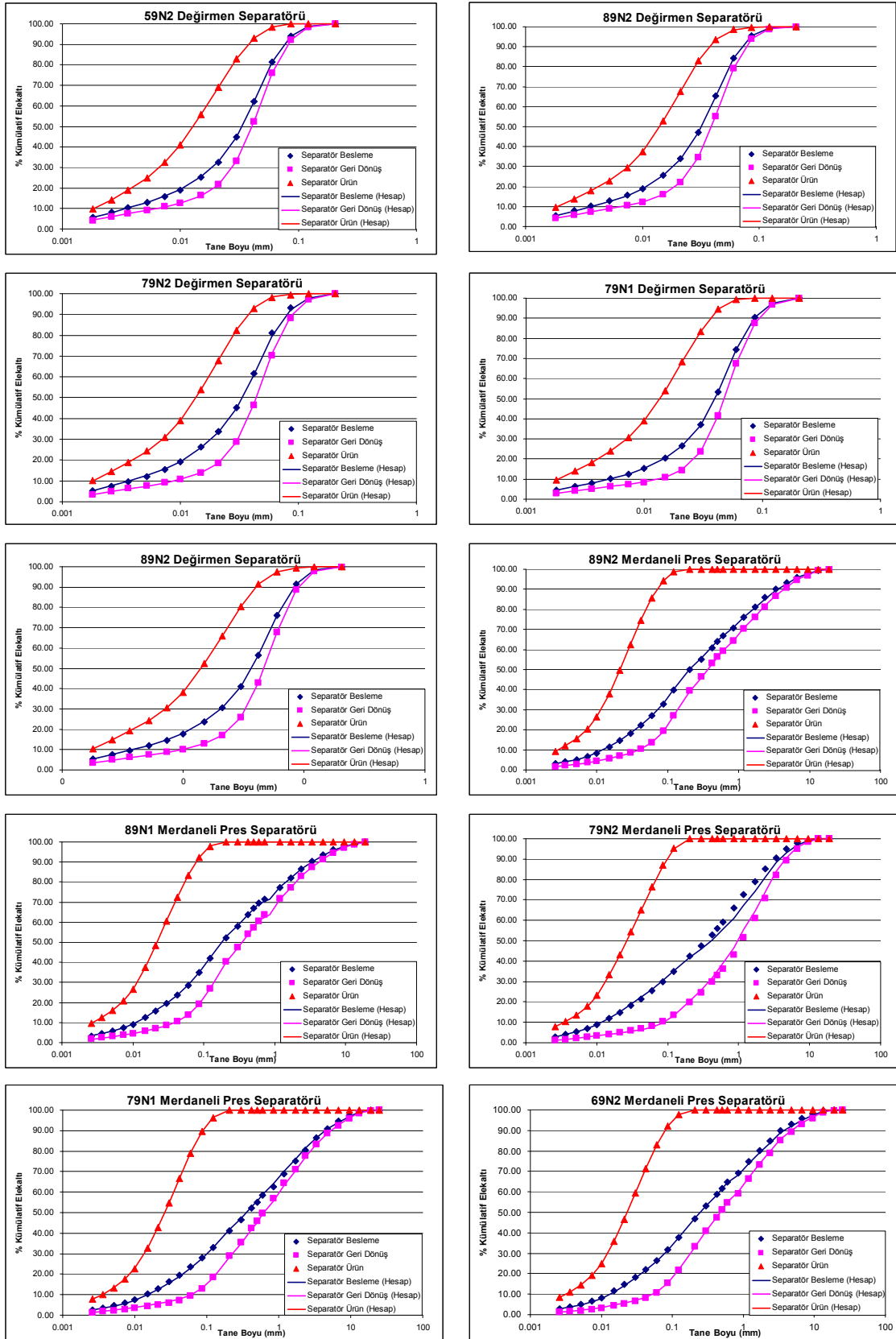
Şekil 7.28. Nuh çimento tesisi akım şeması

Devrede pres sonrası ve değirmen sonrası olmak üzere iki adet 2,5 m çapa sahip Sepol sınıflandırıcı bulunmaktadır. Sınıflandırıcılar arasındaki tek fark ekipmanların fan kapasitesidir. Numune alma dönemlerine ait işletme parametreleri Çizelge 7.7'de verilmektedir.

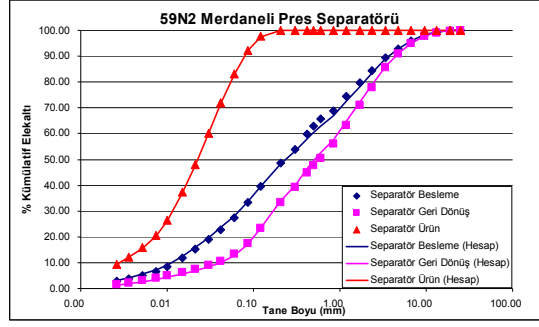
Çizelge 7.7. Nuh çimento tesisi örnekleme dönemlerine ait işletme koşulları

Devre	Üretim Tipi	Taze Besleme (ton/saat)	Rotor Hızı (m/sn)	Hava Miktarı (m ³ /saat)
59N2 değirmen separatörü	CEM I	111	18,85	165500
89N2 değirmen separatörü	CEM I	105	20,29	165500
79N2 değirmen separatörü	CEM I	111	19,79	165500
79N1 değirmen separatörü	CEM I	132	19,63	165500
89N1 değirmen separatörü	CEM I	132	20,03	165500
89N2 pres separatörü	CEM I	105	15,05	216000
89N1 pres separatörü	CEM I	132	14,99	216000
79N2 pres separatörü	CEM I	111	14,66	216000
79N1 pres separatörü	CEM I	132	14,53	216000
69N2 pres separatörü	CEM I	103	14,27	216000
59N2 pres separatörü	CEM I	111	12,44	216000

Alınan veriler üzerinden yapılan madde denklığı çalışmalarının sonuçları, ölçülen ve hesaplanan tane boyu dağılımları ile birlikte verilmektedir (Şekil 7.29.a, Şekil 7.29.b).

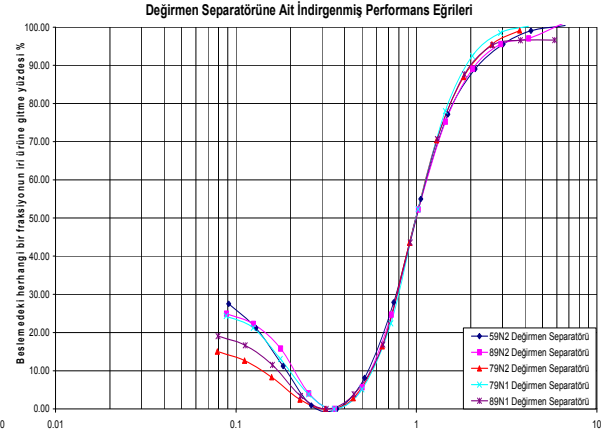
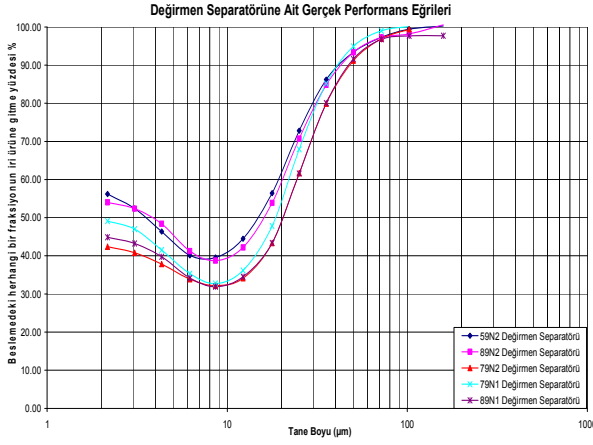


Şekil 7.29.a. Nuh çimento tesisi ölçülen ve hesaplanan tane boyu dağılımları

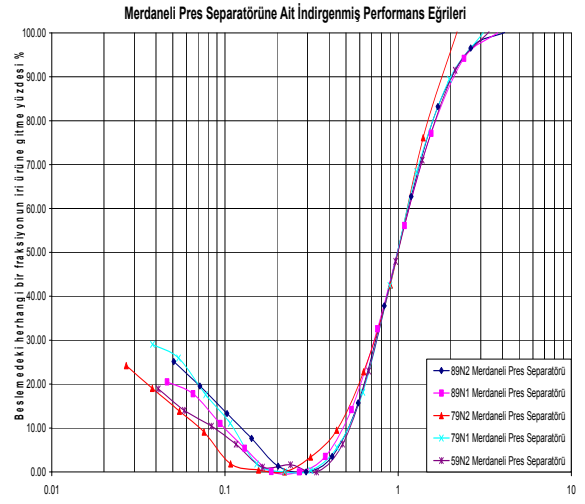
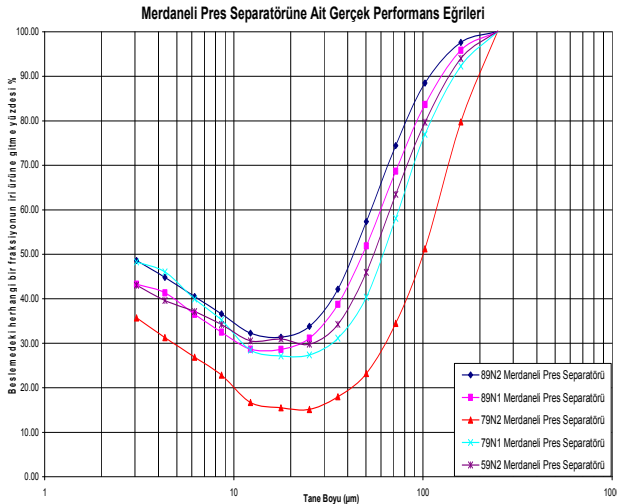


Şekil 7.29.b. Nuh çimento tesisi ölçülen ve hesaplanan tane boyu dağılımları

Madde denkliği sonucu elde edilen tane boyu dağılımları kullanılarak hesaplanan gerçek ve indirgenmiş performans eğrileri aşağıdaki grafiklerde verilmektedir (Şekil 7.30, Şekil 7.31).



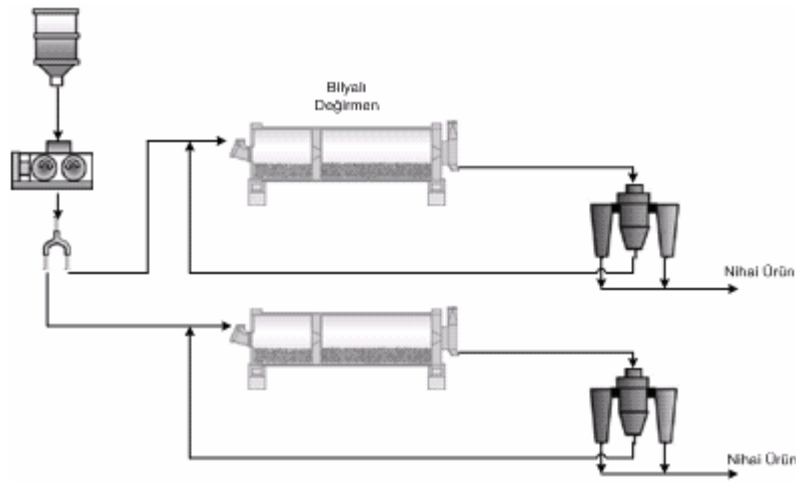
Şekil 7.30. Nuh çimento tesisi 1 ve 2 numaralı devreler için farklı dönemlere ait sınıflandırıcı gerçek performans eğrileri



Şekil 7.31. Nuh çimento tesisi 1 ve 2 numaralı devreler için farklı dönemlere ait sınıflandırıcı indirgenmiş performans eğrileri

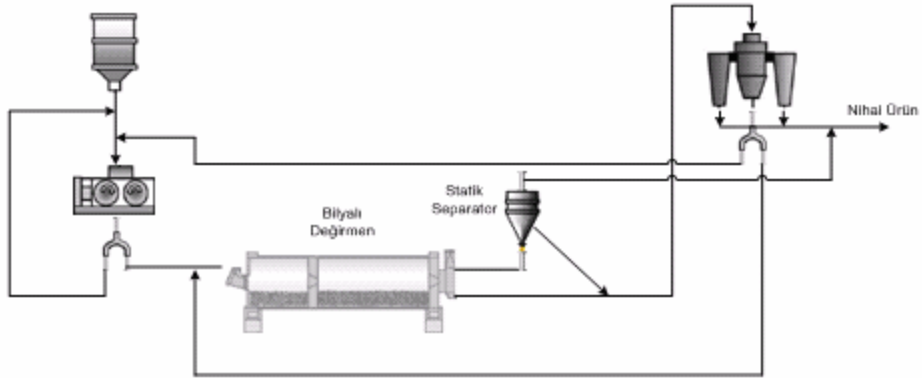
7.5.2. Bolu Çimento Tesisi

Günlü (2006) tarafından yapılan doktora tezi çalışması sırasında, tesiste iki farklı öğütme devresi üzerinde örnekleme çalışmaları yürütülmüştür. İlk devrede merdaneli pres çıkışı ikiye bölünerek, birbirleri ile paralel çalışan ve aynı teknik özelliklere sahip 1 ve 2 numaralı bilyalı değirmenlere beslenmektedir. Değirmenlerin ilk kamara uzunlukları 3,6 m, ikinci kamara uzunlukları 5,75 m olup, çapları 3,5 m'dir. Bilyalı değirmenler 2 m çapa sahip Sepol sınıflandırıcılar ile kapalı devre olarak işletilmektedirler (Şekil 7.32).



Şekil 7.32. Bolu çimento tesisi akım şeması

Diğer öğütme devresinde ise ilk kamara uzunluğu 4,22 m, ikinci kamara uzunluğu 7,43 m ve çapı 4,2 m olan 3 numaralı değirmen işletilmekte ve 2,5 m çapa sahip Sepol sınıflandırıcısının bulunduğu hybrid öğütme sistemi uygulanmaktadır (Şekil 7.33). Örnekleme dönemlerine ait işletme koşulları Çizelge 7.8'de verilmektedir.

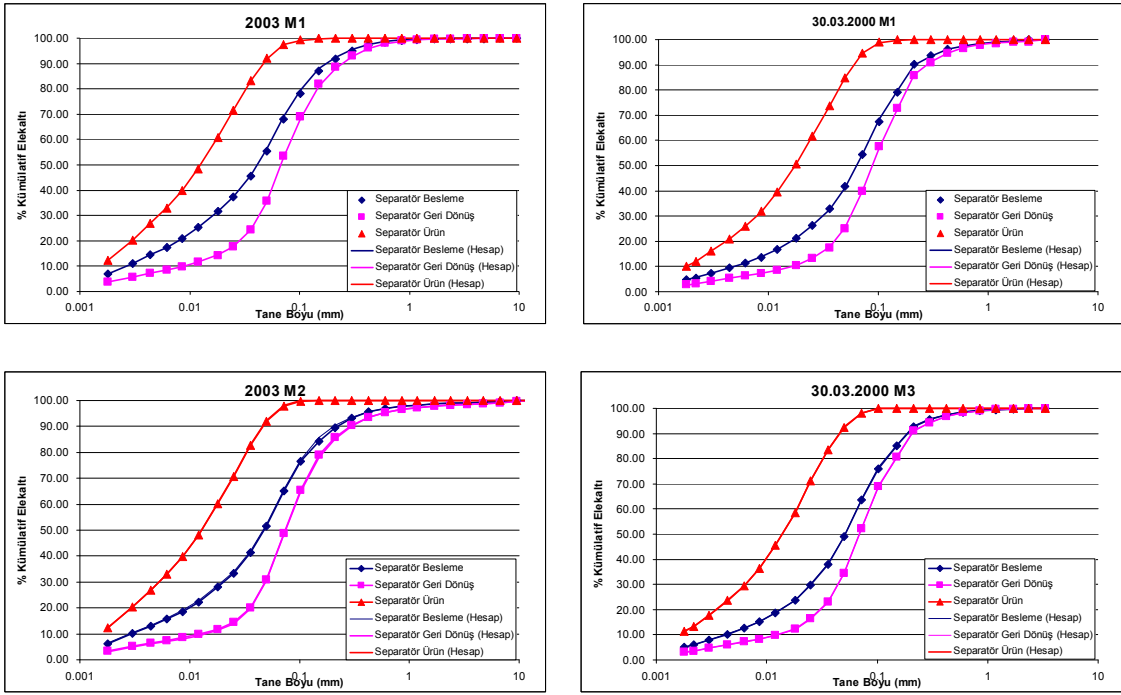


Şekil 7.33. Bolu çimento tesisi akım şeması

Çizelge 7.8. Bolu çimento tesisi örnekleme dönemlerine ait işletme koşulları

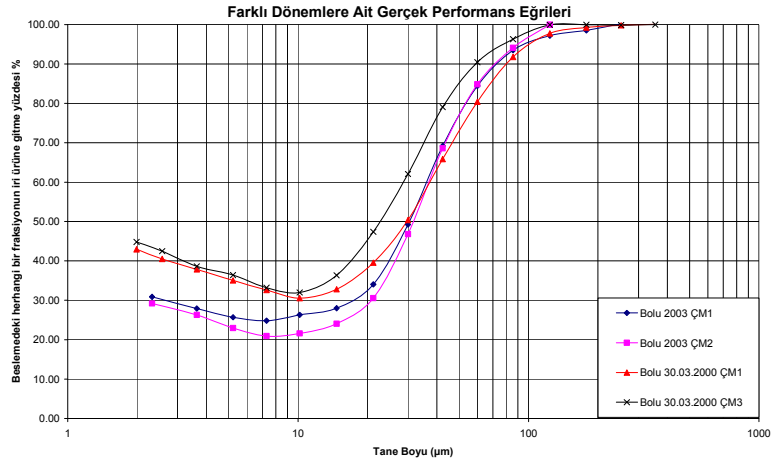
Devre	Üretim Tipi	Taze Besleme (ton/saat)	Rotor Hızı (m/sn)	Hava Miktarı (m ³ /saat)
2003 ÇM1	CEM IV/B	50,2	16,69	112000
30.03.2000 ÇM1	CEM IV/B	63,7	14,21	112000
2003 ÇM2	CEM IV/B	50,5	16,99	112000
30.03.2000 ÇM3	CEM I	88,6	24,69	170343

Alınan veriler üzerinden yapılan madde denklığı çalışmalarının sonuçları, ölçülen ve hesaplanan tane boyu dağılımları ile birlikte verilmektedir (Şekil 7.34).

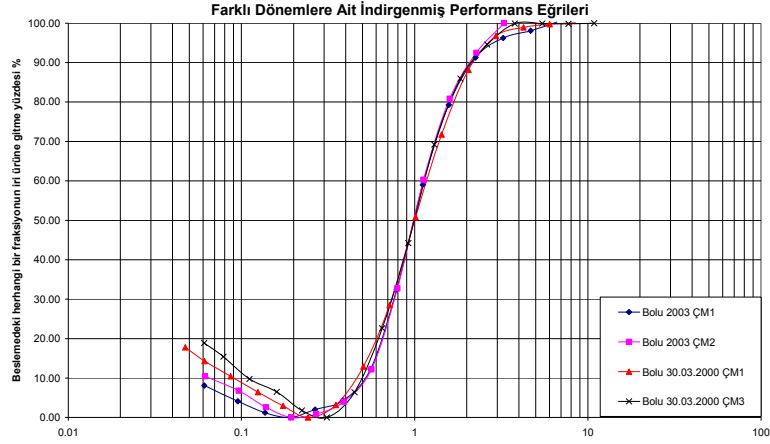


Şekil 7.34. Bolu çimento tesisi ölçülen ve hesaplanan tane boyu dağılımları

Madde denklığı sonucu elde edilen tane boyu dağılımları kullanılarak hesaplanan gerçek ve indirgenmiş performans eğrileri aşağıdaki grafiklerde verilmektedir (Şekil 7.35, Şekil 7.36).



Şekil 7.35. Bolu çimento tesisi sınıflandırıcı gerçek performans eğrileri

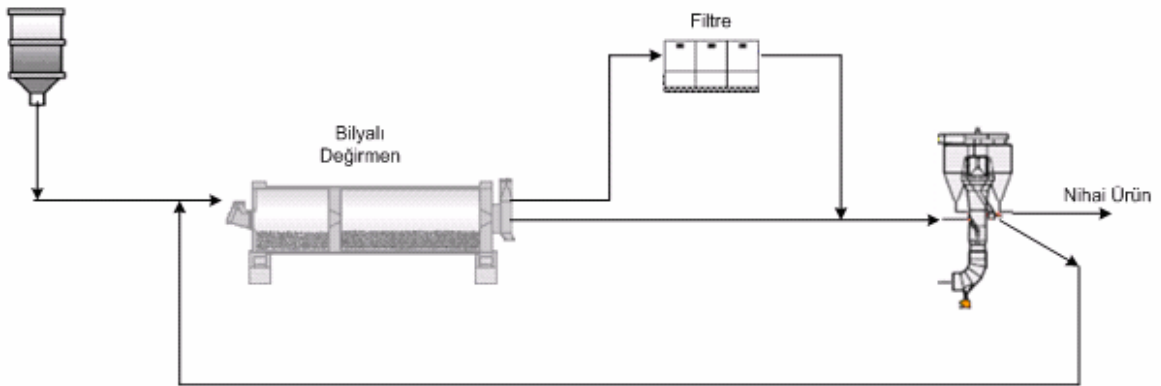


Şekil 7.36. Bolu çimento tesisi sınıflandırıcı indirgenmiş performans eğrileri

7.5.3. Bursa Çimento Tesisi

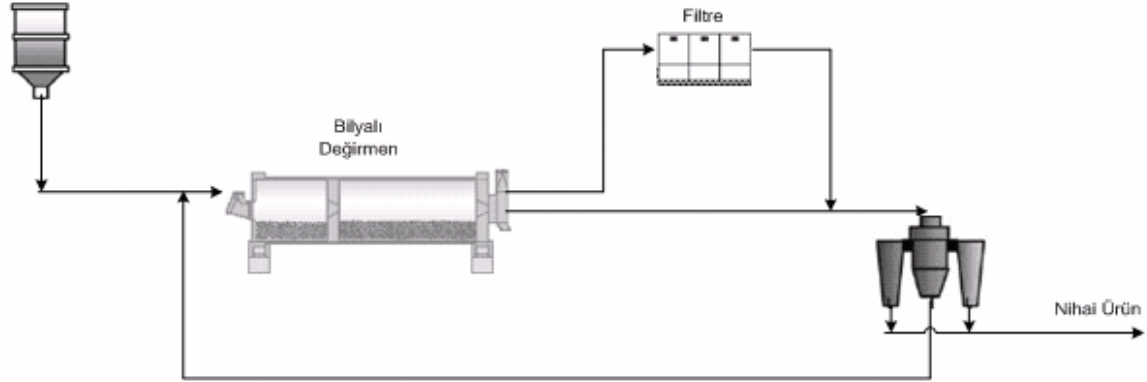
Günlü (2006) tarafından yapılan doktora tezi çalışması sırasında, tesiste M1, M2, M3 ve M4 olmak üzere dört ayrı öğütme devresi bulunmaktadır. Devrelerin akım şemaları aynı olmakla beraber, kullanılan ekipmanların teknik özellikleri farklılık göstermektedir. M1, M2 ve M3'e ait akım şeması Şekil 7.37'de gösterilmektedir.

M1 devresinde ilk kamara uzunluğu 3,62 m, ikinci kamara uzunluğu 5,89 m ve çapı 3,2 m olan bilyalı değirmen, 2,8 m çapa sahip Sepax sınıflandırıcı ile, M2 devresinde, ilk kamara uzunluğu 3,85 m, ikinci kamara uzunluğu 5,8 m ve çapı 3,5 m olan bilyalı değirmen, 3 m çapa sahip Sepax sınıflandırıcı ile, M3 devresinde ise ilk kamara uzunluğu 4,55 m, ikinci kamara uzunluğu 8,88 m ve çapı 3,8 m olan bilyalı değirmen, 3 m çapa sahip Sepax sınıflandırıcı ile kapalı devre işletilmektedirler.



Şekil 7.37. Bursa çimento tesisi akım şeması

M4 devresinin akım şeması diğerleri ile aynı olup (Şekil 7.38), bu devrede ilk kamara uzunluğu 4,25 m, ikinci kamara uzunluğu 10 m ve çapı 4,8 m olan bilyalı değirmen, 3,1 m çapa sahip Sepol sınıflandırıcı ile kapalı devre işletilmektedir.



Şekil 7.38. Bursa çimento tesisi akım şeması

Numune alma dönemlerine ait işletme parametreleri Çizelge 7.9 ve 7.10'da verilmektedir.

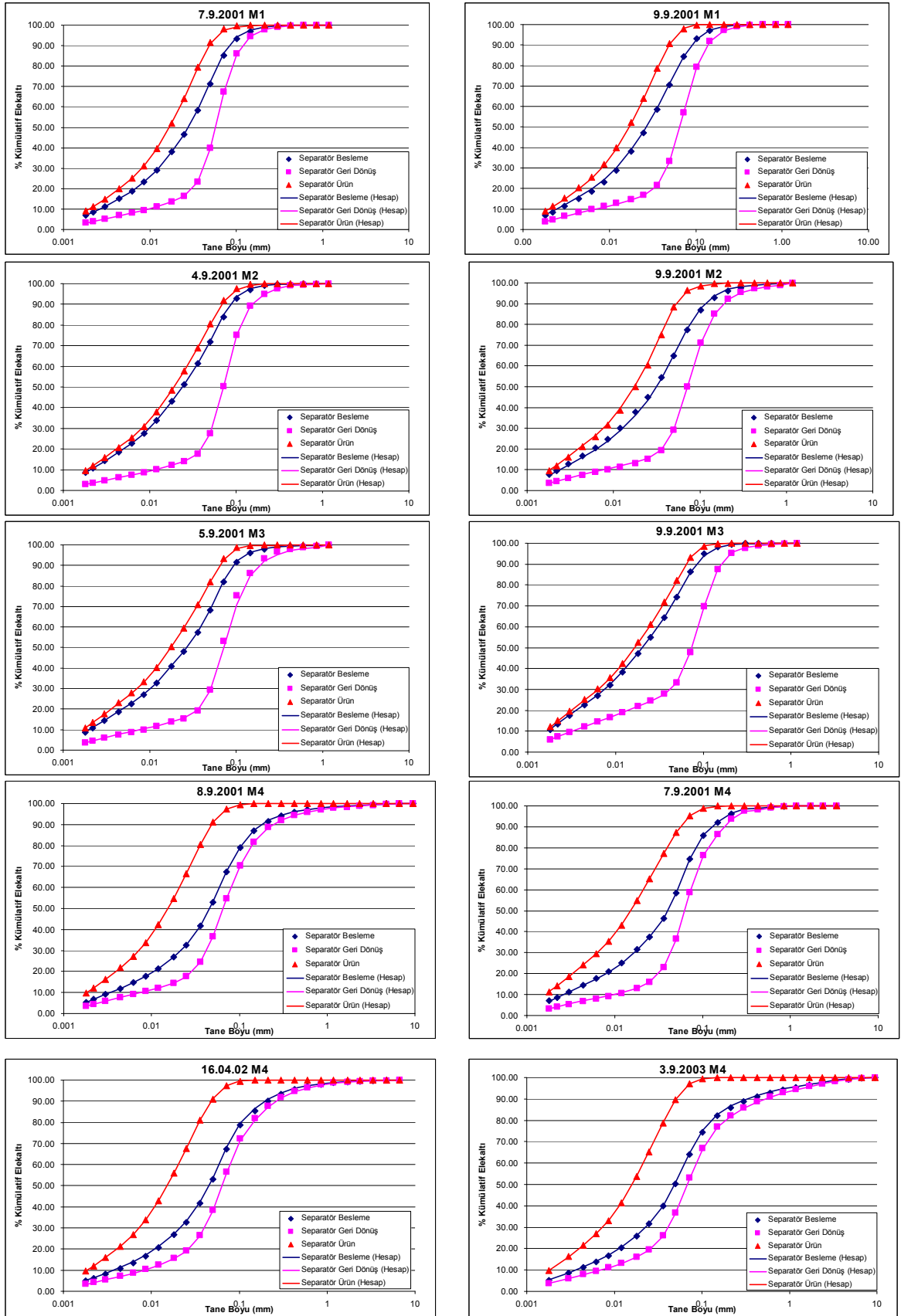
Çizelge 7.9. Bursa çimento M1, M2, M3 devreleri için örnekleme dönemlerine ait işletme koşulları

Devre	Üretim Tipi	Taze Besleme (ton/saat)	Rotor Hızı (m/sn)	Hava Miktarı (m ³ /saat)
7.9.2001 M1	CEM I	38,1	18,31	55434
9.9.2001 M1	CEM I	38,2	17,19	55434
4.9.2001 M2	CEM IV/A	54,3	21,89	57485
9.9.2001 M2	CEM IV/A	52,8	20,98	56916
5.9.2001 M3	CEM IV/A	77,8	18,73	77993
9.9.2001 M3	CEM IV/A	71,8	18,73	77013

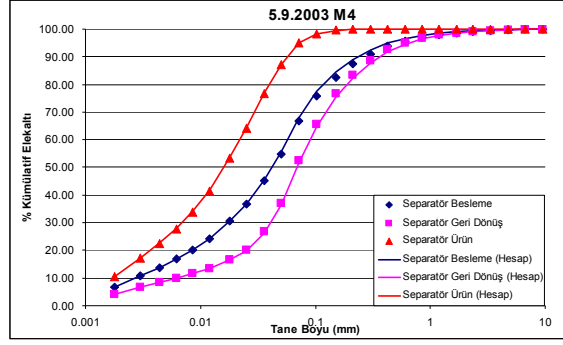
Çizelge 7.10. Bursa çimento M4 devresi için örnekleme dönemlerine ait işletme koşulları

Devre	Üretim Tipi	Taze Besleme (ton/saat)	Rotor Hızı (m/sn)	Hava Miktarı (m ³ /saat)
8.9.2001 M4	CEM I	123	15,66	237438
7.9.2001 M4	CEM I	150	15,79	207656
16.4.2002 M4	CEM I	157	14,74	236320
3.9.2003 M4	CEM I	192	14,11	236320
5.9.2003 M4	CEM I	213	14,85	236320

Alınan veriler üzerinden yapılan madde denklığı çalışmalarının sonuçları, ölçülen ve hesaplanan tane boyu dağılımları ile birlikte verilmektedir (Şekil 7.39.a, Şekil 7.39.b).

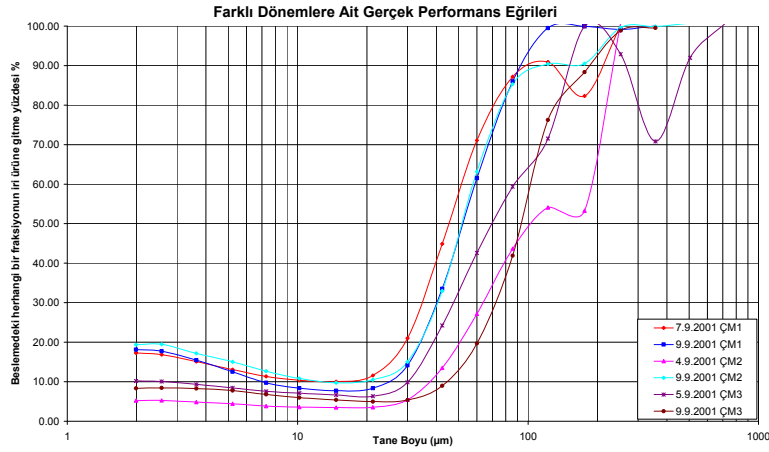


Şekil 7.39.a. Bursa çimento tesisi ölçülen ve hesaplanan tane boyu dağılımları

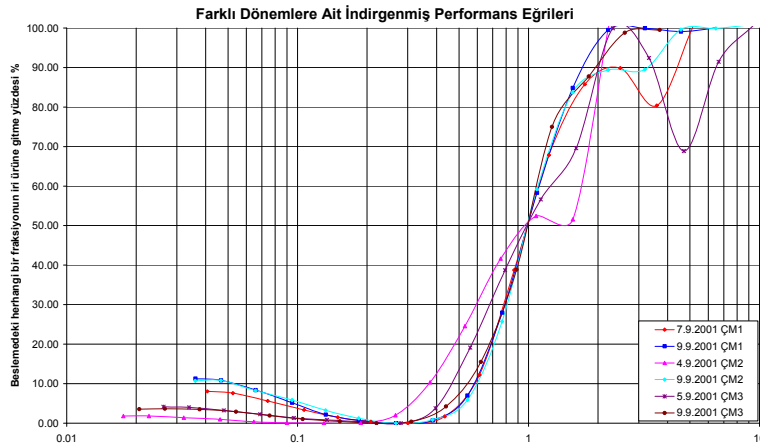


Şekil 7.39.b. Bursa çimento tesisi ölçülen ve hesaplanan tane boyu dağılımları

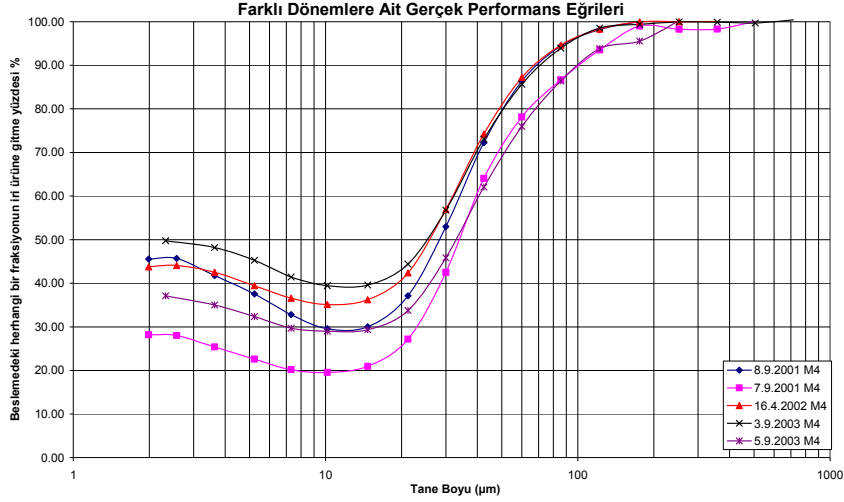
Madde denkliği sonucu elde edilen tane boyu dağılımları kullanılarak hesaplanan gerçek ve indirgenmiş performans eğrileri aşağıdaki grafiklerde verilmektedir (Şekil 7.40, Şekil 7.41, Şekil 7.42, Şekil 7.43).



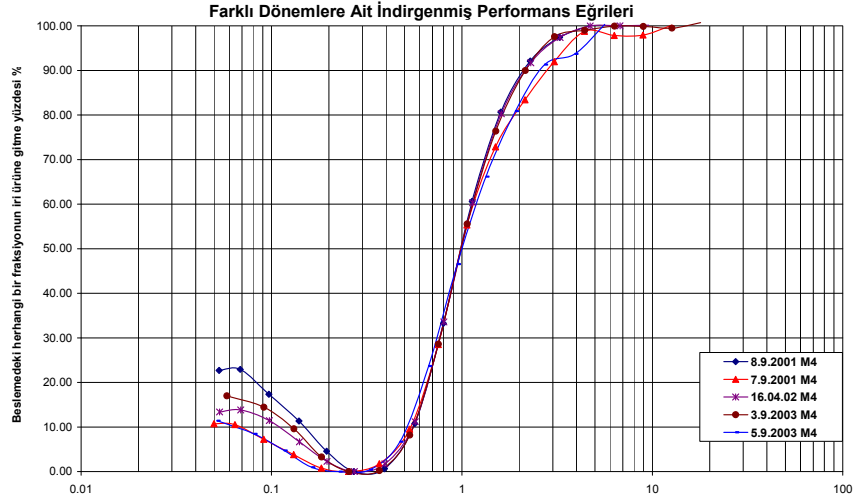
Şekil 7.40. Bursa çimento tesisi M1, M2, M3 devreleri için farklı dönemlere ait sınıflandırıcı gerçek performans eğrileri



Şekil 7.41. Bursa çimento tesisi M1, M2, M3 devreleri için farklı dönemlere ait sınıflandırıcı indirgenmiş performans eğrileri



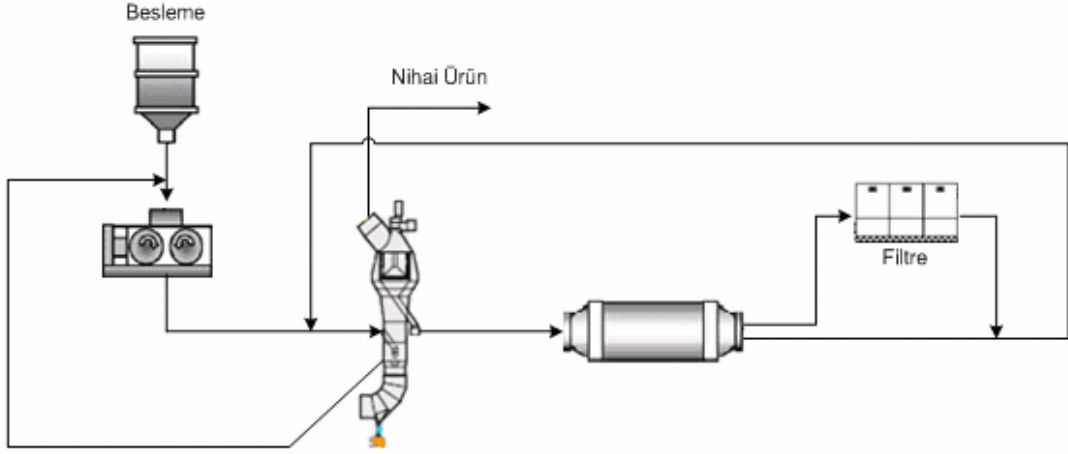
Şekil 7.42. Bursa çimento tesisi M4 devreleri için farklı dönemlere ait sınıflandırıcı gerçek performans eğrileri



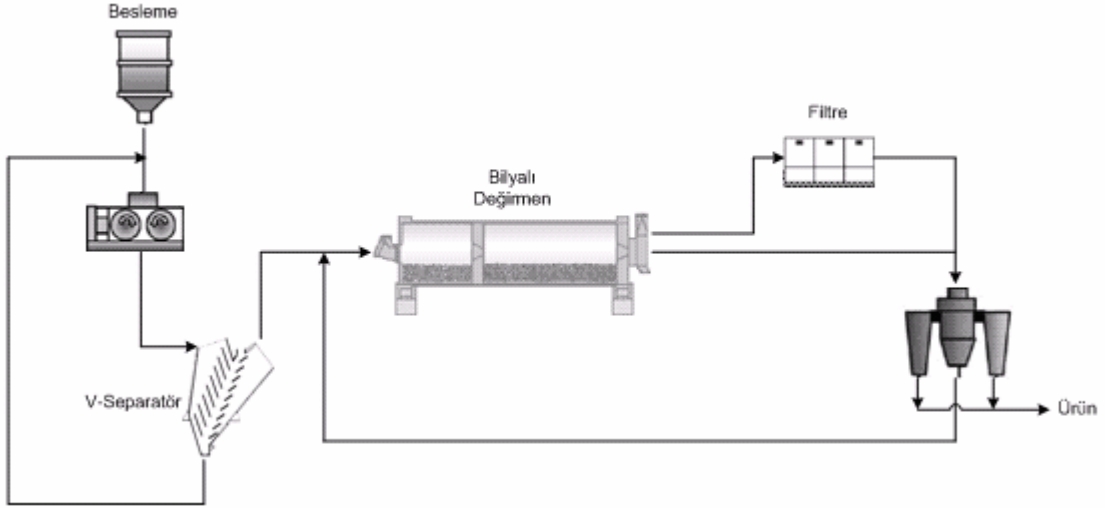
Şekil 7.43. Bursa çimento tesisi M4 devreleri için farklı dönemlere ait sınıflandırıcı indirgenmiş performans eğrileri

7.5.4. Adana Çimento Tesisi

Günlü (2006) tarafından yapılan doktora tezi çalışması sırasında, tesiste M5 ve M6 olmak üzere Sepax separatörün bulunduğu iki farklı devrede örnekleme çalışmaları yürütülmüştür. Devrelerin akım şemaları ve kullanılan ekipmanların teknik özellikleri aynıdır. Kullanılan Sepax sınıflandırıcı çift katlı olup, alt kısmında irilerin merdaneli prese geri dönmesini sağlayan grit separatör bulunmaktadır (Şekil 7.44). Tesiste yürütülen diğer örnekleme çalışmaları ise M4 ve M3 devrelerinde yapılmıştır. Bu devrelerde kullanılmakta olan ekipmanların teknik özellikleri birbirleri ile benzer olup, SKS sınıflandırıcı kapalı devre işletilmektedir (Şekil 7.45).



Şekil 7.44. Adana çimento tesisi M6 ve M5 devreleri akım şeması



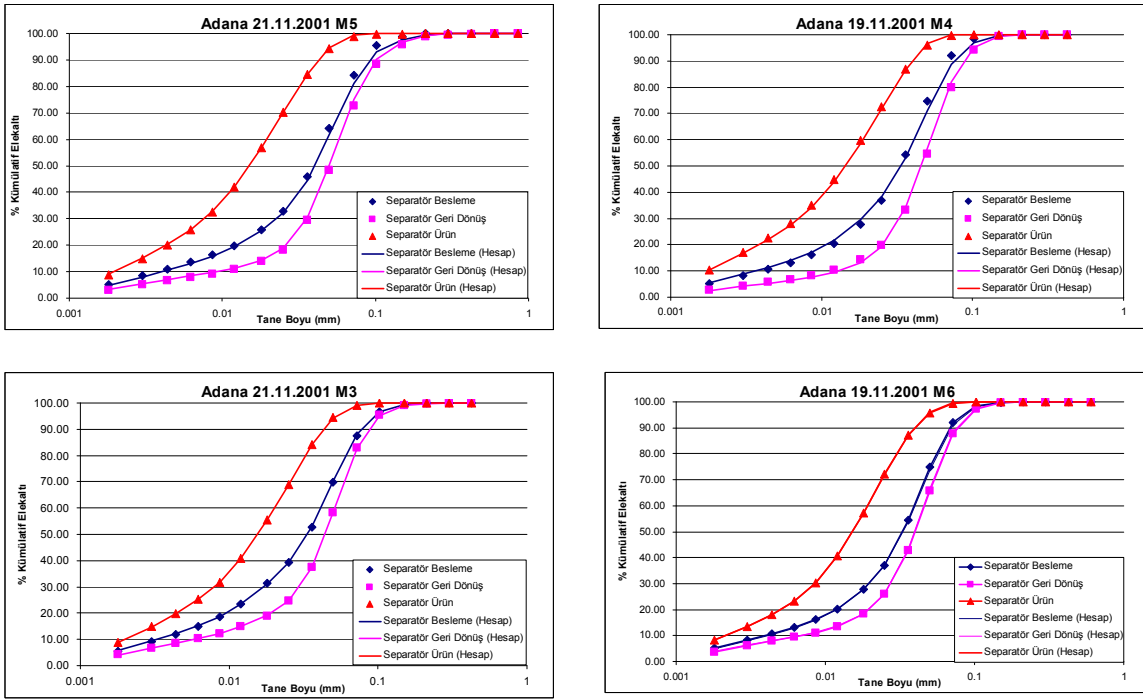
Şekil 7.45. Adana çimento tesisi M4 ve M3 devreleri akım şeması

Devrede, merdaneli presten çıkan malzeme çapı 4,25 m olan çift katlı Sepax sınıflandırıcıya verilmekte, grit separatörü geri dönüşü merdaneli prese beslenirken üst kısımda bulunan rotor sınıflandırıcı geri dönüşü çapı 3,5 m ve uzunluğu 10,5 m olan ve Sepax sınıflandırıcı ile kapalı devre işletilen tek kamaralı bilyalı değirmene beslenmektedir. Örneklemeye dönemlerinde ait işletme koşulları Çizelge 7.11’de verilmektedir.

Çizelge 7.11. Adana çimento tesisi örnekleme dönemlerine ait işletme koşulları

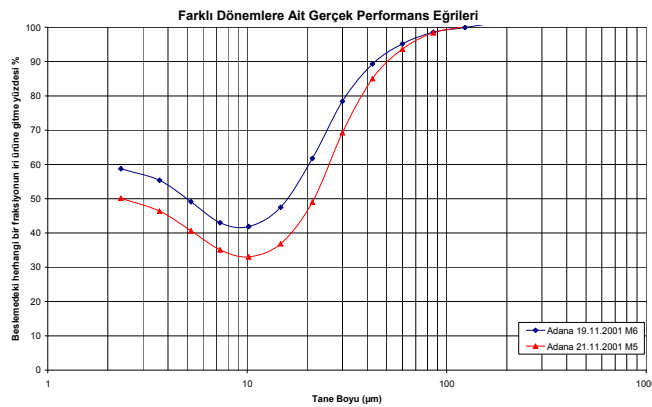
Devre	Üretim Tipi	Taze Besleme (ton/saat)	Rotor Hızı (m/sn)	Hava Miktarı (m ³ /saat)
Adana 19.11.2001 M6	CEM I	118	22,04	216537
Adana 21.11.2001 M5	CEM I	117	22,72	230358
Adana 19.11.2001 M4	CEM IV	81,2	18,59	61250
Adana 21.11.2001 M3	CEM IV	80,5	16,42	125000

Alınan veriler üzerinden yapılan madde denklığı çalışmalarının sonuçları, ölçülen ve hesaplanan tane boyu dağılımları ile birlikte verilmektedir (Şekil 7.46).

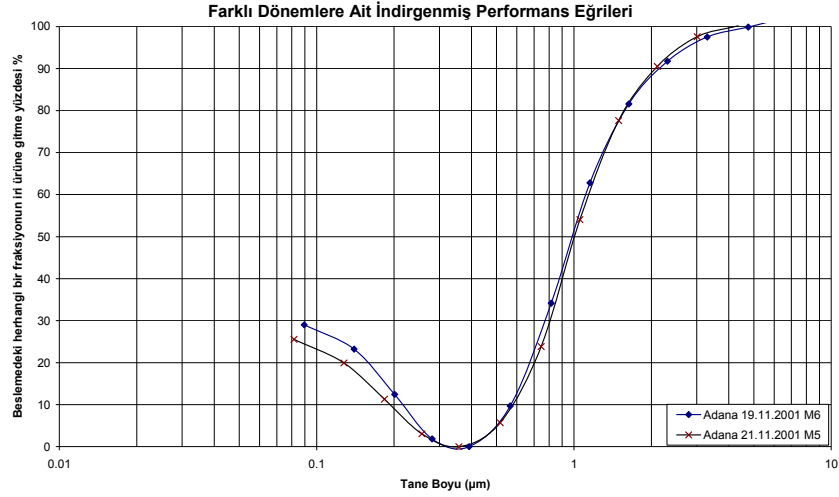


Şekil 7.46. Adana çimento tesisi ölçülen ve hesaplanan tane boyu dağılımları

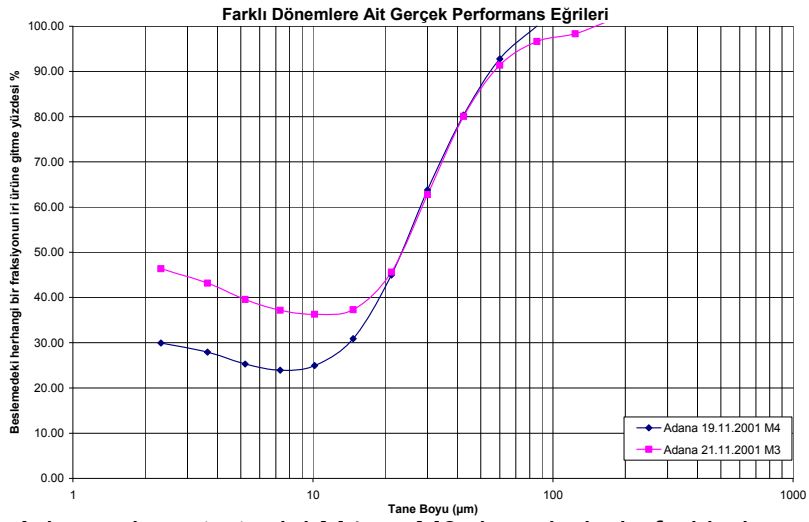
Madde denklığı sonucu elde edilen tane boyu dağılımları kullanılarak hesaplanan gerçek ve indirgenmiş performans eğrileri aşağıdaki grafiklerde verilmektedir (Şekil 7.47, Şekil 7.48, Şekil 7.49, Şekil 7.50).



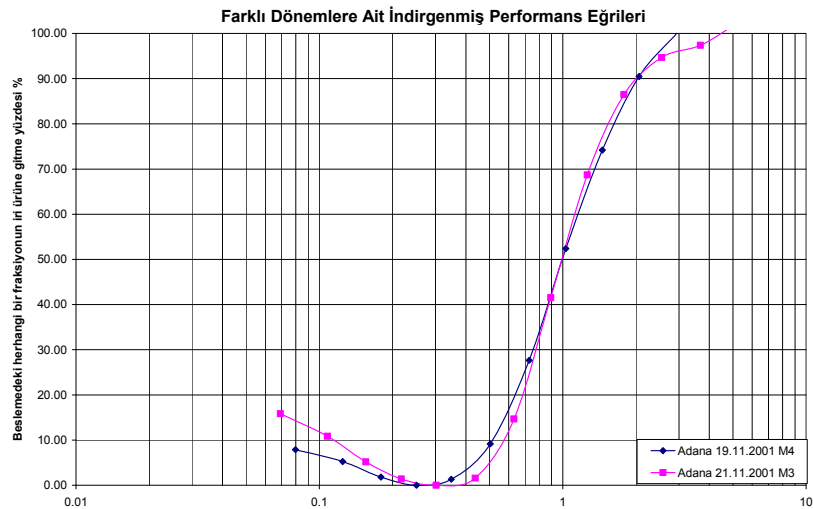
Şekil 7.47. Adana çimento tesisi M5 ve M6 devrelerinde farklı dönemlere ait sınıflandırıcı gerçek performans eğrileri



Şekil 7.48. Adana çimento tesisi M5 ve M6 devrelerinde farklı dönemlere ait sınıflandırıcı indirgenmiş performans eğrileri



Şekil 7.49. Adana çimento tesisi M4 ve M3 devrelerinde farklı dönemlere ait sınıflandırıcı gerçek performans eğrileri



Şekil 7.50. Adana çimento tesisi M4 ve M3 devrelerinde farklı dönemlere ait sınıflandırıcı indirgenmiş performans eğrileri

7.6 MADDE DENKLİĞİ SONUÇLARI

Her tesis için çizilen gerçek performans eğrileri karşılaştırıldığında, öğütme yardımcısı kullanılan İstanbul Set Ambarlı Çimento Fabrikası'nın performans eğrilerinin, diğer tesislere oranla büyük fark gösterdiği anlaşılmıştır. Öğütme yardımcısının kullanılması sonucu malzemelerin topaklanma eğilimi düşürülmekte ve sonucunda balık oltası etkisi azaltılmaktadır (Sottili vd., 2000).

Öğütme yardımcısı ile yapılan bir diğer test ise tesisin kapasitesine yönelik bir denemedir. 04/05/2006 tarihli bu denemede öğütme yardımcısı kullanılmadan yapılan örneklemede 57 ton/saat ürün alınırken, aynı dönemde öğütme yardımcısı verilmesi ile ürün miktarı 58,5 ton/saat 'e çıkarılmış ve dolayısı ile %3'lük bir ürün artışı sağlanmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucu bazı sınıflandırıcılara ait indirgenmiş verimlilik eğrilerinde gözlemlenen dalgalanmalar (Şekil 7.40, Şekil 7.41), numunelerin tane boyu dağılımları belirlenirken iki farklı yöntemin kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Tane boyu dağılımları belirlenirken 150 µm boyuna kadar elek analizi yapılmakta ve bu boyun altı ise lazer analiz yöntemi ile belirlenmektedir.

Her bir veri setinin verimlilik eğrilerinin çizilmesi sonucu hesaplanan, kaçak, gerçek kesme boyu ve düzeltilmiş kesme boyu değerleri aşağıda verilmektedir (Çizelge 7.12). Verimlilik eğrisini tanımlayan farklı yaklaşımlar üzerinden yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen kaçak ve kesme boyu değerleri aşağıda belirtilen değerler ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 7.12. Madde denkliği sonuçları

	Separatör Besleme (ton/saat)	Separatör Geri Dönüş (ton/saat)	Separatör Ürün (ton/saat)	d50(µm)	d50c(µm)	C(Kaçak)
59N2 değirmen separatörü	470,59	359,59	111	14,54	23,73	0,3958
89N2 değirmen separatörü	410,53	305,53	105	15,81	24,46	0,3874
79N2 değirmen separatörü	367,72	256,72	111	20,21	27,43	0,3221
79N1 değirmen separatörü	598,3	466,3	132	18,42	24,56	0,3274
89N1 değirmen separatörü	475,1	343,1	132	20,39	27,19	0,3191
89N2 pres separatörü	570,19	465,19	105	42,33	60,35	0,3138
89N1 pres separatörü	613,49	481,49	132	47,64	66,09	0,2863
79N2 pres separatörü	408,29	297,29	111	99,95	113,55	0,1514
79N1 pres separatörü	698,23	566,23	132	61,44	80,17	0,2713
69N2 pres separatörü	492,98	389,98	103	54,84	71,23	0,2745
59N2 pres separatörü	506,84	395,84	111	54,75	74,23	0,298
Bolu 2003 ÇM1	136,49	86,29	50,2	30,43	38,11	0,248

Bolu 30.03.2000 ÇM1	238,02	174,32	63,7	29,67	41,92	0,3058
Bolu 2003 ÇM2	143,99	93,49	50,5	31,65	37,7	0,2092
Bolu 30.03.2000 ÇM3	350,19	261,59	88,6	22,62	32,65	0,3198
Adana 19.11.2001 M6	491,88	373,88	118	15,71	25,99	0,4188
Adana 21.11.2001 M5	448,83	331,83	117	21,58	28,47	0,3122
Adana 19.11.2001 M4	224,68	143,48	81,2	23,37	29,16	0,2392
Adana 21.11.2001 M3	241,9	161,4	80,5	23,26	33,64	0,3628
Bursa 7.9.2001 M1	60,25	22,15	38,1	45,55	48,94	0,1004
Bursa 9.9.2001 M1	57,71	19,51	38,2	52,45	55,14	0,0773
Bursa 4.9.2001 M2	64,08	9,78	54,3	106,83	113,08	0,035
Bursa 9.9.2001 M2	86,89	34,09	52,8	52,03	55,21	0,0974
Bursa 5.9.2001 M3	104,64	26,84	77,8	70,79	75,85	0,0633
Bursa 9.9.2001 M3	85,19	13,39	71,8	93,86	96,54	0,0498
Bursa 8.9.2001 M4	400,95	277,95	123	28,23	37,5	0,2955
Bursa 7.9.2001 M4	346,13	196,13	150	34,06	39,96	0,1952
Bursa 16.4.2002 M4	536,18	379,18	157	25,48	37,29	0,351
Bursa 3.9.2003 M4	717,14	525,14	192	24,92	39,85	0,3945
Bursa 5.9.2003 M4	561,25	348,25	213	32,83	44,87	0,2901
İstanbul 01.12.2005	251,36	193,16	58,20	17,8	23,66	0,2551
İstanbul 15.12.2005	350,44	292,24	58,20	15,11	25,1	0,4174
İstanbul 12.05.2005	261,87	181,77	80,10	26,66	31,82	0,1879
İstanbul 26.09.2004 CEM V	271,70	206,09	65,61	23,67	27,16	0,1735
İstanbul 26.09.2004 CEM I	205,50	147,66	57,84	23,41	27,65	0,2111
İstanbul 17.02.2006	284,92	229,92	55,00	16,98	21,71	0,2516
İstanbul 02.05.2006	224,98	169,98	55,00	19,2	22,85	0,2127
İstanbul 04.05.2006 Öğ. Yrd. ile	224,94	166,44	58,50	20,98	24,45	0,1824
İstanbul 04.05.2006 Öğ. Yrd. Yok	272,29	215,29	57,00	18,44	23,13	0,2619
İstanbul 28.01.2006	203,97	149,47	54,50	18,16	22,38	0,2422
İstanbul 10.11.2006	187,84	125,14	62,70	24,91	29,1	0,1480
Mersin 4 No'lu Dev.	374,12	284,42	89,7	18,29	24,57	0,3245
Mersin 1 No'lu Dev.	333,88	200,88	133	28,02	32,7	0,194
Mersin 1 No'lu Dev.	378,09	242,09	136	27,92	33,81	0,2399
Mersin 1 No'lu Dev.	394,91	253,91	141	27,74	34,77	0,267
Kayseri 18.04.2006 a	281,16	176,16	105,00	27,09	33,39	0,2494
Kayseri 18.04.2006 b	191,20	86,20	105,00	35,12	38,91	0,1537
Kayseri 18.04.2006 c	211,14	106,14	105,00	31,85	35,86	0,1676
Kayseri 18.04.2006 d	185,23	80,23	105,00	34,78	37,52	0,1256
Kayseri 19.04.2006	283,78	183,98	99,80	24,93	29,95	0,2282
Antalya CEM II/A Pressiz	104,97	80,05	24,92	30,21	43,25	0,346
Antalya CEM II/B Presli	88,76	60,91	27,85	36,47	46,25	0,2432
Antalya CEM II/B Pressiz	78,10	50,10	28,00	39,78	46,59	0,1616
Bolu Kazan 06.02.2007	238,85	153,51	85,34	32,58	35,56	0,1539
Bolu Kazan 07.02.2007	281,60	188,60	93,01	33,11	36,64	0,1724
Bolu Kazan 12.02.2007	317,24	224,26	93,00	31,26	34,83	0,1696
Bolu Kazan 14.03.2007	374,25	294,05	80,20	29,38	34,67	0,2371
Lalahan 08.05.2007	251,94	149,76	102	36,64	39,90	0,1212
Lalahan 17.05.2007	158,7	77,84	80,9	38,02	39,90	0,0854

7.7. Farklı Performans Eğrisi Yaklaşımlarının Endüstriyel Verilerle Olan Uyumunun İncelenmesi

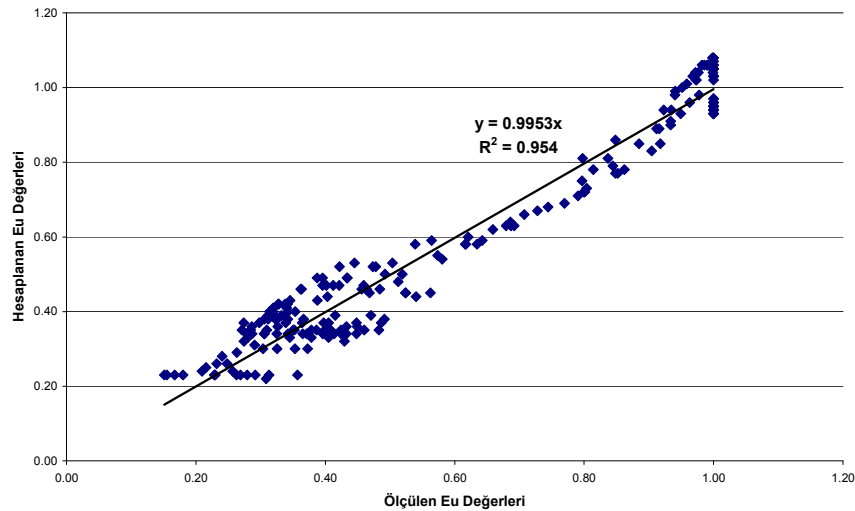
Verimlilik eğrisini tanımlayan matematiksel yaklaşımlar Bölüm 5'te verilmektedir. Bu bölümde Finch, Plitt, Molerus, Whiten, Lynch & Rao, Lippek & Espig ve Zhang tarafından önerilen matematiksel fonksiyonların Bölüm 7'de verilen endüstriyel verilerle uyumu ortaya koyulmaktadır. Bu amaçla her bir yaklaşım için önerilen parametre setleri doğrusal olmayan regresyon yöntemi ile belirlenmiştir.

7.7.1. Finch (1982) Eşitliği

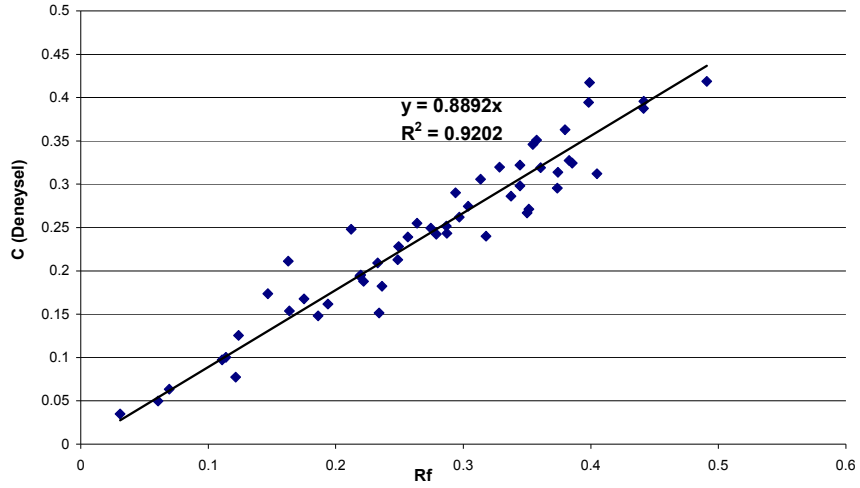
Bu bölümde Eşitlik 7.1'de görülmekte olan model parametreleri (Bölüm 5.1), doğrusal olmayan regresyon yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 7.13'te sunulmaktadır.

$$S(x) = 1 - \exp\left[-0,693\left(\frac{x}{x_{50}}\right)^n\right] + R_f\left(\frac{x_0 - x}{x_0}\right) \quad (7.1)$$

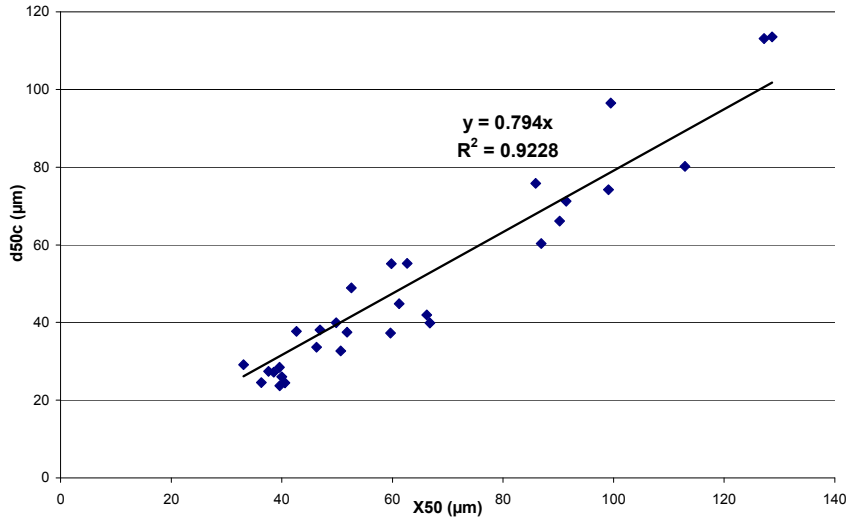
Yapılan hesaplamalar sonucunda ölçülen-hesaplanan verimlilik değerleri Şekil 7.51'de verilmektedir. Bu veriler aynı tane boylarındaki ölçülen değerler ve eşitlikten hesaplanan verimlilik eğrisi değerlerini temsil etmektedir. Aynı eğriler diğer verimlilik eğrisi yaklaşımları için de çizilmiştir. Şekil 7.52 ve Şekil 7.53'te de eşitlikten hesaplanan kesme boyu ve kaçak değerleri ile deneysel olarak grafik üzerinden bulunan değerlerin karşılaştırılması sunulmaktadır.



Şekil 7.51. Finch eşitliğinin ölçülen hesaplanan verimlilik değerleri



Şekil 7.52. Finch eşitliğinden hesaplanan kaçak (Rf) ile deneysel yolla hesaplanan kaçığın (C) karşılaştırılması



Şekil 7.53. Finch eşitliğinden hesaplanan kesme boyu (X50) ile deneysel yolla hesaplanan düzeltilmiş kesme boyunun (d50c) karşılaştırılması

Bütün yapılan hesaplamalar sonunda bulunan parametreler yardımı ile verimlilik eğrileri tekrar hesaplanmış ve orjinal verimlilik eğrileri ile olan uyumu da incelenmiştir. Ek 1'de her bir veri seti için çizilmiş olan ölçülen hesaplanan verimlilik eğrileri gösterilmiştir.

Çizelge 7.13. Doğrusal olmayan regresyon yöntemi ile hesaplanan Finch eşitliği parametreleri

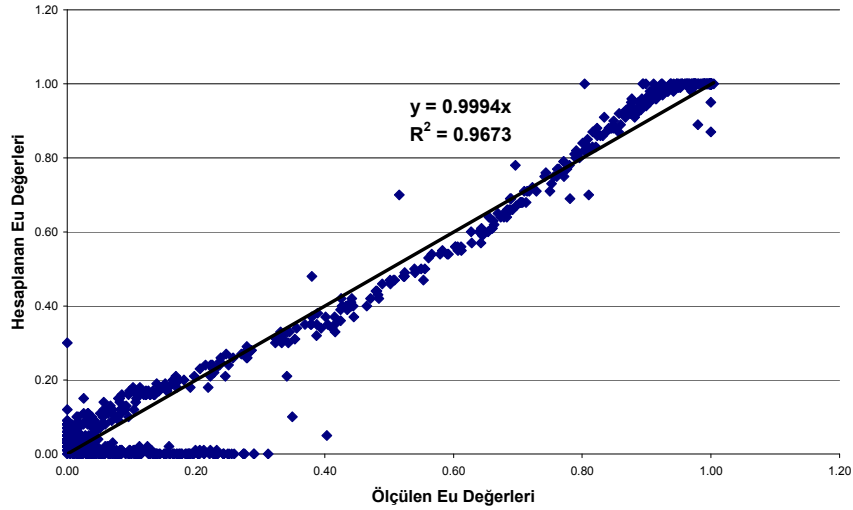
	Rf	N	X50	X0	R ²		Rf	N	X50	X0	R ²
59N2 değirmen separatörü	0,44	1,40	39,64	146,67	0,91	01.12.2005	0,26	1,95	26,85	71,99	0,98
89N2 değirmen separatörü	0,44	1,44	40,56	145	0,91	15.12.2005	0,40	1,51	31,22	103,08	0,98
79N2 değirmen separatörü	0,34	1,62	37,61	138,17	0,96	12.05.2005	0,22	1,91	38,43	102,25	0,97
79N1 değirmen separatörü	0,38	1,65	36,32	135,99	0,93	26.09.2004 CEM V	0,15	1,67	30,52	116,38	0,99
89N1 değirmen separatörü	0,36	1,64	38,53	137,62	0,95	26.09.2004 CEM I	0,16	1,96	29,69	75,88	0,99
89N2 pres separatörü	0,37	1,74	86,92	307,65	0,94	17.02.2006	0,29	1,85	27,72	82,16	0,96
89N1 pres separatörü	0,34	1,75	90,24	311,07	0,96	02.05.2006	0,25	1,89	28,59	90,06	0,97
79N2 pres separatörü	0,23	2,52	128,65	317,97	0,96	04.05.2006 Öğ. Yrd.ile	0,24	2,17	28,93	71,48	0,96
79N1 pres separatörü	0,35	1,93	112,91	385,45	0,93	04.05.2006 Öğ. Yrd. yok	0,30	1,60	32,48	125,78	0,94
69N2 pres separatörü	0,30	1,86	91,44	308,14	0,97	28.01.2006	0,28	1,99	27,41	75,76	0,97
59N2 pres separatörü	0,34	1,87	99,07	314,52	0,96	10.11.2006	0,19	1,86	37,89	144,73	0,97
2003 ÇM1	0,21	1,36	46,92	273,91	0,97	Mersin 4 No'lu Dev.	0,39	1,72	35,48	128,68	0,92
30.03.2000 ÇM1	0,31	1,16	66,19	406,25	0,95	Mersin 1 No'lu Dev	0,22	1,79	41,39	197,45	0,96
2003 ÇM2	0,23	2,05	42,65	108,81	0,98	Mersin 1 No'lu Dev	0,32	2,14	43,91	133,68	0,93
30.03.2000 ÇM3	0,33	1,20	50,63	290,68	0,94	Mersin 1 No'lu Dev	0,35	2,02	46,82	139,31	0,92
Adana 19.11.2001 M6	0,49	1,69	40	116,24	0,92	Kayseri 18.04.2006 a	0,27	2,07	38,49	106,33	0,98
Adana 21.11.2001 M5	0,40	1,95	39,58	110,87	0,94	Kayseri 18.04.2006 b	0,16	2,13	42,72	111,22	0,99
Adana 19.11.2001 M4	0,26	1,99	33,06	82,24	0,99	Kayseri 18.04.2006 c	0,18	2,13	38,99	100,36	0,99
Adana 21.11.2001 M3	0,38	1,61	46,26	157,49	0,96	Kayseri 18.04.2006 d	0,12	2,18	40,09	109,46	0,99
7.9.2001 M1	0,11	2,40	52,57	116,64	0,97	Kayseri 19.04.2006	0,25	2,00	35,06	103,87	0,98
9.9.2001 M1	0,12	2,84	59,82	140,77	0,99	Antalya CEM II/A Pressiz	0,35	1,39	65,1	299,03	0,95
4.9.2001 M2	0,03	1,49	127,23	2,54E+08	0,95	Antalya CEM II/B Presli	0,29	1,92	57,22	161,43	0,97
9.9.2001 M2	0,11	2,28	62,69	307,76	0,97	Antalya CEM II/B Pressiz	0,19	1,83	54,49	160,69	0,98
5.9.2001 M3	0,07	1,83	85,91	564,24	0,98	Bolu Kazan 06.2.2007	0,20	2,89	37,93	74,62	0,99
9.9.2001 M3	0,06	2,63	99,49	222,41	0,99	Bolu Kazan 07.2.2007	0,15	2,03	41,51	249,6	0,97
8.9.2001 M4	0,37	1,92	51,82	152,33	0,94	Bolu Kazan 12.2.2007	0,16	1,97	39,89	250,56	0,97
7.9.2001 M4	0,22	1,74	49,82	143,62	0,97	Bolu Kazan 14.3.2007	0,26	1,73	45,84	261,04	0,92
16.4.2002 M4	0,36	1,24	59,66	302,56	0,95	Lalahan 08.05.2007	0,10	2,11	42,67	250,87	0,99
3.9.2003 M4	0,40	1,21	66,78	314,89	0,94	Lalahan 17.05.2007	0,06	2,35	42,24	239,32	0,99
5.9.2003 M4	0,29	1,45	61,21	218,65	0,97						

7.7.2. Plitt (1971) Eşitliği

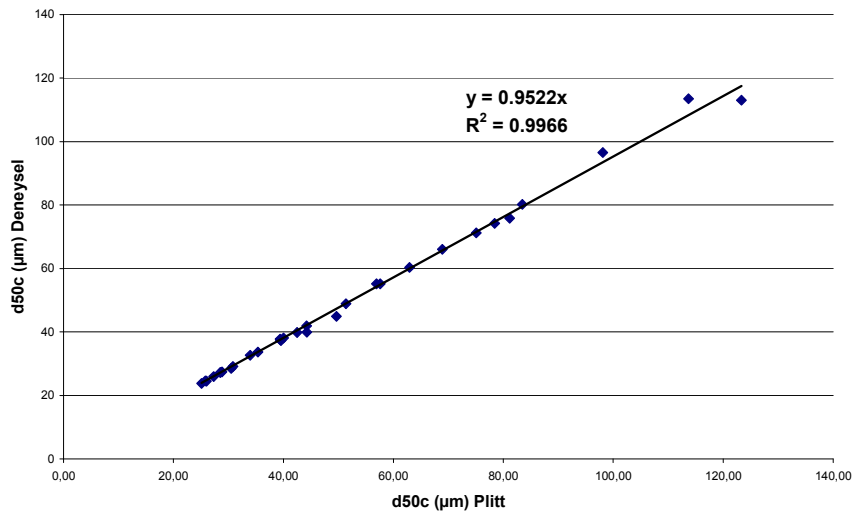
Bu bölümde Eşitlik 7.2'de görmekte olan model parametreleri (Bölüm 5.2) doğrusal olmayan regresyon yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 7.14'te sunulmaktadır.

$$Euc = 1 - \exp \left[- \ln 2 \left(\frac{d}{d_{50c}} \right)^m \right] \quad (7.2)$$

Yapılan hesaplamalar sonucunda ölçülen-hesaplanan verimlilik değerleri Şekil 7.54'te verilmekte, Şekil 7.55'te eşitlikten hesaplanan kesme boyu değerleri ile deneysel olarak grafik üzerinden bulunan değerlerin karşılaştırılması sunulmaktadır.



Şekil 7.54. Plitt eşitliğinin ölçülen hesaplanan verimlilik değerleri



Şekil 7.55. Plitt (1971) eşitliğinden hesaplanan kesme boyu ile deneysel yolla hesaplanan kesme boyunun karşılaştırılması

Çizelge 7.14. Doğrusal olmayan regresyon yöntemi ile hesaplanan Plitt eşitliği parametreleri

	m	d50c	R2		m	d50c	R2
59N2 değirmen separatörü	2,04	25,10	0,93	01.12.2005	2,32	24,43	0,98
89N2 değirmen separatörü	2,06	25,99	0,92	15.12.2005	3,66	25,15	0,99
79N2 değirmen separatörü	2,36	28,82	0,97	12.05.2005	1,97	34,61	0,97
79N1 değirmen separatörü	2,41	25,81	0,93	26.09.2004 CEM V	2,40	30,89	0,99
89N1 değirmen separatörü	2,31	28,49	0,96	26.09.2004 CEM I	2,35	29,69	0,99
89N2 pres separatörü	2,14	62,95	0,92	17.02.2006	2,17	23,26	0,97
89N1 pres separatörü	2,02	68,92	0,94	02.05.2006	2,25	24,27	0,97
79N2 pres separatörü	2,26	113,69	0,89	04.05.2006 Öğ. Yrd. İle	2,21	25,92	0,95
79N1 pres separatörü	2,22	83,42	0,86	04.05.2006 Öğ. Yrd. Yok	2,29	24,49	0,95
69N2 pres separatörü	2,31	75,08	0,97	28.01.2006	2,25	23,81	0,97
59N2 pres separatörü	2,21	78,43	0,95	10.11.2006	1,95	32,35	0,97
2003 ÇM1	2,15	40,03	0,99	Mersin 4 No'lu Dev.	2,57	25,49	0,93
30.03.2000 ÇM1	1,89	44,20	0,97	Mersin 1 No'lu Dev.	2,31	34,34	0,97
2003 ÇM2	2,24	39,39	0,99	Mersin 1 No'lu Dev.	2,54	35,20	0,92
30.03.2000 ÇM3	2,03	33,95	0,97	Mersin 1 No'lu Dev.	2,44	36,29	0,91
Adana 19.11.2001 M6	2,11	27,29	0,92	Kayseri 18.04.2006 a	2,45	34,43	0,99
Adana 21.11.2001 M5	2,29	30,49	0,92	Kayseri 18.04.2006 b	2,35	40,74	0,99
Adana 19.11.2001 M4	2,17	30,80	0,99	Kayseri 18.04.2006 c	2,38	37,27	0,99
Adana 21.11.2001 M3	2,43	35,36	0,97	Kayseri 18.04.2006 d	2,46	38,92	1,00
7.9.2001 M1	2,51	51,38	0,96	Kayseri 19.04.2006	2,37	31,25	0,99
9.9.2001 M1	2,78	56,94	0,98	Antalya CEM II/A Pressiz	2,25	45,86	0,97
4.9.2001 M2	1,53	123,29	0,95	Antalya CEM II/B Presli	2,02	48,95	0,97
9.9.2001 M2	2,75	57,59	0,98	Antalya CEM II/B Pressiz	1,85	48,85	0,98
5.9.2001 M3	1,89	81,15	0,98	Bolu Kazan 06.2.2007	2,98	36,80	0,98
9.9.2001 M3	2,70	98,07	0,99	Bolu Kazan 07.2.2007	2,75	38,29	0,99
8.9.2001 M4	2,19	39,45	0,92	Bolu Kazan 12.2.2007	2,79	35,58	0,99
7.9.2001 M4	1,88	44,25	0,97	Bolu Kazan 14.3.2007	2,88	35,62	0,95
16.4.2002 M4	2,21	39,53	0,98	Lalahan 08.05.2007	2,63	40,64	1,00
3.9.2003 M4	2,19	42,46	0,97	Lalahan 17.05.2007	2,76	41,75	0,99
5.9.2003 M4	1,84	49,65	0,98				

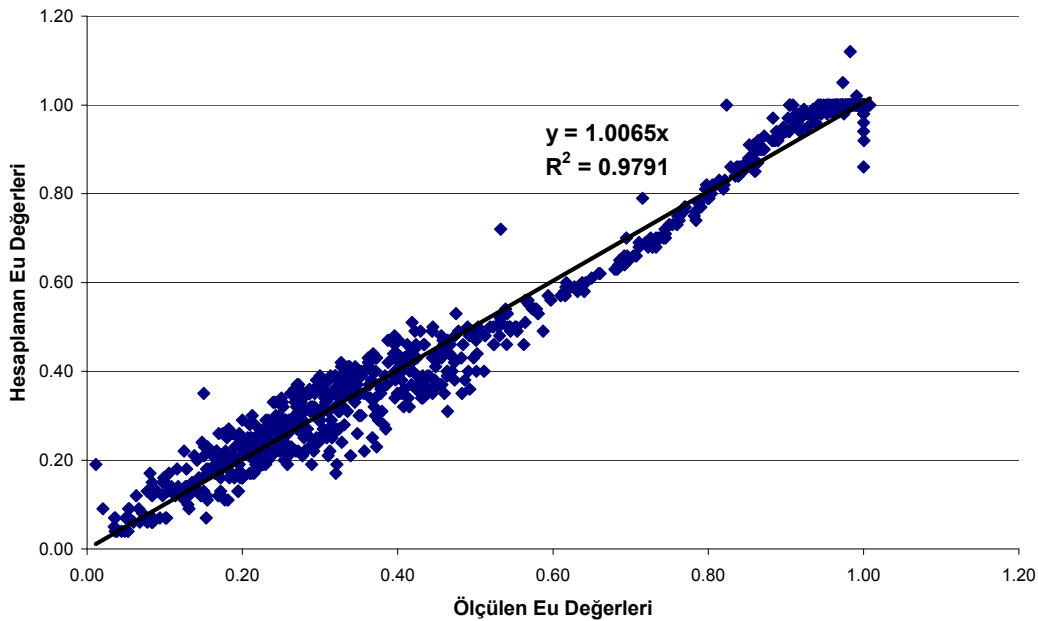
Bütün yapılan hesaplamalar sonunda bulunan parametreler yardımı ile verimlilik eğrileri tekrar hesaplanmış ve orjinal verimlilik eğrileri ile olan uyumu da incelenmiştir. Ek 2’de her bir veri seti için çizilmiş olan ölçülen hesaplanan verimlilik eğrileri gösterilmiştir.

7.7.3. Molerus Eşitliği

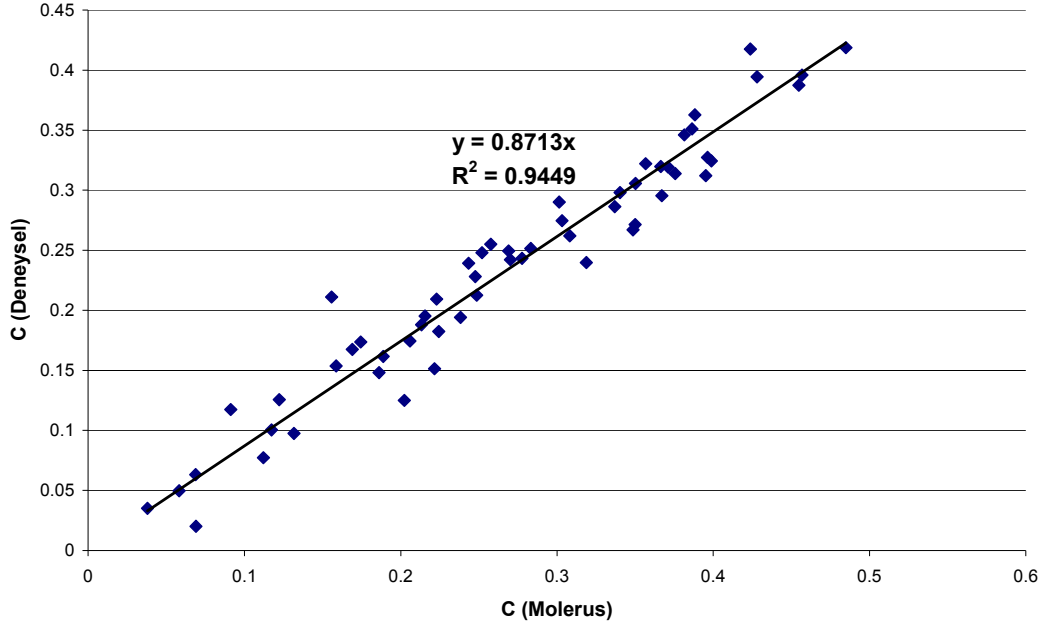
Bu bölümde Eşitlik 7.3’te görmekte olan model parametreleri (Bölüm 5.7) doğrusal olmayan regresyon yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 7.15’te sunulmaktadır.

$$T(D_p) = \frac{(1-C) \left(\frac{d_{50c}}{D_p} \right)^2 \exp \left[\lambda \left(1 - \left(\frac{D_p}{d_{50c}} \right)^2 \right) \right]}{1 + \left(\frac{d_{50c}}{D_p} \right)^2 \exp \left[\lambda \left(1 - \left(\frac{D_p}{d_{50c}} \right)^2 \right) \right]} \quad (7.3)$$

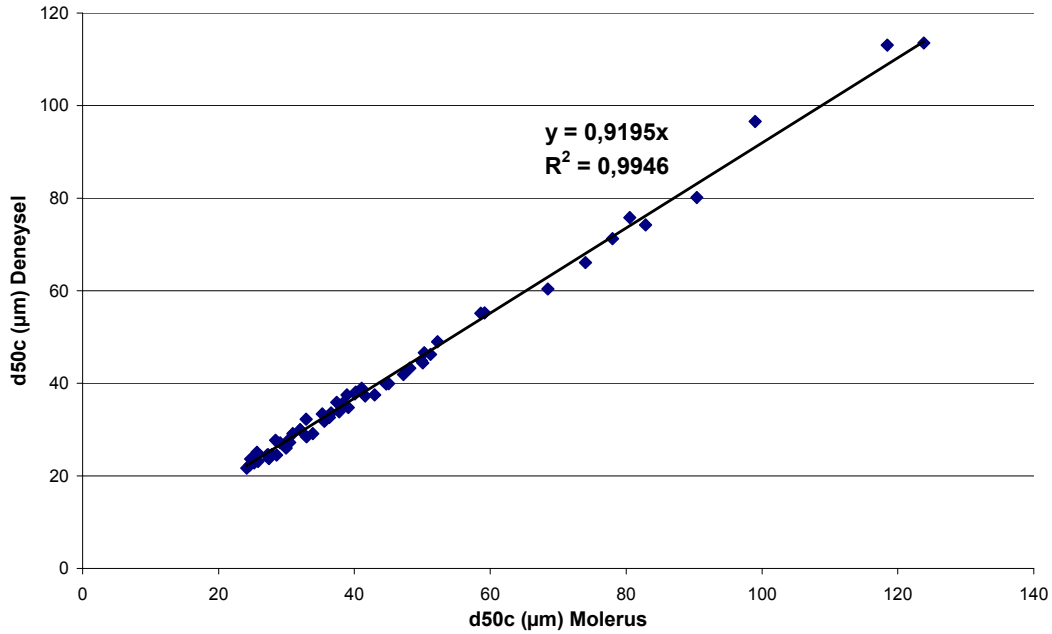
Yapılan hesaplamalar sonucunda ölçülen-hesaplanan verimlilik değerleri Şekil 7.56’da verilmekte, Şekil 7.57 ve Şekil 7.58’de de eşitlikten hesaplanan kesme boyu ve kaçak değerleri ile deneysel olarak grafik üzerinden bulunan değerlerin karşılaştırılması sunulmaktadır.



Şekil 7.56. Molerus (1971) eşitliğinin ölçülen hesaplanan verimlilik değerleri



Şekil 7.57. Molerus (1971) eşitliğinden hesaplanan kaçak değeri ile deneysel yolla hesaplanan kaçığın karşılaştırılması



Şekil 7.58. Molerus eşitliğinden hesaplanan kesme boyu ile deneysel yolla hesaplanan kesme boyunun karşılaştırılması

Bütün yapılan hesaplamalar sonunda bulunan parametreler yardımı ile verimlilik eğrileri tekrar hesaplanmış ve orjinal verimlilik eğrileri ile olan uyumu da incelenmiştir. Ek 3'te her bir veri seti için çizilmiş olan ölçülen hesaplanan verimlilik eğrileri gösterilmiştir.

Çizelge 7.15. Doğrusal olmayan regresyon yöntemi ile hesaplanan Molerus eşitliği parametreleri

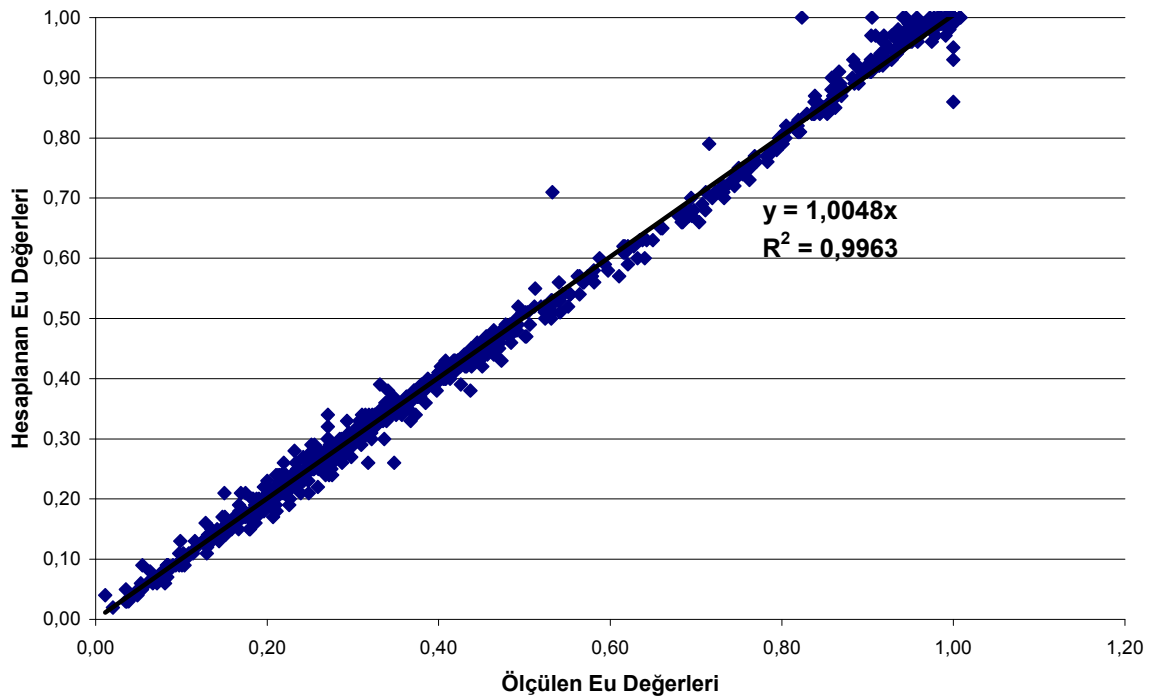
	d50c	C	λ	R ²		d50c	C	λ	R ²
59N2 değirmen separatörü	27,39	0,46	1,00	0,95	01.12.2005	24,74	0,26	0,66	0,98
89N2 değirmen separatörü	28,57	0,45	1,11	0,95	15.12.2005	25,67	0,42	1,94	0,99
79N2 değirmen separatörü	30,09	0,36	0,96	0,98	12.05.2005	35,59	0,21	0,39	0,97
79N1 değirmen separatörü	27,84	0,40	1,40	0,96	26.09.2004 CEM V	29,09	0,17	0,42	0,99
89N1 değirmen separatörü	30,46	0,37	1,11	0,97	26.09.2004 CEM I	28,39	0,16	0,45	0,99
89N2 pres separatörü	68,47	0,38	0,94	0,96	17.02.2006	24,17	0,28	0,72	0,97
89N1 pres separatörü	73,99	0,34	0,70	0,97	02.05.2006	25,25	0,25	0,77	0,97
79N2 pres separatörü	123,80	0,22	1,06	0,96	04.05.2006 Öğ. Yrd. İle	27,16	0,22	0,74	0,96
79N1 pres separatörü	90,41	0,35	1,35	0,95	04.05.2006 Öğ. Yrd. Yok	25,83	0,31	0,88	0,96
69N2 pres separatörü	77,98	0,30	0,81	0,98	28.01.2006	24,63	0,27	0,69	0,97
59N2 pres separatörü	82,85	0,34	0,85	0,97	10.11.2006	33,86	0,19	0,46	0,97
2003 ÇM1	40,19	0,25	0,48	0,99	Mersin 4 No'lu Dev	27,31	0,40	1,74	0,96
30.03.2000 ÇM1	47,23	0,35	0,53	0,98	Mersin 1 No'lu Dev.	35,93	0,24	0,92	0,98
2003 ÇM2	40,07	0,22	0,62	0,99	Mersin 1 No'lu Dev.	37,77	0,32	1,64	0,95
30.03.2000 ÇM3	36,29	0,37	0,72	0,98	Mersin 1 No'lu Dev.	39,10	0,35	1,62	0,95
Adana 19.11.2001 M6	29,93	0,48	1,17	0,95	Kayseri 18.04.2006 a	35,29	0,27	0,90	0,99
Adana 21.11.2001 M5	32,92	0,40	1,23	0,96	Kayseri 18.04.2006 b	41,04	0,16	0,67	0,99
Adana 19.11.2001 M4	30,93	0,24	0,51	0,99	Kayseri 18.04.2006 c	37,41	0,17	0,68	0,99
Adana 21.11.2001 M3	36,58	0,39	0,93	0,98	Kayseri 18.04.2006 d	38,91	0,12	0,72	0,99
7.9.2001 M1	52,25	0,12	0,87	0,96	Kayseri 19.04.2006	32,03	0,25	0,81	0,99
9.9.2001 M1	58,61	0,11	1,26	0,98	Antalya CEM II/A Pressiz	48,17	0,38	0,84	0,98
4.9.2001 M2	118,43	0,04	0,08	0,94	Antalya CEM II/B Presli	51,20	0,28	0,55	0,97
9.9.2001 M2	59,16	0,13	1,24	0,98	Antalya CEM II/B Pressiz	50,28	0,19	0,35	0,98
5.9.2001 M3	80,55	0,07	0,30	0,98	Bolu Kazan 06.2.2007	37,54	0,18	1,36	0,98
9.9.2001 M3	98,97	0,06	1,05	0,99	Bolu Kazan 07.2.2007	38,51	0,19	1,19	0,99
8.9.2001 M4	42,96	0,37	1,10	0,95	Bolu Kazan 12.2.2007	36,65	0,20	1,27	0,99
7.9.2001 M4	45,07	0,22	0,25	0,98	Bolu Kazan 14.3.2007	37,67	0,31	1,99	0,97
16.4.2002 M4	41,56	0,39	0,79	0,98	Lalahan 08.05.2007	40,67	0,12	0,84	1,00
3.9.2003 M4	44,66	0,43	0,77	0,98	Lalahan 17.05.2007	41,21	0,07	0,89	1,00
5.9.2003 M4	49,87	0,30	0,21	0,98					

7.7.4. Whiten Eşitliği

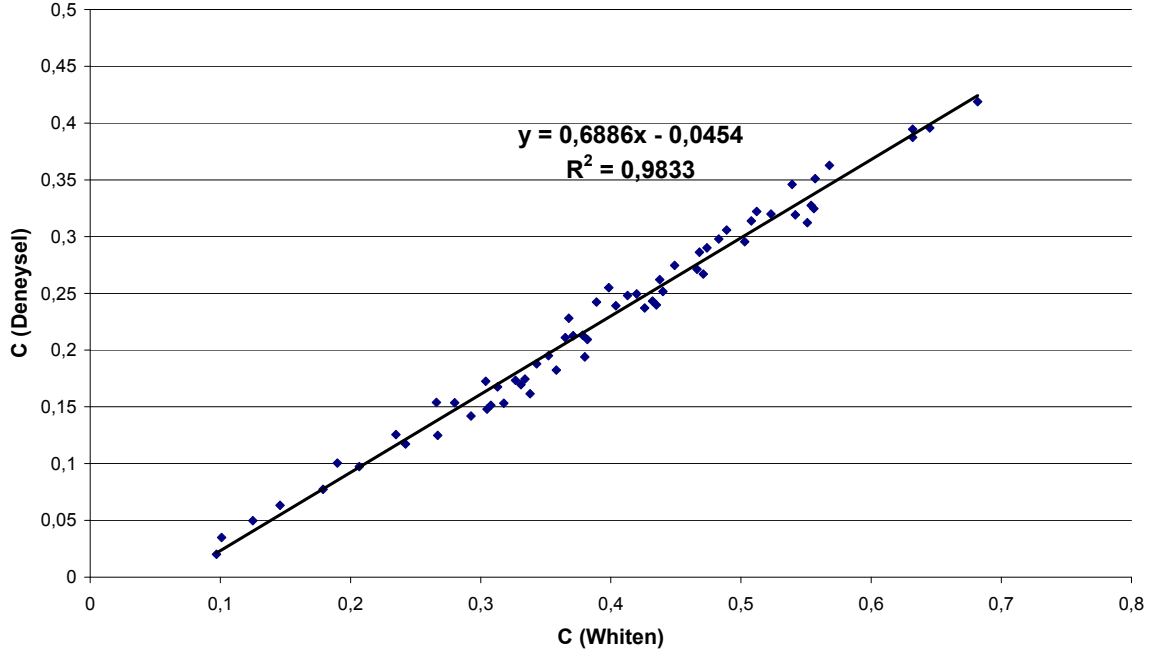
Bu bölümde Eşitlik 7.4'te görülmekte olan model parametreleri (Bölüm 5.3) doğrusal olmayan regresyon yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 7.16'da sunulmaktadır.

$$E_{oa} = C \left[\frac{(1 + \beta\beta * X)(\exp(\alpha) - 1)}{\exp(\alpha\beta * X) + \exp(\alpha) - 2} \right] \quad (7.4)$$

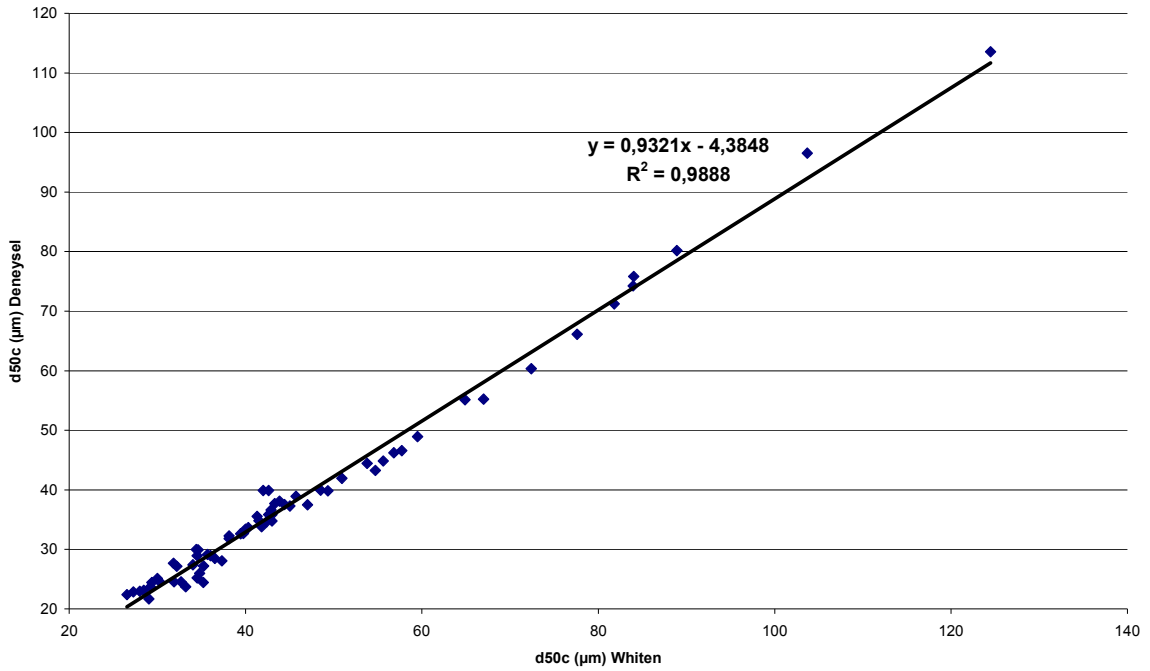
Yapılan hesaplamalar sonucunda ölçülen-hesaplanan verimlilik değerleri Şekil 7.59'da verilmekte, Şekil 7.60 ve Şekil 7.61'de de eşitlikten hesaplanan kesme boyu ve kaçak değerleri ile deneysel olarak grafik üzerinden bulunan değerlerin karşılaştırılması sunulmaktadır.



Şekil 7.59. Whiten eşitliğinin ölçülen hesaplanan verimlilik değerleri



Şekil 7.60. Whiten eşitliğinden hesaplanan kaçak değeri ile deneysel yolla hesaplanan kaçığın karşılaştırılması



Şekil 7.61. Whiten eşitliğinden hesaplanan kesme boyu ile deneysel yolla hesaplanan kesme boyunun karşılaştırılması

Bütün yapılan hesaplamalar sonunda bulunan parametreler yardımı ile verimlilik eğrileri tekrar hesaplanmış ve orjinal verimlilik eğrileri ile olan uyumu da incelenmiştir. Ek 4'te her bir veri seti için çizilmiş olan ölçülen hesaplanan verimlilik eğrileri gösterilmiştir.

Çizelge 7.16. Doğrusal olmayan regresyon yöntemi ile hesaplanan Whiten eşitliği parametreleri

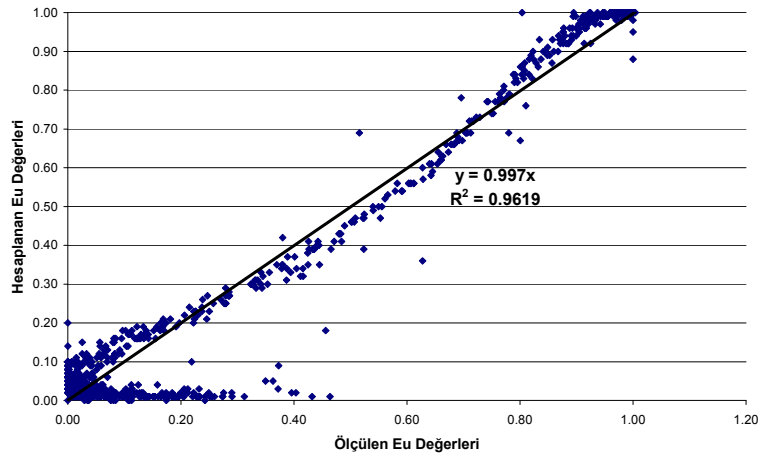
	α	β	d50c	β_{ty}	C	R^2		α	β	d50c	β_{ty}	C	R^2
59N2 değirmen separatörü	0,50	2,31	33,20	5,91	0,65	1,00	İstanbul 01.12.2005	0,70	1,46	29,20	3,63	0,40	1,00
89N2 değirmen separatörü	0,66	2,37	35,21	4,74	0,63	1,00	İstanbul 15.12.2005	1,38	1,02	30,00	2,02	0,38	1,00
79N2 değirmen separatörü	0,85	1,79	34,02	3,47	0,51	1,00	İstanbul 12.05.2005	0,35	1,59	38,12	6,60	0,34	1,00
79N1 değirmen separatörü	1,03	1,65	32,68	2,90	0,55	1,00	İstanbul 26.09.2004 CEM V	0,64	1,39	32,20	3,80	0,33	1,00
89N1 değirmen separatörü	0,80	1,98	35,23	3,78	0,54	1,00	İstanbul 26.09.2004 CEM I	0,61	1,65	31,83	4,30	0,37	1,00
89N2 pres separatörü	0,79	1,74	72,40	3,62	0,51	1,00	İstanbul 17.02.2006	0,38	1,55	29,02	6,18	0,44	1,00
89N1 pres separatörü	0,65	1,62	77,60	4,04	0,47	1,00	İstanbul 02.05.2006	0,51	1,56	27,27	4,81	0,37	1,00
79N2 pres separatörü	0,97	1,32	124,50	2,76	0,31	1,00	İstanbul 04.05.2006 Öğ. Yrd. İle	0,51	1,61	29,38	4,91	0,36	1,00
79N1 pres separatörü	0,81	1,80	88,90	3,59	0,47	1,00	İstanbul 04.05.2006 Öğ. Yrd. Yok	0,40	1,74	28,44	6,24	0,44	1,00
69N2 pres separatörü	0,98	1,41	81,82	2,82	0,45	1,00	İstanbul 28.01.2006	0,55	1,53	26,54	4,51	0,39	1,00
59N2 pres separatörü	1,04	1,92	83,92	3,08	0,48	1,00	İstanbul 10.11.2006	0,27	1,48	36,02	8,03	0,30	1,00
Bolu 2003 ÇM1	0,71	1,55	43,87	3,71	0,41	1,00	Mersin 4 No'lu Dev.	1,33	1,62	31,88	2,44	0,56	1,00
Bolu 30.03.2000 ÇM1	0,50	1,64	50,92	4,99	0,49	1,00	Mersin 1 No'lu Dev.	0,92	1,57	39,77	3,08	0,38	1,00
Bolu 2003 ÇM2	0,87	1,46	43,32	3,12	0,38	1,00	Mersin 1 No'lu Dev.	1,14	1,79	41,83	2,81	0,44	1,00
Bolu 30.03.2000 ÇM3	0,64	1,71	39,45	4,19	0,52	1,00	Mersin 1 No'lu Dev.	1,12	1,74	42,99	2,80	0,47	1,00
Adana 19.11.2001 M6	0,66	2,66	34,80	5,01	0,68	1,00	Kayseri 18.04.2006 a	1,29	1,32	40,00	2,31	0,42	1,00
Adana 21.11.2001 M5	0,82	2,06	36,50	3,78	0,55	1,00	Kayseri 18.04.2006 b	1,33	1,12	45,70	2,14	0,28	1,00
Adana 19.11.2001 M4	0,81	1,48	35,70	3,28	0,40	1,00	Kayseri 18.04.2006 c	1,33	1,12	42,60	2,14	0,31	1,00
Adana 21.11.2001 M3	0,95	2,20	40,29	3,46	0,57	1,00	Kayseri 18.04.2006 d	1,70	0,89	44,40	1,74	0,24	1,00
Bursa 7.9.2001 M1	1,76	0,86	59,50	1,70	0,19	1,00	Kayseri 19.04.2006	1,14	1,32	34,41	2,48	0,37	1,00
Bursa 9.9.2001 M1	1,95	0,85	64,90	1,62	0,18	1,00	Antalya CEM II/A Pressiz	0,84	1,79	54,70	3,49	0,54	1,00
Bursa 4.9.2001 M2	0,46	1,14	100,00	4,34	0,10	1,00	Antalya CEM II/B Presli	0,59	1,63	56,80	4,40	0,43	1,00
Bursa 9.9.2001 M2	1,98	0,84	67,00	1,60	0,21	1,00	Antalya CEM II/B Pressiz	0,46	1,45	57,69	4,99	0,34	1,00
Bursa 5.9.2001 M3	0,55	1,18	84,00	3,86	0,15	1,00	Bolu Kazan 06.02.2007	1,93	0,95	41,30	1,68	0,27	1,00
Bursa 9.9.2001 M3	2,58	0,61	103,70	1,36	0,13	1,00	Bolu Kazan 07.02.2007	1,71	1,02	42,90	1,82	0,30	1,00
Bursa 8.9.2001 M4	0,79	1,82	47,03	3,67	0,50	1,00	Bolu Kazan 12.02.2007	1,51	1,39	41,50	2,15	0,33	1,00
Bursa 7.9.2001 M4	0,38	1,63	48,51	6,32	0,35	1,00	Bolu Kazan 14.03.2007	1,41	1,88	42,40	2,48	0,43	1,00
Bursa 16.4.2002 M4	0,73	2,25	45,02	4,26	0,56	1,00	Lalahan 08.05.2007	1,59	0,87	42,62	1,78	0,19	1,00
Bursa 3.9.2003 M4	0,71	2,79	49,42	4,76	0,63	1,00	Lalahan 17.05.2007	1,91	0,81	41,99	1,61	0,15	1,00
Bursa 5.9.2003 M4	0,34	1,74	55,60	7,22	0,47	1,00							

7.7.5. Lynch & Rao Eşitliği

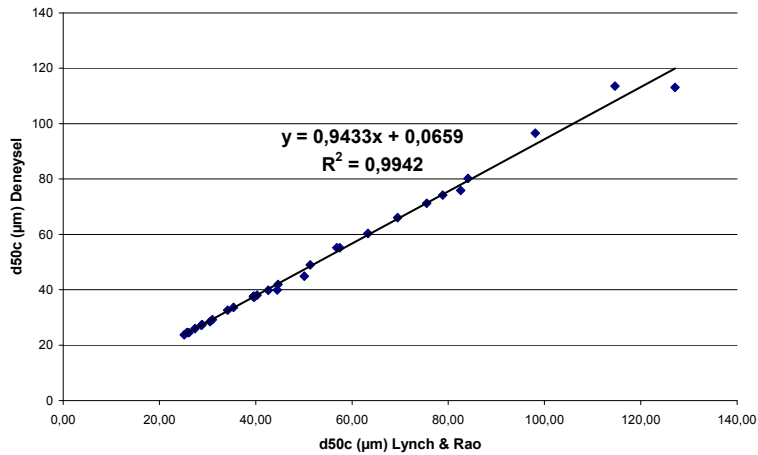
Bu bölümde Eşitlik 7.5'te görülmekte olan model parametreleri (Bölüm 5.5) doğrusal olmayan regresyon yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 7.17'de sunulmaktadır.

$$E_{oa} = C \left[\frac{(\exp(\alpha) - 1)}{\left(\exp\left(\alpha \left(\frac{d}{d_{50c}} \right) \right) + \exp(\alpha) - 2 \right)} \right] \quad (7.5)$$

Yapılan hesaplamalar sonucunda ölçülen-hesaplanan verimlilik değerleri Şekil 7.62'de verilmekte, Şekil 7.63'te ise eşitlikten hesaplanan kesme boyu değerleri ile deneysel olarak grafik üzerinden bulunan değerlerin karşılaştırılması sunulmaktadır.



Şekil 7.62. Lynch & Rao eşitliğinin ölçülen hesaplanan verimlilik değerleri



Şekil 7.63. Lynch & Rao eşitliğinden hesaplanan kesme boyu ile deneysel yolla hesaplanan kesme boyunun karşılaştırılması

Çizelge 7.17. Doğrusal olmayan regresyon yöntemi ile hesaplanan Lynch & Rao eşitliği parametreleri

	α	d50c	R ²		α	d50c	R ²
59N2 değirmen separatörü	2,80	25,18	0,93	01.12.2005	3,38	24,46	0,98
89N2 değirmen separatörü	2,79	26,09	0,93	15.12.2005	5,11	25,22	0,99
79N2 değirmen separatörü	3,40	28,88	0,97	12.05.2005	2,78	34,86	0,97
79N1 değirmen separatörü	3,31	25,74	0,94	26.09.2004 CEM V	3,64	30,99	0,99
89N1 değirmen separatörü	3,25	28,69	0,96	26.09.2004 CEM I	3,52	27,70	0,98
89N2 pres separatörü	2,93	63,29	0,94	17.02.2006	3,18	23,25	0,97
89N1 pres separatörü	2,78	69,49	0,95	02.05.2006	3,27	24,27	0,97
79N2 pres separatörü	3,14	114,61	0,93	04.05.2006 Öğ. Yrd. İle	3,18	25,96	0,95
79N1 pres separatörü	3,02	84,12	0,89	04.05.2006 Öğ. Yrd. Yok	3,29	24,51	0,95
69N2 pres separatörü	3,29	75,51	0,98	28.01.2006	3,28	23,83	0,97
59N2 pres separatörü	3,13	78,87	0,96	10.11.2006	2,73	32,65	0,97
2003 ÇM1	3,15	40,26	0,99	Mersin 4 No'lu Dev.	3,57	25,47	0,93
30.03.2000 ÇM1	2,57	44,64	0,98	Mersin 1 No'lu Dev.	3,33	34,43	0,97
2003 ÇM2	3,28	39,57	0,99	Mersin 1 No'lu Dev.	3,47	35,21	0,92
30.03.2000 ÇM3	2,82	34,18	0,97	Mersin 1 No'lu Dev.	3,27	36,31	0,91
Adana 19.11.2001 M6	2,87	27,36	0,92	Kayseri 18.04.2006 a	3,60	34,54	0,99
Adana 21.11.2001 M5	3,18	30,54	0,95	Kayseri 18.04.2006 b	3,50	40,86	0,99
Adana 19.11.2001 M4	3,15	31,01	0,99	Kayseri 18.04.2006 c	3,56	37,39	0,99
Adana 21.11.2001 M3	3,55	35,39	0,98	Kayseri 18.04.2006 d	3,71	39,02	0,99
7.9.2001 M1	3,77	51,34	0,96	Kayseri 19.04.2006	3,47	31,38	0,99
9.9.2001 M1	4,13	56,82	0,98	Antalya CEM II/A Pressiz	3,22	46,02	0,97
4.9.2001 M2	1,86	127,11	0,94	Antalya CEM II/B Presli	2,84	49,29	0,97
9.9.2001 M2	4,07	57,49	0,98	Antalya CEM II/B Pressiz	2,53	49,43	0,98
5.9.2001 M3	2,56	82,58	0,98	Bolu Kazan 06.2.2007	2,25	31,63	0,93
9.9.2001 M3	4,14	98,07	0,99	Bolu Kazan 07.2.2007	1,71	31,15	0,94
8.9.2001 M4	2,98	39,56	0,92	Bolu Kazan 12.2.2007	1,59	28,93	0,93
7.9.2001 M4	2,65	44,45	0,97	Bolu Kazan 14.3.2007	0,76	23,25	0,80
16.4.2002 M4	3,13	39,68	0,97	Lalahan 08.05.2007	2,13	35,84	0,98
3.9.2003 M4	3,12	42,60	0,97	Lalahan 17.05.2007	2,87	38,72	0,99
5.9.2003 M4	2,56	50,09	0,98				

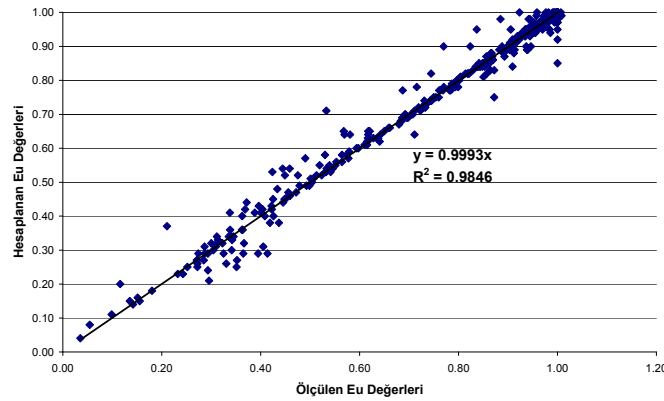
Bütün yapılan hesaplamalar sonunda bulunan parametreler yardımı ile verimlilik eğrileri tekrar hesaplanmış ve orjinal verimlilik eğrileri ile olan uyumu da incelenmiştir. Ek 5'te her bir veri seti için çizilmiş olan ölçülen hesaplanan verimlilik eğrileri gösterilmiştir.

7.7.6. Lippek & Espig Eşitliği

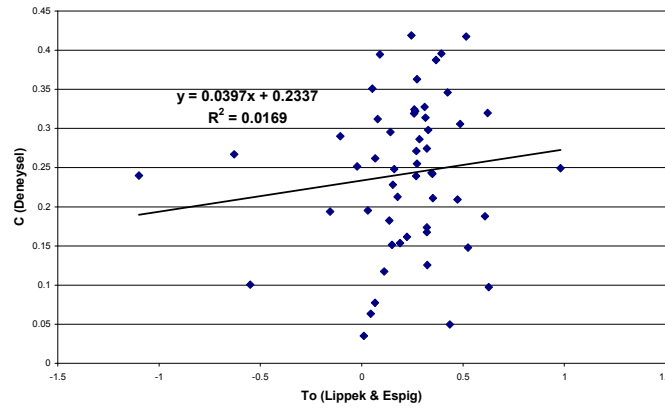
Bu bölümde Eşitlik 7.6'da görülmekte olan model parametreleri (Bölüm 5.6) doğrusal olmayan regresyon yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 7.18'de sunulmaktadır.

$$T(d) = T_0 + (1 - T_0) \left[1 - \exp \left(- \ln(2) \left| \frac{d - d_0}{d_T - d_0} \right|^\delta \right) \right] \quad (7.6)$$

Yapılan hesaplamalar sonucunda ölçülen-hesaplanan verimlilik değerleri Şekil 7.64'te verilmekte, Şekil 7.65'te ise eşitlikten hesaplanan kaçak değerleri ile deneysel olarak grafik üzerinden bulunan değerlerin karşılaştırılması sunulmaktadır.



Şekil 7.64. Lippek & Espig eşitliğinin ölçülen hesaplanan verimlilik değerleri



Şekil 7.65. Lippek & Espig eşitliğinden hesaplanan kaçak değeri ile deneysel yolla hesaplanan kaçığın karşılaştırılması

Çizelge 7.18. Doğrusal olmayan regresyon yöntemi ile hesaplanan Lippek & Espig eşitliği parametreleri

	D0	Dt	N	T0	R ²		D0	Dt	N	T0	R ²
59N2 değirmen separatörü	10,36	23,61	1,11	0,39	1,00	01.12.2005	14,19	23,26	0,92	0,27	1,00
89N2 değirmen separatörü	10,07	24,09	1,15	0,37	1,00	15.12.2005	14,49	24,57	0,95	0,52	1,00
79N2 değirmen separatörü	8,60	25,75	1,35	0,26	1,00	12.05.2005	30,85	51,27	1,07	0,61	1,00
79N1 değirmen separatörü	9,27	24,39	1,42	0,31	1,00	26.09.2004 CEM V	17,89	30,60	0,97	0,32	1,00
89N1 değirmen separatörü	17,75	25,61	0,79	0,26	1,00	26.09.2004 CEM I	17,89	31,03	1,02	0,35	1,00
89N2 pres separatörü	4,33	56,86	2,55	0,31	0,97	17.02.2006	8,19	16,59	0,87	-0,02	1,00
89N1 pres separatörü	3,06	58,72	2,37	0,29	0,95	02.05.2006	12,20	21,45	0,89	0,18	1,00
79N2 pres separatörü	12,25	112,32	1,98	0,15	1,00	04.05.2006 Öğ. Yrd. İle	11,73	22,87	0,96	0,14	1,00
79N1 pres separatörü	6,20	71,59	2,78	0,27	0,97	04.05.2006 Öğ. Yrd. Yok	9,80	18,79	0,87	0,07	1,00
69N2 pres separatörü	35,50	74,61	1,17	0,32	1,00	28.01.2006	13,86	24,10	0,96	0,35	1,00
59N2 pres separatörü	35,50	76,51	1,14	0,33	1,00	10.11.2006	25,29	43,66	1,00	0,52	1,00
2003 ÇM1	21,21	34,38	0,81	0,16	1,00	Mersin 4 No'lu Dev.	21,21	24,94	0,68	0,26	1,00
30.03.2000 ÇM1	28,68	51,43	1,05	0,49	1,00	Mersin 1 No'lu Dev.	21,21	26,69	0,62	-0,16	1,00
2003 ÇM2	30,00	46,68	0,99	0,47	1,00	Mersin 1 No'lu Dev.	21,21	22,73	0,45	-1,10	0,99
30.03.2000 ÇM3	30,00	44,71	0,95	0,62	1,00	Mersin 1 No'lu Dev.	21,21	23,79	0,50	-0,63	0,99
Adana 19.11.2001 M6	7,30	0,25	0,89	0,25	0,99	Kayseri 18.04.2006 a	22,91	35,36	0,35	0,98	1,00
Adana 21.11.2001 M5	7,30	19,49	0,79	0,08	0,98	Kayseri 18.04.2006 b	22,91	39,35	0,98	0,19	1,00
Adana 19.11.2001 M4	12,34	30,17	1,25	0,27	1,00	Kayseri 18.04.2006 c	27,39	39,37	0,87	0,32	1,00
Adana 21.11.2001 M3	21,21	30,47	0,77	0,27	1,00	Kayseri 18.04.2006 d	32,86	41,92	0,72	0,32	1,00
7.9.2001 M1	10,16	22,16	0,53	-0,55	0,93	Kayseri 19.04.2006	21,21	28,66	0,77	0,15	1,00
9.9.2001 M1	21,21	54,58	1,57	0,07	1,00	Antalya CEM III/A Pressiz	25,10	47,29	1,14	0,42	1,00
4.9.2001 M2	15,00	114,99	1,18	0,01	0,92	Antalya CEM II/B Presli	25,10	51,38	1,13	0,34	1,00
9.9.2001 M2	60,00	76,42	0,52	0,63	0,97	Antalya CEM II/B Pressiz	17,75	49,96	1,26	0,22	1,00
5.9.2001 M3	21,21	75,23	1,22	0,04	0,98	Bolu Kazan 06.2.2007	7,00	26,92	1,18	-0,08	0,96
9.9.2001 M3	85,70	114,26	0,81	0,43	1,00	Bolu Kazan 07.2.2007	7,00	26,42	1,19	-0,05	0,96
8.9.2001 M4	7,30	29,58	1,00	0,14	0,98	Bolu Kazan 12.2.2007	7,00	26,85	1,12	0,01	0,98
7.9.2001 M4	14,70	34,04	0,85	0,03	1,00	Bolu Kazan 14.3.2007	7,00	26,93	1,05	0,04	0,97
16.4.2002 M4	7,30	21,21	0,67	0,05	0,96	Lalahan 08.05.2007	7,00	26,07	1,02	-0,15	0,95
3.9.2003 M4	7,30	21,29	0,64	0,09	0,95	Lalahan 17.05.2007	7,00	26,04	0,99	-0,23	0,95
5.9.2003 M4	10,16	23,51	0,57	-0,11	0,97						

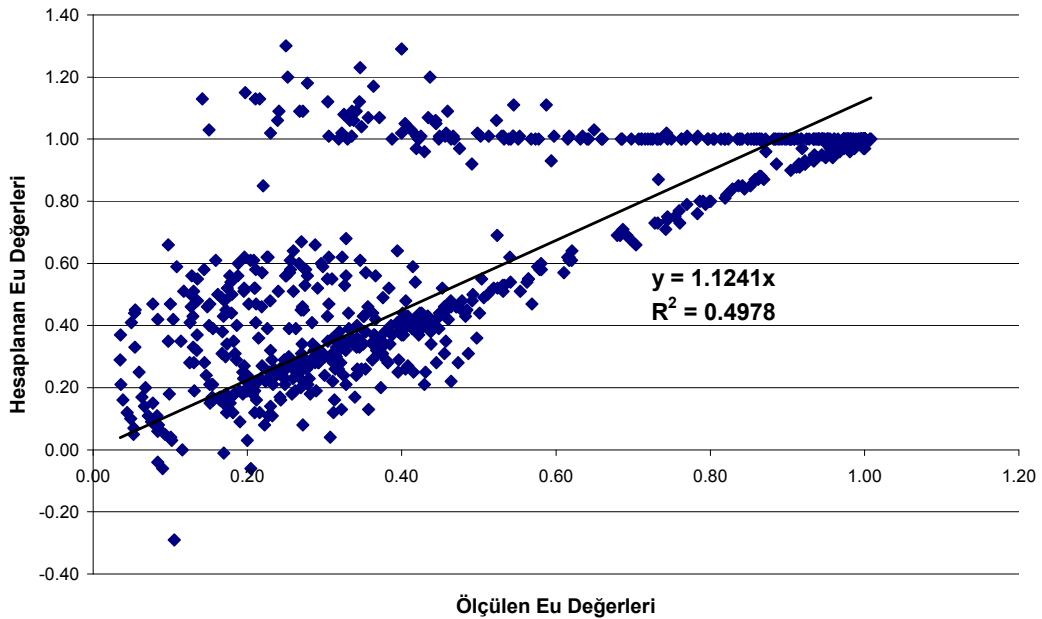
Bütün yapılan hesaplamalar sonunda bulunan parametreler yardımı ile verimlilik eğrileri tekrar hesaplanmış ve orjinal verimlilik eğrileri ile olan uyumu da incelenmiştir. Ek 6'da her bir veri seti için çizilmiş olan ölçülen hesaplanan verimlilik eğrileri gösterilmiştir.

7.7.7. Zhang Eşitliği

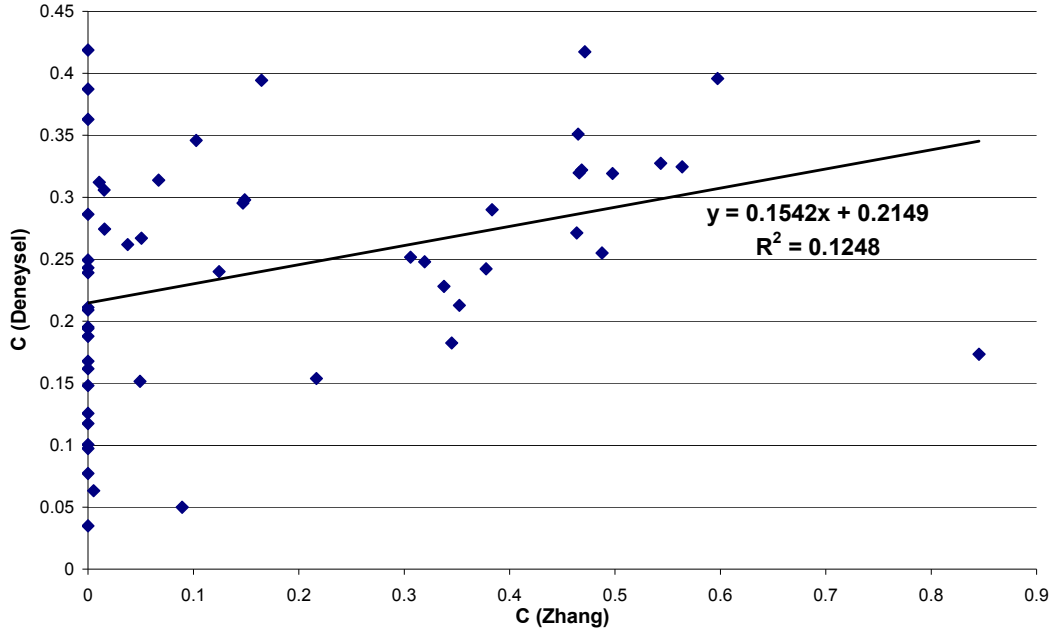
Bu bölümde Eşitlik 7.7'de görülmekte olan model parametreleri (Bölüm 5.1) doğrusal olmayan regresyon yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 7.19'da sunulmaktadır.

$$E_{oa} = C \left[\frac{\exp\left(-\alpha \left(\frac{d}{d_{50c}}\right)\right)}{A \left(\frac{d}{d_{50c}}\right)^2 - B \left(\frac{d}{d_{50c}}\right) + 1} \right] \quad (7.7)$$

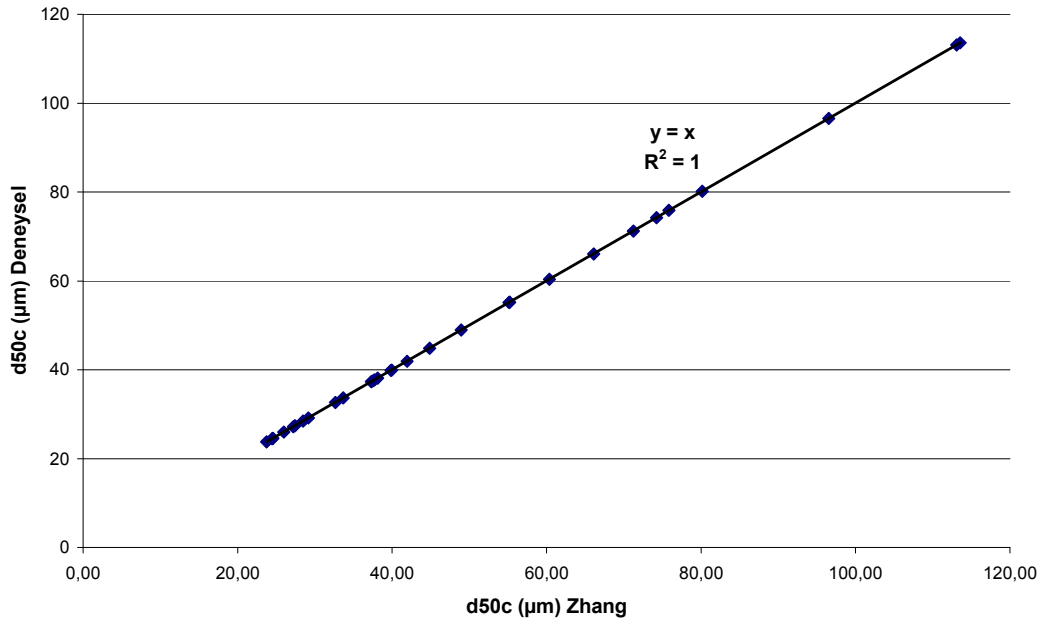
Yapılan hesaplamalar sonucunda ölçülen-hesaplanan verimlilik değerleri Şekil 7.66'da verilmekte, Şekil 7.67 ve Şekil 7.68'de de eşitlikten hesaplanan kesme boyu ve kaçak değerleri ile deneysel olarak grafik üzerinden bulunan değerlerin karşılaştırılması sunulmaktadır.



Şekil 7.66. Zhang eşitliğinin ölçülen hesaplanan verimlilik değerleri



Şekil 7.67. Zhang eşitliğinden hesaplanan kaçak değeri ile deneysel yolla hesaplanan kaçığın karşılaştırılması



Şekil 7.68. Zhang eşitliğinden hesaplanan kesme boyu değeri ile deneysel yolla hesaplanan kaçığın karşılaştırılması

Bütün yapılan hesaplamalar sonunda bulunan parametreler yardımı ile verimlilik eğrileri tekrar hesaplanmış ve orjinal verimlilik eğrileri ile olan uyumu da incelenmiştir. Ek 7'de her bir veri seti için çizilmiş olan ölçülen hesaplanan verimlilik eğrileri gösterilmiştir.

Çizelge 7.19. Doğrusal olmayan regresyon yöntemi ile hesaplanan Zhang eşitliği parametreleri

	α	A	d50c	B	C	R ²		α	A	d50c	B	C	R ²
59N2 değirmen separatörü	0,05	1,88	23,73	1,59	0,60	0,99	01.12.2005	10,43	4,98	23,66	6,92	0,49	-0,36
89N2 değirmen separatörü	19,07	5,71	24,46	6,31	0,00	-1,09	15.12.2005	10,00	0,00	25,10	6,04	0,47	-0,32
79N2 değirmen separatörü	0,22	1,66	27,43	1,36	0,47	1,00	12.05.2005	8,18	2,31	31,82	3,27	0,00	-0,36
79N1 değirmen separatörü	0,16	1,87	24,56	1,65	0,54	1,00	26.09.2004 CEM V	10,00	7,46	27,16	5,76	0,85	-0,63
89N1 değirmen separatörü	0,13	1,79	27,19	1,46	0,50	1,00	26.09.2004 CEM I	8,34	1,87	27,65	3,16	0,00	-0,67
89N2 pres separatörü	9,47	0,00	60,35	3,13	0,07	-0,36	17.02.2006	2,11	1,29	21,71	1,99	0,31	0,96
89N1 pres separatörü	10,39	0,00	66,09	3,43	0,00	-0,47	02.05.2006	0,57	10,19	22,85	3,15	0,35	0,99
79N2 pres separatörü	5,29	0,00	113,55	2,03	0,05	-0,05	04.05.2006 Öğ. Yrd. İle	0,10	1,84	24,45	1,32	0,35	0,99
79N1 pres separatörü	0,00	2,15	80,17	1,53	0,46	0,99	04.05.2006 Öğ. Yrd. Yok	7,23	1,80	23,13	2,99	0,04	0,29
69N2 pres separatörü	7,59	0,00	71,23	2,60	0,02	-0,13	28.01.2006	0,16	1,71	22,38	1,27	0,38	1,00
59N2 pres separatörü	5,17	0,00	74,23	1,89	0,15	0,17	10.11.2006	5,47	0,00	29,10	2,05	0,00	0,17
2003 ÇM1	0,25	1,34	38,11	0,91	0,32	1,00	Mersin 4 No'lu Dev.	0,22	1,89	24,57	1,78	0,56	1,00
30.03.2000 ÇM1	8,07	2,60	41,92	3,25	0,02	0,62	Mersin 1 No'lu Dev.	5,48	0,00	32,70	2,01	0,00	0,18
2003 ÇM2	9,20	0,00	37,70	3,36	0,00	0,10	Mersin 1 No'lu Dev.	3,28	0,00	33,81	1,43	0,12	0,42
30.03.2000 ÇM3	0,05	1,87	32,65	1,28	0,47	1,00	Mersin 1 No'lu Dev.	7,31	1,77	34,77	2,98	0,05	0,07
Adana 19.11.2001 M6	0,00	9,31	25,99	8,92	0,00	-1,07	Kayseri 18.04.2006 a	7,60	1,87	33,39	2,90	0,00	-0,23
Adana 21.11.2001 M5	7,94	0,00	28,47	2,57	0,01	0,04	Kayseri 18.04.2006 b	0,50	1,11	38,91	1,00	0,22	1,00
Adana 19.11.2001 M4	94,99	0,00	29,16	12,56	0,00	-1,16	Kayseri 18.04.2006 c	5,56	1,16	35,86	2,26	0,00	0,27
Adana 21.11.2001 M3	19,70	0,00	33,64	5,97	0,00	-0,86	Kayseri 18.04.2006 d	6,38	1,25	37,52	2,51	0,00	-0,15
7.9.2001 M1	5,40	0,00	48,94	2,09	0,00	0,05	Kayseri 19.04.2006	0,40	1,33	29,95	1,16	0,34	1,00
9.9.2001 M1	6,08	0,00	55,14	2,36	0,00	-0,21	Antalya CEM II/A Pressiz	6,48	0,00	43,25	2,22	0,10	0,09
4.9.2001 M2	5,50	1,56	113,08	2,60	0,00	-0,16	Antalya CEM II/B Presli	12,37	6,36	46,25	5,29	0,00	-0,47
9.9.2001 M2	8,92	1,66	55,21	3,17	0,00	0,02	Antalya CEM II/B Pressiz	7,96	2,62	46,59	3,48	0,00	-0,26
5.9.2001 M3	3,33	1,53	75,85	2,31	0,01	0,80	Bolu Kazan 06.2.2007	5,45	0,00	35,56	1,77	0,00	-0,42
9.9.2001 M3	5,10	0,00	96,54	2,05	0,09	0,14	Bolu Kazan 07.2.2007	0,68	1,23	36,64	1,33	0,27	1,00
8.9.2001 M4	6,44	0,00	37,50	2,32	0,15	-0,07	Bolu Kazan 12.2.2007	5,99	0,00	34,83	2,12	0,00	0,27
7.9.2001 M4	6,70	0,00	39,96	2,46	0,00	0,31	Bolu Kazan 14.3.2007	6,29	0,00	34,67	2,13	0,03	0,21
16.4.2002 M4	2,18	0,81	37,29	1,64	0,46	0,96	Lalahan 08.05.2007	0,97	0,98	39,90	1,24	0,16	1,00
3.9.2003 M4	7,57	0,99	39,85	2,85	0,16	0,15	Lalahan 17.05.2007	2,21	1,04	39,90	1,81	0,06	0,99
5.9.2003 M4	0,00	1,62	44,87	0,91	0,38	1,00							

7.8. Performans Eğrisine Dayalı Hesaplamaların Sonuçları

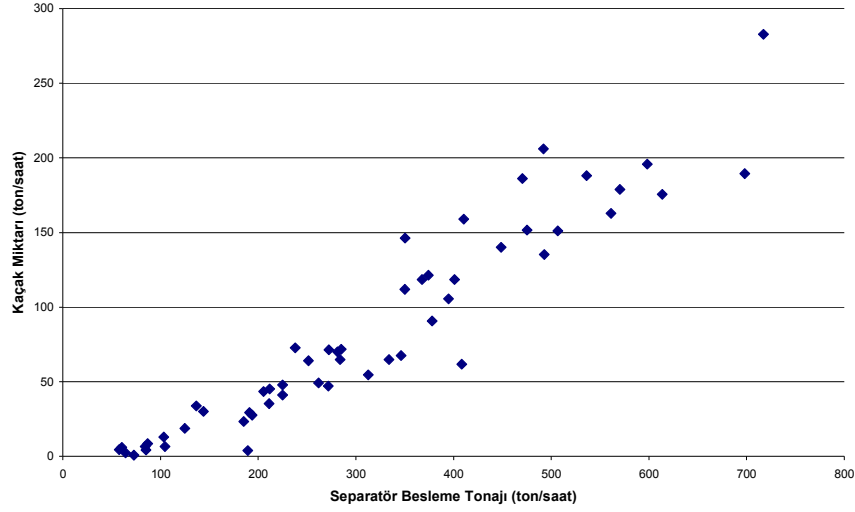
Bölüm 7.7’de aralarında literatürde sunulmakta olan ve detayları Bölüm 5’te verilmiş olan farklı matematiksel yaklaşımların endüstriyel verilerle olan uyumu irdelenmiştir. Bu eşitliklerin literatürde yerini aldığı dönemlerde ince tane boyu dağılımının ölçüm teknikleri gereği çoğunlukla 38 mikrometre elek boyunda sınırlı kaldığı görülmektedir. Ancak gelişen ölçüm teknolojilerine paralel olarak günümüzde 1 mikrometre’ ye kadar ölçümlerin rahatlıkla yapılabilmesi nedeniyle sınıflandırıcı performans eğrisinde balık oltası etkisinin tanımlanması mümkün olmaktadır. Bu nedenle bahsi geçen eşitliklerin çoğunlukla performans eğrisinde eğrinin minimum yaptığı nokta olan kaçak değerine kadar başarı ile tahmin ettiği ancak balık oltası etkisinin görülmeye başladığı noktadan itibaren sapmaların ortaya çıktığı görülmektedir. Finch, Plitt, Molerus, Lynch &Rao, Lippek &Espig eşitliklerinde bu sorunla karşılaşıldığı Ek 1, Ek 2, Ek 3, Ek 5, Ek 6’da verilen grafiklerde de rahatlıkla izlenilebilmektedir. Zhang tarafından önerilen ampirik yaklaşımın ise pek çok veri setinde uyumsuz sonuçlar verdiği görülmüştür (Ek 7).

Whiten tarafından tanımlanan ve Lynch &Rao eşitliğine balık oltasını tanımlayan bir parametrenin ilave edilmesi ile geliştirilen eşitliğin performans eğrisi tanımlamada oldukça başarılı olduğu açıkça görülmektedir (Ek 4). Bu nedenle havalı sınıflandırıcıların modellenmesinde Whiten tarafından geliştirilen yaklaşımın modelleme çalışmaları için en uygun fonksiyon olduğu anlaşılmaktadır.

8. BAZI İŞLEM ve TASARIM DEĞİŞKENLERİNİN SINIFLANDIRICI PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

8.1. Kaçak Parametresi Üzerine Etkili Olan Değişkenler

Bütün sınıflandırıcı tiplerine ait veri setlerinin kullanıldığı bu çalışma sırasında sınıflandırıcı beslemesindeki toz yükü miktarı ve sınıflandırıcı beslemesindeki malzeme miktarı ile kaçak miktarı arasındaki ilişkiler incelenmiştir. (Şekil 8.1, Şekil 8.3). Kaçak miktarı sınıflandırıcı beslemesindeki malzeme miktarının kaçak yüzdesi ile çarpılması sonucu elde edilmiştir.



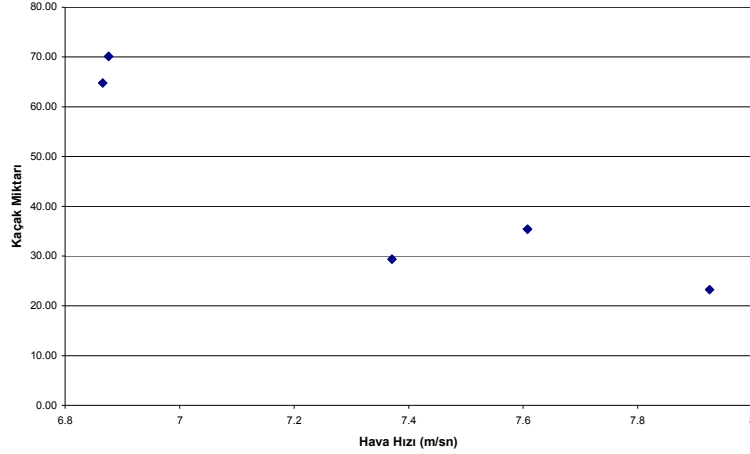
Şekil 8.1. Sınıflandırıcı besleme tonajı ile kaçak miktarı arasındaki ilişki

Şekil 8.1'den de anlaşılacağı gibi sınıflandırıcılara yapılan besleme miktarındaki artış kaçak miktarında da artışa neden olmaktadır. Bununla paralel olarak havalı sınıflandırıcıların işleyebildikleri toz yükü önemli bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır.

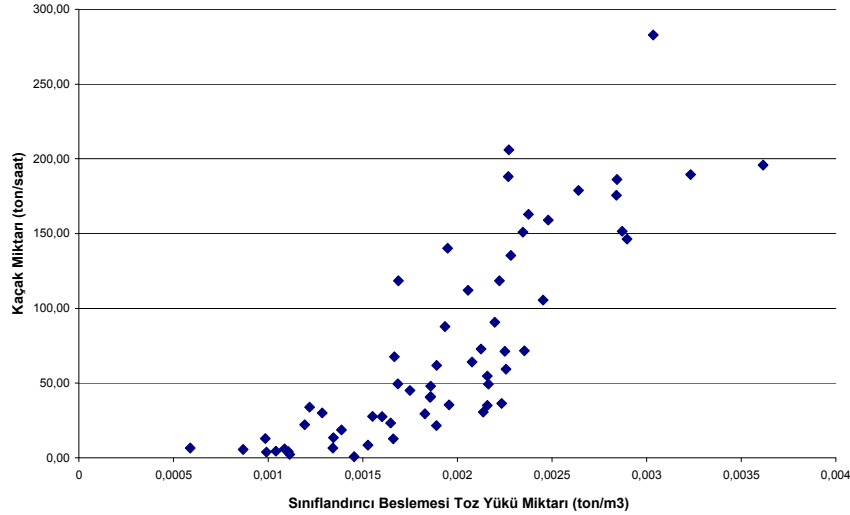
Hava hızının kaçak parametresi üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Günümüzde endüstride işletilen sınıflandırıcıların maksimum havada çalıştırılmalarından dolayı farklı hava hızlarında örnekleme yapmak ürün kalitesini bozması açısından çok zordur. Buna karşılık hava hızının düşük tutulduğu Çimsa Kayseri çimento tesisi üzerinde (Çizelge 8.1) farklı hava hızlarında yürütülen örnekleme çalışmaları, hava hızının kaçak üzerine etkisini net bir şekilde göstermektedir (Şekil 8.2).

Çizelge 8.1. Çimsa Kayseri çimento tesisi hava hızı ve kaçak miktarı değerleri

	Hava Hızı (m/sn)	Kaçak Miktarı (t/saat)
Kayseri 18.04.2006 18:02:00	6,88	70,12
Kayseri 18.04.2006 18:50:00	7,37	29,39
Kayseri 18.04.2006 19:36:00	7,61	35,39
Kayseri 18.04.2006 20:41:00	7,93	23,26
Kayseri 19.04.2006	6,87	64,76



Şekil 8.2. Hava hızının kaçak miktarı üzerine etkisi



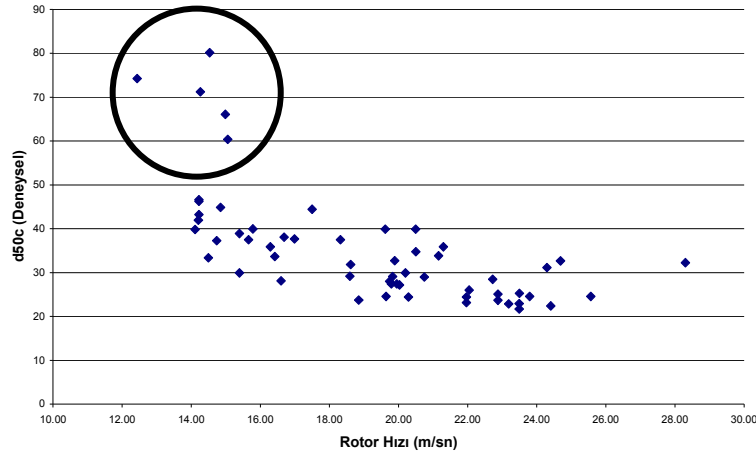
Şekil 8.3. Sınıflandırıcı beslemesindeki toz yükü miktarı ile kaçak miktarı arasındaki ilişki

Şekil 8.3'te ise sınıflandırıcı beslemesindeki toz yükü miktarının, kaçak miktarı ile olan değişimi verilmektedir. Bu veriler ışığında, sınıflandırıcıda kullanılan havanın taşıyamayacağı miktarda malzeme beslemesi yapılmasının kaçak miktarında artışa neden olduğu anlaşılmaktadır.

8.2. İşletme Parametrelerinin Kesme Boyu Parametresi Üzerine Etkisi

Bu bölümde işletme değişkenlerinden rotor hızı ve hava hızı ile düzeltilmiş kesme boyu arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Bütün sınıflandırıcılara air veri setlerinin kullanıldığı çalışmanın sonuçları Şekil 8.4 ve Şekil 8.5'te verilmektedir.

Şekil 8.4'te gösterildiği gibi rotor hızı ile kesme boyu ters orantılı olarak değişmektedir. Rotor hızındaki artış hem taneler üzerine etkiyen merkezkaç kuvvetini arttırmakta hem de tanelerin rotor bıçaklarına çarparak iri ürüne gitme olasılığını arttırmaktadır. Şekil 8.4 incelendiğinde üstte işaretlenmiş veri setlerinin diğer veri gruplarından ayrı olduğu anlaşılmaktadır. Bu veri setlerinde kullanılan sınıflandırıcının diğer sınıflandırıcılardan farklı olarak merdaneli presle kapalı devre işletilmesi ve bu nedenden dolayı kesme boyu değerlerinin daha büyük olması şekilde görülen etkiye neden olmaktadır. Bu veri grubunun çıkarılması durumunda rotor hızına bağlı olarak kesme boyunun değişimi daha açık bir şekilde görülmektedir.



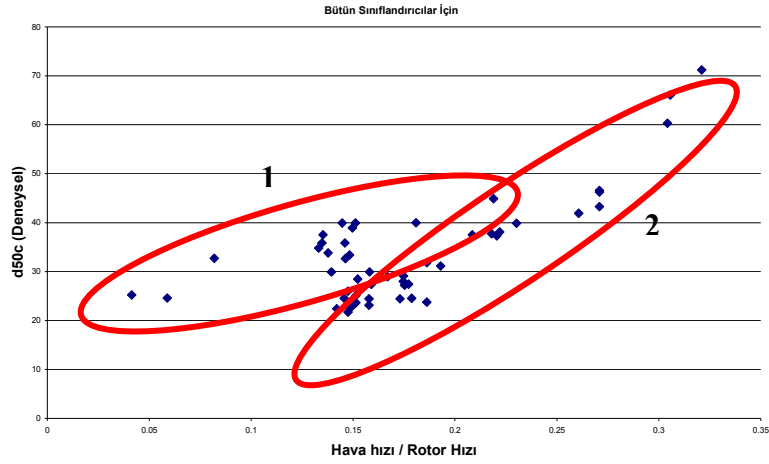
Şekil 8.4. Rotor hızı ile kesme boyu (μm) arasındaki ilişki

Şekil 8.6'da birim rotor alanına düşen hava miktarı ile kesme boyu arasındaki ilişki verilmektedir. Birçok sınıflandırıcı verisine dayalı yapılan çalışmalar sonucunda tesislerdeki hava hızı değerlerinin fazla değişim göstermediği anlaşılmıştır. Buna karşılık hava hızının değişkenlik gösterdiği Çimsa Kayseri çimento tesisine ait veri grubunda yürütülen çalışmalar sonucunda (Çizelge 8.2), kesme boyunun artan hava hızı ile arttığı anlaşılmıştır (Şekil 8.6). Hava hızının kesme boyu üzerine etkili bir değişken olduğunun anlaşılması sonucunda Şekil 8.5'te hava hızı ile rotor hızının birbirlerine oranının kesme boyu ile olan ilişkisi incelenmiştir. Şekil 8.5'te de

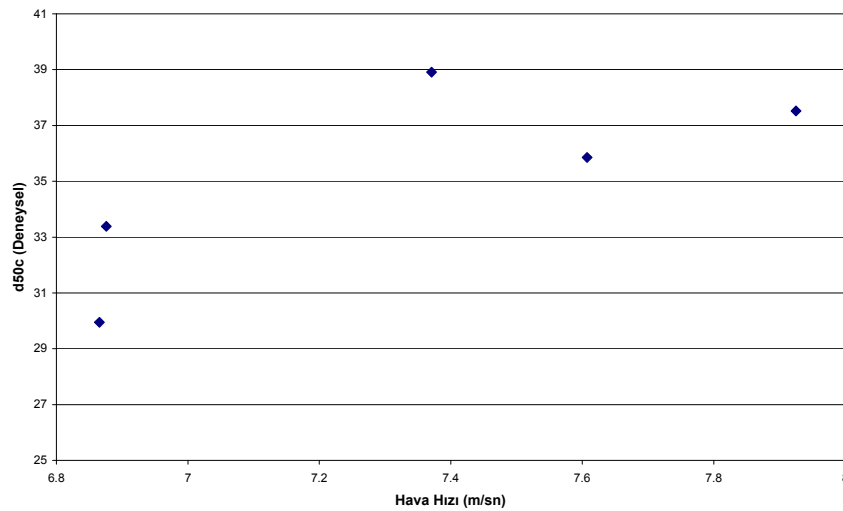
belirtildiği gibi 1 ve 2 numaralı veri setleri birbirleriyle farklılık göstermektedir. 1 numaralı veri seti Sepax sınıflandırıcılarına ait iken diğer veri setleri çoğunlukla Sepol sınıflandırıcılarına aittir. Sepax sınıflandırıcılarında kullanılan hava miktarının aynı rotor çapına sahip Sepol sınıflandırıcılara oranla daha fazla olması bu etkiye neden olmaktadır.

Çizelge 8.2. Çimsa Kayseri çimento tesisi hava hızı ve kesme boyu değerleri

	Hava Hızı (m/sn)	Kesme Boyu (μm)
Kayseri 18.04.2006 18:02:00	6,88	33,39
Kayseri 18.04.2006 18:50:00	7,37	38,91
Kayseri 18.04.2006 19:36:00	7,61	35,86
Kayseri 18.04.2006 20:41:00	7,93	37,52
Kayseri 19.04.2006	6,87	29,95



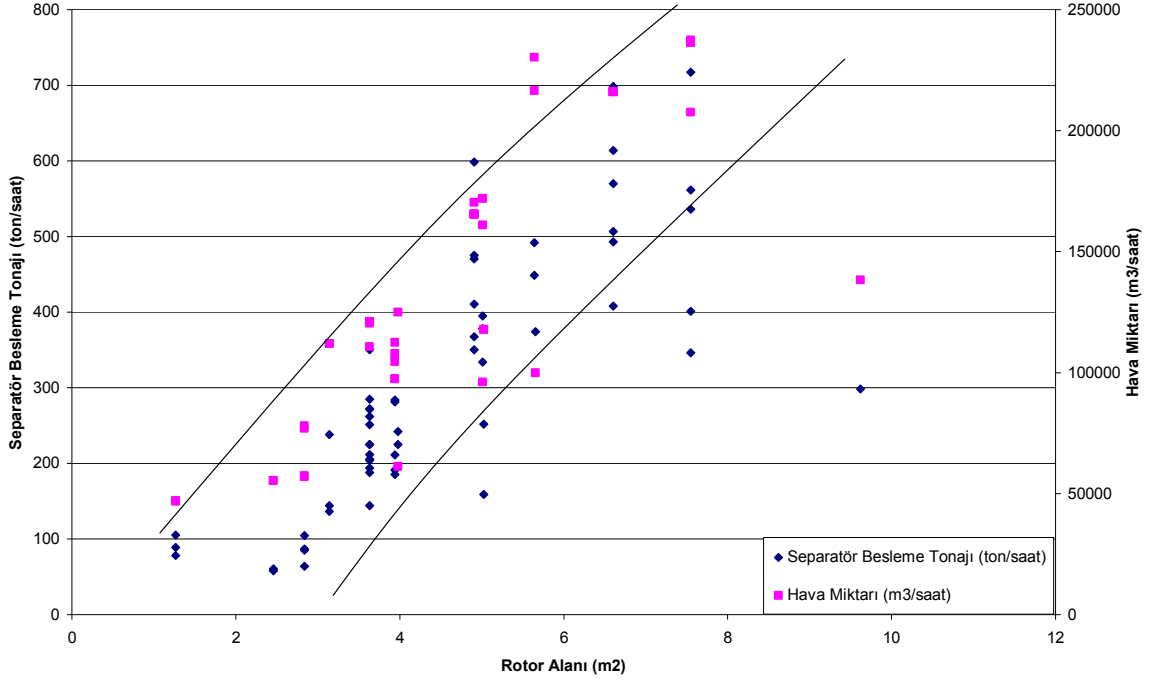
Şekil 8.5. Bütün sınıflandırıcılar için d50c (μm) parametresine göre geliştirilmiş model



Şekil 8.6. Hava hızının kesme boyu üzerine etkisi

8.3. Rotor Alanının İşletme Parametreleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi

Bu bölümde sınıflandırıcı tasarım parametrelerinden rotor alanının işletme parametreleri ile olan ilişkileri ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Çalışmalar sırasında dairesel yapıya sahip rotor tablasının yüzey alanı hesaplanmış ve ilişkilerin incelenmesinde bu yolla elde edilen sonuçlar kullanılmıştır.

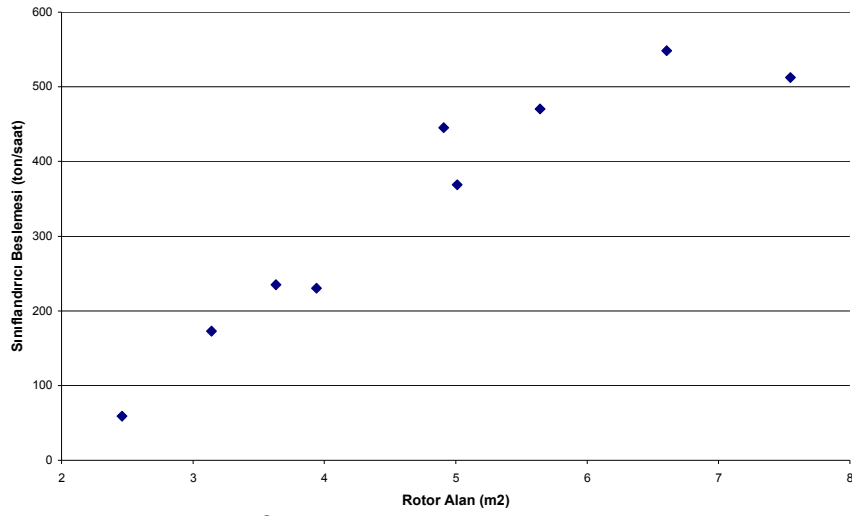


Şekil 8.7. Rotor alanına ait işletme parametreleri abağı

Bütün sınıflandırıcı tipleri kullanılarak yürütülen bu çalışmalar sırasında Şekil 8.7'den de anlaşılacağı gibi istenilen besleme ya da hava miktarına göre veya elde rotor alanına göre sınıflandırıcının hangi aralıklarda işletilebileceği belirlenebilmektedir. Elde bulunan veri çokluğu nedeniyle aynı rotor alanına sahip sınıflandırıcılardaki sınıflandırıcı besleme tonajı, ürün miktarı ve hava miktarı gibi parametre setlerinin ortalaması alınarak benzer çalışmalar yürütülmüş ve rotor alanına bağlı olarak sınıflandırıcı besleme miktarı, ürün miktarı ve uygun hava miktarlarını belirleyecek abaklar oluşturulmuştur. Çalışmalar sırasında kullanılan parametre setleri Çizelge 8.3'te verilmektedir.

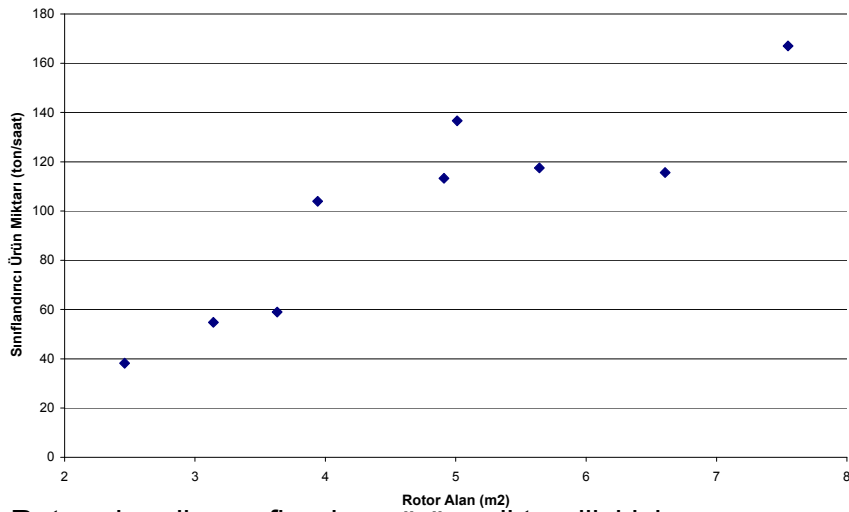
Çizelge 8.3. Sınıflandırıcılara ait ortalama işletme değişkenleri

Sınıflandırıcı Tipi	Sınıflandırıcı Çapı (m)	Rotor Alanı (m ²)	Besleme Tonajı (ton/saat)	Ürün Tonajı (ton/saat)	Hava Miktarı (m ³ /saat)
Sepol	2,5	4,91	445,41	113,27	166307
Sepol	2,9	6,61	548,34	115,67	216000
Sepol	2	3,14	172,83	54,80	112000
Sepol	2,15	3,63	234,98	58,94	120222
Sepax	4	5,01	368,96	136,67	143045
Sepax	3,55	3,94	230,50	103,96	103978
Sepax	4,25	5,64	470,36	117,50	223447
Sepax	2,8	2,46	58,98	38,20	55433
SKS	4,25	5,64	470,00	118,00	223000



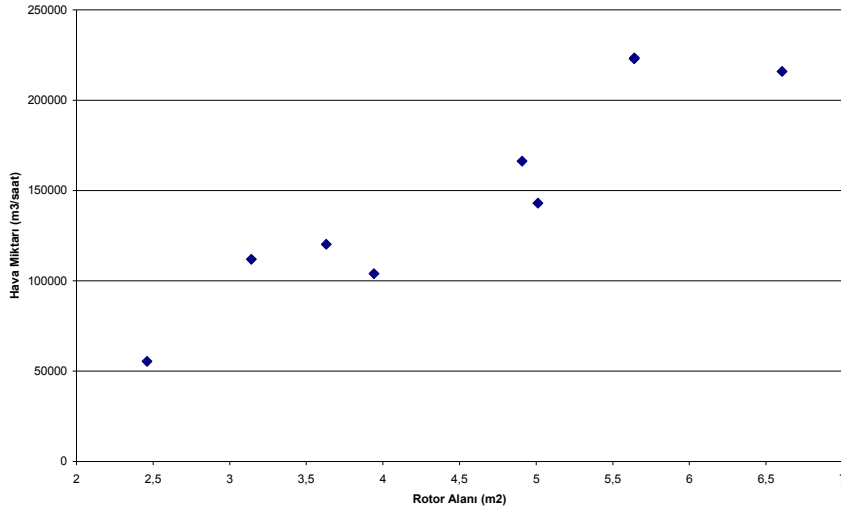
Şekil 8.8. Rotor alanı ile sınıflandırıcı besleme tonajı ilişkisi

Şekil 8.8'den anlaşılacağı gibi, sınıflandırıcı rotor alanının artması daha fazla miktarda malzemenin sınıflandırılmasına olanak tanımaktadır.



Şekil 8.9. Rotor alanı ile sınıflandırıcı ürün miktarı ilişkisi

Rotor alanındaki artışın daha fazla malzemeyi sınıflayabilmesi (Şekil 8.8), ekipmandan alınacak ürün miktarını da arttırmaktadır (Şekil 8.9).



Şekil 8.10. Rotor alanı hava miktarı ilişkisi

Rotor alanındaki artışın ekipman içerisinde sınıflanabilecek malzeme miktarını arttırması, ekipman içerisindeki hava gereksinimini de arttırmaktadır (Şekil 8.10).

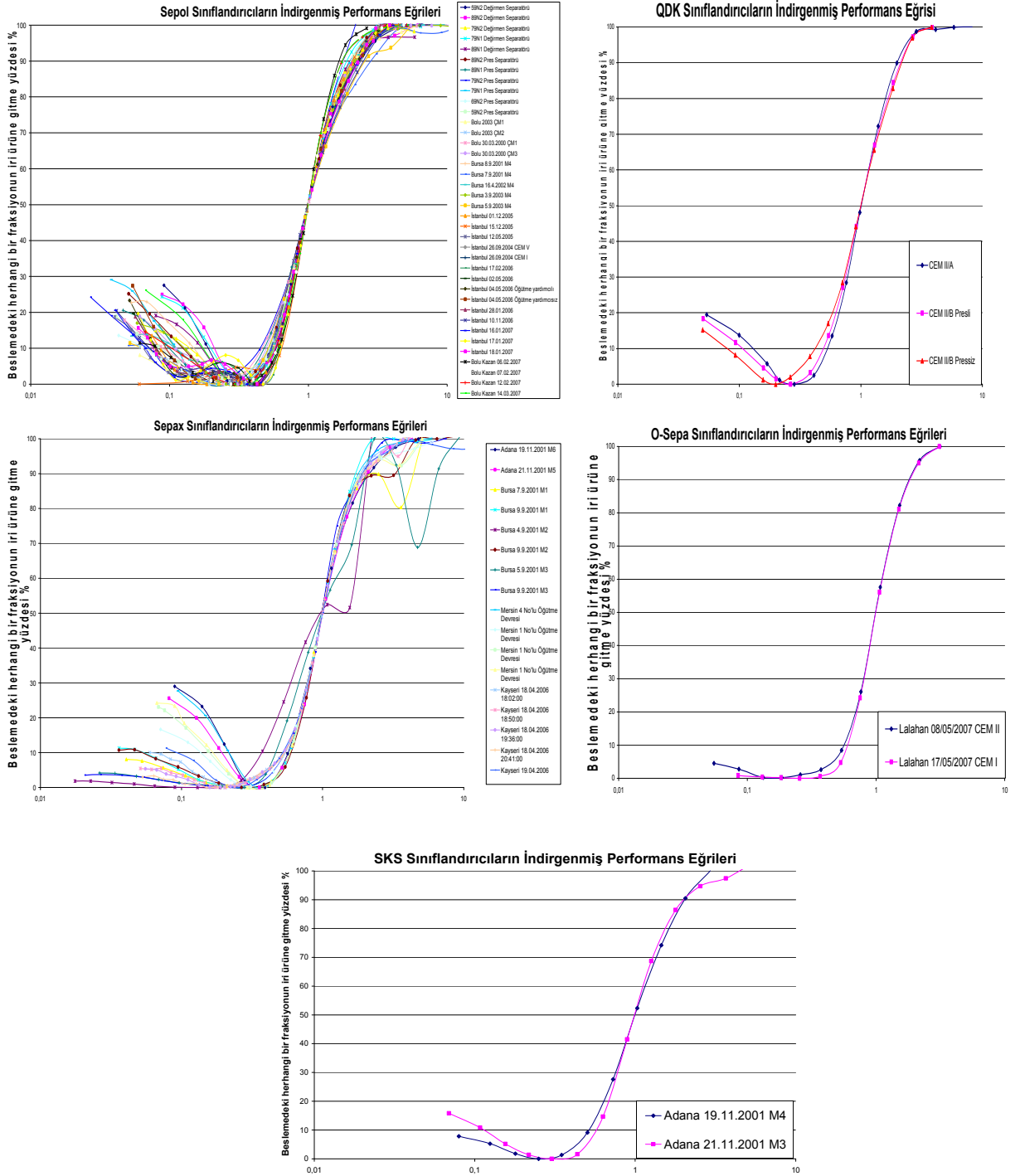
Yukarıda belirtilen çalışmalar ışığında elde edilen sonuçlar kullanılarak sınıflandırıcılara ait tasarım değişkenlerine geçiş yapılabilmektedir. İstenilen besleme değeri için rotor alanının ne olması gerektiği ve hangi çapta sınıflandırıcı kullanılacağı ayrıca istenilen ayırım boyuna göre bu sınıflama işlemi için gerekli olan hava miktarı ve rotor hızı (Şekil 8.4) değerleri hesaplanabilmektedir.

8.4. İşletme Parametrelerinin Ayırım Keskinliği (α) Parametresi Üzerine Etkisi

Bu bölümde sınıflandırıcı beslemesindeki toz yükünün ayırım keskinliği üzerine etkisi incelenmiştir. Öncelikle farklı tipteki sınıflandırıcıların indirgenmiş performans eğrileri çizilmiş ve ayırım keskinliklerindeki değişimler gözlemlenmiştir.

Şekil 8.11'de verilen indirgenmiş performans eğrilerinden de anlaşılacağı gibi bir sınıflandırıcı için ayırım keskinliği değeri farklılık göstermektedir. Baker (1999), sınıflandırıcıların birim m^3 hava içerisinde 2.5 kg malzemeyi, ayırım keskinliklerinde bozulma olmadan ayırabildiklerini belirtmiştir. Dolayısıyla bir sınıflandırıcı bu belirtilen oranı aştığında ayırım keskinliği düşmektedir. Ancak yapılan çalışmalarda toz yükündeki artışın bu belirtilen oranın altında bile ayırım keskinliği üzerinde etkili olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 8.12). Lynch & Rao eşitliği

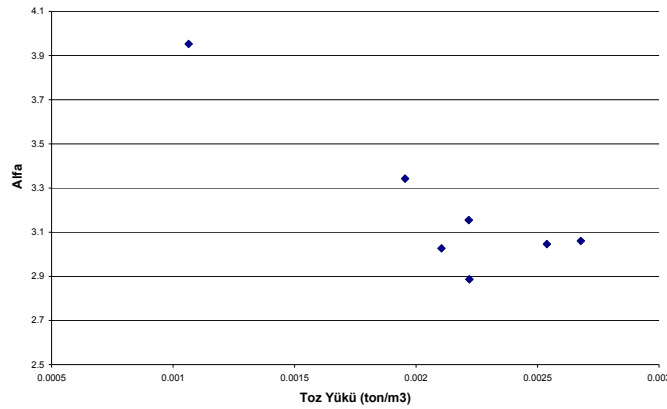
kullanılarak hesaplanan ve her sınıflandırıcı için ortalama değerlerin alındığı parametre setleri Çizelge 8.2'de verilmektedir.



Şekil 8.11. Sepol, Sepax, O-Sepa, QDK, SKS sınıflandırıcılarına ait indirgenmiş performans eğrileri

Çizelge 8.4. Sınıflandırıcılara ait ayırım keskinliği değerleri

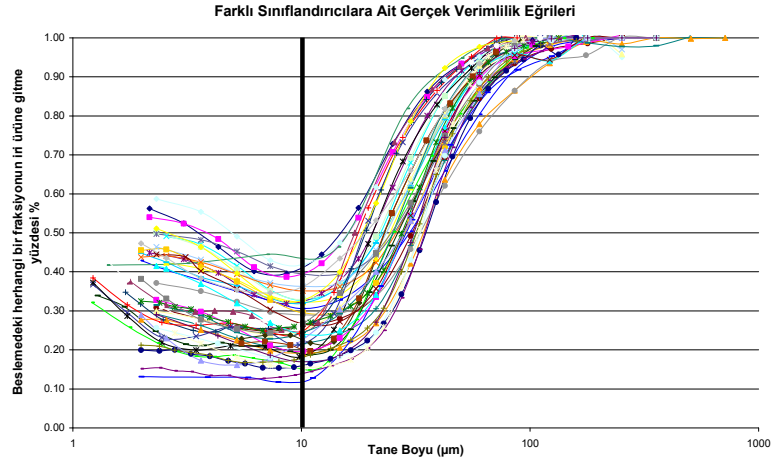
Sınıflandırıcı Tipi	Sınıflandırıcı Çapı (m)	Alfa
Sepol	2,5	3,06
Sepol	2,9	3,05
Sepol	3,1	2,89
Sepol	2,15	3,34
Sepax	3,55	3,15
Sepax	4,25	3,03
Sepax	2,8	3,95



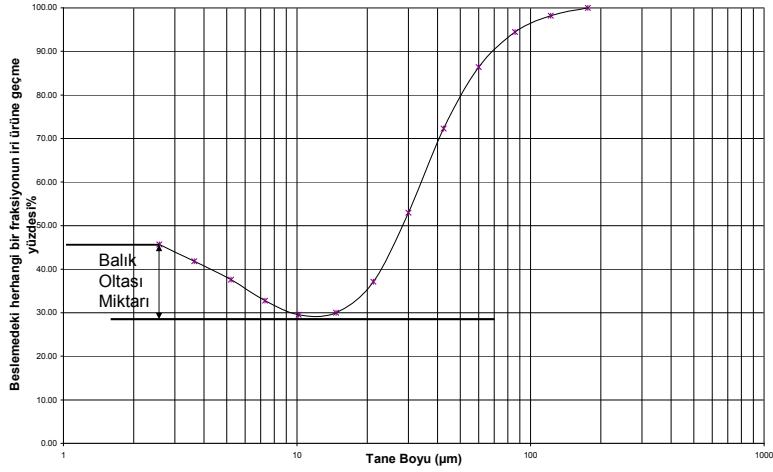
Şekil 8.12. Toz yükü ile ayırım keskinliği arasındaki ilişkisi

8.5. İşletme Parametrelerinin Balık Oltası Parametresi Üzerine Etkisi

Balık oltası etkisi incelenirken Şekil 8.14'te gösterilen metod izlemiştir. Bu yaklaşıma göre kaçak miktarının başladığı grafiğin minimum noktası olan 10 mikron (Şekil 8.13) ile 1 µm tane boyuna kadar olan kısım arasında kalan malzeme miktarı bulunmuş ve bu miktarın kaçak miktarıyla olan ilişkisi incelenmiştir (Şekil 8.15). Çalışmalar neticesinde balık oltası etkisinin artan kaçak miktarı ile doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir.

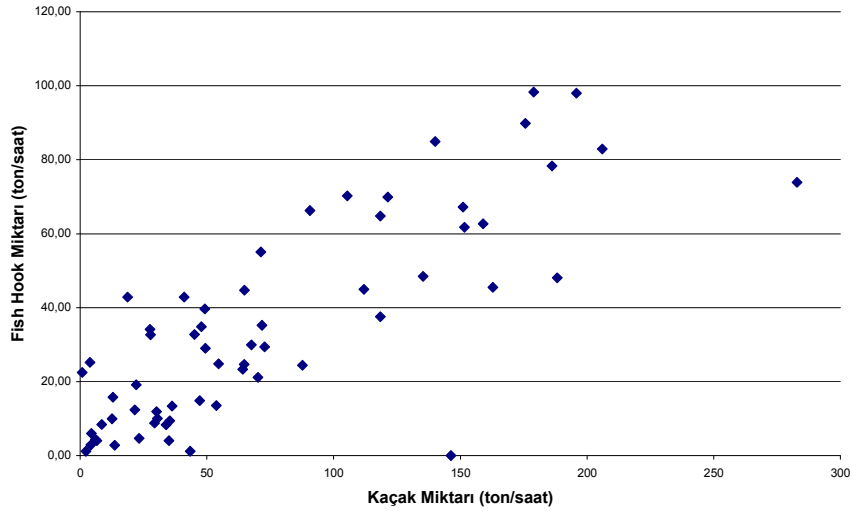


Şekil 8.13. Farklı sınıflandırıcılara ait gerçek verimlilik eğrileri



Şekil 8.14. Balık oltası miktarının belirlenmesi

Balık oltası miktarının hesaplanmasıyla birlikte 1 µm tane boyundaki yüzde hesaplanabilmektedir. Kaçak miktarının başladığı minimum noktasından sonraki kısmın doğrusal olarak tanımlanması ile 1 µm boyuna kadar olan bölümün davranışı görülebilmektedir. Ancak ince taneler üzerinde yapılacak olan daha detaylı çalışmalar bu etkinin daha net bir şekilde ortaya koyulmasını sağlayacaktır.



Şekil 8.15. Kaçak miktarı ile balık oltası parametresi arasındaki ilişki

9. SONUÇLAR

Tez kapsamında Sepol, Sepax, QDK, SKS ve O-Sepa sınıflandırıcılarına ait veri setleri kullanılarak yürütülen çalışmalar sonucunda günümüze kadar geliştirilen verimlilik eğrisi yaklaşımlarının endüstriyel verilerle olan uyumu incelenmiştir.

Her bir yaklaşımdan doğrusal olmayan regresyon yöntemi ile hesaplanan kesme boyu ve kaçak parametrelerinin deneysel olarak grafik üzerinden bulunan parametrelerden farklı olduğunun anlaşılması ile birlikte bu parametreler arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

Lippeck & Espig, Finch, Lynch & Rao, Molerus, Plitt yaklaşımlarının balık oltası etkisini tanımlamada yetersiz kaldığı anlaşılmıştır. Zhang yaklaşımının ise pek çok veri setinde uyumsuz sonuçlar verdiği görülmüştür. Whiten yaklaşımının ise bütün veri setlerinde verimlilik eğrisini tanımlamada başarılı olduğu anlaşılmış ve modelleme çalışmaları için en uygun matematiksel fonksiyon olduğu sonucuna varılmıştır.

Yürütülen modelleme çalışmaları sonucunda Whiten eşiliğinden elde edilen kaçak ve kesme boyu parametreleri ile deneysel parametreler arasındaki ilişkiler tanımlanmış sonuç olarak bu yaklaşımdaki eksiklikler giderilmiştir.

İşletme parametreleri ile performans eğrisi parametreleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Düzeltilmiş kesme boyu parametresinin rotor hızı ile ters, hava hızı ile doğru orantılı olduğu verilerle desteklenmiştir. Rotor hızındaki artış hem taneler üzerine etkileyen merkezkaç kuvvetini arttırmakta hem de tanelerin rotor bıçaklarına çarparak iri ürün konisine gitme olasılığını arttırmaktadır. Diğer bir işletme değişkeni olan hava hızının artması havanın sürüklenme kuvvetini arttıracığından kesme boyunu da arttırmaktadır. Günümüzde sınıflandırıcıların maksimum hava hızında işletilmelerinden dolayı değişken hava hızları koşullarında örnekleme çalışmaları çok sınırlı sayıda veri seti için yapılabilmektedir. Ancak hava hızının kesme boyu ile doğru orantılı olduğu gösterilmiştir.

Kaçak parametresi üzerine yapılan çalışmalar sonucunda ise sınıflandırıcı besleme tonajının artması sonucu kaçak miktarının da arttığı gözlemlenmiştir. Havanın taşıyacağı miktarda malzeme beslemesi yapılmasının bu etkiye neden olduğu düşünülmektedir. Kaçak üzerinde ekili olduğu düşünülen bir diğer parametre olan hava hızının da kaçak üzerine etkisi incelenmiştir. Değişken hava

hızı koşullarında numune alınamadığından sadece sınırlı sayıdaki veri seti için hava hızındaki artışın kaçak miktarı ile ters orantılı olduğu anlaşılmıştır.

Bir diğer parametre olan balık oltasının ise kaçak miktarı ile doğru orantılı olduğu anlaşılmış kaçak miktarının belirlenmesi durumunda balık oltasının da hesaplanabileceği gösterilmiştir. Balık oltası etkisinin 10 mikron ile 1 mikron tane boyu arasında etkili olduğu düşünülecek olursa eğrinin doğrusal uzatılması durumunda bu etki rahatlıkla görülebilmektedir.

Ayırım keskinliği ile toz yükü parametresi arasındaki ilişkinin incelenmesi sonucunda, toz yükünün ayırım keskinliğini olumsuz etkilediği anlaşılmıştır.

Sınıflandırıcıların tasarım parametresi olan rotor alanının, sınıflandırıcı besleme tonajı, sınıflandırıcıdan alınan ürün miktarı ve sınıflandırıcılarda kullanılan hava miktarı ile ilişkilendirilmesi, belirli rotor alanına sahip sınıflandırıcının hangi koşullar altında işletebileceğini göstermektedir.

10. ÖNERİLER

Günümüzde önem kazanan bir diğer işletme parametresi öğütme yardımcılarıdır. Birçok çimento tesisinde uygulama alanı bulan bu kimyasalların ampirik modele dahil edilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda aynı üretim tipinde farklı öğütme yardımcısı dozajlarında yapılacak olan testlerin performans üzerine etkisinin incelenmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir.

Hesaplamalı akışkanlar mekaniği modelleme tekniği kullanılarak, ampirik yaklaşımlar sonucu bulunan ilişkilerin desteklenmesi gerekmektedir.

Malzeme karakteristiğinin ampirik modele dahil edilmesi gerekmektedir. Aynı sınıflandırıcıda farklı yoğunluklara sahip malzemelerin performans eğrisine olan etkilerinin incelenmesi gerekmektedir.

Havalı sınıflandırıcılarda yürütülecek olan dinamik modelleme çalışmalarının sınıflandırıcıların değişen koşullar altında performanslarının ne oranda değişeceğini belirleyeceği düşünülmektedir. Dolayısıyla işletme koşullarında yapılan bir değişikliğin ardından belirli zaman aralıklarında alınacak numuneler üzerinde yürütülecek çalışmalar bu konuya ışık tutacaktır.

İnce tane boylarında yapılacak daha detaylı çalışmalar ile balık oltası etkisinin anlaşılması gerekmektedir..

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Anonim, 2004, Buell Division of Fisher-Klosterman Inc., Introduction to Air Classification
- Anonim, 2005, Computational Fluid Dynamics Solution
- Anonim, 2005, Grinding Systems / Cascade Air Separator KVT EN 01/05
- Anonim 1, ThyssenKrupp Polysius, Sepol Brochure
- Anonim 2, FLSmidt Company, Sepax Brochure
- Anonim 3, FCB Company, TSV Brochure
- Anonim 4, FLSmidt Company, O-Sepa Brochure
- Anonim 5, KHD Humboldt Wedag Company, VSK Brochure
- Anonim 6, Sturtevant Inc., Sturtevant Brochure
- Anonim 7, Alstom Power Inc., Air Preheater Co., Raymond Operations, Raymond Mechanical Air Separators
- Anonim 8, www.hosokawaalpine.com
- Anonim 9, Christian Pfeiffer, QDK Brochure
- Aydoğan, N.A., Ergün, L., Benzer, H., 2006, High Pressure Grinding Rolls Applications in the Cement Industry, Minerals Engineering, Vol. 19, Issue 2, pp. 130-139
- Baker, S., 1999, Still Going Strong (The O-Sepa Separator After 15 Years), Fuller Company USA, Review No. 125
- Bateman, A., 2006, Air Classifier a First for a Canadian Quarry – Gravitational Inertial Classifiers, Aggregates & Roadbuilding Magazine
- Benzer, H., Ergün, L., Lynch, A.J., Oner, M., Günlü, A., Çelik, I.B., Aydoğan, N.A., 2001, Modelling Cement Grinding Circuits, Minerals Engineering, Vol. 14, No. 11, pp. 469-482
- Benzer, H., 2005, Modeling and Simulation of a Fully Air Swept Ball Mill in a Raw Material Grinding Circuit, Powder Technology, Vol. 150, Issue 3, pp. 145-154
- Brugan, J.M., 1988, High Efficiency Separators – Problems and Solutions, ZKG, Vol. 41, No. 7, pp. 350-355

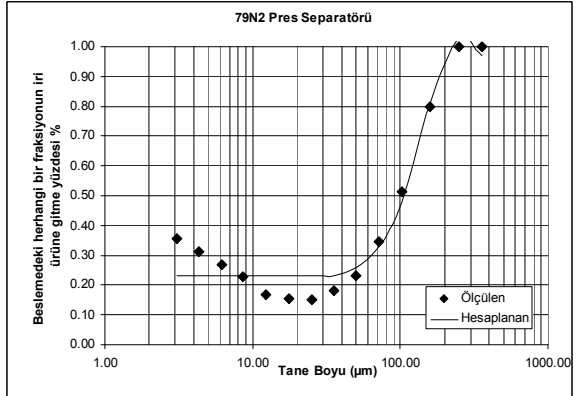
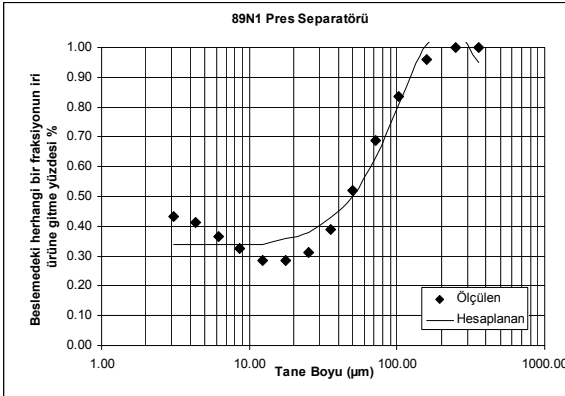
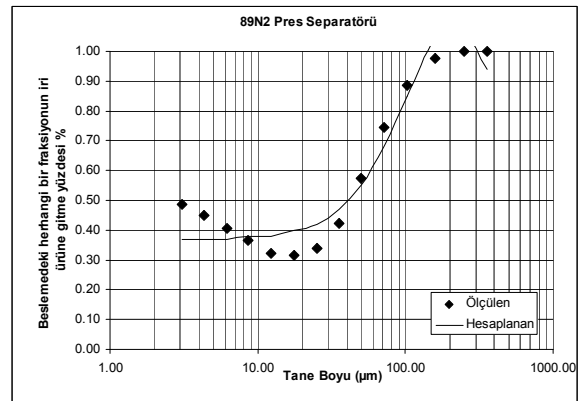
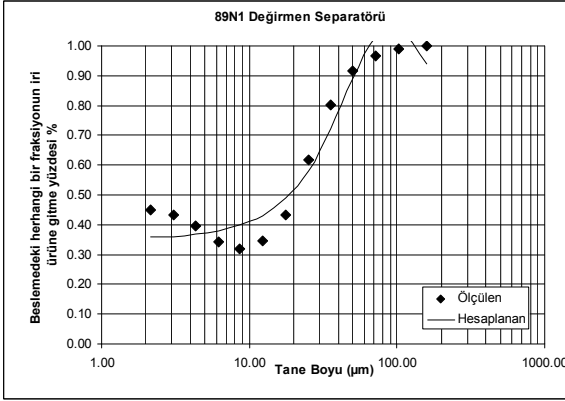
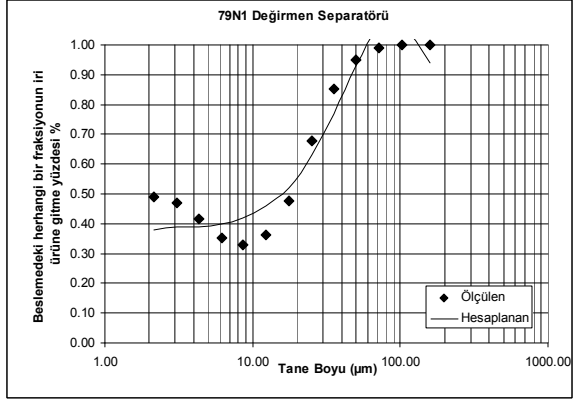
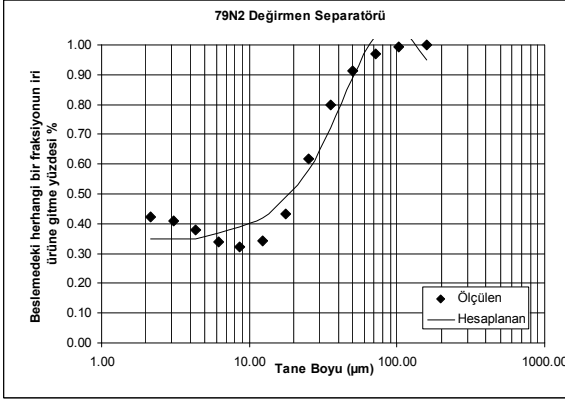
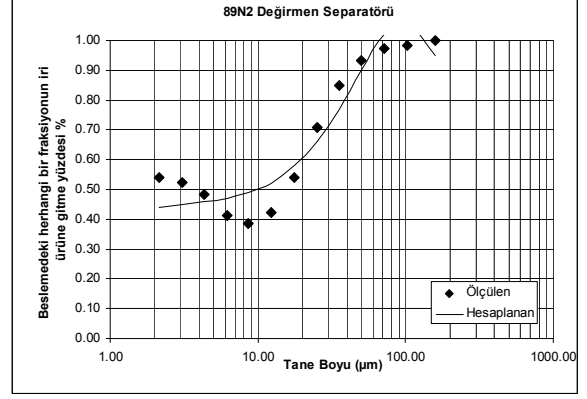
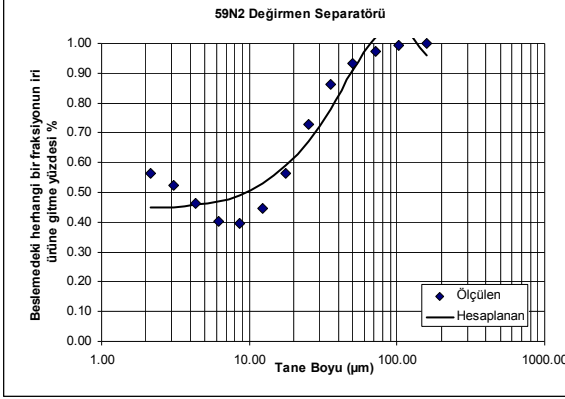
- Brundiek, H., 1989, The Roller Grinding Mill Its History and Current Situation Part 2, *Aufbereitungs Technik*, Vol. 30, No. 12, pp. 735-745
- Brundiek, H., 1989, The Roller Grinding Mill Its History and Current Situation Part 1, *Aufbereitungs Technik*, Vol. 30, No. 12, pp. 609-619
- Çıracı, S., 2005, Nanoteknolojinin Doğuşu, *Bilim ve Teknik*, TÜBİTAK Yayınları, No. 453
- Detwiler, R.J., 1995, High Efficiency Separators Part:1 Effect on Cement, *ZKG*, Vol. 48, No. 7, pp. 384-393
- Duhamel, Ph., Cordonnier, A., Lemaire, D., 1997, The Current State of Development of the TSV High-Efficiency Dynamic Classifier, *ZKG*, Vol. 50, No. 10, pp. 540-555
- Duda, W.H., 1985, *Cement-Data-Book*, International Process Engineering in the Cement Industry, Bauverlag GmbH – Wiesbaden and Berlin, pp. 444
- Finch, J.A., 1983, Modelling a Fish-hook in Hydrocyclone Selectivity Curves, *Powder Technology*, Vol. 36, pp.127-129
- Folsberg, J., 1991, A New Generation of High Efficiency Separators for Ball Mills and Roller Presses, *ZKG*, Vol. 44, No. 1, pp. 37-40
- Ito, M., Sutoh, K., Matsuda, T., 1996, Classification Efficiency of Cage-Type Air Classifier, *ZKG*, Vol. 49, No. 3, pp. 134-141
- Karunakumari, L., Eswaraiah C., Jayanti, S., Narayanan, S.S., 2005, Experimental and Numerical Study of a Rotating Wheel Air Classifier, *AIChE Journal*, Vol. 51, No. 3, pp. 776-790
- Klumpar, I.V., Currier, F.N., Ring T.A., 1986, Air Classifiers, *Chemical Engineering*, Vol. 93, No. 5, pp. 77-92
- Knoflicek, M., 2004, Classifiers and Separators, *Innovations in Portland Cement Manufacturing*, Edited by, Bhatti, J.I., Miller, F.M., Kosmatka, pp. 519-539
- Kolacz, J., 2002, Investigating Flow Conditions in Dynamic Air Classification, *Minerals Engineering*, Vol. 15, No.3, pp. 131-138
- Kohan, J., 1995, Finish Grinding – An Overview of Recent Advancements and Options, *IEEE Cement Industry Technical Conference*, June 4-10,
- Lippek, E., Espig, D., 1978, Forschungsarbeiten zur Mathematischen, Modellierung von Trockenmahlängen, *Freiberger Forschungsheft a 602*, 77-78
- Lynch, A.J., Öner, M., Benzer, H., 2000, Simulation of Closed Cement Grinding Circuit, *ZKG*, Vol. 53, No. 10, pp. 560-567

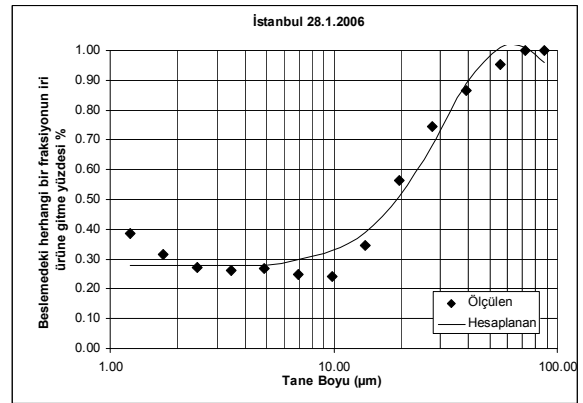
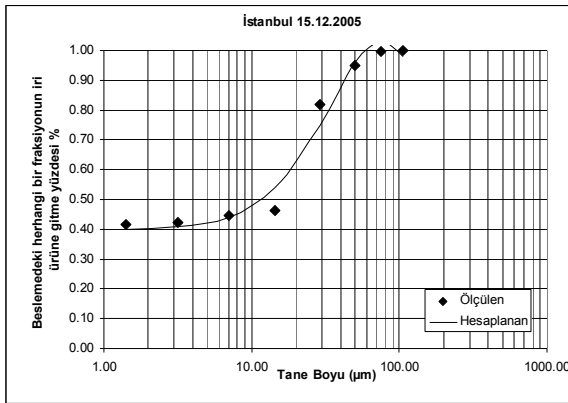
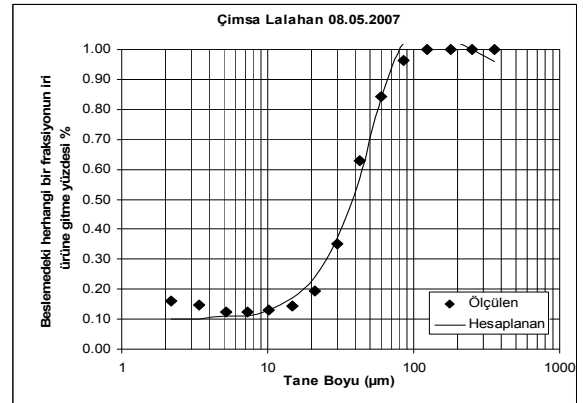
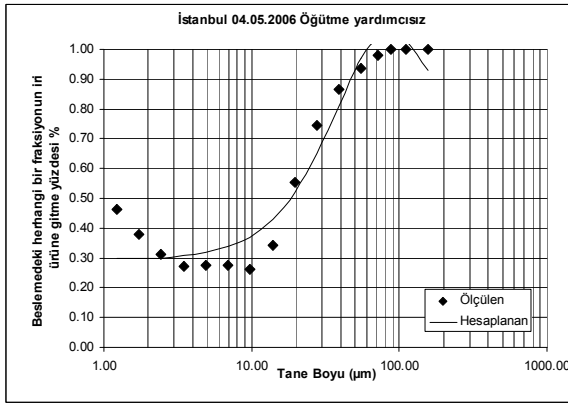
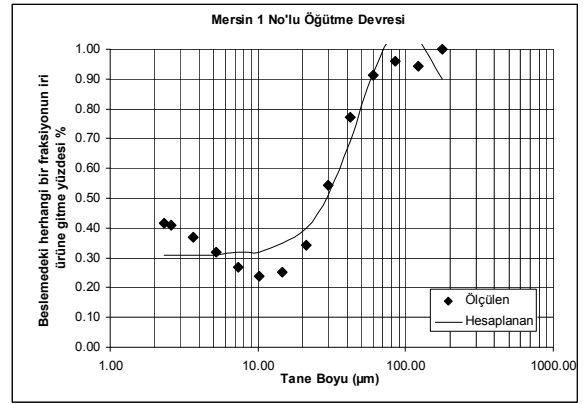
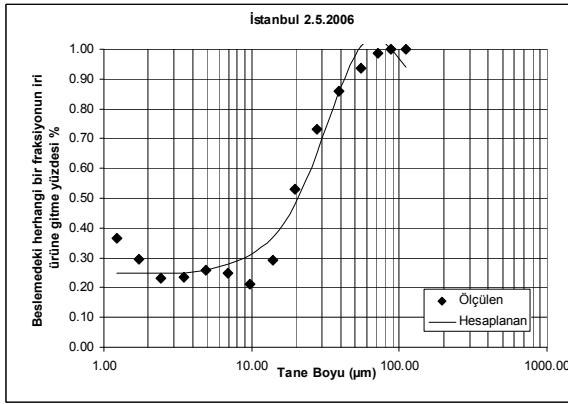
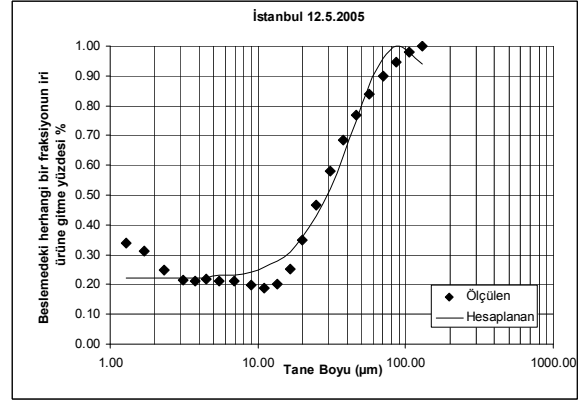
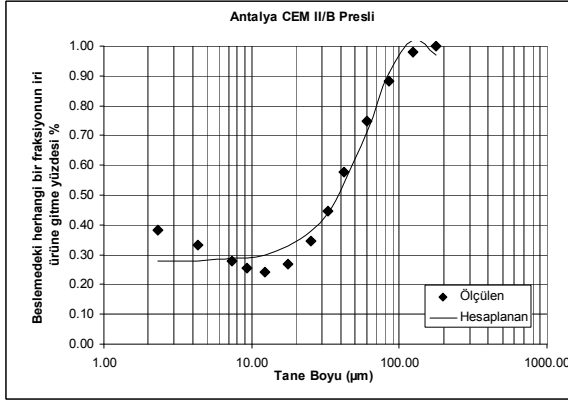
- Nageswararao, K., 1999, Reduced Efficiency Curves of Industrial Hydrocyclones- An Analysis for Plant Practice, Minerals Engineering, Vol. 12, No. 5, pp. 517-544
- Napier-Munn, T.J., Morrell, S., Morrison, R.D., Kojovic, T., 1997, Mineral Comminution Circuits Their Operation and Optimisation, Editor:Napier-Munn, T.J., 413p.
- Onuma, E., Furukawa, T., 1984, O-Sepa a New High-Performance Air-Classifiers, World Cement, Vol. 15, No. 1, pp. 13-24
- Onuma, E., Ito, M., 1994, Separators in Grinding Circuits, ZKG, Vol. 47, No. 9, pp. 535-543
- Pastala, A.L., 1975, Contribution to the Design of Air Separation Equipment for Closed Circuit Grinding Systems, Cement Technology pp. 119-124
- Plitt, L.R., 1976, A Mathematical Model of the Hydrocyclone Classifier, CIM Bulletin, Vol. 69, No. 776, pp. 114-123
- Qian, G., Bagyi, I., Burdick, I.W., Pfeffer, R., Shaw, H., Stevens, J.G., 2001, Gas-Solid Fluidization in a Centrifugal Field, AIChE Journal, Vol. 47, No. 5, pp. 1022-1034
- Refstrup, E., 1992, Recent Advances in Agglomeration During Spray Drying, Niro A/S, Copenhagen, Denmark
- Richardson, J.F., Harker, J.H., Backhurst, J.R., 2002, Chemical Engineering Particle Technology and Separation Processes, Vol. 2
- Seebach, H.M., Neumann, E., Lohnherr, L., 1996, State-of-the-Art of Energy-Efficient Grinding Systems, ZKG, Vol. 49, No. 2, pp.61.67
- Shapiro, M., Galperin, V., 2005, Air Classification of Solid Particles: A Review, Chemical Engineering and Processing, Vol. 44, pp. 279-285
- Sottili, L., Padovani, D., 2000, Effect of Grinding Admixtures in the Cement Industry Part 1, ZKG, Vol. 53, No. 10, pp. 568-575
- Strasser, S., Somani, R.A., Dembla, A.K., 1997, Improvements in the Production of Raw Meal and Cement by the Combined Use of Roller Press and V-Separator, ZKG, Vol. 50, No. 3, pp. 140-146
- Strasser, S., 2003, Better Grinding Systems, World Cement, Vol. 34, No. 9, pp. 63-67
- Süßegger, A., 2004, New Experience and Data from Grinding Plants with VSK Separator, ZKG, Vol. 57, No. 2, pp. 64-69
- Turgut, A., 1996, Elektrostatik Toz Tutucu ve Toz Çöktürücü Filtreler, Ankara Çimento Eğitim Notları

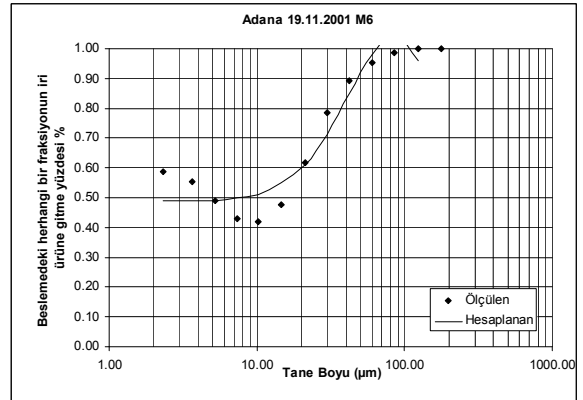
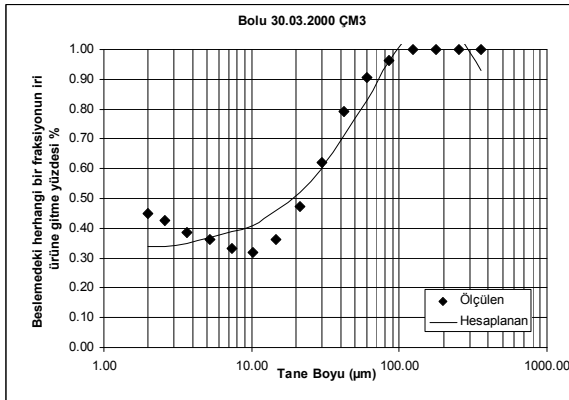
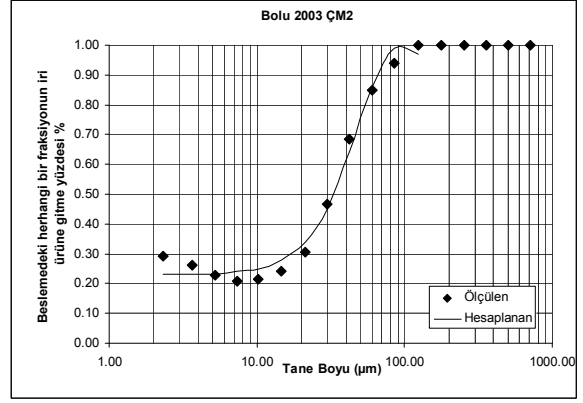
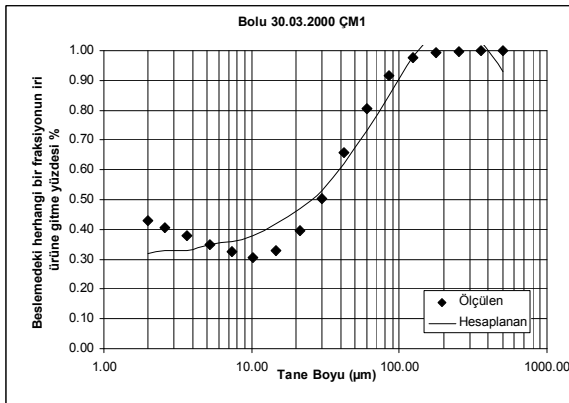
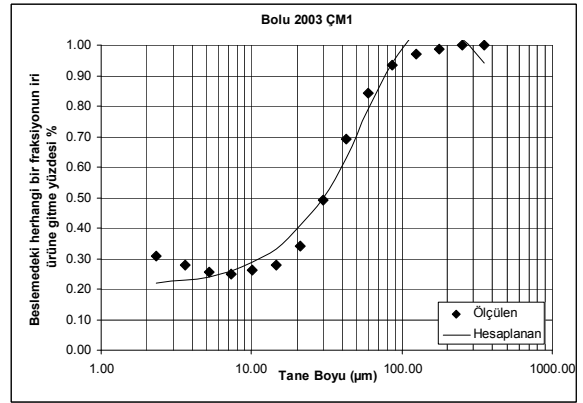
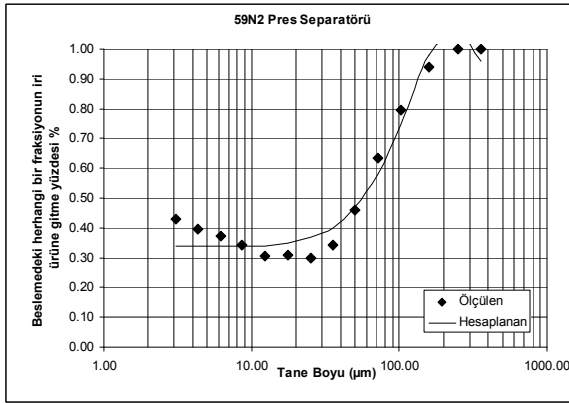
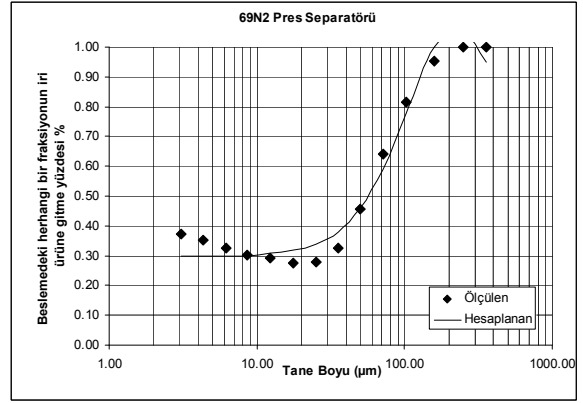
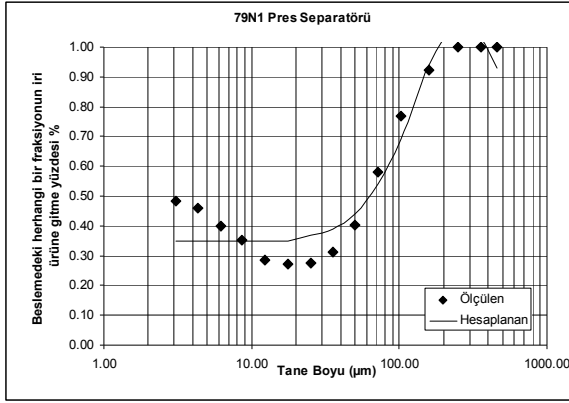
- Wang, L., Buse, M.D., Parnell, C.B., Shaw, B.W., 2003, Effect of Air Density on Cyclone Performance and System Design, Trans. ASAE, Vol. 46, No. 4, pp. 1193-1201
- Wynn, R., Kuck, D., Bubb, D., Vaklyes, J., Schreiber, M., 2006, www.dustcollectorsexperts.com
- Yardi, J., 2005, Separator Technology, World Cement, Vol. 36, No. 10, pp. 87-104
- Zhang, Y.M., Kavetsky, A., Napier-Munn, T.J., 1988, Effects of Separator Efficiency on Clinker Grinding Circuits, ZKG, Vol. 41, No. 10, pp. 501-505
- Zhang, Y., 1992, Simulation of Comminution and Classification in Cement Manufacture, JKMRRC, Ph. D.

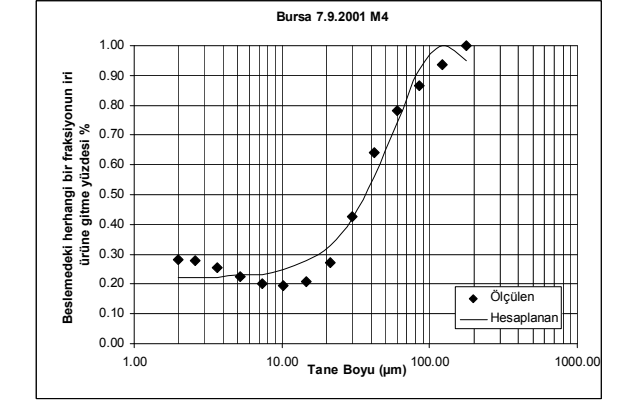
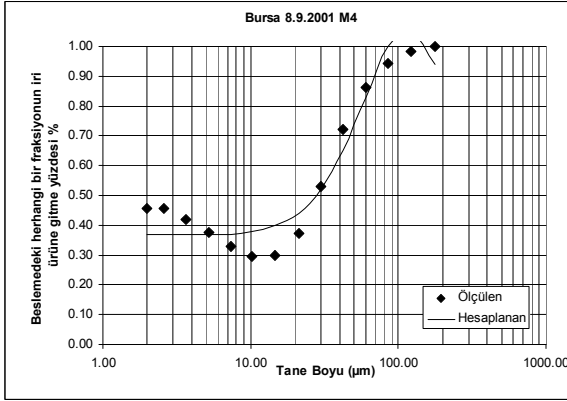
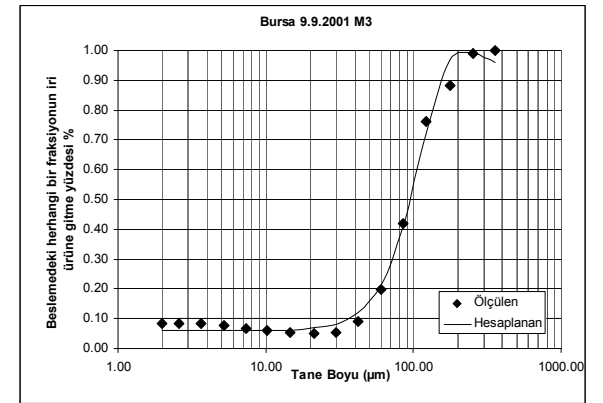
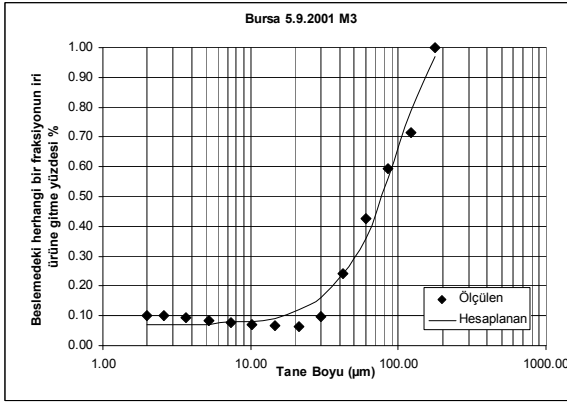
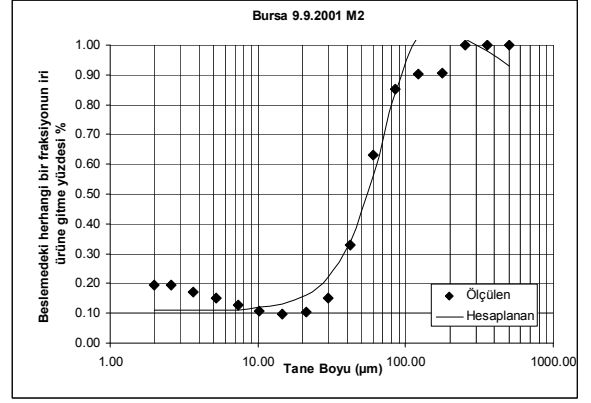
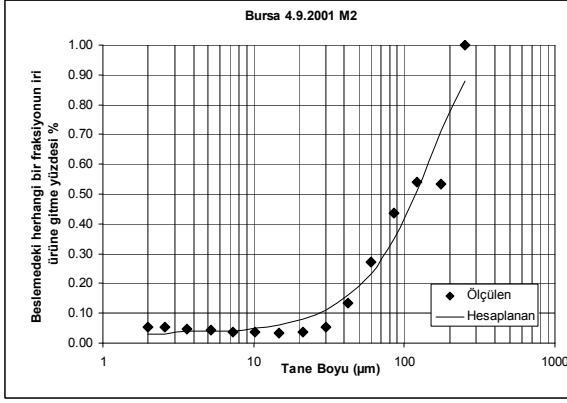
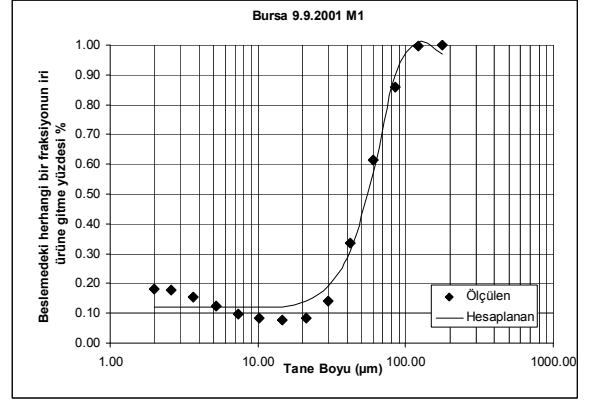
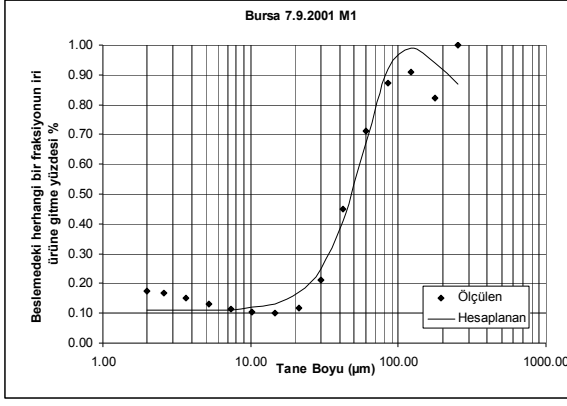
EK-1

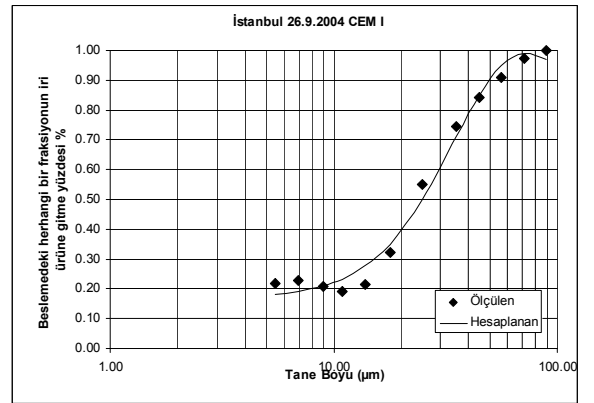
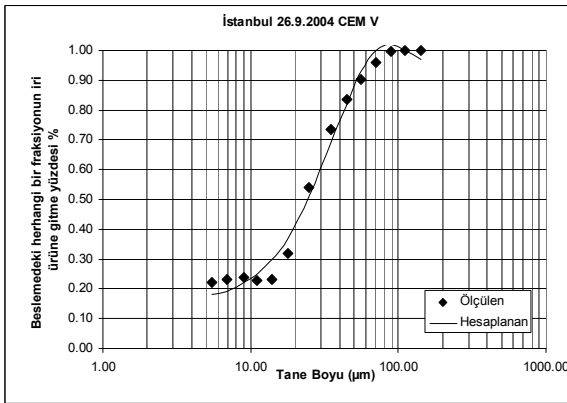
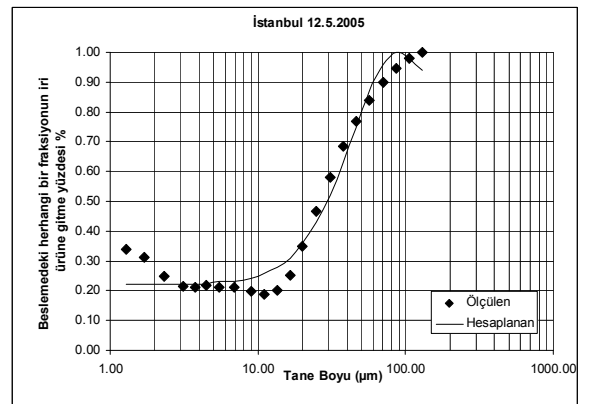
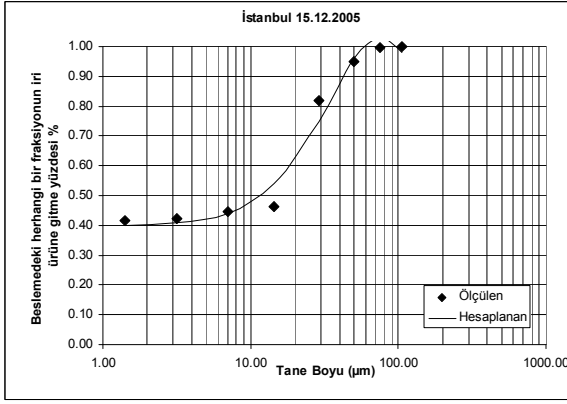
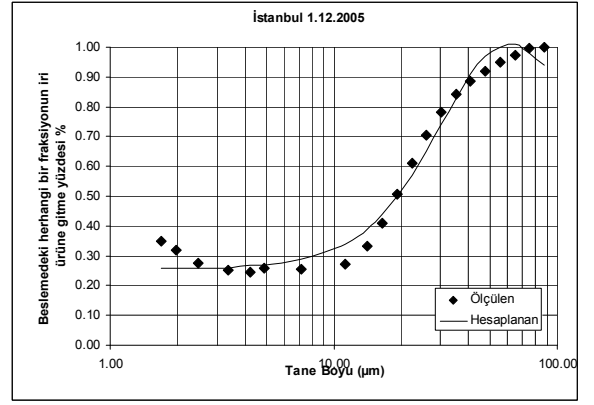
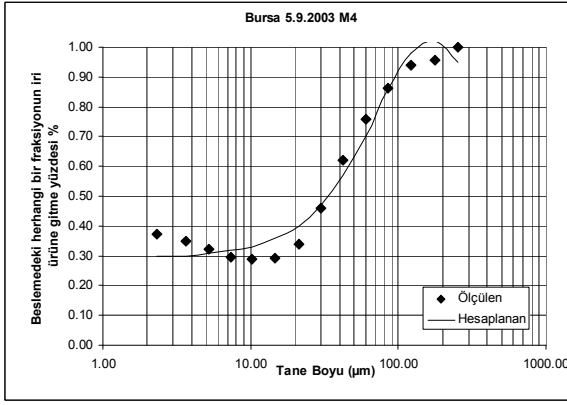
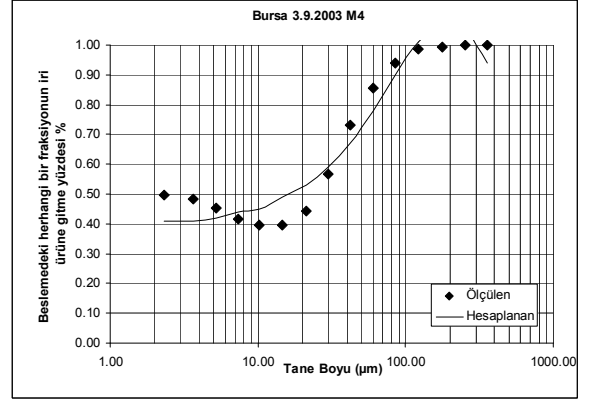
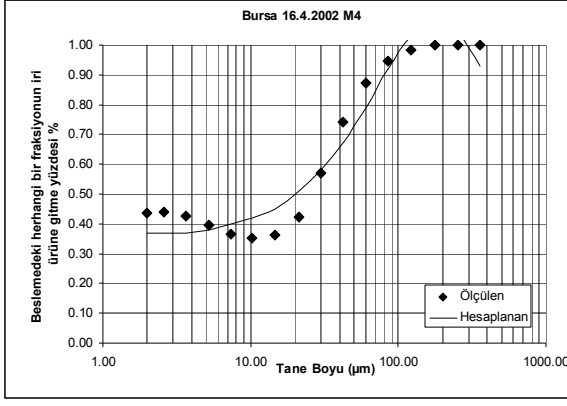
EK 1. FİNCH YAKLAŞIMININ ENDÜSTRİYEL VERİLERLE OLAN UYUMUNUN İNCELENMESİ

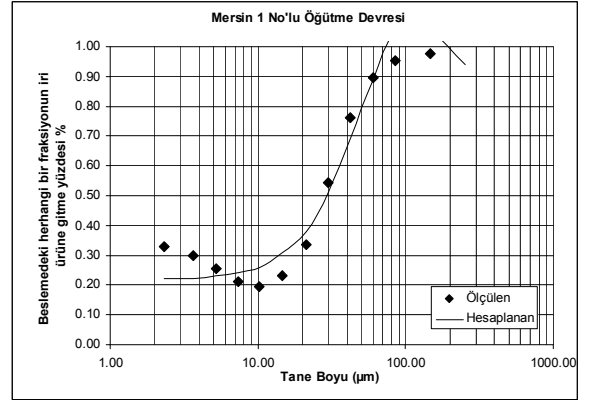
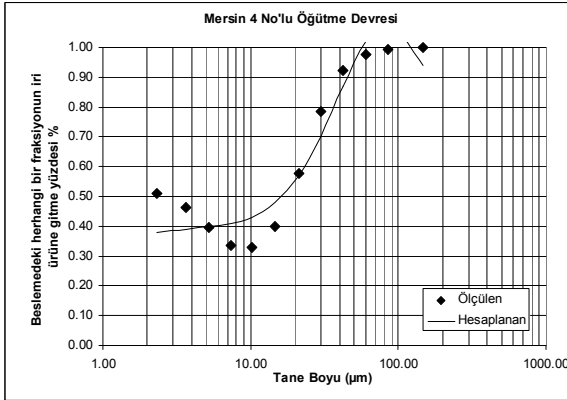
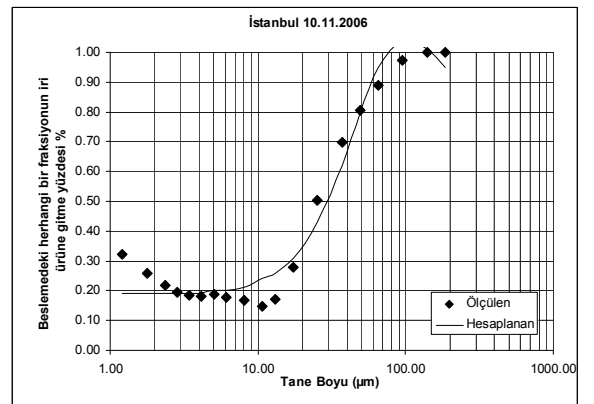
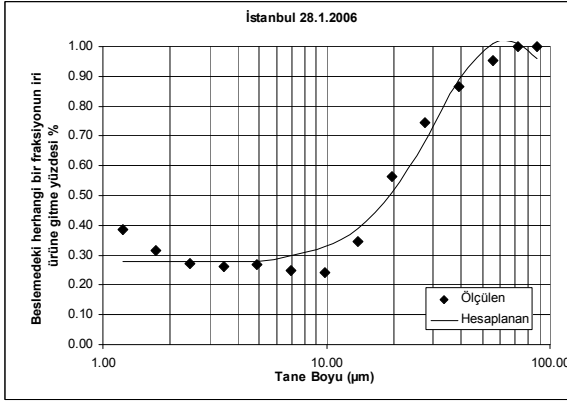
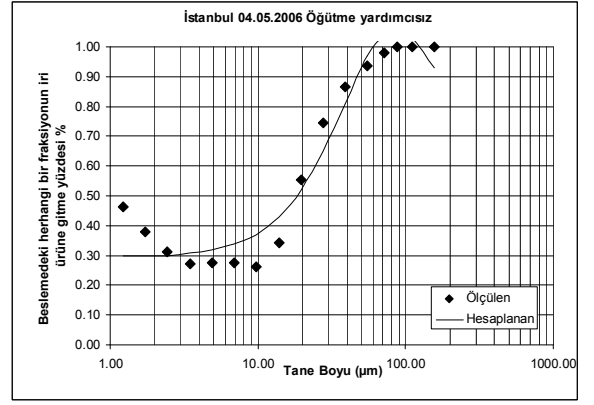
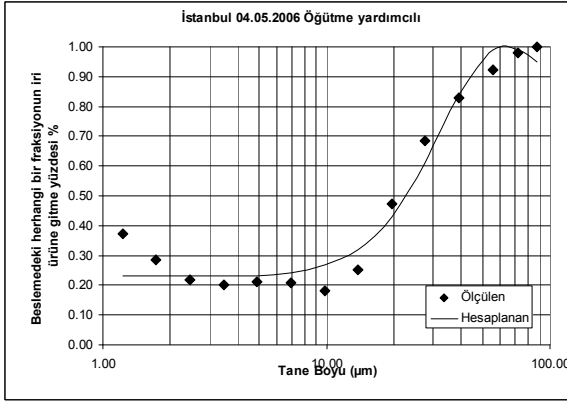
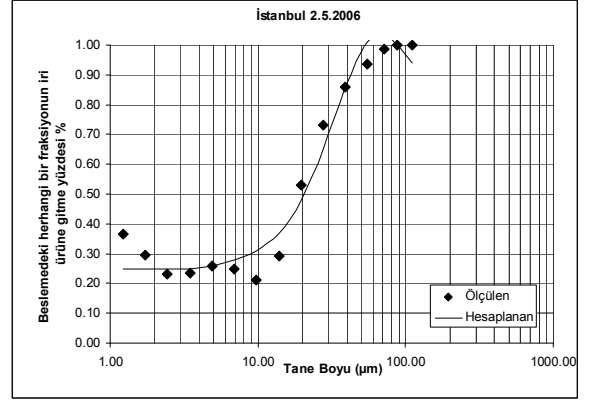
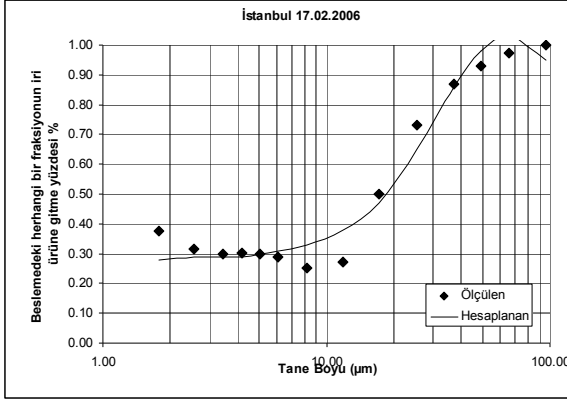


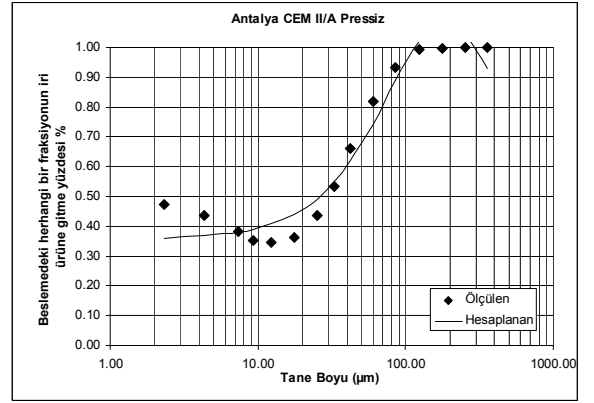
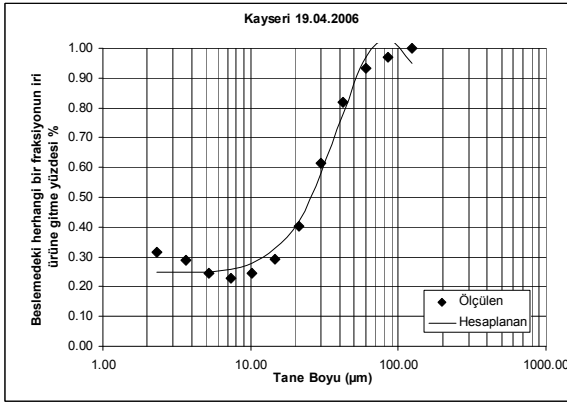
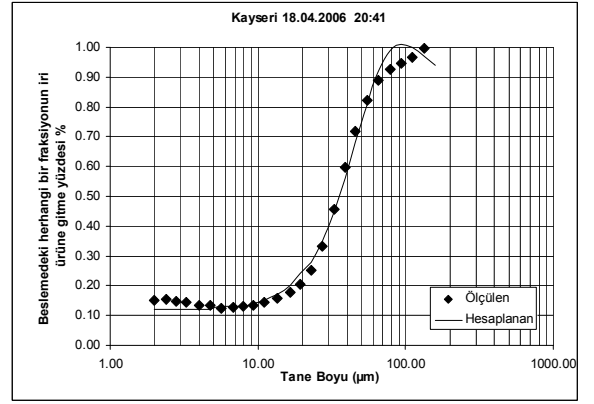
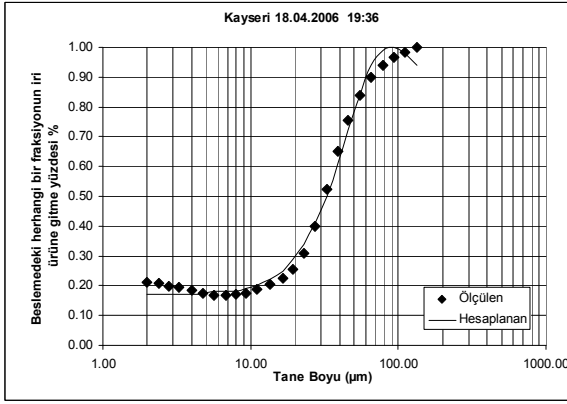
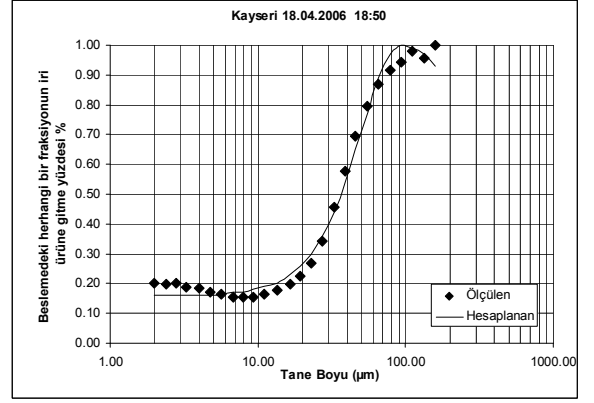
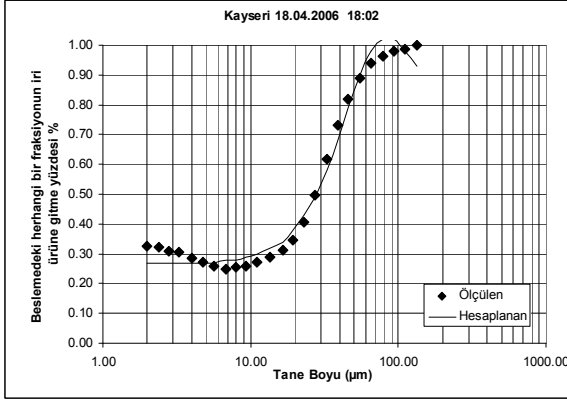
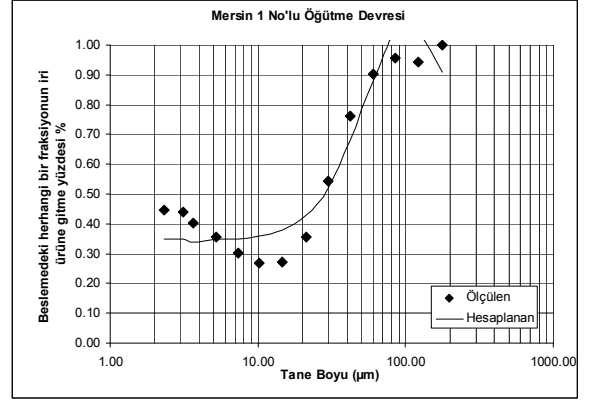
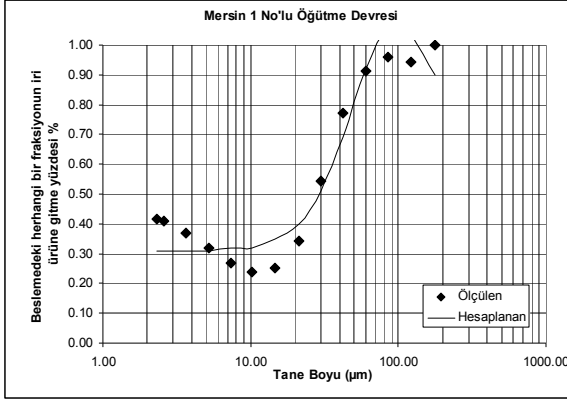


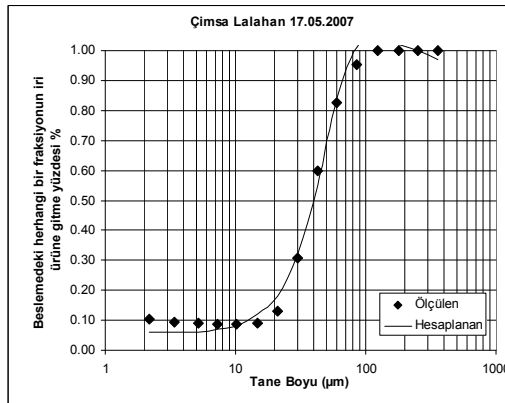
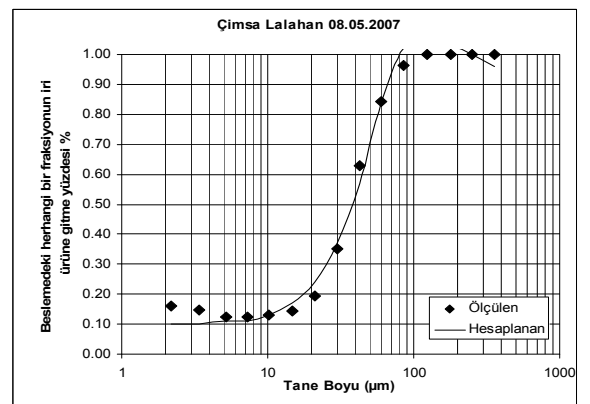
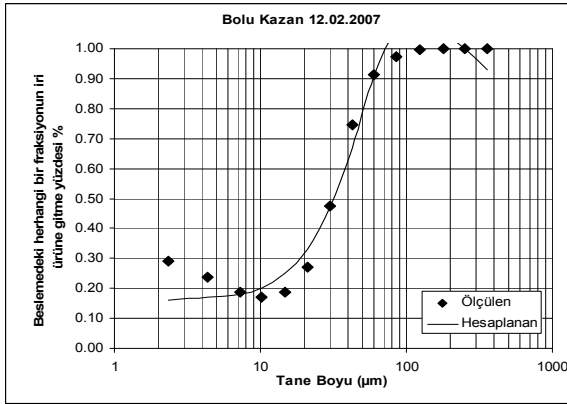
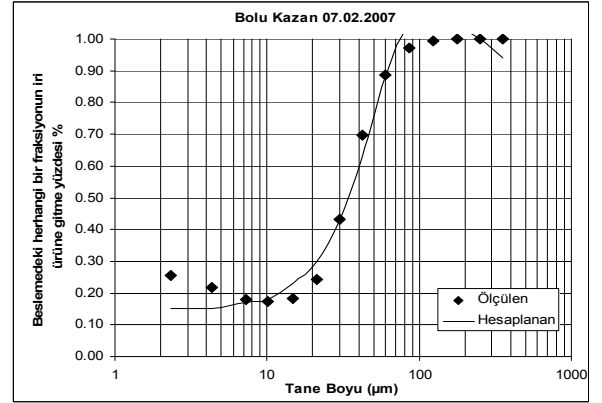
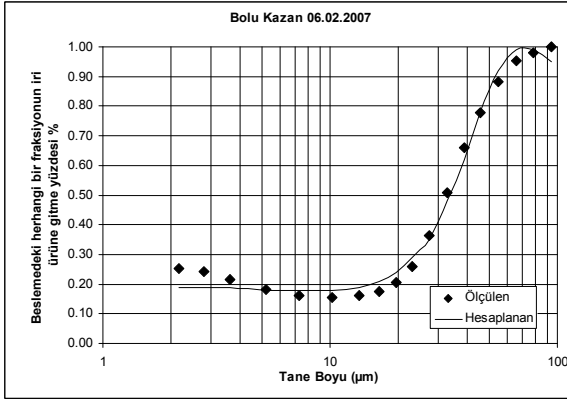
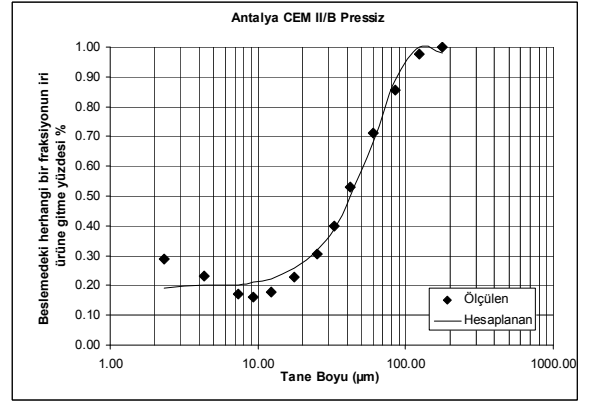
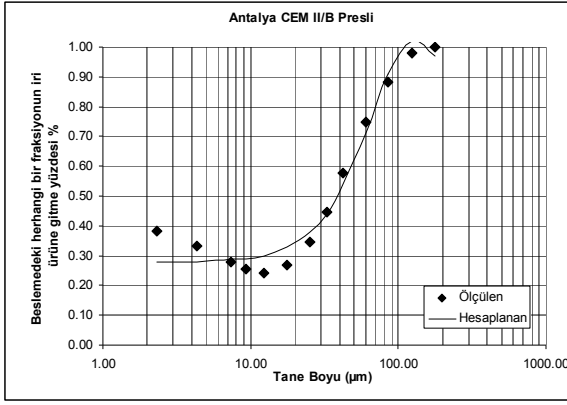






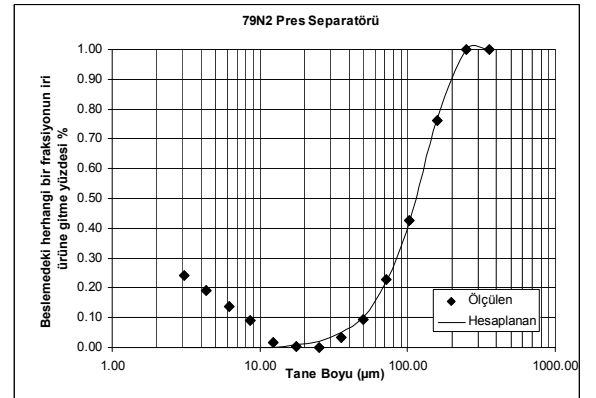
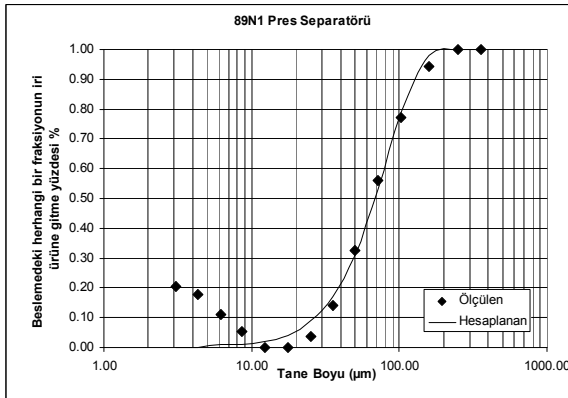
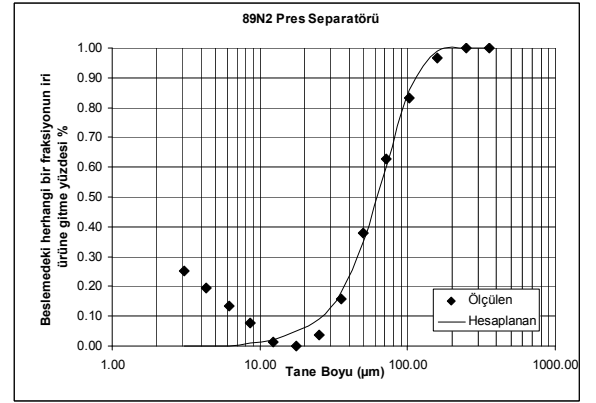
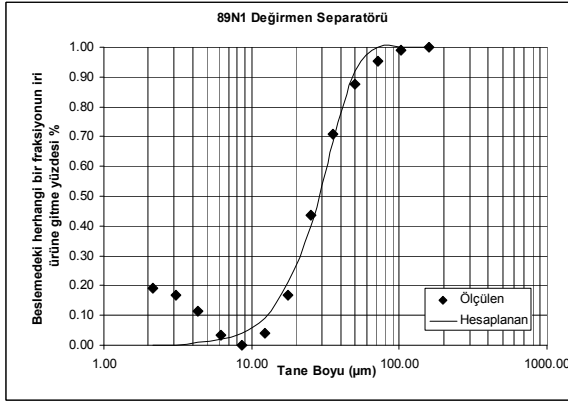
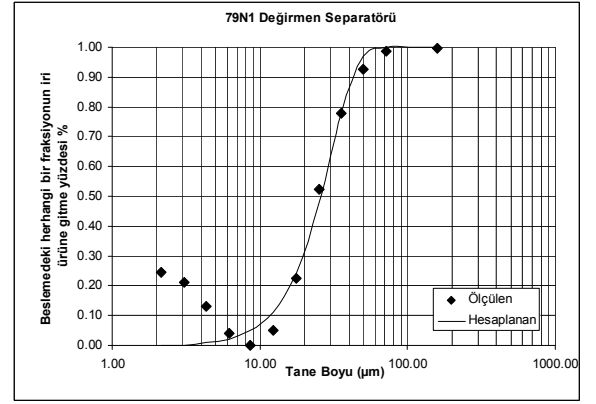
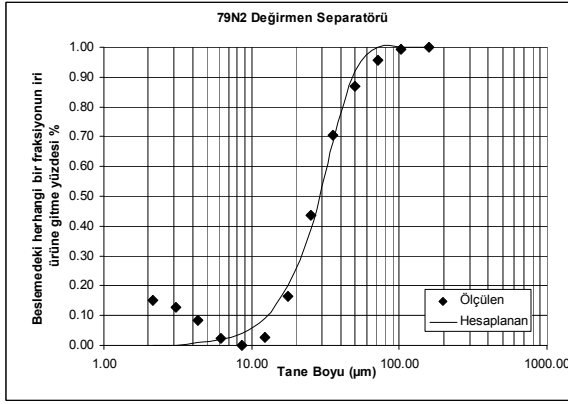
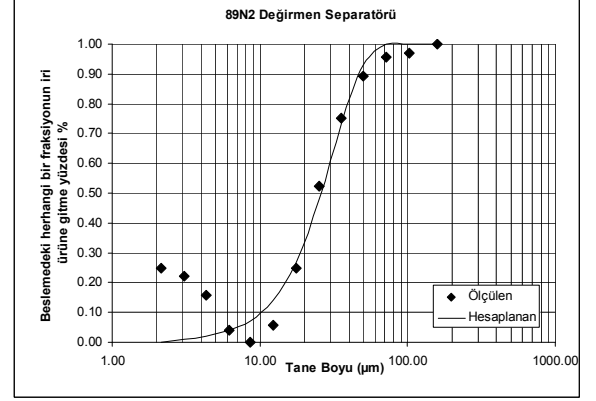
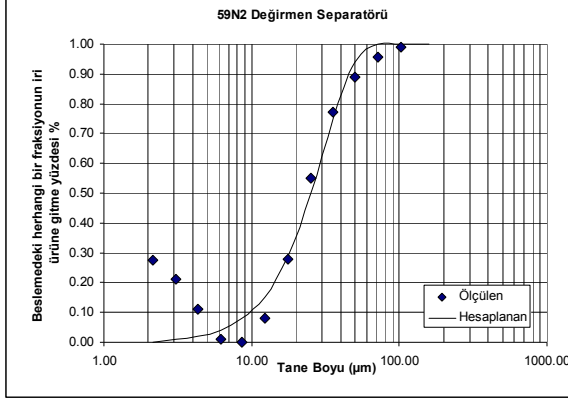


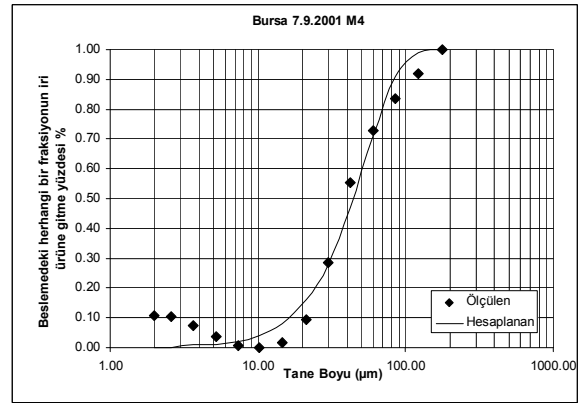
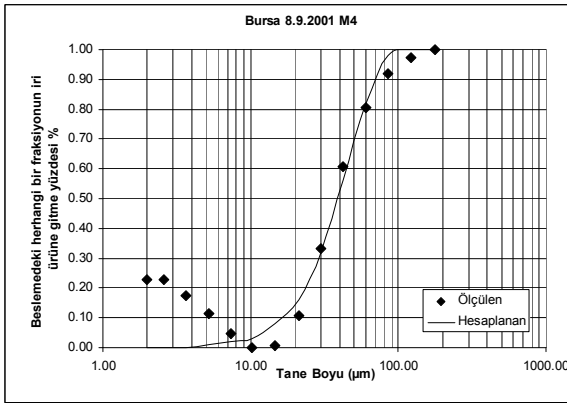
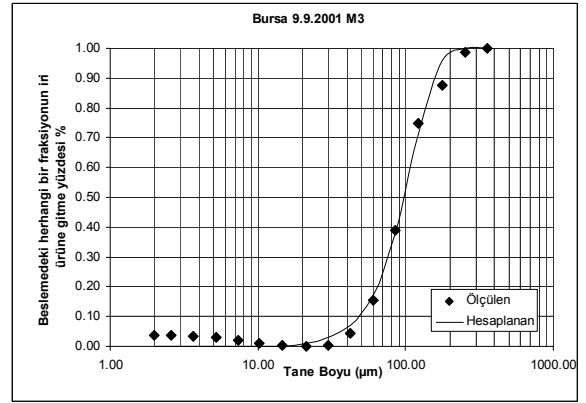
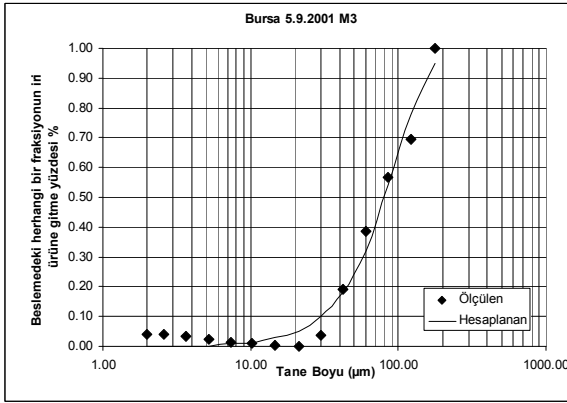
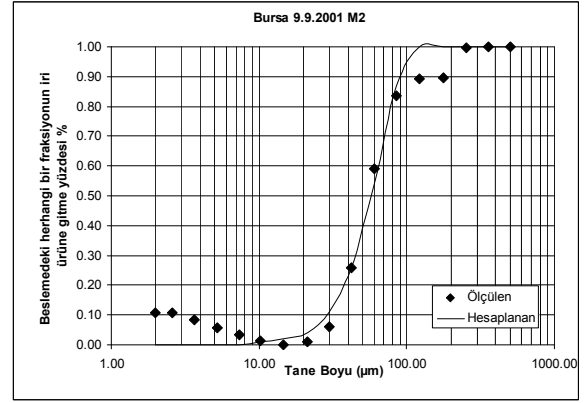
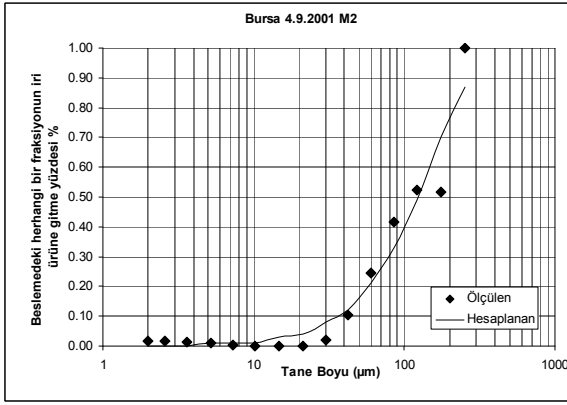
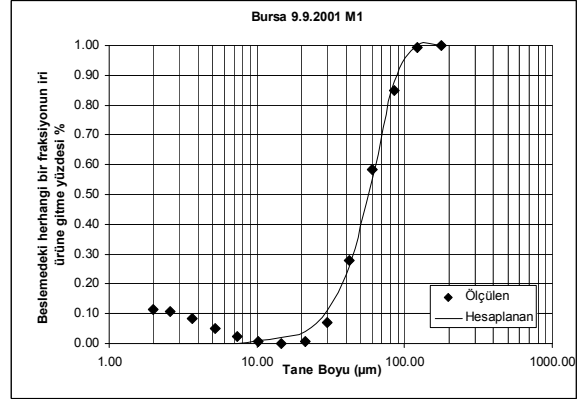
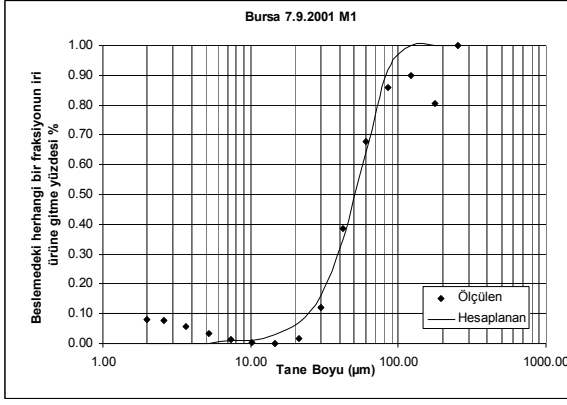


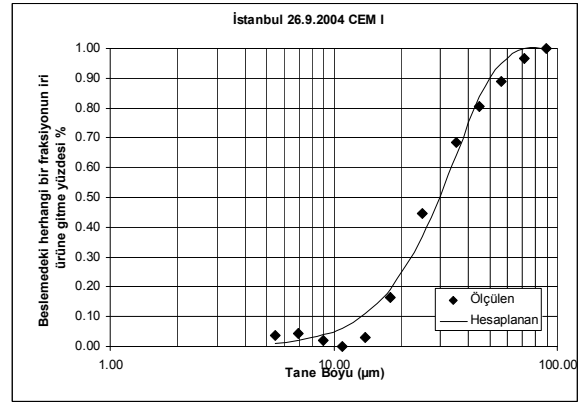
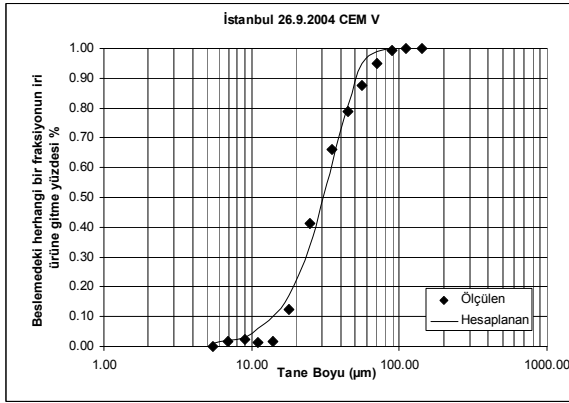
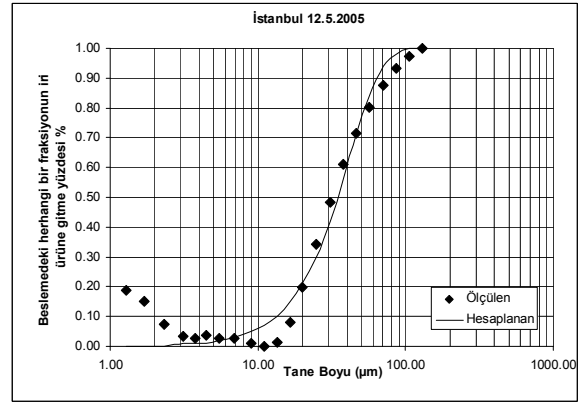
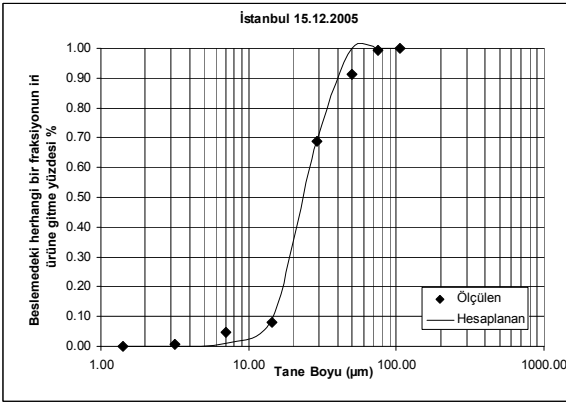
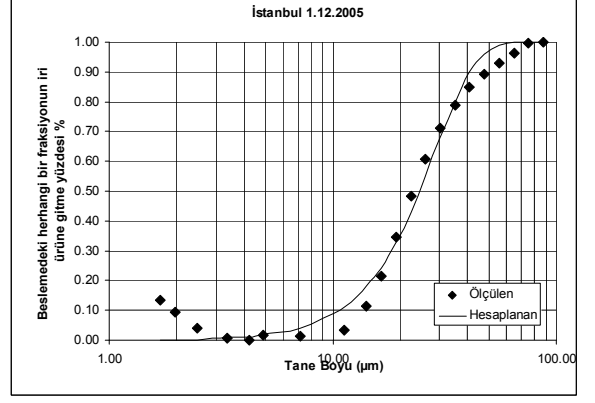
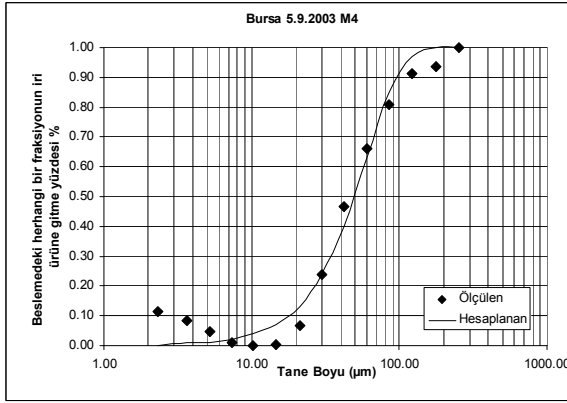
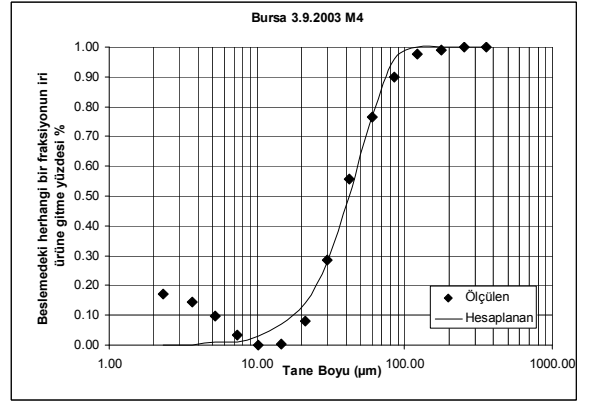
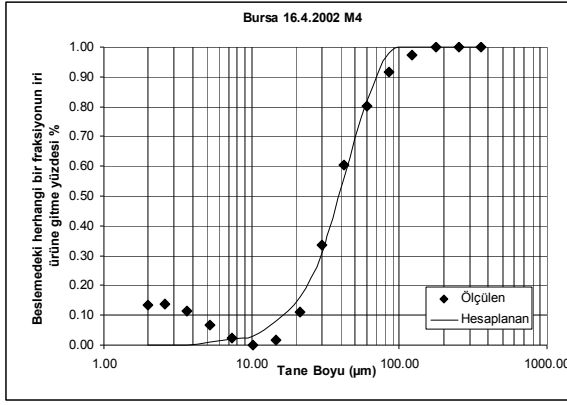


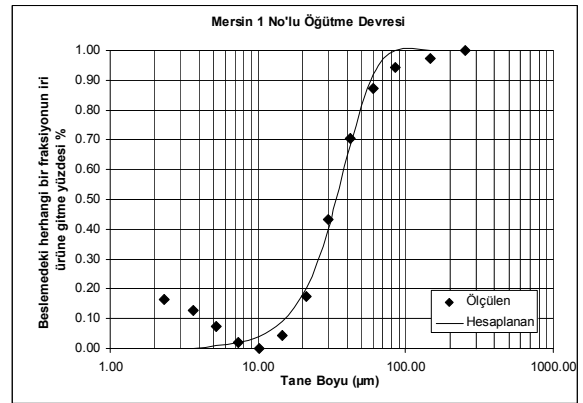
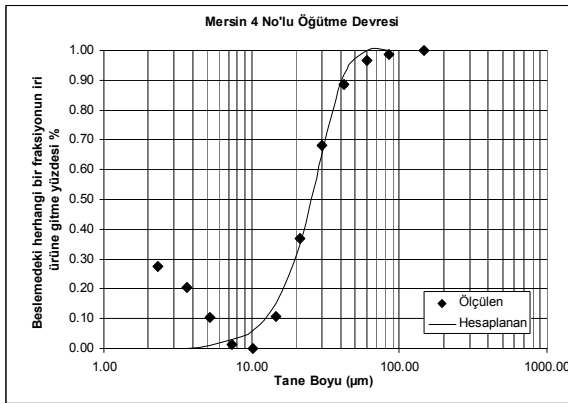
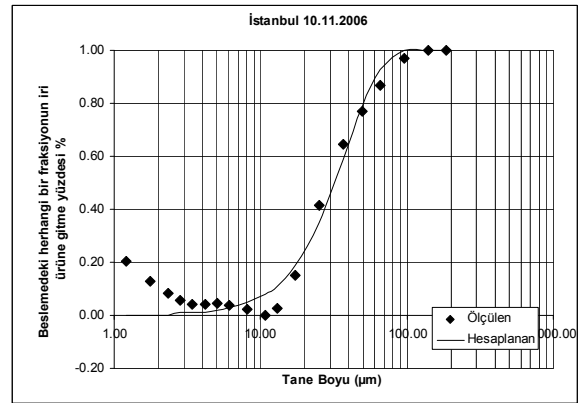
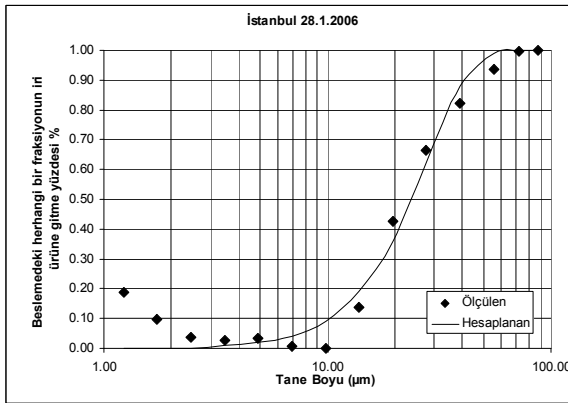
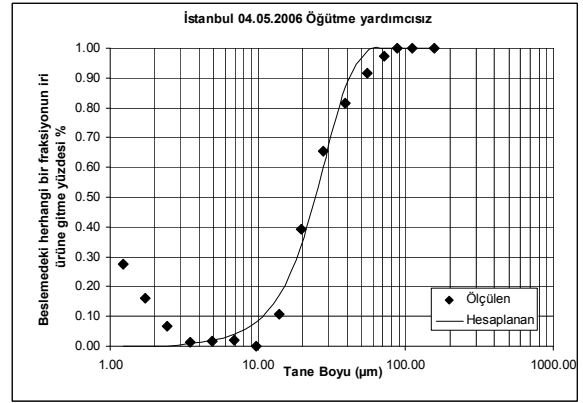
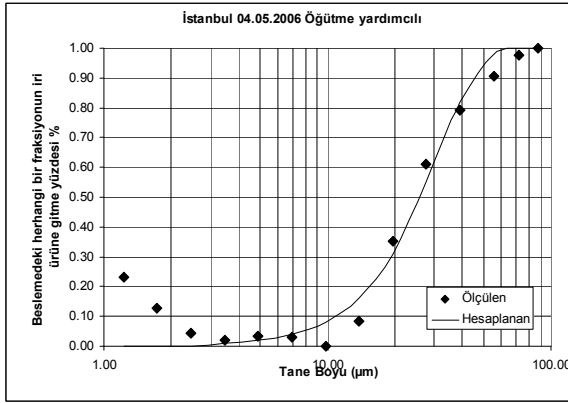
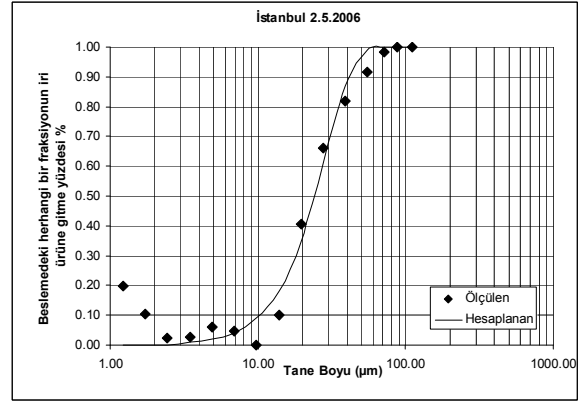
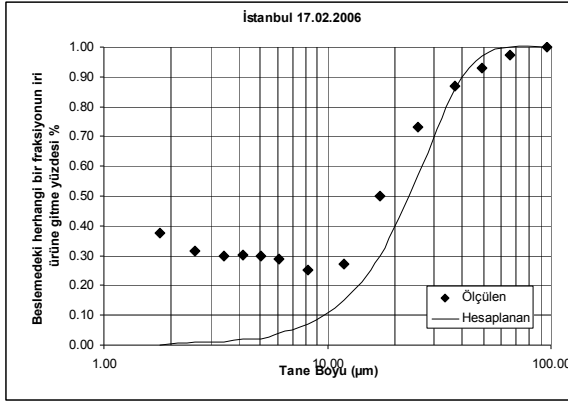
EK-2

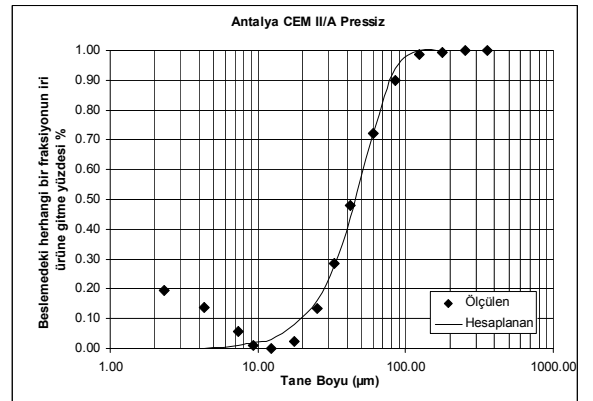
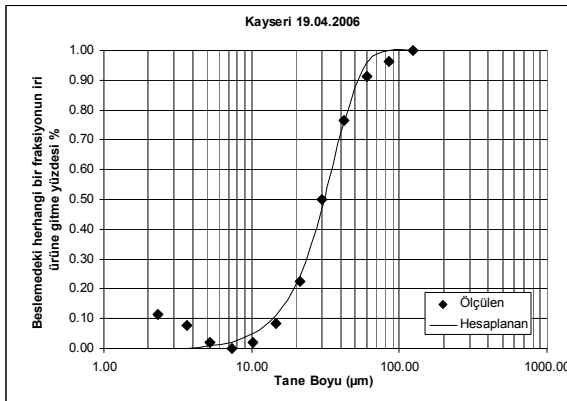
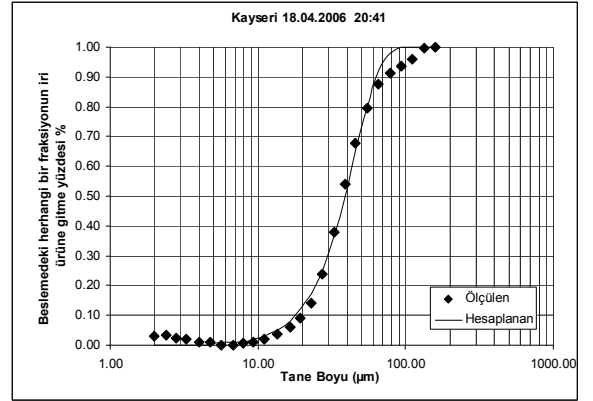
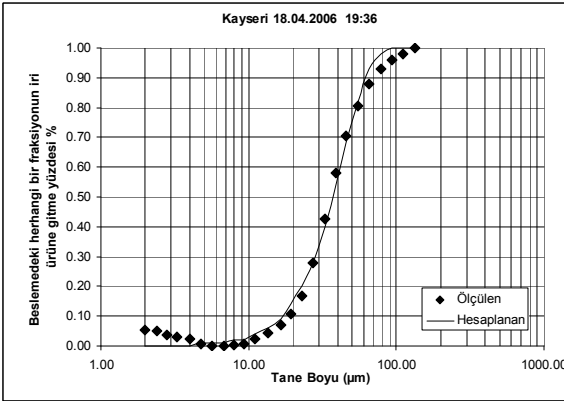
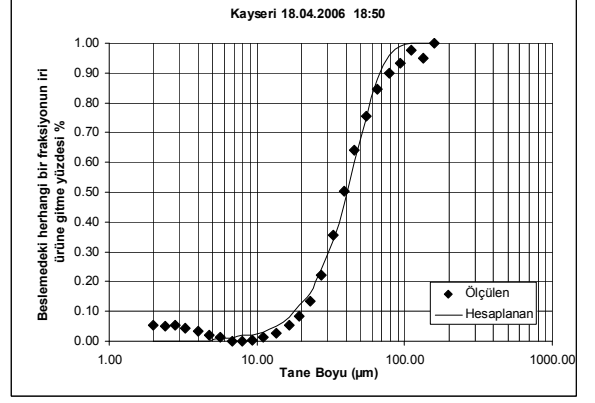
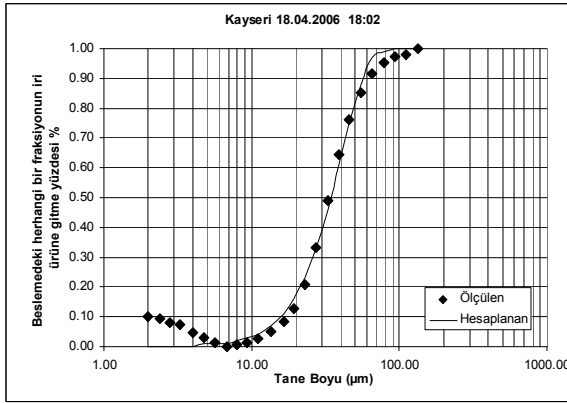
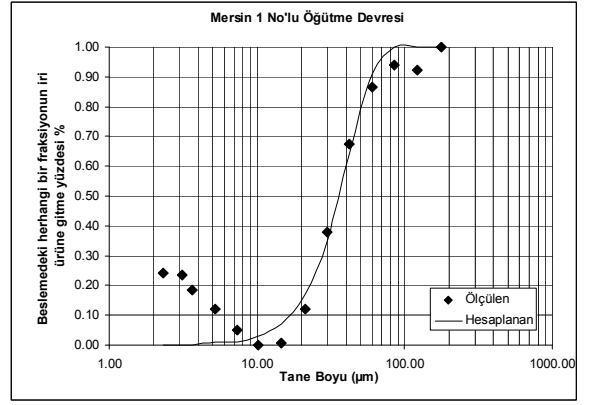
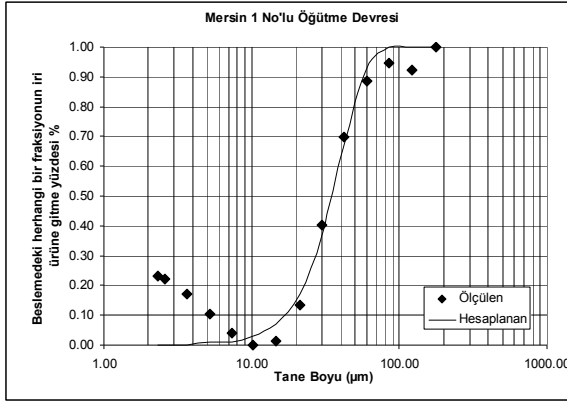
EK 2. PLİTT YAKLAŞIMININ ENDÜSTRİYEL VERİLERLE OLAN UYUMUNUN İNCELENMESİ

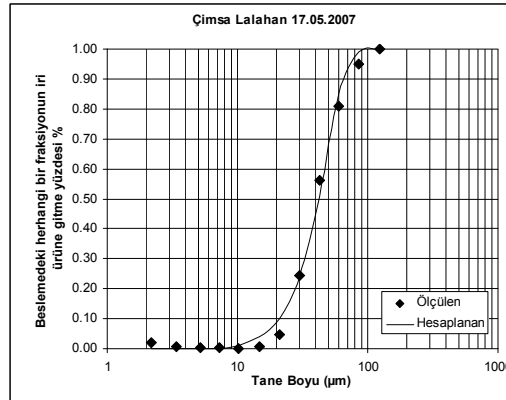
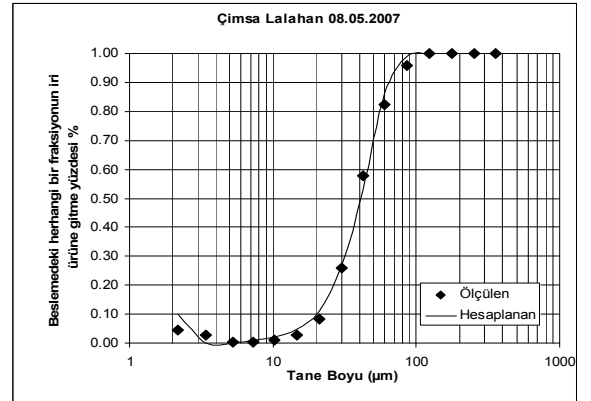
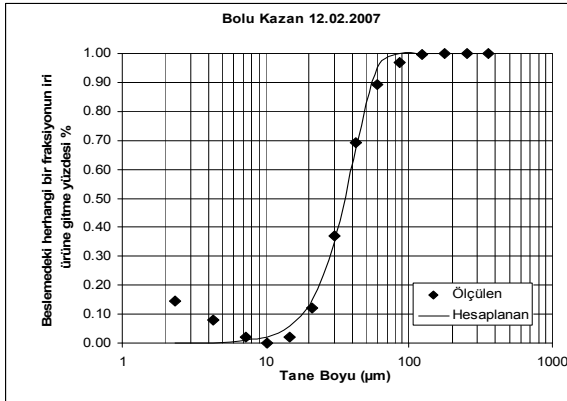
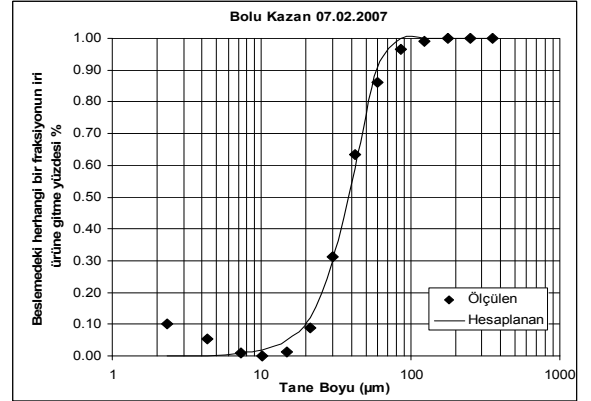
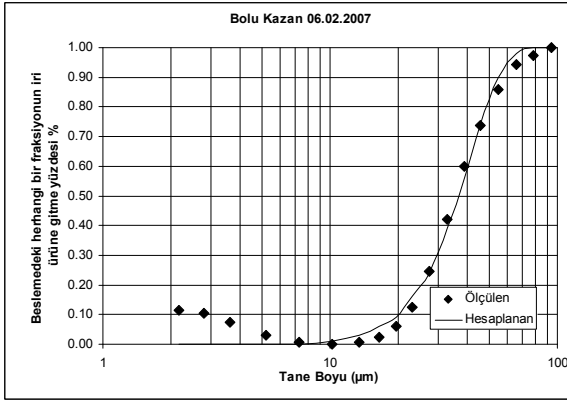
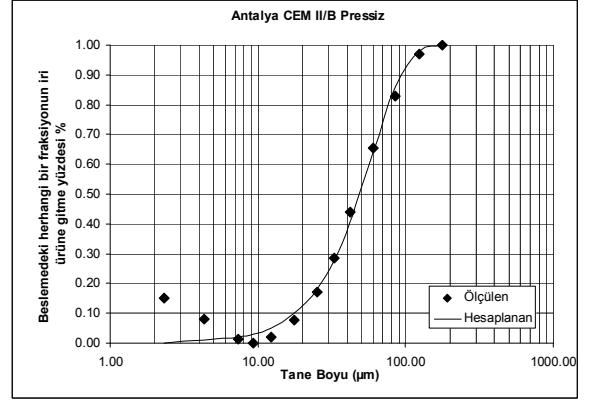
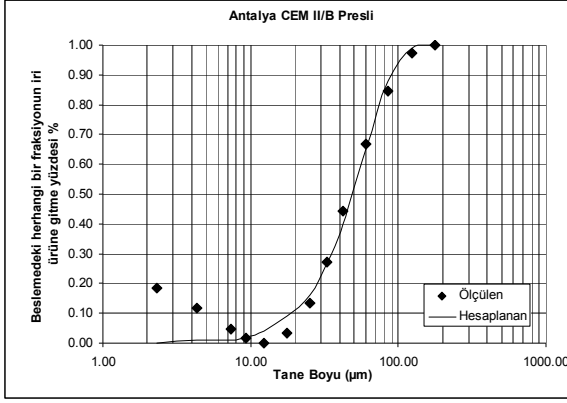






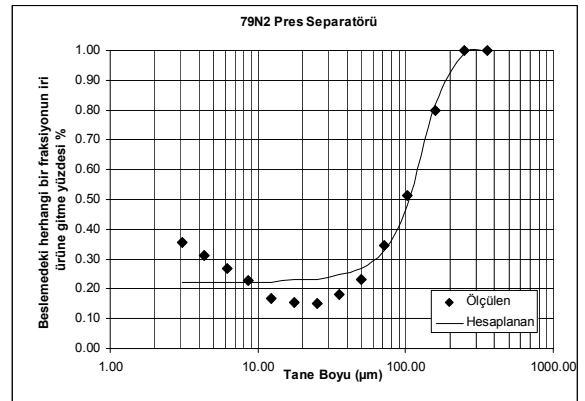
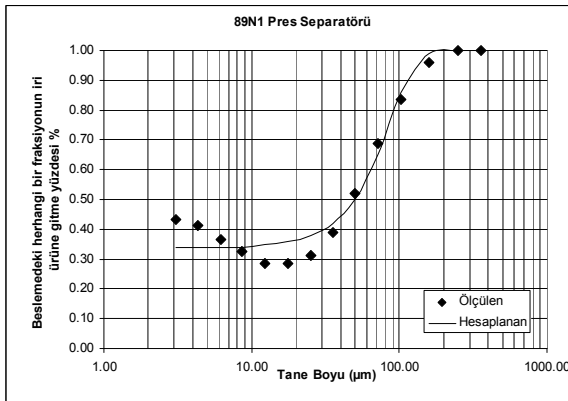
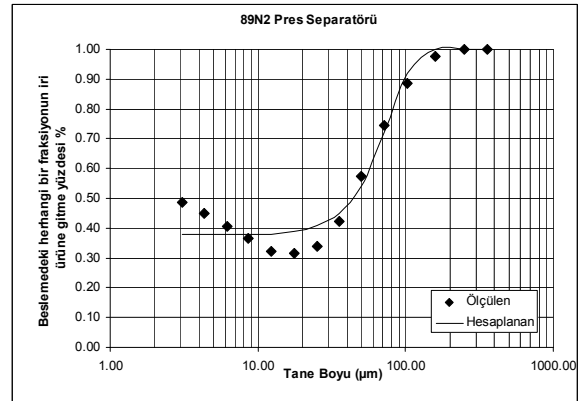
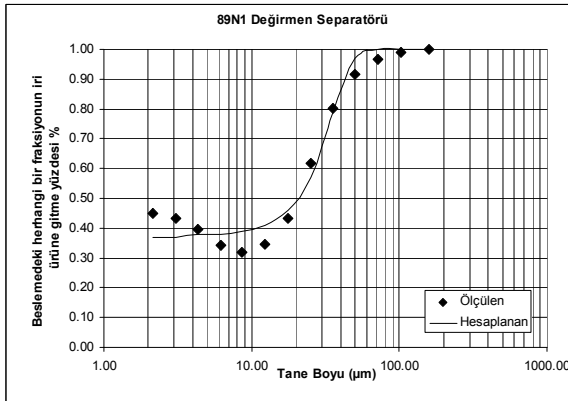
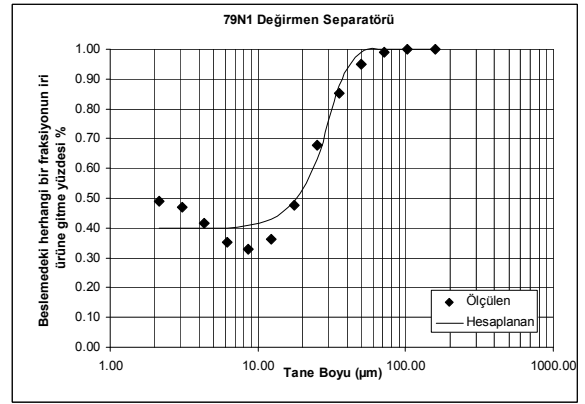
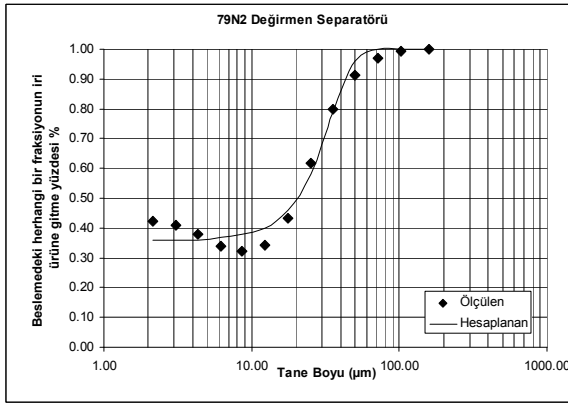
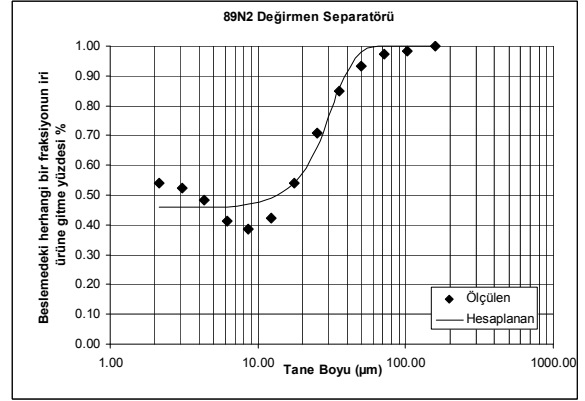
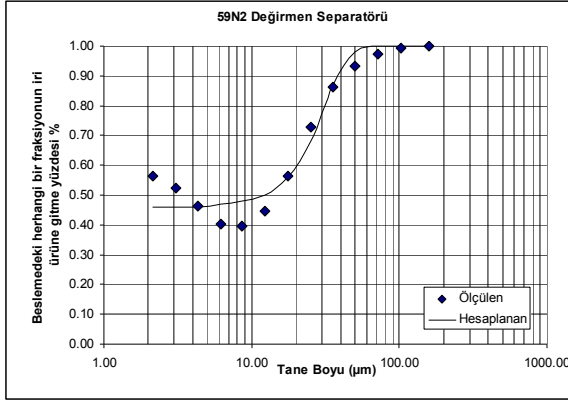


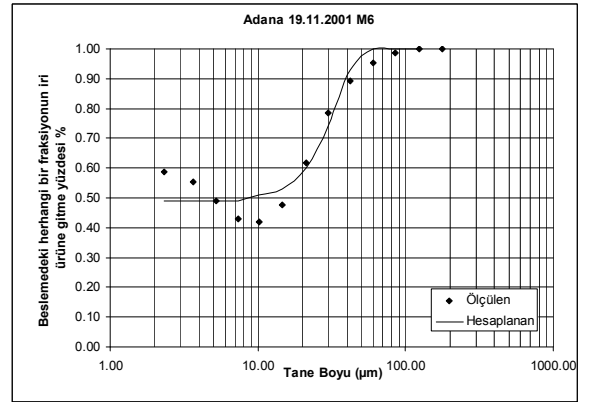
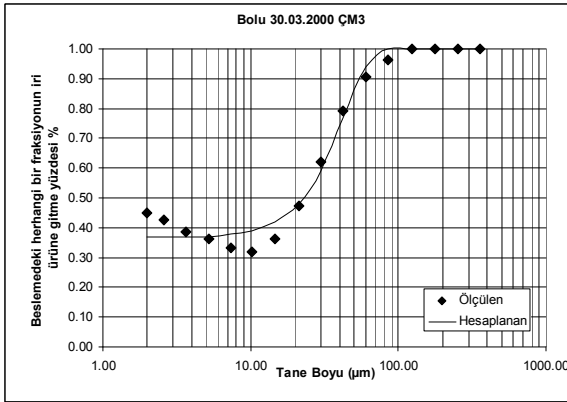
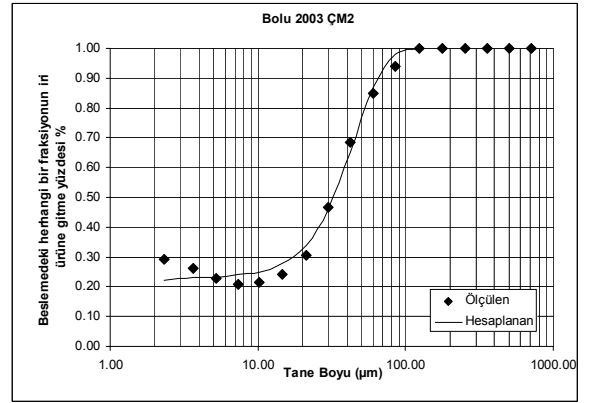
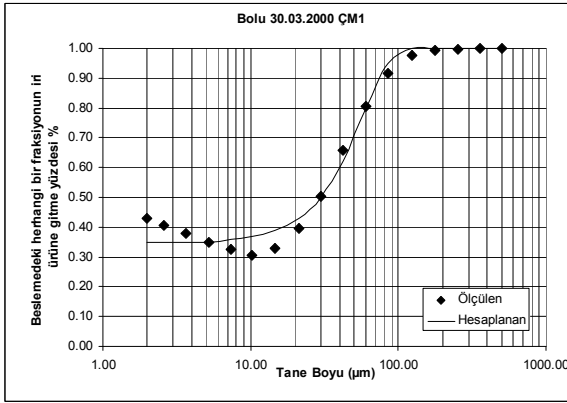
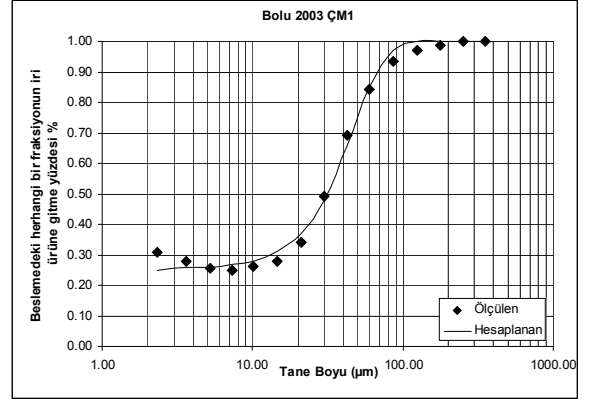
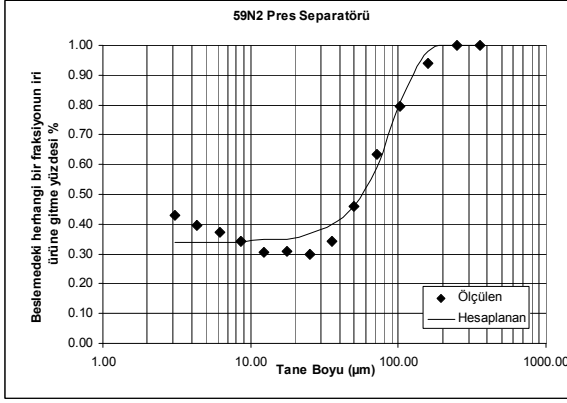
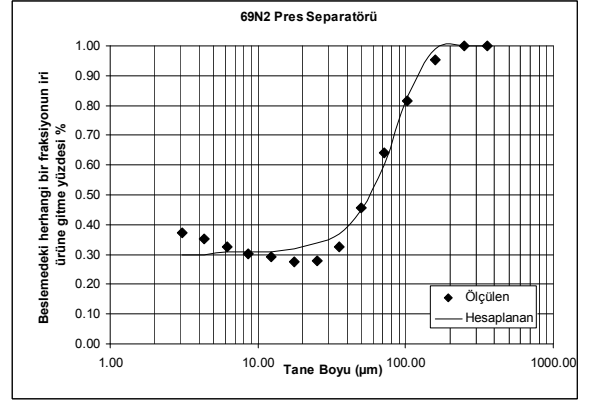
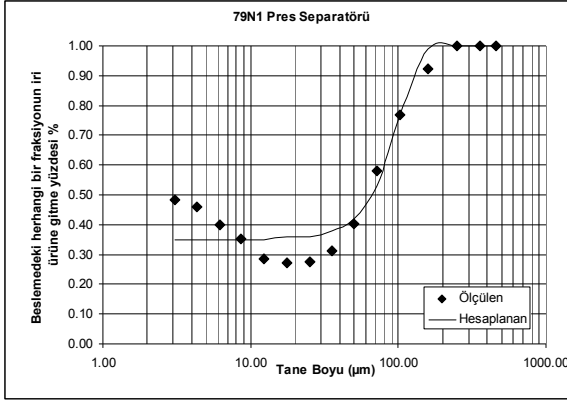


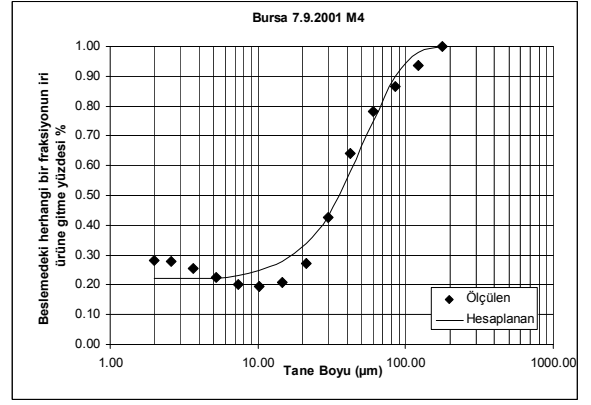
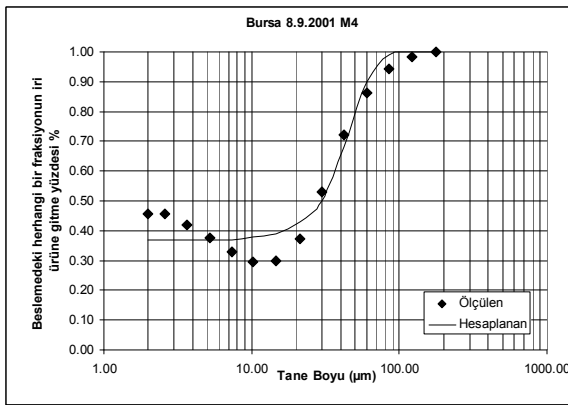
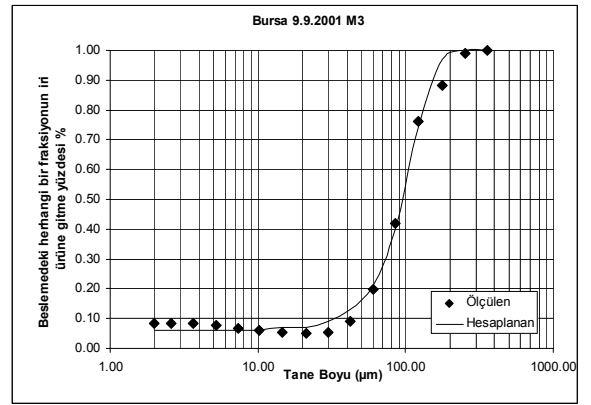
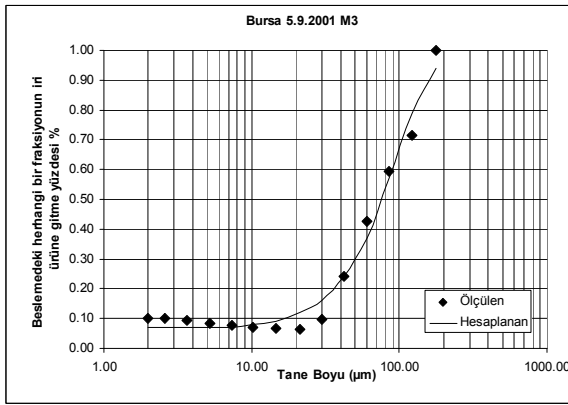
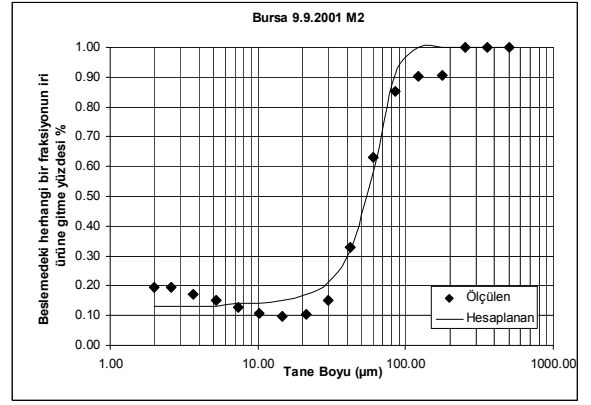
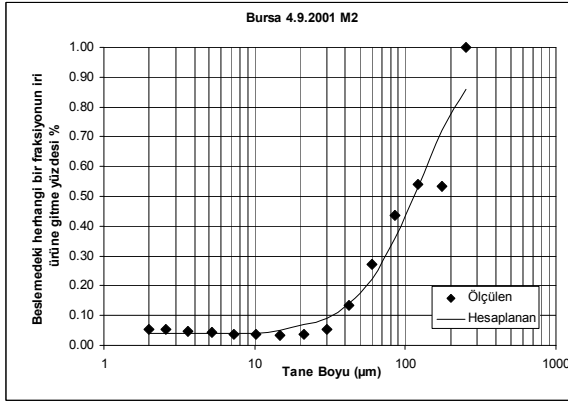
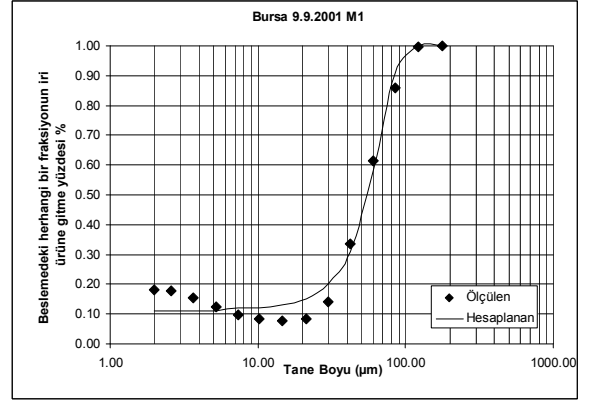
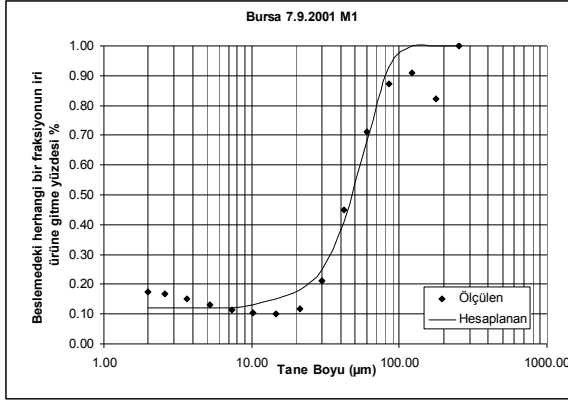


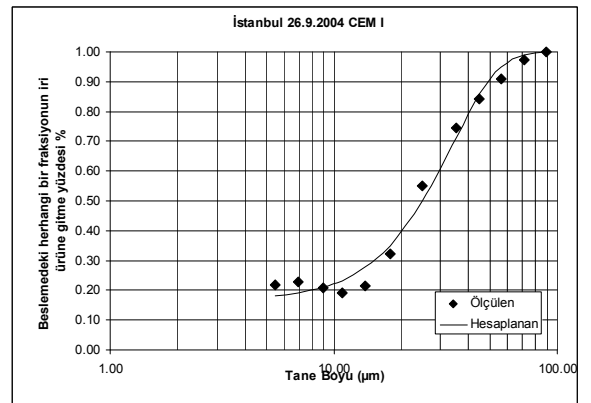
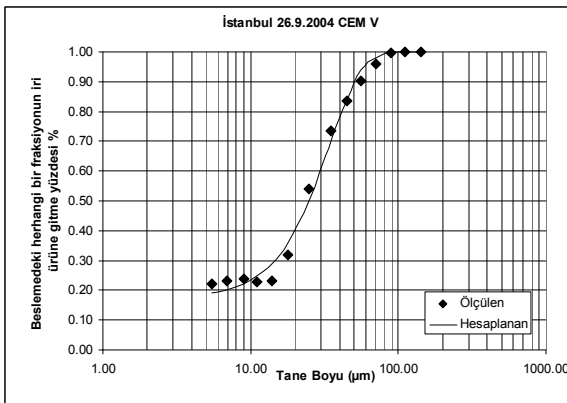
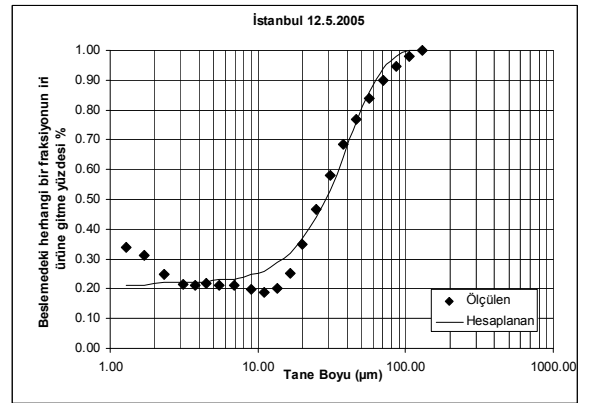
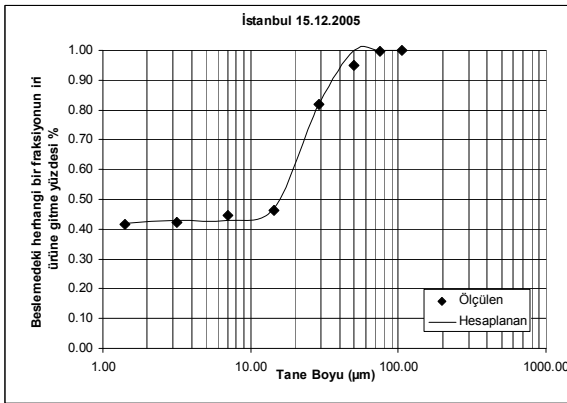
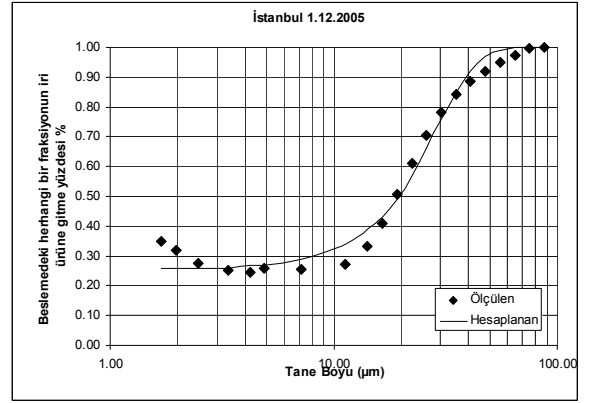
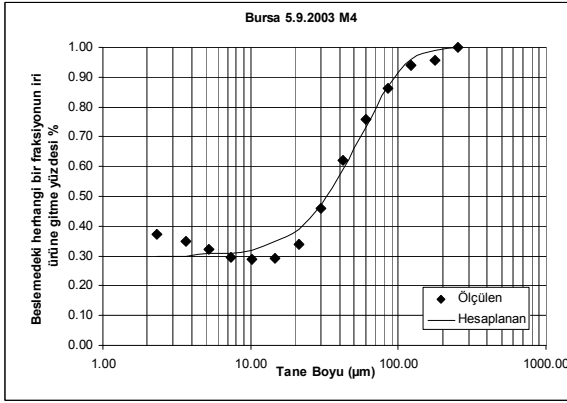
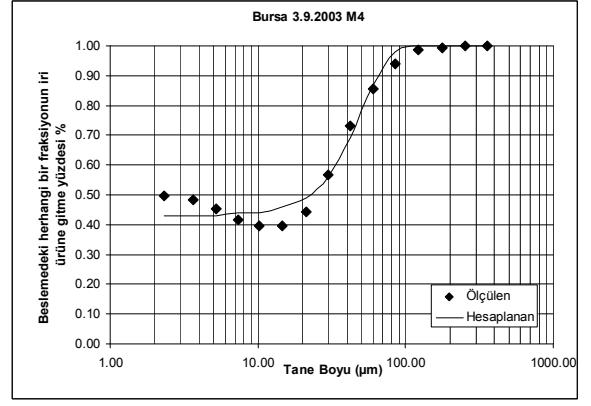
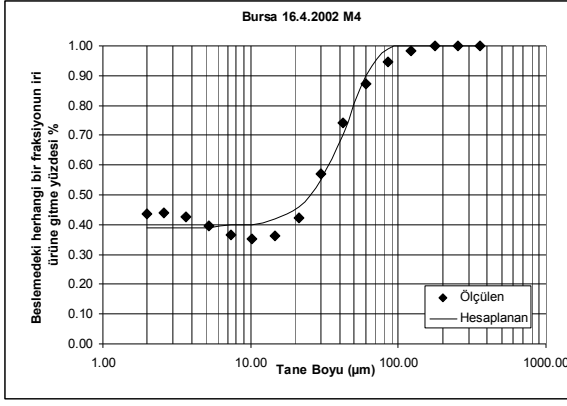
EK-3

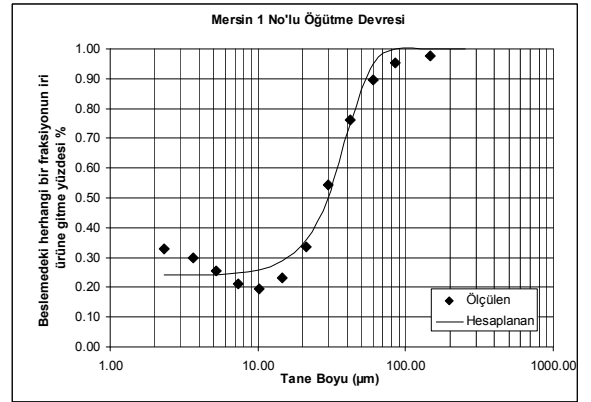
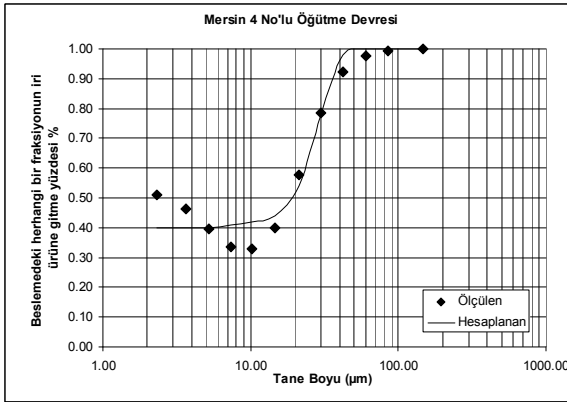
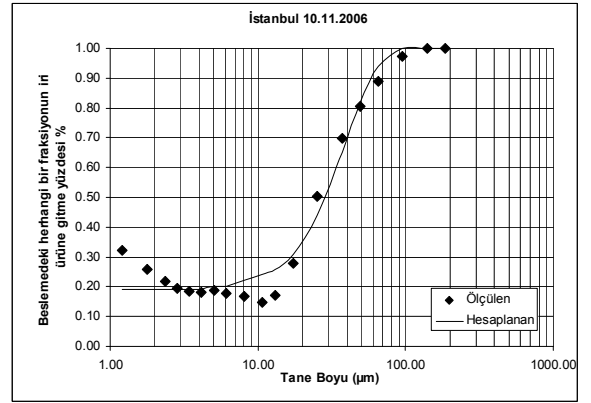
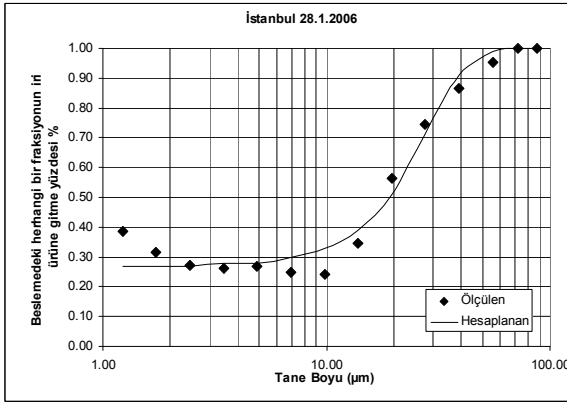
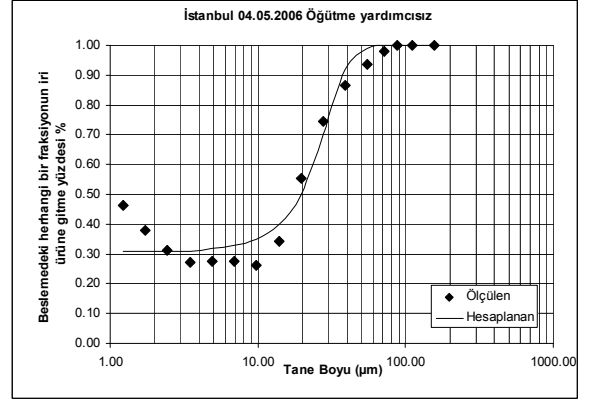
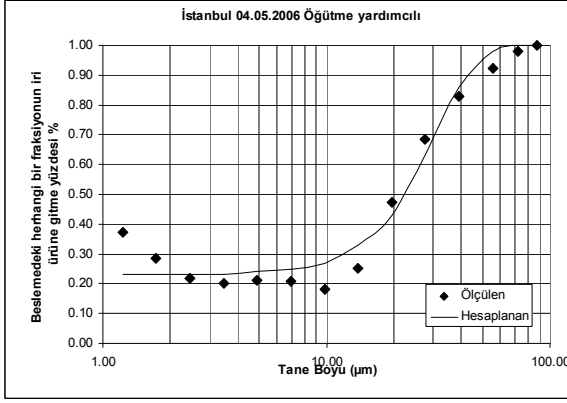
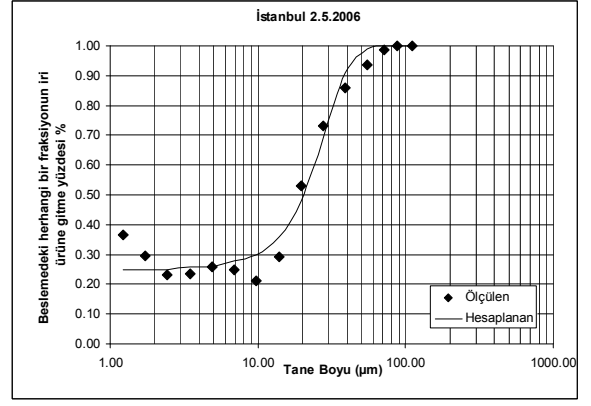
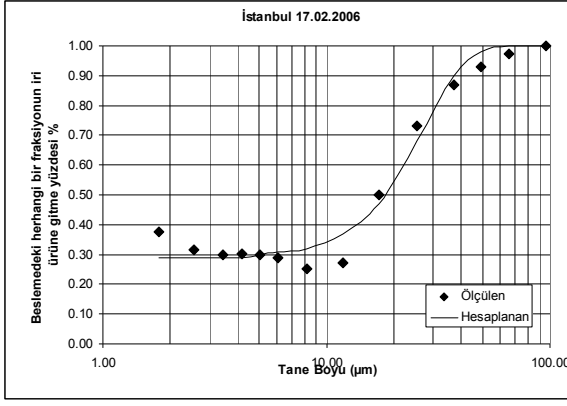
EK 3. MOLERUS YAKLAŞIMININ ENDÜSTRİYEL VERİLERLE OLAN UYUMUNUN İNCELENMESİ

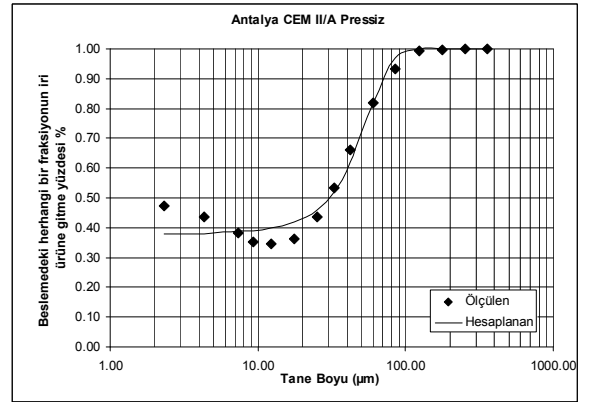
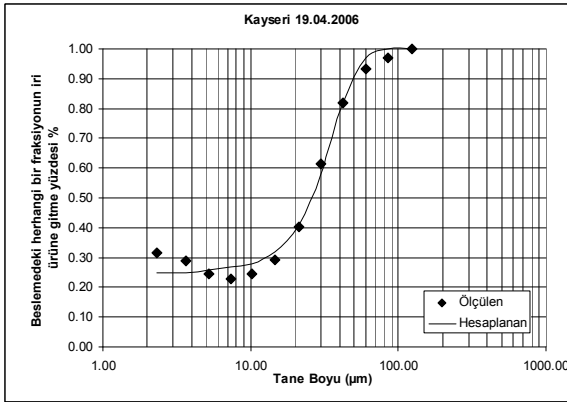
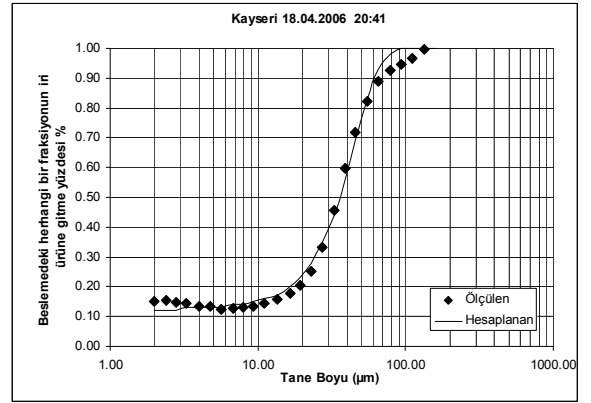
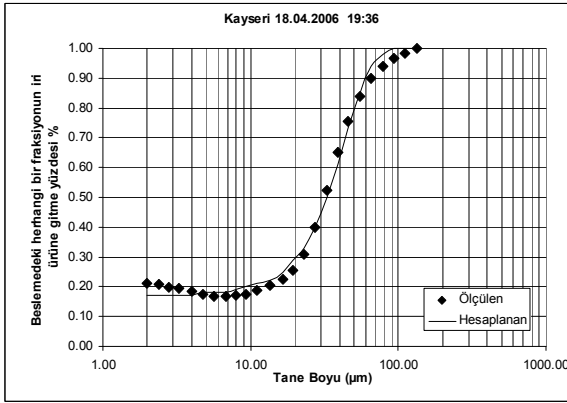
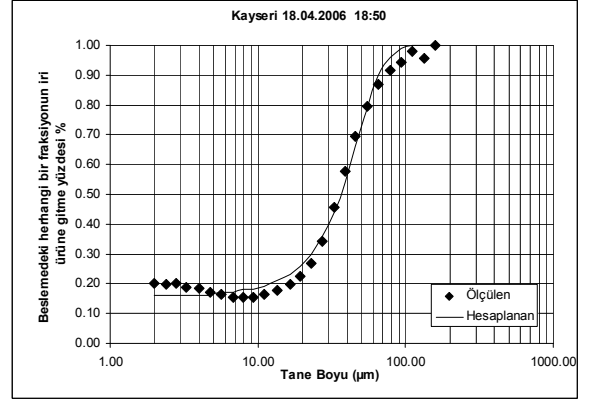
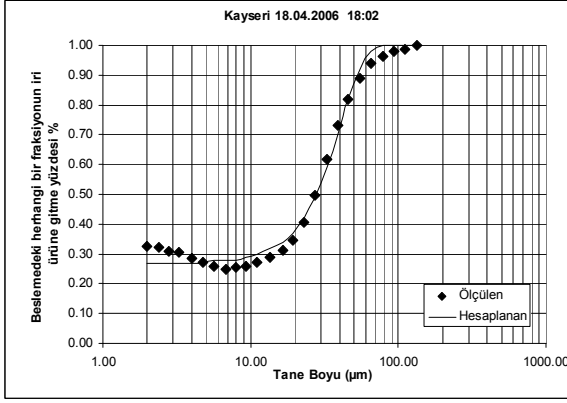
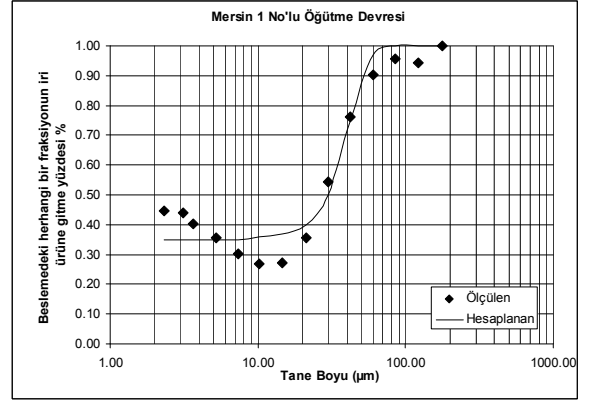
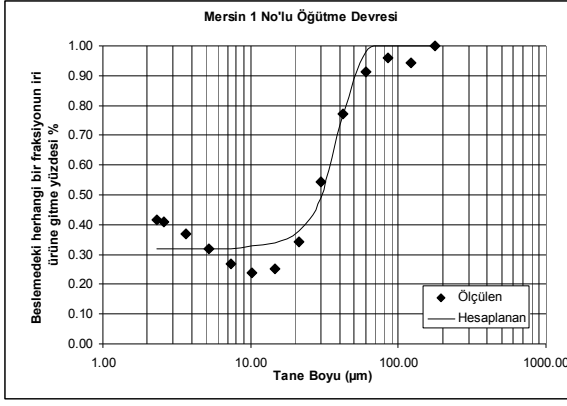


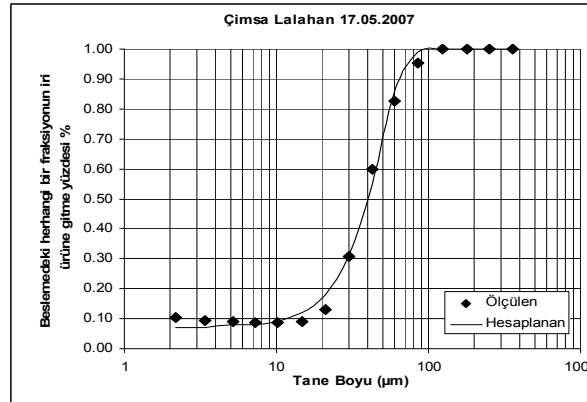
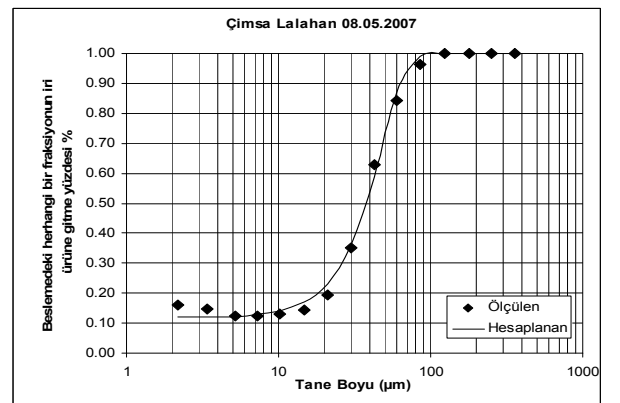
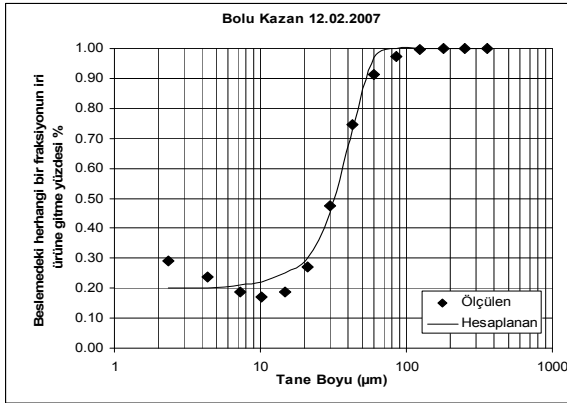
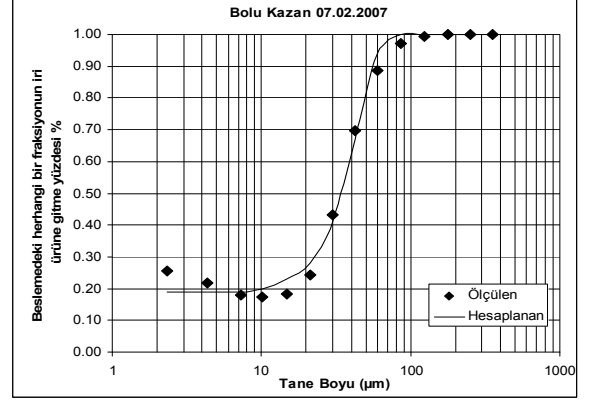
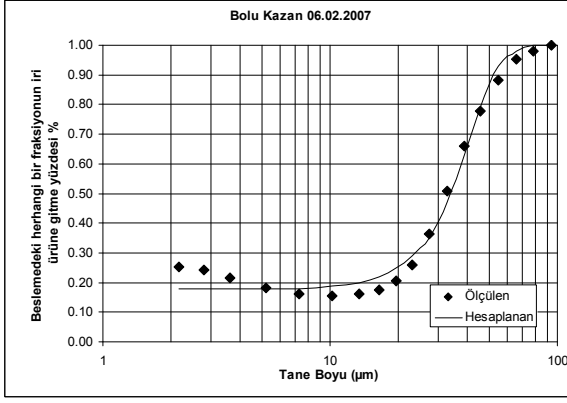
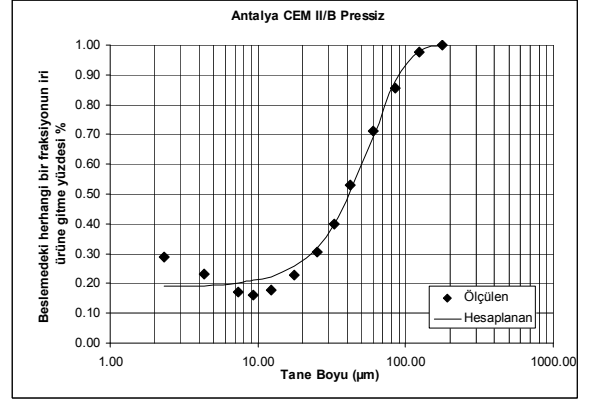
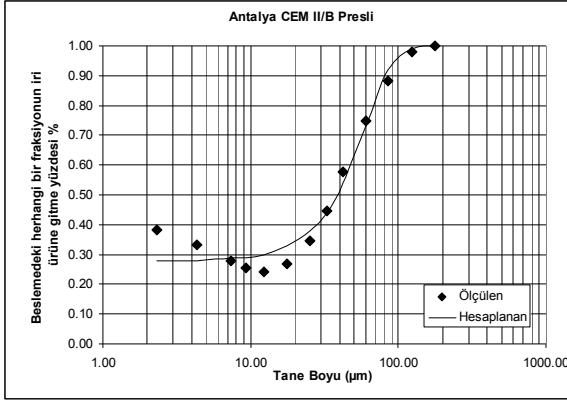






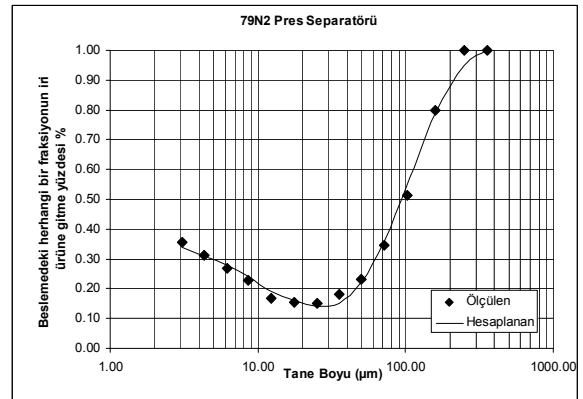
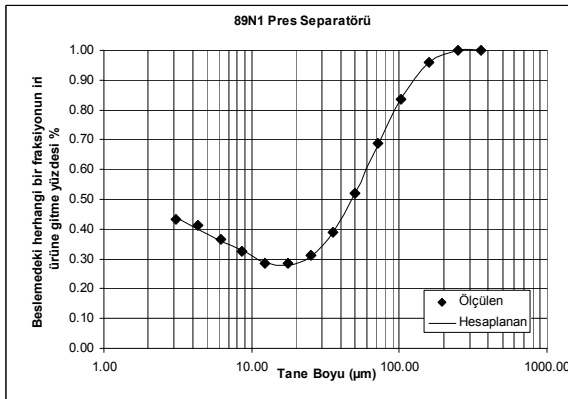
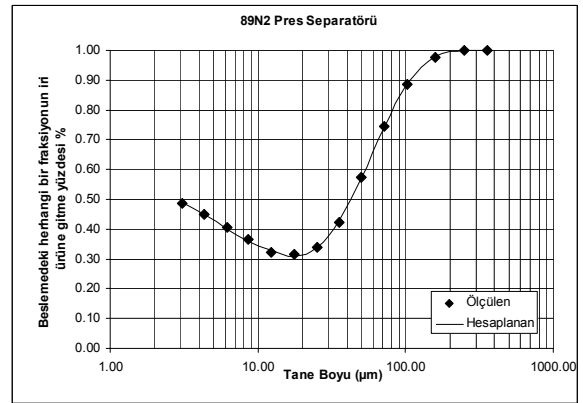
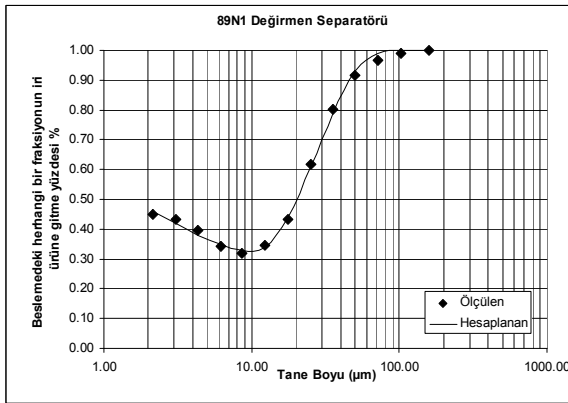
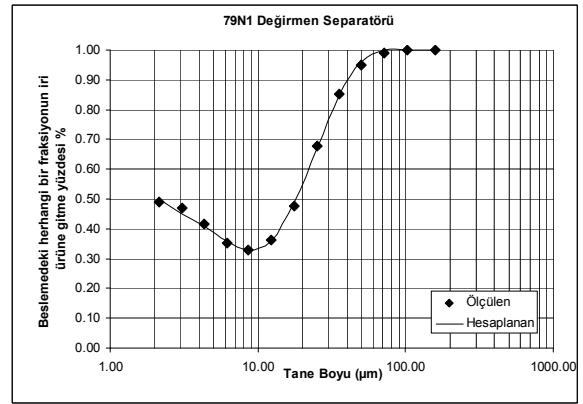
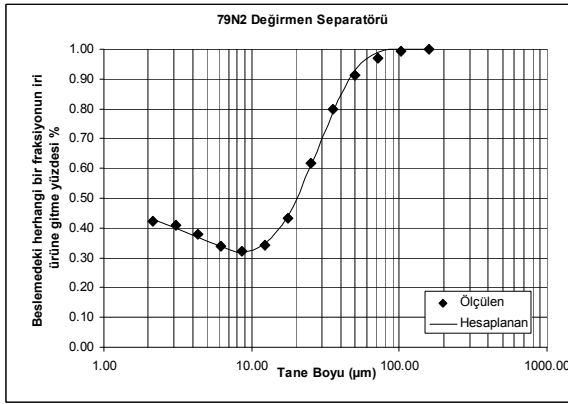
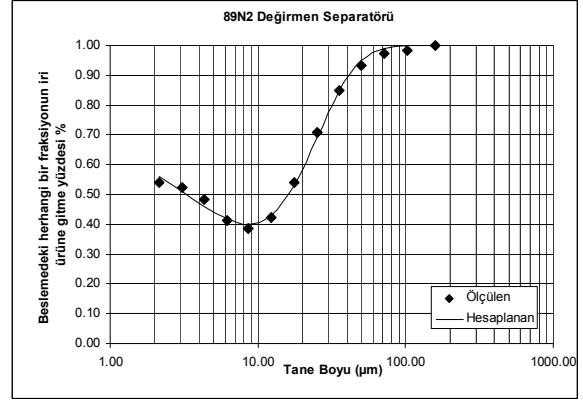
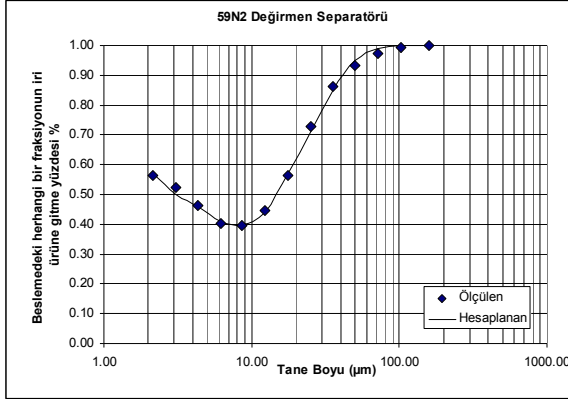


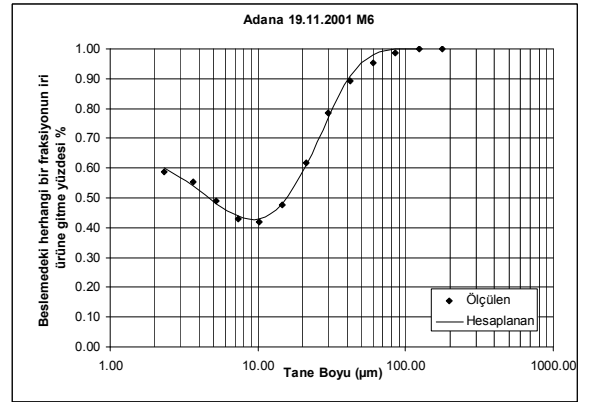
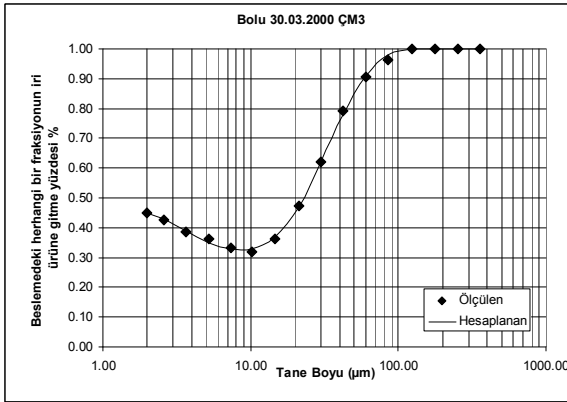
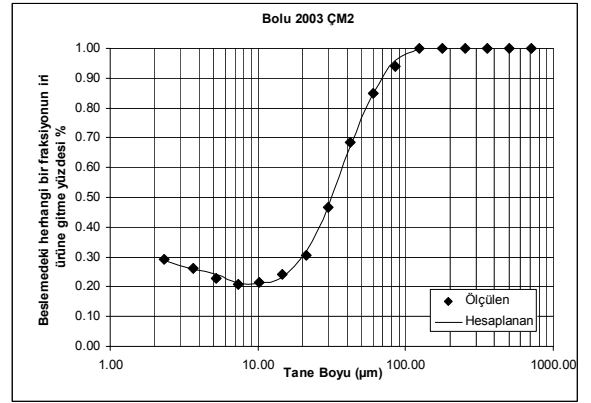
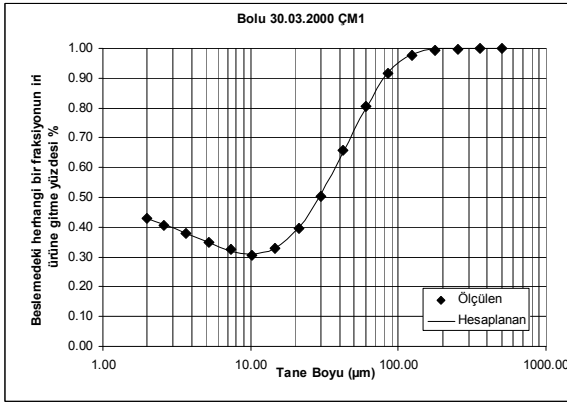
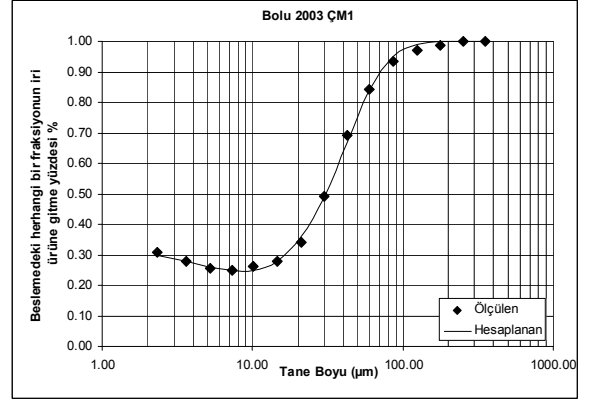
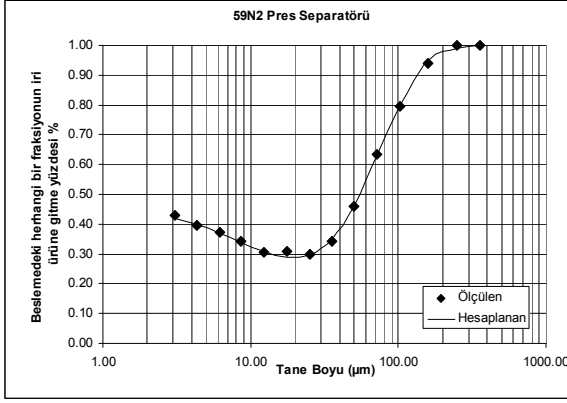
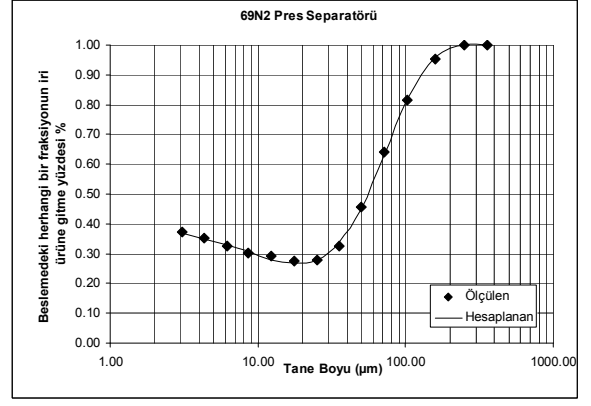
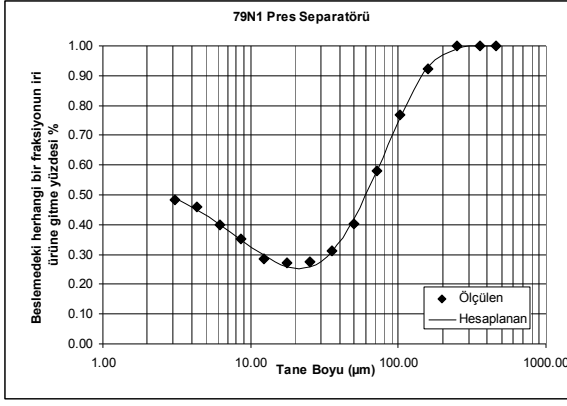


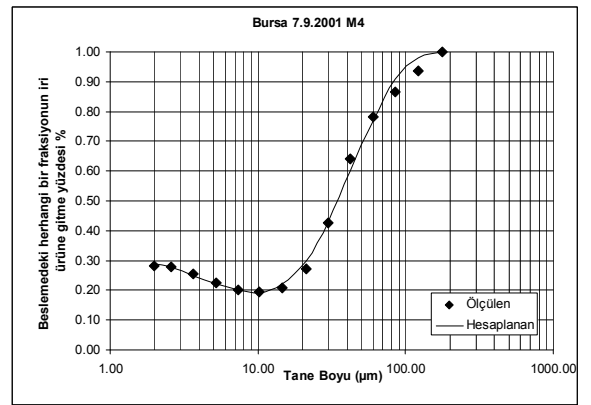
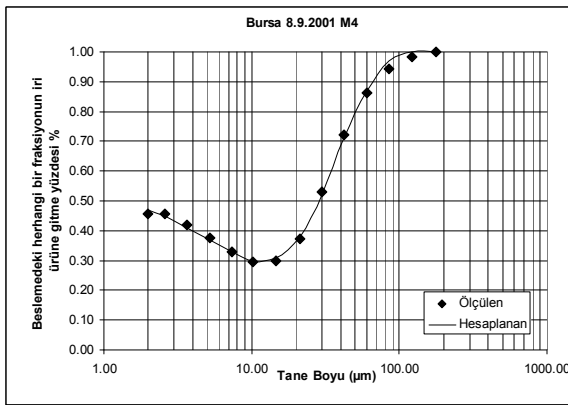
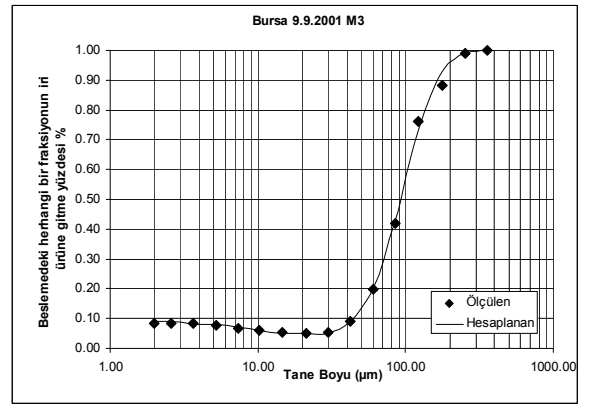
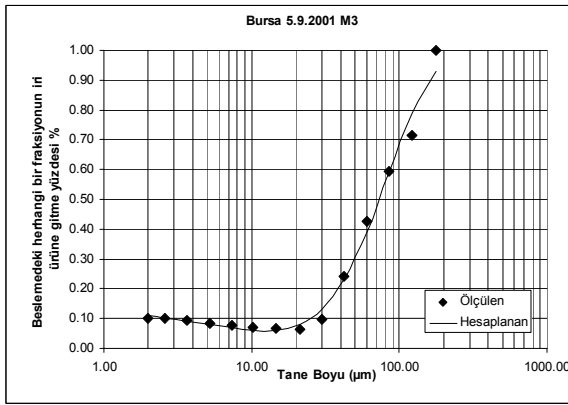
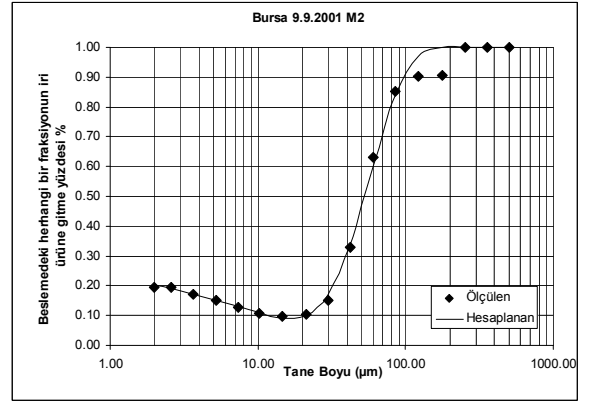
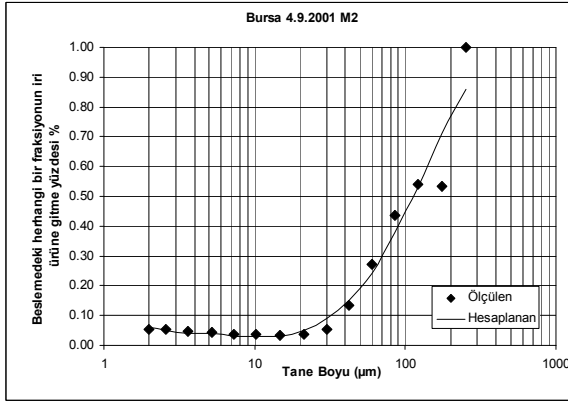
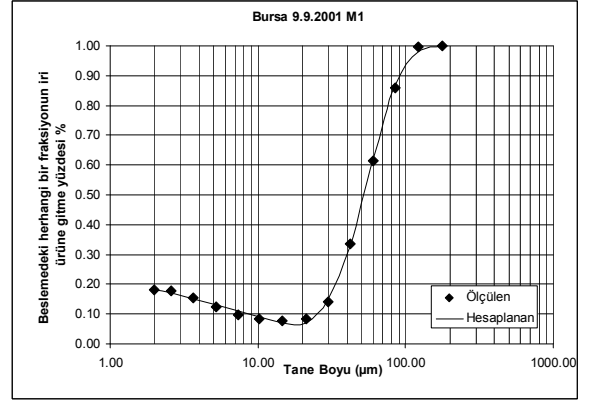
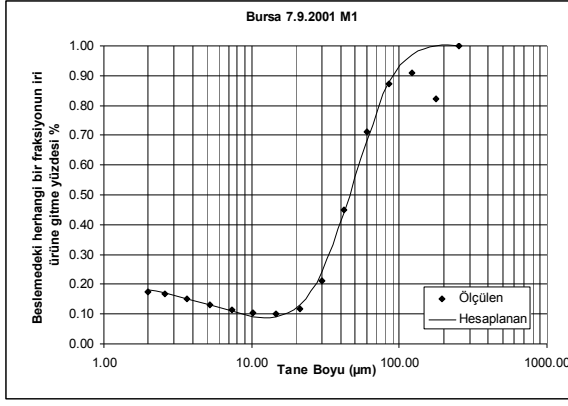


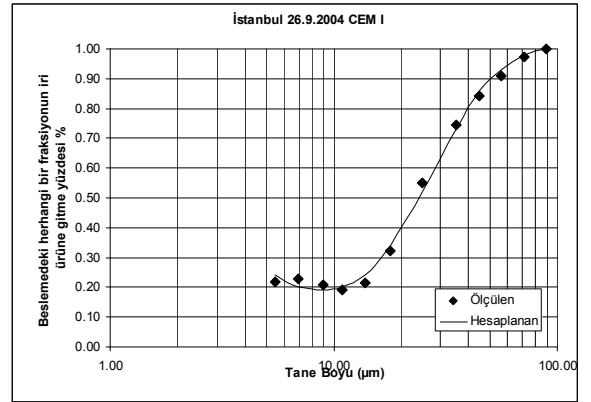
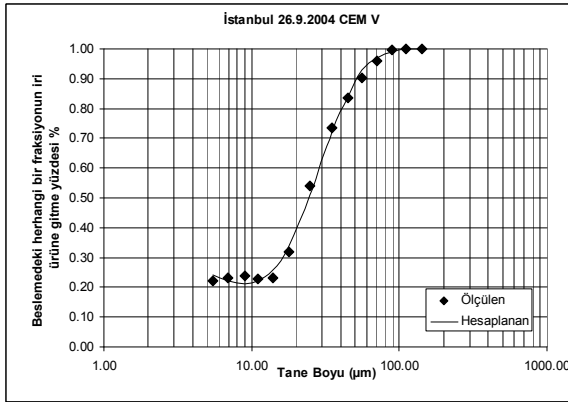
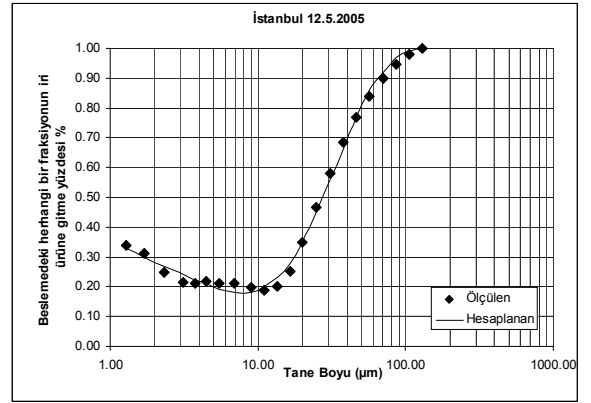
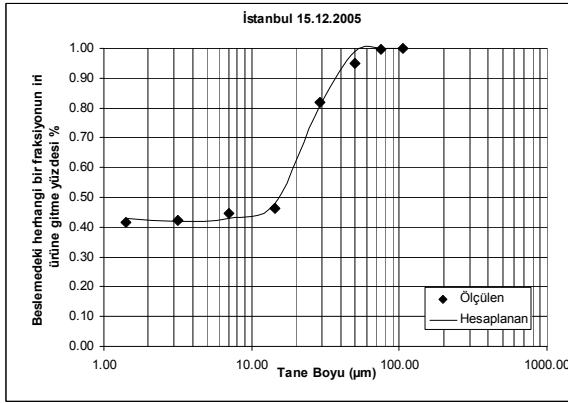
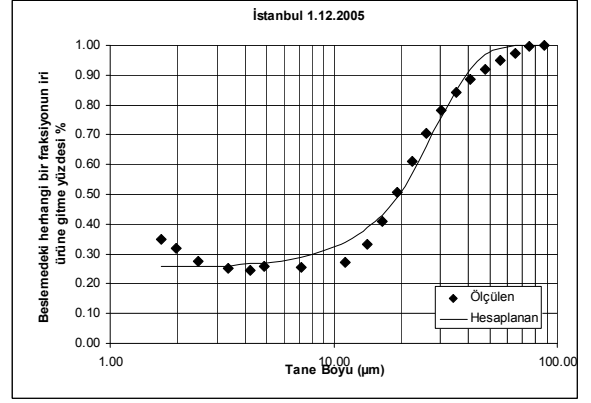
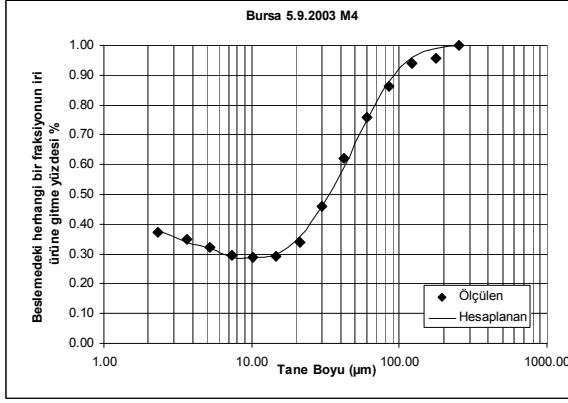
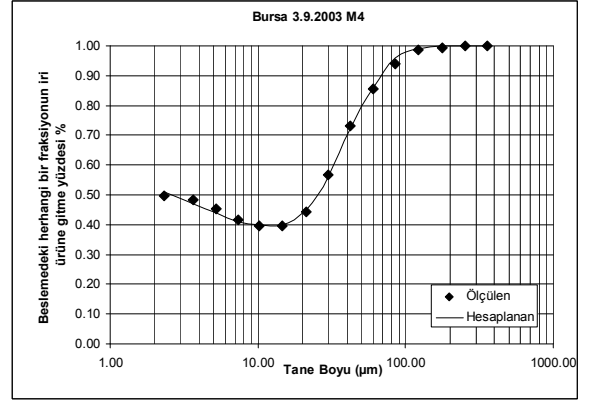
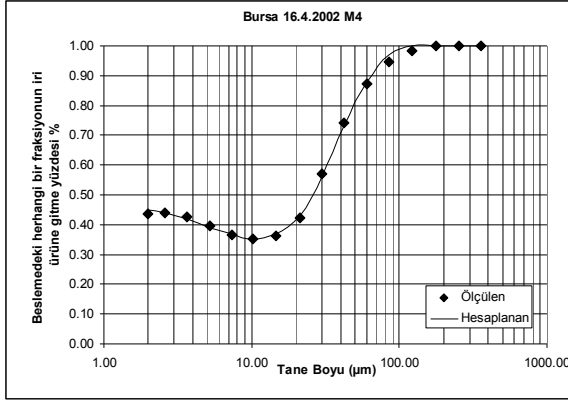
EK-4

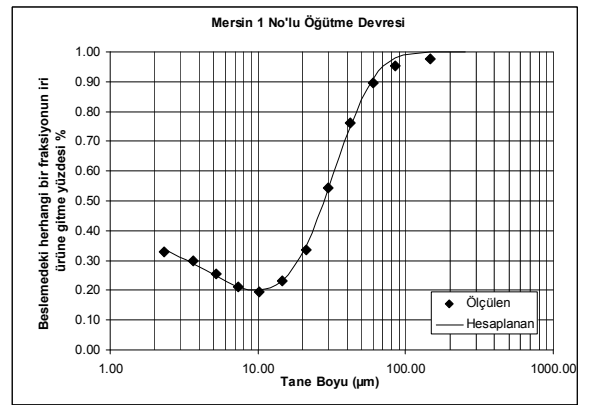
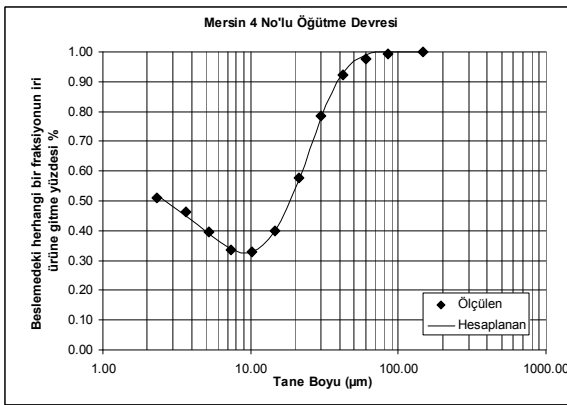
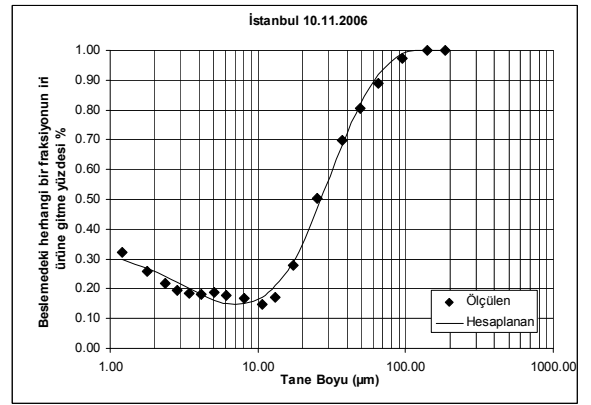
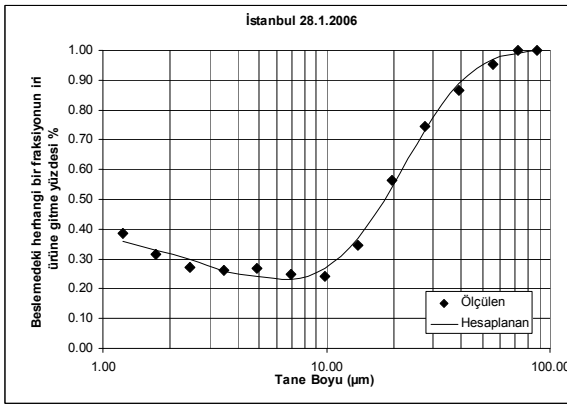
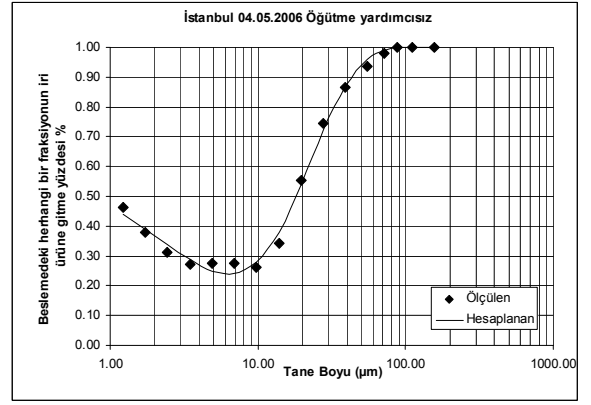
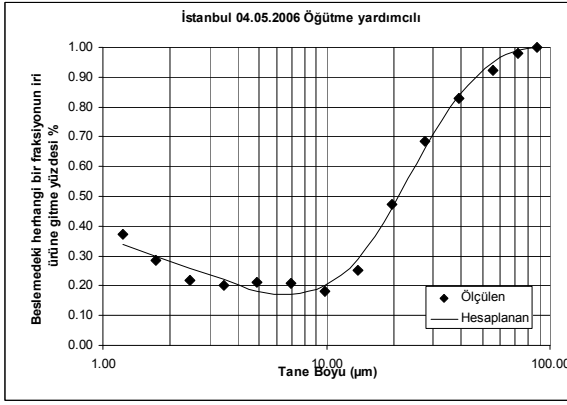
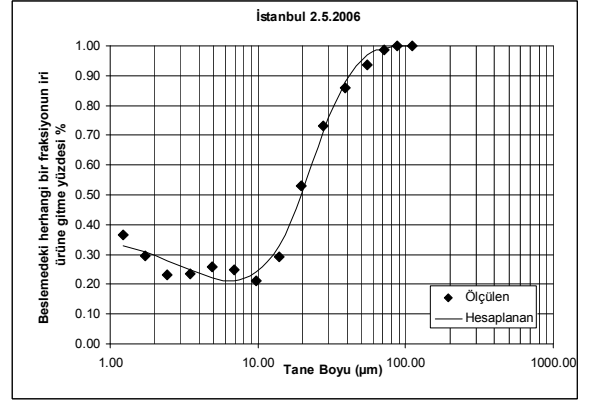
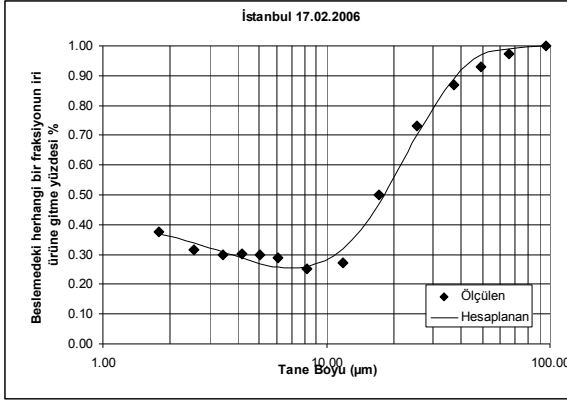
EK 4. WHİTEN YAKLAŞIMININ ENDÜSTRİYEL VERİLERLE OLAN UYUMUNUN İNCELENMESİ

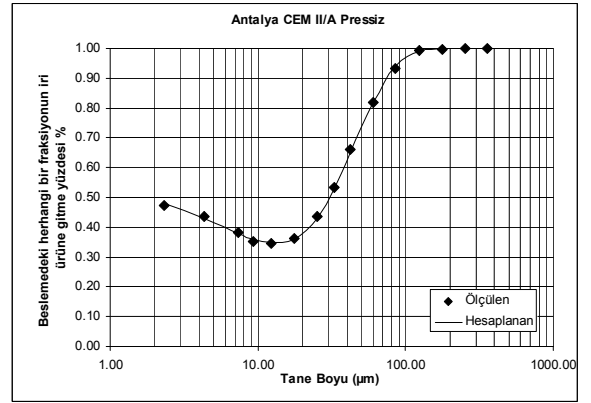
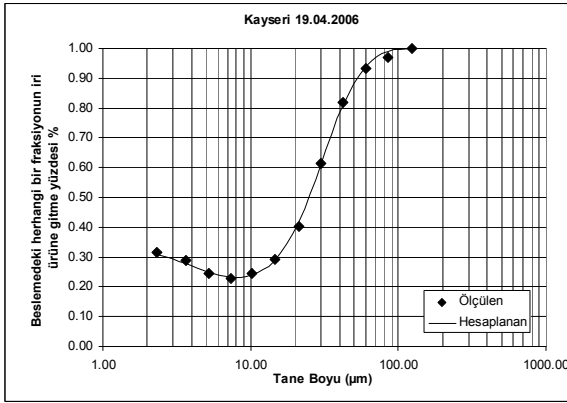
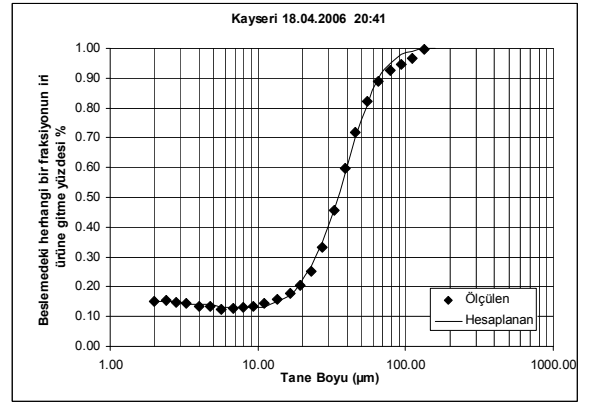
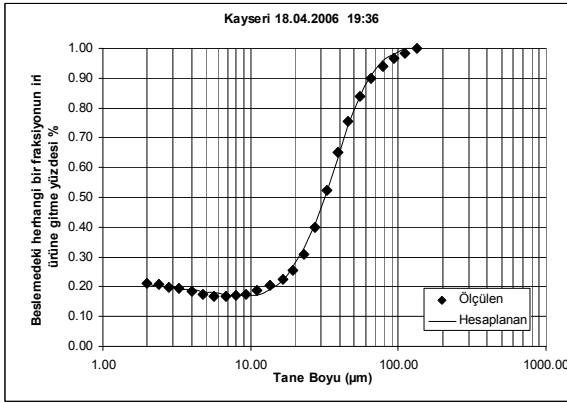
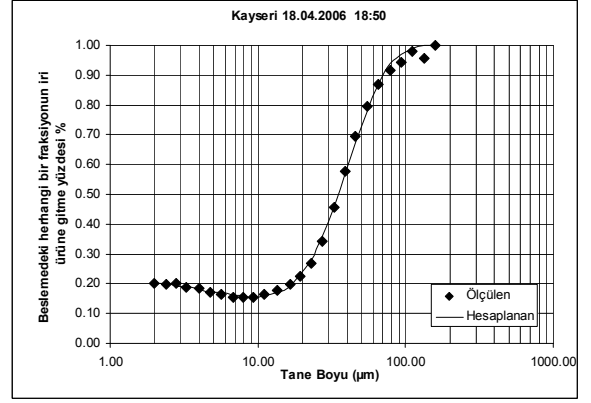
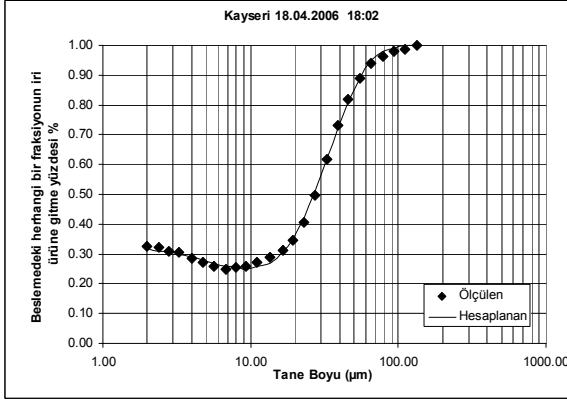
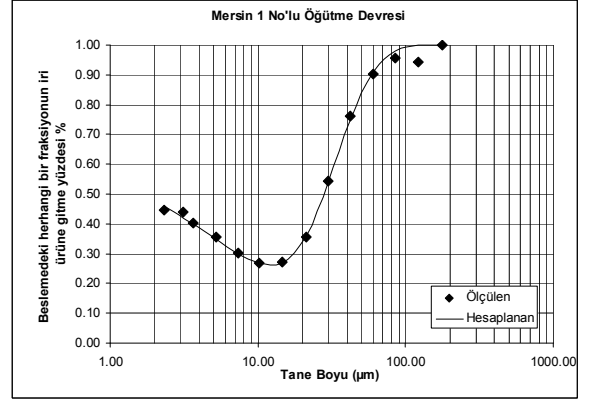
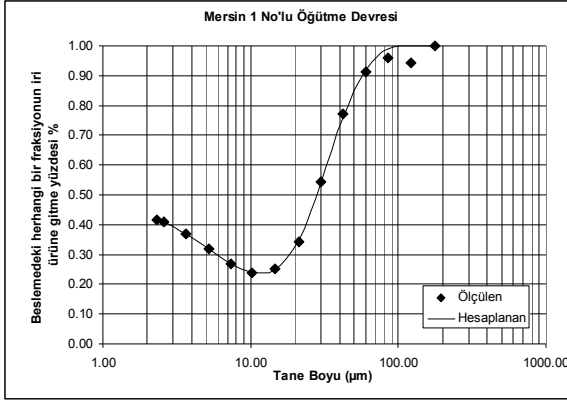


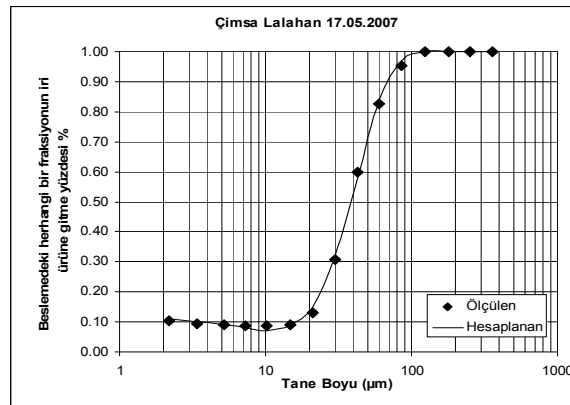
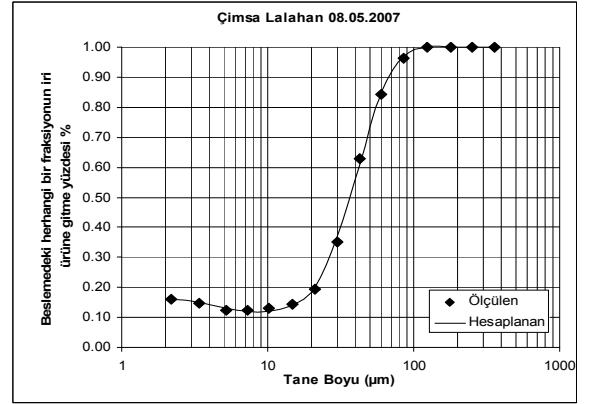
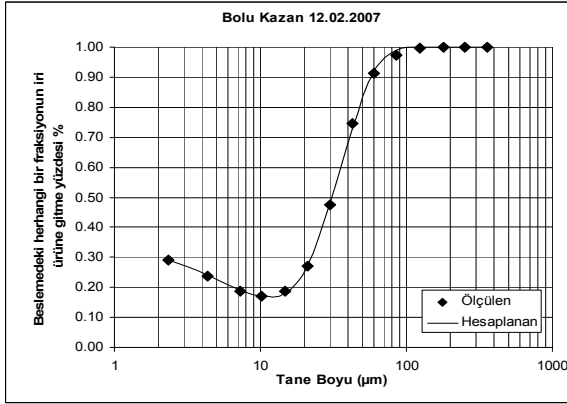
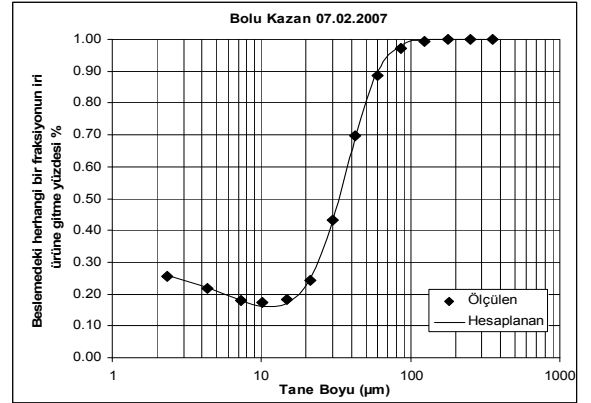
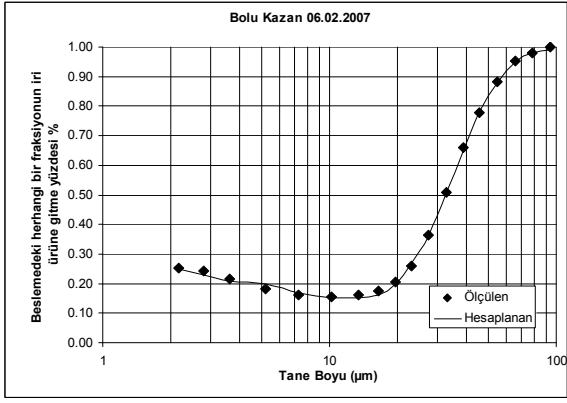
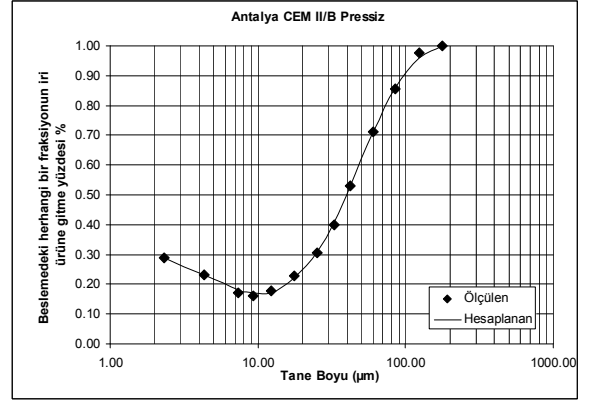
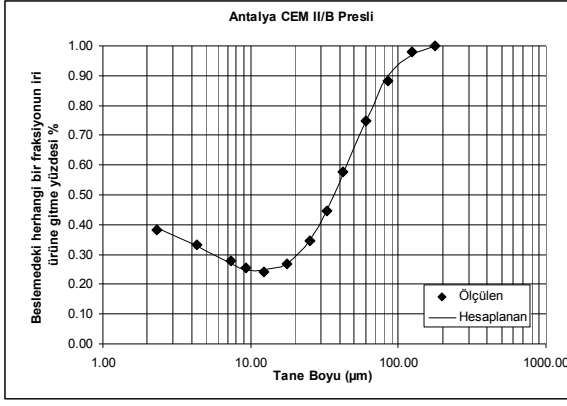






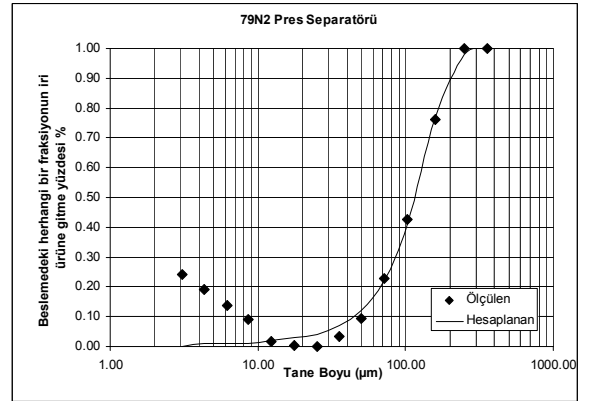
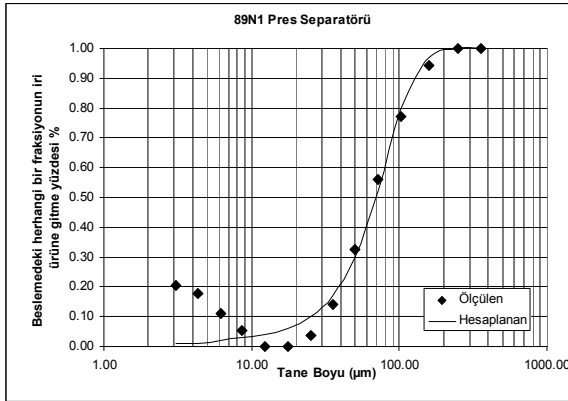
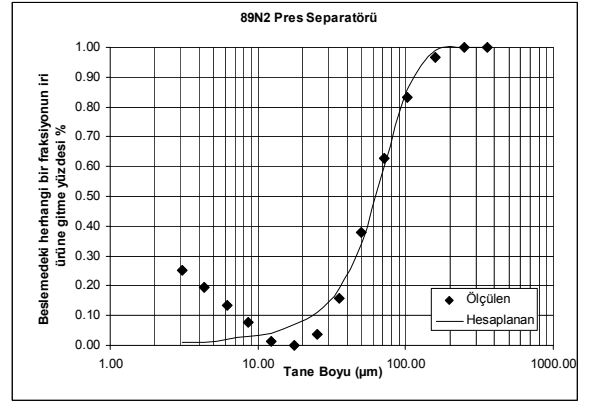
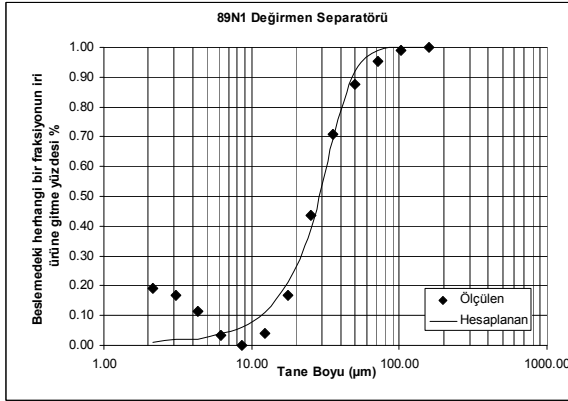
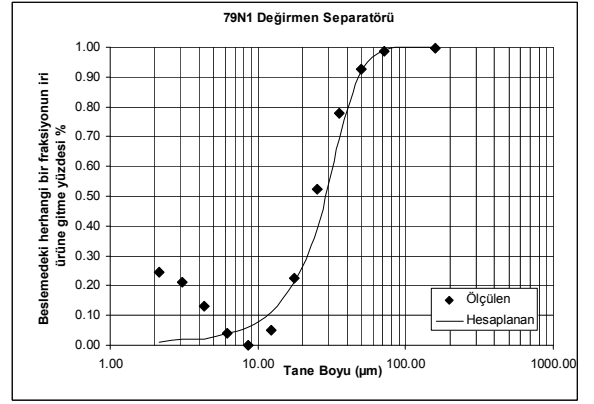
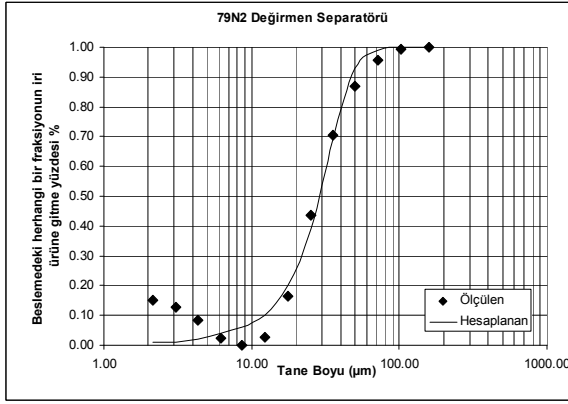
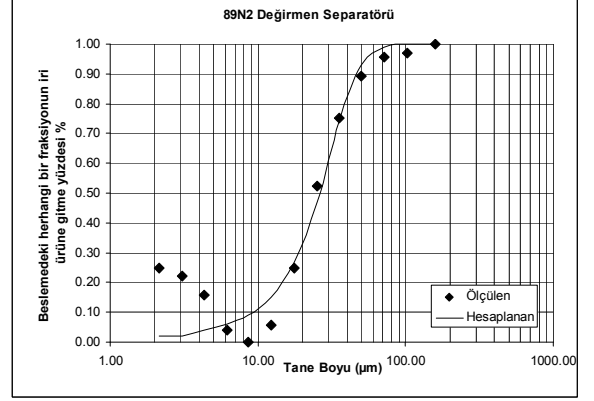
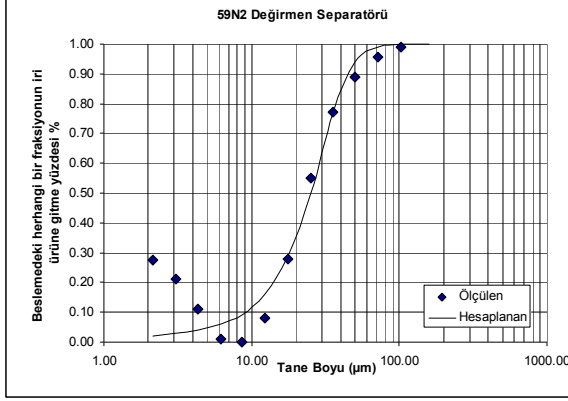


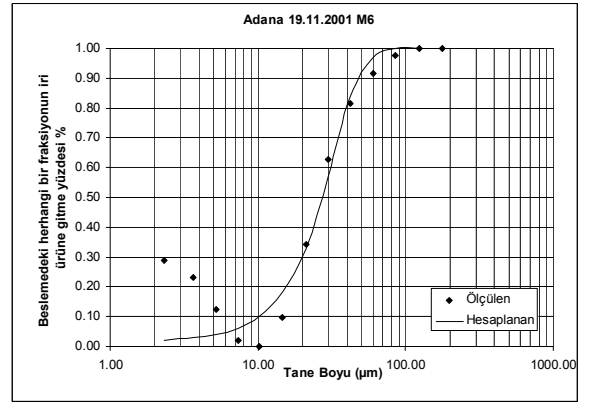
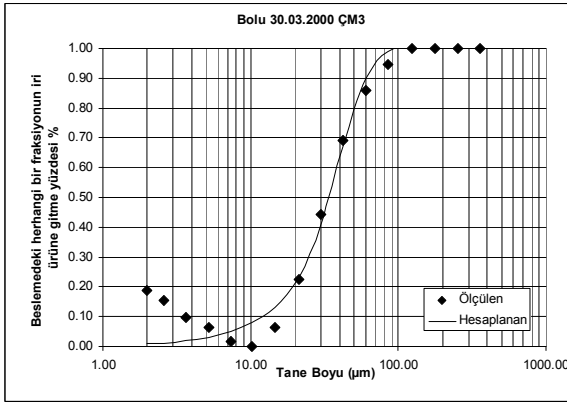
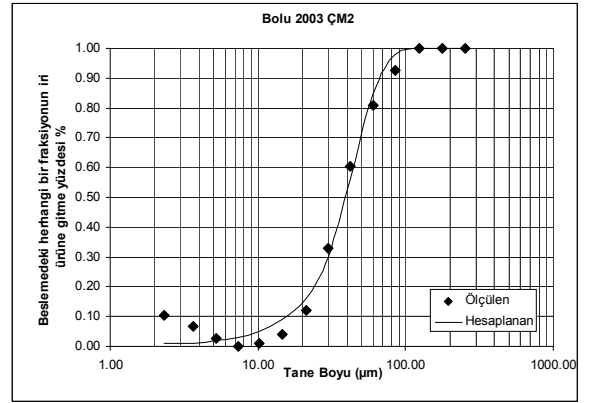
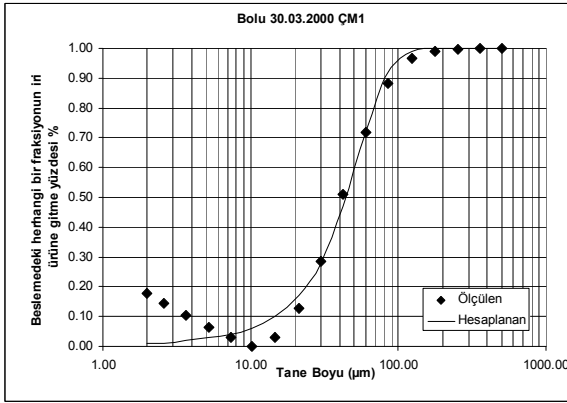
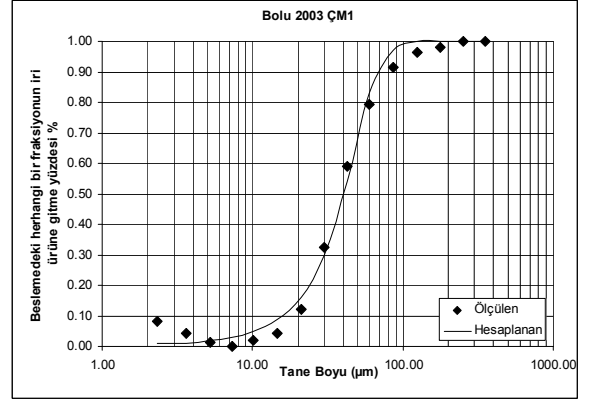
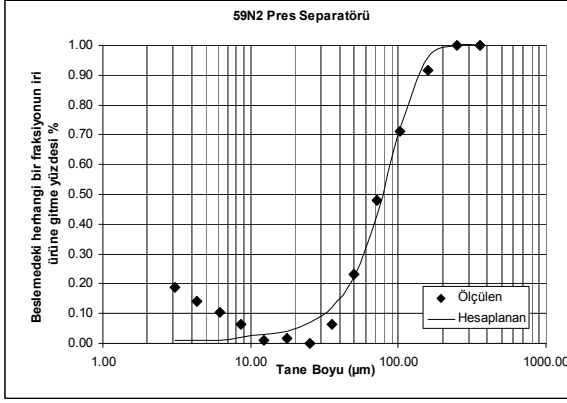
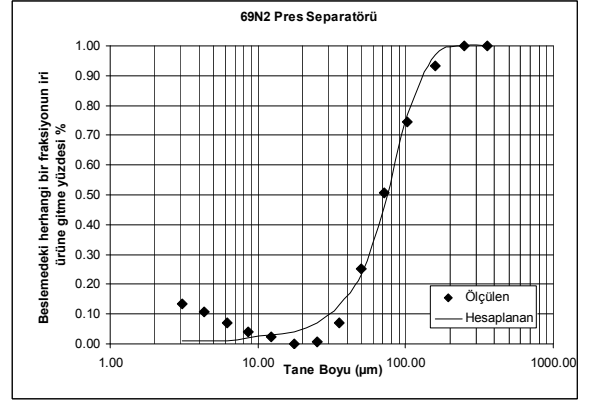
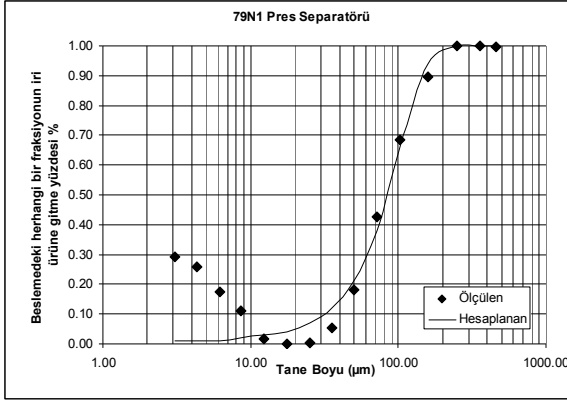


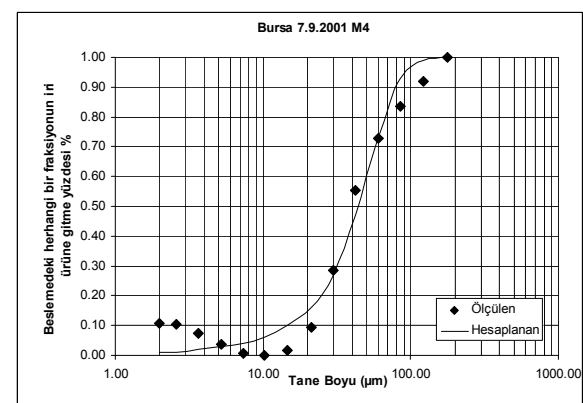
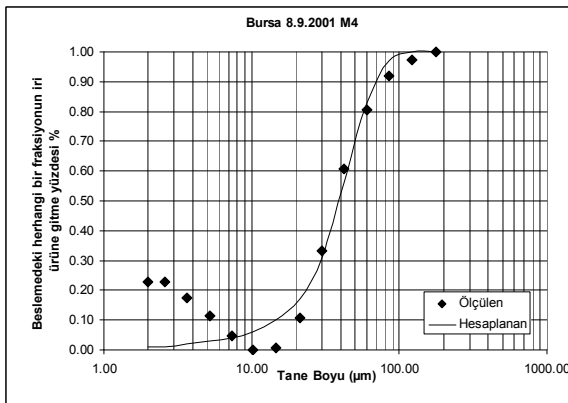
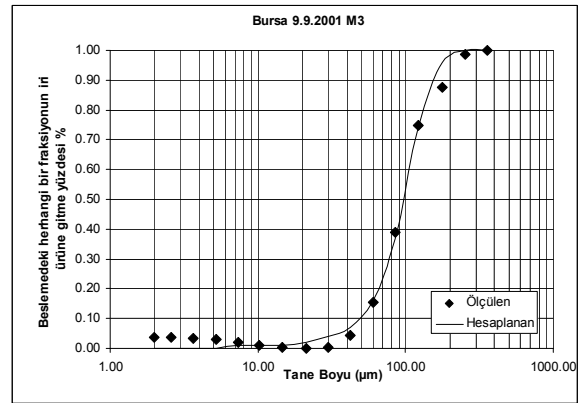
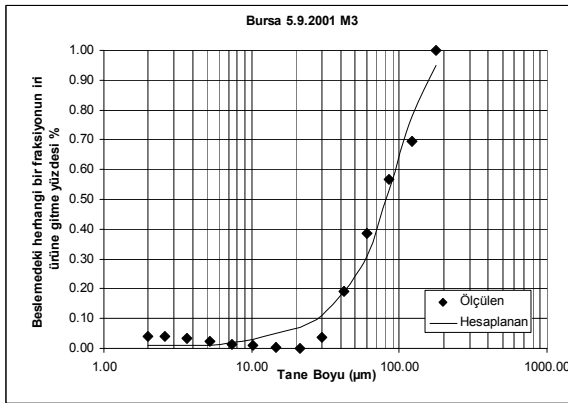
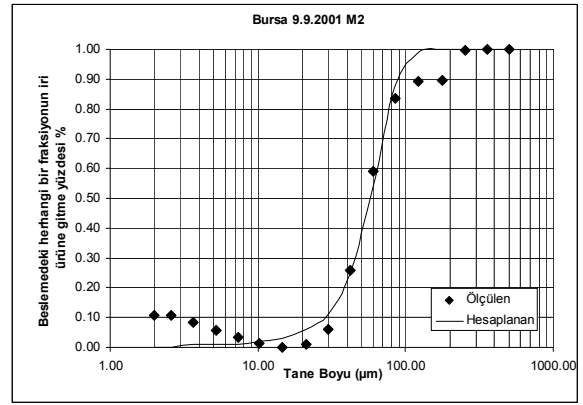
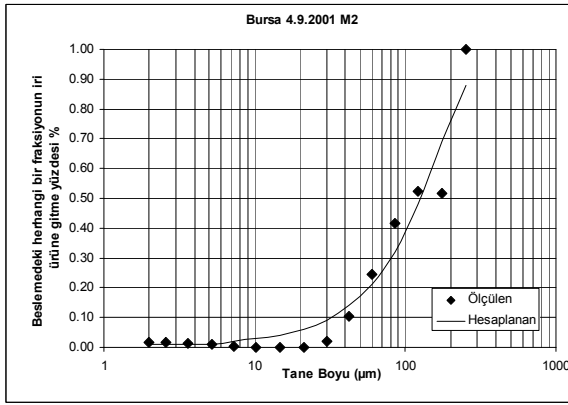
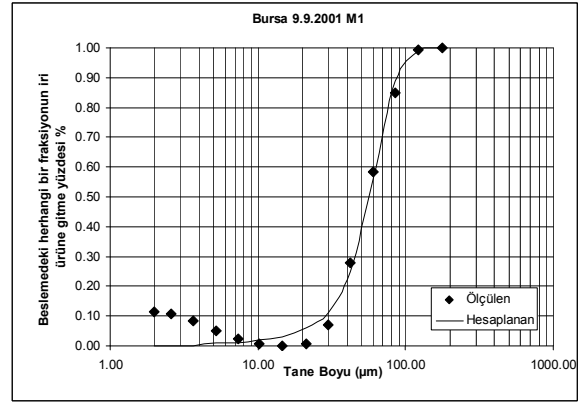
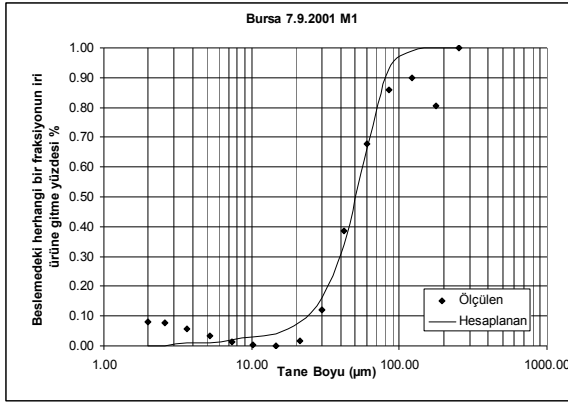


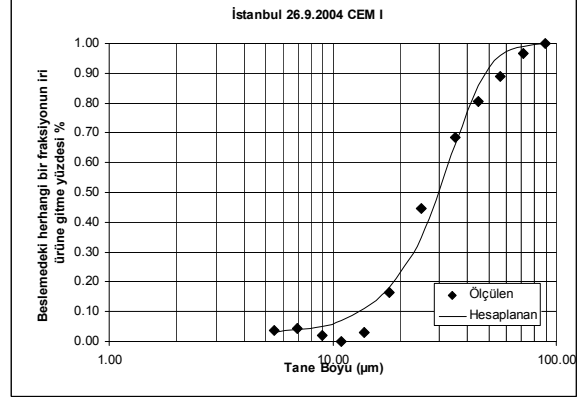
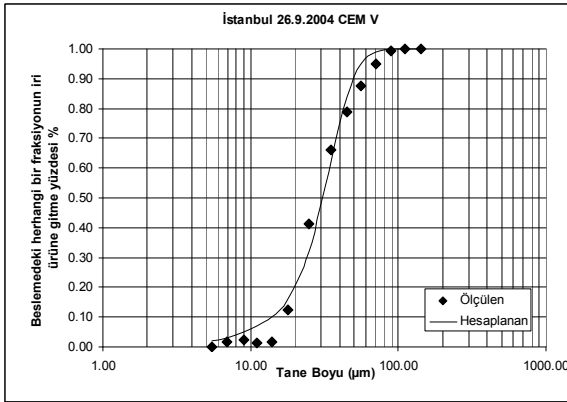
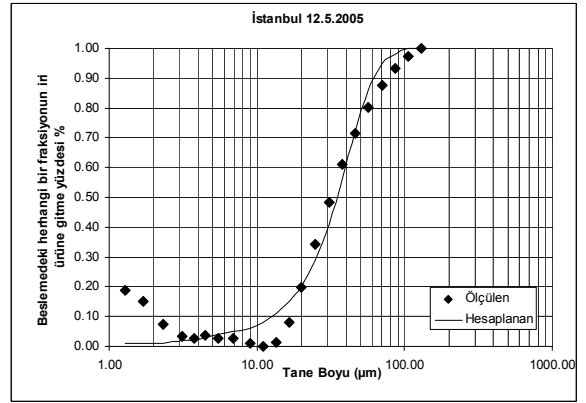
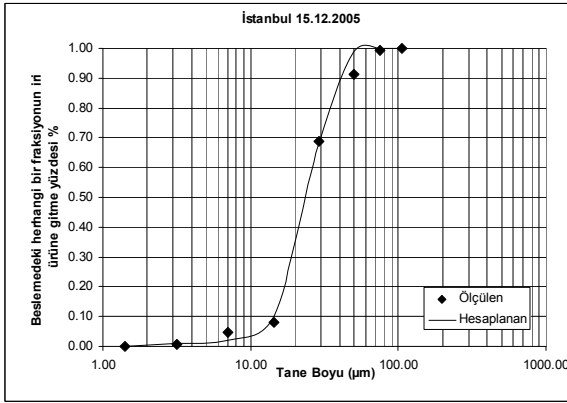
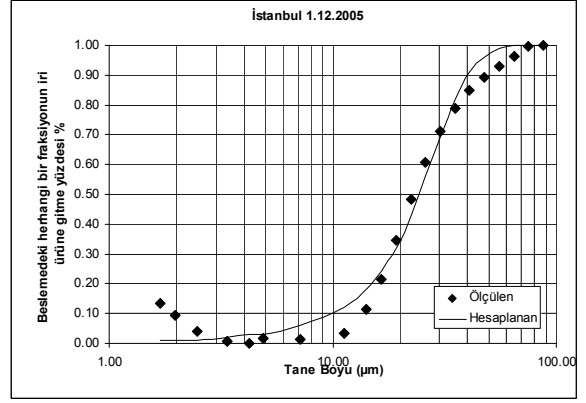
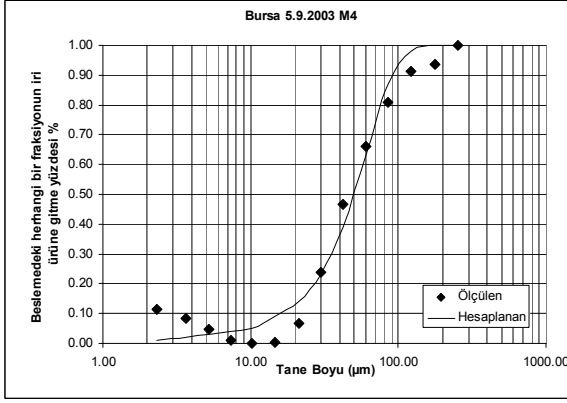
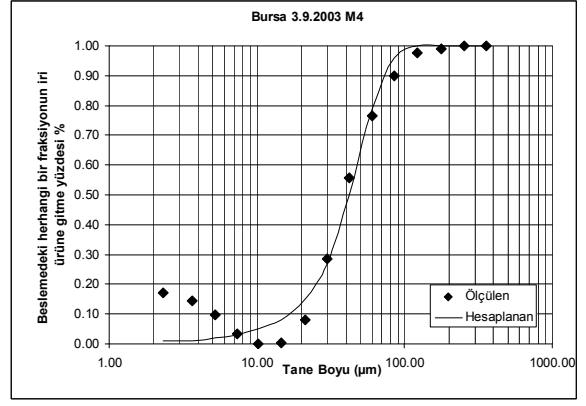
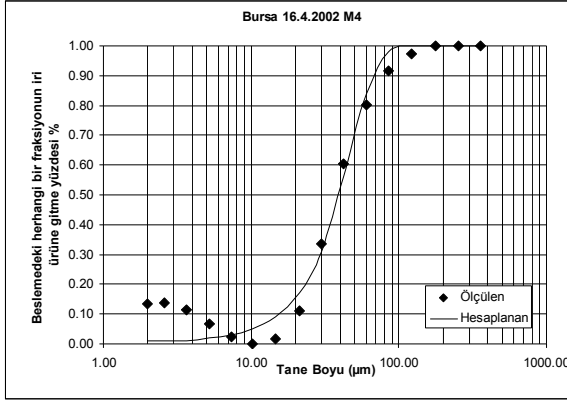
EK-5

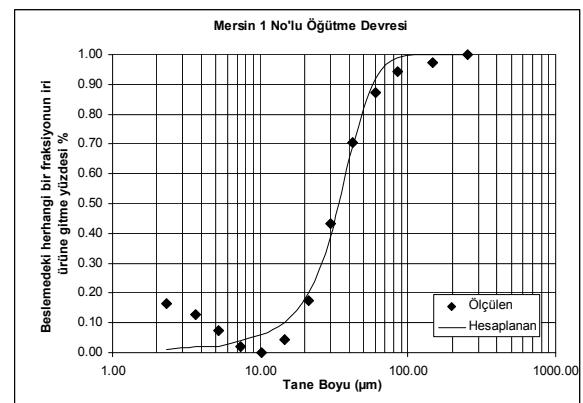
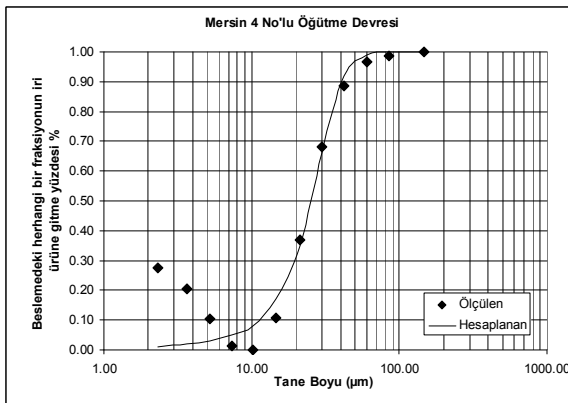
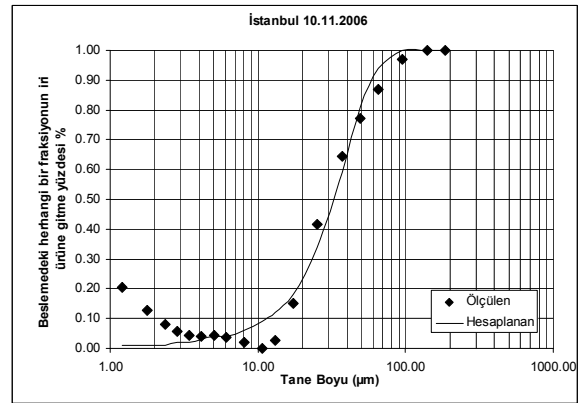
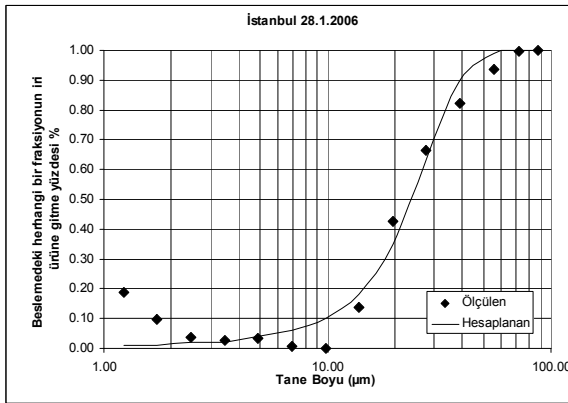
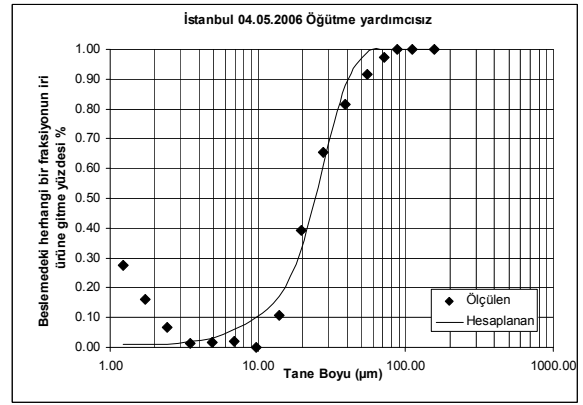
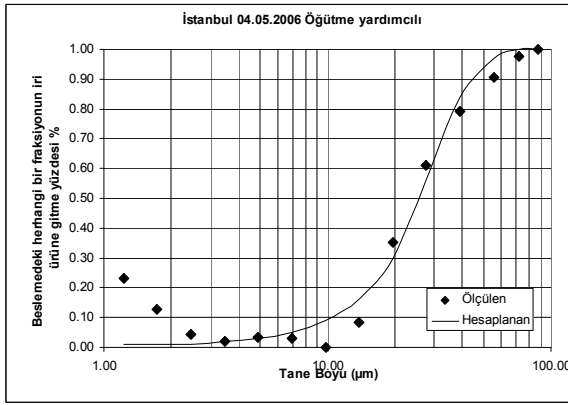
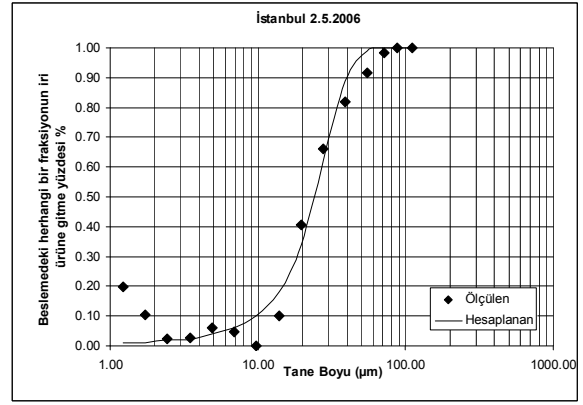
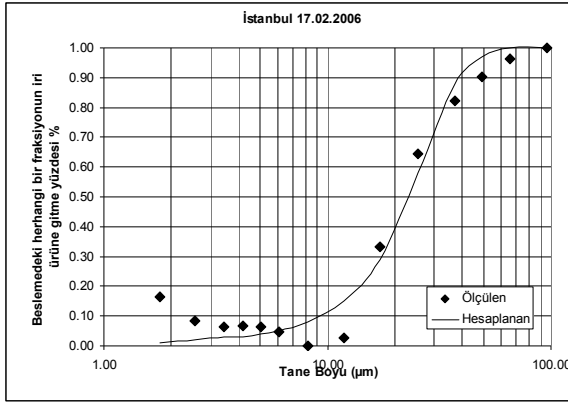
EK 5. LYNCH & RAO YAKLAŞIMININ ENDÜSTRİYEL VERİLERLE OLAN UYUMUNUN İNCELENMESİ

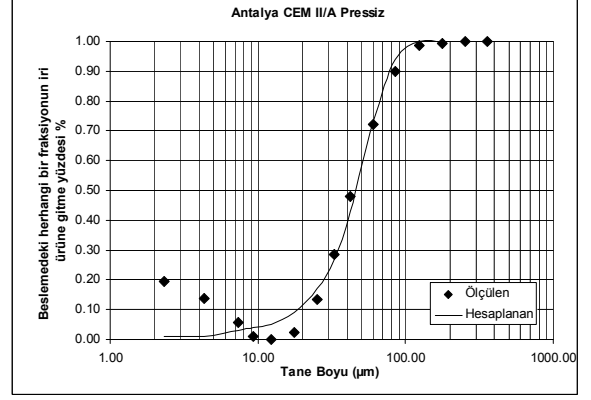
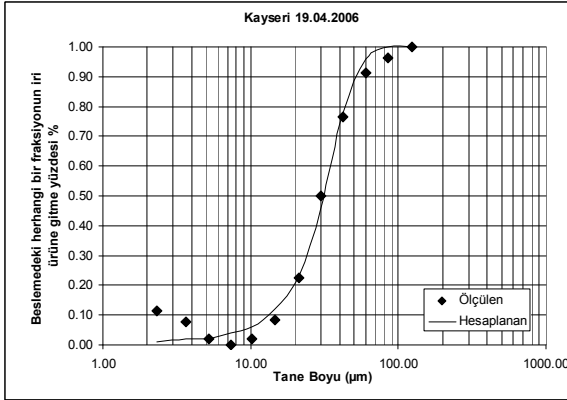
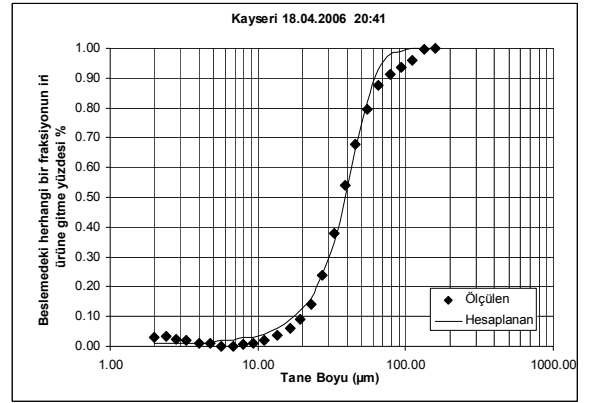
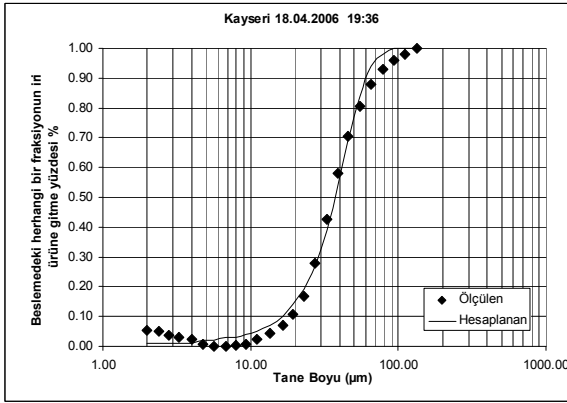
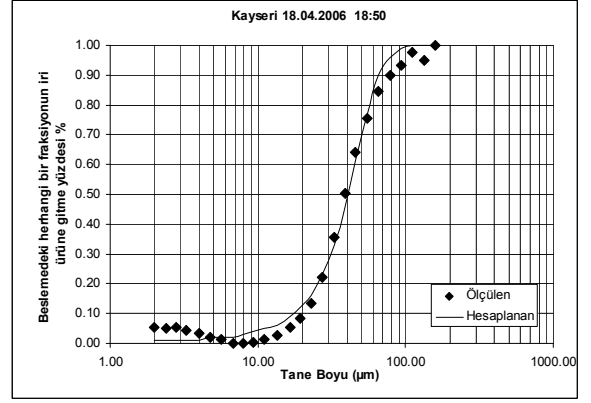
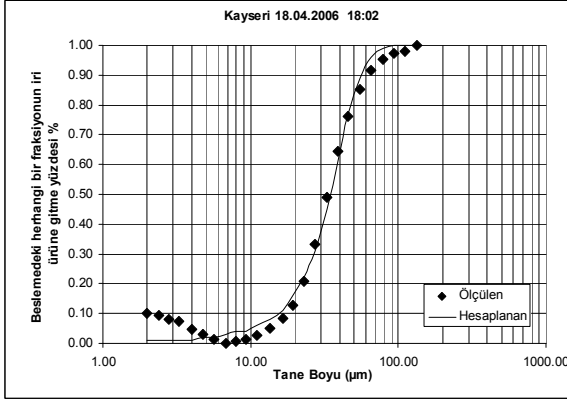
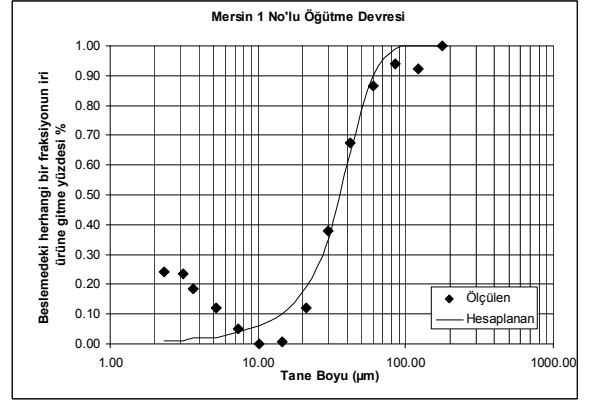
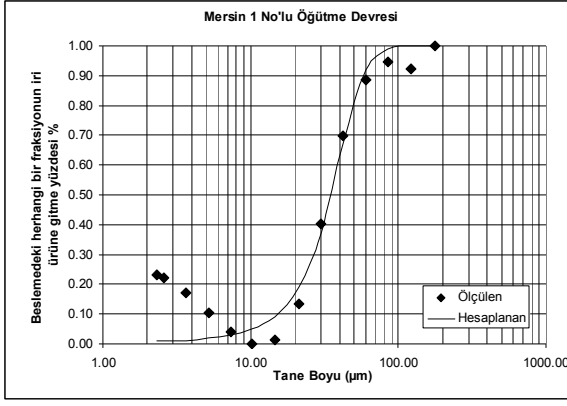


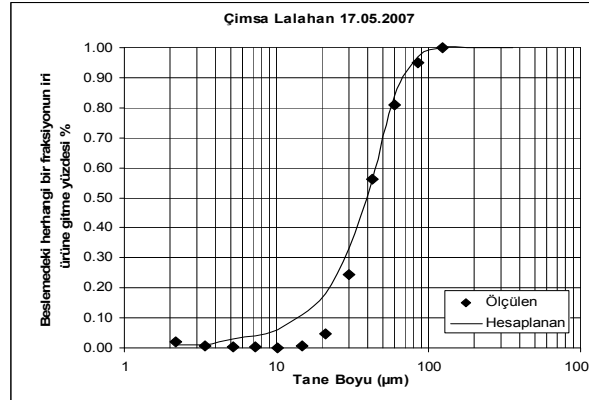
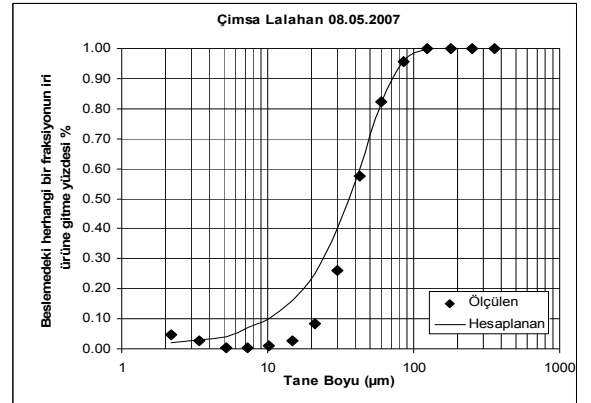
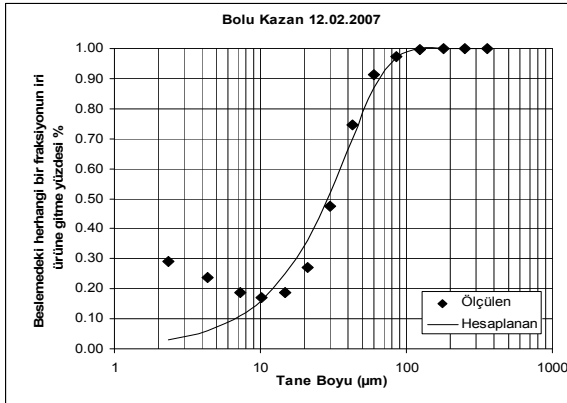
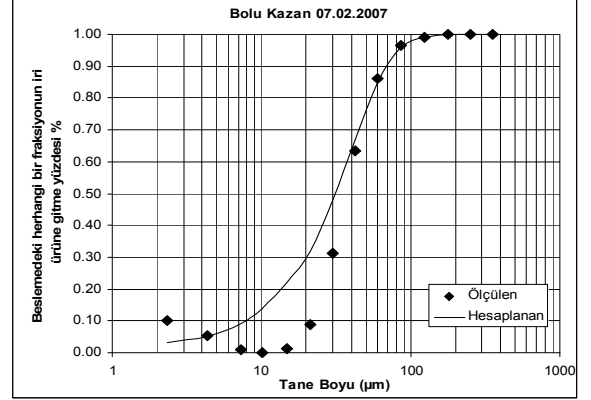
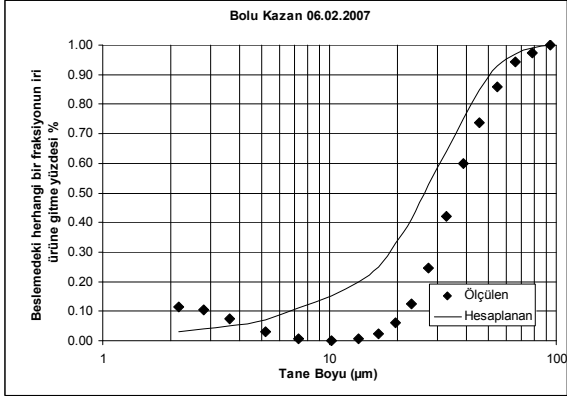
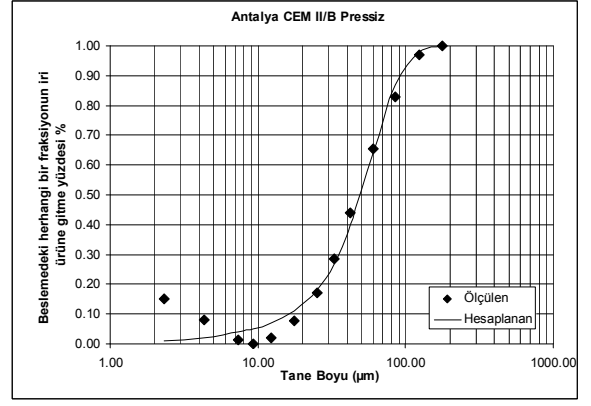
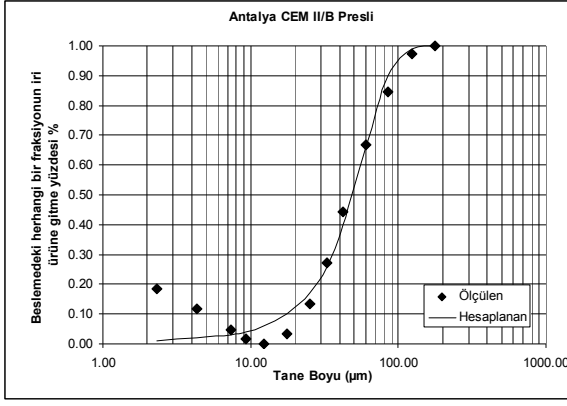






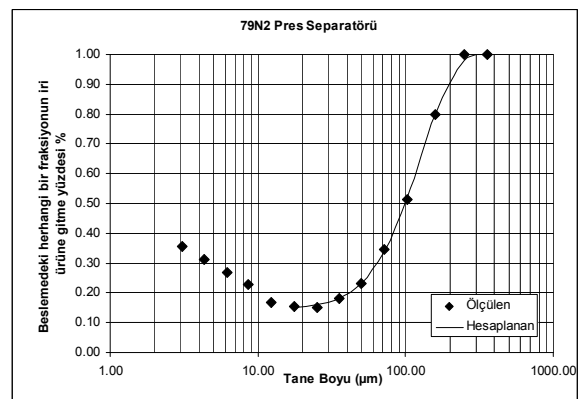
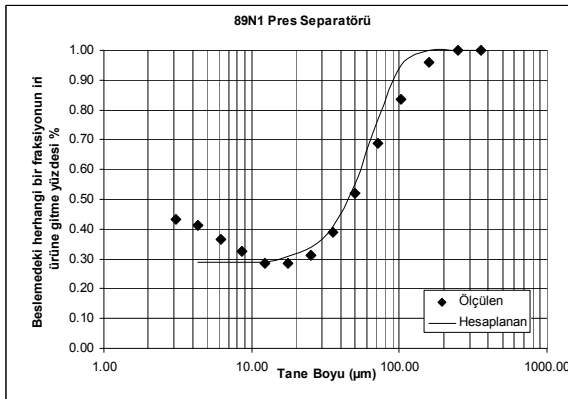
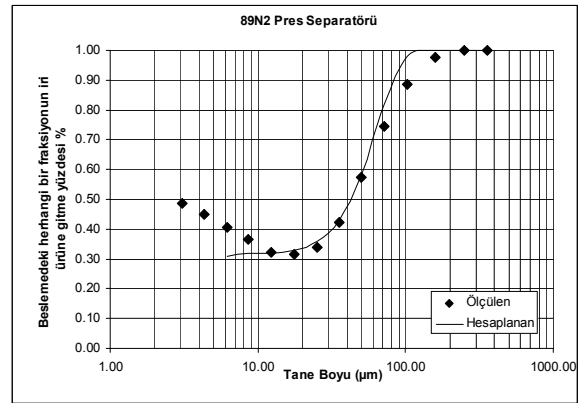
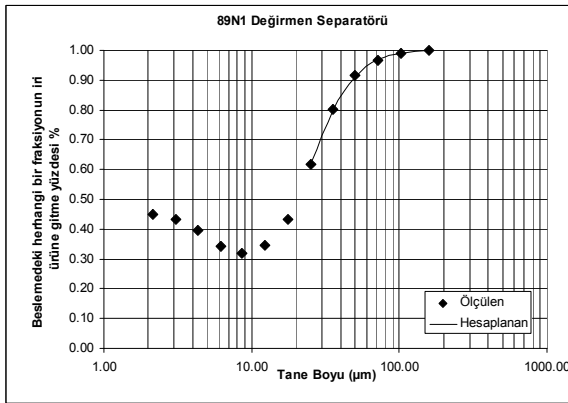
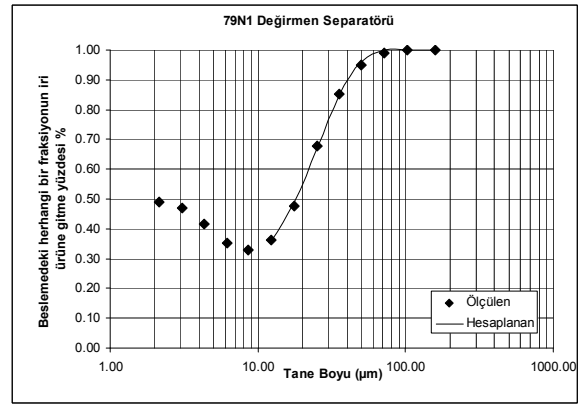
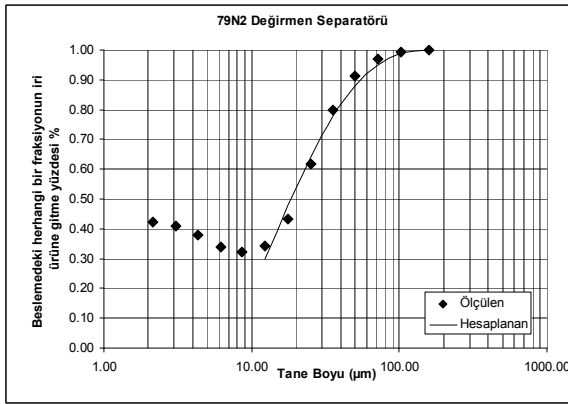
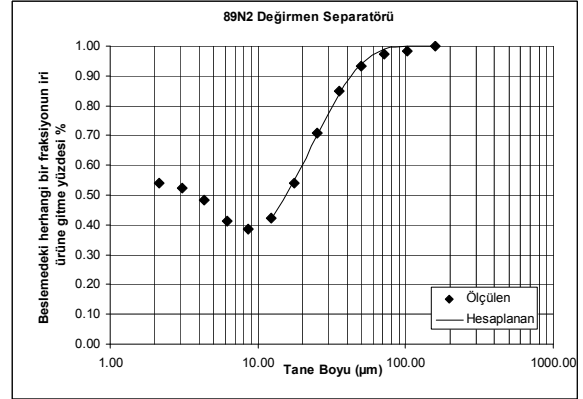
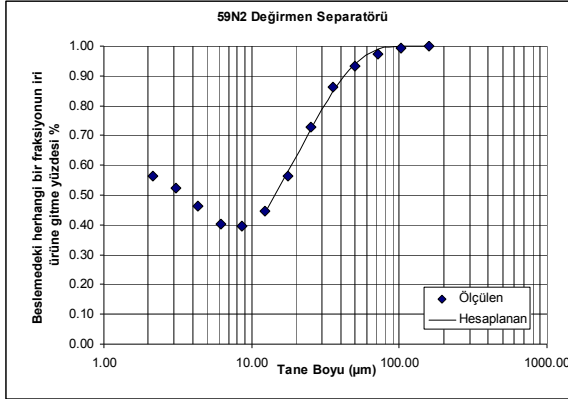


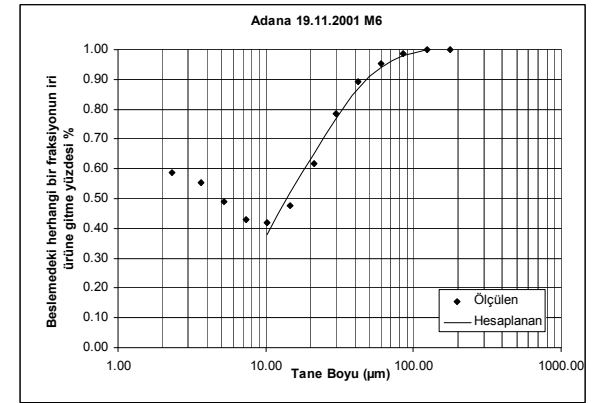
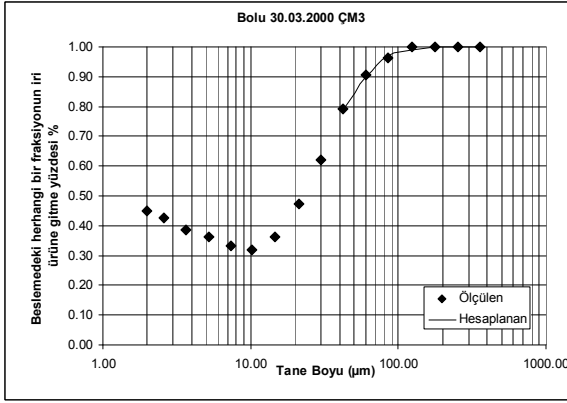
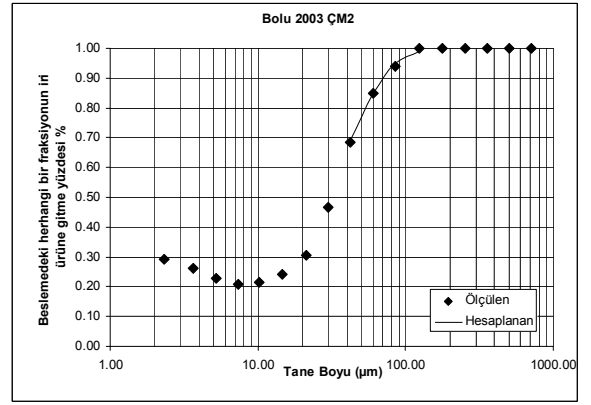
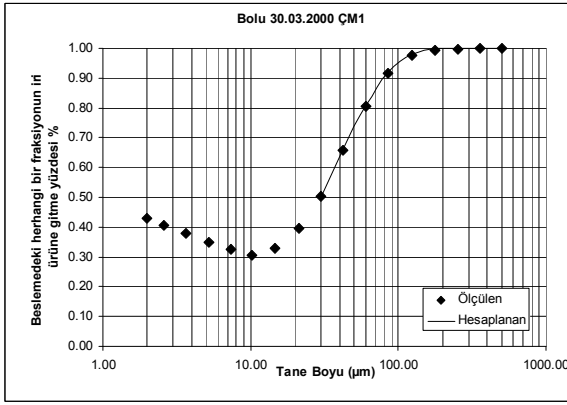
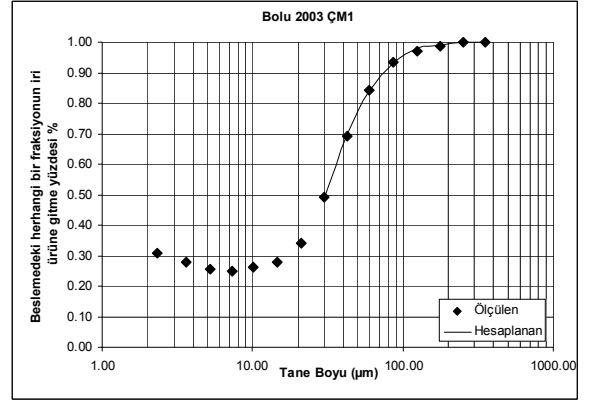
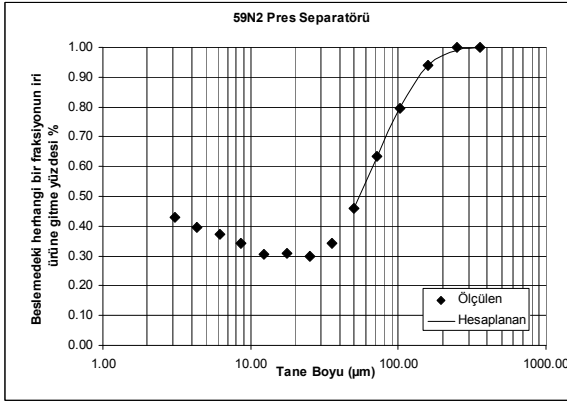
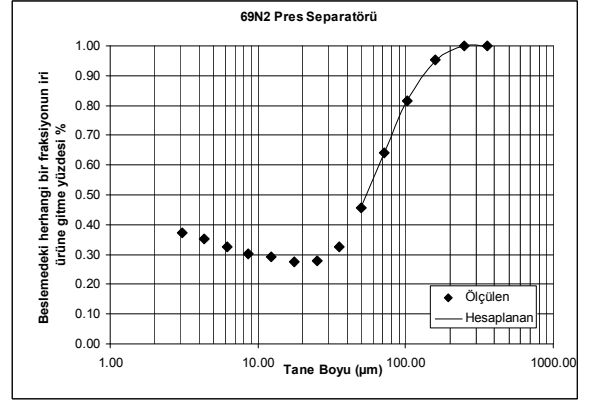
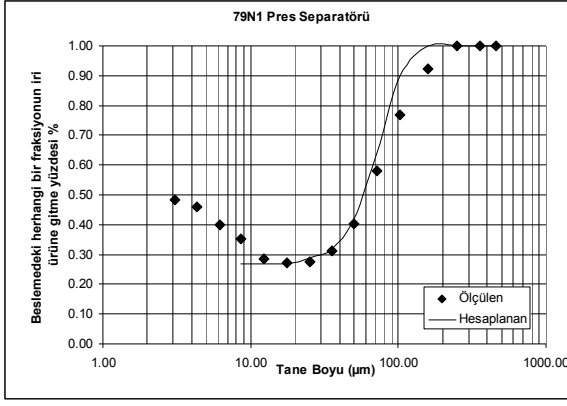


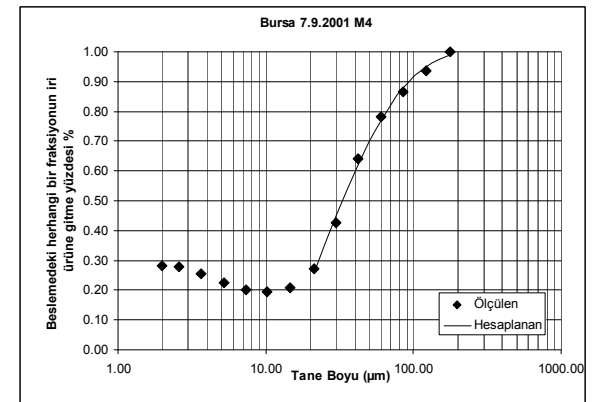
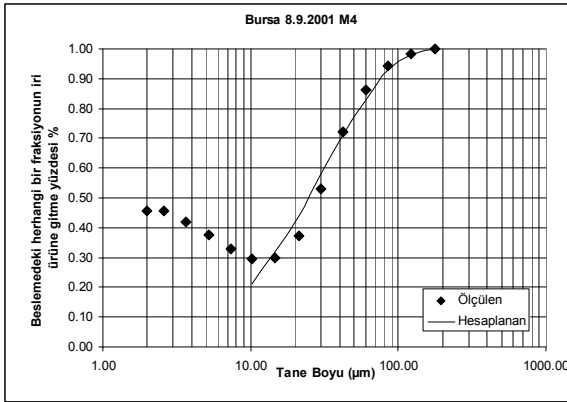
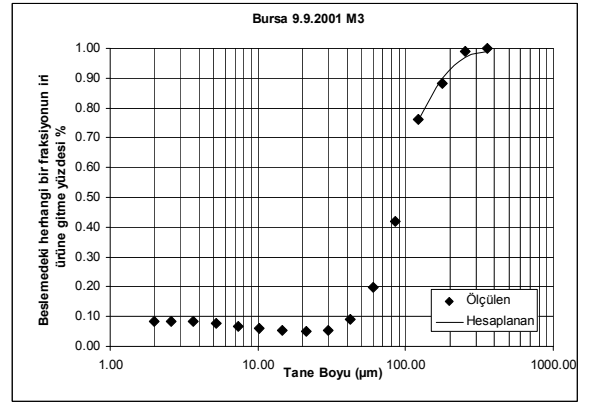
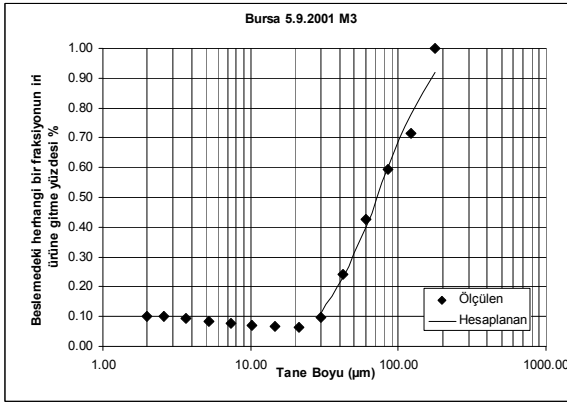
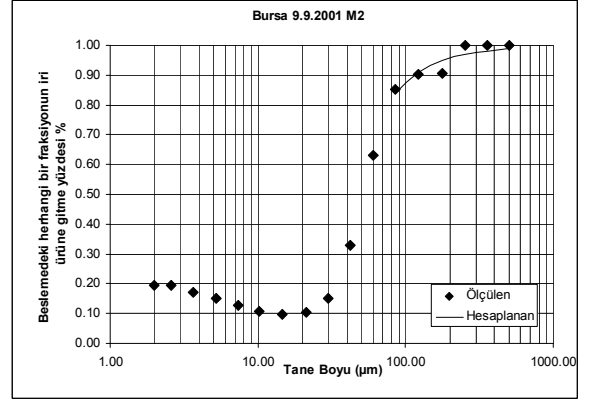
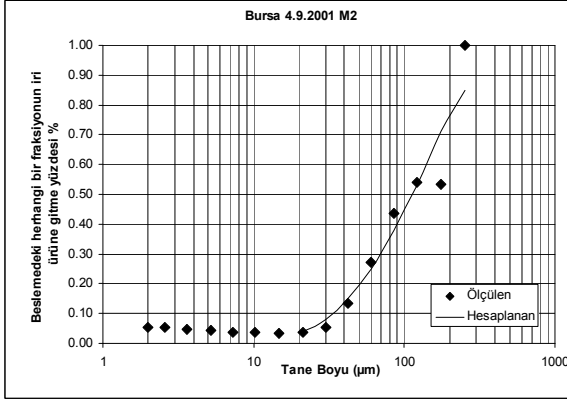
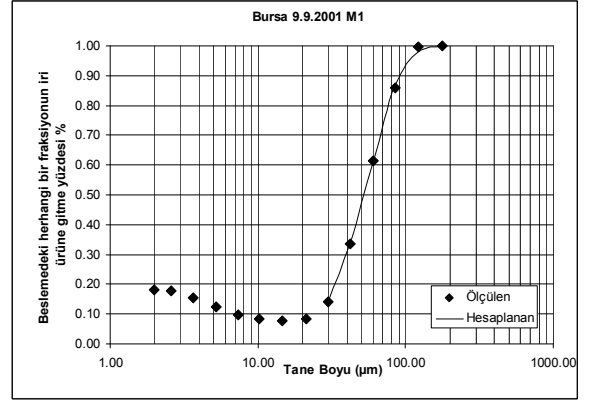
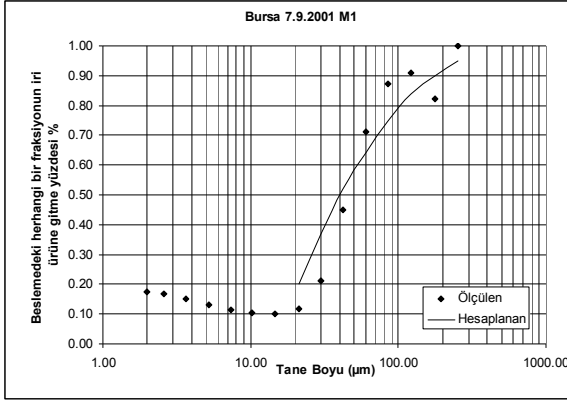


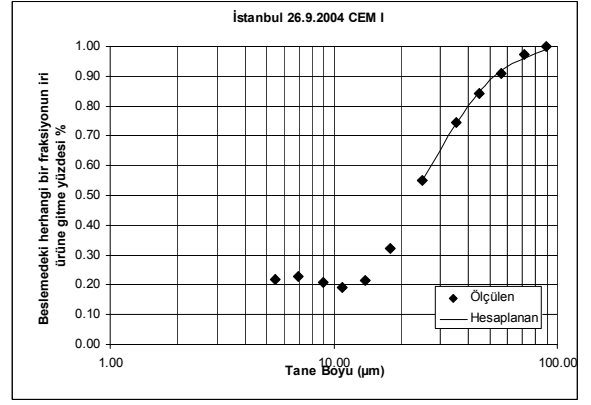
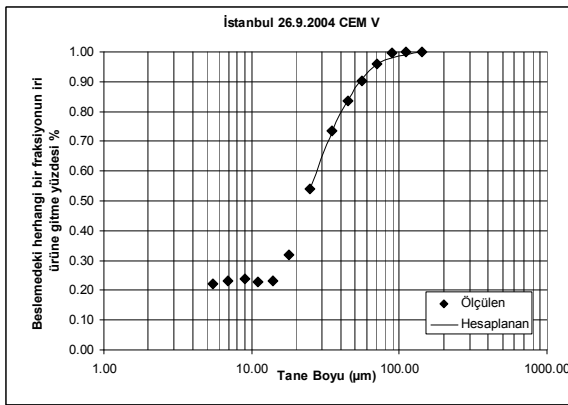
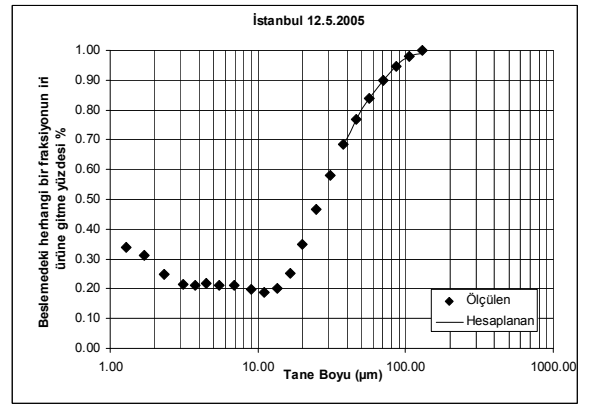
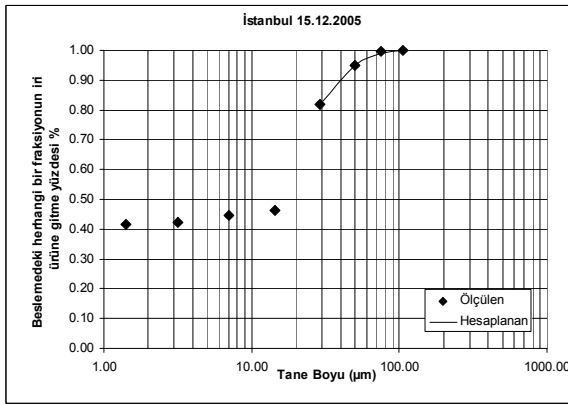
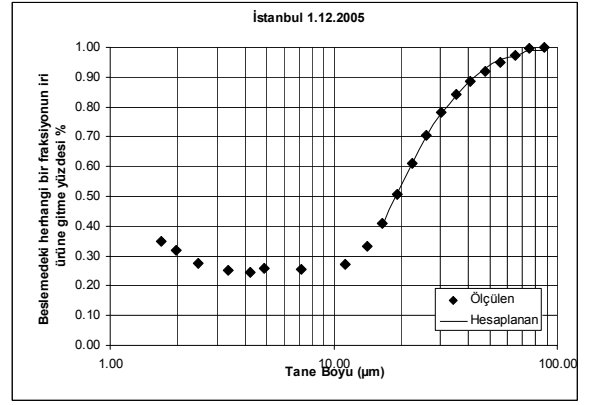
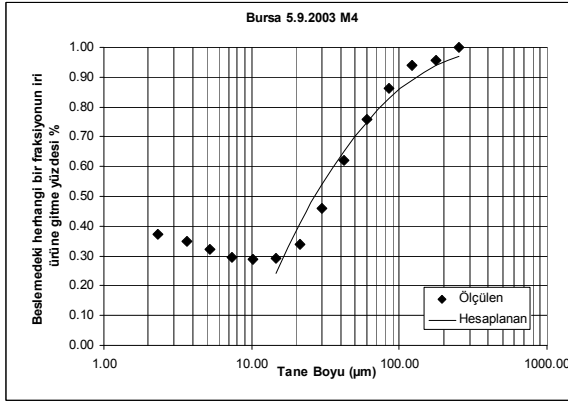
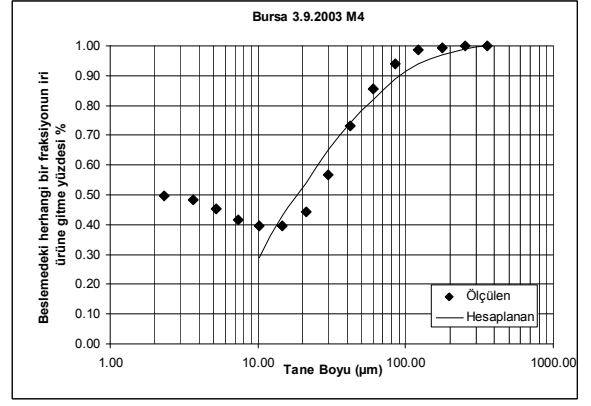
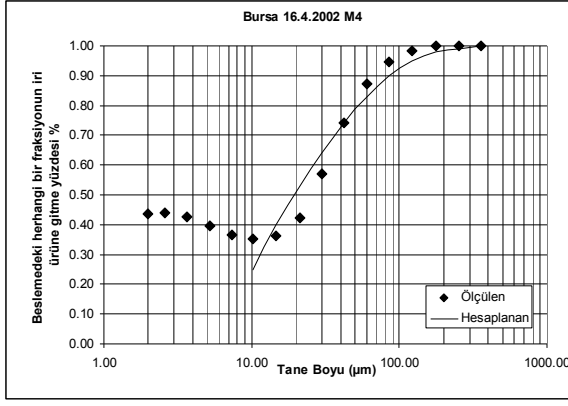
EK-6

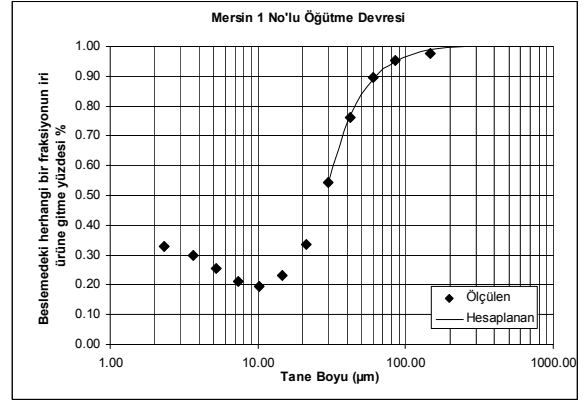
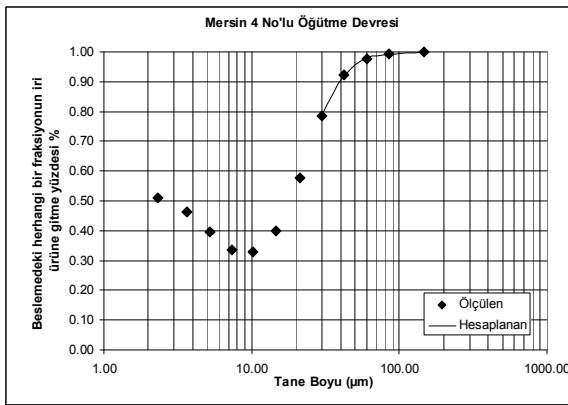
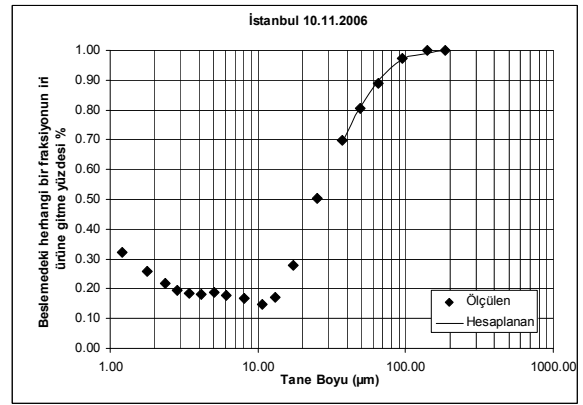
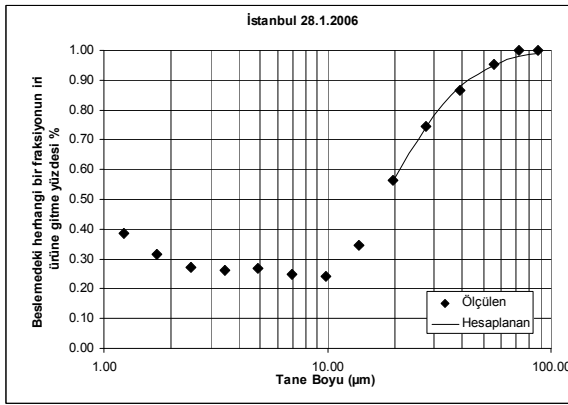
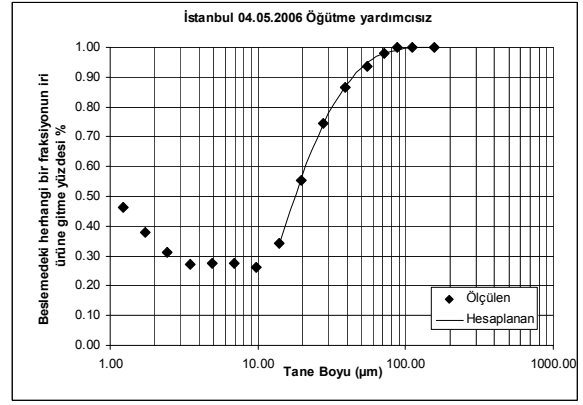
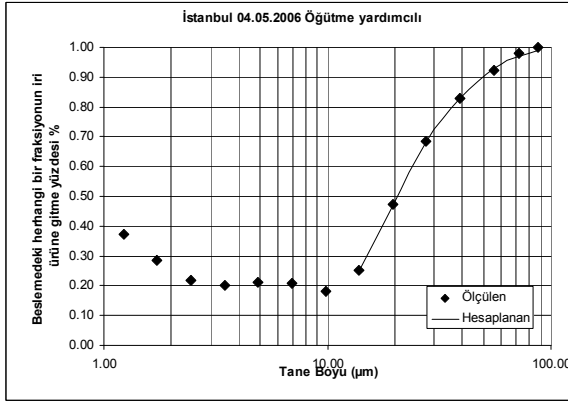
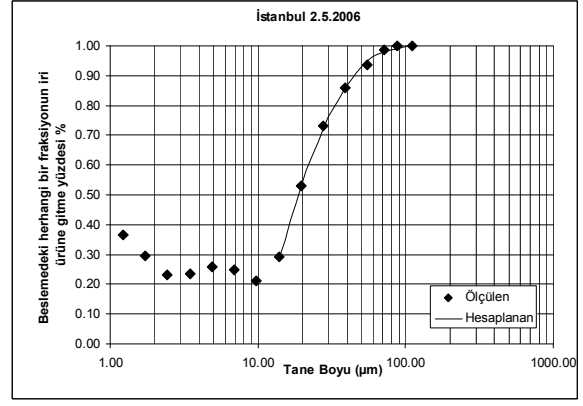
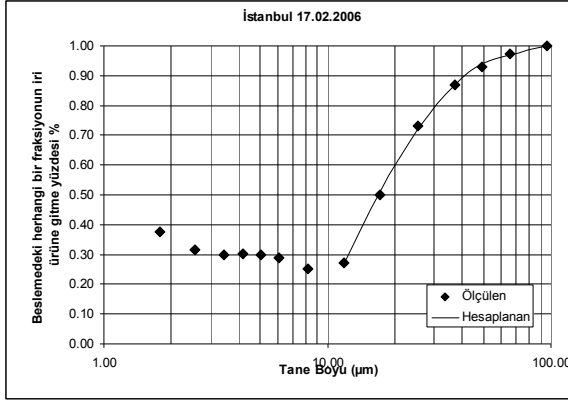
EK 6. LİPPEK & ESPİG YAKLAŞIMININ ENDÜSTRİYEL VERİLERLE OLAN UYUMUNUN İNCELENMESİ

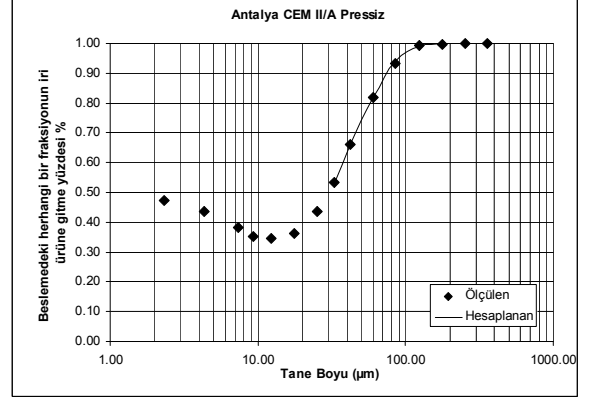
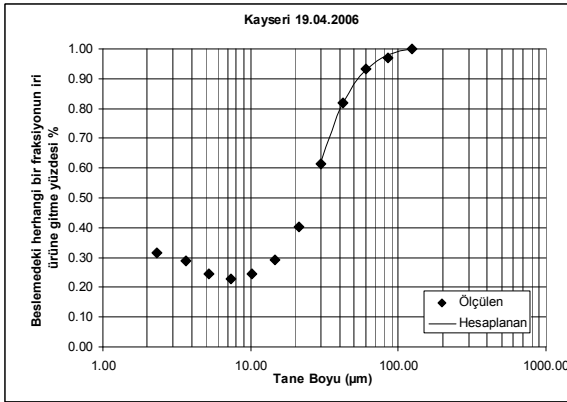
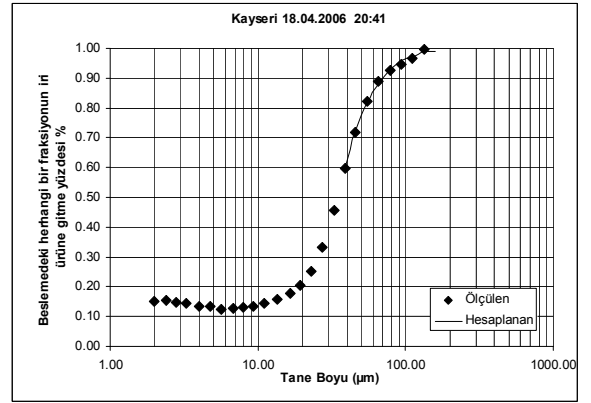
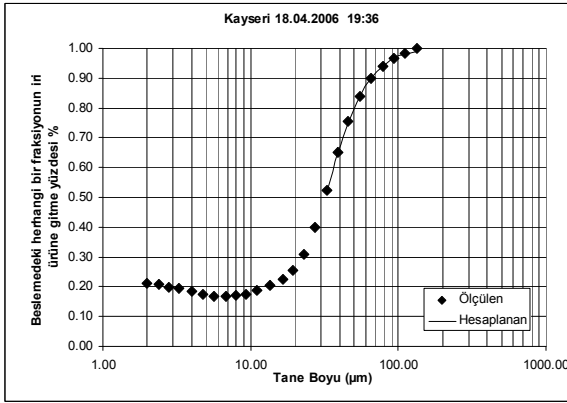
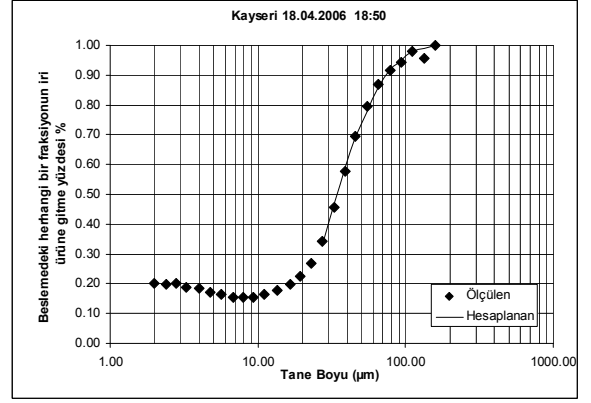
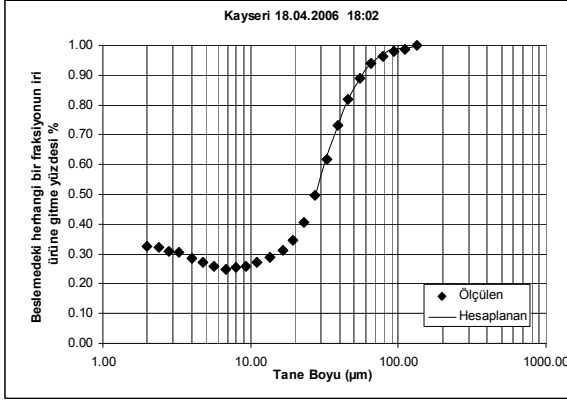
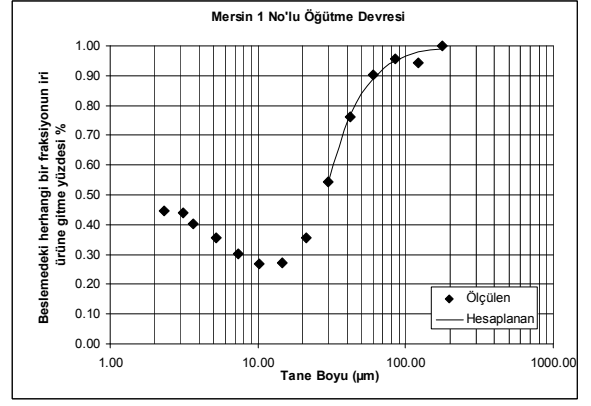
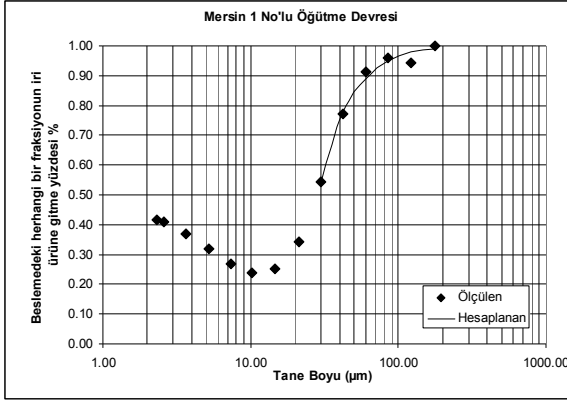


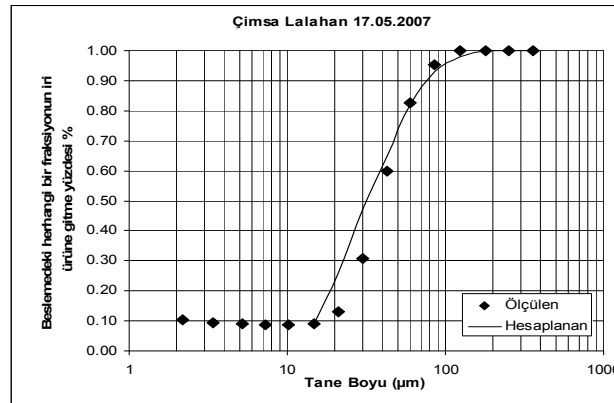
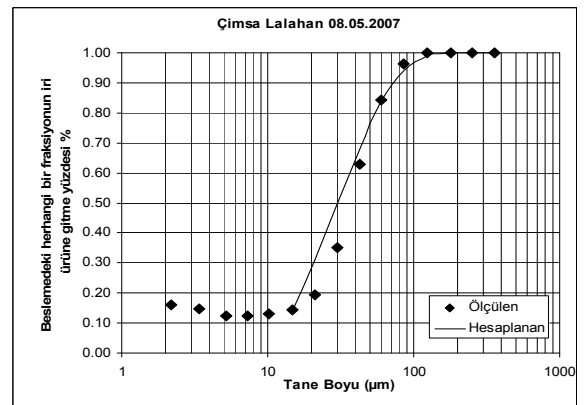
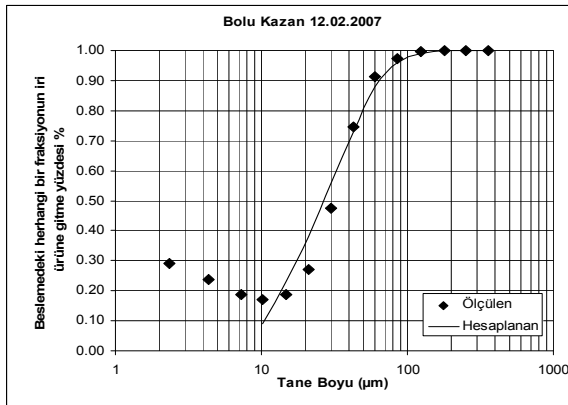
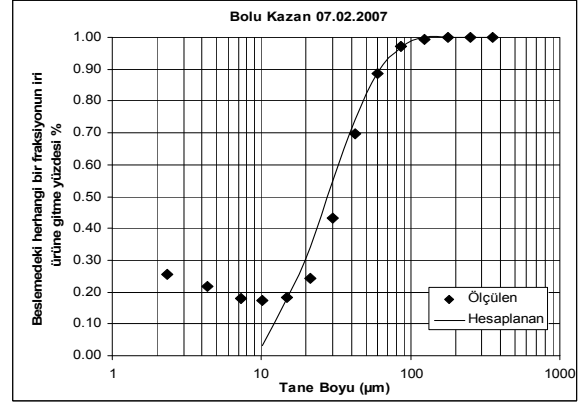
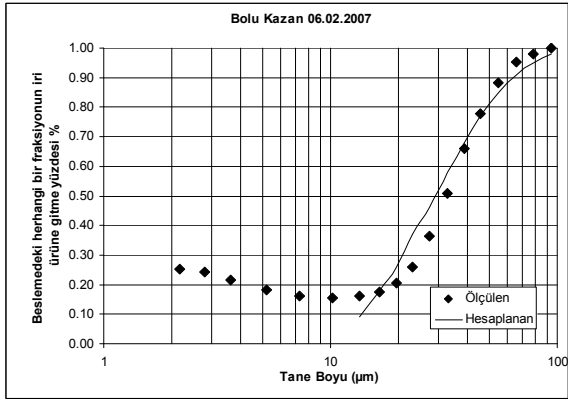
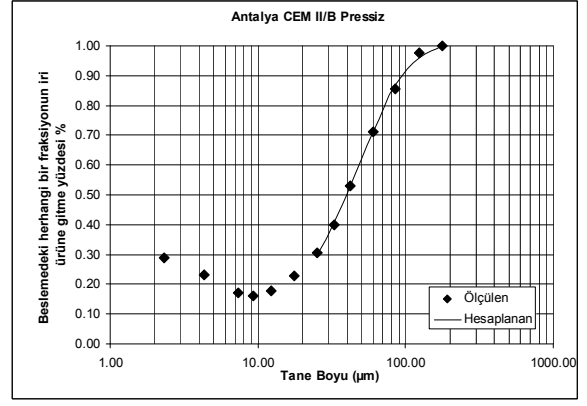
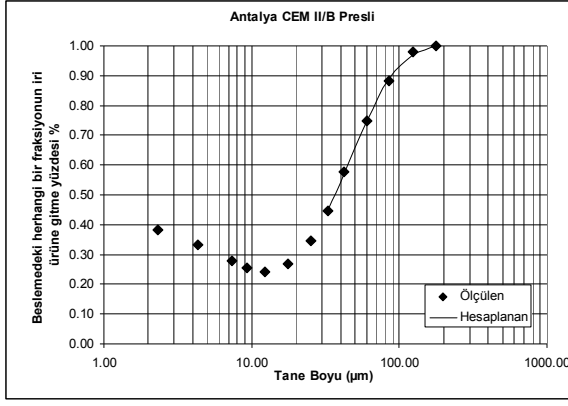






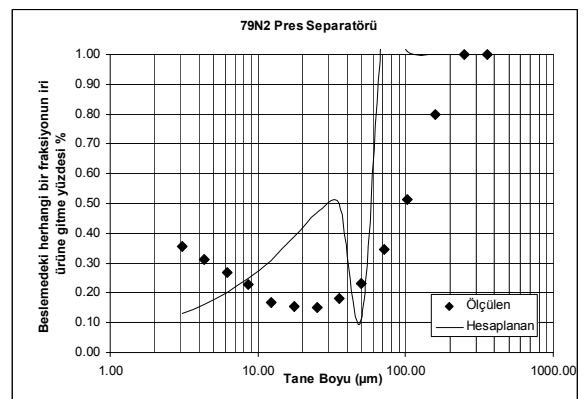
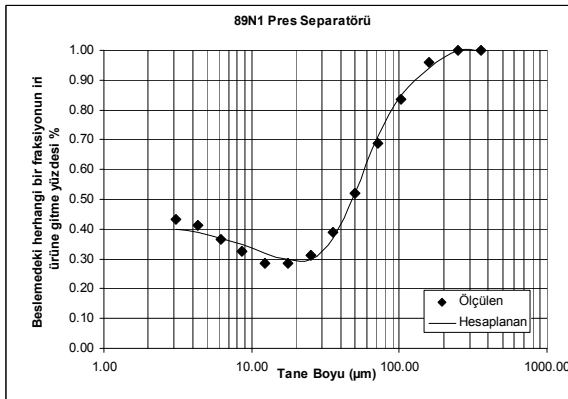
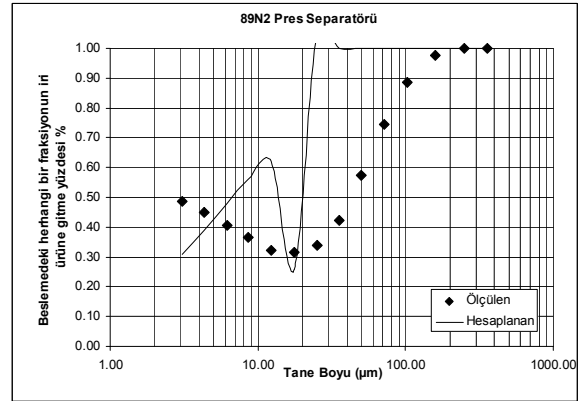
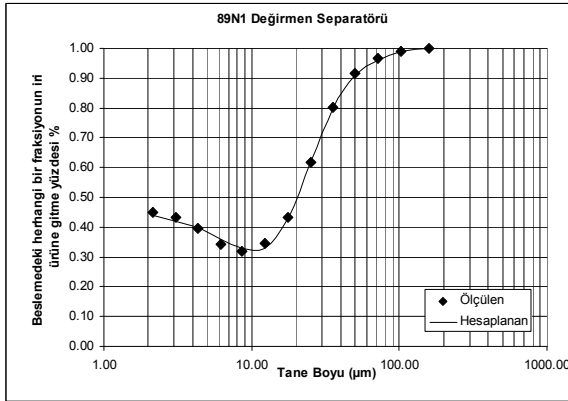
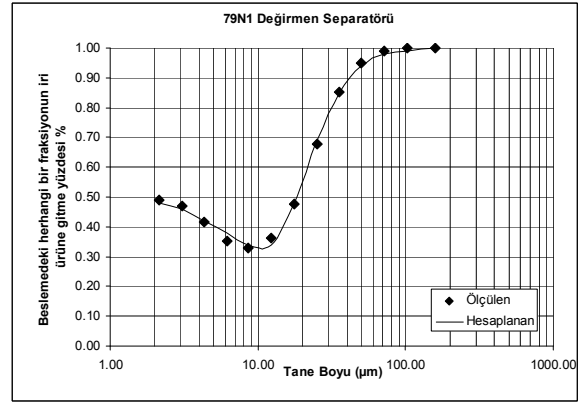
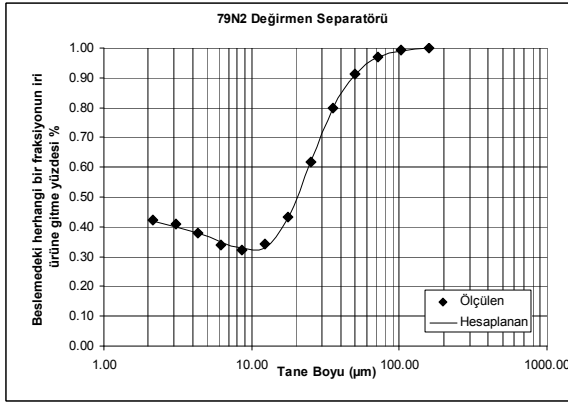
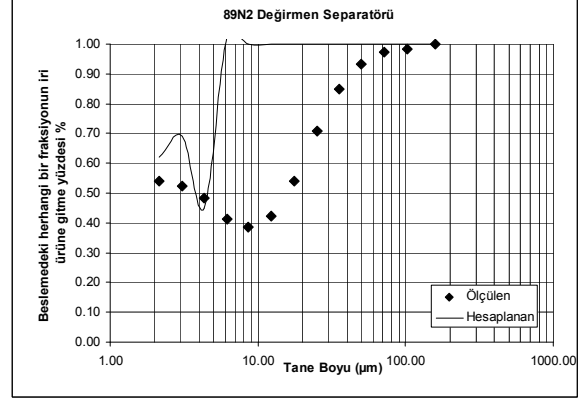
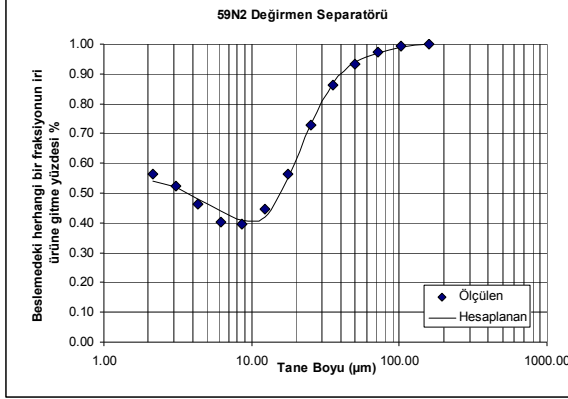


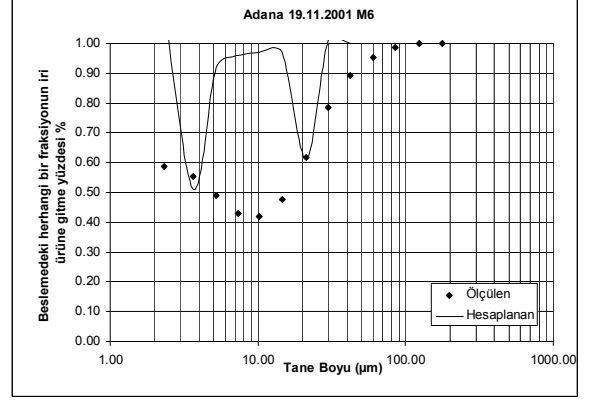
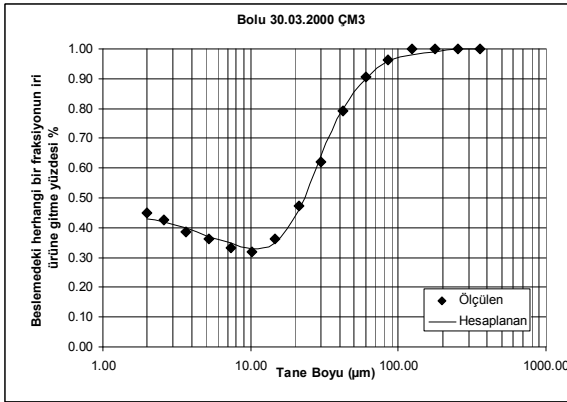
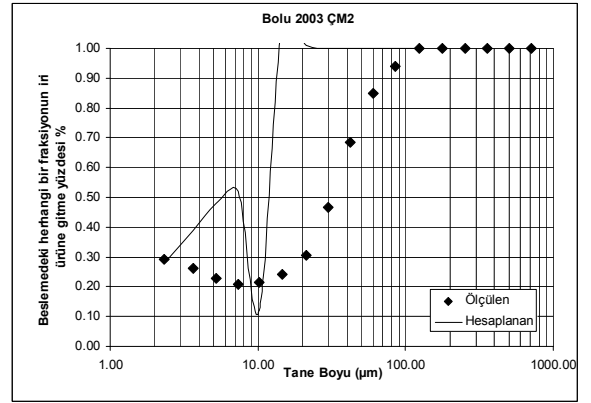
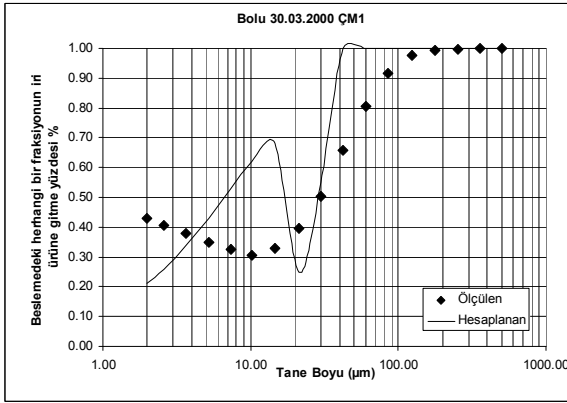
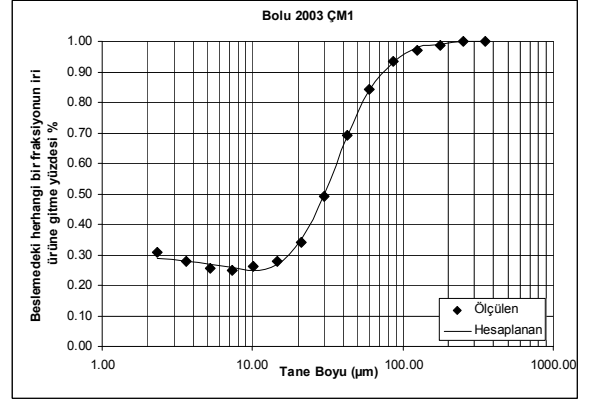
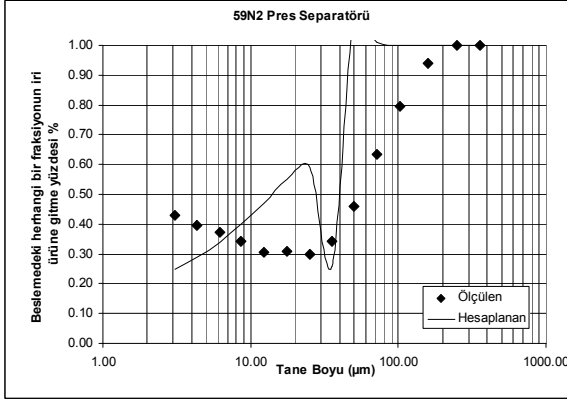
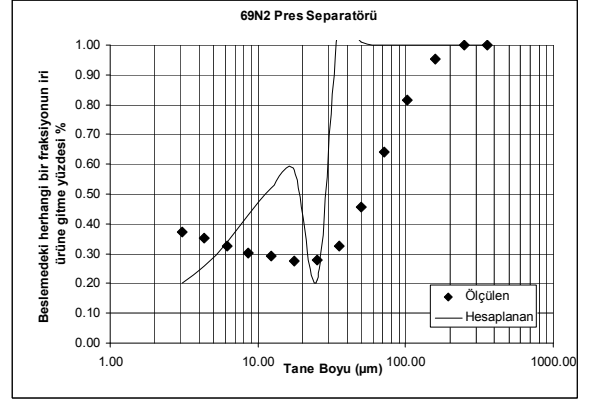
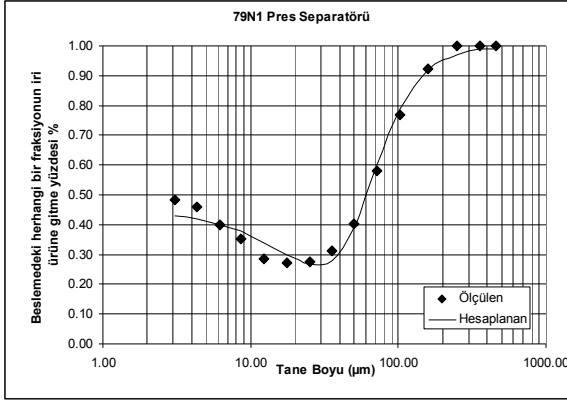


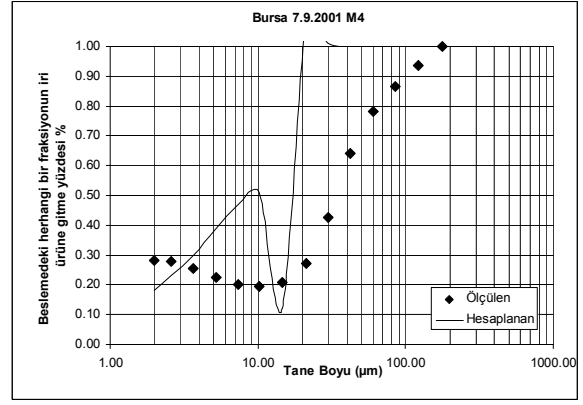
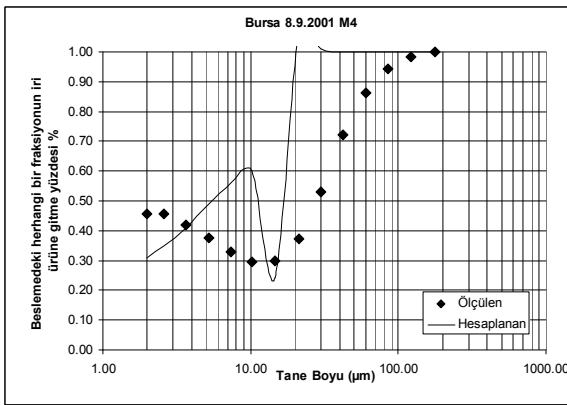
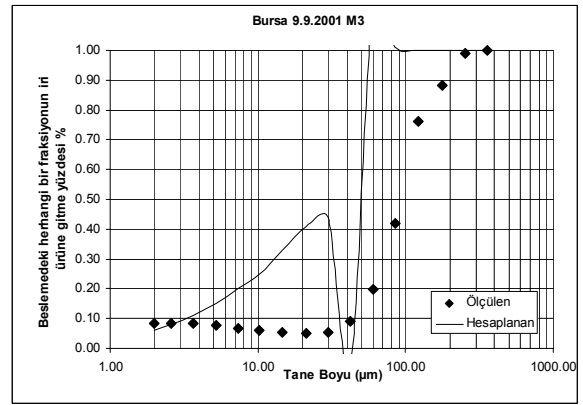
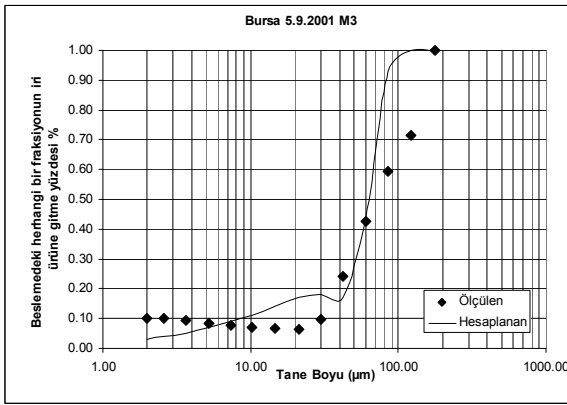
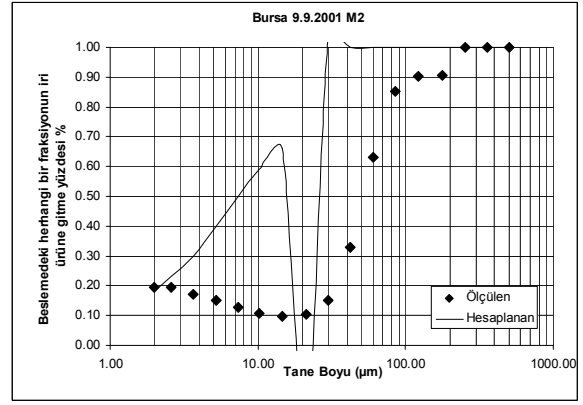
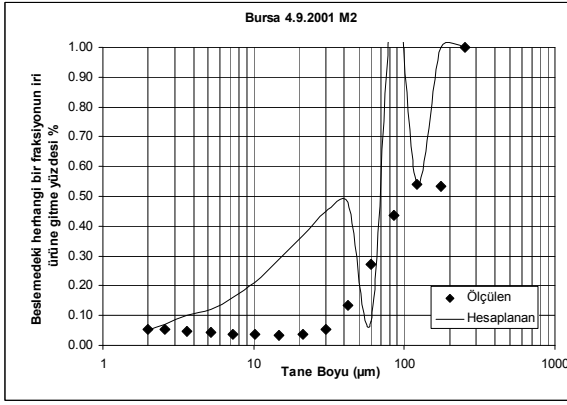
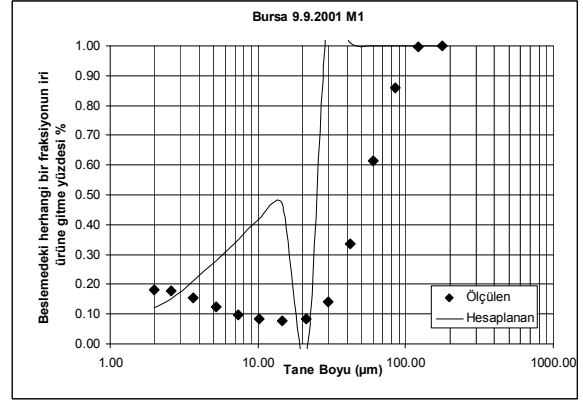
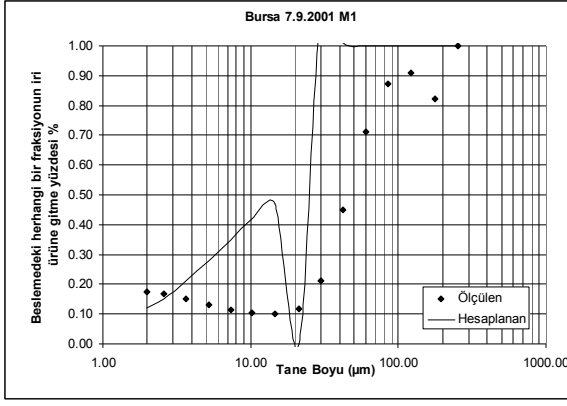


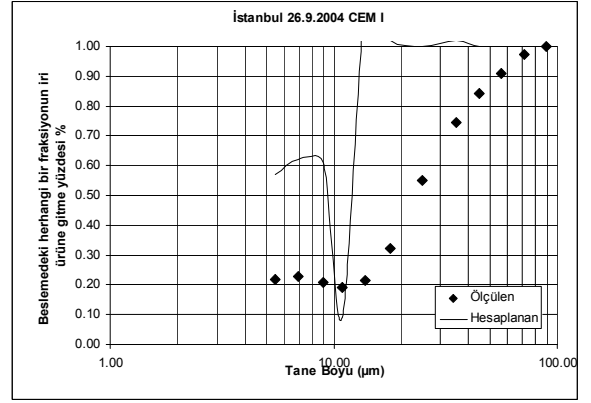
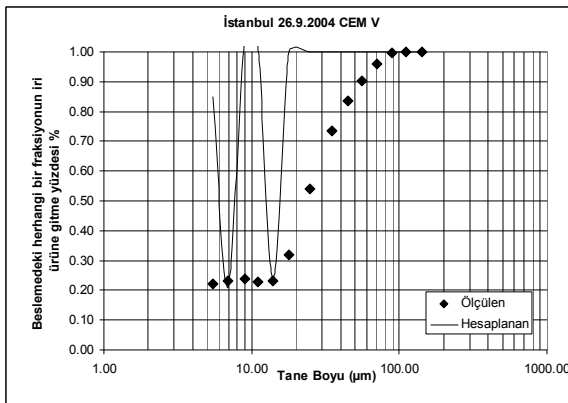
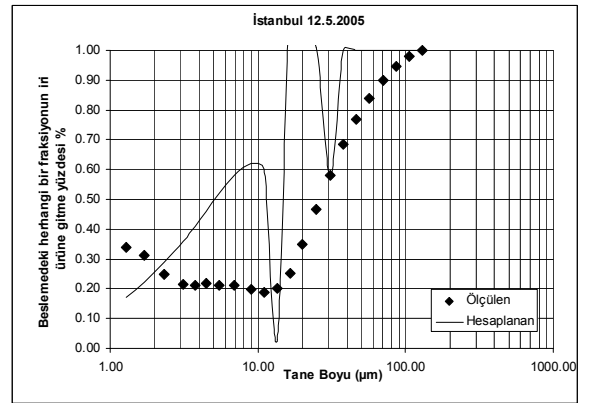
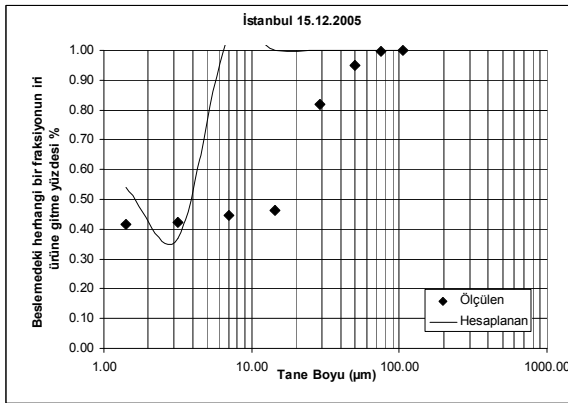
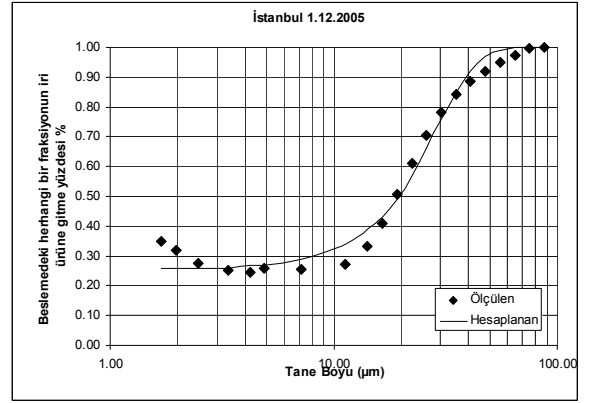
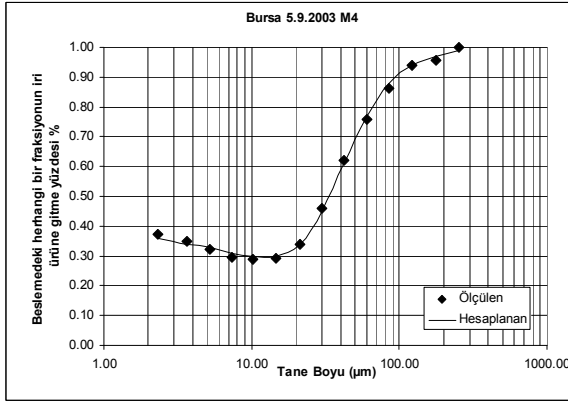
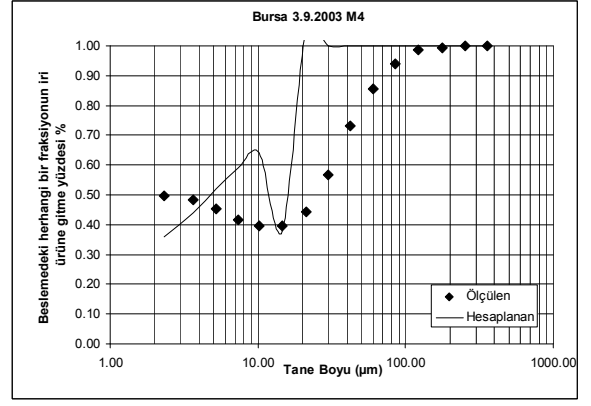
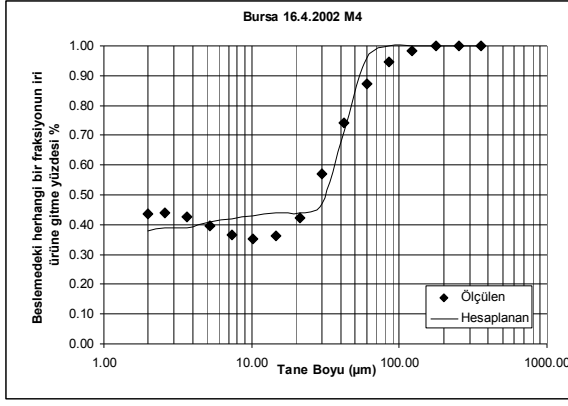
EK-7

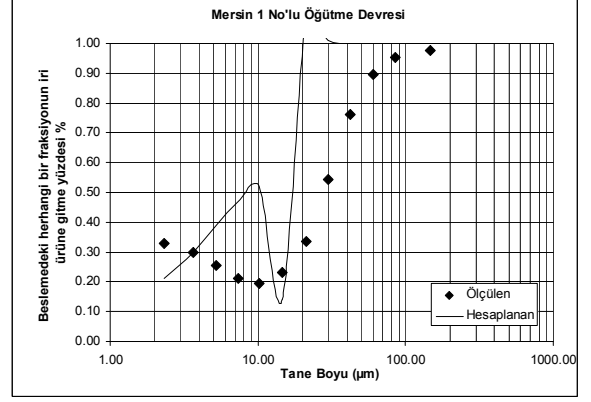
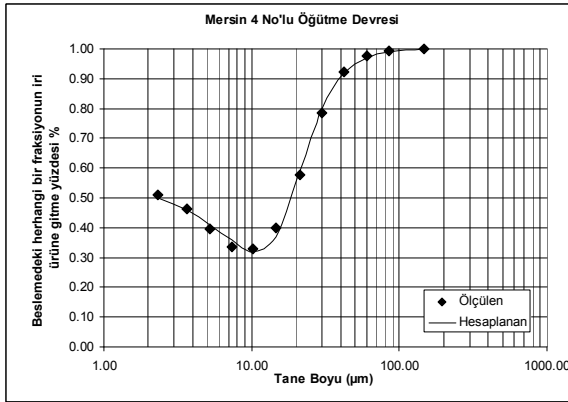
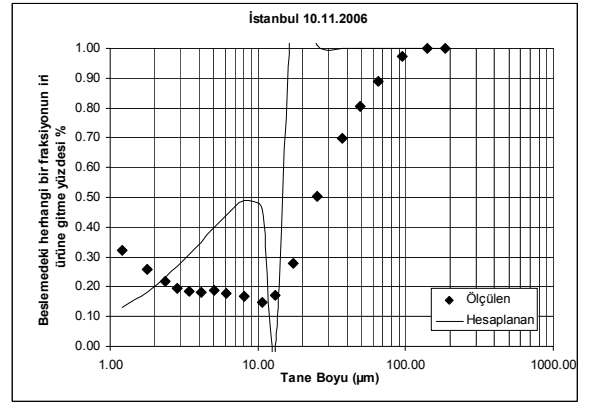
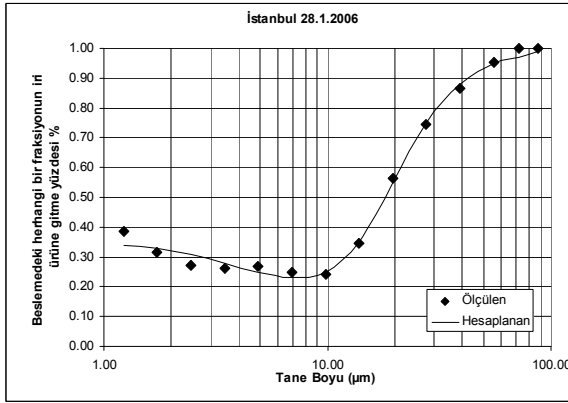
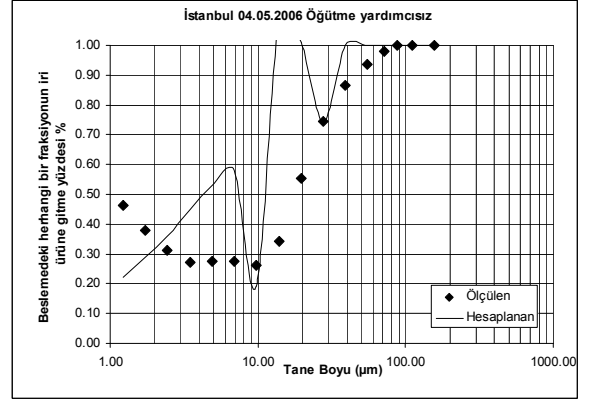
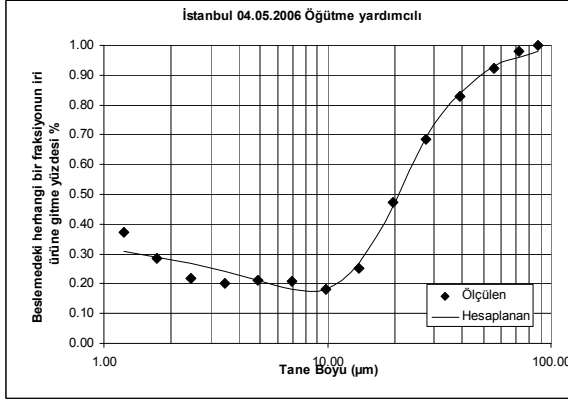
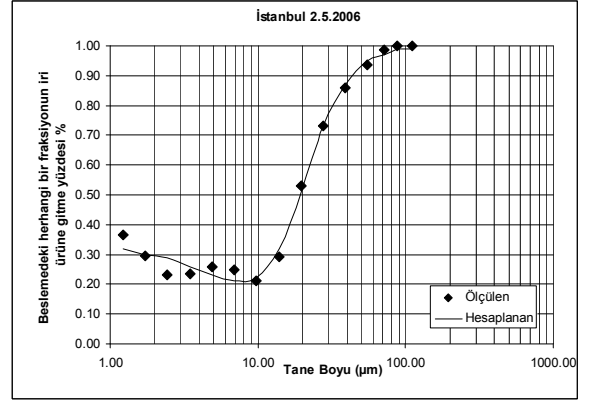
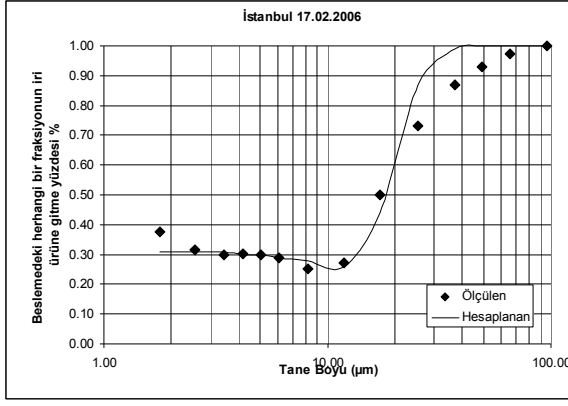
EK 7. ZHANG YAKLAŞIMININ ENDÜSTRİYEL VERİLERLE OLAN UYUMUNUN İNCELENMESİ

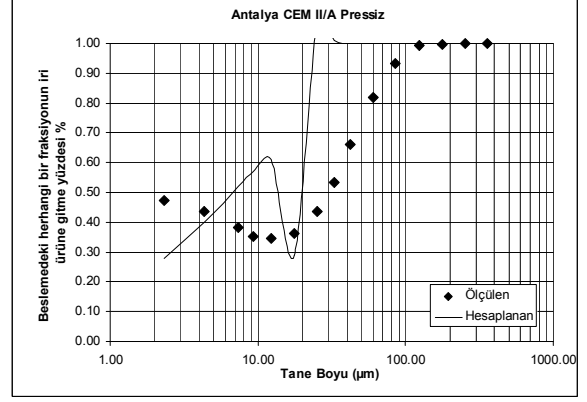
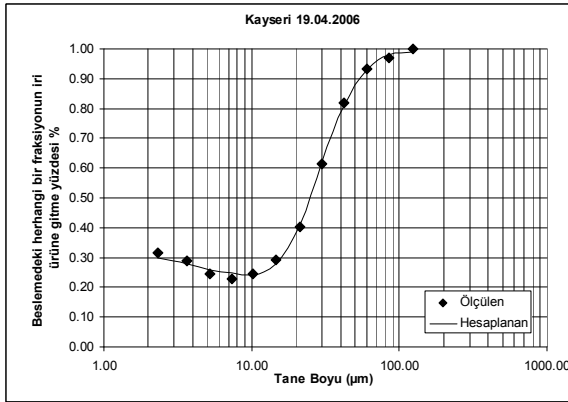
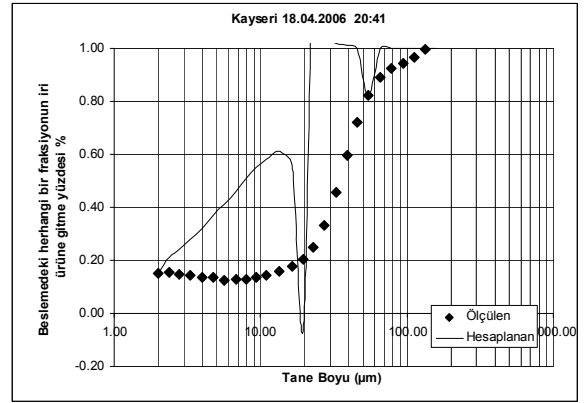
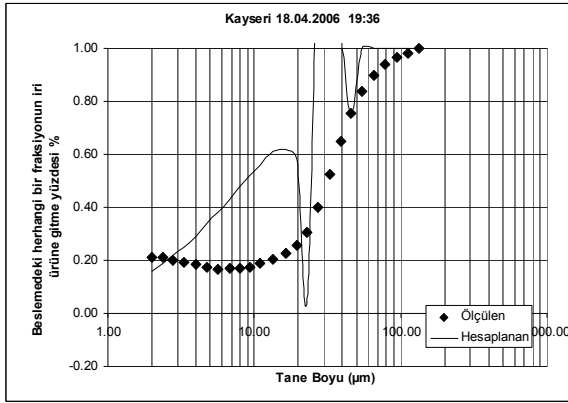
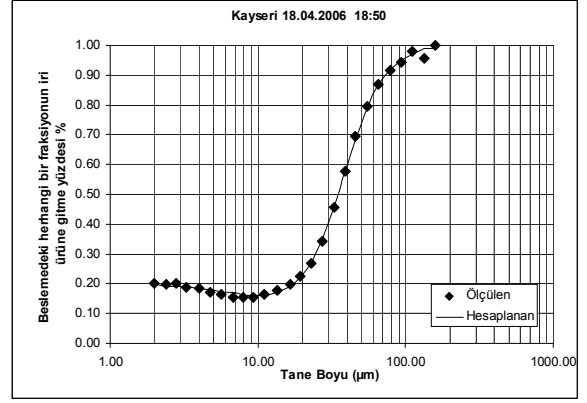
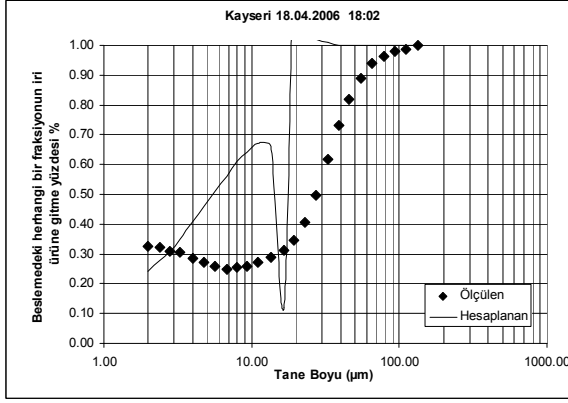
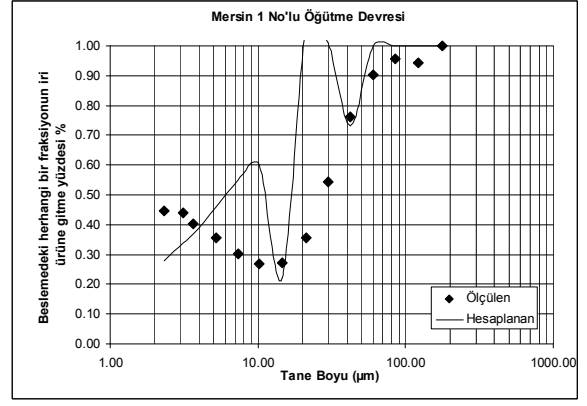
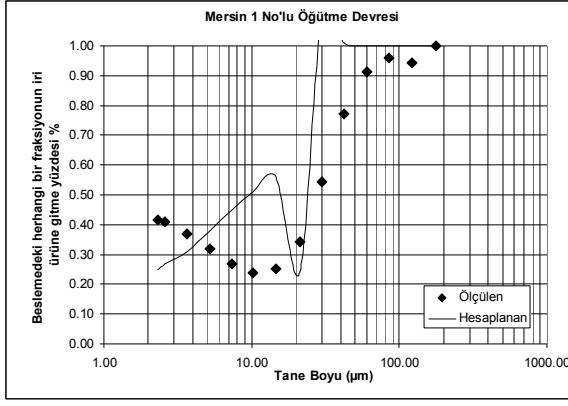


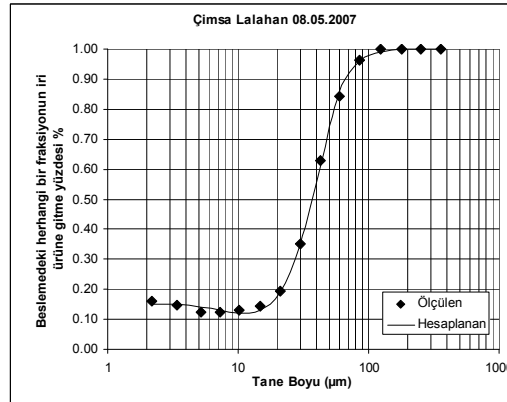
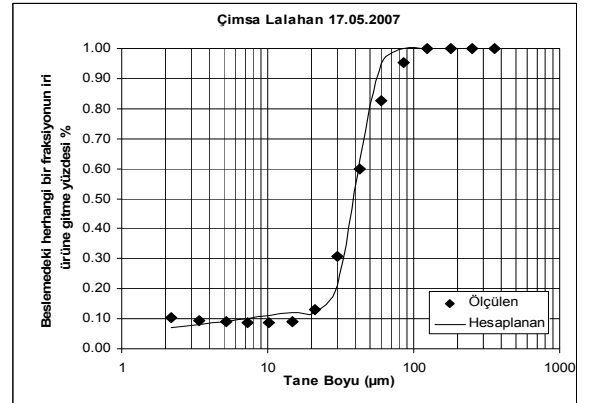
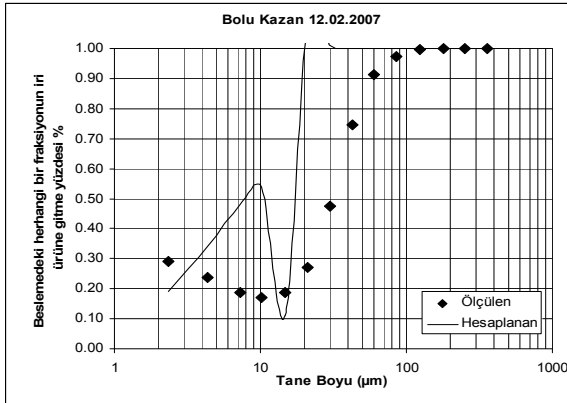
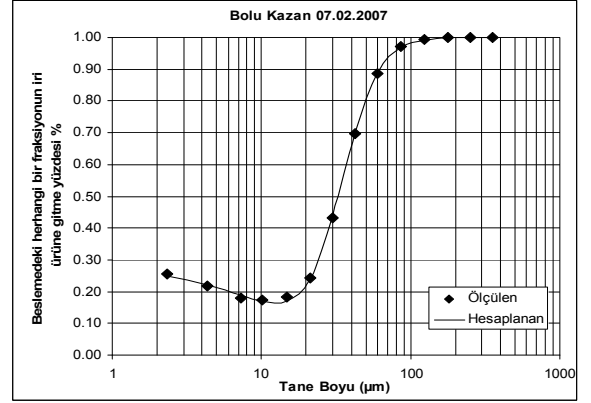
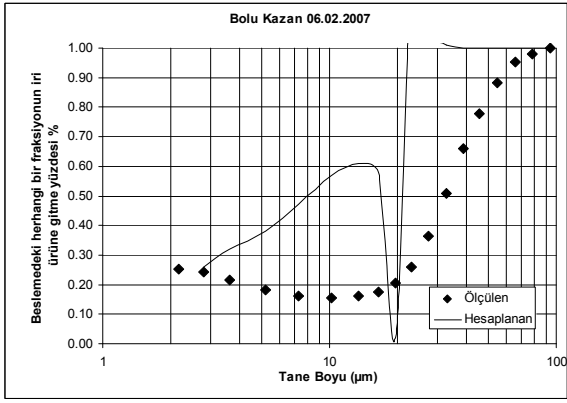
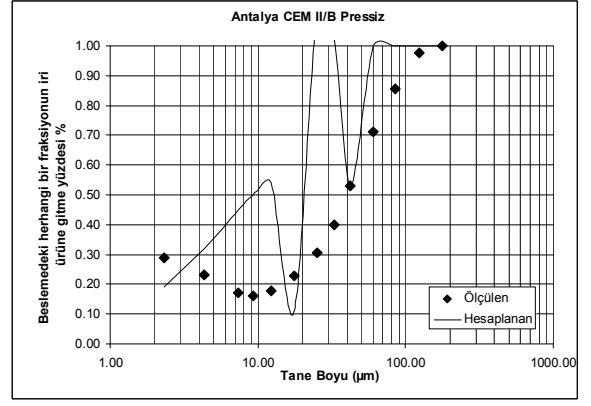
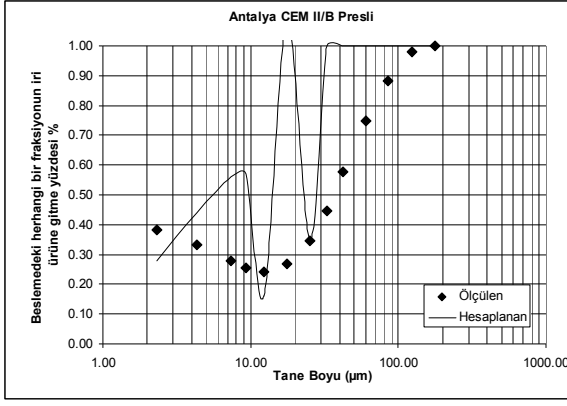












ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Okay ALTUN

Doğum Yeri : Ankara

Doğum Yılı : 1982

Medeni Hali : Bekar

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise 1996 - 1999 Ayrancı Lisesi

Lisans 1999 - 2004 Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü

Yabancı Dil: İngilizce

İş Tecrübesi:

2004 - ... : Araştırma Görevlisi, Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü