

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**CAM HAMMADDELERİNİN SEGREGASYON
EĞİLİMİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Jeo. Müh. Meryem SARIGÜZEL
(506041303)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 7 Mayıs 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Haziran 2007

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Serdar ÖZGEN
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Lütfi ÖVEÇOĞLU
Prof.Dr. Mustafa ERDOĞAN (İ.T.Ü.)

ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışmalarım süresince değerli fikirleri ve deneyimleri ile her türlü desteğini eksik etmeyerek çalışmalarımın tamamlanmasını sağlayan Sayın hocam Prof. Dr. Ö. Serdar ÖZGEN'e teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Türkiye Şişe Cam Fab. A.Ş. ile İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi ortak araştırma projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Projeye destek veren Türkiye Şişe ve Cam Fab. A.Ş.'ye ve çalışmam sırasında değerli bilgi ve yardımlarını esirgemeyen Türkiye Şişe ve Cam Fab. A.Ş. Cam Araştırma Merkezi Analitik Destek Hizmetleri Müdürü Sayın Dr. Eşref AYDIN'a en içten teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Deneyisel çalışmalarım sırasında her türlü yardımı esirgemeyen Türkiye Şişe ve Cam Fab. A.Ş. Camişi Madencilik A.Ş. Cevher Hazırlama ve Proje Mühendisi Sayın Atıla GÜMRÜKÇÜ'ye ve Cevher Hazırlama Laboratuvarı görevlisi Sayın Süleyman ÇELEBİ'ye teşekkür ederim.

Numunelerin mikroskop görüntülerinin çekilmesinde yardımcı olan Sayın Mehmet Ali DEMİRKAYA'ya teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan arkadaşlarım A.Başak MISIRLI'ya, Begüm YÜKSEL'e ve Melis ARIN'a teşekkür ederim.

Son olarak, tüm eğitim hayatım boyunca sabırlı desteklerinden dolayı sevgili aileme de sonsuz teşekkürler...

Mayıs 2007

Meryem SARIGÜZEL

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ.....	xii
ÖZET	xiii
SUMMARY.....	xiv
1.GİRİŞ VE AMAÇ	1
2.CAM HAMMADDELERİ.....	4
2.1 Silika.....	5
2.2 Kireçtaşı.....	7
2.3 Dolomit.....	9
2.4 Soda.....	9
2.5 Feldspat.....	10
2.6 Bor Oksit.....	11
2.7 Kurşun Oksit.....	11
2.8 Potasyum Oksit	11
2.9 Cam Kırığı	12
3.CAM HAMMADDELERİNİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ.....	14
3.1 Katı Tanelerin Karakterizasyonu	14
3.1.1 Tane büyüklüğü, şekli ve yüzey alanı	14
3.1.2 Tane ortalama büyüklüğü ve büyüklük dağılımı	19
3.1.3 Yoğunluk	23
3.2 Katı-Katı ve Katı-Sıvı Etkileşimleri.....	25
3.2.1 Elektrostatik kuvvetler.....	25
3.2.2 Van der waals kuvvetleri	26
3.2.3 Kapiler kuvvetler.....	27
4. CAM HARMANINDA KALİTEYİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER	28
4.1 Homojenite	29
4.1.1 Genel özellikler	29

4.1.2 Karıştırma mekanizmaları.....	29
4.1.3 Karıştırma süresi	29
4.1.4 Karıştırıcı çeşitleri	30
4.2 Segregasyon.....	33
4.2.1 Genel özellikler	33
4.2.2 Segregasyon mekanizmaları	33
4.2.3 Segregasyonu etkileyen faktörler	43
4.2.4 Segregasyona karşı alınacak önlemler.....	47
4.3 Akışkanlık.....	50
4.3.1 Genel özellikler	50
4.3.2 Silolardaki akış modelleri	52
4.3.3 Katı yığın akışındaki sorunlar	57
5.DENEYSEL ÇALIŞMALAR	60
5.1 Deneylerde Kullanılan Hammaddeler	60
5.2 Deney Düzeneği ve Kullanılan Cihazlar	63
5.3 Deneylerin Yapılışı	64
5.4 Ayrılan Numuneler Üzerinde Yapılan İncelemeler ve Analizler	65
6.DENEY SONUÇLARI.....	66
6.1 Elek Analizi Sonuçları.....	66
6.1.1 Dolomit.....	66
6.1.2 Kum	69
6.1.3 Kolemanit.....	72
6.1.4 Soda	74
6.1.5 Feldspat.....	76
6.1.6 Kalker	79
6.1.7 %50 Kalker + %50 Dolomit	81
6.1.8 %50 Kum + %50 Feldspat	83
6.1.9 %60 Kum + %30 Soda + %10 Dolomit (iri)	86
6.1.10 %60 Kum + %30 Soda + %10 Dolomit (ince).....	89
6.2 Elek Analizi Sonuçlarının Karşılaştırılması	95
6.2.1 Kum / Kolemanit.....	95
6.2.2 %50 kum + %50 feldspat / Dolomit.....	96
6.2.3 Dolomit / %60 kum + %30 soda + %10 dolomit (iri)	96
6.2.4 %60 kum + %30 soda + %10 dolomit (iri) / %60 kum + %30 soda + %10 dolomit (ince).....	96
6.2.5 Kum / Dolomit / Kolemanit	97
6.2.6 %50 Kum + %50 Feldspat / %50 Kalker + %50 Dolomit.....	97
6.2.7 %50 Kum + %50 Feldspat / Kolemanit.....	97

6.3 Elek Analizi Yapılan Numunelerin Mikroskop Görüntüleri	97
6.3.1 Kalker	97
6.3.2 Feldspat.....	101
6.3.3 %50 Kum + %50 Feldspat.....	102
7. GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER.....	105
KAYNAKLAR.....	106
EKLER.....	109
ÖZGEÇMİŞ.....	115

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 : Cam yapıcı malzemelerin özellikleri	5
Tablo 2.2 : Hammadde olarak kullanılan silikanın tipik kimyasal bileşimi	7
Tablo 2.3 : Hammadde kaynağı olarak kullanılan feldspatın tipik kimyasal bileşimi	11
Tablo 3.1 : Katı yığın malzemelerin büyüklüklerine göre sınıflandırılması	15
Tablo 3.2 : Düzensiz tanelerin eşdeğer çapları	16
Tablo 3.3 : Büyüklük dağılımına sahip taneler için çeşitli ortalama çap tanımlamaları	21
Tablo 3.4 : Standart elek boyutları	22
Tablo 4.1 : Kütle ve huni akışlarının avantaj ve dezavantajları	56
Tablo 5.1 : Deneylerde kullanılan hammaddelerin kimyasal bileşim ve yoğunluk ölçümleri	60
Tablo 5.2 : Deneylerde kullanılan hammaddelerin elek analizleri a)Bilecik kumu b)Soda c)Dolomit d)Feldspat e)Kalker f)Kolemanit	61
Tablo 5.3 : Değişik hammaddeler için önerilen eleme süreleri	65
Tablo 6.1 : Dolomit numunesinin d_{50} değerleri	66
Tablo 6.2 : Kum numunesinin d_{50} değerleri	69
Tablo 6.3 : Kolemanit numunesinin d_{50} değerleri	72
Tablo 6.4 : Soda numunesinin d_{50} değerleri	74
Tablo 6.5 : Feldspat numunesinin d_{50} değerleri	76
Tablo 6.6 : Kalker numunesinin d_{50} değerleri	79
Tablo 6.7 : %50 kalker, %50 dolomitten oluşan karışımın d_{50} değerleri	81
Tablo 6.8 : %50 kum, %50 feldspattan oluşan karışımın d_{50} değerleri ...	83
Tablo 6.9 : %60 kum, %30 soda, %10 dolomitten (iri) oluşan karışımın d_{50} değerleri	86
Tablo 6.10 : %60 kum, %30 soda, %10 dolomitten (ince) oluşan karışımın d_{50} değerleri	89
Tablo A.1 : 15° banttın geçen kuru dolomitin elek analizi sonuçları	109
Tablo A.2 : 15° banttın geçen %2 rutubetli dolomitin elek analizi sonuçları	110
Tablo A.3 : 25° banttın geçen kuru dolomitin elek analizi sonuçları	111
Tablo A.4 : 25° banttın geçen %2 rutubetli dolomitin elek analizi sonuçları	112
Tablo A.5 : 15° banttın geçen kuru kumun elek analizi sonuçları	113
Tablo A.6 : 15° banttın geçen %1 rutubetli kumun elek analizi sonuçları	114
Tablo A.7 : 25° banttın geçen kuru kumun elek analizi sonuçları	115
Tablo A.8 : 25° banttın geçen %1 rutubetli kumun elek analizi sonuçları	116

Tablo A.9	: 15° banttın geçen % 2 rutubetli kolemanitin elek analizi sonuçları	117
Tablo A.10	: 20° banttın geçen % 2 rutubetli kolemanitin elek analizi sonuçları	118
Tablo A.11	: Çayırova İnce Öğütme tesisindeki banttın geçen % 4 rutubetli kolemanitin elek analizi sonuçları	119
Tablo A.12	: 15° banttın geçen kuru sodanın elek analizi sonuçları	120
Tablo A.13	: 15° banttın geçen %2 rutubetli sodanın elek analizi sonuçları.....	121
Tablo A.14	: 25° banttın geçen kuru sodanın elek analizi sonuçları	122
Tablo A.15	: 25° banttın geçen %2 rutubetli sodanın elek analizi sonuçları.....	123
Tablo A.16	: 15° banttın geçen kuru feldspatın elek analizi sonuçları	124
Tablo A.17	: 15° banttın geçen %2 rutubetli feldspatın elek analizi sonuçları	125
Tablo A.18	: 25° banttın geçen kuru feldspatın elek analizi sonuçları	126
Tablo A.19	: 25° banttın geçen %2 rutubetli feldspatın elek analizi sonuçları	127
Tablo A.20	: 15° banttın geçen kuru kalkerin elek analizi sonuçları	128
Tablo A.21	: 15° banttın geçen %2 rutubetli kalkerin elek analizi sonuçları	129
Tablo A.22	: 25° banttın geçen kuru kalkerin elek analizi sonuçları	130
Tablo A.23	: 25° banttın geçen %2 rutubetli kalkerin elek analizi sonuçları	131
Tablo A.24	: 15° banttın geçen kuru %50 kalker + %50 dolomitten oluşan karışımın elek analizi sonuçları	132
Tablo A.25	: 15° banttın geçen %2 rutubetli %50 kalker + %50 dolomitten oluşan karışımın elek analizi sonuçları	133
Tablo A.26	: 25° banttın geçen kuru %50 kalker + %50 dolomitten oluşan karışımın elek analizi sonuçları	134
Tablo A.27	: 25° banttın geçen %2 rutubetli %50 kalker + %50 dolomitten oluşan karışımın elek analizi sonuçları	135
Tablo A.28	: 15° banttın geçen kuru %50 kum + %50 feldspattan oluşan karışımın elek analizi sonuçları	136
Tablo A.29	: 15° banttın geçen %2 rutubetli %50 kum + %50 feldspattan oluşan karışımın elek analizi sonuçları	137
Tablo A.30	: 25° banttın geçen kuru %50 kum + %50 feldspattan oluşan karışımın elek analizi sonuçları	138
Tablo A.31	: 25° banttın geçen %2 rutubetli %50 kum + %50 feldspattan oluşan karışımın elek analizi sonuçları	139
Tablo A.32	: 15° banttın geçen kuru %60 kum + %30 soda + %10 dolomitten(iri) oluşan karışımın elek analizi sonuçları	140
Tablo A.33	: 15° banttın geçen %2rutubetli %60 kum + %30 soda + %10 dolomitten(iri) oluşan karışımın elek analizi sonuçları ..	141

Tablo A.34	: 25° banttān geçen kuru %60 kum + %30 soda + %10 dolomitten(iri) oluşan karışımın elek analizi sonuçları	142
Tablo A.35	: 15° banttān geçen %2rutubetli %60 kum + %30 soda + %10 dolomitten(iri) oluşan karışımın elek analizi sonuçları ..	143
Tablo A.36	: 15° banttān geçen kuru %60 kum + %30 soda + %10 dolomitten(ince) oluşan karışımın elek analizi sonuçları	144
Tablo A.37	: 15° banttān geçen %1 rutubetli %60 kum + %30 soda + %10 dolomitten(ince) oluşan karışımın elek analizi sonuçları	145
Tablo A.38	: 15° banttān geçen %2 rutubetli %60 kum + %30 soda + %10 dolomitten(ince) oluşan karışımın elek analizi sonuçları	146
Tablo A.39	: 15° banttān geçen %4 rutubetli %60 kum + %30 soda + %10 dolomitten(ince) oluşan karışımın elek analizi sonuçları	147
Tablo A.40	: 25° banttān geçen kuru %60 kum + %30 soda + %10 dolomitten(ince) oluşan karışımın elek analizi sonuçları	148
Tablo A.42	: 25° banttān geçen %1 rutubetli %60 kum + %30 soda + %10 dolomitten(ince) oluşan karışımın elek analizi sonuçları	149
Tablo A.42	: 25° banttān geçen %2 rutubetli %60 kum + %30 soda + %10 dolomitten(ince) oluşan karışımın elek analizi sonuçları	150
Tablo A.43	: 25° banttān geçen %4 rutubetli %60 kum + %30 soda + %10 dolomitten(ince) oluşan karışımın elek analizi sonuçları	151
Tablo A.44	: 25° banttān geçen %4,5 rutubetli %60 kum + %30 soda + %10 dolomitten(ince) oluşan karışımın elek analizi sonuçları	152
Tablo A.45	: 25° banttān geçen %5 rutubetli %60 kum + %30 soda + %10 dolomitten(ince) oluşan karışımın elek analizi sonuçları	153

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Silisyum-oksijen tetrahedri üç boyutlu görünüm	6
Şekil 2.2 : Kum, feldspat,kireçtaşı ve dolomitin tane boyut dağılımları	7
Şekil 2.3 : Mineralojik olarak kalsit ve dolomit arasında izomorfik bir geçiş	8
Şekil 2.4 : Kireçtaşı ve dolomitin termal davranışları	9
Şekil 2.5 : Cam kırığı partikül boyutunun cam ergime süresine etkisi ..	13
Şekil 3.1 : Katı malzemeleri havadaki akışkanlaştırma davranışlarına göre sınıflandıran Geldart diyagramı	18
Şekil 3.2 : Tane büyüklük dağılımının grafiksel olarak gösterilmesi Yukarıdaki: Rölatif sıklık dağılımı yüzdesi Aşağıdaki: Kümülatif elekaltı ve eleküstü dağılımı	19
Şekil 4.1 : Harman stabilitesi ve temel parametreleri	28
Şekil 4.2 : Yuvarlanan (tumbler) karıştırıcılar a)yatay silindir b)çift konili c)V-konili d)Y-konili	31
Şekil 4.3 : Açık bir şeritli karıştırıcının plan görünüşü	32
Şekil 4.4 : Dikey vida karıştırıcıları: a) Merkezden vidalı b)Dönen vidalı	32
Şekil 4.5 : Önerilen 4 temel segregasyon mekanizmalarının şematik gösterimi	34
Şekil 4.6 : Değişik tane çapı oranlarına karşı gelen segregasyon katsayıları	34
Şekil 4.7 : Değişik ortalama tane çaplarına karşı gelen segregasyon katsayıları	35
Şekil 4.8 : Silolarda ve konveyörlerdeki eleme segregasyonu	36
Şekil 4.9 : Birinci siloda eleme ve huni akıştan kaynaklanan segregasyon	37
Şekil 4.10 : İkinci siloda oluşan, birinci silodaki karışım, eleme ve huni akıştan kaynaklanan segregasyon	37
Şekil 4.11 : Eğimli bir olukta eleme segregasyonu	38
Şekil 4.12 : Bir oluktan boşaltım sırasında oluşan segregasyon	39
Şekil 4.13 : Silolarda oluşan akışkanlaşma segregasyonu	40
Şekil 4.14 : Hava sürüklemesinin tane yörüngelerine etkisi	42
Şekil 4.15 : Yığının açılar farkından oluşan segregasyon	42
Şekil 4.16 : Çok çıkışlı siloların plan görünüşleri	49
Şekil 4.17 : Bir katı yığının açısı	51
Şekil 4.18 : Silolarda akış modelleri	53
Şekil 4.19 : Silo çıkışında kemer oluşumu	58
Şekil 4.20 : Siloda kanal (rathole) oluşumu	58
Şekil 4.21 : Düzensiz akış (Taşma- Flooding)	59

Şekil 5.1	: (a) Laboratuvar ortamında tasarlanan hammadde taşıma sistemini sembolize eden düzenek (b) Kullanılan bantın üstten görünüşü	63
Şekil 6.1	: 15° banttant geçen dolomitin elek analizi grafikleri	66
Şekil 6.2	: 25° banttant geçen dolomitin elek analizi grafikleri	68
Şekil 6.3	: 15° banttant geçen kumun elek analizi grafikleri	70
Şekil 6.4	: 25° banttant geçen kumun elek analizi grafikleri	71
Şekil 6.5	: Çayırova'daki banttant geçen kolemanitin (a) ayrışsal grafiğı (b) küm.elek altı grafiğı	72
Şekil 6.6	: 15° ve 20° banttant geçen kolemanitin elek analizi grafikleri	73
Şekil 6.7	: 15° banttant geçen sodanın elek analizi grafikleri	74
Şekil 6.8	: 25° banttant geçen sodanın elek analizi grafikleri	75
Şekil 6.9	: 15° banttant geçen feldspatın elek analizi grafikleri	77
Şekil 6.10	: 25° banttant geçen feldspatın elek analizi grafikleri	78
Şekil 6.11	: 15° banttant geçen kalkerin elek analizi grafikleri	79
Şekil 6.12	: 25° banttant geçen kalkerin elek analizi grafikleri	80
Şekil 6.13	: 15° banttant geçen %50 kalker + %50 dolomitten oluşan karışımın elek analizi grafikleri	81
Şekil 6.14	: 25° banttant geçen %50 kalker + %50 dolomitten oluşan karışımın elek analizi grafikleri	82
Şekil 6.15	: 15° banttant geçen %50 kum + %50 feldspattan oluşan karışımın elek analizi grafikleri	84
Şekil 6.16	: 25° banttant geçen %50 kum + %50 feldspattan oluşan karışımın elek analizi grafikleri	85
Şekil 6.17	: 15° banttant geçen %60 kum + %30 soda + %10 dolomitten (iri) oluşan karışımın elek analizi grafikleri	86
Şekil 6.18	: 25° banttant geçen %60 kum + %30 soda + %10 dolomitten (iri) oluşan karışımın elek analizi grafikleri	88
Şekil 6.19	: 15° banttant geçen %60 kum + %30 soda + %10 dolomitten(ince) oluşan karışımın elek analizi grafikleri.....	90
Şekil 6.20	: 15° banttant geçen %60 kum + %30 soda + %10 dolomitten(ince) oluşan karışımın % rutubet-d ₅₀ grafiğı.....	91
Şekil 6.21	: 25° banttant geçen %60 kum + %30 soda + %10 dolomitten(ince) oluşan karışımın elek analizi grafikleri	92
Şekil 6.22	: 25° banttant geçen %60 kum + %30 soda + %10 dolomitten(ince) oluşan karışımın % rutubet-d ₅₀ grafiğı.....	93
Şekil 6.23	: 25° banttant geçenlerin bant sonlarının kümülatif elek altı grafikleri	95
Şekil 6.24	: 25° banttant geçenlerin d ₅₀ ve rölatif rutubet grafiğı	95
Şekil 6.25	: 15° banttant geçen kuru kalker numunesinin mikroskop görüntüleri	97
Şekil 6.26	: 15° banttant geçen %2 rutubetli kalker numunesinin mikroskop görüntüleri	98
Şekil 6.27	: 25° banttant geçen kuru kalker numunesinin mikroskop görüntüleri	99
Şekil 6.28	: 25° banttant geçen %2 rutubetli kalker numunesinin mikroskop görüntüleri	100
Şekil 6.29	: 25° banttant geçen kuru ve %2 rutubetli feldspat numunesinin mikroskop görüntüleri	101

Şekil 6.30	: 15° banttān geçen %2 rutubetli %50 kum + %50 feldspattan oluşan karışımın mikroskop görüntüleri	102
Şekil 6.31	: 25° banttān geçen %2 rutubetli %50 kum + %50 feldspattan oluşan karışımın mikroskop görüntüleri	103

SEMBOL LİSTESİ

Φ_s	Küresellik
d	Eşdeğer çap
d_v	Hacim eşdeğer çapı
d_s	Yüzey eşdeğer çapı
A_{sp}	Tane yüzey alanı
V	Hacim
m	Kütle
d_p	Tane büyüklüğü
ε	Boşluk oranı
ρ_b	Yığın yoğunluğu
ρ_p	Tane yoğunluğu
ρ_f	Akışkan yoğunluğu
F_{el}	Elektrostatik kuvvet
Q_1, Q_2	Tane yükleri
ξ	Sıvının elektriksel geçirgenliği
Z	Tanelerin merkezleri arasındaki mesafe
$R_{1,2}$	Tane çapları
F	Kuvvet
F_{van}	Van der Waals çekim kuvveti
h_ω	Lifshitz-van der Waals sabiti
F_{kap}	Kapiler çekim kuvveti
φ	Islatma açısı
η	Yüzey gerilimi

CAM HAMMADDELERİNİN SEGREGASYON EĞİLİMİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Cam hammaddelerinin elde edilecek ürünün özelliğine göre belli oranlarda ve tane boyutları farklı olacak şekilde karıştırılması , en son iri boyutta cam kırığı ilavesi sonucu cam harmanı elde edilir. Cam harmanında kalite, harman stabilitesinin bir fonksiyonudur. Harman stabilitesi; homojenite, segregasyon ve akış davranışıyla ilgili olan harmanın reolojik bir özelliğidir. Harman stabilitesinin iyi olabilmesi için harman homojenliğinin ve akışkanlığının artırılması, segregasyon eğiliminin de azaltılması gerekir.

Segregasyon, tane karışımındaki irilerin incelerden ayrılmasıdır. Katı tanelerden oluşan karışımlar taşınma ve işlenme sırasında birbirinden ayrılıp, segregasyona uğrayabilirler. Bu durum genellikle hammadde kaybı ve hatalı nihai ürünlerin oluşması gibi pahalıya mal olan problemlere yol açarlar.

Bu tez çalışmasında cam hammaddelerinin segregasyon eğiliminin test edilmesi, kurulan deney düzeneğinde değiştirilen parametrelerin segregasyon eğilimi üzerine etkilerinin neler olduğunun belirlenmesi ve buna bağlı olarak belli bir segregasyon indeksi oluşturabilmek hedeflenmiştir.

Deneyisel çalışmalara tesislerde kullanılan hammaddelerin taşınmasını sağlayan konveyörlere benzeyen bir düzenek tasarlanarak başlanmıştır. Bilecik kumu, kolemanit, soda, feldspat, dolomit, kalker gibi hammaddeler tek başlarına ve değişik oranlarda karıştırılmalarından elde edilen sentetik harmanlar kullanılarak tasarlanan taşıyıcı sistemden tane boyutu, rutubet içeriği ve bant açısı gibi parametrelerde değişiklikler yapılarak geçirilmiştir. Tüm malzeme bant üzerine boşaltılınca, tane hareketini sağlayan elektriksel titreştirici kapatılıp, bant üzerindeki belli aralıklardan ve bant sonunda toplanan numunelerden örnekler alınmıştır.

Deneyden sonra, alınan örnek numunelere elek analizi yapılmıştır. Elek analizi sonuçlarına göre kümülatif elek altı grafikleri çizilmiş, bu grafiklerden d_{50} değerleri hesaplanmıştır. Deney sonuçlarına göre, hem tek ve iki bileşenli karışımların taşınması için en uygun bant açısının 25° , en uygun rutubet miktarının da %2 olduğu; üçlü karışım için ise kuru halde 25° olduğu görülmüştür.

ANALYSIS OF SEGREGATION TENDENCY OF GLASS RAW MATERIALS

SUMMARY

Glass batch is obtained by mixing glass raw materials of different ratios and particle end sizes according to the desired properties of the end product, and then finally adding coarse cullet. The quality of the glass batch is a function of batch stability. Stability is a rheological property of the batch that is related to homogeneity, segregation and flow behavior. In order to have a stable batch, it is required to increase batch homogeneity and flowability, and to decrease segregation.

Segregation is the separation of the coarse particles from the fines. Mixtures of solid particles may get separated during handling and conveying due to segregation. This commonly causes costly problems such as loss of raw materials and faulty end products.

The object of this project is to test the tendencies of glass raw materials towards segregation, to specify the effects of the changing parameters of the test device, and to create a segregation index from these results.

The experimental studies have been initiated by designing a device that is similar to the conveyors that are used to transport raw materials in factories. Materials like Bilecik sand, colemanite, soda, feldspar, dolomite and limestone have been passed through this transport system either separately or as synthetic mixtures of different ratios. This has been repeated by changing parameters like particle size, humidity and the angle of the conveyor belt. After all of the material has been released onto the belt, the device that provides the vibration is turned off and samples have been taken from several points on the belt and from the material that has been gathered at the end.

After the experiment, sieve analysis has been made on each of the samples. Cumulative mass percentage undersize graphs were made from the results, and d_{50} values were determined. It has been determined that the ideal belt angle is 25° , and the ideal humidity value is 2% for the transportation of single and double component mixtures; for triple component mixture is dry and the angle is 25° .

1.GİRİŞ VE AMAÇ

Cam harmanı genellikle oldukça iri boyutta cam kırığı eklenen, tane boyutları farklı olan, kuru bileşenlerin karışımıdır. Böyle karışımlar segregasyona ya da silolarda ve oluklarda işlenirken, fırına taşınırken aynı özelliklere sahip malzemelerin ayrı gruplar oluşturarak birbirinden ayrılmasına eğilimlidir. Harman segregasyonu fırına giren malzemelerin kimyasal bileşiminde ya da fiziksel özelliklerinde (örneğin yoğunluk) değişime neden olabilir. Bu değişimler renk değişimleri, damar, habbe ve uzun habbe (fıska) gibi kalite problemlerinin ortaya çıkmasında baş etkenler olabilir.

Kuru yığın katılardan üniform bir karışım elde edilmesi ve bu karışımın cihazlarda akış boyunca korunabilmesi ilaç, gıda, plastik, toz metaller ve batarya üretimi gibi endüstrilerdeki mühendisler ve operatörlerin her gün karşılaştığı bir problemdir. Bileşen değişimleri, verimsiz karıştırma ya da karıştırmadan sonra tane segregasyonunun (ayrışma) kontrol edilememesi gibi nedenler verimin düşmesi, karıştırma süresinin artması ve hatalı nihai ürünlerin oluşması gibi pahalıya mal olan sorunlara yol açar.

Cam endüstrisinde, fırına girecek cam harmanının homojenlik açısından kalitesini arttırmak için çeşitli önlemler alınır. Bunlar, nihai ürünler için azaltılmış hata seviyesi, cam kırığı kullanımının arttırılması, enerji veriminin geliştirilmesi ve zorlu emisyon şartlarının karşılanabilmesidir. Ancak diğer tedarikçiler ve alternatif malzemelerden dolayı artan rekabet ortamında bunları başarmak zordur. Üretim zincirindeki tüm alanları içine alan bir yaklaşım gereklidir. Katıların işleme sistemlerinin harmanlama proseslerine etkisinin göz önünde bulundurulması gerekir. Segregasyon ve malzeme akışı konuları operasyonel sorunların temeli olabilir. Bu sorunların çözülebilmesi için katı akış modellerinin yanı sıra, tipik akış problemlerinin ve segregasyon mekanizmalarının anlaşılması gerekir. Buradan hareketle temelde bulunan problemlerin çözümü ya da engellenebilmesi için başarılı bir yaklaşımda bulunulabilir.

Cam üretimindeki ekonomik manzara değıştikçe mühendisler gelişmelerin işlemin tüm alanlarını kapsaması gerektiğini anlamaktadır. Harman bileşiminin kontrolüne yardım etmek ve daha sıkı ürün kalite standartlarını yakalamak için yeni işletmelere yüksek kaliteli harmanlama sistemleri kurulmakta ve var olanlara da uyarlanmaktadır. Bu sistemler genellikle kontrolü iyileştirmekte ve harman değışkenliğini azaltmaktadır. Bu da verimin artmasını ve fırının daha iyi kontrol edilebilmesini sağlar. Cam harmanını karıştırma ve fırına taşıma arasında dikkat edilmesi gereken başka aşamalar da olduğundan, bu sistemler komple çözüm bulmada yetersiz kalmaktadır. Diğer sıkıntılar arasında bileşenlerin yenilenmesi ya da emisyon kontrol şartlarının sağlanabilmesi için aşırı ince miktarının azaltılması yer alır. Sonuç olarak, geri dönüşüm ve düşük enerji tüketimi konularına gösterilen ilgi, birçok işletmede daha çok cam kırığı kullanılmasına yol açmıştır. Fakat, karışık harmanda cam kırığının yoğunluğu genelde %15 civarındadır ki bu da sıkı bileşim kontrolünü gerektirir. Tüm bu değışiklikler iş perspektifinden bakıldığında gelişmeler sağlasa da, akış sorunu ve tane segregasyonu gibi belirli malzeme işleme problemlerine neden olurlar.

Katı akış problemleri ürüne bağılı olarak değışebilen ve ölçülebilir kalite problemlerine neden olurlar. Depolama silolarındaki segregasyon, karışık bir harmanda tane boyutu bazında kimyasal değışikliklere neden olabilir. Belli bir bileşenin ya da harmanın kendisinin karıştırmadan sonraki segregasyonu, fırın besleme silolarından bazı dönemlerde çok miktarda ince tane gelmesine yol açar ve böylece fırının tane emisyonunu arttırır. Bu fazla miktardaki ince tane fırın refrakterinin korozyonuna, fırının ömrünün kısılmasına ve üründe başka sorunlara yol açar. Son olarak, bu ince taneler rejeneratör tıkanmalarına, fırının verimliliğinin düşmesine ve yüksek enerji tüketimine neden olur.

Harman hazırlama işleminde oluşan akış ya da segregasyon problemleri ürün kalitesini etkilemekten öte sorunlar da doğurabilir. Örneğin; kararsız harman bileşiminin açıklarının karşılanabilmesi amacı ile fırının normalden yüksek sıcaklıklarda çalıştırılması gerekebilir. Fırın içinde karışma için daha fazla zaman sağlanması ve böylece yapısal toplanmaların eşit şekilde dağıtılması için çekiş hızının düşürülmesi gerekli olabilir. Harman besleme silolarının (ya da içindeki hareketsiz malzemenin) tamamen boşalmaması, harmandaki istenen bileşim değışimleri yapabilmesi konusunda operatörü engeller ve cihazın önceden

temizlenmesi için ilave çaba gerektirir. Son olarak, hammadde silolarında ilk giren-ilk çıkar mekanizması olmadığı sürece hammadde yönetimi zorlaşır [1].

Bu çalışmanın amacı, farklı granülasyon özellikleri gösteren cam hammaddelerinin segregasyon eğilimlerini test etmek ve deney düzeneğinde değiştirilen parametrelerin segregasyon eğilimi üzerine etkilerinin neler olduğunu belirleyip buna bağlı olarak belli bir segregasyon indeksi oluşturabilmektir. Bu amaca uygun olarak öncelikle hammadde taşıyıcısı olarak tesislerde kullanılan konveyör bantlara benzer bir düzenek hazırlanacaktır. Farklı hammaddelerin değişik oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen sentetik cam harmanları kullanılan hammaddenin boyutu, nem içeriği, bant açısı gibi parametrelerde değişiklikler yapılarak bu banttan geçirilecektir. Daha sonra bant üzerinden belli aralıklardan ve bant sonundan alınan numunelere elek analizi yapılacaktır. İncelemeler elek analizi sonuçlarından oluşturulan grafikler yardımıyla yapılacaktır ve belli çıkarımlar elde edileceği düşünülmektedir.

2.CAM HAMMADDELERİ

Cam yapı olarak bir metal oksitleri karışımıdır. Kullanılan hammaddeler camı oluşturan metal oksitlerini sağlarlar.

Cam harmanında doğal ve yapay hammaddeler kullanılır. Kuvars (SiO_2) dışında tek oksit sağlayan hammadde yok denecek kadar azdır. Çoğu iki veya daha fazla oksitten meydana gelirler. Bu yüzden istenilen kompozisyonun sağlanabilmesi için hammaddelerin belli oranlarda karıştırılmaları gerekir. Cam kompozisyonunu oluşturmak için sadece doğal hammaddeler yetmeyebilir. Çoğu zaman soda ve borik asit gibi yapay hammaddelerin de kullanılması gerekli olur. Bunlar bir veya en çok iki oksit içerdikleri için cam içindeki oksitlerin tek tek ayarlanabilmesine olanak verirler [2].

Camdaki yapısal rollerine göre oksitler 3 gruba ayrılır. B^{3+} , P^{5+} , Si^{4+} , As^{5+} , Ge^{4+} gibi iyonların oluşturduğu oksitler camdaki şebeke yapısını oluşturan oksitlerdir. Be^{2+} , Al^{3+} , Ti^{4+} , Zr^{4+} iyonların oluşturduğu oksitler ara oksitlerdir ve bunlar tek başına cam oluşturmazlar fakat silikat yapısına girebilen oksitlerdir. Mg^{2+} , Li^+ , Ca^{2+} , Na^+ , Ba^{2+} , K^+ iyonlarının oluşturduğu oksitler şebeke yapısını modifiye edici oksitlerdir yani cam oluşturmazlar ve şebeke yapısında yer almazlar [3].

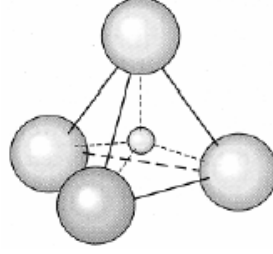
Camın en önemli hammaddesi silika (SiO_2)'dır. Cam oluşturan oksitlerin en önemlisidir. SiO_2 , kum ve çeşitli kayaların ana bileşenidir. Fakat çoğu kum, cam üretimi için yeterli saflıkta değildir [4]. Cam üretiminde başlıca hammaddeler olarak silis kumu (SiO_2), kireçtaşı (CaCO_3), dolomit ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), feldspat ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$), soda (Na_2CO_3) ve cam kırığı kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra istenilen cam özelliklerine bağlı olarak bor oksit (B_2O_3), kurşun oksit (PbO), potasyum oksit (K_2O) ve istenilen renge göre de çeşitli renk verici malzemeler de kullanılmaktadır.

Tablo 2.1: Cam Yapıcı Malzemelerin Özellikleri [4]

Hammadde	Kimyasal Kompozisyon	Cam Yapıcı Oksidi	Oksit Yüzdesi
Kum	SiO ₂	SiO ₂	100,0
Soda	Na ₂ CO ₃	Na ₂ O	58,5
Kireçtaşı	CaCO ₃	CaO	56,0
Dolomit	CaCO ₃ ,MgCO ₃	CaO	30,4
		MgO	21,8
Feldspat	(K,Na) ₂ O.Al ₂ O ₃ .6SiO ₂	Al ₂ O ₃	18,0
		K ₂ (Na ₂)O	13,0
		SiO ₂	68,0
Boraks	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	Na ₂ O	16,3
		B ₂ O ₃	36,5
Borik asit	B ₂ O ₃ .H ₂ O	B ₂ O ₃	56,3
Kurşun oksit	PbO	PbO	100,0
Potas	K ₂ CO ₃ .1,5H ₂ O	K ₂ O	57,0
Florspat	CaF ₂	CaF ₂	100,0
Çinko oksit	ZnO	ZnO	100,0
Baryum karbonat	BaCO ₃	BaO	77,7

2.1 Silika

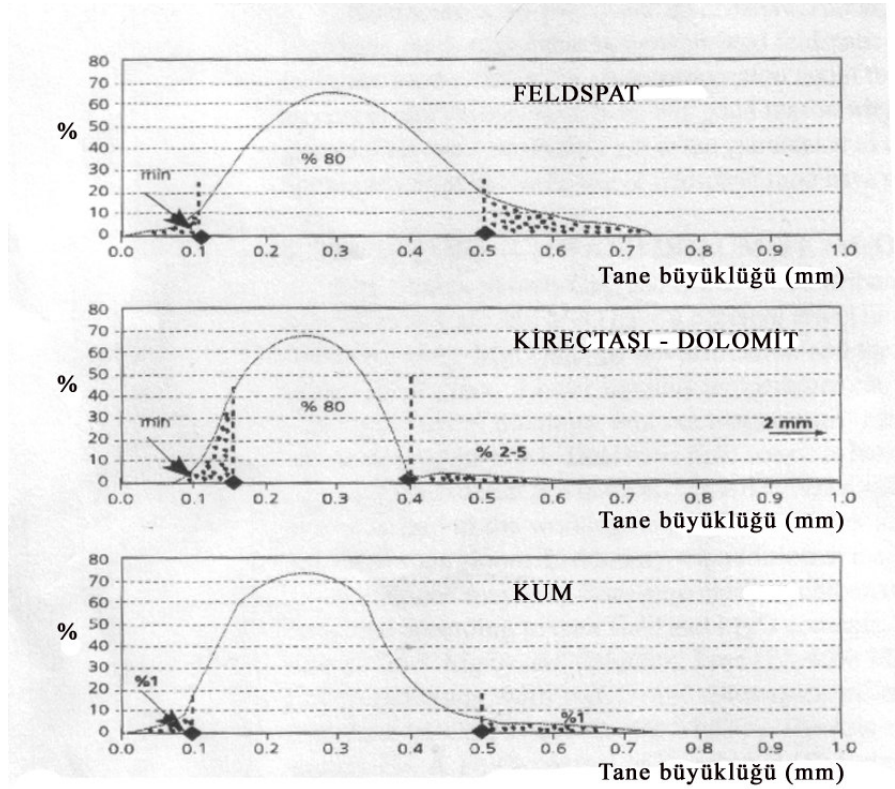
Cam üretiminin en önemli hammaddesidir. Silika; kuvars, tridimit ve kristobalit kristalin formunda oluşur. Cam ev eşyası (tabak, bardak, kap, vs.), cam ambalaj (şişeler ve kavanozlar) ve düz cam (pencere camı v.s.) ürünlerinin yapımında kullanılan soda-kireç camları % 65-75 oranında silika içerirler. SiO₂, doğada kuvars, kum, kumtaşı ya da kuvarsit şeklinde bulunur. Camda kuvars kullanılır. Cam hammaddesi olarak kullanılan kuvars renksiz (demir oranı çok düşük) olmalıdır. Silika (SiO₂) ve silikatlerin (SiO₂'nin diğer oksitlerle oluşturduğu bileşikler) temel yapı birimi silisyum ve oksijen atomlarının oluşturduğu bir tetrahedr'dir. Bu tetrahedrin merkezinde Si⁺⁴ iyonu, köşelerinde O⁻² iyonları yer alır.



Şekil 2.1: Silisyum-Oksijen Tetrahedri Üç Boyutlu Görünüm [5]

Kumun seçimindeki en önemli kriter Fe_2O_3 içeriğidir. Demir ya da diğer metal taşıyıcı mineralleri gibi safsızlıkların uzaklaştırılması gerekir. Safsızlıklar yıkama, sıkma (skrab), klasifikasyon, flotasyon, manyetik ve elektrostatik seperasyon yöntemleriyle ayrılabilir.

Kumun tipi ve saflaştırma prosesinin genişliği, hangi tip cam üzerinde kullanılacak olmasına bağlıdır. Örneğin optik camlarda ya da kristal camlarında kullanılacak kuvars % 0.015'ten fazla Fe_2O_3 içermemelidir. Kumun tane büyüklüğünün ve dağılımının üniform olması çok önemlidir. En fazla %1-2 oranında 0.5mm (32 mesh) ve % 5-10'un altında 0.1mm (140 mesh) iriliğinde tane içermesi tercih edilen dağılım oranlarıdır. Tane büyüklüğü 0.1 - 0.5mm arasında olmalıdır çünkü 0.5mm'den daha kaba kuvars taneleri ergitmede zorluk çıkarır, 0.1mm'den daha ince kuvars taneleri ise hem harman tozumasına neden olur hem de manyetit ve ilmenit gibi demir ihtiva eden mineraller içerebilir. Harman tozumasının ispatı da paddle test ve izostatik örnekleme ile yapılmaktadır [2, 6].



Şekil 2.2: Kum, Feldspat, Kireçtaşı ve Dolomitin Tane Boyut Dağılımları (Tercih edilen granülometrilerin grafiksel gösterimidir.) [6]

Silika 1700°C'nin üzerinde ergir. Bu ergime sıcaklığını düşürmek için diğer oksitlerin ilavesi gereklidir [7].

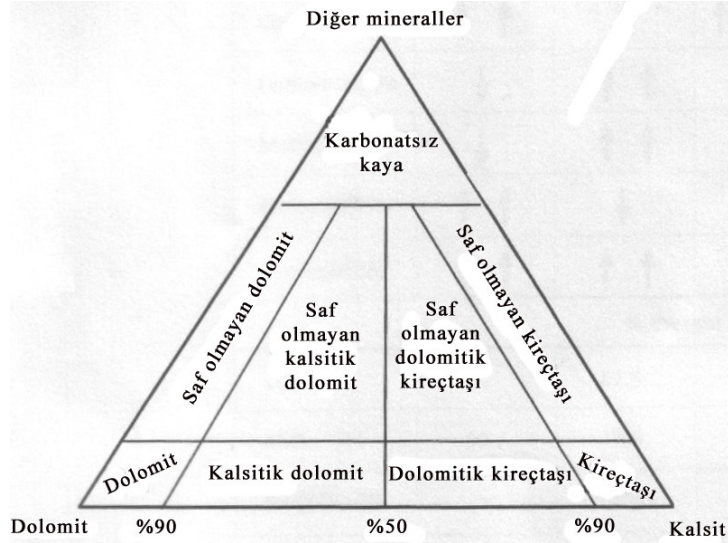
Tablo 2.2: Hammadde Olarak Kullanılan Silikanın Tipik Kimyasal Bileşimi[8]

Oksit	Yüzde
SiO ₂	% 99.1
Al ₂ O ₃	% 0.2
Fe ₂ O ₃	% 0.04
CaO	% 0.2
MgO	% 0.1

2.2 Kireçtaşı

Kireçtaşı (CaCO₃), cam harmanına kalsiyum oksit (CaO) sağlamak amacıyla katılır. Kireçtaşı saf kalsiyum karbonattan saf dolomite şekil 2.3'de gösterildiği gibi değişim gösterir. Ticari kireçtaşları CaO ve MgO içeriklerine göre sınıflandırılırlar: Yüksek kalsiyumlu kireçtaşı (<%5 MgO), magnezyumlu kireçtaşı (% 5-25 MgO) ve dolomitik kireçtaşı (% 25-45 MgO). Kireçtaşı minimum %96 CaCO₃ ve empürite olarak da MgCO₃ ve silika içermelidir. Çoğu kireçtaşı Al₂O₃ içerir ve çoğu zaman bu

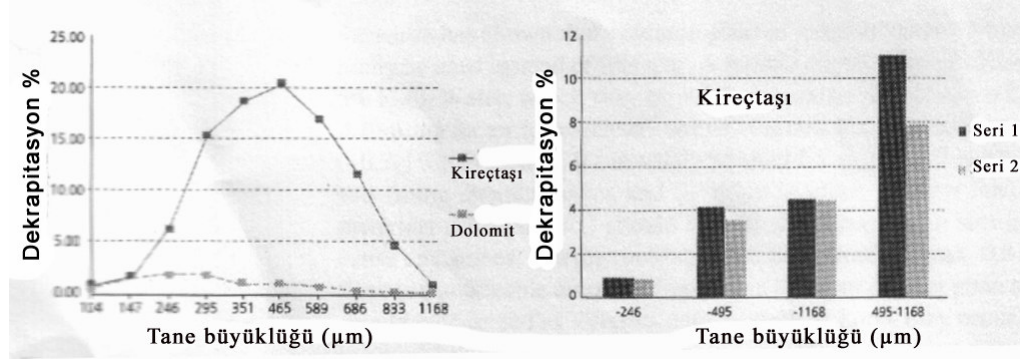
içerik kabul edilebilir miktardadır. Kireçtaşındaki demir içeriği cam ambalaj ve düz camda % 0.1'den fazla olmamalıdır [4, 6].



Şekil 2.3: Mineralojik Olarak Kalsit ve Dolomit Arasında İzomorfik Bir Geçiş (Bu minerallerin saf halleri karışımlarından oluşanlar kadar yaygın değildir) [6].

Kireçtaşının önemli bir özelliği sıcaklık etkisiyle çatlamasıdır. 850-900°C civarında CO₂ uzaklaşır. CO₂ erimiş camın karışmasına yardımcı olarak homojeniteye olumlu yönde katkıda bulunur. 900°C'de CO₂ ortamdan uzaklaşınca iri taneler çatlayarak ince tozlar haline gelir. Bu reaksiyon doghouse (harman besleme noktası) yakınlarında meydana gelince fırın içindeki tozuma potansiyelinde artış meydana gelir. İri taneler (+32 mesh) şiddetli bir şekilde çatlarlar.

Fırına giren ince taneler başlangıçta hızlı bir şekilde sinterlendiklerinden onların tozuması önemli değildir. Dikkate alınması ve incelenmesi gereken iri tanelerin (>0.5mm) sıcaklık etkisiyle çatlayarak oluşturduğu ince tanelerin tozumasıdır. Kireçtaşında bu olayın seviyesi %20'lere kadar çıkabilir.



Şekil 2.4: Kireçtaşı ve Dolomitin Termal Davranışları [6]

900°C civarında CO_2 uzaklaşınca, sadece CaO kalır ve camın yapısına girerek sertliği geliştirir, kimyasal direnci artırır ve ergime sıcaklığını düşürür [4].

2.3 Dolomit

Dolomit (CaCO_3 , MgCO_3) kalkerin, magnezyum karbonat içeriğinin artması suretiyle meydana gelmiş geçiş ürünü olarak tanımlanabilir. Cam harmanında MgO kaynağı olarak kullanılır. Dolomitin cama verdiği CaO , sağladığı MgO 'ya oranla ikinci derece öneme sahiptir [2, 7].

Kireçtaşı ve dolomitin tane boyut dağılımının erime hızı üzerinde etkisi bulunmamaktadır. Cam kap üretiminde, kireçtaşı ve dolomit için 2 mm'ye kadar müsaade edilmektedir. 1 mm'ye kadar olan taneler % 5'le sınırlandırılmıştır [2].

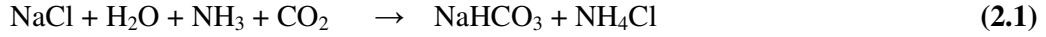
Dolomitte de kireçtaşındaki gibi sıcaklık etkisiyle çatlama meydana gelir. Fakat bu durum kireçtaşına oranla daha düşük oranda ve şiddette meydana gelir. Gözlenme oranı % 4-5 civarındadır [6].

Cam içinde bulunan MgO camın kristalleşme oranını düşürür. Diğer tüm özellikleri kireçtaşı ile aynıdır [8].

2.4 Soda

Na_2O kaynağı olarak sodyum karbonat (Na_2CO_3), sodyum sülfat (Na_2SO_4) ya da sodyum nitrat (NaNO_3) kullanılır. Soda renksiz, higroskopik özelliğe sahip bir maddedir. Ağırlıkça %10'a kadar bünyesine su alabilir. Na_2O , genellikle Na_2CO_3 (soda)'ten elde edilir. Na_2HCO_3 ise NaCl 'den solvay prosesiyle elde edilir. Solvay prosesinde tuz çözeltisi, sodyum bikarbonat (NaHCO_3) vermek üzere amonyak ve

CO₂ ile reaksiyona girer. Elde edilen NaHCO₃'ün kontrollü olarak ısıtılması ve prosese tabi tutulmasıyla soda elde edilir [2, 7].



Sodyum bikarbonat ısıtıldığında;



Na₂CO₃'ten Na₂O cama geçer, CO₂ ise bacadan gider. Ayrıca, soda doğal olarak trona cevherinden de üretilir. Tronanın kimyasal adı sodyum seski karbonat, kimyasal formülü Na₂.CO₃.NaHCO₃.2H₂O'dur. Tronadan elde edilen soda kimyasal açıdan birbirine eşdeğerdir.

Cam endüstrisinde kullanılan soda tane büyüklüğüne göre hafif ve ağır olmak üzere iki genel grupta toplanır. Ağır soda da kendi içinde yoğun, özel yoğun ve granüler olmak üzere sınıflandırılmıştır. Günümüzde daha dar tane boyut dağılımına sahip (+ 0.177mm % 82.6 - + 0.125 % 10.3 ve - 0.125 % 7.1) sahip olması, tozlanmaya, topaklanmaya ve kütleleşmeye eğilimi olmayan granüle soda kullanılmaktadır [2].

Soda cam yapımında en çok kullanılan flaks (ergitmeyi kolaylaştırıcı) maddesidir. Ergime sıcaklığını düşürmekten başka ısı genleşme katsayısını artırır fakat kimyasal dayanıklılığı düşürür [7].

2.5 Feldspat

Genel formülü R₂O.Al₂O₃.6SiO₂'dir. R'nin yerine Na veya K alır. Feldspat (Na₂O.Al₂O₃.6SiO₂), alümina (Al₂O₃) ihtiyacına karşılık cam harmanına eklenir. Feldspatik kumlar kolay bulunduğu ve uygun kalitede olduklarından ucuz Al₂O₃ kaynağı olarak kullanılabilirler. Feldspat ve nefelin siyenit başlıca Al₂O₃ kaynağı olan minerallerdir. Bu mineraller, % 18-23 arasında Al₂O₃ ve % 10-13 arasında alkali oksitleri (Na₂O+K₂O) içerirler. Demir oranı % 0.1'i aşmamalıdır.

Alümina cam bileşimi için çok önemlidir. Camın işlenebilirliğini geliştirir, kimyasal ve mekanik direnci artırır ve kristalizasyon eğilimini azaltır. Soda-kireç camları genelde % 1-2 Al₂O₃ içerir.

Tablo 2.3: Hammadde Kaynağı Olarak Kullanılan Feldspatın (Albit/Ortoklas Karışımı) Tipik Kimyasal Bileşimi [8]

Oksit	Yüzde
SiO ₂	% 76.5
Al ₂ O ₃	% 13.6
CaO	1%
Na ₂ O	% 3.6
K ₂ O	% 4.5

Feldspat 1100-1200°C arasında ergir ve ergiyen cam harmanı içinde kolayca çözülür [9].

2.6 Bor Oksit

Borosilikat camların yapımında kullanılan bor oksidin (B₂O₃) ana kaynakları; borik asit (H₃BO₃), boraks (Na₂B₄O₇.10H₂O) ve kolemanittir (2CaO.3B₂O₃.4H₂O). B₂O₃ cama yüksek ısı ve kimyasal dayanıklılık verir. Aynı zamanda düşük genleşme sağlar. Borosilikat camları % 12 B₂O₃ içerir. Soda-kireç-silis cam harmanına B₂O₃ içeriği % 0.6-1.5 olacak şekilde katılması ergitme ve afınasyonu olumlu yönde etkiler ve üretim kapasitesinde % 20-50 artış sağladığı ifade edilmektedir [2, 8].

2.7 Kurşun Oksit

Kurşun oksit (PbO) camın yoğunluğunu ve kırılma indisini yükseltir. Camın parlamasını, kolay kesilmesini ve işlenmesini sağlar. Genelde kristal cam üretiminde kullanılır. Kurşun oksit kaynağı olarak; kırmızı kurşun, litarj veya kurşun silikatlar kullanılır [8].

2.8 Potasyum Oksit

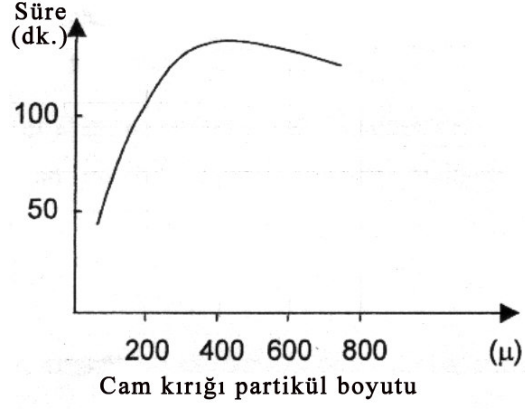
Cam harmanında potasyum oksit (K₂O) ihtiyacını potasyum karbonat (K₂CO₃) karşılar. Her ne kadar feldspattan bir miktar gelse de ana kaynak K₂CO₃'tür. Cama parlaklık kazandırır. Sodaya banzer bir flaks maddesidir. Genellikle kristal cam yapımında kullanılır. Yüksek kaliteli cam ev eşyalarının yapımında soda yerine kullanılır [8].

2.9 Cam Kırığı

Cam üretimi sırasında çeşitli nedenlerle ortaya çıkan hatalı ürünler, uygun tane büyüklüğüne kırılır, manyetik seperasyondan geçirilerek metalik malzemelerden temizlenir ve harmanla karıştırılarak üretimde değerlendirilir. Teknik olarak hammadde olmamasına rağmen harmanla birlikte fırına beslenmesi zorunludur.

Cam kırığı genellikle fırına beslenen hamaddenin 1/4'ü ile 1/2'si arasında harmana eklenir. Fırının ilk ateşlenmesinde kolay ergime için bir süre tamamen cam kırığı beslenir. Cam kırığı kaynağı olarak fabrikaların kendi ürünleri olan tank atığı camlar ve hatalı mamüller tercih edilir. Üretim yapılan cam bileşimiyle aynı olan bu tür cam kırıkları cam içerisinde problem çıkarmaz. Ancak dış kaynaklı cam kırıkları temiz olmalı, kimyasal kompozisyon ve renk itibarıyla üretilen camla uyum göstermesi gerekmektedir. Cam kırığında bulunabilecek yağ, organik madde ve metalik malzemeler renksiz veya renkli cam üretiminde renk kontrolü açısından güçlük yaratabilmektedir. Bundan dolayı cam kırığında bulunabilecek safsızlıklar için sınır değerler getirilmiştir [2, 9, 10].

Cam kırığının kullanımı, ana hammadde tüketiminde tasarruf sağlar ve buna bağlı olarak fırın içi tozumalarda ve hammadde reaksiyonları sonucunda oluşan baca atıklarında azalma meydana gelir. Doğal hammadde kaynaklarının daha uzun süreli kullanılabilmesi imkanı ortaya çıkar. Cam harmanının ergime sıcaklığı 1200°C gibi iken cam kırığı yaklaşık olarak 800°C'de ergir. Bu da ergime için gerekli enerjiden tasarruf sağlanması demektir. Cam kırığının partikül boyutu, ergime süresini etkileyen başka bir faktördür. Şekil 2.5'de cam kırığı partikül boyutunun ergime süresine etkisi görülmektedir [2, 10].



Şekil 2.5: Cam Kırığı Partikül Boyutunun Cam Ergime Süresine Etkisi [9]

Cam kırığının ergimeyi kolaylaştırması önemli bir etkidir ancak harmandaki cam kırığı ilavesi az ya da hiç olmadığı zaman ergiyen camın viskozitesi düşüktür, cam kırığı ilavesinin fazla olduğu koşullarda ise camın viskozitesi yüksektir ve bu durumda camın içerisindeki çözünmüş gazların hapsolmesi mümkündür [10].

3.CAM HAMMADDELERİNİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

3.1 Katı Tanelerin Karakterizasyonu

Bir katı yığın, esasen değişik boyutlardaki ve düzgün olmayan birçok tanenin (değişik kimyasal bileşim ve yoğunlukta olabilir) rast gele gruplanmasıyla meydana gelir. Böyle bir malzemenin karakteri (görünüşü, değişik durumlardaki davranışı, vs.) birçok faktöre ama temel olarak da yığını meydana getiren tanelerin büyüklüğüne, şekline ve yoğunluğuna bağlıdır.

Bir yığın malzemesinin karakteri o malzemenin işlenmesi ve depolanması için ekipman tasarlarken veya seçerken göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Katı yığınların karakterizasyonunda kullanılabilecek, malzemenin görünümü ve değişik durumlardaki davranışıyla ilgili olan çok sayıda betimsel terim ve sayısal parametre mevcuttur. Betimsel terimler katılar için gerekli olmalarına rağmen yeterli değildirler. Sayısal parametrelere katıyı nicel olarak karakterize etmek için ihtiyaç duyulur ve bu parametrelerle geçmiş deneyimlere dayanarak tasarımcının uygun tasarım yapabilmesi sağlanır [11].

3.1.1 Tane büyüklüğü, şekli ve yüzey alanı

Yığınları oluşturan katıların temel özellikleri tane büyüklüğü, şekli ve yüzey alanıdır ve birçok temel işlemde başlıca öneme sahiptirler. Bu özellikler birbirleriyle yakından ilişkilidir ve birlikte değerlendirilmelidir. Büyük ölçüde tanelerin etrafındaki akışkanla ve birbirleriyle olan etkileşim derecesini belirlerler. Bu etkileşimler de yığın malzemenin akabilirliği, akışkanlaşabilirliği, sıkıştırılabilirliği gibi davranışlarını etkiler. Maalesef bu parametrelerle yığın malzemelerin pratikteki davranışları arasındaki ilişki tam olarak anlaşılamamıştır. Herkesçe kabul gören taneleri büyüklüklerine göre tanımlayan ve sınıflandıran bir yöntem yoktur.

Shamlou [12], tane büyüklüğü ile ilgili bir sınıflandırmayı bazı ortak terimleri de içerecek şekilde Tablo 3.1’de vermiştir.

Tablo: 3.1: Katı Yığın Malzemelerin Büyüklüklerine Göre Sınıflandırılması [12]

Büyüklük aralığı (μm)	Standart Terim		Özellik
	Bileşen	Yığın	
30.000-300 (1000 μm 'ye kadar da olabilir)	tane ve topak	kırılmış katı	Serbest akışlı, fakat mekanik boşaltım sırasında kemerlenmeye neden olabilirler.
1000-100	tane	taneli katı	İnce tanelerin yüzdesi fazlaysa kohesif etkilerden dolayı kolay akışlı
<100 (i) 100-10	tane tane	toz taneli toz	Kohesif etkiler ve bazı akış problemleri gösterebilir
(ii) 10-1	tane	çok ince toz	Yüksek derecede kohesif, yönetimi çok zor
(iii) <1	tane	aşırı ince toz	Yönetimi son derece zor, imkansız

Küresel bir tanenin büyüklüğünü belirlemek için sadece çapı yeterlidir. Fakat birkaç toz hariç birçok endüstriyel tanenin şekli düzensizdir ve bunlar için tane büyüklüğü tanımı yapılırken zorlukla karşılaşılır. Bunun üstesinden gelmek için de büyüklük, tanenin bazı özelliklerine eşdeğer bir kürenin çapı ile ifade edilir ve bunlara eşdeğer çaplar denilir. Tablo 3.2’de bazı ortak kullanılan eşdeğer çaplar ve tanımları verilmiştir. Bunlardan başka eşdeğer çap tanımlamaları da mevcuttur [12].

Tane ne kadar düzensizse, değişik eşdeğer çaplar arasındaki farklılık da o kadar fazladır. Bunun için tanenin şekli önemlidir ve belirlemek gerekir. Tane şekli, tane büyüklüğünden bağımsızdır ve çeşitli yollarla belirlenebilir. Küresel olmayan

tanelerin şeklini matematiksel ifadelerle belirlemek kolay değildir, bu yüzden bir yaklaşım da bu tanelerin küresel olanlardan farkını göstermek için şekil faktörleri kullanılmasıdır. Bu şekil faktörlerinin en çok ortak kullanılanı küreselliktir (Φ_s) ve tanenin hacmiyle aynı hacme sahip kürenin yüzey alanının, tanenin yüzey alanına oranı olarak tanımlanır [12].

Tablo 3.2: Düzensiz Tanelerin Eşdeğer Çapları [12]

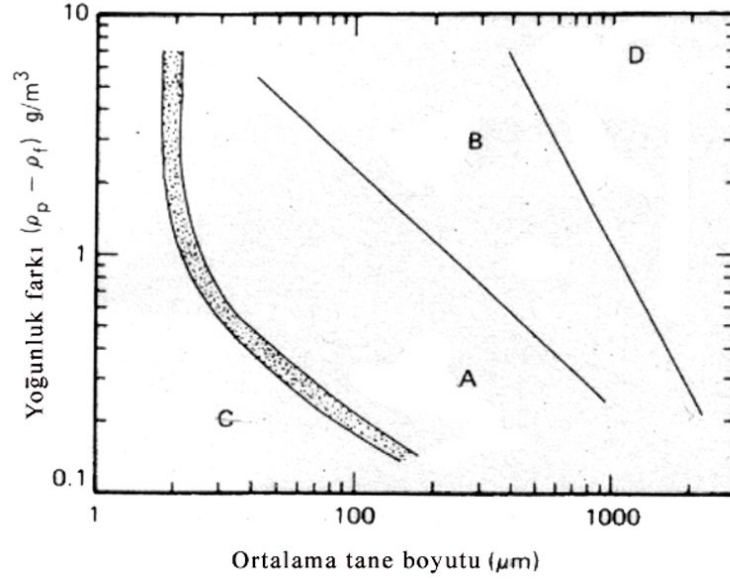
Eşdeğer Çap	Tanım
Alan dp	Tanenin pozisyonuna dik yönde bakıldığında alanı tanenin alanıyla aynı olan çemberin çapı $d_p = \left(\frac{4A_{sp}}{\pi} \right)^{1/2}$
Hacim dv	Hacmi, tanenin hacmi ile aynı olan kürenin çapı $d_v = \left(\frac{6V_p}{\pi} \right)^{1/3}$
Yüzey ds	Tanenin yüzeyiyle aynı yüzeye sahip kürenin çapı $d_s = \left(\frac{S}{\pi} \right)^{1/2}$
Elek da	Tanenin geçeceği kare açıklığın minimum boyu
Spesifik yüzey dsv	$d_{sv} = \frac{d_v^3}{d_s^2}$
Serbest-düşüş çapı df	Aynı tane sınır hızı ve yoğunluğuna sahip kürenin çapı

$$\Phi_s = \frac{\pi d_v^2}{A_{sp}} = \left(\frac{d_v}{d_s} \right)^2 \quad (3.1)$$

A_{sp} tanenin yüzey alanıdır. Küresel olmayan bir tane için hacim eşdeğer çapı (d_v) yüzey eşdeğer çapından (d_s) her zaman daha küçük bir değerdedir. Küresel bir tanecik için şekil faktörü 1'dir. Bütün koşullar aynı iken, Φ_s birim değerinden sapma gösteriyorsa, taneler daha az küresel ve akabilir (daha kohesif) olurlar. Endüstriyel katıların büyük bir çoğunluğu için küresellik değeri 0.65-0.98 aralığında değişmektedir. Pratikte, Φ_s değerlerini belirlemek d_v eşdeğer çapının deneysel olarak belirlenmesindeki zorluklardan dolayı o kadar kolay değildir. Bu yöntemin dışında küresellik için literatürde önerilmiş olan başka alternatif yöntemler de vardır [11, 12].

Küreselliğin belirlenmesi tanelerin hacim ve yüzey alanının ölçülmesine gerek duyar. Bu ölçümler kolay olmamakla beraber bir grup tane için ortalama değerler verecek şekilde ayrı ayrı gerçekleştirilmelidir. Sonuç olarak, Φ_s değeri ortalama bir değer olmasına rağmen, şekil olarak geniş aralıkta taneleri içeren katı yığın için az da olsa bir bilgi verecektir. Her ne kadar belirli kimyasal proseslerde bir yığını oluşturan tanelerin şeklinin ne olduğu hakkında bir bilgi gerekli olabilse de, katıları işleyen ve depolayan sistemlerin büyük bir çoğunluğunda böyle detaylı bilgi gerekli değildir. Gerçekten birçok depolama aygıtı katı malzemenin tane şekli göz önüne alınmadan tasarlanabilmektedir [11].

Taneler arası kuvvetlerin tanımlanması ve ölçülmesi yönünde önemli çalışmalar yapılmış olmasına rağmen, bu kuvvetler ve yığın malzemelerin pratikteki davranışları arasındaki ilişki tam olarak anlaşılamamıştır. Bu sorunun üstesinden gelmek için birçok deneysel ve yarı-deneysel yaklaşımlarda bulunulmuştur. Toz teknolojisinin her alanında kabul görmüş olan en geçerli sınıflandırma Geldart (1973) tarafından yapılmıştır. Bu sınıflandırmada, malzemenin bir gaz (genellikle hava) tarafından hangi şartlar altında akışkanlaştırılabileceğinin belirlenmesidir. Akışkanlaştırma davranışına göre malzemeler A, B, C ve D olmak üzere 4 gruba ayrılırlar ve grupların dahil olduğu sınırlar Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Daha sonraları, bu sınıflandırmaya dayanan diyagram başka araştırmacılar tarafından genişletilmiştir.



Şekil 3.1: Katı Malzemeleri Havadaki Akışkanlaştırma Davranışlarına Göre Sınıflandıran Geldart Diyagramı [12]

B grubuna dahil olan malzemelerin ortalama tane büyüklükleri 40-500 μ m arasında, yoğunlukları ise 1.4-4 g/cm³ arasında değişir. Bu gruptaki malzemeler minimum akışkanlaştırma değerinin üzerindeki her gaz hızında kabarcıklar oluşturarak kolayca akışkanlaştırılırlar.

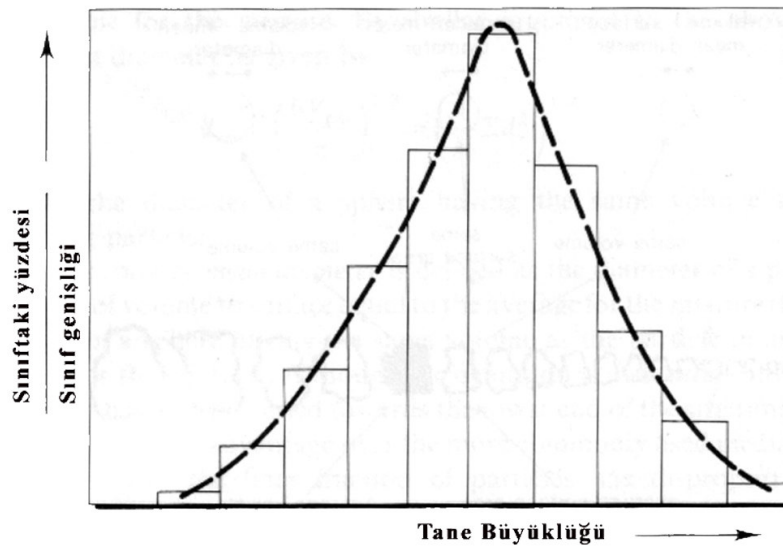
A grubu malzemeleri de ideal olarak kolayca akışkanlaştırılırlar, fakat herhangi bir kabarcık belirtisi göstermeden önce genişirler. Kabarcık oluşumu sınırlıdır, akışkan hızı arttıkça da genişmeyi kabarcıklı akışkanlaşma izler.

C grubundaki malzemeler yüksek derecede kohesiftirler ve akışkanlaştırılmaları son derece zor, hatta imkansızdır. Kabarcıklar oluşmaz, gaz akışı malzeme boyunca kanallar oluşmasına neden olur ve malzeme yığının yüzeyine yayılan gaz sadece bu kanallardan geçer. C grubu malzemelerinin davranışı sıklıkla taneler arası kuvvetlerin (van der Waals, elektrostatik ve kapiler) varlığına bağlıdır. Bu yüzey kuvvetlerinin büyüklüğü tanelerin üzerine uygulanan akışkanlaştırıcı gazın sürüklenmesine bağlıdır. Çoğu zaman sürüklenme kuvveti bu kuvvetleri yenemez. Tane büyüklüğü azaldıkça taneler arası kuvvetlerin rölatif büyüklüğü sürüklenme kuvvetine kıyasla azalır. A ve B grubuna dahil malzemelerde, sürüklenme kuvveti taneler arası çekimden kaynaklanan kuvvetlerden daha büyüktür ve sonuç olarak bu malzemeler daha kolay akışkanlaştırılırlar [12].

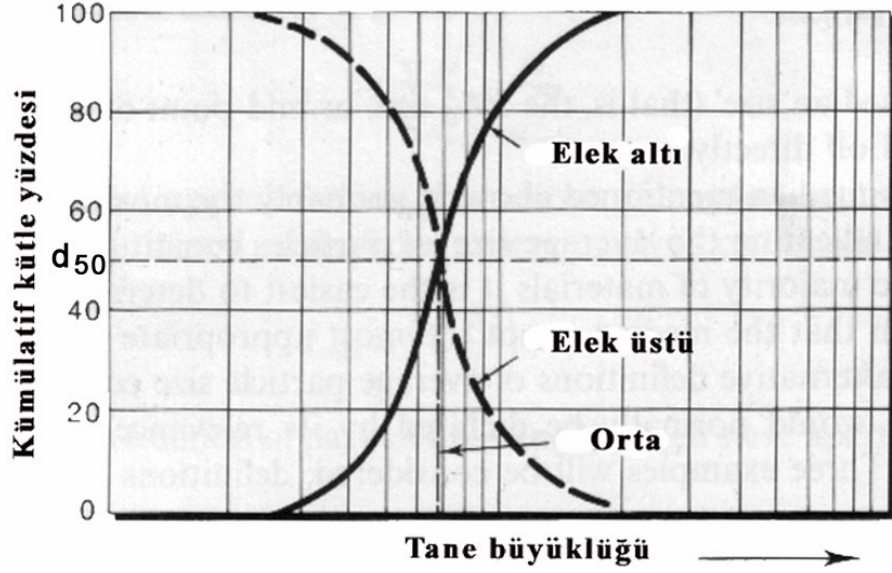
3.1.2 Tane ortalama büyüklüğü ve büyüklük dağılımı

Tek boyutlu, küresel tanelerden oluşmuş katı bir kütle tek bir boyutla (tane çapı) tanımlanabilir. Değişen büyüklükteki küresel taneleri içeren malzemeler ise, ortalama tane çapı ile bu ortalama değerin civarındaki büyüklük dağılımlarının bilgisini de içerecek şekilde tanımlanırlar. Tane büyüklük dağılımı bilgisi bir çizelge halinde verilebilir, fakat sonuçları sıklık histogramları ve çokgenleri, yüzde dağılımları ve kümülatif (birikimli) dağılımlar şeklinde vermek daha uygundur [11, 12].

Büyüklük dağılımı ölçüldükten sonra, uygun bir histogram her sınıf aralığında dikdörtgenler çizilerek oluşturulur, genişlikleri geometrik dizide seçilir. Her dikdörtgenin altında kalan alan o sınıftaki tanelerin yüzdesiyle orantılıdır, böylelikle histogramdan geçirilen düzgün bir eğri sıklık dağılımını verecektir (Şekil 3.2). Alternatif olarak ve daha faydalı bir yaklaşım da; tane büyüklüğünün yatay ekseninde, birikimli (toplam) elekalı (ya da eleküstü) yüzdelerinin (fraksiyonlarının) düşey ekseninde olduğu bir grafikte sonuçlar verilebilir. Her fraksiyon genelde numunenin hacim, adet ve ağırlık yüzdesi olarak ifade edilir; sıklıkla kullanılan ağırlık yüzdesidir. Bu grafiğin esas avantajı deneysel olarak belirlenmeyen değerlerin gerçekçi bir şekilde tahmin edilmesidir. Ortalama (median) büyüklük (kütle) de % 50 büyüklük veya dağılımın orta noktasıdır ve direkt olarak grafikten okunabilir [12, 13]. Tane büyüklüğü dağılımının alt ve üst uçlarındaki sıkışıklığı dağıtmak amacıyla, tane büyüklüğü doğrusal eksen yerine logaritmik eksen de gösterilebilir.



(a) Rölatif Sıklık Dağılımı Yüzdesi



(b) Kümülatif Elekalı ve Eleüstü Dağılımı[11]

Şekil 3.2: Tane Büyüklük Dağılımının Grafiksels Olarak Gösterilmesi

Tane dağılımlarını matematiksel olarak bazı dağılım fonksiyonlarını deneysel verilere uydurarak tanımlama çalışmaları da yapılmıştır. Bu amaçla normal (Gauss), log-normal ve Rosin-Rammler fonksiyonlarını içeren çok sayıda ifade önerilmiştir [12].

Malzemelerin büyük bir çoğunluğu için kütleel ortalama tane büyüklüğü bir yığını oluşturan tanelerin ortalama büyüklüğü için en çok kullanılan gösterimdir. Bu parametrenin uygun olamayacağı durumlarda ortalama tane büyüklüğü ile ilgili birtakım alternatif tanımlamalar (yüzey ortalama çap, hacim ortalama çap, hacim-yüzey ortalama çap, vs.) durumla olan ilgisine göre seçilerek kullanılabilir [11]. Örneğin, kütle ve ısı aktarımını içeren işlemlerde tanelerin yüzey alanı önemli bir parametre olmakla beraber bu gibi durumlarda kullanılan uygun çap tanımı yüzey ortalama çapı olacaktır. Tablo 3.3'te bu amaçla kullanılan birtakım ortalama çaplar tanımlanmıştır.

Tablo 3.3: Büyüklük Dağılımına Sahip Taneler İçin Çeşitli Ortalama Çap Tanımlamaları[13, 14]

Ortalama Çap	Tanımlama
Ortalama yüzey	$d_{sp} = \left(\frac{\sum N_i d_i^2}{\sum N_i} \right)^{1/2}$
Aritmetik ortalama	$d_p = \frac{\sum N_i d_i}{\sum N_i}$
Geometrik ortalama	$d_g = (d_1^{N_1} d_2^{N_2} \dots d_N^{N_N})^{1/N}$
Lineer ortalama	$d_l = \frac{\sum N_i d_i^2}{\sum N_i d_i}$
Ağırlık ortalama	$d_{pw} = \frac{\sum N_i d_i^4}{\sum N_i d_i^3} \quad \text{veya} \quad \sum x_i d_i$
Hacim-Yüzey ortalama (Sauter)	$d_{pvs} = \frac{\sum N_i d_i^3}{\sum N_i d_i^2} \quad \text{veya} \quad \frac{1}{\sum x_i d_i}$

Tane büyüklük dağılımının belirlenmesinde birçok yöntem mevcuttur ve her bir yöntemin kendine göre kullanılabileceği tane büyüklüğü sınırları vardır. Bu yöntemlerdeki farklılıklar nedeniyle ayrı numune için farklı yöntemler kullanılarak yapılan ölçümlerin sonuçları birbiriyle aynı olmayabilir, fakat dağılımlar elde edilebilir. Elek analizi bu yöntemler arasında en çok tercih edileni olmakla beraber aynı zamanda ucuz ve basittir. Diğer yöntemler arasında santrifüjleme, taşıyarak ayırma (elutriation), sedimentasyon, elektrik iletkenliği, ışık saçınımı ve görüntü analizi sayılabilir.

Elek analizi için laboratuvara gelen tam numune ilk olarak 1-2 kg'lık numunelere indirgenir. Numunenin ayırıcıda kolayca akamayacak kadar nemli olduğu durumlarda bir ön kurutma işlemi yapılmalı ve kurutmada kaybolan rutubet miktarı

saptanarak hesaplamalarda dikkate alınmalıdır. Kurutma işlemi pek çok madde için $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ da yapılır. Ancak, jibs gibi doğal yapı suyu içeren maddelerin kurutulması yapı suyunun kaybolmayacağı sıcaklık düzeyinde yapılmalıdır. Bu tür hammaddelerin kurutulmasında en emin yol bunların kuru hava akınımda veya desikatörde kurutulmalarıdır. Laboratuvar numuneleri 6 veya 10 numaralı bıçaklı ayırıcıda 100 -150g'lık deney numuneleri elde edilene dek azaltılır. Eleme öncesi numuneler 0,1g duyarlıkta tartılır. Daha sonra seçilen deney elekleri en iri elek en üstte en ince elek en altta olacak şekilde dizilir ve elek dizisi elek tavaşı üzerine yerleştirilir. Laboratuvarında kullanılan US standart elek numaraları Tyler ve onlara karşılık gelen elek açıklıkları Tablo 3.4'te verilmiştir [14].

Tablo 3.4: Standart Elek Boyutları [14]

Elek Numarası	Elek Açıklığı (mm)
4	4.750
6	3.350
8	2.360
12	1.680
16	1.180
20	0.850
30	0.600
40	0.425
50	0.300
60	0.250
80	0.180
100	0.150
140	0.106
200	0.075
270	0.053

Deney numunesi en üst eleğe konulur ve elek, kapağı ile örtülür. Tava ve kapak ile donatılmış dizi eleme makinesi üzerine yerleştirilir. Soda (sodyum karbonat) 10 dakika, Potas (potasyum karbonat) 5 dakika ve diğer tüm hammaddeler için 15 dakika boyunca elendikten sonra makineden alınır. Elekler sıra ile diziden alınarak her eleğin üzerindeki malzeme temiz bir kağıt üzerine aktarılır ve 0,1g yaklaşımla tartılır. Her eleğin üzerinde kalan ve 0,1g yaklaşımla tartılan miktarların toplamı, deney numunesinin başlangıç kütlelerinden 1 g'dan fazla sapma gösteriyorsa belirtilmelidir. Elek üstü miktarları yüzde olarak 0,1 yaklaşımla hesaplanarak kaydedilir. Herhangi bir eleğin üzerinde kalan miktar % 0,1 den küçük ise ve

belirtilmesi zorunluluğu varsa bu kütle 1mg yaklaşımla tartılır ve yüzde miktarı % 0,01 veya % 0,001 yaklaşımla hesaplanır [14].

3.1.3 Yoğunluk

Katı yığınları oluşturan tanelerin şekli düzenli veya düzensiz olsun rasgele bir araya geldiklerinde aralarında belirli miktarda bir boşluk oluşur. Böylelikle, yığın katıların gerçekte taneler ve boşluklardan ibaret oldukları söylenebilir ve taneler tarafından kaplanan hacim dışındaki hacim “boşluk” veya “boşluk oranı” olarak adlandırılır. Böylece, boşluk oranı (ϵ) katıdaki boşlukların hacminin toplam hacme oranıdır.

$$\text{Boşluk oranı } (\epsilon) = \frac{V_{\text{bosluk}}}{V_{\text{katı}} + V_{\text{bosluk}}} \quad (3.2)$$

Buna göre; tanelerin gerçek hacmi veya kesirli katı içeriği $(1-\epsilon)$ 'dir. Bazen gözeneklilik (porozite) terimi katıların içindeki boşluğu ifade etmek için kullanılır. Fakat bu terimin katıyı meydana getiren bireysel tanelerin yapısının tanımlanmasında kullanılması tavsiye edilir. Böylece, tane gözenekliliği tanenin içindeki gözeneklerin hacminin tanenin hacmine oranı olarak tanımlanır.

Statik yığın malzemelerin boşluk oranının tipik değerleri 0.26'dan (düzenli hekzagonal yapı) 0.48'e (düzenli kübik yapı) kadar değişim gösterir. Küresel taneler içeren malzeme için değer 0.4 civarında olabilirken, düzensiz şekiller dolayısıyla boşluk oranı çok daha fazla olabilmektedir.

Katı veya taneli malzemelerin “yığın yoğunluğu (ρ_b)” olarak adlandırılan görünür bir yoğunluk değerleri vardır, bu da malzemenin kütesinin hacmine (taneler ve boşluklar) oranı olarak tanımlanır [12].

$$\rho_b = \frac{m_{\text{katı}} + m_{\text{bosluk}}}{V_{\text{katı}} + V_{\text{bosluk}}} \quad (3.3)$$

Katı malzemeler için bir de “tane yoğunluğu (ρ_p)” tanımlanır ve katı malzemelerin gerçek yoğunluğu olarak bilinir. Boşluklardaki akışkanın yoğunluğunu (ρ_f) da hesaba katarak yığın yoğunluğu için;

$$\rho_b = (\rho_p - \rho_f)(1 - \epsilon) + \rho_f \quad (3.4)$$

şeklinde ifade yazılır. Kuru yığın katılar için boşluklar genellikle hava içerir ve böylece akışkanın yoğunluğu (ρ_f) tane yoğunluğuna (ρ_p) kıyasla ihmal edilebilir. Sonuç olarak yığın yoğunluğu ile tane yoğunluğu arasındaki ilişki,

$$\rho_b = \rho_p (1 - \varepsilon) \quad (3.5)$$

şeklini alır. Boşluk oranı, numunenin toplam hacminin ve katı tanelerin hacminin ayrı ayrı ölçülmesiyle belirlenir. Toplam hacim daha önce belirtildiği gibi dereceli silindire, tanelerin hacmi ise genellikle sıvı yer değiştirme tekniğiyle (standart yoğunluk şişesi veya hava-sıkıştırılmalı yoğunluk-ölçer gibi karmaşık bir cihazla) ölçülür. Gözenekli veya iç boşluklara sahip malzemelerde tane hacminin ölçülmesinde zorluklar yaşanır, sonuçlar belirsizdir.

Katı malzemelerin yığın yoğunluğu ile tane yoğunluğu arasındaki farkın iyi anlaşılması gerekir. Tek bir tane için yoğunluk, kütlenin hacme bölünmesiyle bulunurken; bir yığın malzemesi için ortalama tane yoğunluğu, malzemenin kütlesinin taneleri tarafından kaplanan gerçek hacmine (boşlukları içermeyecek şekilde) bölünmesiyle belirlenebilir. Büyük taneli malzemelerin yoğunluğu basitçe, bir sıvının katının bilinen ağırlıktaki taneleriyle yer değiştirdiği hacmi belirlenerek bulunabilir. İnce taneli malzemeler özgül ağırlık şişesine veya hava-sıkıştırılmalı bir yoğunluk-ölçere ihtiyaç duyarlar [11].

Kolay çözünen, kırılğan veya çok hafif malzemeler için hava-sıkıştırılmalı yoğunluk-ölçer (piknometre) gereklidir. Bu alet, esasen bir vana boyunca benzer ve her ikisinde de piston mevcut olan iki silindirden ve cm^3 'teki hacmi okuyan bir dereceden oluşur. Bağlayıcı vana kapatılınca, diferansiyel basınç göstergesinde bir değişiklik olmaması için referans piston ve ölçüm yapan pistonların hareketleri aynı olmalıdır. Alet sıfıra ayarlandıktan sonra, ölçüm yapan silindir içine konan malzemenin hacmi boş okuma yapan diferansiyel basınç göstergesi için ölçüm pistonunun yeriyle belirlenir.

Bütün bu yöntemlerle elde edilecek değerler ortalama tane yoğunluğunu verir. Harman halindeki bir üründe bulunan farklı tane yoğunlukları harmanlanmadan önce ayrı ayrı ölçülmelidir [11].

3.2 Katı-Katı ve Katı-Sıvı Etkileşimleri

Toz halindeki bir malzemenin yüzey alanı tane büyüklüğündeki azalmayla birlikte çok fazla artar. Tane büyüklüğündeki 1/8 oranındaki bir azalma, yüzey alanında %800 oranında bir artışa neden olur. Yüzey alanındaki artışla beraber taneler üzerindeki yüzey kuvvetleri de artış gösterir. Bu kuvvetler başlıca elektrostatik, van der Waals ve kapiler etkilerden kaynaklanır. Bunlar çoğu zaman birbirlerini etkilediklerinden dolayı baskın olanı ayırt etmek de zordur. Bu kuvvetlerin büyüklüğü dolayısıyla da önemi kritik olarak tane büyüklüğüne dayanır ve önemli ölçüde de nem içeriği, yüzey pürüzlülüğü ve safsızlığı ve tane şeklinden etkilenir.

Taneler arasında sonuçta oluşan kuvvetler yüzey kuvvetlerinin tabiatına bağlı olarak hem çekme hem de itme kuvvetleri olabilirler. Bireysel taneler arasında yüksek derecede çekme kuvvetleri (kohesif kuvvetler) mevcutsa, malzemenin akışı zorlaşacak ve dolayısıyla da depolanması ve nakledilmesi sorunlu hale gelecektir [12].

3.2.1 Elektrostatik kuvvetler

Tane grupları ya da tanelerle yüzeyler arasında oluşan elektrostatik kuvvetler elektron azlığından veya fazlalığından kaynaklanır. Elektrostatik yüklemeye katı işleme sırasında kasıtlı olarak, boşatma işlemleri sırasında kazayla sebep olunmaktadır. Bu sürtünmeye bağlı elektrostatik yükleme yüzeylerin birbirleri üzerindeki hareketleri (hem katının katıya karşı hem de katının duvara karşı) sonucu oluşur.

Elektrostatik yüklerin büyüklüğü tane şekli ve büyüklüğü, yüzey pürüzlülüğü ve empüriteler, nemlilik ve nem içeriği gibi faktörlerden büyük ölçüde etkilenmektedir. İletken olmayan taneler için tane üzerindeki yüklerin dağılımı üniform değildir. Bu sebeple, tane grupları ve tanelerle yüzeyler arasında etki eden elektrostatik kuvvetlerin büyüklüğünü tahmin etmek genellikle kolay değildir. İki yüklü tanenin birbirlerine uyguladığı elektrostatik kuvveti belirlemek amacıyla,

$$F_{el} = -\frac{Q_1 Q_2}{\xi^{8.86 \times 10^{-12}} Z} \quad (3.6)$$

eşitliği kullanılabilir. Burada; F_{el} kuvvet (N), Z tanelerin merkezleri arasındaki mesafe (m) ve ξ de aradaki sıvının elektriksel geçirgenliğidir (hava için $\xi=8.86 \times 10^{-12}$ A s/V m). Q_1 ve Q_2 tanelerin coulomb cinsinden yükleridir.

Russell (Klinzing,1981) tarafından geliştirilen metalik küresel bir tane ile cilalanmış metal bir yüzey arasındaki elektrostatik çekim kuvveti,

$$F_{el} = \frac{Q^2}{16\pi\xi \left[0.5772 + \frac{1}{2} \ln \frac{2R}{Z} \right]^2 RZ} \quad (3.7)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Z , tane-yüzey boşluğu ve R tane yarıçapıdır. Denklemlere göre elektrostatik kuvvetin büyüklüğü yüklerin karesiyle orantılıdır ve tane-yüzey boşluğu azaldıkça doğrusal olarak azalır. Yayımlanmış olan elektrostatik çekim kuvvetleri 10^4 - 10^7 N/m² arasında değişmektedir [12].

3.2.2 Van der waals kuvvetleri

Van der Waals çekim kuvvetleri moleküler seviyede meydana gelir ve katı kütle içindeki yerel elektrik alanlardaki değişimler sonucu oluşur. Bu elektrik alanları katı cismin içindeki atomların veya moleküllerin sürekli polarizasyonundan kaynaklanır. Lifshitz, bir küre ile düz bir yüzey arasındaki van der Waals çekim kuvvetinin,

$$F_{van} = \frac{h\omega R}{8\pi Z^2} \quad (3.8)$$

eşitliği kullanılarak belirlenebileceğini bulmuştur. Burada $h\omega$, Lifshitz-van der Waals sabitidir ve tane özelliklerine bağlıdır. İki küresel tane arasındaki van der Waals çekim kuvveti hesabı için Orr tarafından önerilen benzer eşitlik,

$$F_{van} = \frac{h\omega}{8\pi Z^2} \left[\frac{R_1 R_2}{R_1 + R} \right] \quad (3.9)$$

şeklindedir. Teorik olarak birim alan başına van der Waals çekim kuvveti 2×10^7 ile 3×10^8 N/m² arasında değişir. Van der Waals çekim kuvvetleri elektrostatik etkilerden kaynaklanan kuvvetlerden daha büyüktür [12].

3.2.3 Kapiler kuvvetler

Nem içeriği arttıkça elektrostatik kuvvetler önemini yitirir, fiziksel olarak adsorplanmış sıvı filmleri ve köprüleri tarafından oluşan çekim kuvvetleri baskın duruma geçerler. Düşük rutubet içeriği olması durumunda, çekim kuvvetleri başlıca yüzeylerle ona komşu taneler arasındaki adsorbe olmuş film tabakalarından kaynaklanır. Öte yandan, kritik değerin üzerindeki bir rutubette, bağlanma başlıca taneler arasındaki sıvı köprüler nedeniyle meydana gelir.

Bağıl nemin %100'e yakın olduğu durumlarda, bir yüzeyle temasta olan tanenin yüzeyle arasındaki çekim kuvveti,

$$F_{kap} = 4\pi\eta R \cos \varphi \quad (3.10)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Burada, φ ıslatma açısı ve η yüzey gerilimidir. İki tane arasındaki kapiler kuvvet için,

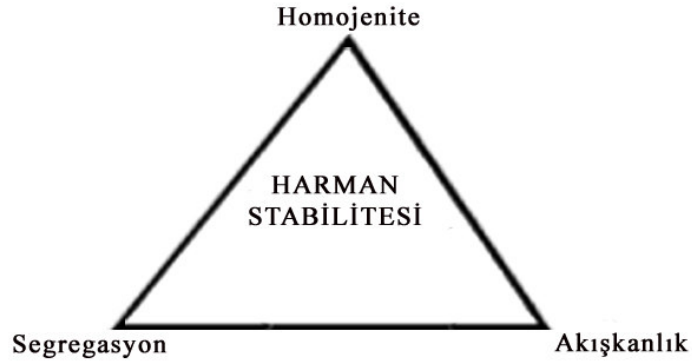
$$F_{kap} = \frac{\pi\eta d_p}{1 + \tan \frac{\delta}{2}} \quad (3.11)$$

eşitliği kullanılır. δ , meydana gelen köprünün büyüklüğünü belirleyen açıdır ve taneler arası boşluk azaldıkça sıfır değerine yaklaşır. Bu eşitliğin dışında topaklaşan katılar için de eşitlik önerilmiştir.

Kapiler çekim kuvvetleri, elektrostatik ve van der Waals etkilerinden kaynaklanan kuvvetlerden daha büyüktür [12].

4. CAM HARMANINDA KALİTEYİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Cam harmanında kalite, harman stabilitesinin bir fonksiyonudur. Harman stabilitesi, homojenite, segregasyon ve akış davranışıyla ilgili olan harmanın reolojik bir özelliğidir [15].



Şekil 4.1: Harman Stabilitesi ve Temel Parametreleri [15]

Harman stabilitesinin iyi olabilmesi için yapılması gerekenler şöyle sıralanabilir:

- Harman homojenliğinin artırılması: Bunun için, yeterli karıştırma işlemi yapılmalı ve küçük tane boyutuna sahip hammaddelerin seçilmesi gerekir.
- Harmanın segregasyon eğiliminin azaltılması: Bu amaçla; dar tane boyut dağılımına sahip hammadde seçilmesi, küçük tane boyutuna sahip hammadde seçilmesi, harmanın rutubetlenmesi (*) ya da peletleme (sıkıştırma) işlemi yapılması gerekir.
- Harman akışkanlığının artırılması: Bu nedenle; harmanın rutubet içeriğinin azaltılması (*), harmanın rutubet içeriğinde sürekliliğin sağlanması, peletleme yapılması, harmanda higroskopik bileşenlerle suyun kimyasal reaksiyonundan kaçınılması gerekir ve iri tanelerin seçimi akışkanlığı arttırmasına rağmen harman stabilitesi için iyi olmadığından tercih edilmez [15].

(*) Harmanın rutubetlenmesi segregasyonu azaltıcı etkide bulunurken, harman akışkanlığını azaltır. Aynı şekilde harman rutubet içeriğinin azaltılması segregasyonu artırırken, harman akışkanlığını artırır. Bu durumda herhangi birinin seçilmesi gerekir.

Rutubetin harman akışkanlığını kötü yönde etkilediği düşünülür. Genelde de kritik bir değere kadar tanelerin akışkanlığını nem kötü yönde etkiler. Bu kritik değerin üzerinde akış yavaşlar çünkü fazla sıvı yüzey gerilimini düşürür ve daha çok yağlayıcı gibi davranır. % 10-12'lere kadar olan rutubet içeriği ince taneler için akışın en kötü olduğu durumdur [16].

4.1 Homojenite

4.1.1 Genel özellikler

Harman homojenitesini etkileyen en önemli faktörler, karıştırma işlemi ve küçük tane boyutuna sahip hammaddelerin seçilmesidir. Yüksek hızdaki karıştırıcıların kullanılması optimum homojen karışım elde edilmesini sağlar. Bu şekilde bir karıştırma işlemi uygulanmazsa cam hataları oranı %2'den daha yüksek olur.

4.1.2 Karıştırma mekanizmaları

Katı tanelerin karıştırılmasında üç mekanizma mevcuttur. Bunlar; konveksiyon, difüzyon ve kesmedir. Konveksiyon karıştırmada tane grupları ya da kütleleri bir noktadan diğerine hareket eder. Difüzyon karıştırmada belirli taneler karışım içerisinde oluşan yüzey üzerinde dağılırlar. Kesme karıştırma yönteminde ise taneler karışımın içinde oluşan kayan düzlemler boyunca karışır. Kesme karıştırma yöntemi bazen konveksiyon mekanizmasının bir parçası olarak kabul edilir. Sadece difüzyon karıştırma uygulandığında bu yöntemin oldukça etkili olduğu ve sonuç olarak oluşan karışımların iyi olduğu görülür fakat bu karıştırma yöntemi fazlasıyla yavaştır. Öte yandan konveksiyon karıştırma daha hızlıdır ama sonuçta ortaya çıkan karışımın özellikleri iyi değildir. Difüzyon ve konveksiyon karıştırma yöntemlerinin yukarıda sayılan özellikleri göz önüne alındığında bir arada kullanılmalarının daha iyi sonuçlar vereceği bellidir. Konveksiyonun hızı, difüzyonun ise etkili bir yöntem olması gibi avantajların birleşmesi sonucu iyileştirir [17].

4.1.3 Karıştırma süresi

Karıştırma toz yatağında bir düzensizliğe, karışıklığa neden olur. Bu durum sabit bir maksimuma ulaştığında bir dengeye ulaşılmış olur. Eğer karıştırmaya devam edilirse tane boyutu, şekli ve yoğunluk farklarından dolayı segregasyon meydana gelir. Farklılığın fazla olması durumunda istenilen karışımın elde edilmesi için karıştırma

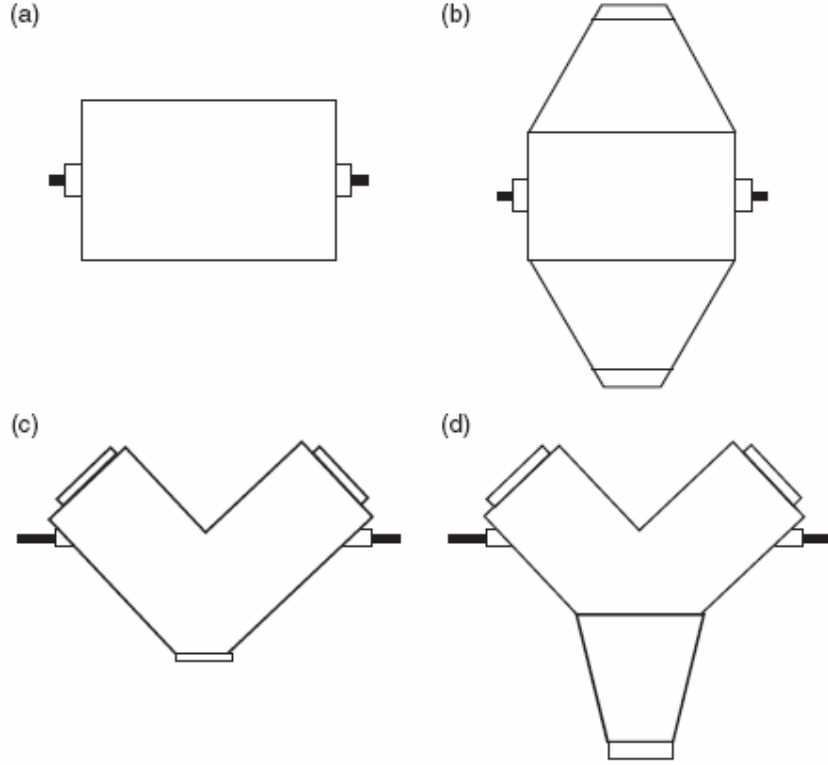
süresinin arttırılması gerekir. Segregasyona uğramayan bir karışım karıştırma süresinin arttırılması ile iyileştirilebilir fakat segregasyona uğrayan bir karışımda etkili olmaz. İyi kalitede bir karışım hazırlanmasına yetecek süreden daha fazla karıştırma işleminin yapılması segregasyona neden olur ve bu durum da yani zamanın optimize edilmemesi segregasyon oluşumunun temel nedenidir. Çok bileşenli bir karışımda homojenitenin sağlanabilmesi için karıştırma süresinin arttırılması gerekir. Fakat önceden yapılacak karıştırma bu süreyi azaltır. Yani karışımı oluşturan bileşenlerin teker teker ilave edilmesi ile önceden karıştırma işlemi yapılır [18].

Daha iyi karışım elde edilmesinin karıştırıcıda uzun süre kalma ile olacağı bir yanılgıdır. Aslında, belli bir süreden sonra karışımın kalitesi asimptotik bir değere ulaşır. Karışımın kalitesi karıştırıcının dizaynına ve karıştırma mekanizması ile karıştırıcı ve karışım arasındaki uyuma bağlıdır. Daha uzun süre karıştırma işlemi yapılması aşınmaya ya da ince tane oluşumuna neden olur ve bunlar da segregasyona sebep olarak karışımın kalitesini düşürürler [16].

4.1.4 Karıştırıcı çeşitleri

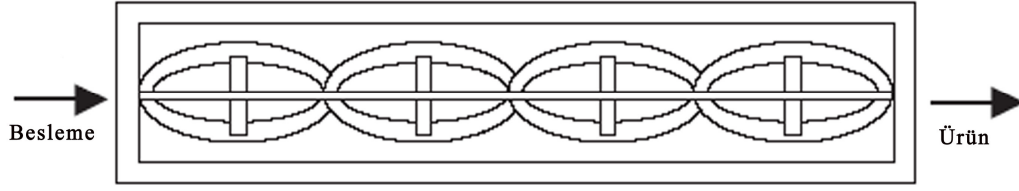
Karıştırma mekanizmasına göre katı malzeme karıştırıcıları iki gruba ayrılır. Bunlar, segregasyon olan ve segregasyon olmayan karıştırıcılardır. Segregasyon olan karıştırıcılar yuvarlanan (tumbler) karıştırıcılar gibi çarksız karıştırıcılardır. Segregasyon olmayan karıştırıcıların dizaynında vida ya da bıçak bulunur. Bunlara örnek olarak yatay çukur karıştırıcılar ve dikey vida karıştırıcıları verilebilir.

Yuvarlanan (tumbler) karıştırıcılar kütlelerini döner bir kanal içinde yuvarlarlar. Şekil 4.2’de gösterildiği gibi bu kanallar değişik biçimlerde olabilir. Bazılarına performanslarını arttırmak için kontrol levhaları yerleştirilmiştir. Kabukların (shell) dönme hızları 100 devir/dak’ya kadar ulaşan değişik değerlerdedir ve çalışma kapasiteleri % 50-60 civarındadır. Üretimlerinde kullanılan malzemeler çok çeşitlidir ve paslanmaz çelik de kullanılır. Bu karıştırıcı benzer fiziksel özelliklere sahip tanelerin karışımı için uygundur. Taneler boyut ve şekil olarak farklılık gösteriyorsa segregasyon oluşur.



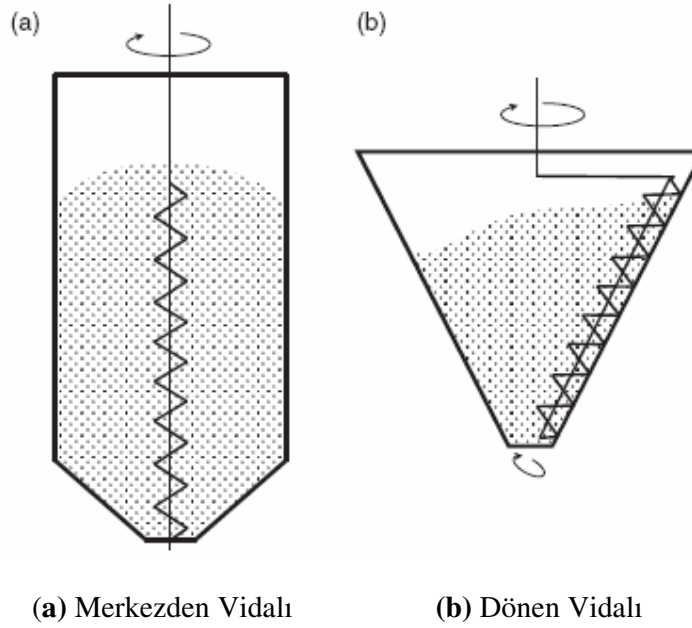
Şekil 4.2: Yuvarlanan (tumbler) Karıştırıcılar a)Yatay Silindir b)Çift Konili c)V-Konili d)Y-Konili [17]

Yatay çukur karıştırıcılar içine bir ya da daha fazla döner düzenek yerleştirilen yarı silindirik yatay kanaldan oluşur. Basit işlemler için tek ya da çift vida konveyörler yeterlidir ve böyle bir sistem içinden tek geçit yeterince iyidir. Daha çok performans gerektiren durumlarda Şekil 4.3’de gösterilen şeritli karıştırıcılar kullanılabilir. Tipik bir şeritli karıştırıcı aynı shaft üzerine yerleştirilen iki önleme şeridinden oluşur. Biri taneleri yavaşça bir yöne hareket ettirirken diğeri hızlıca zıt yöne doğru hareket ettirir. Sonuç olarak katıların tek bir yöne doğru hareketi söz konusudur, bu nedenle bu cihaz sürekli karıştırıcı olarak kullanılabilir. Esas olarak şeritli karıştırıcıların diğeri bazı çeşitleri harmanda kullanılır. Bu dizaynlarda tozuma tehlikelerini azaltmak ya da sıcaklık kontrolünü sağlayabilmek için çukur kapatılabilir. Şerit ve çukur duvarları arasındaki boşluktan dolayı bu çeşit karıştırıcılar tane hasarlarına ve yüksek miktarda enerji kullanımına neden olurlar.



Şekil 4.3: Açık Bir Şeritli Karıştırıcının Plan Görünüşü [17]

Dikey vida karıştırıcılarında silindir ya da koni şeklindeki kanal içine döner dikey bir vida yerleştirilmiştir. Vida, kanalın merkezinde ya da duvar kenarında kanalın merkezi eksenini etrafında döner. Bu tip karıştırıcılar sırayla Şekil 4.4a ve b’de gösterilmiştir. Daha sonra yapılan düzenlemeler bu karıştırıcıları daha etkili hale getirmiştir ve duvar kenarındaki hareketsiz bölgeler ortadan kaldırılmıştır. Dikey vida karıştırıcıları hızlıdır, verimlidir ve geniş kütleler halindeki malzemelere az miktarda katkı maddesi eklenmesi durumlarında yararlıdır [17].



Şekil 4.4: Dikey Vida Karıştırıcıları [17]

4.2 Segregasyon

4.2.1 Genel özellikler

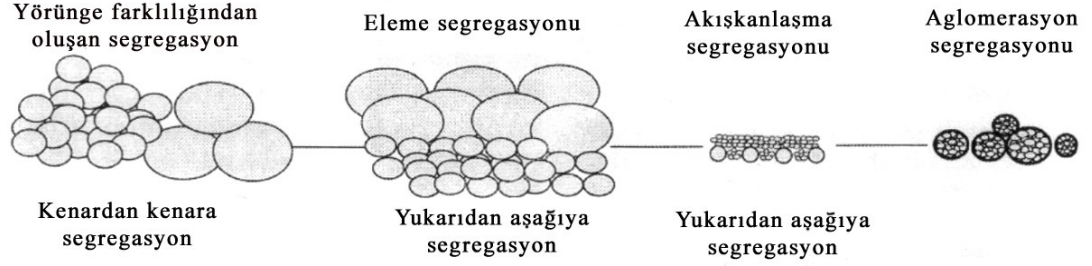
Segregasyon (ayırışma), basit olarak tane karışımındaki irilerin incelerden ayrılmasıdır. Katı tanelerden oluşan karışımlar taşınma ve işlenme sırasında birbirlerinden ayrılabilir ya da segregasyona uğrayabilir. Bu durum genellikle hammadde ve ürün kaybı yüzünden pahalıya mal olan kalite kontrol problemlerine yol açar. Segregasyon problemleri kömür tozlarından ilaç tozlarına kadar geniş bir endüstri alanında kullanılan tozların taşınma ve işlenmeleri sırasında oluşur. Örneğin, gıda ürünü paketlerinde değişen yığın yoğunluk değerlerine göre segregasyonun büyük ölçüde değişimlere neden olduğu gösterilmiştir [19].

Segregasyon, önemli ve her yerde bulunan tane malzemelerle ilgili bir kavram olduğundan uzun yıllardır tarım, kimya, malzeme, mekanik, gıda gibi mühendislik bölümleri ve fizik, eczacılık gibi fen bilimleri disiplinleri tarafından üzerinde çalışılan bir konu olmuştur. Segregasyon; deney, simülasyon ve modelleme (sürekli ve kesikli) yapılarak araştırılmış olmasına rağmen hala genel segregasyon mekanizmalarının varlığı, birleştirilebilir bir model geliştirilebilmesinin imkanı olup olmadığı cevap verilemeyen sorular arasında yer almaktadır [20].

4.2.2 Segregasyon mekanizmaları

Segregasyon, değişkenlerin seçimine göre çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir. Örneğin; tanelerin fiziksel özelliklerine göre büyüklük, yoğunluk ve şekil segregasyonu olarak ayrılır. Giren enerjiye göre titreşim, yer çekimi ve kayma segregasyonu olarak sınıflandırılır. Tane hareketinin yönüne göre dikey (yukarıdan aşağıya) ya da yatay (kenardan kenara) olarak adlandırılır. Tanelerin işlemleri sırasında kullanılan cihazlara göre silo, tambur ve oluk segregasyonu olarak sınıflandırılırlar.

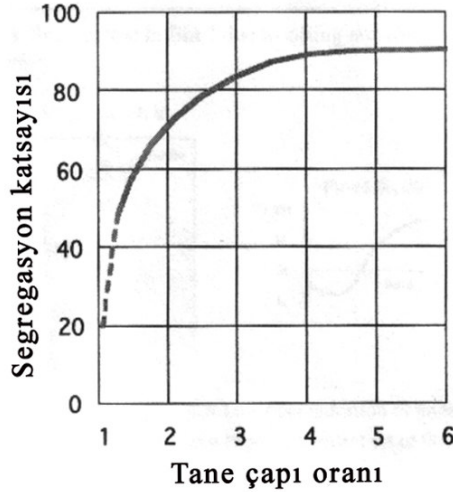
Daha önceki araştırmacılar (Carson, 1986; Johanson, 1996) segregasyonu 5 temel mekanizmaya ayırdılar. Bunlar; eleme, akışkanlaşma, hava akımı, yörünge ve yığın açısıdır. Şimdiki araştırmacılar ise tane boyutuna bağlı olan yeni bir sınıflandırma önerisinde bulundular. Bunlar; Şekil 4.5’de yörünge (iri taneler), eleme (ince taneler), akışkanlaşma (çok ince) ve aglomerasyon (çok ince yapışkan) segregasyonudur [20].



Şekil 4.5: Önerilen 4 Temel Segregasyon Mekanizmalarının Şematik Gösterimi [20]

-Eleme (Serbest akışlı ince tanelerin elenmesi): Tanelerde en çok görülen segregasyon mekanizmasıdır. İnce tanelerin iri tane karışımı arasından hareketi olarak tanımlanır. Deneylerden ve sahada yapılan gözlemlerden elde edilen verilere göre bu segregasyonun meydana gelebilmesi için aşağıdaki 4 koşulun var olması gerekir.

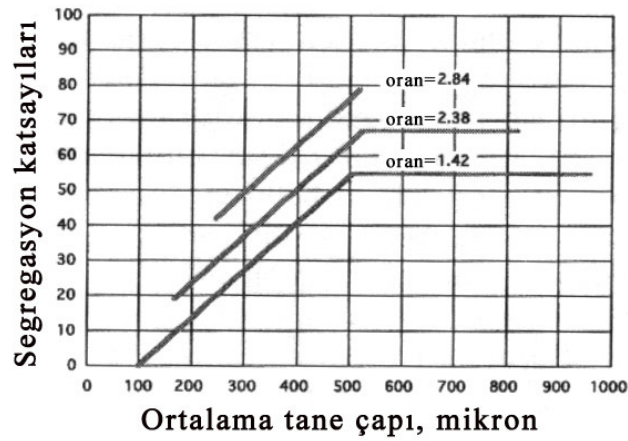
1. Bileşenler arasında belirli bir tane boyutu farkı olmalıdır. Küresel taneli ikili karışımlarda eleme segregasyonu görülmesi için tane boyut oranının en az 1.3:1 olmalıdır. Genelde tane boyut oranının artması eleme segregasyonu eğiliminin artmasına neden olur.



Şekil 4.6: Değişik Tane Çapı Oranlarına Karşı Gelen Segregasyon Katsayıları [19]

2. Ortalama tane yarıçapı yeterli derecede büyük olmalıdır. 500 μm 'nin altındaki tanelerden oluşan ikili karışımların bu mekanizma ile segregasyon eğilimi azalır. Bunun sebebi de ince tanelerin daha az hareketli olmasına neden olan aralarındaki

çekim kuvvetidir. Yine de, ortalama tane çapı 200 μm 'nin altında ve tane çapı(boyut) oranı 2:1 olan tanelerde de biraz eleme segregasyonu görülür.



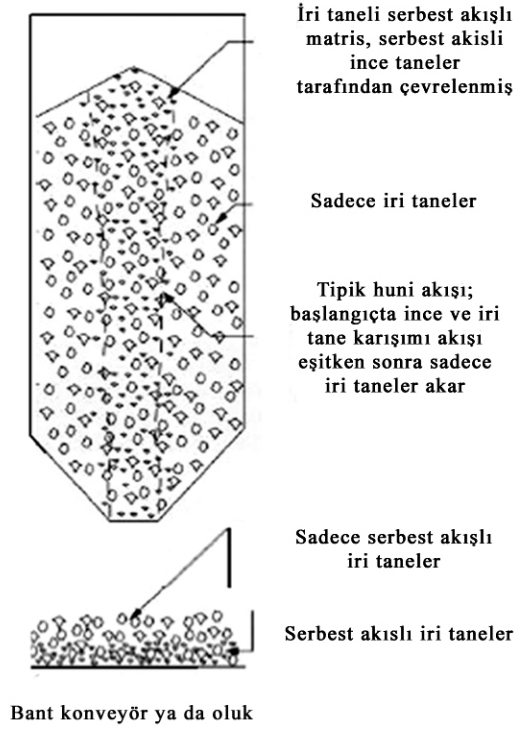
Şekil 4.7: Değişik Ortalama Tane Çaplarına Karşı Gelen Segregasyon Katsayıları [19]

3. Malzeme serbest akışlı olmalıdır. Eleme segregasyonu oluşabilmesi için aglomeratların oluşmaması gerekir. Bu da genellikle karışımın nem içeriğinin düşük olması ve çok az ya da hiç ince tane içermemesini gerektirir.

4. Taneler arası hareket önemlidir. Taneler hareketsiz ya da sabit hızda hareket ediyorsa, birbirlerine tutunurlar. Segregasyon eğilimleri çok yüksek olan malzemeler dahi olsalar bu eğilimleri neredeyse yok olur. Bu nedenle akan malzemeler için hız gradyanı gerekmektedir.

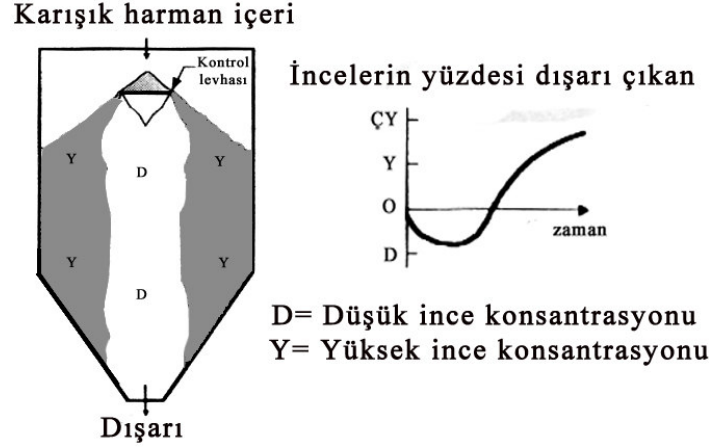
Eleme segregasyonunun meydana gelebilmesi için yukarıda sayılan dört durumun da mevcut olması gerekir. Eğer aralarından biri yoksa karışım bu mekanizma ile segregasyona uğramaz [19].

Eleme mekanizması Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



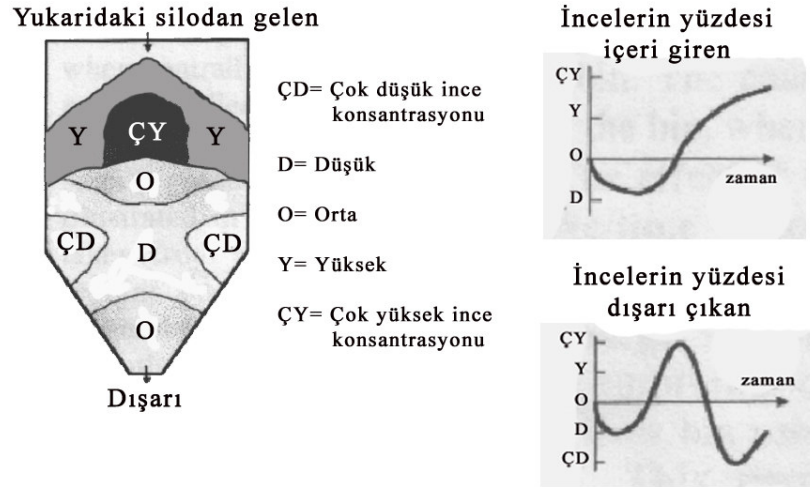
Şekil 4.8: Silolarda ve Konveyörlerdeki Eleme Segregasyonu [21]

Eleme segregasyonu oluşumu çok yaygın olarak gözlemlenen mekanizmalardan biridir ve yığın katıların taşınması ve işlenmesi sırasında sıkça rastlanır. Örneğin Şekil 4.9’da tabular alümina üretimi yapılacak tane boyut aralığı geniş bir karışım görülmektedir. İlk olarak karışım silo içerisine gösterilen geometride yerleştirilmiştir. Doldurma noktasının altına yerleştirilen, hava hareketlerini kontrol eden yatay levha yüzünden malzeme siloyu kenarlardan doldurmuştur. Dış yüzeylerde ince tane konsantrasyonu fazladır ve burada eleme mekanizması oluşur. Silo duvarları malzemenin akışına izin verecek kadar dik ya da pürüzsüz değildir. Bu sebepten boşaltım sırasında huni akış gerçekleşir ve Şekil 4.9’un sağındaki segregasyona uğramış karışım elde edilir.



Şekil 4.9: Birinci Siloda Eleme ve Huni Akıştan Kaynaklanan Segregasyon [19]

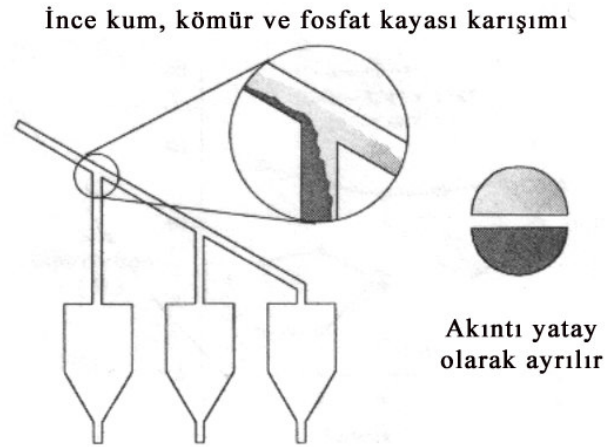
Malzeme boşaldığında, Şekil 4.10'da görüldüğü gibi hava hareketlerini kontrol eden yatay bir levhanın bulunmadığı ikinci bir siloya boşaltılır. Eleme mekanizması ince tanelerin silonun merkezinde toplanmasına neden olmuştur ama silo içindeki tane dağılımı ilk siloya göre çok çeşitlidir çünkü bu siloya segregasyona uğramış bir karışım boşaltılmıştır. Bu siloda da huni akış gözlemlenmiştir. Bu durum Şekil 4.10'un sağ tarafında gösterildiği gibi silodan ayrılan iri tanelerin yüzdelerinde değişime neden olmuştur [19].



Şekil 4.10: İkinci Siloda Oluşan, Birinci Silodaki Karışım, Eleme ve Huni Akıştan Kaynaklanan Segregasyon [19]

Şekil 4.11'de fosfat kayası, kömür ve silikadan oluşan, eğimli bir oluktan üç ayrı siloya akan bir karışım gösterilmiştir. Bu siloların her biri fosfor üreten fırının ayrı bölümlerini beslemektedir. Bu durumda oluşan kalite kontrol problemlerinin

sebebinin her silodaki karışımın aynı olmamasından kaynaklandığı bulunmuştur. İlk silodaki ince taneli silika yüzdesinin en fazla olduğu, son silodakinin ise en az olduğu belirlenmiştir. Bunun sebebinin siloların tekrar doldurulması sırasında oluşan eleme mekanizması olduğu anlaşılmıştır. Karışım bir kova elevatör yardımıyla eğimli oluğun en yüksek noktasına yerleştirilmiştir. İlk siloda ya da üzerindeki dikey boruda boş yer kalmayınca kadar malzeme boşaltımı gerçekleşir. Bu boru dolduktan sonra akıntı otomatik olarak ikinci siloya geçer. Bu işlem sırasında ince tanelerin bazıları birinci silonun dikey borusunun üzerinden geçtiklerinde akıntıdan dışarı fırlar ve birinci silodaki ince tane konsantrasyonunun ikincidekinden fazla olmasına neden olur. İkinci silo dolunca akıntı üçüncü siloya geçer. Bazı ince taneler akıntıdan ayrılır ve ilk silo içine düşer, az bir miktarı ikinci siloya ve kalanlar da üçüncü siloya düşer [19].



Şekil 4.11: Eğimli Bir Olukta Eleme Segregasyonu [19]

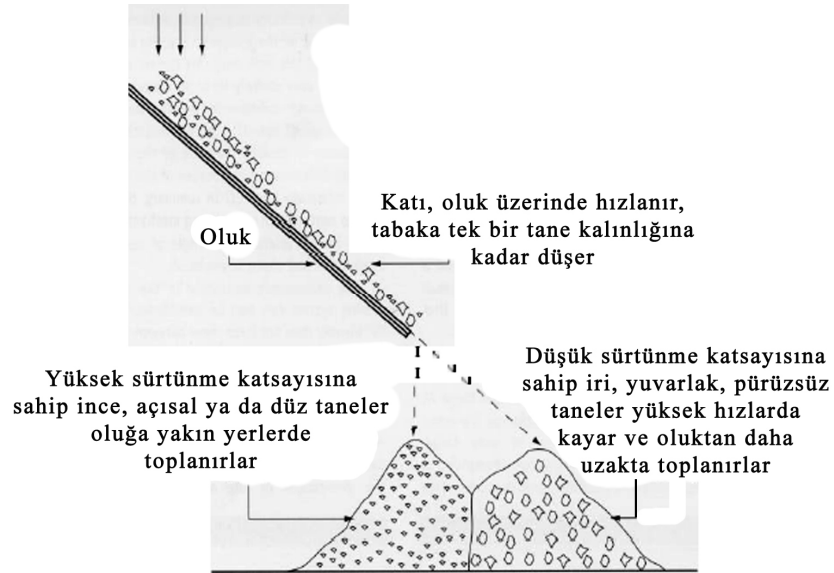
Eleme segregasyonu silo içerisinde de olabilir. Örneğin, ince taneler akıntı kanalından durgun ya da yavaş hareket eden malzeme içerisine sızarak. Huni akış silolarında bu durum incelerin en son boşaltılmasına neden olur. Biriken ince taneler karışımın geri kalanından daha az akış özelliğine sahiptir ve aralıklı olarak kemerlenme, kanallanma gibi problemlere neden olabilirler [19].

-Tanelerin yörüngelerinin farklı olmasına bağlı olarak oluşan segregasyon mekanizması: Tane boyutunda ve şeklinde çeşitlilik varsa, düzensiz şekilli ve daha ince tanelerin silo ve oluk yüzeylerindeki sürtünme etkisiyle sürüklenmeleri daha

fazla olacaktır. Bu durum aslında kütle akış gösterecek olan malzemenin huni akış sergilemesi ve silo içindeki segregasyonun artmasıyla sonuçlanır.

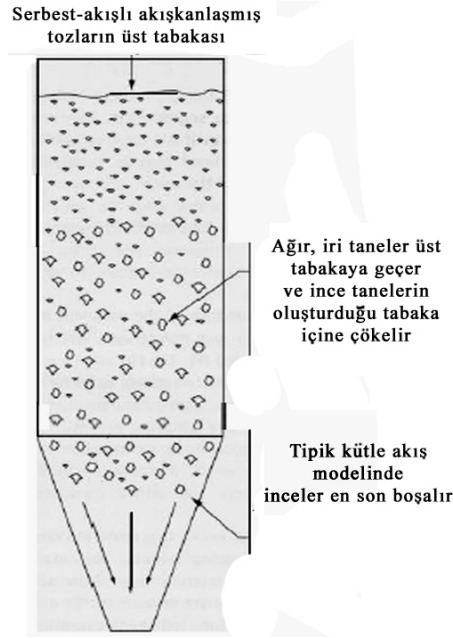
Oluk üzerinde fazla sürüklenme tane hızını azaltır. Bu etki eleme mekanizmasında oluk üzerindeki katmanlaşma yüzünden önemlidir. İnce tane konsantrasyonları oluk yüzeyine yakın iken iri taneler karışımın üst kısımlarındadır. İnce tanelerin sürtünme etkisiyle sürüklenmelerinin fazla olmasına bağlı olarak ince taneler oluğun sonuna yakın yerlerde daha yoğun olurken, iri taneler daha uzakta kümelenirler. Yığın parçalara ayrılıp farklı işlem noktalarına gidecekse bu durum kısmen zararlıdır.

Oluktan boşaltım sırasında tanelerin yörüngelerinin farklı olmasının etkisi Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Burada, iri tanelerin açık renkli, ince tanelerin ise koyu renkli gösterildiği bir karışım oluk yüzeyine yerleştirilmiştir. Koyu renkle gösterilen ince tanelerin sürtünme etkisiyle sürüklenme oranı fazla olduğundan oluk yüzeyinin yanında yer alırlar. Yörüngeleri, açık renkle gösterilen iri tanelerden daha dardır. Bu şekilde tanelerin yörüngeleri arasındaki farktan kaynaklanan segregasyon görülmektedir [19].



Şekil 4.12: Bir Oluktan Boşaltım Sırasında Oluşan segregasyon [21]

-Akışkanlaşma (sıvılaşma): Bir karışım esas bileşen olarak serbest akışlı, kolay sıvılaşma özelliğine sahip, ince tanelerden ve ikincil olarak da diğer bileşene oranla daha iri, ağır, sıvılaşan taneler arasından penetre olan bileşen içeriyorsa Şekil 4.13’te görüldüğü gibi bu mekanizma ile oluşan segregasyon gözlemlenir [21].



Şekil 4.13: Silolarda Oluşan Akışkanlaşma Segregasyonu [21]

İnce tanelerin geçirgenliği iri tanelere oranla daha azdır, bu sebeple tane arası boşluklarında havayı daha uzun süre tutma eğilimindedirler. İri ve ince tanelerden oluşan bir karışım bir siloya doldurulduğunda iri tanelerin zeminde, ince tanelerin ise bir sıvı davranıp akışkanlaşarak yüzeyde kalmasından dolayı dikey bir segregasyon oluşması yaygın bir durumdur [19]. İri tanelerin aşağıya çöküşü her zaman olmayabilir. Örneğin, titreşen bir yüzeyde bulunan karışımda iri taneler (yoğunluğu ne olursa olsun) üst yüzeye yükselir. Bu da “Brasil Nut” etkisi olarak bilinir. Bu durumda kap geometrisi ve karışımdaki boyut farklılıkları da etkilidir [16].

Tanelerin akışkanlaşma davranışının sadece ortalama tane büyüklüğü ve yoğunluk farklarına bağlı olduğu düşünülür ama sadece bunlara bağlı değildir. Aynı zamanda, tane boyut dağılımı ve tane yüzeyinin (nem, yapışkanlık, elektrostatikler) özelliklerinden de etkilenir [16].

Akışkanlaşma segregasyonu özellikle hava karıştırıcılarında, yüksek hızlı plastik karıştırıcılarda, silolarda ve yığınlarda görülür [21].

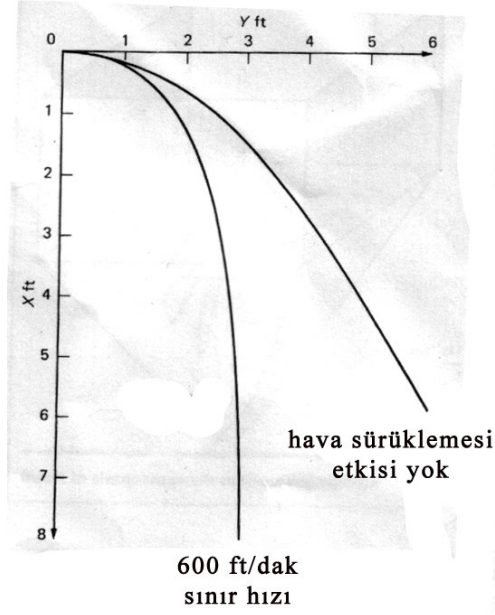
-Tanelerin hava akımında sürüklenmesi: Taneler ne kadar ince ise hava akımında asılı olarak kalması daha uzun sürer. Bu etki 50 μm civarında önemlidir ve 10 μm ’nin altında çok yaygındır. İkincil hava akımları havada savrulan taneleri dolun

noktasından uzağa, silonun dışındaki alanlara taşır ve bunları hesaplanan yörüngelere hiç benzemeyen şekillerde dağıtır.

Taneler düşerken hava direncinden de etkilenebilirler. İnce tanelerin serbest düşüş-sınır hızları iri tanelerden daha az olur ve bu nedenle oluğu terk ettiklerinde yatay olarak hareket etmezler. Buna rağmen, akan taneler bir kısım hava akımını da beraberinde sürükler ve her bir tanenin ayrı ayrı sürüklenme kuvvetinden etkilenmesini engeller. Yani sadece akıntının kenarlarındaki taneler hava sürüklenme kuvvetinden fazlaca etkilenmiş olur.

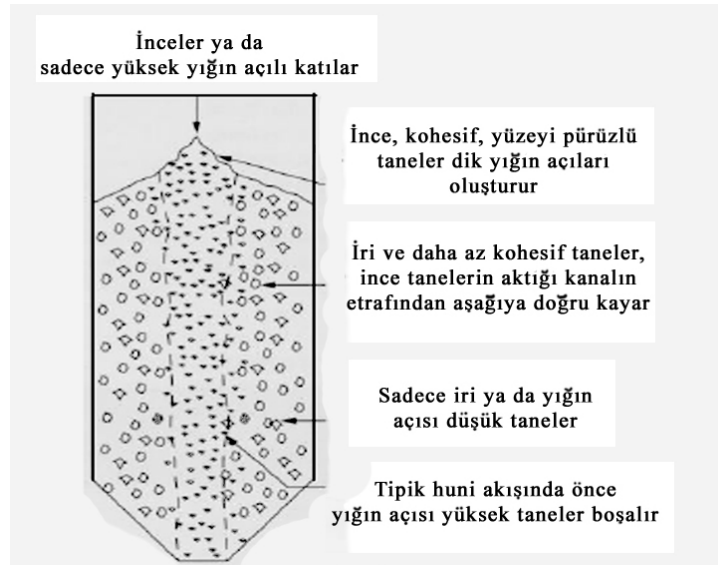
Bu mekanizmaya örnek olarak alümina üretimi yapan bir tesiste büyük bir silonun otoraya malzeme boşaltımı sırasında önemli oranda meydana gelen boyut segregasyonu verilebilir. Düz tabanlı, 20m çapında, 20m uzunluğunda, 2000t kapasiteli silo merkezi olarak doldurulmuştur ve aynı anda 4 farklı açıklıktan otoraya boşaltılmıştır. İnce tanelerin ortalama %8 oranında (-45µm ürün) olması kabul edilebilir iken otorayda ince tane konsantrasyonu %20'lere ulaşmıştır. Bu durum aşağı akım işleminde ciddi problemlere neden olur. Burada silo doldurulurken ince tanelerin havada savrulmasıyla segregasyon meydana gelir. Bu taneler daha sonra ikincil hava akımlarının etkisiyle silo çevresine taşınır. Silo seviyesi yükselip alçaldıkça kenarlarda sürekli bir ince tane birikimi söz konusudur. Bu birikim siloda son boşaltıma kadar huni akış olmasına neden olur [19].

Diğer bir örnek olarak, yatay hızları 600 ft/dak olan ve konveyörden ayrılan 14 mesh demir cevheri tanelerinin hem hava sürüklemesi etkisinde kalmayan yörüngeleri hem de serbest-düşüş sınır hızı 600ft/dak olan ve hava sürüklemesi etkisinde kalan tanelerinin yörüngeleri hesaplanmış olarak şekil 4.13'de verilmiştir [22].



Şekil 4.14: Hava Sürüklemesinin Tane Yörüngelerine Etkisi [22]

-Yığın Açıları farkından Kaynaklanan Segregasyon: Katı tanelerin bir kaba boşaltılırken birbirleri arasından kayması sonucunda oluşur. Yığın açısı değeri büyük olan taneler geride tutunurken, yığın açısı değeri daha küçük olan tanelerin serbestçe yığının alt kısımlarına kaymasına izin verirler.



Şekil 4.15: Yığının Açıları Farkından Oluşan Segregasyon [21]

Bu çeşit segregasyon mekanizmasına döner çentik tipi karıştırıcılarda, stok yığınlarında ve silolarda rastlanır. İnce tanelere sıvı ya da kohesif malzeme ilave edilmesi sorunu daha kötü hale getirebilir. Yine de iri tanelerin inceler ile karıştırılmadan önce sıvı ile karıştırılması segregasyonu azaltabilir.

Tanelerin kohesifliğinin yanı sıra, yüzey pürüzlülüğü de yığın açısını etkiler. Yuvarlak ya da yüzeyi pürüzsüz taneler, düz ve pürüzlü yüzeyli tanelere göre daha düşük yığın açısı değerlerine sahiptir.

Bu mekanizma karışımdaki esas bileşenin daha düşük yığın açısı değerine sahip olması durumunda daha kötü hale gelir fakat esas bileşen daha dik yığın açısına sahip olsa da segregasyon meydana gelir [21].

Yığın açısı mekanizmasıyla oluşan segregasyon genellikle boyut segregasyonunu büyütür çünkü aynı malzemenin ince tanelerinin yığın açısı iri tanelere oranla daha büyüktür [22].

4.2.3 Segregasyonu etkileyen faktörler

Segregasyonu etkileyen sayısız faktör vardır. Genelde, bu faktörler 4 grupta sınıflandırılırlar: Malzeme özellikleri, cihaz ve operasyon parametreleri, taşıma ve üretim parametreleri ve çevre koşulları.

-Malzeme Özellikleri: Tanelerin segregasyona neden olan özellikleri şunlardır: Tane boyutu, tane boyut dağılımı ya da boyut oranı, ince (ya da iri) tanelerin konsantrasyonu, şekil, yoğunluk, morfoloji, yüzey yapısı, kohesiflik, elastiklik, gevreklik, adhezyon, kimyasal çekim ve nem absorblama yeteneğidir. Manyetik özelliğe sahip tozlar ve dielektrik malzemelerin elektrostatik yükleri de segregasyonu etkiler. Fakat; tane boyutu, konsantrasyon, tane şekli ve yoğunluğu gibi fiziksel özelliklerin segregasyon üzerinde daha etkili oldukları görülmüştür. Sayılan bu özellikler ayrıca malzemenin akışkanlığıyla da ilişkilidir [20].

- Mutlak Tane Boyutu: Eleme segregasyonun oluşması için mutlak/ortalama tane boyutu oranının 70 ile 200 μm arasında olması gerekir. Mutlak tane boyutu 500 μm 'nin altında olursa segregasyon azalır. Harnby (2000), tane boyutu azaldıkça hakim olan çekim gücünün yer çekimi değil de, mekanik, van der Waals, elektrostatik, hava sürüklemesi ve kapiler kuvvetler gibi taneler arası kuvvetlerin olacağını söylemiştir.

- Tane Boyut Oranı: Genelde, serbest hareket eden malzemelerin boyut oranı arttıkça segregasyon artar. Eleme segregasyonunun oluşması için gerekli olan minimum tane boyut oranı 2:1, 3:1'dir.
- Tane Boyut Dağılımı ve Bileşen Sayısı: Tane boyut dağılımının segregasyona etkisi konusunda yapılan çalışmalar sonucunda bugüne kadar nicel bir sonuç elde edilememiştir. Tane boyut dağılımı aralığı geniş olunca segregasyonun artıyor olması tüm araştırmacıların ortak kabulüdür.

Shinohara(2001) bileşen sayısının segregasyon üzerine etkisini araştırmıştır. Bileşen sayısının ikiden üçe çıkmasıyla segregasyonun arttığını, sayının dörde çıkması durumunda ise segregasyonun azaldığını belirtmişlerdir.

- İnce Tanelerin Konsantrasyonu: Tane boyut oranı aynı olsa bile ince tanelerin konsantrasyonunun değişimiyle segregasyon da değişim gösterir. İnce tanelerin konsantrasyonu daha düşük olduğunda mesela % 15-30 civarında olduğunda eleme segregasyonu daha belirgin hale gelir. Akışkanlaşma segregasyonunun daha belirgin olması ince tanelerin konsantrasyonunun % 60-80 olduğu durumlarda söz konusudur. İnce tane konsantrasyonunun % 60 olduğu durumda segregasyon azalmaya ve sifıra yaklaşmaya başlar [20].
- Tane Şekli: Değişik tane şekillerine sahip karışımların (örneğin, iri taneler yuvarlak, ince taneler şekilsiz) benzer şekilli karışımlara (iri ve ince tanelerin her ikisi de yuvarlak) göre segregasyona uğraması daha kolaydır. Özellikle; iri tanelerin şekilsiz, ince tanelerin yuvarlak şekilli olduğu ikili karışımlarda, hem iri hem ince tanelerin yuvarlak şekilli olduğu karışımlara göre segregasyonu önemli ölçüde daha fazladır. Bu durumun nedenleri olarak; düzensiz şekilli tanelerin oluşan boşlukları doldurması ve düzensiz şekilli iri taneler tarafından oluşan boşlukların yuvarlak şekillilere göre daha geniş olması sayılabilir.

Düzensiz şekilli tanelerden oluşan karışımlara (ince ve iri tanelerin her ikisi de düzensiz şekilli) göre yuvarlak şekilli tanelerden oluşan karışımlar (ince ve iri tanelerin her ikisi de yuvarlak şekilli) daha zor karışır ve yüksek akışkanlık özelliklerinden dolayı daha kolay segregasyona uğrarlar. Tane boyut oranına göre tane şeklinin segregasyon üzerine etkisi daha azdır.

- Tane yoğunluğu: Taneler bir yerden boşaltılırken ya da belirli bir yükseklikten serbest düşme halinde iken, yoğun taneler merkezde kümelenirken, daha az yoğun olan taneler bunların etrafına yerleşirler. Boyut segregasyonunun aksine, yoğunluk segregasyonunda taneler yığın oluştururken hareketli tabakalar altındaki statik tabakalarda toplanamazlar. Eşit tane büyüklüğüne sahip, yoğunlukları farklı olan taneler titreşime maruz bırakıldığında, daha yoğun taneler dibe çökerken, az yoğun olan taneler yukarı çıkar.

Yüksek yoğunluğa sahip ince tanelerin segregasyon hızı daha yüksektir ve genellikle bileşen sayısındaki artışla maksimum bir değere ulaşır. Tane boyutuna kıyasla, tane yoğunluğunun segregasyon üzerine etkisi daha azdır, fakat belli durumlarda örneğin serbest düşme yüksekliğinin çok fazla olması durumunda tane yoğunluğunun etkisi de dikkate alınmalıdır [20].

- Tanelerin akışkanlığı: Segregasyon karışımındaki tanelerin akışkanlığı ile yakından ilişkilidir. Tane boyut dağılım aralığı geniş ve serbest olarak akan granül malzemelerde segregasyona sıkça rastlanır. Kohesif ve kohesif olmayan tanelerden oluşan tozların segregasyonu, bir oluktan ya da yığın üzerinde kayan kohesif bileşenler kalın, segregasyona uğramamış tabakalar halinde birlikte hareket etmesiyle olur. Kohesif tozlar için segregasyon derecesi küçüktür ama yoğunluğu yüksektir. Bunun olmasının sebebi karışımın belli bileşenlerinin küçük aglomeratlarının karışma işlemi süresince yapılarını korumalarıdır.

-Cihaz ve Operasyon Parametreleri: Segregasyonla alakalı olan cihaz ve operasyon parametreleri: Kesme birim şekil değişimi, kesme hızı, düşüş yüksekliği, besleme hızı (yükleme, boşaltma), yığın boyutu, silo boyutu, silo açısı ve son yüzey işlemidir.

- Serbest Düşüş Yüksekliği: Tane boyutu 250 μm 'den büyük ve farklı yoğunluğa sahip tanelerin segregasyon eğilimi serbest düşüş yüksekliğinin artması ile azalır. Boyut farkının olması durumunda kenardan kenara segregasyon oluşabilir. Örneğin, iri tanelerin momentumu düşme yüksekliği arttıkça artar ve yığının üst kısmında yüzeyi kırmaya çalışırlar. Bu sırada ince

taneler serbest yüzeyden sıçrarlar ve yığın sınırının yakınına yerleşirler. 250 µm'den ince taneler genellikle serbest düşüş yüksekliğinden bağımsızdır.

- **Besleme Hızı:** Segregasyon genellikle besleme hızının artmasıyla azalır.
- **Yığın Boyutu:** Nitel olarak yığın boyutundaki artış segregasyonun artmasına neden olur. Ama yığın boyutunun segregasyona etkisini nicel yani sayısal olarak ifade edebilmek çok zordur.
- **Kütle ve Huni Akış Siloları:** Kütle ve huni akışlarının ilk tanımı 1954 yılında Jenike tarafından yapılmıştır. Kütle akışı ilk-giren ilk-çıkar, huni akışı ise ilk-giren son çıkar esasına dayalıdır. Segregasyona uğramış taneler eğer kütle akış silolarında ise boşaltma sırasında tekrar karışırken, huni akış silolarından boşaltılan tanelerin segregasyonu daha yoğun hale gelir [20].

Kütle akış silolarında silindir kısımdaki hız profili genellikle düzenlidir. Malzemenin yüksekliği yarıçap uzunluğunun altında, transfer noktasının üzerinde ise, merkezdeki malzeme akışı silo duvarlarındakinden daha hızlıdır. Merkezdeki akış, duvar boyunca oluşan akışın 5 katı kadardır ve bu da belirli bir hız gradyanının oluşumuna neden olur. Bunun sonucu olarak eleme segregasyonuna neden olacak taneler arası kuvvet bulunur. Harmanın sonundaki malzemenin, başındaki malzemeye oranla daha fazla değişkenlik göstermesinin nedeni de budur.

-Taşıma İşlemleri: Depolama (doldurma, boşaltma), taşıma (pnömatik ve mekanik taşıma), karıştırma, çökelme ve paketlenme gibi işlemlerde segregasyon gözlemlenir.

-Çevresel Koşullar: Titreşim, bağıl nem, kalma (bulunma) süresi ve sıcaklık gibi çevresel etmenler de segregasyonu etkiler.

Titreşimler tozların bir kalıp içine yerleşmesini sağlamak, silo ya da oluk içinde tozun hareketine yardım etmek amacıyla bilinçli olarak uygulanabilir. Öte yandan makinedan kaynaklanan ses sonucunda istemeyerek de oluşabilir. Titreşim kaba tanelerin ince taneler arasından yukarı doğru hareketine neden olur. Sabit bir frekansta, ivmedeki artışla segregasyon da artış gösterir. Fakat frekansın artması durumunda segregasyon azalır. Kohesif özelliği yeni yeni başlamakta olan tozlarda segregasyon sadece kritik titreşim enerjisinde oluşur [20].

Maden cevheri ve kömür karışımlarına su ve yağ ilavesi ile bir takım çalışmalar yapılmıştır. Maden cevheri boyutu 2-3 mm civarında iken nem oranının % 2.2'den 6.9'a çıkarılmasının segregasyon üzerine etkisi çok azdır. İnce maden cevherlerinin mevcut olduğu karışımlara yağ ilave edilmesi segregasyonu düşürmüştür. Serbest akışlı kumlarda az miktarda su ilavesi segregasyona neden olur. % 2 oranında su ilavesi sonucu segregasyon katsayısı % 70, % 10 ya da daha az bir orana düşürülebilir. Döndürerek karıştırma işlemi yapan karıştırıcılarda, % 1 oranında su ilavesi numune sapmalarını % 30'dan % 5'lere kadar düşürür. Bu nedenle, taneli karışımlarda su bir bağlayıcı gibi davranır ve matrisin korunmasına yardımcı olur.

4.2.4 Segregasyona karşı alınacak önlemler

Segregasyon problemleriyle karşılaşıldığında uygulanabilecek mevcut üç ana teknik vardır. Bunlar; malzeme özelliklerinin değiştirilmesi, uygulanan işlemin değiştirilmesi ya da kullanılan cihazların dizaynının değiştirilmesidir.

- Malzeme özelliklerinin değiştirilmesi: Malzeme özelliklerinin geliştirilmesi tüm mekanizmalardan kaynaklanan segregasyon modellerini engeller ya da azaltır.

Çok segregasyona uğrayan malzemelerin ortak özelliği serbest akışlı olmalarıdır ve bu nedenle taneler birbirinden kolayca ayrılırlar. Segregasyon eğilimini azaltmak için yapılabilecek bir değişiklik malzemenin kohesifliğinin su ya da yağ ilavesiyle artırılmasıdır. Yalnız kohesifliğin artırılması çok abartılmamalıdır çünkü bu durum kemerlenme ya da kanallanma gibi akış problemlerine neden olabilir ve bu problemlerin segregasyondan daha zararlı etkileri olabilir. Ayrıca ince taneli kohesif bileşen eklenmesi ya da ince taneli bileşenlerin elektrostatik yüklerinin artırılması tanelerin akışkanlığında değişikliğe neden olur. Kohesif tozlar son yığın yoğunluklarına ulaştıktan sonra çok az segregasyona uğrarlar.

Uygulanabilecek diğer bir yöntem tane boyut dağılım aralığının değiştirilmesidir. Tane boyut dağılım aralığının değişiminin iki yolu vardır. Bunlar, boyut küçültülmesi (örnek olarak granulasyon) ya da boyut büyütülmesidir (örnek olarak aglomerasyon). Örneğin, eleme mekanizmasıyla oluşan bir segregasyon varsa tane boyut oranının 1.3:1'in altına düşürülmesi

ya da ortalama tane çapının 100 µm'nin altına indirilmesi segregasyonu azaltır ya da yok eder.

Bu tür değişiklikler tane hızları arasındaki farklardan kaynaklanan segregasyonu da azaltır ve eğer tüm taneler yaklaşık olarak üniform boyutta ise akışkanlaşma eğilimindeki farklar da minimuma indirgenir [19, 20].

- Uygulanan işlemin değiştirilmesi: Segregasyon eğilimi yüksek olan malzemelerin işlenmesi sırasında segregasyon eğilimlerini azaltmak için uygulanabilecek bir çok yöntem vardır. İlk olarak, işlenecek olan karışımı oluşturan tanelerin boyutu, şekli ve yoğunluğu birbirinden çok farklı ise final işleme kadar ayrı ayrı ele almak daha sonra oranlayıp karıştırmak gerekir.

Konveyör bant üzerindeki malzeme 90°'lik transfer oluğundan yukarı doğru akmasından dolayı kenardan kenara segregasyona uğrayabilir ya da bant üzerinde ilerlerken eleme mekanizmasının sonucu olarak segregasyona uğrayabilir.

İnce taneli akışkanlaştırılabilen tozlar pnömatik olarak silo içine taşınırken silo içine 90°'lik açıyla girmesinden ziyade teğetsel girişi tercih edilir. Başarıyla uygulanan ve sık kullanılan diğer bir yöntem ise pnömatik hattı silonun merkezine taşımak, sonra onu yukarı dönük saptırıcı bir plakaya yönlendirmektir. Böylece hem tanelerin hızı düşürölür, hem de taneler bu plakadan simetrik olarak düşerler.

Son olarak, karışırma düzeneği olmayan serbest-düşüş olukları segregasyona eğilimi olan malzemelerin transferinde kullanılmamalıdır [20].

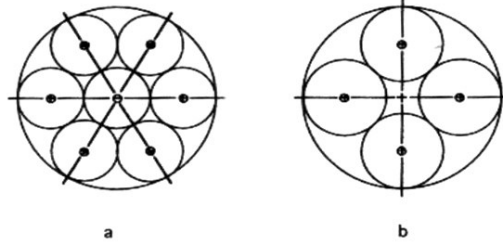
- Kullanılan cihazların dizaynının değiştirilmesi: Kütle akış silolarında ilk-giren ilk-çıkar akış modeli varken, huni akış silolarındaki model ilk-giren son-çıkar şeklindedir. Bu nedenle, eğer siloyu doldururken malzemeler kenardan kenara segregasyona uğradıysa, kütle akış modeli boşaltım sırasında segregasyonu azaltma eğilimindedir. Fakat huni akış modeli segregasyonu daha kötü duruma getirir. Kütle akış silolarının silindir kısmının yükseklik-çap oranını arttırmak üst yüzeyde uniform bir hız paterni oluşumuna neden olur. Bu da kısa silindir kısmın kullanılması ya da hiç kullanılmaması durumuna kıyasla segregasyon eğilimini azaltır [19].

Kütle akış siloları silolardaki segregasyon problemlerini her zaman çözmez. Eğer silodaki segregasyon karışımı ince ve iri tanelerden oluşan bantlar şeklinde ayırdıysa kütle akışı buradaki problemi çözemez. İri ve ince taneler değişimli olarak silodan boşalacaktır. Öte yandan kütle akışı, radyal segregasyonu azaltmada etkilidir. İşlem sırasında malzeme seviyesini bir silo çapında ve koni kısmın üzerinde tutmak esastır. Aksi halde, silonun daralan kısmında hız gradyanı başlangıçta zengin malzemenin merkezden geçişini sağlayacak ve son olarak da kenarlarda depolanmış malzemenin akışına izin verecektir [16].

Eğer çok çıkışlı silolar kullanılırsa, kova ve çıkışların dolum noktasına göre simetrik olması önemlidir. İnce tanelerin tek kovada toplanması fırın içinde tıkanmaya ya da aşağıya akıntıda kalite kontrol problemlerine neden olur. Doğru ve yanlış çok çıkışlı dizaynlar Şekil 4.16’da gösterilmiştir.

a) Simetrik olmayan – eğer silo merkezden doldurulmalıysa merkezi kovaya segregasyona uğramış malzeme girer.

b) Simetrik – eğer silo merkezden doldurulmalıysa dört kovaya da aynı malzeme girer.



Şekil 4.16: Çok Çıkışlı Siloların Plan Görünüşleri [19]

Kütle akış silo dizaynına alternatif patentli BINSERT® kullanımıdır. İç içe iki silodan oluşur ve alttaki silo tarafından hız kontrolü yapılır. Bu dizayn kullanılarak tamamen üniform hız profili elde edilir ve böylece mutlak segregasyon düşüşü sağlanır. Alternatif olarak, alttaki silonun geometrisini değiştirerek merkez kısımdaki hız profilinin kenarlara göre fazla olması sağlanabilir bu da malzemenin silo içerisinde karışmasını sağlar [19].

4.3 Akışkanlık

4.3.1 Genel özellikler

“Akış” kelimesi katılardan çok sıvılarla ilgili çağrışım yaptığından, “katı akışı”ndan söz edildiği zaman katıların da sıvılar gibi davranış gösterdiği zannedilebilir. Fakat bu kabul geçerli değildir. Katı malzemelerin akışı göz önüne alındığında, bir katının akış sırasındaki davranışının bir sıvınıninkiyle aynı olmadığı, farklı akış mekanizmaları olduğu söylenebilir. Katılar ve sıvılar arasındaki başlıca farklılıklar şöyle özetlenebilir:

Katılar statik koşullar altında kesme gerilmesini aktarabilirlerken sıvılar bunu yapamazlar. Katıların sıfırdan büyük statik sürtünme açısı değerleri vardır. Bu farklılık, sıvıların düz yüzeyler oluştururken katıların neden yığınlar oluşturduğunu açıklar.

Birçok katı bir basınç uygulandığında kohesif bir kuvvete sahip olur ve yük altında şeklini muhafaza eder.

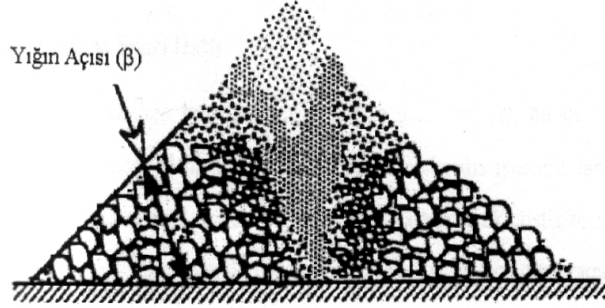
Yavaşça deforme olan (akan) bir katıda oluşan kesme gerilmesinin genellikle kesme hızından bağımsız olduğu, katıya etkiyen ortalama basınca bağlı olduğu söylenebilir. Sıvılarda durum bunun tam tersidir; kesme gerilmesi kesme hızına bağlı, basınçtan bağımsızdır [11, 23].

Bu temel farklılıklar, katılar için olan akış kriterinin sıvı akışı için olan kavramlardan çıkarılmasının mümkün olmadığını ve anlamsız olduğunu göstermektedir. Mevcut farklılıklara göre katı yığınlarından plastik ve visko-elastik olmayan malzeme olarak bahsedilmesi uygun olur [23].

Katı yığınların akış özelliklerini veya akabilirliğini tanımlamak için birçok terim vardır. Peschl [24], birtakım malzeme özelliklerini tanımlamıştır; bunlardan birçoğu sadece nitel, betimsel ve deneysel yolla kullanılabilirler ve bunları kesin olarak belirlemek zordur. Özellikle katı yığınların depolanması ve akışı ile ilgili olan bazı özellikler çoğu zaman yanlış kullanılırlar. Örneğin, katıların yığın açısı katıların akabilirliğinin bir ölçüsü olarak yanlış kullanılmaktadır [25].

-Yığın Açısı: Yığın açısı (β), gevşek ve konsolide olmamış bir katı yığının düz bir yüzey üzerine döküldüğü zaman eğimli yüzey tarafından oluşan açıdır. Eğer bir katı geniş bir aralıkta tane büyüklükleri içeriyorsa, iri taneler ince tanelerden daha serbest

akışlı olduklarından Şekil 4.17’de görüldüğü gibi segregasyon eğilimindedir. İnce taneler katı kümesinin yörüngesinde toplanırlarken iri taneler yığının çevresine doğru kayarlar. Katı malzemelerin bu şekilde yığınlar oluşturmalarının başlıca nedeni Coulomb sürtünme özellikleri ve kohezyondur. Ayrıca bu durum, katıların sıvılardan olan farklılığını gösterir. Yığın açısı katının nem içeriği, iç sürtünmesi, şekli, kohezyonu, büyüklük dağılımı ve sıkıştırılma derecesiyle değişebilir [23, 25].



Şekil 4.17: Bir Katı Yığının Açısı [25]

Katıların yığın açısını ölçmek için birçok yöntem vardır ve bu yöntemler eğimli yüzeyin nasıl oluşturulduğuyla ilgilidir. Belirlenecek olan açı değeri sadece malzemenin durumuna bağlı olmamakla beraber uygulanan yönteme göre de değişir, fakat standartlaştırılmış bir test yöntemi birbirini tekrarlayan sonuçlar verebilir. En çok kullanılan bir yöntemde, yığın açısı katının düzgün bir yüzeye bir huniden yavaşça dökülmesiyle ve oluşan yığının eğimli yüzeyinin yatayla yapmış olduğu açının ölçülmesiyle belirlenebilir. Yığın açısı katının döküldüğü yüzeyin pürüzlülüğüne çok hassas olup pürüzsüz yüzeylerde daha küçüktür, aynı şekilde dökme yüzeyinin titreşimi ile küçülür [11, 13].

Yığın açısı akabilirliğin bir ölçüsü değildir, ancak bir katı yığının bu açı değerini akış davranışının ne olduğunu kabaca değerlendirilmesinde kullanmak mümkündür. Yığın açısının düşmesi katı tanelerin daha akıcı olması anlamına gelir. Buna göre;

Yığın Açısı (β)

25-30°	Çok rahat akan taneler
30-38°	Serbest akan taneler
38-45°	Orta derecede akıcı taneler
45-55°	Kohezif malzemeler

>55°

Çok kohezif malzemeler

Yığın açısı nitel olarak akış özelliklerini göstermede faydalı bir araç olsa da, bunu için daha uygun testler (kesme testleri, vs.) olduğundan bu yaklaşıma fazla güvenilmemelidir. Bu sebeple yığın açısını sadece malzemenin yığın sınırlarının göstergesi olarak değerlendirmek ve kullanımını bununla sınırlandırmak genellikle daha güvenlidir. Örneğin, bir katının yığın açısı silolardaki boş kalan kısmın ve konveyörde taşınan malzemenin kesit alanının belirlenmesinde gereklidir [11].

-Tane Boyutu: Genel bir kural olarak, 0.254 mm' den küçük tane içermeyen katılar serbest akışlıdır.

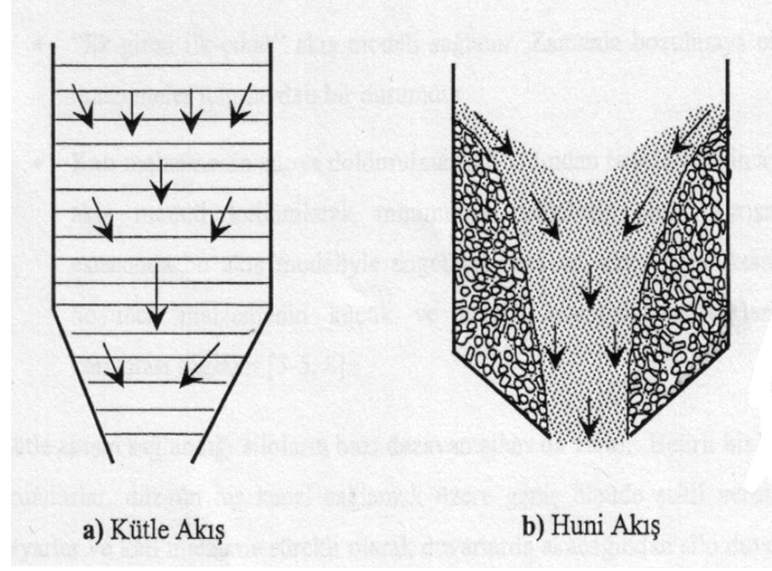
Katılar değişik elek boyutlarında hem ince hem de iri taneleri içerebilirler, fakat katıların akabilirliğinde her zaman katının içindeki ince fraksiyonun akış özellikleri etkilidir. Bu durum, akış sırasında kesmenin ince taneler üzerinden meydana geldiği gerçeğiyle açıklanabilir. Bu işlemde iri parçalar pasif bir etkendirler. Bununla birlikte, iri tanelerin boyutu kanalın çıkışında akışın tıkanma eğilimini etkileyecektir. Siloya doldurulan ağır ve iri taneler aşağıya hareket eden akım boyunca katının sıkıca bir araya gelmesine neden olabilirler [23].

4.3.2 Silolardaki akış modelleri

Yığınlar halindeki malzemelerin yerçekimi etkisiyle bir kanaldan akmaları sırasında gözlenen akış modelleri birçok araştırmacı tarafından farklı deneysel yöntemler kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. Çok bilinen bir yaklaşımda; siloyu tabakalar halinde farklı renkteki katı malzemelerle doldurup akış sırasında katmanlardaki değişimi gözlemlemek mümkündür. Böyle bir çalışma, serbest akışlı ve kohesif malzemelerin yerçekimi etkisiyle nasıl akacağına anlaşılmasına yardımcı olur. Bunun yanı sıra, silo duvar açısının akışa etkisi ve silo çıkış boyutunun belirlenmesi hakkında bir fikir verir.

Silolarda genel olarak kütle akış ve huni akış olmak üzere iki temel akış modeli meydana gelmektedir [11].

-Kütle Akış: Kütle akışta (Şekil 4.18a), silodaki malzemenin tamamı boşaltım sırasında hareket halindedir. Bu akış modeli silonun konik kısmı yeterince dik ve düzgün olduğunda sağlanır. Siloda keskin geçiş bölgeleri yoktur; konik kısımda akmayan bölge yoktur ve çıkış boyunca tüm alan aktif durumdadır [11, 26].



Şekil 4.18: Silolarda Akış Modelleri [11]

Kütle akış, birçok amaç için ideal - en azından daha tercih edilebilir- bir akış modeli olarak nitelendirilir ve mümkün oldukça elde edilmeye çalışılmalıdır. Kütle akışın özellikleri aşağıda verilmiştir:

- Kanallanma, tıkanmalar, dalgalanmalar ve taşmalar yoktur.
- Akış, her yerde aynı ve kontrollüdür; silonun baş kısmındaki malzemeden bağımsız olarak kararlı akış yaklaşımı yapılabilir. Sonuç olarak, kararlı akışa dayanan analizler yüksek derecede bir güvenilirlikle tasarıma uygulanabilir.
- Akan katının yığın yoğunluğu sabittir ve pratik olarak baş kısmındaki malzemeden bağımsızdır. Bu özellik, kontrollü bir akış hızının istendiği durumda çok avantajlıdır ve akış hızı volumetrik olarak kontrol edildiğinde gereklidir.
- Basınçlar silonun yatay kesit alanı boyunca üniormdur, bu da üniorm bir konsolidasyon ve geçirgenlik sağlar.
- Siloda ölü bölgeler mevcut değildir, bu da katının hareketsiz olduğunda minimum derecede konsolidasyona (aynı zamanda minimum degradasyon ve bozunmaya) maruz kalacağını gösterir.

- Katı kütlesi boyunca ve duvarlarda basınç düşüktür, böylece katının düşük konsolidasyonu ve duvarların az miktarda aşınması söz konusudur.
- “İlk-giren ilk-çıkır” akış modeli sağlanır. Zamanla bozulmaya elverişli katı malzemeler için avantajlı bir durumdur.
- Katı malzemelerin siloya doldurulmasının ardından tanelerin ayrışması bu akış modeli kullanılarak minimuma indirilmiş olur. Ayrışma (segregasyon), dolum esnasında bu akış modeliyle engellenemese de, akış başladıktan sonra silo boyunca karışımın iri ve ince tanelerinin tekrar karışmasını sağlar [11, 23, 27].

Kütle akışın sağlandığı siloların bazı dezavantajları da vardır. Belirli bir kapasite için uzundurlar, düzgün bir kanal sağlamak üzere geniş ölçüde şekil vermeye ihtiyaç duyarlar ve katı malzeme sürekli olarak duvarlarda akacağından silo duvarları çabuk aşınırlar. Bütün bunlar silo maliyetini artırırlar [27].

-Huni Akış: Silonun çıkışına doğru hareket eden bir katı, depolanmış kütle içerisinde merkezde bir kanal oluşturur ve bu kanal boyunca etrafındaki kütle hareketsiz (ölü bölgeler silo duvarları boyunca oluşur) kalacak şekilde akar (Şekil 4.18b). Bu akış modeli huni akış olarak bilinir. Katı malzeme silodan boşalıp seviyesi azaldıkça, dışarıdaki hareketsiz (ölü) bölgenin üzerine dökülür. Bu kanal, silo çıkışından yukarıya doğru genişler.

Huni akış siloları, kütle akış silolarına göre nispeten daha kısa ve yassıdırlar (duvar açısı değerleri büyüktür). Ölü bölgeler silodaki katı yığının yüzeyine kadar ulaşırlar; o yüzden yüzeyi gözlemleyerek huni akış açık bir şekilde belirlenebilir. Ölü bölgeler ancak silo tamamıyla boşaltıldığı zaman giderilirler.

Bu akış modeli serbest akışlı ve segregasyonun olmadığı yığın malzemeler için idealdir, kohesif malzemeler için ise önerilmezler [11, 23, 26, 28]. Huni akışın temel özellikleri genel olarak istenmeyen özelliklerdir ve aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- “İlk-giren son-çıkır” akış sırası sağlanır.
- Katı yığın zamanla bozulmaya, kekleşmeye ve degradasyona bir eğilimi varsa, bu akmayan bölgede gerçekleşecektir.

- Dolum esnasında ayrılan malzemeler için siloda daha sonra tekrar bir karışma olmayacaktır.
- Akış hızı düzensizdir; beslemenin yoğunluğu geniş bir aralıkta değişmektedir.
- Düzensiz akış hızı, ince tanelere sahip katıların havalanmasına, akışkanlaşmasına ve taşmasına neden olur.
- Eğer akmayan katı akış kanalı boşaltıldıktan sonra yeterince konsolide olursa, kanallanma oluşur [11].

Huni akış, segregasyonun önemsiz olduğu durumlarda önerilebilir. Segregasyon, katının üniform tane boyutu ve yoğunluğu durumunda anlamsızdır veya küçük silo olması durumunda önemsiz ve tolere edilebilirdir. Ayrıca, malzemenin depolanma süresi boyunca bozulmayacağı ve çıkış açıklığının herhangi bir akışa yardımcı ekipmana gereksinim olmadan yeterince büyük olacağı durumlarda da kabul edilebilir.

Huni akış siloları ağır, aşındırıcı özelliği olan, topaklı katılar için faydalıdır, çünkü huni akışta silodaki malzeme hareketsiz malzeme üzerinden akacağından dolayı silo duvarlarında nispeten daha az bir aşınma meydana gelir. Günümüzde, bu tip siloların yaygın olarak kullanılmasının nedenleri; kütle akış silolarının varlığı ve avantajları hakkındaki genel bilgi eksikliği ve huni akış silolarının birim hacim başına daha ucuz olduğu fikridir. Huni akış siloları; aşırı hareket süresi, bozulmuş üretim programları, ilave çalışma süreleri, düşük ürün kalitesi, gerçekdışı depolama, tekrarlanan tasarımlar, modifikasyonlar, akışa yardımcı ekipmanlar, işletmede harcanan zaman ve danışmanlık gerektiren durumlar göz önüne alındığında oldukça masraflıdır [23].

Silolarda tercih edilecek iki akış modeline göre sağlanacak olan avantaj ve dezavantajları ayrıca Tablo 4.1’de özet olarak verilmiştir. Tablodan, kütle akışı için olan avantajların ve huni akışı için olan dezavantajların aynı zamanda bu iki modelin genel özellikleri olduğu görülebilir.

Tablo 4.1: Kütle ve H ni Akışlarının Avantaj ve Dezavantajları [12, 13]

Kütle Akış

Avantajları

- 1.Üniform ve kontrollü akış
- 2.Hareketsiz bölgeler oluşmaz.
- 3." lk-giren ilk-çıkar" akış modeli
- 4.Silonun tüm kesit alanını kullanır.
- 5.Malzemenin depolanması ve boşaltımı sırasında segregasyon ve topaklanmayı minimize eder.

Dezavantajları

- 1.Akış sırasında duvarlarda büyük gerilmeler oluşur.
- 2.Uzundur; k  k depolama hacimleri sağlanır.
- 3.Malzemenin duvarlardan kaymasından dolayı ömrü kısıdır.
- 4.Yüksek tane hızları yüzünden tanelerin yıpranması ve duvar yüzeyinin aşınması söz konusudur.
- 5.Bir malzemeye veya aynı grup malzemelere özgü olduğundan pahalıdır.

H ni Akış

- 1.Uygun depolama alanını karşılamak için kullanılabilir.
- 2.Ucuzdur; duvarlarda aşınma fazla olmadığından uzun kullanım ömrü vardır ( l  bölgelerin tampon etkisinden dolayı duvarlarda k  k gerilmeler oluşur).
- 3.Duvarlara yakın yerlerdeki düşük tane hızları tanelerin yıpranmasını ve duvar aşınmasını azaltır.
- 4.Kullanım  mr  boyunca birden fazla ürünü depolamak için kullanılabilir, ekonomiktir.

- 1.Düzensiz ve tahmin edilemeyen akış
- 2.Hareketsiz bölgeler oluşur.
- 3.Akış, silonun belirli bir kısmındadır.
- 4." lk-giren son-çıkar" akış modeli
- 5.Akış esnasında segregasyon ve topaklaşma oluşur.
- 6.Kemerlenme, kanallanma ve taşma problemleri mevcuttur.

4.3.3 Katı yığın akışındaki sorunlar

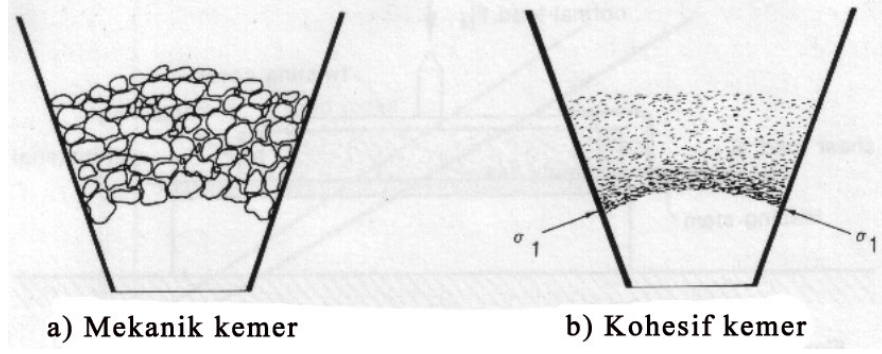
Aşağıda sıralanan genel akış problemleri ürün kalitesini (ürün kaybı, bozulması, vs.) olumsuz etkilediği gibi yapısal zararlara, kişisel sakatlanmalara ve zaman ve para kaybına da neden olmaktadır. Örneğin; gıda sanayinde, katı bir malzeme böcek istilasına sebebiyet verecek şekilde bozulacaktır. Kömür işleme sanayinde, kazanları besleyen silolarda hareket etmeyen kömür orada kaldığı müddetçe kendiliğinden yanmaya oldukça yatkındır. Bu yüzden, birçok firma patlamalara neden olabilecek yangın problemlerinden endişe duymaktadır [28].

-Kemerlenme: Bir silonun çıkışında sabit bir kemer oluşuyorsa, oluşan kemer, üzerindeki malzemenin ağırlığını destekleyecek yeterli kuvvete sahip demektir ve bu durumda akış yoktur. Akışın yeniden gerçekleşmesi için kemer uygun bir yöntemle kırılmalıdır. Genellikle vibratör, balyoz, vs. gibi ekipmanlar kemeri kırmak için kullanılırlar. Vibratörler kemeri daha da güçlendirme eğilimindedirler, çünkü birçok durumda kemerin sıkışmasına yardım ederler [23, 28].

Bir katı yığının bir çıkış açıklığı boyunca sabit bir kemer oluşturma eğiliminin ana nedenleri; katıda çok ince tanelerin bulunması ve katının nem miktarıdır. Her ikisi de katı tanelerin birbirlerine yapışma eğilimini arttırırlar. Depolanma esnasındaki sıkışma da katının kuvvetini arttırır ve sonucunda akış durumu kötüleşir [11].

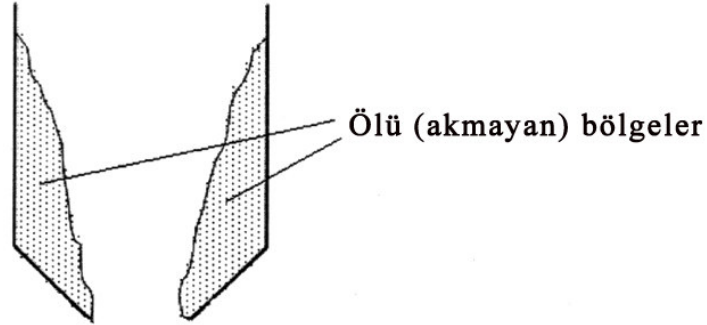
Bir açıklıkta iki tip sabit kemer oluşumu söz konusudur. Bunların bir tanesi çıkış açıklığına göre büyük boyuttaki tanelerin kenetlenmesi sonucunda oluşan “mekanik kemer”dir (Şekil 4.19a). Mekanik bir kemerin oluşumunu engellemek için çıkış boyutu maksimum tane boyutunun en az 10 katı olmalıdır. “Kohesif kemer” (Şekil 4.19b) oluşumu ise çok ince tane boyutuna sahip malzemelerde gözlenir ve malzemenin konsolidasyonu sonucu meydana geldiğinden tahmin etmek daha zordur. Serbest akışlı malzemelerin (kuru kum, vb.) sınırlanmamış akma gerilmesi sıfırdır, o yüzden bu malzemelerle kohesif bir kemer oluşmaz.

Kohesif kemer oluşumu da kütle akış silolarında çıkış boyutunun yeterince büyük olması sağlanarak engellenebilir [11].



Şekil 4.19: Silo Çıkışında Kemer Oluşumu [11]

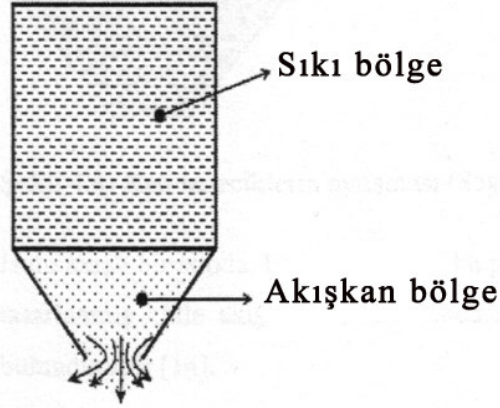
-Kanallanma: Silodaki malzemenin bir kısmı merkezde akarken, geri kalan malzeme silo duvarları boyunca hareketsiz kalır ve ölü bölgeler oluşur. Huni akışta gözlenen bu durum kanallanma (ratholing) diye adlandırılır ve siloda kanal oluşumu Şekil 4.20’de gösterilmiştir. Buna neden, katı yığının sınırlanmamış akma sınırı kuvvetidir. Eğer katı, artan depolama sürelerinde konsolidasyona maruz kalıyorsa, kanallanma riski de artar. Eğer huni akışlı bir silo düzenli zaman aralıklarında tamamıyla boşaltılmazsa, silodaki bekleme süresi çok uzun olur ve bu da konsolidasyon etkisini fazlaştıırır [26, 28].



Şekil 4.20: Siloda Kanal (Rathole) Oluşumu [27]

Siloya daha sonra doldurulan malzeme, silonun ölü bölgelerinde bulunan malzemedan daha önce boşalacağı için alıkonma sürelerinde farklılıklar olacaktır ve ürünlerin zamanla özellikleri değişecektir; bu da birçok durumda bir dezavantaj teşkil edecektir [27].

-Düzensiz Akış: Kemerlerin ve kanalların sıra ile oluşumu ve çökmeleriyle düzenli olmayan bir akış meydana gelir. Bu durum, silonun bütünlüğünü bozacak şekilde sarsılmalara ve hasarlara sebebiyet verir, yapısal hatalara, muhtemel sakatlanmalara ve ölümlere yol açar.



Şekil 4.21: Düzensiz Akış (Taşma- Flooding) [27]

İnce taneli katı yığınlar silo çıkışına doğru akarlarken bir sıvı gibi davranabilirler (taşma). Şekil 4.21’de silonun yakınsayan kısmında oluşan akışkan bölge ve silonun çıkışındaki düzensiz akış gösterilmiştir. Bu durum, bir kanalın çökmesi ile birlikte malzemenin basınç altında açık kanala doğru hareketiyle meydana gelir. Böylece yüksek miktarda toz çıkışı olur ve sürekli bir akış olanaksızdır [27].

5.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Deneylerde Kullanılan Hammaddeler

Deneylerde amaç, farklı granülasyon özellikleri gösteren cam hammaddelerinin segregasyon eğilimlerini test etmek ve deney düzeneğinde değiştirilen parametrelerin segregasyon eğilimi üzerine etkilerinin neler olduğunu belirleyip buna bağlı olarak belli bir segregasyon indeksi oluşturabilmektir. Deneylerde,

Bilecik kumu

Soda

Dolomit

Feldspat

Kalker

Kolemanit gibi hammaddeler tek başlarına ve değişik oranlarda karıştırılmalarından elde edilen sentetik harmanlar kullanılmıştır.

Deneylerde kullanılan hammaddelerin kimyasal analizleri ve yoğunlukları TŞCFAŞ laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir ve analiz sonuçları % bileşim olarak Tablo 5.1’de verilmiştir. Hammaddelerin kimyasal içeriklerinin belirlenmesinde analiz yöntemi olarak XRF (X-Ray Fluorescence Spectroscopy) kullanılmıştır.

Tablo 5.1: Deneylerde Kullanılan Hammaddelerin Kimyasal Bileşim ve Yoğunluk Ölçümleri

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	KK	Yığın yoğ. g/cm ³
Bilecik kumu	95.99	2.21	0.128	0.05	0.31	0.03	-	0.30	-	0.98	1.5
Dolomit	0.30	0.17	0.073	-	31.8	20.2	-	-	-	-	1.5
Feldspat	68.70	18.8	0.046	0.30	0.67	0.07	10.8	0.14	0.23	0.24	1.6
Kalker	0.13	0.08	0.036	-	54.6	1.07	-	-	-	-	1.5

	Na ₂ CO ₃	NaCl	Yığın yoğ.g/cm ³
Soda	99,53	0,19	1.0

	B ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	SO ₄	MgO	SiO ₂	SrO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	As	Yığın yoğ. g/cm ³
Kolemanit	27	26±2.00	50	1	6	13	1.5	0.20	50 max	70ppm max	1.0

Deneylerde kullanılan hammaddelerin, elek analizleri (ölçümlerde 175-300gr malzeme kullanılmıştır.), Tablo 5.2’de verilmiştir. Deneylerde kullanılan cam hammaddeleri TŞCFAŞ’nin çeşitli fabrikalarından temin edilmiştir.

Tablo 5.2: Deneylerde Kullanılan Hammaddelerin Elek Analizleri a)Bilecik kumu b)Soda c)Dolomit d)Feldspat e)Kalker f)Kolemanit

(a) Bilecik kumu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm. Elek Altı	Küm. Elek Üstü
0,500	-	-	-
0,425	4,93	100	4,93
0,300	26,69	95,07	31,62
0,180	42,15	68,38	73,77
0,106	18,84	26,23	92,61
0,075	4,64	7,39	97,25
Elek Altı	2,75	2,75	100
Toplam	100		

(b) Soda

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm. Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,70	-	-	-
1,00	6,63	100	6,63
0,710	11,38	93,37	18,01
0,500	17,57	81,99	35,58
0,300	33,32	64,42	68,90
0,180	21,23	31,10	90,13
0,106	6,58	9,87	96,71
Elek Altı	8,3	3,29	100
Toplam	252,1		

(c) Dolomit

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm. Elek altı	Küm. Elek Üstü
1,70	-	-	-
1,00	34,3	100	34,3
0,710	14,71	65,7	49,01
0,500	11,85	50,99	60,86
0,300	13,6	39,14	74,46
0,180	9,41	25,54	83,87
0,106	7,06	16,13	90,93
Elek Altı	9,07	9,07	100
Toplam	100		

(d) Feldspat

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
6,30	-	-	-
4,75	4,38	100	4,38
3,35	7,08	95,62	11,46
2,00	8,28	88,54	19,74
1,00	9,84	80,26	29,58
0,500	6,77	70,42	36,35
0,300	6,54	63,65	42,89
0,106	34,46	57,11	77,35
Elek Altı	22,65	22,65	100
Toplam	100		

(e) Kalker

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
1,00	8,4	100,2	8,4
0,710	4,5	91,8	12,9
0,500	16,2	87,3	29,1
0,300	21,4	71,1	50,5
0,180	28,6	49,7	79,1
0,106	10,1	27,6	89,2
Elek Altı	11	11	100,2
Toplam	100,2		

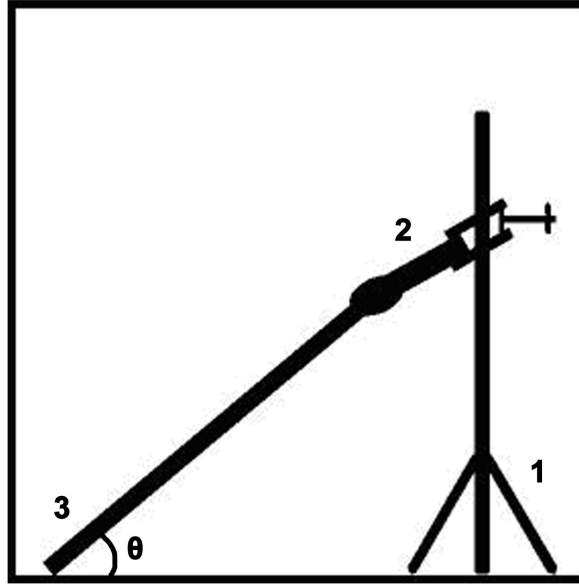
(f) Kolamanit

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
6,30	0,39	100	0,39
4,75	0,14	99,61	0,53
3,35	1,25	99,47	1,78
2,00	11,65	98,22	13,43
1,00	36,21	86,57	49,64
0,500	32,44	50,36	82,08
0,250	13,3	17,92	95,38
0,106	3,12	4,62	98,5
Elek altı	1,5	1,5	100
Toplam	100		

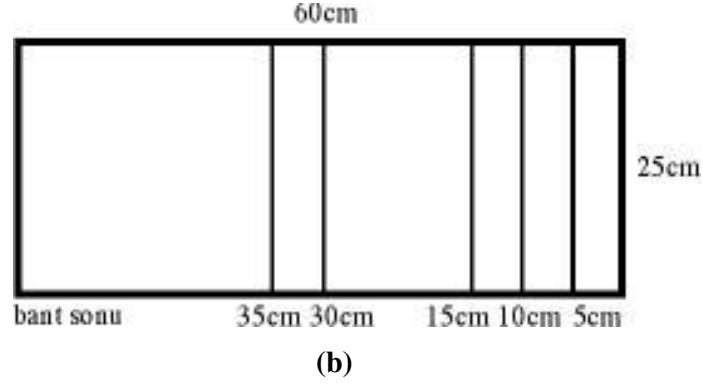
5.2 Deney Düzeneği ve Kullanılan Cihazlar

Deneyisel çalışmalarda amaç, tesislerde hammaddelerin taşınmasını sağlayan konveyörlere benzer bir düzenek tasarlayıp, bu düzenekteki bant üzerinde hammaddelerin hareketini sağlaması için titreşim oluşturacak bir malzeme (masaj aleti) temin edip, hammaddenin boyutu, nem içeriği, bant açısı gibi parametrelerde değişiklikler yaparak segregasyon eğilimleri üzerinde değerlendirmeler yapmaktır.

Deneylerde 60x25cm'lik kontraplak malzemeden bir parça temin edilerek bant malzemesi olarak kullanılmıştır. Kontraplak malzemenin yüzeyinin pürüzlü olmasından dolayı gerçekte kullanılan bant malzemesine daha yakın özellikte olabileceğine karar verilmiştir. İlerleyen denemelerde kullanılmasının nedeni de bu olmuştur. Normalde kullanılan konveyör bantlar hareket halinde olduğundan üzerine konan hammadde karışımının hareketini sağlarlar. Laboratuvar da tasarlanan bant hareketsiz olduğundan malzeme taşınmasını (yani malzeme hareketini) sağlamak için bantta titreşim oluşturulmuştur. Titreşim ile bant üzerindeki hareketi sağlaması için elektriksel titreştirici kullanılmıştır. Laboratuvar ortamında tasarlanan hammadde taşıma sistemini sembolize eden düzenek Şekil 5.1'de verilmiştir.



- 1: Ayarlanabilir vidalı tripot
 - 2: Elektriksel titreştirici
 - 3: Taşıyıcı bant
- (a)



Şekil 5.1: (a) Laboratuvar Ortamında Tasarlanan Hammadde Taşıma Sistemini Sembolize Eden Düzenek (b) Kullanılan Bantın Üstten Görünüşü

Bu çalışmada kullanılan diğer cihazlar ise şöyledir:

Etüv : FN 500

Terazi : METTLER TOLEDO PB 3001

Elekler : ASTM E.11 standardına uygun 63-1400 mikron aralığında elek takımı (retsch)

Numene Ayırıcı: SEPOR

Eleme makinesi: RO-TAP RX-29 HB W.S. TYLER

5.3 Deneylerin Yapılışı

Deney şartlarının belirlenebilmesi için bir süre ön denemeler yapılmıştır. Bu denemelerden alınan sonuçlar üzerine deneylere başlanmıştır. Buna göre, kullanılan bant malzemesi her 5cm’de bir çizgi çizilerek işaretlenmiştir. Çeşitli cam hammaddelerinden oluşturulan sentetik harmanların orijinal halinden 250’şer gr numuneler ayrılarak elek analizi yapılmıştır. Ayrılan diğer 250 gr’lık numune bantta titreşim başlatıldıktan sonra banda el yardımıyla beslenmiştir. Tüm numune bant üzerindeki ilk 5cm çizgisini geçene kadar titreşimi sağlayan makina kapatılmamıştır. Tüm numune bu çizgiyi geçtikten sonra alet kapatılmıştır. Daha sonra bant üzerinden 10-15cm, 30-35cm aralıklarından ve bant sonundan toplanan numuneler poşetlenip ayrılmıştır ve sonrasında elek analizi yapılmıştır.

Ön denemelerde malzeme boyutu, nem oranı ve bant açısı gibi parametrelerin değişim aralıkları belirlenmiştir. Buna göre, bant açısının değerleri 15°, 20° ve 25° arasında değişmektedir. Kuru halde, %1, %2, %4, %4,5 ve %5 oranında nem içeren

harmanlarda denemeler yapılarak nemin segregasyon eğilimi üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Hammadde boyutu konusunda gerçekte kullanılan standartlara sadık kalınmıştır fakat bazı denemelerde karışımdaki bileşenlerden bir malzemenin boyutu irileştirilerek segregasyonun daha iyi gözlenebilmesi sağlanmıştır.

Ayrıca laboratuvarında oluşturulan düzenele karşılaştırma yapabilmek amacıyla Çayırova’da bulunan ince öğütme tesisindeki konveyörler üzerinden de malzeme geçirilmiştir ve bu malzemelerin de elek analizleri yapılmıştır.

5.4 Ayrılan Numuneler Üzerinde Yapılan İncelemeler ve Analizler

Tasarlanan bant düzeneğinden geçirip, belli aralıklardan alınan sentetik cam harmanlarından ayrılan numunelerin rutubetli olanları ilk olarak $+105^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ ’de 5 dakika tutularak kurutulmuştur. Daha sonra elek analizi yapılacak karışımdaki malzemelerin tane iriliğine göre karar verilmiş elekler en iri elek en üstte, en ince elek en altta olacak şekilde dizilmiştir ve elek dizisi elek tavaşı üzerine yerleştirilmiştir. Deney numunesi ASTM standardına uygun olarak en üst eleğe konulmuştur ve elek kapağı ile örtülmüştür. Tava ve kapak ile donatılmış dizi eleme makinesi üzerine yerleştirilmiştir. Tablo 5.3’te verilen süreler için elendikten sonra makineden alınmıştır. Elekler sıra ile diziden alınarak her eleğin üzerindeki malzeme temiz bir kağıt üzerine alınmıştır ve 0.1 g yaklaşımla tartılmıştır.

Tablo 5.3: Değişik Hammaddeler İçin Önerilen Eleme Süreleri [14]

Hammadde	Eleme Süresi (Dakika)
Sodyum karbonat (soda)	10
Potasyum karbonat (potas)	5
Diğer tüm maddeler	15

Tartım sonuçları bir tabloda gösterilmiştir ve bu sonuçlardan ayırsal, kümülatif elek altı ve üstü değerleri hesaplanmıştır. Tablodaki değerler doğrultusunda ayırsal ve kümülatif elek altı grafikleri çizilmiştir ve incelemeler bu grafikler yardımıyla yapılmıştır.

6.DENEY SONUÇLARI

6.1 Elek Analizi Sonuçları

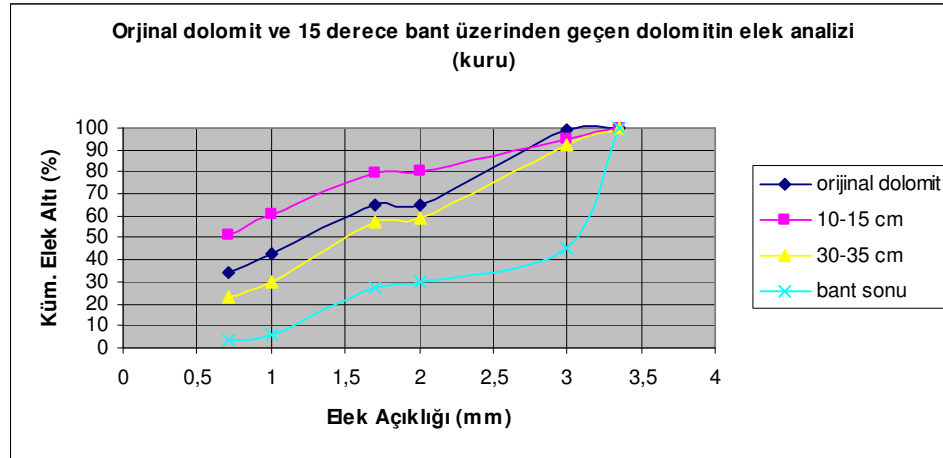
6.1.1 Dolomit

Elek analizi sonucunda oluşturulan kümülatif elek altı değerlerinden elde edilen d_{50} değerleri Tablo 6.1’de verilmiştir.

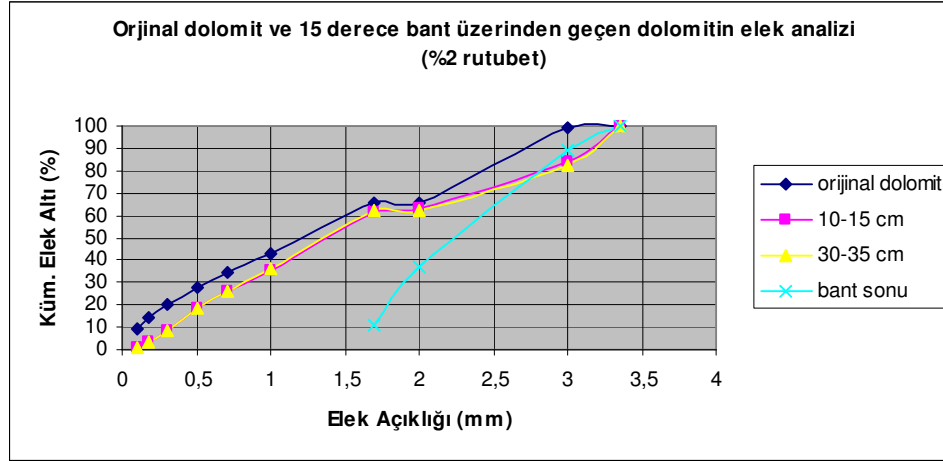
Tablo 6.1: Dolomit Numunesinin d_{50} Değerleri

Dolomit		$d_{50}=1.212$	En iri elek 3.35mm	
d_{50}	15°, kuru	15°, %2 rutubet	25°, kuru	25°, %2 rutubet
orijinal d_{50}	1,212	1,212	1,212	1,212
10-15cm	0,686	1,369	1,080	1,123
30-35cm	1,500	1,369	2,039	1,216
bant sonu	3,086	2,244	1,633	2,000

15° lik banttın geçen numunelerin sonuçlarından gözlemlenenler:



(a) 15° Kuru Küm.Elek Altı Grafik



(b) 15° %2 Rut. Küm.Elek Altı Grafik

Şekil 6.1: 15° Banttan Geçen Dolomitin Elek Analizi Grafikleri

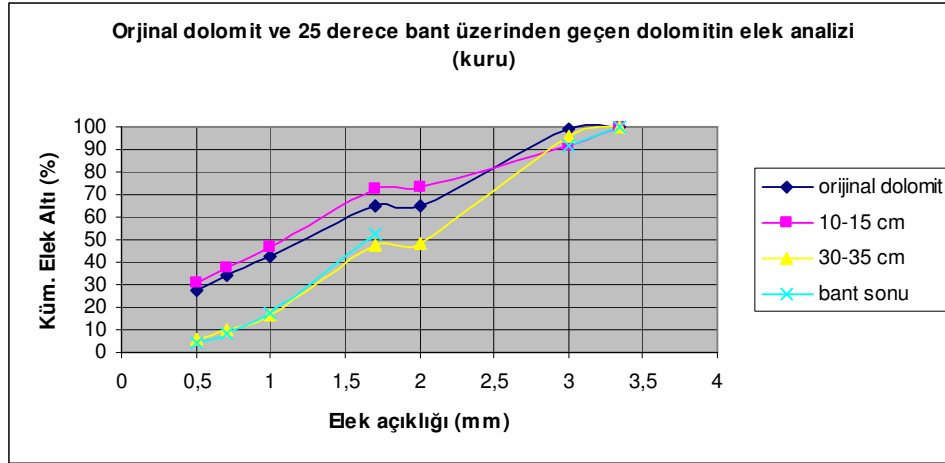
- d_{50} değerlerine bakıldığında %2 rutubetin bant sonunda toplanan numuneye etkisi olduğu görülmektedir. Kuru haldeyken bant sonuna daha iri taneler toplanırken ($d_{50}=3.086$), %2 rutubet ilavesiyle bant sonuna daha az iri taneler ($d_{50}=2.244$) toplanmıştır.

-Kuru numune kendi içinde değerlendirildiğinde, d_{50} değeri önce azalmıştır (10-15cm) daha sonra (30-35cm ve bant sonu) artış göstermiştir.

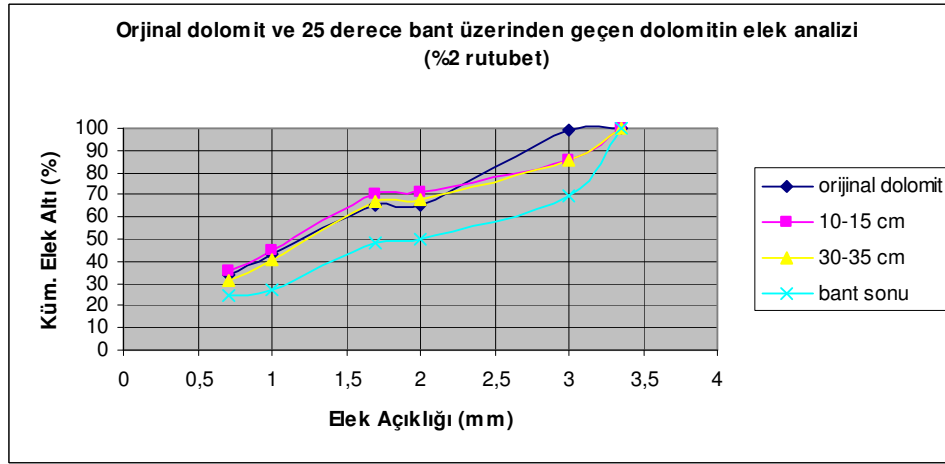
-%2 rutubetli numune kendi içinde değerlendirildiğinde; d_{50} değerinde önce artış görülmüş, sonra sabit kalmış ve en son yine artmıştır.

-Ayrımsal grafiklere bakıldığında iri ve ince malzemenin kendi içinde kat ettiği mesafeye bağlı olarak (yani hareketin süresine) ayrışma gösterdiği görülmektedir.

25° lik banttann geçen numunelerin sonuçlarından gözlemlenenler:



(a) 25° Kuru Küm.Elek Altı Grafik



(b) 25° %2 Rut. Küm.Elek Altı Grafik

Şekil 6.2: 25° Banttann Geçen Dolomitin Elek Analizi Grafikleri

-Ayrımsal grafiklere ve d_{50} değerlerine bakıldığında %2'lik rutubet beklenen etkiyi göstermemiştir. Bunun sebebi tane boyut dağılım aralığının geniş olması ya da bant açısı değerinin fazla olması olabilir.

-Kuru numune kendi içinde değerlendirildiğinde; d_{50} değeri önce azalmıştır (10-15cm), sonra artmış (30-35cm) ve en son (bant sonu) yine azalmıştır.

-%2 rutubetli numune kendi içinde değerlendirildiğinde; d_{50} değeri önce azalmış, sonra artmış ve en son yine azalmıştır.

-Kuru numunenin d_{50} değerlerine bakıldığında en yüksek d_{50} değerinin 30-35cm arasından alınan numuneye ait olduğu görülmektedir. Beklenen ise bant sonundaki numunenin daha iri olmasıdır. Bunun sebebi de bant açısı değerinin yüksek olması olabilir.

-Grafiklere bakıldığında, malzeme kuru iken orijinal numune, 10-15cm, 30-35cm ve bant sonlarından alınan numunelerin grafikleri birbirleriyle uyumlu iken, %2 rutubet ilavesi ile bu uyumun bozulduğu görülmektedir. Normalde rutubet ilavesinin amacı bu uyumu yakalayabilmek yani ayrışmayı önlemektedir, fakat burada tam tersi etki göstermiştir.

15° ve 25°'den geçen kuru numunelerin karşılaştırılması:

-Grafiklere ve d_{50} değerlerine bakıldığında 15°'lik banttı geçen numunenin eğrileri, 25°'lik banttı geçene göre daha uyumsuzdur. Buradan bu malzemenin (bu irilikte, geniş tane boyut dağılımına sahip) taşınması için 25°'nin daha uygun olduğunu söyleyebiliriz.

-15°'den geçirilen malzemenin d_{50} değerlerine bakıldığında; önce azalma (10-15cm), sonra artma (30-35cm) ve tekrar artma görülmüştür (bant sonu).

-25°'den geçirilen malzemenin d_{50} değerlerine bakıldığında ise önce azalma (10-15cm), sonra artma (30-35cm) ve tekrar azalma görülmüştür (bant sonu).

15° ve 25°'den geçen %2 rutubetli numunelerin karşılaştırılması:

-Grafiklere ve d_{50} değerlerine bakıldığında 15°'lik banttı geçen numunelerin eğrileri, 25°'ye göre daha uyumsuzdur. 15°'nin d_{50} değerleri arasındaki fark 25°'ye göre daha fazladır.

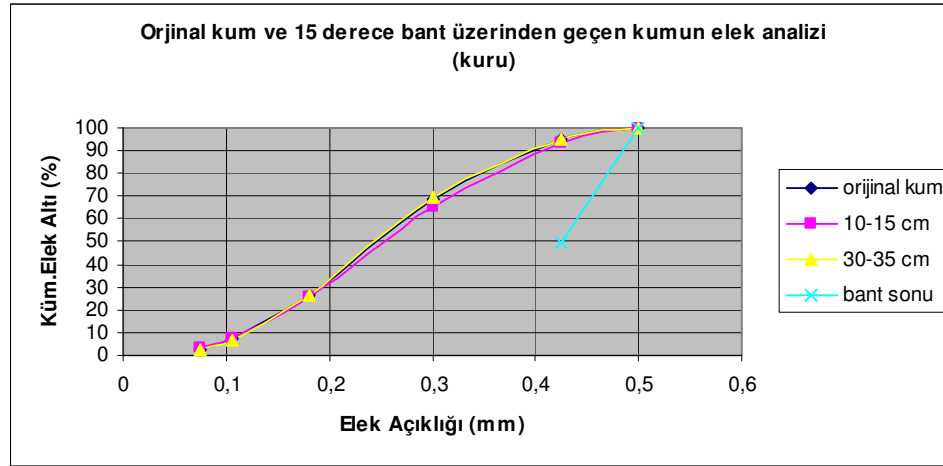
6.1.2 Kum

Elek analizi sonucunda oluşturulan kümülatif elek altı değerlerinden elde edilen d_{50} değerleri Tablo 6.2'de verilmiştir.

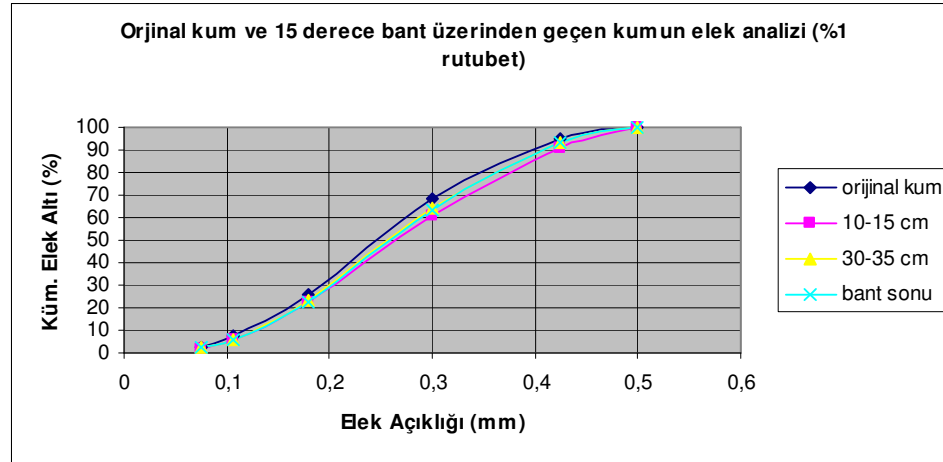
Tablo 6.2: Kum Numunesinin d_{50} Değerleri

	Kum	$d_{50}=0.244$	En iri elek 0.500mm	
d_{50}	15°, kuru	15°, %1 rutubet	25°, kuru	25°, %1 rutubet
orijinal d_{50}	0,244	0,244	0,244	0,244
10-15cm	0,250	0,266	0,236	0,251
30-35cm	0,242	0,256	0,247	0,251
bant sonu	0,425	0,256	0,345	0,266

15° lik banttın geçen numunelerin sonuçlarından gözlemlenenler:



(a) 15° Kuru Küm.Elek Altı Grafik

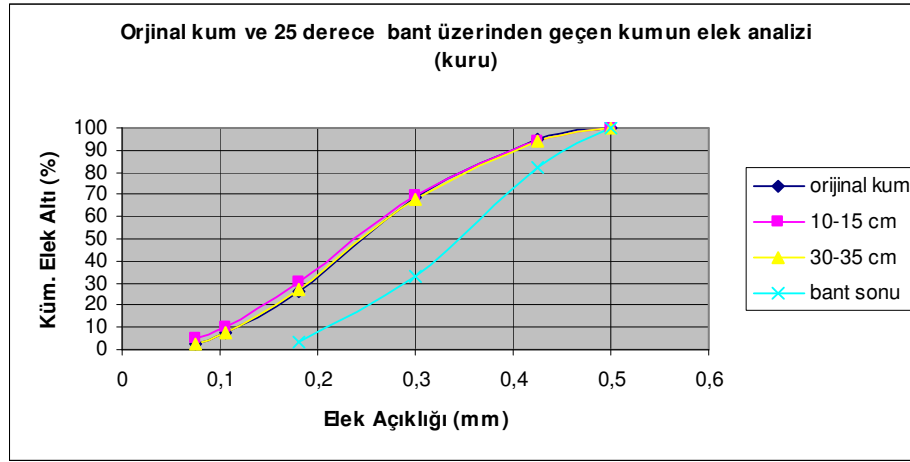


(b) 15° %1 Rut. Küm.Elek Altı Grafik

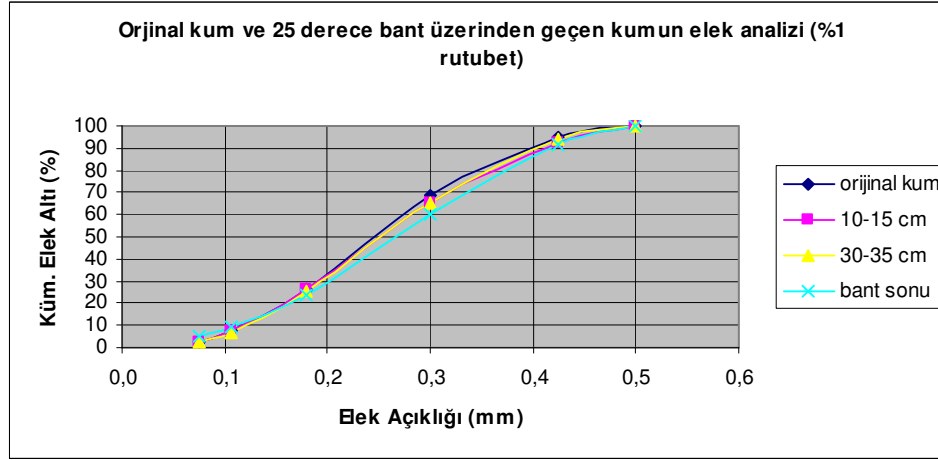
Şekil 6.3: 15° Banttın Geçen Kumun Elek Analizi Grafikleri

-Grafiklere ve d_{50} değerlerine bakıldığında kuru haldeki malzemenin sadece bant sonunda toplanan numunesinde diğerleri ile bir uyumsuzluk söz konusudur. %1 rutubet ilavesi bu uyumsuzluğun giderilmesinde yeterli olmuştur.

25° lik banttın geçen numunelerin sonuçlarından gözlemlenenler:



(a) 25° Kuru Küm.Elek Altı Grafik



(b) 25° %1 Rut. Küm.Elek Altı Grafik

Şekil 6.4: 25° Banttın Geçen Kumun Elek Analizi Grafikleri

-Grafiklere ve d_{50} değerlerine bakıldığında kuru haldeki malzemenin sadece bant sonunda toplanan numunesinde diğerleri ile bir uyumsuzluk söz konusudur. %1 rutubet ilavesi bu uyumsuzluğun giderilmesinde yeterli olmuştur.

-Son iki sonuç, tane boyut dağılımı dar olan malzemelerde segregasyonun nem artışı (rutubet ilavesi) ile önlenebileceğini göstermiştir.

15° ve 25°'den geçen kuru numunelerin karşılaştırılması:

-Hem 15°'nin hem de 25°'nin granülasyon eğrilerine ve d_{50} değerlerine bakıldığında tek uyumsuzluk bant sonunda görülmüştür.

15°'den geçen malzemenin bant sonu d_{50} değerin 25°'den daha büyük olduğu görülmektedir. Yani eğim 15° olduğunda bant sonunda daha iri taneler toplanmıştır.

15° ve 25°'den geçen %1 rutubetli numunelerin karşılaştırılması:

-Hem 15° hem de 25°'nin granülasyon eğrileri ve d_{50} değerleri birbirleriyle çok uyumludur.

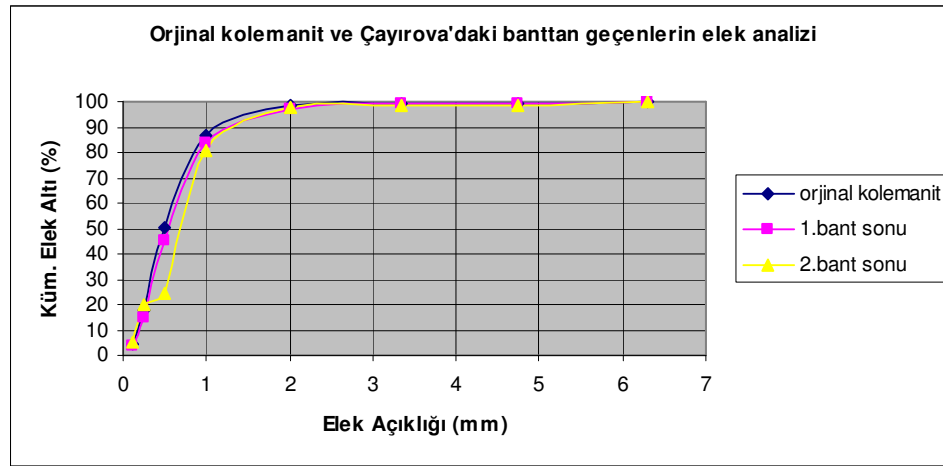
6.1.3 Kolemanit

Elek analizi sonucunda oluşturulan kümülatif elek altı değerlerinden elde edilen d_{50} değerleri Tablo 6.3'te verilmiştir.

Tablo 6.3: Kolemanit Numunesinin d_{50} Değerleri

Kolemanit orijinal $d_{50} = 1.00$ En iri elek 6.30mm		
d_{50}	15°, %2 rutubet	20°, %2 rutubet
orijinal d_{50}	1,00	1,00
10-15cm	2,20	1,61
30-35cm	2,36	1,61
bant sonu	3,21	2,75

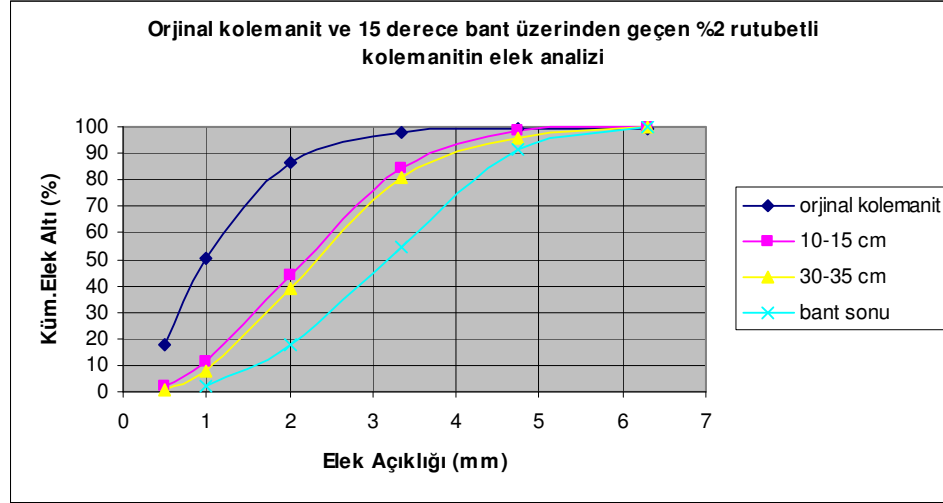
Çayırova %4rut.	
orijinal	1,00
1.bant sonu	1,20
2.bant sonu	1,49



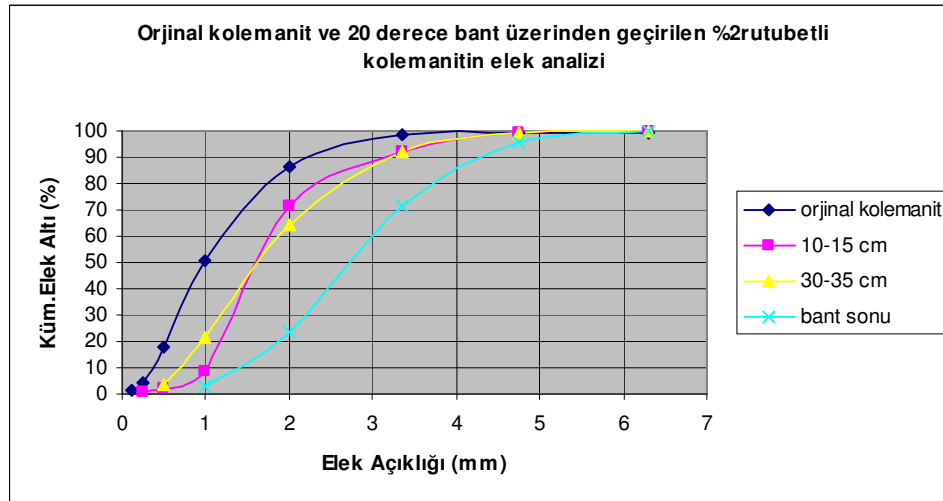
Şekil 6.5: Çayırova'daki Banttan Geçen Kolemanitin Küm.Elek Altı Grafiği

-Çayırovadaki bantlardan geçirilen numunelerin grafiklerine ve d_{50} değerlerine bakıldığında; 1.bant sonunda herhangi bir ayrışma olmazken 2. bant sonunda bir miktar ayrışma gözlenmiştir. Bunun sebebi; malzemenin kat ettiği yolun artmış olması olabilir.

15° ve 20°'den geçen %2 rutubetli numunelerin karşılaştırılması:



(a) 15° %2 Rut. Küm. Elek Altı Grafik



(b) 20° %2 Rut. Küm. Elek Altı Grafik

Şekil 6.6: 15° ve 20° Banttın Geçen Kolemanitin Elek Analizi Grafikleri

- d_{50} değerlerine bakıldığında 15°'den geçen numunelerin d_{50} değerlerinde 20°'ye göre daha fazla artış olmuştur ve bant sonu numunesinin d_{50} değeri daha yüksektir (yani daha iri taneler toplanmıştır).

-15° ve 20° arasında kıyaslama yapmak gerekirse, ayrımsal grafiklere bakıldığında 20°'nin granülasyon eğrilerinin 15°'ye göre daha uyumlu olduğu görülür.

-Son iki sonuca göre, Çayırova'daki numune %4 rutubete sahiptir ve malzemenin kat ettiği mesafe laboratuvarında kurulan düzenekten çok daha fazladır. Laboratuvarında

kullanılan kolemanitin nem içeriği %2'dir. Bu da gösteriyor ki, tane boyut dağılım aralığı geniş olan malzemelerde rutubet içeriği kat edilen yoldan daha önemlidir. Çayırova'daki numunenin kat ettiği yol çok daha fazla olmasına rağmen sahip olduğu %4'lük rutubet ayrışmasını büyük ölçüde engelleyebilmiştir. Laboratuvardaki numunenin kat ettiği yol az olmasına rağmen %2'lik rutubet ayrışmasına engel olamamıştır.

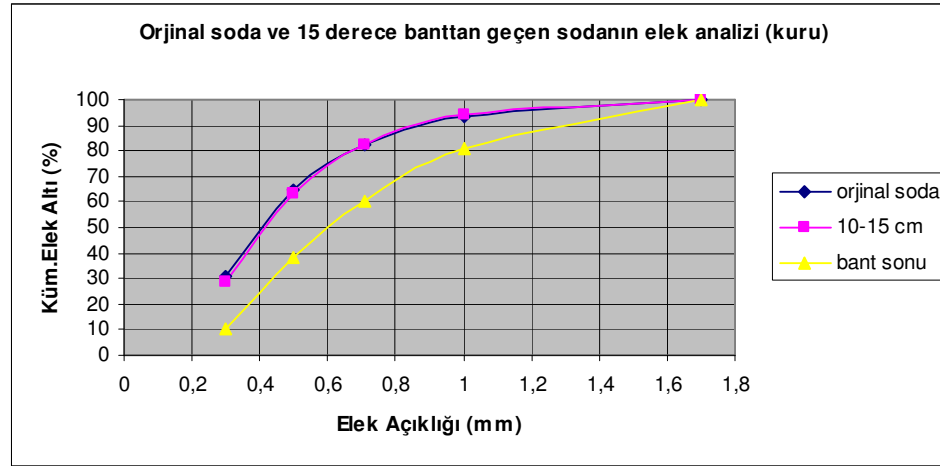
6.1.4 Soda

Elek analizi sonucunda oluşturulan kümülatif elek altı değerlerinden elde edilen d_{50} değerleri Tablo 6.4'te verilmiştir.

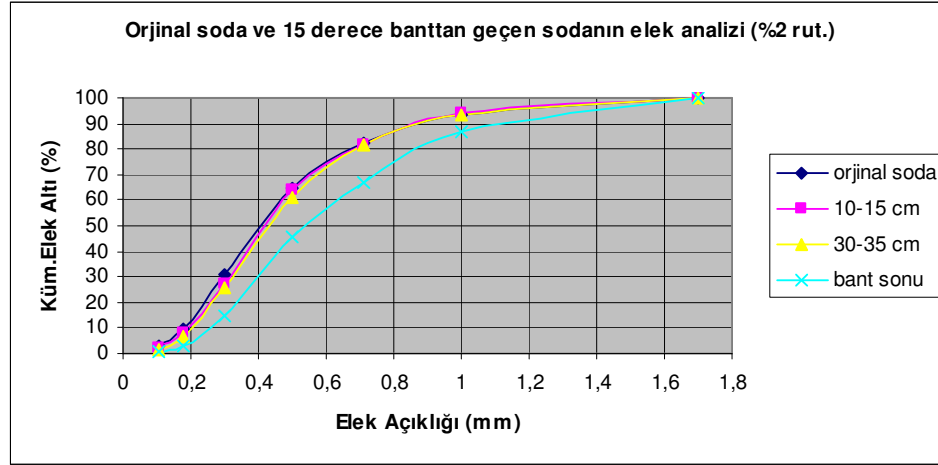
Tablo 6.4: Soda Numunesinin d_{50} Değerleri

	Soda	$d_{50}=0.409$	En iri elek 1.70mm	
d_{50}	15°, kuru	15°, %2 rutubet	25°, kuru	25°, %2 rutubet
orijinal d_{50}	0,409	0,409	0,409	0,409
10-15cm	0,409	0,418	0,414	0,422
30-35cm	-	0,440	0,280	-
bant sonu	0,600	0,536	0,485	0,458

15°'lik banttan geçen numunelerin sonuçlarından gözlemlenenler:



(a) 15° Kuru Küm.Elek Altı Grafik



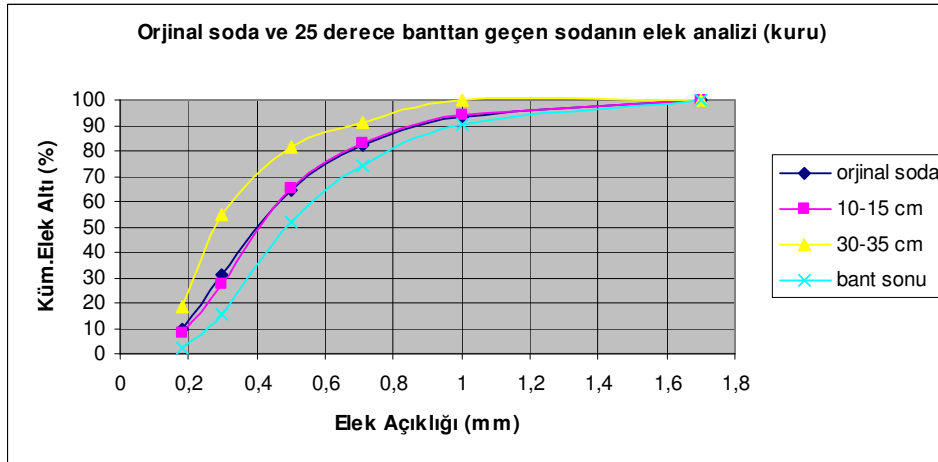
(b) 15° %2 Rut. K m.Elek Altı Grafik

Şekil 6.7: 15° Banttın Geçen Sodayın Elek Analizi Grafikleri

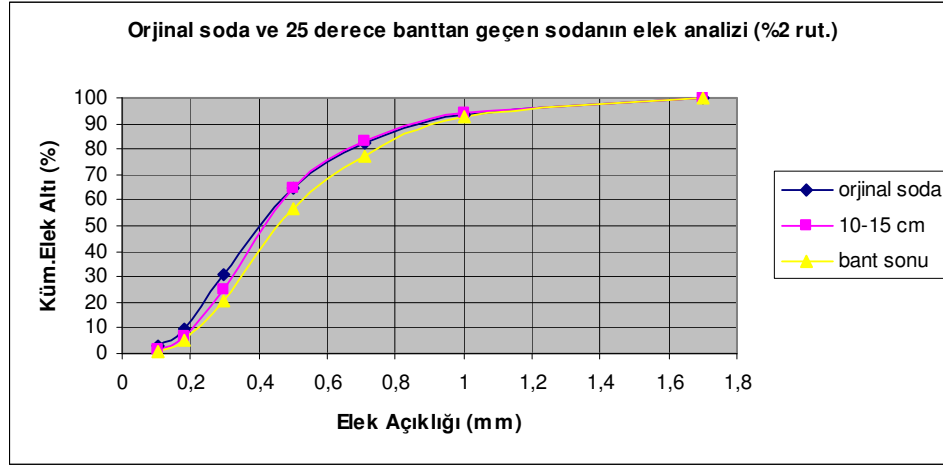
-15° banttın ge irilm   kuru sodanın d_{50} değerlerine ve elek analizi grafiklerine bakıldığında, sadece bant sonu numunesinde çok az bir ayr  ma olduğu görülmektedir. Genel olarak tüm aralıklardan alınan numunelerin elek analizi eğrileri gayet uyumludur.

-15° banttın ge irilm   %2 rutubetli sodanın d_{50} değerlerine ve elek analizi grafiklerine bakıldığında, sadece bant sonu numunesinde az miktarda ayr  ma olduğu görülmektedir. Fakat bu ayr   ma kuru haldekine göre daha azdır. 15° banttın geçirilen sodanın ayr   masını %2 rutubetin engellediği g r lm   t r.

25°'lik banttın geçen numunelerin sonuçlarından gözlemlenenler:



(a) 25° Kuru K m.Elek Altı Grafik



(b) 25° %2 Rut. Küm.Elek Altı Grafik

Şekil 6.8: 25° Banttın Geçen Sodanın Elek Analizi Grafikleri

-25° banttın geçirilmiş kuru sodanın d_{50} değerlerine ve elek analizi grafiklerine bakıldığında, sadece 30-35cm arasından alınan numunede çok az bir miktarda ayrışma vardır.

-25° banttın geçirilmiş %2 rutubetli sodanın d_{50} değerlerine ve elek analizi grafiklerine bakıldığında, ayrışma olmadığı görülmektedir. Elek analizi eğrileri ve d_{50} değerleri birbirleriyle uyumludur. Bu durumda soda için en uygun bant açısının 25° ve rutubet miktarının ise %2 olması gerektiğini söyleyebiliriz.

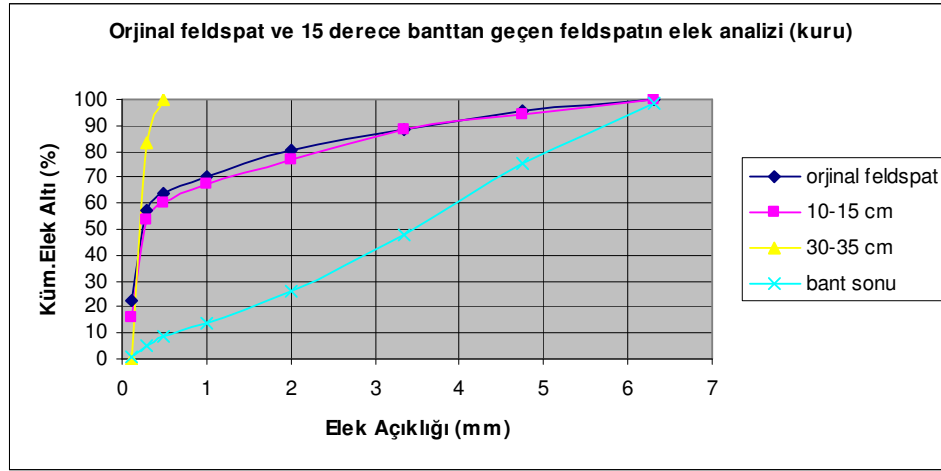
6.1.5 Feldspat

Elek analizi sonucunda oluşturulan kümülatif elek altı değerlerinden elde edilen d_{50} değerleri Tablo 6.5'te verilmiştir.

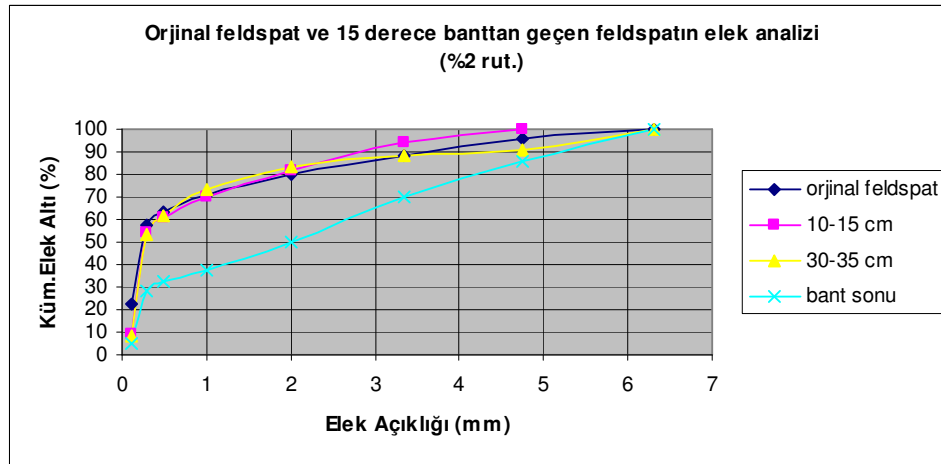
Tablo 6.5: Feldspat Numunesinin d_{50} Değerleri

	Feldspat	$d_{50}=0.250$	En iri elek 6.30mm	
d_{50}	15°, kuru	15°, %2 rutubet	25°, kuru	25°, %2 rutubet
orjinal d_{50}	0,250	0,250	0,250	0,250
10-15cm	0,280	0,280	0,250	0,450
30-35cm	0,220	0,280	-	0,200
bant sonu	3,480	2,000	3,370	1,380

15°'lik banttan geçen numunelerin sonuçlarından gözlemlenenler:



(a) 15° Kuru Küm.Elek Altı Grafik



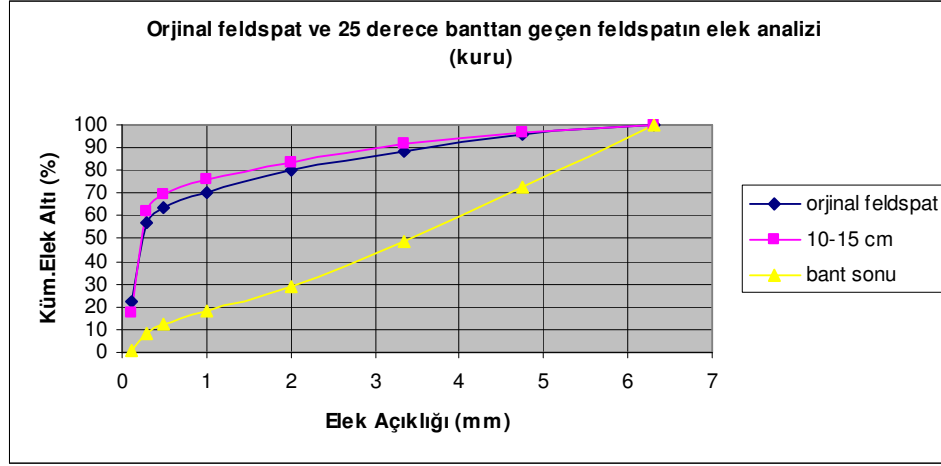
(b) 15° %2 Rut. Küm.Elek Altı Grafik

Şekil 6.9: 15° Banttan Geçen Feldspatın Elek Analizi Grafikleri

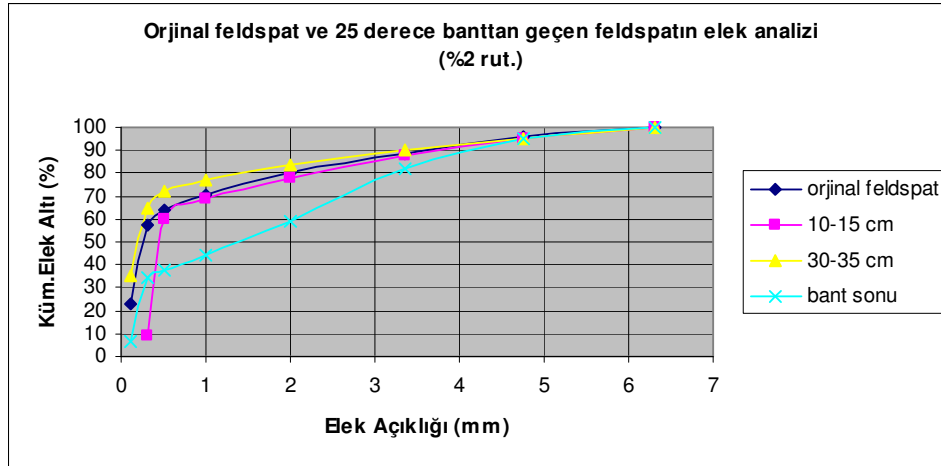
-15° banttan geçirilmiş kuru feldspatın d_{50} değerlerine ve elek analizi grafiklerine bakıldığında, bant sonu numunesinde önemli miktarda ayrışma olduğu görülmektedir.

-15° banttan geçirilmiş %2 rutubetli feldspatın d_{50} değerlerine ve elek analizi grafiklerine bakıldığında, sadece bant sonu numunesinde ayrışma görülmektedir. Fakat kuru haldeki numuneye göre ayrışma daha azdır. %2 rutubet ilavesinin ayrışmayı azalttığı görülmektedir.

25°'lik banttan geçen numunelerin sonuçlarından gözlemlenenler:



(a) 25° Kuru Küm.Elek Altı Grafik



(b) 25° %2 Rut. Küm.Elek Altı Grafik

Şekil 6.10: 25° Banttan Geçen Feldspatın Elek Analizi Grafikleri

-25° banttan geçirilmiş kuru feldspatın d_{50} değerlerine ve elek analizi grafiklerine bakıldığında, bant sonu numunesinde ayrışma olduğu görülmektedir.

-25° banttan geçirilmiş %2 rutubetli feldspatın d_{50} değerlerine ve elek analizi grafiklerine bakıldığında, bant sonunda ayrışma vardır. Ama kuru numuneye göre ayrışma, %2 rutubetli numunede daha azdır. 25° bantta da rutubet ilavesi ayrışmayı azaltabilmiştir. Feldspat numunesi için en uygun bant açısının 25° ve rutubet içeriğinin de %2 olması durumudur.

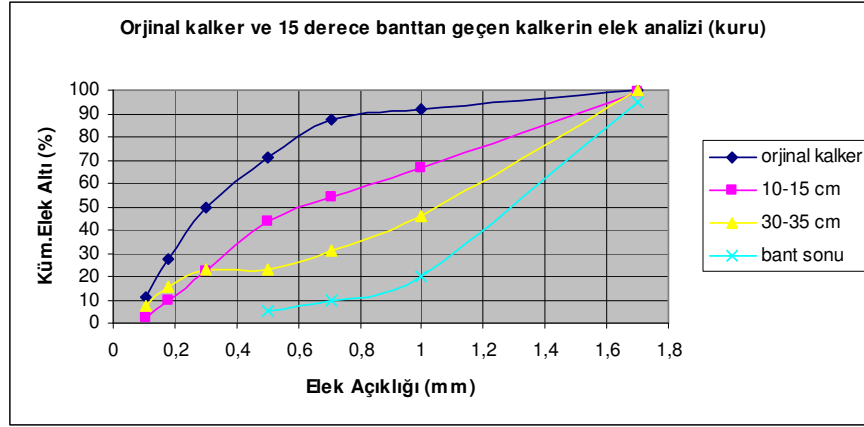
6.1.6 Kalker

Elek analizi sonucunda oluşturulan kümülatif elek altı değerlerinden elde edilen d_{50} değerleri Tablo 6.6'da verilmiştir.

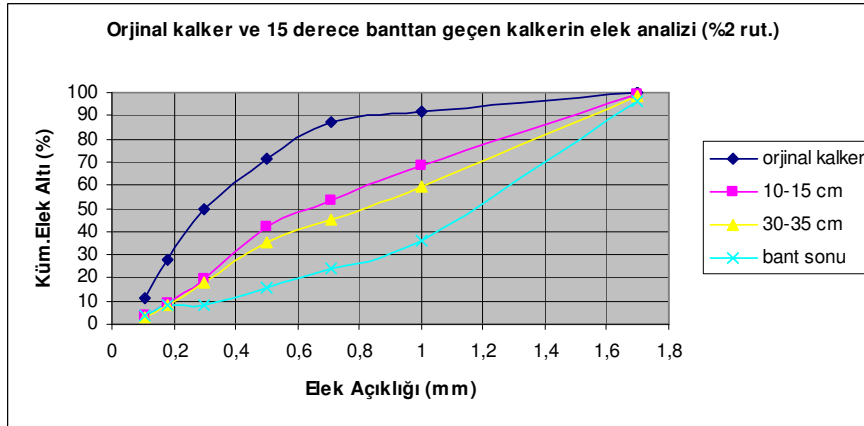
Tablo 6.6: Kalker Numunesinin d_{50} Değerleri

	Kalker	$d_{50}=0.300$	En iri elek 1.70mm	
d_{50}	15°, kuru	15°, %2 rutubet	25°, kuru	25°, %2 rutubet
orijinal d_{50}	0,300	0,300	0,300	0,300
10-15cm	0,607	0,649	0,500	0,709
30-35cm	1,056	0,810	0,600	0,709
bant sonu	1,298	1,180	1,219	1,065

15°'lik banttı geçen numunelerin sonuçlarından gözlemlenenler:



(a) 15° Kuru Küm.Elek Altı Grafik



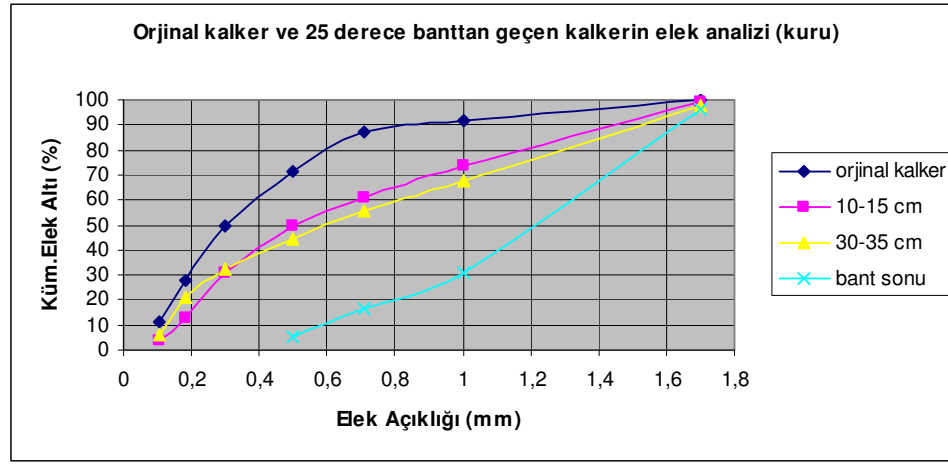
(b) 15° %2 Rut. Küm.Elek Altı Grafik

Şekil 6.11: 15° Banttı Geçen Kalkerin Elek Analizi Grafikleri

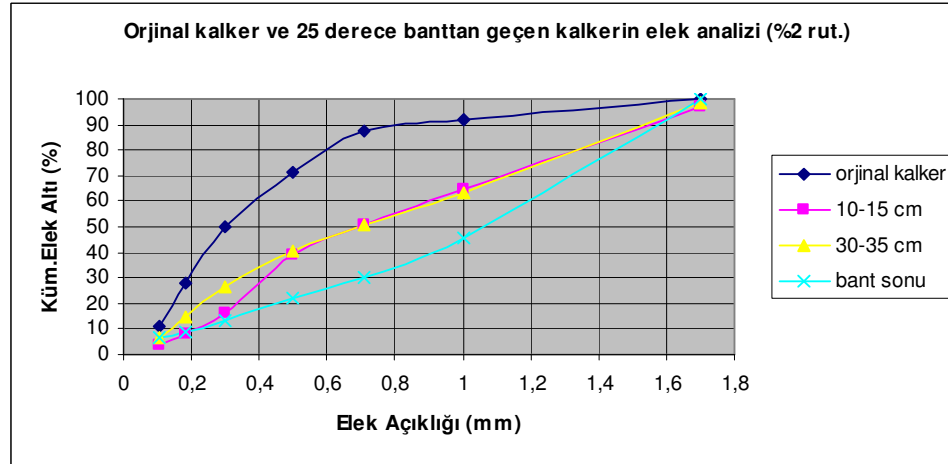
-15° banttandır geçirilmiş kuru kalkerin d_{50} değerlerine ve elek analizi grafiklerine bakıldığında, her aralıktan alınan numunede orjinal numune göre değişik değerler elde edilmiştir. En çok ayrışma bant sonunda olmuştur.

-15° banttandır geçirilmiş %2 rutubetli kalkerin d_{50} değerlerine ve elek analizi grafiklerine bakıldığında, yine ayrışma vardır fakat kuru haldeki numuneye göre ayrışmanın azaltılabildiği görülmüştür.

25°'lik banttandır geçen numunelerin sonuçlarından gözlemlenenler:



(a) 25° Kuru Küm.Elek Altı Grafik



(b) 25° %2 Rut. Küm.Elek Altı Grafik

Şekil 6.12: 25° Banttandır Geçen Kalkerin Elek Analizi Grafikleri

-25° banttandır geçirilmiş kuru kalkerin d_{50} değerlerine ve elek analizi grafiklerine bakıldığında, her aralıktan alınan numunede orjinal numune göre değişik değerler

elde edilmiştir. En çok ayrışma bant sonunda olmuştur. Ama ayrışma miktarı 15° banttandır. En çok ayrışma bant sonunda olmuştur. Ama ayrışma miktarı 15° banttandır. En çok ayrışma bant sonunda olmuştur. Ama ayrışma miktarı 15° banttandır.

-25° banttandır. En çok ayrışma bant sonunda olmuştur. Ama ayrışma miktarı 15° banttandır. En çok ayrışma bant sonunda olmuştur. Ama ayrışma miktarı 15° banttandır. En çok ayrışma bant sonunda olmuştur. Ama ayrışma miktarı 15° banttandır.

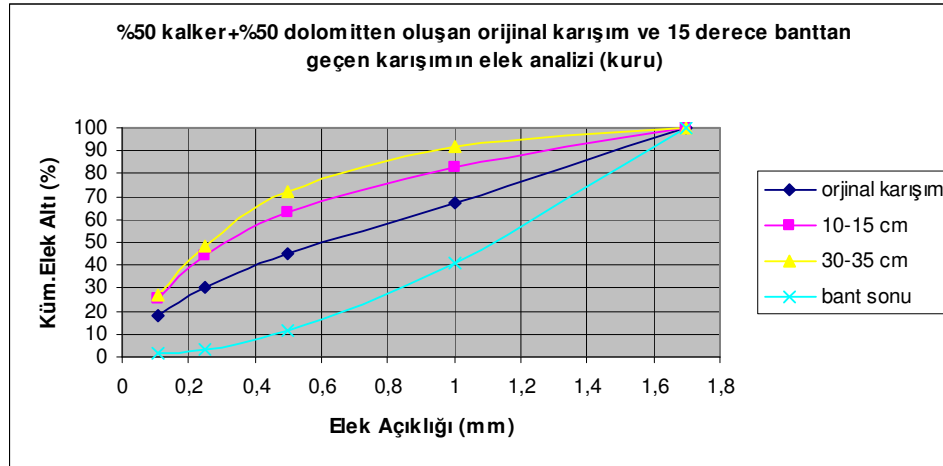
6.1.7 %50 Kalker + %50 Dolomit

Elek analizi sonucunda oluşturulan kümülatif elek altı değerlerinden elde edilen d_{50} değerleri Tablo 6.7’de verilmiştir.

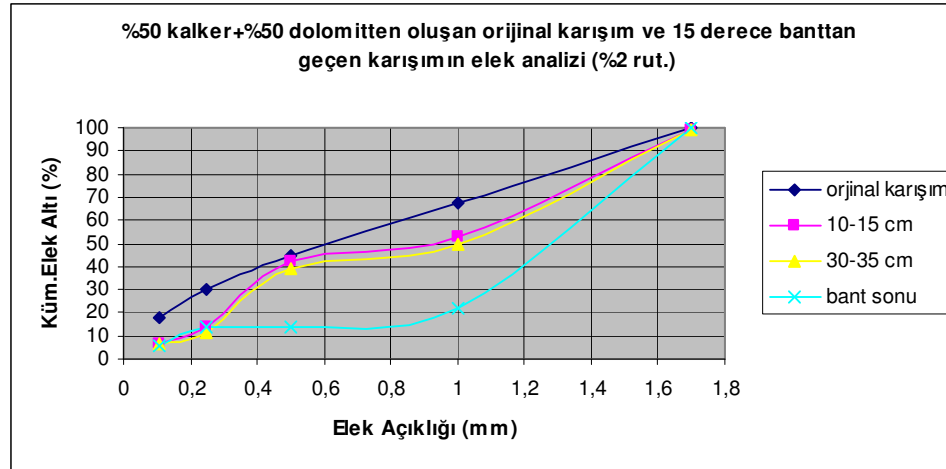
Tablo 6.7: %50 Kalker + %50 Dolomitten Oluşan Karışımın d_{50} Değerleri

%50 kalker + %50 dolomit $d_{50} = 0.628$ En iri elek 1.70mm				
d_{50}	15°, kuru	15°, %2 rutubet	25°, kuru	25°, %2 rutubet
orijinal d_{50}	0,628	0,628	0,628	0,628
10-15cm	0,320	0,929	0,255	0,950
30-35cm	0,253	1,003	0,353	1,032
bant sonu	1,120	1,283	1,027	1,183

15°’lik banttandır. En çok ayrışma bant sonunda olmuştur. Ama ayrışma miktarı 15° banttandır. En çok ayrışma bant sonunda olmuştur. Ama ayrışma miktarı 15° banttandır.



(a) 15° Kuru Küm.Elek Altı Grafik



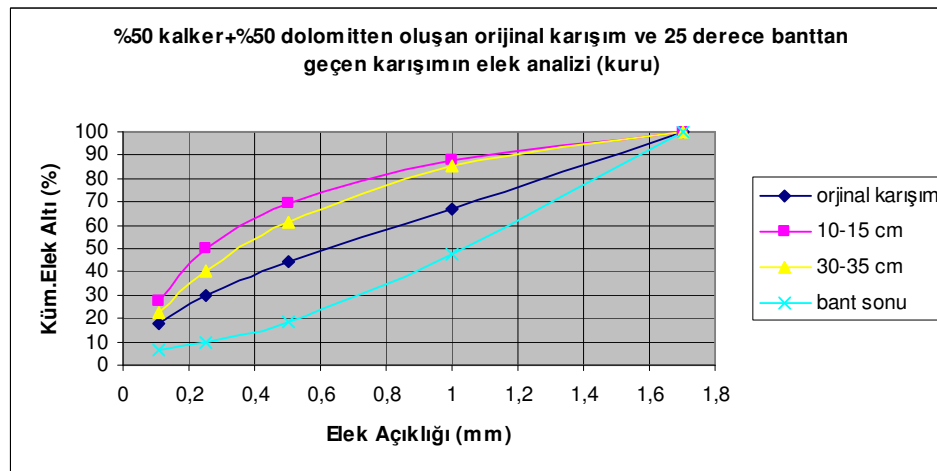
(b) 15° %2 Rut. Küm.Elek Altı Grafik

Şekil 6.13: 15° Banttı Geçen %50 Kalker + %50 Dolomitten Oluşan Karışımın Elek Analizi Grafikleri

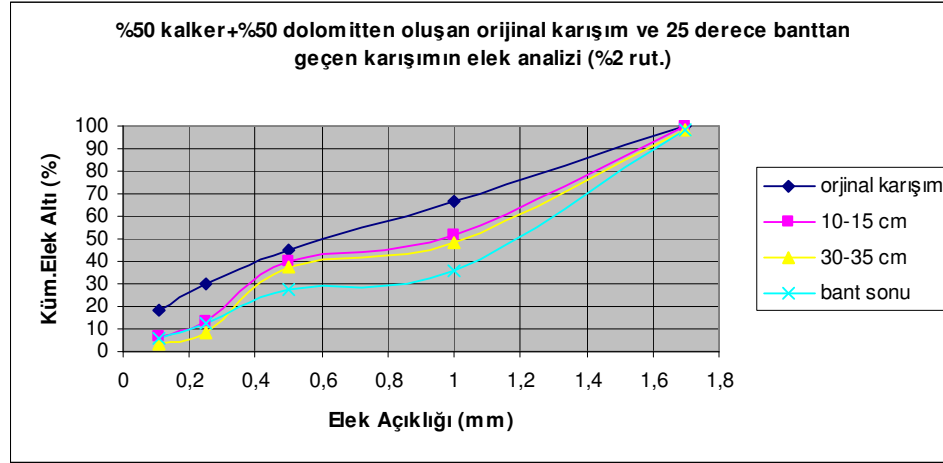
-15° banttı geçirilmiş kuru %50 kalker + %50 dolomitten oluşan karışımın d_{50} değerlerine ve elek analizi grafiklerine bakıldığında, ayrışmanın her aralıktan alınan numunede olduğu görülmektedir.

-15° banttı geçirilmiş %2 rutubetli %50 kalker + %50 dolomitten oluşan karışımın d_{50} değerlerine ve elek analizi grafiklerine bakıldığında, ayrışma miktarının her aralıktan alınan numunede kuru hale göre artış gösterdiği görülmektedir.

25°'lik banttı geçen numunelerin sonuçlarından gözlemlenenler:



(a) 25° Kuru Küm.Elek Altı Grafik



(b) 25° %2 Rut. Küm.Elek Altı Grafik

Şekil 6.14: 25° Banttan Geçen %50 Kalker + %50 Dolomitten Oluşan Karışımın Elek Analizi Grafikleri

-25° banttan geçirilmiş kuru %50 kalker + %50 dolomitten oluşan karışımın d_{50} değerlerine ve elek analizi grafiklerine bakıldığında, ayrışmanın her aralıktan alınan numunede olduğu görülmektedir. Ama ayrışma miktarı 15° banttan alınan kuru numuneye göre daha azdır.

-25° banttan geçirilmiş %2 rutubetli %50 kalker + %50 dolomitten oluşan karışımın d_{50} değerlerine ve elek analizi grafiklerine bakıldığında, ayrışma miktarının her aralıktan alınan numunede kuru hale göre artış gösterdiği görülmektedir. d_{50} değerlerine ve elek analizi grafikleri neredeyse 15° banttan geçirilmiş %2 rutubetli numune ile aynıdır.

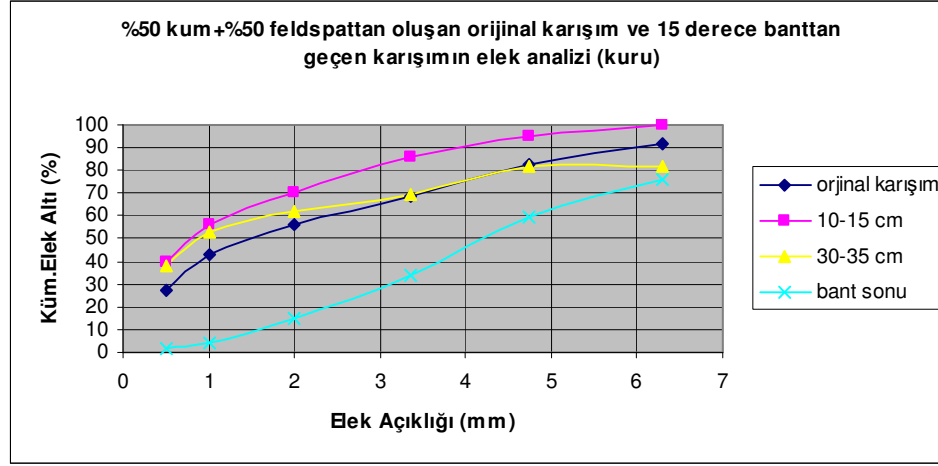
6.1.8 %50 Kum + %50 Feldspat

Elek analizi sonucunda oluşturulan kümülatif elek altı değerlerinden elde edilen d_{50} değerleri Tablo 6.8’de verilmiştir.

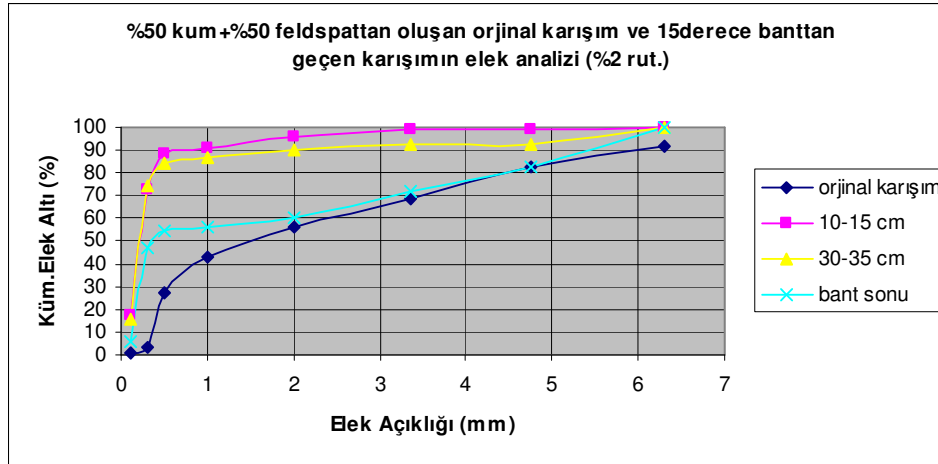
Tablo 6.8: %50 Kum + %50 Feldspattan Oluşan Karışımın d_{50} Değerleri

%50 kum + %50 feldspat		$d_{50}= 1.460$	En iri elek 6.30mm	
d_{50}	15°, kuru	15°, %2 rutubet	25°, kuru	25°, %2 rutubet
orijinal d_{50}	1,460	1,460	1,460	1,460
10-15cm	0,730	0,200	0,430	0,250
30-35cm	0,880	0,200	0,430	0,250
bant sonu	4,200	0,340	1,960	0,290

15°'lik banttandır geçen numunelerin sonuçlarından gözlemlenenler:



(a) 15° Kuru Küm.Elek Altı Grafik



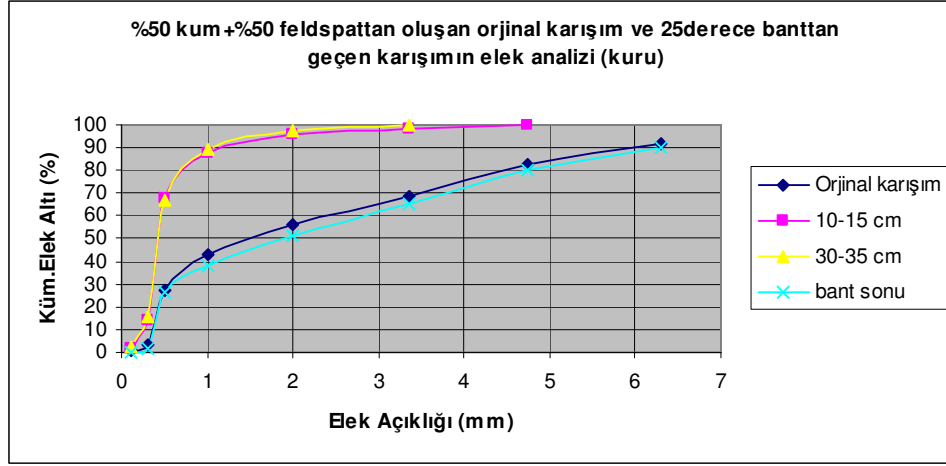
(b) 15° %2 Rut. Küm.Elek Altı Grafik

Şekil 6.15: 15° Banttandır Geçen %50 Kum + %50 Feldspattan Oluşan Karışımın Elek Analizi Grafikleri

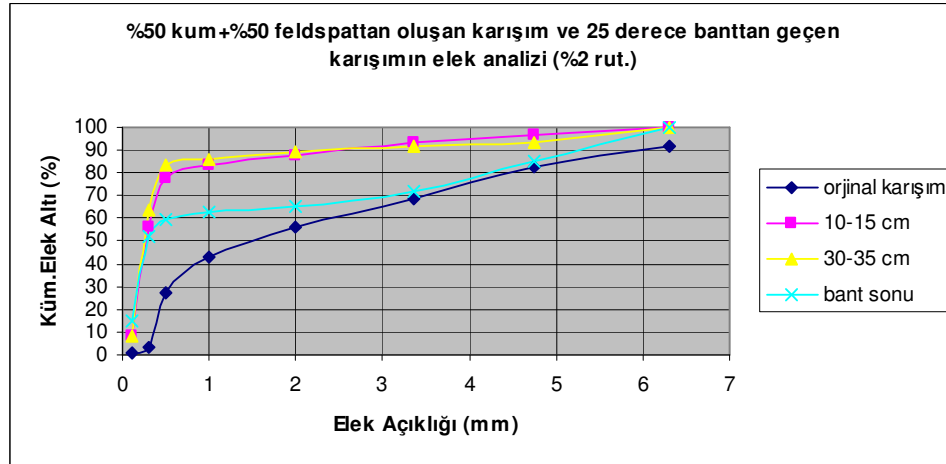
-15° banttandır geçirilmiş kuru %50 kum + %50 feldspattan oluşan karışımın d_{50} değerlerine ve elek analizi grafiklerine bakıldığında, bant sonu numunesindeki ayrışmanın çok fazla olduğu görülmektedir.

-15° banttandır geçirilmiş %2 rutubetli %50 kum + %50 feldspattan oluşan karışımın d_{50} değerlerine ve elek analizi grafiklerine bakıldığında, her aralıktan alınan numunelerde ayrışma miktarının büyük oranda düştüğü görülmektedir. Bu sonuç, rutubetin ayrışmayı azalttığına ispatıdır.

25°'lik banttandır geçen numunelerin sonuçlarından gözlemlenenler:



(a) 25° Kuru Küm.,Elek Altı Grafik



(b) 25° %2 Rut. Küm.Elek Altı Grafik

Şekil 6.16: 25° Banttandır Geçen %50 Kum + %50 Feldspattan Oluşan Karışımın Elek Analizi Grafikleri

-25° banttandır geçirilmiş kuru %50 kum + %50 feldspattan oluşan karışımın d_{50} değerlerine ve elek analizi grafiklerine bakıldığında, 10-15cm ve 30-35cm arasından alınan numunelerin grafiklerinin orjinal numunenin grafiğiyle daha uyumsuz olduğu belirlenmiştir. Bant sonu numunesi diğerlerine göre daha az ayrılmıştır.

-25° banttandır geçirilmiş kuru %50 kum + %50 feldspattan oluşan karışımın d_{50} değerlerine ve elek analizi grafiklerine bakıldığında, tüm aralıklardan alınan numunelerin elek analizi grafikleri ve d_{50} değerleri birbiriyle uyumlu iken, orjinal

numune ile uyumlu değildir. Bu karışımda en uygun bant açısı değeri 25° ve rutubet miktarı da %2’dir

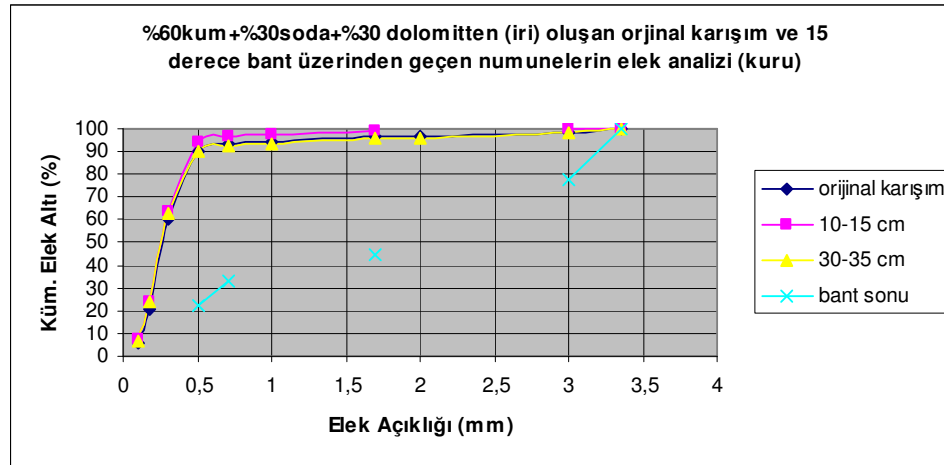
6.1.9 %60 Kum + %30 Soda + %10 Dolomit (iri)

Elek analizi sonucunda oluşturulan kümülatif elek altı değerlerinden elde edilen d_{50} değerleri Tablo 6.9’da verilmiştir.

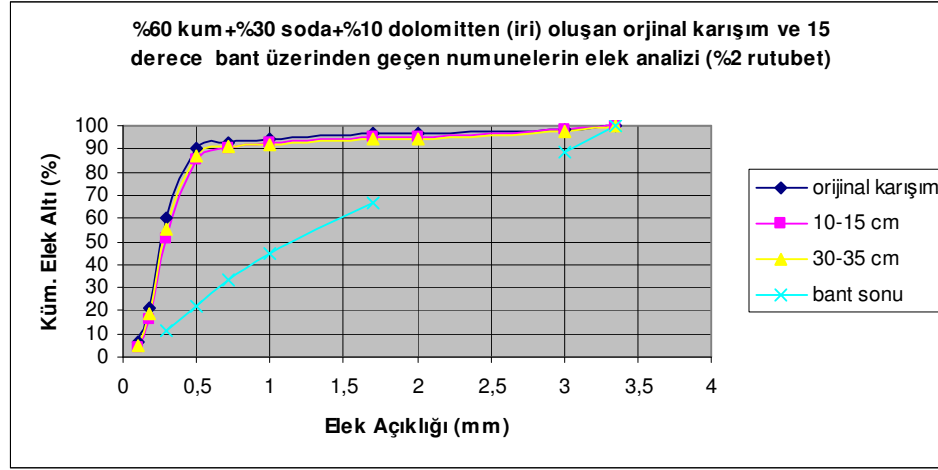
Tablo 6.9: %60 Kum + %30 Soda + %10 Dolomitten (iri) Oluşan Karışımın d_{50} Değerleri

%60 kum + %30 soda + %10 dolomit (iri) $d_{50}=0.267$ En iri elek 3.35mm				
d_{50}	15°, kuru	15°, %2 rutubet	25°, kuru	25°, %2 rutubet
orijinal d_{50}	0,267	0,267	0,267	0,267
10-15cm	0,267	0,290	0,259	0,275
30-35cm	0,267	0,290	0,259	1,090
bant sonu	2,186	1,158	0,418	0,319

15°’den geçen kuru ve %2 rutubetli numunelerin karşılaştırılması:



(a) 15° Kuru Küm.Elek Altı Grafik



(b) 15° %2 Rut. Küm.Elek Altı Grafik

Şekil 6.17: 15° Banttan Geçen %60 Kum + %30 Soda + %10 Dolomitten (iri) Oluşan Karışımın Elek Analizi Grafikleri

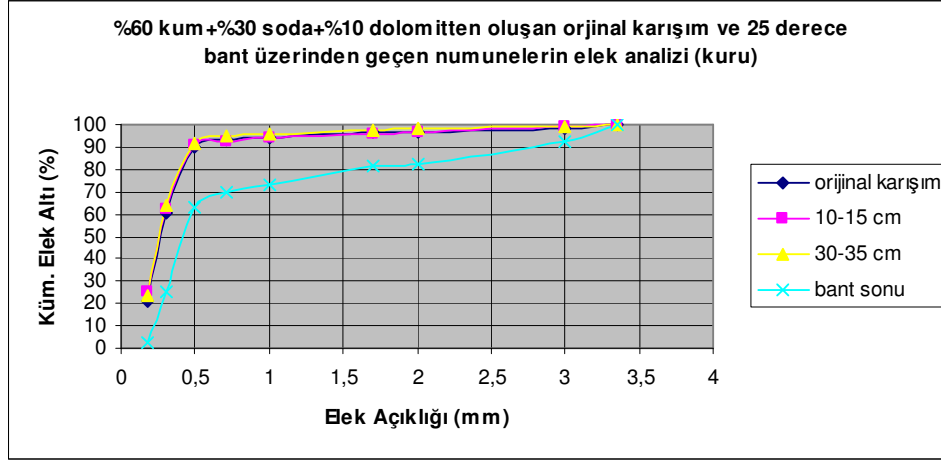
- d_{50} değerlerine bakıldığında %2 rutubetin bant sonunda toplanan numuneye etkisi olduğu görülmektedir. Kuru halde bant sonuna daha iri taneler toplanırken ($d_{50}=2,186$), %2 rutubet ilavesiyle bant sonuna daha az iri taneler ($d_{50}=1,158$) numuneler toplanmıştır.

-Kuru numune kendi içinde değerlendirildiğinde; d_{50} değeri orijinal, 10-15cm ve 30-35cm için aynı kalırken, bant sonunda artış göstermiştir. Bunun sebebi karışımın tane boyut dağılım aralığının geniş olması ve iri tanelerin incelere göre daha hızlı ilerlemiş olmasıdır.

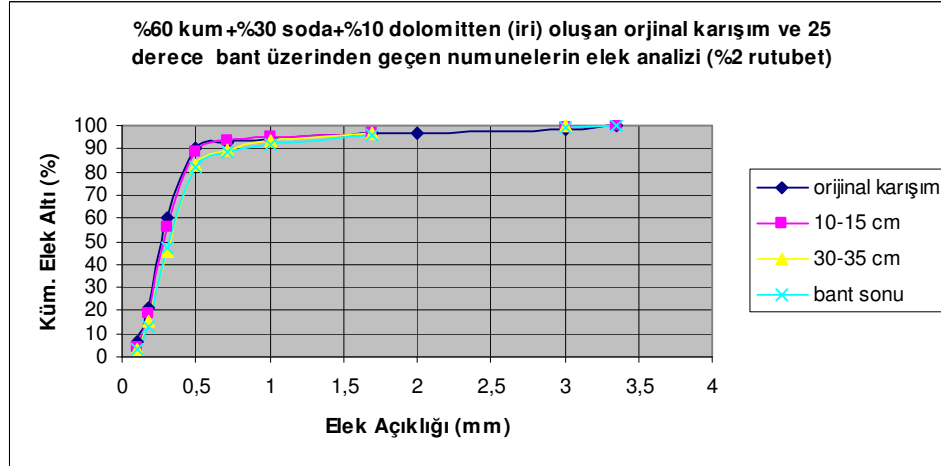
-%2 rutubetli numune kendi içinde değerlendirildiğinde; d_{50} değerinde önce artış görülmüş, sonra sabit kalmış ve en son yine artmıştır.

-Grafiklere ve d_{50} değerlerine bakıldığında orijinal karışım, 10-15cm, 30-35cm aralıklarından alınan numuneler gayet uyumlu iken bu uyumun bant sonu numuneleri tarafından bozulduğu görülmektedir. İri tanelerin daha hızlı yol kat etmesiyle bunlar bant sonunda toplanmıştır.

25°'den geçen kuru ve %2 rutubetli numunelerin karşılaştırılması:



(a) 25° Kuru Küm.Elek Altı Grafik



(b) 25° %2 Rut. Küm.Elek Altı Grafik

Şekil 6.18: 25° Banttan Geçen %60 Kum + %30 Soda + %10 Dolomitten (iri) Oluşan Karışımın Elek Analizi Grafikleri

-Grafiklere ve d_{50} değerlerine bakıldığında %2 rutubetin beklenen etkiyi gösterdiği görülmüştür. Sadece bant sonunda olan uyumsuzluk %2 rutubet ilavesi ile yok edilmiştir.

-Kuru haldeki numune kendi içinde değerlendirildiğinde; d_{50} değerinde önce azalma, sonra sabit kalma ve sonra da artış görülmüştür. Bant sonu değeri hariç diğerleri gayet uyumludur.

-%2 rutubetli numune kendi içinde değerlendirildiğinde, d_{50} değerlerinde önce artış ve daha sonra sabit kalma görülmüştür. Fakat d_{50} değerleri arasındaki fark çok azdır. Bu denemenin sonucunda çıkan grafiklere göre tane boyut dağılım aralığı geniş olan karışımlarda bant açısının 25° olması ve rutubetin de %2 oranında olması durumunda ayrışmanın engellenebildiği görülmüştür. Bu durumun daha uzun bantlarda da geçerli olup olmayacağı denenip, görülmelidir.

15° ve 25°'den geçen kuru numunelerin karşılaştırılması:

-Grafiklere ve d_{50} değerlerine bakıldığında 15° 'lik banttan geçen numunenin eğrileri ve d_{50} değerleri, 25° 'lik banttan geçene göre daha uyumsuzdur. Buradan bu malzemenin (bu irilikte, geniş tane boyut dağılımına sahip) taşınması için 25° 'nin daha uygun olduğunu söyleyebiliriz (bant uzunluğunu da hesaba katmak gerekmektedir).

15° ve 25°'den geçen %2 rutubetli numunelerin karşılaştırılması:

-Grafiklere ve d_{50} değerlerine bakıldığında 25° 'lik banttan geçen numunelerin tamamen uyumlu olduğu görülmektedir. 15° 'lik banttan geçenlerin ise bant sonu numunelerindeki fark çok fazladır. Ayrışma oranı da çok fazladır. Buradan bu tane boyut dağılımına ve iriliğine sahip karışımlar için bant açısının 25° olmasının daha uygun olduğu çıkarılmaktadır.

6.1.10 %60 Kum + %30 Soda + %10 Dolomit (ince)

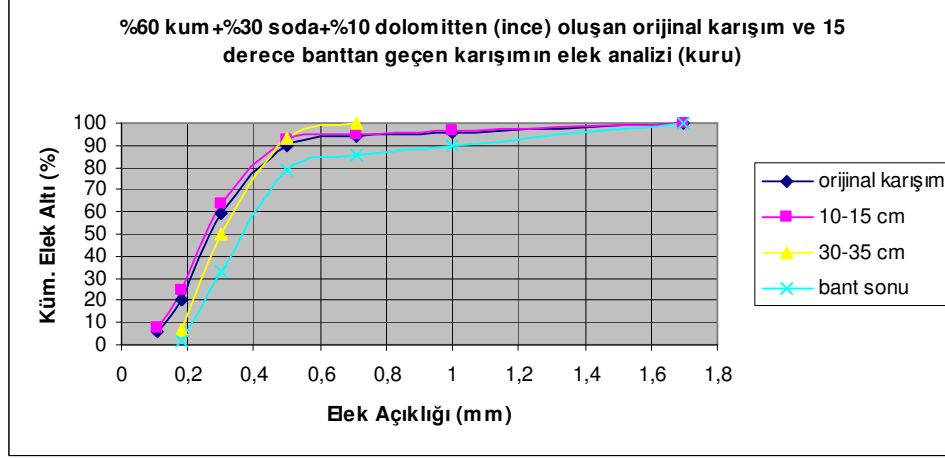
Elek analizi sonucunda oluşturulan kümülatif elek altı değerlerinden elde edilen d_{50} değerleri Tablo 6.10'da verilmiştir.

Tablo 6.10: %60 Kum + %30 Soda + %10 Dolomitten (ince) Oluşan Karışımın d_{50} Değerleri

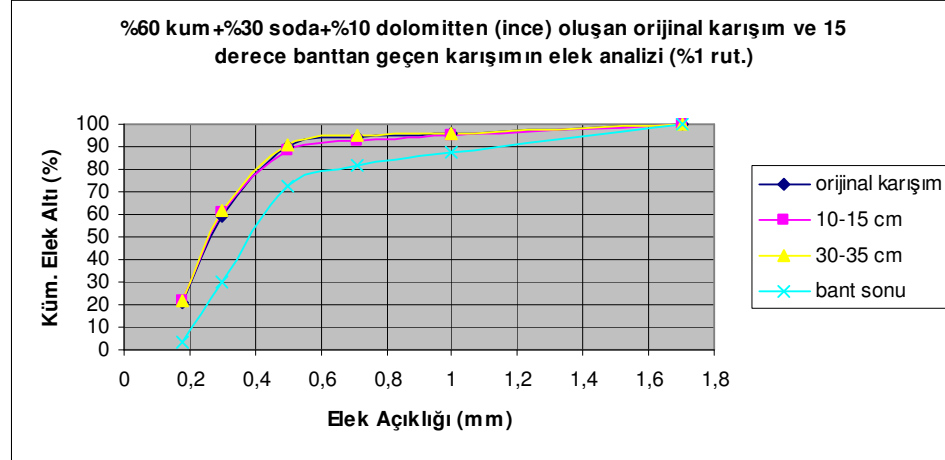
%60 kum + %30 soda + %10 dolomit			$d_{50}= 0.265$	En iri elek 1.70mm
d_{50}	15°, kuru	15°, %1 rutubet	15°, %2 rutubet	15°, %4 rutubet
orijinal d_{50}	0,265	0,265	0,265	0,265
10-15cm	0,248	0,265	0,349	0,371
30-35cm	0,300	0,265	0,355	0,342
bant sonu	0,368	0,388	0,515	0,517

%60 kum + %30 soda + %10 dolomit $d_{50}= 0.265$ En iri elek 1.70mm				
d_{50}	25°, kuru	25°, %1 rutubet	25°, %2 rutubet	25°, %4 rutubet
orijinal d_{50}	0,265	0,265	0,265	0,265
10-15cm	0,255	0,272	0,303	0,337
30-35cm	0,250	0,255	0,329	0,324
bant sonu	0,318	0,350	0,457	0,391

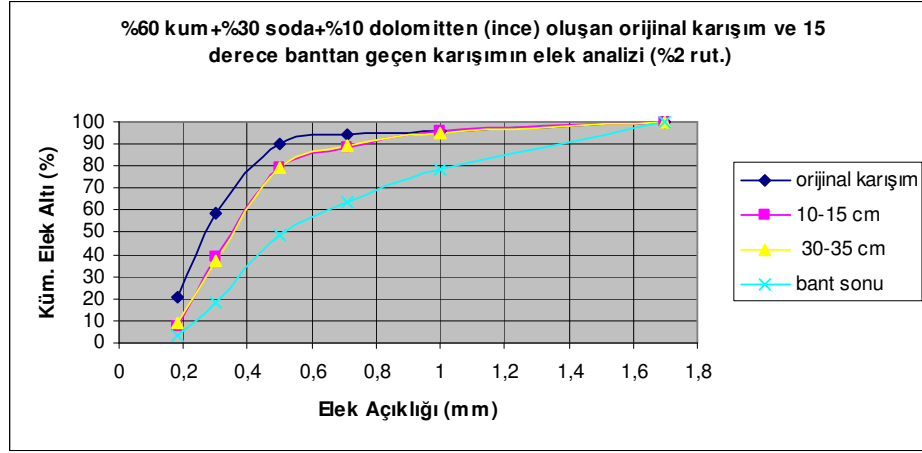
15°'den geçen kuru, %1, %2 ve %4 rutubetli numunelerin karşılaştırılması:



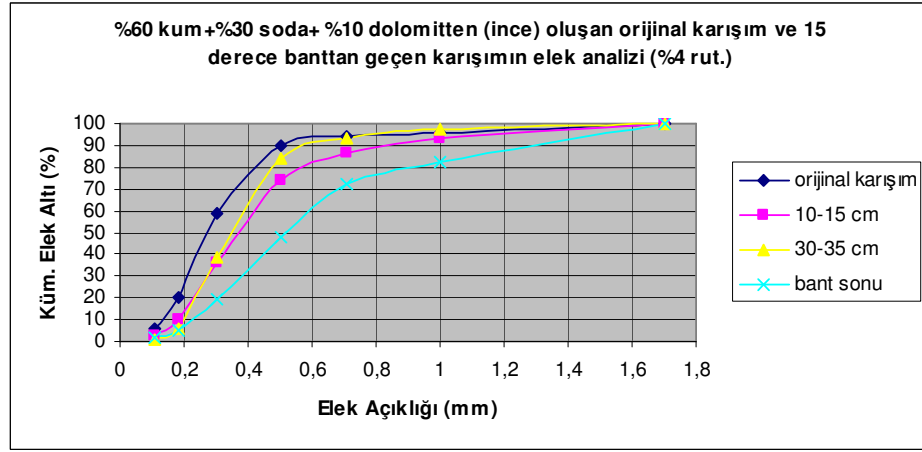
(a) 15° Kuru Küm.Elek Altı Grafik



(b) 15° %1 Rut. Küm.Elek Altı Grafik

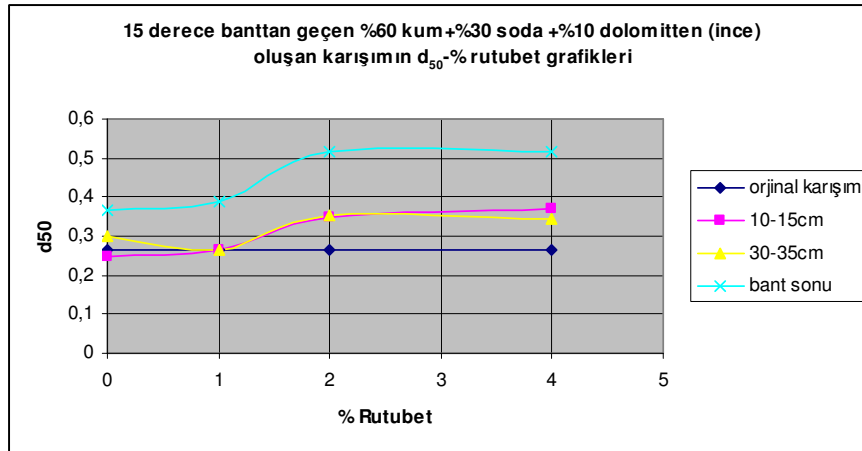


(c) 15° %2 Rut. Küm.Elek Altı Grafik



(d) 15° %4 Rut.Küm.Elek Altı Grafik

Şekil 6.19: 15° Banttı Geçen %60 Kum + %30 Soda + %10 Dolomitten(ince) Oluşan Karışımın Elek Analizi Gafikleri



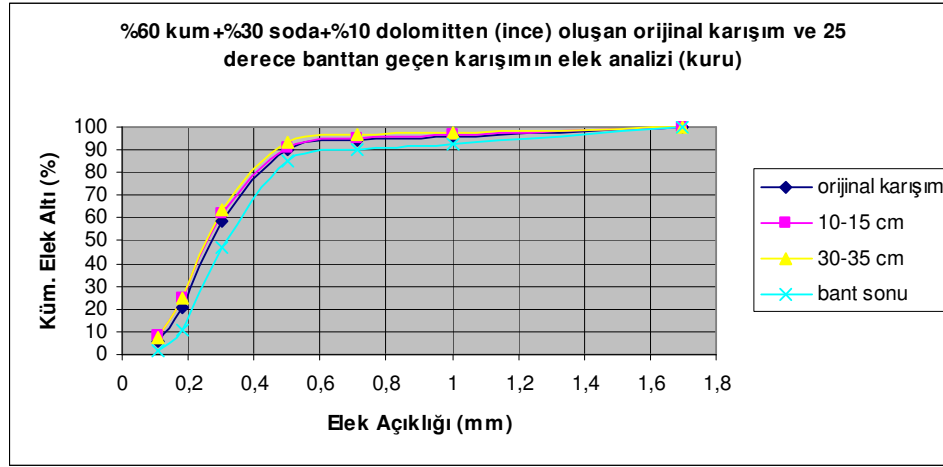
Şekil 6.20: 15° Banttı Geçen %60 Kum + %30 Soda + %10 Dolomitten(ince) Oluşan Karışımın % Rutubet-d₅₀ Grafiği

- d_{50} değerlerine ve grafik sonuçlarına bakıldığında, kuru haldeki ile %1 rutubet içeren numunelerin d_{50} değerleri ve grafikleri benzerdir. Sadece bant sonu numunelerinin d_{50} değerlerinde bir miktar artış görülmektedir.

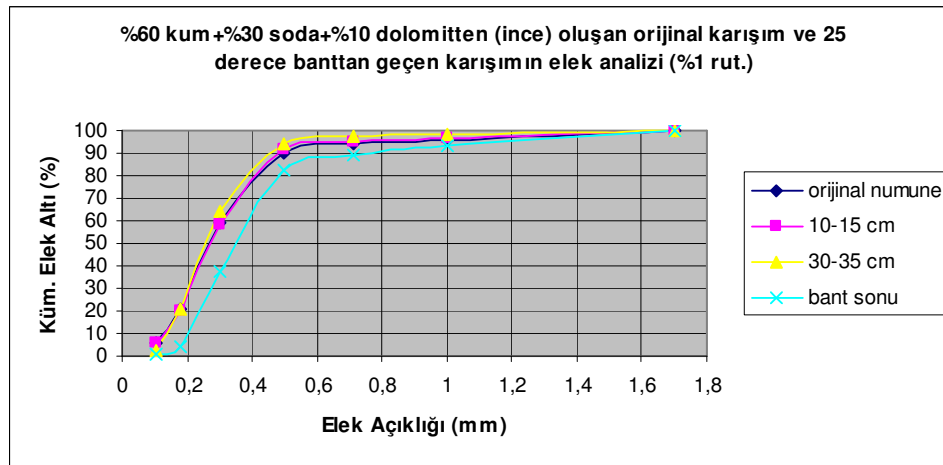
-Her birinin bant sonlarının d_{50} değerlerine bakıldığında en yüksek d_{50} değerinin %2'lik rutubete sahip karışımda görülmüştür.

-Karışımın rutubet miktarının artırılması segregasyon eğiliminde azalmaya neden olması gerekirken bu deneme sonucunda yani 15°'den geçirilen numunelerde bu durum gerçekleşmemiştir.

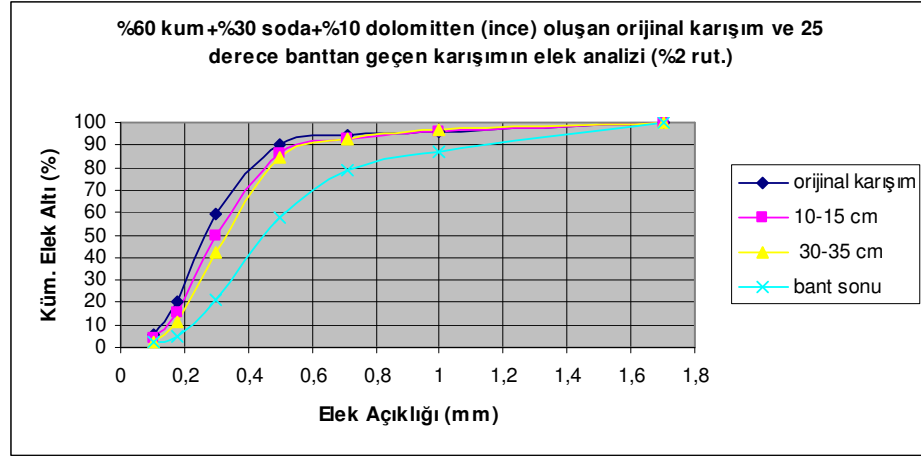
25°'den geçen kuru, %1, %2 ve %4 rutubetli numunelerin kıyaslanması:



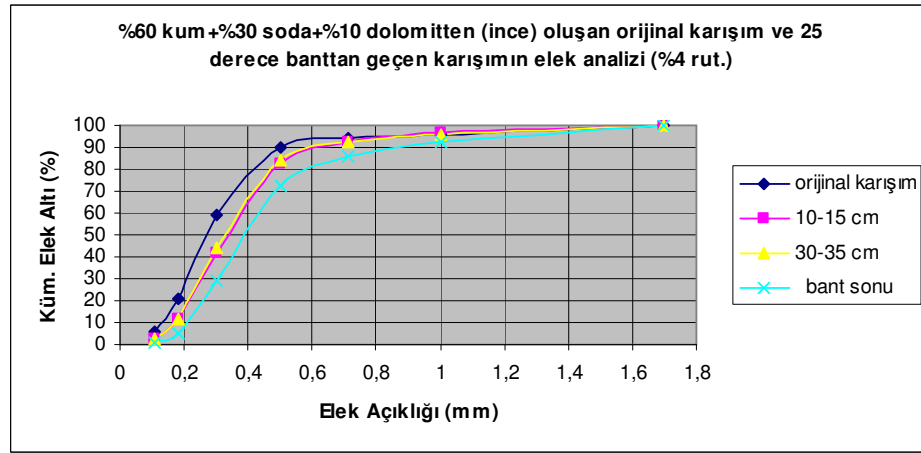
(a) 25° Kuru Küm.Elek Altı Grafik



(b) 25° %1 Rut. Küm.Elek Altı Grafik

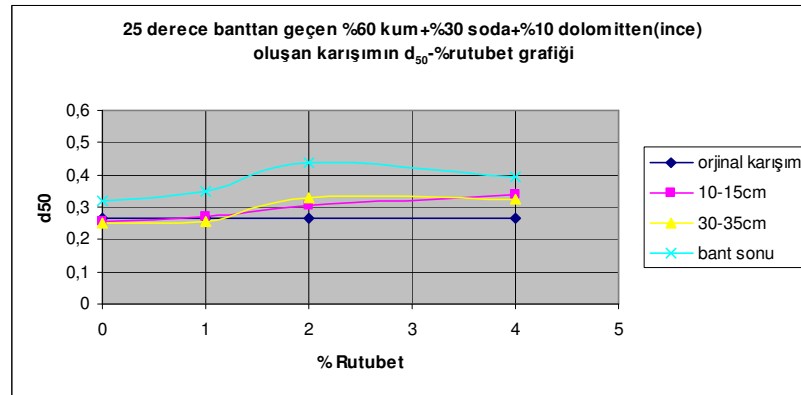


(c) 25° %2 Rut. Küm.Elek Altı Grafik



(d) 25° %4 Rut. Küm.Elek Altı Grafik

Şekil 6.21: 25° Banttı Geçen %60 Kum + %30 Soda + %10 Dolomitten(ince) Oluşan Karışımın Elek Analizi Grafikleri



Şekil 6.22: 25° Banttı Geçen %60 Kum + %30 Soda + %10 Dolomitten(ince) Oluşan Karışımın % Rutubet- d_{50} Grafiği

- d_{50} değerlerine ve grafik sonuçlarına bakıldığında, numunelerde rutubet miktarı arttırıldıkça d_{50} değerleri arasındaki fark ve eğriler arasındaki uyumsuzluk artmıştır.

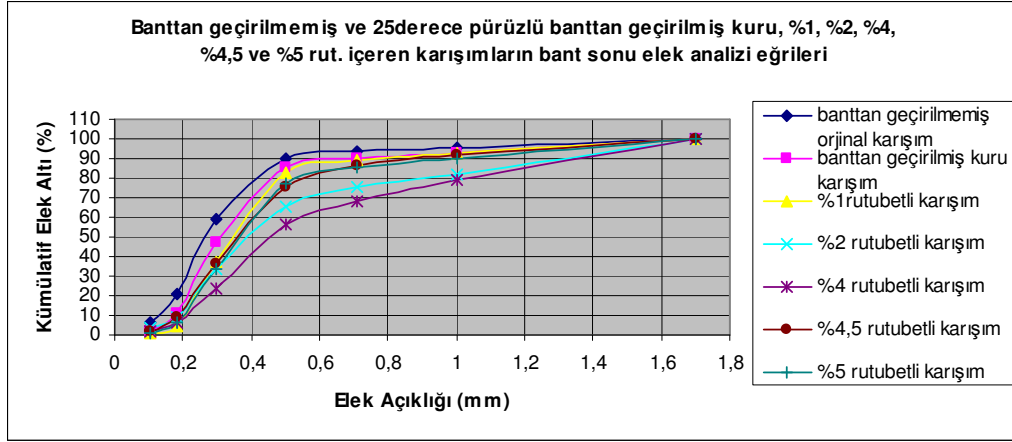
-Her birinin bant sonlarının d_{50} değerlerine bakıldığında rutubetin artışıyla orantılı olarak artış görülmektedir. Bu durum 10-15cm ve 30-35cm numuneleri için de genellikle geçerlidir.

-Karışımın rutubet miktarının arttırılması segregasyon eğiliminde azalmaya neden olması gerekirken bu deneme sonucunda yani 25°'den geçirilen numunelerde bu durum gerçekleşmemiştir. Ayrıca karışım kuru halde iken en iyi sonuç elde edilmiştir. Aslında rutubet ilavesine ihtiyacı yoktur (neredeyse ayrışma yok.)

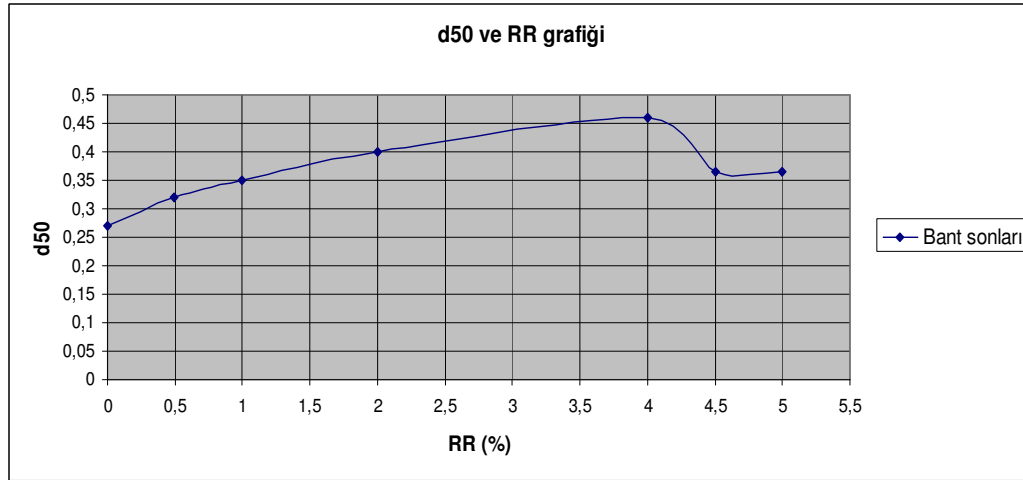
-Topluca bir karşılaştırma yapmak gerekirse; 15°'lik banttı geçen numunelerin d_{50} değerleri arasındaki fark 25°'ye göre daha fazladır. Yani 15°'lik banttı geçen numuneler rutubetinin artmasıyla 25°'ye göre daha fazla ayrışma göstermiştir. Bant açısı değerinin düşük olması daha fazla ayrışmaya neden olmuştur.

-Hem 15°'de hem de 25°'de kuru halde pek fazla ayrışma olmazken rutubet ilavesi ile ayrışma miktarının artmış olmasının sebebi karışımındaki sodanın higroskopik özelliğe sahip olmasından dolayı aglomeratlar oluşturarak tane boyut dağılımını etkiliyor olmasıdır.

-Şekil 6.23'teki grafikte rutubetin segregasyon eğilimi üzerine etkisinin irdelendiği denemelerin sonuçları verilmiştir. Bu denemede karışım kuru, %1, %2, %4, %4,5 ve %5 rutubetli halde 25°'lik banttı geçirilmiştir ve elek analizi eğrileri çizilmiştir. Bu elek analizi eğrilerinden elde edilen d_{50} değerleri ile rölatif yoğunluk değerleri kullanılarak çizilmiş grafik Şekil 6.25'te verilmiştir. Bu grafiğe göre %4'ten fazla rutubet ilavesini segregasyon üzerinde her hangi bir etkisi olmadığı görülmüştür.



Şekil 6.23: 25° Banttın Geçenlerin Bant Sonlarının Kümülatif Elek Altı Grafikleri



Şekil 6.24: 25° Banttın Geçenlerin d₅₀ ve Rölatif Rutubet Grafiği

6.2 Elek Analizi Sonuçlarının Karşılaştırılması

6.2.1 Kum / Kolemanit

-Kum gibi ince taneli (tane boyut dağılımı dar) numunelerde rutubet miktarının sadece %1 olması durumunun segregasyonu önlediği görülmüştür. Bant açısı değerindeki değişimin çok da önemli olmadığı görülmüştür. Kolemanit gibi daha iri (tane boyut dağılımı aralığı geniş) taneler içeren numunede %2'lik rutubetin etkisinin bant açısı değerine göre değiştiği gözlemlenmiştir. 15°'lik banttın geçirilen numunede ayrışma daha fazla iken açısı 25° olunca ayrışma miktarında azalma olmuştur.

6.2.2 %50 kum + %50 feldspat / Dolomit

-Kum + feldspat karışımı gibi tane boyut dağılımı daha geniş olan numunelerde, dolomit gibi daha dar tane boyut dağılımına sahip numunelere göre kuru ya da rutubetli halde ayrışmanın daha fazla olduğu görülmektedir.

6.2.3 Dolomit / %60 kum + %30 soda + %10 dolomit (iri)

-Tek başına dolomit 25°'lik banttan kuru halde geçirildiğinde karışıma göre daha fazla ayrışma gösterir. Yani tek bileşenli numuneler kuru halde 25°'lik banttan geçirilince daha fazla ayrışır. Aynı durum %2 rutubet ilave edilmesi durumunda da gözlenmektedir.

-15°'lik banttan geçirilen kuru dolomitin 10-15cm, 30-35cm ve bant sonundan alınan numunelerinin d_{50} değerlerinde hep bir artış gözlenmiştir. Numunenin kat ettiği yol arttıkça ayrışmanın arttığı görülmüştür. Ama karışımda sadece bant sonunun d_{50} değerinde büyük bir artış vardır. Fakat her iki numuneye de %2'lik rutubet ilavesi sonunda hem ayrışma miktarlarında azalma olmuş, hem de kuru haldeki dolomitte gözlenen kademeli olarak d_{50} değerindeki artış yerini sadece bant sonundaki artışa bırakmıştır.

-Hem dolomitin, hem de karışımın d_{50} değerleri ve grafik sonuçlarına bakıldığında her ikisi için de en uygun açı değerinin 15°, en uygun rutubet miktarının da %2 olduğu görülmüştür (en iri elek açıklığının 3.35mm olduğu durum için).

6.2.4 %60 kum + %30 soda + %10 dolomit (iri) / %60 kum + %30 soda + %10 dolomit (ince)

İki karışım arasında tek fark ilk karışımda daha iri tane boyutuna sahip dolomitin olmasıdır.

-İri dolomitin olduğu karışımda ayrışma açının 15° olması durumunda hem kuru halde, hem de rutubet oranı %2 iken daha fazladır.

-Bant açısı 25° iken kuru halde iri dolomite sahip karışımda ayrışma daha fazladır. Rutubet içeriği %2 olduğu durumda ise ince dolomite sahip karışımdaki ayrışma miktarı iriye göre daha fazladır. Buradan bant açısı aynı iken rutubet içeriğinin arttırılmasının iri taneli karışımların ayrışmasını azaltırken, ince taneli karışımların ayrışmasını arttırdığı çıkarılabilir.

-İri dolomitli karışımda bant açısı değeri arttıkça hem kuru, hem de rutubetli karışımlardaki ayrışmanın azaldığı görülmektedir. İnce dolomitli karışımda ise bant açısının hem kuru, hem rutubetli halde ayrışmaya pek etkisi olmadığı görülmüştür.

6.2.5 Kum / Dolomit / Kolemanit

-Aynı bant açısı değerinde tane iriliği arttıkça rutubetin ayrışmayı artırıcı yönde etkisi olduğu görülmüştür.

6.2.6 %50 Kum + %50 Feldspat / %50 Kalker + %50 Dolomit

-Daha iri taneli ikili karışım kum + feldspat, daha ince taneli ikili karışım kalker + dolomit'e göre kuru halde aynı açı değerinde daha fazla ayrışma göstermektedir.

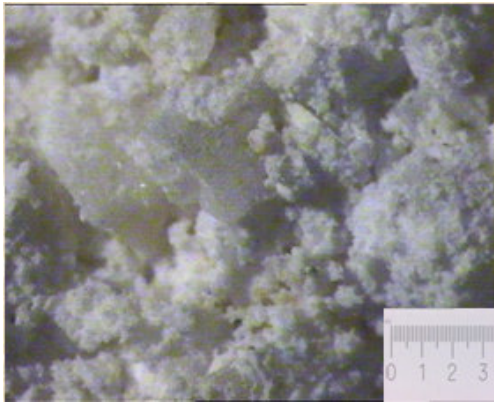
6.2.7 %50 Kum + %50 Feldspat / Kolemanit

-Maksimum tane iriliği aynı olan numunelerde, aynı bant açısı değerinde rutubet miktarının arttırılması ayrışma miktarını arttırır.

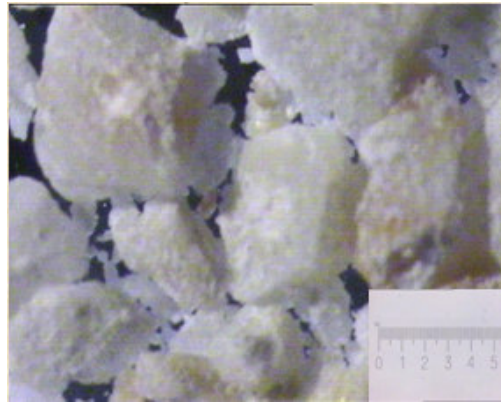
6.3 Elek Analizi Yapılan Numunelerin Mikroskop Görüntüleri

6.3.1 Kalker

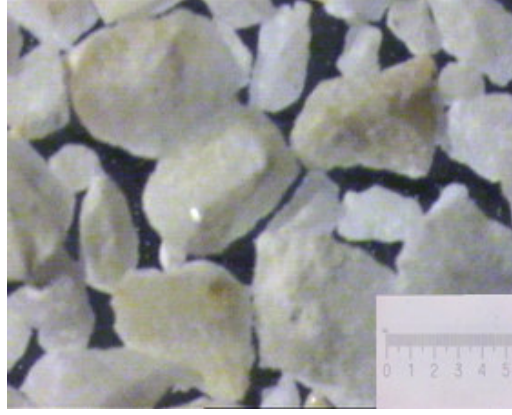
-15° banttan geçen kuru ve %2 rutubetli kalker numunesinin mikroskop görüntüleri



(a)



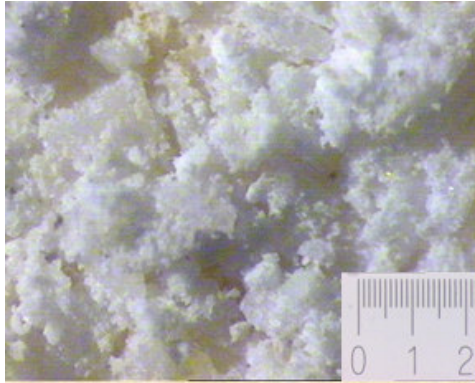
(b)



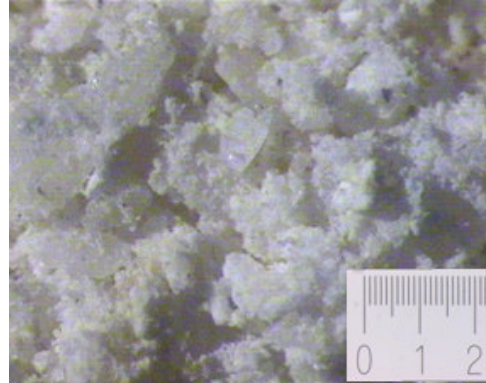
(c)

Şekil 6.25: 15° Banttın Geçen Kuru Kalker Numunesinin Mikroskop Görüntüleri (a) 10-15cm Arasından Alınan Kalker (x12,5) (b) 30-35cm Arasından Alınan Kalker (x12,5) (c) Bant Sonundan Alınan Kalker (x8)

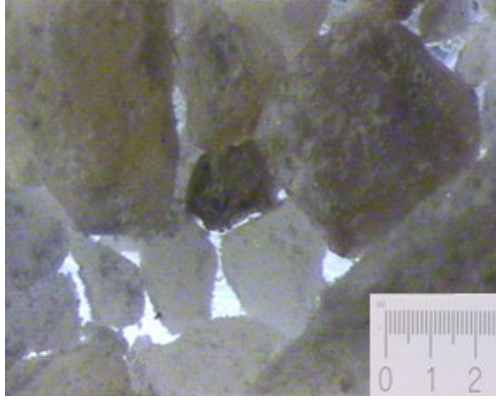
-15° banttın geçen kuru kalkerin 10-15cm arasından alınan numunesinin mikroskop görüntüsünde tane iriliği 1mm-0,106mm'ye kadar geniş bir dağılım göstermektedir. İri ve ince taneler bir arada görülmektedir. 30-35cm arasından alınan numunede 0,71mm ve 1mm boyutundaki tane miktarında artış mevcuttur. Az miktarda da olsa 0,106mm-0,3mm arası ince taneler de vardır. Bant sonu numunesinde 0,3mm'nin altında ince tane kalmamıştır. Boyutu 1mm olan taneler tüm numunenin %75'ini oluşturmaktadır.



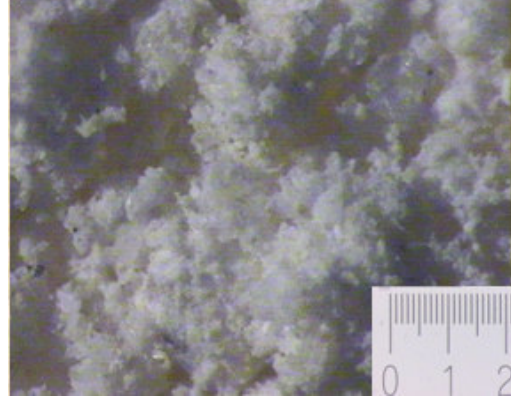
(a)



(b)



(c)

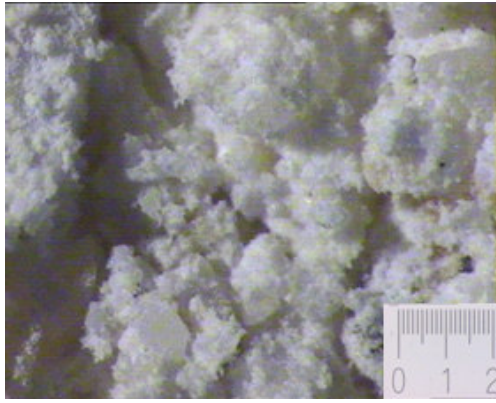


(d)

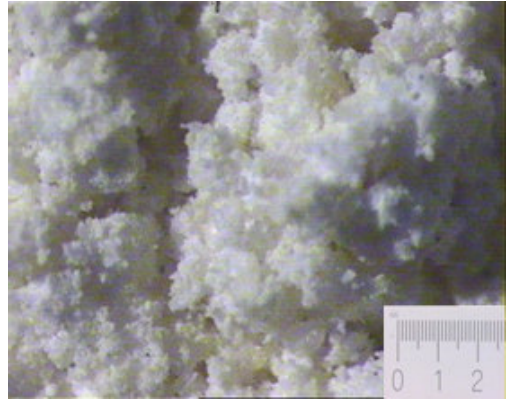
Şekil 6.26: 15° Banttın Geçen %2 Rutubetli Kalker Numunesinin Mikroskop Görüntüleri (a) 10-15cm Arasından Alınan Kalker (x20) (b) 30-35cm Arasından Alınan Kalker (x20) (c) Bant Sonundan Alınan Kalker (x16) (d) Bant Sonundan Alınan Kalker (x20)

-15° banttın geçen %2 rutubetli kalkerin 10-15cm arasından alınan numunesinin mikroskop görüntüsünde 1,7mm-0,106mm arası taneler mevcuttur. Tane boyut dağılımı geniştir. 30-35cm arasından alınan numunenin tane boyut dağılımı neredeyse 10-15cm arasında alınan numune ile aynıdır. Sadece iri tane miktarında artış görülürken, ince tane miktarında azalma söz konusudur.

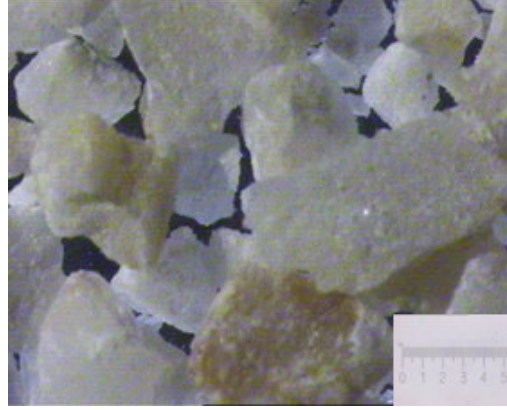
-25° banttın geçen kuru ve %2 rutubetli kalker numunesinin mikroskop görüntüleri



(a)



(b)



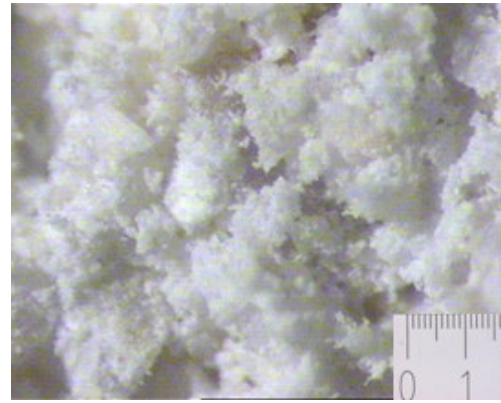
(c)

Şekil 6.27: 25° Banttın Geçen Kuru Kalker Numunesinin Mikroskop Görüntüleri (a) 10-15cm Arasından Alınan Kalker (x20) (b) 30-35cm Arasından Alınan Kalker (x16) (c) Bant Sonundan Alınan Kalker (x8)

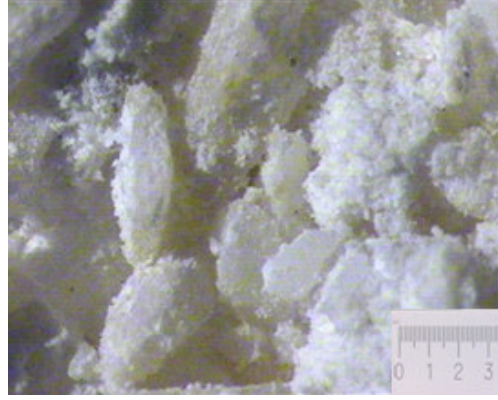
-25° banttın geçen kuru kalkerin 10-15cm ve 30-35cm arasından alınan numunelerinin mikroskop görüntüsünde iri ve ince taneler bir aradadır. Bant sonu numunesinde 0,3mm'den ince tane kalmamıştır. Boyutu 1mm olan tane miktarında büyük bir artış olmuştur.



(a)



(b)



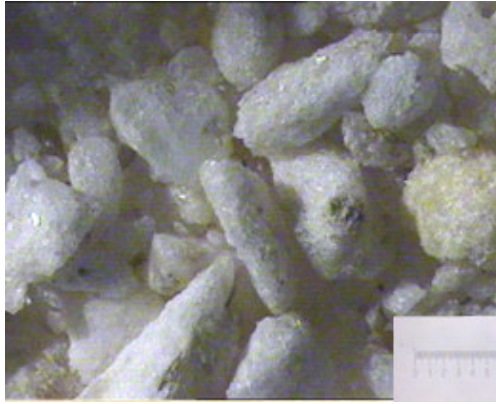
(c)

Şekil 6.28: 25° Banttan Geçen %2 Rutubetli Kalker Numunesinin Mikroskop Görüntüleri (a) 10-15cm Arasından Alınan Kalker (x16) (b) 30-35cm Arasından Alınan Kalker (x25) (c) Bant Sonundan Alınan Kalker (x12,5)

-25° banttan geçen %2 rutubetli kalkerin mikroskop görüntülerinde ince tane yüzdesinin giderek azaldığı görülmektedir. Kuru haldeki numuneye göre ayrışmanın daha az olduğu görülmektedir.

6.3.2 Feldspat

-25° banttan geçen kuru ve %2 rutubetli feldspat numunesinin mikroskop görüntüleri



(a)



(b)



(c)



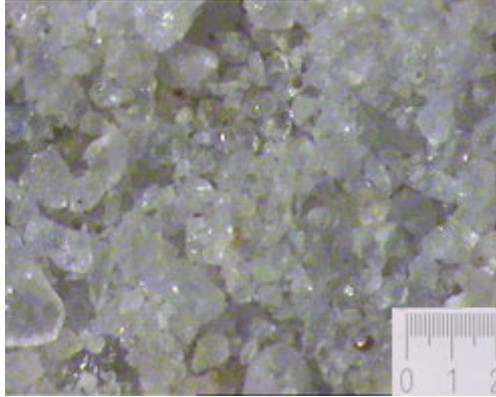
(d)

Şekil 6.29: 25° Banttan Geçen Kuru ve %2 Rutubetli Feldspat Numunesinin Mikroskop Görüntüleri (a) Bant Sonundan Alınan Kuru Feldspat (x6,3) (b) Bant Sonundan Alınan Kuru Feldspat (x6,3) (c) Bant Sonundan Alınan %2 Rutubetli Feldspat (x6,3) (d) Bant Sonundan Alınan %2 Rutubetli Feldspat (x6,3)

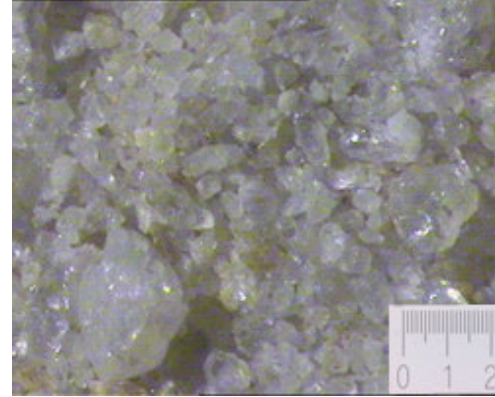
-25° banttan geçen kuru haldeki feldspat numunesinin mikroskop görüntülerinde iri sadece taneler mevcut iken, %2 rutubetli feldspatın bant sonu numunelerinde iri ve ince tanelerin bir arada olduğu görülmektedir. Bu da feldspata %2 rutubet ilavesinin ayrışmayı engellediğini göstermiştir.

6.3.3 %50 kum + %50 feldspat

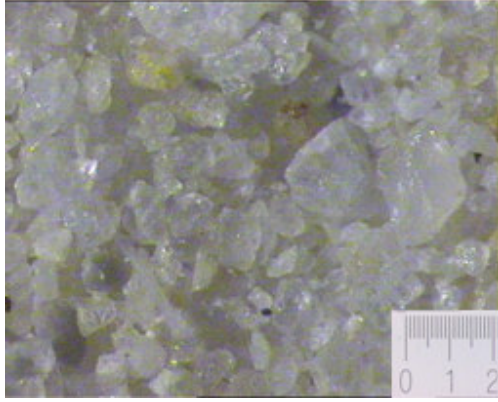
-15° banttan geçen %2 rutubetli %50 kum + %50 feldspattan oluşan karışımın mikroskop görüntüleri



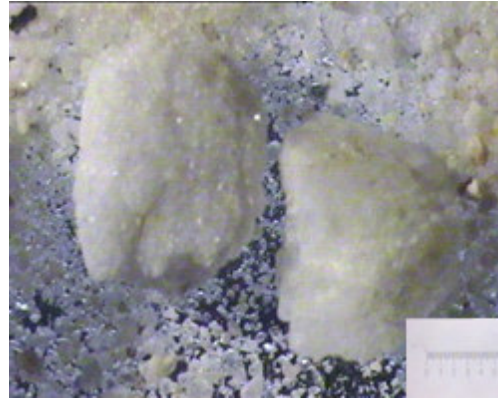
(a)



(b)



(c)

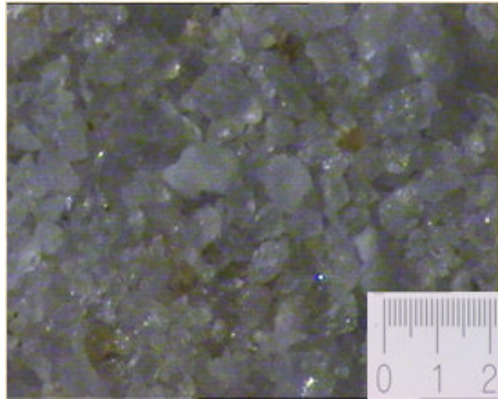


(d)

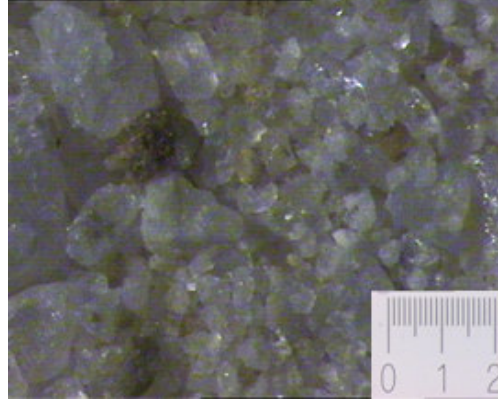
Şekil 6.30: 15° Banttın Geçen %2 Rutubetli %50 Kum + %50 Feldspattan Oluşan Karışımın Mikroskop Görüntüleri (a) 10-15cm Arasından Alınan Karışım (x20) (b) 30-35cm Arasından Alınan Karışım (x20) (c) Bant Sonundan Alınan Karışım (x20) (d) Bant Sonundan Alınan Karışım (x6,3)

-15° banttın geçen %2 rutubetli %50 kum + %50 feldspattan oluşan karışımın mikroskop görüntülerinde 10-15cm ve 30-35cm arasından alınan numunelerin tane boyutları neredeyse aynıdır. Bant sonu numunesinde iri tane miktarında biraz artış gözlenmiştir.

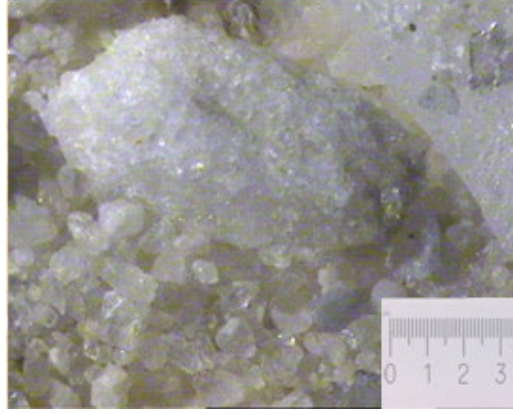
-25° banttın geçen %2 rutubetli %50 kum + %50 feldspattan oluşan karışımın mikroskop görüntüleri



(a)



(b)



(c)

Şekil 6.31: 25° Banttın Geçen %2 Rutubetli %50 Kum + %50 Feldspattan Oluşan Karışımın Mikroskop Görüntüleri (a) 10-15cm Arasından Alınan Karışım (x20) (b) 30-35cm Arasından Alınan Karışım (x20) (c) Bant Sonundan Alınan Karışım (x12,5)

-25° banttın geçen %2 rutubetli %50 kum + %50 feldspattan oluşan karışımın mikroskop görüntülerinde tüm aralıklardan alınan numunelerde benzer tane boyut dağılımı olduğu görülmektedir. Ayrışma neredeyse engellenmiştir.

Ölçeklerde 0-1 arası 1mm'yi temsil etmektedir.

7. GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER

1. Dolomit (max. tane boyutu 3.35mm) ve kum (max. tane boyutu 0.500mm) numunesinde iri ve ince tanelerin kendi içinde kat ettiği mesafe ve hareketin süresine göre ayrıştığı görülmüştür.
2. Kum (max. tane boyutu 0.500mm) gibi tane boyut dağılım aralığı dar ve ince tanelerden oluşan malzemelerde ayrışmanın sadece numunenin kuru halde taşınması sonucunda oluştuğu ve bu durumun sadece %1 rutubet ilavesiyle engellendiği saptanmıştır.
3. Tane boyut dağılım aralığı geniş ve iri tanelerinde içinde var olduğu dolomit (max. tane boyutu 3.35mm), kolemanit (max. tane boyutu 6.30mm) gibi tek bileşenlerde, %50 kum + %50 feldspat (max. tane boyutu 6.30mm) gibi iki bileşenli karışımlarda numunenin üzerinde taşınacağı bant açısının 25° ve rutubet içeriğinin %2 olması ayrışmanın en az olduğu belirlenmiştir. Üç bileşenli karışımda ise kuru halde ve bant açısı değeri 25° olduğunda en az ayrışma tespit edilmiştir.
4. Çayırova'da banttan geçirilen %4'lik rutubete sahip kolemanit (max. tane boyutu 6.30mm) ile laboratuardaki düzenekteki banttan geçirdiğimiz %2'lik rutubete sahip kolemanit göstermiştir ki, tane boyut dağılımı geniş olan numunelerde rutubet içeriği kat edilen mesafeden daha önemlidir. Çayırova'da banttan geçirilen numunenin kat ettiği yolun çok daha fazla olmasına rağmen sahip olduğu %4'lük rutubet ayrışmasını büyük ölçüde engelleyebilmiştir. Fakat laboratuvarındaki numunenin kat ettiği yol daha az olmasına rağmen %2'lik rutubet ayrışmasına engel olamamıştır.
5. Hazırlanan cam harmanı (%60kum+%30soda+%10dolomit), endüstriyel uygulamalarda %4'ün üzerindeki rutubet ilavelerinin ayrışma üzerine etkisi olmadığını göstermiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Barnum, R.A.**,1999. The Influence of Batch Segregation and Bulk Flow on Glass Quality.
- [2] **Çorumluoğlu, O.**, 1998. Cam Hammaddeleri, *Şişe Cam Teknik Bülten* Cilt 27, özel sayı 1, İstanbul.
- [3] **Demirkesen,E. Prof.Dr.**, Cam ve Cam-seramikler ders notları.
- [4] **Pfaender, G.H.**, 1996. *Shott-Guide to Glass*, Chapman & Hall, Darmstadt.
- [5] **Köse, M. ve Türeli, T.K.**, Aralık 1986. Cam Üretiminde Kullanılan Kuvarsa Kumlarında Aranan Özellikler-Zenginleştirme Yöntemleri ve Yozgat Sarıkaya Kuvarsitlerinin Bu Açıdan İncelenmesi, *MTA Genel Müdürlüğü, Maden Analizleri ve Teknoloji Dairesi*, Ankara.
- [6] **Aydın, E.Dr.**, 2000. Glass Raw Materials:Cost and Quality Aspects, *Şişe Cam Araştırma Merkezi*, İstanbul.
- [7] **Kuşcuoğlu S, Yücesoy D ve Engin S**, 1993. Cam Teknolojisine Giriş, *Şişe Cam Eğitim Müdürlüğü*, İstanbul.
- [8] **Persson, H.R.Dr**, 1983. *Glass Technology Manufacturing & Properties*, Cheongmoon gak publishing, Seoul.
- [9] **Tooley, F.V.**, 1953. *Handbook of Glass Manufacture*, Ogden publishing co., New York.
- [10] **Scholes, S.R.Dr.**, 1937. *Modern Glass Practice*, Cahnerns books, Massachusetts.
- [11] **Woodcock, C.R. and Mason, J.S.**, 1987. *Bulk Solids Handling*, Chapman & Hall, London.
- [12] **Shamlou, P.A.**, 1988. *Handling of Bulk Solids*, Butterworths & Co. (Publishers) Ltd., England.

- [13] **Sevile, J., Tüzün, U. and Clift, R.,** 1997. *Processing of Particulate Solids*, Chapman & Hall, London.
- [14] Türk Standartı, Kasım 1981. TSE 3675, Cam Yapımında Kullanılan Hammaddelerin Elek Analizi Yöntemi
- [15] **Morelissen, H.W., Rikken, A.H.M. and Verhappen P.J.M.,** 1997. Batch Handling for Glass Furnaces, *Techonology Centre Glass- Philips Electronics N.V.*, Eindhoven, Netherlands.
- [16] **Dhodapkar, S., Bates, L. and Klinzing G.,** 2006. Don't Fall for Common Misconceptions, *Solids Processing*.
- [17] **Onwulata, C.(ed.),** 2005. Encapsulated and Powdered Foods, *Taylor & Francis Group*, London.
- [18] **Venables, H.J. and Wells, I.J.,** 2001. Powder Mixing, *Drug Development and Industrial Pharmacy*, **Number 27**, 7, 599-612.
- [19] **Carson, J.W., Royal, T.A. and Goodwill, D.J.,** Feb.1986. Understanding and Eliminating Particle Segregation Problems, *Bulk Solids Handling*, Vol.6.
- [20] **Tang, P. and Puri, V.M.,** 2004. Methods for Minimizing Segregation:A Review, *The Particulate Materials Center*, Department of Agricultural and Biological Engineering, The Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania, USA.
- [21] **Johanson, J.R.,** Jan.1996. Predicting Segregation of Bimodal Particle Mixtures Using the Flow Properties of Bulk Solids, *JR Johanson Inc.*, USA.
- [22] **Johanson, J.R.,** May.1978. Particle Segregation in Handling and Storage, *Jenike & Johanson Inc.*, USA.
- [23] **Jenike, A.W.,** 1964. Storage and Flow of Solids, Bulletin No.123, *Utah Engineering Experiment Station*, University of Utah, Salt Lake City-Utah.
- [24] **Peschl, I.A.S.Z.,** 1998. Mechanical Properties of Powders, *Bulk Solids Handling*, **8**, 5, 87-89.

- [25] **Çağlı, S.**, 2005. Katı yığınların Akış Özelliklerinin Belirlenmesi ve Silo Tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*.Lisans, İ.T.Ü, Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- [26] <http://www.dietmar-schulze.de/storage.html>
- [27] **Jenike, A.W.**, 1981. Gravity Flow of Bulk Solids, Bulletin No.108, *Utah Engineering Experiment Station*, University of Utah, Salt Lake City-Utah.
- [28]<http://www.polyhisolidur.com/PHS2003/T88casebkPDFs03/T88casebook2002.pdf>

EKLER

EK-A. BANTTAN GEÇİRİLEN NUMUNELERİN ELEK ANALİZİ SONUÇLARI

Tablo A.1: 15° Banttın Geçen Kuru Dolomitin Elek Analizi Sonuçları

Numunenin alındığı aralık: 10-15cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
3,35	-	-	-
3,00	5	100	5
2,00	14,72	95	19,72
1,70	0,59	80,28	20,31
1,00	19,12	79,69	39,43
0,710	9,41	60,57	48,84
0,500	8,82	51,16	57,66
0,300	13,53	42,34	71,19
0,180	11,76	28,81	82,95
0,106	9,7	17,05	92,65
Elek Altı	7,35	7,35	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
3,35	-	-	-
3,00	7,39	100	7,39
2,00	34,09	92,61	41,48
1,70	1,14	58,82	42,62
1,00	27,27	57,38	69,89
0,710	7,39	30,11	77,28
0,500	4,54	22,72	81,82
0,300	4,54	18,18	86,36
0,180	3,98	13,64	90,34
0,106	7,39	9,66	97,73
Elek Altı	2,27	2,27	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
3,35	-	-	-
3,00	54,55	100	54,55
2,00	15,15	45,45	69,7
1,70	3,03	30,3	72,73
1,00	21,21	27,27	93,94
0,710	3,03	6,06	96,97
0,500	3,03	3,03	100
0,300	-	-	-
0,180	-	-	-
0,106	-	-	-
Elek Altı	-	-	-
Toplam	100		

Tablo A.2: 15° Banttın Geçen %2 Rutubetli Dolomitin Elek Analizi Sonuçları**Numunenin alındığı aralık: 10-15cm**

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
3,35	-	-	-
3,00	16,22	100	16,22
2,00	21,08	83,78	37,3
1,70	1,08	62,7	38,38
1,00	26,49	61,62	64,87
0,710	9,46	35,13	74,33
0,500	7,03	25,67	81,36
0,300	10	18,64	91,36
0,180	5,13	8,64	96,49
0,106	2,43	3,51	98,92
Elek Altı	1,08	1,08	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
3,35	-	-	-
3,00	17,29	100	17,29
2,00	20,3	82,71	37,59
1,70	0,6	62,41	38,19
1,00	25,56	61,81	63,75
0,710	10,08	36,25	73,83
0,500	7,67	26,17	81,5
0,300	9,92	18,5	91,42
0,180	5,42	8,58	96,84
0,106	2,26	3,16	99,1
Elek Altı	0,9	0,9	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
3,35	-	-	-
3,00	10,53	100	10,53
2,00	52,63	89,47	63,16
1,70	26,32	36,84	89,48
1,00	10,052	10,52	100
0,710	-	-	-
0,500	-	-	-
0,300	-	-	-
0,180	-	-	-
0,106	-	-	-
Elek Altı	-	-	-
Toplam	100		

Tablo A.3: 25° Banttın Geçen Kuru Dolomitin Elek Analizi Sonuçları

Numunenin alındığı aralık:		10-15cm	
Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
3,35	-	-	-
3,00	8,48	100	8,48
2,00	18,3	91,52	26,78
1,70	0,87	73,22	27,65
1,00	25,63	72,35	53,28
0,710	8,86	46,72	62,14
0,500	7,42	37,86	69,56
0,300	9,83	30,44	79,39
0,180	10,68	20,61	90,07
0,106	4,05	9,93	94,12
Elek Altı	5,88	5,88	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık:		30-35cm	
Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
3,35	-	-	-
3,00	3,96	100	3,96
2,00	47,53	96,04	51,49
1,70	0,99	48,51	52,48
1,00	30,69	47,52	83,17
0,710	6,93	16,83	90,1
0,500	3,96	9,9	94,06
0,300	1,98	5,94	96,04
0,180	0,99	3,96	97,03
0,106	1,98	2,97	99,01
Elek Altı	0,99	0,99	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık:		bant sonu	
Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
3,35	-	-	-
3,00	8,69	100	8,69
2,00	39,13	91,31	47,82
1,70	-	-	-
1,00	34,79	52,18	82,61
0,710	8,69	17,39	91,3
0,500	4,35	8,7	95,65
0,300	4,35	4,35	100
0,180	-	-	-
0,106	-	-	-
Elek Altı	-	-	-
Toplam	100		

Tablo A.4: 25° Banttın Geçen %2 Rutubetli Dolomitin Elek Analizi Sonuçları**Numunenin alındığı aralık: 10-15cm**

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal%	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
3,35	-	-	-
3,00	14,28	100	14,28
2,00	14,28	85,72	28,56
1,70	0,96	71,44	29,52
1,00	25,24	70,48	54,76
0,710	9,53	45,24	64,29
0,500	7,62	35,71	71,91
0,300	11,43	28,09	83,34
0,180	8,09	16,66	91,43
0,106	5,24	8057	96,67
Elek Altı	3,33	3,33	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal%	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
3,35	-	-	-
3,00	14,72	100	14,72
2,00	17,44	85,28	32,16
1,70	0,95	67,84	33,11
1,00	25,88	66,89	58,99
0,710	9,26	41,01	68,25
0,500	7,22	31,75	75,47
0,300	9,95	24,53	85,42
0,180	8,04	14,58	93,46
0,106	4,09	6,54	97,55
Elek Altı	2,45	2,45	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal%	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
3,35	-	-	-
3,00	30,3	100	30,3
2,00	19,7	69,7	50
1,70	1,51	50	51,51
1,00	21,21	48,49	72,72
0,710	3,047	27,28	75,76
0,500	1,51	24,24	77,27
0,300	-	-	-
0,180	1,51	22,73	78,78
0,106	9,09	21,22	87,87
Elek Altı	12,13	12,13	100
Toplam	100		

Tablo A.5: 15° Banttın Geçen Kuru Kumun Elek Analizi Sonuçları**Numunenin alındığı aralık: 10-15cm**

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
0,500	-	100	-
0,425	6,59	93,41	6,59
0,300	28,14	65,27	34,73
0,180	39,53	25,74	74,26
0,106	17,96	7,78	92,22
0,075	4,79	2,99	97,01
Elek Altı	2,99	-	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
0,500	-	100	-
0,425	5,06	94,94	5,06
0,300	25,65	69,29	30,71
0,180	42,51	26,78	73,22
0,106	20,22	6,56	93,44
0,075	4,31	2,25	97,75
Elek Altı	2,25	-	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
0,500	-	100	-
0,425	50,0	50	50
0,300	50,0	-	100
0,180	-	-	-
0,106	-	-	-
0,075	-	-	-
Elek Altı	-	-	-
Toplam	100		

Tablo A.6: 15° Banttın Geçen %1 Rutubetli Kumun Elek Analizi Sonuçları**Numunenin alındığı aralık: 10-15cm**

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
0,500	-	100	-
0,425	9,26	90,74	9,26
0,300	29,63	61,11	38,89
0,180	38,89	22,22	77,78
0,106	16,67	5,55	94,45
0,075	3,70	1,85	98,15
Elek Altı	1,85	-	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
0,500	-	100	-
0,425	6,87	93,13	6,87
0,300	29,01	64,12	35,88
0,180	40,46	23,66	76,34
0,106	17,55	6,11	93,89
0,075	3,82	2,29	97,71
Elek Altı	2,29	-	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
0,500	-	100	-
0,425	6,99	93,01	6,99
0,300	29,48	63,53	36,47
0,180	40,73	22,80	77,2
0,106	17,02	5,78	94,22
0,075	3,65	2,13	97,87
Elek Altı	2,13	-	100
Toplam	100		

Tablo A.7: 25° Banttın Geçen Kuru Kumun Elek Analizi Sonuçları**Numunenin alındığı aralık: 10-15cm**

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
0,500	-	100	-
0,425	6,17	93,83	6,17
0,300	24,69	69,14	30,86
0,180	38,27	30,87	69,13
0,106	20,37	10,50	89,50
0,075	5,56	4,94	95,06
Elek Altı	4,94	-	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
0,500	-	100	-
0,425	5,62	94,38	5,62
0,300	26,51	67,87	32,13
0,180	41,16	26,71	73,29
0,106	19,28	7,43	92,57
0,075	4,82	2,61	97,39
Elek Altı	2,61	-	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
0,500	-	100	-
0,425	18,18	81,82	18,18
0,300	48,49	33,33	66,67
0,180	30,30	3,03	96,97
0,106	3,03	-	100,00
0,075	-	-	-
Elek Altı	-	-	-
Toplam	100		

Tablo A.8: 25° Banttın Geçen % 1 Rutubetli Kumun Elek Analizi Sonuçları**Numunenin alındığı aralık: 10-15cm**

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
0,500	-	100	-
0,425	7,25	92,75	7,25
0,300	27,50	65,25	34,75
0,180	39,15	26,1	73,9
0,106	18,85	7,25	92,75
0,075	4,35	2,9	97,1
Elek Altı	2,90	-	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
0,500	-	100	-
0,425	6,08	93,92	6,08
0,300	28,27	65,65	34,35
0,180	40,42	25,23	74,77
0,106	18,55	6,68	93,32
0,075	4,25	2,43	97,57
Elek Altı	2,43	-	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
0,500	-	100	-
0,425	8,11	91,89	8,11
0,300	31,53	60,36	39,64
0,180	36,95	23,41	76,59
0,106	14,41	9,00	91
0,075	3,60	5,40	94,6
Elek Altı	5,40	-	100
Toplam	100		

Tablo A.9: 15° Banttın Geçen % 2 Rutubetli Kolemanitin Elek Analizi Sonuçları

Numunenin alındığı aralık:		10-15cm	
Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
6,3	-	-	-
4,75	-	-	-
3,35	1,12	100	1,12
2	14,13	98,88	15,25
1	40,52	84,75	55,77
0,5	32,71	44,23	88,48
0,25	9,67	11,52	98,15
0,106	1,48	1,85	99,63
Elek altı	0,37	0,37	100
Toplam	100		
Numunenin alındığı aralık:		30-35cm	
Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
6,3	-	-	-
4,75	-	-	-
3,35	4,03	100	4,03
2	15,32	95,97	19,35
1	41,94	80,65	61,29
0,5	30,65	38,71	91,94
0,25	7,26	8,06	99,2
0,106	0,8	0,8	100
Elek altı	-	-	-
Toplam	100		
Numunenin alındığı aralık:		bant sonu	
Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
6,3	-	-	-
4,75	-	-	-
3,35	8,69	100	8,69
2	36,96	91,31	45,65
1	36,96	54,35	82,61
0,5	15,22	17,39	97,83
0,25	2,17	2,17	100
0,106	-	-	-
Elek altı	-	-	-
Toplam	100		

Tablo A.10: 20° Banttın Geçen % 2 Rutubetli Kolemanitin Elek Analizi Sonuçları

Numunenin alındığı aralık:		10-15cm	
Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
6,3	-	-	-
4,75	-	-	-
3,35	0,78	100	0,78
2	7,27	99,22	8,05
1	20,78	91,95	28,83
0,5	62,34	71,17	91,17
0,25	6,75	8,83	97,92
0,106	1,56	2,08	99,48
Elek altı	0,52	0,52	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık:		30-35cm	
Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
6,3	-	-	-
4,75	-	-	-
3,35	0,69	100	0,69
2	6,89	99,31	7,58
1	28,28	92,42	35,86
0,5	42,76	64,14	78,62
0,25	17,93	21,38	96,55
0,106	3,45	3,45	100
Elek altı	-	-	-
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık:		bant sonu	
Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
6,3	-	-	-
4,75	-	-	-
3,35	4,18	100	4,18
2	24,69	95,82	28,87
1	47,7	71,13	76,57
0,5	20,92	23,43	97,49
0,25	2,51	2,51	100
0,106	-	-	-
Elek altı	-	-	-
Toplam	100		

Tablo A.11: Çayırova İnce Öğütme Tesisindeki Banttan Geçen % 4 Rutubetli Kolemanitin Elek Analizi Sonuçları

1.bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
6,3	0,68	100	0,68
4,75	0,29	99,32	0,97
3,35	1,71	99,03	2,68
2	13,91	97,32	16,59
1	38,49	83,41	55,08
0,5	30,17	44,92	85,25
0,25	11,11	14,75	96,36
0,106	2,41	3,64	98,77
Elek altı	1,23	1,23	100
Toplam	100		

2.bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
6,3	1,14	100	1,14
4,75	0,09	98,86	1,23
3,35	1,12	98,77	2,35
2	16,87	97,65	19,22
1	56,66	80,78	75,88
0,5	4,39	24,12	80,27
0,25	14,43	19,73	94,7
0,106	3,41	5,3	98,11
Elek altı	1,89	1,89	100
Toplam	100		

Tablo A.12: 15° Banttın Geçen Kuru Sodayın Elek Analizi Sonuçları**Numunenin alındığı aralık: 10-15cm**

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,7	-	-	-
0,71	5,64	100	5,64
1,00	11,65	94,36	17,29
0,500	19,17	82,71	36,46
0,300	34,96	63,54	71,42
0,180	20,3	28,58	91,72
0,106	6,02	8,28	97,74
Elek Altı	2,26	2,26	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm**Numune yok.****Numunenin alındığı aralık: bant sonu**

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,7	-	-	-
0,71	18,96	100	18,96
1,00	20,69	81,04	39,65
0,500	22,41	60,35	62,06
0,300	27,59	37,94	89,65
0,180	10,35	10,35	100
0,106	-	-	-
Elek Altı	-	-	-
Toplam	100		

Tablo A.13: 15° Banttın Geçen % 2 Rutubetli Sodayın Elek Analizi Sonuçları**Numunenin alındığı aralık: 10-15cm**

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,7	-	-	-
0,71	5,8	100	5,8
1,00	12,32	94,2	18,12
0,500	18,12	81,88	36,24
0,300	36,23	63,76	72,47
0,180	19,56	27,53	92,03
0,106	5,8	7,97	97,83
Elek Altı	2,17	2,17	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,7	-	-	-
0,71	6,78	100	6,78
1,00	11,87	93,22	18,65
0,500	20,35	81,35	39
0,300	35,59	61	74,59
0,180	18,64	25,41	93,23
0,106	5,08	6,77	98,31
Elek Altı	1,69	1,69	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,7	-	-	-
0,71	13,02	100	13,02
1,00	19,79	86,98	32,81
0,500	21,36	67,19	54,17
0,300	31,25	45,83	85,42
0,180	11,98	14,58	97,4
0,106	2,08	2,6	99,48
Elek Altı	0,52	0,52	100
Toplam	100		

Tablo A.14: 25° Banttın Geçen Kuru Sodayın Elek Analizi Sonuçları**Numunenin alındığı aralık: 10-15cm**

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,7	-	-	-
0,71	5,86	100	5,86
1,00	11,17	94,14	17,03
0,500	18,08	82,97	35,11
0,300	36,7	64,89	71,81
0,180	19,68	27,19	91,49
0,106	6,38	8,51	97,87
Elek Altı	2,13	2,13	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,7	-	-	-
0,71	-	-	-
1,00	9,09	100	9,09
0,500	9,09	90,91	18,18
0,300	27,28	81,82	45,46
0,180	36,36	54,54	81,82
0,106	18,18	18,18	100
Elek Altı	-	-	-
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,7	-	-	-
0,71	9,37	100	9,37
1,00	16,25	90,63	25,62
0,500	22,5	74,38	48,12
0,300	36,25	51,88	84,37
0,180	13,13	15,63	97,5
0,106	2,5	2,5	100
Elek Altı	-	-	-
Toplam	100		

Tablo A.15: 25° Banttın Geçen %2 Rutubetli Sodayın Elek Analizi Sonuçları

Numunenin alındığı aralık: 10-15cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,7	-	-	-
0,71	5,66	100	5,66
1,00	11,32	94,34	16,98
0,500	18,24	83,02	35,22
0,300	39,62	64,78	74,84
0,180	18,24	25,16	93,08
0,106	5,66	6,92	98,74
Elek Altı	1,26	1,26	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Numune yok.

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,7	-	-	-
0,71	7,72	100	7,72
1,00	14,79	92,28	22,51
0,500	20,58	77,49	43,09
0,300	36,33	56,91	79,42
0,180	15,76	20,58	95,18
0,106	3,86	4,82	99,04
Elek Altı	0,96	0,96	100
Toplam	100		

Tablo A.16: 15° Banttın Geçen Kuru Feldspatin Elek Analizi Sonuçları

Numunenin alındığı aralık: 10-15cm			
Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
6,30	-	-	-
4,75	5,73	100	5,73
3,35	5,73	94,27	11,46
2,00	11,98	88,54	23,44
1,00	9,37	76,56	32,81
0,500	6,77	67,19	39,58
0,300	6,77	60,42	46,35
0,106	38,02	53,65	84,37
Elek Altı	15,63	15,63	100
Toplam	100		
Numunenin alındığı aralık: 30-35cm			
Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
6,30	-	-	-
4,75	-	-	-
3,35	-	-	-
2,00	-	-	-
1,00	-	-	-
0,500	-	-	-
0,300	16,66	100	16,66
0,106	83,34	83,34	100
Elek Altı	-	-	-
Toplam	100		
Numunenin alındığı aralık: bant sonu			
Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
6,30	1,31	100	1,31
4,75	23,03	98,69	24,34
3,35	27,63	75,66	51,97
2,00	21,71	48,03	73,68
1,00	12,5	26,32	86,18
0,500	5,26	13,82	91,44
0,300	3,29	8,56	94,73
0,106	4,6	5,27	99,33
Elek Altı	0,67	0,67	100
Toplam	100		

Tablo A.17: 15° Banttın Geçen %2 Rutubetli Feldspatın Elek Analizi Sonuçları**Numunenin alındığı aralık: 10-15cm**

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
6,30	-	-	-
4,75	-	-	-
3,35	6,13	100	6,13
2,00	12,24	93,87	18,37
1,00	11,23	81,63	29,6
0,500	9,18	70,4	38,78
0,300	7,14	61,22	45,92
0,106	44,9	54,08	90,82
Elek Altı	9,18	9,18	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
6,30	-	-	-
4,75	9,28	100	9,28
3,35	2,06	90,72	11,34
2,00	5,15	88,66	16,49
1,00	10,31	83,51	26,8
0,500	11,34	73,2	38,14
0,300	8,25	61,86	46,39
0,106	45,36	53,61	91,75
Elek Altı	8,25	8,25	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
6,30	-	-	-
4,75	13,75	100	13,75
3,35	16,25	86,25	30
2,00	20	70	50
1,00	12,5	50	62,5
0,500	5	37,5	67,5
0,300	3,75	32,5	71,25
0,106	23,75	28,75	95
Elek Altı	5	5	100
Toplam	100		

Tablo A.18: 25° Banttan Geçen Kuru Feldspatın Elek Analizi Sonuçları

Numunenin alındığı aralık: 10-15cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
6,30	-	-	-
4,75	3,46	100	3,46
3,35	4,43	96,54	7,89
2,00	8,87	92,11	16,76
1,00	7,39	83,24	24,15
0,500	6,4	75,85	30,55
0,300	7,39	69,45	37,94
0,106	44,33	62,06	82,27
Elek Altı	17,73	17,73	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Numune yok.

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
6,30	-	-	-
4,75	27,43	100	27,43
3,35	23,45	72,57	50,88
2,00	20,35	49,12	71,23
1,00	10,63	28,77	81,86
0,500	5,75	18,14	87,61
0,300	3,98	12,39	91,59
0,106	7,53	8,41	99,12
Elek Altı	0,88	0,88	100
Toplam	100		

Tablo A.19: 25° Banttın Geçen %2 Rutubetli Feldspatın Elek Aalizi Snuçları**Numunenin alındığı aralık: 10-15cm**

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
6,30	-	-	-
4,75	-	-	-
3,35	5	100	5
2,00	7,5	95	12,5
1,00	10	87,5	22,5
0,500	8,75	77,5	31,25
0,300	8,75	68,75	40
0,106	51,25	60	91,25
Elek Altı	8,75	8,75	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
6,30	-	-	-
4,75	5	100	5
3,35	5	95	10
2,00	6,66	90	16,66
1,00	6,66	83,34	23,32
0,500	4,44	76,68	27,76
0,300	7,23	72,24	34,99
0,106	29,45	65,01	64,44
Elek Altı	35,56	35,56	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
6,30	-	-	-
4,75	4,92	100	4,92
3,35	13,11	95,08	18,03
2,00	22,95	81,97	40,98
1,00	14,75	59,02	55,73
0,500	6,56	44,27	62,29
0,300	3,28	37,71	65,57
0,106	27,87	34,43	93,44
Elek Altı	6,56	6,56	100
Toplam	100		

Tablo A.20: 15° Banttın Geçen Kuru Kalkerin Elek Analizi Sonuçları**Numunenin alındığı aralık: 10-15cm**

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,7	0,79	100	0,79
0,71	32,41	99,21	33,2
1,00	12,65	66,8	45,85
0,500	10,28	54,15	56,13
0,300	21,74	43,87	77,87
0,180	12,25	22,13	90,12
0,106	7,51	9,88	97,63
Elek Altı	2,37	2,37	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,7	-	-	-
0,71	53,85	100	53,85
1,00	15,39	46,15	69,24
0,500	7,69	30,76	76,93
0,300	7,69	23,07	84,62
0,180	-	-	-
0,106	7,69	15,38	92,31
Elek Altı	7,69	7,69	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,7	5	100	5
0,71	75	95	80
1,00	10	20	90
0,500	5	10	95
0,300	5	5	100
0,180	-	-	-
0,106	-	-	-
Elek Altı	-	-	-
Toplam	100		

Tablo A.21: 15° Banttın Geçen %2 Rutubetli Kalkerin Elek Analizi Sonuçları**Numunenin alındığı aralık: 10-15cm**

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,7	0,89	100	0,89
0,71	30,36	99,11	31,25
1,00	15,18	68,75	46,43
0,500	11,61	53,57	58,04
0,300	22,32	41,96	80,36
0,180	10,71	19,64	91,07
0,106	5,36	8,93	96,43
Elek Altı	3,57	3,57	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,7	1,3	100	1,3
0,71	38,96	98,7	40,26
1,00	14,29	59,74	54,55
0,500	10,39	45,45	64,94
0,300	16,88	35,06	81,82
0,180	9,74	18,18	91,56
0,106	5,19	8,44	96,75
Elek Altı	3,25	3,25	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,7	4	4	4
0,71	60	96	64
1,00	12	36	76
0,500	8	24	84
0,300	8	16	92
0,180	-	-	-
0,106	4	8	96
Elek Altı	4	4	100
Toplam	100		

Tablo A.22: 25° Banttın Geçen Kuru Kalelerin Elek Analizi Sonuçları**Numunenin alındığı aralık: 10-15cm**

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,7	0,5	100	0,5
0,71	26	99,5	26,5
1,00	12,5	73,5	39
0,500	11	61	50
0,300	19	50	69
0,180	18,5	31	87,5
0,106	9	12,5	96,5
Elek Altı	3,5	3,5	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,7	1,92	100	1,92
0,71	30,77	98,08	32,69
1,00	11,54	67,31	44,23
0,500	11,54	55,77	55,77
0,300	11,54	44,23	67,31
0,180	11,54	32,69	78,85
0,106	15,38	21,15	94,23
Elek Altı	5,77	5,77	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,7	3,63	100	3,63
0,71	65,46	96,37	69,09
1,00	14,54	30,91	83,63
0,500	10,91	16,37	94,54
0,300	5,46	5,46	100
0,180	-	-	-
0,106	-	-	-
Elek Altı	-	-	-
Toplam	100		

Tablo A.23: 25° Banttın Geçen %2 Rutubetli Kalkerin Elek Analizi Sonuçları**Numunenin alındığı aralık: 10-15cm**

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,7	2,67	100	2,67
0,71	32,67	97,33	35,34
1,00	14	64,66	49,34
0,500	12	50,66	61,34
0,300	22,67	38,66	84,01
0,180	8	15,99	92,01
0,106	4,66	7,99	96,67
Elek Altı	3,33	3,33	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,7	1,15	100	100
0,71	35,64	98,85	36,79
1,00	12,64	63,21	49,43
0,500	10,34	50,57	59,77
0,300	13,79	40,23	73,56
0,180	11,49	26,44	85,05
0,106	8,05	14,95	93,1
Elek Altı	6,9	6,9	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,7	-	-	-
0,71	54,35	100	54,35
1,00	15,23	45,65	69,58
0,500	8,69	30,42	78,27
0,300	8,69	21,73	86,96
0,180	4,35	13,04	91,31
0,106	2,17	8,69	93,48
Elek Altı	6,52	6,52	100
Toplam	100		

Tablo A.24: 15° Banttın Geçen Kuru %50 Kalker + %50 Dolomitten Oluşan Karışımın Elek Analizi Sonuçları

Numunenin alındığı aralık: 10-15cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,7	-	-	-
1,00	17,08	100	17,08
0,500	19,51	82,92	36,59
0,250	19,51	63,41	56,1
0,106	18,29	43,9	74,39
Elek Altı	25,61	25,61	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,7	-	-	-
1,00	8,38	100	8,38
0,500	19,21	91,62	27,59
0,250	24,14	72,41	51,73
0,106	21,18	48,27	72,91
Elek Altı	27,09	27,09	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,7	-	-	-
1,00	58,73	100	58,73
0,500	30,15	41,27	88,88
0,250	7,94	11,12	96,82
0,106	1,59	3,18	98,41
Elek Altı	1,59	1,59	100
Toplam	100		

Tablo A.25 15° Banttın Geçen %2 Rutubetli %50 Kalker + %50 Dolomitten Oluşan Karışımın Elek Analizi Sonuçları

Numunenin alındığı aralık: 10-15cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,7	0,77	100	0,77
1,00	49,51	66,67	47,28
0,500	10,08	52,72	57,36
0,250	28,69	42,64	75,19
0,106	7,75	13,95	93,8
Elek Altı	6,2	6,2	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,7	0,75	100	0,75
1,00	49,25	99,25	50
0,500	11,19	50	61,19
0,250	27,61	38,81	88,8
0,106	4,48	11,2	93,28
Elek Altı	6,72	6,72	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,7	-	-	-
1,00	77,78	100	77,78
0,500	8,33	22,22	86,11
0,250	8,33	13,89	94,44
0,106	-	-	-
Elek Altı	5,56	5,56	100
Toplam	100		

Tablo A.26: 25° Banttın Geçen Kuru %50 Kalker + %50 Dolomitten Oluşan Karışımın Elek Analizi Sonuçları

Numunenin alındığı aralık: 10-15cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,7	-	-	-
1,00	12,12	100	12,2
0,500	18,18	87,88	30,3
0,250	19,7	69,7	50
0,106	22,73	50	72,73
Elek Altı	27,27	27,27	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,7	-	-	-
1,00	14,88	100	14,88
0,500	23,97	85,15	38,85
0,250	20,66	61,15	59,51
0,106	18,18	40,49	77,69
Elek Altı	22,31	22,31	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,7	-	-	-
1,00	52,06	100	52,06
0,500	29,36	47,94	81,42
0,250	8,72	18,58	90,14
0,106	3,21	9,86	93,35
Elek Altı	6,65	6,65	100
Toplam	100		

Tablo A.27: 25° Banttın Geçen %2 Rutubetli %50 Kalker + %50 Dolomitten Oluşan Karışımın Elek Analizi Sonuçları

Numunenin alındığı aralık: 10-15cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,7	-	-	-
1,00	48,08	100	48,08
0,500	11,54	51,92	59,62
0,250	26,92	40,38	86,54
0,106	6,73	13,46	93,27
Elek Altı	6,73	6,73	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,7	1,86	100	1,86
1,00	49,69	98,14	51,55
0,500	11,18	48,45	62,73
0,250	29,19	37,27	91,92
0,106	4,97	8,08	96,89
Elek Altı	3,11	3,11	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,7	1,43	100	1,43
1,00	62,86	98,57	64,29
0,500	8,57	35,71	72,86
0,250	14,28	27,14	87,14
0,106	7,15	12,86	94,29
Elek Altı	5,71	5,71	100
Toplam	100		

Tablo A.28: 15° Banttın Geçen Kuru %50 Kum+ %50 Feldspattan Oluşan Karışımın Elek Analizi Sonuçları

Numunenin alındığı aralık: 10-15cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
6,30	-	-	-
4,75	4,66	100	4,66
3,35	9,33	95,34	13,99
2,00	16,06	86,01	30,05
1,00	13,47	69,95	43,52
0,500	17,1	56,48	60,62
0,300	31,6	39,38	92,22
0,106	7,25	7,78	99,47
Elek Altı	0,53	0,53	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
6,30	18,18	100	18,18
4,75	-	-	-
3,35	12,74	81,82	30,92
2,00	7,27	69,08	38,19
1,00	9,09	61,81	47,28
0,500	14,55	52,72	61,83
0,300	30,9	38,17	92,73
0,106	7,27	7,27	100
Elek Altı	-	-	-
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
6,30	23,73	100	23,73
4,75	16,38	76,27	40,11
3,35	25,99	59,89	66,1
2,00	19,22	33,9	85,32
1,00	10,17	14,68	95,49
0,500	2,82	4,51	98,31
0,300	1,69	1,69	100
0,106	-	-	-
Elek Altı	-	-	-
Toplam	100		

Tablo A.29: 15° Banttın Geçen %2 Rutubetli %50 Kum + %50 Feldspattan Oluşan Karışımın Elek Analizi Sonuçları

Numunenin alındığı aralık: 10-15cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
6,30	-	-	-
4,75	1,09	100	1,09
3,35	-	-	-
2,00	3,26	98,91	4,35
1,00	4,35	95,65	8,7
0,500	3,26	91,3	11,96
0,300	15,22	88,04	27,18
0,106	55,43	72,82	82,61
Elek Altı	17,39	17,39	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
6,30	-	-	-
4,75	7,69	100	7,69
3,35	-	-	-
2,00	2,56	92,31	10,25
1,00	2,56	89,75	12,81
0,500	2,56	87,19	15,37
0,300	10,26	84,63	25,63
0,106	58,98	74,37	84,61
Elek Altı	15,39	15,39	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
6,30	-	-	-
4,75	16,98	100	16,98
3,35	11,32	83,02	28,3
2,00	11,32	71,7	39,62
1,00	3,77	60,38	43,39
0,500	1,89	56,61	45,28
0,300	7,55	54,72	52,83
0,106	41,51	47,17	94,34
Elek Altı	5,66	5,66	100
Toplam	100		

Tablo A.30: 25° Banttın Geçen Kuru %50 Kum + %50 Feldspattan Oluşan Karışımın Elek Analizi Sonuçları

Numunenin alındığı aralık: 10-15cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
6,30	-	-	-
4,75	-	-	-
3,35	1,89	100	1,89
2,00	1,89	98,11	3,78
1,00	8,49	96,22	12,27
0,500	19,81	87,73	32,08
0,300	53,77	67,92	85,85
0,106	12,26	14,15	98,11
Elek Altı	1,89	1,89	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
6,30	-	-	-
4,75	-	-	-
3,35	-	-	-
2,00	2,2	100	2,2
1,00	8,88	97,8	11,08
0,500	22,22	88,92	33,3
0,300	51,13	66,7	84,43
0,106	13,35	15,57	97,78
Elek Altı	2,22	2,22	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
6,30	10,22	100	10,22
4,75	9,63	89,78	19,85
3,35	15,06	80,15	34,91
2,00	14,04	65,09	48,95
1,00	12,76	51,05	61,71
0,500	12,14	38,29	73,85
0,300	24,74	26,15	98,59
0,106	1,37	1,41	99,86
Elek Altı	0,04	0,04	100
Toplam	100		

Tablo A.31: 25° Banttın Geçen %2 Rutubetli %50 Kum + %50 Feldspattan Oluşan Karışımın Elek Analizi Sonuçları

Numunenin alındığı aralık: 10-15cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
6,30	-	-	-
4,75	3,42	100	3,42
3,35	3,42	96,58	6,84
2,00	5,48	93,16	12,32
1,00	4,11	87,68	16,43
0,500	5,48	83,57	21,91
0,300	21,92	78,09	43,83
0,106	47,94	56,17	91,77
Elek Altı	8,23	8,23	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
6,30	-	-	-
4,75	6,93	100	6,93
3,35	0,99	93,07	7,92
2,00	2,97	92,08	10,89
1,00	2,97	89,11	13,86
0,500	2,97	86,14	16,83
0,300	19,8	83,17	36,63
0,106	55,45	63,37	92,08
Elek Altı	7,92	7,92	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm. Elek Üstü
6,30	-	-	-
4,75	14,92	100	14,92
3,35	13,44	85,08	28,36
2,00	5,98	71,64	34,34
1,00	2,98	65,66	37,32
0,500	2,98	62,68	40,3
0,300	7,46	59,7	47,76
0,106	37,32	52,24	85,08
Elek Altı	14,92	14,92	100
Toplam	100		

Tablo A.32: 15° Banttın Geçen Kuru %60 Kum + %30 Soda + %10 Dolomitten (iri) Oluşan Karışımın Elek Analizi Sonuçları

Numunenin alındığı aralık: 10-15cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
3,35	-	-	-
3,00	0,37	100	0,37
2,00	0,75	99,63	1,12
1,70	-	-	-
1	1,12	98,88	2,24
0,710	0,75	97,76	2,99
0,500	2,61	97,01	5,60
0,300	30,60	94,40	36,20
0,180	39,55	63,80	75,75
0,106	16,79	24,25	92,54
Elek Altı	7,46	7,46	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
3,35	-	-	-
3,00	1,65	100	1,65
2,00	2,07	98,35	3,72
1,70	0,41	96,28	4,13
1	2,48	95,87	6,61
0,710	0,83	93,39	7,44
0,500	2,27	92,56	9,71
0,300	27,27	90,29	36,98
0,180	39,26	63,02	76,24
0,106	17,35	23,76	93,59
Elek Altı	6,41	6,41	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
3,35	-	-	-
3,00	22,22	100	22,22
2,00	33,34	77,78	55,56
1,70	-	-	-
1	11,11	44,44	66,67
0,710	-	-	-
0,500	11,11	33,33	77,78
0,300	22,22	22,22	100,00
0,180	-	-	-
0,106	-	-	-
Elek Altı	-	-	-
Toplam	100		

Tablo A.33: 15° Banttın Geçen %2 Rutubetli %60 Kum + %30 Soda + %10 Dolomitten (iri) Oluşan Karışımın Elek Analizi Sonuçları

Numunenin alındığı aralık: 10-15cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
3,35	-	-	-
3,00	1,91	100	1,91
2,00	2,87	98,09	4,78
1,70	0,48	95,22	5,26
1	2,39	94,74	7,65
0,710	2,39	92,35	10,04
0,500	4,78	89,96	14,82
0,300	33,97	85,18	48,79
0,180	34,93	51,21	83,72
0,106	11,96	16,28	95,68
Elek Altı	4,32	4,32	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Elek Açıklığı	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
3,35	-	-	-
3,00	2,17	100	2,17
2,00	3,25	97,83	5,42
1,70	0,27	94,58	5,69
1	2,17	94,31	7,86
0,710	1,35	92,14	9,21
0,500	3,79	90,79	13,00
0,300	31,71	87,00	44,71
0,180	36,86	55,29	81,57
0,106	13,82	18,43	95,39
Elek Altı	4,61	4,61	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
3,35	-	-	-
3,00	11,11	100	11,11
2,00	22,22	88,89	33,33
1,70	-	-	-
1	22,23	66,67	55,56
0,710	11,11	44,44	66,67
0,500	11,11	33,33	77,78
0,300	11,11	22,22	88,89
0,180	11,11	11,11	100,00
0,106	-	-	-
Elek Altı	-	-	-
Toplam			

Tablo A.34: 25° Banttın Geçen Kuru %60 Kum + %30 Soda + %10 Dolomitten (iri) Oluşan Karışımın Elek Analizi Sonuçları

Numunenin alındığı aralık: 10-15cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
3,35	-	-	-
3,00	1,14	100	1,14
2,00	2,27	98,86	3,41
1,70	0,57	96,59	3,98
1	2,27	96,02	6,25
0,710	1,14	93,75	7,39
0,500	2,27	92,61	9,66
0,300	27,85	90,34	37,51
0,180	37,50	62,49	75,01
0,106	17,04	24,99	92,05
Elek Altı	7,95	7,95	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
3,35	-	-	-
3,00	0,86	100	0,86
2,00	1,19	99,14	2,05
1,70	0,34	97,95	2,39
1	2,21	97,61	4,60
0,710	0,85	95,40	5,45
0,500	2,73	94,55	8,18
0,300	28,28	91,82	36,46
0,180	39,69	63,54	76,15
0,106	17,55	23,85	93,70
Elek Altı	6,30	6,30	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
3,35	-	-	-
3,00	7,62	100	7,62
2,00	9,78	92,38	17,40
1,70	1,09	82,60	18,49
1	8,69	81,51	27,18
0,710	3,26	72,82	30,44
0,500	6,52	69,56	39,96
0,300	38,04	63,04	75,00
0,180	22,83	25,00	97,83
0,106	2,17	2,17	100,00
Elek Altı	-	-	-
Toplam	100		

Tablo A.35: 25° Banttın Geçen %2 Rutubetli %60 Kum + %30 Soda + %10 Dolomitten (iri) Oluşan Karışımın Elek Analizi Sonuçları

Numunenin alındığı aralık: 10-15cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
3,35	-	-	-
3,00	-	-	-
2,00	1,78	100,00	1,78
1,70	-	-	-
1	2,68	98,22	4,46
0,710	2,68	95,54	7,14
0,500	6,25	92,86	13,39
0,300	38,39	86,61	51,78
0,180	30,36	48,22	82,14
0,106	13,39	17,86	95,53
Elek Altı	4,47	4,47	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
3,35	-	-	-
3,00	1,32	100	1,32
2,00	2,63	98,68	3,95
1,70	0,33	96,05	4,28
1	1,97	95,72	6,25
0,710	0,99	93,75	7,24
0,500	3,29	92,76	10,53
0,300	33,22	89,47	43,75
0,180	39,14	56,25	82,89
0,106	13,82	17,11	96,71
Elek Altı	3,29	3,29	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
3,35	-	-	-
3,00	5,55	100	5,55
2,00	27,78	94,45	33,33
1,70	-	-	-
1	19,45	66,67	52,78
0,710	8,33	47,22	61,11
0,500	8,33	38,89	69,44
0,300	19,45	30,56	88,89
0,180	8,33	11,11	97,22
0,106	2,78	2,78	100,00
Elek Altı	-	-	-
Toplam	100		

Tablo A.36: 15° Banttın Geçen Kuru %60 Kum + %30 Soda + %10 Dolomitten (ince) Oluşan Karışımın Elek Analizi Sonuçları

Numunenin alındığı aralık: 10-15cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm. Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,70	-	100	-
1,00	3,94	96,06	3,94
0,710	1,57	94,49	5,51
0,500	3,42	91,07	8,93
0,300	29,66	61,41	38,59
0,180	38,58	22,83	77,17
0,106	16,27	6,56	93,44
Elek Altı	6,56	-	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm. Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,70	-	100	-
1,00	2,22	97,78	2,22
0,710	1,3	96,48	3,52
0,500	0,74	95,74	4,26
0,300	22,78	72,96	27,04
0,180	28,89	44,07	55,93
0,106	40	4,07	95,93
Elek Altı	4,07	-	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm. Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,70	-	100	-
1,00	32,35	67,65	32,35
0,710	8,82	58,83	41,17
0,500	14,71	44,12	55,88
0,300	35,29	8,83	91,17
0,180	8,83	-	100
0,106	-	-	-
Elek Altı	-	-	-
Toplam	100		

Tablo A.37: 15° Banttın Geçen %1 Rutubetli %60 Kum + %30 Soda + %10 Dolomitten (ince) Oluşan Karışımın Elek Analizi Sonuçları

Numunenin alındığı aralık: 10-15cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
1,70	-	-	-
1	4,88	100	4,88
0,710	2,44	95,12	7,32
0,500	4,47	92,68	11,79
0,300	27,64	88,21	39,43
0,180	38,62	60,57	78,05
0,106	15,85	21,95	93,9
Elek Altı	6,1	6,1	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
1,70	-	-	-
1	3,85	100	3,85
0,710	1,28	96,15	5,13
0,500	3,85	94,87	8,98
0,300	29,49	91,02	38,47
0,180	39,74	61,53	78,21
0,106	16,66	21,79	94,87
Elek Altı	5,13	5,13	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
1,70	-	-	-
1	12,34	100	12,34
0,710	6,17	87,66	18,51
0,500	8,65	81,49	27,16
0,300	43,21	72,84	70,34
0,180	25,93	29,63	96,3
0,106	3,7	3,7	100
Elek Altı	-	-	-
Toplam	100		

Tablo A.38: 15° Banttan Geçen %2 Rutubetli %60 Kum + %30 Soda + %10 Dolomitten (ince) Oluşan Karışımın Elek Analizi Sonuçları

Numunenin alındığı aralık:		10-15cm	
Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
1,70	-	100	-
1	4,51	95,49	4,51
0,710	6,77	88,72	11,28
0,500	9,02	79,7	20,3
0,300	40,6	39,1	60,9
0,180	31,58	7,52	92,48
0,106	4,51	3,01	96,99
Elek Altı	3,01	-	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık:		30-35cm	
Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
1,70	-	100	-
1	5,02	94,98	5,02
0,710	6,13	88,85	11,15
0,500	9,47	79,38	20,62
0,300	42,34	37,04	62,96
0,180	28,13	8,91	91,09
0,106	7,24	1,67	98,33
Elek Altı	1,67	-	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık:		bant sonu	
Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
1,70	-	100	-
1	21,22	78,78	21,22
0,710	15,15	63,63	36,37
0,500	15,15	48,48	51,52
0,300	30,3	18,18	81,82
0,180	15,15	3,03	96,97
0,106	3,03	-	100
Elek Altı	-	-	-
Toplam	100		

Tablo A.39: 15° Banttın Geçen %4 Rutubetli %60 Kum + %30 Soda + %10 Dolomitten (ince) Oluşan Karışımın Elek Analizi Sonuçları

Numunenin alındığı aralık: 10-15cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
1,70	-	-	-
1	6,41	100	6,41
0,710	6,84	93,59	13,25
0,500	12,82	86,75	26,07
0,300	37,61	73,93	63,68
0,180	26,06	36,32	89,74
0,106	8,12	10,26	97,86
Elek Altı	2,14	2,14	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
1,70	-	-	-
1	2,25	100	2,25
0,710	4,49	97,75	6,74
0,500	9,56	93,26	16,3
0,300	44,94	83,7	61,24
0,180	32,58	38,76	93,82
0,106	5,06	6,18	98,88
Elek Altı	1,12	1,12	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
1,70	-	-	-
1	17,24	100	17,24
0,710	10,34	82,76	27,58
0,500	24,14	72,42	51,72
0,300	29,31	48,28	81,03
0,180	13,79	18,97	94,82
0,106	3,46	5,18	98,28
Elek Altı	1,72	1,72	100
Toplam	100		

Tablo A.40: 25° Banttın geçen kuru %60 Kum + %30 Soda + %10 Dolomitten (ince) Oluşan Karışımın Elek Analizi Sonuçları

Numunenin alındığı aralık:		10-15cm	
Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm. Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,70	-	100	-
1,00	3,32	96,68	3,32
0,710	1,66	95,02	4,98
0,500	3,32	91,7	8,3
0,300	29,46	62,24	37,76
0,180	37,34	24,9	75,1
0,106	17,43	7,47	92,53
Elek Altı	7,47	-	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık:		30-35 cm	
Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm. Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,70	-	100	-
1,00	2,14	97,86	2,14
0,710	1,48	96,38	3,62
0,500	3,79	92,59	7,41
0,300	21,09	71,5	28,5
0,180	28,01	43,49	56,51
0,106	39,37	4,12	95,88
60,700	4,12	-	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık:		bant sonu	
Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm. Elek Altı	Küm. Elek Üstü
1,70	-	100	-
1,00	19,22	80,78	19,22
0,710	11,54	69,24	30,76
0,500	23,08	46,16	53,84
0,300	38,46	7,7	92,3
0,180	7,7	-	100
0,106	-	-	-
60,700	-	-	-
Toplam	100		

Tablo A.41: 25° Banttın Geçen %1 Rutubetli %60 Kum + %30 Soda + %10 Dolomitten (ince) Oluşan Karışımın Elek Analizi Sonuçları

Numunenin alındığı aralık: 10-15cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
1,70	-	-	-
1	3,54	100	3,54
0,710	1,57	96,46	5,11
0,500	3,54	94,89	8,65
0,300	33,08	91,35	41,73
0,180	38,19	58,27	79,92
0,106	14,57	20,08	94,49
Elek Altı	5,51	5,51	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
1,70	-	-	-
1	1,87	100	1,87
0,710	0,93	98,13	2,8
0,500	2,8	97,2	5,6
0,300	29,92	94,4	35,52
0,180	43,92	64,48	79,44
0,106	17,76	20,56	97,2
Elek Altı	2,8	2,8	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
1,70	-	-	-
1	6,93	100	6,93
0,710	3,77	93,07	10,7
0,500	6,92	89,3	17,62
0,300	45,28	82,38	62,9
0,180	32,7	37,1	95,6
0,106	3,77	4,4	99,37
Elek Altı	0,63	0,63	100
Toplam	100		

Tablo A.42: 25° Banttın Geçen %2 Rutubetli %60 Kum + %30 Soda + %10 Dolomitten (ince) Oluşan Karışımın Elek Analizi Sonuçları

Numunenin alındığı aralık: 10-15cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
1,70	-	100	-
1	3,66	96,34	3,66
0,710	3,66	92,68	7,32
0,500	6,1	86,58	13,42
0,300	36,58	50	50
0,180	34,15	15,85	84,15
0,106	12,19	3,66	96,34
Elek Altı	3,66	-	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
1,70	-	100	-
1	3,33	96,67	3,33
0,710	3,88	92,79	7,21
0,500	8,59	84,2	15,8
0,300	41,55	42,65	57,35
0,180	31,02	11,63	88,37
0,106	8,86	2,77	97,23
Elek Altı	2,77	-	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
1,70	-	100	-
1	13,16	86,84	13,16
0,710	7,89	78,95	21,05
0,500	21,06	57,89	42,11
0,300	36,84	21,05	78,95
0,180	15,79	5,26	94,74
0,106	2,63	2,63	97,37
Elek Altı	2,63	-	100
Toplam	100		

Tablo A.43: 25° Banttan Geçen %4 Rutubetli %60 Kum + %30 Soda + %10 Dolomitten (ince) Oluşan Karışımın Elek Analizi Sonuçları

Numunenin alındığı aralık: 10-15cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
1,70	-	-	-
1	3,33	100	3,33
0,710	4,17	96,67	7,5
0,500	10	92,5	17,5
0,300	40,83	82,5	58,33
0,180	30	41,67	88,33
0,106	9,17	11,67	97,5
Elek Altı	2,5	2,5	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
1,70	-	-	-
1	4,31	100	4,31
0,710	3,5	95,69	7,81
0,500	8,36	92,19	16,17
0,300	39,63	83,83	55,8
0,180	32,34	44,2	88,14
0,106	9,7	11,86	97,84
Elek Altı	2,16	2,16	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
1,70	-	-	-
1	7,67	100	7,67
0,710	6,71	92,33	14,38
0,500	13,43	85,62	27,81
0,300	43,16	72,19	70,97
0,180	24,22	29,03	95,19
0,106	3,85	4,81	99,04
Elek Altı	0,96	0,96	100
Toplam	100		

Tablo A.44: 25° Banttın Geçen %4,5 Rutubetli %60 Kum + %30 Soda + %10 Dolomitten (ince) Oluşan Karışımın Elek Analizi Sonuçları

Numunenin alındığı aralık: 10-15cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
1,70	-	-	-
1	2,67	100	2,67
0,710	2,67	97,33	5,34
0,500	6,67	94,66	12,01
0,300	37,33	87,99	49,34
0,180	34,66	50,66	84
0,106	12	16	96
Elek Altı	4	4	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
1,70	-	-	-
1	5,88	100	5,88
0,710	4,12	94,12	10
0,500	7,65	90	17,65
0,300	38,82	82,35	56,47
0,180	31,76	43,53	88,23
0,106	9,42	11,77	97,65
Elek Altı	2,35	2,35	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
1,70	-	-	-
1	7,89	100	7,89
0,710	6,14	92,11	14,03
0,500	10,96	85,97	24,99
0,300	39,05	75,01	64,04
0,180	26,75	35,96	90,79
0,106	7,46	9,21	98,25
Elek Altı	1,75	1,75	100
Toplam	100		

Tablo A.45: 25° Banttan Geçen %5 Rutubetli %60 Kum + %30 Soda + %10 Dolomitten (ince) Oluşan Karışımın Elek Analizi Sonuçları

Numunenin alındığı aralık: 10-15cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
1,70	-	-	-
1	3,57	100	3,57
0,710	3,57	96,43	7,14
0,500	8,04	92,86	15,18
0,300	44,64	84,82	59,82
0,180	31,25	40,18	91,07
0,106	7,14	8,93	98,21
Elek Altı	1,79	1,79	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: 30-35cm

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
1,70	-	-	-
1	4,89	100	4,89
0,710	4	95,11	8,89
0,500	8	91,11	16,89
0,300	44	83,11	60,89
0,180	30,67	39,11	91,56
0,106	7,11	8,44	98,67
Elek Altı	1,33	1,33	100
Toplam	100		

Numunenin alındığı aralık: bant sonu

Elek Açıklığı (mm)	Ayrımsal %	Küm.Elek Altı	Küm.Elek Üstü
1,70	-	-	-
1	9,74	100	9,74
0,710	4,62	90,26	14,36
0,500	8,72	85,64	23,08
0,300	43,08	76,92	66,16
0,180	27,18	33,84	93,34
0,106	5,64	6,66	98,98
Elek Altı	1,02	1,02	100
Toplam	100		

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Adapazarı'nda doğdu. İlkokul öğrenimini Sabiha Hanım İlköğretim Okulunda tamamladıktan sonra orta okula Sakarya Anadolu Lisesi'nde devam etti. Liseyi Özel Anakent Lisesi'nde tamamlayıp, 2000 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi (İ.T.Ü), Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 2004'de İ.T.Ü Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Aynı yıl İ.T.Ü Seramik Mühendisliği'nde başladığı yüksek lisans eğitimine halen devam etmektedir.