

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BAZI SÜKROZ İKAMELERİNİN ÇİKOLATANIN
REOLOJİK ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kim. Müh. Ahmet SÖKMEN

Anabilim Dalı :GIDA MÜHENDİSLİĞİ

Programı :GIDA MÜHENDİSLİĞİ

OCAK 2005

**BAZI SÜKROZ İKAMELERİNİN ÇİKOLATANIN
REOLOJİK ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Kim. Müh. Ahmet SÖKMEN
506011265**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27 Aralık 2004
Tezin Savunulduğu Tarih : 25 Ocak 2005**

**Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Gürbüz GÜNEŞ
Diğer Jüri Üyeleri Yrd.Doç.Dr. Meral KILIÇ
Doç.Dr. F. Seniha GÜNER**

OCAK 2005

ÖNSÖZ

Kalorisi azaltılmış çikolatalar tüketici tarafından büyük ilgi görmektedir. Kalorisi azaltılmış çikolata üretiminde sükröz, daha az kalorili bazı şeker alkollerini ile ikame edilmektedir. Bu çalışmada farklı partikül dağılımlarına sahip farklı şeker alkollerinin (isomalt, maltitol, ksilitol) erimiş çikolatanın reolojik özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmalarım sırasında beni yönlendiren, yardımlarını ve desteğini esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Gürbüz GÜNEŞ'e teşekkürü bir borç bilirim. Eğitimim sırasında emeği geçen tüm hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca özellikle laboratuardaki çalışmalarım sırasında bana destek olan bilgilerini paylaşan tüm Gıda Mühendisliği Bölümü araştırma görevlilerine teşekkür ederim.

Çalışmam sırasında katkı maddelerini temin etmemde yardımcı olan Pelit Çikolata ve Gıda Sanayi A.Ş. 'ye, Dora Dış ticaret ve Gıda San. A. Ş. 'ye, Elit Çikolata ve Şekerleme Sanayi A.Ş. 'ye ve Perfetti Gıda San. Tic. A.Ş. 'ye çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında bana maddi ve manevi desteklerinden, gösterdikleri anlayıştan dolayı başta ailem olmak üzere tüm arkadaşlarıma ve dostlarıma çok teşekkür ederim.

ARALIK, 2005

Ahmet SÖKMEN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vii
TABLO LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
SEMBOL LİSTESİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş ve Çalışmanın amacı	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	3
2.1. Çikolata	3
2.1.1. Tanımı ve Türleri	3
2.1.1.1. Siyah çikolata tipleri	4
2.1.1.2. Sütlü çikolata tipleri	5
2.1.2. Çikolata Üretimi	5
2.2. Reolojik Özellikler	7
2.2.1. Reoloji	7
2.2.2. Akışkanların reolojik özelliklerine göre sınıflandırılması	8
2.2.2.1. Newton tipi akışkanlar	9
2.2.2.2. Newton tipi olmayan akışkanlar	9
2.2.2.2.1. Bingham plastik akışkanlar	9
2.2.2.2.2. Sanki-plastik (pseudoplastic) akışkanlar	10
2.2.2.2.3. Kabaran (dilatant) akışkanlar	10
2.2.2.2.4. Plastik (Herschel-Bulkley) akışkanlar	10
2.2.2.2.5. Tiksotropik	10
2.2.2.2.6. Reopektik	11
2.2.3. Çikolatanın reolojik özellikleri	11
2.2.4. Çikolata yapısında kolloidal etkileşim ve etki eden kuvvetler	12
2.2.4.1. Van der Waals kuvvetler	12
2.2.4.2. Elektrostatik etkileşim	12
2.2.4.3. Çözünme ve hidrofobik kuvvetleri	13
2.2.4.4. Sterik kuvvetler	13
2.2.5. Çikolatanın reolojik davranışı için önerilen matematiksel modeller	13
2.2.5.1. Casson modeli	15
2.2.5.2. Bingham modeli	16
2.2.5.3. Herschel-Bulkley modeli	17
2.2.6. Çikolatanın akış özelliklerini etkileyen faktörler	17
2.2.6.1. Partikül boyutu ve partikül boyut dağılımı	17
2.2.6.2. Yağ oranı	21

2.2.6.3. Emülgatör oranı	23
2.2.6.3.1. Lesitin	24
2.2.6.3.2. Sentetik lesitin (YN)	25
2.2.6.3.3. Poligliserol poliricinoleat (PGPR)	26
2.2.6.3.4. Diğer emülgatörler	27
2.2.6.4. Nem oranı	28
2.2.7. Şeker alkollerini ve şeker alkolü kullanılarak üretilen çikolatadaki reolojik özellikler	29
2.2.7.1. Şeker alkollerini	29
2.2.7.2. Şeker alkollerinin fiziksel özellikleri	30
2.2.7.3. Bazı şeker alkollerini ve özellikleri	31
2.2.7.3.1. İsomalt	31
2.2.7.3.2. Maltitol	32
2.2.7.3.3. Ksilitol	33
2.2.7.3.4. Laktitol	33
2.2.7.3.5. Sorbitol ve mannitol	34
2.2.7.3.6. Eritritol	35
2.3. Çalışmanın Amaçları	36
3. MATERYAL VE METOT	37
3.1. Materyal	37
3.2. Metot	37
3.2.1. Kristal sükröz ve şeker alkollerinin inceltilmesi ve farklı partikül boyutlarına ayrımı	37
3.2.2. Çikolata örneklerinin hazırlanması	38
3.2.3. Reolojik ölçümler	38
3.2.4. Nem tayini	39
3.2.5. Partikül boyut dağılımını ve spesifik yüzey alanı ölçümü	39
3.2.6. Yoğunluk ölçümü	39
3.2.7. Verilerin istatistiksel analizi	40
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	41
4.1. Partikül Boyut Analizi ve Spesifik Yüzey Alanı Ölçümleri	41
4.2. Nem Oranı	44
4.3. Yoğunluk	44
4.4. Reolojik Modellerin Değerlendirilmesi ve Uygun Model Seçimi	45
4.4.1. Casson modeli	45
4.4.2. Bingham modeli	47
4.4.3. Herschel-Bulkley modeli	49
4.5. Farklı Sükröz İkamelerinin Reolojik Özelliklere Etkisi	54
4.5.1. Plastik viskozite (kıvamlılık katsayısı) (η_{pl})	55
4.5.1.1. Sükröz ikamesi tipinin plastik viskozite üzerine etkisi	55
4.5.1.2. Partikül boyutunun plastik viskozite üzerine etkisi	56
4.5.1.3. Sükröz ikamesi tipi ve partikül boyut etkileşiminin plastik viskozite üzerine etkisi	57
4.5.2. Görünen viskozite (η_{app})	57
4.5.2.1. Sükröz ikamesi tipinin görünen viskozite üzerine etkisi	58
4.5.2.2. Partikül boyutunun görünen viskozite üzerine etkisi	59
4.5.2.3. Sükröz ikamesi tipi ile partikül boyut etkileşiminin görünen viskozite üzerine etkisi	59

4.5.3. Akma gerilmesi	61
4.5.3.1. Sükroz ikamesi tipinin akma gerilmesi üzerine etkisi	61
4.5.3.2. Partikül boyutunun akma gerilmesi üzerine etkisi	62
4.5.3.3. Sükroz ikamesi tipi ile partikül boyut etkileşiminin akma gerilmesi üzerine etkisi	62
4.5.4. Akış indeksi	64
4.5.4.1. Sükroz ikamesi tipinin akış indeksi üzerine etkisi	64
4.5.4.2. Partikül boyutunun akış indeksi üzerine etkisi	65
4.5.4.3. Sükroz ikamesi tipi ile boyut etkileşiminin akış indeksi üzerine etkisi	65
5.SONUÇ VE ÖNERİLER	67
KAYNAKLAR	69
EKLER	75
ÖZGEÇMİŞ	99

KISALTMALAR

IOCCC : Uluslar arası Kakao ikolata ve Şekerleme ofisi
NCA : Ulusal Şekerleme Birliği
CMA : Şekerleme Üreticileri Birliği

TABLO LİSTESİ

Sayfa No:

Tablo 2.1. Siyah, sütlü ve beyaz çikolatalarının bileşim oranları	3
Tablo 2.2. Dolgu çikolata ve pralin çikolatalarının özellikleri.....	4
Tablo 2.3. Siyah çikolatalar ve özellikleri.....	4
Tablo 2.4. Sütlü çikolatalar ve özellikleri	5
Tablo 2.5. Çikolatanın reolojik davranışı için önerilen matematiksel modeller	13
Tablo 2.6. Bazı şeker alkollerinin özellikleri	31
Tablo 3.1. 100 gr. çikolatadaki katkı maddelerinin ağırlıkları (g.)	38
Tablo 4.1. Birinci partikül boyut aralığındaki (20-38 μ m) sükroz ve ikamelerinin boyut analizi değerleri.....	42
Tablo 4.2. İkinci partikül boyut aralığındaki (38-53 μ m) sükroz ve ikamelerinin boyut analizi değerleri.....	42
Tablo 4.3. Üçüncü partikül boyut aralığındaki (53-106 μ m) sükroz ve ikamelerinin boyut analizi değerleri.....	43
Tablo 4.4. Sükroz ve ikamelerinin her bir partikül boyut aralığı için spesifik yüzey alanları.....	44
Tablo 4.5. Farklı sükroz ikameleri ile elde edilen çikolataların nem oranları	44
Tablo 4.6. Farklı sükroz ikamelerinin yoğunluk değerleri.....	45
Tablo 4.7. Farklı partikül boyutundaki sükroz ikameleri ile elde edilen çikolataların Casson plastik viskozite değerleri.....	46
Tablo 4.8. Farklı partikül boyutundaki sükroz ikameleri ile elde edilen çikolataların Casson akma gerilmesi değerleri	46
Tablo 4.9. Farklı partikül boyutundaki sükroz ikameleri ile elde edilen çikolataların Bingham plastik viskozite değerleri	48
Tablo 4.10. Farklı partikül boyutundaki sükroz ikameleri ile elde edilen çikolataların Bingham akma gerilmesi değerleri	48
Tablo 4.11. Farklı partikül boyutundaki sükroz ikameleri ile elde edilen çikolataların Herschel-Bulkley akış indeks değerleri	50
Tablo 4.12. Farklı partikül boyutundaki sükroz ikameleri ile elde edilen çikolataların Herschel-Bulkley plastik viskozite (kıvamlılık katsayısı) değerleri.....	50
Tablo 4.13. Farklı partikül boyutundaki sükroz ikameleri ile elde edilen çikolataların Herschel-Bulkley akma gerilmesi değerleri.....	51
Tablo 4.14. Sükroz ve sükroz ikamelerinin tüm partikül boyutları göz önüne alındığında çikolataların plastik viskoziteleri üzerine etkisi.....	55
Tablo 4.15. Partikül boyutunun tüm sükroz ve sükroz ikameleri göz önüne alındığında çikolataların plastik viskoziteleri üzerine etkisi.....	56
Tablo 4.16. Sükroz ve sükroz ikamelerinin çikolataların plastik viskoziteleri üzerine etkisi	57
Tablo 4.17. Sükroz ve sükroz ikamelerinin partikül boyutlarının çikolataların plastik viskoziteleri üzerine etkisi	57
Tablo 4.18. Sükroz ve sükroz ikamelerinin tüm partikül boyutları göz önüne alındığında çikolataların 30 s ⁻¹ deki görünen viskoziteleri üzerine etkisi.....	58
Tablo 4.19. Partikül boyutunun tüm sükroz ve sükroz ikameleri göz önüne alındığında çikolataların 30 s ⁻¹ deki görünen viskoziteleri üzerine etkisi.....	59

Tablo 4.20. Sükroz ve sükroz ikamelerinin çikolataların görünen viskoziteleri üzerine etkisi	60
Tablo 4.21. Sükroz ve sükroz ikamelerinin partikül boyutlarının çikolataların 30 s^{-1} deki görünen viskoziteleri üzerine etkisi	61
Tablo 4.22. Sükroz ve sükroz ikamelerinin tüm partikül boyutları göz önüne alındığında çikolataların akma gerilmeleri üzerine etkisi	61
Tablo 4.23. Partikül boyutunun tüm sükroz ve sükroz ikameleri göz önüne alındığında çikolataların akma gerilmeleri üzerine etkisi	62
Tablo 4.24. Sükroz ve sükroz ikamelerinin çikolataların akma gerilmesi üzerine etkileri	63
Tablo 4.25. Sükroz ve sükroz ikamelerinin partikül boyutlarının çikolataların akma gerilmeleri üzerine etkisi.....	64
Tablo 4.26. Sükroz ve sükroz ikamelerinin tüm partikül boyutları göz önüne alındığında çikolataların akış indeksleri üzerine etkisi	64
Tablo 4.27. Partikül boyutunun tüm sükroz ve sükroz ikameleri göz önüne alındığında çikolataların akış indeksleri üzerine etkisi.....	65
Tablo 4.28. Sükroz ve sükroz ikamelerinin çikolataların akış indeksi üzerine etkileri	66
Tablo 4.29. Sükroz ve sükroz ikamelerinin partikül boyutlarının çikolataların akış indeksi üzerine etkisi.....	66
Tablo A.1. Birinci partikül boyutundaki (20-38 μm) isomalt ile elde edilen çikolatalara ait kayma hızı, kayma gerilmesi verileri	75
Tablo A.2. İkinci partikül boyutundaki (38-53 μm) isomalt ile elde edilen çikolatalara ait kayma hızı, kayma gerilmesi verileri	76
Tablo A.3. Üçüncü partikül boyutundaki (53-106 μm) isomalt ile elde edilen çikolatalara ait kayma hızı, kayma gerilmesi verileri	77
Tablo A.4. Birinci partikül boyutundaki (20-38 μm) maltitol ile elde edilen çikolatalara ait kayma hızı, kayma gerilmesi verileri	78
Tablo A.5. İkinci partikül boyutundaki (38-53 μm) maltitol ile elde edilen çikolatalara ait kayma hızı, kayma gerilmesi verileri	79
Tablo A.6. Üçüncü partikül boyutundaki (53-106 μm) maltitol ile elde edilen çikolatalara ait kayma hızı, kayma gerilmesi verileri	80
Tablo A.7. Birinci partikül boyutundaki (20-38 μm) sükroz ile elde edilen çikolatalara ait kayma hızı, kayma gerilmesi verileri	81
Tablo A.8. İkinci partikül boyutundaki (38-53 μm) sükroz ile elde edilen çikolatalara ait kayma hızı, kayma gerilmesi verileri	82
Tablo A.9. Üçüncü partikül boyutundaki (53-106 μm) sükroz ile elde edilen çikolatalara ait kayma hızı, kayma gerilmesi verileri	83
Tablo A.10. Birinci partikül boyutundaki (20 -38 μm) ksilitol ile elde edilen çikolatalara ait kayma hızı, kayma gerilmesi verileri	84
Tablo A.11. İkinci partikül boyutundaki (38 -53 μm) ksilitol ile elde edilen çikolatalara ait kayma hızı, kayma gerilmesi verileri	85
Tablo A.12. Üçüncü partikül boyutundaki (53-106 μm) sükroz ile elde edilen çikolatalara ait kayma hızı, kayma gerilmesi verileri	86

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No:

Şekil 2.1. Siyah ve sütlü çikolata üretimi akış diyagramı.....	7
Şekil 2.2. Değişik akışkanların reolojik davranışları.....	9
Şekil 2.3. Partikül boyut inceliğinin %0.25 lesitin içeren iki ayrı sütlü çikolatadaki Casson parametrelerine etkisi	18
Şekil 2.4. Değişik partikül boyut dağılımı modellerinin reolojiye etkisi	21
Şekil 2.5. Siyah ve sütlü çikolatada yağ oranı değişiminin viskozite ve akma gerilmesine etkisi	22
Şekil 2.6. Lesitin kimyasal yapısı	24
Şekil 2.7. Üç değişik sabit kayma hızı değerinde soya lesitin ve sentetik lesitin (YN) karşılaştırılması.....	26
Şekil 2.8. PGPR'ın kimyasal yapısı.....	26
Şekil 2.9. Değişik orandaki emülgatörlerin viskozite ve akma gerilmesine etkisi ...	28
Şekil 2.10. Isomalt kimyasal yapısı,	31
Şekil 2.11. Maltitolün kimyasal yapısı.	32
Şekil 2.12. Ksilitolün kimyasal yapısı.	33
Şekil 2.13. Laktitolün kimyasal yapısı	34
Şekil 2.14. Sorbitol ve Mannitolün kimyasal yapısı.....	35
Şekil 2.15. Eritritolün kimyasal yapısı	35
Şekil 4.1. Casson modeli ile modellenen, birinci partikül boyut aralığındaki sükröz ile hazırlanmış çikolatanın normallik analizi (a) ve artık analizi (b).....	47
Şekil 4.2. Bingham modeli ile modellenen, birinci partikül boyut aralığındaki isomalt ile hazırlanmış çikolatanın normallik analizi (a) ve artık analizi (b) ...	49
Şekil 4.3. Herschel-Bulkley modeli ile modellenen, birinci partikül boyut aralığındaki ksilitol ile hazırlanmış çikolatanın normallik analizi (a) ve artık analizi(b)	51
Şekil 4.4. Birinci partikül boyut aralığındaki maltitol ile tatlandırılmış çikolatanın deneysel, tahmini değerleri ve R^2 değerleri	53
Şekil 4.5. Sükröz, maltitol, ksilitol ve isomalt'ın 3 ayrı partikül boyutu ile tatlandırılmış çikolataların 5 - 60 s^{-1} kayma hızı aralığında yukarı ve aşağı yöndeki ölçümlerin ortalaması sonucu kayma hızının kayma gerilimine göre değişimi.....	54
Şekil B.1. İsomaltın birinci partikül boyut dağılımı (20 -38 μm) grafiği.....	87
Şekil B.2. İsomaltın ikinci partikül boyut dağılımı (38-53 μm) grafiği	88
Şekil B.3. İsomaltın üçüncü partikül boyut dağılımı (53 -106 μm) grafiği.....	89
Şekil B.4. Maltitolün birinci partikül boyut dağılımı (20 -38 μm) grafiği	90
Şekil B.5. Maltitolün ikinci partikül boyut dağılımı (38-53 μm) grafiği.....	91
Şekil B.6. Maltitolün üçüncü partikül boyut dağılımı (53 -106 μm) grafiği	92
Şekil B.7. Sükröz birinci partikül boyut dağılımı (20 -38 μm) grafiği.....	93
Şekil B.8. Sükröz ikinci partikül boyut dağılımı (38-53 μm) grafiği	94
Şekil B.9. Sükrözün üçüncü partikül boyut dağılımı (53 -106 μm) grafiği.....	95
Şekil B.10. Ksilitolün birinci partikül boyut dağılımı (20 -38 μm) grafiği	96
Şekil B.11. Ksilitolün ikinci partikül boyut dağılımı (38-53 μm) grafiği.....	97
Şekil B.12. Ksilitolün üçüncü partikül boyut dağılımı (53 -106 μm) grafiği	98

BAZI SÜKROZ İKAMELERİNİN ÇİKOLATANIN REOLOJİK ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ

ÖZET

Kalorisi azaltılmış çikolatalar tüketiciler tarafından büyük ilgi görmektedir. Kalorisi azaltılmış çikolata üretiminde sükroz, daha az kalorisi olan bazı şeker alkollerini ile ikame edilebilmektedir. Ancak bu değişiklik çikolatanın reolojik özelliklerinde değişikliğe neden olabilir ve dolayısıyla proses şartlarını ve duyu özellikleri de etkileyebilir. Bu çalışmada değişik partikül dağılımlarına sahip değişik şeker alkollerinin erimiş çikolatanın reolojik özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

Bu kapsamda çikolata formülünde üç ayrı partikül boyut aralığında (106-53µm, 53-38µm ve 38-20µm) sükroz, maltitol, isomalt ve ksilitol kullanılmıştır. Bu partikül boyut aralıkları sükroz ve şeker alkollerinin öğütülüp farklı gözeneklerde eleklerde elenmesi sonucu elde edilmiştir. Çikolata örnekleri laboratuvar ortamında sükroz veya sükroz ikameleri (%43.40), kakao yağı (%32.83), kakao tozu (%23.47) ve lesitin (%0.3) katkı maddelerinin ağırlık/ağırlık oranları baz alınarak hazırlanmıştır. Farklı tatlandırıcılarla hazırlanan çikolata örneklerinin kayma gerilmeleri 5 - 60 s⁻¹ aralığında kayma hızı arasında artan ve azalan yönlerde 40°C sıcaklıkta reometre ile ölçülmüştür.

Kayma gerilmesi ve kayma hızı verileri literatürdeki reolojik modellere (Casson, Bingham ve Herschel-Bulkey modelleri) uygulanmıştır. Test edilen modellerden en iyi sonucu Herschel-Bulkey modeli sağlamıştır. Bu modele göre çikolata örneklerinin akış indeksleri (m) 0.991 ile 1.05 arasında değişmiştir. İsomalt ile hazırlanan örneklerin viskozitelerinin (1.83 Pa. s^m) belirgin olarak diğer sükroz ikamelerine göre yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu sonuca isomaltın düşük yoğunluğa sahip olmasının yol açtığı düşünülmektedir. Akma gerilmesi değerleri incelendiğinde maltitolün akma gerilmesi üzerine etkisinin diğer sükroz ikamelerine oranla daha yüksek olduğu gözlenmiştir (5.51 Pa). Bu durum maltitolün partikül boyut dağılımında diğer ikamelere göre daha fazla oranda küçük partiküller içermesinin sebep olduğu düşünülmektedir. Sükroz ikamelerinin partikül boyutunun azalması plastik viskozite ve akma gerilmesi değerlerinin artmasına neden olmuştur. Çikolataların reolojik özellikleri kullanılan şeker ikamesine ve partikül boyutuna bağlı olarak değişmektedir. Sükroz ikamelerinin kullanılmasından dolayı ürünün proses ve kalitesi etkilenebilmektedir, bu nedenle proses ve kalitenin optimizasyonu üzerine çalışılması önerilmektedir.

Bütün faktörlerin dikkate alınması sonucunda, çikolatada sükroz ikamesi olarak maltitolün kullanılması önerilmektedir. Partikül boyutu için ise ürün kalitesini bozmayacak en yüksek partikül boyutunun kullanılması reolojik özellikler açısından önerilmektedir.

INFLUENCE OF SOME SUCROSE SUBSTITUTES ON RHEOLOGICAL PROPERTIES OF CHOCOLATE

SUMMARY

Chocolates with reduced calories (light chocolates) have become popular among consumers and manufacturers. Light chocolates can be produced by replacing sucrose with substitutes such as sugar alcohols. Replacement of sucrose with sugar alcohols would affect rheological properties, which in turn affects the processing and quality. The objective of this study was to investigate effects of different sugar alcohols (maltitol, isomalt, and xylitol) and different particle size distributions on rheological properties of molten chocolate.

Three different particle size intervals (106-53 μm , 53-38 μm ve 38-20 μm) were obtained by grinding and sieving the sugar powders to different size and measured by a particle size analyzer. Chocolate samples were made in our laboratory with the following ingredients mixed on weight to weight basis: sucrose or sugar alcohols (43.40%), cocoa butter (32.83%), cocoa powder (23.47%) and lecithin (0.3%). Shear stress values of chocolate samples were measured at 40 °C in the shear rate range of 5 to 60 s⁻¹ using a rheometer.

The data were applied to some of the known rheological models (Casson, Bingham and Herschel-Bulkley models) that have been proposed for chocolate. The best results were obtained with the Herschel-Bulkley model. Flow behavior index (m) of all chocolate samples were within the range 0.991 to 1.05. Chocolate with isomalt showed significantly higher plastic viscosity (1.83 Pa.s^m) compared to other samples. This was associated with isomalt's lower density. Chocolate with maltitol had higher yield stress (5.51 Pa), which was associated with its smaller particles size distributions. Both the plastic viscosity and the yield stress for all chocolate samples increased as the particle size decreased. Sucrose substitutes used in chocolate can change rheological properties of chocolate depending on their physical and chemical nature. The processing and quality may be affected by sucrose substitutes and should be further studied for optimization of process and quality.

In conclusion, when all factors were taken into consideration, Maltitol were recommended to substitute sucrose in chocolate. For particle size, the coarser particle size value which doesn't effect product quality, should be used.

SEMBOL LİSTESİ

γ	: Kayma hızı
τ	: Kayma gerilmesi
η	: Plastik viskozite
η_a	: Görünen viskozite
τ_0	: Akma gerilmesi
m	: Akış indeksi
η_{CA}	: Casson plastik viskozite
τ_{CA}	: Casson akma gerilmesi
ϕ	: Katı hacim fraksiyonu
T_g	: Camsılığa geçiş sıcaklığı
W_p	: Piknometrenin darası
W_s	: Sükrozun ağırlığı
W_{pe}	: Petroleum eterin ağırlığı
V_b	: Boşluk hacmi
V_s	: Sükroz ikamesi hacmi
V_p	: Piknometrenin hacmi
V_{pe}	: Petroleum eterin hacmi
ρ_s	: Sükrozun yoğunluğu
ρ_{pe}	: Petroleum eterin yoğunluğu

1. GİRİŞ

1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı

Çikolata, her yaştan tüketici tarafından zevkle tüketilen popüler gıda ürünlerinden biridir. Çikolata üretiminde katkı maddesi olarak sükröz, kakao yağı, kakao tozu, süt tozu ve lesitin kullanılmaktadır. Yüksek karbonhidrat ve yağ içeriğinden dolayı çikolata güçlü bir enerji kaynağıdır. Az miktarda uyarıcı teobromin ve kafein içermektedir (Anon., 1987). Ayrıca içerdiği flavanoidler ve eser miktardaki mineraller sayesinde kalp sağlığına yararlı olduğu gözlenmiştir (Steinberg ve diğ., 2003).

Çikolata, siyah, sütlü, beyaz, dolgulu çikolata ve pralin olmak üzere grupta sınıflandırılmaktadır (Anon, 2001b). Çikolatada değişik fındık füresi, fıstık, badem, ceviz, kuru üzüm gibi ek katkı maddeleri kullanılmaktadır (Anon, 2001b).

Ülkemizde yıllık çikolata üretimi artış göstermekte olup Devlet Planlama Teşkilatı'nın Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planında belirtilen istatistiklere göre 2000 yılında gerçekleşen çikolata üretimi 118.000 ton olarak gerçekleşmiştir (Anon. 2001a). 2002 yılında kişi başına düşen çikolata tüketimi Amerika'da 5.3 kg, İsviçre'de 10.3 kg, İngiltere'de 8.4 kg, Almanya'da 8.2 kg , Fransa'da 4.8 kg ve İspanyada 1.6 kg dır (Anon, 2004).

Çikolata, üretimin büyük bölümünde akışkan halde olduğundan çikolatanın reolojik özellikleri proses ve ürün kalitesi açısından büyük önem taşımaktadır. Yağ oranı, partikül boyutu, nem oranı, sıcaklık gibi reolojik faktörler çikolatanın proses esnasında pompalanabilirliğini dolayısı ile üretimin maliyetini etkilemektedir. Çikolata endüstrisindeki reolojik araştırmaların en önemli amacı çikolata üretimi için en uygun reolojik şartların sağlanmasıdır. Bu nedenle çok pahalı bir katkı maddesi olan kakao yağının çikolatadaki oranının, çikolatanın üretim özelliklerine

ve son ürüne olumsuz bir etki yaratmayacak şekilde azaltılması ve bu şekilde üretim maliyetinin düşürülmesi amaçlanmaktadır (Tscheuschner ve Wünsche, 1979).

Çikolata, yüksek şeker ve kakao yağı içeriğinden dolayı yüksek kalorili bir gıdadır. Bu nedenle kalorisi azaltılmış çikolatalar tüketici ve üreticiler tarafından büyük ilgi görmektedir. Kalorisi azaltılmış çikolata üretiminde sükroz, daha az kalorisi olan bazı şeker alkollerini ile ikame edilebilmektedir. Ancak bu değişiklik çikolatanın reolojik özelliklerinde değişikliğe neden olabilir ve dolayısıyla proses şartlarını ve duyuşsal özellikleri de etkileyebilir.

Dünyada, çikolatanın reolojisi ile ilgili 1950'li yıllardan beri birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Ülkemizde köklü çikolata fabrikaları bulunmasına rağmen, yapılan araştırmalar sonucunda çikolatanın reolojisi ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle yapılan çalışma ülkemiz için hem çikolatanın reolojik özelliklerinin anlaşılması, hem de ülkemizde sükroz ikamelerinin çikolata üretimde kullanılmaya başlaması açısından önemli olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışmada değişik partikül dağılımlarına sahip değişik şeker alkollerinin erimiş çikolatanın reolojik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda çikolata formülünde üç ayrı partikül boyut aralığında (106-53µm, 53-38µm ve 38-20µm) sükroz, maltitol, isomalt ve ksilitol kullanılmıştır. Üç ayrı partikül aralığındaki sükroz ikamelerinin partikül analiz cihazı ile partikül boyut dağılımları ölçülmüştür. Aynı sükroz ikameleri kullanılarak çikolatalar laboratuvar düzeyinde üretilmiştir. Üretilen çikolataların reolojik özellikleri reometre kullanılarak ölçülmüş ve sükroz ikamelerinin reolojik parametreler üzerine etkisi araştırılmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Çikolata

2.1.1. Tanımı ve türleri

Çikolata, Türk Gıda Kodeksi Çikolata ve Çikolata Ürünleri Tebliğinde “*Kakao ürünleri şekerler ve/veya tatlandırıcılar; gerektiğinde süt yağı dışındaki hayvansal yağlar hariç olmak üzere diğer gıda bileşenleri ile süt ve/veya süt ürünleri ve Türk Gıda Kodeksi Yönetmeliğinde izin verilen katkı ve/veya aroma maddelerinin ilavesi ile tekniğine uygun şekilde hazırlanan ürünü ifade eder.*” şeklinde tanımlanmaktadır (Anon, 2001).

Çikolatalar siyah, sütlü, beyaz, dolgulu ve pralin olmak üzere 5 gruba ayrılmıştır. Siyah, sütlü ve beyaz çikolataların içermeleri gereken kakao kuru maddesi, kakao kuru maddesindeki kakao yağı oranı, kakao kuru maddesindeki yağsız kakao oranı, süt kuru maddesi, süt kuru maddesindeki süt yağı, süt yağı ve kakao yağı toplamı ve kakao yağı oranları Tablo 2.1 de özetlenmiştir. Dalgulu çikolata ve Pralin Tablo 2.2. de özetlenmiştir (Anonim, 2001).

Tablo 2.1. Siyah, sütlü ve beyaz çikolatalarının bileşim oranları (%) (Anonim, 2001)

Çikolata tipleri	İçermesi gereken en az % toplam kakao kuru maddesi (%)	Kakao kuru maddesinin en az içermesi gereken % kakao yağı (%)	Kakao kuru maddesinin en az içermesi gereken % yağsız kakao kuru maddesi (%)	İçermesi gereken en az % süt kuru maddesi (%)	Süt kuru maddesinin en az içermesi gereken % süt yağı (%)	İçermesi gereken en az % süt yağı ve kakao yağı toplamı (%)	Bileşimindeki kakao yağı yüzdesi (%)
Siyah çikolata	%35	%18	%14	----	----	----	----
Sütlü çikolata	%25	----	%2.5	%14	%3.5	%25	----
Beyaz Çikolata	----	----	----	%14	%3.5	----	%20

Tablo 2.2. Dolgu ikolata ve pralin çikolatalarının zellikleri (Anonim, 2001)

Çikolata tipleri	çikolata zellikleri
Dolgulu ikolata	Dış kısmı toplam ürün ağırlığının en az % 25'ini içeren, siyah çikolata, sütlü çikolata, bol sütlü çikolata ve beyaz çikolatalardan birinden oluşan dolgulu ikolata
Pralin	Toplam rn ağırlığının % 25'i siyah çikolata, sütlü çikolata, bol sütlü çikolata, beyaz çikolataların kombinasyonundan, karışımından veya herhangi birinden yada dolgulu çikolatadan oluşan bir lokma büyüklüğündeki ikolata

2.1.1.1. Siyah ikolata tipleri

Granül veya gevrek, kuvertür ve fındık ezmeli olmak üzere 3 tip siyah çikolata bulunmaktadır. Siyah ikolata tipleri içermesi gereken en az toplam kuru madde oranı, kuru maddenin en az içermesi gereken yağ oranı, kuru maddenin en az içermesi gereken yağsız kakao kuru madde yüzdesi ve ek olarak ilave edilebilecek katkı maddelerine göre sınırlandırılmıştır (Tablo 2.3.).

Tablo 2.3. Siyah ikolatalar ve zellikleri (Anon, 2001)

Siyah ikolata tipleri	İçermesi gereken en az % toplam kakao kuru maddesi	Kakao kuru maddesinin en az içermesi gereken % yağ oranı	Kakao kuru maddesinin en az içermesi gereken % yağsız kakao kuru maddesi	Ek olarak ilave edilebilecek katkı maddeleri % 'si
Granül veya gevrek siyah ikolata	% 32	% 12	% 14	----
Kuvertür siyah ikolata	% 35	% 31	% 2.5	----
Fındık ezmeli siyah çikolata	% 32	----	% 8	öğütülmüş fındık veya fındık füresi, fıstık, badem, ceviz, kuru zm

2.1.1.2. Sütli çikolata tipleri

Granül veya gevrek sütli çikolata, kuvertür sütli çikolata, fındık ezmeli sütli çikolata, bol sütli çikolata, kremalı çikolata ve yağsız sütli çikolata olmak üzere 6 tip sütli çikolata bulunmaktadır. Sütli çikolatalar içermesi gereken en az toplam kuru madde yüzdesi, süt kuru maddesi yüzdesi, toplam kakao yağı ve süt yağı yüzdesi ve ek olarak ilave edilmesi gereken katkı maddelerine göre sınıflandırılmıştır (Tablo 2.4.).

Tablo 2.4. Sütli çikolatalar ve özellikleri

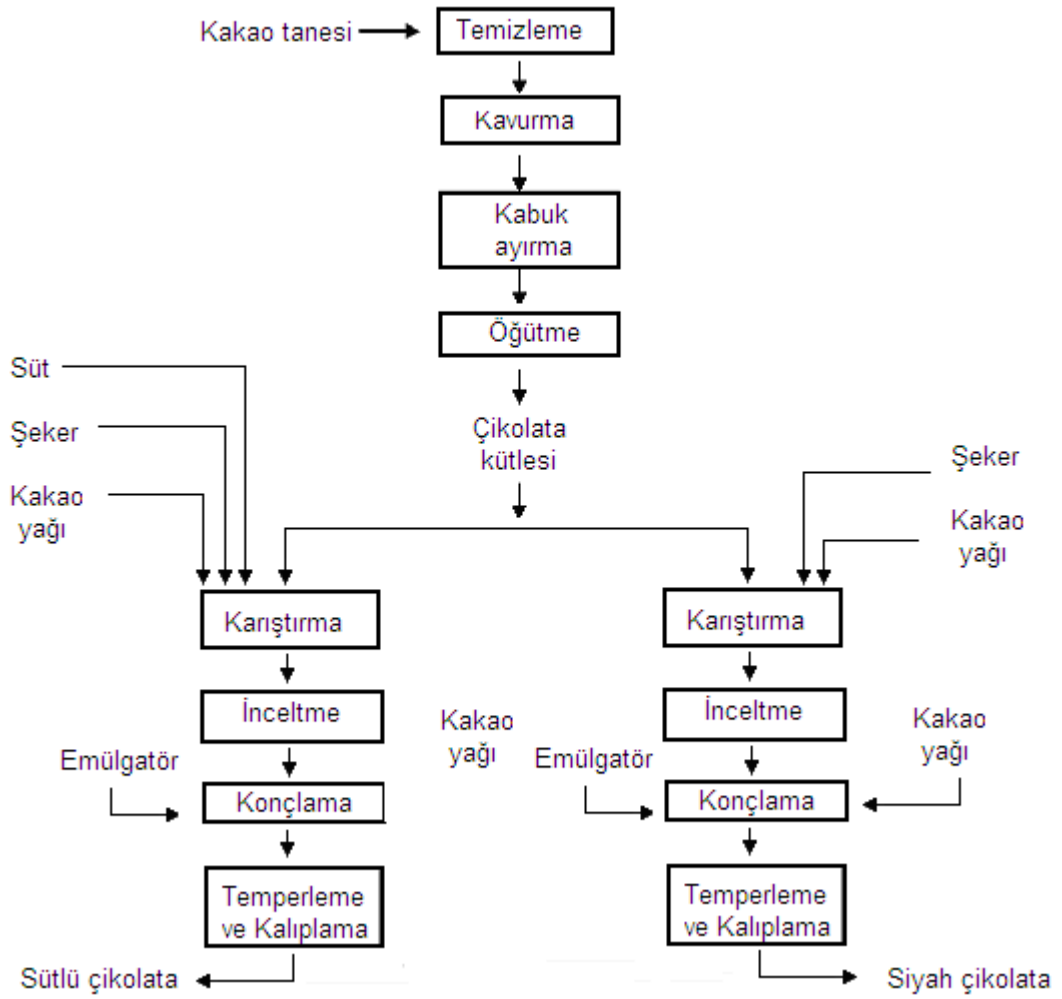
Sütli Çikolata	İçermesi gereken en az % toplam kuru madde (%)	İçermesi gereken en az %süt kuru maddesi (%)	İçermesi gereken en az % kakao yağı ve süt yağı toplam miktarı (%)	Ek olarak ilave edilmesi gereken % katkı maddeleri (%)
Granül veya gevrek sütli çikolata	% 20	% 12	% 25	—
Kuvertür sütli çikolata	% 25	% 2.5	% 31	—
Fındık ezmeli sütli çikolata	—	% 10	—	% 15-40 arasında fındık veya fındık füresi
Bol sütli çikolata	%20	%2.5	%25 (en az %5'i süt yağı)	—
Kremalı çikolata	—	—	% 5.5 süt yağı	—
Yağsız sütli çikolata			% 1 süt yağı	

2.1.2. Çikolata üretimi

Kakao tanesi çikolatanın üretimindeki temel katkı maddesidir. Temizleme ve kavurma işlemlerinden sonra kabuğu çıkarılmış kakao tanelerinin ince bir şekilde öğütülmesi sonucu elde edilen ürün çikolata likörü veya çikolata kütlesi olarak adlandırılır (Beckett, 1999a).

Çikolata süzkroz, çikolata kütlesi ve kakao yağının karıştırılması sonucu üretilen bir mamuldür. İlave edilen kakao yağı kakao tanelerinin preslenmesi sonucu elde edilmekte ve çikolatanın erimesini kolaylaştırmak amacıyla eklenmektedir. Karıştırılan çikolata kütlesi daha sonra inceltme işleminden geçer, bu temel olarak daha ince bir öğütme işlemidir. Kristal süzkroz ve kakao kütlesi çelik silindirler arasından geçirilerek partikül boyutları 30 µm'nin altına düşürülür. Çikolata üretiminde genellikle 2 ve 5 silindirli inceltme sistemi kullanılmaktadır. Partiküller ilk olarak 2 silindirli incelticiden geçirilerek partikül boyutu 100-300 µm aralığına düşürülmekte daha sonra 5 silindirli inceltici kullanılarak partikül boyutu 30 µm'nin altına düşürülmektedir (Beckett, 1999a). Bu işlemde çikolata partiküllerinin ağızda fark edilemeyecek kadar küçültülmesi amaçlanmaktadır (Beckett, 1999b). Çikolata üretimi şematik olarak Şekil 2.1 de gösterilmiştir (Beckett, 1999a).

İnceltme sonucunda oluşan kuru toz kütlesi istenmeyen asidik tat ve nemin uzaklaştırılması amacıyla konçlama aşamasına sokulmaktadır. Bu aşamada çikolata, bir tank içersinde yüksek sıcaklıkta, düşük bir hızla karıştırılmakta ve buharlaşan uçucu bileşenler tank üzerindeki bir vantilatör sayesinde uzaklaştırılmaktadır. Konç süresi istenilen tat ve başlangıçtaki ürünün tat özelliklerine bağlı olarak birkaç saatten birkaç güne kadar değişebilmektedir. Konç aşaması kuru, hamur ve sıvı olmak üzere 3 fazdan oluşmaktadır. Kuru faz ve hamur fazı, sıvı fazına oranla daha uzun sürmektedir. Kuru fazda, materyal kuru toz halde bulunmaktadır. Bu fazda nemin uzaklaştırılması diğer fazlara oranla daha kolaydır. Çünkü partiküller henüz yağ partikülleri ile kaplanmamıştır. Bundan sonraki faz hamur fazıdır. Nemin uzaklaştırılmış olması ve katı partiküllerin açığa çıkan yağlarla kaplanması sonucu viskozite bu fazda düşmeye başlamaktadır. Kuru faza oranla enerji girişi viskozitenin de düşmesiyle azalmaktadır. Son olarak sıvı fazda yağ tamamen katı partikülleri kaplamakta ve çikolata kütlesi akışkan bir hal almaktadır. Son aşama çikolatanın viskozitesinin ayarlanması açısından oldukça önemli bir aşamadır. Emülgatör ve ek kakao yağı bu aşamada eklenmekte ve tam olarak karışması sağlanmaktadır. Konç sıcaklığı kullanılan katkı maddelerine bağlıdır. Siyah çikolata için 55 ile 85 °C aralığında değişmekte, sütlü çikolata için bu değer 45 ile 65 °C aralığındadır (Beckett, 1999b).



Şekil 2.1. Siyah ve sütlü çikolata üretimi akış diyagramı (Hui, 1992)

Konçlanan çikolata temperleme aşamasına sokulmaktadır. Bu aşamada çikolata kütlesi ilk olarak 50 °C'ye ısıtılarak bütün yağın erimesi ve çikolatanın tamamen sıvı hale geçmesi sağlanmaktadır. Daha sonra çikolata 27 °C 'ye soğutularak çikolatadaki yağ kristallendirilmektedir. Kararlı kristaller (β kristalleri) 32 °C'de oluşmaktadır, bu nedenle bir sonraki aşamada kararsız kristallerin oluşmasının engellenmesi amacıyla çikolata 32 °C'ye ısıtılıp 27 °C'ye soğutulmakta ve kristallendirilmektedir. (Bouzas ve Brown, 1995).

2.2. Reolojik Özellikler

2.2.1. Reoloji

Reoloji maddenin deformasyonunu ve akışını konu alan bilimdir. Reolojik özellikler madde strese mazur kaldığında, maddenin akışı veya gösterdiği

deformasyon ile belirlenmektedir. Gıdalar açısından reoloji ürün geliştirme, proses metodunun optimize edilmesi ve son ürün kalitesi açısından oldukça önemlidir. Gıda maddelerinin reolojik özellikleri gıda sanayinde aşağıda belirten bir çok alanda kullanılmaktadır (Steffe, 1992):

- a) Boru, pompa, ekstrüder, karıştırıcı, kaplama, ısı değiştirici, homojenize edici gibi ekipmanların mühendislik hesaplarında,
- b) Ürün geliştirilmesinde katkı maddelerinin işlevselliğinin belirlenmesi,
- c) Son veya ara ürün kalite kontrolü
- d) Raf ömrü testi
- e) Duyusal analiz korelasyonu ile gıda dokusunun değerlendirilmesi

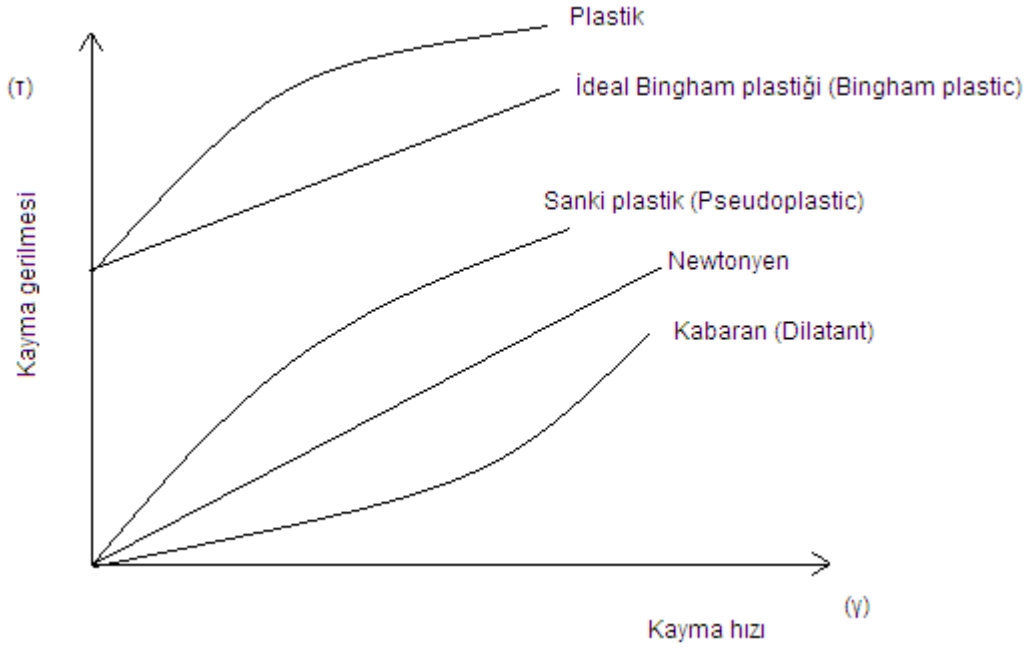
Reolojik özellikler, kayma hızı ($\dot{\gamma}$) ve kayma gerilmesi (τ) ile ölçülebilmektedir. Kayma hızı bir akışkana stres uygulanması sonucunda akışkan içerisinde oluşan hız gradyanlarıdır. Kayma hızının birimi s^{-1} 'dir. Kayma gerilmesi uygulanan stresin tanjant bileşenidir ve kuvvet vektörünün uygulandığı alana oranına eşittir. Birimi Pascal (Pa) dir. Viskozite maddenin akışa karşı gösterdiği iç sürtünme veya akmaya karşı gösterdiği dirençtir. Kayma gerilmesinin kayma hızına oranına eşittir ve birimi Pa.s.dir (McClements, 1999). Bu değerler reometre kullanılarak ölçülmektedir. Reometre ölçümünün yapıldığı bir kap ve kayma gerilmesinin ölçülmesini sağlayan bir rostan oluşmaktadır. Belli bir kayma hızında dönen rotun yüzeyinde bir tork değeri oluşmaktadır. Kayma gerilimi bu tork değeri ile orantılıdır ve bu şekilde kayma gerilimi hesaplanmaktadır (Macosko, 1994).

Viskozite Newton tipi akışkanlar için η , Newton tipi olmayan akışkanlar için kayma hızına bağlı olduğunun belirtilmesi amacıyla η_a (görünen viskozite) şeklinde gösterilmektedir. Görünen viskozite kullanılırken kayma hızının belirtilmesi gerekmektedir (Steffe, 1992).

2.2.2. Akışkanların reolojik özelliklerine göre sınıflandırılması

Reolojik davranışların sınıflandırılması kayma hızı ve zamana bağlı olarak yapılmaktadır (Şekil 2.2.). Akış davranışları genel olarak Newton ve Newton olmayan olarak ikiye ayrılmakta, Newton olmayan akış davranışı ise, zamana bağımlı ve zamandan bağımsız olarak ikiye ayrılmaktadır. Zamandan bağımsız akış

davranışları Bingham plastik, sanki-plastik (pseudoplastik), kabaran (dilatant) ve plastik (Herschel-Bulkey) zamana bağlı olanlar ise tiksotropik ve reopektiktir.



Şekil 2.2. Değişik akışkanların reolojik davranışları (Bourne, 2002)

2.2.2.1. Newton tipi akışkanlar

Newton tipi akışkanlarda, kayma hızı kayma gerilmesi ile doğru orantılıdır ve orijinden geçmektedir (Şekil 2.2). Viskozite değeri sabit ve kayma hızından bağımsızdır ($\tau/\gamma = \eta$). En basit akışkan türüdür. Newton tipi akışkanlar düşük molekül ağırlığına sahip bileşenler içerirler, çözünmeyen katı veya yüksek oranda çözülmüş polimer içermemektedirler. Newton tipi akışkanlara gıdalardan örnek olarak su, şeker şurupları, bal ve süt verilebilmektedir. Newton tipi dışındaki bütün diğer akışkanlar Newton tipi olmayan akışkan türü olarak adlandırılmaktadır (Bourne, 2002).

2.2.2.2. Newton tipi olmayan akışkanlar

2.2.2.2.1. Bingham plastik akışkanlar

Bingham plastik akış davranışına sahip maddelerin, akışa başlayabilmeleri için belli bir eşik stresin üzerinde kuvvet uygulanması gerekmektedir (Şekil 2.2)

(Rao, 1999a). Bu değere akma gerilmesi denmektedir. Akma gerilmesi maddenin deformasyona uğraması için gerekli en düşük stres değeridir (Barnes, 1999). Akma gerilmesinin üzerindeki gerilmelerde kayma hızı ile kayma gerilmesi doğru orantılıdır. Bu tür reolojik davranış gösteren gıdalar arasında ketçap, mayonez, çırpılmış yumurta ve margarin sayılabilir (Rao, 1999a).

2.2.2.2.2. Sanki-plastik (pseudoplastic) akışkanlar

Sanki-plastik akışkanlarda, kayma hızı arttıkça viskozite azalmaktadır (Şekil 2.2). Bunun nedenin stresin uygulanması sırasında oluşan hidrodinamik kuvvetlerin maddenin iç yapısını değiştirmesi olduğu düşünülmektedir. Çoğu Newton tipi olmayan gıda sanki-plastik davranış göstermektedir (Mclements, 1999).

2.2.2.2.3. Kabaran (dilatant) akışkanlar

Kabaran akışkanlarda kayma hızı arttıkça viskozite artmaktadır (Şekil 2.2). Bu tür akış kısmi jelatinize edilmiş nişasta çözeltilerinde rastlanmaktadır. Bu tür davranışa, uygulanan stres sırasında yeni yapısal bölümlerin oluşmasının neden olduğu düşünülmektedir (Rao, 1999a).

2.2.2.2.4. Plastik (Herschel-Bulkley) akışkanlar

Plastik akışkanlar, Ningham plastikleri gibi akma gerilmesi değerine sahiptirler, kayma hızı arttıkça viskozite azalmakta ve sanki-plastik davranış göstermektedirler (Şekil 2.2). Bu akışkan tipi Herschel-Bulkley akışkan tipi olarak da adlandırılır. Plastik akışkanların akış özelliğine örnek olarak erimiş çikolata verilebilmektedir (Ak, 1997) .

2.2.2.2.5. Tikotropik

Sabit kayma hızında deformasyon uygulanan bazı akışkanlarda kayma gerilmesi zamanla azalır. Zamanla incelen bu akışkanlar tikotropik akışkanlar olarak adlandırılır. Mikroyapı içerisindeki partiküller birbirlerine gevşek bağlar ile bağlı olup, bu bağlar stres uygulama veya sallama ile kolaylıkla koparılabilen ve belli

bir bekleme süresi ile yeniden eski hallerini alabilmektedirler. Mikro yapıdaki yapısal değişiklikler, akış esnasında yıkıcı ve yapıcı güçler arasındaki rekabet sonucu oluşmaktadır (Rao, 1999a). Akış sırasında birçok hidrodinamik kuvvet partiküller arasındaki zayıf bağların kırılmasına ve mikroyapının küçülmesine sebep olurken, akış içersindeki çarpışma ve Brownian hareketi birleştirici etki yapmaktadır. Dağılmış faz olarak küresel olmayan ve ince partiküller içeren çözeltilerde tiksotropik davranışa daha sık rastlanmaktadır (Barnes, 1997).

2.2.2.2.6. Reopektik

Sabit kayma hızında deformasyon uygulandığında zamana bağlı olarak kayma gerilmesinde artış gözlenen akışkanlar reopektik olarak adlandırılır. Deformasyon mikroyapıda kırılmaya sebep olmaktan çok partiküllerin birleşmelerine kümelenmelerine sebep olmaktadır. Bu partiküllerin birleşmeleri ve kümelenmeleri sonucu geçici yeni yapılar oluşmakta ve bunun sonucunda sabit deformasyonu sağlayabilmek için zamanla kayma gerilmesinde artışa sebep olmaktadır (Barnes, 1997).

2.2.3. Çikolatanın reolojik özellikleri

Çikolata yağ fazı içinde kakao ve şeker partiküllerinin oluşturduğu kolloidal süspansiyondur. Bu nedenle partiküllerin çok yoğun halde olmasından dolayı süspansiyonun akış özelliklerini asılı haldeki partiküllerin yüzey özelliklerine bağlı olarak birbirleri arasındaki etkileşim belirlemektedir. Bu partiküller siyah çikolatada kakao ve sükroz partikülleridir. Sütlü çikolatada bu partiküllere süt proteini, süt şekeri ve mineraller eklenmektedir (Chevalley, 1974). Erimiş çikolata içerdiği partiküllerden dolayı Newton tipi olmayan bir akışkan davranışı sergiler. Çikolata da, akışın başlaması için akma gerilmesi olarak adlandırılan belli bir eşik kuvvetinin aşılması gerekmektedir. Çikolata bu akma gerilmesinden sonra sanki-plastik akış özelliği göstermektedir; kayma hızı arttıkça viskozitenin azaldığı gözlemlenmektedir. Sonuç olarak çikolata plastik akışkan özelliği göstermektedir (Chevalley, 1999).

2.2.4. Çikolata yapısında koloidal etkileşim ve etki eden kuvvetler

Koloidal sistemler çok küçük partiküllerin ($10^{-2}\mu\text{m} - 1 \mu\text{m}$) devamlı fazı oluşturduğu süspansiyonlardır (Conside, 1983). Bu açıdan çikolata yağ fazı içinde kakao ve sükröz partiküllerinin oluşturduğu koloidal bir süspansiyondur. Bu nedenle çikolatanın iç yapısına bir çok koloidal kuvvet etki etmektedir. Koloidal kuvvetlerin etkisi partiküller yan yana veya çok yakın iken artmaktadır. Bir çok tipte partikül-partikül etkileşim kuvveti bulunmaktadır (Garbolino, 2002). Bunlar aşağıda özetlenmiştir:

2.2.4.1. Van der Waals kuvvetler

Van der Waals kuvvetleri genel olarak komşu moleküllerin yarattığı elektrik alan sonucu moleküllerin indüklenmesi veya sürekli polarite; veya çekirdek etrafındaki elektronların pozisyonlarından dolayı anlık dipol oluşumu gibi molekül düzeyindeki etkileşimler sonucunda oluşmaktadır. Üç tip Van der Waals etkileşimi bulunmaktadır: *Keesom etkileşim*, iki sürekli dipol molekül arasındaki etkileşim; *Debye etkileşimi*, sürekli dipol ve indüklenmiş dipol arasındaki etkileşim; *London etkileşimi*, iki indüklenmiş dipol arasındaki etkileşim. Van der Waals kuvvetleri her zaman çekim kuvvetleridir, sadece bazı heterojen karışımlar içindeki london etkileşimi itici kuvvettir. Van der Waals kuvvetlerinin etkisi koloidal partiküller gibi makro moleküllerin etkileşimi sırasında oldukça yüksektir (Hiemenz ve Rajagopalan, 1997).

2.2.4.2. Elektrostatik etkileşim

Elektrostatik etkileşim, maddenin yüzeyinin polar bir ortam ile etkileşmesi sonucu yüzeyde oluşan elektriksel yüklerden dolayı meydana gelmektedir. Yüzeydeki yükler, onu çevreleyen çözültideki iyon ve moleküllerin dağılımından etkilenmektedir. Bu da karmaşık çift elektriksel tabakalarına yol açar. Bu kuvvetler bir çok yüzeysel kuvvetten daha güçlüdür. Bu etkileşimler daha çok yüksek dielektrik katsayısına sahip sıvılarda dağılmış partiküllerde gözlenmektedir (Garbolino, 2002).

2.2.4.3. Çözünme ve hidrofobik kuvvetleri

Çözünme ve hidrofobik kuvvetler çok kısa bir süre için etki eden fakat oldukça güçlü olabilen kuvvetlerdir. Çözeltideki moleküller, iki yüzey arasındaki uzaklık azaldığında kendilerini yeniden düzenlemekte ve uygun olmayan şekildeki molekül paketlenmesi, partiküller arasında itici bir güç oluşturmaktadır. Bu kuvvetler yüzey yassı iken daha çok etki etmektedir. Yüzey pürüzlü ise yapısal kuvvetlerin etkisi azalmaktadır. Hidrofobik çekici kuvvetler, hidrofobik yüzey polar bir çözücü ile karşılaşıncaya ortaya çıkmaktadır (Garbolino, 2002)

2.2.4.4. Sterik kuvvetler

Sterik kuvvetler polimer molekülerinin üst üste gelen partiküller tarafından adsorbe edilmesi sonucu oluşmaktadır. Polimerin bir yarısı partikül yüzeyine adsorbe olmakta diğer yanı ise ortam içinde kalıp kümelenmeye karşı engel oluşturmaktadır (Garbolino, 2002).

2.2.5. Çikolatanın reolojik davranışı için önerilen matematiksel modeller

Çikolata için literatürde bir çok matematiksel ve yapısal model önerilmiştir. Casson, Bingham, Genişletilmiş model, Herschel-Bulkley modeli, Elson'ın önerdiği model, Prentice'in önerdiği yapısal model Tablo 2.5. de gösterilmiştir. Bu modeller arasında çikolata için genel olarak kabul gören model Casson modelidir (Chevalley, 1999).

Tablo 2.5. Çikolatanın reolojik davranışı için önerilen matematiksel modeller

Önerilen Modelin Adı	Model	Modelin önerilme nedeni ve ilgili bilgiler
Casson	$\sqrt{\tau} = k_0 + k_1 \sqrt{\gamma} \quad (1)$ <p>τ : Kayma gerilmesi γ : Kayma hızı $\sqrt{k_0}$: Casson akma gerilmesinin $\sqrt{k_1}$: Casson viskozite</p>	Casson'ın boyalar için geliştirdiği model steiner tarafından çikolata için önerilmiştir. Önerilmesinin nedeni bu modeli kullanarak kayma gerilmesi ve kayma hızı arasında lineer bir ilişki elde edilebilmesi olmuştur. Ayrıca bu model sayesinde iki parametre kullanılarak çikolatanın özelliklerini aktarmak mümkün olmaktadır (Bouzas ve Brown, 1995).

Tablo 2.5. Çikolatanın reolojik davranışı için önerilen matematiksel modeller (devamı)

Önerilen Modelin Adı	Model	Modelin önerilme nedeni ve ilgili bilgiler
Bingham	$n_{pl} \dot{\gamma} = \tau - \tau_0$ (2) n_{pl} : plastik viskozite τ_0 : akma gerilmesi	<p>Çikolatanın erimiş halde akma gerilmesine sahip olması, basit olarak bingham modeline yakın davranış göstermesinden dolayı önerilmiştir.</p> <p>(Tscheuschner ve Wünsche, 1979)</p>
Herschel-Bulkley	$\tau = \tau_0 + n_{pl} (\dot{\gamma})^m$ (3) n_{pl} : plastik viskozite τ_0 : akma gerilmesi m : akış indeksi	<p>Erimiş çikolata, domates püresi ve konsantre meyve suyu için power-law ilişkisinin kullanılmasını önermiştir (Chevalley, 1999).</p>
Genişletilmiş model	$\tau^m = K_0 + K_1 \dot{\gamma}^m$ (4) K_0 : akma gerilmesi K_1 : viskozite m : akış indeksi Optimum m değeri düşük ve yüksek kayma hızı değerlerinde alınan plastik viskozite ve akma gerilmesi değerleri karşılaştırılarak hesaplanmaktadır.	<p>Genel olarak kakao yağı ve sükröz süspansiyonlarının kakao kütlelerinin ve sütlü çikolatanın modellenmesinde Casson modeli yeterli olamamasından dolayı önerilmiştir. Denklemden $m=1$ Bingham, $m=2/3$ Heinz, $m=0.5$ ise Casson modellerini vermektedir. (Chevalley, 1999).</p>
Elson'ın önerdiği model	$\tau - \tau_0 = n_{pl} \dot{\gamma} + B \sin h^{-1}$ (5) B : düşük kayma hızındaki akış grafiğinin eğriliğinin ölçüsüdür. Elson (τ_0 , n_{pl} ve B) 3 maddesel parametre içeren bir denklem önermiştir. Müller tarafından düzenlenmiştir	<p>Denklemden bulunan sabit sayıların hesaplanması karmaşık olarak görülmekte rutin kullanım açısından uygun görülmemektedir (Chevalley, 1999).</p>
Prentice'in önerdiği yapısal model	$\eta / \eta_0 = 1 + 2.5 \phi$ (6) η = süspansiyonun viskozitesi η_0 =saf sıvının viskozitesi ϕ = katı hacim fraksiyonu	<p>Prentice'e göre asılı partiküller devamlı fazın akış yolunu bozarak akışkanın akışını etkileyebilmektedir. Asılı partiküller diğer partiküllerle adhezyon ve sürtünme kuvvetleri ile de akışı etkileyebilmektedir. Bu etkinin hidrodinamik bir etki olduğu kabul edilmiştir. Hidrodinamik etki ard arda partiküllerin kayma hızları arasındaki lokal hız gradyeni ile uygulanan hız gradyeni arasındaki etkileşimden dolayı oluşmaktadır. Bu konuda Einstein da çalışmalarda bulunmuş ve çok düşük oranda asılı partikülün bile süspansiyonun viskozitesini arttırdığını göstermiştir. Viskozite artışının katı maddelerinin sıvı ortamdaki rotasyonunda kaybolan enerji ile bağımlı olduğunu göstermiştir. (Bouzas ve Brown, 1995)</p>

2.2.5.1. Casson modeli

Casson modeli akma gerilmesine sahip Newton tipi olmayan akışkan özelliğini oldukça iyi bir şekilde tanımlayabilmektedir. Bu model ilk olarak silindirik partiküller için geliştirilmiş olmasına rağmen partikül tiplerine bakılmaksızın birçok plastik akışkanların reolojik özelliklerini ifade edebilmektedir (Joye, 2003). Casson boyaların akış özelliğini yağ içindeki asılı halde partiküllerin belirlediğini öne sürmüştür. Bu partiküller, aralarında oluşan çekici ve itici kuvvetler sayesinde kümelenmektedir. Bu kümelenmeler kayma gerilmesi ile büyük oranlarda parçalanmaktadır (Casson, 1957). Kayma hızı yeterince yüksek olduğunda bu kümeler tamamen ayrı partiküllere ayrılmaktadır. Bu tanımın matematiksel olarak modellenmesi amacıyla, bu kümelenmeler boyları kayma hızı ile doğru orantılı dönen çubuklara benzetilmiştir (Bouzas ve Brown, 1995). Bu kabuller sonucunda Casson denklemi aşağıdaki gibi oluşmuştur:

$$\sqrt{\tau} = k_0 + k_1 \sqrt{\gamma} \quad (1)$$

τ : Kayma gerilmesi

γ : Kayma hızı

k_0 : Casson akma gerilmesinin kökü

k_1 : Casson viskozitenin kökü

Steiner(1958) Casson'ın matematiksel ifadesine göre çikolatanın kayma gerilmesi ile kayma hızı arasında ilişkinin lineer olduğunu fark etmiş ve bu modelin kullanılmasını önermiştir. Casson denklemi 1972 yılında Uluslararası Kakao Çikolata ve Şekerleme Ofisi(IOCCC) tarafından çikolatanın reolojik özelliklerinin ölçümünde standart model olarak benimsemiştir (Steiner, 1972). Ayrıca Ulusal Şekerleme Birliği(NCA) ve Şekerleme Üreticileri Birliği (CMA) Casson denklemi ile reolojik ölçümler yapılabileceğini kabul etmiştir (Bouzas ve Brown, 1995). Yapılan çalışmalar sonucunda Casson denklemi ile elde edilen eğri ile çikolatada ölçülen akış eğrisi arasında farklılıklar gözlenmiştir (Heinman ve Fincke, 1962). Casson denkleminin siyah çikolatanın davranışı yeterli bir şekilde tanımladığını fakat sütlü

çikolatada problemlerle karşılaşıldığını belirtmiştir (Chevalley, 1999). Steiner Casson denkleminin 2 s^{-1} kayma hızı altında akışları tanımlamadığını belirtmektedir (Steiner, 1972). Hem IOCCC hem NCA/CMA Casson'ın $5 - 60 \text{ s}^{-1}$ aralığında kullanılmasını önermektedir (Bouzas ve Brown, 1995).

Yapılan diğer bir çalışmada düşük akma gerilmesine sahip (1.0-2.5 Ps) çikolataların yatay levhadan aşağı akışını Casson denklemi iyi bir şekilde tanımladığı belirtilmiştir. Fakat yüksek akma gerilmesine sahip çikolataların (9.0-23.0 Pa) düşey levhadan akışı Casson denklemine göre farklı çıkmakta, yatay yüzeyde kayma gerçekleşmektedir. Kayma oluşmasının nedeni partiküllerin duvardan uzaklaşmasıdır. Bunun sonucunda duvar üzerinde normal çikolata kütlesine oranla daha fazla yağ oranı içeren ince bir film tabakası oluşmaktadır. Bu film tabakası çikolata kütlesine göre akmaya daha az direnç göstermektedir (Bouzas ve Brown, 1995).

Yapılan diğer bir çalışmada çok koyu çikolatalarda 1 s^{-1} kayma hızı altında yapılan ölçümler ile IOCCC nin kabul ettiği $5-60 \text{ s}^{-1}$ karşılaştırıldığında IOCCC metodunun 10 kat daha büyük akma gerilmesi değeri verdiği gözlenmektedir. Aynı deneme koyu olmayan çikolatalar için ölçülen değer IOCCC nin kabul ettiği aralıkta ölçülen değerle karşılaştırıldığında ikincisinin üç kat daha yüksek olduğu gözlenmiştir (Bouzas ve Brown, 1995).

2.2.5.2. Bingham modeli

Çikolatanın erimiş halde akma gerilmesine sahip olmasından dolayı bingham modeli çikolata için önerilmiştir (Tscheuschner ve Wünsche, 1979). Akma gerilmesi üzerinde model doğrusaldır.

$$n_{pl} \dot{\gamma} = \tau - \tau_0 \quad (2)$$

n_{pl} : plastik viskozite

τ_0 : akma gerilmesi

2.2.5.3. Herschel-Bulkley modeli

Chevalley (1975), erimiş çikolatanın modellenmesinde Herschel-Bulkley modelinin kullanılabileceğini belirtmiştir. Bu modelde 3 parametrelidir : n_{pl} , τ_0 , m .

$$\tau = \tau_0 + n_{pl} (\dot{\gamma})^m \quad (3)$$

n_{pl} : plastik viskozite

τ_0 : akma gerilmesi

m : akış indeksi

Bu modelde m (akış indeksi) değeri $m=1$ için ideal bingham plastiği tipi davranış, $m<1$ için plastik tipi davranış, $m>1$ için ise kabaran plastik tipi davranış göstermektedir (Chevalley, 1975).

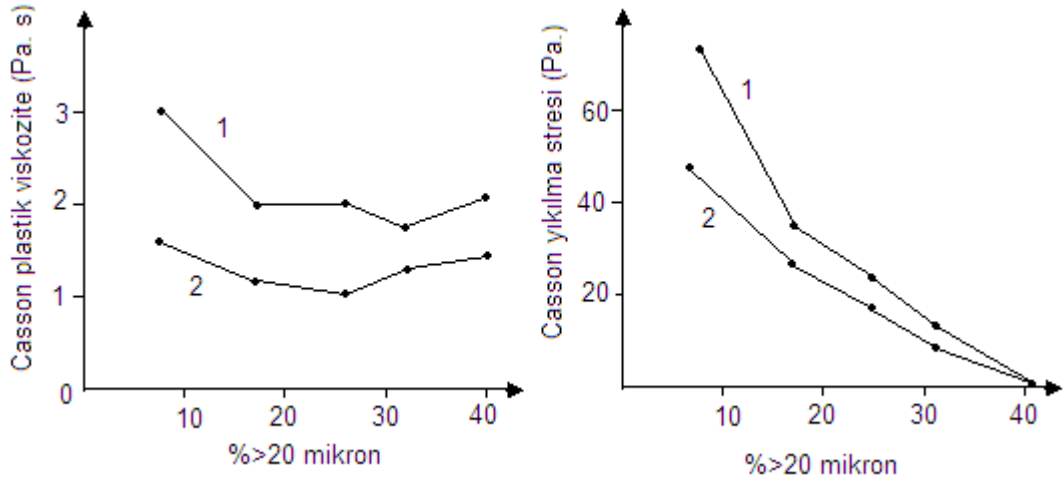
2.2.6. Çikolatanın akış özelliklerini etkileyen faktörler

2.2.6.1. Partikül boyutu ve partikül boyut dağılımı

a) Partikül boyutu

Siyah çikolata, yağ fazı içerisindeki kakao ve sükröz partiküllerin süspansiyonudur. Akışkanlığın daha iyi sağlanabilmesi açısından bütün partiküllerin ince yağ tabakası ile kaplanması gerekmektedir. Partikül boyutu azaldıkça, yağ tarafından kaplanması gereken partikül yüzey alanı artmakta ve viskozite artmaktadır (Chevalley, 1999).

Yapılan bir çalışmada %0.25 lesitin ve %30 ve %32 yağ oranları içeren iki ayrı tipte, farklı partikül boyutlarında sütlü çikolata örnekleri kullanılmıştır. Yapılan ölçümler sonrasında çikolatadaki 20 μm 'den büyük partiküllerin oranı ile Casson parametreleri arasında bir ilişki kurulmuştur. 20 μm 'nin üzerindeki partiküllerin oranı arttıkça Casson akma gerilmesi, Casson viskozite değerine göre daha hızlı bir şekilde azalmaktadır (Şekil 2.3.). Bunun nedeni partikül boyutunun azalması sonucu partiküller arası bağların ve sürtünme miktarının artması olarak açıklanmaktadır (Chevalley, 1999).



Şekil 2.3. Partikül boyut inceliğinin %0.25 lesitin içeren iki ayrı sütlü çikolatadaki Casson parametrelerine etkisi: (1) %30 yağ oranı içermekte, (2) %32 oranında yağ içermektedir (Chevalley, 1999).

Yapılan diğer bir çalışmada yüzey alanı daha geniş olan çikolataların aynı viskozite değeri için daha büyük akma gerilmesine sahip oldukları gözlenmiştir (Bouzas ve Brown, 1995). Casson viskozite değerinde ise belli bir minimum değere ulaşıldıktan sonra tekrar bir artış gözlenmektedir. Kakao partiküllerinin kırılması sonucu elde edilmiş yağın, daha büyük partiküller içeren çikolatada açığa çıkmaması sonucu viskozitenin arttığı düşünülmektedir (Chevalley, 1999).

Katı partikülleri oluşturan sükroz ve kakao partiküllerin partikül boyutları çikolatanın reolojisi açısından oldukça önemlidir. Fakat sükroz ve kakao partiküllerinin boyut değişiminin reolojiye etkisi aynı olmamaktadır (Bouzas ve Brown, 1995). Sükroz partikülleri katı hacmin % 70'ini oluşturmaktadır ve partikül yüzey alanı açısından önemli bir etkiye sahiptir. Sükroz partiküllerinin partikül boyutunun azalması yüzey alanının artmasından dolayı viskoziteyi arttırmaktadır. Özellikle 10 μ altındaki küçük sükroz partiküllerinin yüzey alanını çok arttırması sonucu reolojik özellikleri olumsuz yönde etkilediği gözlemlenmiştir. Kakao partiküllerinin kırılmasının, açığa ek olarak kakao yağ çıkarmasından dolayı, hem viskoziteyi azaltma hem de yükseltme yönünde etkisi olmaktadır. Kakao partiküllerinin 15 ila 20 μ düzeyine kırılması, içersindeki kakao yağının açığa çıkması

için yeterli olmaktadır. Bunun üzerinde yapılan kırma işleminin yüzey alanını arttırmamasından ve açığa çıkan yağın kakao partikülleri tarafından tekrar emilmesine sebep olmasından dolayı reolojik açıdan bir önemi bulunmamaktadır (Chevalley, 1999).

Tscheuschner ve Wünsche'nin (1979) bu konuyla ilgili olarak yaptığı bir çalışmada sükroz ve kakao partiküllerin partikül boyutlarının çikolatanın reolojisini farklı şekillerde etkilediği düşünülerek kakao partikül boyut ortalaması ile sükroz partikül boyut ortalaması için ayrı ayrı gruplar oluşturulmuştur. Sükroz partikülleri 35-18 μ aralığında beş, kakao partikülleri ise 15-10 μ aralığında altı gruba ayrılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda Casson viskozite (η_{CA}) ve Casson akma gerilmesi (τ_{CA})'nin direkt olarak partikül boyutu ve partikül boyut dağılımı ile ilişkili olduğu ortaya çıkmıştır. Kakao partiküllerin boyutları düştükçe viskozitenin azaldığı gözlenmiştir. Bunun nedeni kakao tanelerinin içerdiği yağın açığa çıkması olarak açıklanmaktadır. Açığa çıkan yağ, partikül boyutunun küçülmesinden dolayı ortaya çıkan sürtünmeyi yenerek viskozitenin düşmesine sebep olmaktadır. Kaba sükroz partiküllerinin viskozite üzerindeki etkisi küçük partiküllere oranla oldukça az olduğu gözlenmiştir.

Viskozitenin en düşük olduğu çikolata, en ince kakao ile en kaba sükroz partiküllerin oluşturduğu çikolata örneğinde gözlemlenmiştir. Viskozitenin en yüksek olduğu çikolata ise en kaba kakao partikülü ile en ince sükrozun oluşturduğu çikolata örneğinde gözlemlenmiştir. Kakao ve sükrozun Casson akma gerilmesi (τ_{CA}) 'nin üzerindeki etkileri Casson viskozite (η_{CA}) ile aynıdır. Sükroz partiküllerin boyutları küçüldükçe Casson akma gerilmesi (τ_{CA}) de artmaktadır. Kakao partiküllerinin boyutunun değişmesi hem açığa çıkan yağ oranını hem de partikül yüzey alanını etkilemesinden dolayı Casson akma gerilmesi (τ_{CA}) üzerindeki etkisi homojen değildir, bu yüzden belli aralıklar arasında değerlendirilmelidir (Tscheuschner ve Wünsche, 1979).

Bu konu ile ilgili yapılan diğer bir araştırmada sükroz-kakao yağı ve kakao yağı- kakao kütlesi sistemleri kullanılarak partikül boyut etkisi incelenmiştir. Sükroz-kakao yağı sistemi için partikül boyutu azaldıkça viskozite azalmıştır. Kakao yağı-kakao kütlesi sistemi için ise bu olayın tersi gerçekleşmiştir. İnceltelen kakao

kütlesinden ek yağ hücreleri oluşmakta ve bu da devamlı fazı arttırarak viskoziteyi düşürmektedir (Chevalley, 1974).

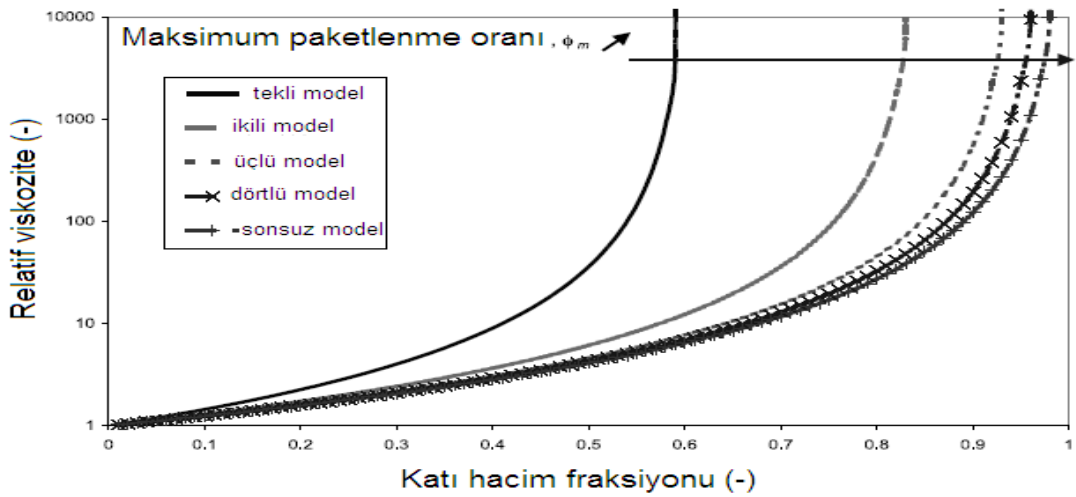
Sütlü çikolataların aynı yüzey alanı ve aynı viskozite değerinde normal çikolatalara göre akma gerilmesinin daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. Bunu sütlü çikolatanın içindeki partiküllerin karşılıklı çekimleri sonucu oluşan kümelenmeler ile açıklamış ve akma gerilmesini aşan bir kayma gerilmesi uygulandığında bu gruplar kırılması sonucu akışın başladığını belirtmiştir. Uygulanması gereken kuvvet, oluşan partikül gruplarının boyu, yüzeylerinin kayganlığı ve yüzey alanı ile değişmektedir (Bouzas ve Brown, 1995).

b)Partikül boyut dağılımı

Küçük partiküllerin yüzey alanını arttırması çikolatanın akışkanlığını azaltmaktadır. Fakat küçük partiküller aynı zamanda büyük partiküller arasındaki boşlukları doldurarak devamlı faz gibi davranmakta ve partiküller arasındaki direnci azaltmaktadır. Bundan dolayı çok küçük partiküllerden başlayıp çok büyük partiküllere kadar geniş bir dağılım elde edilebilirse minimum kayma gerilmesi oluşacak şekilde akış elde etmek mümkün olmaktadır (Servais ve diğ., 2002). Sadler ve Sim (1991) çimento, kömür, çamur, ve boya gibi kimyasal endüstri kullanılan maddeler için partikül dağılım araştırmaları yapmışlardır. Yapılan çalışmalar sonunda aynı partikül hacmine sahip süspansiyonlardan, geniş partikül dağılımı olan süspansiyonların viskozitesinin daha düşük olduğu gözlenmektedir. Bunun nedenin partiküller arasındaki boşluğun çok iyi bir şekilde küçük partiküller tarafından doldurulmasıdır (Bouzas ve Brown, 1995). Süspansiyon içerisindeki katı partiküller maksimum paketlenme oranı (Φ_m) olarak adlandırılan bir değer ile sınırlıdır. Maksimum paketlenme oranı bir süspansiyonun hareketliliğini kaybettiği andaki katı hacim fraksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Maksimum paketlenme oranı, partikül aralarındaki boşlukları doldurabilecek boyutta partiküllerin eklenmesi ile arttırılabilmektedir. Partikül dağılımındaki boşlukların doldurulması sonucu belli hacimdeki katı hacim artmakta, ayrıca devamlı faz tarafından doldurulması gereken hacim azalmaktadır. Bu yaklaşımla partiküller arasındaki boşlukların azaltılması büyük ve küçük partiküllerin partikül boyutlarının ve hacim fraksiyonlarının birbirine oranları ile ilişkilidir. Maksimum paketlenme oranındaki artışla, aynı

partikül hacmi için daha düşük viskozite elde edilebilmekte veya aynı viskozite değeri için daha büyük partikül hacim oranı elde edilebilmektedir (Mongia, 1997).

Yapılan bir çalışmada değişik partikül boyut dağılımı modelleri kullanarak aynı viskozite değeri için çok daha yüksek katı hacim fraksiyonuna sahip süspansiyonlar elde etmiştir (Şekil 2.4.) (Bouzas ve Brown, 1995).. Aynı viskozite değeri için katı hacim fraksiyonundaki en büyük farkı tekli model ile çiftli modele sahip süspansiyonlar arasında elde edilmiştir. Bu fark üçlü, dördü ve sonsuz model kullanılarak elde edilen süspansiyonlar arasında azalmıştır. Bu modeller arasında en büyük katı hacim sonsuz model kullanılarak elde edilmiştir. Ziegler (1994) çikolatada ikili model dağılımının tekli model dağılımına göre daha düşük bir viskoziteye sebep olduğu göstermiştir.



Şekil 2.4. Değişik partikül boyut dağılımı modellerinin reolojiye etkisi (Mongia, 1997)

2.2.6.2. Yağ oranı

Çikolatadaki yağ oranının reolojik özellikler üzerine büyük oranda etkisi vardır. Çikolata üretimde her zaman istenilen reolojik özellikleri sağlayacak en düşük yağ oranı amaçlanmaktadır. Harbard (1956) kakao yağının viskozitesi ile çikolatanın viskozitesini ilişkilendirmek amacıyla aşağıdaki denklemi önermiştir (Tscheuschner ve Wünsche, 1979).

$$\frac{\eta_{\infty}}{\eta_0} = \left(1 + \frac{\phi}{(1-v_d)}\right)^a \quad (8)$$

η_{∞} : kakao yağının viskozitesi

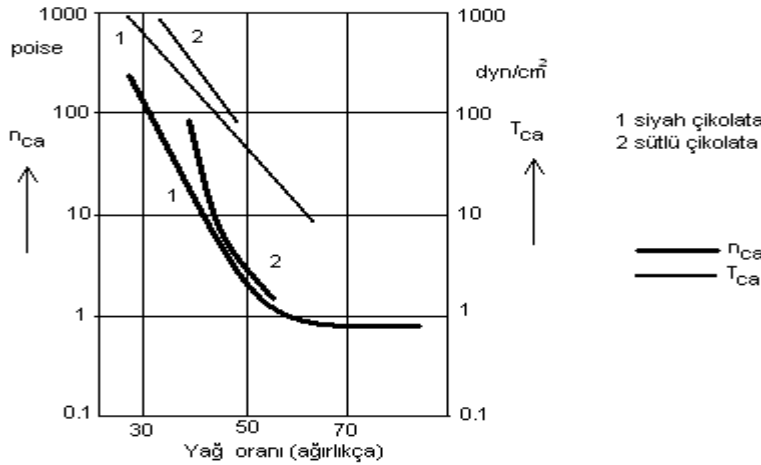
η_0 : erimiş çikolatanın viskozitesi

ϕ : katı hacim fraksiyonu

v_d : yakın paketlenme de aralardaki boşluk

a : 2.1-2.6 arasında bir katsayı

Erimiş çikolatanın viskozitesi ile kakao yağının viskozitesinin birbirine oranının üstsel olarak arttığı belirlenmiştir. Bu katsayı 2.1 -2.6 arasında değişmektedir. Model partiküllerin paket haldeki hacimlerinin, gerçek hacimlerinden daha çok viskoziteyi etkilediğini önermektedir. Heiss ve Bartusch (1957) çikolatanın plastik viskozitesinin yağ oranı ile azaldığı fakat çikolatanın partikül boyut ortalamasının bu değer üzerine etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Fincke (1965) geniş bir yağ oranı aralığı için η_{CA} ve τ_{CA} parametrelerinin nasıl değiştiğini göstermiştir. Logaritmik skala da yağ oranı artarken τ_{CA} linear olarak azalmakta, η_{CA} de ki azalma parabolik olup bir noktada sabitlenmektedir (Şekil 2.5.) (Chevalley, 1999).



Şekil 2.5. Siyah ve sütlü çikolatada yağ oranı değişiminin viskozite ve akma gerilmesine etkisi.

Tscheuschner ve Wünsche(1979) yaptıkları çalışmada Casson vikozaitesi ve Casson akma gerilmesinin kakao yağı ile ilişkisini tanımlamak amacıyla yağ içeriği %32 ila %48 arasında değişen değişik çikolata örneğinden yararlanmışlardır. Bütün örneklerin incelenmesi sonucu η_{CA} ve τ_{CA} deki değişimi daha ilişkilendirmek

amacıyla yağ oranı değişimi, η_{CA} ve τ_{CA} 'in başlangıç yağ oranındaki (η_{CA0} ve τ_{CA0}) değerlerinin oranına karşı çizilmiş ve yapılan denemeler sonucunda yağ oranı (F) ile η_{CA} ve τ_{CA} deki değişimi ile ilgili olarak aşağıdaki denklemleri elde etmişlerdir (Tscheuschner ve Wünsche, 1979) .

$$\eta_{ca}(F) = \frac{0.20 \times 10^9}{F^{5.4}} \times \eta_{ca0} \quad (9)$$

$$\tau_{ca}(F) = \frac{0.32 \times 10^9}{F^{5.7}} \times \tau_{ca0} \quad (10)$$

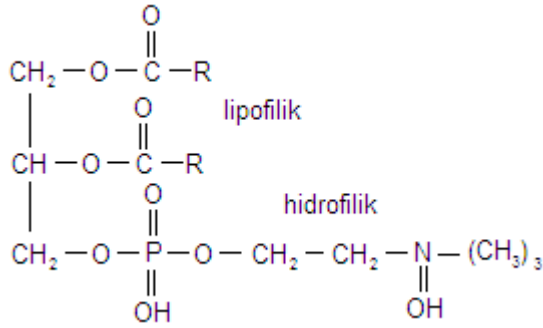
Bu denklemler sayesinde η_{CA} ve τ_{CA} 'in başlangıç yağ oranındaki değerleri ile yağ oranı bilinerek o yağ oranındaki η_{CA} ve τ_{CA} 'in değerleri hesaplanabilmektedir (Tscheuschner ve Wünsche, 1979).

2.2.6.3. Emülgatör oranı

Emülgatörler partiküller arasındaki çekim kuvvetini azaltmak ve sistemi kararlı hale getirmek amacıyla eklenmektedir. Emülgatörler küçük moleküller olup katı-sıvı arayüzüne bağlanmakta ve sistemin katı-sıvı arayüz enerjisini azaltmaktadır (Garbolino, 2002). Çikolatada emülgatör olarak lesitin, modifiye edilmiş lesitin (YN), fosfat monogliserid, gliserol monostreat, poligliserol polirisinolat, sorbitan esterleri, polisorbitatlar, laktik asit ve tartarik asit türevleri, monogliserid asetatlar, sükröz esterleri, propilen glikol monoesterleri kullanılmaktadır (Weyland, 1997). Bu emülgatörlerin ortak özelliği amfifilik olmaları yani hem lipofilik hem de hidrofilik özellik göstermektedirler. Bu özellik genel olarak hidrofilik/lipofilik denge veya HLB değeri olarak gösterilmektedir. Düşük HLB değerine sahip emülgatörler yağa karışı eğilim göstermekte, tam tersine yüksek olanlar ise polar maddeler eğilim göstermektedir (Weyland, 1997). Çikolata devamlı yağ fazı içerisinde dağılmış katı partiküllerin bulunduğu bir süspansiyondur. Çikolatadaki katı partiküller kakao tozu ve sükröz partikülleridir. Emülgatörler bu katı partiküller ile yağ arasında bir arayüz oluşturarak çikolatadaki partiküller arasındaki sürtünmeyi azaltmakta ve partiküllerin hareketliliğini arttırmaktadır (Franke ve dig., 2001).

2.2.6.3.1. Lesitin

Çikolata üretiminde emülgatör olarak genellikle lesitin kullanılmaktadır. Lesitin soya yağından elde edilmektedir (Şekil 2.6.). Lesitin büyük oranda fosfolipid içermektedir (Mahungu, 2002). Fosfolipid hem lipofilik hemde hidrofilik özelliğindedir. Hidrofilik özelliğinden dolayı kendini sükröz yüzeyine veya sükröz yüzeyine tutunan az miktardaki su moleküllerine bağlayabilmekte, aynı zamanda lipofilik özelliğinden dolayı da yağın içinde kalıp ara bir yüzey oluşturarak sürtünmeyi azaltmakta ve hareketliliği arttırmaktadır (Franke ve dig., 2001).



Şekil 2.6. Lesitin kimyasal yapısı (Weyland, 1997)

Lesitin ile ilgili yapılan bir çalışmada, çikolatada %0.5 oranında lesitin kullanılması sonucu sükröz partiküllerinin yüzeyinin %85'ini kaplayabildiği gözlemlenmiştir. Bu oranın altındaki emülgatör oranlarında, lesitinle sükröz partikülleri arasındaki bağlantının azaldığı görülmüş, bu oranın üzerinde ise lesitin hidrofilik bölümünün elektrostatik olarak diğer lesitin moleküllerini çektiği ve çift tabakalı bir yapı oluşturduğu görülmüştür (Bouzas ve Brown, 1995).

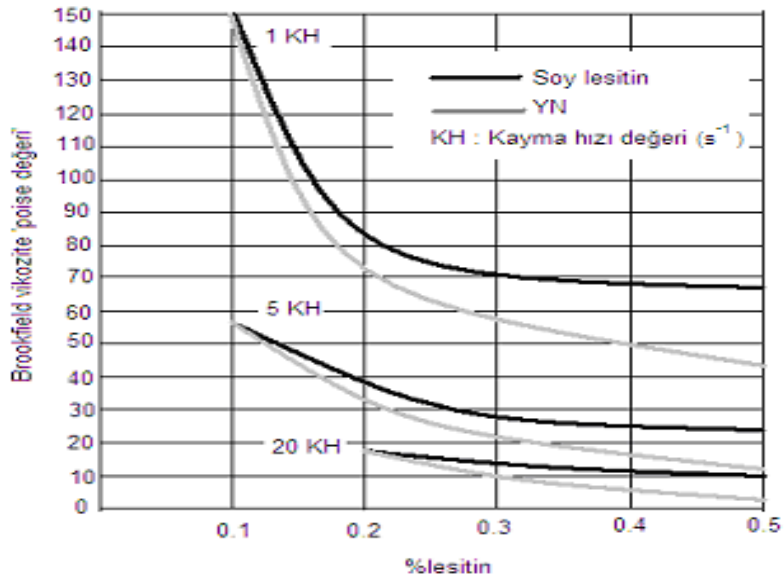
Yapılan bir çalışmada %0.2-%0.5 oranında eklenen lesitin viskozitede yol açtığı düşüşün %3-%8 oranında kakao yağının sebep olduğu düşüşe eşdeğer oranda olduğu görülmüştür. Özellikle lesitin düşük konsantrasyonlarda etkisi oldukça yüksektir. %0.1-%0.3 aralığında eklenen lesitin viskozitede yol açtığı düşüşün, eklenen lesitin miktarının 10 katı kadar kakao yağı ile sağlandığı görülmüştür (Bouzas ve Brown, 1995). Lesitin oranı arttıkça viskozite düşmekte, akma gerilmesi belli bir kritik değere kadar azalmakta fakat daha sonra lesitin miktarı artmaya devam ettikçe bir miktar yükselmekte ve koyulaşma meydana gelmektedir. Bunun

nedeni lesitinin elektrostatik olarak diğer lesitin moleküllerini çekmesinden dolayı koyulaşma olmakta ve akma gerilmesi yükselmektedir. Yapılan diğer bir çalışmada çikolataya veya sükröz/yağ karışımına lesitin eklendiğinde viskozitede belirgin bir düşüş gözlenirken, lesitin kakao/yağ karışımına eklendiğinde viskozitedeki düşüş oldukça az olmaktadır. Sükröz yüzeyinde bulunan su moleküllerinin partiküller arasındaki sürtünmeyi oldukça arttırdığı düşünülmektedir. Lesitinin hidrofilik özelliğinden dolayı kendini hem sükröz yüzeyine hem de sükröz yüzeyindeki su moleküllerine bağlayabilme özelliğinden dolayı çikolatada partiküller arasındaki sürtünmeyi oldukça azalttığı ve esas etkisinin bu olduğu düşünülmektedir. Bu teoriyi desteklemek ve bir miktar lesitinin çikolata partiküllerine sıkı bir şekilde bağlandığını göstermek amacıyla iki ayrı deney yapılmıştır (Minifie, 1989).

İlk olarak yapılan deneyde lesitin içeriği bilinen bir çikolatadaki yağ petroleum eter veya başka bir çözügen yardımıyla ekstrakte edilmektedir. Ekstraksiyon işlemi birkaç defa tekrarlanmasına rağmen ekstrakte edilen yağ içerisinde tüm lesitin geri elde edilememektedir. Bu yolla elde edilen lesitin oranı %70 civarlarında olmaktadır. İkinci olarak sükröz/kakao yağı /lesitin karışımı kullanılarak benzer bir deney yapılmıştır. Oluşturulan karışımın viskozitesi ölçülmüş, daha sonra kakao yağının tamamı petroleum eter yardımıyla ekstrakte edilmiştir. Yağı ekstrakte edilen karışıma aynı miktarda tekrar saf kakao yağı eklenmiş ve karşılaşılan viskozitenin öncekinden çok farklı olmadığı gözlenmiştir. Bu deneyler sonucunda eklenen lesitin sadece bir miktarının viskoziteyi düşürmekte etkisi olduğu gözlenmiştir (Minifie, 1989).

2.2.6.3.2. Sentetik lesitin (YN)

Kısmi olarak sertleştirilmiş kolza yağının, glikoliz, fosforilasyon ve nötralizasyon işlemlerinden geçmesi sonucu elde edilmiştir. YN lesitine göre hem daha kararlı hemde daha etkilidir. Tat olarak tamamen nötrdür. Lesitinden daha etkili ve %0.3 oranının üzerinde viskoziteyi tekrar arttırma etkisi göstermemektedir. Yapılan bir çalışmada soya lesitin ve YN içeren sütlü çikolata örnekleri Brookfield viskozimetresi kullanılarak üç değişik kayma hızında ölçüm alınmış ve soya lesitin ile sentetik lesitin karşılaştırılmıştır (Şekil 2.7.) (Weyland, 1997).

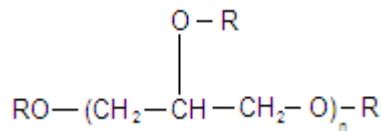


Şekil 2.7. Üç değişik sabit kayma hızı değerinde soya lesitin ve sentetik lesitin (YN) karşılaştırılması (Weyland, 1997).

Yapılan diğer bir karşılaştırmada %0.3 lesitin %0.3 YN ve % 5 kakao yağının çikolataya etkisi incelenmiştir (Weyland, 1997). Sonuç olarak benzer viskozite değerlerine sahip olmalarına rağmen, YN içeren çikolatanın Casson akma gerilmesi değerinin diğerlerin oranla daha düşük çıktığı gözlenmiştir (Chevalley, 1974).

2.2.6.3.3. Poligliserol poliricinoleat (PGPR)

Çikolata üretiminde sık kullanılan diğer bir emülgatör ise poligliserol poliricinoleate (PGPR)dır. Kondense castor yağı ile poligliserolün kısmi esterlenmesi sonucu hazırlanmaktadır (Şekil 2.8). PGPR lesitinden farklı olarak daha akışkan ve kokusuzdur (Weyland, 1997).

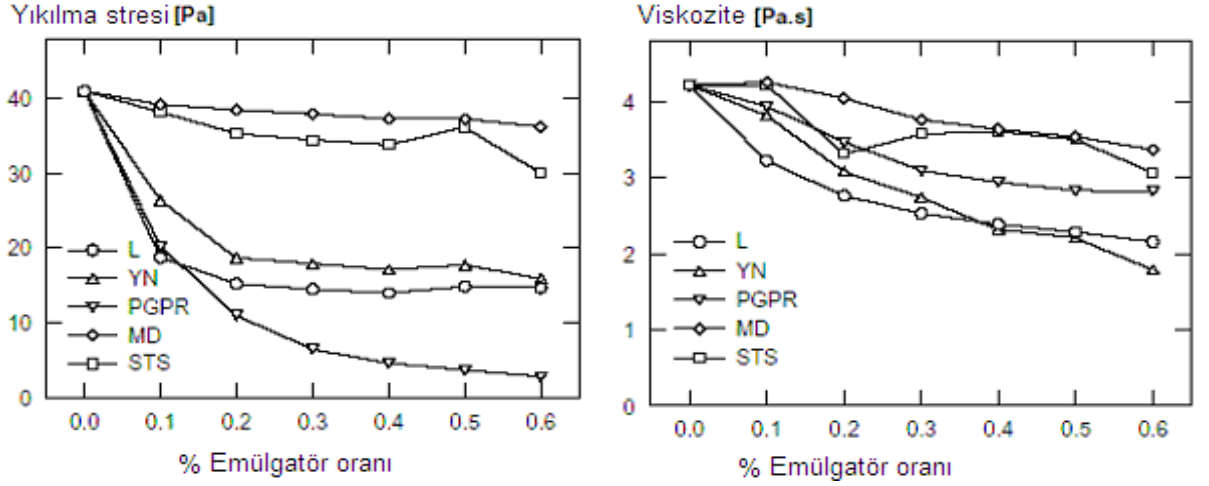


Şekil 2.8. PGPR'ın kimyasal yapısı (Weyland, 1997).

PGPR'nin çikolatadaki etkisi lesitinin çikolatadaki etkisi ile karşılaştırıldığında PGPR'nin lesitine göre akma gerilmesini oldukça düşürdüğü fakat viskoziteye etkisinin lesitinden daha az olduğu gözlenmiştir. PGPR genel olarak akma gerilmesini düşürme açısından etkili bir üründür ve miktar arttıkka koyulaşmaya neden olmamaktadır. Yapılan bir çalışmada PGPR ve lesitin belli oranlarda karıştırılarak hem siyah hem sütlü çikolataya eklenmiş ve ortak etkileri incelenmiştir. Siyah ve sütlü çikolatanın yapılarının farklı olmasına rağmen, genel olarak akma gerilmesinde ve viskozitede karışımın benzer etkiler gösterdiği gözlenmiştir. Emülgatör karışımının çikolata içindeki konsantrasyonuna bakılmaksızın, hem sütlü hemde siyah çikolatada minimum akma gerilmesi %70 PGPR: %30 lesitin oranında elde edilmiştir. Sütlü ikolatada %70 PGPR: %30 oranında emülgatör karışımı 4g/kg oranında eklendiğinde, saf 4 g/kg lesitin ile edilen viskozitenin, %20 oranında daha yüksek viskoziteye sebep olmaktadır. Minimum viskozite siyah çikolata da %50 lesitin : %50 PGPR oranında, sütlü çikolatada %75 lesitin: %25 PGPR oranında elde edilmiştir. PGPR'nin akma gerilmesini düşürmesi çikolatanın düşük sıcaklıklarda işlenmesini kolaylaştırmaktadır, özellikle kalıplama esnasında hava kabarcıklarının uzaklaştırılmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca çok ince kaplamaya da olanak sağlayarak çikolata ürünlerinde hammadde maliyetini azaltmaktadır. (Schantz ve Rohm, 2004).

2.2.6.3.4. Diğer emülgatörler

Çikolata retiminde lesitin ve PGPR dışında çikolatada mono ve digliserid , sükroz esterleri, kalsiyum stearoil laktoil laktat, sorbitan tristearat kullanılmaktadır. Yapılan bir çalışmada değişik oranlardaki değişik emülgatörlerin (lesitin (L), amonyum fosfatid (YN), poligliserol polirisinoleat (PGPR), sorbitan triserat (STS), mono ve digliseridler (MD)) viskozite ve akma gerilmesine üzerine etkileri karışılaştırılmıştır. (Schantz ve dig., 2004).



Şekil 2.9. Değişik orandaki emülgatörlerin viskozite ve akma gerilmesine etkisi, (L) lesitin, (YN) amonyum fosfatid, (PGPR) poligliserol polirisinoleat, (STS) sorbitan triserat, (MD) mono ve digliseridler (Schantz ve dig., 2004b).

Viskozite açısından, en yüksek düşüş lesitin ve YN eklenmesi sonrasında elde edilmiştir (Şekil 2.9.). Emülgatörlerin %0.4 oranındaki etkileri emülgatör eklenmemiş çikolata ile karşılaştırıldığında, lesitin ve YN'in %40, PGPR'ın %30, MD ve STS'nin ise %10 oranında viskozitede düşüş sağladığı ortaya konmuştur. Bu karşılaştırma akma gerilmesi için yapıldığında, PGPR'ın %90, lesitin ve YN'in %60, STS ve MD'nin ise çok düşük bir oranda düşüş sağladığı görülmüştür.

2.2.6.4. Nem oranı

Çikolataya su eklenmesi çok belirgin bir şekilde viskoziteyi ve akma gerilmesini arttırmaktadır. Çikolataya su girişi kakao kütlesi ve süt tozu ile olmaktadır. Daha sonra bu katkılara bağlı olan su kırma işleminde açığa çıkarak, sükröz yüzeyinde şurup tabakaları oluşumuna sebep olmaktadır (Bouzas ve Brown, 1995). Bu şartlar altında partiküller yüzey alanını ve sistemin toplam arayüz enerjisini azaltmak amacıyla kümelenme eğilimindedirler. Bu durum büyük kümelenmelerin oluşmasına, dolayısıyla çikolatanın reolojik özelliklerini dokusunu, kalıplama davranışını etkilemektedir. Çok düşük nem oranı bile öğütülmüş çikolata kümelenmelere neden olabilmektedir. Konçlama sırasında toz haldeki çikolata yağın açığa çıkmasıyla akışkan bir hal alırken aynı zamanda çikolatanın su içeriği %2 gibi bir orandan %0.5 oranının altına düşürülmeye çalışılmaktadır (Franke ve dig., 2001). Bu konuyla ilgili yapılan bir çalışmada

ağırlıkça %50 sükröz %50 kakao yağı içeren bir karışıma 0.3 oranına kadar su eklenmiştir. Karıştırma işleminden sonra bilyeli değirmen kullanılarak bütün örnekler aynı partikül boyutuna kırılmıştır. Daha sonra oluşan kümelenmelerin dayanıklılığını test etmek amacıyla iki ayrı karıştırma metodu uygulanmıştır. Bu metodlar el ile karıştırma ve ultrasonik ses dalgası ile karıştırmadır ve deneyde sırasıyla hafif muamele ve ağır muamele olarak adlandırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda kırma aşamasında nem oranında %0.1 lik bir değişimin sükröz partiküller arasında çok büyük kümelenmelere yol açtığı gözlemlenmiştir. Muamele tipleri karşılaştırıldığında ağır şekilde muamele edilen numunelerde %0.20 nem oranından sonra örneklerin partikül boyut ortalamalarında belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Bu gözlem sonucunda %0.20 altındaki kümelenmelerin daha zayıf olduğu ve ağır muamele ile kırılabildiği düşünülmektedir (Franke ve dig., 2001).

Reolojik parametreler su oranının artmasıyla artmıştır. Akma gerilmesi durgun haldeki iç yapının durumunu göstermekte, viskozite ise iç yapının uygulanan strese karşı dayanıklılığını göstermektedir. Akma gerilmesinde %0.05 oranındaki su seviyesinde bile belirgin bir artış gözlenmektedir, viskozitede akma gerilmesinden biraz daha yüksek değerlerde artmaya başlamaktadır. Bunun nedeni düşük nem içeriğine sahip örneklerde oluşan kümelenmeler kısmen daha zayıf olduğundan düşük kayma hızlarında yok olabilmektedirler ve viskozitede artışa neden olmamaktadırlar (Franke ve dig., 2001).

2.2.7. Şeker alkollerini ve şeker alkolü kullanılarak üretilen çikolatadaki reolojik özellikler

2.2.7.1. Şeker alkollerini

Sükröz çikolatada en çok kullanılan tatlandırıcıdır. Sükrözün gösterdiği reolojik özellikler diğer sükröz ve şeker alkollerini için standart olarak kabul edilmektedir. Sükröz dışında geleneksel çikolata üretiminde değişik sükröz ikameleri kullanımı için üretim şartlarının değiştirilmesi gerekmektedir. Şeker alkollerini ile üretilen çikolatalar diş sağlığı, insüline cevap vermemesi, düşük kalori içermesi gibi nedenlerden dolayı tüketici portföyünü genişletmek amacıyla çikolatalarda kullanılmaya başlanmıştır. Şeker alkollerini, benzer isimli şekerindeki serbest karbonil

grubunun hidroksil grubuna indirgenmiş halidir. Örnek olarak ksilitol, sorbitol, maltitol, laktitol, eritritol sırasıyla ksiloz, glikoz, maltoz, laktoz ve eritroz şekerlerinin indirgenmiş halleridir. Isomalt sükrozdan iki aşama sonrasında elde edilmektedir. Hidrojene edilmiş mısır şurubu mısır şurubunun indirgenmiş halidir (Bouzas ve Brown, 1995).

2.2.7.2. Şeker alkollerin fiziksel özellikleri

Şeker alkollerini çikolatada sükroz yerine kullanıldıklarında , yağ süspansiyonu içindeki katı maddeleri oluşturmaktadır. Çikolata üretimi sırasında bütün katılar küçük partiküllere kırılmaktadır. Çikolatanın pazarlanabilmesi açısından kullanılan katı partiküllerin faz değişimleri geçirmemesi oldukça önemlidir. Proses sırasında bir çok faz değişimi oluşmaktadır. Örneğin amorf sükroz ve laktozun suyun uçurulmasından sonra kristal hale gelmesi istenen bir özelliktir. Fakat fruktoz ile tatlandırılmış bir çikolatada fruktoz'un erimesi çikolatanın katı bir kütle haline gelmesine yol açabilmektedir. Bu nedenle faz değişiminin kontrol altında tutulması gerekmektedir. Faz değişiminin kontrol edilebilmesi için sükroz ve şeker alkollerinin su aktivitesi (a_w), erime sıcaklığı (T_m) ve camsılığa geçiş sıcaklığı (T_g) parametrelerinin proses aşamasında göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Erime sıcaklığı sükroz veya şeker alkolünün kristal halden erimiş hale geçtiği sıcaklıktır. Aynı zamanda ortamın su aktivitesinin yüksek olması sükroz veya şeker alkolünün erime sıcaklığını düşürmektedir. Camsılığa geçiş sıcaklığının oda sıcaklığından düşük olması sükroz veya şeker alkollerinin oda sıcaklığında amorf hale yakın olduklarını göstermektedir (Bouzas ve Brown, 1995).

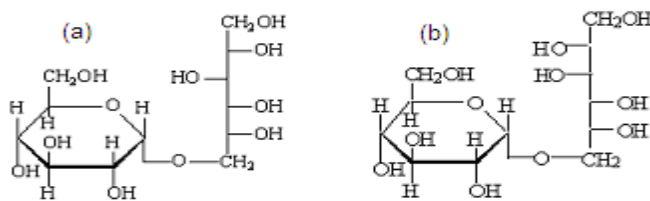
Tablo 2.6. Bazı şeker alkollerinin özellikleri (Wijers ve Sträter, 2001, Salminen ve Hallikainen, 2002)

Şeker alkolleri	Kalorik değer (FDA) (kcal/g)	Sükroza göre tatlılık oranı	Negatif çözünme ısısı (cal/g)	Erime sıcaklığı (°C)	Çikolata için uygun konçlama sıcaklığı (°C)	Higroskopik olup olmaması
İsomalt	2.0	0.5	-9.2	145-150	60	Higroskopik değil
Maltitol	2.1	0.90	-18.7	182	80	Higroskopik değil
Ksilitol	2.4	1.0	-36	93	55	Higroskopik değil
Laktitol	2.0	0.45	-12.6	146	70	Higroskopik değil
Sorbitol	2.6	0.6	-26.5	97	40	Higroskopik
Mannitol	1.6	0.4	-28.9	165	60	Higroskopik değil
Eritritol	0.2	0.65	-18.9	121	60	Higroskopik değil

2.2.7.3. Bazı şeker alkolleri ve özellikleri

2.2.7.3.1. İsomalt

İsomalt iki aşama sonrasında sükrozdan üretilmektedir. İlk aşamada sükrozdan enzimatik transglükozidasyon ile isomaltüloza ikinci aşama için ise hidrojenasyon ile isomalta dönüşmektedir (Salminen ve Hallikainen, 2002). İsomalt kimyasal yapı olarak 6- α -D- glükopirnozil-D- Sorbitol ile 1-O- α -D-glükopiranozil-D-mannitol'ün karışımı sonucunda oluşmaktadır, karışım oranı isomaltın tipine göre değişmektedir (Şekil 2.10.). İsomalt'ın tatlılık derecesi sükrozun 0.45-0.6 katı tatlılık değerine sahiptir. İsomalt çok düşük bir negatif çözünme ısısına (-9.2 cal/g) sahip olduğundan ağızda soğuma hissi yaratmamaktadır. Kalorik değeri Avrupa Birliği için 2.4 kcal, Amerika için 2.0 kcal kabul edilmektedir (Wijers ve Sträter, 2001). Bu farklılık Avrupa birliği ve Amerikanın (FDA) arasındaki uygulama farklılığından kaynaklanmaktadır. Avrupa birliği laktitol ve eritritol dışındaki bütün şeker alkollerin enerji değeri için 2.4 kcal/g değerini kullanmaktadır.

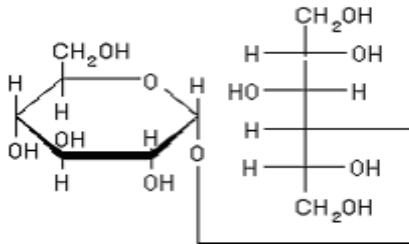


Şekil 2.10. Isomaltın kimyasal yapısı, (a)6- α -D-glükopirnozil-D-Sorbitol, (b) 1-O- α -D-glükopiranozil-D-mannitol (Olinger, 1994)

Oldukça düşük bir su aktivitesine sahip olan isomalt, 25 °C de %85 bağıl neme kadar belirgin bir şekilde su adsorblamamaktadır. Ayrıca 60 °C de % 75 bağıl nem veya 80 °C de %65 bağıl nem ortamlarında su adsorblamamaktadır. Bu özelliğinden dolayı depolamada problem yaşanmamaktadır. İsomaltın yüksek erime noktasına (140-150 °C) sahip olması ısıya dayanıklılığını göstermektedir. Normal pişirme sıcaklığı isomaltın kimyasal yapısında bir değişikliğe neden olmamaktadır. Kimyasal açıdan da oldukça kararlı olmasından dolayı kimyasal değişime uğramamaktadır (Wijers ve Sträter, 2001). İsomalt ile tatlandırılmış çikolatada, sükroz ile tatlandırılmış çikolata ile aynı akışkanlığın sağlanabilmesi için daha fazla kakao yağı gerektirmektedir (Olinger, 1994).

2.2.7.3.2. Maltitol

Maltitol disakkarit bir şeker alkolüdür, glukoz ve sorbitolün birleşmesinden oluşmaktadır (Şekil 2.11.). Kimyasal yapısı α -1-4-glukozilsorbitoldür (Salminen ve Hallikainen, 2002). Maltoz'un katalitik hidrojenasyonu sonucu elde edilir. Sükroza göre daha az tatlıdır. Maltitolün tatlılık derecesi sükrozun 0.85-0.95 katıdır. Negatif çözünme ısısı oldukça (-18.7 cal/g) düşük olduğundan ağızda belirgin bir soğuma etkisi göstermemektedir. Kalorik değeri Avrupa birliği için 2.4 kcal/g, Amerika için 2.1 kcal/g olarak kabul edilmektedir (Kato, 2001).

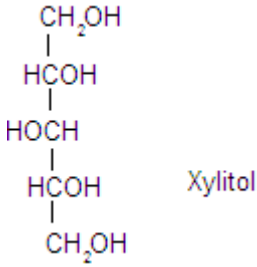


Şekil 2.11. Maltitolün kimyasal yapısı.

Maltitol ile tatlandırılmış çikolata sükroz ile aynı şartlarda kırılabilir, aynı zamanda viskozitede artış veya topaklanma olmadan 80 °C 'de konçlama yapılabilir. Maltitol'ün ticari formu kristal Malbit, %90 bağıl nemde sadece %6 kadar su adsorblamaktadır. %30 bağıl nemde Malbit'in su oranı %1.5 artmaktadır (Olinger, 1994).

2.2.7.3.3. Ksilitol

Ksilitol 5 karbonlu bir monosakkarit şeker alkolüdür (Şekil 2.12.). Ticari olarak ksilan içeren bir bitkiden asit hidrolizi, hidrojenasyon, purifikasyon aşamaları sonucu üretilmektedir (Salminen ve Hallikainen, 2002). Sükroz ile eşit tatlılıktadır. Ksilitolün enerji değeri hem Avrupa birliği hem de Amerika için 2.4 kcal/g olarak kabul edilmektedir. Ağızda eridiğinde ferahlama etkisi veren oldukça yüksek bir çözünme ısısına (-36 cal/g) sahiptir. Ksilitol higroskopik değildir ve 0.75 su aktivitesine kadar ksilitol çok belirgin bir oranda su adsorblamamaktadır. Diş dostu bir şeker alkolüdür (Olinger ve Pepper, 2001).



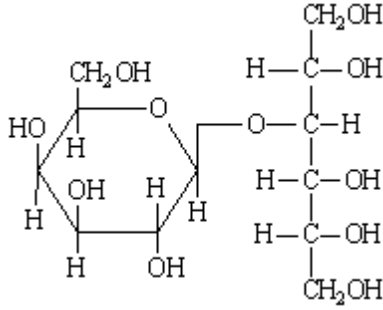
Şekil 2.12. Ksilitolün kimyasal yapısı.

Ksilitolün camsılığa geçiş sıcaklığının çok düşük olması ($T_g = -22$ °C) sonucu ksilitol ile çikolatada çok rahat çalışılmayacağını göstermektedir. Bunun nedeninin oda sıcaklığında ksilitolün amorf halde olması ve su adsorblamaya eğilimli olmasıdır. Bu nedenle literatürde ksilitolün konçlanması için 55 °C uygun görülmektedir (Olinger, 1994). Bu şekilde ksilitolün su adsorblaması dolayısıyla çikolatadaki koyulaşma ve topaklanma azaltılmış olacaktır. (Olinger, 1994).

2.2.7.3.4. Laktitol

Laktitol laktoz veya laktuloz'un hidrojenasyonu ile üretilen bir disakkarit alkoldür [(4-O-β-D-galaktopiranozil)-D-glusitol] (Şekil 2.13) . Sükroza göre 0.4 katı tatlılık değerine sahiptir. Laktitolün enerji değeri Avrupa Birliği için 2.0 kcal/g, Amerika için 2.0 olarak kabul edilmektedir. Laktitolün erime değeri 145-150 °C dir. Isıya dayanıklılığı oldukça yüksektir. Laktitolün çözünme ısı (-12.6 cal/g) oldukça düşük olduğundan, ve ağızda soğuma hissi yaratmamaktadır. Higroskopik değildir

(Mesters ve diğ., 2001). Laktitol ile tatlandırılmış çikolata tamamen sükröz ile aynı şartlarda kırılabilmekte ve 70 °C de viskozitede belirgin bir artış olmadan konçlanabilmektedir.



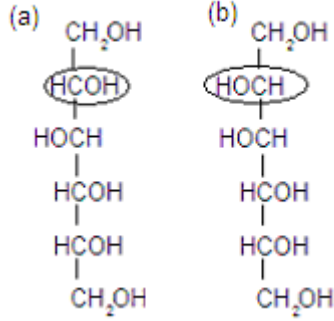
Şekil 2.13. Laktitolün kimyasal yapısı

Laktitol monhidrat ve laktitol dihidrat ile de bu konuda çalışmalar yapılmıştır. Laktitol monhidrat ve dihidrat kristallerinde sırasıyla fazladan bir ve iki molekül su bulunmaktadır. Laktitol monhidrat ise 60 °C altında kırılmalı ve 60 °C de konçlanmalıdır. Laktitol dihidrat 40 °C konçlandığında viskozitede oldukça büyük bir artış olmaktadır. Bu verilere göre laktitol, laktitol monhidrat çikolata için kullanılabilir. Olinger yaptığı bir çalışmada laktitol'ün laktitol monhidrattan biraz daha iyi akış özelliklerine sahip olduğunu göstermiştir. (Olinger, 1994).

2.2.7.3.5. Sorbitol ve mannitol

Sorbitol 6 karbonlu bir şeker alkolüdür (Şekil 2.14.). Glükozun hidrolitik hidrojenasyonu sonucu elde edilmektedir. Sorbitol sükrözün 0.6 katı tatlılıktadır ve oldukça higroskopiktir. 25 °C de %55 ve %65 bağıl neme tabii tutulduğunda sırasıyla %0.8 ile %2.2 oranında su adsorblamaktadır. Sorbitol yüksek bir negatif çözünme (-26.5kcal/g) ısısına sahiptir, bu nedenle ağızda soğuma hissi verir. Kalorik değeri Avrupa Birliği için 2.4 kcal/g, Amerika için 2.6 kcal /g olarak kabul edilmektedir (Le ve Mulderring, 2001). Mannitol sorbitolün stereoizomeridir ve sorbitol gibi glükozun hidrojenasyonu sonucu elde edilmektedir (Şekil 2.14.). Aynı zamanda fermentasyon ürünü olarak da elde edilebilmektedir. Mannitol sükrözün 0.4-0.5 katı tatlılıktadır. Genel özellikleri sorbitole oldukça benzemekle beraber higroskopik olmamasıdır. Sorbitol gibi mannitol de yüksek bir negatif çözünme (-28.9kcal/g)

ısıısına sahiptir. Kalorik değeri Avrupa Birliği için 2.4 kcal/g, Amerika için 1.6 kcal /g olarak kabul edilmektedir (Le ve Mulderring, 2001).

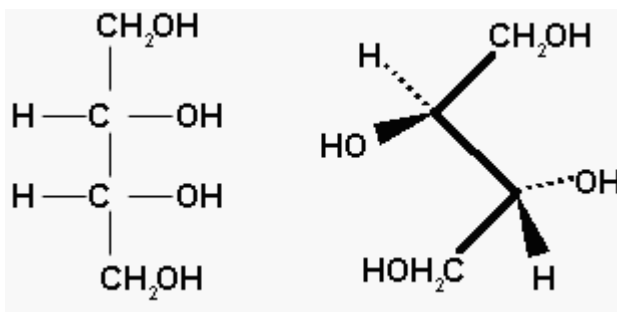


Şekil 2.14. Sorbitolün kimyasal yapısı (a) ve Mannitolün kimyasal yapısı (b) (Le ve Mulderring, 2001)

Sorbitol ile tatlandırılmış çikolatanın 40 °C ‘nin altında konçlanması önerilirken, buna karşılık mannitol higroskopik olmamasından dolayı konçlama 60 °C de konçlama yapılabilmektedir.

2.2.7.3.6. Eritritol

Eritritol 4 karbonlu bir şeker alkolüdür (Şekil 2.15.). Ticari olarak enzimler ve osmofilik maya ve mantarlar kullanarak glükozdan biyoteknolojik prosesler sonucu üretilmektedir. Eritritol sükrozun 0.65 katı kadar tatlıdır. Eritritolün çözünme ısısı değeri -18.9cal/g dür, ağızda ksilitol kadar olmasa da soğuma hissi verir. Çok küçük bir molekül olmasından dolayı eritritol metabolizmada sindirilememekte ve sonuç olarak kalorik değeri 0.2 kcal/g dır. Diş- dostu olarak adlandırılır. Eritritol higroskopik değildir (Embuscado ve Patil, 2001).



Şekil 2.15. Eritritolün kimyasal yapısı

Eritritol ile tatlandırılmış çikolata , nem ve sıcaklık açısından sükroz ile tatlandırılmış çikolatadan farklı proses Őartları gerektirmektedir. Eritritolün erime sıcaklığının 121.5  C olmasından dolayı erime sıcaklığı bu değere yakın olan laktitol ile analogi yapıldığında 60  C de problemsiz *olarak* konçlanması düşünülmektedir (Bouzas ve Brown, 1995).

2.3. Çalışmanın Amaçları

Bu çalışmanın genel amacı sükroz ikamelerinin erimiş çikolatanın reolojik özellikleri üzerine etkilerinin araŐtırılmasıdır. Bu kapsamda aşağıda belirtilen incelemelerin yapılması hedeflenmiŐtir:

- Farklı sükroz ikamelerinin reolojik özellikler üzerine etkisi
- Sükroz ikamelerinin partikül boyutlarının reolojik özellikler üzerine etkisi
- ikolatanın reolojik özelliklerinin matematiksel olarak modellenmesi
- Sükroz ikamelerinin yoğunluklarının reolojik özellikler üzerine etkisi
- ikolatanın nem oranının reolojik özellikler üzerine etkisi

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan çikolatalar laboratuvar şartlarında üretilmiştir. Çikolatalar piyasadan temin edilen kakao tozu (Pelit çikolata fabrikası), kakao yağı (Pelit çikolata fabrikası), lesitin (Pelit çikolata fabrikası) ve tatlandırıcı kullanılarak üretilmiştir. Çikolatalarda tatlandırıcı olarak sükroz (Elit çikolata fabrikası), maltitol (Dora dış ticaret ve Gıda Sanayi), ksilitol (Perfetti Gıda Sanayi) ve isomalt (Dora dış ticaret ve Gıda Sanayi) kullanılmıştır. Kullanılan sükroz ve şeker alkolleri öğütülmüş olarak temin edilmiştir.

3.2. Metot

3.2.1. Kristal sükroz ve şeker alkollerinin inceltilmesi ve farklı partikül boyutlarına ayrımı

Kristal haldeki sükroz ve şeker alkollerinin kahve öğütücüsü (Bosch, Almanya) ve porselen havan yardımıyla inceltmesi ve bu inceltme aşamasından sonra Tyler elek sistemi ve elek sallama aleti (Endecotts Octagon 200, İngiltere) ile 3 değişik elek aralığında (106-53 μ , 53-38 μ , 38-20 μ) ayırma işlemi gerçekleştirilmiştir. 150-100 gr. arasında numune en üst eleğe(106 μ) konarak 30 dakika süresince eleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Eleme sonucunda 38-20 μ , 53-38 μ , 106-53 μ elek aralığındaki partiküller plastik kaplara ayrılmıştır. 38-20 μ aralığındaki partiküller 1 numaralı, 53-38 μ aralığındaki partiküller 2 numaralı, 106-53 μ aralığındaki partiküller 3 numaralı partikül boyut aralığı olarak adlandırılmıştır.

3.2.2. Çikolata örneklerinin hazırlanması

100 gr çikolata örneğini hazırlamak amacıyla ilk olarak beher içinde 21.89 g. kakao yağı 60 °C 30 dakika boyunca etüvde eritilmektedir. Tam olarak sıvı hale gelen

kakao yağına, 23.47 g. kakao tozu ve 43.40 g. sükröz veya şeker alkolü eklenmiştir. Karışım daha sonra beher ile parafin banyosuna daldırılarak 65 °C de bir mikser (show, türkiye) yardımıyla 3 saat boyunca konçlanmaktadır.

Tablo 3.1. 100 gr. çikolatadaki katkı maddelerinin ağırlıkları (g.)

Katkı maddeleri	100g. Siyah Çikolata
Kakao tozu	23.47 g.
Kakao yağı	32.83 g.
Sükröz veya şeker alkolü	43.40 g.
Lesitin	0.3g

Kullanılan mikserin elektrik kablosuna karıştırma hızının ayarlanması amacıyla voltaj ayarlayıcı eklenmiştir ve bu şekilde konçlama işleminin sabit ve düşük hızda yapılması sağlanmıştır. Konçlama işleminin son yarım saatinde 0.3 g. lesitin ve 10.94 kakao yağı eklenmiştir. Lesitinin tamamının eklendiğinden emin olmak amacıyla yağ ve lesitin 30 dakika 60 °C’de sıcaklıktaki etüvde eritilmiş ve daha sonra karışıma eklenmiştir. 3 saat sonunda çikolata alüminyum folyo ile sarılarak analizler yapılana kadar oda sıcaklığında bekletilmiştir.

3.2.3. Reolojik ölçümler

Reolojik ölçümlerde Rotovisco RT 20 reometresi (Hake, Almanya) ve Z20 iç-içe silindirik sensörü kullanılmıştır. Çikolata örnekleri içerdiği tüm yağın eritilmesi amacıyla 50 °C’lik etüvde 75 dakika bekletilmiştir. Etüvden çıkan örnekler 2-3 dakika içerisinde reometrenin 40°C deki su banyosu ile ısıtılmış ölçüm kabına konarak ölçümler yapılmıştır. Seri halde her çikolata için 30 ölçüm yapılmış ve en son ölçümün değerleri dikkate alınmıştır. Reolojik ölçümler 40 °C sabit sıcaklıkta Aeschlimann ve Beckett(2000) in önerdiği metoda göre yapılmıştır. İlk ölçüm için 10 dakika 5 s⁻¹ kayma hızında ön karıştırma uygulanmış, ilk ölçümden sonraki ölçümlerde ön karıştırma 2 dakika sürmüştür. Ön karıştırma ardından önce 5 s⁻¹ den 60 s⁻¹ kayma hızına 2 dakika lineer olarak artırılmış ve sonra 60 s⁻¹ den 5 s⁻¹ kayma hızına düşürülmüş ve bu esnalarda 50 farklı kayma gerilmeleri ölçülmüştür. (Aeschlimann ve Beckett, 2000).

3.2.4. Nem tayini

Nem tayini AOAC'nin 931.04 numaralı kakao ürünlerinde gravimetrik analiz metodu kullanılarak ölçülmüştür (AOAC, 1998). Etüvdeki ölçümler sırasında ilk olarak nem kapları ve deniz kumu 1.5 saat boyunca 100 °C sıcaklıkta kurutulmuştur. Etüvden çıkarılan nem kapları, yarım saat süresince desikatörde soğutulmuştur. Daha sonra içine 2 g. deniz kumu konarak bütün nem kaplarının daraları alınmış ve içlerine daha sonra 50 °C de eritilmiş, çikolata örnekleri konmuş ve tekrar ağırlıkları ölçülmüştür. Maltitol ve Sükroz içeren çikolatalar 100 °C etüvde 3 saat bekletilerek nem oranları ağırlık kaybı yöntemi ile ölçülmüştür. Aynı şekilde isomalt ve ksilitol içeren çikolatalar ise 60 °C sıcaklıkta vakumlu etüvde maksimum vakum kullanılarak 3 saat sonunda ölçülmüştür. İsomalt ve ksilitolün yüksek sıcaklıklarda dekompozisyona uğramalarını engellemek amacıyla bu sıcaklık seçilmiştir. Etüvden çıkarılan nem kapları, tekrar yarım saat süresince desikatörde soğutulmuş ve daha sonra ağırlık kaybının hesaplanması amacıyla bütün nem kaplarının ağırlıkları elektronik terazi yardımıyla ölçülmüştür. Deney 2 tekrarlı olarak yapılmıştır.

3.2.5. Partikül boyut dağılımı ve spesifik yüzey alanı ölçümü

Kakao tozu, sükroz, maltitol, ksilitol, ve isomalt örneklerinin ayrı ayrı partikül boyut dağılımları partikül boyut analiz cihazı (Malvern Mastersizer 2000S, İngiltere) ile ölçülmüştür. Ölçüm alınmadan önce numuneler spatül yardımı ile karıştırılmış ve daha sonra yine spatül yardımı ile 1.5- 2 gr. cihazın haznesine konmuştur. Her numune örneği için 2 tekrarlı analiz yapılmış ve iki ölçümün partikül dağılımı, partikül boyut ortalamaları, spesifik yüzey alanı pdf çıktısı olarak bilgisayar yardımı ile alınmıştır.

3.2.6. Yoğunluk ölçümü

Sükroz, ksilitol, izomalt ve maltitolün yoğunlukları 50 ml lik piknometre (Borucam, Türkiye) kullanılarak ölçülmüştür. Ölçüm amacıyla piknometrenin darası (W_p) elektronik terazi ile ölçülmüştür. Piknometrenin içine 1-2 gr. sükroz ikamesi konarak, beraber ağırlıkları (A) ölçülmüştür. Daha sonra petroleum eter eklenerek piknometre hacmi 50 ml'ye tamamlanmış ve yeniden toplam ağırlık (B) ölçülmüştür.

Boşluk hacmi (V_b) eklenen petroleum eterin ağırlığının (W_{pe}) yoğunluğuna (ρ_{pe}) oranlanması ile hesaplanmıştır. Kullanılan petroleum eterin yoğunluğu (ρ_{pe}) şişe etiketinden öğrenilmiştir. Sükroz ve sükroz ikamelerinin petroleum eter içinde çözülmemesinden dolayı petroleum eter kullanılmıştır. Son olarak piknometre hacimden (50 ml) boşluk hacminin çıkarılması sonucu sükroz ikamesinin hacmi hesaplanmış (V_s) ve sükroz ikamesinin ağırlığa (W_s) oranlanması sonucu yoğunluk (ρ_s) hesaplanmıştır.

$$A = W_p + W_s \quad (11)$$

$$B = W_p + W_s + W_{pe} \quad (12)$$

$$W_{pe} = B - A \quad (13)$$

$$W_s = A - W_p \quad (14)$$

$$V_b = W_{pe} / \rho_{pe} \quad (15)$$

$$V_s = V_p - V_b \quad (16)$$

$$\rho_s = W_s / V_s \quad (17)$$

3.2.7. Verilerin istatistiksel analizi

Elde edilen kayma hızı ve kayma gerilmesi verileri Microsoft Excel ve SPSS programları kullanılarak Casson, Bingham ve Herschel-Bulkley modeline uygulanmıştır. Casson modeli için kayma gerilimi ve kayma hızı değerlerinin kökleri alınmış ve daha sonra doğrusal regresyon yardımı ile Casson plastik viskozite (η_{CA}) ve Casson akma gerilmesi (τ_{CA}) değerleri belirlenmiştir. Bingham modeli için kayma gerilimi ve kayma hızı değerlerine doğrusal regresyon uygulanarak Bingham plastik viskozite ve Bingham akma gerilmesi değerleri belirlenmiştir. Herschel-Bulkey modeli için kayma gerilimi ve kayma hızı değerleri için doğrusal olmayan regresyon kullanarak akış indeksi (m) değeri Plastik viskozite (η_{pl}) ve akma gerilmesi (τ_o) değerleri ölçülmüştür. Modellerin uygunluğunun test edilmesi amacıyla bütün modellere artık analizi ve normallik analizi uygulanmıştır. Son olarak elde edilen reolojik parametreler istatistiksel metotlar kullanılarak birbirlerinden farklılıkları test edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Partikül Boyut Analizi ve Spesifik Yüzey Alanı Ölçümleri

Elek sistemi ile üç ayrı partikül aralığına ayrılan sükroz ikamelerinin partikül boyut dağılımı ve partikül spesifik yüzey alanı partikül boyut ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Eleme işleminin amacı partiküllerin üç ayrı partikül boyut aralığına ayrılmasıdır, fakat eleme işleminin defalarca tekrarlanmasına rağmen partiküllerin elek gözeneklerini tıkaması, topaklanma gibi nedenlerle küçük partiküllerin elenmesinde zorluklar yaşanmıştır. Ölçülen partikül boyut aralıklarında bu problem açıkça gözlenmiştir, genel olarak partikül boyut aralıklarının istenilen elek aralıkları değerlerinin altında olduğu belirlenmiştir. Ayrıca piyasadan kırılmış olarak alınan sükroz ikameleri partikül boyut dağılımının da ayırma işlemi sonucunda oluşan partikül aralıklarındaki partikül boyut dağılımına etkisinin yüksek olduğu gözlenmiştir. Örnek olarak maltitol diğer sükroz ikamelerine oranla daha fazla küçük partikül içermesi nedeniyle partikül boyut ortalama değerlerinin diğerlerine oranla daha küçük olduğu belirlenmiştir. Ayırma işleminde birinci partikül boyut aralığı 20 ile 38 µm, ikinci partikül boyut aralığı 38 ile 53 µm, üçüncü partikül boyut aralığı 53 ile 106 µm gözenek aralıklarını ifade etmektedir. $d(0.5)$ değeri tüm partiküllerin % x'lik bir kısmının verilen partikül boyutundan küçük olduğunu göstermektedir. Örnek olarak Tablo 4.1. de sükroz için birinci partikül boyut aralığındaki $d(0.5)$ değeri 12.512 µm olarak verilmiştir. Bu değerden, sükroz partiküllerin %50 sinin 12.512 µm den küçük partikül boyutuna sahip olduğu anlaşılmaktadır. Partikül boyut ölçüm aleti $d(0.1)$, $d(0.5)$, $d(0.9)$ değerlerini ölçmekte ve pdf çıktısı olarak vermektedir. Sükroz ikamelerinin birinci, ikinci ve üçüncü partikül boyut aralıklarının $d(0.1)$, $d(0.5)$, $d(0.9)$ değerleri verilmiştir.

Birinci partikül aralığında elek altının 20 µm olmasına rağmen $d(0.5)$ değerinin 12.512 µm ile 13.695 µm arasında olması küçük partiküllerin en alt elekten tamamen elenmediğini göstermektedir (Tablo 4.1.). $d(0.1)$ değeri açısından karşılaştırma yapıldığında sükroz ve maltitolün diğer sükroz ikamelerine oranla daha

fazla küçük partikül içerdikleri gözlenmiştir. $d(0,1)$ ve $d(0,9)$ değerleri beraber değerlendirildiğinde en geniş partikül boyut dağılımının isomalta ait olduğu gözlenmiştir. Bunun yanında sükroz ikamelerinin $d(0,1)$, $d(0,5)$ ve $d(0,9)$ değerleri arasında çok büyük farklılar gözlenmemiştir (Tablo 4.1.).

Tablo 4.1. Birinci partikül boyut aralığındaki (20-38 μm) sükroz ve ikamelerinin boyut analizi değerleri (μm)

Sükroz ikameleri	$d(0.1)$	$d(0.5)$	$d(0.9)$
Sükroz	3.730	12.512	29.642
Maltitol	2.777	10.598	27.503
İsomalt	4.097	13.695	33.224
Ksilitol	4.123	11.352	26.344

¹ $d(0.1)$: Tüm partiküllerin %10'u verilen değerden küçük boyuta sahiptir.

² $d(0.5)$: Tüm partiküllerin %50'si verilen değerden küçük boyuta sahiptir.

³ $d(0.9)$: Tüm partiküllerin %90'ı verilen değerden küçük boyuta sahiptir.

Birinci partikül aralığında gözlenen problem üçüncü partikül boyut aralığında da gözlenmektedir (Tablo 4.2.). Alt elek sınırı 38 μm olmasına rağmen $d(0.5)$ değerinin 16.646 μm ile 25.548 μm arasında olması küçük partiküllerin alt elekten elenmediği göstermektedir. İsomalt ve Ksilitol $d(0.9)$ değerinin üst elek değeri olan 53 μm dan fazla olması küçük partiküllerin birbirleri arasında kümelenmesi sonucu oluşmuştur. $d(0,1)$ ve $d(0,9)$ değerleri beraber değerlendirildiğinde en geniş partikül boyut dağılımının ksilitole ait olduğu gözlenmiştir. Bunun yanında sükroz ikamelerinin $d(0,1)$, $d(0,5)$ ve $d(0,9)$ değerleri arasında çok büyük farklılar gözlenmemiştir (Tablo 4.2.).

Tablo 4.2. İkinci partikül boyut aralığındaki (38-53 μm) sükroz ve ikamelerinin boyut analizi değerleri (μm)

Sükroz ikameleri	$d(0.1)$	$d(0.5)$	$d(0.9)$
Sükroz	4.549	21.518	49.958
Maltitol	3.421	16.646	45.962
İsomalt	6.031	25.548	55.141
Ksilitol	7.135	20.464	56.951

¹ $d(0.1)$: Tüm partiküllerin %10'u verilen değerden küçük boyuta sahiptir.

² $d(0.5)$: Tüm partiküllerin %50'si verilen değerden küçük boyuta sahiptir.

³ $d(0.9)$: Tüm partiküllerin %90'ı verilen değerden küçük boyuta sahiptir.

Birinci ve ikinci partikül boyut aralığında gözlenen problem üçüncü partikül boyut aralığında da gözlenmiştir (Tablo 4.3). Alt elek sınırı 53 μm olmasına rağmen

d(0.5) değeri 38.567 µm ila 60.944 µm aralığında değişmektedir. Üçüncü partikül dağılımında maltitolün d(0.5) değerinin diğer sükroz ikamelerine oranla daha düşük olduğu gözlenmiştir. Birinci ve ikinci partikül aralıklarının da incelenmesi sonucunda maltitolün d(0.1) değerinin diğer sükroz ikamelerinden düşük olduğu gözlenmiştir. Yapılan eleme işlemi ve deneyler esnasında elde edilen gözlemler sonucunda bunun nedeninin piyasadan alınan kırılmış maltitolün partikül dağılımının diğer sükroz ikamelerine oranla daha fazla küçük partikül boyutu içermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. İsomalt, sükroz ve ksilitol'ün d(0.9) değerinin üst elek değeri olan 106 µm dan fazla olmasının nedeninin ikinci partikül boyut aralığında olduğu gibi topaklanmadan dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 4.3. Üçüncü partikül boyut aralığındaki (53-106 µm) sükroz ve ikamelerinin boyut analizi değerleri (µm)

Sükroz ikameleri	d(0.1)	d(0.5)	D(0.9)
Sükroz	11.646	52.676	109.589
Maltitol	5.953	38.567	91.251
İsomalt	19.561	60.944	108.080
Ksilitol	14.543	58.979	108.636

¹ d(0.1): Tüm partiküllerin %10'u verilen değerden küçük boyuta sahiptir.

² d(0.5): Tüm partiküllerin %50'si verilen değerden küçük boyuta sahiptir.

³ d(0.9): Tüm partiküllerin %90'ı verilen değerden küçük boyuta sahiptir.

Sükroz ikamelerinin spesifik yüzey alanı partikül analiz ölçüm aleti ile ölçülmüştür (Tablo 4.4.). Spesifik yüzey alanı 1 gram partikülün m² cinsinden yüzey alanı olarak tanımlanmaktadır. Bu değeri hem partikül boyut dağılımı ve partikül boyut ortalaması hem de sükroz ikamelerinin yoğunluğu etkilemektedir. Belli bir ağırlıktaki sükroz ikamelerinin partikül boyutunun azalması spesifik yüzey alanını arttırmaktadır. Diğer yönden yoğunluğu düşük olan bir sükroz ikamesi aynı ağırlık için yüksek yoğunluktaki bir sükroz ikamesine göre daha yüksek hacme sahip olmaktadır. Bu iki sükroz ikamesi aynı partikül boyut dağılımı için karşılaştırıldığında, yoğunluğu düşük olan sükroz ikamesinin spesifik yüzey alanı daha yüksek olmaktadır. Spesifik yüzey alanı reolojik parametreler açısından oldukça önemlidir. Bu şekilde çikolatadaki yağ ile kaplanması gereken yüzey alanı belirlenmiş olmaktadır.

Tablo 4.4. Sükroz ve ikamelerinin her bir partikül boyut aralığı için spesifik yüzey alanları (m²/g)

Sükroz ikameleri	Partikül boyut aralığı 1 (20-38 µm)	Partikül boyut aralığı 2 (38-53 µm)	Partikül boyutu Aralığı 3 (53-106 µm)
Sükroz	0.764	0.753	0.243
Maltitol	0.966	0.736	0.431
İsomalt	0.699	0.445	0.189
Ksilitol	0.740	0.463	0.217

4.2. Nem Oranı

Çikolatadaki nem oranının %1'in altında olması istenmektedir (Rao, 1999b). Düşük oranlardaki nem artışının bile sükroz partiküllerin üzerine tutunup, topaklanmayı ve koyulaşmayı arttırdığı bilinmektedir. Özellikle çikolatada emülgatör kullanılmasının nem oranının tolere edilebilmesinde önemli bir katkısı bulunmaktadır (Franke ve dig., 2001). Çikolatadaki nem oranları %0.6 ile %0.73 arasında değişmektedir (Tablo 4.5.). Nem oranının istatistiksel analizi sonucunda sükroz ikamelerinin nem oranları arasında belirgin bir farklılık gözlenmemiştir (p = 0.059).

Tablo 4.5. Farklı sükroz ikameleri ile elde edilen çikolataların nem oranları (%)

Sükroz ikameleri	Partikül boyut aralığı 1 (20-38 µm)	Partikül boyut aralığı 2 (38-53 µm)	Partikül boyutu Aralığı 3 (53-106 µm)
Sükroz	0.69	0.6	0.6
Maltitol	0.62	0.64	0.65
İsomalt	0.66	0.64	0.72
Ksilitol	0.73	0.66	0.68

4.3. Yoğunluk

Bir süspansiyondaki katı hacim oranı dağılmış fazın (partiküller), devamlı faza (yağ) oranına eşittir. Çikolatada dağılmış fazı sükroz ve kakao tozu partikülleri oluşturmaktadır. Çikolatalar hazırlanırken sükroz ikameleri aynı ağırlık oranında (%43.40) çikolataya eklenmiştir. Aynı ağırlık oranında eklenen sükroz ikameleri arasındaki yoğunluk farklılığı sonucu çikolatadaki hacimsel oranları farklı olmuştur. Düşük yoğunluktaki sükroz ikameleri, daha yüksek yoğunluktakilere göre daha fazla hacme sahiptirler. Bütün çikolatalar için aynı tip kakao tozu kullanıldığından, kakao

tozunun katı hacim oranlarındaki fark üzerine bir etkisi bulunmamaktadır. Bir süspansiyonun viskozitesinin katı hacim fraksiyonu ve devamlı fazın viskozitesi ile ilişkili olduğu belirtilmiştir (Rao, 1999b). Sükroz ikamelerinin yoğunlukları 1.63 – 1.52 arasında değişmektedir. En yüksek yoğunluğun maltitole, en düşük yoğunluğun ise isomalta ait olduğu gözlenmiştir (Tablo 4.6.).

Tablo 4.6. Farklı sükroz ikamelerinin yoğunluk değerleri

Sükroz ikameleri	Yoğunluk (g/cm ³)
Sükroz	1.60
Maltitol	1.63
İsomalt	1.50
Ksilitol	1.52

4.4. Reolojik Modellerin Değerlendirilmesi ve Uygun Model Seçimi

Yapılan reolojik ölçümlerin yorumlanması ve reolojik parametrelerin elde edilmesi amacıyla veriler çeşitli modellere uygulanmıştır. Modellerin değerlendirilmesinde verilerin modele uygunluğu istatistiksel olarak test edilmiştir. Artık analizi (residual analysis) ve normallik analizi ile modelin geçerliliği test edilmiştir. Artık analizinde Y aksına standardize edilmiş artık değerleri, X aksına ise standardize edilmiş tahmini değerler yerleştirilmiştir. Uygun model varsayımında artıkların rasgele dağılmış olması ve belli bir eğilimde olmamaları gerekmektedir. Normallik analizi için Y eksenini normal dağılım varsayımına göre beklenen kümülatif olasılık değerleri, X eksenini ise gözlenen kümülatif olasılık değerleri yer almaktadır. Normal dağılım varsayımına göre verilerin bir doğru üzerinde bulunması gerekmektedir (Neter ve diğ., 1996). Elde edilen verilere sırası ile Casson, Bingham ve Herschel-Bulkley modelleri uygulanmıştır.

4.4.1. Casson modeli

Casson modeli çikolataların reolojik özelliklerin ifadesinde en yaygın olarak kullanılan modellerdendir (Chevalley, 1975). Çikolata ait reolojik veriler ilk olarak Casson modeline uygulanmıştır.

$$\sqrt{\tau} = k_0 + k_1 \sqrt{\dot{\gamma}} \quad (1)$$

τ : Kayma gerilmesi

γ : Kayma hızı

k_0^2 : Akma gerilmesi

k_1^2 : Casson plastik viskozite

Model parametreleri doğrusal regresyon yöntemi ile hesaplanmıştır (Tablo 4.7 ve Tablo 4.8). Casson plastik viskozite değerleri incelendiğinde bütün sükroz ikameleri için partikül boyutu aralığı arttıkça viskozitenin azaldığı gözlenmiştir (Tablo 4.7).

Tablo 4.7. Farklı partikül boyutundaki sükroz ikameleri ile elde edilen çikolataların Casson plastik viskozite değerleri (Pa. s.)

Sükroz ikameleri	Partikül boyut aralığı 1 (20-38 μm)	Partikül boyut aralığı 2 (38-53 μm)	Partikül boyutu Aralığı 3 (53-106 μm)
Sükroz	2.01	1.37	0.82
Maltitol	1.76	1.38	0.91
İsomalt	3.10	1.64	0.82
Ksilitol	2.40	1.93	0.87

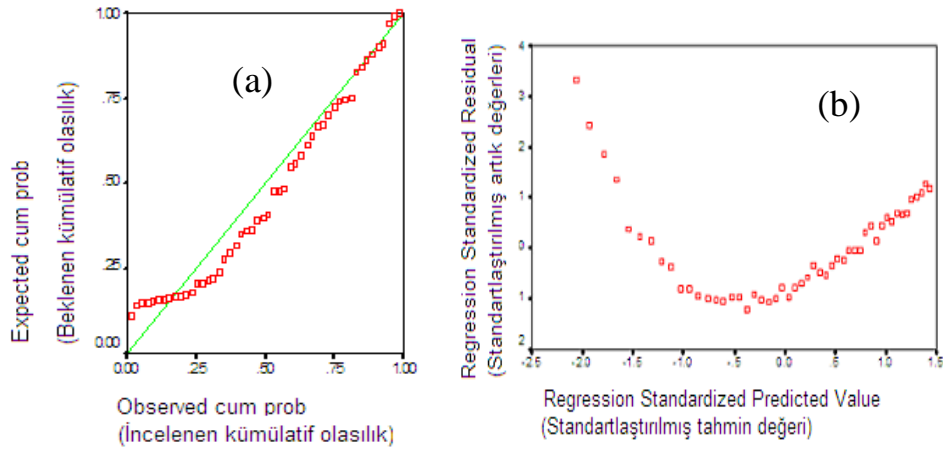
Casson akma gerilmesi değerleri bütün sükroz ikameleri için partikül boyutu arttıkça akma gerilmesi değerleri azalmıştır (Tablo 3.8); Fakat isomalt'ın ikinci partikül boyut aralığında bir artış gözlenmiştir. Bu modelin tam olarak verileri doğru bir şekilde ifade etmemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 4.8. Farklı partikül boyutundaki sükroz ikameleri ile elde edilen çikolataların Casson akma gerilmesi değerleri (Pa)

Sükroz ikameleri	Partikül boyut aralığı 1 (20-38 μm)	Partikül boyut aralığı 2 (38-53 μm)	Partikül boyutu Aralığı 3 (53-106 μm)
Sükroz	1.64	0.30	0.11
Maltitol	1.64	0.64	0.21
İsomalt	0.27	0.53	0.12
Ksilitol	0.35	0.27	0.12

Modelin uygunluğunun test edilmesi amacıyla birinci partikül boyut aralığındaki sükroz ile hazırlanmış çikolatanın verilerine artık analizi ve normallik analizleri uygulanmıştır (Şekil 4.1.). Artık analizleri incelendiğinde artıkların

sistematik olarak pozitif sonra negatif daha sonra tekrar pozitif değerler aldığı gözlenmiştir (Şekil 4.1.b). Normallik analizinde ise artıkların normal dağılım varsayımına uymadığı, doğrusal bir eğilim göstermediği gözlenmiştir (Şekil 4.1.a). Bütün çikolataların artık analizi ve normallik analizleri Şekil 4.1.'e benzerlik göstermiştir. Elde edilen modelin geçerli olabilmesi için artıkların rastgele (gelişigüzel) dağılmış olmaları (random) ve normal dağılım göstermeleri gerekmektedir (Neter ve diğ., 1996). Bu analizler sonucunda Casson modelinin bu verileri iyi bir şekilde ifade etmediği sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.1. Casson modeli ile modellenen, birinci partikül boyut aralığındaki sükröz ile hazırlanmış çikolatanın normallik analizi (a) ve artık analizi (b)

4.4.2. Bingham modeli

Erimiş çikolata için önerilen ve akma gerilmesi içeren modellerden biriside Bingham modelidir. (Chevalley, 1975).

$$n_{pl} \gamma = \tau - \tau_0 \quad (2)$$

n_{pl} : plastik viskozite

τ_0 : akma gerilmesi

Model parametreleri doğrusal regresyon yöntemi ile hesaplanmıştır. Bingham plastik viskozite değerlerinin Casson plastik viskozite değerlerine göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir (Tablo 4.9.). Casson viskozite değerlerinde olduğu gibi Bingham plastik viskozite değerleri de bütün sükröz ikamelerinde partikül boyut aralığı arttıkça azalmaktadır.

Tablo 4.9. Farklı partikül boyutundaki sükroz ikameleri ile elde edilen çikolataların Bingham plastik viskozite değerleri (Pa s.)

Sükroz ikameleri	Partikül boyut aralığı 1 (20-38 µm)	Partikül boyut aralığı 2 (38-53 µm)	Partikül boyutu aralığı 3 (53-106 µm)
Sükroz	2.38	1.51	0.88
Maltitol	2.10	1.54	1.01
İsomalt	3.30	1.83	0.89
Ksilitol	2.60	2.09	0.93

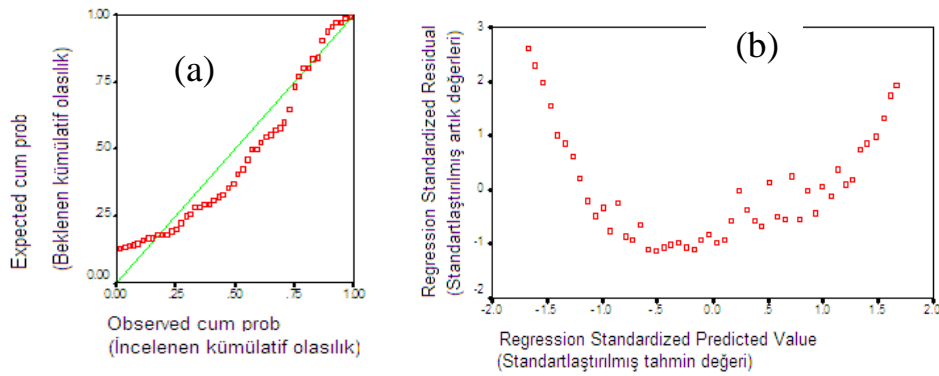
Bingham akma gerilmesi değerlerinin Casson akma gerilmesi değerlerine oranla daha yüksek olduğu gözlenmiştir (Tablo 4.10.). Casson akma gerilmesi değerlerinde olduğu gibi Bingham plastik viskozite değerleri de bütün sükroz ikamelerinde partikül boyut aralığı arttıkça artmakta, fakat birinci partikül boyutu aralığından, ikinci partikül boyut aralığına geçilirken isomalt ve ksilitol de beklenen azalma görülmemiş aksine isomalt'ın ikinci partikül boyut aralığındaki akma gerilmesi değeri daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeninin modelin tam olarak isomalt ve ksilitol'ün birinci partikül boyut aralığındaki verileri doğru bir şekilde ifade edememesi olduğu düşünülmektedir.

Tablo 4.10. Farklı partikül boyutundaki sükroz ikameleri ile elde edilen çikolataların Bingham akma gerilmesi değerleri (Pa)

Sükroz ikameleri	Partikül boyut aralığı 1 (20-38 µm)	Partikül boyut aralığı 2 (38-53 µm)	Partikül boyutu Aralığı 3 (53-106 µm)
Sükroz	9.76	3.08	1.39
Maltitol	9.23	4.76	2.17
İsomalt	3.81	4.61	1.54
Ksilitol	3.92	3.11	1.54

Model uygunluğunun test edilmesi amacıyla isomaltın birinci partikül boyut aralığı ile hazırlanmış çikolatanın verilerine normallik analizi ve artık analizi uygulanmıştır. Artık analizi sonucunda Casson modelinde olduğu gibi artıklar sistematik bir eğilim göstermiştir (Şekil 4.2.b). Normallik analizinde ise artıkların normal varsayıma uymadığı, doğrusal bir eğilim göstermediği gözlenmiştir (Şekil 4.2.a). Akma gerilmesi değeri modelin Y aksını kestiği noktadaki kayma

gerilmesine eşittir. Artık analiz grafiğinin Y aksına yakın bölümünde tahmin edilen değer ile ölçülen değer arasında büyük bir farklılık bulunmaktadır (Şekil 4.2.b). Isomalt ile hazırlanmış çikolatanın akma gerilmesinin diğer çikolataların aksine partikül boyut aralığı arttıkça artmasına bu farklılığın neden olduğu düşünülmektedir. Ksilitolün birinci ve ikinci partikül boyut aralığı ile hazırlanmış çikolata normallik analizi ve artık analizi isomaltın birinci partikül boyut aralığı ile hazırlanmış çikolata ile benzer davranış göstermektedir. Diğer çikolataların Bingham modeli ile modellenmesi sonucunda artık analizlerinde sistematik dağılım azalmış ve Casson modeline göre daha iyi bir sonuç verdiği gözlenmiştir.



Şekil 4.2. Bingham modeli ile modellenen, birinci partikül boyut aralığındaki isomalt ile hazırlanmış çikolatanın normallik analizi (a) ve artık analizi (b)

4.4.3. Herschel-Bulkley modeli

Erimiş çikolata için önerilen başka bir model ise Herschel-Bulkley modelidir (Chevalley, 1975).

$$\tau = \tau_0 + n_{pl} (\dot{\gamma})^m$$

n_{pl} : plastik viskozite

τ_0 : akma gerilmesi

m : akış indeksi

Herschel-Bulkley modeli diğer modellerden farklı olarak akış indeksi (m) parametresine sahiptir. Bingham modelinde de akış indeks parametresi bulunmaktadır fakat bire eşit olmasından dolayı ayrıca üçüncü bir parametre Bingham modeli için kullanılmamaktadır. Akış indeksi değeri (m), plastik viskozite

(n_{pl}) ve akma gerilmesi değerleri (τ_0) doğrusal olmayan regresyon yardımı ile hesaplanmıştır.

Hesaplanan m değerleri genellikle 1.01 ile 0.99 arasında değişmektedir (Tablo 4.11.). Ksilitolün birinci ve ikinci partikül boyut aralığından elde edilmiş çikolatalar ile isomaltın birinci partikül boyut aralığından elde edilmiş çikolataların akış indeks değerleri diğer çikolatalarının akış indeksi değerlerine göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir (Tablo 4.11.).

Tablo 4.11. Farklı partikül boyutundaki sükroz ikameleri ile elde edilen çikolataların Herschel-Bulkley akış indeks değerleri (Pa)

Sükroz ikameleri	Partikül boyut aralığı 1 (20-38 μm)	Partikül boyut aralığı 2 (38-53 μm)	Partikül boyutu Aralığı 3 (53-106 μm)
Sükroz	1.0015	1.0085	1.009
Maltitol	1.0030	1.0035	1.0015
İsomalt	1.0425	0.9990	0.9915
Ksilitol	1.0500	1.0405	0.9995

Herschel-Bulkley modeli ile elde edilen plastik viskozite (kıvamlılık katsayısı) değerleri Casson ve Bingham modelleri ile elde edilen değerlerden daha küçük olduğu gözlenmiştir. Herschel-Bulkley plastik viskozite diğer modellerde de olduğu gibi partikül boyutu arttıkça azalmıştır (Tablo 4.12.).

Tablo 4.12. Farklı partikül boyutundaki sükroz ikameleri ile elde edilen çikolataların Herschel-Bulkley plastik viskozite (kıvamlılık katsayısı) değerleri (Pa sⁿ)

Sükroz ikameleri	Partikül boyut aralığı 1 (20-38 μm)	Partikül boyut aralığı 2 (38-53 μm)	Partikül boyutu Aralığı 3 (53-106 μm)
Sükroz	2.363	1.451	0.849
Maltitol	2.071	1.516	1.000
İsomalt	2.745	1.828	0.9175
Ksilitol	2.086	1.75	0.927

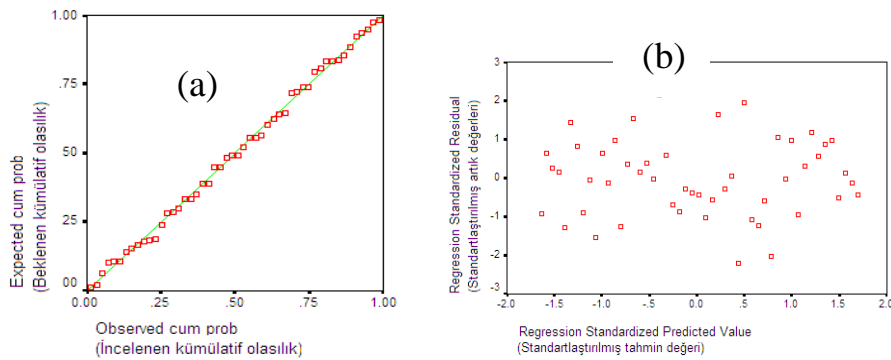
Herschel-bulkley modeli ile elde edilen akma gerilmesi değerleri diğer modellerle karşılaştırıldığında, Bingham modeli ile elde edilen akma gerilmesi değerlerine oldukça yakın olduğu gözlenmiştir (Tablo 4.13.). Sadece ksilitol birinci ve ikinci partikül boyutu ile hazırlanmış çikolatalar ile isomaltın birinci partikül

boyut aralığı ile hazırlanmış çikolataların akma gerilmesi değerlerinin, Bingham modeli ile elde edilen akma gerilmelerine göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bütün çikolataların Herschel-Bulkley ile elde edilen akma gerilmesi değerleri partikül boyut aralığı arttıkça azalmaktadır.

Tablo 4.13. Farklı partikül boyutundaki sükroz ikameleri ile elde edilen çikolataların Herschel-Bulkley akma gerilmesi değerleri (Pa)

Sükroz ikameleri	Partikül boyut aralığı 1 (20-38 µm)	Partikül boyut aralığı 2 (38-53 µm)	Partikül boyutu Aralığı 3 (53-106 µm)
Sükroz	9.879	3.401	1.595
Maltitol	9.400	4.927	2.206
İsomalt	7.152	4.596	1.363
Ksilitol	7.065	5.561	1.567

Herschel-Bulkley modeli ile modellenen, birinci partikül boyut aralığındaki ksilitol ile hazırlanmış çikolatanın verilerine normallik analizi ve artık analizi uygulanmıştır (Şekil 4.3.). Bütün çikolatalar için hem artık analizi hem de normallik analizinin doğrulandığı model Herschel-Bulkley modeli olmuştur. Artık analizinde diğer modellerde görülen sistematik dağılım gözlenmemiş aksine noktaların rasgele dağılmış halde olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.3.b). Normallik analizinin de normal varsayımı doğruladığı gözlenmiştir (Şekil 4.3.a.). Diğer sükroz ikameleri ile yapılan çikolatalarda da artık ve normallik analizleri modelin uygun olduğunu doğrulamıştır.



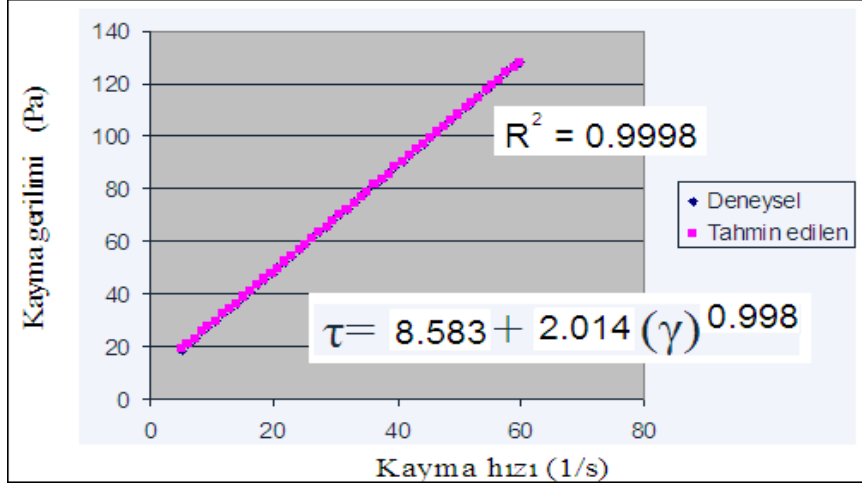
Şekil 4.3. Herschel-Bulkley modeli ile modellenen, birinci partikül boyut aralığındaki ksilitol ile hazırlanmış çikolatanın normallik analizi (a) ve artık analizi (b)

Akma gerilmesi değerleri açısından modeller karşılaştırıldığında Herschel-Bulkey modeli (Tablo 4.13.) ile Bingham modelinden elde edilen değerlerin (Tablo 4.10.) birbirlerine çok yakın olduğu gözlenmiştir. Sadece ksilitol birinci ve ikinci partikül boyutu ile hazırlanmış okolatalar ile isomaltın birinci partikül boyut aralığı ile hazırlanmış okolataların Bingham ve Herschel-Bulkey modellerinden elde edilen akma gerilmesi değerlerinin arasında farklılık görülmüştür. Bunun nedenin Bingham modelinin bu okolataların verilerini doğru bir şekilde ifade edememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Plastik viskozite değerleri açısından modeller karşılaştırıldığında da akma gerilmesi değerlerine benzer bir sonuç ile karşılaşılmıştır. Ksilitol birinci ve ikinci partikül boyutu ile hazırlanmış okolatalar ile isomaltın birinci partikül boyut aralığı ile hazırlanmış okolataların Bingham ve Herschel-Bulkey modellerinden elde edilen plastik viskoziteleri arasında farklılık gözlenirken diğer okolataların plastik viskozite değerleri arasında belirgin bir farklılık gözlenmemiştir.

Herschel-Bulkley modelinde hesaplanan akış indeksi (m) değerleri genel olarak 0.99 - 1.01 arasında değiştiği gözlenmiştir. Herschel-Bulkley modeli (m) akış indeksi değerinin 1'e eşit olması durumunda Bingham modeline eşit olmaktadır. Herschel-Bulkley modelindeki akış indeksi değerlerinin 1.00 e yakın olması Bingham modeli ile Herschel-Bulkley modelinden elde edilen değerlerin yakın çıkmasını açıklamaktadır.

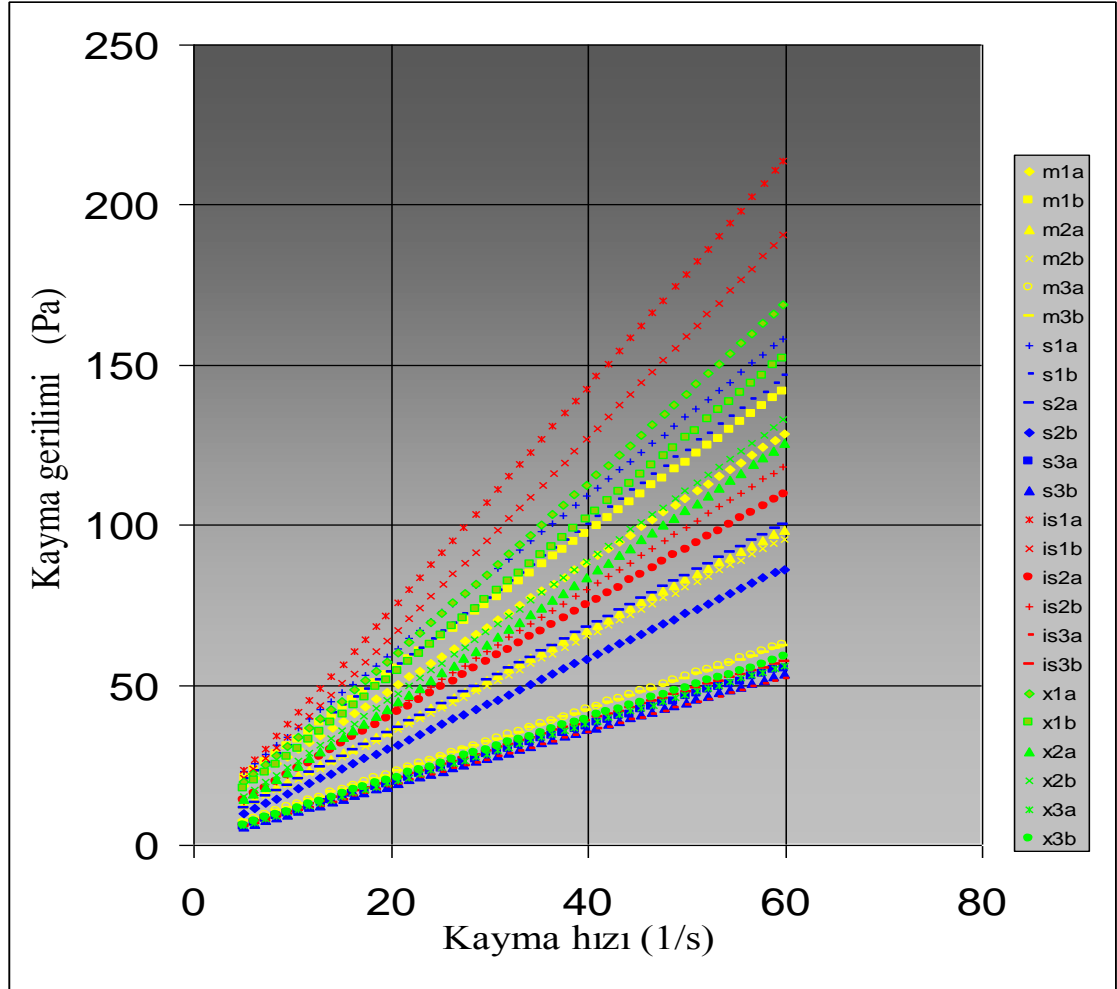
Modeller arasında incelemeler sonucunda en uygun model olarak Herschel-Bulkley modeli olarak seçilmiştir. Bütün reolojik parametreler bu model kullanılarak hesaplanıp karşılaştırılmıştır, şekil 4.4 de birinci partikül boyut aralığında maltitol ile tatlandırılmış okolatanın deneysel, tahmini değerleri ve R^2 değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Birinci partikül boyut aralığındaki maltitol ile tatlandırılmış çikolatanın deneysel, tahmini ve R^2 değerleri

4.5. Farklı Sükroz İkamelerinin Reolojik Özelliklere Etkisi

Sükroz, maltitol, ksilitol ve isomalt'ın üç ayrı partikül boyut aralığı ile hazırlanmış çikolatalara ait kayma gerilmesi ve kayma hızı değerleri Şekil 4.4. de verilmiştir. Bu veriler Herschel-Bulkley modeline göre modellenmiş ve model parametreleri hesaplanmıştır.



Şekil 4.5. Sükroz, maltitol, ksilitol ve isomalt'ın 3 ayrı partikül boyutu ile tatlandırılmış çikolataların 5 - 60 s⁻¹ kayma hızı aralığında yukarı ve aşağı yöndeki ölçümlerin ortalanması sonucu kayma hızının kayma gerilimine göre değişimi^{1,2,3}

¹Grafikte m, s, is, x kısaltmaları sırasıyla maltitol, sükroz, isomalt, ksilitol olup çikolatada kullanılan sükroz ikamesini göstermektedir.

² 1,2,3 değerleri partikül boyut aralığını göstermektedir.

³a ve b harfleri ise 2 paralelli çalışma sonuçlarını göstermektedir.

4.5.1. Plastik viskozite (kıvamlılık katsayısı) (η_{pl})

4.5.1.1. Sükroz ikamesi tipinin plastik viskozite üzerine etkisi

Sükroz ikameleri ve partikül boyutunun plastik viskozite üzerine etkisi bir arada incelendiğinde isomalt, sükroz ve diğer ikamelere göre plastik viskoziteyi önemli ölçüde arttırmıştır ($p = 0.009$) (Tablo 4.14.). Maltitol ve Ksilitolün önemli bir etkisi görülmemiştir ($p > 0.05$).

Tablo 4.14. Sükroz ve sükroz ikamelerinin tüm partikül boyutları göz önüne alındığında çikolataların plastik viskoziteleri üzerine etkisi (Pa. s^m)

Sükroz ikameleri	Plastik viskozite (Pa. s ^m)
Sükroz(kontrol)	1.554 ^a
Maltitol	1.529 ^a
İsomalt	1.830 ^b
Ksilitol	1.568 ^a

Aynı kolondaki farklı harflerle gösterilen değerler %95 güven aralığında birbirlerinden farklıdır.

İsomalt en düşük yoğunluk değerine (1.5g/cm³) sahip olmasından (Tablo 4.6.) dolayı aynı ağırlık oranı için diğer sükroz ikamelerine göre daha yüksek hacme sahiptir. Bu durum isomalt ile hazırlanmış çikolatalarda daha yüksek katı hacim oranına sebep olmaktadır. Genel olarak bir süspansiyonun plastik viskozitesi katı hacim oranının artması ile artmaktadır (Rao, 1999b). Bu nedenle isomalt ile hazırlanmış çikolatanın viskozitesi diğer çikolatalara oranla daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Partikül boyut dağılımında küçük partiküllerin iki ayrı etkisi bulunmaktadır. Bunlardan birincisi küçük partiküller spesifik yüzey alanını arttırarak kakao yağı (devamlı faz) ile kaplanması gereken alanı arttırmakta dolayısıyla viskoziteyi arttırmaktadır. Diğeri ise büyük partiküller arasında oluşan boşlukları küçük partiküller doldurarak devamlı faz etkisi oluşturmakta ve viskoziteyi azaltmaktadır (Servais ve diğ., 2002). İsomalt ile hazırlanmış çikolatanın diğer çikolatalara oranla daha az küçük partikül içermesi, küçük partiküllerin sağladığı devamlı faz etkisini azaltmış ve bu nedenle isomalt ile üretilmiş çikolatanın plastik viskozitesinin yükseltilmiş olabileceği düşünülmüştür.

Maltitol ve sükrözün plastik viskozite üzerine etkisi isomaltın etkisine göre daha düşük olduğu gözlenmiştir. Bunun en önemli nedeni sükröz ve maltitolün isomalta göre yoğunluğunun daha yüksek olmasından dolayı katı hacmin fraksiyonunun isomalt kadar yüksek olmamasıdır. Ayrıca sükröz ve maltitoldeki küçük partiküllerin isomaltda bulunan partiküllere oranla daha fazla olması küçük partiküllerin büyük partiküller arasına girerek devamlı faz etkisi yapmasına neden olmuştur ve bu nedenle viskoziteyi azalttığı düşünülmektedir.

Ksilitolün plastik viskozitenin etkisi de isomaltın etkisine göre daha düşüktür. Ksilitol ve isomaltın partikül boyut dağılımı birbirlerine benzemektedir ayrıca yoğunluk olarak ksilitolün ve isomalt oldukça yakın yoğunluk değerlerine sahiptir. Bundan dolayı ksilitolün plastik viskozite değerinin isomalta yakın bir değer çıkması beklenmektedir. Bu farklılığın nedenin ksilitolün akış indeks değerinin (m) diğer çikolatalara oranla daha yüksek olmasından dolayı plastik viskozite değeri daha düşüktür. Görünen viskozite ile bu karşılaştırılma yapıldığında bu sebep açıkça görülmüştür.

4.5.1.2. Partikül boyutunun plastik viskozite üzerine etkisi

Sükröz ikamesi tipi ve partikül boyutunun plastik viskozite üzerine etkisi bir arada incelendiğinde boyut etkisinin önemli olduğu gözlenmiştir ($p < 0.001$). Partiküllerin boyut aralıkları azaldıkça, toplam partikül yüzey alanının artması sonucu plastik viskozite değerleri de artmaktadır (Tablo 4.15.).

Tablo 4.15. Partikül boyutunun tüm sükröz ve sükröz ikameleri göz önüne alındığında çikolataların plastik viskoziteleri üzerine etkisi (Pa. s^m)

Partikül boyut aralıkları	Plastik viskozite (Pa. s ^m)
Partikül boyut aralığı 1 (20-38 µm)	2.32 ^c
Partikül boyut aralığı 2 (38-53 µm)	1.64 ^b
Partikül boyut aralığı 3 (53-106 µm)	0.93 ^a

Aynı kolondaki farklı harflerle gösterilen değerler %95 güven aralığında birbirlerinden farklıdır.

4.5.1.3. Sükroz ikamesi tipi ile partikül boyut etkileşiminin plastik viskozite üzerine etkisi

Sükroz ikamelerinin plastik viskozite üzerine etkisi her bir partikül boyut aralığı için ayrı ayrı incelendiğinde sükroz ikamesi tipinin belirgin bir etkisi ile karşılaşılmemiştir (Birinci partikül boyut aralığı, $p = 0.087$, ikinci partikül boyut aralığı, $p = 0.083$, üçüncü partikül boyut aralığı, $p = 0.111$) (Tablo 4.16.) .

Tablo 4.16. Sükroz ve sükroz ikamelerinin çikolataların plastik viskoziteleri üzerine etkisi (Pa. sⁿ.)

Sükroz ikameleri	Partikül boyutu aralığı 1 (20-38 µm)	Partikül boyutu aralığı 2 (38-53 µm)	Partikül boyutu aralığı 3 (53-106 µm)
Sükroz(kontrol)	2.36 ^a	1.45 ^a	0.85 ^a
Maltitol	2.07 ^a	1.52 ^a	1.00 ^a
İsomalt	2.75 ^a	1.83 ^a	0.92 ^a
Ksilitol	2.09 ^a	1.75 ^a	0.93 ^a

Aynı kolondaki farklı harflerle gösterilen değerler %95 güven aralığında birbirlerinden farklıdır.

Partikül boyutunun plastik viskozite üzerine etkisi sükroz ikamelerinin her biri için ayrı ayrı incelendiğinde boyut etkisinin belirgin olduğu gözlenmiştir (Tablo 4.17.). Tukey testi ile yapılan analiz sonucunda Maltitol ($p=0.001$), Isomalt ($p=0.007$) ve Ksilitol ($p=0.001$) sükroz ikamelerinin bütün partikül boyutları arasında farklılık gözlenmiştir. Sükroz ($p=0.006$) için Tukey testi ile yapılan analiz sonucunda ikinci ve üçüncü partikül boyut aralığı arasında farklılık gözlenmemiştir, bu analiz Duncan testi ile tekrarlandığında farklılık gözlenmiştir.

Tablo 4.17. Sükroz ve sükroz ikamelerinin partikül boyutlarının çikolataların plastik viskoziteleri üzerine etkisi (Pa. sⁿ.)

Partikül boyut aralığı	Sükroz	Maltitol	İsomalt	Ksilitol
Partikül boyut aralığı 1 (20-38 µm)	2.36 ^b	2.07 ^c	2.75 ^c	2.09 ^c
Partikül boyut aralığı 2 (38-53 µm)	1.45 ^a	1.52 ^b	1.83 ^b	1.75 ^b
Partikül boyut aralığı 3 (53-106 µm)	0.85 ^a	1.00 ^a	0.92 ^a	0.93 ^a

Aynı kolondaki farklı harflerle gösterilen değerler %95 güven aralığında birbirlerinden farklıdır.

4.5.2. Görünen viskozite (η_{app})

Herschel-Bulkley modelindeki akış indeksi (m) değeri genel olarak bütün çikolatalarda 1.00'e yakın çıkmıştır. Bazı çikolatalar için 1.00'dan farklılık

göstermesi ölçülen plastik viskozite parametresini etkilemektedir. Görünen viskozite değerleri kullanılarak plastik viskozite üzerindeki bu etki kaldırılmış olacaktır. Görünen viskozite değerleri 30 s^{-1} deki kayma hızındaki kayma gerilmesinin kayma hızına oranı ile bulunmuştur.

4.5.2.1. Sükroz ikamesi tipinin görünen viskozite üzerine etkisi

Sükroz ikamesi ve boyutun görünen viskozite üzerine etkisi bir arada incelendiğinde plastik viskozite değerlerinde olduğu gibi isomalt, sükroz ve ikamelere göre daha yüksek viskoziteye sebep olmuştur ($p=0.001$) (Tablo 4.18.). Maltitol ve ksilitol görünen viskozite üzerine önemli bir etki göstermemiştir.

Plastik viskozite ile görünen viskozite sonuçları karşılaştırıldığında farklı olarak ksilitolün görünen viskozite üzerine etkisinin isomalt ile maltitol ve sükrozun etkisine eşit olduğu gözlenmiştir. Bunun nedenin ksilitolün akış indeksi (m) değerinin yüksek olması sonucunda plastik viskozite değerinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Yoğunluk değerleri açısından sükroz ikameleri karşılaştırıldığında sükroz ile maltitolün, isomalt ile ksilitolün birbirlerine yakın değerlere sahip oldukları gözlenmiştir (Tablo 4.6.). Yoğunluğu birbirlerine yakın olan sükroz ikamelerinin görünen viskozite değerlerinin de birbirlerine yakın olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle katı hacim oranının görünen viskozite değerlerini belirgin bir şekilde etkilediği düşünülmektedir.

Tablo 4.18. Sükroz ve sükroz ikamelerinin tüm partikül boyutları göz önüne alındığında çikolataların 30 s^{-1} deki görünen viskoziteleri üzerine etkisi (Pa.s.)

Sükroz ikameleri	30 s^{-1} deki görünen viskoziteleri (Pa.s.)
Sükroz(kontrol)	1.74 ^a
Maltitol	1.73 ^a
İsomalt	2.11 ^b
Ksilitol	1.96 ^{ab}

Aynı kolondaki farklı harflerle gösterilen değerler %95 güven aralığında birbirlerinden farklıdır.

4.5.2.2. Partikül boyutunun görünen viskozite üzerine etkisi

Sükroz ikamesi ve partikül boyutunun görünen viskozite üzerine etkisi bir arada incelendiğinde boyutun önemli etkisi gözlenmiştir ($p < 0.001$). Partiküllerin boyutu küçüldükçe, toplam partikül yüzey alanının artması sonucu görünen viskozite değerlerinin de arttığı gözlenmiştir (Tablo 4.19.)

Tablo 4.19. Partikül boyutunun tüm sükroz ve sükroz ikameleri göz önüne alındığında çikolataların 30 s^{-1} deki görünen viskoziteleri üzerine etkisi (Pa. s.)

Partikül boyut aralıkları	30 s^{-1} deki görünen viskozite (Pa. s.)
Partikül boyut aralığı 1 (20-38 μm)	2.32 ^c
Partikül boyut aralığı 2 (38-53 μm)	1.64 ^b
Partikül boyut aralığı 3 (53-106 μm)	0.93 ^a

Aynı kolondaki farklı harflerle gösterilen değerler %95 güven aralığında birbirlerinden farklıdır.

4.5.2.3. Sükroz ikamesi tipi ile partikül boyut etkileşiminin görünen viskozite üzerine etkisi

Sükroz ikamesi tipinin görünen viskozite üzerine etkisi her bir partikül boyut aralığı için ayrı ayrı incelendiğinde birinci ve ikinci partikül aralığında önemli bir etki görülürken ($p < 0.004$), üçüncü partikül boyut aralığında daha az bir etki görülmüştür ($p = 0.053$). Her bir partikül aralığında sükroz ve sükroz ikameleri ikili olarak Tukey yesti ile karşılaştırılmıştır (Tablo 4.20.).

Birinci partikül boyut aralığında isomaltın görünen viskoziteye etkisinin maltitolün etkisinden yüksek olduğu görülmüştür ($p = 0.037$). Diğer sükroz ve sükroz ikameleri arasında önemli bir farklılık görülmemiştir ($p > 0.05$). Ayrıca sükroz ile ksilitolün etkisinin ise isomalt ve maltitolün etkisinden farklı olmadığı görülmüştür. İsomaltın katı hacim oranının maltitole oranla daha fazla olması sonucu isomaltın etkisinin daha yüksek olduğu düşünülmektedir. Maltitol ile elde edilen çikolata değerinin diğerlerine göre daha düşük olduğu görülmüştür. Maltitolün diğer sükroz ikamelerine oranla daha fazla küçük partiküller içermesi ve bu partiküllerin büyük partiküllerin arasındaki boşlukları doldurulması sonucu sürtünmeyi azalttığı düşünülmektedir (Tablo 4.1.).

İkinci partikül aralığında ksilitolün görünen viskoziteye etkisinin maltitol ve sükrozun etkisinden daha yüksek olduğu ancak isomaltın etkisinden farklı olmadığı gözlenmiştir (0.014) (Tablo 4.20.). Ayrıca isomaltın etkisinin sükroz ve maltitolun etkisinden farklı olmadığı belirlenmiştir. İkinci partikül boyut aralığında oluşan bu farklılığın sükroz ve maltitolün diğer isomalt ve ksilitole oranla daha fazla küçük partiküller içermesi ve bu küçük partiküllerin büyük partiküllerin arasındaki boşlukları doldurarak devamlı faz etkisi yarattığı ve sürtünmeyi azalttığı düşünülmektedir (Tablo 4.1.). Ayrıca isomalt ve ksilitolün yoğunluğunun maltitole ve sükroza oranla düşük olmasından dolayı katı hacim fraksiyonunun etkisi de yüksektir (Tablo 4.6.).

Üçüncü partikül aralığında Tukey testi ile yapılan analiz sonucunda farklılık gözlenmemiştir (p=0.053). Bunun nedeninin partiküllerin boyutlarının artması sonucunda devamlı faz ile (yağ) kaplanması gereken yüzey oldukça düşmüş olmasıdır (Tablo 4.4.). Maltitolün partikül dağılımının diğer sükoz ikamelerine oranla çok düşük çıkmış olması yüzey alanını artırmış ve maltitolün plastik viskozite üzerine etkisini artırmıştır. Fakat farklılık analizinde diğer sükroz ikamelerinden ayrı bir farklılık gözlenmemiştir.

Tablo 4.20. Sükroz ve sükroz ikamelerinin çikolataların görünen viskoziteleri üzerine etkisi (Pa.s.)

Sükroz ikameleri	Partikül boyutu aralığı 1 (20-38 µm)	Partikül boyutu aralığı 2 (38-53 µm)	Partikül boyutu aralığı 3 (53-106 µm)
Sükroz(kontrol)	2.68 ^{ab}	1.60 ^a	0.93 ^a
Maltitol	2.40 ^a	1.70 ^a	1.08 ^a
İsomalt	3.40 ^b	1.98 ^{ab}	0.94 ^a
Ksilitol	2.71 ^{ab}	2.18 ^b	0.98 ^a

Aynı kolondaki farklı harflerle gösterilen değerler %95 güven aralığında birbirlerinden farklıdır.

Partikül boyutunun görünen viskozite üzerine etkisi sükroz ikamelerinin her biri için ayrı ayrı incelendiğinde boyutun önemli bir etkisi olduğu gözlenmiştir (Tablo 4.21.). Tukey testi ile yapılan analiz sonucunda tüm sükroz ikamelerinin bütün partikül boyutları arasında farklılık gözlenmiştir. (Sükroz, p=0.03, Maltitol p=0.02, Isomalt p=0.02 ve Ksilitol p=0.02).

Tablo 4.21. Sükroz ve sükroz ikamelerinin partikül boyutlarının çikolataların 30 s⁻¹ deki görünen viskoziteleri üzerine etkisi (Pa.s.)

Partikül boyut aralığı	Sükroz	Maltitol	İsomalt	Ksilitol
Partikül boyut aralığı 1 (20-38 µm)	2.68 ^c	2.4 ^c	3.4 ^c	2.71 ^c
Partikül boyut aralığı 2 (38-53 µm)	1.6 ^b	1.7 ^b	1.98 ^b	2.18 ^b
Partikül boyut aralığı 3 (53-106 µm)	0.93 ^a	1.08 ^a	0.94 ^a	0.98 ^a

Aynı kolondaki farklı harflerle gösterilen değerler %95 güven aralığında birbirlerinden farklıdır.

4.5.3. Akma gerilmesi

4.5.3.1. Sükroz ikamesi tipinin akma gerilmesi üzerine etkisi

Sükroz ikamesi ve partikül boyutunun akma gerilmesi üzerine etkisi bir arada incelendiğinde sükroz ikameleri arasında yapılan ikili karşılaştırmalar sonucunda sadece maltitol ve isomaltın farklı sonuçlar verdiği (p=0.014), diğerleri arasında bir farklılık olmadığı görülmüştür (p > 0.05)(Tablo 4.22.).

Tablo 4.22. Sükroz ve sükroz ikamelerinin tüm partikül boyutları göz önüne alındığında çikolataların akma gerilmeleri üzerine etkisi (Pa)

Sükroz ikameleri	Akma gerilmesi (Pa)
Sükroz(kontrol)	4.96 ^{ab}
Maltitol	5.51 ^b
İsomalt	4.37 ^a
Ksilitol	4.73 ^{ab}

Aynı kolondaki farklı harflerle gösterilen değerler %95 güven aralığında birbirlerinden farklıdır.

Akma gerilmesi durgun haldeki iç yapının durumunu göstermektedir (Franke ve diğ., 2001). Durgun halde partiküller bir arada olmasından dolayı yüzey alanın yüksek olması sürtünme açısından daha fazla etkili olmaktadır. Kayma hızı arttıkça küçük partiküller devamlı faz içersinde dağılmakta ve büyük partiküller arasındaki boşlukları doldurarak devamlı faz gibi davranmakta ve partiküller arasındaki direnci azaltmaktadır (Servais ve diğ., 2002). Bu nedenle partikül boyut dağılımında küçük partiküller olması viskoziteden çok yıkılma stresini etkilemektedir (Şekil 2.4.).

Maltitolün partikül dağılımında diğer sükroz ikamelerine oranla daha fazla küçük partikül içermesi akma gerilmesi değerinin yüksek olmasında etkili olduğu düşünülmektedir. Maltitolün spesifik yüzey alanının değerinin yüksek olması partikül dağılımında diğer sükroz ikamelerine göre daha fazla küçük partikül içerdiğini göstermektedir (Tablo 4.4.). İsomaltın partikül dağılımında daha az küçük partikül içermesi ve spesifik yüzey alanı düşük olmasından dolayı isomaltın akma gerilmesine etkisi maltitole göre daha az olmuştur.

4.5.3.2. Partikül boyutunun akma gerilmesi üzerine etkisi

Sükroz ikamesi tipi ve partikül boyutunun akma gerilmesi üzerine etkisi bir arada incelendiğinde boyut etkisinin önemli olduğu gözlenmiştir ($p<0.001$) (Tablo 4.23). Partikül boyut aralığı arttıkça, devamlı faz ile kaplanması gereken yüzeyin azalması sonucu akma gerilmesi değeri azalmaktadır.

Tablo 4.23. Partikül boyutunun tüm sükroz ve sükroz ikameleri göz önüne alındığında çikolataların akma gerilmeleri üzerine etkisi (Pa.)

Partikül boyut aralıkları	Akma gerilmesi değerleri (Pa.)
Partikül boyut aralığı 1 (20-38 μm)	8.37 ^c
Partikül boyut aralığı 2 (38-53 μm)	4.62 ^b
Partikül boyut aralığı 3 (53-106 μm)	1.68 ^a

Aynı kolondaki farklı harflerle gösterilen değerler %95 güven aralığında birbirlerinden farklıdır.

4.5.3.3. Sükroz ikamesi tipi ile partikül boyut etkileşiminin akma gerilmesi üzerine etkisi

Sükroz ikamesi akma gerilmesi üzerine etkisi her bir partikül boyut aralığı için ayrı ayrı incelendiğinde, sükroz ikamesi tipinin önemli bir etkisi görülmüştür ($p<0.05$).

Tablo 4.24. Sükroz ve sükroz ikamelerinin çikolataların akma gerilmesi üzerine etkileri (Pa)

Sükroz ikameleri	Partikül boyutu aralığı 1 (20-38 µm)	Partikül boyutu aralığı 2 (38-53 µm)	Partikül boyutu aralığı 3 (53-106 µm)
Sükroz(kontrol)	9.879 ^a	3.401 ^a	1.595 ^a
Maltitol	9.400 ^a	4.927 ^b	2.206 ^b
İsomalt	7.152 ^a	4.596 ^{ab}	1.363 ^a
Ksilitol	7.065 ^a	5.561 ^b	1.567 ^a

Aynı kolondaki farklı harflerle gösterilen değerler %95 güven aralığında birbirlerinden farklıdır.

Birinci partikül aralığında Tukey testi ile yapılan istatistiksel analiz sonucu sükroz ikamelerinin akma gerilmesi üzerine etkisi arasında farklılık görülmemiştir. Fakat Duncan testi kullanıldığında maltitol ve sükrozun etkisinin, isomalt ve ksilitolun etkisinden yüksek olduğu görülmüştür (p=0.049). Bunun nedeninin maltitol ve sükroz'un birinci partikül boyut aralığı için diğer sükroz ikamelerine göre daha çok küçük partikül içermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

İkinci partikül aralığında yapılan istatistiksel analiz sonucunda ksilitol ve maltitol sükroza göre daha yüksek akma gerilmesi neden olmuştur (p=0.011). İsomaltın akma gerilmesi üzerine önemli bir etkisi görülmemiştir (p<0.05). İkinci partikül aralığında maltitol'un yüksek akma gerilmesine sahip olması partikül yüzey alanının diğer sükroz ikamelerine göre daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Bunun yanında ksilitolün spesifik yüzey alanının çok yüksek olmamasına rağmen yüksek akma gerilmesine neden olmuştur. Aynı şekilde isomalt da ksilitole hem spesifik yüzey alanı hem de yoğunluk değeri açısından benzemektedir, bu yüzden akma gerilmesi ksilitol ve maltitole yakın bir değer almıştır.

Üçüncü partikül boyut aralığında yapılan istatistiksel analiz sonucunda maltitol diğer sükroz ikamelerine oranla daha yüksek akma gerilmesine sahip olduğu belirlenmiştir (p=0.001). Partikül boyut aralığı büyüdükçe kaplanması gereken yüzey alanı azalmaktadır, bu yüzden sükroz ikamelerinin akma gerilmesi üzerine etkileri arasındaki farklılıklar da azalmaktadır. Üçüncü partikül boyut aralığında maltitolün d(0.5) değeri diğer çikolatalara oranla oldukça düşüktür. Bu yüzden maltitolün akma gerilmesi üzerine etkisi diğer çikolatalara oranla yüksek olduğu gözlenmiştir.

Partikül boyutunun akma gerilmesi üzerine etkisi sükroz ikamelerinin her biri için ayrı ayrı incelendiğinde, partikül boyutunun etkisinin belirgin olduğu gözlenmiştir (Tablo 4.25.). Partikül boyut aralığı arttıkça yüzey alanın azalmasından dolayı akma gerilmesi azalmaktadır. Tukey testi ile yapılan analiz sonucunda tüm partikül boyutları isomalt ($p=0.001$) ve sükroz ($p<0.001$) ile elde edilen çikolatalarda farklı akma gerilmesine neden olmuştur. Maltitol ile elde edilen çikolatalarda birinci partikül boyut aralığı, ikinci ve üçüncü partikül boyut aralıklarından farklı olmasına karşın, ikinci ve üçüncü partikül boyut aralıkları arasında fark görülmemiştir, Duncan testi kullanıldığında bu farklılık gözlenmiştir ($p=0.004$). Aynı şekilde ksilitol ile elde edilen çikolatalarda üçüncü partikül boyut aralığı, birinci ve ikinci partikül boyut aralıklarından farklı olmasına karşın, birinci ve ikinci partikül boyut aralıkları arasında fark görülmemiştir ($p=0.006$).

Tablo 4.25. Sükroz ve sükroz ikamelerinin partikül boyutlarının çikolataların akma gerilmeleri üzerine etkisi (Pa)

Partikül boyut aralığı	Sükroz	Maltitol	İsomalt	Ksilitol
Partikül boyut aralığı 1 (20-38 μm)	9.879 ^c	9.400 ^b	7.152 ^c	7.065 ^b
Partikül boyut aralığı 2 (38-53 μm)	3.400 ^b	4.927 ^a	4.596 ^b	5.561 ^b
Partikül boyut aralığı 3 (53-106 μm)	1.595 ^a	2.206 ^a	1.363 ^a	1.567 ^a

Aynı kolondaki farklı harflerle gösterilen değerler %95 güven aralığında birbirlerinden farklıdır.

4.5.4. Akış indeksi

4.5.4.1. Sükroz ikamesi tipinin akış indeksi üzerine etkisi

Sükroz ikamesi tipi ve partikül boyutunun akış indeksi üzerine etkisi bir arada incelendiğinde ksilitol sükroz ve diğer ikamelere göre daha yüksek akış indeksine yol açmıştır ($p = 0.0001$) (Tablo 4.26.). İsomalt, maltitol ve sükroz ile elde edilen çikolatalarda önemli bir fark görülmemiştir.

Tablo 4.26. Sükroz ve sükroz ikamelerinin tüm partikül boyutları göz önüne alındığında çikolataların akış indeksleri üzerine etkisi

Sükroz ikameleri	Akış indeksi (m)
Sükroz(kontrol)	1.0063 ^a
Maltitol	1.0027 ^a
İsomalt	1.0110 ^a
Ksilitol	1.0328 ^b

Aynı kolondaki farklı harflerle gösterilen değerler %95 güven aralığında birbirlerinden farklıdır.

Genel olarak okolata akış indeks değeri 1.00'e yakın değeri almıştır. Özellikle maltitol ve sükrozun akış indeks değeri 1.00'e çok yakındır. Fakat ksilitol diğer sükroz ikamelerine göre daha yüksek bir akış indeks değeri göstermektedir. Ksilitolün akış indeks değeri 1.00 den büyük olması kabaran (dilatant) bir davranışa yaklaştığını göstermektedir.

4.5.4.2. Partikül boyutunun akış indeksi üzerine etkisi

Sükroz ikamesi tipi ve partikül boyutunun akış indeksi üzerine etkisi bir arada incelendiğinde boyut etkisi belirgin olduğu gözlenmiştir ($p = 0.0002$) (Tablo 4.27.). Partikül boyutu azaldıkça akış indeks değeri arttığı gözlenmiştir.

Tablo 4.27. Partikül boyutunun tüm sükroz ve sükroz ikameleri göz önüne alındığında okolataların akış indeksleri üzerine etkisi

Partikül boyut aralığları	Akış indeksi (m)
Partikül boyut aralığı 1 (20-38 μm)	1.0242 ^c
Partikül boyut aralığı 2 (38-53 μm)	1.0150 ^b
Partikül boyut aralığı 3 (53-106 μm)	1.0004 ^a

Aynı kolondaki farklı harflerle gösterilen değeri %95 güven aralığında birbirlerinden farklıdır.

4.5.4.3. Sükroz ikamesi tipi ile partikül boyut etkileşiminin akış indeksi üzerine etkisi

Sükroz ikamesi tipinin akış indeksi üzerine etkisi her bir partikül boyut aralığı için ayrı ayrı incelendiğinde sükroz ikamesi tipinin önemli etkisi görülmüştür ($p < 0.05$) Veriler incelendiğinde isomaltın birinci partikül boyut aralığı ve ksilitolün birinci ve ikinci partikül aralığı değeri diğer partikül aralığlarındaki sükroz ve sükroz ikamelerinden belirgin olarak yüksek akış indeksine neden olduğu gözlenmiştir. Farklılığın bu yönde çıkması genel olarak bu üç okolatadaki farklılıktan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Birinci partikül aralığında isomalt ve ksilitolün akış indeks değeri maltitol ve sükrozun akış indeks değeri göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir ($p=0.008$). İkinci partikül aralığında ksilitolün akış indeks değeri maltitol sükroz ve isomaltın akış indeks değeri göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir

($p=0.006$). Üçüncü partikül aralığında maltitol sükroza göre daha yüksek akış indeksine neden olurken ksilitol ve isomalt daha küçük akış indeksine neden olmuştur ($p=0.001$) (Tablo 4.28.).

Tablo 4.28. Sükroz ve sükroz ikamelerinin çikolataların akış indeksi üzerine etkileri

Sükroz ikameleri	Partikül boyutu aralığı 1 (20-38 μm)	Partikül boyutu aralığı 2 (38-53 μm)	Partikül boyutu aralığı 3 (53-106 μm)
Sükroz(kontrol)	1.0015 ^a	1.0085 ^a	1.0090 ^c
Maltitol	1.0030 ^a	1.0035 ^a	1.0015 ^b
İsomalt	1.0425 ^b	0.9990 ^a	0.9915 ^a
Ksilitol	1.0500 ^b	1.0490 ^b	0.9995 ^b

Aynı kolondaki farklı harflerle gösterilen değerler %95 güven aralığında birbirlerinden farklıdır.

Partikül boyutunun akma gerilmesi üzerine etkisi sükroz ikamelerinin her biri için ayrı ayrı incelendiğinde, boyut etkisinin isomalt ($p=0.003$) ve ksilitol ($p=0.02$) için belirgin olduğu gözlenmiştir. Maltitol ve sükroz ile elde edilen çikolataların akış indekslerini etkilememiştir ($p>0.4$) (Tablo 4.29.).

İsomalt ile elde edilen çikolatalarda birinci partikül boyutu aralığı, ikinci ve üçüncü partikül boyut aralıklarına göre daha yüksek akış indeksine yol açmış, ikinci ve üçüncü partikül boyut aralığı arasında fark görülmemiştir. Ksilitol ile elde edilen çikolatalarda birinci ve ikinci partikül boyut aralığı üçüncü partikül boyut aralığına göre daha yüksek akış indeksine neden olmuştur.

Tablo 4.29. Sükroz ve sükroz ikamelerinin partikül boyutlarının çikolataların akış indeksi üzerine etkisi

Partikül boyut aralıkları	Sükroz	Maltitol	İsomalt	Ksilitol
Partikül boyut aralığı 1 (20-38 μm)	1.0015 ^a	1.0030 ^a	1.0425 ^b	1.0500 ^b
Partikül boyut aralığı 2 (38-53 μm)	1.0085 ^a	1.0035 ^a	0.999 ^a	1.0490 ^b
Partikül boyut aralığı 3 (53-106 μm)	1.0090 ^a	1.0015 ^a	0.9915 ^a	0.9995 ^a

Aynı kolondaki farklı harflerle gösterilen değerler %95 güven aralığında birbirlerinden farklıdır.

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada değişik partikül dağılımlarına sahip sükroz, isomalt, maltitol ve ksilitolün erimiş çikolatanın reolojik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Plastik viskozite ve görünen viskozite değerleri incelendiğinde isomaltın diğer sükroz ikamelerine oranla viskoziteyi arttırdığı gözlenmiştir. Isomaltın en düşük yoğunluk değerine sahip olması nedeniyle aynı ağırlık oranı için daha fazla katı hacmine sahip olmasının plastik viskoziteyi arttırdığı düşünülmektedir. Proses açısından değerlendirildiğinde sükroz ikamelerinin katı hacim oranlarının eşit olması durumunda bu etkinin giderilebileceği düşünülmektedir. Bu amaçla eşit katı hacim oranı içeren sükroz ikameleri ile formüle edilen çikolataların reolojik özellikleri incelenmesi önerilmektedir.

Akma gerilmesi değerleri incelendiğinde maltitolün diğer sükroz ikamelerine oranla daha yüksek akma gerilmesine neden olduğu gözlenmiştir. Bu etki maltitolün diğer sükroz ikamelerine oranla partikül dağılımında daha fazla küçük partikül içermesinden dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu nedenle benzer partikül boyut dağılımına sahip sükroz ikameleri arasında akma gerilmesi açısından farklılık olmayacağı düşünülmektedir.

Çikolataların nem oranı ile ilgili yapılan analizleri sonucunda sükroz ve sükroz ikamelerinin belirgin bir etkisi ile karşılaşılmamıştır. Sükroz ve sükroz ikamelerinin kullanılarak üretilmesinin ardından artan sükroz ikameleri plastik kaplarda oda sıcaklığında depolanmıştır. Üç ay sonunda sükroz ikamelerinin incelenmesi sonunda ksilitol partiküllerinin topaklandığı gözlenmiştir. Bu nedenle ksilitolün depolanması oldukça güç olduğu gözlenmiştir. Bu problem isomalt ve maltitolde gözlenmemiştir.

Yapılan alışmalar sonucunda sükroza göre tatlık oranı, higroskopik olmama ve yoğunluk değerleri karşılaştırıldığında maltitolün sükroza benzerlik gösterdiği gözlenmiştir. İsomaltın sükroza göre tatlılık oranının düşük olması isomaltla hazırlanan çikolatada ek tatlandırıcıların kullanılmasına neden olmaktadır. Ksilitolün ise diğer şeker alkollerine oranla daha higroskopik olmasından dolayı çikolatada kullanılması önerilmemektedir. Bu kapsamda çikolatada maltitolün şeker alkolü olarak kullanılması önerilmektedir.

ikolatada partikül boyutunun değişimi çikolatanın duysal özelliklerini etkilemektedir. Partikül boyut aralıkları incelendiğinde partikül boyut aralığının plastik viskozite, görünen viskozite ve akma gerilmesi parametrelerini belirgin olarak etkilemektedir. Partikül boyut aralıkları azaldıkça bütün reolojik parametreler, yüzey alanının artması sonucu artmaktadır. Bu nedenle düşük reolojik parametrelerin elde edilmesi amacı ile sükroz ikamelerinin partikül boyut dağılımının duysal özellikleri etkilemeyecek şekilde arttırılması ve partikül dağılımları için modeller kullanılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Aeschlimann, J.M., Beckett, S.T.**, 2000. International inter-laboratory trials to determine the factors affecting the measurement of chocolate viscosity, *Journal of Texture Studies*, 31 : 541-576
- Ak, M.**, 1997. Reoloji bilim dalı ve gıda endüstrisi, *Gıda ve Teknoloji*, 2(4) : 36-46
- Anonim**, 1987. Çikolata. Ana Britannica, Volume 6, pp. 419.
- Anonim**, 2001a. Sekizinci beş yıllık kalkınma planı. 2001 Yılı programı destek çalışmaları: Ekonomik ve sosyal sektördeki gelişmeler.
<http://ekutup.dpt.gov.tr/program/2001/destek/gida.pdf> 20 Aralık 2004 de alınmıştır.
- Anonim**, 2001b. Türk Gıda Kodeksi Yönetmeliği. *Resmi Gazete* Sayı: 24512, 03 Eylül 2001, Başbakanlık Basımevi, Ankara.
- Anonim**, 2004. World chocolate consumption,
<http://www.caobisco.com/english/pdf/consumptionchocolate.pdf>. 20 Aralık 2004 de alınmıştır.
- AOAC**, 1998. Moisture in cacao products: Gravimetric method: Method 931.04. In Official methods of analysis, pp. 763. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Inc., Virginia, USA.
- Barnes, H.A.**, 1997. Thixotropy – a review, *J. Non-Newtonian Fluid Mech.*, 70 : 1 – 33.
- Barnes, H.A.** 1999. Yield stress- a review, or everything flows, *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanichs*, 81(1&2) : 133-178

- Beckett, S.T.**, 1999a. Traditional chocolate making. In: Industrial Chocolate, Manufacture and Use, S.T. Becket, 3rd ed., Chapman and Hall, New York, pp. 1-7.
- Beckett, S.T.**, 1999b. Conching. In: Industrial Chocolate Manufacture and Use, S.T. Becket., 3rd ed., Chapman and Hall, New York, pp. 153-181.
- Bouzas, J., Brown B.D.**, 1995. Interactions Affecting Microstructure, Texture, and Rheology of Chocolate Confectionery Products. In: Ingredient interactions : effects on food quality, Gaonkar, A.G., New York : M. Dekker, pp. 451-527.
- Bourne, M.C.**, 2002. Food texture and viscosity :concept and measurement, San Diego : Academic Press, pp. 80-92.
- Casson, N.**, 1957. A flow equation for pigment-oil suspensions of the printing ink, *Rheology Bull. Brit. Soc. Rheology* (52),5. Alınmıştır: Gaonkar, A.G., 1995 Ingredient interactions : effects on food quality, New York : M. Dekker, pp. 451-527.
- Chevalley, J.**, 1974. Rheolgy of chocolate, *Journal of Texture Studies*, 6 :. 177-195.
- Chevalley, J.**, 1999. Chocolate flow properties. In: Industrial Chocolate Manufacture and Use, S.T. Beckett, 3rd ed. pp. 182-199, Chapman and Hall, New York.
- Considine, M. D., Considine G. D.**, 1983. Van Nostrand's scientific encyclopedia. New York : Van Nostrand Reinhold, pp. 53.
- Embuscado, E.M., Patil, S.K.**, 2001. Erythritol, In: Alternative sweeteners, Nabors, O.L., 3rd ed., New York : M. Dekker, pp. 235-253.

- Fincke, A.**, 1965. Handbuch der Kakaoerzeugnisse, Springer Verlag Berlin, pp.357
Alınmıştır: Chevalley, J., 1974. Rheology of chocolate, *Journal of Texture Studies*, 6 : 177-195.
- Franke, K., Heinzelman, K., Tscheuschner, H.-D.**, 2001. Structure related process design in chocolate mass manufacturing, Food factory of the future seminar organized by The Swedish Institute for Food and Biotechnology, Gothenburg, Sweden, 27-29 June.
- Garbolino C.**, 2002. The influence of surfactants and moisture on the colloidal and rheological properties of model chocolate dispersions, PhD thesis, The Pennsylvania State University, The graduate School Department of Food Science, pp. 20-55.
- Harbard, E.H.**, 1956. An investigation into the variation of the viscosity of a suspension with its concentration, *Chem. Ind. (London)*, p. 491. Alınmıştır: Chevalley, J., 1974. Rheology of chocolate, *Journal of Texture Studies*, 6 : 177-195.
- Heimann, W., Fincke, A.**, 1962. Application of a modified casson equation to milk chocolate, *Lebensm. Untersuch Forsch*, (117), 297. Alınmıştır: Gaonkar, A.G., 1995. Ingredient interactions : effects on food quality, New York : M. Dekker, pp. 451-527.
- Hiemenz, P. C., Rajagopalan, R.** 1997. Principles of Colloid and Surface Chemistry, 3rd ed., New York : Marcel Dekker, 1997.
- Heiss, R., Bartusch, W.** 1957. On the rheological properties of dark chocolate masses, *Rev. Intern. Chocolat* (12), 312. Alınmıştır: Chevalley, J., 1974. Rheology of chocolate, *Journal of Texture Studies*, 6, pp. 177-195.
- Hui, Y.H.**, 1992. Encyclopedia of food science and technology, Volume 1, pp. 395-405.

- Joye, D. D.**, 2003. Shear rate and viscosity for a Casson fluid in cylindrical (Couette) geometries, *Journal of Colloid and Interface Science*(Article in Press)
- Kato, K.**, 2001. Maltitol, In: Alternative sweeteners, Nabors, O.L., 3rd ed., New York : M. Dekker, pp. 283-295.
- Le, A.S., Mulderrig, B.K.**, 2001. Sorbitol and Mannitol, In: Alternative sweeteners, Nabors, O.L., 3rd ed., New York : M. Dekker, pp. 317-333.
- Macosko, W. C.**, 1994. Rheology principles, measurements and applications, New York: VCH, pp. 175-178.
- Mahungu, S.M.**, 2002. Emulsifiers. In: Food additives. Branen, L.A., Davidson, R.M., Salminen, S., and Thorngate, second ed., J.H., New York: Marcel Dekker, 707-730.
- McClements, D.J.**, 1999. Food emulsions : principles, practice and techniques, Boca Raton : CRC Press, pp. 235-241 .
- Mesters, P.H, Velthuijsen, J.A., Brokx, S.**, 2001. Lactitol : A new reduced-calorie sweetener, In: Alternative sweeteners, Nabors, O.L., 3rd ed., New York : M. Dekker, pp. 297-315.
- Minifie, B.W.**, 1989. Chocolate, cocoa and confectionery : science and technology. New York : Van Nostrand Reinhold, pp. 111-133.
- Mongia, G.** 1997. Particle size distribution affects the rheology and sensory attributes of milk chocolate, PhD thesis, The Pennsylvania State University, The graduate School Department of Food Science, pp. 1-26.
- Neter, J., Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., and Wasserman, W.**, 1996. Applied Linear Statistical Models, fourth edition. Homewood, Illinois: Irwin.

- Nováková, H., Čopíková, J., Maixner, J. and Maryška, M.,** 2002. The production of clusters in milk chocolate, *International Journal of Food Science Technology*, 37, pp. 485-495
- Olinger, P.M.,** 1994. New options for sucrose-free chocolate, *The Manufacturing Confectioner*, 74 (5) : 77-84.
- Olinger, P.M., Pepper, T.** 2001. Xylitol, In: *Alternative sweeteners*, Nabors, O.L., 3rd ed., New York : M. Dekker, pp. 335-365.
- Rao, M.A.,** 1999a. Rheology of fluid and semisolid foods : principles and applications, Gaithersburg, Md. : Aspen Publishers, pp. 1-35.
- Rao, M.A.,** 1999b. Rheological behaviour of processed fluid and semisolid foods. In: *Rheology of fluid and semisolid foods : principles and applications*, Rao, M.A, Gaithersburg, Md. : Aspen Publishers, pp. 219-255.
- Salminen, S., Hallikainen, A.** 2002. Sweeteners, In: *Food additives*. Branen, L.A., Davidson, R.M., Salminen, S., and Thorngate, second ed., J.H., New york: Marcel Dekker, pp. 447-475.
- Schantz, B., Rohm, H.,** 2004. *Influence of lecithin-PGPR blends on the rheological properties of chocolate*, *Lebensm.-Wiss. U.-Technol*, Article in Press.
- Schantz, B., Linke, L., Rohm, H.,** 2002. Effects of different emulsifiers on rheological and physical properties of chocolate, 3rd International Symposium on Food Rheology and Structure.
- Steffe, J. F.,** 1992. *Rheological methods in food process engineering*, East Lansing, Mich. : Freeman Press, pp. 1-48.
- Steinberg, F. M., Bearden M. M., and Keen C. L.,** 2003. Cocoa and chocolate flavonoids : Implications for cardiovascular health. *Journal of the American Dietetic Association*. 103 (2) : 215-223

- Steiner, E.H.**, 1958. A new rheological relationship to express the flow properties of melted chocolate, *Rev. Intern. Chocolat.* (13), 290. Alınmıştır: Chevalley, J., 1974. Rheology of chocolate, *Journal of Texture Studies*, 6, pp. 177-195.
- Steiner, E.H.**, 1972. Melted chocolate: measuring its viscosity. *The Manufacturing Confectioner*, 52 (9) : 24. Alınmıştır: Gaonkar, A.G., 1995. Ingredient interactions : effects on food quality, New York : M. Dekker, pp. 451-527.
- Servais, C., Jones, R., Roberts, I.**, 2002. The influence of particle size distribution on the processing of food, *Journal of Food Engineering*, 51 : 201-208
- Tscheuschner, H.-D., Wünsche, D.**, 1979. Rheological properties of chocolate masses and the influence of some factors. In *Food texture and Rheology*, Academic Press, New York, pp.355-368.
- Wijers, M-C., Sträter, P.J.**, 2001. Isomalt, In: *Alternative sweeteners*, Nabors, O.L., 3rd ed., New York : M. Dekker, pp. 265-281.
- Weyland, M.**, 1997. Emulsifiers in confectionery. In: *Food emulsifiers and their applications*, Hasenhuettl, G. L., Hartel, R.W. 1997., New York: Chapman & Hall pp. 235-254.

EKLER

EK A

Tablo A.1. Birinci partikül boyutundaki (20-38 μm) isomalt ile elde edilen çikolatalara ait kayma hızı, kayma gerilmesi verileri

REP 1 (a)				REP 2 (b)			
Yukarı ($5 \text{ s}^{-1} \rightarrow 60 \text{ s}^{-1}$)		Aşağı ($60 \text{ s}^{-1} \rightarrow 5 \text{ s}^{-1}$)		Yukarı ($5 \text{ s}^{-1} \rightarrow 60 \text{ s}^{-1}$)		Aşağı ($60 \text{ s}^{-1} \rightarrow 5 \text{ s}^{-1}$)	
K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.
4.994	23.2	5.277	23.66	4.994	20.71	5.251	21.41
5.792	25.96	6.384	27.2	5.817	22.96	6.332	24.57
6.898	29.74	7.49	30.8	6.898	26.29	7.542	27.83
8.108	33.6	8.597	34.55	8.057	29.87	8.649	31.01
9.189	37.32	9.807	38.23	9.215	33.29	9.756	34.52
10.35	41.3	10.89	41.93	10.35	36.52	10.94	37.9
11.43	44.98	12.02	45.71	11.45	39.86	12.07	40.93
12.56	48.82	13.1	49.13	12.54	43.19	13.1	44.43
13.72	52.83	14.23	52.68	13.69	46.47	14.23	47.33
14.83	56.57	15.42	56.67	14.75	49.95	15.37	50.97
15.93	60.63	16.55	60.55	15.96	53.41	16.5	54.01
17.01	64.23	17.66	64.13	17.04	56.89	17.63	57.78
18.15	68.34	18.74	68.35	18.15	60.09	18.71	60.85
19.23	72.01	19.82	71.52	19.28	63.74	19.82	64.31
20.36	75.76	20.95	75.61	20.36	66.98	21	67.57
21.54	80.3	22.09	79.47	21.57	70.71	22.06	71.06
22.65	84.05	23.29	83.3	22.65	74.2	23.14	74.46
23.78	87.89	24.38	87.18	23.73	77.5	24.4	78.22
24.89	91.93	25.46	90.87	24.94	81.19	25.51	81.83
26	95.78	26.59	94.89	26.05	84.5	26.59	84.82
27.08	99.82	27.72	98.62	27.21	87.92	27.72	88.26
28.29	103.9	28.88	102.7	28.34	91.48	28.75	91.73
29.37	107.7	29.96	106.4	29.42	95.07	30.01	95.17
30.53	111.8	31.09	110.5	30.5	98.46	31.12	98.6
31.63	115.7	32.28	114.7	31.63	102.1	32.25	101.9
32.72	119.4	33.38	118.5	32.74	105.8	33.33	105.4
33.85	123.5	34.47	122.2	33.87	108.9	34.41	108.9
34.93	127.4	35.57	126.3	35.06	112.6	35.62	112.3
36.04	131.5	36.63	130.4	36.16	116.3	36.76	116
37.3	135.7	37.86	134.5	37.27	119.7	37.84	119.5
38.4	139.4	39	138.4	38.33	123.2	38.89	123.3
39.51	143.3	40.1	142.1	39.49	127	40.05	126.4
40.54	147.4	41.16	146.2	40.64	130.2	41.21	129.7
41.7	151.1	42.29	149.8	41.78	134	42.29	133.5
42.91	155.1	43.5	154.2	42.86	137.8	43.45	137.2
43.89	159.1	44.56	158.2	44.04	141	44.61	140.8
45.05	162.7	45.77	162	45.07	144.4	45.66	144.5
46.2	166.4	46.74	166.3	46.2	148.1	46.82	147.6
47.36	170.6	47.95	169.9	47.28	151.4	47.85	151.5
48.47	174.7	49.09	174.2	48.57	155.4	49.16	155.2
49.63	178.5	50.3	178.5	49.58	158.6	50.19	159
50.68	182.5	51.33	182.3	50.76	162.1	51.35	162.5
51.87	186	52.43	186.5	51.74	165.9	52.43	165.9
52.95	190.1	53.59	190.3	52.92	168.9	53.49	169.7
54.03	194	54.65	194.5	54.13	172.8	54.72	173.7
55.16	197.7	55.75	198.7	55.29	176.5	55.8	177.1
56.37	201.8	56.96	203.2	56.24	179.6	56.94	180.5
57.48	205.9	58.12	207.4	57.43	183.3	57.94	184.5
58.56	209.9	59.23	211.5	58.58	186.8	59.13	188.3
59.61	213.7	59.92	214	59.69	190.2	59.95	191

Tablo A.2. İkinci partikül boyutundaki (38-53 μm) isomalt ile elde edilen çikolatalara ait kayma hızı, kayma gerilmesi verileri

REP 1 (a)				REP 2 (b)			
Yukarı (5 s ⁻¹ → 60 s ⁻¹)		Aşağı (60 s ⁻¹ → 5 s ⁻¹)		Yukarı (5 s ⁻¹ → 60 s ⁻¹)		Aşağı (60 s ⁻¹ → 5 s ⁻¹)	
K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.
4.968	13.78	5.251	14.28	4.994	13.4	5.277	14.16
5.843	15.51	6.384	16.22	5.817	15.31	6.358	16.14
6.95	17.35	7.49	18.04	6.95	17.48	7.465	18.28
8.16	19.41	8.571	20.02	8.134	19.68	8.571	20.16
9.266	21.51	9.678	21.98	9.266	21.46	9.678	22.42
10.3	23.51	10.89	24.01	10.37	23.67	10.91	24.85
11.4	25.3	11.99	26.16	11.51	26.09	11.99	26.77
12.61	27.48	13.1	28.02	12.59	27.94	13.1	28.68
13.75	29.4	14.21	30.1	13.75	30.51	14.21	31.03
14.83	31.23	15.29	31.99	14.83	32.25	15.32	33.12
15.93	33.46	16.4	33.79	15.96	34.65	16.5	35.58
17.07	35.05	17.5	35.71	17.07	36.48	17.66	37.32
18.28	37.14	18.74	38.16	18.22	38.69	18.74	39.93
19.36	39.39	19.9	39.75	19.31	40.54	19.9	41.95
20.49	41.31	20.95	41.87	20.44	42.85	20.93	43.69
21.57	42.96	22.06	43.64	21.54	44.89	22.11	45.96
22.7	45.16	23.17	45.44	22.7	47.21	23.22	48.14
23.84	47.12	24.3	47.8	23.89	49.17	24.27	49.98
24.99	49.08	25.41	49.78	24.89	51.41	25.38	52.25
26.1	50.95	26.56	51.47	26	53.46	26.56	54.53
27.18	52.97	27.67	53.42	27.21	55.77	27.67	56.61
28.24	54.74	28.75	55.41	28.34	57.9	28.83	58.92
29.45	57.13	29.96	57.36	29.42	60.01	29.88	61.04
30.53	58.86	31.07	59.36	30.5	61.91	31.04	63.18
31.69	61.04	32.18	61	31.69	64.53	32.15	65.28
32.82	62.77	33.28	63.02	32.79	66.48	33.26	67.38
33.95	64.75	34.41	65.09	33.95	68.69	34.39	69.69
35.06	66.8	35.5	66.77	35.03	70.79	35.44	71.57
36.11	68.7	36.63	68.89	36.11	72.78	36.58	73.44
37.4	70.54	37.79	71.12	37.25	75.13	37.81	75.63
38.46	72.71	38.92	72.89	38.35	77.39	38.97	78.02
39.54	74.82	40.05	74.7	39.61	79.52	40	80.12
40.64	76.61	41.21	76.89	40.67	81.71	41.11	82.22
41.83	78.45	42.24	78.85	41.72	84.06	42.29	84.12
42.88	80.52	43.37	80.47	42.88	85.95	43.4	86.57
43.99	82.54	44.5	82.85	44.04	88.16	44.5	88.37
45.07	84.41	45.64	84.48	45.02	90.23	45.66	90.59
46.31	86.77	46.82	86.61	46.31	92.42	46.77	92.68
47.41	88.3	47.88	88.53	47.44	94.97	47.95	94.97
48.49	90.59	49.03	90.65	48.52	96.82	48.98	97.2
49.7	91.97	50.09	92.45	49.68	99.06	50.12	99.3
50.81	94.45	51.27	94.37	50.71	101.1	51.33	101.4
51.92	95.95	52.46	96.44	51.92	103.2	52.36	104
53.02	97.87	53.51	98.38	53.05	105.7	53.54	105.9
54.08	100	54.57	100.4	54.08	107.7	54.67	107.8
55.19	101.7	55.8	102.4	55.26	109.4	55.68	110.2
56.42	103.7	56.86	104.2	56.4	111.7	56.86	112.5
57.55	105.5	58.04	106.3	57.55	114.1	57.99	114.6
58.66	107.5	59.13	108.2	58.58	115.8	59.18	116.8
59.77	109.5	59.92	109.9	59.67	117.8	59.92	118.2

Tablo A.3. Üçüncü partikül boyutundaki (53-106 μm) isomalt ile elde edilen çikolatalara ait kayma hızı, kayma gerilmesi verileri

REP 1 (a)				REP 2 (b)			
Yukarı ($5 \text{ s}^{-1} \rightarrow 60 \text{ s}^{-1}$)		Aşağı ($60 \text{ s}^{-1} \rightarrow 5 \text{ s}^{-1}$)		Yukarı ($5 \text{ s}^{-1} \rightarrow 60 \text{ s}^{-1}$)		Aşağı ($60 \text{ s}^{-1} \rightarrow 5 \text{ s}^{-1}$)	
K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.
4.968	5.517	5.225	5.62	4.968	6.079	5.174	6.093
5.869	6.45	6.306	6.668	5.894	7.106	6.281	7.374
6.976	7.462	7.413	7.775	7.001	8.21	7.465	8.3
8.185	8.235	8.52	8.705	8.185	9.299	8.571	9.652
9.241	9.149	9.704	9.596	9.292	10.12	9.704	10.38
10.4	10.43	10.79	10.65	10.42	11.38	10.79	11.59
11.51	11.11	11.92	11.59	11.53	12.29	11.89	12.84
12.61	11.94	13.02	12.33	12.56	13.21	13.1	13.77
13.77	13.12	14.23	13.45	13.8	14.63	14.21	14.99
14.88	14.05	15.34	14.31	14.9	15.42	15.32	15.64
15.96	14.95	16.4	15.41	16.01	16.82	16.42	17.05
17.12	15.85	17.48	16.19	17.14	17.43	17.53	17.71
18.2	16.89	18.71	17.53	18.22	18.84	18.66	19.04
19.38	17.92	19.87	18.22	19.31	19.61	19.77	19.91
20.54	18.65	20.85	19.2	20.51	20.63	20.88	21.04
21.62	19.98	22.06	20.38	21.6	22.12	22.01	22.09
22.75	20.55	23.14	21.08	22.7	22.76	23.22	23.2
23.81	21.47	24.25	22.05	23.84	23.81	24.3	24.18
24.94	22.59	25.35	23.05	24.94	24.98	25.35	25.22
26.05	23.48	26.56	24.08	26.05	26.08	26.49	26.22
27.23	24.58	27.67	24.81	27.23	27.06	27.59	27.16
28.34	25.39	28.75	25.72	28.31	27.77	28.85	28.22
29.45	26.32	29.83	26.59	29.47	29.04	29.91	29.47
30.58	27.22	31.02	27.6	30.63	30.11	31.04	30.45
31.74	28.12	32.12	28.4	31.71	31.04	32.12	31.43
32.79	28.95	33.26	29.59	32.82	32.18	33.28	32.5
33.95	29.96	34.36	30.37	33.93	33.16	34.44	33.44
35.08	31.13	35.52	31.44	35.03	34.22	35.5	34.61
36.19	32.05	36.6	32.59	36.16	35.7	36.6	35.87
37.35	32.84	37.68	33.55	37.27	36.55	37.71	36.84
38.46	33.96	38.79	34.2	38.48	37.22	38.87	37.69
39.56	34.65	40.03	35.21	39.54	38.33	39.95	38.81
40.72	35.94	41.11	36.3	40.7	39.97	41.11	39.73
41.96	36.51	42.19	36.96	41.78	40.82	42.19	40.62
42.93	37.6	43.37	37.9	42.93	41.54	43.48	41.83
44.04	39.04	44.5	38.99	44.07	42.94	44.43	42.9
45.2	39.3	45.64	40.02	45.15	43.97	45.64	43.84
46.33	40.54	46.74	41.15	46.28	44.62	46.72	45.33
47.46	41.52	47.88	41.75	47.44	45.8	47.88	45.93
48.47	42.34	49.03	43.02	48.55	46.89	48.98	47.13
49.7	43.24	50.09	43.7	49.68	47.92	50.19	47.95
50.76	44.33	51.22	44.71	50.68	49.09	51.2	49.01
52.02	45.09	52.41	45.7	51.94	50.08	52.36	50.41
53.13	46.14	53.46	46.43	53.08	51.15	53.49	50.98
54.16	47.25	54.49	47.6	54.16	52.24	54.52	52.09
55.29	47.8	55.73	48.55	55.26	52.96	55.65	53.6
56.42	48.87	56.91	49.63	56.4	54.09	56.94	54.48
57.61	49.89	58.07	50.42	57.63	55.03	58.02	55.49
58.71	50.94	59.07	51.43	58.69	56.35	59.2	56.4
59.79	51.97	59.9	52.2	59.77	57.33	59.95	57.2

Tablo A.4. Birinci partikül boyutundaki (20-38 µm) maltitol ile elde edilen çikolatalara ait kayma hızı, kayma gerilmesi verileri

REP 1 (a)				REP 2 (b)			
Yukarı ($5 \text{ s}^{-1} \rightarrow 60 \text{ s}^{-1}$)		Aşağı ($60 \text{ s}^{-1} \rightarrow 5 \text{ s}^{-1}$)		Yukarı ($5 \text{ s}^{-1} \rightarrow 60 \text{ s}^{-1}$)		Aşağı ($60 \text{ s}^{-1} \rightarrow 5 \text{ s}^{-1}$)	
K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.
4.994	20.68	5.302	21.56	4.994	12.51	5.251	13.16
5.843	22.62	6.384	24	5.843	14.17	6.358	15.06
6.95	25.25	7.516	26.33	6.95	16.01	7.465	16.69
8.134	27.63	8.597	28.81	8.082	17.8	8.571	18.21
9.266	30.26	9.73	31.42	9.241	19.68	9.678	20.07
10.3	32.41	10.81	33.8	10.32	21.18	10.89	22.12
11.43	34.75	11.92	36.29	11.51	23.15	11.97	23.56
12.61	37.77	13.1	38.97	12.64	24.51	13.1	25.46
13.75	40	14.29	41.11	13.75	26.39	14.21	27.3
14.83	42.78	15.37	43.94	14.88	28.27	15.32	29.02
15.93	44.8	16.47	46.06	15.96	29.76	16.4	30.57
17.07	47.48	17.55	48.34	17.09	31.77	17.55	32.39
18.15	49.72	18.76	51.21	18.17	33.4	18.71	34.24
19.41	52.6	19.9	53.47	19.33	35.13	19.85	36.11
20.44	54.91	20.93	55.84	20.51	37.23	20.9	37.35
21.6	57.32	22.16	58.49	21.62	38.53	22.09	39.58
22.6	60.09	23.19	60.59	22.73	40.23	23.17	41.11
23.81	62.24	24.27	63.3	23.91	42.44	24.27	42.84
24.94	64.61	25.43	65.77	24.97	44.11	25.38	44.44
26.1	67.13	26.62	68.25	26.1	45.62	26.59	46.42
27.21	69.63	27.7	70.58	27.21	47.25	27.7	48.29
28.31	72.41	28.8	73.16	28.31	49.03	28.78	50.15
29.37	74.61	29.91	75.46	29.42	50.97	29.91	51.74
30.48	76.95	31.04	77.81	30.61	52.79	31.02	53.44
31.69	79.86	32.15	80.05	31.71	54.59	32.12	55.44
32.77	82.04	33.28	82.57	32.87	56.41	33.23	57
33.93	84.5	34.47	85.29	33.98	57.94	34.36	58.95
35.08	87.2	35.62	87.87	35.06	59.66	35.52	60.39
36.22	89.5	36.73	90.61	36.19	61.36	36.68	61.99
37.32	91.72	37.76	93.17	37.22	63.5	37.76	63.8
38.35	94.21	38.87	94.95	38.35	65.34	38.87	65.89
39.51	96.82	39.97	97.62	39.64	67.06	40	67.6
40.64	99.22	41.21	100.4	40.7	68.8	41.11	68.98
41.83	101.6	42.27	103	41.75	70.5	42.24	70.74
42.88	104	43.45	105.1	42.93	72.3	43.32	73.05
44.02	106.5	44.53	107.9	44.02	73.74	44.48	74.48
45.17	108.9	45.61	110.2	45.12	75.88	45.69	76.46
46.18	111.9	46.8	112.6	46.28	77.58	46.77	77.99
47.36	113.9	47.83	115.1	47.31	79.45	47.9	79.9
48.55	116.7	49.09	117.9	48.49	81.12	48.96	81.44
49.63	118.9	50.22	120.3	49.6	82.75	50.12	83.45
50.81	121.6	51.25	122.9	50.81	84.39	51.22	84.91
51.81	124	52.41	125.2	51.97	86.4	52.25	86.99
52.95	126.5	53.51	127.5	53	88.04	53.54	88.91
54.21	129.3	54.57	130.4	54.16	89.55	54.67	90.38
55.24	131.7	55.78	132.7	55.32	91.45	55.75	91.9
56.35	133.9	56.94	135.3	56.32	93.3	56.83	93.83
57.5	136.4	58.02	137.7	57.45	94.9	57.97	95.65
58.64	139.1	59.13	140.2	58.61	96.9	59.15	97.55
59.72	141.4	59.85	142.1	59.74	98.57	59.95	98.59

Tablo A.5. İkinci partikül boyutundaki (38-53 μm) maltitol ile elde edilen çikolatalara ait kayma hızı, kayma gerilmesi verileri

REP 1 (a)				REP 2 (b)			
Yukarı (5 s ⁻¹ → 60 s ⁻¹)		Aşağı (60 s ⁻¹ → 5 s ⁻¹)		Yukarı (5 s ⁻¹ → 60 s ⁻¹)		Aşağı (60 s ⁻¹ → 5 s ⁻¹)	
K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.
4.994	12.51	5.251	13.16	4.994	12.19	5.251	12.84
5.843	14.17	6.358	15.06	5.843	13.39	6.358	14.46
6.95	16.01	7.465	16.69	6.95	15.25	7.465	16.14
8.082	17.8	8.571	18.21	8.16	17.16	8.546	17.61
9.241	19.68	9.678	20.07	9.266	18.78	9.653	19.21
10.32	21.18	10.89	22.12	10.32	20.2	10.84	21.24
11.51	23.15	11.97	23.56	11.43	22.23	11.89	22.77
12.64	24.51	13.1	25.46	12.64	23.78	13.05	24.34
13.75	26.39	14.21	27.3	13.75	25.43	14.13	26.29
14.88	28.27	15.32	29.02	14.83	27.15	15.34	28.07
15.96	29.76	16.4	30.57	15.98	28.85	16.42	29.81
17.09	31.77	17.55	32.39	17.12	30.73	17.61	31.3
18.17	33.4	18.71	34.24	18.17	32.33	18.71	33.01
19.33	35.13	19.85	36.11	19.33	34.02	19.85	35.06
20.51	37.23	20.9	37.35	20.49	36.01	20.95	36.32
21.62	38.53	22.09	39.58	21.57	37.36	22.03	38.15
22.73	40.23	23.17	41.11	22.78	39.11	23.22	40
23.91	42.44	24.27	42.84	23.86	40.88	24.35	41.59
24.97	44.11	25.38	44.44	24.92	42.59	25.43	43.31
26.1	45.62	26.59	46.42	26.02	44.13	26.56	45.04
27.21	47.25	27.7	48.29	27.23	45.92	27.59	46.73
28.31	49.03	28.78	50.15	28.34	47.67	28.8	49.03
29.42	50.97	29.91	51.74	29.47	49.4	29.91	50.44
30.61	52.79	31.02	53.44	30.61	51.07	31.07	52.14
31.71	54.59	32.12	55.44	31.69	52.73	32.1	53.58
32.87	56.41	33.23	57	32.87	54.42	33.28	55.13
33.98	57.94	34.36	58.95	33.95	56.31	34.36	57.12
35.06	59.66	35.52	60.39	35.03	57.79	35.52	58.78
36.19	61.36	36.68	61.99	36.16	59.42	36.68	60.37
37.22	63.5	37.76	63.8	37.32	61.51	37.79	62.2
38.35	65.34	38.87	65.89	38.46	63.19	38.94	64.01
39.64	67.06	40	67.6	39.56	64.86	40.03	65.75
40.7	68.8	41.11	68.98	40.72	66.39	41.08	67.1
41.75	70.5	42.24	70.74	41.75	68.4	42.27	68.96
42.93	72.3	43.32	73.05	42.93	69.9	43.42	70.97
44.02	73.74	44.48	74.48	43.99	71.58	44.53	72.3
45.12	75.88	45.69	76.46	45.07	73.15	45.64	74.29
46.28	77.58	46.77	77.99	46.31	75.09	46.72	75.74
47.31	79.45	47.9	79.9	47.34	76.73	47.85	77.76
48.49	81.12	48.96	81.44	48.57	78.36	49.03	79.37
49.6	82.75	50.12	83.45	49.6	80.34	50.12	81.29
50.81	84.39	51.22	84.91	50.73	81.94	51.25	82.82
51.97	86.4	52.25	86.99	51.97	83.62	52.36	84.67
53	88.04	53.54	88.91	52.97	85.64	53.54	86.31
54.16	89.55	54.67	90.38	54.13	87.15	54.59	87.97
55.32	91.45	55.75	91.9	55.26	88.72	55.68	89.57
56.32	93.3	56.83	93.83	56.45	90.65	56.83	91.31
57.45	94.9	57.97	95.65	57.48	92.41	58.02	92.96
58.61	96.9	59.15	97.55	58.64	93.87	59.13	94.75
59.74	98.57	59.95	98.59	59.72	95.47	59.97	95.82

Tablo A.6. Üçüncü partikül boyutundaki (53-106 μm) maltitol ile elde edilen çikolatalara ait kayma hızı, kayma gerilmesi verileri

REP 1 (a)				REP 2 (b)			
Yukarı ($5 \text{ s}^{-1} \rightarrow 60 \text{ s}^{-1}$)		Aşağı ($60 \text{ s}^{-1} \rightarrow 5 \text{ s}^{-1}$)		Yukarı ($5 \text{ s}^{-1} \rightarrow 60 \text{ s}^{-1}$)		Aşağı ($60 \text{ s}^{-1} \rightarrow 5 \text{ s}^{-1}$)	
K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.
4.994	6.997	5.225	7.255	4.968	7.205	5.251	7.386
5.869	8.072	6.332	8.56	5.869	8.155	6.358	8.503
6.976	9.34	7.465	9.684	6.976	9.215	7.465	9.687
8.108	10.41	8.571	10.85	8.185	10.45	8.597	11.18
9.318	11.56	9.678	11.92	9.292	11.59	9.704	11.83
10.35	12.49	10.81	13.08	10.35	12.75	10.84	13.13
11.45	13.78	11.92	14.24	11.45	13.75	11.92	14.52
12.64	14.68	13.05	15.29	12.66	14.82	13.02	15
13.69	16.04	14.21	16.58	13.77	16.22	14.21	16.53
14.93	17.21	15.37	17.52	14.88	16.88	15.32	17.61
16.01	18.38	16.45	18.79	15.98	18.39	16.42	18.6
17.14	19.41	17.55	20.02	17.09	19.13	17.53	19.66
18.22	20.86	18.61	20.88	18.2	20.51	18.66	20.9
19.33	21.64	19.77	21.91	19.28	21.53	19.77	21.69
20.54	22.85	20.88	23.05	20.49	22.57	20.85	23.15
21.62	23.9	22.09	24.44	21.65	23.9	22.09	24.62
22.75	25.15	23.22	25.71	22.68	25.02	23.22	25.25
23.86	26.42	24.3	26.65	23.91	26.07	24.25	26.48
24.97	27.64	25.46	27.54	25.05	27.2	25.35	27.74
26.07	28.56	26.51	28.73	26.1	28.52	26.56	28.83
27.16	29.56	27.64	30.15	27.21	29.7	27.64	30.02
28.31	30.7	28.73	31.26	28.31	30.79	28.73	31.07
29.45	31.62	29.96	32.52	29.42	31.66	29.96	32.21
30.63	32.97	31.04	33.84	30.53	32.81	31.07	33.37
31.76	34.13	32.12	34.99	31.74	33.81	32.07	34.14
32.84	35.19	33.23	35.7	32.82	35	33.23	35.22
33.95	36.51	34.34	37.04	33.85	36.28	34.44	36.7
35.06	37.55	35.47	38.08	35.08	37.42	35.52	37.92
36.16	38.62	36.55	38.92	36.22	38.72	36.63	38.94
37.37	40.1	37.79	40.15	37.35	39.8	37.71	39.88
38.51	41.07	38.87	41.43	38.43	40.72	38.89	40.91
39.59	42.39	40.05	42.68	39.56	41.74	40.03	42.14
40.72	43.29	41.11	43.57	40.7	42.99	41.11	43.59
41.83	44.63	42.24	44.76	41.88	44.13	42.16	44.51
42.91	45.66	43.37	46.05	42.99	44.88	43.37	45.64
43.99	46.78	44.43	47.04	44.02	46.51	44.53	46.86
45.15	48.03	45.69	48.3	45.23	47.55	45.59	47.98
46.31	48.82	46.77	49.18	46.23	48.63	46.74	48.93
47.52	50.26	47.88	50.37	47.46	49.72	47.88	49.75
48.55	51.45	48.96	51.41	48.47	50.88	48.98	51.64
49.73	52.37	50.12	52.92	49.63	51.82	50.06	52.22
50.79	53.62	51.2	53.95	50.79	53.37	51.2	53.5
51.92	54.72	52.33	55.18	51.89	54.12	52.43	54.82
52.97	55.91	53.49	56.49	53.13	55.11	53.49	55.64
54.08	56.78	54.57	57.24	54.11	56.64	54.52	56.92
55.29	58.05	55.65	58.54	55.19	57.44	55.7	58.08
56.45	59.22	56.86	59.79	56.42	58.71	56.94	59.3
57.53	60.36	57.99	60.84	57.58	59.76	58.02	60.3
58.61	61.57	59.15	61.93	58.66	61.09	59.13	61.27
59.67	62.53	59.95	62.64	59.79	62.19	59.87	62.32

Tablo A.7. Birinci partikül boyutundaki (20-38 µm) sükröz ile elde edilen çikolatalara ait kayma hızı, kayma gerilmesi verileri

REP 1 (a)				REP 2 (b)			
Yukarı ($5 \text{ s}^{-1} \rightarrow 60 \text{ s}^{-1}$)		Aşağı ($60 \text{ s}^{-1} \rightarrow 5 \text{ s}^{-1}$)		Yukarı ($5 \text{ s}^{-1} \rightarrow 60 \text{ s}^{-1}$)		Aşağı ($60 \text{ s}^{-1} \rightarrow 5 \text{ s}^{-1}$)	
K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.
4.994	22.65	5.277	23.39	4.968	20.41	5.225	21.1
5.817	24.68	6.409	26.22	5.817	22.47	6.358	23.7
7.001	27.6	7.49	29.21	6.924	25.03	7.465	26.39
8.108	30.51	8.597	31.92	8.134	27.74	8.571	28.87
9.241	33	9.704	34.34	9.241	30.41	9.756	31.76
10.37	35.84	10.91	37.61	10.3	32.97	10.84	34.16
11.48	38.84	11.99	40.34	11.48	35.42	11.94	36.8
12.59	41.63	13.13	42.9	12.56	38.13	13.13	39.29
13.67	44.18	14.21	45.83	13.72	40.67	14.29	41.86
14.83	46.95	15.32	48.23	14.83	42.92	15.34	44.25
15.91	49.82	16.42	50.95	15.96	46	16.47	46.65
17.07	52.64	17.63	53.95	17.07	48.22	17.58	49.11
18.17	55.33	18.74	56.76	18.17	50.78	18.69	51.9
19.28	58.09	19.87	59.56	19.31	53.49	19.92	54.41
20.39	60.81	20.9	62.18	20.41	56.1	20.93	57.1
21.57	63.85	22.14	65.28	21.65	58.78	22.16	59.54
22.63	66.41	23.22	68.05	22.63	61.09	23.17	61.91
23.86	69.36	24.32	70.37	23.84	63.72	24.4	64.53
24.92	72.3	25.38	73.24	24.94	66.32	25.46	67.28
26.05	74.81	26.59	76.26	26.05	69	26.59	69.74
27.21	77.69	27.75	78.92	27.13	71.55	27.7	72.23
28.26	80.23	28.85	81.79	28.24	74.27	28.8	74.63
29.4	83.21	29.96	84.7	29.45	76.96	29.91	77.27
30.61	85.9	31.04	87.22	30.53	79.41	31.04	79.73
31.66	88.87	32.15	89.85	31.63	81.87	32.28	82.56
32.77	91.58	33.33	92.83	32.77	84.45	33.33	85.1
33.87	94.36	34.49	95.77	33.87	86.88	34.44	87.6
35.03	97.37	35.55	98.64	35.06	89.94	35.57	90.1
36.14	99.82	36.68	101.3	36.19	92.26	36.63	92.93
37.22	102.3	37.74	103.8	37.32	94.71	37.79	95.53
38.43	105.5	38.94	106.8	38.43	97.15	38.94	97.98
39.54	108.2	40.05	109.7	39.54	99.62	40.03	100.6
40.67	110.8	41.16	112.4	40.59	102.3	41.13	103.1
41.75	113.8	42.27	115.1	41.8	104.9	42.24	105.6
42.91	116.4	43.4	118	42.86	107.2	43.48	108.5
43.99	118.8	44.48	120.7	44.02	110.2	44.56	111.2
45.02	121.9	45.74	123.9	45.07	112.5	45.69	113.4
46.2	124.8	46.8	126.7	46.25	115.2	46.8	116.1
47.41	127.5	47.93	128.8	47.46	117.8	47.9	118.6
48.55	130.2	48.98	132.1	48.49	120.6	49.03	121.3
49.55	133.2	50.14	134.6	49.68	122.8	50.12	123.7
50.76	135.6	51.17	137.3	50.73	125.6	51.25	127
51.87	138.6	52.38	140.2	51.81	127.9	52.46	129.5
53	141.4	53.62	142.9	53.02	131	53.59	131.5
54.13	143.9	54.67	145.6	54.16	133.4	54.59	134.3
55.24	146.6	55.73	148.8	55.19	135.7	55.75	137.1
56.42	149.6	56.91	151.5	56.35	138.3	56.91	139.8
57.45	152.6	58.02	153.8	57.58	140.8	58.04	142
58.56	155.1	59.07	156.9	58.66	143.5	59.18	144.7
59.72	157.5	59.95	159	59.77	146.2	59.87	146.7

Tablo A.8. İkinci partikül boyutundaki (38-53 µm) sükröz ile elde edilen çikolatalara ait kayma hızı, kayma gerilmesi verileri

REP 1 (a)				REP 2 (b)			
Yukarı (5 s ⁻¹ → 60 s ⁻¹)		Aşağı (60 s ⁻¹ → 5 s ⁻¹)		Yukarı (5 s ⁻¹ → 60 s ⁻¹)		Aşağı (60 s ⁻¹ → 5 s ⁻¹)	
K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.
4.968	11.6	5.277	11.85	4.968	9.816	5.277	10.26
5.843	12.74	6.409	13.71	5.869	11.01	6.358	11.96
6.95	14.84	7.49	15.69	7.027	12.83	7.439	13.51
8.134	16.84	8.597	17.3	8.134	14.42	8.546	14.77
9.266	18.28	9.678	18.87	9.215	15.76	9.704	16.1
10.37	20.04	10.81	21.07	10.37	17.35	10.89	18.14
11.51	22.16	11.92	22.75	11.51	19.06	11.99	19.45
12.64	23.74	13.13	24.74	12.64	20.58	13.13	21.14
13.75	25.69	14.18	26.41	13.77	21.97	14.21	22.49
14.83	27.26	15.34	28.08	14.83	23.53	15.29	24.31
15.93	29.15	16.42	29.94	15.96	24.98	16.42	25.77
17.04	30.81	17.53	31.48	17.04	26.97	17.5	27.14
18.22	32.86	18.74	33.38	18.22	28.29	18.66	28.82
19.38	34.56	19.9	35.33	19.33	29.61	19.82	30.37
20.46	36.49	21	37.18	20.44	31.36	20.95	31.65
21.6	38.21	22.09	38.95	21.54	32.61	22.03	33.36
22.73	39.88	23.24	40.88	22.65	34.46	23.19	35.02
23.81	41.93	24.35	42.46	23.78	35.89	24.25	36.5
24.97	43.93	25.43	44.3	24.97	37.75	25.38	38.05
26.05	45.59	26.51	46.13	26.07	39.07	26.56	39.73
27.16	47.38	27.62	48.02	27.23	40.57	27.59	41.24
28.29	49.01	28.73	49.92	28.29	42.23	28.8	42.9
29.42	51.18	29.96	51.78	29.37	43.74	29.94	44.52
30.58	52.62	31.07	53.67	30.53	45.05	31.04	45.9
31.69	54.57	32.1	55.52	31.69	46.92	32.18	47.39
32.84	56.48	33.28	57.37	32.79	48.31	33.28	48.93
33.95	58.31	34.39	58.96	33.87	50.01	34.36	50.87
35.11	60.23	35.47	60.76	35.08	51.58	35.55	52.12
36.11	61.96	36.58	62.41	36.19	53.2	36.65	53.66
37.25	63.85	37.86	64.48	37.27	54.78	37.79	55.36
38.4	65.76	38.92	66.67	38.35	56.66	38.94	56.69
39.61	67.58	40	68.29	39.54	57.64	40.03	58.54
40.72	69.18	41.11	69.89	40.72	59.45	41.13	59.88
41.78	71.31	42.29	71.58	41.83	61.07	42.27	61.46
42.91	73.03	43.42	73.78	42.96	62.9	43.42	63.22
44.09	74.66	44.53	75.44	44.02	64.05	44.5	64.52
45.07	76.44	45.66	77.34	45.17	65.73	45.64	66.26
46.33	78.35	46.74	78.89	46.28	67.31	46.72	67.73
47.41	80.3	47.9	81.12	47.34	69.02	47.9	69.16
48.55	81.8	48.96	82.71	48.52	70.4	48.96	70.68
49.6	83.8	50.12	84.52	49.63	72.21	50.12	72.63
50.71	85.44	51.33	86.45	50.81	73.56	51.27	74.05
52	87.52	52.38	88.09	52	75.05	52.3	75.75
53.02	89.37	53.49	90.14	53	76.95	53.57	77.36
54.13	91.12	54.65	91.67	54.16	78.39	54.67	78.76
55.32	92.92	55.68	93.44	55.26	80.09	55.62	80.44
56.35	94.74	56.86	95.49	56.4	81.51	56.81	82.26
57.58	96.5	57.99	97.36	57.58	83.36	57.94	83.77
58.61	98.23	59.18	99.16	58.61	84.93	59.18	85.4
59.72	99.83	59.95	100.3	59.77	86.02	59.97	86.21

Tablo A.9. Üçüncü partikül boyutundaki (53-106 µm) sükröz ile elde edilen çikolatalara ait kayma hızı, kayma gerilmesi verileri

REP 1 (a)				REP 2 (b)			
Yukarı (5 s ⁻¹ → 60 s ⁻¹)		Aşağı (60 s ⁻¹ → 5 s ⁻¹)		Yukarı (5 s ⁻¹ → 60 s ⁻¹)		Aşağı (60 s ⁻¹ → 5 s ⁻¹)	
K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.
4.994	5.899	5.251	5.867	4.968	5.677	5.251	5.775
5.869	6.761	6.384	7.134	5.869	6.754	6.384	6.771
6.95	7.961	7.465	8.213	6.976	7.748	7.465	8.083
8.185	9.126	8.546	8.908	8.185	8.699	8.571	8.914
9.266	9.87	9.678	9.816	9.292	9.415	9.704	9.616
10.4	10.56	10.79	11.24	10.4	10.65	10.79	10.88
11.51	12	11.87	12.03	11.56	11.66	11.89	12.12
12.69	12.76	13.13	13.25	12.56	12.32	13.13	12.74
13.75	13.88	14.16	14.42	13.8	13.53	14.21	13.79
14.9	14.79	15.32	15.05	14.93	14.31	15.34	14.63
15.96	15.56	16.37	16.28	16.01	15.36	16.42	15.84
17.12	16.56	17.55	17.34	17.12	16.15	17.5	16.5
18.17	17.64	18.71	18.21	18.22	17.41	18.64	17.76
19.43	18.72	19.85	19.15	19.36	17.92	19.77	18.48
20.54	19.95	20.98	19.95	20.49	19.37	20.9	19.38
21.57	20.65	21.96	21.27	21.57	20.21	22.03	20.73
22.78	22.01	23.22	22.42	22.7	21.25	23.14	21.36
23.86	23.14	24.35	23.15	23.81	22.1	24.35	22.43
24.97	24.14	25.41	23.93	25.07	23.04	25.43	23.27
26.07	24.7	26.51	25.33	26.1	24.14	26.51	24.45
27.23	25.47	27.62	26.39	27.16	25.2	27.62	25.32
28.34	26.61	28.8	27.32	28.37	25.84	28.78	26.47
29.55	27.96	29.91	28.55	29.5	26.76	29.94	27.2
30.61	29.12	31.02	29.26	30.63	27.84	31.02	28.23
31.71	30.01	32.15	30.35	31.71	28.69	32.15	29.19
32.82	30.87	33.26	31.59	32.84	29.51	33.26	30.26
33.95	31.76	34.31	32.56	33.93	30.56	34.34	31.5
35.14	32.99	35.5	33.35	35.08	31.84	35.55	32.27
36.19	33.97	36.63	34.14	36.16	32.81	36.63	33.14
37.3	35.16	37.74	35.19	37.37	34.03	37.76	34.17
38.46	36.36	38.87	36.29	38.51	34.75	38.92	35.19
39.64	37.02	39.97	37.4	39.56	35.73	40.05	36.41
40.75	38.16	41	38.26	40.64	36.52	41.06	37.07
41.83	39.27	42.27	39.3	41.78	38.14	42.19	38
42.96	40.36	43.37	40.42	43.01	38.56	43.45	39.1
44.04	40.69	44.43	41.22	44.09	39.68	44.45	39.89
45.12	42.24	45.61	42.36	45.25	40.56	45.59	40.86
46.33	43.19	46.72	43.38	46.31	41.64	46.67	41.86
47.31	44.19	47.93	44.52	47.46	42.9	47.95	42.82
48.6	44.95	48.93	45.17	48.57	43.58	48.96	43.79
49.63	46.49	50.14	46.34	49.7	44.5	50.12	44.64
50.79	47.1	51.2	47.33	50.73	45.92	51.15	45.62
52.02	48.44	52.23	48.53	51.92	46.31	52.28	47.15
53.05	49.32	53.54	49.83	53.02	47.48	53.51	47.71
54.13	50.09	54.65	50.43	54.08	48.57	54.57	48.73
55.34	51.14	55.62	51.38	55.26	49.12	55.62	49.89
56.4	52.45	56.83	52.82	56.45	50.35	56.78	50.63
57.55	53.42	57.97	53.72	57.58	51.44	58.04	51.71
58.61	54.54	59.15	54.83	58.61	52.57	59.15	52.78
59.77	55.33	59.97	55.34	59.74	53.48	59.95	53.49

Tablo A.10. Birinci partikül boyutundaki (20 -38 µm) ksilitol ile elde edilen çikolatalara ait kayma hızı, kayma gerilmesi verileri

REP 1 (a)				REP 2 (b)			
Yukarı (5 s ⁻¹ → 60 s ⁻¹)		Aşağı (60 s ⁻¹ → 5 s ⁻¹)		Yukarı (5 s ⁻¹ → 60 s ⁻¹)		Aşağı (60 s ⁻¹ → 5 s ⁻¹)	
K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.
4.968	19.24	5.277	20.05	4.994	17.38	5.277	18.26
5.817	21.57	6.332	22.86	5.817	19.44	6.409	20.58
6.924	24.46	7.465	25.51	6.95	22.01	7.516	23.08
8.134	27.35	8.571	28.47	8.057	24.54	8.597	25.6
9.241	29.99	9.781	31.4	9.266	27.39	9.73	28
10.27	33	10.89	34.58	10.3	29.81	10.89	30.69
11.43	35.92	11.99	37.36	11.51	32.61	11.99	33.44
12.61	38.93	13.1	39.88	12.64	34.95	13.05	35.98
13.67	41.72	14.23	43.04	13.67	37.83	14.26	38.99
14.77	44.54	15.32	45.6	14.88	40.59	15.37	41.18
15.96	47.91	16.55	49.17	15.98	43.19	16.47	43.9
17.09	50.92	17.58	51.69	17.12	45.7	17.55	46.55
18.2	53.97	18.71	54.88	18.17	48.92	18.71	49.52
19.31	56.42	19.82	57.79	19.28	51.19	19.87	51.85
20.44	59.73	20.95	60.94	20.54	54.01	20.93	54.62
21.49	62.75	22.09	64.1	21.54	56.6	22.11	57.76
22.68	65.72	23.19	66.95	22.75	59.36	23.22	60.32
23.76	68.77	24.4	70.14	23.84	62.11	24.32	62.88
24.89	71.77	25.46	72.97	24.94	65.1	25.43	65.65
26.05	75.05	26.56	76.38	26	67.88	26.51	68.56
27.16	78.03	27.75	79.26	27.16	70.19	27.64	71.59
28.26	80.71	28.83	82.2	28.26	72.93	28.88	74.62
29.37	83.92	29.99	85.15	29.37	75.74	29.91	77.3
30.48	86.83	31.07	88.39	30.58	78.71	31.04	80.07
31.69	90.15	32.23	91.55	31.66	81.46	32.25	83
32.77	93.17	33.36	94.6	32.77	84.1	33.33	85.83
33.9	96.01	34.44	97.7	33.93	87.05	34.44	88.57
35.01	99.31	35.57	100.7	35.03	89.76	35.55	91.45
36.06	102.5	36.63	103.9	36.09	92.61	36.63	93.86
37.22	105.4	37.81	107	37.22	95.74	37.74	96.43
38.33	108.7	38.94	110	38.38	98.54	38.89	99.23
39.59	111.8	40.08	113	39.54	101	40.1	102.6
40.59	115	41.11	116.5	40.59	103.6	41.11	105.2
41.75	118	42.34	119.4	41.78	107	42.34	107.8
42.86	121	43.5	122.7	42.93	109.6	43.45	111.1
43.91	123.9	44.5	125.7	44.02	112.2	44.45	113.5
45.1	127.2	45.69	128.7	45.12	115.1	45.71	116.6
46.28	130.6	46.8	132.5	46.28	117.7	46.74	119.5
47.44	134	47.98	135.4	47.41	121.1	47.95	122.2
48.49	136.8	49.01	138.7	48.52	123.3	48.98	124.8
49.65	139.9	50.19	141.7	49.63	126.7	50.19	127.7
50.71	143.1	51.25	144.8	50.68	128.8	51.22	130.1
51.84	146.4	52.38	148.1	51.89	131.9	52.3	133.8
52.92	149.6	53.62	151.3	53.02	135.3	53.62	136.4
54.11	153	54.7	154.4	54.08	137.6	54.7	138.8
55.26	155.9	55.73	157.7	55.29	140.3	55.68	141.9
56.37	159.1	56.94	160.7	56.37	143.4	56.86	144.7
57.45	162.3	58.02	163.8	57.4	146.1	58.02	147.3
58.51	165.4	59.13	166.8	58.58	149.4	59.2	150.4
59.72	168.7	59.95	169.2	59.64	151.9	60	152.3

Tablo A.11. İkinci partikül boyutundaki (38 -53 µm) ksilitol ile elde edilen çikolatalara ait kayma hızı, kayma gerilmesi verileri

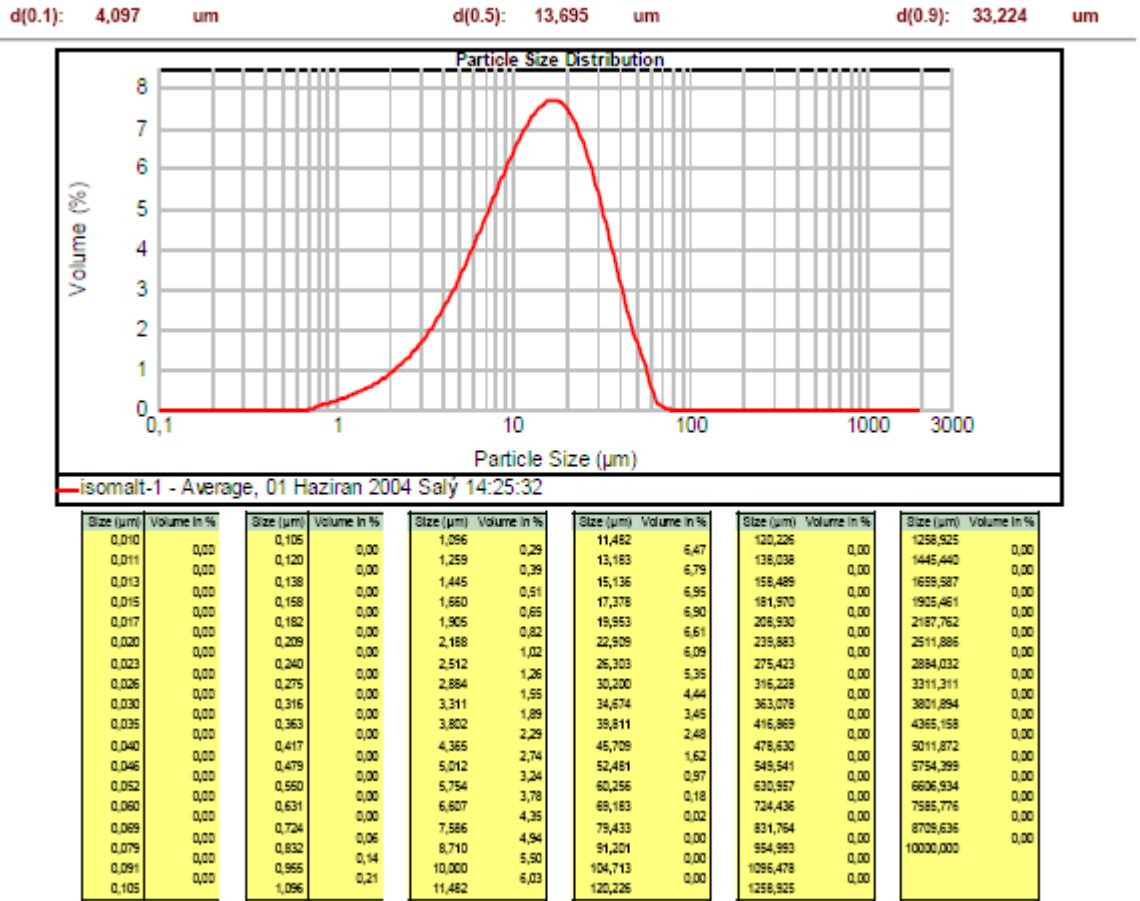
REP 1 (a)				REP 2 (b)			
Yukarı ($5 \text{ s}^{-1} \rightarrow 60 \text{ s}^{-1}$)		Aşağı ($60 \text{ s}^{-1} \rightarrow 5 \text{ s}^{-1}$)		Yukarı ($5 \text{ s}^{-1} \rightarrow 60 \text{ s}^{-1}$)		Aşağı ($60 \text{ s}^{-1} \rightarrow 5 \text{ s}^{-1}$)	
K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.
4.968	14	5.225	14.45	4.968	15.31	5.277	15.52
5.843	15.75	6.306	16.47	5.843	17.16	6.409	17.63
6.95	17.85	7.516	18.76	6.95	19.29	7.516	20.24
8.16	20.28	8.597	20.97	8.031	21.37	8.597	22.22
9.266	22.39	9.678	23.09	9.241	24.08	9.73	24.38
10.3	24.28	10.84	25.15	10.3	26.19	10.81	26.76
11.51	26.8	11.94	27.26	11.45	28.29	11.92	29.05
12.56	28.91	13.08	29.44	12.61	30.99	13.13	31.72
13.67	31.17	14.26	31.76	13.67	33.19	14.21	33.71
14.9	33.27	15.39	33.89	14.8	35.48	15.32	36.07
15.93	35.54	16.45	36.25	15.98	37.82	16.45	38.18
17.07	37.32	17.55	38.07	17.09	40.24	17.53	40.6
18.15	39.77	18.76	40.73	18.2	42.76	18.74	43.02
19.38	42.21	19.85	42.96	19.33	45.11	19.9	45.38
20.46	44.5	20.98	44.93	20.44	47.07	20.98	47.99
21.57	46.74	22.06	47.53	21.54	49.54	22.11	50.33
22.65	48.68	23.17	49.41	22.65	52.03	23.19	52.71
23.81	51.58	24.3	51.49	23.86	54.47	24.3	54.84
24.92	53.83	25.35	54.12	24.97	56.55	25.43	57.47
26.07	55.73	26.59	56.41	26.07	59.22	26.62	59.84
27.16	57.94	27.7	58.81	27.18	61.74	27.7	62.21
28.26	60.03	28.91	61.04	28.26	64.11	28.8	64.38
29.45	62.3	29.91	63.12	29.34	66.41	29.91	66.73
30.55	64.59	31.04	65.62	30.58	68.94	31.02	69.2
31.66	66.74	32.25	68.07	31.58	70.98	32.25	71.99
32.87	69.41	33.36	70.02	32.74	73.48	33.36	74.13
33.95	71.41	34.44	72.46	33.93	76.29	34.47	76.68
35.06	73.97	35.5	74.55	35.03	78.81	35.55	79.01
36.14	76.18	36.6	76.82	36.19	80.98	36.73	81.85
37.22	78.65	37.71	79.03	37.27	83.38	37.79	84.23
38.4	80.95	38.87	81.44	38.38	85.45	38.92	86.45
39.54	83.05	40.08	84.18	39.51	88.16	40.08	88.68
40.7	85.47	41.16	86.3	40.7	90.8	41.18	91.64
41.75	88.27	42.29	88.35	41.83	92.94	42.21	93.87
42.93	90.47	43.4	90.84	42.88	95.21	43.53	96.17
43.99	92.42	44.45	93.23	43.96	98.26	44.58	99.03
45.07	95.08	45.71	95.63	45.15	100.3	45.69	101.2
46.25	97.03	46.74	98.02	46.23	102.8	46.82	103.8
47.36	99.69	47.93	100.1	47.36	105.1	47.88	106.1
48.49	101.6	48.93	102.3	48.55	107.9	49.06	108.6
49.58	104.2	50.17	104.8	49.6	110.3	50.12	111
50.73	106.5	51.3	107.2	50.81	112.9	51.22	113.8
51.92	108.8	52.36	109.7	51.81	115.1	52.48	116.2
52.95	111.2	53.54	112	53.02	117.5	53.46	118.6
54.13	113.5	54.59	114.4	54.11	120.1	54.57	121.2
55.34	115.7	55.62	116.7	55.14	122.6	55.73	123.6
56.47	118.4	56.94	119.6	56.35	125	56.99	126.3
57.45	120.7	58.04	121.7	57.5	127.4	58.1	128.5
58.51	122.8	59.18	123.9	58.61	130.2	59.15	131
59.69	125.4	60	125.8	59.74	132.7	59.87	133.1

Tablo A.12. Üçüncü partikül boyutundaki (53-106 µm) sükröz ile elde edilen çikolatalara ait kayma hızı, kayma gerilmesi verileri

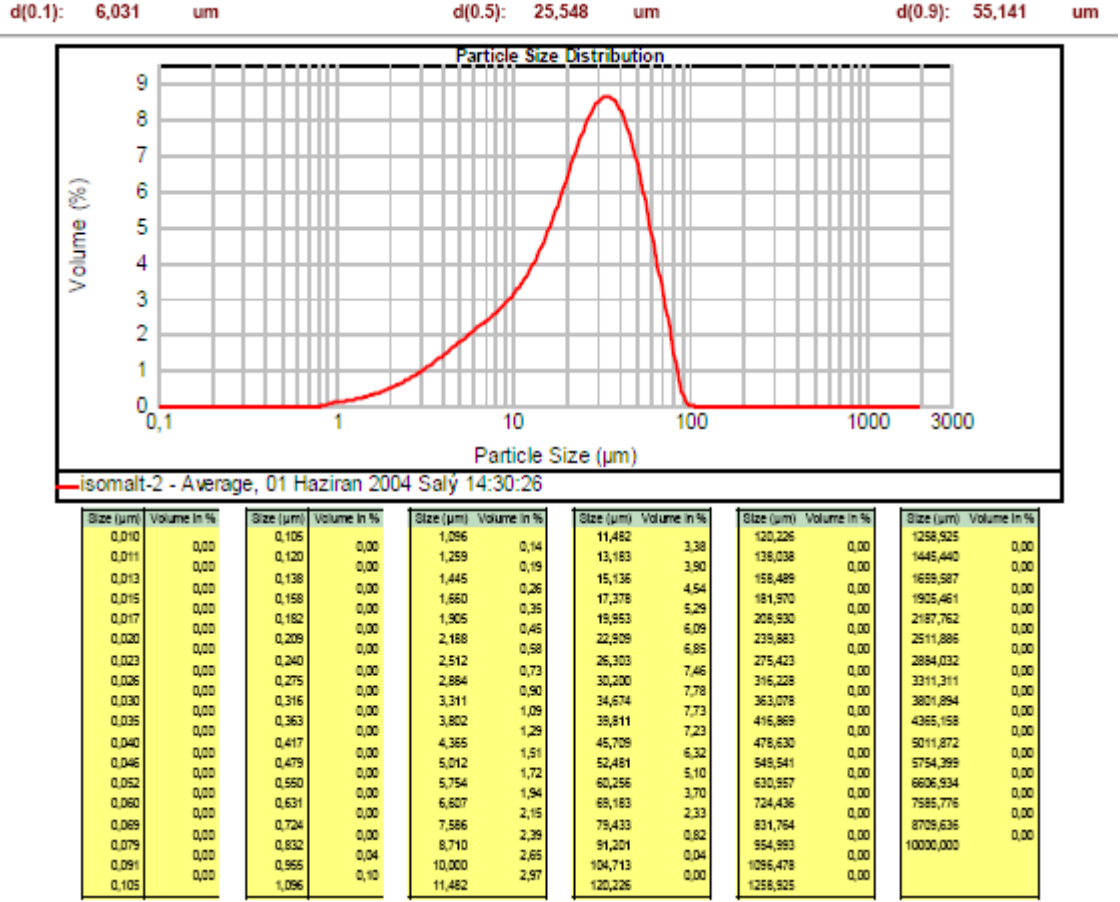
REP 1 (a)				REP 2 (b)			
Yukarı ($5 \text{ s}^{-1} \rightarrow 60 \text{ s}^{-1}$)		Aşağı ($60 \text{ s}^{-1} \rightarrow 5 \text{ s}^{-1}$)		Yukarı ($5 \text{ s}^{-1} \rightarrow 60 \text{ s}^{-1}$)		Aşağı ($60 \text{ s}^{-1} \rightarrow 5 \text{ s}^{-1}$)	
K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.	K. Hızı	K. Ger.
4.994	6.112	5.2	6.54	4.994	6.341	5.174	6.33
5.869	6.892	6.306	7.364	5.869	7.274	6.306	7.439
7.079	7.973	7.413	8.113	6.976	8.407	7.516	8.72
8.134	8.94	8.623	9.302	8.185	9.263	8.571	9.814
9.241	10.03	9.704	10.5	9.292	10.34	9.704	10.66
10.4	10.93	10.81	11.17	10.42	11.77	10.79	11.62
11.51	11.89	11.89	12.41	11.51	12.68	11.92	13.02
12.61	13.1	13.1	13.47	12.59	13.4	13.13	13.8
13.75	14.01	14.23	14.4	13.8	14.79	14.23	15.01
14.85	15.08	15.32	15.64	14.93	15.5	15.32	16.24
15.96	15.99	16.42	16.58	16.01	17.1	16.45	17.22
17.14	17.24	17.53	17.61	17.12	17.6	17.5	18.3
18.33	17.95	18.66	18.37	18.22	19.16	18.66	19.43
19.38	19.17	19.74	19.47	19.38	19.97	19.79	20.24
20.46	20.08	20.93	20.64	20.51	20.94	20.88	21.4
21.67	20.9	22.03	21.44	21.6	22.39	22.06	22.51
22.75	22.18	23.19	22.45	22.7	23.21	23.14	23.66
23.89	23.3	24.27	23.79	23.81	24.21	24.25	24.56
24.99	24.44	25.43	24.45	24.97	25.35	25.33	25.99
26.15	25.29	26.51	25.65	26.02	26.77	26.54	26.73
27.26	26.53	27.64	26.46	27.26	27.67	27.67	27.98
28.31	27.41	28.83	27.59	28.29	28.57	28.78	28.87
29.45	28.52	29.86	28.55	29.52	29.69	29.94	29.99
30.55	29.51	30.97	29.63	30.58	30.58	31.07	30.89
31.63	30.63	32.15	30.71	31.71	31.9	32.12	32.19
32.77	31.71	33.28	31.78	32.77	32.7	33.28	33.08
34	32.7	34.41	32.86	33.87	33.79	34.39	34.1
35.14	33.45	35.52	33.83	35.11	34.9	35.44	35.34
36.22	34.67	36.6	34.83	36.24	36.04	36.6	36.64
37.32	35.46	37.79	35.94	37.32	37.38	37.74	37.44
38.43	36.32	38.82	37.08	38.48	38.08	38.87	38.3
39.49	37.59	40.03	37.86	39.54	39	39.97	39.51
40.67	38.63	41.16	38.99	40.64	40.34	41.16	40.86
41.85	39.67	42.24	40.29	41.75	41.41	42.11	41.8
42.88	40.46	43.35	40.82	42.99	42.28	43.45	42.88
44.02	41.67	44.5	42.05	44.07	43.58	44.53	44.04
45.15	42.49	45.53	42.98	45.2	44.34	45.61	44.92
46.31	43.62	46.82	44.01	46.31	45.68	46.74	46.37
47.41	44.35	47.88	45.21	47.52	46.44	47.88	47.14
48.62	45.74	49.01	46.22	48.55	47.84	49.01	48.5
49.65	46.65	50.09	47.11	49.7	48.58	50.12	49.1
50.79	47.89	51.2	48.25	50.73	49.97	51.25	50.31
51.87	48.73	52.38	48.98	51.94	51.11	52.43	51.61
53.08	49.82	53.51	50.25	53.1	51.93	53.51	52.59
54.18	50.93	54.59	51.53	54.21	53.25	54.52	53.41
55.29	52.01	55.78	52.4	55.26	54.14	55.7	54.91
56.35	53.26	56.83	53.23	56.42	55.06	56.91	55.49
57.53	53.77	57.89	54.31	57.53	56.4	58.04	56.61
58.74	54.79	59.07	55.47	58.64	57.41	59.07	57.81
59.79	55.79	59.95	56.14	59.87	58.62	59.9	58.79

EK B

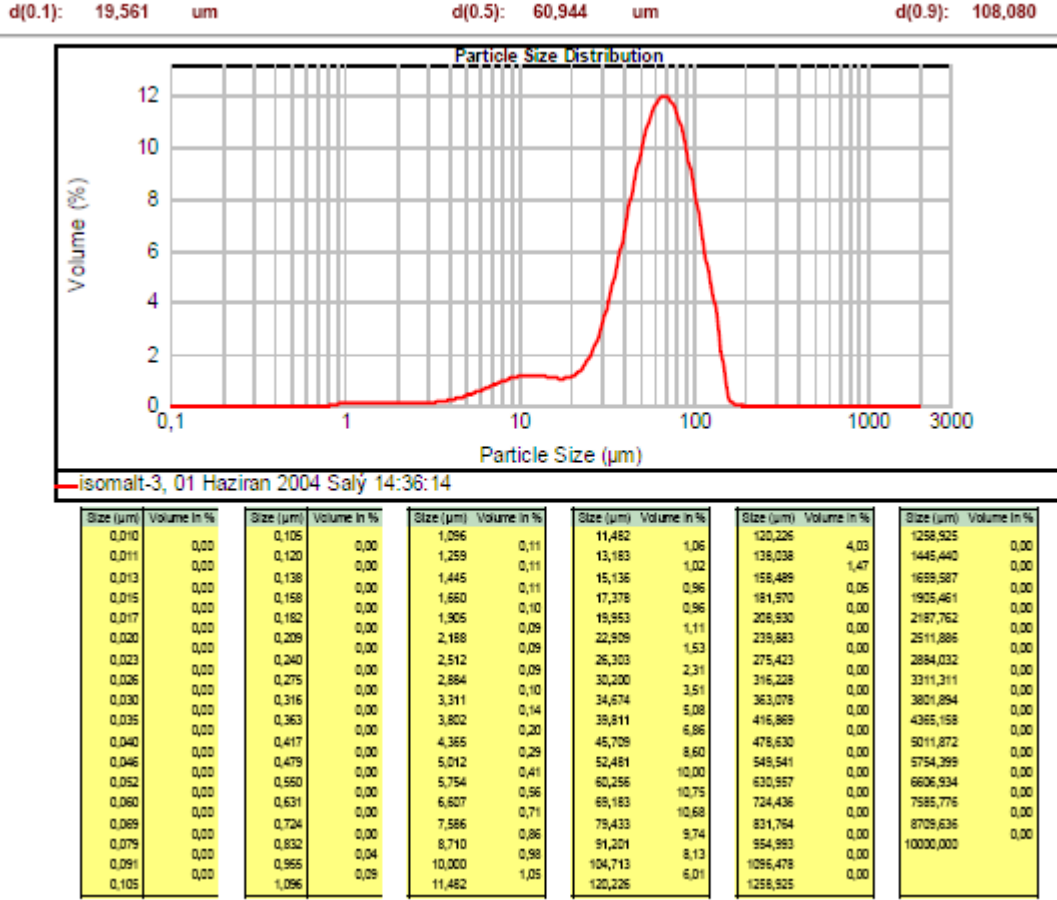
Şekil B.1. İsomaltın birinci partikül boyut dağılımı (20 -38 µm) grafiği



Şekil B.2. İsomaltın ikinci partikül boyut dağılımı (38-53 µm) grafiği



Şekil B.3. İsomaltın üçüncü partikül boyut dağılımı (53 -106 µm) grafiği



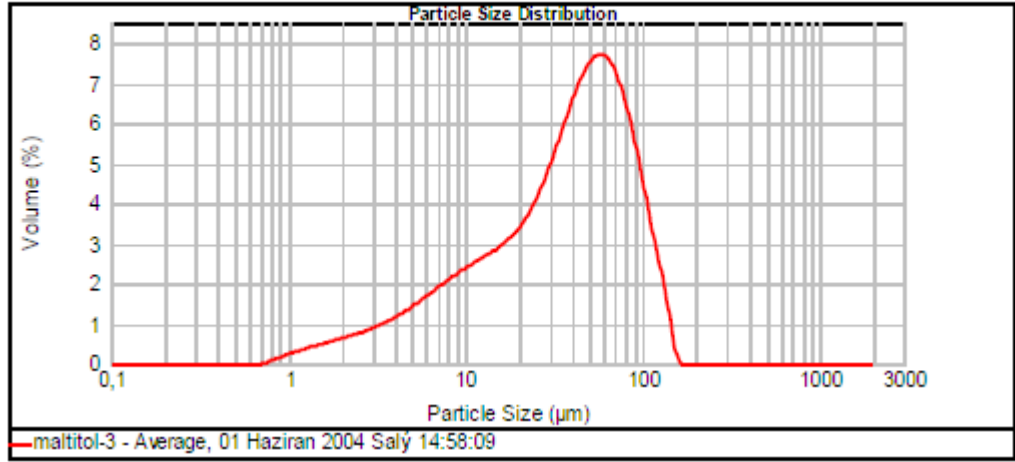
Operator notes:

Şekil B.6. Maltitolün üçüncü partikül boyut dağılımı (53 -106 µm) grafiği

d(0.1): 5,953 µm

d(0.5): 38,567 µm

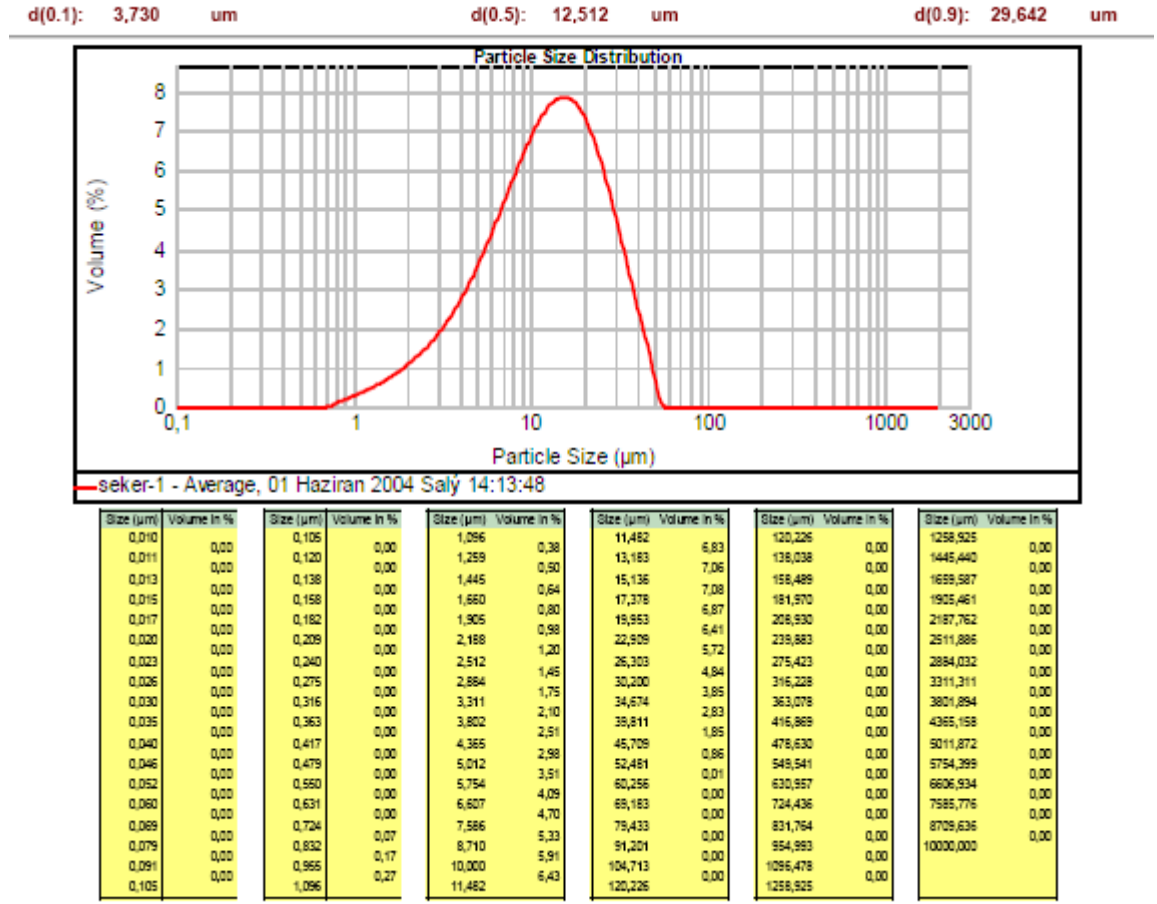
d(0.9): 91,251 µm



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0,010	0,00	0,105	0,00	1,096	0,32	11,482	2,39	120,226	1,99	1258,925	0,00
0,011	0,00	0,120	0,00	1,259	0,39	13,183	2,54	136,038	0,59	1445,440	0,00
0,013	0,00	0,138	0,00	1,445	0,46	15,136	2,70	155,489	0,00	1639,587	0,00
0,015	0,00	0,158	0,00	1,660	0,52	17,378	2,92	181,970	0,00	1905,461	0,00
0,017	0,00	0,182	0,00	1,905	0,59	19,953	3,23	208,930	0,00	2187,762	0,00
0,020	0,00	0,209	0,00	2,188	0,66	22,909	3,66	239,883	0,00	2511,886	0,00
0,023	0,00	0,240	0,00	2,512	0,74	26,303	4,21	275,423	0,00	2884,032	0,00
0,026	0,00	0,275	0,00	2,884	0,84	30,200	4,88	316,228	0,00	3311,311	0,00
0,030	0,00	0,316	0,00	3,311	0,95	34,674	5,59	363,078	0,00	3801,894	0,00
0,035	0,00	0,363	0,00	3,802	1,08	39,811	6,25	416,889	0,00	4365,158	0,00
0,040	0,00	0,417	0,00	4,365	1,23	45,708	6,76	478,630	0,00	5011,872	0,00
0,046	0,00	0,479	0,00	5,012	1,39	52,481	7,39	548,541	0,00	5754,399	0,00
0,052	0,00	0,550	0,00	5,754	1,57	60,256	8,05	630,957	0,00	6606,934	0,00
0,060	0,00	0,631	0,00	6,607	1,75	69,183	8,85	724,436	0,00	7585,776	0,00
0,069	0,00	0,724	0,06	7,586	1,93	79,433	9,70	831,764	0,00	8709,636	0,00
0,079	0,00	0,832	0,15	8,710	2,09	91,201	10,60	954,993	0,00	10000,000	0,00
0,091	0,00	0,955	0,25	10,000	2,25	104,713	11,60	1096,478	0,00		
0,105	0,00	1,096		11,482		120,226	3,10	1258,925	0,00		

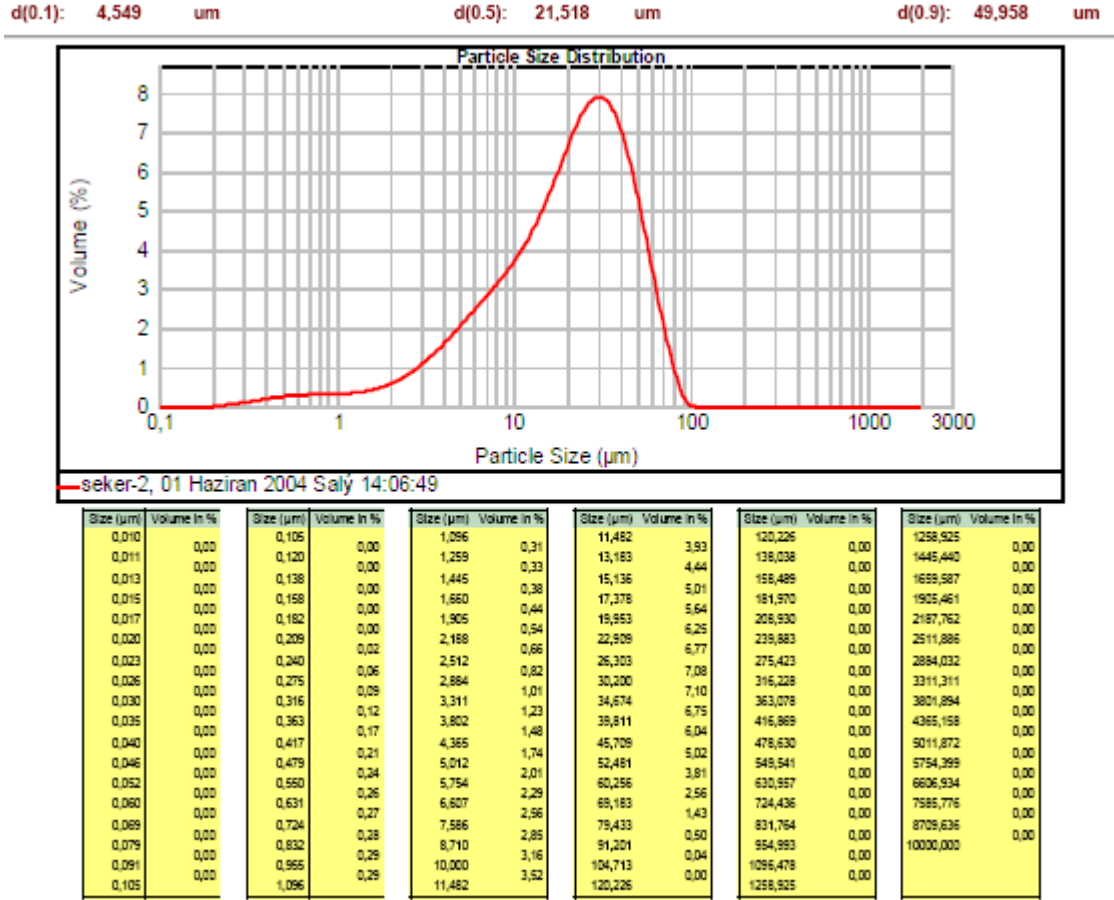
Operator notes:

Şekil B.7. Sükröz birinci partikül boyut dağılımı (20 -38 µm) grafiği



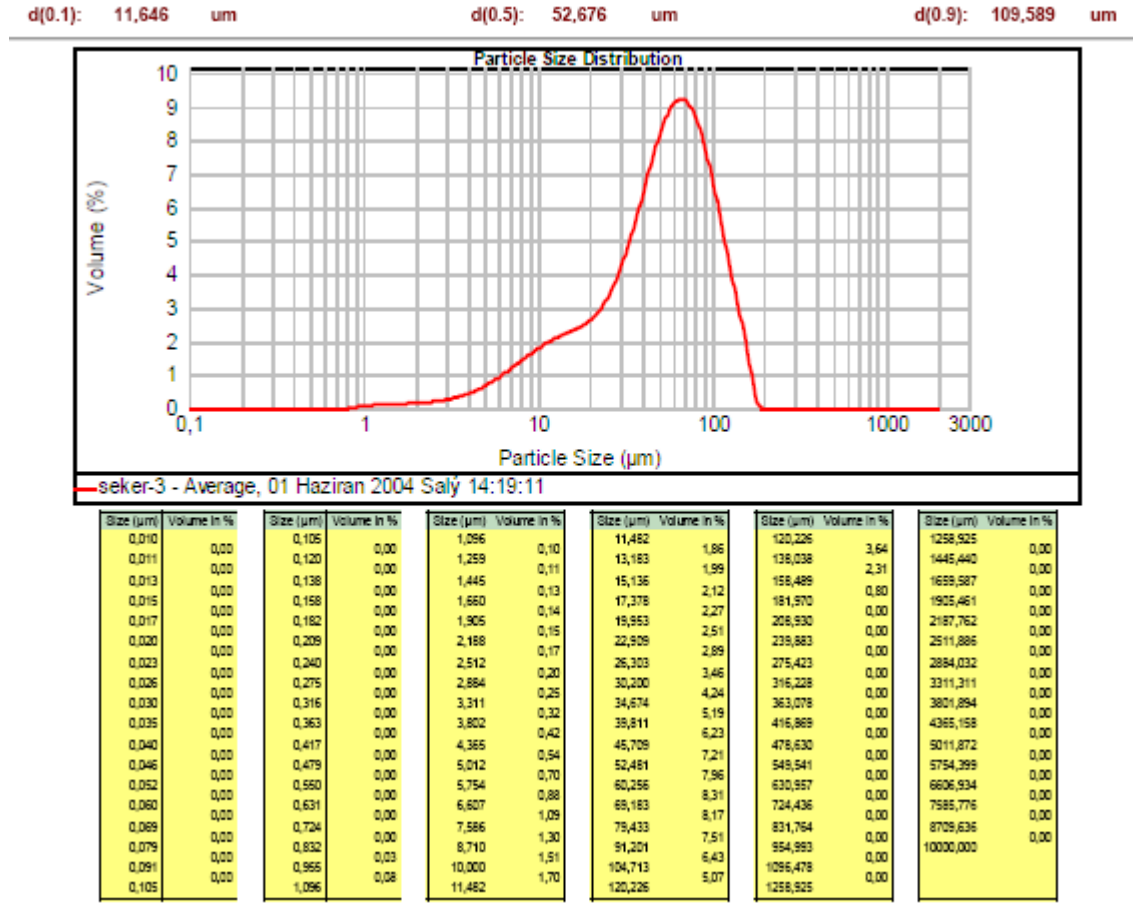
Operator notes:

Şekil B.8. Sükröz ikinci partikül boyut dağılımı (38-53 µm) grafiği



Operator notes:

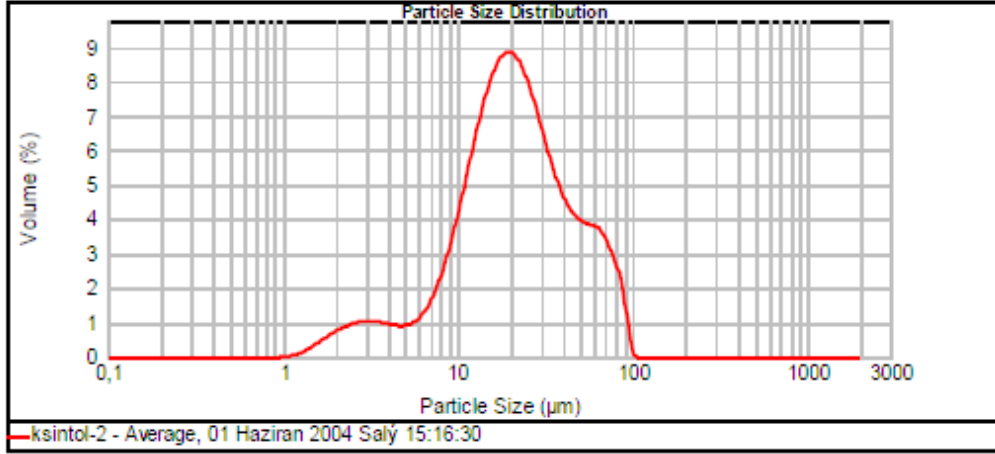
Şekil B.9. Sükrözün üçüncü partikül boyut dağılımı (53 -106 µm) grafiği



Operator notes:

Şekil B.11. Ksilitolün ikinci partikül boyut dağılımı (38-53 µm) grafiği

d(0.1): 7,135 um d(0.5): 20,464 um d(0.9): 56,951 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0,010	0,00	0,105	0,00	1,086	0,07	11,482	5,61	120,226	0,00	1258,925	0,00
0,011	0,00	0,120	0,00	1,259	0,19	13,183	6,75	138,038	0,00	1445,440	0,00
0,013	0,00	0,138	0,00	1,445	0,36	15,136	7,58	158,489	0,00	1659,587	0,00
0,015	0,00	0,158	0,00	1,660	0,54	17,378	7,99	181,970	0,00	1925,461	0,00
0,017	0,00	0,182	0,00	1,905	0,71	19,963	7,90	208,930	0,00	2187,762	0,00
0,020	0,00	0,209	0,00	2,188	0,85	22,929	7,35	239,883	0,00	2511,886	0,00
0,023	0,00	0,240	0,00	2,512	0,93	26,303	6,48	275,423	0,00	2884,032	0,00
0,026	0,00	0,275	0,00	2,884	0,96	30,200	5,48	316,228	0,00	3311,311	0,00
0,030	0,00	0,316	0,00	3,311	0,87	34,674	4,59	363,078	0,00	3801,894	0,00
0,035	0,00	0,363	0,00	3,802	0,83	39,811	3,96	416,869	0,00	4365,158	0,00
0,040	0,00	0,417	0,00	4,365	0,83	45,709	3,63	478,630	0,00	5011,872	0,00
0,046	0,00	0,479	0,00	5,012	0,88	52,481	3,48	549,541	0,00	5754,399	0,00
0,052	0,00	0,550	0,00	5,754	1,10	60,256	3,37	630,957	0,00	6606,934	0,00
0,060	0,00	0,631	0,00	6,607	1,53	69,183	2,82	724,436	0,00	7585,776	0,00
0,069	0,00	0,724	0,00	7,586	2,25	79,433	2,05	831,764	0,00	8709,636	0,00
0,079	0,00	0,832	0,00	8,710	3,21	91,201	0,35	954,993	0,00	10000,000	0,00
0,091	0,00	0,955	0,00	10,000	4,39	104,713	0,00	1095,478	0,00		
0,105	0,00	1,096	0,02	11,482		120,226	0,00	1258,925	0,00		

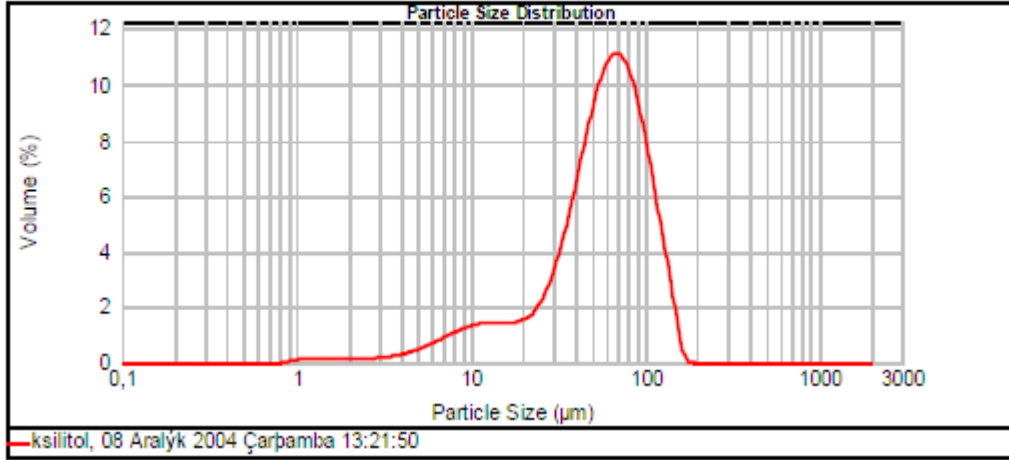
Operator notes:

Şekil B.12. Ksilitolün üçüncü partikül boyut dağılımı (53 -106 µm) grafiği

d(0.1): 14,543 µm

d(0.5): 58,979 µm

d(0.9): 108,636 µm



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0,010	0,00	0,105	0,00	1,056	0,14	11,462	1,31	120,226	3,90
0,011	0,00	0,120	0,00	1,259	0,15	13,183	1,32	138,038	1,84
0,013	0,00	0,138	0,00	1,445	0,15	15,136	1,31	158,489	0,20
0,015	0,00	0,158	0,00	1,660	0,15	17,378	1,34	181,970	0,00
0,017	0,00	0,182	0,00	1,905	0,15	19,953	1,50	208,930	0,00
0,020	0,00	0,209	0,00	2,188	0,15	22,909	1,88	239,883	0,00
0,023	0,00	0,240	0,00	2,512	0,15	26,303	2,57	275,423	0,00
0,026	0,00	0,275	0,00	2,884	0,18	30,200	3,62	316,228	0,00
0,030	0,00	0,316	0,00	3,311	0,23	34,674	4,98	363,078	0,00
0,035	0,00	0,363	0,00	3,802	0,29	39,811	6,54	416,869	0,00
0,040	0,00	0,417	0,00	4,365	0,39	45,709	8,08	478,630	0,00
0,046	0,00	0,479	0,00	5,012	0,52	52,481	9,31	549,541	0,00
0,052	0,00	0,550	0,00	5,754	0,68	60,256	10,00	630,957	0,00
0,060	0,00	0,631	0,00	6,607	0,84	69,183	9,95	724,436	0,00
0,069	0,00	0,724	0,00	7,586	1,01	79,433	8,13	831,764	0,00
0,079	0,00	0,832	0,04	8,710	1,15	91,201	7,68	954,993	0,00
0,091	0,00	0,955	0,11	10,000	1,26	104,713	5,81	1096,478	0,00
0,105	0,00	1,096	0,11	11,462	1,26	120,226	5,81	1258,925	0,00

Operator notes:

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet SÖKMEN, 30 mart 1978 yılında Ankara'da doğdu. 1989 yılında Özel Kalamış ilkokulunu bitirdi. Orta ve Lise öğrenimini Özel Saint-Benoit Fransız Lisesinde 1997 yılında tamamladı. Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği bölümünden 2001 yılında mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Gıda Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı.