



**T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GOFRET ve ÇİKOLATA ÜRETİMİNDE ISI ve KÜTLE
TRANSFERİNİN İNCELENMESİ**

Y. ALTAY SİLSÜPÜR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

BURSA-2005

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GOFRET ve ÇİKOLATA ÜRETİMİNDE ISI ve KÜTLE TRANSFERİNİN
İNCELENMESİ

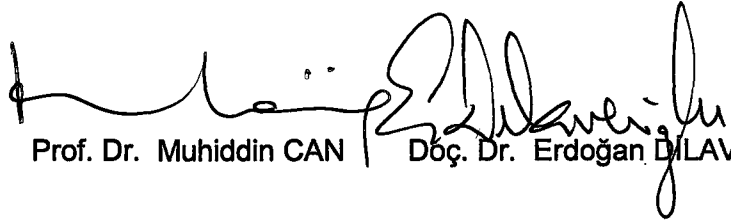
Y. ALTAY SİLSÜPÜR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 03 / 08 / 2005 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Muhsin KILIÇ
Danışman



Prof. Dr. Muhiddin CAN | Doç. Dr. Erdoğan DİLAVEROĞLU

ÖZET

Bu çalışmada çikolata ve gofret üretiminde ısı ve kütle transferinin önemine değinilmiş ve çikolata üretiminde ısı transferinin çikolatanın kristalizasyonunda ve oluşum yapısında soğutma zamanının önemi vurgulanmıştır. Yapılan bu çalışmada çikolata kaplamasının kinetik soğutma modellemesine değinilmiştir. Bu modelleme çikolata üreticilerine en iyi soğutma kondisyonunun seçilmesi konusunda diğer pahalı ürün meydana getirmenin tersine daha ucuz ve raf dayanımı daha yüksek ürün elde etme açısından yardımcı ve kılavuz olacaktır.

Çikolata kaplamalı ürünlerin soğutulmasında, soğutma tünellerinin optimum ayarı, ürün ve çikolata özelliklerinin bozulmaması için önem arz eder. Bu çalışmada çikolata soğutmasının bir boyutlu modellenmesi ve kristalizasyonun iç sıcaklığı ile ısı transferi açısından incelenmesi yapılmıştır.

ANAHTAR KELİMELELER

Isı ve kütle transferi, doğal taşınım, kütle transferi, çikolata kristalizasyonu, temperleme.

ABSTRACT

In this study, it's mentioned that the heat and mass transfer are very important for the chocolate and waffle manufacturing and the importance of the cooling time to crystallization of chocolate forming structure. In this study it is mentioned that the modelling the kinetic chocolate coating's cooling time. This modelling will be a good assistant and guide for the chocolate manufacturers about choosing the best cooling conditions for their specific products without expensive production trials.

Cooling of chocolate coated products requires cooling tunnels with optimal settings according to the product and chocolate properties to get the desired quality. In this study the modelling of the cooling chocolate coatings is based on one dimensional.

KEY WORDS:

Heat and mass transfer, natural convection, mass transfer, chocolate crystallization, tempering.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	I
ABSTRACT	II
İÇİNDEKİLER	III
SİMGELER DİZİNİ	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VI
TABLolar DİZİNİ	VII
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
3. MATERYAL ve YÖNTEM	7
3.1. Isı Transferinin Tanıtımı	7
3.2. Temel Kavramlar Ve Isı Transferi Modları	7
3.2.1. İletimle Isı Transferi	7
3.2.2. Işınım ile Isı Transferi	9
3.2.3. Taşınım ile Isı Transferi	10
3.3. Taşınım ile Isı ve Kütle Transferinin Temelleri	10
3.3.1 Hareket Denklemleri	13
3.3.2 Boyutsuz Sayılar ve Fiziksel Anlamıları	18
3.3.3 Analogiler	21
3.4. Çikolata Üretim Prosesleri	21
3.4.1. Çikolata Alkalizasyonu	24
3.4.2. Hammaddeler	24
3.4.3. Çikolata yapımı hamurhane	29
3.4.4. Mikser Karıştırma	30
3.5. Temperleme	33
3.5.1. Temperleme prosesi	35
3.5.2. Temperleme etkinliği	37
3.5.3. MSV Turbo Temper	38
3.5.4. Soğutma	41
3.6. Soğutma Grupları	43
3.7. Gofret Üretimi	46

3.7.1. Gofret Hamuru Hazırlama	46
3.7.2. Şartlandırma	49
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA	50
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	56
KAYNAKLAR	57
TEŞEKKÜR.....	60
ÖZGEÇMİŞ.....	61



SİMGELER DİZİNİ

SİMGELER

Q	: Birim zamanda ısı iletimi miktarı, W
k	: Isı iletim katsayısı, W/mK
q	: Isı akısı W/m ²
E	: Birim zamanda enerji ışıma gücü W/m ²
T_y	: Yüzeyin mutlak sıcaklığı K
σ	: Stefan-Boltzman sabiti W/m ² .K ⁴
ε	: Yüzeyin ışıma yayma özelliği olan ışıma oranı
T_∞	: Serbest akış sıcaklığı K
\bar{h}	: Ortalama ısı taşınım katsayısı W/m ² .K
T_{cris}	: Kristalizasyon ilk sıcaklığı K
Q_{cris}	: Kristalizasyon ısı miktarı W

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1	Kakao çekirdeğinin toplanması.....	2
Şekil 2.2	Çikolata alışverişi.....	3
Şekil 2.3	Kakao ağacı.....	3
Şekil 2.4	Kakao meyvesi ve kakao çekirdekleri	4
Şekil 3.1	Farklı yüzeylerden taşınım ile ısı ve kütle transferi	11
Şekil 3.2	Diferansiyel hacim elemanına giren ve çıkan kütleler	13
Şekil 3.3	İki boyutlu konsantrasyon sınır tabakadaki bileşenlerin korunumu için diferansiyel hacim elemanı	17
Şekil 3.4	Kakao kurutma işleminden bir görünüş	22
Şekil 3.5	Kakao tozu üretim aşamaları.....	24
Şekil 3.6	Çikolata üretim aşamaları	29
Şekil 3.7	Ön inceltme	30
Şekil 3.8	5'li silindirlerin yapısı.....	31
Şekil 3.9	Temperleme eğrileri.....	38
Şekil 3.10	Örnek Temperleme Şeması.....	40
Şekil 3.11	Soğutma Çevrimi	42
Şekil 3.12	Soğumadaki ısı transferi çeşitleri	45
Şekil 3.13	Soğutma tüneli şeması	45
Şekil 4.1	Soğutma Tüneli Şematik gösterimi.....	50
Şekil 4.2	Çikolata kaplaması soğutma yaklaşım modellemesi	51
Şekil 4.3	Soğutma süresince sıcaklık düşüşü ve kristalizasyon.....	52
Şekil 4.4	Kristalizasyon oranının kristalize edilmiş madde miktarı üzerindeki bağımlılığı	54
Şekil 4.5	Kristalizasyon oranının sıcaklık üzerindeki bağımlılığı	55

TABLÖLAR DİZİNİ

	Sayfa No
Tablo 3.1 Kakao kitlesi kalite kriterleri	23
Tablo 3.2 Kakao yağı kriterleri	25
Tablo 3.3 Coberin ve kakao yağının karşılaştırılması	26
Tablo 3.4 Önerilen temperleme sıcaklık dereceleri	39
Tablo 4.1 Kakao yağının soğutma esnasında ölçülen sıcaklık değerleri	53



1. GİRİŞ

Gıda sektörünün gelişmesi, üreticileri daha araştırmacı bir yaklaşım içerisine itmiştir. Gıda sektöründe çikolata üretiminin payı büyük ölçüde önem arz etmekte, bununla beraber çikolatanın gıda sektöründeki pazar payının da önemi büyüktür.

Çikolata üreticileri çikolata imalatında kullandıkları yöntem ve uyguladıkları prosesler açısından farklı ve de önemli uygulamalar arayışı içersindedirler. Çikolata üretim prosesindeki farklı uygulamalar sonucunda üreticiler hem daha kaliteli çikolata hem de uzun raf ömürlü ürün çıkartarak üretimin kalitesini ve hızını artırmanın yanında daha ucuz ürün de elde etmektedirler.

Bu çalışmada çikolata ve gofret üretiminde ısı ve kütle transferinin önemine değinilmiş ve çikolata üretiminde ısı transferinin çikolatanın kristalizasyonunda ve oluşum yapısında soğutma zamanının önemi vurgulanmıştır.

Yapılan bu modelleme çalışmasında çikolata kaplamasının kinetik soğutma modellemesine değinilmiştir; bu da çikolata üreticilerine en iyi soğutma kondisyonunun seçilmesi konusunda diğer pahalı ürün meydana getirmenin tersine daha ucuz ve raf dayanımı daha yüksek ürün elde etme açısından yardımcı ve kılavuz olacaktır.

Bu tezin amacı öncelikle, çikolata ve gofret üretiminde ısı ve kütle transferinin önemi gözetilerek soğutma zamanı esnasında ürünün kararlı bir kristalizasyona sahip olabilmesi için normal şartlarda ve tünel içi ortamında soğutmanın, ürün kütle ve sıcaklığına bağlı değişiminin belirlenerek daha kaliteli, parlak ve uzun ömürlü aynı zamanda da ucuz ürün meydana getirilmesinde bir ön çalışma hazırlamaktır.

Çalışmada 2. Bölümde tez kapsamında yapılan kaynak araştırmasına yer verilmiştir. 3. Bölümde ise ısı ve kütle transferi genel hatlarıyla özetlenmiş, tez kapsamında çikolatanın üretim aşamalarına ve proses akışına kısaca değinilmiştir.

4. Bölümde, çikolata kaplamalı ürünlerin soğutulmasında, soğutma tünellerinin optimum ayarı, ürün ve çikolata özelliklerinin bozulmaması için çikolata soğutmasının bir boyutlu modellenmesi ve kristalizasyonun iç sıcaklığı ile ısı transferi açısından incelenmesine değinilmiştir. Bölüm 5 te bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ve öneriler verilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1 Çikolatanın Tarihçesi

Çikolata tarihsel yolculuğuna 1519 yılında İspanyol denizci Hernan Cortes'in Meksika seyahati ile başlamıştır.

Yerli halk Aztekler kakao çekirdeğini kavurur,döver ve suyla karıştırarak baharat ilavesi ile içerlerdi.Aztekler için kutsal olan ve törenlerde içilen bu içeceğe 'CHOCOLATL' denirdi.

İspanyollar ülkelerine döndükten sonra bu içecek tüm Avrupaya yayılmıştır.Bununla beraber en hızlı yayılma Hollandalı Van Houten'in 1828'den sonra kakaodan yağın büyük bölümünü ayırmak için bir yöntem geliştirmesiyle olmuştur.Kalan kitleye şeker ilavesiyle bugünkü anlamla çikolata doğmuştur.



Şekil 2.1. Kakao çekirdeği toplanması

1876 yılında İsviçreli Daniel Peters çikolatayı sütle tanıştırmakla sütlü çikolatayı keşfetmiştir.

Bu kakao çekirdeğinin üretimi ve işlenmesi Amerika Kıtasından asya, daha sonra da Afrikaya kadar uzanmıştır.



Şekil 2. 2. Çikolata alışverişi

Kakao , çikolatanın en önemli ham maddesidir. Bir başka deyişle çikolatanın vazgeçilmezidir. Bilimsel adı Theobroma cacao'dur. Gerçekte tanrıların gıdası anlamına gelmektedir bu da onun asilliğini göstermektedir. Dolayısıyla çikolata sektöründeki gelişmelere paralel olarak kakaonun önemi de artmaktadır.



Şekil 2.3. Kakao ağacı

Kakao , kakao ağacının meyvesinin çekirdeğinden elde edilir.Kakao ağacı tropikal bölgelerde yetişir.Bu şartlara uyan en iyi bölge Ekvatordur.Kakao üreticilerin kıtalara göre dağılımı aşağıdaki gibidir:

Afrika	: Gana, Fildişi Sahilleri, Kamerun, Nijerya
Amerika Cumhuriyeti	: Brezilya,Ekvator,Kolombiya,Meksika,Dominik
Asya ve Uzakdoğu	: Malezya, Endonezya, Yeni Gine



Şekil 2.4. Kakao meyvesi ve kakao çekirdekleri

Amerika ve Brezilya en fazla kakao üreten ülkelerdir. En fazla kakao tüketen ülkelerin başında Amerika Birleşik Devletleri, Rusya ve Almanya gelmektedir. Almanya'nın satın aldığı kakao çekirdeği yılda 150.000 ton civarındadır.Dünya kakao üretimi yaklaşık 2,5-3 milyon ton dur.en büyük üretici yaklaşık 800.000 ton ile Luory Coast(Fildişi Sahilleri) dir.

Üretimi yapılan üç çeşit kakao çeşidi vardır:

1-FORASTERO (En fazla kullanılan %80): Kakao üretiminin %80'ini oluşturur.Aroma bakımından zayıf ve acımsıdır. Verimli üretiminden dolayı en çok kullanımı olan kakao türüdür.

2-. TRINITARIO (Melez tip %15): Diğer iki kakaonun melezidir.Coriollo'nun tadını Forestero'nun ağaç yapısını ve verimliliğini taşıyan bir türdür.

3- CRIOLLO (Miktarı az ve çabuk hastalanan tip %5) : Düşük miktardaki asitliği ve güzel aromasından dolayı en kaliteli kakao çeşididir. Güney Amerikada yetişir. Dünya üretimindeki payı az olduğundan çok pahalıdır. Rengi açık kahverengidir.

Çikolata ve gofret üretiminde ısı ve kütle transferinin incelenmesinde sözü geçen ısı transferi konusunun işlendiği çok sayıda kaynak mevcuttur. Bu kaynaklardan BEJAN (1993), INCROPERA (1996), ÇENGEL (2002) ısı transferi bilim dalının her üç modunu genel hatlarıyla ve uygulamalarıyla işlemektedir. Isı transferi modlarını ayrı ayrı inceleyen kaynaklar da mevcuttur. Bu kapsamda ısı iletimi için ARPACI (1991) örnek verilebilir. Isı taşınımı ise BEJAN (1993), INCROPERA (1996) gibi kaynaklarda incelenmiştir. Işınım ile ilgili kaynaklara SIEGEL & HOWELL (2001) örnek olarak verilebilir.

Isı transferini işleyen Türkçe kaynaklar da mevcuttur. KAKAÇ (1972), KILIÇ ve YİĞİT (2000) bunlara örnek olarak gösterilebilir.

Günümüzde çikolatanın ısıtma ve soğutmasıyla ilgili olarak birçok çalışma yapılmıştır. Bunlardan bazıları aşağıda belirtilmiştir.

A. G. F. Stapley, H. Tewkesbury ve P. J. Fryer, (1999) çikolata imalatında oluşan final kristal formunun, malzemedeki geçen kopma ve ayrılma sıcaklığı ve zaman prosesine kritik olarak bağlı olduğunu gösteren çalışmalar yapmışlardır.

Franke (1998) çikolata kaplamasının kristalizasyonunun tek boyutlu modelde incelenmesi ile ilgili çalışmalar yapmıştır.

Muntener (1988), Göpel (1993) ve Ziegleder (1995) uzun süreli denemeler ve çalışmalar sonucunda çikolatayı başlangıçta yavaş yavaş ve hafif soğutmak ani soğutmaya nazaran daha uzun ömürlü kılar ve daha iyi bir görünüm verir tezini doğrulamışlardır.

Brosio (1980) kakao yağının 7°C ve -18°C soğutma sıcaklıklarında erime ve kristalizasyon sonuçlarını yayınladı.

Ziegleder (1990) farklı kaynaklardan ve önceden kristalize edilmemiş kakao yağları ile yapılmış kinetik deneylerin sonuçlarını açıkladı. Yine Ziegleder 1995 ' te önceden kristalize edilmemiş sade çikolata soğutma deneyleri yaptı ve farklı

sıcaklıklarda izotermal koşullarda kristalizasyon ısısının serbest bırakılması ile ilgili grafikleri yayınladı.

Shwartzberg (1977) efektif sıcaklığa bağlı ve hem normal ısı kapasitesini hem de ilgili sıcaklıkta gizli ısı kapasitesini içeren ısı kapasitesini önerdi.

Chau ve Gaffney (1990) oksijen alışverişi ile gerçekleşen iç ısı üretimini dikkate alarak top şeklindeki gıdaların ısı ve kütle transferini hesapladı.



3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Isı Transferinin Tanıtımı

Enerjinin değişik formları ve bir formdan diğerine transferi, özellikle enerjinin transfer formları olarak tanımlanan *iş* ve *ısı* ile ilgilenen bilim dalı termodinamiktir. Böyle bir enerji transferi, kütle transferi ve sıcaklık farkı olmadan sistem sınırlarının değişmesi şeklinde gerçekleşiyorsa, enerji transferinin *iş* formunda gerçekleştiği söylenir. Diğer yandan, alışveriş sıcaklık farkı nedeniyle ise, enerjinin *ısı* olarak transfer edildiği söylenir. Diğer bir deyişle, *sıcaklık farkı nedeniyle gerçekleşen enerji nakline ısı transferi denilmektedir*. Bir sıcaklık farkının bulunmasının enerjinin *ısı* formunun tanımlanmasında ayırt edici bir özellik olduğuna dikkat edilmelidir.

3.2 Temel Kavramlar Ve Isı Transferi Modları

Bir ortamda yada ortamlar arasında bir sıcaklık farkı mevcutsa burada ısı transferi olacaktır. Isı transferi olayı gerçekleştiği fiziksel durumuna göre farklı mekanizma ya da modlarda incelenir. Bir katı ya da durgun akışkan ortamında bir sıcaklık farkı mevcut ise bu ortamdaki ısı transferini tanımlamak için *iletim* terimi kullanılır. Bir yüzey ve hareketli bir akışkan arasında sıcaklık gradyanı söz konusu ise bu iki ortam arasındaki ısı transfer modunu tanımlamak için *taşıma* terimi kullanılır. Sonlu sıcaklıktaki bütün yüzeyler elektromanyetik dalga formunda enerji yayarlar. Bu nedenle farklı sıcaklıklarda bulunan ve birbirini aralarında engelleyici bir ortam olmadan gören iki yüzey arasında *ışınım*la ısı transferi vardır (KILIÇ ve YİĞİT, 2000).

3.2.1 İletimle Isı Transferi

Isı iletiminin temel denklemi Fourier ısı iletimi kanunu ile ifade edilir;

$$Q_x = -k A \frac{dT}{dx} \quad [W] \quad (3.1)$$

Burada k , ısı iletim katsayısı (W/mK), ve A ısı transferine dik alandır. 3.1. eşitliğinden faydalanılarak birim zamanda birim alandan transfer edilen enerji olarak ısı akısı (q_x [W/m²]) aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$q_x = \frac{Q_x}{A} = -k \frac{dT}{dx} \quad [\text{W/m}^2] \quad (3.2)$$

Isı akısı yöne bağımlı bir büyüklüktür, q_x in yönü sıcaklık farkının olduğu doğrultuya dik kesit alanına (A) normal doğrultudadır. Genel olarak, ısı akışının yönü daima sabit sıcaklıktaki (izotermal) yüzeye normaldir.

Isı bir vektörel büyüklük olduğundan, Fourier ısı iletimi kanunu kartezyen koordinat sisteminde genel bir ifade olarak

$$\vec{q} = -k (\vec{i}q_x + \vec{j}q_y + \vec{k}q_z) \quad [\text{W/m}^2] \quad (3.3)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $q_x = -k \frac{\partial T}{\partial x}$, $q_y = -k \frac{\partial T}{\partial y}$, $q_z = -k \frac{\partial T}{\partial z}$ dir. O halde 3.3. eşitliği yeniden düzenlenirse:

$$\vec{q} = -k \vec{\nabla} T = -k \left(\vec{i} \frac{\partial T}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial T}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad [\text{W/m}^2] \quad (3.4)$$

formunu alır. Burada $\vec{\nabla}$ üç boyutlu del operatörü ve $T(x,y,z)$ skaler sıcaklık dağılımıdır.

Fourier ısı iletim kanunundan, ısı iletim katsayısı, k , x-yönünde şu şekilde tanımlanır (ARPACI, 1966):

$$k_x = -\frac{Q_x}{A(\partial T/\partial x)} \quad (3.5)$$

Eşitlikten de görülebileceği gibi ısı iletim katsayısı malzemenin bir özelliği olmasının yanında yöne ve sıcaklığa da bağlıdır. Verilen bir sıcaklık gradyanı için, iletimle ısı akısı artan ısı iletim katsayısı ile artar. Genel olarak katılar sıvılardan, sıvılar ise gazlardan daha yüksek ısı iletim katsayısına sahiptirler. Isı iletim katsayısının değeri moleküller yada atomlar arasındaki mesafe ile bağlantılıdır.

3.2.2 Işınım ile Isı Transferi

İletim ve taşınım ile ısı transferi mekanizmaları enerjinin içinden nakledilebileceği bir ortama gereksinim duymaktadırlar. Ancak enerji mutlak vakum ortamında yani hiçbir maddenin bulunmadığı bir ortam içinden geçerek de transfer edilebilir. Bu mekanizma elektromanyetik ışınım olarak tanımlanır. Işınım da enerji elektromanyetik dalgalarla (ya da fotonlar ile) taşınır. Elektromanyetik ışınım, X ışınları, gama ışınları, görülebilen ışık spektrumu, radyo dalgaları gibi yaygın olarak bilinen dalga boyu aralıklarını da kapsayan geniş bir spektruma sahiptir. Işıma olayı ışığın vakum içindeki hızıyla gerçekleşir. Bu geniş ışınım spektrumunda bizi ilgilendiren sadece termal bileşenlerdir. Mutlak sıfır sıcaklığının üzerinde sonlu sıcaklığa sahip bütün maddeler çevrelerinden bağımsız olarak ışınım ile enerji yayarlar, fakat net ısı transferi sıcak bölgeden soğuk bölgeye gerçekleşir. Dolayısıyla ortamdaki izafi olarak soğuk cisim yaptığı ışımadan daha fazla enerji absorbe eder.

Maddenin termal enerjisinden kaynaklanan ve birim yüzeyinden birim zamanda serbest bırakılan enerji yayılım gücü E ile gösterilebilir. Stefan-Boltzmann kanunu yayılım gücünün alabileceği maksimum değeri belirtmektedir:

$$E_b = \sigma T_y^4 \quad [\text{W/m}^2] \quad (3.6)$$

Burada T_y yüzeyin mutlak sıcaklığı (K) ve σ Stefan-Boltzmann sabiti ($\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$) dir. Maksimum yayılım gücüne sahip böyle bir yüzey ideal ışıyıcı yada siyah cisim olarak adlandırılır.

Siyah cisim ile aynı sıcaklığa sahip gerçek bir yüzey tarafından yayılan ısı akısı:

$$E = \varepsilon \sigma T_y^4 \quad [W/m^2] \quad (3.7)$$

şeklinde bulunabilir. ε , yüzeyin ışıyım yayma özelliği olan yayınım oranıdır. Yayınım oranı değeri $0 \leq \varepsilon \leq 1$ aralığındadır ve yüzeyin siyah cisme nazaran enerji yayma etkinliğini göstermektedir. Siyah cisim için $\varepsilon=1$ dir. Yayınım oranı değerleri yüzeyin yapısına büyük oranda bağlıdır.

3.2.3 Taşınım İle Isı Transferi

Akışkan hareketiyle ilişkili olan ısı transferinin bu modu esas olarak hem akışkan içinde moleküllerin etkileşmesiyle gerçekleşen iletimle ısı transferi ve hem de akışkanın hareketi dolayısıyla enerjinin taşınması mekanizmalarının her ikisini de içerir. Eğer akışkanın hareketi yardımcı bir araç vasıtasıyla (fan yada pompa gibi) sağlanıyorsa, yada incelenen hacme belli bir hızla giriyorsa *zorlanmış taşınım* söz konusudur. Diğer taraftan, incelenen hacimde akışkan hareketi yoğunluk farklılığı dolayısıyla oluşuyorsa *doğal taşınım* ifadesi daha uygundur.

3.3 Taşınım İle Isı ve Kütle Transferinin Temelleri

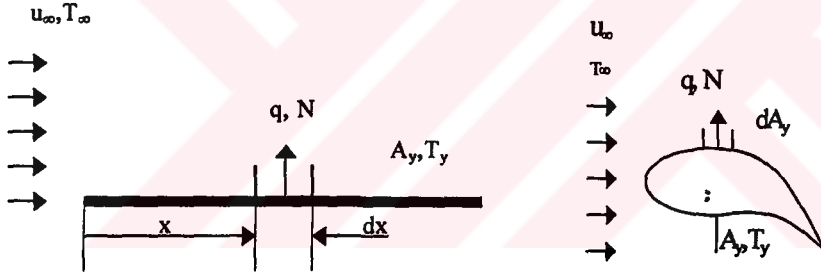
Taşınım ile ısı ve kütle transferi, farklı sıcaklıktaki hareketli bir akışkan ile katı bir yüzey arasındaki madde ve enerji transferidir. Tanımından da görüleceği üzere, hareketli bir akışkan olması durumunda taşınım söz konusu olmaktadır. Taşınım ile ısı transferinde bir akış olduğu için, ısı transferinin yanında basınç kayıplarının da düşünülmesi gerekir. Dolayısıyla ısı transferini karakterize eden ısı taşınım katsayısı yanında sürtünme katsayısı da tarif edilecektir.

Taşınım ile ısı ve kütle transferinde sıcaklık dağılımının bulunabilmesi için hız dağılımının da bulunması gerekir. Çünkü akış hız dağılımı sıcaklık dağılımını etkileyecektir. Bu yüzden taşınım problemlerinin analitik çözümü basit geometrilerde bile son derece karmaşık bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Farklı sıcaklıktaki hareketli bir akışkan ile katı yüzey arasında meydana gelen ısı transferi olarak tarif edilen ısı taşınımının temel denklemi; *Newton'un soğuma kanunu* olarak bilinen şu eşitliktir:

$$q = h (T_y - T_\infty) \quad (3.8)$$

Bu ifadede T_y ile gösterilen yüzey sıcaklığı, T_∞ ile gösterilen serbest akış sıcaklığından büyük olarak alınmıştır. Isı taşınım katsayısı h , taşınımla ısı transferinde en önemli büyüklüktür. Birçok faktöre bağlı olan bu değer bulunması, taşınımla ısı transferinin en önemli kısmını oluşturmaktadır. Akış tipine, akışkanın cinsine, akışkanın fiziksel özelliklerine ve yüzey şekline bağlı olan ısı taşınım katsayısı, aynı zamanda bir yüzey üzerinde yerel olarak da değişim gösterir. Örnek olarak Şekil 3.1'deki iki farklı yüzey üzerindeki akış incelendiğinde, her iki yüzeyde de farklı noktalarda ısı taşınım katsayısının farklı olduğu görülür.



Şekil 3.1. Farklı yüzeylerden taşınımla ısı ve kütle transferi.

Şekil 3.1.'e göre yüzeyin herhangi bir x noktasında dx uzunluğundaki ve birim genişlikteki yüzeyden taşınımla olan ısı ve kütle transferi (INCROPERA, 1996),

$$Q = h_x (T_y - T_\infty) dx \quad (3.9)$$

olacaktır. Burada h_x yerel ısı taşınım katsayısıdır. Yüzeyden olan toplam ısı transferini bulabilmek için, yüzey entegrali alınır. Bu durumda ısı transferi şu eşitlikten bulunur:

$$Q = \int_{A_y} q dA_y \quad (3.10)$$

Bu eşitlikte A_y sonlu bir yüzey alanıdır. Isı akısı q yerine taşınırsa,

$$Q = (T_y - T_\infty) \int_{A_y} h dA_y \quad (3.11)$$

eşitliği elde edilir. Ortalama ısı taşınım katsayısı \bar{h} ile gösterilirse yüzeyden olan toplam ısı transferi şu eşitlikten bulunur (ÇENGEL, 1998):

$$Q = \bar{h} A_y (T_y - T_\infty) \quad (3.12)$$

Düzensiz olmayan yüzeyler için ortalama ısı taşınım katsayısı Şekil 3.1.,

$$\bar{h} = \frac{1}{A_y} \int_{A_y} h dA_y \quad (3.13)$$

yüzey integrali ile hesaplanır. Düzensiz yüzeylerde ise ortalama ısı taşınım katsayısı,

$$\bar{h} = \frac{1}{L} \int_a^b h_x dx \quad (3.14)$$

ile hesaplanır.

Taşınımınla kütle transferinde de benzer şekilde tarif edilebilir ve benzer sonuçlar elde edilir. Molar konsantrasyon özelliği C_∞ olan akışkan, molar konsantrasyon özelliği $C_y \neq C_\infty$ olan bir yüzey üzerinden aktığında, yüzey ve akışkan arasında taşınımınla bu özellik transfer edilir. Genellikle bu özellik, buharlaşma şeklinde akışkana geçen ya da tersi, yüzey üzerinde yoğunlaşma şeklinde oluşan nemdir. Yapılan hesaplamalar da esas itibarıyla, taşınım katsayısı yardımıyla transfer edilen özelliğin miktarını bulmaya yöneliktir.

Kaynaklarda, tüm yüzeyden transfer edilen özelliğin, toplam molar transfer oranı (kmol/s) cinsinden şu şekilde verilmiştir. (INCROPERA, 1996)

$$N_A = \bar{h}_m A_s (C_s - C_\infty) \quad (3.15)$$

Burada yerel ve ortalama kütle transfer katsayısı şu şekilde tarif edilir.

$$\bar{h}_m = \frac{1}{A_y} \int_{A_y} h dA_y \quad (3.16)$$

Şekil 3.1. de görülen düzlem yüzey için ise şu şekilde tarif edilir.

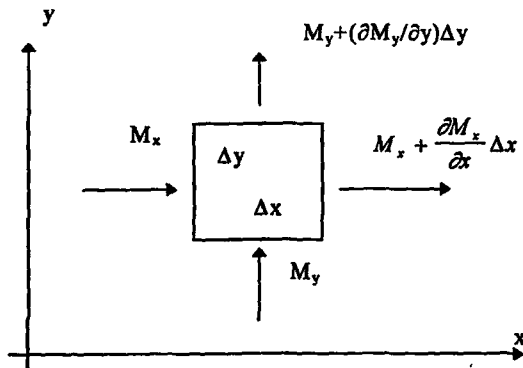
$$\bar{h}_m = \frac{1}{L} \int_0^L h_x dx \quad (3.17)$$

3.3.1 Hareket Denklemleri

Sürtünme faktörü f ve sürtünme katsayısını C_m bulabilmek için hız dağılımının bilinmesi gerekir. Hız dağılımının bulunabilmesi için de süreklilik ve momentum (Navier-Stokes) denklemlerinin yazılması ve uygun sınır şartları ile çözülmesi gerekir. Tez kapsamında sadece basit akışlar için bu diferansiyel denklemlerin çözümü verilecektir.

a. Süreklilik Denklemi

Süreklilik veya kütle korunumu denklemi olarak bilinen bu denklem, bir kontrol hacmine giren ve çıkan toplam kütle miktarının sıfır olması şeklinde ifade edilebilir. Şekil 3.2. göz önüne alındığında, $\Delta x \Delta y$ hacim elemanına x ve y yönünde giren ve çıkan kütleler görülmektedir.



Şekil 3.2. Diferansiyel hacim elemanına giren ve çıkan kütleler.

Kütlenin korunumu matematiksel olarak ifade edilirse,

$$(\rho u)\Delta y + (\rho v)\Delta x - \left[\rho u + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u)\Delta x \right]\Delta y - \left[\rho v + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v)\Delta y \right]\Delta x = 0 \quad (3.18)$$

eşitliği elde edilir. Burada u ; x eksenini yönündeki hız bileşeni, v ; y eksenini yönündeki hız bileşenidir. Gerekli işlemler yapıp bütün terimler $\Delta x \Delta y$ ile bölünürse,

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = 0 \quad (3.19)$$

eşitliği elde edilir.

Borular içinde akış problemlerinde silindirik koordinatlar kullanılır. Benzer şekilde silindirik koordinatlarda süreklilik denklemi yazılacak olursa,

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(r v_r) + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \quad (3.20)$$

olur. Burada $v_r(r,z)$ ve $v_z(r,z)$; yarıçap ve aksenal yöndeki hız bileşenleridir.

b. Momentum Denklemi

Momentum denklemleri Navier-Stokes denklemleri olarak da bilinir. Momentum denklemleri akış alanına Newton'un ikinci kanununun uygulanıp gerekli işlemler yapılırsa momentum denklemleri şu şekilde elde edilir:

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = F_x - \frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (3.21)$$

$$\rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = F_y - \frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (3.22)$$

Bu eşitliklerde, eşitliğin sol tarafındaki terim atalet kuvvetlerini, sağ taraftaki ilk terim dış kuvvetleri, ikinci terim basınç kuvvetlerini ve son terim de viskoz kuvvetleri gösterir.

Momentum denklemleri silindirik koordinatlarda yazılırsa, şu eşitlikler elde edilir:

$$\rho \left(v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} \right) = F_r - \frac{\partial P}{\partial r} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial r} - \frac{v_r}{r^2} + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} \right) \quad (3.23a)$$

$$\rho \left(v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = F_z - \frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right) \quad (3.23b)$$

Burada F_r ve F_z ; r ve z doğrultusundaki dış kuvvetlerdir, v_r ve v_z ise hız bileşenleridir.

c. Enerji Denklemi

Bir taşınım probleminde, taşınım katsayısının bulunabilmesi için sıcaklık dağılımının bilinmesi gerekir. Sıcaklık dağılımını bulabilmek için de enerji denkleminin yazılıp uygun sınır şartları ile çözülmesi gerekir. Enerji denklemi, diferansiyel hacim elemanına termodinamiğin I. Kanununun (Enerjinin korunumu prensibi) uygulanır ve gerekli işlemler yapılırsa kartezyen koordinatlarda, sürekli rejimde, iki boyutlu, sabit özellikli, Newtoniyen ve sıkıştırılmaz akış için enerji denklemi şu şekilde elde edilir:

$$\rho c_p \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \mu \Phi \quad (3.24)$$

Burada Φ viskoz enerji dağılım fonksiyonudur ve şu şekilde tarif edilir:

$$\Phi = 2 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 \quad (3.25)$$

Enerji denklemindeki terimlerin fiziksel anlamları üzerinde tek tek durulacak olursa, sol taraftaki terim taşınım, sağ taraftaki ilk terim iletim ve ikinci terim ise sürtünme nedeniyle açığa çıkan enerjiyi gösterir. Enerji denklemi matematiksel işlemciler kullanılarak, basit olarak, şu şekilde de ifade edilir:

$$\frac{D T}{D t} = \alpha \nabla^2 T + \mu \Phi \quad (3.26)$$

Burada $\alpha = k/\rho c_p$ ısı yayılım katsayısıdır. ∇^2 işlemcisi ise Kartezyen koordinatlarda şu şekilde tarif edilir:

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \quad (3.27)$$

Silindirik koordinatlarda enerji denklemi ise şu şekildedir.

$$\rho c_p \left(v_r \frac{\partial T}{\partial r} + v_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \mu \Phi \quad (3.28a)$$

Burada viskoz dağılım fonksiyonu ise,

$$\Phi = 2 \left[\left(\frac{\partial v_r}{\partial r} \right)^2 + \frac{v_r^2}{r^2} + \left(\frac{\partial v_z}{\partial z} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{\partial v_r}{\partial z} \right)^2 \quad (3.28b)$$

şekindedir. Viskoz dağılım fonksiyonu düşük hızlarda ihmal edilirse, benzer şekilde, silindirik koordinatlarda enerji denklemi şöyle olur:

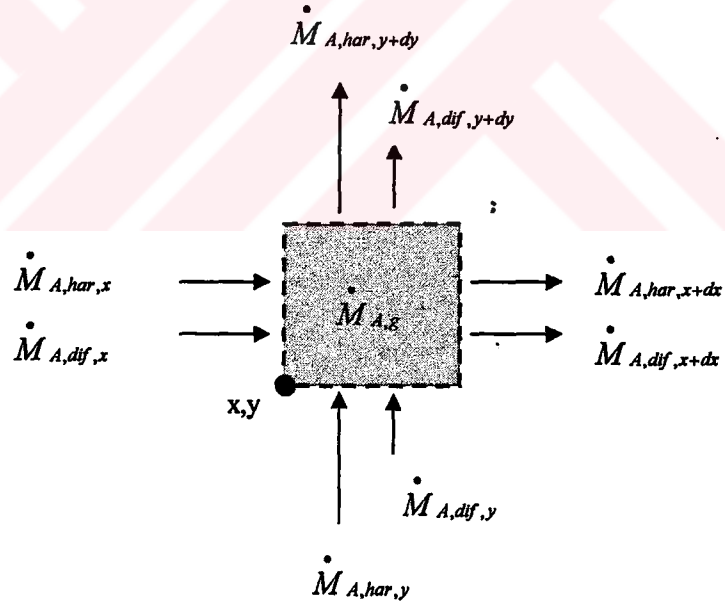
$$\frac{1}{\alpha} \left(v_r \frac{\partial T}{\partial r} + v_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (3.29)$$

Bu kısmi türevli diferansiyel denklemin çözülebilmesi için hız dağılımının bilinmesi gerekir. Yani sıcaklık dağılımını bulabilmek için, önce süreklilik ve momentum denklemlerinden hız dağılımını elde edilir daha sonra uygun sınır şartları ile

enerji denklemi çözümlenerek sıcaklık dağılımı bulunur. Sınır şartları, taşınım probleminin fiziğinden çıkarılır.

d. Konsantrasyon Denklemi

Şekil 3.3. deki gibi bir kontrol hacmi ele alalım. Ortamda bileşenler her iki koordinat doğrultusunda da, akışkan hareketi ve difüzyon yoluyla transfer edilmektedir.



Şekil 3.3. İki boyutlu konsantrasyon sınır tabakadaki bileşenlerin korunumu için diferansiyel hacim elemanı.

Kontrol hacmindeki konsantrasyon kimyasal reaksiyonlardan da etkilenebilir.

X yönünde akışkan hareketiyle kontrol hacmine giren A bileşeni net oranı,

$$\dot{M}_{A,har,x} - \dot{M}_{A,har,x+dx} = (\rho_A u).dy - \left[(\rho_A u) + \frac{\partial(\rho_A u)}{\partial x} dx \right] dy = -\frac{\partial(\rho_A u)}{\partial x} .dx.dy \quad (3.30)$$

Benzer şekilde difüzyon akısını elde etmek için, akışın sıkıştırılmaz akış olduğu kabul edilerek (sabit ρ) ve Fick kanunu kullanılarak, x yönünde difüzyonla kontrol hacmine giren A bileşeni net oranı,

$$\begin{aligned} \dot{M}_{A,dif,x} - \dot{M}_{A,dif,x+dx} &= \left(D_{AB} \frac{\partial \rho_A}{\partial x} \right).dy - \left[\left(D_{AB} \frac{\partial \rho_A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{AB} \frac{\partial \rho_A}{\partial x} \right) dx \right] dy \\ &= \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{AB} \frac{\partial \rho_A}{\partial x} \right) .dx.dy \end{aligned} \quad (3.31)$$

aynı işlemler y doğrultusu içinde yazılır ve bileşenlerin korunumundan harekeyle gerekli sadeleştirmeler yapılırsa,

$$\frac{\partial(\rho_A u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho_A v)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{AB} \frac{\partial \rho_A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{AB} \frac{\partial \rho_A}{\partial y} \right) + \dot{n}_A \quad (3.32)$$

elde edilir (INCROPERA 1996).

3.3.2 Boyutsuz Sayılar ve Fiziksel Anlamları

Taşınımınla ısı ve kütle transferinde en önemli boyutsuz sayı, akışın karakterini belirleyen Reynolds sayısıdır. Akışta, atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranını gösteren ve akışkanlar mekaniğinde de son derece önemli olan bu boyutsuz sayı şu şekilde tarif edilir:

$$R e = \frac{u_{\infty} L}{\nu} = \frac{u_{\infty}^2 / L}{\nu u_{\infty} / L^2} \quad (3.33)$$

Reynolds sayısının büyük değerlerinde atalet kuvvetleri, küçük değerlerinde ise viskoz sürtünme kuvvetleri etkilidir. Reynolds sayısı bir akışta, akışın laminar veya türbülanslı olduğunu belirleyen boyutsuz sayıdır. Küçük Re sayılarında yeterince etkili olan viskoz sürtünme kuvvetleri vortekslerin oluşumunu engeller. Büyük Re sayılarında ise atalet kuvvetlerinin etkisiyle vorteks hareketleri oluşarak akışın laminar karakteri bozulur, türbülans başlar ve akış türbülanslı akış olur.

Bir diğer önemli boyutsuz sayı ise Prandtl sayısıdır. Prandtl sayısı moleküler momentum yayılımının moleküler ısı yayılımına oranıdır. Diğer bir ifadeyle, ısı ve hız sınır tabaka içinde ısı ve momentum yayılımının bir ölçüsüdür ve şu şekilde tarif edilir:

$$P r = \frac{c_p \mu}{k} = \frac{\mu / \rho}{k / (\rho c_p)} = \frac{\nu}{\alpha} \quad (3.34)$$

Burada ν kinematik viskozite, α ise ısı yayılım katsayısıdır.

Gazlarda, $Pr \approx 1$, yani momentum yayılımı ısı yayılımına yaklaşık eşittir. Hız ve ısı sınır tabaka beraber gelişir. Yağlarda, $Pr \gg 1$, momentum yayılımı ısı yayılımından daha büyüktür ve hız sınır tabaka ısı sınır tabakadan önce gelişir. Sıvı metallerde, $Pr \ll 1$, ısı yayılımı momentum yayılımından daha büyüktür ve ısı sınır tabaka daha hızlı gelişir.

Kütle transferinde ise Pr sayısı yerine kullanılan Schmidt (Sc) sayısıdır. Sc sayısı momentum difüzyonunun kütle difüzyonuna oranı olarak tarif edilir ve şu şekilde gösterilir.

$$S c = \frac{\nu}{D_{AB}} \quad (3.35)$$

Burada D_{AB} ikili kütle difüzyon katsayısıdır.

Kütle transferi problemlerinde kullanılan, bir diğer boyutsuz sayı ise Lewis (Le) sayısıdır. Le sayısı ısı difüzyonunun kütle difüzyonuna oranı olarak tarif edilir ve şu şekilde gösterilir.

$$Le = \frac{\alpha}{D_{AB}} \quad (3.36)$$

Taşınım ile ısı transferinde bir diğer önemli boyutsuz sayı Nusselt sayısıdır. Nusselt sayısının fiziksel anlamı, L karakteristik akışkan kalınlığı içinde taşınım ile ısı transferinin iletimle ısı transferine oranıdır.

$$Nu = \frac{hL}{k} = \frac{h\Delta T}{k\Delta T / L} \quad (3.37)$$

$Nu = 1$ olması durumunda taşınım ile ısı transferi, iletimle ısı transferine eşit olur. Diğer bir ifadeyle ısı transferi iletimle olmaktadır (durgun akışkan). Nusselt sayısının büyümesi ısı transferi mekanizmasında taşınımın etkisinin arttığını gösterir. Çok büyük Nu sayılarında iletim etkisi artık tamamen ihmal edilir.

Kütle transferinde ise Nu sayısı yerine Sherwood (Sh) sayısı kullanılmaktadır. Bu parametre yüzeydeki boyutsuz konsantrasyon basamağı olarak tarif edilir ve yüzeyde meydana gelen taşınım ile kütle transferinin miktarının belirlenmesi için çok önemli bir parametredir. Şu şekilde gösterilir.

$$\overline{Sh} = \frac{\overline{h}_m L}{D_{AB}} = (Re_L, Sc) \quad (3.38)$$

Stanton sayısı St , diğer boyutsuz sayılardan türetilen bir boyutsuz sayıdır. Taşınım ile ısı transferi problemlerinde kullanılan bir boyutsuz sayı olduğundan burada şu şekilde tanımlanır:

$$St = \frac{Nu}{Re Pr} = \frac{h}{\rho u_m c_p} = \frac{h\Delta T}{\rho c_p u_m \Delta T} \quad (3.39)$$

3.3.3. Analogiler

Isı ve Kütle Transferi Analogisi

Isı ve kütle transferi analogisi her iki taşınım katsayısını ilişkilendirmek için doğrudan kullanılabilir. Isı transferi hesaplarında kullanılan Nu sayısı Pr^n sayısı ile orantılıdır. Aynı şekilde Kütle transferi hesaplamalarında kullanılan Sh sayısı da Sc^n sayısı ile orantılıdır.

Nu ve Sh sayılarını veren ifadeler birbirine eşitlenip gerekli sadeleştirmeler yapılırsa,

$$\frac{Nu}{Pr} = \frac{Sh}{Sc} \quad (3.40a)$$

$$\frac{hL/k}{Pr^n} = \frac{h_m L / D_{AB}}{Sc^n} \quad (3.40b)$$

bu denklemlerden taşınım katsayıları oranı çekilirse,

$$\frac{h}{h_m} = \frac{k}{D_{AB} Le^n} = \rho C_p Le^{1-n} \quad (3.40c)$$

elde edilir ki bu bağıntıya ısı ve kütle transferi analogisi denir (INCROPERA, 1996). Her iki taşınım probleminde de algoritma değişmez. Kütle transferi problemlerinde de, taşınım katsayısını bulmak için, ısı transferi problemlerinde kullanılan korelasyonlar kullanılabilir.

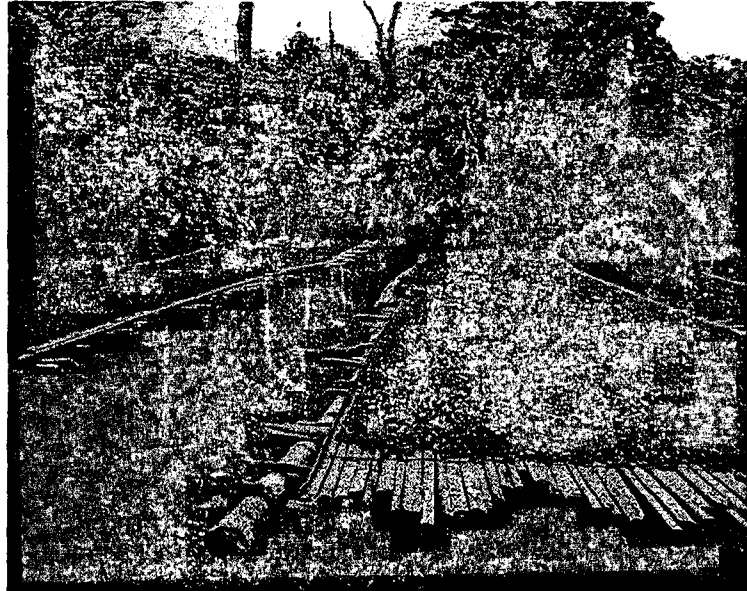
3.4 Çikolata Üretim Prosesleri

Çikolata üretiminde ısı ve kütle transferi üreticilerin daha kaliteli ve uzun ömürlü ürün elde etmeleri için büyük önem arz etmektedir.

Çikolata üretiminde çok önemli rol oynayan kakao çekirdeğinin kimyasal yapısı, % bileşenler cinsinden aşağıdaki gibidir.

Kakao yağı	%	53 – 57
Selüloz	%	2 – 3
Su	%	5 – 6
Fosfat	%	0,5 – 0,6
Protein	%	11 – 13
Tanning agent	%	5 – 6
Karbonhidrat	%	7 – 8
Theobromin	%	1,5 – 2
Şeker	%	5 – 7
Mineral	%	2 – 3

Kakao prosesinin en önemli iki ana maddesi kurutma ve kavurmadır. Kurutma genel olarak açık alanlarda, güneş ışığında yani doğal ortamda yapılmaktadır. Bundan dolayı kurutma sırasında küf ve mikrobiyolojik kirlenme oluşmaktadır ve kurutmada nem max. %6,5-7 oranlarına düşmektedir. Kurutma işleminden sonra 65 kg. ağırlığında çuvallara konulup Fildişi veya diğer üretim yapılan ülkelerden dünyaya dağılmaktadır.



Şekil 3.4. Kakao kurutma işleminden bir görünüş

Kakao kavurma, hasat dönemi sonrasında fermentasyon ve kurutmada başlayan aromanın daha geliştirilmesi mikrobiyolojik kirliliğin azalması için uygulanan bir işlemdir. Çekirdek nem oranı %6'dan %2'ye düşer. Asitliği ve acılığı oluşturan asit ve kimyasallar azalır. Fermentasyon sırasında oluşan maillard reaksiyonlarını oluşturur. Renkte kahverengileşme olur ve mikrobiyal yük azalır. Kavurma 130-136 °C sıcaklık aralığında yapılır.

Kavurma sırasında şu değişiklikler olur:

- çekirdek nem kaybeder
- çekirdek kabuğu gevşer
- nib (cotyledon) gevrekleşir ve rengi koyulaşır.

Amino asitlerde bir miktar parçalanma olur ve proteinler kısmen denatürize olur. Amino asitlerin parçalanması esnasında indirgen şekerlerin bozulması ile enzimatik olmayan koyulaşma "browning" reaksiyonu meydana gelir.

Kavurmayı etkileyen faktörler:

- 1-Kavurma sıcaklığı.
- 2-Kavurma süresi.
- 3-Uzaklaştırılan su miktarı.
- 4-Kavurma ortamından uzaklaştırılan sıcak hava miktarı.
- 5-Ortam havasının bağıl nemi.

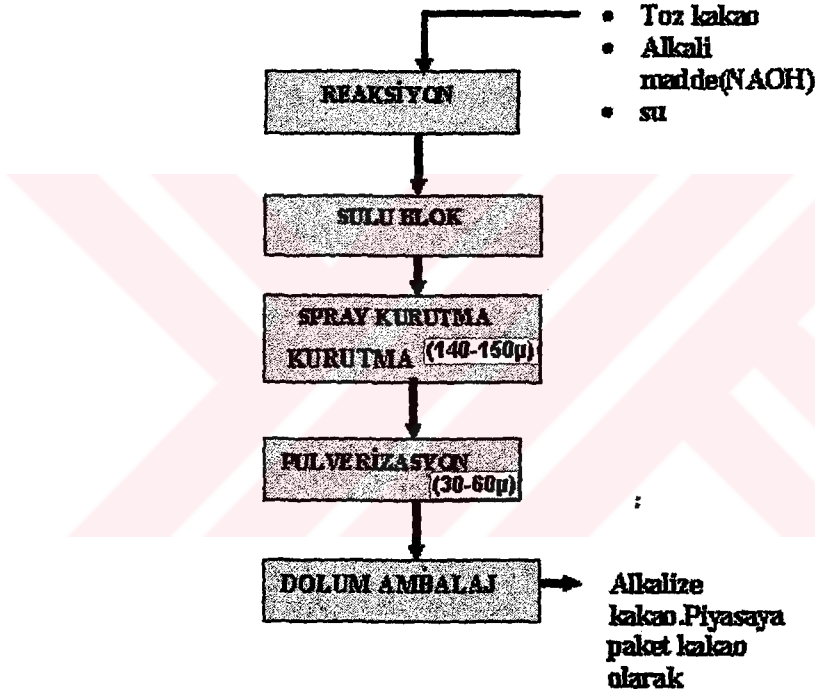
Tablo 3.1. Kakao Kitlesi Kalite Kriterleri

Tat	Zengin aroma karışımına sahip, kötü koku bulundurmayan.
Yağ miktarı	%54+/- 1
Nem	Max. %1.5
PH-miktarı	5.5+/-0.3
Partikül büyüklüğü	Min.%98<75µ
Kabuk miktarı	Max.%1.75
Mikroorganizma	Max. 5000 mikroorganizma/gr .
Yükü	0 patojen.

Genelde elde edilen natural kakao tozunun rengi acıktır. Dünya pazarında kakao rengi koyu kıvı olduğundan toz kakaonun rengi alkalizasyon işlemiyle koyulaştırılır. Alkalize işleminde renkte olan değişiklik PH ın yukselmesinden kaynaklanmaktadır. Alkalizasyon işlemi koyu rengin istendiği hamurların yapımında kullanılacak bloğa da uygulanır.

3.4.1 Çikolata Alkalizasyonu:

Alkalizasyon= Toz Kakao+Alkali madde+Su+Sıcaklık



şekil 3.5. Kakao tozu üretim aşamaları

3.4.2 Hammaddeler:

Kakao yağı (Cocoa butter) :

Kakao ekirdeği işlemede ana maksat kakao yağı elde etmektir. Kakao yağı hidrolik basınç altında kakao bloğunun preslenip filtre edilmesiyle elde edilen doğal yağdır. Hidrolik preslemeyle elde edilen kakao yağı 20 °C' de kırılganlaşan, 35 °C' de eriyen 30 - 32 °C' de yumuşayan açık sarı renkte bir yağdır. Kakao yağı alkalize işlem gormemiş bloktan ve alkalize işlem gormuş bloktan olmak tuzere iki çeşit kakao yağı

elde edilir. Kalite açısından alkalize işlem görmemiş bloktan elde edilen kakao yağı daha tercih edilir.

Tablo 3.2. Kakao yağı kriterleri

Kimyasal	Polimorfik
20°C de	Katı
>35°C	sıvı ve sarı renkte
Aroma indeksi	Ham kakao yağı >50
	İyi deoderize <8
Serbest yağ asiti	Max. %1.5
Blue value	Max.%0.5
İyi kalite	Saf (preslenmiş kakao yağı)
Kötü kalite	Kalitesiz kakao çekirdeğinden elde edilmiş kakao yağı

Erime ve donma noktası çikolata yapımında önemli kriterlerden biridir. Çikolatada erime ve donma noktası kakao yağının özelliklerine bağlıdır. Kakao yağlarına bakıldığında donma zamanı en kısa olan Malezya en geç donan ise Brezilya'dır .

Kakao içindeki yağ asitleri aşağıdaki gibidir:

<u>Yağ Asitleri</u>	<u>%</u>
Palmitik	24.3
Stearik	35.4
Oleik	38.2
Linoleik	2.1

Kakao yağı alternatifleri:

Kakao yağı özellikleri dolayısı ile yeri doldurulamayan, çikolatanın temel hammaddesi olan ve bu yüzden de fiyatı sürekli artan bir ticari eşya haline gelmiştir. Bu nedenler bilim adamlarını kakao yağına alternatif yağlar üretmek üzere harekete geçirmiş ve bunun sonucu olarak da çeşitli yağlar üretilmiştir. Bunlar Eşdeğer Yağlar (CBE) ve Yerine Yağlar (CBS) olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır.

Eşdeğer Yağlar (Cocoa Butter Equivalent - CBE)

Bu yağlar gliserit yapıları farklı kaynaklardan oluşturulmuş, fiziksel ve kimyasal özellikleri kakao yağı ile aynı özellikleri gösteren yağlardır. Bu alandaki ilk gelişme Unilever Co. tarafından geliştirilen Coberine'dir. Özellikleri şu şekilde karşılaştırılabilir:

Tablo 3.3. Coberin ve kakao yağının karşılaştırılması

Yağ	İyot İndeksi	Sabunlaşma İndeksi	Yumuşama Noktası	Dilatasyon
Coberine	34	196-197	35.2	20
Kakao yağı	37	193-194	35.4	20

Yerine Yağlar (Cacao Butter Substitute - CBS)

Bu yağlar hindistan cevizi yağı, palm yağı gibi çekirdeklerden elde edilen yağlarla yapılmaktadır. Yapıları kakao yağından tamamen farklıdır. Bu yağların üç ana dezavantajı vardır:

1. Erime noktasını düşürerek, çikolatanın normal sıcaklıklarda erimesine yol açar.
2. Polimorfik etkiyi yükselterek, iyi temperlemeyi güçleştirir ve renk bozulmasına ve çiçeklenmeye (fat bloom) yol açar.

3. Mikrobiyolojik ve oksidatif değişime, böylece bozulmaya (ransidite) yol açar.

Bu yağlar iki grupta toplanır: CBS Laurics ve CBS Nonlaurics.

CBS Laurics:

Bu yağlar farklı fiziksel özelliklerde ve trigliserit yapıları kakao yağı ile uygunluk göstermeyen şekildedir. Kısa zincirli yağ asitlerinin gliseritleridir. Genellikle palm kernel yağından elde edilir. CBS lorikler iyi stabiliteye ve raf ömrüne ve çok iyi doku yapısı ve aroma gelişimine sahiptir. Kakao yağındaki gibi temperlenmeye ihtiyaçları yoktur ve daha ucuzdur.

Dezavantajları şöyle sıralanabilir:

1. Kakao yağı ile uygunsuz olduğu için, çok iyi temizlenebilen veya tamamen ayrı bir hatta kullanılmalıdır.
2. Lipaz enzimi ile nemli veya nem içeren ortamlarda karşılaştırıldığında, serbest yağ asitleri (lorik asit) keskin sabun tadı açığa çıkarır.
3. Süt yağına toleransları yoktur.

CBS Nonlaurics:

Bu yağlar hidrojene bitkisel yağların fraksiyonlarıdır. Bitkisel yağlar, yağdaki solid faz oranını artırmak için trans asit şekline hidrojene edilirler. Zincir uzunlukları ve molekül ağırlıkları kakao yağına benzemektedir ve bu yüzden kakao yağı ile karışmaya % 20 - 25 oranında tolerelidirler. İyi bir doku yapısı ve kalıplanma özelliği göstermediği için genellikle kek, bisküvi ve unlu mamullerin kaplanmasında kullanılır.

Çikolata Hammaddelerinin Özellikleri:

Şeker (Sucrose):

Şeker pancarı ve şeker kamışından elde edilir.

-Şeker pancarı : %14-17 sucrose

-Şeker kamışında : %11-17 sucrose

Duyusal özellikleri:

Kendine has tatta, beyaz renkte, kokusuz, homojen irilikte, kristal yapıda, içerisinde gözle görülebilen yabancı maddeler bulunmamalıdır.

Süt (Milk):

Sütün kimyasal yapısı.

-Su	: % 87.0
-Yağ	: % 3.7
-Protein	: % 3.4
-Laktoz	: % 4.7
-Mineral ve vitaminler	: % 1.2

Süttozunun Özellikleri:

Sütün suyunun uçurulması ile süt tozu elde edilir. 2 şekilde elde edilir.

1-Sprey kurutma (Spray drying)

Sıvı üttün buharlaştırılması.

Sıcak hava üflemeli bir tankın içine sprej edilmesi.

2-Silindirle kurutma (Roller drying)

Sıvı sütün buharlaştırılması

Vakum altında sıcak silindirlerde kurutma.

Silindir kurutma ile elde edilen süt tozu çikolata imalatında tercih edilir. Fakat dikkat edilmediği zaman çikolatada karamelizasyon tadı verir.

Duyusal özellikler: Süt tozu tekrar süt haline getirildiğinde çiğ süte özgü renk, tat ve kokuda olmalı, gözle görülür yabancı madde bulunmamalıdır.

Çikolatada ana değişkenler:

1-Formülasyon

2-Kakao cinsi.

3-Toplam yağ miktarı ve sertlik.

4-Kakao yağı/Süt yağı oranı.

5-Tane büyüklüğü.

6-Proses şartları.

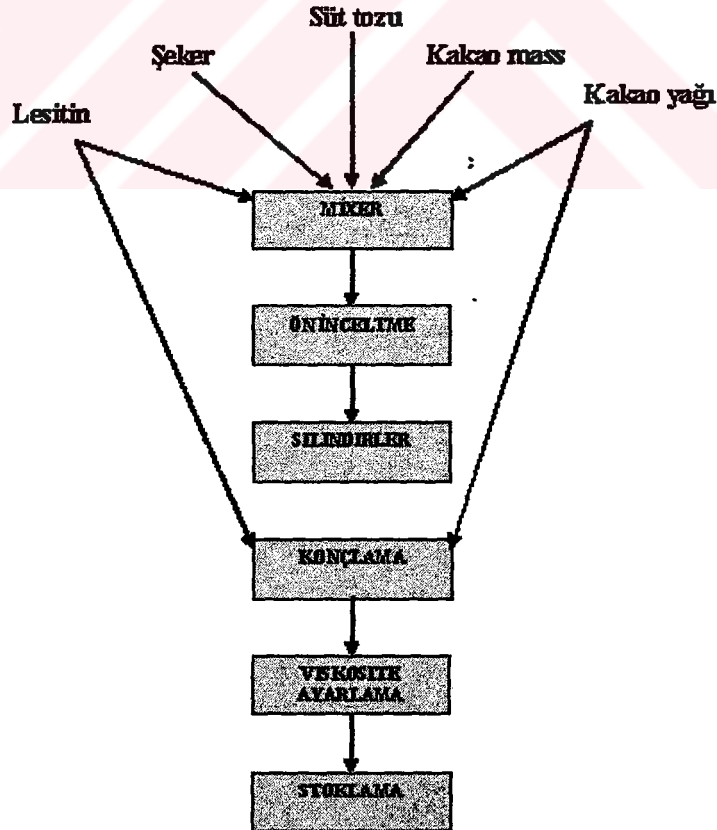
1-Formülasyon

Çikolata yapımında bütün imalatlarda olduğu gibi formül kalite için en kritik madde olup kesinlikle kontrol altında tutulmalıdır. Formüllerdeki sapmalar müteakip prosesleri, kaliteyi ve maliyetleri etkiler.

Çikolata imalatında değişik formüller vardır. İstenen tat ve tipe göre formüller değişiklik gösterir.

3.4.3 Çikolata yapımı hamurhane:

Çikolata yapımında hamurhanede, üretim aşamalarını gösteren akış şeması aşağıdaki gibidir.



Şekil 3.6. Çikolata üretim aşamaları

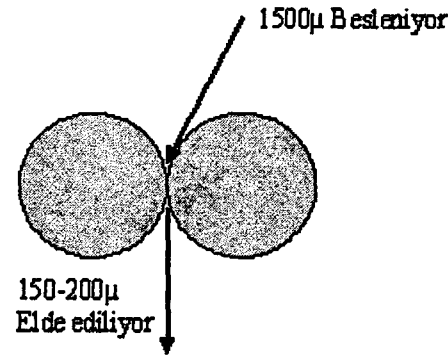
Ham maddeler aşağıdaki işlemlere tabi tutularak okolata elde edilir.

3.4.4 Mikser Karıştırma:

Mikserlerde karıştırma işlemi uygulanır. okolata üretiminde kullanılan ham maddeler (Kakao mass, kakao yağı, kristal şeker, süt tozu, lesitin) sırayla miksere alınır ve homojen bir karıştırma işlemi uygulanıp süt tozu ve şeker partikülleri yağ ile ıslatılır. Karışım hamur haline getirilir. Sabit kıvamın sağlanması için kesin karıştırma süresinin oluşturulması gerekir. Kristal şeker konulmasının amacı kristal şekerin yüzey alanı pudra şekere göre daha az olduğudur. Mikserde başlangıçta fazla yağ ihtiyacı olmaması için kristal şeker konulmaktadır. Miksere aldığımız yağ oranı okolata partiküllerinde incelik belirlemede bir numaralı etmendir. Partikül büyüklüğünü etkileyen diğer etmenler ise; beslenen partikül büyüklüğü, karıştırma süresi, mikser cidar sıcaklığı, mekanik etki, malzemenin cinsi....vb gibidir.

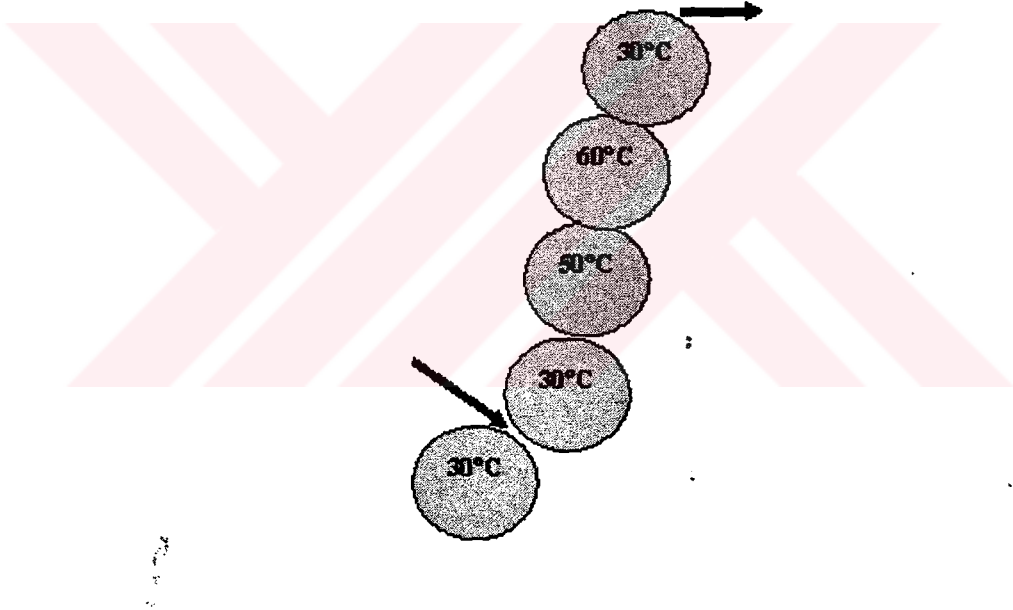
Ön inceltme: Ön inceltme işlemine 1500 μ gelen hamur işlem sonunda 200 μ 'a kadar inceltilir. Ön inceltme işlemi sayesinde;

- Mikserde kristal şeker kullanımına olanak sağlanır,
- Mikserde az yağ kullanılır,
- Homojen karışım elde edilir,
- Silindir kopmasını engellenir,
- Silindirlerin ömrü daha uzun olur.



şekil 3.7. Ön inceltme

5'li Silindirler (inceltme): 5'li silindirlerde amaç, mikserlerde hazırlanan çikolata hamurunu istenen inceliğe getirmek için öğütmek ve son üründe düzgün bir yüzey sağlamaktır. Hamuru 150 μ dan 20-22 μ , max.30 μ 'a getirerek öğütülüp ve son üründe düzgün bir yüzey sağlamaktır. Silindirler yatay olarak 5 tanedir. Silindirler taş malzemeden yapılmıştır. Silindirler arasındaki sıkıştırma kuvveti hidrolik preslerle olmaktadır. Hidrolik preslerle olan sıkıştırma sistemi ayarı makinenin modeli ve markasına göre değişmektedir. Sıkıştırma ayarı silindirlerin verimli çalışması açısından çok önemlidir. Hamur İncelik parametreleri sıcaklık, yağlılık durumu ve kapasitedir (1. ve 2. silindir arasındaki mesafe kapasiteyi belirler). Yağlı hamur silindirlerden yavaş akar kapasite düşer ancak ince hamur elde edilir. Kapasite fazla olur ise silindirler üzerinde akan film tabakası fazla olacağı için kalınlık daha fazla olur.



Şekil 3.8. 5'li silindirlerin yapısı

İncelik 1. ve 2. silindirler arasında belirlenmektedir. İnceltmenin en çok meydana geldiği silindirler 1. ve 2. silindirlerdir. İdeal incelik 20-22 μ dur. Çikolata partiküllerinin çapı 30 μ nu geçince ağızda hissedilmeye başlanır. Silindir hızları aşağıdan yukarı çıkıldıkça artmaktadır. 2.silindirle 5. silindirin hız oranı 1/6 oranındadır. Hamur olmadığında kuru çalışmayı ve bu sebeple oluşacak ısıdan dolayı taşların yanmasını ve ısı çatlaklarının oluşmasını engellemek için fotosel sistemi mevcuttur.

Taşlar arasında aşağıdan yukarıya doğru artan bir hız farkı mevcuttur. Bu hız farkı sayesinde hamurun taştan taşa sarması sağlanmış olur. Son taştaki sıyırıcı bıçakla hamur filmi silindirden istenilen incelikte alınarak konçlara gönderilir. Hamur filmi silindirden tamamen sıyırmak için, sıyırıcı bıçağın doğru açısı ve basınçla yerleştirilmesi gerekir.

Konçlama: Çikolata üretiminde konçlamanın önemi çok büyüktür. Amaç, rutubetin düşürülmesi, istenmeyen kokuların atılması, uçucu asitlerin atılması, istenen aromanın (lezzetin) oluşturulması, topaklanmanın ayrıştırılması, partiküllerin etrafının tamamen yağ ile kaplanması ve viskozitenin düşürülerek istenen değere ayarlanmasıdır.

Konçlama işlemi sırasında hamur 3 fazdan geçer;

-1.faz: Çikolata hamurundaki mevcut su ve havanın uzaklaştırıldığı, asitlerin uçurulduğu aşama.

-2.faz: Lezzet ve kokunun geliştiği, plastik hamur kıvamının oluştuğu aşama

-3.faz: Çikolata hamuruna kakao yağı ve lesitin ilave edilerek homojenliğin sağlandığı ve likit hamur kıvamının oluştuğu aşama

Viskozite ayarlama (kontrol): Modern çikolata yapımında yüzde bileşen tutturulmasında viskozite kontrolü çok önemlidir. Viskozite:

-Karışımın homojenliğine

-Lesitin doğru oranlarda kullanılmasına (Soya lesitini max. %0.5 oranında kullanılır)

%0.1-0.3 oranında soya lesitini kullanımı ile elde edilen viskozite için bunun 10 katı kadar kakao yağı kullanılmalıdır. %0.5 den daha fazla lesitin kullanılmasında çikolata kalınlaşır.

-Sorbitan monostearat max. %0.1

-polysorbate 60 tween max. %0.5

Hazırlanan ikolata hamurları 45  C tanklara alınarak yağ ayrışması olmaması için karıştırılarak muhafaza edilir.

Lesitin + PGPR = Toplam hamurun içinde %0.5 oranından fazla olmaması gerekir. Lesitin viskoziteyi düşürür, PGPR ise yield value yi düşürür. %0.5 oranına dikkat edilmesi gerekmektedir.

Kokolin (compound coating and vegetable fats)

Kakao yağı yerine bitkisel yağ kullanılarak yapılan karışıma (Bitkisel yağ, kakao tozu, süt tozu, şeker lesitin) kokolin denir. Kokolin imalatı bilyalı değirmenlerde de yapılabilir.

-Kokolin imalatlarında bitkisel yağ Laurik ve Non-Laurik yağ kullanılır. Laurik kullanımında ürün daha parlak ve kırılğan yapıdadır. Non –Laurik yağda ise ürün rengi daha mat ve ağızda sıvanma olmaktadır.

-Kokolin imalatında hamur max.30 mikron kalınlığa kadar inceltilmelidir.

Kokolin imalatlarında kakao yağı içermediği için temperleme işlemi uygulanmadan direk imalat yapılır çünkü bu hamurlarda stabil ve tek bir kristal yapı vardır.

3.5 Temperleme

Temperleme, kararsız kristal yapıyı kararlı kristal yapı haline d n st rme işlemidir. Demir elik ve plastik teknolojilerinde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Gıda sektöründe çikolata üretiminin en önemli aşaması olarak kabul edilir. Gıda sektörüne göre tanımını yapacak olursak, temperleme işlemi, kakao yağındaki kararsız yapıyı ısıl işleme tabi tutarak dayanıklı ve kararlı bir kristal yapı elde etme prosesidir. Çikolata hamurunun kullanıldığı her prosesten önce uygulanır (kakao yağından başka yağ içeren hamurlar hariç). Çikolata  retimindeki proses başlangıcında temperlemenin etkinliği ölçülmektedir ve olumsuz sonuç alındığı taktirde kesinlikle üretim verilmez. Temperleme işleminin etkinliği artırılır ve istenen sınırlar arasına geldiğinde üretim

verilebilir. Temperleme işlemi çikolata hamuruyla yapılan proseslerin hepsinde yer alır ve çikolata hamuruyla yapılan mamullerin kalitesini etkileyen en önemli işlemdir.

Çikolata poliformik yapısı dolayısıyla farklı sıcaklıklarda farklı kristal yapıları bünyesinde bulundurur. Bizim temperleme işleminde yapmak istediğimiz, bu farklı yapıdaki kristalleri standardize edip tek bir kararlı yapıya dönüştürmektir. Kakao yağı α , γ , β_4 , β_5 , β_6 kristal yapılarına sahiptir. Bunların arasında β_5 ve β_6 kristalleri erime noktası en yüksek olan kristallerdir. Temperleme işleminde elde edilmek istenen kristaller de β_5 ve β_6 dır.

Temperleme işlemi sonunda kakaoda kararlı yapıda β kristalleri oluşmaktadır. Temperleme işlemiyle çikolata kitlesinin kazandığı özellikler aşağıdaki gibidir.

- Parlak görünüm
- Kolay şekil alma
- Yağ beyazlanması görülmemesi (stabil yapı eldesi)
- Kırılgan ve gevrek yapı
- Soğutma işleminin kolaylaşması.

Çikolatanın kakao yağından dolayı sahip olduğu bir diğer özellikse, monotropiktir. Monotropik özellikte, daha kolay eriyen poliformik yapı kararsız olduğundan, zor eriyen kararlı yapıya dönme eğilimi gösterir ve uygun işlemlere (temperleme) tabi tutulursa kristallerin dönüşmesi sağlanmış olur. Temperleme işleminde de çikolatanın monotropik özelliğinden yararlanır. Kararsız durumdaki kristaller kararlı beta kristallerine dönüştürülür.

Kararlı kristaller arasındaki uzaklık daha azdır. Bundan dolayı temperleme işleminden çıkmış hamurda soğutmadan sonra %2.5-3 hacim azalması görülür. Hacim azalması kalıplamalı tesislerde kalıplama işleminde önemlidir. Kalıplara basılan hamur miktarı hesaplamada bu hacim azalması göz önünde bulundurulmalıdır. Eğer kalıplamalı tesiste mamüller kalıptan çıkmıyorsa temperleme işleminde bir sorun olduğu anlaşılmaktadır. Yapılan hesaplamalar tekrar gözden geçirilerek yenilenmesi gerekmektedir.

Temperleme işlemi ilk paragrafta da söylediğimiz gibi ısıl işlemdir. Ama temperleme işleminin etkinliği sadece ısı ile değiştirmeyi düşünmek yanlıştır.

Temperleme işleminde ısının yanında güçlü karıştırma ve kesme kuvvetleri de önemli ve kaliteye etkileyen parametrelerdir. Temperleme makinesi kristallenmenin (kristal form dönüşümünün) başladığı yerdir. Ama kristallenme temperleme makinesinde başlar ve soğutma tünelleri boyunca devam eder. Soğutma tünellerinde geçen zaman, ve soğutmanın şiddeti kristallenmenin etkinliği açısından önemlidir.

3.5.1 Temperleme prosesi

Temperleme işlemi bir hamur sirkülasyonunun olmazsa olmaz bir aşamasıdır. Tesislerin özelliğine göre kaplamalılarda kaplama makinesi, kalıplamalılarda depozitör makinesi sisteme dahildir. Temperleme makinesi, markası boyutu ne olursa olsun içinde uygulanan aynı işlem basamaklarıdır. Aslında temperleme makinesi çikolata üretimi için geliştirilmiştir bir ısı değiştirici makinedir. Ama bilimde olan gelişmelerle temperleme kalitesi sadece ısıya değil shear force (bölme kuvveti)'nin önemi anlaşılmıştır. Yeni üretilen makinelerde bunun önemi artmış ve sistemleri revizyon edilmiştir. Günümüz teknolojisinde temperleme işleminde yüksek mekanik etki (shear force) kullanılmakta ve kalite artmaktadır.

Temperleme makinelerinde sıcaklık kontrolü en önemli kontrol parametrelerindedir. Sıcaklık set değerlerinin gerçek değerlerle aynı olması gerekir. Temperleme makineleri genel olarak 3 adet ısı bölümünden oluşmaktadır.

- İlk soğutma (pre-cooling): Servis tankında 45°C gelen çikolata hamuru ilk olarak 31-32°C ye kadar düşürülür. Kararlı kristal oluşumu başlar.

- Ani soğutma: Sıcaklık 27-28°C ye düşürülür. Sıcaklık ayarlaması için 15°C de su kullanılır. Kararlı kristaller oluşur.

- Isıtma bölgesi: Isıtma bölgesinde çikolatanın tekrar ısıtılmasıyla kararsız kristaller erir ve sadece kararlı kristaller yapıda kalır. Kalan kristallere kök kristalleri denir. İyi bir temperlemede %3-8 kök kristalli oluşur. Soğutmada kök kristalleri artar ve yapıya hakim olur.

Üretim başlamadan önce temperleme değerinin ölçülmesi gerekmektedir. Tempermetre ile ölçüm yapılır. Tempermetre değeri 4-6 olması gerekmektedir.

Temperleme makinelerinde 3 değişik çalışma şekli vardır. Temperleme makinesi tesisin çalışma durumuna göre çalışma şekli (formatı) belirlenir.

Gece konumu: Uzun süreli duruşlarda kullanılır. Karıştırıcı ve çikolata besleme pompası çalışmaz. Sıcaklık set değeri 45°C dir. Temperleme makinesinin uyku modu denilebilir. Temperleme makinesinin cidarlarında sıcak su dolaşmaktadır. Böylelikle çikolatanın donma riski ortadan kaldırılmış olur.

Hızlı ısıtma: Kısa süreli duruşlarda tercih edilen çalışma şeklidir. Karıştırıcı ve çikolata pompası çalıştırılır. Gece konumundan farklı olarak temperleme konumuna geçişin daha kolay olmasıdır. Sistemde olan ani durmalarda hızlı ısıtmaya geçilir, sorun çabuk çözülmezse gece konumuna alınır.

Temperleme: Temperleme makinesi üretim esnasında temperleme pozisyonundadır. Gece konumunda temperleme konumuna geçildiğinde soğutma yapılacak olan bölgenin ventilleri açılarak makine su alır ve makine soğumaya başlar. Gerçek değerler set edilen değerlere ulaşıncaya kadar tempermetre ile ölçüm yapılarak sonuç olumlu ise üretim verilir.

Temperleme makinesi arızaları:

- Suyun kesilmesi veya basıncının düşmesi
- Suyun sıcaklığının düşmesi
- Su filtrelerinin tıkalı olması
- Su ventillerinin arıza yapması
- Isı kontrol cihazı parametrelerinin standart dışı olması
- Hamur giriş sıcaklığının düşük olması
- Su ısıtıcı potların arızalı oluşu.

Temperleme makinelerinde genelde aynı çeşit hamur temperlenir. Hamur değiştirmek istendiğinde, ilk olarak temperleme pompaları ters çalıştırılır ve içindeki hamur seyyar tanka alınır. Temperlenecek hamur makineye basılır iki hamur karışımı da sistem geri dönüşünden seyyar tanka alınır. Çıkan hamur yeni bastığımız hamurun özelliklerini tamamen taşıdığını gördüğümüzde temperleme makinesi yeni hamur için hazır duruma getirilmiş olur.

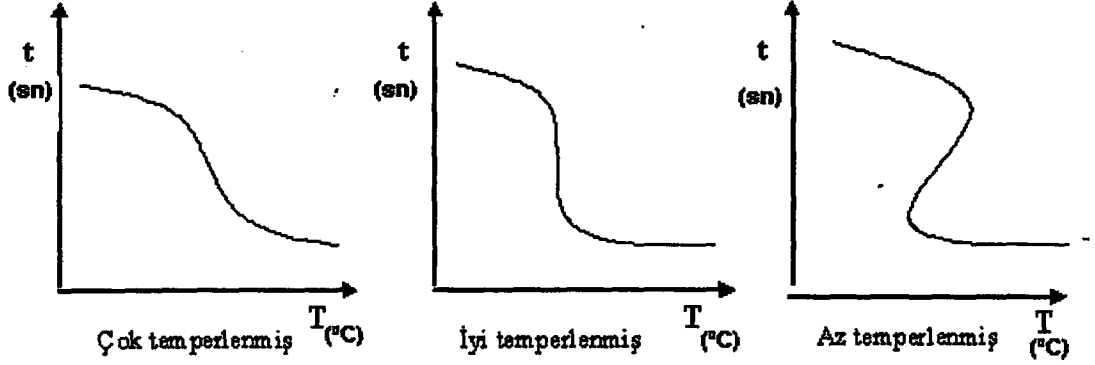
3.5.2 Temperleme etkinliği

Temperleme prosesinin en kolay ve anlaşılır yolu çikolatayı elimize aldığımızda hemen erimeye başlayıp başlamadığını gözlemektir. Çikolatanın elimizde kolay erimesiyle temperlemenin yetersiz ve etkisiz olduğu anlaşılabilir. Müşteri bazında bu basit test yeterli olabilir ama bir çikolata fabrikası için çok basit bir nitel gözlemdir.

Tempermetrenin prensibi ekzotermik-endotermik reaksiyon ilişkisine dayanmaktadır. Çikolata hamurunun donması ekzotermik (ısı veren), erimesi ise endotermik (ısı alan) bir reaksiyondur. Aynı özelliklerde kristallere sahip maddeler (saf maddeler) hal değişimlerinde bütün yapı hal değişimini (donma, erime, buharlaşma....vb) tamamlamadan aynı sıcaklıkta kalırlar. Tabi bu olay yapı taşları aynı olan maddeler için geçerlidir. Sıcaklık sabitken alınan veya verilen ısıya gizli ısı denir. Biz de çikolatada bu tip bir donma arzu ederiz. Temperleme işleminin sonucunda da kararlı β kristalleri yapıya hakim olacağı için bu tip soğuma elde edilmelidir.

Tempermetre kullanımı basit bir cihazdır. Tempermetre cihazının mantığı, çikolata içindeki kakao yağının soğutulması sırasında oluşan katılaşmanın zamana karşı çizilen soğuma eğrisi ile açıklanır. Temperleme işlemi yaklaşık 5 dk. İçinde sonuç verebilir. Sıcaklık değişimi ile çikolata hamurunu dondurmak için buzlu su kullanılır. Suyun buzlu olması hal değişim süresini kısaltacak böylece grafik çizme yani ölçme süremiz minimuma inecektir. Sıcak sıvı çikolata bir deney tüpü içine alınır.İçine metal termometre yerleştirilir. Termometre burada cihazın algılayıcısıdır ve tempermetreye verileri kabloyla aktarır. Tempermetre algıladığı sıcaklık değerlerinin zamana bağlı olarak grafiğini çizer. Tabi ki çikolatada saf maddede görünen donma eğrisi görülebilmesi beklenmemelidir ama iyi bir temperleme sonunda elde edilen donma

eğrisi az ve çok temperlenmiş olan diğerlerinden çok kolay ayırt edilebilir. Aşağıda elde edilen karşılaştırmalı grafikler verilmiştir.



Şekil 3.9. Temperleme eğrileri

Grafikten temperleme işlemi hakkında bir fikir yürütülebilir. Ama bir standart olması için makinenin ölçüm aparatı grafiğin üzerine yerleştirilerek sayısal değer olarak temperleme ölçümü yapılmış olur.

Tempermetrede:

4-6 değerleri arası kabul edilir ve üretim verilir.

1-4 değerleri arası çok temperlenmiş, soğuk hamurda denir, üretim verilmez.

6-9 değerleri arası az temperlenmiş, sıcak hamur denir, üretim verilmez.

3.5.3 MSV Turbo Temper

Temperleme belirli sıcaklık değerine ulaşmak için değil belirli kristal yapıya sahip olmak için yapılır. MSV makinesi turbo özelliği ile çikolatanın yoğunluğu soğuk su kontrolüyle artırılır. Temperleme makinesi kapasitesiyle doğru orantılı olarak bloklardan oluşur. Isı transferi bu bloklarda gerçekleşmektedir. Her bir blokta dört kollu

bir karıştırıcı mevcuttur. Karıştırıcının tahrikli, aküpleli motor, makinenin üzerindedir. Besleme makine dışındaki bir besleme pompasıyla yapılmaktadır. Karıştırıcıların beslemeye direk etkisi yoktur.

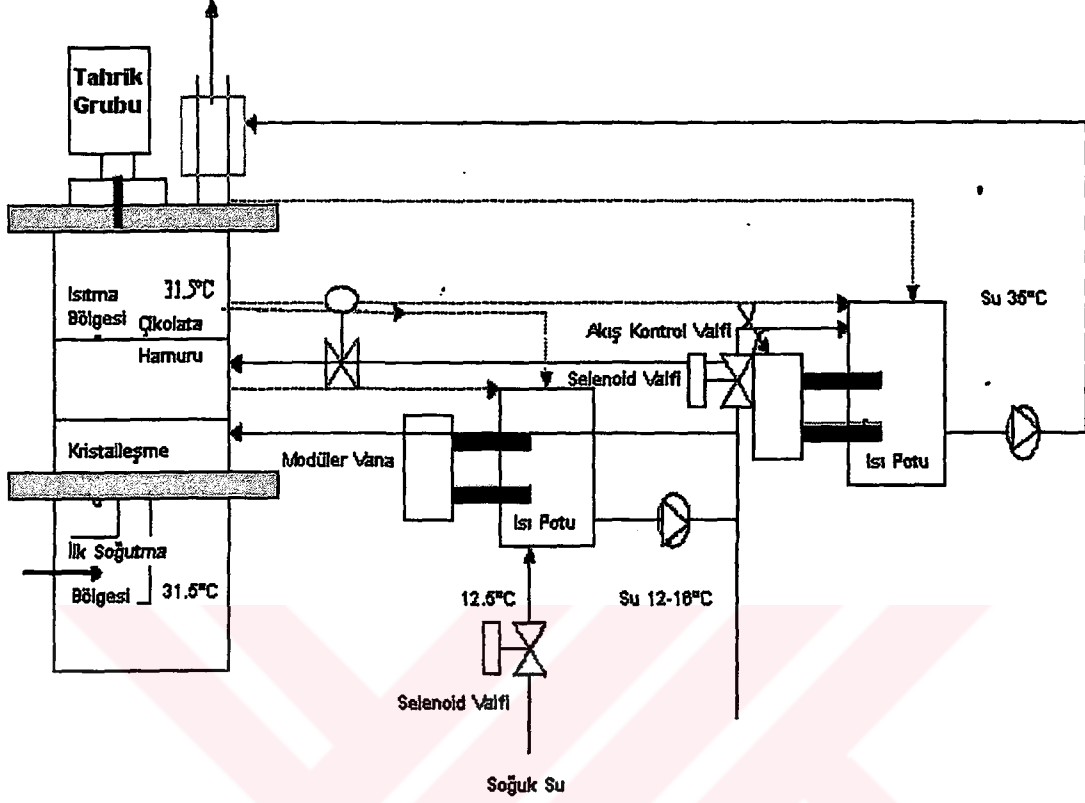
Çikolata alttan yukarı ve merkezden dışa, dıştan merkeze olmak üzere hareket etmektedir. Karıştırıcının yüzeyi yivlidir ve bu yivli yapı karışımın homojen olmasını destekler. Karıştırıcı ve blok arasında 0.2mm boşluk vardır. Bu boşluk sayesinde karışıma metal bulaşmasının önüne geçilmiş olur.

Blokların soğutma cidarları, makinenin suyla temas eden aksamaları; zamanla tortudan, kirden, korozyondan etkilenir. Bunu önlemek için temiz ve sabit basınçlı su kullanılmalıdır. Basınç 2-4 bar arasında olmalıdır.

Tablo 3.4. Önerilen temperleme sıcaklık dereceleri

	Sütlü çikolata	Bitter çikolata
Çikolata çıkış bölgesinde	31.5°C	32.5°C
Çikolata,yeniden ısıtma bölgesi	31.5°C	32.5°C
Çikolata soğutma bölgesi	28.5°C	29.5°C
Su,soğutma bölgesi	15°C	15°C

TEMPERLEME MAKİNESİ BAĞLANTILARI



Şekil 3.10. Örnek Temperleme Şeması

Temperleme makinesinde üç farklı kontrol uygulaması vardır;

1. Soğutma suyu sıcaklığı kontrolü; su sıcaklığı 12-16°C arasında değişim gösterebilir.

2. Kristalleşme bölgesindeki çikolata sıcaklık kontrolü; çikolata sıcaklığı ölçülerek isteğimize göre sabit tutulmaya çalışılır. Su debisinde yapılacak ayarlamalarla çikolata sıcaklığı ayarlanabilir.

3. Yeniden ısıtma suyu sıcaklığı kontrolü; tesisatta dahil edilen algılayıcı sayesinde suyun sıcaklığı tespit edilir. Isıtma suyu sıcaksa, soğuksu beslemesi; soğuk ise pot ısıtıcılar devreye alınarak sıcaklık set edilen değere getirilir.

3.5.4 Soğutma

Soğutma işlemi çikolatanın sıcaklığının erime noktası altına indirilip katılaşmasını sağlamak için kullanılır. Temperleme işlemi sırasında oluşturulan kök kristalleri soğutma işlemi ile birlikte gelişir ve çikolata yapısına kristal bir yapı kazandırır. Soğutma işlemi çikolata ve çikolatalı mamul üretiminde en az temperleme kadar önemli bir prosestir. İyi bir çikolata elde etmemiz için etkisi ve süresi optimizasyon edilmiş bir soğutma işlemi uygulamak gerekmektedir.

Soğutma işlemi denildiğinde aklımıza carnot çevrimi gelmektedir.

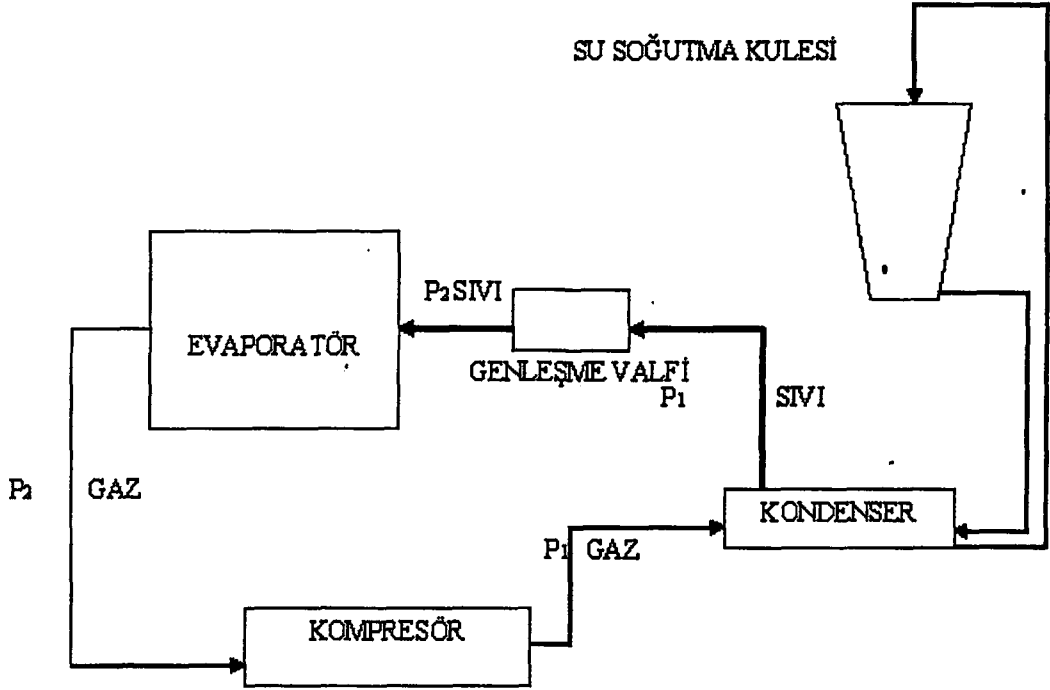
$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 = nRT$$

Soğutma sistemlerinde basınç değişikliğiyle gazlarda hal değişimlerinden yararlanılır. Böylece mekanik kuvvet kullanarak ısı yükünü değiştirmiş oluruz. Ev tipi buz dolaplarında da aynı sistem kullanılmaktadır. Çikolata-2 fabrikasında soğutma kule suyu ile yapılmaktadır.

Soğutma çevrimi şemasından görüldüğü gibi değişim basınç parametresine müdahale ile olmaktadır. P_1 ve P_2 olmak üzere iki basınç değeri vardır. P_1 yüksek basıncı, P_2 alçak basıncı ifade etmektedir.

Evaporatör, genleşme valfi, kompresör, kondenser soğutma çevriminin başlıca kısımlarıdır. Filtre ve pompalar bu sistemde yardımcı olarak kullanılırlar.

Soğutma çevrimi aşağıdaki gibi gösterilebilir.



Şekil 3.11. Soğutma Çevrimi

Evaporatör (Buharlaştırıcı): Soğutma işleminin yapıldığı bölümdür. Soğutma sistemlerinde soğutma bölümünde olan kısımdır. Genleşme valfinden hızlandırılmış bir şekilde çıkıp gelen sıkıştırılmış sıvı evaporatöre geldiğinde, basınç azalır; basınç azalmasıyla sıvı gaz fazına geçer. Sıvı fazdan gaz fazına geçmek, bilindiği gibi endotermik (ısı alan) bir reaksiyondur. Evaporatör de hal değiştiren gaz çevresinin soğumasına yardımcı olmaktadır. Basıncın azaltılması direk hacmi genişleterek gerçekleştirilmektedir. İşletmedeki evaporatörler, soğutucu dolaplar ve soğutma tünelleridir.

Kompresör: Gaz evaporatörden ısıyı absorbe etmiş olarak çıkar. Kompresör aracılığı ile emilir ve sıkıştırılır. Sıkıştırıldığında direk olarak basınç artar. Ama gaz hala sıcaktır.

Kondenser (Yoğuşturucu): Soğutma gazı kompresörden çıktıktan sonra basıncı artmış bir şekilde kondensere gelir. Kondenser bir çeşit ısı değiştiricidir. Soğutucu gaz kondensere geldiğinde ısı kaybeder yoğuşur ve sıvı hale gelir. Kondenser içinde basınç değişimi olmaz. Soğutma, soğutma kuleleriyle yapılır. Yoğuşmuş olan gaz, kurutucu filtreler girer ve buradan gazın içinde ve nem ve diğer yabancı maddeler tutulur.

Genleşme Valfi: Genleşme vanasına yüksek basınçla gelen soğutma gazının basıncını düşürüp hızını artırarak kapasite ayarı yapılır. Genleşme valfinin üzerinde yapılan ayarlamalarla soğutma derecesi ayarlanabilir.

Çikolata fabrikası soğutma sistemlerinde R134 ve R502 gazları havayla belli bir oranda karıştırılarak kullanılmaktadır. Elde etmek istenilen sıcaklığa bağlı olarak gaz basınçları en yüksek 20 bar en düşük 1.5 bar olmak üzere hesaplanır. Tesislerde kullanılan freon gazları hava karışımları % 20 yi geçmediği sürece toksik etki göstermez, sadece çok sıcak ortamlarda zehirli gazlara dönüşür, yinede mamüllerin tadını, kokusunu değiştirmeyen, kaliteye etkiyen gazlar olduğu için gıda üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Freon134 ve 502 gazlarının yanında amonyak gazları da soğutucu sistemlerinde kullanılmaktadır.

3.6 SOĞUTMA GRUPLARI

Çikolata fabrikalarında soğutma gruplarında mamul indirekt olarak soğutulur. Mamul ve ısı değiştirici birbirleriyle temas etmemektedir. Soğutma gazı ortamı soğutur ve mamulde soğutucu ortama geldiğinde soğur.

Mamullerin çeşidine göre soğutma sistemleri farklılıklar gösterir. Çikolata fabrikalarında ısı değiştiricilerini dahil etmezsek sistem olarak dikey soğutma dolapları ve yatay soğutma dolapları (tünelleri) kullanılmaktadır. Soğutma silindirleri soğutma gruplarına dahil gibi düşünülse bile onların sebebi sadece hammadde besleme sıcaklığını değiştirmektir. Çikolata proseslerinde direk olarak kullanılmaz. Plakalı eşanjörler, silindirler de ısı değiştirici olarak kullanılmaktadır.

Kaplamalı tesislerde tünel soğutmalar, kalıplamalı tesislerde ise soğutma dolapları tercih edilmektedir. Tesislerde soğutma sistemi tercihlerinde en büyük etken üretim şartlarıdır.

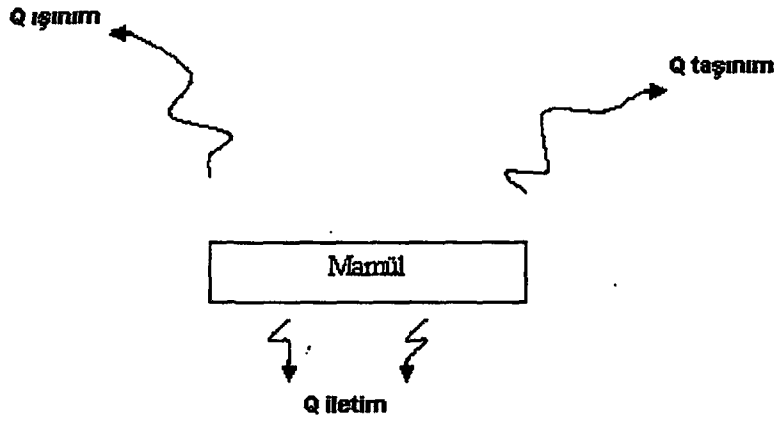
Soğutma grupları ürün kalitesine direk etki eden işlemlerdendir. Tünel veya dolap soğutma sistemlerinin her ikisinde de soğutma kapasitesi, soğutma sistemi hızı (mamulün sistemde kalma süresi), sistemin bakım durumu (soğutucu gazın çevriminde

gaz kaçağı olup olmadığı), sistem sıcaklık değerlerinin sabit ve kontrol edilebilirliği mamulün nihai kalite özelliklerini direkt etkilemektedir.

Soğutma tünel sistemlerinde soğutma, alt ve üst soğutma olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Bazı kaplamalı tesislerde alt soğutma suyla, üst soğutma havayla yapılmaktadır, bazı sistemlerde ise alt veya üst soğutma hava sirkülasyonu ile yapılmaktadır.

Gerek kaplamalı gerekse kalıplamalı sistemlerde şok soğutma işlemleri uygulanmaz. Temperlenmiş çikolata soğurken her biri farklı soğutma özelliklerine sahip 3 farklı evreden geçer. Soğutma ekipmanları bu evreleri sağlamak üzere dizayn edilmelidir. Bu evreleri sağladığımız takdirde çikolatanın doğal olarak soğuması sağlanır. İyi tasarlanmış bir soğutma dolabı, son üründe kristal yapının oluşumunu sağlayacaktır. Yavaş soğutma uygulanan mamullerin daha parlak bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Soğutma dolabında (10°C) bir çikolata yaklaşık olarak 25 dk. beklemektedir.

Çikolata fabrikası soğutma sistemlerinde ışıyım, taşınım, ve iletim olmak üzere 3 değişik ısı transferi gerçekleşmektedir. Soğutma tünellerini içi radyasyon ile ısı transferinin artırımı için siyah ve girintili çıkıntılıdır. Radyasyonla ısı transferi tünel girişlerinde soğutmanın ilk evresinde yüzey hasarına sebep olmadan soğutma yapabilmek için önemlidir. Radyasyonla ısı transferi yüksek sıcaklıklar için geçerlidir fakat soğutmada az da olsa etkisi görülmektedir. Taşınım ısıyı hava akımı sayesinde almaktır; diğer ısı transferi şekillerine göre daha ekonomiktir. İletimli soğutma sisteminde temas vardır. İletimli sistemler çikolata üretiminde çikolata tabanını oluşturmak için kullanılırlar. Bazı tesislerde çikolata üretiminde tabandan uygulanan su soğutması iletimle soğutmaya örnektir.



Şekil 3.12. Soğumadaki ısı transferi çeşitleri

Soğutma işleminde dikkat edilecek bir diğer noktada çıkış sıcaklığıdır. Eğer mamul soğutma sistemini ortama göre düşük sıcaklıkta terkederse mamul üzerinde ortam bağıl neminden kaynaklanan bir yoğuşma olur. Yoğuşma sonucunda mamulde matlık ve mikrobial bozulmalar görülür, istenmeyen bir durumdur. Rutubet değerleri kartı kullanılarak tüneli terketme minimum sıcaklığı, yani kritik sıcaklık hesaplanabilir. Çikolata fabrikalarında genelde soğutucu sistemlerin çıkışındaki ortam sıcaklığı 20°C , nisbi nem ise %55 tir. Kritik noktada yoğuşma, yani ilk su damlacığı görülür. Zaten çikolatanın bu sıcaklığa kadar soğutulması tercih edilmez, çikolata soğutma çıkış sıcaklığı yaklaşık 15°C dir.

Çikolata fabrikasında ara mamullere de soğutma işlemi uygulanmaktadır. Karamel üretiminde karamelizasyonu sonlandırmak için karamel, soğutma işlemine tabi tutulur; bunun için helezon tip ısı değiştirici kullanılır. Soğutucu silindirler sayesinde nuga ve karamela kıvam kazandırılır.



Şekil 3.13. Soğutma tüneli şeması

3.7 GOFRET ÜRETİMİ

Gofret üretimi 3 aşamadan oluşmaktadır.

- Hamur hazırlama
- Flake hazırlama
- Fırınlarda gofret yapımı .

Gofret üretimi ve üretim kalitesi açısından her bir basamağın ayrı parametre değerleri vardır. Gofret kalitesi hammadde kalitesi ile doğru orantılıdır. Gofret yapımında kullanılan hammaddelerin özellikleri ve gofret yaprağı üzerindeki etkileri aşağıdaki bölümde açıklanmaktadır.

3.7.1 Gofret Hamuru Hazırlama

Hamur yapımında kullanılan hammaddelerin gofret yaprağı üzerindeki etkileri aşağıdaki gibidir.

Un: Gofret hamurunun ana girdisidir. Hamurun % 45-55'i undur. Gofret üretiminde B-3 unu kullanılmaktadır. B-3 unu selüloz içermektedir. Selüloz yaprakların pişmesi sırasında yanarak kül bırakmakta ve fırın kalıplarının daha hızlı kirlenmesine sebep olmaktadır. B-3 unuyla çalışıldığında selülozik enzimler kullanılmaktadır. Un kalitesi yaprak kalitesini direkt etkilemektedir ve unun kalitesini etkileyen birçok etmen olduğunu düşünürsek sabit bir hamur kalitesi sağlamak çok zordur.

Karbonat: Kabartma ajanları fırınlanan ürünlerde karbondioksit (CO_2) üretimini sağlamak için kullanılan maddelerdir. Uluslar arası Gıda Kodeks Komisyonu (CAC) tarafından, gıda içerisinde oluşan gazı açığa çıkararak hamurun hacminin artmasını sağlayan maddeler, olarak tanımlanan bu maddeler "hamur kabartma ajanı" olarak da adlandırılabilir. Bütün unlu mamuller mayalama işlemine tabi tutulamamaktadır. Mayalama veya kabarma işlemi, fermantasyon sonucu veya kimyasal reaksiyonlar sonucu üretilen (CO_2) ile oluşmaktadır. Hamurun karıştırılması sırasında havanın hamur içerisine işlememesi ve yüksek sıcaklıkta pişirme ile hamur suyunun buhar oluşturması da kabarmaya neden olmaktadır. Kimyasal kabarma genel olarak gıda

asitleri ve sodyumbikarbonat kullanımı ile oluşmaktadır. Sodyum bikarbonat, hamur veya sulu hamurun su fazında çözünmektedir. Asit, çözüldüğünde hidrojen iyonunun bikarbonat iyonu ile reaksiyonu sonucunda açığa çıkan karbondioksit ürünün hacminin artmasını sağlamaktır.

Gofret üretiminde kabartma ajanı olarak Sodyumbikarbonat (NaHCO_3) kullanılmaktadır. Fırıncılıkta çok fazla bulunan kimyasal bir kabartma ajanı olup suda kendiliğinden çözünmektedir. NaHCO_3 alkali nitelikte olup, şekerli bisküviler ve snack tipi krakerler için uygun bir kabartma ajanıdır. Diğer kabartma ajanları ise; Amonyumbikarbonat (NH_4HCO_3), çoğu zaman şekerli bisküviler ve krakerler için kabartma ajanı olarak kullanılmaktadır. Oda sıcaklığında hamur içerisinde çözünmekte ve bu sıcaklıkta stabilitesini koruyabilmektedir. Fırın içinde sıcaklığın etkisi ile yapısı bozulmakta ve CO_2 açığa çıkmaktadır. Bu kabartma ajanı düşük nemli ürünlerde uygulanabilmektedir. Potasyumbikarbonat, ticari olarak sodyumbikarbonatın yerine kullanılmaktadır. Fonksiyonu sodyumbikarbonata eşittir. Ancak bitmiş ürünün sodyum içeriğini düşürmektedir.

Gofret hamuru yapımında kullanılan sodyumbikarbonat (NaHCO_3) hamurun fırın kalıbı üzerinde dağılmasına ve renk gelişimine yardımcı olur. Karbonat miktarı gofret miktarının eksik çıkması veya çapağın fazla olması gibi problemlere sebep olabilir.

Lesitin

Emülsiyonlar; içecekler, şekerlemeler, kekler gibi bir çok gıdada önemli bir rol oynamaktadır. Lesitin de bu rol içerisinde önemli bir yeri bulunmaktadır. Bu madde bisküvi ve kraker gibi yağ ve şekerce zengin hamurda yapışkanlığı önlemekte, kabartılmış pasta süslemelerinde iyi bir hacim, doku ve stabilite oluşturulmasında yardımcı olmaktadır. Cevizli çöreklerde ve diğer karışımlarda kullanıldığı zaman sulu hamurun tutulması ve taşınmasını kolaylaştırmaktadır. Ekmek ve diğer mayalı hamurların daha düzgün bir şekilde işlenebilmesini sağlamaktır. Lesitin hamur içinde yağları emülsifiye etmek, gaz kabarcıklarının dağılımını ve nişasta ile diğer partiküllerin yayılmasını sağlamak, gluten ve gladin arasında etkileşim sağlamak, amiloz ve metalik iyonlarla kompleks oluşturmak gibi işlevleri bulundurmaktadır. Lesitin içeren hamurlar yapışkan olmadan maksimum absorpsiyona ulaşabilmekte ve daha elastik yapıda olmaktadır. Lesitin katılması ile ekmek, kek ve gofret tavalarının,

şekerleme kalıplarının ve diğer ekipmanların yağlanma işlemi de kolaylaştırılmakta ve böylece yağlama maliyeti, yağın yapışkanlığı ve ürünün dağılımı düzenlenmektedir.

Gofret hamur üretiminde de lesitin katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Lesitin, hamurda su ve yağ fazının homojen karışımını sağlar. Gofret yaprağının kalitesini ve raf ömrünü artırır. Kremalarda viskosite üzerinde azaltıcı, akıcılığı artırıcı etkisi vardır.

Yağ

Yağ, gofret hamuruna yaprağın gevrekliğini arttırmak için katılır. Kalıplarda olan yapışmayı önler. Kalıplarda kirlenme olduğunda, kalıplarda yaprağın yapışma olasılığı artar. Pratikte kirli kalıplarda üretim yapabilmek için katılan yağ miktarı artırılır. Gofret kremasında bitkisel yağ kullanılır.

Enzim

Gofret hamurundaki proteinler katılan proteolitik enzimler sayesinde parçalanır. Proteinler parçalandığında su tutma kapasitesi düşer. Su tutma kapasitesi düşük maddelerde gevrekliklerini uzun süre koruyabilirler. Gofret üretiminde, hamur hazırlamada B3 unu kullanılmaktadır. B3 unu selülozik maddeler içermekte olduğundan , hamur hazırlama esnasında proteolitik enzimlerin yanı sıra hemiselülozik enzimler kullanılmaktadır.

Enzimlerin mamüllerde kullanılmalarında önemli olan bazı genel faktörler bulunmaktadır. Bu faktörler sıcaklık ve pH'tır. Gofret hamur üretiminde pH değeri değişim göstermediği için en önemli değişken su sıcaklığıdır. Su sıcaklığının 12-14 °C olması gerekmektedir. Tesisin dizaynı sırasında ayarlanan hamurun karıştırma şekli, zamanı, karıştırıcının tipi, boru hatları çok önemlidir. Bunlar direk olarak hamurun üretiminden kullanımına kadar geçen zamanı etkilemektedir.

Su

Hamur yapısının ağırlık olarak %50 den fazlasını su oluşturmaktadır. Fırın çıkışında elde edilen yapraklardaki nem oranı ise %2-3 olmaktadır.

Tuz

Gofret hamurundaki tatlılığı ayarlar, diğer şekerlerden gelen tatlılığı azaltır.

Şeker

Gofret yaprağına tatlılık verir ve kırılganlığı artırır. Dolgu maddesi olarak da kullanılabilir.

Fındık Püresi

Aroma oluşumuna yardımcı olduğu için gofret kremasına katılmaktadır.

Süt tozu

Kremada dolgu maddesi olarak kullanılır.Aroma üzerinde de etkisi vardır.

Peynir altı suyu tozu

Kıvam ve lezzet verici olarak gofret kreması yapımında kullanılmaktadır. Sprey kurutma ile kurutulmuş peynir altı suyu tozu kullanılmaktadır.

Gofret hamuru hazırlamada uygulanan işlemler aşağıdaki gibidir:

Premikser: Un ve su set edilen değerlere göre reçete değerlerine göre otomatik olarak premikser tankına alınır, enzim manuel tanka ilave edilir. Premikserde hamur, su ve enzimin karışması sağlanır ve şartlandırma tankına gönderilir.

Şartlandırma tankı: Karışma işleminden sonra enzimin unun yapısındaki proteinleri istenilen oranda parçalaması için hamur şartlandırma tankına alınır. Proses değerlerine göre 5 dakika şartlandırma tankında bekletilir. Karıştırma işlemi uygulanmaz. Şartlandırma işleminden sonra diğer hammaddelerin ilavesi ve karıştırılması için hamur turbo mikserde alınır.

Turbo Mikser: Turbo mikserde diğer ham maddelerin ilavesi yapılır. Hammaddeler ilave edildikten sonra hızlı bir karıştırma işlemi uygulanır. Karıştırma 5 dakika sürer. Tesislere göre ilave edilen hammadde reçeteleri değişmektedir.

3.7.2 Şartlandırma

Gofret yapraklarına uygulanan şartlandırma işleminde yaprakların nem oranları ayarlanmaktadır..

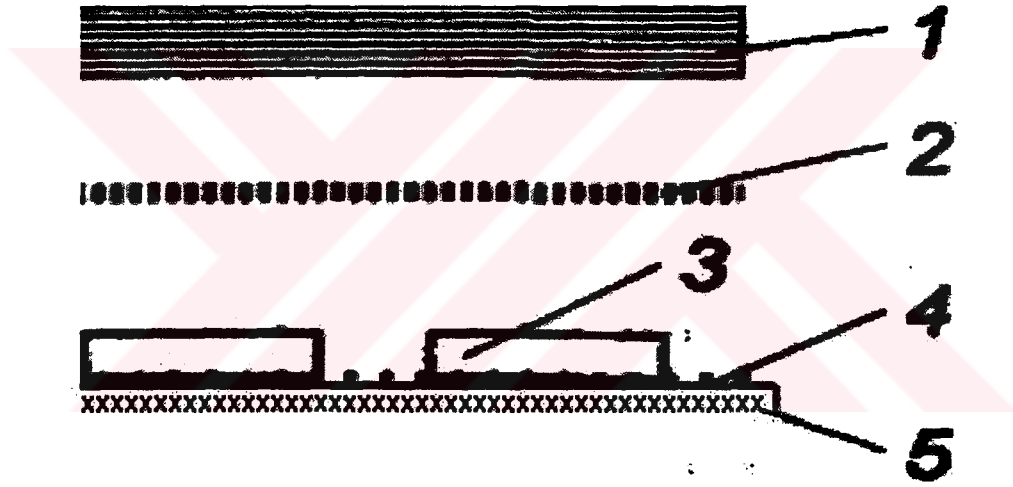
Gofret yapraklarının bir kısmı kullanılmadan önce beklemektedir. Bunun sonucu yaprak nem alır ve hacmi genişler. Hacim genişlemesi mamulde gramaj ve şekil sorununu beraberinde getirir, bunu engellemek için fırın çıkışında şartlandırma ünitesinde nem oranı %5.5-6 ya çıkartılır. kleme esnasında alacağı nem baştan verilerek boyut ve gramaj standardizasyonu sağlanmış olmaktadır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Çikolata ve gofret üretiminde genellikle ürünler batırma yöntemi ile ince bir çikolata tabakasıyla kaplanır. Üretim prosesi batırmadan önce ön kristalizasyon işlemini içerir. Son kaplama olarak genellikle aşağıdaki sıra izlenir.

- kaplama parlaklığı
- sertleşme derecesi
- kaplama kalınlığı

Bu kalite parametreleri ön kristalizasyon ve soğutma prosedürü için önem teşkil etmektedir.



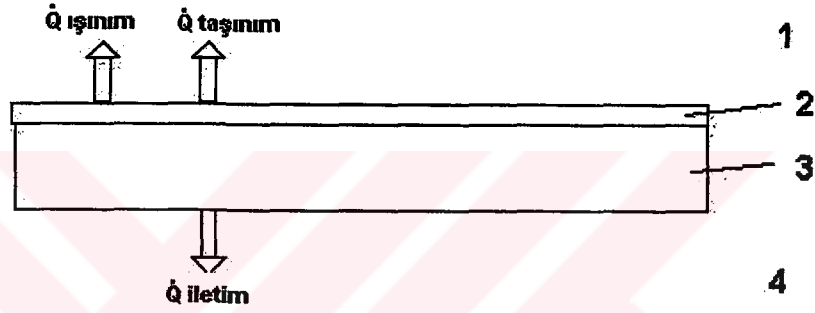
Şekil 4.1. Soğutma Tüneli Şematik gösterimi

- 1 Soğutma tüneli üst kapağı
- 2 Radyasyon plakası
- 3 Kaplanmış ürün
- 4 Konveyör
- 5 Alt soğutma

Kısa soğutma zamanının ve parlaklığın yeterli soğutma hassasiyetinde gerçekleştirilmesi için iki önemli basamak vardır. Birinci basamakta soğutma konveksiyonla taşınım olmadan soğutmanın olması (hava hızı=0) dolayısıyla, yavaş

soğutma ve kütleli kristalizasyon gerçekleşmiş olur. İkinci basamakta ise konveksiyon ile soğutma gerçek ve son kaplamanın sertleşmesi için kullanılır. Bu her iki basamak için de her iki çikolata kütlelerinin gerçek soğutma zamanı özelliklerini taşıyabilmesi için kaplama kalınlığının sıcaklık ve boyutlarının aynı olması gerekir.

Çikolatanın kütleli kristalizasyonun modellenmesi bir boyutlu sayısal hesaplamaya dayanılarak yapıldığında kristalizasyon derecesinin ve çikolata kaplamasının soğutma zamanı ve bölgesel soğumanın önemi ortaya çıkmaktadır. Çikolata kaplamasının soğutulmasında modelleme yaklaşımı ile ilgili basit bir şekil Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Çikolata kaplaması soğutma yaklaşım modellemesi

- 1 Soğutma tüneli kenarı
- 2 Çikolata kaplaması
- 3 Batırılmış kısmın merkezi
- 4 Konveyör ve alt kaplama

Tek boyutlu ölçümde (3.24) eşitliği düzenlenirse “x” bölgesel değişken halli sıcaklık dağılımına bağlı ve “t” zamana bağlı farklı bir eşitlik (4.1) bize kristalizasyonun sıcaklık kaynaklı etkeninin olduğunu gösterir. Burada k, ısı iletim katsayısıdır (W/mK).

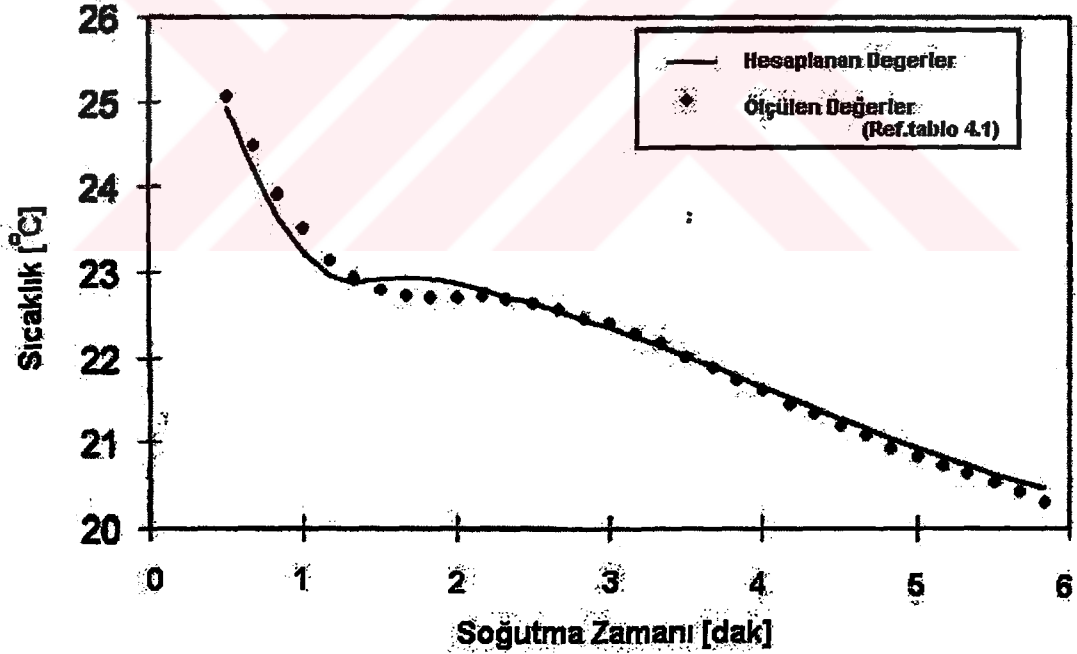
$$C_p \cdot \rho \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial T}{\partial t} \left(k(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{1}{C_p} \cdot q_m(T, Q_m) \quad (4.1)$$

İlk durum:

Çikolata kaplamasının üniform sıcaklıkta ön kristalize edilmiş çikolata kütlesine sahip olduğunu varsayalım. Genellikle bu sıcaklık aralığı $30^{\circ} - 32^{\circ} \text{ C}$ arasında olmaktadır. İlk merkez sıcaklığı daima üniform varsayılır ama dış çikolata kaplamasından farklıdır. Bu sıcaklık ise $18^{\circ} - 26^{\circ} \text{ C}$ arasındadır.

Sınır durum:

Herbir zaman birimine bağlı kristalizasyon spesifik entalpisi şu şekilde açıklanır; $q_m(T, Q_m)$ 'in yüksek değerde olması yüksek kristalizasyon anlamına gelir. Çünkü burada kristalize kakao yağının zaman bağlı olarak yüksek sıcaklık çıkışı vardır, tam tersi olarak da düşük değerde olması düşük kristalizasyon anlamına gelir. Su ile soğutulma esnasında kakao yağının izafi düşük kristalizasyon oranından dolayı, kaplama ile birlikte keskin kristalizasyon meydana gelmez. Böylece, soğutma süresince sıcaklık düşüşü ve kristalizasyon meydana gelir. (Şekil 4.3.)



Şekil 4.3. Soğutma süresince sıcaklık düşüşü ve kristalizasyon

Kakao yağını su ile soğuttuğumuzda belirli zaman aralıklarında termometreden okunan değerler aşağıdaki Tablo 4.1'de sıralanmıştır.

Tablo 4.1. Kakao yağının soğutma esnasında ölçülen sıcaklık değerleri

Ölçülen sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	25.3	25.3	24.5	23.8	23.6	23.1	22.9	22.7	22.6	22.5
Soğutma zamanı (dak)	0.5	0.5	0.6	0.7	0.9	1.1	1.2	1.5	1.7	1.9
Ölçülen sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	22.5	22.5	22.5	22.4	22.3	22.2	22.2	22.2	22.1	
Soğutma zamanı (dak)	2	2	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3	3.1	

Ölçülen sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	22.1	22	21.9	21.8	21.7	21.6	21.5	21.4
Soğutma zamanı (dak)	3.3	3.5	3.7	3.9	4	4.1	4.3	4.5
Ölçülen sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	21.3	21.2	21	20.9	20.8	20.6	20.4	20.2
Soğutma zamanı (dak)	4.7	4.9	5	5.2	5.3	5.5	5.7	5.9

Bu soğutma esnasındaki çikolata kristalizasyonun modellenme yaklaşımı şu varsayımları içermektedir.

- Çikolata iyi kristalize edilmiş olmalıdır. Dolayısıyla merkezdeki verimli içerik stabil formda görünmez ve çekirdeklenme gerekli değildir.

- Bu soğutma şartlarında çekirdek gelişimi gözlenir fakat ek bir çekirdek oluşumu görülmez.

Bu varsayım genellikle soğutma tünellerinde normal şartlar altında gözlemlenir.

Aşağıda yazılı iki matematik esası bu varsayımların birer sonucudur.

1. Çikolata kütlelerinin sıcaklığı kristalizasyon başlangıç sıcaklığından yüksek ise, T_{cris} , kristalizasyon gerçekleşmez ve sıcaklık meydana gelmez.

$$T(t,x) > T_{\text{cris}} \text{ için } q_m = 0 \quad (4.2)$$

2. Bütün kristalizasyon sıcaklığı tamamlandığında ve kristalize olacak çikolata kütlesi kalmadığında kristalizasyon bitmiş olur. Bu da hesaplanan kristalizasyon sonucu çikolata yüzeyinden elde edilecek ısının, toplam kristalizasyon entalpisine ulaşması ile oluşur. (Q_{cris})

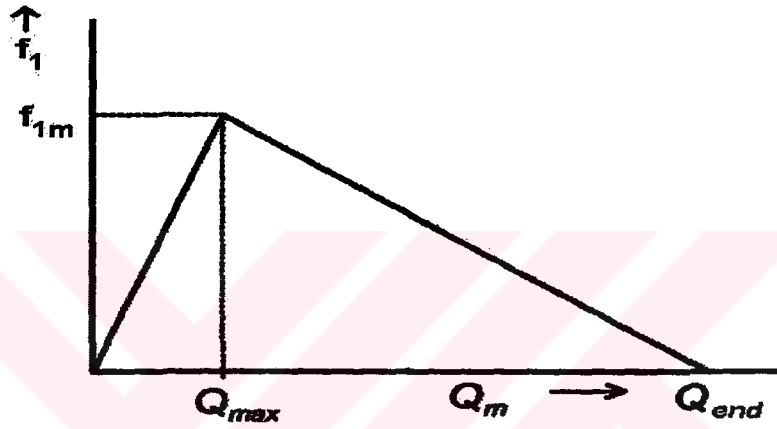
Bu durumlar, iki fonksiyonun:

$f_1(Q_m)$: kristalize edilen çikolatanın ısıya bağlı değişen kristalizasyon oranı ve

$f_2(T)$: kristalize edilen çikolatanın sıcaklığa bağlı değişen kristalizasyon oranı

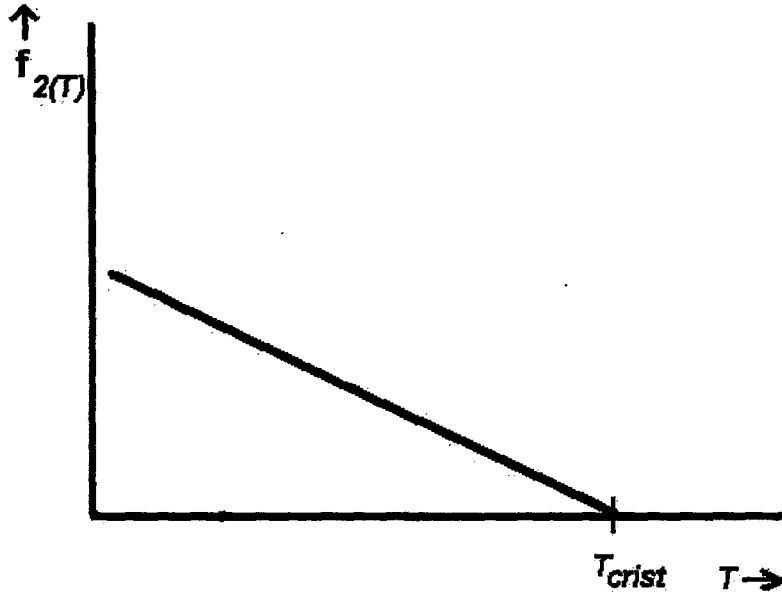
bir ürünü olarak, kristalizasyonun her bir zaman birimi başına, q_m , spesifik ısısının hesaplanması için modelde kullanılır.

$$q_m = f_1(Q_m) \cdot f_2(T) \quad (4.3)$$



Şekil 4.4. Kristalizasyon oranının kristalize edilmiş madde miktarı üzerindeki bağımlılığı

$f_1(Q_m)$ fonksiyonunun planı, şekil 4.4'teki gibi gösterildiği kabul edilir. Bu şekilde, $f_1(Q_m)$, maksimum kristalizasyon ısısına kadar artar fakat kararlı bileşikler oluşunca ısı arttığı halde bile oran, kristalizasyon tamamlandığından düşer. Dolayısıyla işletme içerisindeki çalışanlar maksimum kristalizasyon ısı değerine ulaştığında ve kristalizasyon oranının da maksimuma ulaştığı anda ısıtma ve soğutma tünelleri set değerlerini kaydedip en iyi soğutma ortamını elde edebilirler.



Şekil 4.5. Kristalizasyon oranının sıcaklık üzerindeki bağımlılığı

Şekil 4.5'te de $f_2(T)$ sıcaklığa bağlı kristalizasyon oranının kristalizasyon başlangıç sıcaklığına kadar azalıp sıfırlandığı gözlemlenmektedir. Oranın giderek azalması çikolatanın daha raf ömrü uzun olması ve iç yapısının kararlı hale gelmesi anlamını taşır. Dolayısıyla sıcaklığa bağlı kristalizasyon oranı sıcaklık arttıkça sifira en yakın tünel set değeri ayarlanıp kaydedilirse en iyi ve en kararlı ürün elde edilmiş olunur.

Burada T_{crist} kristalizasyon ilk sıcaklığını gösterirse, f_T eğimi de soğutma esnasında $(T_{crist}-T)$ kristalizasyon artmasını temsil ederse,

Eğer T_{crist} kristalizasyon ilk sıcaklığı çikolatanın sıcaklığından düşükse kristalizasyon olmayacağından $f_2(T)$ sıcaklığa bağlı kristalizasyon oranı da olamayacaktır.

$$T \geq T_{crist} \quad f_2(T) = 0 \quad (4.4)$$

Eğer T_{crist} kristalizasyon ilk sıcaklığı çikolatanın sıcaklığından fazla ise çikolata kararlı hale gelene kadar sıcaklığı artacak ve $f_2(T)$ sıcaklığa bağlı kristalizasyon oranı da kararlı bir duruma gelecektir.

$$T < T_{crist} \quad f_2(T) = f_T \cdot (T_{crist} - T) \quad (4.5)$$

Sonuç olarak da çikolatanın sıcaklığının kristalizasyon sıcaklığından düşük olmasına dikkat edilerekten üretime başlanmalı ve soğutma tünelleri set değerleri de ona göre ayarlanmalı ki en iyi soğutma ortamında en iyi ve en uzun raf ömürlü ürünü elde edelim.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tezde öncelikle çikolatanın imalatında ısı ve kütle transferinin önemini araştırmış ve çikolata üretiminde kristalizasyonun sıcaklıkla olan ilişkisine bağlı modelleme çalışmaları araştırılmıştır.

Çikolata üretimindeki kristalizasyon parametreleri farklı koşullarda farklı soğutma parametrelerine ve sıcaklıklarına sahiptir. Eğer bu parametreler gerçek malzeme sabitleri olarak kabul edilirse, bunlar kullanılan soğutma ortamının bağımsızlığı olarak kabul edilir ve standart deviasyon izafi olarak küçük kalacaktır.

Önerilen model soğutma tünellerinde soğutma esnasındaki çikolata kaplamasının kristalizasyon prosesini açıklamaya yeterlidir. Model parametreleri, farklı hava hızı ve hava ısısında bulunan farklı ortamlarda ölçülen sıcaklık eğrilerinin oturtulmasıyla tahmin edilir.

Bu modelin kullanılmasıyla tipik iki soğutma prosesi basamağı simule edilmiş olur. Dolayısıyla, eğer herhangi bir ortamdaki çikolatanın ilk sıcaklığı değişirse, optimum zaman oranı da değişir ve soğutma tüneli ayarlarının yeniden düzenlenmesi gerekir. Çikolata sıcaklığı parametreleri hava sıcaklığı, spesifik sıcaklık ve çikolata kaplamasının batırma yoğunluğu vb. gibi parametreler soğutma tünelineki kristalizasyona etki eder.

Bu modeli kullanarak farklı ortamlarda ilgili parametrelerin etkinliğini simule edebiliriz. Bu da çikolata üreticilerine en iyi soğutma ortamında en iyi ürün elde etmesine ışık tutar.

KAYNAKLAR

BROSIO, E., CONTI, F., DINOLA, A. & SYKORA, S. 1980. A pulsed low resolution NMR study on crystallization and melting processes of cocoa butter. *Journal of the American OH Chemists' Society*, 57, 78-82.

CHAU, K.V. & GAFFNEY, J.J. 1990. A finite difference model for heat and mass transfer in products with internal heat generation and transformation. *Journal of Food Science*, 55, 484-487.

CLELAND, A.C. & EARLE, R.L. 1984. Freezing time predictions for different final product temperatures. *Journal of Food Science*, 49, 1230-1232.

FRANKE, K., TSCHEUSCHNER, H.-D., TRALLES, L, HAUSMANN, A. & LİNKE, L. 1994. Temperaturverlauf beim Abkühlen und Erstarren von Schokoladenmasse-Messen öder Berechnen Teil I. *Süsswaren*, 38(11), 28-30.

FRANKE, K., TSCHEUSCHNER, H.-D., TRALLES, L, HAUSMANN, A. & LİNKE, L. 1994. Temperaturverlauf beim Abkühlen und Erstarren von Schokoladenerzeugnissen-Messen öder Berechnen? Teil 2. *Süssvaren*, 38(12), 34-37.

GÖPEL, G. 1993. Die Kühlung-Stiefkind der Forschung. *Süssvaren*, 37, (12), 12-18. Lailach, S., Franke, K. & Tscheuschner, H.-D. (1995). Untersuchungen zur Kühlung von Schokoladenüberzügen, Dresden, Tscheuschner LTR, unpublished research report.

LİN, S.H. 1994. A mathematical model for freezing of calcium alginate gel balls. *Journal of Food Engineering*, 94(3), 305-313.

MUNTENER, K. 1988. Cooling tunnels. *Manufacturing Confectioner*, 68, (7), 91-98.

GÖPEL, G. 1993. Die Kühlung-Stiefkind der Forschung. *Süßwaren*, 37, (12), 12-18. Lailach, S., Franke, K. & Tscheuschner, H.-D. (1995). Untersuchungen zur Kühlung von Schokoladenüberzügen, Dresden, Tscheuschner LTR, unpublished research report.

INCROPERA, F. P. 1996. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, Jhon Wiley & Sons, Singapore, 944

KAKAC, S., 1998. *Örneklerle Isı Transferi*, Tıp Teknik, Ankara, 358

KILIC, M., YIGIT, A. 2004. *Isı Transferi*, Alfa Yayın Evi, Bursa, 467

LİN, S.H. 1994. A mathematical model for freezing of calcium alginate gel balls. *Journal of Food Engineering*, 94(3), 305-313.

MUNTENER, K. 1988. Cooling tunnels. *Manufacturing Confectioner*, 68, (7), 91-98.

REINICK, A.C. & SCHWARTZBERG, H.G. 1986. Predicting temperature vs time behaviour during the freezing and thawing of rectangular foods. *Biotechnology Progress*, 2, (3), 165-174.

SAAD, Z. & SCOTT, E.P. 1996. Estimation of temperature-dependent thermal properties of basic food solutions during freezing. *Journal of Food Engineering*, 96, (1), 1-19.

SCHWARTZBERG, H.G. 1977. Effective heat capacities for the freezing and thawing of foods, International Institute Ref. Commission, C1, C2 Karlsruhe, pp. 303-310 (cited in Reinick and Schwartzberg, 1986)

SIEGEL, R., HOWELL, J. R. 2001. *Thermal Radiation Heat Transfer*, Hemisphere, New York, 864

STAPLEY, A. G. F., TEWKWSBURY, H., & FRYER, P. J. 1999. The effect of shear and temperature history on the crystallisation of chocolate. *Journal of American Oil and Chemical Society*, 76, 677-685

TSCHUBİK, U. A. & MASLOW, A. M. 1970. Wärmephysikalische Konstanten von Lebensmitteln und Halbfabrikaten.-Moskau: Lebensmittelindustrie Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.) 1988. VDI-Wärmeatlas: Berechnungsblätter für den Wärmeübergang (Calculation Sheets for Heat Transfer). VDI, Düsseldorf.

ZIEGLEDER, G. 1990. DSC-Thermoanalyse und Kinetik der Kristallisation von Kakaobutter. *Fat Science Technology*, 92(12), 481-485.

ZIEGLEDER, G. 1995. Kristallisationsgeschwindigkeit im Kühler. *Zucker-und Süßwarenwirtschaft*, 48(2), 62-66.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışmada hiçbir yardımı esirgmeden bana her zaman, her konuda .yol gösteren hocam Sayın Prof.Dr. Muhsin KILIÇ'a, yapıcı eleştiri ve katkılarından dolayı hocam Sayın Dr. Ümit ÜNVER'e, müdürüm Fatih DURAN'a, çalışmamda bana hiçbir yardımını esirgemeyen arkadaşım Sayın Makina Mühendisi- İşletmeci Mehmet Emin BACA'ya, her zaman çalışmama olumlu destek sağlayan eşim Candan SİLSÜPÜR'e, Volkan KRATİK, Devletşah ALHANLIOĞLU, Saide ÖZCAN, Müh. Alpay Akdeniz, İsa YILMAZ'a, Makine Mühendisliği Bölümünde yetişmemizde emeği geçen tüm saygıdeğer hocalarıma ve araştırma görevlisi hocalarıma, bana her zaman her konuda destek olan aileme teşekkür ederim.



ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında İstanbul’ da doğdu. 1994 yılında Kırıkkale Anadolu Lisesi’ ni bitirdi. 2000 yılında Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden Mezun oldu. Halen Ülker Gıda San.Tic. A.Ş. ‘ de proje mühendisi olarak çalışmaktadır.

