

MERKEZCİL KARIŞTIRICILI KAYNATMA TANKLARINDA ISI GEÇİŞİNİN FARKLI PARAMETRELER İÇİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Ufuk DURMAZ^{1*}, Mustafa ÖZDEMİR¹

¹Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Esentepe, Adapazarı

*Email: udurmaz@sakarya.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, merkezcil konumlandırılmış karıştırıcı kaynatma tanklarında kanat boyutunun, devir sayısının ve kanat ile taban yüzeyi arasındaki boşluğun ısı geçiş hızına etkisinin deneysel olarak araştırılması hedeflenmiştir. Deneysel olarak sabit atmosfer basıncında farklı sıcaklıklarda kaynamakta olan sulu şeker çözeltileri kullanılmıştır. Deneysel olarak 3 farklı devir hızında, 2 farklı kanat taban arası mesafede ve 3 farklı boyutta karıştırıcı kanat kullanılarak yapılmıştır. Isı geçiş hızının şeker derişikliğine, karıştırıcı devir sayısına, kanat boyutuna ve kanat ile taban arasındaki mesafeye bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Ayrıca kaynatma tankı taban geometrisinin yarım küre olması durumunda yarıçapa bağlı zaman ve kapasite değişimleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Isı geçişi, sulu şeker çözeltileri, karıştırıcı tanklar, havuz kaynaması

AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON HEAT TRANSFER FOR DIFFERENT PARAMETERS IN CENTRIPETALLY LOCATED BOILING AGITATION VESSELS

ABSTRACT

In this study, the effects of blade size, agitation speed and the gap between the blade and the bottom surface on heat transfer rate in centripetally located boiling agitation vessels are aimed to investigate by experimentally. Aqueous sugar solutions at constant pressure and different temperatures were used for boiling experiments. The experiments were performed using 3 different agitator speeds, 2 different gaps and 3 different sized blades. It was seen that the heat transfer rate is depending on sugar concentration, agitator speed and the gap. Also, the process time and the capacity variations depending on the radius for boiling vessels were examined for the half-sphere heating surface.

Keywords: Heat transfer, aqueous sugar solutions, agitation vessels, pool boiling

1. GİRİŞ

Şekerden üretilen gıdalara (bonbon, şekerleme, lokum vs.) şekil verilebilmesi ve katkı maddeleri (renk, aroma vs) ilave edilebilmesi için sakaroz ve/veya diğer şekerlerin sıvı fazda başka bir deyişle mayi durumda olması gerekmektedir. Toz şekerin ısı iletim katsayısı düşük olduğundan şekerli sıvı faza geçirmek için doğrudan ısı verilmesi oldukça güçtür. Bundan dolayı şekerli bir miktar su ilave edilerek şekerli çözeltileri oluşturulmakta ve daha sonra bir kap içerisinde

kaynatılarak su uzaklaştırılmaktadır. Bu şekilde yüksek sıcaklıkta sıvı-mayi durumda şeker elde edilebilmektedir.

Sulu şeker çözeltilerinin kaynatılması sırasında şeker konsantrasyonu arttıkça ısı geçişinin zorlaştığı bilinen bir gerçektir. Şeker konsantrasyonu yüksek değerlere ulaştığında (%90-95) kaynama sıcaklığı 130-150 °C değerlerine ulaşmaktadır [1,2]. Isı geçişi ve kaynamanın sürdürülebilmesi için ısıtıcı yüzey sıcaklığının çözeltileri sıcaklığından daha yüksek bir değerde olması gerekmektedir. Ancak, çözeltileri ısıtılan yüzey ile temasta

olduğundan yüksek sıcaklığa maruz kalarak karamelleşmektedir. En büyük sorun şekerin (sakaroz) 150 °C üzerinde renk, 170 °C üzerindeki sıcaklıklarda ise kimyasal değişime uğrayarak lezzet kaybetmesidir. Bu yüzden çözeltinin içindeki suyun, maksimum 150 °C'nin altındaki bir sıcaklıkta mümkün olan en hızlı şekilde buharlaştırılması gerekmektedir. Bu işlem sonunda şeker kolay şekil verilebilir duruma gelir. Bu ara ürüne istenilen aromalar ve renkler karıştırılarak son ürün elde edilir.

Yukarıdaki belirtilen nedenlerden dolayı ısı geçişini iyileştirmek için endüstriyel üretimde karıştırıcı kaplara oldukça fazla rastlanılmaktadır. Özellikle akide şekeri, helva ve birçok yöresel ve modern şekerleme üretiminde benzer teknolojiler kullanılmaktadır. Karıştırma sayesinde ısı geçişinin hızlandığı bilinmektedir. Buna rağmen bu özel konu ile ilgili çok az bilimsel araştırma bulunmaktadır. Bu araştırmalar da ise çoğunlukla saf maddelerin ısıtılması veya soğutulması sırasında karıştırmanın ısı geçişine olan etkisi incelenmiştir. Bunlardan bazıları aşağıda sunulmuştur.

B. Triveni ve arkadaşları karıştırıcı tanklarda Newton tipi ve Newton tipi olmayan akışkanların ısı geçişini çalışmışlardır. Deneysel olarak çapa ve türbin tipli kanatlar kullanarak serpantin borulu ısıtma ve soğutma yaparak kanat geometrisinin, hızının ve aerasyonun ısı geçişine etkilerini hint yağı ve onun metil ester, sabun çözeltisi, CMC ve tebeşir çamuru için incelemiştirler[3]. Bu yayında belirli boyutlardaki birbirinden farklı iki tip kanat kullanılmıştır. Aynı tipteki kanat için kanat boyutunun etkisi araştırılmamıştır.

B.Lakghomi ve arkadaşları, serpantin borulu ve ceketli tanklardaki ısı geçişini incelemişler ve serpantin borulu tanklar daha verimli bulunmuştur[4]. Çalışmalarında karıştırıcı tanklarda serpantin boru ve ceket ile ısıtma ve soğutma kıyaslanmıştır.

Y. Kawase ve arkadaşları, ceketli karıştırma tanklarında Newton tipi olmayan değişik akışkanlar için farklı kanat tiplerinde ısı geçişini deneysel ve teorik olarak çalışmışlardır [5]. Bu yayında da yine farklı tipteki sabit boyutlardaki kanatların etkileri ceketli tanklar için çalışılmıştır.

Yukarıda görüldüğü üzere karıştırıcı tanklarda küçük farklılıkların ısı geçişini üzerindeki etkileri önemli boyutlarda olduğundan, özellikle şekerli su çözeltileri için araştırma ihtiyacı bulunmaktadır. Detaylı literatür araştırması sonunda yüksek şeker konsantrasyonuna sahip sulu şeker çözeltilerini havuz kaynaması esnasında karıştırmanın ısı geçişine olan etkilerinin incelendiği özel bir çalışmaya rastlanmamıştır. Araştırmacılar karıştırma türlerinin etkinliği konusunda yeni bilgi ve bulgulara ulaşmakla birlikte bu araştırmanın konusu olan kaynayan şeker su çözeltileri için karıştırıcı kaplarda ısı transfer mekanizmalarını incelememiştirler.

Saf maddelerin havuz kaynaması sırasında ısı geçişini karakteristiğini ortaya koymak için 70 yıldan beri çalışmalar yapılmaktadır [6]. Bu alandaki öncülerden birisi olan Rohesnow[7] ve onun bazı temel hesaplamaları sonraki birçok çalışmada kullanılmıştır. Nukiyama[8] havuz kaynamasını deneysel olarak çalışmış ve kendi adıyla bilinen kaynama eğrisini bulmuştur. Bu çalışmalar saf maddelerin kaynaması sırasındaki ısı transfer mekanizmasını aydınlatmıştır.

Son yıllarda ise M. Özdemir ve H. Pehlivan karıştırmanın olmadığı havuz kaynamasında şeker konsantrasyonuna bağlı kaynama noktası ve ısı transfer katsayısını hesaplayabilmek için bir fonksiyon önermişlerdir[9]. Ancak elde edilen ilişkiler karıştırıcısız havuz kaynaması ile sınırlı olduğu için endüstriyel uygulamalarda kullanılan karıştırıcı tanklar için uygulanabilir değildir. Buradaki eksikliği gidermek amacı ile yapılmış olan bu çalışma önceki çalışmanın devamı niteliğinde olup söz konusu bilimsel boşluğu doldurmak amaçlanmıştır.

Bu çalışmada, merkezci karıştırıcı bir kaptaki havuz kaynaması esnasında ısı transfer mekanizması deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde taban ile kanat arasında 4 ve 12 mm olmak üzere 2 farklı boşluk için 40, 80 ve 120 devir/dakikada dönen ve 3 farklı boyuttaki karıştırıcı ile değişik konsantrasyonlardaki şeker su çözeltileri kullanılmıştır.

2. HAVUZ TİPİ KAYNAMADA ISI TRANSFER MEKANİZMASI

Havuz kaynaması sırasında oluşan buhar fazı baloncukları ısı transfer edilen yüzeyde büyürler ve sıvı ile ısıtıcı yüzey arasındaki teması engelledikleri için ısı geçişini zorlaştırırlar. Ancak kaldırma kuvvetinin etkisiyle de buhar baloncukları yüzeyden ayrılırken sıvının hareketine dolayısıyla sıvının bir miktar karışmasına neden olurlar. Bu durum ısı geçişini de bir miktar iyileştirir.

Bu birbirine zıt iki olayın ısı geçişine olan birleşik etkileri, ısıtıcı yüzeyin yapısı, baloncukların büyüklüğü, çözeltinin yüzey gerilimi ve viskozitesi ile ilişkilidir [10,11]. Şekerli su çözeltilerinde bu fiziksel özellikler şeker konsantrasyonuna bağlı olarak da değişmektedir. Doğal olarak yüksek şeker konsantrasyonlu çözeltilerde oluşan kabarcıklar viskozitenin artmasıyla daha büyük ya da daha uzun ömürlü olmaktadır. Isı geçişini olumsuz etki yapan bu durumu karıştırmak suretiyle kısmen ortadan kaldırmak mümkündür. Ayrıca sıvı fazının hareketlendirilmesinin ısı geçişini hızlandırdığı da bilinmektedir.

Isı geçişinin iyileştirilmesi amacıyla yapılan karıştırma işlemlerinde karıştırıcı kanatları iç cidarı sıyracak şekilde imal edilirler. Ancak sıyrıcının yüzeye temas ederek yüzeyi aşındırması istenmez. Bu yüzden tank imalatı sırasında

karıştırıcı kanatlar üretim hatalarını da karşılayabilmek için kanat ile yüzey arasında 0 ila 12 mm arası boşluk kalacak şekilde imal edilmektedirler. Özetle şeker oranı yüksek şekerli su çözeltilerinde viskozitenin yüksek olmasından dolayı sıyrıcılı kanatlar kullanılması gerekli olmasına rağmen uygulamada yaşanan problemler nedeni ile sıyrıcısız, boşluklu (4-12 mm) karıştırıcılı kanatlar kullanılmaktadır.

2.1 Karıştırmasız Havuz Kaynamasında Isı Transfer Mekanizması

Genel olarak kaynama, akışkan ile katı yüzey arasında, akışkanın sıvı fazdan gaz fazına geçmesi prosesidir. Proses, yüzey sıcaklığının sıvının belli bir basınçtaki doyma sıcaklığını aştığı anda başlar. Yüzeyden sıvıya transfer edilen ısı Newton'un soğuma kanunu gereği aşağıdaki gibi,

$$\dot{q} = h(T_w - T_{sat}) \quad (1)$$

ifade edilir. Baloncuk oluşum bölgesinde ise saf akışkanlar için ısı geçişi aşağıdaki gibi ifade edilebilir[12].

$$\dot{q} = C(T_w - T_{sat})^n \quad (2)$$

Yukarıdaki eşitliklere benzer olarak kaynamakta olan farklı konsantrasyonlardaki şekerli su çözeltileri için ise aşağıdaki denklem kullanılabilir[9].

$$\dot{q} = C(1 - c_s)(T_w - T_b)^{1.3} \quad (3)$$

Karıştırıcısız durum için C sabit ve $(1 - c_s)$ 'de su konsantrasyonu olmak üzere yeni bir mühendislik yaklaşımıyla ısı akısı (3) nolu denklemden hesaplanabilmektedir. Ayrıca konsantrasyonu bilinen bir şekerli su çözeltisi için kaynama sıcaklığı ise aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanabilmektedir[9].

$$T_b = T_{sat} + (c_s T_{sat} / 2.1)^{c_s^{2.1}} \quad (4)$$

(4) numaralı denklem (3) numaralı denklemde yerine konularak, (1) numaralı denkleme eşitlenirse (5) numaralı eşitlik elde edilir.

$$h = C(1 - c_s)(T_w - (T_{sat} + (c_s T_{sat} / 2.1)^{c_s^{2.1}}))^{0.3} \quad (5)$$

Isı taşınım katsayısı h yukarıdaki eşitlikten hesaplanabilir.

2.2 Karıştırmalı Havuz Kaynamasında Isı Transfer Mekanizması

Karıştırmalı kaynama sırasında ısı geçiş hızı karıştırmasız duruma göre daha yüksek olmaktadır. Bu durum $\dot{q}_{toplamlam} = \dot{q}_{karıştırmasız} + \dot{q}_{karıştırıcı etkisi}$ şeklinde ifade edilebilir. Bu ifade denklem (1) için aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\dot{q}_{toplamlam} = \dot{q}_{(0)} + \dot{q}_{(k)} \quad (6)$$

Burada ifade edilen $\dot{q}_{(0)}$ ve $\dot{q}_{(k)}$ ise ayrı ayrı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\dot{q}_{(0)} = h_{(0)} \Delta T \quad (7)$$

$$\dot{q}_{(k)} = h_{(k)} \Delta T \quad (8)$$

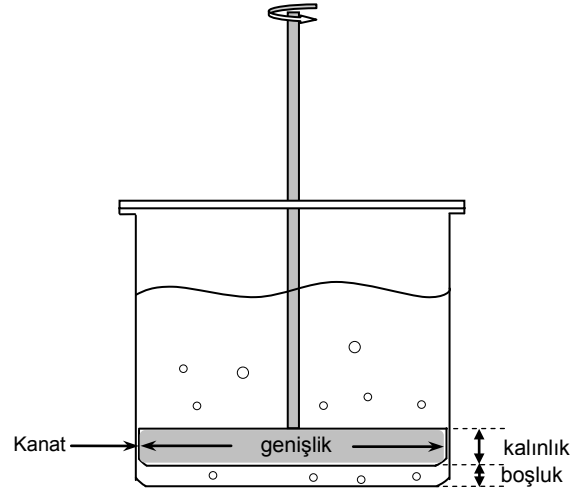
Isı akısı için geçerli olan bu durum toplam ısı taşınım katsayısı h için de geçerlidir. Dolayısıyla toplam ısı taşınım katsayısı h,

$$h_{toplamlam} = h_{(0)} + h_{(k)} \quad (9)$$

şeklinde yazılabilir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Saf maddeler için atmosfer basıncında yani tek bir basınçta tek doyma sıcaklığı olduğundan dolayı karıştırıcılı ve karıştırıcısız kaynatıcılarda ısı geçişinin farklı sıcaklıklarda denenmesi mümkün değildir. Bundan dolayı sabit basınçta fakat sıcaklığa bağlı olarak değişen malzeme özelliklerinin (μ, ρ, c_p ve k) ısı geçişine olan etkilerinin incelenmesi mümkün olamamaktadır. Karıştırıcılı kaplarda sızdırmazlık sorunundan dolayı yüksek basınçlarda deney yapmak çok kolay olmamaktadır. Bundan dolayı malzeme özellikleri çok iyi bilinen şeker su çözeltilerinde yaklaşık 30 °C'lik bir sıcaklık penceresinde şeker konsantrasyonuna bağlı olarak ısı transfer mekanizmasının ortaya konulması mümkün olmaktadır. Bunun için Şekil 1'de görülen iki kollu karıştırıcı kanatlı deney düzeneği laboratuvar ortamında kurularak farklı kanat boyutları, farklı devir sayıları ve farklı taban kanat arası mesafelerde deneyler yapılmıştır.



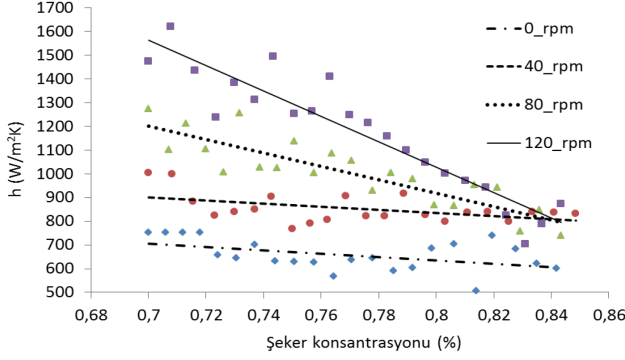
Şekil 1. Karıştırma tankı ve kanat yapısı

Deneylerde kullanılan üç kanadın da genişlikleri 168 mm, kalınlıkları ise 16, 26 ve 39 mm'dir. Deneyler 40, 80 ve 120 devir olmak üzere 3 farklı sabit devirde, 12 ve 4 mm olmak üzere 2 farklı kanat-taban arası boşlukta yapılmıştır. Sıcaklıklar her 5 s'de bir ölçülerek 12 ölçümün aritmetik ortalama değeri olarak belirlenmiştir.

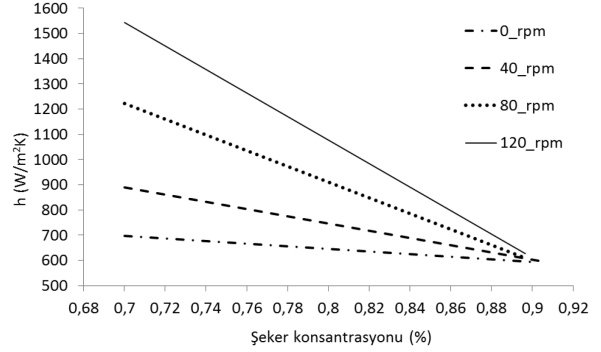
4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Karıştırma olmadan, yani zorlanmış akışın bulunmadığı durumda ısı taşınım katsayısının belirli bir değeri vardır. Bu değer literatürde verilen (5) numaralı eşitlik yardımıyla hesaplanabilmektedir. Karıştırmanın etkisiyle ısı taşınım hızı karıştırıcının devir sayısına bağlı olarak bu değerden başlayarak artmaktadır. Diğer taraftan da çözeltideki şeker konsantrasyonunun artışına bağlı olarak azalmaktadır.

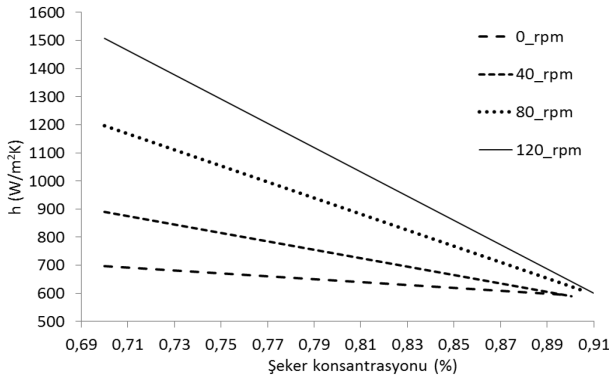
Deneyel çalışmadan elde edilen sonuçlar Şekiller 2-13' de verilmiştir. Şekillerde gösterilen kaynama ısı geçiş katsayısı-şeker konsantrasyonu ilişkisi, 5 numaralı eşitlik gereği doğrusal bir ilişki olduğundan aşağıdaki grafiklerde deneylerden elde edilen veriler lineer enterpolasyon yapılarak eğim doğruları şeklinde gösterilmiştir. Eğim doğruları Şekil 2'de örnek olarak deneysel verilerle birlikte verilmiş olup, diğer şekillerde sadece eğim doğruları görülmektedir.



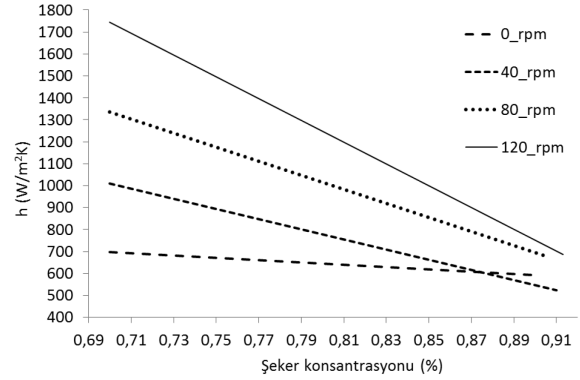
Şekil 2. Kanat tipi 1, boşluk 12 mm



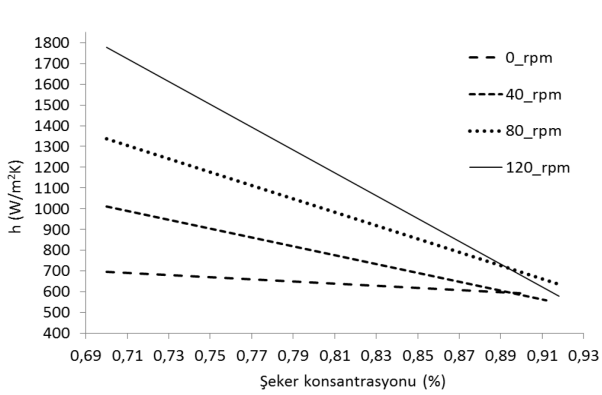
Şekil 3. Kanat tipi 1, boşluk 4 mm



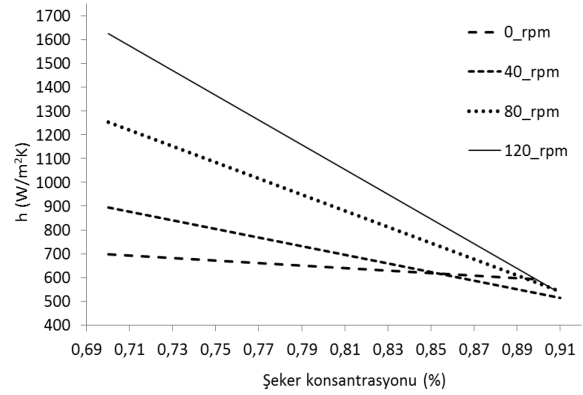
Şekil 4. Kanat tipi 2, boşluk 12 mm



Şekil 5. Kanat tipi 2, boşluk 4 mm



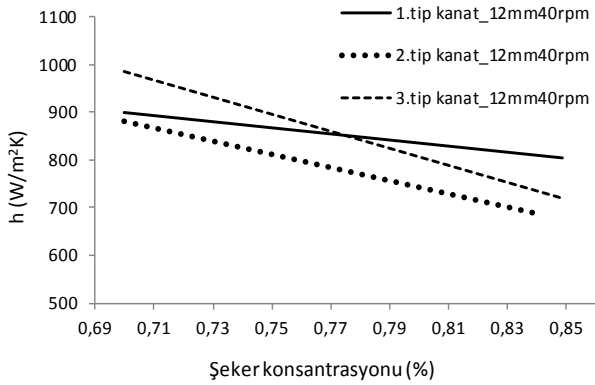
Şekil 6. Kanat tipi 3, boşluk 12 mm



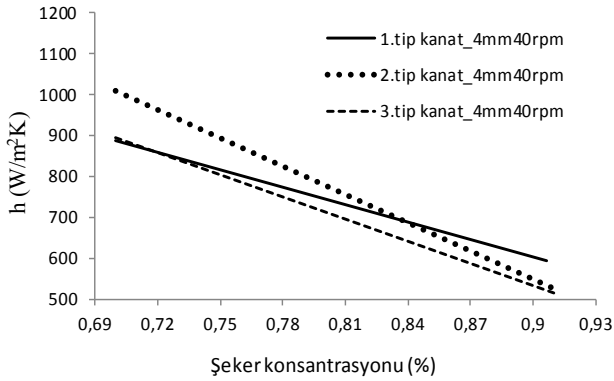
Şekil 7. Kanat tipi 3, boşluk 4 mm

Şekil 2'den Şekil 7'ye kadar devir sayısı arttığında ısı taşınım hızının arttığı konsantrasyon arttığında ise ısı taşınım hızının düştüğü görülmektedir.

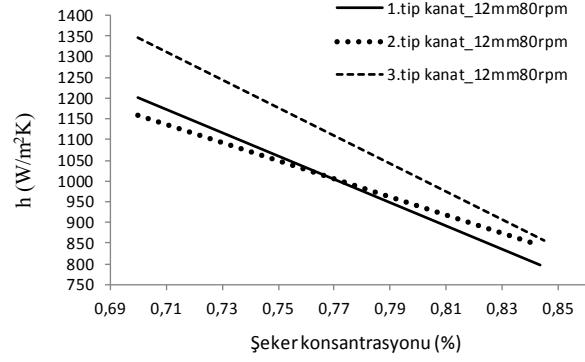
Şekil 2 ve Şekil 3'te 1. tip kanat için kanat ile taban arasındaki mesafenin 12 mm ve 4 mm olduğu durumlar için şeker konsantrasyonuna bağlı ısı taşınım katsayısının değişimi görülmektedir. 1. tip kanat ile düşük konsantrasyon yüksek devir ile yüksek konsantrasyon düşük devirde 12 mm boşlukta daha iyi ısı transfer hızı elde edilirken, yüksek konsantrasyon yüksek devirde 4mm boşlukta daha iyi ısı transfer hızı elde edilmiştir. Düşük konsantrasyon düşük devirde ise boşluğun etkisi olmamıştır. Şekil 4 ve Şekil 5'te 2. tip kanat için boşluk etkisine baktığımızda; düşük konsantrasyon yüksek devirde, düşük konsantrasyon düşük devirde ve yüksek konsantrasyon yüksek devirde 4 mm boşlukta daha iyi ısı transfer hızı elde edilirken yüksek konsantrasyon düşük devirde 12 mm boşluk daha iyi sonuç vermiştir. Şekil 6 ve Şekil 7'de 3. tip kanat için boşluk etkisine baktığımızda ise; dört kombinasyonda da 12 mm boşlukta daha iyi ısı transfer hızı elde edildiği görülmektedir.



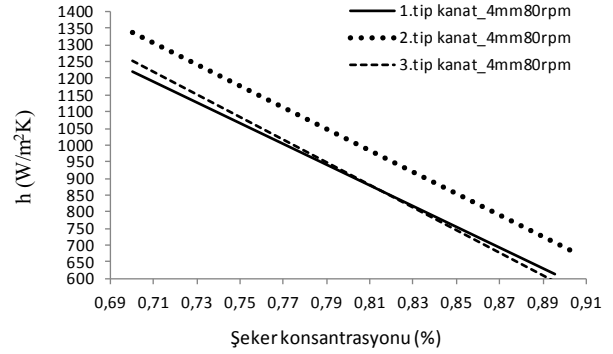
Şekil 8. Bütün kanat tipleri 12 mm boşluk 40 devir



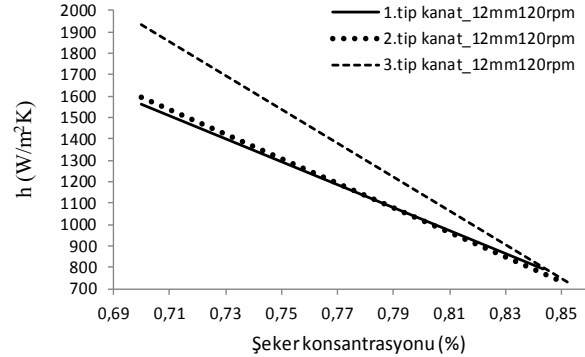
Şekil 9. Bütün kanat tipleri 4 mm boşluk 40 devir



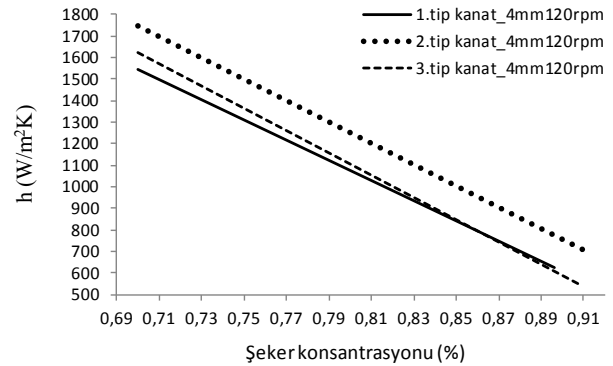
Şekil 10. Bütün kanat tipleri 12 mm boşluk 80 devir



Şekil 11. Bütün kanat tipleri 4 mm boşluk 80 devir



Şekil 12. Bütün kanat tipleri 12 mm boşluk 120 devir



Şekil 13. Bütün kanat tipleri 4 mm boşluk 120 devir

Kanat boyutunun etkisinin ise çok fazla olmadığı görülmektedir. Özellikle yüksek konsantrasyonlarda etkisi hemen hemen yok denecek kadar azdır. Düşük konsantrasyonlarda, 12 mm boşluk için 3. tip kanat, 4 mm boşluk için 2. tip kanat en yüksek ısı geçiş hızına sahiptir. Bütün kanat tiplerinde her iki boşluk içinde geçerli olmak üzere devir sayısı arttıkça ısı geçiş hızı da artmıştır.

4.1 Araştırma Sonuçlarının Özel Uygulama Alanı

Şeker konsantrasyonunun yüksek olduğu tahin helvası ağdası, bonbon ve diğer şekerlemelerin üretiminde tabanı yarım küre olan ve çember şeklinde tüm yüzeyi tarayabilecek karıştırıcı tanklar yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sayede, ısı geçiş yüzeyinin tamamı taranarak hem ısı geçiş hızı artırılmakta hem de karamelleşme ve şeker yanması önlenebilmektedir.

Gelişmekte olan sanayileşme sürecine paralel olarak ilgili sektörde üretim kapasitesini artırıcı yeniliklere ve üretim gereçlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu konuyla ilgili olarak kapasite arttırmak için daha büyük tankların imalatı ve çalıştırılması mümkün olmakla birlikte küre için 6/D olan yüzey hacim oranı kaynatma süresini önemli oranda arttırmaktadır. Bunun nedeni yüzey alanının küre çapının karesi ile değişmesine karşın hacminin ise küre çapının küpü ile değişmesidir.

Yukarıda belirtilen nedenden dolayı kapasite artarken işlem süresi de değişmektedir. Başka bir deyişle işlem süresi küre çapından bağımsız değildir. İşlem süresi çap ile doğrusal olarak değişirken, kapasite yani işlenen kütle miktarı çapın küpü ile değişmektedir. Şeker ağdasındaki şeker oranının düşük bir konsantrasyondan (c_1) daha büyük bir konsantrasyona (c_2) kaynatılarak çıkartılabilmesi için gerekli olan ısı miktarı aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$Q = \Delta m_{su} \cdot h_{fg} \quad (10)$$

$$\Delta m_{su} = m_{ağda} \cdot (c_2 - c_1) \quad (11)$$

Denklem 11, denklem 10 da yerine yazılırsa,

$$Q = m_{ağda} \cdot (c_2 - c_1) \cdot h_{fg} \quad (12)$$

Bu ısının transfer edilmesi için yarım küre şeklinde bir tank yüzeyi kullanılırsa,

$$A = \frac{\pi D^2}{2} \quad (13)$$

$$m_{ağda} = V_{ağda} \cdot \rho_{ağda} \quad (14)$$

$$V_{ağda} = V_{tank} \quad (15)$$

$$V_{tank} = \frac{\pi D^3}{12} \quad (16)$$

$$m_{ağda} = \frac{\pi D^3 \cdot \rho_{ağda}}{12} \quad (17)$$

$$Q = \frac{(\pi D^3)}{12} (c_2 - c_1) h_{fg} \cdot \rho_{ağda} \quad (18)$$

$$\dot{Q} = \frac{Q}{\Delta t} = h \cdot A \cdot \Delta T \quad (19)$$

$$Q = h \cdot A \cdot (\Delta T) \cdot \Delta t \quad (20)$$

Denklem 18 ile denklem 20 birbirine eşitlenir ise,

$$\frac{\pi D^3}{12} (c_2 - c_1) h_{fg} \cdot \rho_{ağda} = h \frac{\pi D^2}{2} (\Delta T) \Delta t \quad (21)$$

$$\frac{D}{6} (c_2 - c_1) h_{fg} \rho_{ağda} = h (\Delta T) \Delta t \quad (22)$$

$$\Delta t = \frac{D (c_2 - c_1) h_{fg} \rho_{ağda}}{6 h (\Delta T)} \quad (23)$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot m_{ağda}}{\rho \pi}} \quad (24)$$

Denklem 24, denklem 23'te yerine yazılırsa işlem süresi aşağıdaki gibi elde edilir.

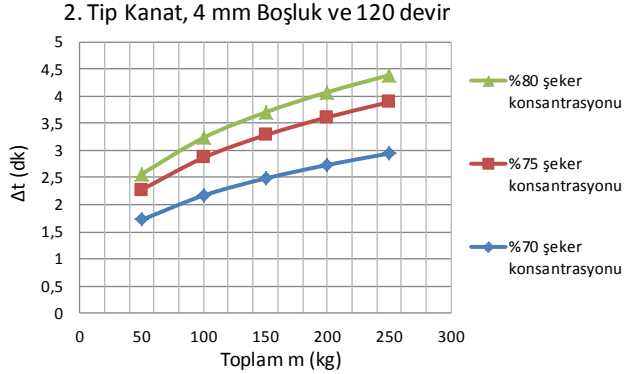
$$\Delta t = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot m_{ağda}}{\rho_{ağda} \pi}} \cdot \frac{(c_2 - c_1) h_{fg} \rho_{ağda}}{6 h (\Delta T)} \quad (25)$$

Burada, kaynama ısı geçiş katsayısı $h = f$ (konsantrasyon, devir sayısı, kanat tipi, boşluk)'dir. Başka bir deyişle kaynama ısı transfer katsayısı, konsantrasyona bağlı bir fonksiyon olup deneysel sonuçlar ve tartışma başlığının altında verilen grafiklerden istenilen konsantrasyon, kanat tipi, boşluk ve devir sayısı için okunabilmektedir. Şekil 14, 2. tip kanat, 120 devir ve 4 mm boşluklu deneysel verilerden faydalanılarak her bir konsantrasyon seviyesinde (% 70-75-80) sadece % 1'lik şeker konsantrasyonu değişimi için verilmiştir.

5. SONUÇLAR

Şekerli su çözeltilerinde kaynama sırasında ısı transfer katsayısı şeker konsantrasyonuna ve doyma sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Karıştırıcının olmadığı durumda ısı geçiş yüzeyinde oluşan kabarcıkların yüzeyden ayrılıp yükselmeleri esnasında sıvı fazının hareketlenmesiyle doğal bir karışmanın olduğu bilinmektedir. Çözelti mekanik bir karıştırıcı ile karıştırıldığında ısı geçiş hızı bilinen veya hesaplanabilen bir değerden başlayarak, karıştırıcı devir sayısına bağlı olarak artmaktadır. Devir sayısı arttıkça ısı

geçiş hızı artarken konsantrasyon arttıkça ısı geçiş hızı düşmektedir.



Şekil 14 Yarım Küre Tabanlı Tank için "Kapasite-Zaman Grafiği"

Genel olarak kanat boyutunun önemli bir etkisinin olmadığı ve özellikle de yüksek şeker konsantrasyonlarında etkisiz olduğu görülmüştür. Düşük konsantrasyonlarda ise en yüksek ısı geçiş hızı 12 mm boşluk için 3. tip kanatta, 4 mm boşluk için 2. tip kanatta olduğu görülmektedir. Bütün kanat tiplerinde ve her iki boşluk içinde geçerli olmak üzere devir sayısı arttıkça ısı geçiş hızı da artmıştır. Kanat ile taban arasındaki boşluğun küçük olduğu durumda yüksek devir ve yüksek konsantrasyonda daha iyi ısı geçiş hızı elde edilmiştir. Kanat ile taban arasındaki boşluğun fazla olduğu durumda ise düşük devir ve düşük konsantrasyonlarda daha iyi ısı geçiş hızı elde edilmiştir. Özellikle gıda sektöründe ağda, başka bir deyişle şeker şerbeti hammadde olarak oldukça fazla kullanılmaktadır. Şerbetli ürünlerin imalatında kullanılan karıştırıcı tanklarda ise taban-kanat arasındaki boşluğun minimum olmasına özen gösterilmelidir. Aksi halde azalan ısı geçiş hızı yüzeye temas eden ve yer değiştiremeyen sınır tabakadaki sıcaklık artışına neden olarak, önce karamelleşmeye daha sonra da şekerin kimyasal yapısının bozulmasına (şekerin yanmasına) neden olmaktadır.

Özetlenecek olursa; şerbet, pekmez, bal gibi viskozitesi yüksek şekerli sıvıların ısıtılması veya kaynatılmasında kanat ile yüzey tabanı arasındaki boşluğun minimum değerinde, devir sayısının ise olabilecek en yüksek değerde olması en iyi ısı geçiş hızının elde edilmesini sağlamaktadır. Kaynatılacak ağda kütlesinin yarım küre tabanlı tanklarda zamandan bağımsız olarak arttırılamayacağı görülmüştür. Büyük kapasitelerde daha kısa sürede üretim yapmak için, daha büyük bir tank yapmak yerine toplamda aynı kapasiteye sahip daha küçük ancak çok sayıda ünite yapmanın gerektiği anlaşılmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (BAPK) tarafından 2010-50-02-012 numaralı proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Holven A.L., "Sucrose solutions: influence of pressure on boiling point elevation", *Ind Eng Chem*, 28 abr., 452-455, 1936.
- [2] Perez A.M, Macedo E.A., "A modified UNIFAC model for the calculation of thermodynamic properties of aqueous and non-aqueous solutions containing sugar", *Fluid Phase Equilib*, 139-474, 1997.
- [3] Triveni B., Vishwanadham B., Venkateshwar S., "Studies on heat transfer to Newtonian and non-Newtonian fluids in agitated vessel", *Heat and Mass Transfer*, 44, 1281-1288, 2008.
- [4] Lakghomi B., Kolahchian E., Jalali A., Ferhadi F., "Coil and Jacket's Effects on Internal Flow Behavior and Heat Transfer in Stirred Tanks", *World Academy of Science, Engineering and Technology* 24, 147-151, 2006.
- [5] Kawase Y., Hoshino M., Takahashi T., "Non Newtonian laminar boundary layer heat transfer in stirred tanks" *Heat and Mass Transfer*, n. 38, p. 679-686, 2002.
- [6] Kays W.M., Crawford M. E., Weigand B., "Convective heat and mass transfer", 4th edition, Boston: McGraw-Hill, 2005.
- [7] Rohsenow, W. M., "A method of correlating heat transfer data for surface boiling of liquids", *Trans ASME*, 74, 969-976, 1952.
- [8] Nukiyama, S., "The maximum and minimum values of heat Q transmitted from metal to boiling water under atmospheric pressure", *J Jpn Soc Mech Eng*, 37, 367-374, 1934.
- [9] Özdemir M., Pehlivan H., "Prediction of the boiling temperature and heat flux in sugar-water solutions under pool boiling conditions", *Heat and Mass Transfer*, 44, 827-833, 2008.
- [10] Hahne E., Barthau G., "Heat transfer and nucleation in pool boiling" *International J Therm Sci*, n. 45, p. 209-216, 2006.
- [11] Kotthoff S, Gorenflo D., Danger E., Luke A., "Heat transfer and bubble formation in pool boiling: effect of basic surface modification for heat transfer enhancement", *Int J Therm Sci*, 45, 217-236, 2006.
- [12] Jeschar R., Alt R., Specht E., "Grundlagen der Wärmeübertragung", Goslar, 1990.