DİREKT BUHAR ENJEKSİYON SİSTEMİ TASARIMI VE YÜKSEK SICAKLIK UYGULAMALARININ BİLGİSAYARLI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ YÖNTEMİ İLE MODELLENMESİ

DESIGN OF A DIRECT STEAM INJECTION SYSTEM AND MODELLING OF THE HIGH TEMPERATURE APPLICATIONS USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

Ece Asena EKİNCİ

Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Ana Bilim Dalı, Ankara

ORCID NO: 0000-0003-1516-9098

Kurtuluş BORAN

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Ankara

ORCID NO: 0000-0003-0184-8233

ÖZET

Sanayinin birçok alanında olduğu gibi gıda endüstrisine birçok farklı tipte ısı değiştirici kullanılmaktadır. Özellikle gıda endüstrisinde kullanılan ısı değiştiricilerin son ürün kalitesine etkisi çok büyüktür. Ürün sıcaklığı ve ısı değiştirici tipinde olan küçük değişiklikler dahi son ürün kalitesini büyük ölçüde etkilemektedir. Son ürün kalitesi gıda proseslerinde ürün rengi, dokusu, tadı gibi önemli faktörlerde değişikliklere neden olabilmektedir. Bu nedenle gıda proseslerinde tasarlanan ısı değiştiricilerin ürün için özel olarak tasarlanması ve uygulanması gerekmektedir.

Bu çalışmada direkt buhar enjeksiyon sistemleri incelenmiş ve iki farklı ürünün aynı direkt buhar enjeksiyon sistemi ile yüksek sıcaklıkta işlenmesi için gerekli tasarım ve analizler yapılmıştır. Bu iki ürün için ortak olan üç farklı güvenlik katsayısı belirlenmiş olup, bu güvenlik katsayıları her bir ürünün buhar debisini belirlemek için kullanılmıştır. Başlanacak bir nokta olması açısından tasarım sıcaklıkları referans alınarak manuel olarak hesaplanan ilk değer, güvenlik katsayısı 1 olarak alınıp, bu güvenlik katsayısı ile yapılan analizler sonucuna göre ikinci bir güvenlik katsayısı belirlenmiştir. Bu güvenlik katsayısı ile yapılan analiz sonucunda üçüncü bir güvenlik katsayısı belirlenmiştir. Üçüncü güvenlik katsayısı ile analizler yapılmış ve bu analizler sonucunda elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır ve Ansys Fluent ile yapılan analizlerin sonuçları CFD Post ile incelenmiş ve iki ürün içinde gerekli güvenlik katsayıları belirlenmiş ve sıcaklık ve karışım profilleri açısından karşılaştırmalar yapılmıştır.

Sonuç olarak iki farklı ürün için güvenlik katsayılarının farklı olması gerektiği görülmüştür. Aynı sistem iki farklı ürünün ışıl işleme tabii tutulması için kullanılabilmektedir ancak buhar debisini belirlemek için kullanılacak güvenlik faktörünün ürüne özel olması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Direkt buhar enjeksiyonu, Sütlaç, Rekombine süt, Sterilizasyon, Pastörizasyon, UHT

ABSTRACT

As in most subjects of industry, different types of heat exchangers are used int food industry. Especially in food industry the heat exchangers used have strong impact on the end product quality. Even slight changes in product temperature or heat exchanger design can make a big difference in product quality. Product quality can be seen as product color, taste, and texture.

Because of this the heat exchanger used in food processes, need to be designed and executed specially to the product.

In this study direct steam injection systems are studied, and the necessary design and analysis were made for the processing of two different products at high temperature with the same direct steam injection system. For these two products three different safety factors have been selected and used for determining the steam flowrate for each product. As a starting point steam flowrate is calculated manually with design temperatures as reference and this steam flowrate was taken as the safety factor 1. As a result of this analysis, a second safety factor is selected and after the analysis of the second safety factor, a third safety factor is selected and analyzed, and three safety factors have been compared. Analysis were made by Ansys Fluent and examined in CFD Post and safety factors for both products were determined and examined and compared in regard to temperature and mix profiles.

As a result, it is seen that for two different products two different safety factors must be used. It is concluded that both products may be heat treated in the same system but the safety factor to which determine the steam flowrate must be individual to the product itself.

Keywords: Direct steam injection, Rice pudding, Recombined milk, Sterilization, Pasteurization, UHT

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Isı değiştiriciler gıda, kimya, otomotiv, enerji, HVAC gibi endüstrinin birçok farklı alanında kullanılmaktadır. Tüm bu alanlarda kullanılan ısı değiştiricilerin doğru tasarımı ve uygulaması özellikle yüksek sıcaklıklarda, enerji verimi açısından büyük önem arz etmektedir. Ayrıca özellikle gıda endüstrisinde ısı değiştiricilerin belirli sınırlar çerçevesinde tasarlanması ürün yapısının korunması için kritiktir. Gıda uygulamalarında, uygulanan ısıl işlemler ile ürün kalitesi, ürünün raf ömrü, rengi, kokusu, katı madde oranı gibi parametreler değiştirilebilir. Bu değişimler iyi tasarlanmış ısı değiştiriciler kullanıldığında ürün kalitesini arttırmaya yönelik olurken, tasarımı hatalı olan bir ısı değiştiricide ürün kalitesinde düşüşlere neden olabilmektedir. Günümüzde, gıda endüstrisinde kullanılan ısı değiştiriciler ürün yapısına göre seçilmektedir. Mümkün olan birçok yerde contalı- plakalı ısı değiştiriciler kullanılmakta, yüksek viskoziteli ve hassas ürünlerde borulu ve sıyırıcılı yüzeyli ısı değiştiriciler tercih edilmektedir. Bunun yanında, gıda tesislerinde yardımcı hat adı verilen, soğutma suyu, buhar gibi tesislerin kullanımı için kullanılan plakalı- kaynaklı ve borulu tip ısı değiştiriciler bulunmaktadır. Bu ısı değiştiricilerin tasarımında sıcaklıkların ve basınçların dışında önem gösterilmesi gereken faktörler ile çok sık karşılaşılmamakta, ancak ürün için kullanılacak, içerisinden gıda maddelerinin geçeceği ısı değiştiricilerin, tesiste ürün ile temas eden tüm ekipmanlarda olduğu gibi hijyenik tasarımlı, tamamen boşaltılabilir, kör nokta içermeyen şekilde tasarlanması ve gıda ile temasa uygun malzemelerin kullanılması gereklidir. Direkt buhar enjeksiyon sistemleri endüstrinin diğer alanlarında kullanıldığı gibi, hijyenik tasarımlar yapılarak gıda sektöründe ürün ısıtılmasında da kullanılabilmektedir. Direkt buhar enjeksiyon sistemleri, içerisinden geçen akışkanın üzerine buhar enjeksiyonu yöntemi ile ürünün buhar ile karıştırılarak istenilen sıcaklığa yükseltilmesi için kullanılmaktadır.

Gıda sektöründe, ürün pastörizasyon sıcaklıkları yeni ürünler oluştukça yükselmiştir ve daha kısa sürelerde soğutma ihtiyacı duyulmuştur. Sıcaklıkların yükselip, sürelerin kısalması ile ultra yüksek sıcaklık uygulamaları (ultra-high-temperature, UHT) devreye girmektedir. UHT pastörizasyon uygulamalarında, ürün sıcaklığının hızlı bir şekilde istenilen sıcaklığa ulaşmasına ihtiyaç vardır ve bu ihtiyaç canlı buharın sürekli olarak ürün içine enjeksiyonu ile sağlanabilir.(Peterson & Jordan, y.y.) Bunun yanında, meyve suyu, meyve ve sebze püreleri,

süt gibi ürünler için pastörizasyon, sterilizasyon, enzim inaktivasyonu ve deodoriazsyon (koku alma) işlemlerinde, evaporatör uygulamalarında ürünü evaporatör öncesinde yüksek sıcaklıklara getirmek için de direkt buhar enjeksiyonu kullanılabilir. Direkt buhar enjeksiyonu, sıvı gıda ürünlerinin yanı sıra, yüksek yoğunluklu ve yüksek viskoziteli püre benzeri ürünlerin ısıtılması için de kullanılmaktadır. Bu tür uygulamalarda genellikle gıda proseslerinde kullanılan plakalı ve borulu eşanjörlerin kullanılması daha zordur. Plakalı eşanjörlerde özellikle katı parçacıklı ürünler tıkanmalara neden olurken, borulu eşanjörler de eşanjör içinde üretim sonunda kalan ürün miktarı daha fazladır. Direkt buhar enjeksiyonu bu avantajların yanı sıra, ürün yanmasını, yapışmasını ve karamelizasyonunu da engellemektedir. Bu avantaj son ürünün daha yüksek kaliteli olmasını sağlar. karamelizasyon ve yanmalar ürünün renk, koku ve tadında değişikliklere neden olmaktadır.(Lazar & Smith, y.y.)

Bu çalışmada, sütlaç ve rekombine sütün direkt buhar enjeksiyonu ile UHT sterilizasyonu için sistem tasarımı ve analizleri yapılmış ve farklı güvenlik katsayıları ile buhar debisinin bulunması için tasarımlar yapılmıştır.

MATERYAL VE METHOD (MATERIAL AND METHOD)

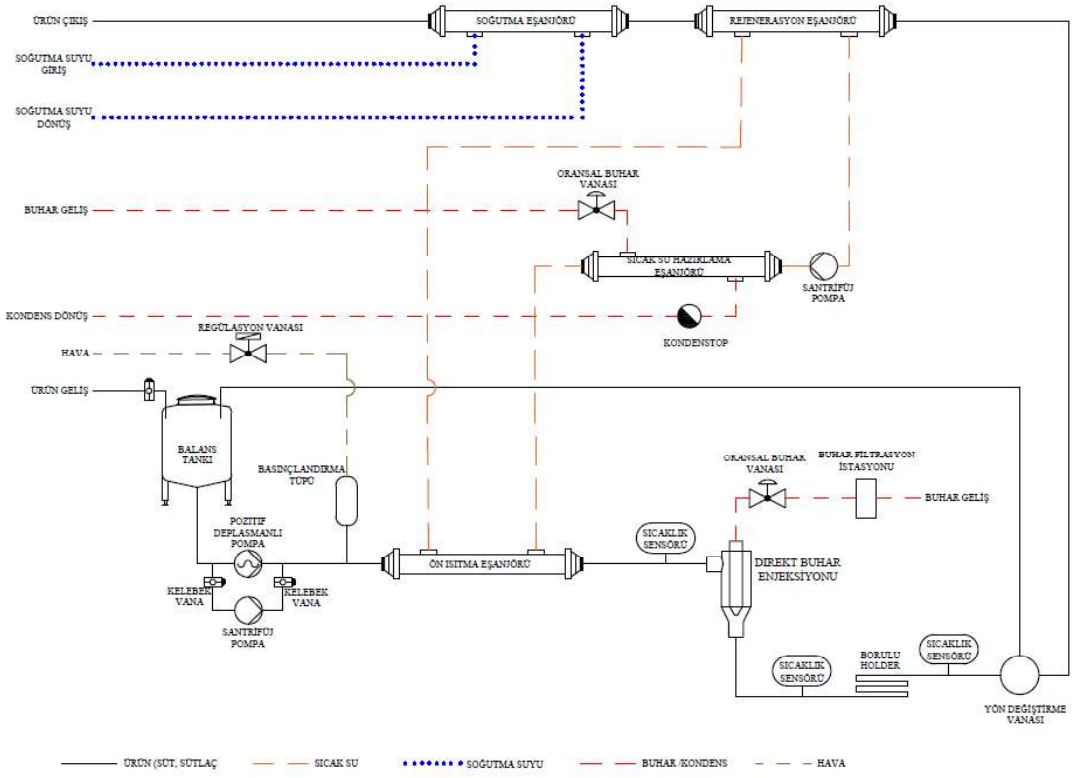
Direkt buhar enjeksiyon sistemini iki farklı ürün ile çalışabilecek şekilde tasarlanacaktır.

İlk ve ana ürün olarak sütlaç (pirinçli puding) seçilmiştir. Pişirilmesi için 122 °C sıcaklığa ısıtılması gereken bu ürün, içerisinde pirinç tanecikleri, nişasta ve şeker barındırması nedeni ile standart ısı değiştiriciler ve kazanlarda yapılması ürün yapısının, renginin ve tadının istenen şekilde olmasını zorlaştırmaktadır. Direkt buhar enjeksiyon sistemi ile ürünün daha az yanma ve yapışmaya maruz kalması ile, bölgesel sıcaklık artışlarının önlenmesi ve daha homojen bir ısınma gerçekleşmesi hedeflenmektedir.

İkinci ürün ise rekombine süt olarak düşünülmüştür. Rekombine süt, süt ve süt ürünleri kullanılarak üretilen hammaddelerin (yağlı süt tozu, yağsız süt tozu, süt kreması tuzsuz tereyağı) su ile birleştirilmesi ile elde edilir. Sonuç olarak yüksek kalitede ve besleyici süt ürünleri elde edilmektedir. Bu ürünler taze çiğ süt üretimin olmadığı ya da zor olduğu bölgelerde tercih edilmektedir. Sütün soğutulup soğuk olarak taşınamadığı bölgelerde süt tozu, tereyağı gibi ürünler ile taşıma kolaylaştırılır. Süt tozu ile suyun karıştırılması ve gerektiğinde süt yağı ilavesi ile elde edilen rekombine süt, içme sütü, yoğurt, çeşitli yumuşak ve sert peynirlerin yapımı, hazır kek, bisküvi üretimi gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Dünyanın bazı kısımlarında maliyetlerin düşürülmesi için, bitkisel kaynaklı yağlar gibi katkı maddeleri de kullanılarak meyve suyu karışımları, proteinli içecekler, bebek mamaları gibi ürünlerde de rekombine süt kullanılmakladır. (Tong, 2004)

Direkt buhar enjeksiyon sisteminin içerisine giriş ve çıkışları arasındaki sıcaklık farkının yüksek olmaması ve ürünün sterilizasyon öncesinde homojenize edilebilme opsiyonunun bulunması için her iki ürüne ön ısıtma yapılmalıdır. Ürüne yapılacak ön ısıtma için kullanılacak eşanjörler, iki ürün arasındaki viskozite farkının yüksek olması nedeni ile borulu tip seçilmiştir. Ürün ön ısıtma sıcaklığı olarak 90°C seçilmiştir. Direkt buhar enjeksiyon sisteminden çıkan ürün, sütlaç için 122 °C sıcaklıkta 360 saniye, sterilize süt için ise 140°C sıcaklıkta 3 saniye bekletilecektir. Bu bekleme sonrasında ürünler borulu soğutma eşanjörleri ile soğutulacak ve doluma hazır hale gelecektir. Sistemde ürün güvenliği için direkt buhar enjeksiyon sistemi girişinde, çıkışında ve holder borusunun çıkışında sıcaklık transmitterleri eklenmiştir. Eğer ürün sıcaklığı herhangi bir noktada istenen değerden düşük ise, sterilize olmamış ürünün sterilize ürün ile karışmasını önlemek için sterilize olmamış ürünü geri gönderecek bir yön değiştirme vanası eklenmiştir. Direkt buhar enjeksiyon sisteminde ürün sıcaklıkları ürünün içerisinde bulunan en temel bileşen olan suyun kaynama sıcaklığından yüksek olduğu için

ürünün basınçlandırılması gerekmektedir. Ürün basıncını kaynama sıcaklığını işlem sıcaklığının üzerine çıkartacak kadar yükseltmek için bir basınçlandırma tüpü eklenmiştir.



Şekil 7 Direkt buhar enjeksiyon sisteminin proses ve enstrümantasyon diyaramı

ÜRÜN PARAMETRELERI

Çizelge 1 Ürün parametreleri

Ürün işleme adımı	Rekombine süt	Sütlaç
Ürün debisi	1000 l/sa	750 kg/sa
Ürün karışım sıcaklığı (°C)	20	20
Ön ısıtma çıkış sıcaklığı(°C)	90	82
Direkt buhar enjeksiyonu sonrası sıcaklık (°C)	140	122
Holder süresi (saniye)	4	360
Sistem ürün çıkış sıcaklığı (°C)	4	20
Ürün basıncı (bar)	4,5	4,5
Riskli sıcaklık limiti	145	132

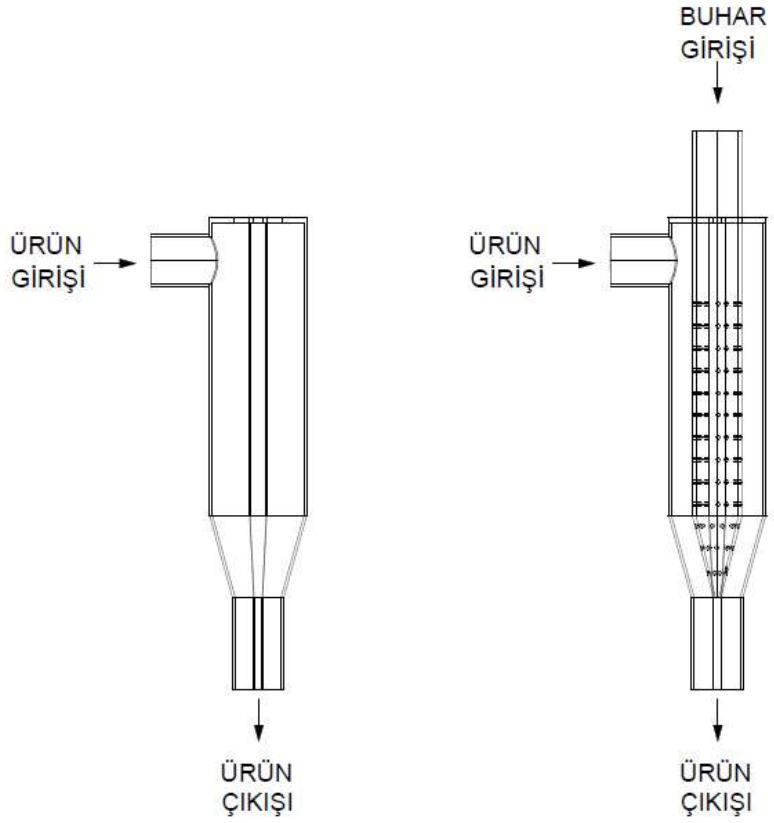
Isıtma için kullanılacak buharın basıncı, buhar hattı içerisine ürün kaçmasını önleyecek basınçta olmalıdır. Ürün basıncı 4.5 bar olduğundan, buhar basıncı bu basınçtan yüksek olmalıdır, ayrıca buhar sıcaklığının ürün sıcaklığından yüksek olması gereklidir. Bu neden ile buhar basıncı 6 bar olarak seçilmiştir.

Yapılan ön hesaplamalarda sütlaç ve rekombine süt için buhar debileri sırasıyla; 54,57kg/saat ve 93,29 kg/saat bulunmuştur. Buhar hatlarında ideal buhar hızı 25m/s olduğundan, buhar hat çapı 20 mm olarak hesaplanmış, EN ISO 1127 standardına göre iç çapı 22,9mm, dış çapı, 26,9

mm olan 3/4" boru seçilmiştir. Bu boruda 55-60 kg/h (rekombine süt için) buhar geçmesi durumunda ise hız 15m/s ye düşecektir.

Direkt buhar enjeksiyon sistemi üzerinde buhar enjeksiyonunu sağlayan deliklerin çapı 2 mm olacak, her bir deliğin geçirdiği buhar miktarı yaklaşık olarak 1 kg/sa olcaktır. Isıtma ve soğutma için gereken değerleri karşılamak için toplamda 95 adet delik olmalıdır.

Ürün borusu DIN 11850 normunda DN25 olarak hesaplanmıştır. Bu nedenle, direkt buhar enjeksiyon sisteminin dış kısmı buhar borusunu da içereceğinden dolayı DIN 11850 normunda DN50 olarak tasarlanmıştır.



Şekil 8 Ön tasarım sonrası direkt buhar enjeksiyon sistemi

DİREKT BUHAR ENJEKSİYON SİSTEMİ HAD ANALİZLERİ

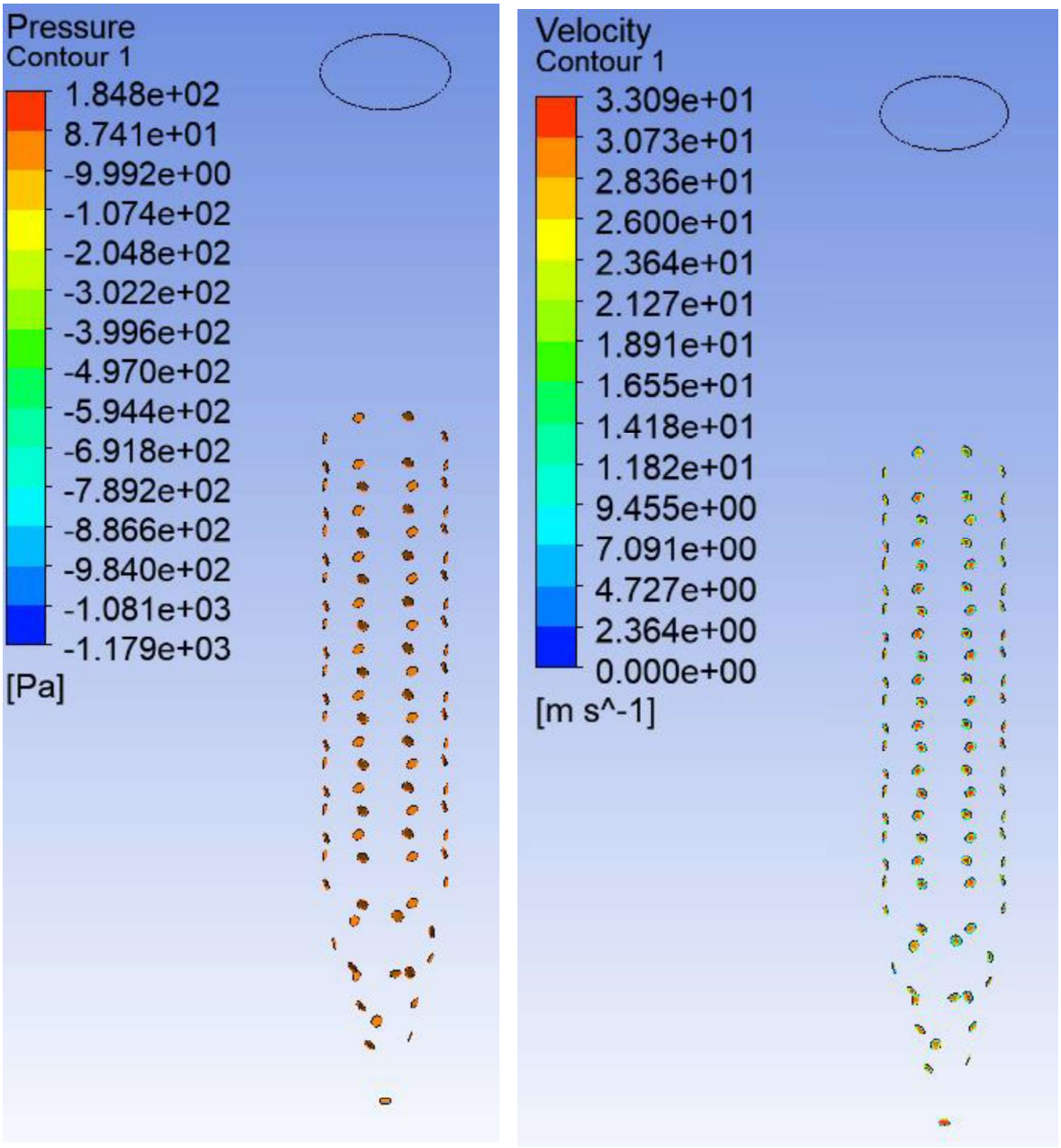
Direkt buhar enjeksiyon sisteminin HAD analizlerinin yapılabilmesi için sistem iki farklı parça olarak görülmelidir. Sistemin buhar hacmi ve ürün hacmi ayrı ayrı analiz edilecektir. Bu analizin iki parça olarak yapılmasının temel nedeni işlem gücünü azaltmaktır. Buhar hacmi, sistemin buhar girişinden başlanarak, ürün içerisine buhar karıştırıldığı deliklere kadar olan kısım buhar hacmi olarak analiz edilecek, bu analizde buhar enjeksiyon deliklerinin çıkış verileri alınarak, ürün analizinde buhar giriş verileri olarak kullanılacaktır.

Bu süreçte, yapılan ilk analizlerde direkt buhar enjeksiyon sisteminin ürün çıkışında bulunan borunun uzunluğunun karışım karakteristiklerini anlamak için yeterli uzunlukta olmadığı görülmüş ve uzatılmıştır. Buhar hacmi ve ürün hacimlerine ayrı ayrı mesh atılmıştır. Buhar hacmi için 17 896 061 adet mesh vardır ve bu meshler 8 860 632 adet node'a bağlıdır. Ürün hacmi için ise, 7 339 004 adet mesh bulunmaktadır ve bu meshler 1 300 588 adet node'a bağlıdır.

Buhar hacmi için çözüm, viskozite ve enerji denklemleri açılarak yapılmıştır. Çözüm zamana bağlı değil, steady olarak yapılmıştır. Buhar debileri rekombine süt ve sütlaç için farklı olduğundan dolayı, iki ürün için ayrı ayrı buhar analizleri yapılmış ve bu analizlerin başlangıç olarak güvenlik katsayısı 1 alınarak yapılması uygun görülmüştür. Daha sonra çıkan sonuçlara göre güvenlik katsayısı 1,15 alınarak bir analiz daha gerçekleştirilmiş ve bu analiz sonuçlarına göre 1,05 güvenlik katsayısı ile üçüncü bir analiz gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerin buhar giriş parametreleri aşağıdaki gibidir. (Çengel & Boles, 2008)

Çizelge 2 Buhar giriş parametreleri

Ürün	Güvenlik Katsayısı	Buhar Basıncı (bar)	Buhar hızı (m/s)
Rekombine süt	1	600 000	25
	1,05	600 000	26
	1,15	600 000	30
Sütlaç	1	600 000	15
	1,05	600 000	16
	1,15	600 000	17



Şekil 9 Sütlaç için 1,05 güvenlik katsayısı ile yapılmış hesaplamanın hız ve basınç kontürleri

Çizelge 3 Buhar çözüm sonuçları (CDF Post üzerinden alınan sonuçların ortalama değerleridir.)

Ürün	Güvenlik katsayısı	Buhar çıkış basıncı (pascal)	Buhar çıkış hızı (m/s)
Rekombine süt	1	75	48
	1,05	80	50
	1,15	270	60
Sütlaç	1	78	30
	1,05	85	30
	1,15	411	35

Yukarıdaki değerlerin ürün hacmi için yapılacak çözümde kullanılacaktır.

Ürün çözümü için enerji, viskozite ve multiphase denklemleri kullanılacaktır. multiphase denklemi içerisinde volume of fluid modeli seçilip, eulerian faz sayısı 3 olarak seçilerek fazlar için aşağıdaki tablodaki bilgiler girilecektir.

Çizelge 4 Rekombine süt için girilen olan ürün bilgileri (Hlaváč & Božiková, 2011)

Sıcaklık	Viskozite	Özgül ısı	Isıl iletkenlik	Yoğunluk	Hız
°C	cP	kJ/(kg·K)	W/(m·K)	kg/m³	m/s
90	0,44253	3,976	0,61375	978,75	1,8

Çizelge 5 Sütlaç için girilen olan ürün bilgileri(Kadam & Datta, 2015)

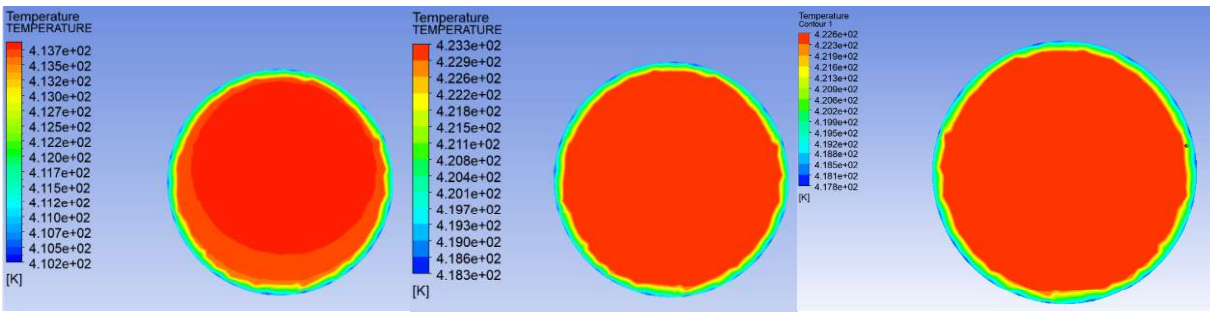
Sıcaklık	Viskozite	Özgül ısı	Isıl iletkenlik	Yoğunluk	Hız
°C	cP	kJ/(kg·K)	W/(m·K)	kg/m³	m/s
82	214,0	3,7939	0,5925	1,080	0,6

ANALİZ SONUÇLARI

Analiz sonuçları Ansys Fluent içerisindeki CFD post modülü ile incelenecek ve raporlanacaktır. Buhar için elde edilen sonuçlar ürün için yapılan hesaplamalarda kullanıldığı için bu bölümde incelenmemiştir.

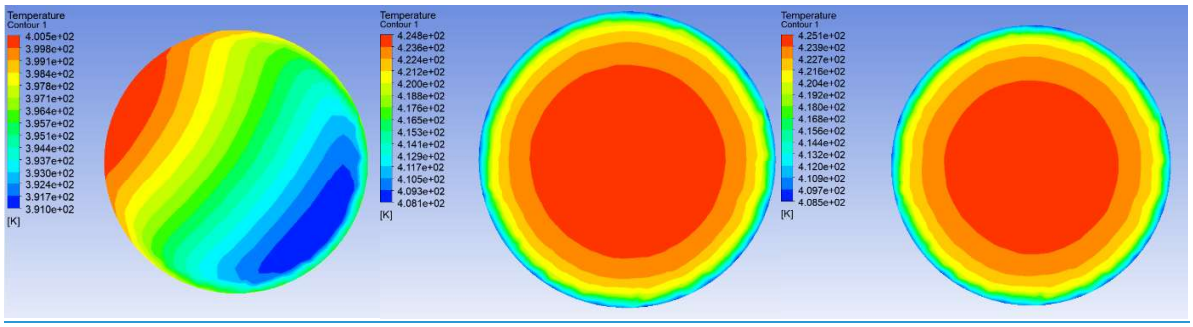
Çizelge 6 Rekombine süt ve Sütlaç için farklı güvenlik katsayılarında ürün çıkış sıcaklıkları

Ürün	Güvenlik Katsayısı	Ürün çıkış sıcaklığı (°C)
Rekombine Süt	1	140,5
	1,15	156,3
	1,05	149,3
Sütlaç	1	128
	1,15	150
	1,05	148



Şekil 10 Rekombine süt sıcaklık kontürleri sırasıyla güvenlik katsayısı 1-1,15-1,05

Analizlerin sonucunda, analiz sonuçlarında görüldüğü gibi, güvenlik katsayısı 1 seçildiğinde, ürün çıkış sıcaklığı istenilen sterilizasyon sıcaklığının üzerindedir ancak sıcaklığın sterilizasyon sıcaklığına çok yakın olduğundan dolayı holder ve holdere giden borulamada olan ısı kayıpları nedeni ile holder çıkışında istenilen sıcaklıktan daha düşük olması sterilizasyon şartlarının sağlanamaması anlamına gelmektedir. Buhar güvenlik katsayısı 1,15 yapıldığında, ürün çıkış sıcaklığı riskli sıcaklık limitinin üzerinde olması nedeni ile ürün içerisindeki protein denatürasyonunun artması ve ürün içerisindeki minerallerin ayrılmasının artması nedeni ile ürünün direkt buhar enjeksiyon sistemi içerisinde yanma ve yapışmanın artmasına neden olacaktır. Bu durum, ürün sıcaklığının gerekenden yüksek sıcaklığa çıkması nedeni ile artan buhar tüketiminin yanı sıra, sistem içerisindeki kirlenmenin temizlenmesi için kullanılacak buhar ve kimyasal tüketimleri de artacaktır. Sıcaklığın bu kadar yükseltilmesi gerekli değildir. Güvenlik katsayısı 1,05 olarak yapılan analizde ise ürün çıkış sıcaklığı riskli sıcaklık limitinin üzerindedir. Üç güvenlik katsayısı için de güvenlik katsayıları sıcaklık açısından uygun olmamasına rağmen üç güvenlik katsayısı için de karışım profilleri uygundur.



Şekil 11 Sütlaç sıcaklık kontürleri sırasıyla güvenlik katsayıları 1-1,15-1,105

Sütlaç için analizlerin sonucunda görüldüğü gibi, güvenlik katsayısı 1 seçildiğinde, ürün ve buhar karışımının ortalama çıkış sıcaklığı 128 °C'dir. Ancak görüleceği üzere karışım profili düzgün değildir. Karışım profili incelendiğinde, ürünün giriş noktasından aşağı doğru aktığı ve boru yüzeyinden akmaya devam ederek borunun tamamını doldurmadan ilerlediği görülmektedir. Güvenlik katsayısı 1,15 olduğunda, ürün çıkış sıcaklığı ortalama 150 °C'dir. Bu sıcaklık sterilizasyon sıcaklığının üzerinde olmasına rağmen, riskli sıcaklık limitinin üzerinde olduğu için sıcaklık olarak uygun değildir. Ürün içerisinde bulunan nişasta nedeni ile sıcaklık yükselmesi ürün yapısında yanma yapışma ve karamelizasyonlara neden olacaktır, ürün yapısının bozulmasının yanı sıra, ürün kalıntılarının temizlenmesini zorlaştırıp temizleme kimyasalları ve buhar tüketiminin artması nedeni ile işletme maliyetlerinin yükselmesine neden olmaktadır. Bu analiz için karışım profili daha düzgündür. Güvenlik katsayısı 1,05 olduğunda ise ürün çıkış sıcaklığı ortalama 148 °C'dir. Bu sıcaklık yine riskli sıcaklık limitinin üzerinde olduğundan dolayı uygun değildir. Karışım profili ise güvenlik katsayısı 1 olan analize göre daha uygundur.

SONUÇ VE ÖNERILER

Bu çalışmada incelenen iki farklı ürün olan rekombine süt ve sütlaç için viskozite değerlerinin farklılığından dolayı, aynı ürün debileri, ürün basınçları buhar basınçları ve buhar debilerinin kullanılamayacağı çalışmanın başında belirtilmiş ve yapılan çözümler ile kanıtlanmıştır. Ancak bu çalışmaya başlandığında bilinmeyen ve analizler sonucunda ortaya çıkan olgu, bu derece farklı iki ürün için aynı buhar güvenlik katsayılarının kullanılması ürün açısından doğru

olmayacağıdır. Eğer aynı güvenlik sayıları ve buhar basınçları kullanılacak ise, sütlaç debisi değiştirilmelidir. Ayrıca karışım profilinin düzeltilebilmesi için çalışmalar yapılmalıdır.

Analiz sonuçlarından görüleceği üzere, rekombine süt için 1,05 güvenlik katsayısı ürün güvenliğinin arttırılması için doğru seçim olduğu halde, sütlaç için 1 güvenlik katsayısı daha doğru bir seçim olacaktır. Rekombine süt için 1,05 güvenlik katsayısı ile elde edilen ürün çıkış sıcaklığı riskli sıcaklık limitinin üzerindedir. Bu nedenle aslında bu çalışmada analizi yapılmayan 1 ile 1,05 arasında dördüncü bir güvenlik katsayısı belirlenip, (elde edilen analiz sonuçlarına göre, 1,025 dördüncü güvenlik katsayısı için doğru bir seçenek olabilir.) tekrar analizler yapılabilir.

Sütlaç için güvenlik katsayısının 1 olduğu durumun en doğru çıkmasının nedeni, ilk tasarım yapılırken hesaplanan buhar debisinin hesaplanması sırasında direkt buhar enjeksiyon sisteminin ürün işleme süreci başlamadan önce su ile devreye alınıp, buhar enjeksiyon yüzeyinin ısıtılmış olması ve buradan ürüne geçen ısının ilk tasarımda hesaplanmamış olması olabilir. Rekombine süt ve sütlaç arasında debi ve viskozite farkı olması nedeni ile rekombine sütün hızı sütlacın hızından yüksek olacaktır. Sütlaç debisinin daha düşük olması normal bir ısı değiştiricide, ısı transfer verimini olumsuz yönde etkileyecektir, ancak tasarım yapılırken buhar basıncı iki ürün için de aynı seçilmiştir. Buhar debileri ürüne göre hesaplanmış olduğundan ve ürünlerin kapasiteleri ve iki ürün için spesifik ısı değerleri çok yakın olduğundan, hesaplanan buhar debileri aynı boru hattı içerisindeki hızı çok fazla değiştirmemektedir. Daha büyük kapasiteli sistemlerde, sütlaç için yapılacak hesaplamalarda daha yüksek güvenlik katsayıları kullanılması gerekebilir.

Sütlaç için yapılan hesaplamada, ürün çıkışında buhar ve ürünün tam olarak karıştırılamadığı görülmektedir. Yüksek viskoziteli ürünlerde direkt buhar enjeksiyon sistemlerinde karışmanın sağlanabilmesi için daha yüksek hızda buhar kullanılabilir. Ancak bu buhar hızının sınırlanmış olması gerekir. Güvenlik katsaysı 1,15 seçildiğinde buhar hızı arttırılmış olmasına rağmen, karışım profili düzelmemiş, aksine daha çok ayrılma meydana gelmiştir. Direkt buhar enjeksiyon sistemi içerisinde ürünü baffle plakaları ya da daha yüksek kapasitelerdeki sistemler için motorize sıyırıcılar kullanılması ile bu durumun önüne geçilebilir.

Özet olarak, direkt buhar enjeksiyon sistemi ile ısıl işleme tabii tutulacak ürünler özenle seçilmeli ve bu ürünler için gerekli tasarım şartları dikkatlice belirlenmelidir. Bu şartlar sağlandığında, direkt buhar enjeksiyon sistemleri diğer ısıtma sistemlerine göre çok daha avantajlı olabilmektedir. Ancak tüm avantajlarına rağmen, sistem tasarımının yapılmasının zorluğu nedeni ile kullanımı sınırlı olabilecektir. Özellikle yüksek viskoziteli ve tanecikli ürünlerde akışın doğal olarak gerçekleşmesi zor olduğundan yönlendirme plakalarının kullanılması gerekebilir. Sistem için temiz buhar kullanılması gerekliliği, ürün içerisinde enjekte edilen buharın kondense dönüşmesi nedeni ile ürünün katı madde oranı değişecektir. Bu değişiklik ürün direkt buhar enjeksiyon sisteminden çıktıktan sonra vakum soğutma kullanılması gerekliliğini getirebilmektedir. Bütün bu dezavantajlara rağmen, karışım ile hazırlanan (rekombine) ürünlerde, karışımın daha yüksek konsantrasyonda hazırlanması, vakum soğutma gerekliliğini ortadan kaldırabilecektir. Direkt buhar enjeksiyon sistemlerinin avantajlarının kullanılabilmesi, iyi bir ön araştırma ve doğru bir tasarım ile mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

Çengel, Y., & Boles, M. A. (2008). *Termodinamik Mühendislik Yaklaşımıyla* (5. baskı). Güven Bilimsel.

Hlaváč, P., & Božiková, M. (2011). *Effect of temperature on milk rheologic and thermophysical properties Effect Of Temperature On Mılk Rheologıc And Thermophysıcal Propertıes Utıcaj*

Temp E Rture Mleka Na Reološke I Termofizı Č Ke Osobıne. *1821–4487*(15), 17–22.

Kadam, S., & Datta, A. K. (2015). Estimation of Thermal Properties and Heat Transfer Study during Continuous Processing of Rice in Milk. *Chemical Engineering Communications*, *202*(3), 345–355. https://doi.org/10.1080/00986445.2013.838161

Lazar, A. H. B. M. E., & Smith, T. W. G. S. (y.y.). *Rapid Heat Processing of Fluid Foods by Steam Injection*. https://doi.org/10.1021/ie50504a077

Peterson, R. D., & Jordan, W. K. (y.y.). Characteristics of Steam Injection Heating. I. Dispersion of Noncondensable Gases as Index to Downstream Flow Patterns. *Journal of Dairy Science*, *47*(4), 365–369. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(64)88667-7

Tong, P. S. (2004). *Recombined and Reconstituted Products*. *4*, 2401–2405.