



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makale

Gıda İşleme Proseslerinde İndüksiyon ile Isıtma Kullanımının Değerlendirilmesi

Can ÇİVİ^{a,*}, Tuncay YILMAZ^b, Anıl BAŞARAN^a

^a Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, TÜRKİYE

^b Gıda Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, TÜRKİYE *

Sorumlu yazarın e-posta adresi: can.civi@cbu.edu.tr

ÖZET

İndüktif ısıtma vasıtası ile ısı işleme uygulamaları, genel olarak makine imalat sektöründe ve metalürjik üretim yapan işletmelerde kullanılmaktadır. Gıda uygulamalarında indüksiyon kullanımı, endüstriyel olmayan çok sınırlı uygulamalardır. İndüksiyon, ısınmanın çok hızlı şekilde gerçekleştiği verimli bir ısınma yöntemidir. Pastörizasyon, sterilizasyon, kurutma, pişirme vs. gibi gıda ısı işleme uygulamalarına indüksiyonun entegre edilmesi ile, gıda işleme sisteminde, sıcak su, buhar gibi aracı akışkanların elde edilmesini ve sistemde kullanılmasını sağlayan ısı değiştirici kullanımına gerek kalmayacaktır. Bu durum, sistemin ilk yatırım ve işletme maliyetlerini düşürmenin yanı sıra fosil türevli yakıtlarının tüketilmesini ve bunların çevreye verdikleri zararı azaltacaktır. Bu çalışmada gıda işleme proseslerine entegre edilebilecek indüksiyon ile ısıtma uygulamaları, enerji verimliliği ve ilk yatırım maliyetleri göz önüne alınarak incelenmiştir. Sonuç olarak, gıda işleme uygulamalarında indüksiyon kullanımının, enerji ve ekserji verimliliği ve ilk yatırım maliyeti açısından mevcut uygulamalardan çok daha verimli olacağı önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: İndüktif Isıtma, Gıda İşleme Prosesleri, Enerji Verimliliği

Evaluation of Using Induction Heating in Food Processing

ABSTRACT

Heat treatment applications by means of inductive heating are generally used in machinery manufacturing sector and metallurgical manufacturing enterprises. Induction applications used in food industry is generally non-industrial and very limited applications. Induction is an efficient heating method in which heating takes place very quickly. By integrating induction into food heat treatment applications such as pasteurization, sterilization, drying, baking etc. , the food processing system will not require the use of heat exchangers to obtain and use heating fluids such as hot water and steam. This will reduce the initial investment and operating costs of the system, as well as reduce the consumption of fossil-derived fuels and reduce their environmental impacts. In this study, induction heating applications that can be integrated into food processing have been investigated taking into account energy efficiency and initial investment costs. Consequently, it was suggested that the use of induction in food processing applications will be more effective than available conventional applications in terms of energy and exergy efficiency and initial investment cost.

Keywords: Inductive Heating, Food Processing Applications, Energy Efficiency

I. GİRİŞ

Elektromanyetik indüksiyon, makine ve metalürji sektörlerinde, metal gibi iletken malzemeler için, metal işleme, kaynak, ergitme, ambalajlama, kütleme ve ısıl işlem uygulamalarında yaygın olarak kullanım alanı olan önemli bir ısıtma yöntemidir ve endüstriyel kullanım alanları, yöntemin getirdiği büyük avantajlardan dolayı hızlı bir gelişim içerisinde [1]. İndüksiyonla ısıtma işlemi, ısıyı iş parçasına aktaran çok çeşitli geleneksel işlemlerin aksine, ısının iş parçası içinde üretildiği bir yöntemdir. Ayrıca, ısıtmanın yeri, metal bileşen üzerindeki belirli bir alanla da sınırlanabilir. Yöntem; çevre dostu, güvenilir, otomasyona uygun ve enerji açısından oldukça verimli bir yöntemdir [2].

Termodinamik sistemlerde enerji tasarrufu oranını veya işlem performansını belirleyen verimlilik kavramı sıklıkla kullanılır. Genel olarak, bir mühendislik sistemi için verimlilik, istenen çıktının girdiye oranı olarak tanımlanır. Enerji ve ekserji verimliliği, enerji dönüşümü içeren veya içermeyen termodinamik sistemlerin değerlendirilmesinde ve verimliliğin artırılmasında kullanılır [3]. Ortak yaklaşımda, enerji verimliliği (birinci yasa tabanlı analiz) sistem verimliliğini tanımlamak için kullanılır ve bu yöntem enerjinin korunmasını ele alır. Her ne olursa olsun, bu yaklaşım geri dönüşümsüzlüğü göz ardı ederek her süreçte enerji kayıplarının tüm detaylarını dikkate almaz. Öte yandan, ekserji analizi (ikinci yasaya dayalı analiz), tersinmezliğin daha iyi anlaşılması için ayrıntı vermektedir [4], [5]. Ekserji, yararlı enerji demektir ve termodinamiğin ikinci yasasına dayanan enerji kalitesinin bir göstergesidir. Ekserji analizi temel olarak sistemden elde edilebilecek maksimum yararlı çalışma miktarı olarak tanımlanmaktadır [6]. Enerji verimliliği sadece aktarılan enerji miktarını dikkate alabilir ve genellikle yanıtıcı performans değerlendirmesine yol açabilir. Öte yandan, ekserji verimi, enerjinin yanı sıra nicelik kalitesini de dikkate alır ve termodinamik sistemin daha gerçekçi bir performans değerlendirmesi sağlar[7]. Bu nedenle, sistemin enerji ve ekserji verimliliğinin belirlenmesi, hem performans değerlendirmesi hem de maliyet etkin bir sistem oluşturulması için kritiktir. Enerji verimliliği yüksek olan indüksiyonla ısıtma yönteminin ekserji verimliliği konusunda ise çok az çalışma mevcuttur.

İndüksiyon Makine ve Metalürji sektöründe birçok çeşitli ısıl işlem uygulamasında kullanım alanı bulur. Çeşitli ısıl işlem uygulamalarına, makine ve metalürji sektörlerinde olduğu gibi, gıda endüstrisinde de yaygın olarak başvurulmaktadır. Gıda işlemede ısıl işlem uygulamaları, kimyasal yardımlar olmadan gıda maddelerinin özelliklerini değiştirmek ve raf ömrünü uzatmak için kullanılır. Buradaki ısıl işlemler, ham maddelere ve istenen ürünün nihai yapısına bağlıdır[8]. Gıda işleme en çok enerji gerektiren endüstrilerden biridir. Buhar ve sıcak hava, birçok gıda işlemi için ana ve geleneksel ısıtma kaynaklarıdır. Bununla birlikte, buhar kullanan proseslerin düşük enerji verimliliğine bağlı olarak, kızılötesi, ohmik ve mikrodalga ısıtma gibi diğer bazı ısıtma teknolojileri, son yıllarda dikkate değer bir araştırma konusu olmuştur [9].

Günümüzde gıdaların ısıl işlem uygulamalarında kullanılan mevcut sistemlerde, gıdaya ısı aktarımı plakalı, borulu, gövde borulu, gibi çok parçalı ısı değiştiriciler ile sağlanmaktadır [8]. Mevcut sistemlerde, gıda ürünleri, sıcak su ya da buhar gibi aracı akışkanlar kullanılarak doğrudan ya da dolaylı şekilde ısıl işlem sıcaklığına getirilir. Arzu edilen sıcaklıkta, belirlenen sürenin sağlanması için belirli bir süre bekletilir (holding), ardından soğutulur. Hali hazırda kullanılan tekniklerde, sıcak su ve/veya buhar gibi aracı akışkanların üretilmesi için yardımcı tesisler gerekmektedir. Prosese bağlı olarak, bu tesislerde pompa, elektrikli ısıtıcı, kazan gibi enerji tüketen ekipmanlar kullanılır. Bu durum, sistemin enerji tüketimini artırıcı yönde bir etki yapmaktadır. Başka bir deyişle, yüksek sıcaklıklı aracı akışkan gereksinimi hem kurulum hem de işletme maliyetlerini artırmaktadır. Aracı

akışkanın yüksek sıcaklık ve basınçta olması nedeniyle ortaya çıkan güvenlik riski mevcut sistemlerin dezavantajları arasındadır. Bu durum sistemlerin kullanıldığı ortamlarda iş güvenliği riskini arttırmaktadır. Bununla birlikte, gıda ısıl işlem uygulamaları yüksek hijyen gerektiren işlemlerdir. Mevcut sistemlerde kullanılan fazla sayıda ekipman, hijyenin sağlanmasını zorlaştırmakta ve sanitasyon maliyetlerini artırmaktadır. Ayrıca, mevcut sistemlerde ısıl işlem için üretilen yüksek sıcaklıklı ve basınçlı aracı akışkanlar, çevre kirliliği riski nedeniyle kullanım sonrasında soğutulmak zorundadır. Bu durum işletme maliyetlerini arttıran bir başka etkidir. Tüm bunların yanında mevcut sistemde buhar üretimi için fosil yakıt kullanılmakta ve yanma sonucu oluşan gazlar da hava kirliliğine sebep olmaktadır. Özellikle katı yakıt kullanımı sebebiyle oluşacak hava kirliliğini önemek için kurulması gereken baca gazı filtrasyon sistemleri de ek maliyet oluşturmaktadır.

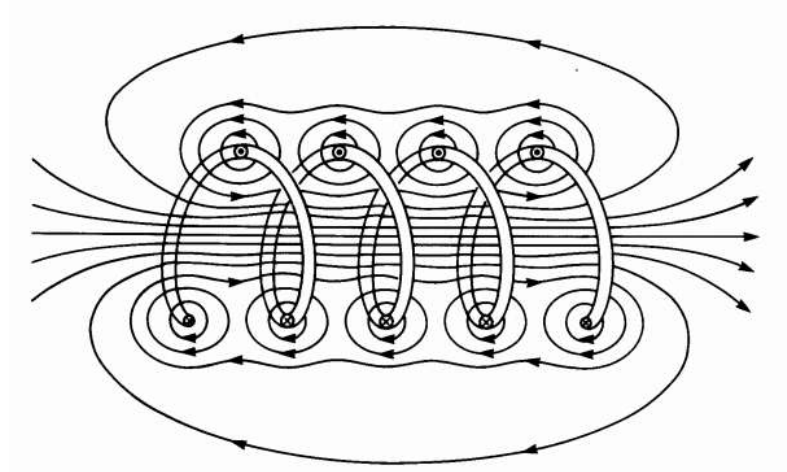
Bu çalışmada gıda endüstrisinde indüksiyon kullanımının mevcut durumu incelenmiştir. İndüksiyonun özellikle büyük ölçekli gıda işleme prosesleri göz önüne alınarak gıda sanayisine entegre edilebilirliği araştırılmıştır. İndüksiyonun gıda işleme proseslerinde ısıtma işleminde kullanılmasının getireceği yararlar ve bu konuda göz önüne alınması gereken faktörler ve ileride yapılması önerilen çalışmalar üzerinde fikir yürütülmüştür. Bu amaçla indüksiyon ile ısıtmanın prensipleri açıklanmış, gıda endüstrisinde kullanılan ısıl işlem uygulamaları üzerinde durularak, indüksiyon kullanımının sektördeki şu andaki durumu incelenmiş ve gelecek beklentileri üzerinde önerilerde bulunulmuştur.

II. İNDÜKSİYON İLE ISITMA

A. İNDÜKSİYON İLE ISITMANIN PRENSİPLERİ

İndüksiyon ile ısıtma, metalin içerisinde oluşan elektrik akımlarına dayanır. Oluşan elektrik akımları, numune üzerinde ısı oluşumuna neden olur. Bir indüksiyon sisteminin ana bileşenleri; indüksiyon bobini, alternatif akım sağlayan güç kaynağı ve iş parçasıdır. Bobinler alternatif akım üreten güç kaynağı ile bağlantılıdır ve ısıtılacak olan iş parçasının şekline göre biçimlendirilir. Bobin aracılığı ile alternatif akım geçişi, iş parçası üzerinde manyetik alan oluşturur. Bu da parçalar üzerinde Eddy (girdap) akımlarını tetikler. Bu akımların şiddeti yüzeyden uzaklaştıkça azalır. Bu nedenle indüksiyon, yüzey ısıtmada daha yaygın kullanım alanı bulur. Ancak ısı transferi ile ısı tüm malzemeye iletilebilir [1]. Isı transferi geleneksel yöntemle ısıtmaya göre 3000 kat daha iyidir [10]. Ayrıca bobin tasarımı veya frekansın doğru seçilmesi ile ısıtılan kesitin ve ısıtma hızının belirlenmesi ve artırılması mümkündür [1]. İndüksiyon ile ısıtmanın birçok ileri teknolojide yaygın olarak kullanılmasının önemli nedenleri bulunmaktadır. Özellikle son otuz yıl içerisinde indüksiyon ile ısıtmanın bu kadar önemli hale gelmesinin sebebi yöntemin güvenilir, tekrarlanabilir, temassız bir yöntem olması ile beraber önemli derecede zaman ve enerji tasarrufu sağlamasıdır [11].

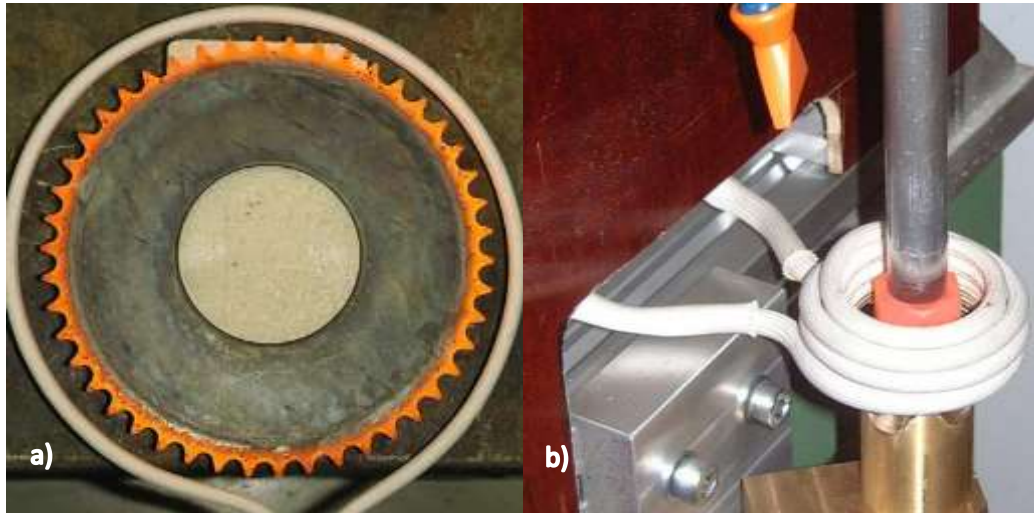
İndüksiyonla ısıtma iki mekanizmaya dayanır: bunlar Joule ısıtması ve manyetik histerezdir. Manyetik histerisiz, Joule ısınmasına göre daha az önemli bir faktör olduğundan çoğunlukla göz ardı edilir. Histerisiz'in basit açıklaması, manyetik alan altındaki moleküllerin titreşiminden meydana gelen enerjidir ve curie sıcaklığının altındaki çelikler gibi manyetik malzemelerde görülür. Joule ısınmasının sebebi ise, girdap akımlarının tam bir çevrim oluşturma isteğiyle malzemenin öz direnci vasıtası ile meydana gelen ısınmadır. Şekil 1'de elektrik akımı taşıyan bir bakır bobinin meydana getirdiği manyetik alan görülmektedir. Buradaki manyetik alan çizgileri vasıtası ile numune içerisinde girdap akımları oluşur. Bu akımlar numune üzerinde bir dirence ve dolayısıyla numunenin ısınmasına sebep olur.

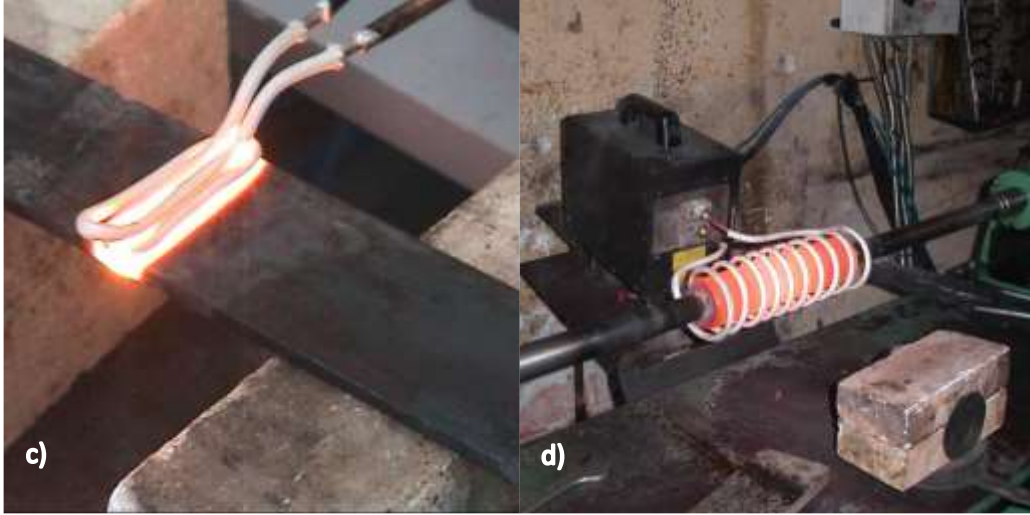


Şekil 1. İndüksiyonla Isıtmada Bobin Vasıtası ile Meydana Gelen Manyetik Akım Çizgileri [1].

İndüksiyon ile ısınmayı sağlayan en önemli olgu olan Joule ısınması ise Alüminyum, bakır ve Curie sıcaklığının üzerindeki çelikler gibi manyetik olmayan malzemelerde görülür. Yukarıda anlatılan bu iki mekanizma, skin effect olarak adlandırılan iletken kesitinde eşit olmayan akım dağılımı yoluyla ısıtma üretir. Gücün yaklaşık % 86'sı iletkenin yüzey tabakasında yoğunlaşarak oluşmaktadır. Bobin tasarımı ve indüksiyon akımının frekansı ile indüksiyon cihazının gücünün seçimi, ısınan kesitin ve ısınma hızının kontrolüne imkân vermektedir[1], [11-12].

İndüksiyon ile ısıtma, giriş kısmında da belirtildiği üzere; makine ve metalürji sektörlerinde oldukça yaygın kullanılan bir yöntemdir. Şekil 2'de bu yöntem vasıtası ile yapılan çeşitli işlemlere örnekler verilmiştir.





Şekil 2. İndüksiyon ile a) Dişli Çark Sertleştirme b) Sıkı Geçme c) Çelik Plaka Isıtma d) Çubuk Isıtma [13].

İndüksiyonla ısıtmanın, tıpkı kızılötesi, ohmik ve mikrodalga ısıtma gibi, gıda işlemede kullanılan geleneksel ısıtma kaynaklarına önemli bir alternatif olacağı düşünülmektedir. Tüm sektörlerde ısıl işlem uygulamalarında, enerji verimliliğinin ve yenilenebilir enerji kullanımının artırılmasının amaçlanması, yeni ve verimli ısıtma tekniklerine olan arayışı gün geçtikçe artırmaktadır. İndüksiyon yöntemi, yukarıda açıklanan özellikleri dolayısıyla bu tekniklerin en önemlilerinden biridir. Aşağıdaki kısımda gıda endüstrisinde genel olarak yer alan ısıl işlem uygulamaları irdelenmiştir.

B. GIDA ENDÜSTRİSİNDE ISIL İŞLEM UYGULAMALARI

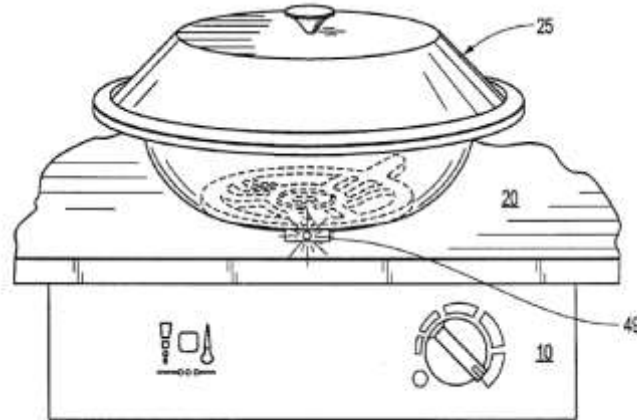
Gıda endüstrisinde, sterilizasyon, pastörizasyon, haşlama, pişirme, kurutma, buharlaştırma ve ısınlama gibi ısıl işlem uygulamaları mevcuttur. Kurutma ve buharlaştırma gibi termal uygulamalar gıdaların nem içeriğini kontrol etmek için kullanılırken, pastörizasyon ve sterilizasyon gibi termal uygulamalara ise gıdaların mikrobiyolojik bileşimini kontrol altında tutmak için başvurulur. Sterilizasyon, özel konteynirlardaki gıdaya, biyokimyasal ve mikrobiyolojik aktiviteleri kontrol etmek için 100 ° C'nin üzerinde uygulanan bir yüksek sıcaklık ısıl işlemidir ve oda sıcaklığında uzun raf ömrü sağlamak için, uygun zaman-sıcaklık kombinasyonda kesinlikle uygulanmalıdır. Gıda endüstrisinde, ısı, özellikle doğrudan aseptik işlem için direkt gıda üzerine uygulanabileceği gibi, ısı eşanjörleri ya da otoklavlar vasıtasıyla dolaylı olarak paketlenmiş gıdalara da uygulanabilir. Diğer bir yaygın yöntem ise, pastörizasyondur. Bu yöntemde, uygulanan sıcaklık, özellikle patojenik mikro organizmaları öldürmek için 60 ila 100 ° C arasında değişir ve yöntem sonrasında buzdolabı koşullarında nispeten daha kısa süreli raf ömürleri elde edilir. Haşlama, kimyasal reaksiyonları önlemek ve enzimatik ve mikrobiyolojik reaksiyonları kontrol etmek için, gıdanın, paketlenme, donma ve kurutma işlemlerinden hemen önce, kısa bir zaman aralığında 96° C'nin üzerine ısıtıldığı ve yapısının daha yumuşak hale geldiği bir ısıl işlemidir. Dehidrasyon, suyu gıdadan uzaklaştırmak için vakum seviyesinde 50 ° C'nin üzerinde sıcaklık gerektiren buharlaştırma kurutma işlemidir. Bu prosesler, gıdaları koruma, özelliklerini geliştirme ve yarı kurutulmuş gıdalar, konsantre meyve suları gibi pazar talepleriyle ilgili yeni ürünler üretmek için uygulanmaktadır. Kızılötesi ve mikrodalga olarak elektromanyetik radyasyon, gıdaların kurutulması ve korunması için ticari olarak kullanılmaktadır; diğer taraftan, gıdada herhangi bir ısı artışına neden olmaksızın, iyonlaştırıcı radyasyonun uygulanması ile gıdaların korunması da mümkündür [14-15].

Gıda endüstrisinde gıdaların ısıtılması ve soğutulması çok büyük oranda ısı değiştiriciler denilen elemanlar tarafından gerçekleştirilir. Bu amaçla plakalı, borulu, buhar infüzyonlu vb. ısı değiştirici türleri kullanılmaktadır [8]. Buradaki ekipmanlar, pahalı, ilk yatırım ve kullanma maliyetleri yüksek ve yüksek oranda hijyen gerektiren parçalardan oluşmaktadır. Gıdaların ısıl işleminde kullanılan cihazlar termal sistemlerdir ve son ürünü üretmek için enerji tüketirler. Bir mühendislik sisteminde düşük enerji tüketimi belirli bir çıktı için sistemlerin performansını artırır. Sistemin performansının artması nihai ürünün daha düşük maliyetlerde üretilmesini sağlar. Verimlilik, termal sistemlerin performanslarını iyileştirmek için ana kriterdir. Ayrıca verimliliğin yanında hijyenik tasarımlar da gıda endüstrisinin vazgeçilmez unsurudur [16-17].

C. GIDA ENDÜSTRİSİNDE İNDÜKSİYON KULLANIMI

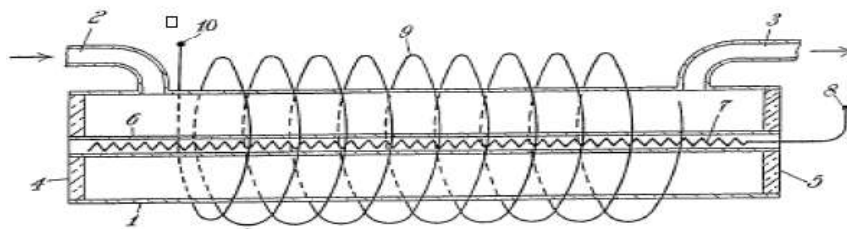
Gıda endüstrisinde indüksiyon kullanımı şu an için sınırlı seviyelerdedir ancak bu konuda son zamanlarda yapılan çalışmalar ve alınan çeşitli patentler mevcuttur. Literatüre bakıldığında da manyetik indüksiyon teknolojisinin kullanımı ile ilgili çok az sayıda çalışma bulunduğu görülmektedir. Bu çalışmaların belirli bir kısmı da indüksiyonla ısıtmadan çok, indüksiyon (eddy) akımını kullanarak numune özelliklerin test edilmesine odaklanmıştır [18]–[20].

İndüksiyonla ısıtma kısmında ise çok az sayıda bilimsel çalışma olmasına rağmen, gıda ısıtmada indüksiyon kullanımı ile ilgili birçok patent ve ticari fikir bulunmaktadır [21]–[30]. Bu ticari fikirlerin büyük çoğunluğunun küçük ölçekli ocak, sıcak su vb. ısıtma üniteleri olduğu görülmektedir. Örnek bir patent çizimi şekil 3’te görülmektedir.



şekil 3. Örnek Bir Patent izimi-İndüksiyonlu Yemek Isıtıcısı [23].

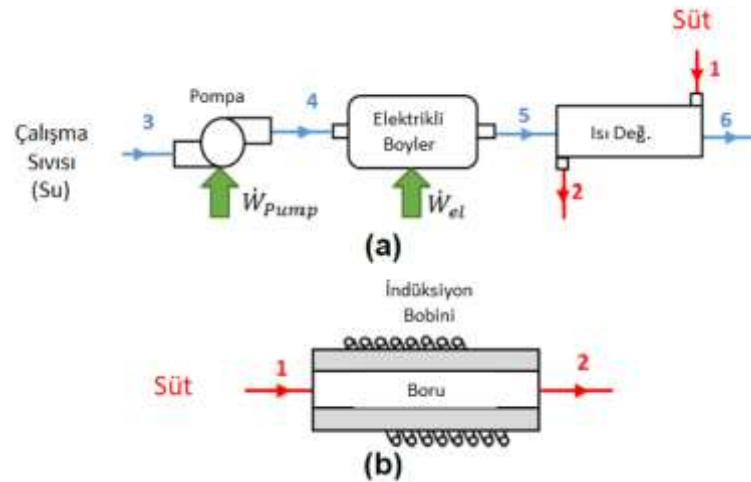
Ayrıca yukarıdaki patentlerden farklı olarak, indüksiyonun gıda işleme proseslerinde yer almasını içeren de az sayıda patent mevcuttur [31]–[33]. Bununla ilgili örnek bir patent çizimi de şekil 4’te yer almaktadır.



şekil 4. Örnek Bir Patent izimi- Süt Pastörizasyonu Yapan Cihaz [31].

Literatürde bulunan, İndüksiyonun gıda işleme proseslerinde ısıtma amaçlı kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde ise, karşımıza çıkan ilk çalışma bir derleme çalışmadır. Bu çalışmada indüksiyonun gıda endüstrisinde potansiyel olarak kurutma, sterilizasyon, pastörizasyon, kavurma gibi gıda işleme proseslerinde uygulanabileceği önerilmiştir. Çalışmada indüksiyonla ısıtma parametrelerinin gıda işleme proseslerine ve bu proseslerin performansı üzerine etkilerinin incelenmesi gerekliliği vurgulanmıştır. Uygulanan akım frekansı, ekipman materyali, ekipman boyutu ve konfigürasyonları, bobin şekli gibi farklı tasarımların ve işletme parametrelerinin, kurutma, pastörizasyon, sterilizasyon ve kavurma gibi farklı gıda prosesleri için optimize edilmesi gerekliliği belirtilmiştir. Ayrıca gelecekteki araştırmalarda indüksiyonla ısıtmanın sıcaklık profili ve işlem süresinin farklı gıda maddelerinin üzerindeki etkisinin araştırılması gerekliliği vurgulanmıştır ve mikrobiyolojik açıdan ve enerji verimliliği açısından indüksiyonun gıda üzerindeki etkilerinin incelenmesi gerekliliği belirtilmiştir [34].

İndüksiyonun gıda işleme proseslerine aktarılması ile ilgili ilk hesap yaklaşımı Başaran vd. tarafından gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada indüksiyonun, gıda işleme proseslerinde kullanılan ısı değiştiriciler yerine kullanımın enerji ve ekserji verimliliğine etkisi nümerik olarak analiz edilmiştir. Bu gaye ile bir salça pastörizasyon işleminin gerçek verileri kullanılmış, bu işlem esnasında geleneksel ısı değiştirici enerji ve ekserji verimliliği ile aynı işi yapmak için tasarlanan bir indüksiyonlu ısıtma sisteminin enerji ve ekserji verimliliği analiz edilmiştir. İndüksiyon sisteminde geleneksel ısı değiştiricilere göre çok yüksek oranda enerji ve ekserji verimliliği elde edileceği hesapla belirtilmiştir [35]. Yapılan bir diğer çalışmada ise [36] indüksiyon esaslı çalışan ve geleneksel ısı değiştirici sistemlerini içeren iki farklı süt pastörizasyon sisteminin enerji ve ekserji verimliliği teorik olarak incelenip karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada sütün 5°C 'den 75°C'ye ısıtılması ele alınmıştır. İndüksiyon ile ısıtma kullanılarak tasarlanan pastörizasyon sistemi bir önceki çalışmada anlatılan salça pastörizasyonu için tasarlanan sisteme benzer bir sistemdir. Her iki sistemi de ifade edebilecek taslak çizim Şekil 5'te görülmektedir. Yapılan çalışma sonucunda tasarlanan sistemin, boiler sistemine göre çok daha az enerji girdisiyle çalıştığı ve buna karşılık enerji ve ekserji verimliliği açısından çok daha yüksek değerlerin elde edilebileceği bulunmuştur.



Şekil 5. Süt Pastörizasyon Sisteminin Şematik Görüntüsü a) Elektrikli Boyler Sistemi, b) İndüksiyonlu Isıtıcı [36].

İndüksiyonun, çok büyük miktarlarda ve sürekli olarak üretimin gerçekleştirildiği gıda endüstrisinde gıda işleme proseslerinde kullanılması, ısıtmanın daha az enerjiyle ve az ekipmanla dolayısıyla daha az kurulum maliyeti ile, hızlı, daha düşük işletme giderleri ile, fuel oil- katı yakıt gibi çevre kirlenici

faktörler olmaksızın daha temiz gerçekleştirilmesine katkı sağlayacak nitelikte olduğu yapılan çalışmalarda da ortaya konmuştur ve bu konuda son zamanlarda başlatılan çalışmaların daha da ilerlemesi öngörülmektedir.

III. SONUÇ

Makine imalat ve metalürji sektöründe, düşük enerji tüketimi, hızlı işlem süresi, tekrarlanabilirlik, otomasyona uygunluk gibi sebeplerden yaygın kullanım alanı bulan indüksiyonla ısıtma işleminin, sürekli olarak büyük ölçeklerde üretimin gerçekleştiği gıda işleme uygulamalarına adaptasyonu, hem kurulum maliyetlerinde hem de işletme maliyetlerinde önemli ölçüde azalma sağlayacaktır. Şu aşamada gıda sektöründe, çeşitli su ve tencere ısıtıcıları gibi, endüstriyel olmayan çok sınırlı uygulama alanları bulabilen indüksiyon ile ısıtmanın yapılan çalışmalarda da gıda ısıl işlem uygulamalarında yüksek enerji ve ekserji verimliliğine sahip olduğu görülmüştür. İlerleyen alımlarda yöntemin pastörizasyon, sterilizasyon, kurutma, pişirme vs. gibi çok yüksek enerji tüketimi ve yüksek kurulum maliyetleri içeren gıda ısıl işlem uygulamalarına entegre edilmesi ile ayrıca, sıcak su, buhar gibi aracı akışkanların kullanım zorunluluğu ortadan kalkacak ve ısı değiştiricilere gereksinim kalmaksızın çok daha az ekipmanla aynı işi yapabilen, hijyen açısından kontrolü daha kolay sistemler ortaya çıkacaktır. Bu durum, sistemin ilk yatırım ve işletme maliyetlerini düşürmenin yanı sıra katı yakıt, fuel oil ve benzeri fosil türevli yakıtlarının tüketilmesini ve bunların çevreye verdikleri zararı da azaltacaktır. Maliyetin ve enerji açısından verimli sistemlerin önemli ölçüde değer kazandığı günümüzde, vazgeçilmez bir sektör olan gıda sektöründe de bu olguya sahip sistemlerin tasarlanmasının, hem işletmeleri enerji verimliliğine yönlendirmek hem de çevreye verilen zararları azaltmak adına önemli olduğu düşünülmektedir.

IV. KAYNAKLAR

- [1] S. L. Zinn, S. Semiatin, *Elements of Induction Heating Design, Control and Applications*. USA, ASM International, 1988.
- [2] B. Vairamohan, I. Bran, and G. M. De Bellefon, “What ’ s New in Electrotechnologies for Industrial Process Heating,” *Industrial Energy Efficient Technology Guide*, pp. 156–164, 2007.
- [3] M. Kanoglu, I. Dincer, and M. A. Rosen, “Understanding energy and exergy efficiencies for improved energy management in power plants,” *Energy Policy*, vol. 35, no. 7, pp. 3967–3978, 2007.
- [4] S. Akar, S. Rashidi, and J. A. Esfahani, “Second law of thermodynamic analysis for nanofluid turbulent flow around a rotating cylinder,” *Journal of Thermal Analyses and Calorimetry*, vol. 132, no. 2, pp. 1189–1200, 2017.
- [5] R. Prabakaran and D. Mohan Lal, “A novel exergy based charge optimisation for a mobile air conditioning system,” *Journal of Thermal Analyses and Calorimetry.*, vol. 132, no. 2, pp. 1241–1252, 2018.

- [6] A. K. Pandey, V. V. Tyagi, N. A. Rahim, S. C. Kaushik, and S. K. Tyagi, "Thermal performance evaluation of direct flow solar water heating system using exergetic approach," *Journal of Thermmal Analyses and Calorimetry*, vol. 121, no. 3, pp. 1365–1373, 2015.
- [7] A. K. Pandey, V. V. Tyagi, S. R. Park, and S. K. Tyagi, "Comparative experimental study of solar cookers using exergy analysis," *Journal of Thermmal Analyses and Calorimetry*, vol. 109, no. 1, pp. 425–431, 2012.
- [8] D. R. Singh, R. Paul; Heldman, *Introduction to Food Engineering 5th Edition*. USA, Gulf Professional Publishing, Elsevier, 2001.
- [9] Z. Pan, G.G. ATUNGULU, *Infrared heating for food and agricultural processing*. CRC Press, 2010.
- [10] R. M. German, *Sintering theory and practice*. New York, USA, John Wiley & Sons, 1996.
- [11] E. Rapoport, Y. Plestivceva, *Optimal Control of Induction Heating Processes*. Florida, USA, CRC Press, 2010.
- [12] V. Rudnev, D. Loveless, R.L. Cook, *Handbook of induction heating (Manufacturing engineering and materials processing)*. New York, USA, Marcel Dekker Inc, 2002.
- [13] Ş. Sert, "İndüksiyon Isıl Yükleme İle Bir Çatlak Etrafında Olusan Gerilmelerin Modellenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Makine Eğitimi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2008.
- [14] E. Heldman, Dennis R., Daryl B. Lund, and Christina Sabliov, *Handbook of food engineering*. Florida, USA, CRC Press, 2006.
- [15] M. S. Rahman, *Handbook of Food Preservation*, Florida, USA, CRC Press, 2007.
- [16] S. D. Shah RK, *Fundamentals of Heat Exchanger Design*. New Jersey, USA, John Wiley & Sons, Inc, 2012.
- [17] T. C. Varzakas T, *Handbook of food processing Food Preservation*, Florida, USA, CRC Press, 2016.
- [18] C. Schivazappa, R. Virgili, N. Simoncini, S. Tiso, J. Álvarez, and J. M. Rodríguez, "Application of the magnetic induction technique for the non-destructive assessment of salt gain after the salting process of Parma ham," *Food Control*, vol. 80, pp. 92–98, 2017.
- [19] F. Euring, W. Russ, W. Wilke, and U. Grupa, "Development of an impedance measurement system for the detection of decay of apples," *Procedia Food Sci.*, vol. 1, pp. 1188–1194, 2011.
- [20] A. Barai, S. Watson, H. Griffiths, and R. Patz, "Magnetic induction spectroscopy: Non-contact measurement of the electrical conductivity spectra of biological samples," *Measurement Science and Technology*, vol. 23, no. 8, 2012.

- [21] T. Y. Miyuki T, Sadayuki M, Takayoshi N, Ryota A , H. K. Hayato Y and Kazuhiro K, "Induction cooking apparatus, combined cooking apparatus, and induction cooking system equipped with these. International Patent. No:Wo2017064804 (A1), 20.04.2017.
- [22] R. M., "Induction holding, warming, and cooking system having in-unit magnetic control. International Patent. No: Wo2017044150 (A1), 16.03.2017.
- [23] R. M. Warren GS, "Food warming device and system. International Patent. No: Us2009095736 (A1), .16.04.2009.
- [24] Arnel C., "Graphite composite cooking plat. International Patent. No: Au2015305776 (A1), 16.03.2017.
- [25] H. PC., "Mixer capable of high frequency induction heating. International Patent. No: Wo2017043875 (A1), 16.03.2017.
- [26] S. K. Hyunwoo P, Dongjae L, "Combination type cooker. International Patent. No: Wo2017034285 (A1), 02.03.2017.
- [27] E. L. U. Umali Ignacio R, Jr. Elmido Dennis U, "Multipurpose induction cooking utensil. International Patent. No: Ph12015000089 (A1), 10.03.2016.
- [28] J. X. Yangqi C, Zheng L, Jiansheng W, "Follow-up type induction cooker. International Patent. No: Cn106051845 (A)26.10.2016.
- [29] X. Y. Wei S, Song D, "Food cooking machine. International Patent. No: Cn205729177 (U), 30.11.2016.
- [30] Z. D. Zisheng L, "Electromagnetic induction type fries in shallow oil kitchen coil. International Patent. No: Cn204598350 (U), 26.08.2015.
- [31] Francis Edward Wilkinson, "Process and Apparatus for the Pasteurisation of Milk", UK Patent, GB713161, 1950.
- [32] H. C. V. N. Drew, "Induction heating of product tube method and apparatus US Patent, US2005287280 (A1) 29.12.2004
- [33] Tsuchiya Takuzo; Fang Jin-Liou; Rasmussen Glen, "Induction heating method for processing food material International Patent. No: US4265922, 30.01.1979.
- [34] H. M. El-Mashad and Z. Pan, "Application of Induction Heating in Food Processing and Cooking," Food Engineering Reviews, vol. 9, no. 2, pp. 82–90, 2017.
- [35] A. Başaran, T. Yılmaz, and C. Çivi, "Application of inductive forced heating as a new approach to food industry heat exchangers: A case study—Tomato paste pasteurization," Journal of Thermal Analyses and Calorimetry, pp:1-10, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7250-7>

[36] A. Başaran, T. Yılmaz, and C. Çivi, “Comparison of Conventional and Inductive Driven Milk Pasteurization Systems According to Energy and Exergy,” in 2.International Conference on Material Science and Technology in Cappadocia (IMSTEC 2017), Nevşehir, Turkey, 2017, pp. 256–260.