

Düşük Sıcaklıkta Gıda Kurutmak İçin Güneş Enerjisi Destekli Desisif Bir Kurutma Sisteminin Uygulanabilirliğinin Araştırılması

Ertaç HÜRDOĞAN
Önder KAŞKA
Tuncay YILMAZ
Orhan BÜYÜKALACA

ÖZET

Gıda kurutma, ısı ve kütle transferinin aynı anda gerçekleştiği karmaşık bir prosesir. Gıda kurutmasında amaç, kısa kurutma zamanlarında kurutulmuş kaliteli ürün elde edilmesidir ve bu amaca ulaşmak ise en iyi kurutma havası şartlarının eldesi ile mümkündür. Kurutma zamanı, kurutma havası sıcaklığının artması ile kışalmasına rağmen kurutulan gıda maddelerindeki renk ve tat değişimi, vitamin içeriğindeki değişim ve kurutulan üründeki yapısal bozukluklar (ısıl gerilmelerden kaynaklanan çatlaklar vb.) sıcaklık arttıkça daha fazla gerçekleşmektedir. Kurutulan gıda maddelerindeki bu değişimler düşük sıcaklıkta kurutma yapılarak önenebilir. Düşük sıcaklıkta kurutma ise kurutma süresinin uzamasına neden olmaktadır. Düşük sıcaklıkta gıda kurutması uygulamalarında uzun kurutma zamanlarını kısaltmak için kurutulacak ürün üzerine mümkün olduğunca kuru hava göndermek gerekir. Düşük sıcaklıkta kuru halde hava elde etmek ise hava içerisindeki nemin kurutma havasından uzaklaştırılması ile mümkün olur. Kurutma havasından nem alınabilmesi için nemli hava çığ noktası sıcaklığı altına kadar soğutulur ve havanın taşıdığı nemin yoğunlaşması sağlanır. Hava kurutmanın diğer bir yolu ise havanın nemini almak için nem alıcı (desikant) kimyasallar kullanılmasıdır. Bu çalışmada, düşük sıcaklıkta gıda kurutmak için yukarıda belirtilen iki nem alma işleminin aynı anda kullanıldığı bir sistem tasarlanmış ve uygulanabilirliği araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gıda Kurutma, Nem Alıcı Rotor, Isı Pompası, Güneş Enerjisi, Düşük Sıcaklık.

1. GİRİŞ

Gıdalar için kurutma, içerisindeki nemin değişik metotlarla alınarak, bozulmasına neden olan etkenlerin ortadan kaldırılması olarak tanımlanabilir. Başka bir ifade ile gıdadaki nemin uzaklaştırılması olarak tanımlanabilir. Bu işlem için uygun olan kurutma yöntemini seçmek günümüz enerji ve ekoloji dengeleri açısından oldukça önemli hale gelmiştir. Üründen buharlaştırılan birim miktardaki nem için harcanan enerji miktarı kurutma sistemlerinde enerji ekonomisi için önemlidir [1].

Abstract:

Food drying is a complicated process where simultaneous heat and mass transfer take place. The inlet air conditions play a crucial role in drying kinetics. To get high quality products in short drying time is the main aim in the drying of foods and it is possible to attain this objective through the achievement of best drying air conditions. Although drying time shortens with the increase in drying air temperature, end products' structural defects, such as colour, taste and vitamin content change, increase with the increase in drying air temperature (cracks due to thermal stresses, etc.). In the low temperature food drying applications, it is necessary to send air as dry as possible on the products to be dried. Water vapor in the air should be expelled to get low temperature dry air. Either the humid air is cooled below its dew point temperature or chemical desiccants are used to get rid of water vapor in the humid air. In this study, a system that include both dehumidification methods was designed for food drying at low temperature and also suitability of the system was investigated.

Key Words:

Food Drying, Desiccant Wheel, Heat Pump, Solar Energy, Low Temperature.

Makale

Güneş enerjisi ile gıda kurutma, farklı iklimlerde çoklukla kullanılan ucuz bir yöntemdir ve birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır [2-8]. Günümüzde birçok kurutma yöntemi arasında en sık kullanılanı, tabii kurutma olarak da isimlendirilen gün ışığında kurutmadır. Güneş enerjisi ile kurutma yapan birçok sistemde enerjiye para ödenmezken bu yöntemle kurutulan ürünlerin orijinal şeklini ve dokusunu (tekstür), taze iken sahip olduğu rengini ve vitamin içeriğini kaybetme eğilimi vardır. Ayrıca kurutma hızı hava şartlarına çok bağlı olması ve hava şartlarının değişiminin kontrol edilmesinin mümkün olması düzgün dağılımlı ürün kalitesinin önüne geçmektedir [9].

Kurutmada enerji tüketimi yoğun bir işlem olduğundan, etkin enerji kullanımına sahip kurutma süreçlerinin geliştirilmesi de önem arz etmektedir [10]. Bu amaçla geliştirilen sistemlerden biri de ısı pompalı kurutuculardır. Isı pompalı kurutucular genelde kapalı devre çalışan ve kurutucu egzoz havasının gizli ve duyulur ısısını sisteme kazandırmak suretiyle özgül enerji tüketimini düşüren sistemlerdir. Isı pompalı kurutucularda kurutma havası önce buharlaştırıcıda soğutulup sonra yoğuşturucuda ısıtıldığı için diğer kurutma sistemlerine göre göreceli olarak düşük sıcaklık kurutma işlemi olarak tanımlanabilir. Kurutma düşük sıcaklıklarda gerçekleştiği için kurutulan ürün kalitesi artarken, kurutucu çıkışındaki havanın enerjisi sisteme tekrar kazandırıldığından enerji sarfıyatı azalmaktadır [11].

Sigge ve ark. [12], yeşil dolmalık biberlerin kurutulmasına yönelik çalışmalarında, hava sıcaklığını sabit tutarak bağıl nemin, bağıl nemi sabit tutarak da hava sıcaklığının kurutma oranı üzerine olan etkisini incelemişlerdir. Sabit bağıl nemde sıcaklığın artması ve sabit sıcaklıkta bağıl nemin düşmesinin kurutma zamanının kısalmasına neden olduğu kaydedilmiştir.

Ondier ve ark. [13], pirincin düşük sıcaklık ve düşük bağıl neme sahip hava ile kurutulmasına yönelik bir çalışma yapmışlardır. Deney düzeneği bir hava şartlandırıcı bölümü ve bir de kurutma bölümünden oluşmaktadır. Hava, kurutucuya; 26 °C ve %19, %42, %65 bağıl nemlerde, 30 °C ve %21, %45, %67

bağıl nemlerde ve 34 °C ve %23, %47, %68 bağıl nemlerde gönderilmiştir. Yazarlar sonuçlara dayanarak, sabit sıcaklıkta düşük bağıl nemin kurutma zamanını oldukça düşürdüğü bundan dolayı düşük sıcaklık kurutma uygulamalarında mutlaka nem alma işleminin gerçekleştirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

Lee ve Kim [14], kurutma prosesi için kullandığı ısı pompası çevriminin simülasyonu ve kurutucu tasarım parametrelerinin elde edilmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Geliştirdikleri kutu tip ısı pompalı kurutucu ile kıyılmış turp kurutulması üzerinde performans araştırması yapılmıştır. Sistemde, kurutma havası önce ısı pompası buharlaştırıcısından daha sonra da yoğuşturucusundan geçirilerek şartlandırılmıştır. Isı pompalı kurutucu ile sıradan sıcak havalı kurutma sistemi performanslarını karşılaştırmışlardır. Isı pompalı kurutucuda kurutma süreleri 1,5 kat daha uzun çıkarken ısı pompalı kurutucunun oldukça iyi enerji tasarrufu sağladığı ve spesifik nem çekme oranının (specific moisture extraction rate, SMER) sıcak havalı kurutucuya göre yaklaşık 3 kat daha yüksek çıktığı belirtilmiştir. Sistem güneş enerjisi destekli olmaması, nem alıcı rotor kullanılmaması gibi noktalardan mevcut projede tasarlanan sistemden farklıdır.

Bu çalışma kapsamında tasarlanan kurutma sistemi, ısı pompasının gıda kurutulmasına yeni bir tarzda uygulanmasını içermektedir. Kurutma sisteminde, yukarıda belirtilen kurutma sistemlerinden farklı olarak ısı pompası yoğuşturucusu, desikant malzemenin rejenerasyonu için gerekli sıcak havanın temininde kullanılmaktadır. Tipik ısı pompalı kurutma sistemlerinde nispeten düşük sıcaklıkta kurutma yapılmaktadır. Kurutma sıcaklığı düşüldükçe kurutma zamanı artmaktadır. Ancak ısı pompası buharlaştırıcısında kurutma havasının neminin alınması, düşük sıcaklığın kurutma zamanına olan bu olumsuz etkisini azaltmaktadır. Tasarlanan kurutma sisteminde ise eklenen desikant nem alıcı rotor sayesinde kurutma havası nemi oldukça düşük seviyelere çekilerek kurutma zamanında kısalma ve ürün kalitesinde artış beklenmektedir.

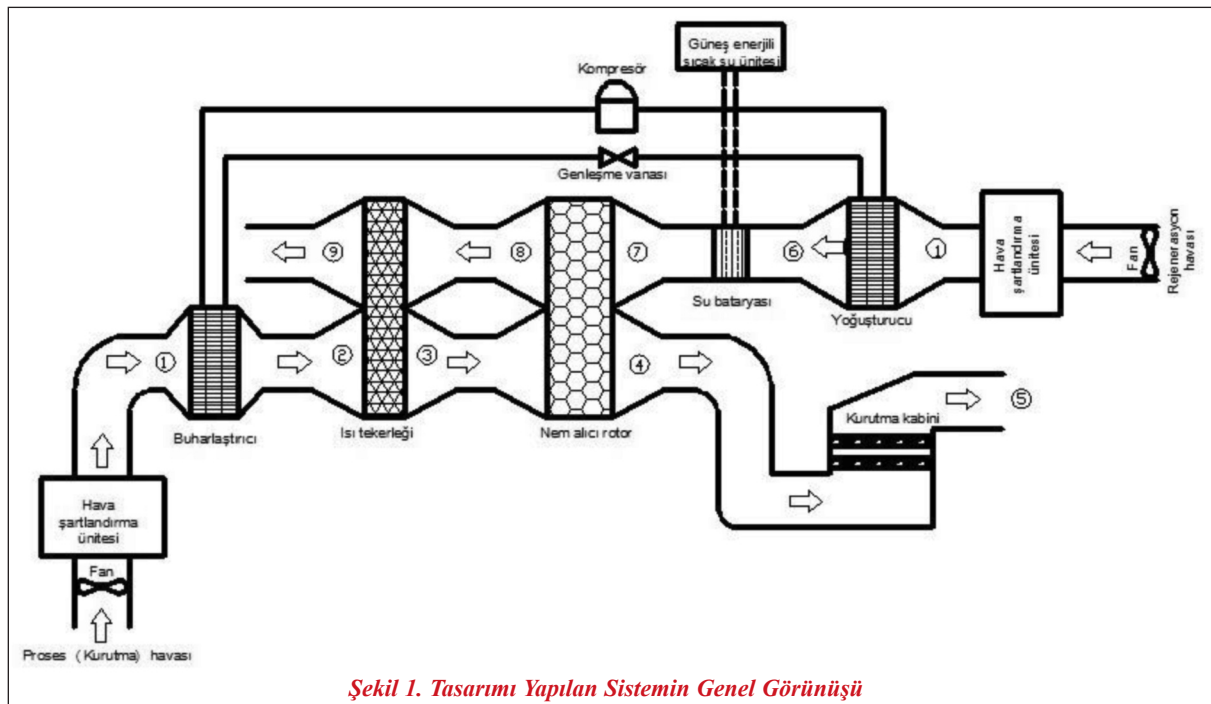
Kurutma ürünü olarak Osmaniye ili ve Çukurova bölgesinde yetiştirilen yer fıstığı seçilmiştir. Ülkemizde, toplam yer fıstığı üretiminin %85'i bu bölgede gerçekleşmektedir. Yer fıstığı kurutma sıcaklığına çok duyarlıdır. Kurutma sıcaklığı 35 °C üzerine çıktığı zaman iç fıstıkta çatlama ve tat değişimi meydana gelmektedir [15]. Amerika'da fıstık kurutma sıcaklığı dış hava sıcaklığı artı 8 °C ila 11 °C olarak ayarlanmaktadır. Dış hava sıcaklığı ne olursa olsun kurutma sıcaklığının üst limiti olarak 35 °C belirlenmiştir [16]. Dış hava sıcaklığının birkaç derece üzerine çıkılarak yapılan düşük sıcaklık kurutma işlemi yavaş gerçekleşen bir kurutma şeklidir. Kurutma hızını etkileyen faktörlerden biri olan sıcaklığın düşük olması kurutmanın yavaş gerçekleşmesinin başlıca nedenidir. Kurutma hızını etkileyen diğer bir parametre ise kurutma havasının nem miktarıdır. Kurutma havası nem miktarı azaldıkça kurutma hızı artmaktadır. Tasarlanan sistemle, düşük sıcaklıkta kurutma gerçekleştirilerek ısıl yıpranmalara maruz kalmamış kaliteli ürün elde etmekle birlikte düşük sıcaklıkta kurutma süreçlerinde gerçekleşen uzun kurutma sürelerini kısaltmak amaçlanmıştır.

2. SİSTEM TANITIMI

Şekil 1'de tasarımı yapılan sistemin genel görünüşü

verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi sistemde 2 hava kanalı (proses ve rejenerasyon) bulunmaktadır. Bu hava kanallarına sistemin amacına uygun olarak çeşitli ekipmanlar (nem alıcı rotor, buharlaştırıcı, yoğuşturucu, fan, kurutma kabini, ısı değiştiricisi) yerleştirilmiştir. Sistemde proses ve rejenerasyon havası olarak, dışarıdan alınıp şartlandırılan hava kullanılmaktadır. Dışarıdan alınan havanın şartlandırılmasının sebebi, farklı giriş havası şartlarının kurutma prosesi üzerine olan etkilerini araştırılabilme amacıyla kurutma havası sıcaklık ve nemini belli değerlerde tutmaktır.

Proses hava kanalına girerek şartlandırılan dış hava (1 noktası) öncelikle ısı pompasının buharlaştırıcısı üzerinden geçirilmektedir (1→2). Burada hem hava içerisindeki nem yoğuşturularak (üzerinden geçen havanın çiş noktası sıcaklığının altına kadar soğutma gerçekleştirilerek sağlanacaktır) daha kuru bir hava elde edilmekte, hem de sıcaklığı düşmektedir. Tasarımı yapılan sistem düşük sıcaklıkta kurutma için düşünülmüştür. Fakat aynı sistem tarafından daha yüksek sıcaklıklarda (40-60 °C) kurutma prosesinin yapılabilmesi için sisteme döner rejeneratif (ısı tekerleği) tip bir ısı değiştiricisi eklenmiştir. Bu ısı değiştiricisinde proses havası, nem alma ünitesinden



Şekil 1. Tasarımı Yapılan Sistemin Genel Görünüşü

Makale

çıkan ve hala yeterince yüksek bir sıcaklığa sahip olan atık rejenerasyon havası (8 noktası) kullanılarak ısıtılmaktadır. Dolayısıyla herhangi bir enerji girdisi olmadan proses havasını yüksek sıcaklıklara çıkarmak mümkün olabilecektir. Düşük sıcaklık kurutulmasında, döner tip bu ısı değiştiricisi çalıştırılmayacaktır.

Kuru hava daha sonra nem alıcı rotor üzerinden geçirilerek nemi daha da aşağılara düşürülmekte (3→4) ve kuru, ancak daha yüksek sıcaklıkta (<35 °C) hava elde edilmektedir (4 noktası). Aynı anda bir miktar sıcak hava (rejenerasyon havası) ters yönden nem alıcıya gönderilerek (7 noktası) proses havasından çekilen nem, nem alıcı rotor üzerinden uzaklaştırılmaktadır (7→8). Proses havası içerisindeki nemin alınması işlemi iki aşamada (buharlaştırıcı ve nem alıcı rotor) gerçekleştirilmektedir. Bunun iki ana sebebi şu şekilde açıklanabilir. Nem alıcı rotolarda, nem alma kapasitesini etkileyen en önemli parametrelerden biri rejenerasyon sıcaklığıdır. Rejenerasyon sıcaklığı, rotor üzerinde alınan nemin buharlaştırılarak tamamen uzaklaştırılabilmesi için gerekli olan hava sıcaklığıdır. Sadece nem alıcı rotor kullanarak gerekli nemin (8-10 gr su buharı/kg kuru hava) alınması yüksek rejenerasyon sıcaklıkları (100-140 °C) ile mümkün olabilmektedir. Her ne kadar sistemde güneş enerjisi kullanılacak olsa da yüksek sıcaklıkta bir atık ısı yok ise yüksek rejenerasyon sıcaklığının elde edilmesi çok zordur. Bu durumu engellemek için sistemde düşük rejenerasyon sıcaklıkları (60-80 °C) kullanılacaktır. Düşük rejenerasyon sıcaklığı daha az nem alınması anlamına geldiğinden kurutmanın gerçekleştirilmesi için gerekli çok düşük nem, ısı pompasının buharlaştırıcısı ile sağlanacaktır. Nem alıcı rotolarda, nem alma kapasitesini etkileyen bir diğer önemli parametre ise giriş havası şartlarıdır (nem ve sıcaklık). Aynı nem değeri için sıcaklığın düşmesi, nem alma kapasitesini artırmaktadır.

Nem alıcıdan 4 noktasında kuru bir şekilde çıkan hava, kurutma kabineye gönderilmekte ve ürün üzerindeki nem uzaklaştırılarak kurutma prosesi tamamlanmaktadır (5 noktası).

Döner nem alıcıda, proses havasından çekilen nemin

(3→4) uzaklaştırılması için sıcak rejenerasyon havası kullanılmaktadır. Rejenerasyon kanalına emilen dış hava, şartlandırıldıktan sonra (1 noktası) ısı pompasının yoğunlaştırıcısı üzerinden geçerek ısınmaktadır (1→6). Isınan hava daha sonra, nemi uzaklaştırmak için gerekli olan sıcaklığı sağlamak amacıyla bir sıcak su bataryası üzerinden geçirilerek ısıtılmaktadır (6→7). Burada kullanılan ısı değiştiricisinde dolaşan sıcak su, güneş enerjisinden yararlanılarak elde edilecektir (Şekil 2). Yılın daha uzun bir döneminde yüksek sıcaklıkta sıcak su üretimine imkân verdiği için vakum tüplü güneş kolektörlerinin kullanımını öngörülmüştür. Kolektörlerde ısıtılan su bir depoya getirilmekte, buradan da bir pompa vasıtasıyla, sıcak su bataryasına gönderilmektedir. Güneş enerjisinin yetmemesi durumunda, gerekli su sıcaklığını elde edebilmek için depo içerisine yerleştirilen elektrikli ısıtıcı devreye girecektir.

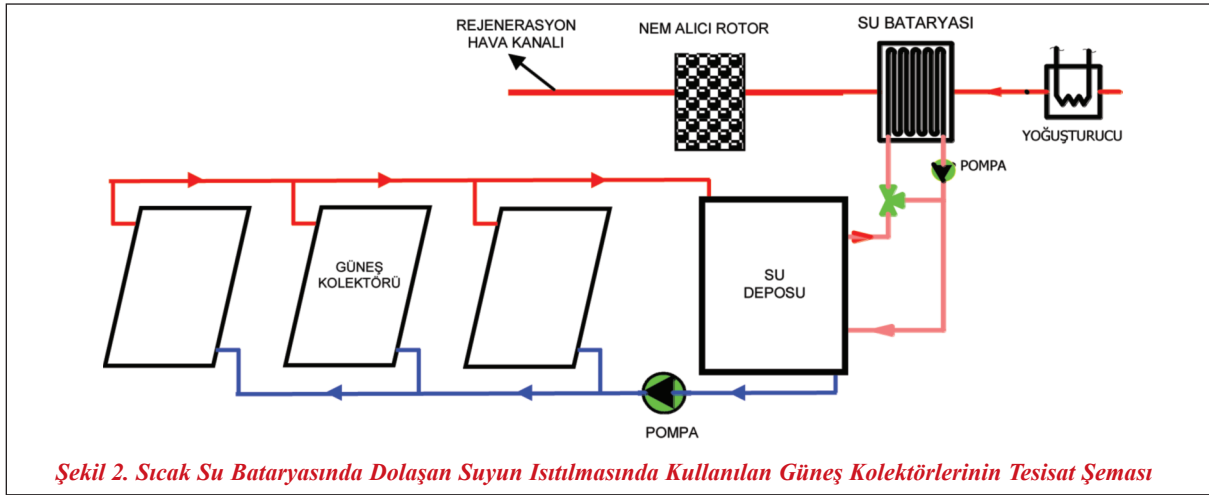
7 noktasında nem alma ünitesine giren rejenerasyon havası, nem alıcıdaki nemi üzerine alarak soğumakta (8) ve ısı tekeri üzerinden geçirilerek dışarı atılmaktadır (9 noktası).

3. SİSTEMİN DEĞERLENDİRİLMESİ

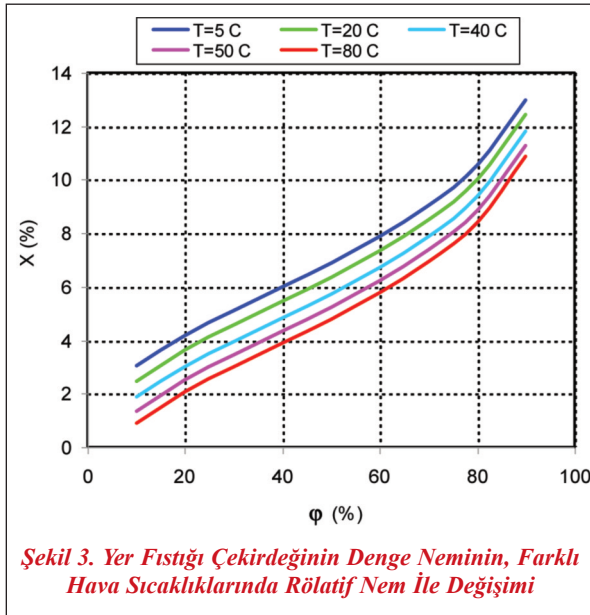
Kurutmada, nem sorpsiyon izoterm eğrileri (NSİE) çok önemlidir [17]. Bu çalışmada kurutulacak ürün olarak yer fıstığı kullanılması öngörülmüştür. İncelenecek olan yer fıstığı için nem sorpsiyon izoterm eğrileri Correa ve ark. [18] ve Chen [19] tarafından verilmiştir. Correa ve ark. [18] yer fıstığının çekirdek kısmı için en uygun modelin “Chung-Pfost” [20] modeli olduğunu belirtmişlerdir. Bu modele göre NSİE eğrileri için 20 °C - 65 °C sıcaklık ve %20-%80 rölatif nem değerleri için aşağıdaki eşitlik geçerlidir:

$$X=19.8681-3.2246 \ln[-(T+75.5245)*\ln\phi] \quad (1)$$

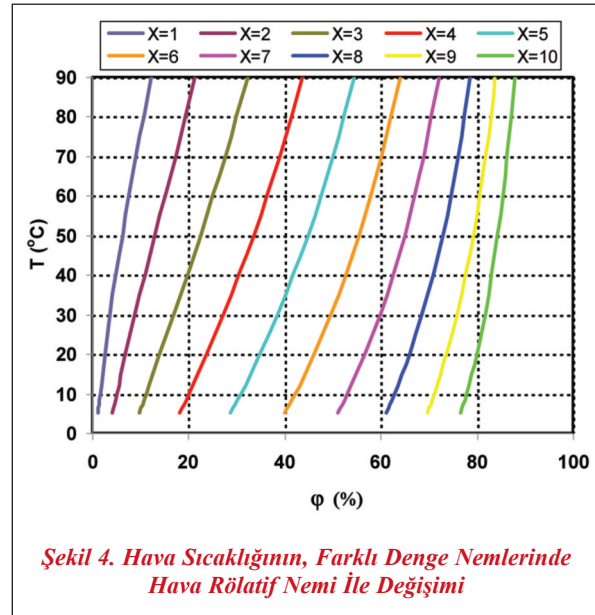
Bu eşitlikte X (%) kuru bazda yer fıstığı nem oranını, T (°C) sıcaklığı, ϕ 'de rölatif nemi göstermektedir. Şekil 3'te, bu eşitlik kullanılarak, yer fıstığı çekirdeği denge neminin, farklı hava sıcaklıklarında rölatif nem ile değişimi verilmiştir. Şekilden, denge neminin, rölatif nem düştükçe ve hava sıcaklığı arttıkça düştüğü açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 2. Sıcak Su Bataryasında Dolanışan Suyun Isıtılmasında Kullanılan Güneş Kolektörlerinin Tesisat Şeması



Şekil 3. Yer Fıstığı Çekirdeğinin Denge Neminin, Farklı Hava Sıcaklıklarında Rölatif Nem İle Değişimi



Şekil 4. Hava Sıcaklığının, Farklı Denge Nemlerinde Hava Rölatif Nemi İle Değişimi

Belirli hava sıcaklığı ve rölatif nem için denge nemi X, kurutma için önemli bir göstergedir. Şekil 4'de, sabit X değerleri için yukarıdaki eşitlik kullanılarak sıcaklık, rölatif nemin fonksiyonu olarak gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi düşük sıcaklık kurutucularında rölatif nem düşürülerek, yüksek sıcaklık ve rölatif nemdeki denge nemi elde edilebilmektedir. Bu çalışmada da nem, hem soğutma grubu buharlaştırıcısı hem de nem alıcı rotorda düşürülerek, düşük kurutma sıcaklıkları ile düşük denge nemi elde edilebilecektir.

Belirli bir hava hızında β kütle transferi katsayısı sabit kabul edilebilmektedir. ρ_a havanın yoğunluğu ve F fıstık yüzey alanını göstermek üzere ve 1.

kurutma bölgesinde kurutma yapıldığı varsayılarak;

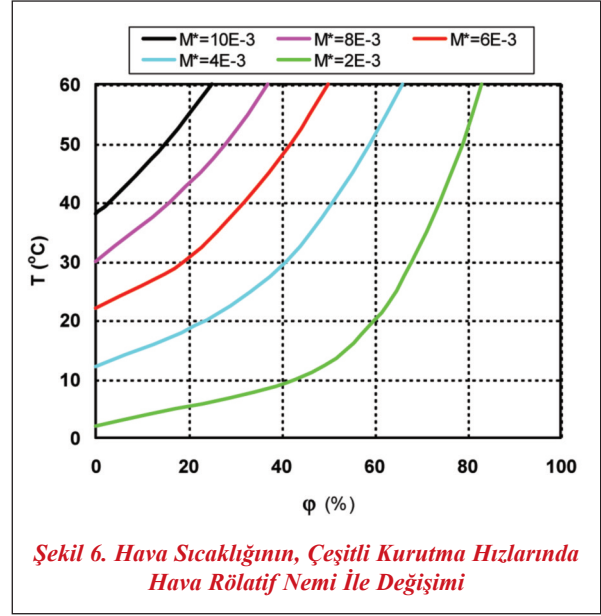
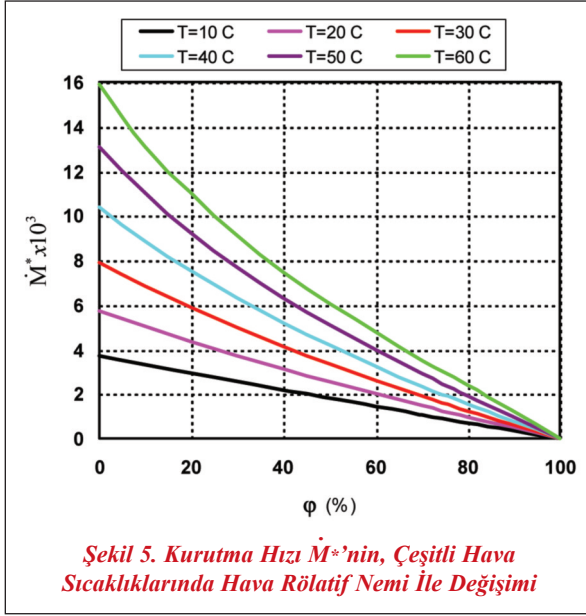
$$\dot{M}^* = X_w - X_{wy} \quad (2)$$

eşitliği yazılabilir. Burada X_w havanın mutlak nemi ve X_{wy} ise yaş termometre sıcaklığındaki doyma mutlak nemi olup, kurutma hızı \dot{M}^* 'da;

$$\dot{M}^* = \frac{\dot{M}_w}{\rho_a \cdot \beta \cdot F} \quad (3)$$

eşitliği ile tarif edilmiştir. Burada \dot{M}^* buharlaşan su buharı kütle debisini ifade etmektedir. Şekil 5'de çeşitli hava sıcaklıklarında kurutma hızı \dot{M}^* 'ın rölatif nem ile değişimi verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, kurutma hızı hava sıcaklığı ile artmakta,

Makale

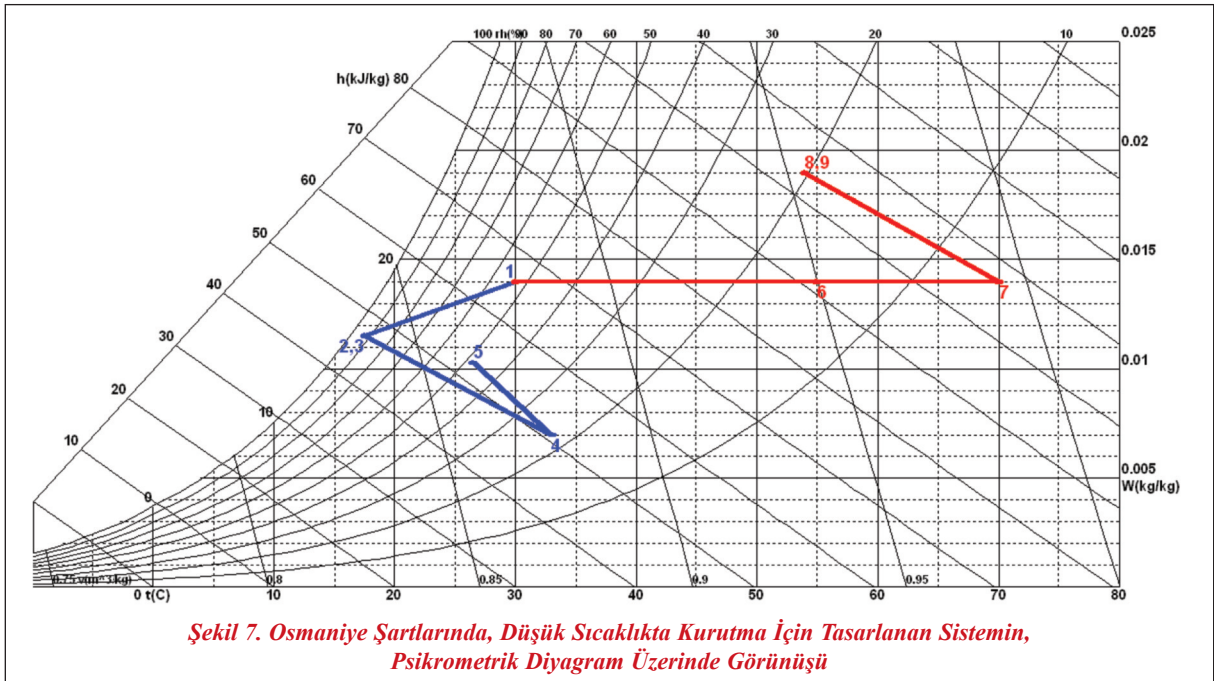


rölatif nem ile de düşmektedir. Şekil 6'da ise sabit kurutma hızları durumunda, hava sıcaklığı ve rölatif nem arasındaki ilişki gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, belirli bir kurutma hızı, yüksek sıcaklık ve belirli bir nemde elde edilirken, aynı kurutma hızı düşük sıcaklık ve düşük nem değerleri seçilerek de elde edilebilmektedir.

Yukarıda verilen değerlendirmelerden, düşük sıcaklık kurutucularında rölatif nem düşürülerek, yüksek

sıcaklık ve rölatif nemdeki denge neminin elde edilebileceği ayrıca belirli bir kurutma hızı, yüksek sıcaklık ve belirli bir nemde elde edilirken, aynı kurutma hızının düşük sıcaklık ve düşük nem değerleri seçilerek de elde edilebileceği anlaşılmaktadır.

Şekil 7'de, Osmaniye ili için yaz sezonundaki çalışma koşullarında, düşük sıcaklıkta kurutma için (ısı tekerleği çalışmıyor) tasarlanan sistem, psikrometrik diyagram üzerinde gösterilmiştir. Şekilden de görü-



düğü gibi iki aşamada nem alma işlemi gerçekleştirilerek (1→4) düşük nem değerlerinde kurutma havası elde edilebilmektedir. Bu durum yukarıda da açıklandığı gibi hem kurutma zamanını kısaltabilmekte, hem de kaliteli ürün elde edilmesini sağlayabilmektedir.

SONUÇ

Gıda kurutulmasında veya tohum ıslahında gıdaların ve tohumlarının nem içeriğinin belirli bir oranın altına düşürülmesi gerekmektedir. Gıdaların, kurutma esnasında renginin, tadının, vitamin içeriği ve yapısının korunarak, kaliteli kurutulmuş gıda eldesi ve tohumluk olarak ayrılan ürünlerde çimlenme özelliğinin muhafazası için kurutma havasının düşük sıcaklıkta olması gerekmektedir. Kurutma havasının düşük sıcaklıkta olması, kurutma zamanının uzamasına neden olmaktadır. Birim zamanda kurutulan ürün hacminin artırılması, kurutmayı sağlamak için harcanan enerji miktarının azalması için kurutma zamanının mümkün olduğunca kısaltılması gerekmektedir. Kurutmanın, gıda kalitesini bozmadan düşük sıcaklıkta kısa kurutma zamanlarında yapılması ancak kurutma havasının nemini oldukça düşük değerlere çekmekle mümkün olacaktır.

Bu çalışmada, düşük sıcaklıkta ve daha kısa kurutma zamanlarında gıda ve tohumluk kurutması yapılması ve kurutulmuş ürün kalitesinin artırılması amacıyla bir sistem tasarlanmış ve değerlendirilmesi yapılmıştır.

Tasarlanan sistem ile enerji girdisi yüksek bir işlem olan kurutmayı, alternatif enerji kaynakları kullanarak gerçekleştirmenin yanında düşük sıcaklıkta gerçekleşen kurutmayla daha kaliteli ürün elde edilebilecektir.

Tohum ıslahında, tohumlukların çimlenme özelliklerinin muhafazası için düşük sıcaklıkta kurutulması ve düşük sıcaklık ve neme sahip ortamlarda muhafaza edilmesi gerekmektedir. Nem kontrolünün sıcaklıktan bağımsız olarak yapılmasına imkân veren nem alıcı rotorun bu sistemde kullanılıyor olması, sistemin aynı zamanda tohumlukların saklandığı odalar-

da istenilen ortam şartlarının elde edilmesi amacıyla kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Ceylan, I., Aktaş, M., "Isı Pompası Destekli Bir Kurutucuda Fındık Kurutulması", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., C: 23, No: 1, 215-222, 2008.
- [2] Jairaj, K. S., Singh, S.P., Srikant, K., "A Review of Solar Dryers Developed for Grape Drying", Solar Energy, 1698-1712, 2009.
- [3] Close, D.J., "Solar Air Heaters for Low and Moderate Temperature Application", Solar Energy, 114-7, 1963.
- [4] Whiller A., "Performance of Black Painted Solar Air Heaters of Conventional Designs", Solar Energy, 31-7, 1964.
- [5] Yadav, Y. P., Tiwari, G. N., "Transient and Analytical Solution of Suspended Flat plate Solar Air Heater", Energy Conversion and Management, 265-9, 1986.
- [6] Yadav, Y. P., Kumar, A., Sharan, L. B., Srivastava, V. B., "Parametric Study of a Suspended Flat Plate Solar Air Heater", Energy Conversion and Management, 325-35, 1995.
- [7] Hes, F., "Thermal Performance of a Simple Design Solar Air Heater With Built-In Thermal Energy Storage System", Energy Conversion and Management, 989-97, 1995.
- [8] Aboul-Enein, S., El-Sabaii, A. A., Ramadan, M. R. I., El-Gohary, H. G., "Parametric Study of a Solar Air Heater With and Without Thermal Storage for Solar Drying Applications", Renewable Energy, 505-22, 2000.
- [9] Nagaya, K., Li, Y., Jin, Z., Fukumuro, M., Ando, Y., Akaishi, A., "Low-Temperature Desiccant-Based Food Drying System With Airflow and Temperature Control", Journal of Food Engineering, 71-82, 2006.
- [10] Chua, K. J., Chou, S.K., Ho, J. C., Hawlader, M.N.A., "Heat Pump Drying: Recent Developments and Future Trends", Drying Technology, 1579-1610, 2002.
- [11] Colak, N., Hepbasli, A., "A Review of Heat Pump Drying: Part 1 – Systems, Models and

Makale

- Studies”, Energy Conversion and Management, 2180-2186, 2009.
- [12] Sigge, G. O., Hansmann, C. F., Joubert, E., “Effect of Temperature and Relative Humidity on the Drying Rates and Drying Times of Green Bell Peppers (*Capsicum Annuum* l)”, Drying Technology, 1703-1714, 1998.
- [13] Ondier, G. O., Siebenmorgen, T. J., Mauromoustakos, A., “Low-Temperature, Low-Relative Humidity Drying of Rough Rice”, Journal of Food Engineering, 545-550, 2010.
- [14] Lee, K. H., Kim O. J., “Investigation on Drying Performance and Energy Savings of the Batch-Type Heat Pump Dryer”, Drying Technology, 565-573, 2009.
- [15] Beasley, E. O., Dickenks, J. W., “Engineering Research in Peanut Curing”, Tech. N. C. Agricultural Experiment Station., 155, 1963.
- [16] Butts, C. L., Williams, E. J., Sanders, T.H., “Algorithms for Automated Temperature Controls to Cure Peanuts”, Postharvest Biology and Technology, 309-316, 2002.
- [17] Krischer, O., Kast, W., “Die Wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik”, Dritte Auflage, Springer, 1978.
- [18] Corrêa, P. C., Goneli, A. L. D., Jaren, C., Ribeiro, D. M., Resende, O., “Sorption Isotherms and Isotheric Heat of Peanut Pods, Kernels and Hulls”, Food Science and Technology International, 13, 231-238, 2007.
- [19] Chen, C., “A Rapid Method to Determine the Sorption Isotherms of Peanuts”, Journal of Agricultural Engineering Research, 75, 401-408, 2000.
- [20] Chung, D. S., Pfost, H. B., “Adsorption and Desorption of Water Vapor by Cereal Grains and Their Products. Part II. Development of the General Isotherm Equation”, Transactions of the ASAE, 10 (4), 552-555, 1967.