



Kuru Üryani Eriğinin Sorpsiyon İzotermelerinin Modellenmesi*

Seçkin Polat^a, Kamil Saçılık^b

^aMucur İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü, Kırşehir, Türkiye

^aAnkara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

*Sorumlu yazar/corresponding author: xseckinx@gmail.com

Geliş/Received 16/06/2020

Kabul/Accepted 16/07/2020

ÖZET

Bu çalışmada, Kuru Üryani (*Prunus domestica L.*) eriğinin sorpsiyon izotermeleri gravimetrik yöntem kullanılarak belirlenmiştir. Denemeler, 20, 30 ve 40°C sıcaklıklarda ve %27.5 ile 59.57 denge nemi aralığında yapılmıştır. Elde edilen sorpsiyon verilerinin, ASAE D245.5 standardında verilen 15 eşitliğe (BET, GAB, Henderson, Chung-Pfost, Oswin, Halsey, Smith, Khun, Peleg, Caurie, Değiştirilmiş GAB, Değiştirilmiş Henderson, Değiştirilmiş Chung-Pfost, Değiştirilmiş Oswin ve Değiştirilmiş Halsey) uygunlukları araştırılmıştır. Eşitliklerin katsayılarını tahmin etmek için doğrusal olmayan regresyon tekniği kullanılmıştır. Eşitlikler, belirtme katsayısı, tahmini standart hatası ve ortalama % bağıl hata gibi kıyaslama kriterleri kullanılarak kıyaslanmıştır. PELEG eşitliği ile yapılan tahminler, elde edilen deneysel verilere iyi bir uyum göstermiştir. BET sınıflandırmasına göre, kuru üryani eriği sigmoid şekilli (S) Tip II izotermine benzer özellikler göstermiştir. Sabit sıcaklıkta örneklerin denge nem içeriklerinin su aktivitesi değerleri arttıkça arttığı ve sabit su aktivitesi değerlerinde ise örneklerin denge nem içeriklerinin sıcaklık arttıkça azaldığı görülmüştür. GAB eşitliği sonuçlarına göre tek tabaka su içerikleri 20, 30 ve 40 °C sıcaklıklarda sırasıyla %1.95 k.b., %2.20 k.b. ve %2.62 k.b. olarak tespit edilmiştir. B.E.T. eşitliği sonuçlarına göre tek tabaka su içerikleri 20, 30 ve 40°C sıcaklıklarda sırasıyla %0.25 k.b., %0.23 k.b. ve %0.20 k.b. olarak tespit edilmiştir. Bu kritik nem seviyelerinin üzerine çıkıldığı zaman mikrobiyolojik ve biyokimyasal değişimler hızlı bir şekilde gerçekleşecektir.

Anahtar Sözcükler:
Kuru Üryani eriği
Sorpsiyon izotermi
Nem içeriği
Modelleme
Tek katmanlı nem içeriği

Determination of Sorption Isotherms of Dry Uryani Plum

ABSTRACT

In this, study sorption isotherms of dry uryani (*Prunus domestica L.*) plum were determined using gravimetric method. The experiments were carried out at a temperature of 20, 30 and 40 °C and equilibrium humidity of 27.5% to 51.08%. The obtained sorption data were investigated for compliance with 15 equations (BET, GAB, Henderson, Chung-Pfost, Oswin, Halsey, Smith, Khun, Peleg, Caurie, Modified GAB, Modified Henderson, Modified Chung-Pfost, Modified Oswin, and Modified Oswin. Modified Halsey) given in ASAE D245.5 standard. Nonlinear regression technique was used to estimate the coefficients of the equations. The equations were compared using benchmarks such as coefficient of indication, estimated standard error, and mean% relative error. Estimates made with PELEG equation showed good agreement with the experimental data obtained. According to the B.E.T. classification, dry uryani plum showed similar properties to the sigmoid shaped (S) Type II isotherm. It was seen that the equilibrium moisture contents of the samples increased with increasing water activity values at constant temperature and the equilibrium moisture contents of the samples decreased with increasing temperature at constant water activity values. According to the results of GAB equation, monolayer water contents were determined as 1.95% k.b., 2.20% k.b. and 2.62% k.b. at 20, 30 and 40°C temperatures, respectively. According to the results of B.E.T. equation, monolayer water contents were determined as 0.25% k.b., 0.23% k.b. and 0.20% k.b. at 20, 30 and 40 °C temperatures, respectively. Microbiological and biochemical changes will occur rapidly when these critical humidity levels are exceeded.

Keywords:
Dry Uryani plum
Sorption isotherm
Moisture content
Modeling
Monolayer
moisture content

© OMU ANAJAS 2020

1. Giriş

Tarımsal ürünlerin tüketiminde, ürünlerin mikrobiyolojik bozulmalara ve enzimsel değişimlere uğramış olmaları çok önemlidir. Su, ürünlerde bulunan en önemli bileşen olup protein, lipid, karbonhidrat gibi diğer bileşenlerle etkileşime girerek ürünlerin fiziksel ve tekstürel özellikleri etkileyen başlıca unsurdur (Bell ve Labuza 2000, Saldamlı 2017). Ayrıca ürünlerde bulunan su, mikrobiyolojik bozulmalar ve enzimatik olayların gelişiminden, depolama, taşıma, ambalajlama, ürün işleme gibi proseslerde kalitelerinin kontrol edilmesinde en önemli parametrelerden bir tanesi (Hışıl ve İçier 1997, Lewicki 2004). Bunların yanı sıra, ürünün organik ve inorganik bileşenleri için çözücü olduğundan dolayı da ürünlerin kalite özelliklerinin bozulmasına neden olan reaksiyonlar için de uygun bir ortam oluşturmaktadır (Evranoz 1988). Kontaminasyonlara uğramamış sağlıklı ve kaliteli ürün tüketimini sağlayabilmek ve parasal kayıpları en aza indirebilmek için ürünlerde bulunan fazla suyun uzaklaştırılması gerekmektedir (Hışıl ve İçier 1997).

Tarımsal ürünlerde su monomoleküler, immobil ve serbest şu şekilde üç şekilde bulunmaktadır (Aktaş ve Gökalp 2002). Monomoleküler su polisakaritlerin hidroksil gruplarına, proteinlerin karbonil ve amino gruplarına güçlü bir şekilde hidrojen bağları ile bağlanmıştır. Bu su molekülleri toplam suyun %5 ile %10'unu oluşturmaktadır (Karel 1975, Cadden 1988). Monomoleküler su donmaz, kurutmaya uzaklaştırılmaz, mikrobiyolojik ve enzimatik aktivitelere ve kimyasal reaksiyonlara katılmaz (Cemeroğlu ve Özkan 2004). İmmobil su ise monomoleküler su filmi üzerine üst üste çok sıralı olarak dizilmiştir ve monomoleküler suya göre daha gevşek yapıdadır. İmmobil su moleküllerinin kurutma ile uzaklaştırılmaları, dondurulmaları, mikrobiyolojik ve enzimatik aktivitelere ve kimyasal reaksiyonlara katılmaları büyük oranda kısıtlanmıştır (Certel ve Ertugay 1996). Ürünün kapiler yapısında veya ürünün hücrelerinde kondense olmuş serbest su molekülleri ise kurutma ile uzaklaştırılabilir, dondurulabilir, mikrobiyolojik ve enzimatik aktivitelere ve kimyasal reaksiyonlarda kullanılabilir (Fellows 2000). Tarımsal ürünlerde bulunan ve yukarıda açıklanan suyun miktarları ürünün çeşidine, olgunluk durumuna, büzüşme durumuna, dış ortamın sıcaklığına, nemine ve ürünün içeriğine (yağ, protein, nişasta, gluten vb.) bağlı olarak değişmektedir (Yağcıoğlu 1996).

Kurutma tarımsal ürünleri muhafaza etmek için kullanılan başlıca yöntemlerden biridir. Kurutma ile üretim maliyeti düşmekte, ürünün kalite özellikleri korunmakta ve kuru madde miktarı arttığı için daha fazla enerji sağlamaktadır. Kuru ürünün raf ömrü daha uzun olmakta, taşıma, nakliye ve depolama ise daha az olmaktadır ayrıca kuru ürünün her mevsim kalitesi aynı

kalmakta ve tüketim süresi arttığı için de fiyatta istikrar sağlanmaktadır (Geankoplis 1993, Kaymak 1993, Atlı 1998, Ünlütürk vd. 1998).

Tarım ürünlerinde su baskın bileşendir. Fazla miktarda su içeren ürünlerde bozulmalar daha kolay olmaktadır. Her bir ürünün suyu adsorbe etme şekli birbirinden farklıdır. Meyvelerin farklı sıcaklık ve ortam bağıl neminde ulaşacakları su içerikleri sorpsiyon izotermlerinden incelenerek, mikrobiyolojik gelişme, enzimatik tepkimeler, enzimatik olmayan esmerleşmeler ve yağ oksidasyonu gibi su aktivitesine bağlı mekanizmalar ortaya çıkarılmaktadır. Ayrıca denge nem içeriği değerlerinin bilinmesi ise kurutma, depolama ve ambalajlama gibi proseslerin en uygun ortam koşullarında yapılmasını sağlamaktadır (Ayrancı vd. 1990, Lagoudaki vd. 1993, Cemeroğlu ve Özkan 2009, Hussin 2014). Bundan dolayı meyvelerin kurutulması ve güvenli bir şekilde depolanabilmesi için sorpsiyon izotermlerinin belirlenmesi önemlidir.

Üryani eriği (*Prunus domestica L.*) Kastamonu iline özgü bir erik çeşididir. Üretimine ilişkin istatistiksel veri bulunmayan kuru üryani eriği kurutmalık ve verimli bir çeşittir. Kuru üryani eriğinin meyvesi küçük, yuvarlağa yakın kabuğu mavimtırak beyaz puslu, ince, gevrek ve bol miktarda fosfor, potasyum, magnezyum, demir mineralleri ve B vitamini içermektedir. Kuru üryani eriği sağlığa olan faydalarından dolayı yaygın bir kullanıma sahip olmaya başlamıştır (Anonymous 2017, Tunde-Akintunde vd. 2005). Üryani eriğinin işlenmesi, paketlenmesi ve depolandığı ortamın optimum bağıl nem miktarının ayarlamasında bu ürüne ilişkin sorpsiyon izotermlerinin bilinmesi gerekmektedir. Üryani eriğinin sorpsiyon izotermlerine ilişkin herhangi bir veri bulunamamıştır. Ürünün güvenli depolanmasında ortam sıcaklığı ve bağıl nem belirlenmesi oldukça önemlidir. Ayrıca ambalaj materyallerinin seçiminde, sorpsiyon izoterm eğrilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, Üryani eriğinin sorpsiyon özellikleri, 20, 30 ve 40°C'lerde % 27.5 ile 59.57 k.b. denge nem aralığında belirlenmiştir. Elde edilen deneysel sorpsiyon izoterm verileri, ASAE D245.5 standardında verilen matematiksel eşitliklere uygunluğu araştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1 Materyal

Araştırmada materyal olarak Kastamonu yöresine özgü Üryani eriği kullanılmıştır. Sonbaharda toplanan ve güneşte kurutulan Üryani eriklerinden yaklaşık 5 kg'lık deneme materyali, sorpsiyon izoterm denemelerine değin oda koşullarında depolanmıştır. Üryani eriğinin sorpsiyon izotermlerinin belirlenmesinde, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü'nde bulunan RF ve Mikrodalgalar Sistemleri

Laboratuvarı ile Kurutma Teknolojileri Laboratuvarı'nda bulunan cihazlardan yararlanılmıştır. Deneme materyalinin sorpsiyon özellikleri, Rotronic HygroLab Water Activity ölçme sistemi kullanılarak belirlenmiştir.

2.2. Yöntem

Denemelerden önce kuru Üryani eriklerin nem içerikleri gravimetrik yöntemle göre belirlenmiştir. Kuru Üryani eriğinden tartılan yaklaşık 20 gramlık üç örnek ağzı sıkıca kapanabilen alüminyum kurutma kaplarına konulmuş ve 70°C deki sıcak hava akışlı etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Kurutma kapları, yaklaşık 20 saat sonra her yarım saatte bir tartılarak ağırlığında değişim olup olmadığı tespit edilmiştir. İki tartım arasında farkın oluşmadığı anda nem ölçme işlemi tamamlanmış ve örneklerin son ağırlıkları belirlenmiştir. Kurutma işlemi sonunda kuru Üryani eriklerin nem içerikleri yaş baza (%y.b.) göre; ifade edilmiş (Ayık 1985) ve yaş baza göre hesaplanan nem içerikleri %'de kuru baza (%k.b) dönüştürülmüştür (Yağcıoğlu 1999).

Sorpsiyon izotermelerinin deneysel olarak belirlenmesinde gravimetrik veya higrometrik yöntemler kullanılmaktadır. Gravimetrik yöntemde, tarım ürünlerinin, sıcaklığı ve bağıl nemi sabit tutulan bir atmosfer altında denge oluşana kadar bekletilir ve kazanmış olduğu nem artışı nedeniyle artmış olduğu ağırlık saptanırsa, o su aktivitesindeki denge nem içeriği belirlenmiş olur. Bu işlemin farklı bağıl nem içeren ortamlarda tekrarlanmasıyla çok sayıda veri çifti elde edilmekte, verilerin grafiğe işlenmesiyle de sorpsiyon izoterm eğrileri elde edilmektedir (Cemeroğlu vd. 2004).

Sorpsiyon verilerinin değerlendirilmesinde geliştirilen birçok matematiksel model bulunmaktadır (Kabil 2010). Bazı eşitlikler tamamen deneyselken bazıları yarı deneysel veya kuramsal temellere dayanmaktadır (Zorlügenç 2010). Tahıl ve benzeri ürünlerin denge nem içeriklerini belirlemek amacıyla çeşitli araştırmacılar tarafından önerilmiş birçok eşitlik bulunmaktadır (Yağcıoğlu 1999). Ancak hiçbir modelin tüm gıdalar için tüm su aktivite değerlerinde doğru sonuç vermesi mümkün olmamaktadır. Bunun sebebi ise, suyun farklı su aktivite bölgelerinde farklı mekanizmalar ile gıda matrislerine bağlı olmasındandır. Matematiksel modelleme için literatürde çok sayıda model bulunmasına rağmen, BET, GAB, Halsey, Oswin, Smith ve Henderson eşitlikleri, tarımsal ürünlerin sorpsiyon davranışlarının modellenmesinde yaygın olarak kullanılan modellerdir (Gözükara 2013). Bu çalışmada elde edilen sorpsiyon izoterm verileri, literatürde mevcut olan modellerden en yaygın olarak kullanılanlardan seçilen 15 matematiksel eşitlik ile modellenmiştir. Bu eşitlikler BET, GAB (Guggenheim-Anderson-deBoer) eşitliği, Henderson eşitliği, Chung-Pfost eşitliği, Oswin eşitliği, Halsey eşitliği, Smith

eşitliği, Khun eşitliği, Peleg eşitliği, Caurie eşitliği, Değiştirilmiş GAB eşitliği, Değiştirilmiş Henderson eşitliği, Değiştirilmiş Chung-Pfost eşitliği, Değiştirilmiş Oswin eşitliği ve Değiştirilmiş Halsey eşitliği'dir.

Kuru Üryani eriğinin sorpsiyon izoterm verileri, literatürde mevcut olan modellerden en yaygın olarak kullanılanlardan seçilen onbeş matematiksel eşitlik ile modellenmiştir. Modellerle ilişkin katsayılar (A , B , C ve M_0), çok değişkenli doğrusal olmayan regresyon tekniği kullanılarak belirlenmiştir. Yapılan istatistiksel analizler sonucunda belirtme katsayısı (R^2), mutlak bağıl hata (H), tahminin standart hatası (SEM) ve kalıntı değerleri gibi kıyaslama kriterleri kullanılarak en iyi model belirlenmiştir (Lawrence and Nelson 1993a).

Doğrusal olmayan regresyon analizi sonucunda hangi sorpsiyon izoterm modelinin uygun olacağına karar vermek için ise varyans analizi yapılmıştır. En iyi modelin seçilmesinde $P < 0.01$ olması koşulunda R^2 , başlıca karşılaştırma kriteri olarak kullanılmıştır. Bunun yanı sıra seçilen eşitliğin, SEM değerinin mümkün olduğunca düşük ve H değerinin ise %10'dan düşük olması tercih edilmiştir. Kalıntı değerleri ise, ölçülen ve modelle tahmin edilen nem değerleri arasındaki fark olup, sabit bir varyansa sahip olması, dağılımın rastgele bir dağılım göstermesi ve sıfır etrafında yatay bir bant göstermesi o modelin iyiliğini göstermektedir (Sacilik vd. 2006; Fıratlıgil-Durmuş 2008; Tomaraci 2010).

Kuru Üryani eriklerin ilk nem içeriği ortalama olarak %37.33 y.b. olarak hesaplanmıştır. Denemelerde erik örneklerini farklı nem seviyelerine getirmek için eriğinin kuruma karakteristiği belirlenmiştir. 120 mm çapında ve 25 mm yüksekliğindeki CrNi kurutma kabına konulan yaklaşık 45 g örnek, 70°C'deki sıcak hava akışlı etüve konulmuştur. Deneme, 103 saatte tamamlanmış olup ürünün kuruma karakteristiği Şekil 1'de verilmiştir.

Erik örnekleri dokuza bölünmüş ve her bir örnek, elde edilen kuruma karakteristiği eğrisine göre öngörülen süre kadar kurutulmuştur. Böylece dokuz farklı nem seviyesi elde edilmiştir. Kuru üryani eriğinin sorpsiyon izoterm denemeleri, %37.33, 35.68, 33.81, 32.12, 30.37, 28.15, 25.93, 23.91 ve 21.57 nem seviyelerinde yapılmasına karar verilmiştir. Sorpsiyon izoterm denemeleri esnasına nem kayıplarının olup olmadığını saptamak amacıyla her nem seviyesi için nem ölçümleri 3 tekerrürlü olarak tekrarlanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1 Sorpsiyon izoterm eğrileri

Denge nem içerikleri belirlenmiş kuru Üryani eriği örneklerinin 20, 30 ve 40 °C sıcaklıklarda su aktivitesi verileri Çizelge 1'de sorpsiyon izotermeleri ise Şekil

2'de verilmiştir. Kuru üryani eriğinin 20, 30 ve 40°C'lerde %27.5 ile %59.57 k.b. denge nemi aralıklarında su aktivite değerleri sırasıyla 0.30-0.63, 0.31-0.65 ve 0.32-0.67 aralığından değişmiştir (Abduljabbar 2018).

Kuru üryani eriğinin sorpsiyon izotermi Şekil 2'de görüldüğü üzere iki bükülme ve üç bölümden oluşan Tip II (S tipi) sigmodial izoterm modeline benzer biçimdedir. Grafikte 20, 30 ve 40°C sıcaklıklarında sırasıyla ilk bükülme 0,37, 0,40 ve 0,43 su aktivitesi değerlerinde, ikinci bükülmelerin ise 0,55, 0,57 ve 0,59 su aktivitesi değerlerinde olduğu görülmüştür. Grafiğin birinci bükülme noktasına kadar ürün örneklerinin su bağlanmamış aktif uçlarına su aktivitesinin artışı ile yeni su molekülleri bağlanmış ve yaklaşık olarak birinci bükülmenin olduğu yerde ise tüm aktif uçlar yalnızca bir tabaka su molekülü, su ile hidrojen bağı yapmış olarak tek tabaka nem içeriği (M_0) oluşturmuştur. Birinci bükülmenin olduğu noktadan sonra su aktivitesinin artması ile ürün örneklerindeki tek tabaka suyun üzerine düzenli bir şekilde su tabakaları hidrojen bağı ile bağlanmış ve sorpsiyon izotermelerinin ikinci bükülme noktasına kadar bu düzenli bağlanma devam etmiş ürün örneklerinin çoklu su tabaka içeriğini oluşturmuştur. Grafiğin ikinci bükülme noktasından sonra su molekülleri ürün örneklerindeki kapiler boşluklara ve mikropolarları doldurmuş ve birçok bozucu reaksiyona neden olan serbest suyu oluşturmuştur (Bell ve Labuza 2000; Mathlouthi 2001; Erbaş vd. 2005; Canovas vd. 2007; Aykın vd. 2015).

3.2. Sorpsiyon izotermelerinin modellenmesi

ASAE D245.5 standardındaki 15 eşitliğe, bu çalışma sonucunda elde edilen sorpsiyon verileri uygulanmıştır. Çizelge 4.2'de Kuru üryani eriği için söz konusu modellere ait katsayıları ve kıyaslama kriterleri verilmiştir. Çizelge 4.2'de görüldüğü üzere Henderson, Geliştirilmiş Henderson ve Halsey modelirinin belirtme katsayıları (R^2) sırasıyla ortalama 0.6741, 0.6741 ve 0.6657 olmasına rağmen yüzde bağıl ortalama sapma değerlerinin ($H\%$) ortalaması sırasıyla 16.70, 16,70 ve 16,34 olduğundan dolayı deneysel veriler ile iyi bir uyum gösterememişlerdir. Bahsi geçen ortalamasapma değerleri kabul edilebilir sınır olan %10'nun içerisinde değildirler. Araştırmadaki tüm sıcaklıklarda kuru üryani eriğinin sorpsiyon izotermi tanımlayan en iyi eşitliğin ortalama belirtme katsayılarının ortalaması (R^2) 0.9727 olan ve en düşük yüzde bağıl ortalama sapma değerinin ortalaması ($H\%$) 5,40 olan PELEG eşitliği olduğu görülmüştür. PELEG eşitliğinden sonra sırasıyla belirtme katsayılarının ortalaması (R^2) 0.9708, 0.9708, 0.9648, 0.9648, 0.9605, 0.9605, 0.9580, 0.9569, 0.9543, 0.9446 ve 0.8922 ve yüzde bağıl ortalama sapma

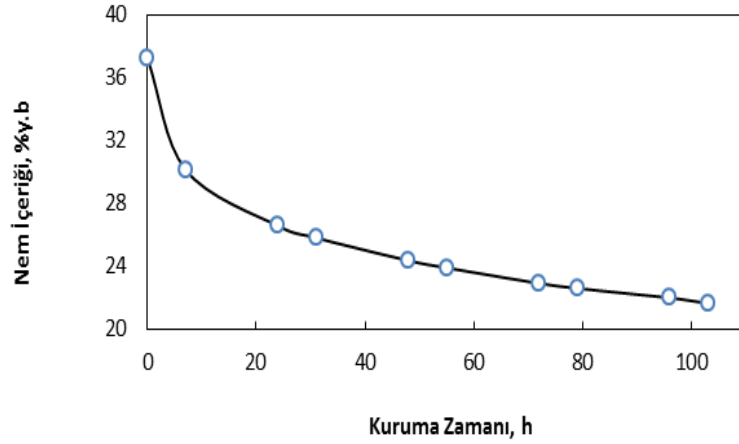
değerlerinin ortalaması ($H\%$) %5.48, %5.48, %5.80, %5.80, %6.07, %6.08, %6.09, %6.38, %6.52, %7.29 ve %8.44 olduğundan dolayı GAB ve Geliştirilmiş GAB, Chung-Pfost ve Geliştirilmiş Chung-Pfost, Oswin ve Geliştirilmiş Oswin, Cauire, Smith, Geliştirilmiş Halsey, Khun ve BET eşitlikleri gelmiştir. 20, 30 ve 40°C sıcaklıklardaki sorpsiyon izotermelerine ait yüzde bağıl ortalama sapma değerleri (H) %10'dan yüksek olması nedeniyle Henderson, Geliştirilmiş Henderson ve Halsey modellerinin uygun olmadıkları görülmüştür.

Değerlerinin ($H\%$) ortalaması sırasıyla 16.70, 16,70 ve 16,34 olduğundan dolayı deneysel veriler ile iyi bir uyum gösterememişlerdir. Bahsi geçen ortalamasapma değerleri kabul edilebilir sınır olan %10'nun içerisinde değildirler. Araştırmadaki tüm sıcaklıklarda kuru üryani eriğinin sorpsiyon izotermi tanımlayan en iyi eşitliğin ortalama belirtme katsayılarının ortalaması (R^2) 0.9727 olan ve en düşük yüzde bağıl ortalama sapma değerinin ortalaması ($H\%$) 5,40 olan PELEG eşitliği olduğu görülmüştür. PELEG eşitliğinden sonra sırasıyla belirtme katsayılarının ortalaması (R^2) 0.9708, 0.9708, 0.9648, 0.9648, 0.9605, 0.9605, 0.9580, 0.9569, 0.9543, 0.9446 ve 0.8922 ve yüzde bağıl ortalama sapma değerlerinin ortalaması ($H\%$) %5.48, %5.48, %5.80, %5.80, %6.07, %6.08, %6.09, %6.38, %6.52, %7.29 ve %8.44 olduğundan dolayı GAB ve Geliştirilmiş GAB, Chung-Pfost ve Geliştirilmiş Chung-Pfost, Oswin ve Geliştirilmiş Oswin, Cauire, Smith, Geliştirilmiş Halsey, Khun ve BET eşitlikleri gelmiştir. 20, 30 ve 40°C sıcaklıklardaki sorpsiyon izotermelerine ait yüzde bağıl ortalama sapma değerleri (H) %10'dan yüksek olması nedeniyle Henderson, Geliştirilmiş Henderson ve Halsey modellerinin uygun olmadıkları görülmüştür.

3.3. Tek katmanlı nem içeriğinin belirlenmesi

M_0 tek katmanlı su içeriği olup BET eşitliği ve GAB eşitliği ile doğrusal olmayan regresyon tekniği kullanılarak 20,30 ve 40°C sıcaklıklar için hesaplanmıştır. Kuru üryani eriği için hesaplanan tek katmanlı su içerik değerleri Çizelge 3 ve Çizelge 4' de verilmiştir.

BET ve GAB eşitlikleri ürünlerin özellikle de kurutulmuş ürünlerin muhafazası boyunca güvenilir nem değeri olarak bilinen M_0 değerinin hesaplanmasında kullanılmaktadırlar. Elde edilen tek katmanlı su değerleri karşılaştırıldığında GAB modelinden elde edilen tek sıra su içerik değerlerinin daha uygun olduğu görülmüştür ve güvenli depolama için kabul edilebilir aralıkta oldukları söylenebilir.



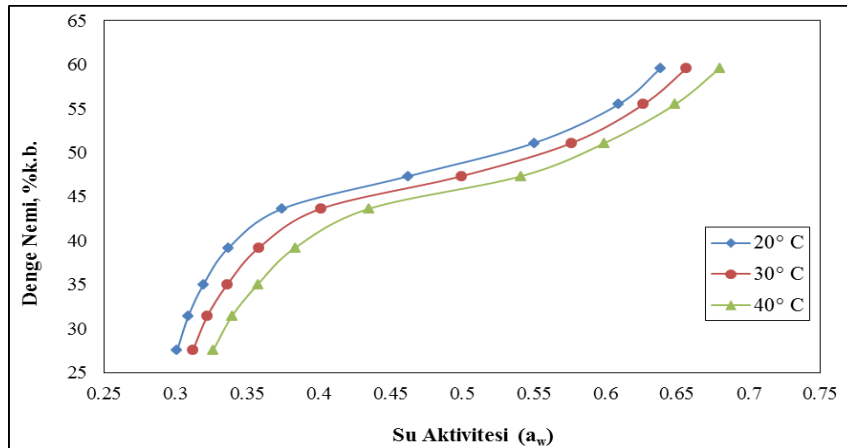
Şekil 1. Üryani eriğinin 70°C'deki kurutma karakteristiği

Figure 2. Drying characteristic of the Uriyan plum at 70°C

Çizelge 1. Kuru Üryani eriğinin 20, 30 ve 40°C'deki su aktivite değerleri

Table 1. Water activity values of dry Uriyan plum at 20, 30 and 40°C

Denge Nemi (%k.b)	20°C	30°C	40°C
27.50	0.3012	0.3122	0.3263
31.42	0.3091	0.3223	0.3395
35.01	0.3196	0.3363	0.3575
39.18	0.3372	0.3583	0.3836
43.62	0.3747	0.4015	0.4351
47.32	0.4626	0.4995	0.5413
51.08	0.5502	0.5764	0.5995
55.47	0.6092	0.6265	0.6486
59.57	0.6385	0.6567	0.6797



Şekil 2. Kuru Üryani eriğinin çeşitli sıcaklıklardaki sorpsiyon izotermeleri

Figure 2. Sorption isotherms of the dry Uriyan plum at various temperatures

Çizelge 2. Kuru Üryani eriğinin sorpsiyon modellerinin katsayıları ve karşılaştırma değerleri
 Table 2. Coefficients and comparison values of sorption models of dry Uriyan plum

Model Adı	T, °C	A	B	C	D	M ₀ , %k.b	R ²	SEM	H, %
BET	20	25.7018				0.25	0.8786	0.044864	9.11
	30	69.0036				0.23	0.8911	0.042637	8.56
	40	360917.8				0.20	0.9070	0.039567	7.65
GAB	20	219.0641	0.0031			1.95	0.9639	0.033767	6.10
	30	130.6100	0.0042			2.20	0.9711	0.030276	5.37
	40	58.8793	0.0070			2.62	0.9774	0.026797	4.97
HENDERSON	20	0.4274	3.4427				0.6243	0.091767	17.84
	30	1.2865	1.2162				0.6762	0.086538	17.07
	40	0.9000	1.8671				0.7220	0.081278	15.99
CHUNG PFOST	20	4.1157	3.7093				0.9563	0.034328	6.56
	30	3.9981	3.7838				0.9652	0.030711	5.82
	40	3.8758	3.8822				0.9731	0.027052	5.02
OSWIN	20	0.4749	0.4083				0.9516	0.036095	6.79
	30	0.4577	0.4108				0.9609	0.032517	6.13
	40	0.4381	0.4119				0.9692	0.028924	5.31
HALSEY	20	11.5534	36.8025				0.6661	0.087615	15.85
	30	0.0198	0.0674				0.6703	0.087172	16.37
	40	18.6851	69.0121				0.6608	0.088165	16.81
SMITH	20	0.1943	-0.4007				0.9471	0.037674	7.11
	30	0.1876	-0.3858				0.9573	0.033938	6.45
	40	0.1807	-0.3677				0.9664	0.030171	5.60
KHUN	20	-0.1899	0.1862				0.9345	0.041795	8.05
	30	-0.1774	0.1870				0.9452	0.038341	7.19
	40	-0.1622	0.1897				0.9543	0.035103	6.64
PELEG	20	21.5445	-21.0930	1.7084	1.7930		0.9681	0.034819	5.8
	30	-16.8837	17.4487	1.7243	1.6409		0.9735	0.031762	5.37
	40	0.6849	0.1247	0.8415	0.8405		0.9765	0.029921	5.02
CAUIRE	20	-1.5906	1.6874				0.9481	0.037354	7.00
	30	-1.6304	1.6957				0.9583	0.033544	6.31
	40	-1.6768	1.7035				0.9676	0.029649	5.43
Geliştirilmiş GAB	20	4346.665	0.003			1.954	0.9639	0.033767	6.10
	30	3879.645	0.004			2.206	0.9711	0.030276	5.37
	40	2353.862	0.007			2.623	0.9774	0.026797	4.97
Geliştirilmiş Henderson	20	-8.9023	-50.2703	5.0040			0.6243	0.099120	17.84
	30	11.2295	-87.5920	-8.0252			0.6762	0.093472	17.07
	40	22.9559	247.1222	21.0171			0.7220	0.087791	15.99
Geliştirilmiş Chung-Pfost	20	-9.5035	-22.3091	3.7093			0.9563	0.037079	6.56
	30	0.6157	-29.8460	3.7838			0.9652	0.033171	5.82
	40	3.1037	-39.1992	3.8822			0.9731	0.029219	5.02
Geliştirilmiş Halsey	20	621535.9	-31076.9	1.7			0.9445	0.041664	7.21
	30	469998.7	-15666.7	1.7			0.9547	0.037753	6.56
	40	1299208	-32480	2			0.9637	0.033874	5.8
Geliştirilmiş Oswin	20	-145044	7252	2			0.9516	0.038988	6.79
	30	-314581	10486	2			0.9609	0.035122	6.13
	40	-197469	49367	2			0.9692	0.031242	5.31

Çizelge 3. Kuru Üryani eriğinin BET eşitliği ile hesaplanan M_0 değerleri
Table 3. M_0 values calculated by the BET equation of the dry Uriyan plum

Sıcaklık, °C	M_0 , %k.b.
20	0,25
30	0,23
40	0,20

Çizelge 4. Kuru Üryani eriğinin GAB eşitliği ile hesaplanan M_0 değerleri
Table 4. M_0 values calculated with GAB equation of the dry Uriyan plum

Sıcaklık, °C	M_0 , %k.b.
20	1,95
30	2,20
40	2,62

4. Sonuç

Bu çalışma ile Kuru üryani eriği örneklerinin 20, 30 ve 40°C sıcaklıklarda sorpsiyon izotermi belirlenmiş, elde edilen sorpsiyon verilerinin çeşitli sorpsiyon eşitliklerine uyumu araştırılmış ve Kuru üryani eriği örneklerinin tek taba su içeriği değerleri tespit edilmiştir. Elde edilen sorpsiyon özellikleri ile ihtiyaç duyulabilecek temel özelliklerde verilmiştir. Bu çalışma ile aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

1. GAB eşitliği sonuçlarına göre tek tabaka su içerikleri, kontrol gruplarında 20, 30 ve 40°C sıcaklıklarda sırasıyla %1.95 k.b., %2.20 k.b. ve %2.62 k.b. olarak tespit edilmiştir. BET eşitliği sonuçlarına göre de tek tabak su içerikleri kontrol gruplarında 20, 30 ve 40°C sıcaklıklarda sırasıyla %0.25 k.b., %0.23 k.b. ve %0.20 k.b. olarak tespit edilmiştir. Bu kritik nem seviyelerinin üzerine çıktığı zaman mikrobiyolojik ve biyokimyasal değişimler hızlı bir şekilde gerçekleşecektir.
2. BET sınıflandırmasına göre, Kuru üryani eriği örneklerinin denemler sonucu elde edilen sorpsiyon izotermi Tip II (S tipi) sigmoidal izoterm modeline benzer şekildedir.
3. Sabit sıcaklıkta örneklerin denge nem içeriklerinin su aktivitesi değerleri arttıkça arttı ve sabit su aktivitesi değerlerinde ise örneklerin denge nem içeriklerinin sıcaklık arttıkça azaldığı görülmüştür.
4. Sıcaklığın Kuru üryani eriğinin sorpsiyon özellikleri üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir ve sıcaklık artışıyla sorpsiyon miktarı azalmıştır.
5. PELEG modelinin tüm sıcaklık ve denge nem değerlerinde diğer modellere göre deneysel olarak elde edilen sorpsiyon verileri sonucunda en iyi uygulanabilecek model olduğu görülmüştür. İncelenen sıcaklık ve denge nem değerlerinde tüm deneysel verileri temsil edecek yetenekte olduğu görülmüştür.
6. Henderson, Geliştirilmiş Henderson ve Halsey modellerinin bağıl hatası (H) %10'nun üstünde çıktığı

için incelenen sıcaklık ve denge nem koşullarında tüm deneysel verileri temsil edecek yetenekte olmadıkları görülmüştür.

Teşekkür

'Kuru Üryani Eriğinin Sorpsiyon İzotermelerinin Belirlenmesi' adlı konuda bana çalışma olanağı sağlayan ve çalışmanın her aşamasında katkı ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Kamil SAÇILIK'a teşekkürü bir borç bilirim. Yaş Üryani eriğinin temininde yardımcı olan Sayın Doç. Dr. H. Güran ÜNAL'a (Kastamonu Üniversitesi), Süleyman Demirel Üniversitesi Tarım Makinaları Bölümü öğretim üyesi, tezim yazım aşamasında manevi desteğini esirgemeyen Arş. Gör. Dr. Önder UYSAL'a ve her zaman yanımda olduğunu hissettiren sevgili aileme teşekkürü bir borç bilirim. Çalışmanın bu konuda çalışacak araştırmacılara yardımcı olması en büyük dileğimdir.

*Bu çalışma Kuru Üryani Eriğinin Sorpsiyon İzotermelerinin Modellenmesi isimli yüksek lisans tez çalışması kapsamında yapılan çalışmaların bir kısmını içermektedir.

Kaynaklar

- Abduljabbar, I.A. 2018. Isparta Gülü (*Rosa Damascena* Mill.) nem sorpsiyon izotermelerinin ve en uygun kurutma havası koşullarının belirlenmesi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı, 185, Isparta.
- Anonymous. 2017. Web Sitesi: <https://kastamonu.tarimorman.gov.tr/>, Erşim Tarihi 15.06.2017.

- Aykin, E., Arslan, S., Durak, A.N. ve Erbaş, M. 2015. Gıdalarda bulunan suyun fizikokimyasal durumu ve sorpsiyon izotermi. *Gıda*, 40(2), 109-116.
- Atlı, Y., 1998. Organik ve Geleneksel Olarak Üretilen Elma ve Domateslerin Kurutulma ve Depolanmaları Sırasında Bazı Karotenoidlerde Meydana Gelen Değişmeler. E.Ü. Fen Bil. Enst. Gıda Müh. Anabilim Dalı Y. Lisans Tezi, 106, İzmir.
- Aktaş, N. ve Gökalp, H.Y. 2002. Protein Water Interactions. *Gıda*, 27 (5), 385-393.
- Ayrancı, E., Ayrancı G. ve Doğan, Z. 1990. Moisture sorption isotherms of dried apricot, fig and raisin at 20°C and 36°C. *Journal of Food Science*, 55 (6), 1591-1594.
- Bell, L.N. ve Labuza, T.P. 2000. Moisture sorption: Practical Aspects of Isotherm Measurement and Use. American Association of Cereal Chemists Press, 122, USA.
- Cadden, A.M. 1988. Moisture sorption characteristics of several food fibers. *Journal of Food Science*, 53 (4), 1150-1154.
- Canovas, G.V.B., Fontana, A. J., Schmidt, J.S.J. ve Labuza, P.T. 2007. Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications. Wiley – Blackwell, 440, USA.
- Cemeroğlu, B. ve Özkan, M. 2009. Kurutma Teknolojisi. Meyve Sebze İşleme Teknolojisi Cilt 2. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, 39, 636, Ankara.
- Cemeroğlu, B. ve Özkan, M. 2004. Kurutma teknolojisi. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, Cemeroğlu, B. (ed), Cilt II, Bizim Büro Basımevi, 479-618, Ankara.
- Certel, M. ve Ertugay, M.F. 1996. Bazı tahıl çeşitlerinin su aktivitesi, su buharı sorpsiyon izotermi, izosterik ısıları ve serbest enerji değişimlerine sıcaklığın etkisi ile sorpsiyon verilerinin farklı izoterm eşitliklerine uygunluklarının belirlenmesi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Doktora Tezi, 85, Erzurum.
- Erbaş, M., Ertugay, M.F. ve Certel, M. 2005. Moisture adsorption behaviour of semolina and farina. *Journal of Food Engineering*, 69, 191-198.
- Evranuz, Ö. 1988. Gıda maddelerinin kurutulmaları sırasında kuruma kinetiğini kontrol eden faktörler ve kalite üzerine etkileri. TÜBİTAK Marmara Araştırma Enstitüsü, 51-58, Gebze-Kocaeli.
- Evranuz, Ö. 1984. Gıdalarda Su Etkinliği (Aktivitesi) ve Önemi. TÜBİTAK Mar. Arş. Enst., Gebze-Kocaeli.
- Fellows, P. 2000. Properties of Foods and Processing Theory. In *Food Processing Technology*, 2, 575.
- Fıratlıgil-Durmuş, F.E. 2008. Kırmızıbiber Tohumunun Endüstriyel Olarak Değerlendirilmesi (Protein Ekstraksiyonu, Fonksiyonel Özellikleri ve Mayonez Üretiminde Kullanımı). Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 166, İstanbul.
- Geankoplis, C.J. 1993. Transport Processes and Unit Operations. Prentice-Hall International, 3, 921, New Jersey.
- Hışıl, Y. ve İçer, F. 1997. Su Aktivitesinin Vitaminler Üzerine Etkisi. E.Ü. Mühendislik Fakültesi Dergisi, 15(1-2), 59-74.
- Karel, M. 1975. Principles of Food Science, Part II. Marcel Dekker, Inc., 237-261.
- Kaymak, F. 1993. Bezelye ve Çeşitli Meyvelerde Ozmotik Dehidrasyon Ön İşleminin İncelenmesi ve Kurutma Üzerine Etkileri. T.C. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi, 192, Bornova-İzmir.
- Lagoudaki, M., Demertzis P.G., ve Kontominas, M.G. 1993. Moisture Adsorption Behaviour of Pasta Products. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 26, 512-516.
- Lewicki, P.P. 2004. Water as the determinant of food engineering properties. A review. *Journal of Food Engineering*, 61, 483-495.
- Mathlouthi, M. 2001. Water content, water activity, water structure and the stability of foodstuffs. *Food Control*, 12, 409-417.
- Saldamlı, İ. 2017. Gıda Kimyası. Hacettepe Üniversitesi Yayınları, 673, Ankara.
- Tunde-Akintunde, T.Y., Afolabi, T.J. ve Akintunde, B.O. 2005. Influence of drying methods on drying of bell-pepper. *J.Food Eng.*, 68(4), 439-442.
- Ünlütürk, A., Karapınar, M. ve Turantaş, F. 1998. Gıda Mikrobiyolojisi. Mengi Tan Basımevi, 605, İzmir.
- Yağcıoğlu, A.1999. Tarım ürünleri Kurutma Tekniği 1. Basım Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 348s, İzmir.
- Yağcıoğlu, A. 1996. Ürün İşleme Tekniği. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 257s, İzmir.