

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KURU ÜRYANI ERİĞİNİN SORPSİYON İZOTERMLERİNİN
MODELLENMESİ**

Seçkin POLAT

**TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ
MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ANKARA
2020**

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KURU ÜRYANI ERİĞİNİN SORPSİYON İZOTERMLERİNİN MODELLENMESİ

Seçkin POLAT

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Kâmil SAÇILIK

Bu çalışmada, kuru üryani eriğinin sorpsiyon izotermi 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 % bağlı hata gibi kıyaslama kriterleri kullanılarak kıyaslanmıştır. PELEG eşitliği ile yapılan tahminler, elde edilen deneysel veriler ile iyi bir uyum göstermiştir. B.E.T. 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 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 %1.95k.b., %2.20 k.b. ve %2.62 k.b. olarak tespit edilmiştir. B.E.T. eşitliği sonuçlarına göre de 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 çıktığı zaman mikrobiyolojik ve biyokimyasal değişimler hızlı bir şekilde gerçekleşecektir.

Haziran 2020, 40 sayfa

Anahtar Kelimeler: Sorpsiyon izotermi, denge nemi, denge bağlı nemi, sıcaklık, matematiksel model, Üryani eriği

ABSTRACT

Master Thesis

MODELING OF SORPTION ISOTHERMS OF DRY ÜRYANI PLUM

Seçkin POLAT

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Kâmil SAÇILIK

In this study, sorption isotherms of dry uryani 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.

June 2020, 40 pages

Key Words: Sorption Isotherm, equilibrium moisture content, equilibrium relative humidity, temperature, mathematical model, Üryani plum

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Meyvelerin farklı sıcaklıklarda ulaşacakları denge nemi değerleri sorpsiyon izotermelerinden incelenerek, mikrobiyolojik gelişme, enzimatik tepkimeler, enzimatik olmayan esmerleşmeler ve yağ oksidasyonu gibi mekanizmaların önüne geçilerek güvenli bir şekilde depolana bilinmektedirler. Kuru üryani eriği meyvesi küçük, yuvarlağa yakın, kabuğu mavimtırak beyaz puslu, ince, gevrek ve bol miktarda fosfor, potasyum, magnezyum, demir mineralleri ve B vitamini içeren Kastamonu iline özgü kurutmalık bir erik çeşididir. Kuru üryani eriği sağlığa olan faydalarından dolayı yaygın bir kullanıma sahip olmaya başlamıştır. Bu ürünün işlenmesi, paketlenmesi ve depolandığı ortamın bağıl nem miktarının ayarlanmasında kuru üryani eriğinin sorpsiyon izotermelerinin bilinmesi gerekmektedir.

‘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.

Seçkin POLAT

Ankara, Haziran 2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZVE TEŞEKKÜRLER.....	iv
SİMGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM	15
3.1 Materyal	15
3.2 Yöntem	17
3.2.1 Nem içeriğinin belirlenmesi.....	17
3.2.2 Sorpsiyon izotermlerinin oluşturulması.....	18
3.2.3 Sorpsiyon verilerinin matematiksel modellere uygulanması	20
3.2.4 Denemelerin düzenlenmesi	24
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	27
4.1 Sorpsiyon İzoterm Eğrileri.....	27
4.2 Sorpsiyon İzotermlerinin Modellenmesi	30
4.3 Tek Katmanlı Nem İçeriğinin Belirlenmesi	32
5. SONUÇLAR	34
KAYNAKLAR	36
ÖZGEÇMİŞ.....	40

SİMGELER DİZİNİ

a_w	Su aktivitesi
A, B, C ve D	Eşitliklerdeki katsayılar
M_{ci}	Tahmini su içeriği (gH ₂ O/g kuru ağırlık)
M_y	Yaş bazda nem içeriği (% y.b.)
M_k	Kuru bazda nem içeriği (% k.b.)
W_s	Ürünün içerdiği su kütlesi (g)
W_k	Ürünün kuru maddesi kütlesi (g)
T	Sıcaklık (°C)
R^2	Belirtme katsayısı
H	Mutlak bağıl hata (%)
SEM	Tahmini standart hata
M_{pre}	Modelle elde edilen denge nem içeriği (% k.b)
n	Örnek sayısı
P	Ürünün içerdiği suyun buhar basıncı (mmHg)
P_0	Saf suyun buhar basıncı (mmHg)
p	Modeldeki bağımsız değişken sayısı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Kuru Üryani eriği.....	15
Şekil 3.2 Su aktivasyon cihazı	16
Şekil 3.3 Araştırmada kullanılan hava akışlı etüv.....	16
Şekil 3.4 Elektronik terazi.....	17
Şekil 3.5 Örnek kabı, ölçüm kabı ve sensörü.....	19
Şekil 3.6 Ölçüm sisteminin etüve yerleştirilmesi.....	20
Şekil 3.7 Üryani eriğin 70°C'deki kuruma karakteristiği	25
Şekil 4.1 Kuru üryani eriğinin çeşitli sıcaklıklardaki sorpsiyon izotermi	28

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 Kuru Üryani eriğinin 20, 30 ve 40 °C'deki su aktivite değerleri.....	27
Çizelge 4.2 Kuru üryani eriğinin sorpsiyon modellerinin katsayıları ve karşılaştırma değerleri.....	28
Çizelge 4.3 Kuru üryani eriğinin BET eşitliği ile hesaplanan M_0 değerleri.....	31
Çizelge 4.4 Kuru üryani eriğinin GAB eşitliği ile hesaplanan M_0 değerleri.....	32
Çizelge 4.5 Kuru üryani eriğinin BET eşitliği ile hesaplanan M_0 değerleri.....	32
Çizelge 4.6 Kuru üryani eriğinin GAB eşitliği ile hesaplanan M_0 değerleri.....	33

1. GİRİŞ

Tarımsal ürünlerin tüketiminde, ürünlerin mikrobiyolojik bozulmalara ve enzimsel değişimlere uğramamış olmaları çok önemlidir. Su, ürünlerde bulunan en önemli bileşen olup protein, lipit, 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 biridir (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 şeklinde üç şekilde bulunmaktadır (Aktaş ve Gököl 2002). Monomoleküler su polisakaritlerin hidroksil gruplarına, proteinlerin karbonil ve amino gruplarına güçlü bir şekilde hidrojen bağları ile bağlanmıştır. Bu su molekülleri toplam suyun %5 ila %10'nunu oluşturmaktadır (Karel 1975, Cadden 1988). Monomoleküler su donmaz, kurutmaya uzaklaştırılmaz, mikrobiyolojik ve enzimatik aktivitelere ve kimyasal reaksiyonlara katılmaz (Cemeroğlu ve Özkan 2004). Immobil su ise monomoleküler su filmi üzerine üst üste çok sıralı olarak dizilmiştir ve monomoleküler suya göre daha gevşek yapıdadır. Immobil su moleküllerinin kurutma ile uzaklaştırılmaları, dondurulmaları, mikrobiyolojik ve enzimatik aktivitelere ve kimyasal reaksiyonlara katılımları büyük oranda kısıtlanmıştır (Certel ve Ertugay 1996). Ürünün kapiler yapısında veya ürünü 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, glüten 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 maliyetleri 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 izotermelerinden incelenerek, mikrobiyolojik çoğalma, enzimatik reaksiyonlar, enzimatik olmayan esmerleşmeler, yağ oksidasyonu vb. su aktivitesi ile ilişkili mekanizmalar ortaya çıkarılmaktadır. Ayrıyeten denge neminin bilinmesi ise kurutma, depolama ve ambalajlama gibi proseslerin en uygun ortam koşullarında yapılmasını sağlamaktadır (Ayrancı vd. 1990, Lagoudaki vd. 1993, Cemerolu ve Özkan 2009, Hussin 2014). Bundan dolayı meyvelerin kurutulması ve güvenli bir şekilde depolanabilmesi için sorpsiyon izotermelerinin belirlenmesi önemlidir.

Çalışmamıza konu olan 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 başlanmıştır (Anonymous

2017, Tunde-Akintunde vd. 2005). Bu ürünün işlenmesi, paketlenmesi ve depolandığı ortamın optimum bağıl nem miktarının ayarlamasında üryani eriğinin sorpsiyon izotermelerinin bilinmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, üryani eriğinin sorpsiyon özellikleri, 20, 30 ve 40°C sıcaklık değerlerinde % 27.5 ile 59.57 k.b. denge nem aralığında belirlenecektir. Elde edilen deneysel sorpsiyon izoterm verilerinin, ASAE D245.5 standardında verilen matematiksel eşitliklere uygunluğu araştırılacaktır. Kastamonu iline özgü bu ürünün sorpsiyon izotermeleri ile ilgili bir veri bulunmadığından bu araştırma sonuçlarından faydalanılarak söz konusu ürünün ticaretini yapan firmalar, bu ürünün depolandığı yerin optimum bağıl nem miktarlarını da ayarlayabileceklerdir. Özellikle bağıl nem miktarı fazla olan yerlere gönderilecek ürünlerin ambalaj gereçlerinin seçiminde de elde edilen bu izotermeler çok yararlı olacaktır.

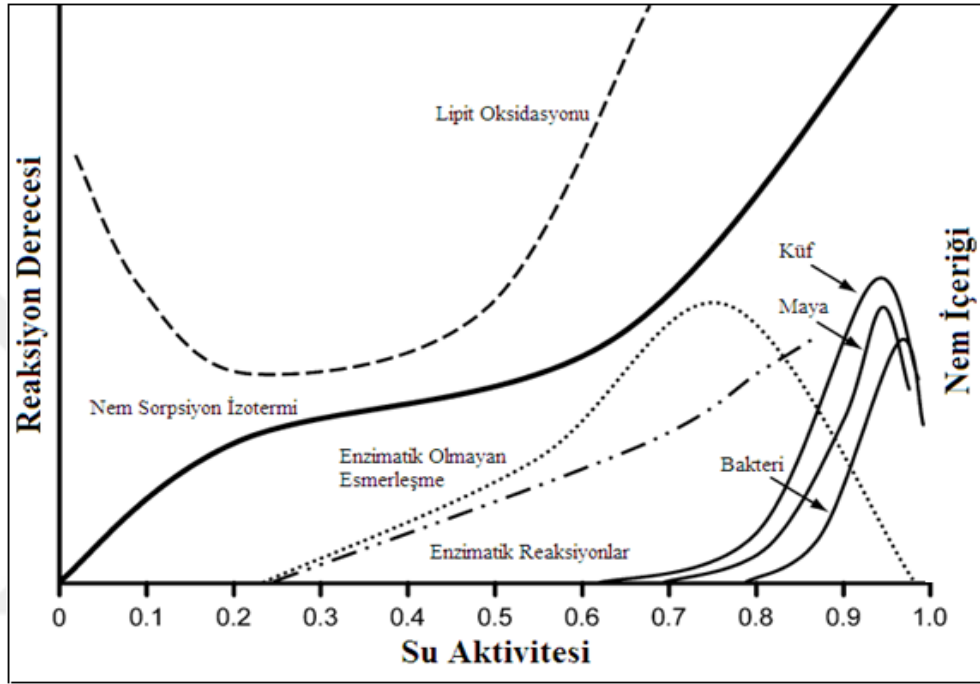
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Tarımsal ürünler, sıcaklığı ve bağıl nemi sabit bir ortamda yeterli süre bekletildiğinde, sahip olduğu bağıl nem oranına göre ortamdan su almaktadırlar ya da vermektedirler. Ortamdaki suyun buhar basıncının ürünün buhar basıncına eşitlenmesiyle dinamik bir denge oluşmaktadır. Ürünün bu denge durumunda sahip olduğu nem içeriğine denge nem içeriği (EMC), ortam ile denge halinde bulunan ürünü çevreleyen havanın nispi nemine ise denge bağıl nemi (ERH) denilmektedir (Evranoz 1988, Şahbaz 1998, Aykın vd. 2015). Sorpsiyon izotermi denge bağıl nem (ERH) ve denge nem (EMC) arasındaki ilişkiyi tanımlamak için kullanılmaktadır (Soysal ve Öztekin 1999). Ürünün denge nemi, bulunduğu ortamın sıcaklığına ve ortamın bağıl nem durumuna göre değişiklik göstermektedir. Sabit sıcaklıkta ürünün bulunduğu ortamın bağıl neminin artması ya da azalması durumunda ürünün denge bağıl nemi de artmakta ya da azalmaktadır (Aykın vd. 2015, Saldamlı 2017).

Su aktivitesi bir tarımsal ürünün buhar basıncının (P), aynı koşullardaki saf suyun buhar basıncına (P_0) oranı olarak tanımlanmakta olup, 0 ile 1 arasında değerler almaktadır (Barbosa-Canovas vd. 2007). Sorpsiyon izotermi su aktivitesini, sabit sıcaklık ve basınçta su ve ürün karışımındaki su içeriği ile ilişkilendirmektedir (Van 1981). Sorpsiyon izotermi suyun ürünlere hangi güçte ve şekilde bağlı olduğu hakkında fikir vermektedir yani üründeki suyun durumunu karakterize etmektedir. Sorpsiyon izotermi ürünün denge nemi değerlerinin su aktivitesi değerlerine karşın grafik edilmesi ile elde edilmektedir (Şahbaz 1998, Cemeroğlu ve Özkan 2009).

Sorpsiyon izotermi bilinmesi sayesinde su aktivitesinin kontrol edilmesi ile ürünlerin mikrobiyolojik gelişmeleri ve kimyasal bozulmalara karşı korunmaları sağlanarak raf ömürlerinin uzatılması sağlanılmaktadır. Ürünlerdeki çeşitli reaksiyonlara su aktivitesinin etkisi Şekil 2.1'de gösterilmektedir. Enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları 0,6-0,8 su aktivitesi aralığında artarken, su aktivitesinin 1'e

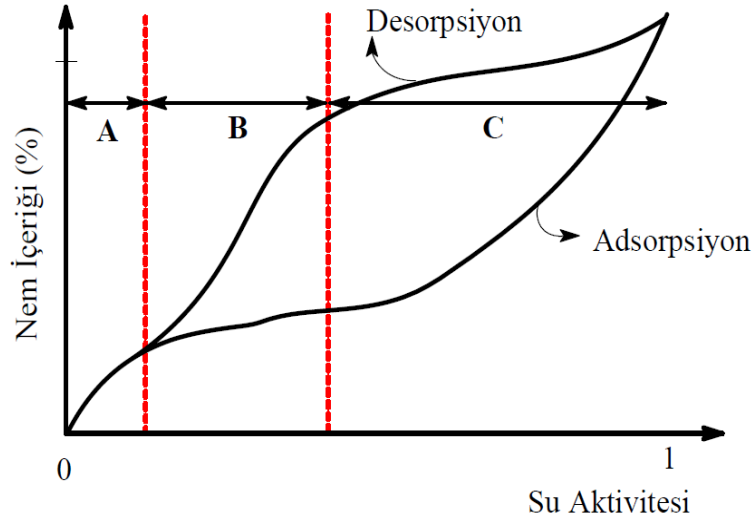
yaklaşmasıyla bu reaksiyonların hızları yavaşlamaktadır. Lipit oksidasyonu 0,2-0,35 su aktivitesi değer aralığında minimum seviyede olurken bu değerlerin altında ve üstünde artmaktadır. Her mikroorganizma için gelişebileceği minimum ve maksimum bir a_w değeri vardır. Küfler bakterilerden daha düşük a_w değerlerinde gelişebilmektedirler.



Şekil 2.1 Su aktivitesinin gıda stabilitesine etkisi (Barbosa-Canovas vd.2007)

Bir tarımsal ürünün sorpsiyon izotermi (Şekil 2.2), adsorpsiyon ve desorpsiyon süreçlerinin saptanmasıyla oluşmaktadır. Kurutulmuş bir tarımsal ürün bağıl nemi sabit bir ortamda denge nemi meydana gelene kadar bekletilirse geçen süre zarfında ürünün aldığı nemden dolayı artan ağırlığı belirlenerek o ürünün; o sabit bağıl nem ortamındaki denge su içeriği (veya bağıl su içeriği) belirlenebilmektedir. Böylelikle çevrenin sabit bağıl nemi ve buna karşı gelen ürünün denge nem içeriğinden meydana gelen veri çiftleri elde edilmektedir. Bu işlem aynı sıcaklıkta fakat bağıl nemi gittikçe artan ortamlarda yürütüldüğünde, çok sayıda veri çifti elde edilebilmektedir. Bu veri çiftlerinin grafiğe işlenmesiyle o ürünün o sıcaklıktaki adsorpsiyon izotermi saptana bilinmektedir. Yaş bir ürün, sabit sıcaklıkta ve bağıl nemi gittikçe azalan bir ortamda

tutulduğu ve elde edilen veriler bir grafiğe işlendiği zaman, aynı ürünün desorpsiyon izotermi saptana bilinmektedir. Desorpsiyonda ürün, su kaybetmekte ve ağırlığı azalmaktadır. Bundan dolayı; desorpsiyon, adsorpsiyon izotermi tersi yönünde gelişmektedir ama aynı yolu izlememektedir (Üçüncü 2000). Desorpsiyon izotermi, ürünlerin kurutma prosesinin takip edilmesi ve incelenmesinde yararlı bilgiler vermektedir. Adsorpsiyon izotermi ise kurutulmuş ürünlerin higroskopik özellikleri ve depolanma koşulları hakkında bilgiler vermektedir (Telli 1984). Sonuç olarak sorpsiyon izotermi ile tarımsal ürünün kazanmış ve kaybetmiş olduğu nem tanımlanmaktadır.



Şekil 2.2 Genel Sorpsiyon İzotermi (Sun ve Woods 1993)

Sorpsiyon izotermiinde su aktivitesinin değişme oranı tarımsal ürünün nem kazanmasına (adsorpsiyon) veya gıdanın nem kaybetmesine (desorpsiyon) göre değişmektedir. Bazı ürünlerde ise bu farklılık oldukça yüksek olmaktadır. Bundan dolayı nem edinimine karşın gerekli tedbirler alınmalıdır (Fellows 1988). İşte desorpsiyon ve adsorpsiyon arasındaki bu fark histerisiz (seğirme) olarak tanımlanmaktadır (Evranuz 1984, Fellows1988, Lahsani vd. 2004). Tarımsal ürünlerde, ürünün çeşidine ve sıcaklığına bağlı olarak çeşitli histerisiz kavis şekilleri gözlenmektedir. Sıcaklığın artması ile toplam histerisiz azalmaktadır (Rahman 1995).

İzosterik yöntem nem sorpsiyon izotermelerinin belirlenmesinde en sık kullanılan yöntemdir. Bu yöntem de farklı bağıl nemli ortamlar sağlamak için LiCl, CH₃COOK, MgCl₂, K₂CO₃, MgCl₂, K₂CO₃ ve Mg(NO₃)₂ vb. doymuş tuz çözeltilerinden yararlanılmaktadır (Işıksal vd. 2009). Denge nemi içeriği, su aktivitesi ve sıcaklık arasındaki matematiksel ilişkiyi ifade etmek için teorik, yarı deneysel ve deneysel sorpsiyon izoterm eşitlikleri geliştirilmiştir. Modifiye Henderson, Modifiye Halsey, Modifiye Oswin ve Guggenheim Anderson-de Bour (GAB) eşitlikleri ASAE (American Society of Agricultural Engineers) tarafından en çok kullanılan eşitliklerdir (Arslan ve Toğrul 2006). Bu eşitlikler, ürün depolama tahminlerinde, kuru bileşenlerin karşılaştırılmasında, orta nemli ürünlerde nem çekici seçiminde, paketlemede, raf ömrünün ve kurutma süresinin tahmininde faydalı olmaktadır (Şentürk 2009, Andrade ve Patrica 2011).

Kullanılan eşitliğin uygun olup olmadığı yüzde bağıl ortalama sapma değeri (P) ile anlaşılmaktadır. P değerinin %10'nun altında olduğu zaman seçilen modelin en uygun model olduğu kabul edilmektedir. P değeri eşitlik 2.1'ile hesaplanmaktadır (Lomauro vd. 1985, Wang ve Brennan 1991).

$$P \% = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{M_{ei}-M_{ci}}{M_{ei}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Burada;

N : Veri sayısı,

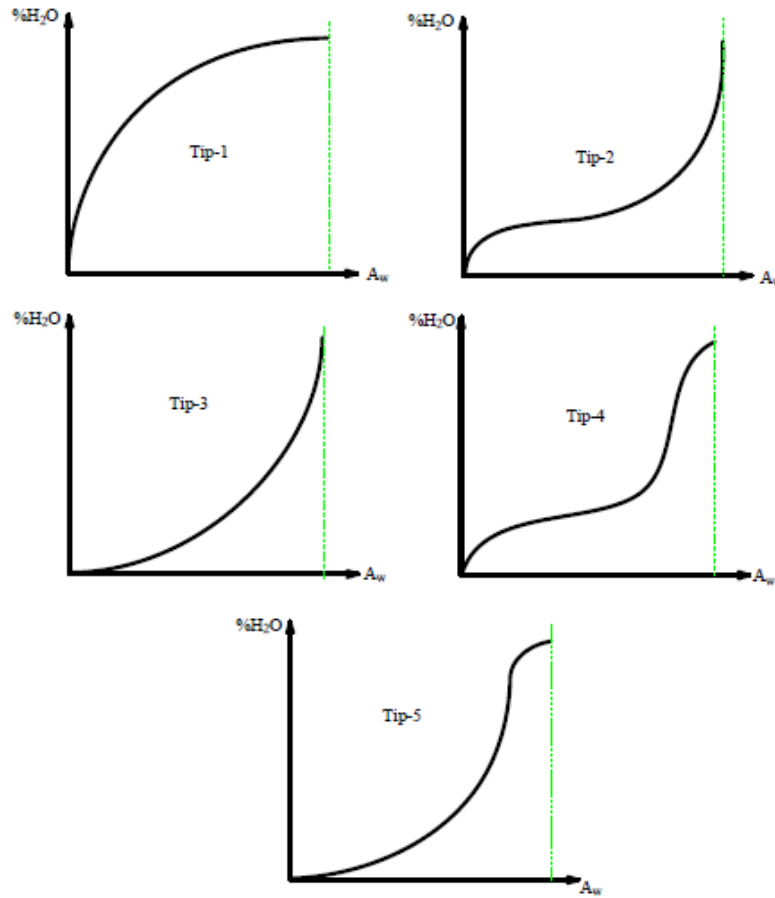
M_{ei} : Deneysel su içeriği (g H₂O/g kuru ağırlık),

M_{ci} : Tahmini su içeriği (g H₂O/g kuru ağırlık)'dir.

Sıcaklık, sorpsiyon izotermelerini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Yüksek sıcaklıkta moleküller arasındaki bağlanma enerjisi düşmektedir ve sıcaklığın artmasıyla

moleküllerin uyarılmasıyla moleküller arasındaki mesafeler artmaktadır ve mesafelere bağlı olarak moleküller arasındaki çekim kuvvetleri azalmaktadır. Sonuç olarak sıcaklığın artması sorpsiyon kapasitesini düşürmektedir (Andrade ve Patrica 2011). Sabit bağıl nemli ortamda sıcaklığın azalması ile de ürünün denge nem miktarı (EMC) artmaktadır. (Hossain vd. 2001).

Brunauer vd. (1938), sorpsiyon izotermelerini 5 genel tipe ayırmışlardır (Şekil 2.3). Birinci tip izoterm Langmuir izotermi, ikinci tip izoterm Sigmoid adsorpsiyon izotermi olarak adlandırılmaktadır. Diğer üç tip izoterm ise özel bir ad verilmemiştir (Al-Muhtaseb vd. 2002).



Şekil 2.3. Sorpsiyon izotermlerinin tipleri (Brunauer vd. 1938)

Tip 1 olarak bilinen Langmuir izotermi kekleşmeyi önleyici (antikek) madde izotermidir. Antikek maddeler düşük su aktivitesi değerlerinde yapılarında bulunan kapiller sistemlerde ve kendi yüzeylerinde bulunan polar uçlarda oldukça fazla miktarda suyu yüksek bir bağlanma enerjisi ile adsorbe etmektedirler. Ürünün kapillerlerinde ve yüzeylerinde bulunan bu polar uçların bağ yapma kapasiteleri dolduktan sonra ürünün su aktivitesi yükselmeye başlamaktadır (Bell ve Labuza 2000, Canovas vd. 2007).

Tarımsal ürünlerin çoğu lineer izoterm şekli göstermemektedir, sigmoid şeklinde (S şeklinde) Tip 2 izoterm şekline benzer özellikler göstermektedirler. Bu izoterm çözülebilir ürünlerden elde edilmiştir. Atmosfer neminin değişmesi ile ürünün buhar basıncıda değişmektedir buda Tip 2 sorpsiyon izotermine karakteristik sigmoid şeklini vermektedir (Caurie 1970). Taze ürünlerin içindeki suyun çoğunluğu saf suya yakın buhar basıncı göstermektedir. Bu buhar basıncı seviyesi ürünün nem içeriği yaklaşık olarak %22 değerine düşene kadar korunmaktadır. Ürünün nem değeri %22 altına düşmeye başladığında ürünün buhar basıncı artık sabit kalmamaktadır ve ürün çözeltili içindeymiş gibi düşük buhar basıncı göstermeye başlamaktadır. Kurutulmuş ürünlerdeki suyun bu son kısmının (%22'lik kısmının) atmosferik nemle değişimleri ikinci tip izoterm sigmoid şeklini vermektedir (Caurie 2007).

Tuz veya şeker gibi saf kristal yapıda olan ürünler Tip 3 (J tipi) sorpsiyon izoterm şekli göstermektedirler. Kristal yapıların üzerinde bulunan hidroksil grupları ile suyun etkileşmesi sonucunda Tip 3 izoterm şekli oluşmaktadır (Bell ve Labuza 2000, Canovas vd. 2007, Andrade ve Patrica 2011). Şişme özelliği gösteren hidrofilik katıların özel gruplarının maksimum hidrasyona ulaşana kadar adsorpsiyon durumunu Tip 4 izotermi göstermektedir. Kömürün su buharı adsorpsiyonunu Tip 2 ve Tip 3 izoterm ile beraber Tip 5 izoterm göstermektedir. Beşinci tip izoterm BET çok katman (multilayer) adsorpsiyon izotermi de denilmektedir (Brunauer vd. 1938, Karel 1975, Mathlouthi ve Roge 2003).

Birçok kahvaltılık üründe, pastada, şekerlemede, süttten elde edilen ürünlerde (dondurma, sütlü tatlılar, peynir, yoğurt vb.), dondurulmuş meyvelerde ve tatlı ürünlerinin yapımında kaliteli ve kendine has özelliklerini (renk, lezzet, tekstür yapısı vb.) kaybetmemiş Üryani eriğinin kullanımına ihtiyaç vardır. Üryani eriğinin sorpsiyon izotermelerinin bilinmesi ile pasta ve tatlılar vb. ürünlerin üretilmesinde kullanılan üryani eriğinin kurutulması, depolanması ve nakliyesinde önemli kolaylıklar sağlanmaktadır. Bu konuyla ilgili yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir (Jongen 2002).

Ayrancı vd. (1990), 20 ve 36°C'lerde kuru incir, üzüm ve kayısının nem sorpsiyon izotermelerini araştırmışlardır ve elde ettikleri değerleri Iglesias ve Chirife, Halsey ve B.E.T. eşitliklerine uygulamışlardır. Tek tabaka su adsorpsiyonu ile sıcaklık arasında ters bir ilişki olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca 20 ve 36°C'lerde sorpsiyon izotermelerinin izosterik ısılarının da adsorbe olan su miktarına bağlı olarak düştüğünü de belirlemişlerdir. Yaptıkları bu araştırmada 0,60 su aktivite değerine kadar, sıcaklık arttıkça nem miktarının azaldığını; 0,60 su aktivite değerinin üstünde ise, bunun tam tersi bir durumun gerçekleştiğini belirlemişlerdir. 0,60 su aktivitesi değerinde ve 36°C'de incelenen üç ürün 20°C'ye göre daha fazla nem içerdiklerini bunun nedeninin ise sıcaklığın etkisi sonucunda şekerlerin çözünmesi ile suyun bağlanabileceği daha fazla -OH gruplarının açığa çıkması olarak belirlemişlerdir.

Zhang vd. (1996), patates, havuç, domates ve yeşilbiber ile yaptıkları bir çalışmada verilerin Iglesias ve Chirife eşitliğine uyum sağladığını belirlemişlerdir. Chirife eşitliğinin yüksek şeker, nişasta ve diğer polisakkaritleri içeren ürünlere uygun olduğunu da belirlemişlerdir. Meyveler gibi yüksek şeker içerikli ürünlerin sorpsiyon izotermelerinde kesişmeler olurken, düşük şeker içerikli ürünlerin sorpsiyon izotermelerinde kesişmeler olmamıştır. Sonuç olarak GAB, Iglesias ve Chirife eşitliklerinin deneysel sorpsiyon verilerini tanımlamada kullanılabilecek en güvenli modeller olduğu sonucuna varılmıştır.

İbanoğlu (1998), 10, 20 ve 30°C sıcaklıklarda tarhananın sorpsiyon izotermlerini belirlemiş ve ortalama bağıl sapma kriterlerine dayanarak GAB, BET, Oswin, ve Henderson eşitlikleri ile modellemiştir. 0,08-0,58 su aktivitesi aralığında en uygun modelin BET eşitliği, bütün sıcaklık ve su aktivitesi aralıklarında ise en uygun modelin Oswin eşitliği olduğunu belirlemiştir.

Ertugay (2000), 25 ve 35°C sıcaklıklarda tarhananın nem adsorpsiyon izotermlerini belirlemiştir. 0,2-0,9 su aktivite değerlerinde sıcaklık arttıkça adsorbe edilen nem içeriğinin azaldığı görülmüştür ve Henderson, Halsey, Harkins-Jura, Smith, BET ve Freundlich eşitlikleri ile deneysel sorpsiyon verileri modellenmiştir. Regresyon analizi ile tarhana için en uygun modelin Freundlich, BET ve Henderson eşitlikleri olduğunu belirlemiştir.

Akanbi vd. (2006), 25, 30 ve 40°C sıcaklıklarda 0,08-0,85 su aktivitesi aralığında kurutulmuş domates dilimlerinin gravimetrik yöntem kullanarak adsorpsiyon izotermlerini belirlemişlerdir. Elde edilen deneysel veriler Oswin, Kuhn, Halsey, BET ve GAB eşitliklerine uygulandığında en uygun model GAB ve Oswin eşitlikleri ile elde edilmiştir. 25⁰C'de ise kurutulmuş domates dilimleri için en uygulanabilir model GAB eşitliği ile elde edilmiştir. Nem arttıkça izosterik adsorpsiyon ısı azalmıştır.

Giovanelli vd. (2002), kurutulmuş domates ürünlerinin 20°C'de adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermlerini belirlemişlerdir ve GAB. eşitliğiyle M_0 (Monomoleküler su içeriği) değerlerini hesaplamışlardır. Bu araştırma sonucunda, dondurularak kurutulmuş domates pulpunun adsorpsiyon izoterminden elde edilen GAB M_0 değeri "11.7 g H₂O/100 g k.m." olarak bulunmuştur. Sıcak hava ile kurutulmuş domates pulpunun desorpsiyon izoterminden elde edilen M_0 değeri ise 8.7 g H₂O/100 g kuru madde olarak bulunmuştur. 20°C sıcaklıkta dondurularak kurutulmuş suda çözünmeyen kuru madde içeriği bakımından zengin domatesin adsorpsiyon izoterminden elde edilen M_0 değeri ise 4.5 g H₂O/100 g kuru madde olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre, kuru madde

bakımından zengin ve suda çözülmeyen domatesin diğerlerine göre daha az higroskopik olduğunu görmüşlerdir. Bunun nedeni ise, bahsi geçen ürünün üretilmesinde santrifüj sırasında glukoz ve fruktoz gibi suyu tutan komponentlerin serumla beraber üründen ayrılmasından dolayıdır. Kuru madde miktarı fazla ve suda çözülmeyen domateslerin kurutulmasında, daha fazla su uzaklaştırılarak istenilen düşük su aktivitesi (a_w) değerine ulaşılabileceği görülmüştür. Bu çalışma sonucunda, tek katmanlı su içeriğindeki (M_o) düşük domateslerde, muhafaza sırasında su içeriğindeki değişimlere daha fazla hassas olduğu da belirlenmiştir.

Falale ve Aworth (2004), Afrika star elması ve Afrika mangosu ile 20 ve 40°C sıcaklıklarda 'osmoz + sıcak hava' kurutma tekniği (osmo-oven) kullanarak yaptıkları bir çalışmada; Afrika star elması ve mangosunun adsorpsiyon izotermlerinin Tip III izoterm şekline uyduğunu görmüşlerdir ayrıca düşük su aktivitesi (a_w) değerlerinde, ürünlerin su içeriğinde hızlı bir artış belirlemişlerdir, bunun nedeni ise ürünlerdeki şekerlerin -OH gruplarına suyun bağlanması neticesinde suyun bağlanabileceği yeni grupların oluşması olarak açıklamışlardır. Yüksek su aktivitesi (a_w) değerlerinde ise, sorpsiyon eğrisinde, şekerin çözünmesine bağlı olarak şekerin kristal yapısının kırılması ile suyun bağlanabileceği adsorpsiyon uçlarının sayısının artmasından dolayı hızlı bir değişim meydana gelmiştir.

Pekmez (2004), saplarından kesilerek ayrılan taze nanelerin soğurma izotermelerini tepsili, donduruculu ve dolaylı güneş enerjili kurutucularda, 15, 25 ve 35°C sıcaklıklarda %10-90 bağıl nem aralığında doymuş tuz çözeltileri metodu kullanılarak belirlemişlerdir. Soğurma izotermelerini tanımlamak için Oswin, Halsey, BET, BET linear, GAB ve Peleg modelleri arasından Peleg modelinin bütün desorpsiyon ve adsorpsiyon izoterm eğrilerini tanımlamada en iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Kaya ve Kahyaoğlu (2007), 15, 25 ve 35°C sıcaklıklarda ve 0,08-0,95 su aktivitesi aralığında safran taç yaprakları ve tarhununu sorpsiyon izotermelerini lineer olmayan

regresyon analizi ile Halsey, Oswin, BET ve GAB eşitlikleri kullanılarak modellenmişlerdir. 0,06- 0,52 su aktivitesi aralığında yüzde bağıl sapma ve kalanların karesinin ortalama yüzdesi kriterlerine göre iki ürün içinde en uygun eşitliğin BET, bütün su aktivitesi değerlerinde ise en uygun eşitliklerin Halsey, Oswin ve GAB olduğunu belirlemişlerdir.

Koroş (2007), 25°C sıcaklıkta %11-%90 bağıl nem aralığında gravimetrik yöntem kullanarak kurutulmuş domatesin, kurutulmuş biberin ve kurutulmuş patlıcanın adsorpsiyon izotermelerini linearize edilmiş B.E.T. doğrusal olmayan G.A.B., Oswin ve Halsey eşitlikleri ile modellemiştir. Kurutulmuş domatese en uygun modelin G.A.B. eşitliği olduğu ve adsorpsiyon izotermine (S şekilli) Tip II izoterm tipine uygun olduğu, kurutulmuş bibere en uygun modelin Oswin eşitliği olduğu adsorpsiyon izotermine (J şekilli) Tip III izoterm tipine uygun olduğu, kurutulmuş patlıcana en uygun modelin yine G.A.B eşitliği olduğu ve adsorpsiyon izotermine (J şekilli) Tip III izoterm tipine uygun olduğu ayrıca en yüksek mono moleküler su içeriği (Mo) kurutulmuş domateste olduğu en düşük değer ise patlıcanda olduğu belirtilmiştir.

Şentürk (2009) BET, GAB, Oswin ve Halsey modellerini kullanarak kuru dutun 10, 20 ve 30°C sıcaklıklardaki adsorpsiyon ve 10°C'deki desorpsiyon izotermelerini modellemiştir. Modellerin kıyaslanmasında kalanların karesinin ortalaması hesaplanmış (RMS) ve bu modellere ait grafikler çizilmiştir. 0-0,65 su aktivitesi aralığında en uygun modelin BET modeli, su aktivitesinin 0-0,92 olduğu aralıklarda ise en iyi modelin GAB modeli olduğunu belirlemiştir.

Abduljabbar (2018), taze Isparta gülünün (*Rosa damascena Mill.*) 25, 30, 35 ve 40°C sıcaklıklarda ve %11 ile %93 deney ortamı bağıl nemlerinde sorpsiyon izotermelerini belirlemiştir. Sabit su aktivitesinde azalan sorpsiyon sıcaklığına bağlı olarak ürünün denge nem içeriğinin arttığı; sabit sıcaklıkta ise ürün denge neminin artan su aktivitesine bağlı olarak yükseldiği araştırma sonucunda belirlenmiştir. 25°C sıcaklıkta

ve 0,2-0,8 su aktivitesi aralığında adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermeleri arasında yüksek oranda histerisiz olduğu, daha yüksek sıcaklıklarda özellikle 35ve 40°C sıcaklıklarda histerisizin belirgin şekilde olmadığı saptanmıştır. Isparta gülü için elde edilen deney sonuçları Oswin, Peleg, Henderson, Iglesias-Chirife ve Simith eşitlikleri ile modellendiği zaman en uygun eşitliğin $R^2:0,99$ değeri ile Peleg eşitliği olduğu tespit edilmiştir.

Koç (2019), 15, 25 ve 35°C sıcaklıklarda buğday embriyosunun nem sorpsiyon izotermelerini belirlemiştir. Elde edilen sorpsiyon verilerinin çeşitli sorpsiyon eşitliklerine uyumu araştırmıştır ve tek tabaka nem içeriğini belirlemiştir. Yapılan denemeler ve analizler sonucunda buğday embriyosunun 15, 25 ve 35°C sıcaklıklarda sorpsiyon izotermine Tip 2 olduğu, elde edilen sorpsiyon verilerine en iyi uyumu Halseyeşitliğinin sağladığını ve BETve GABeşitlikleri kullanılarak buğday embriyosunun tek tabaka nem içerikleri sırası ile 4,10 ve 4,40 g.su/100g kuru madde olduğunu tespit etmiştir. Denemenin ikinci aşamasında ise 4 ve 25°C sıcaklıklarda, buğday embriyo örnekleri doğal nem içeriğinde (14,39 g.su/100g kuru madde) ve belirlenmiş olan tek tabaka nem içeriğinde (4,25 g.su/100g kuru madde) 28 gün boyunca depolamıştır ve depolanmanın 0., 7., 14., 21. ve 28. günlerinde örneklerin nem içeriği, su aktivitesi, pH değeri, titrasyon asitliği, serbest yağ asitliği, peroksit sayısı, iyot sayısı ve özgül soğurma değeri analizlerini yapmıştır. Depolama süresince tek tabaka nem içeriğinde, embriyoların nem içeriğinin 4,55 değerinden 6,41 g.su/100g kuru madde değerine, su aktivitesi değerinin ise 0,24 değerinden 0,36 değerine yükseldiğini tespit etmiştir. Doğal nem içeriğinde depolanmış embriyo örneklerinin, nem içeriği ve su aktivitesi değerleri ise depolanma süresince etkilenmeyerek ortalama 14,39 g.su/100g kuru madde ve 0,68 olarak gerçekleştiğini tespit etmiştir. Sonuç olarak buğday embriyosunun su buharı geçirimsiz bir şekilde tek tabaka nem içeriğinde (4,10-4,40 g.su/100g kuru madde) ve düşük sıcaklıkta depolanmasının oksidasyonu yavaşlatması ile embriyoların acılaşmasını azaltacağı ve raf ömrünü uzatacağı tespit etmiştir.

3.1 MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Araştırmada materyal olarak Kastamonu yöresine özgü Üryani eriği kullanılmıştır. Güneşte kurutulan Üryani eriklerinden 5 kg'lık deneme materyeli, sorpsiyon izoterm denemelerine değin oda koşullarında depolanmıştır ve kurutma denemeleri yapılmıştır. Araştırmada kullanılan kuru erikler, Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1 Kuru Üryani eriği

Üryani eriğinin sorpsiyon izotermelerinin belirlenmesinde, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü'nde bulunan radyo frekans (RF) ve Mikrodalga Sistemleri Laboratuvarı ile Kurutma Teknolojileri Laboratuvarı'nda bulunan cihazlardan yararlanılmıştır. Deneme materyalinin sorpsiyon özellikleri, Rotronic HygroLab Water Activity ölçme sistemi kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 3.2). Su aktivite cihazının su aktivite değerisi 0-0.99 ve ölçme sıcaklığı -10-55°C aralığına sahiptir. Cihazın ölçüm hassasiyeti ise 0.1°C sıcaklık ve 0.01 a_w 'dir. Üryani eriğinin gravimetrik olarak nem

içeriğinin belirlenmesinde 20-150°C ölçme aralığına sahip sıcaklık ve zaman ayarlı standart sıcak hava akışlı etüv fırını kullanılmıştır (Şekil 3.3). Ayrıca çeşitli sıcaklıklardaki sorpsiyon izotermilerin elde edilebilmesi içinsu aktivitesisteminin ölçüm probu ve örnek kutusu, sıcak hava akışlı etüv fırınına yerleştirilmiştir.



Şekil 3.2 Su aktivite cihazı



Şekil 3.3 Araştırmada kullanılan hava akışlı etüv fırını

Örneklerin kuru kütlelerinin belirlenmesinde, METTLER marka elektronik terazi kullanılmıştır (Şekil 3.4). Dahili kalibrasyonu ve dijital göstergeye sahip elektronik terazinin ölçme aralığı 3 kg olup hassasiyeti ± 0.01 g' dır.



Şekil 3.4 Elektronik terazi

3.2 Yöntem

3.2.1 Nem içeriğinin belirlenmesi

Denemelerden önce kuru Üryani eriklerin nem içerikleri gravimetrik yönteme 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 etüv fırınında 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 kütle miktarları belirlenmiştir. Kurutma işlemi sonunda kuru Üryani eriklerin nem içerikleri yaş baza (%y.b.) göre;

$$M_y = \frac{W_s}{W_s + W_k} 100 \dots\dots\dots (3.1)$$

Eşitlikliyle %37.33 y.b., %35.68 y.b., %33.81 y.b., %32.12 y.b., %30.37 y.b., %28.15 y.b., %25.93 y.b., %23.91 y.b. ve %21.57 y.b. olarak ifade edilmiş (Ayık 1985) ve yaş baza göre hesaplanan nem içerikleri aşağıdaki eşitlikle (Eşitlik 3.2)% kuru baza (%k.b) dönüştürülmüştür (Yağcıoğlu 1999):

$$M_k = \frac{M_y}{100 - M_y} 100 \dots\dots\dots (3.2)$$

Bu eşitliklerde;

M_y : Yaş bazda nem içeriği (% y.b),

M_k : Kuru bazda nem içeriği (% k.b),

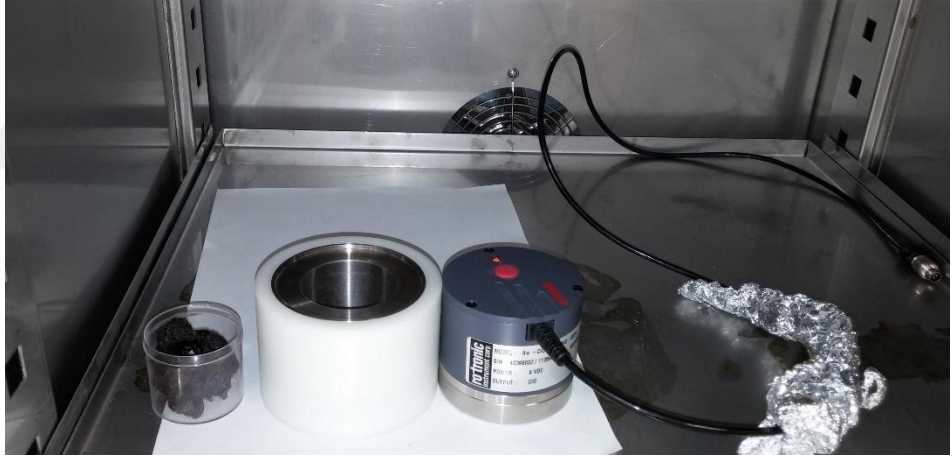
W_s : Ürünün içerdiği su kütlesi (g),

W_k : Ürünün kurumadde kütlesi (g) dir.

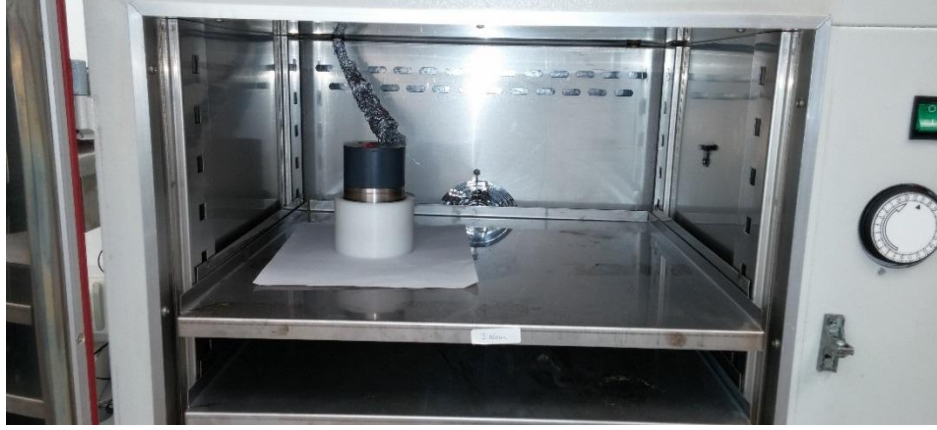
3.2.2 Sorpsiyon izotermlerinin oluşturulması

Sorpsiyon izotermlerinin deneysel olarak belirlenmesinde gravimetrik veya higrometrik yöntemler kullanılmaktadır. Gravimetrik yöntemde, tarım ürünleri, sıcaklığı ve bağıl nemi sabit bir ortamda denge oluşana kadar bekletilir ve kazanmış oldukları nem artışı sonucunda artmış olan ağırlıkları belirlenirse, o su aktivitesindeki denge nem içerikleri belirlenmiş olur. Bu işlem farklı bağıl nem içeren ortamlarda tekrarlanırsa fazlasıyla veri çifti elde edilir, elde edilen budonelerin grafiğe işlenmesiyle de sorpsiyon izoterm eğrileri elde edilmektedir (Cemeroğlu vd. 2004).

Bu çalışmada, kuru Üryani eriğinin sorpsiyon izotermi, Fasina 2006 ve Al-Mahasneh vd. 2007 tarafından önerilen yöntemle belirlenmiştir. Bu yöntemde eriklerin konulduğu atılabilir örnek kutusu, Şekil 3.5’de ortada gösterilen ölçüm kabına konulmuş ve bunun üzerine sağdaki ölçüm sensörü yerleştirilerek kapalı bir alan oluşturulmuştur. Ölçüm sensörünün ara kablosu Şekil 3.2’de gösterilen su aktivite cihazına bağlanarak a_w değerleri belirlenmiştir. Çeşitli sıcaklıklardaki a_w değerlerinin elde edilebilmesi için ölçüm sistemi, Şekil 3.3’de gösterilen sıcak hava akışlı etüv fırınına yerleştirilmiştir (Şekil 3.6). Su aktivite cihazının göstergesindeki sıcaklık ve a_w değerleri stabil olduğunda deneme sonlandırılmış ve ölçülen değerler kaydedilmiştir. Dengeye gelen eriklerin nem içerikleri belirlendikten sonra, örneklerin %k.b cinsinden ifade edilen denge nem içerikleri, a_w ’ye karşı çizilerek o sıcaklıktaki sorpsiyon izoterm eğrisi elde edilmiştir.



Şekil 3.5 Örnek kabı, ölçüm kabı ve sensörü



Şekil 3.6 Ölçüm sisteminin etüv fırınına yerleştirilmesi

3.2.3 Sorpsiyon verilerinin matematiksel modellere uygulanması

Sorpsiyon verilerinin değerlendirilmesinde geliştirilen birçok matematiksel model bulunmaktadır (Kabil 2010). Birtakım eşitlikler tamamen deneysel birtakım eşitlikler ise yarı deneysel veya kuramsal temellerden gelmektedir (Zorlugenç 2010). Tahıl ve benzeri ürünlerin denge nem içeriklerini belirlemek amacıyla çeşitli araştırmacılar tarafından önerilmiş birçok eşitlik bulunmaktadır (Yağcıoğlu 1999). Fakat hiçbir model her gıda için hersu aktivitesideğerlerinde doğru sonuç vermemektedir. Bunun nedeni ise, suyun farklı şekillerde gıda matrikslerine bağlı olmasındandır. Matematiksel modelleme için literatürde çok sayıda model bulunmakta olup ancak, BET, GAB, Halsey, Oswin, Smith ve Henderson eşitlikleri, tarımsal ürünlerin sorpsiyonlarının modellenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Gözükara 2013). Bu çalışmada elde edilen sorpsiyon izoterm verileri, literatürde mevcut olan modellerden en yaygın olarak kullanılanlardan seçilen onbeş matematiksel eşitlik ile modellenmiştir. Bu eşitlikler aşağıda verilmiştir:

1) BET eşitliği,

$$M = \frac{M_0 \times A \times a_w}{1 - a_w + (A - 1)(1 - a_w)a_w} \dots \dots \dots (3.3)$$

2) GAB (Guggenheim-Anderson-deBoer) eşitliği,

$$M = \frac{M_0 \times B \times C \times a_w}{(1 - B \times a_w)(1 - B \times a_w + B \times C \times a_w)} \dots\dots\dots (3.4)$$

3) Henderson eşitliği,

$$M = \left(\frac{\ln(1 - a_w)}{-A} \right)^{1/B} \dots\dots\dots (3.5)$$

4) Chung-Pfost eşitliği,

$$M = -\frac{1}{B} \ln \left(-\frac{\ln a_w}{A} \right) \dots\dots\dots (3.6)$$

5) Oswin eşitliği,

$$M = A \times \left(\frac{a_w}{1 - a_w} \right)^B \dots\dots\dots (3.7)$$

6) Halsey eşitliği,

$$M = \left(-\frac{A}{\ln a_w} \right)^{1/B} \dots\dots\dots (3.8)$$

7) Smith eşitliği,

$$M = A + B \times \ln(1 - a_w) \dots\dots\dots (3.9)$$

8) Khun eşitliği,

$$M = \left(\frac{A}{\ln a_w} \right) + B \dots\dots\dots (3.10)$$

9) Peleg eşitliği,

$$M = A \times a_w^C + B \times a_w^D \dots\dots\dots (3.11)$$

10) Caurie eşitliği,

$$M = \exp(A + B \times a_w) \dots\dots\dots (3.12)$$

11) Değiştirilmiş GAB eşitliği,

$$M = \frac{M_0 \times B \times C / T \times a_w}{(1 - B \times a_w)(1 - B \times a_w + B \times C / T \times a_w)} \dots\dots\dots (3.13)$$

12) Değiştirilmiş Henderson eşitliği,

$$M = \left[\frac{-\ln(1 - a_w)}{A(T + B)} \right]^{1/C} \dots\dots\dots (3.14)$$

13) Değiştirilmiş Chung-Pfost eşitliği,

$$M = -\frac{1}{C} \ln \left[-\frac{(T + B)}{A} \ln a_w \right] \dots\dots\dots (3.15)$$

14) Değiştirilmiş Oswin eşitliği,

$$M = (A + B \times T) \left[-\frac{a_w}{(1 - a_w)} \right]^{1/C} \dots\dots\dots (3.16)$$

15) Değiştirilmiş Halsey eşitliği,

$$M = \left[\frac{-\ln a_w}{\exp(A + B \times T)} \right]^{-1/C} \dots\dots\dots (3.17)$$

Bu eşitliklerde;

- a_w : Su aktivitesi (ondalık),
- T : Sıcaklık (°C),
- M : Denge nem içeriği (% k.b),
- M_0 : Tek katmanlı su içeriği (% k.b),
- A, B ve C : Eşitliklerdeki katsayılarıdır.

GAB ve BET eşitliklerindeki M_0 katsayısı, ürünün tek katmanlı (monomoleküler) su içeriğini göstermektedir. Tek katmanlı su, ürünlerde bulunan polar ve iyonik gruplara tek tek bir su molekülünün bağlanmasıyla oluşmaktadır ve kurutulmuş ürünlerdeki su miktarının alt sınırını göstermektedir. Tek katmanlı su içeriği, birçok gıda maddesinin en stabil olduğu su içeriğini göstermektedir. Gıdalarda meydana gelmemesi istenen kimyasal reaksiyonlar, monomoleküler su değerinde en düşük hızda gerçekleşmektedir (Koroş 2007).

Kuru Üryani eriğin sorpsiyon izoterm verileri, literatürde mevcut olan modellerden en yaygın olarak kullanılanlardan seçilen onbeş matematiksel eşitlik ile modellenmiştir. Modellere ilişkin katsayılar (A, B, C ve M_0), çok değişkenli doğrusal olmayan regresyon tekniği ile belirlenmiştir. Elde edilen istatistiksel analizler de belirtme katsayısı (R^2), mutlak bağıl hata (H), tahminin standart hatası (SEM) ve kalıntı değerleri gibi kıyaslama kriterleri dikkate alınarak ileen iyi model belirlenmiştir. Bu istatistiksel kıyaslama kriterleri aşağıda verilmiştir (Lawrence and Nelson 1993a):

$$H = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|M_{\text{exp}} - M_{\text{pre}}|}{M_{\text{exp}}} \dots \dots \dots (3.18)$$

$$SEM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_{\text{exp}} - M_{\text{pre}})^2}{n - p - 1}} \dots \dots \dots (3.19)$$

Bu eşitliklerde:

- M_{exp} : Deneysel denge nem içeriği (% k.b),
- M_{pre} : Modelle elde edilen denge nem içeriği (% k.b),
- n : Örnek sayısı,
- p : Modeldeki bağımsız değişken sayısıdır.

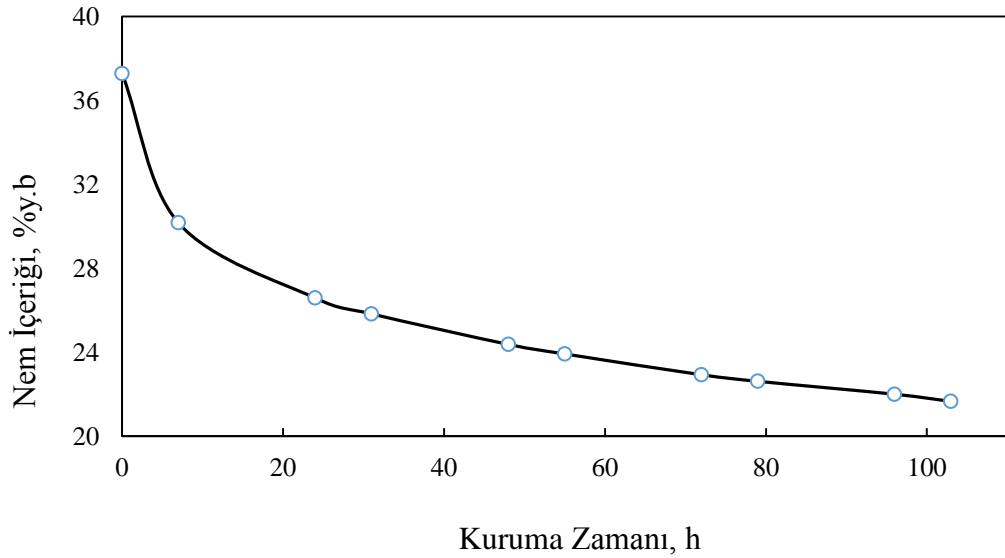
Doğrusal olmayan regresyon analizi neticesinde hangi sorpsiyon izoterm modelinin uygun olacağı varyans analizi yapılarak belirlenmiştir. En iyi modelin seçilmesinde $P < 0.01$ olması koşulunda R^2 , başlıca karşılaştırma kriteridir ve seçilecek eşitliğin, SEM değerinin mümkün olduğunca düşük ve H değerinin ise %10'nun altında 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 sifıra yakın değerler göstermesi o modelin uygunluğunu göstermektedir (Sacilik vd. 2006; Fıratlıgil-Durmuş 2008; Tomaraei 2010).

3.2.4 Denemelerin düzenlenmesi

Deneme materyali kuru Üryani erik örnekleri, denemelere kadar oda sıcaklığında muhafaza edilmiştir. Ana kütle denalınan 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. Kuru Üryani eriklerin ilk nem

içeriği ortalama olarak %37.33 y.b. olarak hesaplanmıştır. Denemelerde erik örneklerini farklı nem seviyelerine getirmek için eriğin kuruma karakteristiği belirlenmiştir. 120 mm çapında ve 25 mm yüksekliğindeki CrNi kurutma kabına konulan yaklaşık 45 g örnek, 70°C'deki sıcak hava akışlı etüv fırınına konulmuştur. Deneme, 103 saatte tamamlanmış olup ürünün kuruma karakteristiği Şekil 3.7'de verilmiştir.

Erik örnekleri dokuz bölünmüş ve her bir örnek, elde edilen kuruma karakteristiği eğrisine göre öngörülensüre kadar kurutulmuştur. Böylece dokuz farklı nem seviyesi elde edilmiştir. Kuru üryani eriğin 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.



Şekil 3.7 Üryani eriğin 70°C'deki kuruma karakteristiği

Denemelerde, Şekil 3.3'de gösterilen sıcak hava akışlı etüv fırınının sıcaklığı 20, 30 ve 40°C sıcaklıklara ayarlanmıştır. 20°C yi sağlamak için laboratuvardaki klima cihazı

ortamı soğutmuştur. Etüv fırını içerisindeki su aktivite cihazının ölçüm sensörünün zarar görmemesi için üst sıcaklık 40°C olarak saptanmıştır.

Denemelere başlamadan önce su aktivite cihazı üretici firmanın öngördüğü sırada %35, 80, 10, 5 ve 0'lık bağıl nem çözeltileriyle kalibrasyonu yapılmıştır. Şekil 3.5'de verilen atılabilir örnek kutusunun(44×40 mm) %80'nine kadar erikler doğal haliyle yerleştirilmiş ve daha sonra ölçüm kabının ortasına yerleştirilmiştir. Bunun üzerine de su aktivite cihazının ölçüm sensörü yerleştirilerek kapalı bir alan oluşturulmuştur. Ölçüm sensörünün ara kablosu Şekil 3.2'de gösterilen su su aktivite cihazına bağlanarak a_w değerleri belirlenmiştir. Su su aktivite cihazının göstergesindeki sıcaklık ve a_w değerleri stabil olduğunda deneme sonlandırılmış ve ölçülen değerler kaydedilmiştir. Dengeye gelen eriklerin nem içerikleri belirlendikten sonra, örneklerin % k.b. cinsinden ifade edilen denge nem içerikleri, su aktivitesine (a_w) karşı çizilerek o sıcaklıktaki sorpsiyon izoterm eğrisi elde edilmiştir. Denemeler 9 ürün nemi ve 3 sıcaklık ve 3 tekerrür olacak şekilde 81 deneme yapılmıştır. Her bir deneme sıcaklık ve ürün nemine bağlı olarak 60 ila 110 dakika arasında dengeye geldiğinden su aktivite cihazı bilgisayara bağlanmamıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Sorpsiyon İzoterm Eğrileri

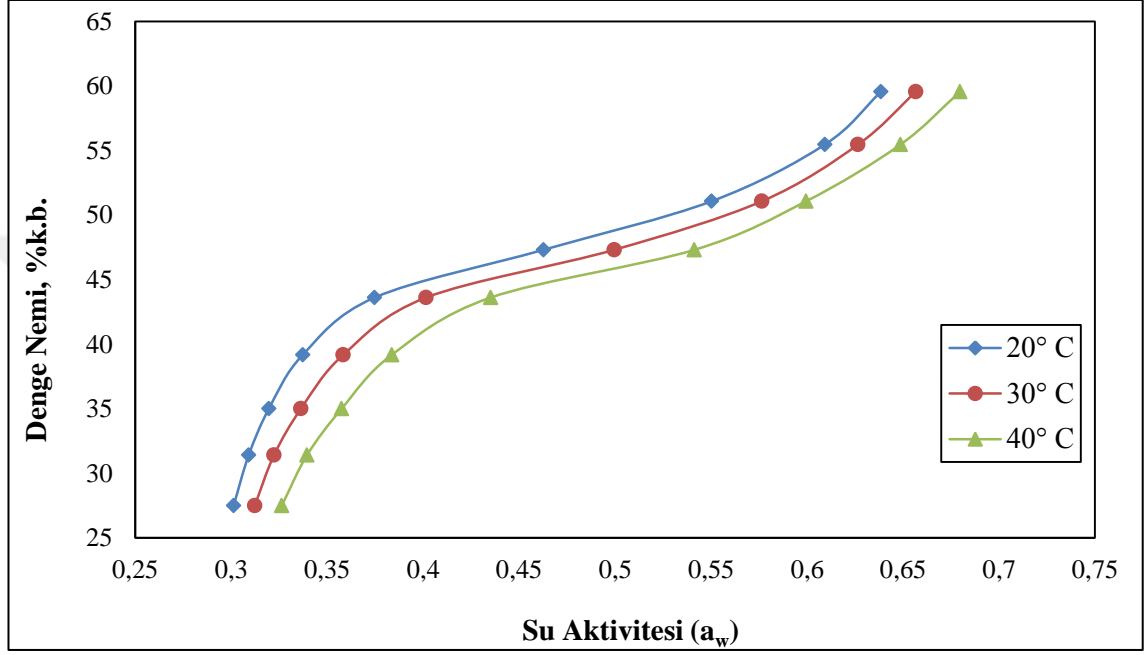
Denge nem içerikleri belirlenmiş Kuru Üryani eriği örneklerinin 20, 30 ve 40°C sıcaklıklarda su aktivitesi değerleri belirlenerek sorpsiyon izotermi Şekil 4.1’de çizilmiştir ve ulaşılan doneler ise Çizelge 4.1’de görülmektedir. Kuru üryani eriğinin 20, 30 ve 40°C sıcaklıklarda ve %27,5 ile %59.57 k.b. denge nemi aralıklarında su aktivite değerleri sırasıyla 0.30-0.63, 0.31-0.65 ve 0.32-0.67 aralığından değişmiştir. Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1 incelendiğinde sabit su aktivitesi değerlerinde sıcaklığın artmasıyla sorpsiyon edilen su miktarı azalmaktadır, yani sıcaklık yükseldikçe üründe bulunan su miktarı tüm su aktivitesi değerlerinde azalmaktadır. Bunun yanı sıra sabit sıcaklıkta ise, ürün denge nem içeriği artan su aktivitesi ile artmıştır (Abduljabbar 2018). Ayrıca aynı denge nem içeriğinde ürünün sıcaklığı arttıkça su aktivitesi değerlerinin arttığı görülmüştür. Bu durum ürünlerin daha çabuk bozulmasına neden olmaktadır. Bu sonuçlar nane (Pekmez 2004), domates (Akanbi vd. 2006), kurutulmuş domates, kurutulmuş biber, kurutulmuş patlıcan (Koroş 2007), kuru dut (Şentürk 2009) ve cezerye (Gürocak 2011) ile yapılan çalışmalarla elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermektedirler.

Çizelge 4.1 Kuru Üryani eriğinin 20, 30 ve 40 °C’deki su aktivite değerleri

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

Çizelge 4.2 Kuru Üryani eriğın 20, 30 ve 40 °C'deki su aktivite değeri (devamı)

Denge Nemi (%k.b)	20°C	30°C	40°C
55.47	0.6092	0.6265	0.6486
59.57	0.6385	0.6567	0.6797



Şekil 4.1 Kuru üryani eriğinin çeşitli sıcaklıklardaki sorpsiyon izotermi

Sabit sıcaklıkta su aktivitesi değeri artması ile Kuru Üryani erik örneklerinin nem içerikleri artmakta ve böylece ortamda bulunan su moleküllerinin miktarı da artmaktadır. Ortamda artan su molekülleri örnek üzerindeki aktif uçlara ve diğer su moleküllerine hidrojen bağı ile bağlanmaktadır ve sonuçta örnekteki kapiller boşlukları doldurarak ürün örneklerinin nem içeriklerinin artmasına neden olmaktadır (Ertugay vd. 2000; Avaira vd. 2004; Erbaş vd. 2005; Chuma vd. 2012). Bu sonuç, çeşitli ürünlerle yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermektedir (Pekmez 2004; Akanbi vd. 2006; Koroş 2007; Şentürk 2009; Gürocak 2011).

Sıcaklığın artması ile ürün örneklerinin nem içerikleri azalmaktadır bunun nedeni ise yüksek sıcaklıklarda su moleküllerinin kinetik enerjilerinin artması ve hidrojen bağlarının ekzotermik reaksiyon ile oluşmasındandır. Su moleküllerinin hareketliliğinin artmasından dolayı su molekülleri ürün örneklerine hidrojen bağı ile bağlanamamasına ve örneklerin su içeriğinin sıcaklık artışı ile azalmasına neden olmaktadır (Ertugay vd. 2000; Avaira vd. 2004; Erbaş vd. 2005; Chuma vd. 2012). Bu sonuç, çeşitli ürünlerle yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermektedir (Pekmez 2004; Akanbi vd. 2006; Koroş 2007; Şentürk 2009; Gürocak 2011).

Sorpsiyon ortamındaki su molekülleri, ürün örneklerinin yüzeyinde bulunan polar uçlara veya kapiller sistemlere hidrojen bağları ile bağlanmaktadır ve yüksek sıcaklıklarda su molekülleri arasındaki mesafenin artması ve su moleküllerinin arasındaki çekim gücünün azalması sonucunda ürün örneklerinin de sorpsiyon kapasiteleri azalmaktadır (Ertugay vd. 2000; Avaira vd. 2004; Erbaş vd. 2005; Bejar vd. 2012; Chuma vd. 2012).

Kuru üryani eriğinin sorpsiyon izotermi Şekil 4.1’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 olurken, ikinci bükülmeler ise 0,55, 0,57 ve 0,59 su aktivitesi değerlerinde olduğu görülmektedir. Grafiğin birinci bükülme noktasına kadar ürün örneklerinin su bağlanmamış aktif uçlarına su aktivitesinin artışı ile yeni su molekülleri bağlanmaktadır ve yaklaşık olarak birinci bükülmenin olduğu yerde ise tüm aktif uçlar yalnızca bir tabaka su molekülü içererek su ile hidrojen bağı yapmış olarak tek tabaka nem içeriği (M_0) oluşturmaktadırlar. Birinci bükülmenin olduğu noktadan sonra su aktivitesinin artması ile ürün örneklerindeki tek tabaka suyun üzerine düzenli bir şekilde su tabakaları hidrojen bağı ile bağlanmaktadır ve sorpsiyon izotermi ikinci bükülme noktasına kadar bu düzenli bağlanma devam ederek ürün örneklerinin çoklu su tabaka içeriğini oluşturmaktadır. Grafiğin ikinci bükülme noktasından sonra ise su molekülleri ürün örneklerindeki kapiler boşluklara ve mikropolarları doldurarak birçok

bozucu reaksiyona neden olan serbest suyu oluşturmaktadırlar (Bell ve Labuza 2000; Mathlouthi2001; Erbaş vd. 2005; Canovas vd. 2007; Aykın vd. 2015).

Yukarıda tespit edilenler sonucunda, Kuru üryani eriğinin BET tarafından yapılmış olan sorpsiyon izotermi sınıflandırmasında sorpsiyon izotermi sigmoidal biçimde olan 'Tip II' sınıfına girdiği, çoklu tabaka içeren bir sorpsiyon gerçekleştiği ve ürün örneklerinin yapısının kapiller sistemler ve mikropolardan oluştuğu tespit edilmiştir.

4.2 Sorpsiyon İzotermlerinin 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 izotermine ait yüzde bağıl ortalama sapma değerleri (H) %10'dan yüksek olması nedeniyle Henderson,

Geliştirilmiş Henderson ve Halsey modellerinin uygun olmadıkları görülmüştür.

Çizelge 4.3 Kuru üryani eriğinin sorpsiyon modellerinin katsayıları ve karşılaştırma değerleri

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
OSWİN	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

Çizelge 4.4 Kuru üryani eriğinin sorpsiyon modellerinin katsayıları ve karşılaştırma değerleri (devamı)

Model Adı	T, °C	A	B	C	D	M_0 , %k.b	R^2	SEM	H, %
Geliştirilmiş Oswin	20	-145044	7252	2			0.9516	0.038988	6.79
	30	-314581	10486	2			0.9609	0.035122	6.13

Elde edilen sonuçlar neticesinde Kuru üryani eriğinin denge nem içeriği ile su aktivitesi arasındaki ilişkiyi en iyi PELEG modelinin tanımladığı görülmüştür. Bu yüzden PELEG modeli Kuru üryani eriğinin işlenmesinde ve muhafaza edilmesinde nem değerlerinin belirlenmesinde kullanılabilir.

4.3 Tek Katmanlı Nem İçeriğinin Belirlenmesi

M_0 tek katmanlı su içeriği olup BET eşitliği (Eşitlik 3.3) ve GAB eşitliği (Eşitlik 3.4) ile doğrusal olmayan regresyon tekniği kullanılarak 20,30 ve 40°C sıcaklıklar için hesaplanmıştır. BET eşitliği ile 20,30 ve 40°C'de sırasıyla %0.25 k.b., %0.23 k.b. ve %0.20 k.b. olarak hesaplanmıştır. GAB eşitliği (Eşitlik 3.4) ile de 20,30 ve 40°C'de sırasıyla %1.95 k.b., %2.20 k.b. ve %2.62 k.b. olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'de Kuru üryani eriği için hesaplanan tek katmanlı su içerik değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.5 Kuru üryani eriğinin BET eşitliği ile hesaplanan M_0 değerleri

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

Çizelge 4.6 Kuru üryani eriğinin GAB eşitliğı ile hesaplanan M_0 değerleri

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

BET ve GAB eşitlikleri ürünlerin özellikle de kurutulmuş ürünlerin muhafazası boyunca güvenilir nem değeri olarak bilinen M_0 değerinin hesaplanmasında kullanılmaktadırlar. Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4 incelendiğinde GAB eşitliğı kullanılarak hesaplanan M_0 değerlerinin, BET eşitliğı kullanılarak hesaplanan M_0 değerlerinden büyük olduğu görülmüştür. Ayrıca BET modelinde M_0 değerleri artan sıcaklık ile azalırken, GAB modelinin M_0 değerleri artan sıcaklık ile artmıştır. M_0 değerinin sıcaklık ile bu değışiminin nedeni, sistem içindeki suyun konfigürasyonunun sıcaklık ile değışimden kaynaklanmaktadır (Quirijns vd. 2005). Sonuç olarak 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 söylenilebilir.

5. SONUÇLAR

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 arttığı 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.



KAYNAKLAR

- Abduljabbar, I.A. 2018. Isparta Gülü (*Rosa Damescena* Mill.) nem sorpsiyon izotermelerinin ve en uygun kurutma havası koşullarının belirlenmesi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı, 185, Isparta.
- Akanbi, C.T., Adeyemi, R.S. ve Ojo, A. 2006. Drying characteristics and sorption isotherm of tomato slices. *Journal of Food Engineering*. 73(2), 157-163, Nigeria.
- Aktaş, N. ve Gökçalp, H.Y. 2002. Protein Water Interactions. *Gıda*, 27 (5), 385-393.
- Al-Muhtaseb, A.H., McMinn, W.A.M. ve Magee, T.R.A. 2002. Moisture sorption Isotherm Characteristics of Food Products: a review. *Food and Bioprocess Technology*, 80, 118–128,.
- Andrade, C. ve Patrica, S. 2011. Quality Oriented Drying of Lemon Balm (*Melissa Officinalis* L.), . Kassel University. 154, Germany.
- Anonymous. 2017. Web Sitesi: <https://kastamonu.tarimorman.gov.tr/>, Erşim Tarihi 15.06.2017.
- Arslan, N. ve Toğrul, H. 2006. The Fitting of Various Models to Water Sorption Isotherms of Tea Stored in a Chamber Under Controlled Temperature and Humidity. *Journal of Stored Products Research*, 42, 112–135.
- 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.
- Avaira, N. A., Ajibola, O.O. ve Oni, S.A. 2004. Sorption equilibrium and thermodynamic characteristics of soya bean. *Biosystems Engineering*, 87(2): 179-190
- Aykın, E., Arslan, S., Durak, A.N. ve Erbaş, M. 2015. Gıdalarda bulunan suyun fizikokimyasal durumu ve sorpsiyon izotermeleri. *Gıda*, 40(2), 109-116.
- Ayrancı, E., Ayrancı G. ve Doğantan, 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.
- Barbosa-Canovas, G., Fontana, J.L.T. ve Shelly, J. 2007. *Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications* Fundamentals and Applications Desorption Phenomena in Food Dehydration Processes. Ames, Iowa: Blackwell Publishing and the Institute of Food Technologists, 435, USA.
- Bejar, A.K., Mihoubi, N.B. ve Kechaou, N. 2012. Moisture Sorption Isotherms – Experimental and Mathematical Investigations of Orange (*Citrus sinensis*) Peel and Leaves. *Food Chemistry*, 132, 1728–1735.
- 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.
- Brunauer, S., Emmett, P.H. ve Teller, E. 1938. Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal of the American Chemists' Society*. 60, 309–319.
- 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.

- Caurie, M. 1970. A new Model Equation for Predicting Safe Storage Moisture Levels for Optimum Stability of Dehydrated Foods. *Journal of Food Technology*, 5, 301-307.
- Caurie, M. 2007. A practical approach to water sorption isotherms and the basis for the determination of optimum moisture levels of dehydrated foods. *Journal of Food Science & Technology*, 6, 85-93.
- Cemeroğlu, B. ve Özkan, M. 2004. Kurutma teknolojisi. *Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi*, Cemeroğlu, B. (ed), Cilt II, Bizim Büro Basımevi, 479-618, Ankara.
- Cemeroğlu, B. ve Özkan, M. 2009. Kurutma Teknolojisi. *Meyve Sebze İşleme Teknolojisi Cilt 2. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları*, 39, 636, 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.
- Chuma, A., Ogawa, T., Kobayashi, T. ve Adachi, S. 2012. Moisture sorption isotherm of durum wheat flour. *Food Science and Technology Research*, 18(5), 617-622.
- Erbaş, M., Ertugay, M.F. ve Certel, M. 2005. Moisture adsorption behaviour of semolina and farina. *Journal of Food Engineering*, 69, 191-198.
- Ertugay, M.F., Certel, M. ve Gürses, A. 2000. Moisture adsorption isotherms of Tarhana at 25oC and 35oC and the investigation of fitness of various isotherm equations to moisture sorption data of Tarhana. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 2001-2004.
- Evranoz, Ö. 1988. Gıda maddelerinin kurutulmaları sırasında kuruma kinetiğini kontrol eden faktörler ve kalite üzerine etkileri. TÜBİTAK Marmara Araştırma Enstitüsü, 51-58, Gebze-Kocaeli.
- Evranoz, 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.
- Fellows, P.J. 1988. Basic Principles. *Food Processing Technology*. Ellis Horwood Ltd., Chichester, 31-70.
- 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.
- Giovanelli, G., Zanoni, B., Lavelli, V. ve Nani, R. 2002. Water sorption, drying and antioxidant properties of dried tomato products. *Journal of Food Engineering*, 52, 135-141.
- Gürocak, E. 2011. Cezeryenin Sorpsiyon İzotermlerinin Belirlenmesi ve Modellenmesi. T.C. Gebze İleri teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Endtitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 46, Gebze-Kocaeli.
- Hışıl, Y. ve İçier, F. 1997. Su Aktivitesinin Vitaminler Üzerine Etkisi. E.Ü. Mühendislik Fakültesi Dergisi, 15(1-2), 59-74.
- Hossain, D., Bala, A., Hossain, M. ve Mondol, R. 2001. Sorption Isotherms and Heat of

- Sorption of Pineapple. *Journal of Food Engineering*, 48, 103-107.
- Jongen, W. 2002. Introduction, (W. JONGEN, Eds.). *Fruit and Vegetable Processing*, Woodhead Publishing Ltd, and CRC Press, 388p.
- Karel, M. 1975. *Principles of Food Science, Part II*. Marcel Dekker, Inc., 237-261.
- Kaya, S. ve Kahyaoglu, T. 2007. Moisture sorption and thermodynamic properties of safflower petals and tarragon. *Journal of Food Engineering*, 78, 413-421.
- 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.
- Koç, A. 2019. Buğday embriyosunun farklı sıcaklıklarda nem sorpsiyon izotermelerinin belirlenmesi ve oksidasyon özelliklerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, 56, Antalya.
- Koroş, B. 2007. Geleneksel Türk Gıdalarının Adsorpsiyon İzotermelerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 66, Ankara.
- Lagoudaki, M., Demertzis P.G., ve Kontominas, M.G. 1993. Moisture Adsorption Behaviour of Pasta Products. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 26, 512-516.
- Lahsasni, S., Kouhila M., Mahrouz M. ve Jauhari, J.T. 2004. Drying Kinetics of Prickly Pear Fruit. *Journal of Food Engineering*, 61, 173-179.
- Lewicki, P.P. 2004. Water as the determinant of food engineering properties. A review. *Journal of Food Engineering*, 61, 483-495.
- Lomauro, C.J., Bakshi, A.S. ve Labuza, T.P. 1985. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations, Fruit, vegetable and meat products. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 18(1), 111-117.
- Mathlouthi, M. 2001. Water content, water activity, water structure and the stability of foodstuffs. *Food Control*, 12, 409-417.
- Mathlouthi, M. ve Rogé, B. 2003. Water Vapor Sorption Isotherms and the Caking of Food Powders. *Food Chem*, 82(1), 61-71.
- Pekmez, H. 2004. Experimental Study On Drying of Mint By Solar, Tray and Freeze Dryers. Master's Thesis in Food Engineering University of Gaziantep, 65, Gaziantep.
- Quirijns E. J., van Boxtel, A. J. B., van Loon, W.K.P. ve van Straten, G. 2005. Sorption isotherms, GAB parameters and isosteric heat of sorption. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 1805-1814.
- Rahman, S. 1995. Water Activity and Sorption Properties of Foods. *Food Properties Handbook*, Ed: Rahman, S. CRC Press Inc., Boca Raton, 1-87.
- Saldamlı, İ. 2017. Gıda Kimyası. Hacettepe Üniversitesi Yayınları, 673, Ankara.
- Soysal, Y. ve Öztekin, S. 1999. Equilibrium Moisture Content Equations for Some Medicinal and Aromatic Plants. In *Journal of agricultural engineering research*, 317-324.
- Sun, D.-W. ve Woods, J.L. 1993. The moisture content/relative humidity equilibrium relationship of wheat – A review. *Drying Technology*, 11(7), 1523-1551.
- Şahbaz, F. 1998. Su ve Buz (İ. SALDAMLI editör) Gıda Kimyası, Hacettepe Üniversitesi Basımevi, 96, Ankara.
- Şentürk, R.N. 2009. Kuru Dutun Sorpsiyon İzotermelerinin Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Gebze, 41, Kocaeli.

- Telli, Z.K. 1984. Yakıtlar ve Yanma. Akdeniz Ü. Isparta Müh. Fak. Yayınları,157, Isparta.
- 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.
- Üçüncü, M. 2000. Gıdaların Ambalajlanması. Ege Üniversitesi Basımevi, 689, İzmir.
- Ünlütürk, A., Karapınar, M. ve Turantaş, F. 1998. Gıda Mikrobiyolojisi. Mengi Tan Basımevi, 605, İzmir.
- Wang, N. ve Brennan, J.G. 1991. Moisture sorption isotherm characteristics of potatoes at four temperatures. Journal of Food Engineering, 14(4), 269-287.
- Yağcıoğlu, A. 1996. Ürün İşleme Tekniği. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 257s, İzmir.
- Yağcıoğlu, A.1999. Tarım ürünleri Kurutma Tekniği 1. Basım Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 348s, İzmir.
- Zhang, X.W., Liu, X., Gu, D. X., Zhou, W., Wang, R.L. ve Liu, P. 1996. Desorption isotherms of some vegetables. Journal of the Science of Food and Agriculture, 70, 303-306.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı :Seçkin POLAT

Doğum Yeri :Elazığ-Türkiye

Doğum Tarihi:13/03/1983

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili :Türkçe

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Yıldırım Beyazıt Lisesi 2000

Lisans : Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri
Mühendisliği Bölümü 2007

Yüksek Lisans: Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinalarıve Teknolojileri
Mühendisliği 2010-2020

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :

2010-2013 Türkiye Tarım Kredi Kooperatifleri

2013-2016 Horasan İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü

2019-Halen Mucur İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü