

## Bazı Nişastalı Tahıllarda İzosterik Sorpsiyon Isısının Belirlenmesi

Serdar ÖZTEKİN, Yurtsever SOYSAL

Çukurova Üniversitesi, Zir. Fak. Tarım Makinaları Bölümü, 01330 Adana - TÜRKİYE  
e-mail: oztekin@mail.cu.edu.tr

Geliş Tarihi: 03.09.1999

**Özet :** Bu araştırmada, Clausius-Clapeyron eşitliği sorpsiyon izotermine uygulanarak 8 farklı nişastalı tahıl için izosterik sorpsiyon ısıları hesaplanmıştır. %14'ün (k.b.) üzerindeki nem içeriği değerlerinde arpa, makarnalık buğday, yulaf, sorgum (31) ve sorgumun izosterik sorpsiyon ısıları ile serbest suyun buharlaşma gizli ısıları arasında önemli farklılıklar olmadığı belirlenmiştir. %17'nin üzerindeki nem içeriği değerlerinde yumuşak buğday, sert buğday ve buğday (Waldron)'ın izosterik sorpsiyon ısıları ile serbest suyun buharlaşma gizli ısıları arasında önemli farklılıklar bulunmamaktadır. %10 nem içeriğinde bu çalışmada incelenen ürünler arasında yumuşak buğday 3341,5 kJ kg<sup>-1</sup> değeriyle en yüksek izosterik sorpsiyon ısısına sahiptir.

**Anahtar Sözcükler:** İzosterik sorpsiyon ısıları, sorpsiyon izotermi, nişastalı tahıllar

### Isosteric Sorption Heat Determination for some Starchy Grains

**Abstract :** In this study, isosteric sorption heat for 8 different starchy grains was determined by the application of the Clausius-Clapeyron equation to sorption isotherms. The latent heat of vaporisation of free water was not significantly different from the isosteric sorption heats of barley, durum wheat, oats, sorghum (31) and sorghum above 14% d.b. moisture content. There was no significant difference among the latent heat of vaporisation of free water and isosteric sorption heats of soft wheat, hard wheat and wheat (Waldron) above the 17% moisture content. Isosteric sorption heat of soft wheat was calculated to be 3341.5 kJ kg<sup>-1</sup> at a moisture content of 10%. This is the highest value obtained for all the starchy grains tested.

**Key Words:** Isosteric sorption heat, sorption isotherms, starchy grains

### Giriş

Petrol kökenli enerji kaynaklarının sınırlı olması ve giderek artan çevresel duyarlılıklar nedeniyle enerji kaynaklarının verimli kullanımı sürekli güncelliğini korumaktadır. Tarım ürünlerinin kurutulması konusunda yapılan araştırmalarda da ürün nitelik ve niceliğini koruma yanında enerji kaygıları öncelikli amaçlar arasında yer almaktadır. Enerjiyi daha verimli kullanan kurutma sistemlerinin tasarımı herşeyden önce kurutma sırasında üründe meydana gelen kütle ve ısı transferi olaylarının açıklanmasında kullanılan matematiksel modellerin doğru bir şekilde tanımlanmasıyla olanaklıdır (1, 2).

Kurutma işleminde, ürün bünyesindeki nemin uzaklaştırılması için genellikle ısı enerjisi kullanılmaktadır. Biyolojik materyale çeşitli mekanizmalarla bağlı olan nemin uzaklaştırılması için gerekli olan ısı enerjisi izosterik sorpsiyon ısıları olarak tanımlanmaktadır. İzosterik sorpsiyon ısıları su molekülleri ile suyu bağlayan

yüzeyler arasındaki bağ enerjisi olarak da tanımlanabilir. Özel bir ürüne ilişkin kurutucu tasarımında, sistemin enerji gereksiniminin belirlenmesinde son derece önemli bir rol oynayan izosterik sorpsiyon ısıları, o ürüne ilişkin denge nemi/denge oransal nemi ilişkilerinden (sorpsiyon izoterminden) belirlenebilmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalarda, izosterik sorpsiyon ısısının tahminine yönelik matematiksel modellerin önemi vurgulanmıştır (3, 4). Herhangibir tarımsal ürünün izosterik sorpsiyon ısısının hesaplanabilmesi için, o ürüne ilişkin sorpsiyon izotermine en az iki farklı sıcaklıkta belirlenmiş olması gerekmektedir.

Günümüzde, ürün denge nemi/denge oransal nemi arasındaki ilişkilerin matematiksel olarak ifade eden 200 dolayında deneysel model mevcuttur (1,2, 5, 6, 7). Bununla birlikte çeşitli tarımsal ürünlerde ürün denge nemi/denge oransal nemi arasındaki ilişkilerin tam doğru olarak tanımlanmasında kullanılabilecek genel bir eşitliğin olmadığı bilinmektedir (1, 8, 9, 10). Geliştirilen bu

modeller arasında Oswin, Halsey, Henderson, Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB), düzenlenmiş Chung-Pfost, Strohmman-Yoerger modelleri en çok kullanılan ürün denge nemi modelleridir (2, 5, 8, 11, 12, 13, 14, 15, 16).

Tahıllarda, ürüne bağlı olarak değişmekle birlikte, genel olarak %12-14 (k.b.) ya da daha yüksek nem içeriklerinde, ürün bünyesinde bulunan suyun buharlaştırılması için gerekli olan ısı enerjisi ile serbest su yüzeyinden suyun buharlaştırılması için gerekli ısı enerjisi arasında çok az bir farklılık bulunmaktadır (17). Ürün nem içeriğinin %12'nin daha da altına düşürülmesi durumunda, ürün içerisindeki suyun yüzeye doğru taşınması sırasında daha büyük dirençlerin oluşması nedeniyle ürünlerdeki suyu buharlaştırmak için gerekli olan ısı enerjisi miktarı da artmaktadır (18). İzosterik sorpsiyon ısısının belirlenmesinde temel olarak iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlar arasında en yaygın olarak kullanılan yöntem Clausius-Clapeyron eşitliğinin farklı sıcaklıklardaki sorpsiyon izotermine uygulanmasıdır (1, 2, 3, 9, 13, 14, 15, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26). Yeni geliştirilen diğer bir yöntemde ise izosterik sorpsiyon ısı kalorimetrik ölçümler ve Riedel eşitliği kullanılarak belirlenmektedir (9, 26, 27, 28). Clausius-Clapeyron eşitliği ile kalorimetrik yöntemlerin karşılaştırılmasına yönelik araştırmalarda, kalorimetrik yöntemle ulaşılan sonuçlarla Clausius-Clapeyron eşitliği kullanılarak elde edilen sonuçlar arasında oldukça iyi bir uyum olduğu ifade edilmektedir (9, 26). Ancak kalorimetrik tekniklerin kullanımıyla izosterik sorpsiyon ısısının belirlenmesinde termal analiz termogravimetrisi ve diferansiyel taramalı kalorimetri gibi oldukça pahalı ölçüm cihazlarına gerek duyulması nedeniyle bu yöntem nadir olarak uygulanmaktadır.

Bu araştırmada, nişasta içeren 8 farklı tahıl için izosterik sorpsiyon ısıları belirlenmiştir. Ayrıca izosterik sorpsiyon ısılarına ilişkin hesaplanan sonuçlarla kullanılan matematiksel model sonuçlarının bir karşılaştırması yapılmıştır.

## Materyal ve Metot

İzosterik sorpsiyon ısı ( $Q^{st}$ ), sorpsiyon izotermine sıcaklığa bağlı olarak değişiminden türetilen kısmi molar bir özellik olarak tanımlanmakta ve aşağıda verilen eşitlikten hesaplanabilmektedir (1, 2, 26, 29).

$$\left[ \frac{d \ln P}{dT} \right]_M = \frac{Q^{st}}{RT^2} \quad 1$$

Burada;

$Q^{st}$ - İzosterik sorpsiyon ısı, kJ kg<sup>-1</sup>,

$P$ - Su buharı kısmi basıncı, Pa,

$T$ - Mutlak sıcaklık, K,

$R$ - Gaz sabiti, J g<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>

$M$ - Ürün denge nemi, kg /100kg

Eşitlik 1 farklı sıcaklıklardaki sorpsiyon izotermine uygulanırsa aşağıda verilen eşitlik elde edilir (1,2, 9, 26, 29).

$$\left[ \frac{d \ln a_w}{dT} \right]_M = \frac{Q_n^{st}}{RT^2} \quad 2$$

Burada;

$Q_n^{st}$ -Net izosterik sorpsiyon ısı, kJ kg<sup>-1</sup>,

$a_w$ -Su aktivitesi (oransal nem), desimal.

$Q_n^{st}$ , net izosterik sorpsiyon ısı olup, izosterik sorpsiyon ısı ile serbest suyun buharlaşma gizli ısı ( $L_r$ ) arasındaki farkı ifade etmektedir. Net izosterik sorpsiyon ısı ( $Q_n^{st}$ ), belirli nem içeriği değerlerinde  $\ln a_w$ 'nin  $1/T$ 'ye karşılık çizilmesiyle elde edilen doğrunun eğiminden hesaplanabilmektedir. Hesaplanan eğim değeri  $-Q_n^{st}/R$  değerine eşittir. Ancak bu yöntemin uygulanabilmesi için sorpsiyon izotermine en az üç farklı sıcaklık aralığında belirlenmiş olması gerekmektedir. Sorpsiyon izotermine iki farklı sıcaklıkta çalışılması durumunda net izosterik sorpsiyon ısı aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanabilir (1, 2, 14).

$$Q_n^{st} = R \left[ \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{a_{w2}}{a_{w1}} \right] \quad 3$$

Yukarıda verilen Eşitlik 2 ve 3'de net izosterik sorpsiyon ısısının ( $Q_n^{st}$ ) sıcaklığa bağlı olarak değişmediği, ya da çok az değiştiği varsayımı yapılmıştır. Çeşitli çalışmalarda Riedel eşitliğinin (Eşitlik 4), sıcaklığın su aktivitesi ( $a_w$ ) üzerindeki etkisini tanımlamakta yeterli olduğu vurgulanmaktadır (26, 27):

$$\left[ \frac{a_w(T_2)}{a_w(T_1)} \right]_M = A \exp(-bM) \left[ \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right] \quad 4$$

Burada A ve b karakteristik sabitlerdir. İzosterik sorpsiyon ısı, Eşitlik 3 ile 4'ün birlikte değerlendirilip düzenlenmesi ile türetilen Eşitlik 5'den hesaplanabilmektedir.

$$Q^{st} = Q_n^{st} + L_r = C \exp(-bM) + L_r \quad 5$$

Burada C sabiti R\*A değerine eşittir.

Bu çalışmada nişasta içeren arpa, sorgum, makarnalık buğday, sert buğday ve yumuşak buğday (30); yulaf, sorgum (31) ve buğday (Waldron) (12) gibi tahıllara ilişkin izosterik sorpsiyon ısılarının belirlenmesinde farklı kaynaklardan derlenen ürün denge nemi eşitlikleri kullanılmıştır. Bu eşitlikler;

1. Chung-Pfost Eşitliği

$$h_r = \exp \left[ \frac{-C_1}{T+C_2} \exp(-C_3M) \right] \quad 6$$

2. Düzenlenmiş Henderson Eşitliği

$$h_r = 1 - \exp \{-C_1(T+C_2)M^{C_3}\} \quad 7$$

3. Düzenlenmiş Oswin Eşitliği

$$h_r = 1 / \left[ 1 + \left( \frac{C_1+C_2T}{M} \right)^{C_3} \right]$$

Burada;

$h_r$ - oransal nem (su aktivitesi), desimal,

$T$ - sıcaklık, °C,

$M$ - ürün denge nemi içeriği, desimal k.b.,

$P_s$ - doymun buhar basıncı, Pa,

$C_1, C_2, C_3$ - eşitlik katsayıları (birimsiz)

Eşitlik 1'de arpa, çeltik, sorgum, makarnalık buğday, sert buğday ve yumuşak buğday'da ürün denge nemi değerleri kuru baza göre (%) hesaplanmıştır. Bu çalışmada değerlendirmeye alınan ürünlerde denge nemi değerlerinin hesaplanmasında kullanılan eşitliklere ilişkin katsayılar ve tahminin standart hatası değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Net izosterik sorpsiyon ısı ( $Q_n^{st}$ ), 2 nolu eşitlik kullanılarak belirli nem içerikleri değerinde su aktivitesinin ( $a_w$ ) doğal logaritmasına karşılık mutlak sıcaklık değerlerinin tersi ( $1/T$ ) grafiksel olarak çizilmiş ve belirli nem içeriği değerlerine karşılık gelen eğim ( $Q_n^{st}/R$ ) değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan eğim değerlerinden belirlenen net izosterik sorpsiyon ısıları ( $Q_n^{st}$ ), sorpsiyon izotermelerinin belirlendiği sıcaklıklardaki serbest suyun buharlaşma gizli ısısının ( $L_r$ ) ortalama değerlerine eklenerek izosterik sorpsiyon ısıları ( $Q^{st}$ ) elde edilmiştir. Tablo 2'de çeşitli sıcaklık aralıklarında serbest suyun buharlaşma gizli ısıları ( $L_r$ ) verilmiştir. Ürün denge nemi içeriğine bağlı olarak izosterik sorpsiyon ısısının ( $Q^{st}$ ) modellenmesinde 5 no'lu eşitlik kullanılmıştır. Eşitlik 5'de yeralan  $C$  ve  $b$  katsayıları SAS istatistiksel analiz programı kullanılarak doğrusal olmayan regresyon yöntemi ile bulunmuştur.

Ürün	Eşitlik No	Katsayılar			S. Hata ( $\times 10^{-2}$ )	Kaynak
		$C_1$	$C_2$	$C_3$		
Arpa	1	761,66	91,323	19,889	0,0055	30
Sorgum	1	1099,67	102,849	19,644	0,0086	30
Makarnalık Buğday	1	921,65	112,350	18,077	0,0057	30
Sert Buğday	1	529,43	50,998	17,609	0,0061	30
Yumuşak Buğday	1	726,49	35,662	23,607	0,0147	30
Yulaf	1	442,85	35,803	0,21228	0,0202	12
Sorgum (31)*	1	797,33	52,238	0,18159	0,0137	12
Buğday (Waldron)	3	15,868	-0,10378	3,0842	0,0215	12

Tablo 1. Denge Nemlerinin Hesaplanmasında Kullanılan Eşitlik Katsayıları ve Tahminin Standart Hatası Değerleri.

\* Çeşit belirtilmediğinden verilerin alındığı kaynak parantez içinde verilmiştir.

Tablo 2. Çeşitli Sıcaklık Aralıklarında Ortalama ( $L_r$ ) Değerleri.

Sıcaklık aralığı, °C	Ort. $L_r$ , kJ kg <sup>-1</sup>
0-50	2441,58
5-45	2448,29
16-49	2432,41
25-65	2396,33

## Bulgular ve Tartışma

Şekil 1'de makarnalık buğday için hesaplanan eğim eğrileri görülmektedir. Burada elde edilen eğriler düz bir çizgiye ne kadar yakın ise tahmin edilen net izosterik sorpsiyon ısı hata oranı da o kadar az olacaktır. Şekil 1'de elde edilen eğrilerin doğrusallığının bir ölçüsü olan belirtme katsayılarının 1'e oldukça yakın değerler olduğu görülmektedir ( $R^2 = 0,997$ ). Bu durum önceki çalışmalarda 0,94 olarak önerilen belirtme katsayısı değerinden oldukça yüksektir (29).

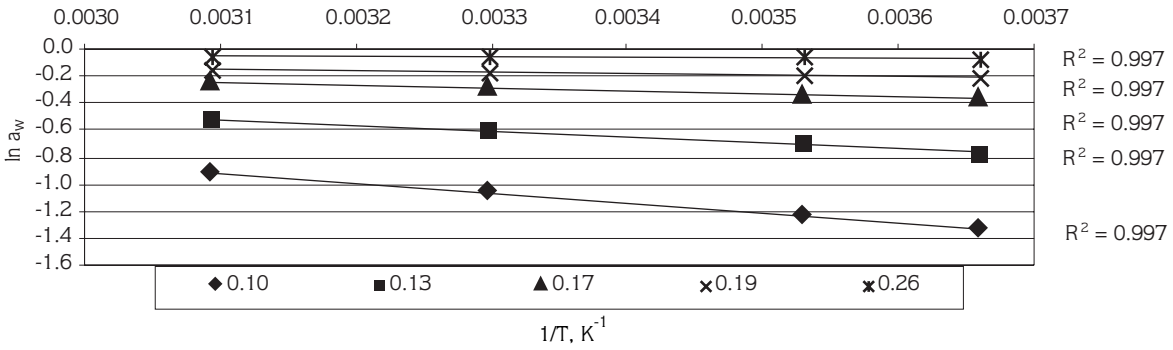
Şekil 2'de ise denge nemi eşitliklerinden hesaplanan izosterik sorpsiyon ısıları ile bu verilerin izosterik

sorpsiyon ısı modeline uygulanması sonucunda elde edilen eğrilerin makarnalık buğday örneğinde bir karşılaştırması verilmiştir.

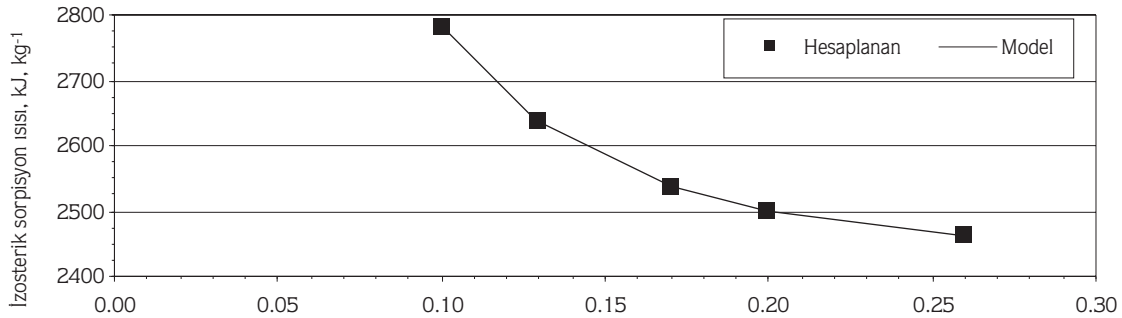
Şekil 2 incelendiğinde, hesapla elde edilen izosterik sorpsiyon ısıları ile sonuçların genelleştirilmesi ve belirtilen sıcaklık aralığında herhangi bir sıcaklık değeri için izosterik sorpsiyon ısını belirlemeye olanak veren izosterik sorpsiyon ısı modeli arasında oldukça iyi bir uyum olduğu görülmektedir.

Tablo 3'de nişastalı tahıllarda izosterik sorpsiyon ısı modeline (Eşitlik 5) ilişkin katsayılar, modelin geçerli olduğu ürün nem içeriği ve sıcaklık aralıkları verilmiştir.

Şekil 3'de izosterik sorpsiyon ısılarının serbest suyun buharlaşma gizli ısısına oranlarının ( $Q^f/L_r$ ) ürün nem içeriğine bağlı olarak değişimi verilmiştir. %14'ün üzerindeki nem içeriği değerlerinde arpa, makarnalık buğday, yulaf, sorgum (31) ve sorgumun izosterik sorpsiyon ısıları ile serbest suyun buharlaşma gizli ısı arasında çok az farklılıklar bulunmaktadır. Ürün nem içeriğinin %14'ün altına düşmesi durumunda sırasıyla



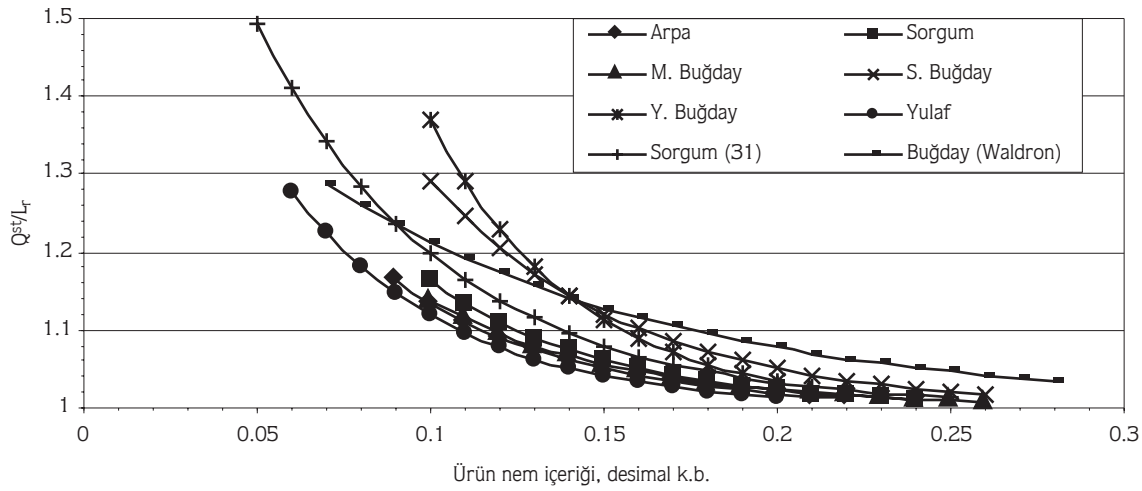
Şekil 1. Makarnalık buğdayda hesaplanan eğim eğrileri.



Şekil 2. Makarnalık buğday örneğinde hesaplanan izosterik sorpsiyon ısıları ile model sonuçlarının karşılaştırılması.

Ürün	Eşitlik katsayıları		Geçerli sıcaklık aralığı (°C)	Geçerli ürün nemi aralığı (desimal, k.b.)
	C	b		
Arpa	2396,4864	19,8886	0-50	$0,09 \leq M \leq 0,22$
Sorgum	2842,6597	19,6434	0-50	$0,10 \leq M \leq 0,24$
Makarnalık Buğday	2054,2751	18,0763	0-50	$0,10 \leq M \leq 0,26$
Sert Buğday	4154,5933	17,6085	0-50	$0,10 \leq M \leq 0,26$
Yumuşak Buğday	9538,0487	23,6070	0-50	$0,10 \leq M \leq 0,20$
Yulaf	2378,7469	21,2271	25-65	$0,06 \leq M \leq 0,20$
Sorgum (31)	2966,6107	18,1590	16-49	$0,05 \leq M \leq 0,25$
Buğday (Waldron)	1438,9053	10,1543	5-45	$0,07 \leq M \leq 0,28$

Tablo 3. İzosterik Sorpsiyon Isısı Modeline İlişkin Katsayılar ve Model Sınırlamaları.



Şekil 3. Nişastalı tahıllarda izosterik sorpsiyon ısılarının serbest suyun buharlaşma gizli ısısına oranlarının ( $Q^{st}/L_v$ ) ürün nem içeriğine bağlı olarak değişimi.

sorgum (31), sorgum, makarnalık buğday, arpa ve yulafın izosterik sorpsiyon ısılarının yükselmeye başladığı görülmektedir. Diğer taraftan %17'nin üzerindeki nem içeriği değerlerinde yumuşak buğday, sert buğday ve buğday (Waldron)'ın izosterik sorpsiyon ısıları ile serbest suyun buharlaşma gizli ısısı arasında önemli farklılıklar bulunmamaktadır. %14 nem içeriğinde bu üç buğday çeşidine ilişkin izosterik sorpsiyon ısıları arasında bir fark yoktur. Ancak nem içeriğinin daha da azalması durumunda sert ve yumuşak buğday izosterik sorpsiyon ısılarında oldukça hızlı bir artış gözlenmektedir. %10 nem içeriğinde makarnalık buğday, buğday (Waldron), sert buğday ve yumuşak buğdayın izosterik sorpsiyon ısıları sırasıyla  $2778,6 \text{ kJ kg}^{-1}$ ,  $2969,5 \text{ kJ kg}^{-1}$ ,  $3155,8 \text{ kJ kg}^{-1}$  ve  $3341,5 \text{ kJ kg}^{-1}$ 'dir. %10 nem içeriğinde bu çalışmada incelenen ürünlerin izosterik sorpsiyon ısıları yumuşak

buğday, sert buğday, buğday (Waldron), sorgum (31), sorgum, makarnalık buğday, arpa ve yulaf şeklinde en yüksekten en düşük değere doğru sıralanmaktadır.

## Sonuçlar

Bu araştırmada elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

1. %14'ün üzerindeki nem içeriği değerlerinde arpa, makarnalık buğday, yulaf, sorgum (31) ve sorgumun izosterik sorpsiyon ısıları ile serbest suyun buharlaşma gizli ısısı arasında çok az farklılıklar bulunmaktadır.
2. Sorgum (31), sorgum, makarnalık buğday, arpa ve yulafın izosterik sorpsiyon ısıları %14 nem içeriği değerinin altında artmaktadır.

3. %17'nin üzerindeki nem içeriği değerlerinde yumuşak buğday, sert buğday ve buğday (Waldron)'ın izosterik sorpsiyon ısıları ile serbest suyun buharlaşma gizli ısıları arasında önemli farklılıklar bulunmamaktadır. %14 nem içeriğinde bu üç buğday çeşidine ilişkin izosterik sorpsiyon ısıları arasında bir fark yoktur.
4. %14'ün altındaki nem içeriği değerlerinde sert ve yumuşak buğday izosterik sorpsiyon ısılarında oldukça hızlı bir artış olduğu belirlenmiştir.
5. %10 nem içeriğinde makarnalık buğday, buğday (Waldron), sert buğday ve yumuşak buğdaya ilişkin izosterik sorpsiyon ısıları sırasıyla 2778, 6 kJ kg<sup>-1</sup>, 2969,5 kJ kg<sup>-1</sup>, 3155,8 kJ kg<sup>-1</sup> ve 3341,5 kJ kg<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır.
6. %10 nem içeriğinde bu çalışmada incelenen ürünlerden yumuşak buğdayın en yüksek yulafın en düşük izosterik sorpsiyon değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir.

## Kaynaklar

1. Öztekin, S., Soysal, Y., Comparison of adsorption and desorption isosteric heats for some grains. Proceedings of the International Conference on Trends in Agricultural Engineering TAE'99. Prague, 488-493, 1999.
2. Soysal, Y., Öztekin, S., Equilibrium moisture content equations for some medicinal and aromatic plants. J. of Agric. Engng. Research, 74 (3): 317-324, 1999.
3. Labuza T. P., Sorption phenomena in foods. Food Technology, 22: 263-272, 1968.
4. Cenkowski, S., Muir, W. E., and Jayas, D. S., Simulation of canola and barley drying in a deep bed. Journal of Food Process Engineering, 12: 171-190, 1990.
5. Sun, D. W., Woods, J. L., The selection of sorption isotherm equations for wheat based on the fitting of available data. J. of Stored Product Res. 30 (1): 27-43, 1994.
6. Soysal, Y., Öztekin, S., and Akkoca, A., Selection of equilibrium moisture content equations for some medicinal and aromatic plants. 7th International Congress on Agricultural Mechanisation and Energy, Proceedings, Adana. 545-549, 1999a.
7. Soysal, Y., Öztekin, S., and Akkoca, A., Selection of equilibrium moisture content equations for some fruits and vegetables. 7th Int. Congress on Agricultural Mechanisation and Energy, Proceedings, Adana. 550-553, 1999b.
8. Iglesias, H. A., Chirife, J., Handbook of Food Isotherms: Water Sorption Parameters for Food and Food Components. Toronto, ON: Academic Press, 1982.
9. Sanchez, E. S., Sanjuan, R., Simal, S., and Rossello, C., Calorimetric techniques applied to the determination of isosteric heat of desorption for potato. J. Sci. Food Agric., 74: 57-63, 1997.
10. Sun, D. W., Selection of EMC/ERH isotherm equations for drying and storage of grain and oilseed. 13th International Congress on Agricultural Engineering, Proceedings, Rabat (Morocco). 331-336, 1998.
11. Maroulis Z. B., Tsami, E., and Marinos, K. D., Application of GAB model to the moisture sorption isotherms for dried fruits. J. of Food Engng. 7: 63-68, 1988.
12. Chen, C. C., Morey, R. V., Comparison of four EMC/ERH equations. Transactions of the ASAE, 32: 983-990, 1989.
13. Ayrancı, E., Ayrancı, G., and Doğantan, Z., Moisture sorption isotherms of dried apricot, fig, and raisin at 20°C and 36°C. J. Food Sci. 55(6): 1591-1593, 1625, 1990.
14. Wang, N., Brennan, J. G., Moisture sorption isotherm characteristics of potatoes at four temperatures. J. of Food Engng. 14: 269-287, 1991.
15. Kiranoudis, C. T., Maroulis, Z., B., Tsami, E., and Marinos, K. D., Equilibrium moisture content and heat of desorption of some vegetables. J of Food Engng. 20: 55-74, 1993.
16. Loong, T. L., Juming, T., and Jianshan, H., Moisture sorption characteristics of freeze dried blueberries. J of Food Sci. 60: 810-814, 1995.
17. Johnson H. K., Dale, A. C., Heat required to vaporize moisture. Agric. Engng. 35: 705-709, 714, 1954.
18. Cenkowski, S., Jayas., D. S., and Hao, D., Latent heat of vaporization for selected foods and crops. Can. Agric. Engng. 34 (3): 281-286, 1992.
19. Gallaher, G. L., A method of determining the latent heat of agricultural crops. Agric. Engng. 32: 34-38, 1951.
20. Iglesias, H. A., Chirife, J., Isosteric heat of water sorption on dehydrated foods. Part I. Analysis of differential heat curves. Lebensm. Wiss. Tech. 9 (2): 116-122, 1976.
21. Cadden, A. M., Moisture sorption characteristics of several food fibers. J. of Food Sci. 53 (4): 1150-1155, 1988.
22. Falabella, M. C., Aguerre, R. J., and Suarez, C., Determination of the heat of water vapor sorption by means of electronic hygrometers. Lebensmittel Wiss. Technol. 22: 11-14, 1989.
23. Tsami, E., Net isosteric heat of sorption in dried foods. J. of Food Engng. 14: 327-335, 1991.
24. Rovedo, C. O., Aguerre, R. J., and Suarez, C., Measuring and modelling the water vapour desorption in sunflower seed. Int. J. of Food Sci. Technol. 28: 153-158, 1993.

25. Tolaba, M. P. Suarez, C., and Violaz, P., Heats and entropies of sorption of cereal grains: A comparison between the integral and differential quantities. *Drying Technol.*, 15 (1): 137-150, 1997.
26. Mulet, A., Garcia, R., J., Sanjuan, R., and Bon, J., Sorption isosteric heat determination by thermal analysis and sorption isotherms. *J. of Food Sci.* 64(1): 64-68, 1999.
27. Riedel, L., Calorimetric measurements of heats of hydration of foods. *Chemie Microbiologie und Technologie der Lebensmittel*. 5: 97-101, 1977.
28. Sanjuan, R., Garcia, R., J., Bon, J., and Mulet A., Moisture retention in chufa (*Cyperus esculentus*, L.) equilibrium isotherms and isosteric heats. *Revista Espanola de Ciencia y Tecnologia de Alimentos*. 34 (6): 653-662, 1994.
29. Iglesias H. A., Chirife, J., Ferro, F. C., On the temperature dependence of isosteric heats of water sorption in dehydrated foods. *J. of Food Sci.* 54 (6): 1620-1623, 1631, 1989.
30. ASAE, D245.4 DEC93, Moisture Relationships of Grains. American Society of Agricultural Engineers. 432-436, 1994.
31. Dunstan, E. R., Chung, D. S., and Hodges, T. D., Adsorption and desorption characteristics of grain sorghum. ASAE Paper No: 72-327. St. Joseph, MI: 1972.