

BAZI GIDALARIN SU AKTİVİTESİ (a_w) YÖNÜNDE İNCELENMESİ

A SURVEY ON THE WATER ACTIVITY (a_w) OF SOME FOODSTUFFS

Güner ÖZAY¹, Mehmet PALA^{1,2}, Birol SAYGI¹

¹ TÜBİTAK, Marmara Araştırma Merkezi, Gıda ve Soğutma Teknolojileri Bölümü, Gebze-KOCAELİ

² Yıldız Teknik Üniversitesi, İSTANBUL

ÖZET: Gıdalarda a_w , çeşitli kalite bozuklukları yanında sağlığa zararlı mikroorganizmalar ve bunların toksin üretimini kontrol eden önemli bir faktördür. Bu durum gözönüne alınarak, bu çalışmada çeşitli gıdalarda (konserve gıdalar, alkolsüz içecekler, et, süt ve un mamülleri, şekerlemeler, bal ve reçeller, kabuklu ve kurutulmuş meyvalar, hububat, bakliyat, baharat, hazır çorbalar v.b.) a_w değerleri saptanmış ve mikrobiyal güvence ve kalite korunması ile ilgili yorumlar yapılmıştır.

SUMMARY: a_w is an important factor for quality control and microbiological stability of foods. Considering this fact, a_w value of the various foodstuffs (canned products, beverages, meat, bakery and dairy products, confectionary, honey and jams, nuts and dried fruits, cereals, pulses, spices, soups, etc.) have been measured. In relation to a_w , quality changes and microorganism activities in foods have also been discussed.

GİRİŞ

Gıda maddelerinin hasattan veya üretimden başlayarak, tüketimine kadar kalitelerinin korunması büyük önem taşımaktadır. Gıdaların muhafazasında ve kalitelerinin korunmasında içerdiği suyun rolü büyük olmaktadır. Bilindiği gibi, bütün gıda maddeleri çeşitli oranlarda su içermekte ve yüksek su içerikli gıdaların kalitesi ve güvenliği, en iyi şekilde suyun kimyasal, biyokimyasal ve mikrobiyolojik etkilerini kontrol altında tutularak korunabilmektedir.

Su aktivitesi (a_w) gıdalarda kolayca ölçülebilen bir fizikokimyasal özellik olup, gıda teknolojisinde önemli bir parametredir. Nemden farklı olarak a_w , gıda kalitesinde; fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik kararlılığı belirlemektedir.

Termodinamik anlamda gıda denge buhar basıncının (P) aynı sıcaklıktaki saf suyun denge buhar basıncına (P_0) oranı ($a_w = P/P_0$) veya gıda ile dengede bulunan havanın bağıl nemi (% Rh) ile ifade edilen su aktivitesi, 0 ile 1 değerleri arasında değişmektedir. Gerçek gıda sistemleri hiçbir zaman denge sistemi olmadığından kinetik özellik de önem taşımakta, gıdanın nem içeriği, bileşenleri, depolama süresi ve sıcaklıkla da ilişkili olmaktadır (LABUZA, 1980). Mikroorganizma faaliyetlerinde önemli bir faktör olan a_w , bu anlamda gıdalarda bulunan toplam su miktarının bakteri, küf ve mayaların gelişmeleri ve metabolizmaları için elverişli olan kısmını oluşturmaktadır. Bu nedenle gıdaların mikrobiyolojik kararlılığı, toplam nem miktarından çok, a_w değeri ile ölçülebilmektedir. Gıdalarda mikroorganizma gelişmesi yanında bazı biyokimyasal reaksiyonlar da a_w ile ilişkili olmakta, lipid oksidasyonu, enzimatik olmayan esmerleşme, hidrolitik reaksiyonlar, enzim aktiviteleri (PALA ve SAYGI, 1983; SLADE ve LEVINE, 1991), buna bağlı olarak da ürünün renk, tat ve koku, tekstür açısından kabul edilişi de a_w ' ne bağlı olmaktadır.

Gıdalar, nem içerikleri açısından yüksek (a_w 0,90- 1,00) orta (a_w 0,60-0,90) ve düşük nemli (a_w < 0,60) olarak gruplandırılabilirler. Orta nemli gıdalar olarak bilinen ve büyük bir gıda maddeleri grubunu kapsayan ürünler, kendiliğinden kararlı, doğrudan tüketilebilen gıdalardır (AGUILERA ve ARIAS, 1992; LEISTNER, 1986). Gelişen gıda teknolojisi ile birlikte uygulanmaya başlayan ve geleneksel gıda muhafaza işlemlerine alternatif olarak geliştirilen CM (Combined Methods) ile a_w 'nde az oranda depresyon ile birlikte pH düşürülmesi, hafif ısıtma, koruyucu kullanımı vb. gibi koruyucu etkenlerin birarada ve düşük oranlarda kullanılmasıyla, gıdanın orijinal niteliklerinin çok az değiştiği ürünler elde edilmektedir (LEISTNER, 1985).

Gıdalarda kalite korunması, işleme proseleri, depolama ve dağıtım süresinde dayanıklılık açısından ve yeni gıda formülasyonlarında a_w önemi gözönünde bulundurularak, çeşitli gıdalarda a_w değerinin bilinmesinin yararlı olacağı düşüncesiyle, bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında konserve gıdalar, alkolsüz içecekler, et, süt ve un mamülleri, şekerlemeler, bal ve reçeller, kabuklu ve kurutulmuş meyvalar, hububat, bakliyat, baharat, hazır çorbalar v.b. değişik gıda gruplarını temsil eden örnekler, değişik ambalajlanmış şekilleri ile alınarak, a_w ölçümleri yapılmıştır. Her gıda türü için örnek sayısı en az 5 en fazla 20 olmuştur. Ölçüm yapılan örneğin tamamını temsil edecek şekilde örnekleme yapılmasına özen gösterilmiştir.

Örneklerde a_w ölçümleri, 25°C'de NOVASINA (İsviçre)'nin Elektronik a_w Ölçüm Cihazı kullanılarak yapılmıştır. Örneklerin a_w değeri sıcaklık kontrollü kutuda (EEJA-3) yer alan sensörlerin başlığında bulunan ve Li tuzundan oluşan bir elektrot vasıtasıyla ölçülmüştür. Sistemin duyarlılığı $\pm 0,02 a_w / \pm 0,5^\circ C$, ölçümler arası tekrarlanabilirlik ise $\pm 0,005 a_w / \pm 0,2^\circ C$ 'dir.

İncelenen örneklerin bir kısmında AOAC (ANON.,1984) yöntemi ile kuru madde, protein ve yağ gibi diğer bileşenlerin analizleri de yapılmıştır. Protein analizinde "KJELTECH 1030 Analyzer" kullanılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamına alınan ve çeşitli gıda gruplarını temsil eden örnekler yüksek, orta ve düşük nemli gıdalar şeklinde ayrılarak incelenmiş ve ölçülen a_w değerleri sırasıyla Çizelge 1,2 ve 3'de verilmiştir.

Yüksek Nemli Gıdalar

Konserve gıdalar, alkolsüz içecekler, bazı et ve süt ürünleri, ekmek, humus, salça, salamura zeytin, tereyağ ve margarin gibi gıdalar, 0,90 üzerinde a_w değerleri ile yüksek nem içerikli gıdalar grubuna dahil olmaktadır. Bu tür gıdalar bakteriyel bozulma riski taşımakta, 0,90 altına düşen a_w değerlerinde ise mayalardan ileri gelen fermentasyon ve küf gelişmesi ile ilgili bozulmalar başlayabilmektedir.

Bu gruba dahil olan konserve gıdaların uzun süreli muhafazasında, konserve içeriğinin pH'sı ve amaçlanan depolama süresi ile sıcaklığı önemli rol oynamaktadır. Buna göre ısıl işlemin etkinliği belirlenmektedir. Bulgularımıza göre değişik gıda konservelerinde a_w değeri 0,994-0,998 aralığında bulunmuştur. Bu tip gıdalarda a_w , pH ile birlikte koruyucu olmaktadır. Örneğin, bütirik anaerob *Clostridium pasteurianum* pH 3,8, $a_w \geq 0,985$ ortamında yaşarken, pH 3,8-4,0 ve 0,985-0,975 a_w 'de canlılığını koruyamamaktadır (TROLLER ve CHRISTIAN, 1978).

Alkolsüz içeceklerden meyva suları pastörize edilirken, diğerleri koruyucu ilavesi gerektirmektedir. CO₂ ile anaerobik koşullarda küf, düşük pH (2,6-4,0) ve karbonasyon ile de maya gelişmesi önlenabilmektedir. Bu tür ürünlerde zaman zaman maya gelişmesi sonucu, bulanıklık, çökelti, renk değişikliği ve koku bozuklukları ortaya çıkabilmektedir. Bazı meyva sularında enzimatik olmayan esmerleşme problemi önemli oranda kalite

Çizelge 1. Yüksek nemli gıdalarda ölçülen a_w değerleri (25°C)

Gıda türü	a_w aralığı	ortalama a_w değeri
Konserveler	0,994 - 0,998	0,996
Barbunya pilaki, patlıcan kızartma, patlıcan dolma, lahana sarma, fasulye pilaki, yaprak sarma, biber dolma, garnitür fasulye, bamya, bezelye, Tekirdağ köfte		
Alkolsüz içecekler		
Meyva suları (vişne, şeftali)	0,936 - 0,977	0,950
Meyvalı gazoz	0,945 - 0,947	0,945
Et ürünleri		
Sucuk hamuru	0,988 - 0,994	0,992
Taze sucuk	0,960 - 0,987	0,975
Olgun sucuk	0,910 - 0,931	0,923
Sosis	0,976 - 0,986	0,981
Pastırma	0,890 - 0,947	0,917
Süt ürünleri		
Süt (UHT)	0,992 - 0,995	0,993
Yoğurt	0,981 - 0,990	0,988
Ayran	0,990 - 0,996	0,995
Kaşar peyniri	0,920 - 0,971	0,953
Beyaz peynir	0,931 - 0,938	0,934
Tulum peyniri	0,915 - 0,929	0,922
Krem peynir	0,952 - 0,983	0,955
Tereyağ	0,909 - 0,945	0,929
Diğer		
Ekmek	0,949 - 0,956	0,952
Kestane	0,929 - 0,933	0,931
Yumurta	0,997 - 0,998	0,998
Humus	0,986 - 0,989	0,987
Mayonez	0,940 - 0,950	0,943
Sofralık siyah zeytin	0,931 - 0,948	0,940
Salça	0,929 - 0,970	0,948
Margarin	0,890 - 0,919	0,903

kaybına neden olmaktadır. Bu tür ürünlerde çözünür katı osmotik basıncı da bozulma yapan mikroorganizmaları önleyici olmakta, örneğin, >70° Brix'de oda sıcaklığında saklanabilirlerken, 63° Brix'de maya fermentasyonu başlayabilmektedir (BEUCHAT, 1978).

Et ve et ürünlerinde a_w kalite, dayanıklılık ve mikrobiyal güvence ile ilgili olarak mikrobiyolojik, enzimatik, kimyasal ve fiziksel reaksiyonları etkilemektedir. a_w yanında pH, sıcaklık, redoks potansiyel (Eh), nitrit, rekabet halindeki flora da etkili olmaktadır (combined effect). pH > 5,2, a_w > 0,95 olanlar kolay bozulan et özelliğini taşımakta, < 5° C sıcaklıkta tutulmaları gerekmekte ve bakteriyolojik dayanma ömrü 2 hafta olmaktadır. Bozulabilir et ürünlerinde pH 5,0-5,2 (veya a_w 0,91-0,95), 10 ° C altında dayanma ömrü 4 hafta olmakta, dayanıklı et ürünlerinde ise pH ≤ 5,2 ve a_w ≤ 0,95, yada pH < 5,0 veya a_w < 0,91 olmaktadır. Dayanıklı et ürünleri soğutma gerektirmemekte, raf ömrü bakteriyolojik olarak sınırlı olmamakta ancak acılık, renk bozukluğu gibi kimyasal, fiziksel bozulmalar olabilmektedir (LEISTNER ve RÖDEL, 1975). Bu ürünlere pastırma ve sucuk örnek olarak verilebilir.

Et ve et ürünlerinde bakteri, maya ve küf gelişmesi bozulma ve bazan gıda zehirlenmesine neden olması yanında fermente et ürünleri için alternatif bir gereklilik olmaktadır. Bu mikroorganizmaların gelişmesi de substrat a_w ' ne bağlı olmakta ve düşük a_w ' ne küfler mayalardan, mayalar da bakterilerden daha çok toleranslı olmaktadır. Nitrit katılması mikroorganizmaların a_w hassasiyetini daha da arttırmaktadır. 0,95 altındaki a_w değerlerinde Gram-pozitif bakteri, *Bacillus* ve *Clostridium* türleri inhibe edilebilmektedir. Sucuk fermentasyonu için gerekli bazı bakteriler örneğin, *Lactobacillus*, *Pediococcus* ve *Micrococcus* düşük a_w 'ni tolere edebilmektedir. Gıda zehirlenmelerine neden olan bakteriler arasında ise ette sık rastlanan *Shigella* 0,96, *Salmonella*, *Escherichia* ve *Vibrio* 0,95 altındaki a_w değerlerinde inhibe olmaktadır. *Clostridium botulinum* 'un çeşitli tiplerinin gelişmesi ve toksin üretimi 0,98-0,97 altında, *C. perfringens* ise a_w ≤ 0,95 de önlenmektedir. *Staphylococcus aureus* anaerobik ortamda 0,91 a_w altında, aerobik ortamda ise ancak 0,86 a_w altında inhibe edilebilmektedir (LEISTNER ve RÖDEL, 1975).

Et ürünleri a_w 0,90 altında, tuzlanarak, dumanlama uygulanarak, pH düşürülerek ve hafif ısıtma ile dayanıklı hale getirilmektedir. Bu tip ürünlere katılan NaCl, polifosfat, sodyum sitrat, askorbik asit, GDL, yağ vb. gibi maddeler a_w düşürücü etki yapmaktadır. Et ve et ürünleri genellikle 0,99- 0,70 a_w aralığında yer almaktadır. Salam ve sosislerin su aktivitesi 0,857- 0,993 değerleri arası değişmektedir. Sucuklar kurutulmaları sonucu çok farklı a_w değerlerine ulaşabilmekte, bu değer genellikle 0,72- 0,90 arası değişmektedir. İncelenen örneklerde a_w olgun sucukta yüksek bulunmuş (ortalama değer 0,923), bu özelliği ile kendiliğinden kararlı orta nemli gıdalar grubundan çok, bozulabilir gıdalar grubuna yakın bulunmuştur. Bu durum uygun kurutmanın ve olgunlaştırmanın yapılmadığını göstermektedir. Geleneksel et ürünlerimizden pastırma, etin tuzlanarak baskılanması, çemenlenmesi ve kurutulması işlemleri uygulanarak üretilir. Koruyucu olarak sodyum nitrat veya potasyum nitrat kullanılır. İncelenen pastırmalarda ortalama a_w değeri 0,917 olarak bulunmuştur. Pastırmanın dayanıklı ve mikrobiyal güvencede olabilmesi için tuz miktarını % 4,5-6,0, a_w 'nin 0,85-0,90 olması gerekmekte, bu üründe çemende bulunan sarmısak antimikrobiyal özelliği ile istenmeyen mikroorganizmalara etkili olmaktadır LEISTNER (1986).

Tiplerine göre farklılık göstererek, genel olarak peynirlerde a_w aralığı 0,87-0,98 olmaktadır (AGUILERA ve ARIAS, 1992). Taze peynirin a_w değeri çok yüksektir (> 0,98). Bulgularımıza göre beyaz, kaşar ve tulum peynirinde ortalama a_w sırasıyla 0,934, 0,953 ve 0,922 olarak saptanmıştır. Örnekler arası farklılık en fazla kaşar peynirinde görülmüş olup, bu durum değişik olgunluk ve nem içerikli kaşarların tüketime sunulması ile açıklanabilmektedir.

Taze peynirde tuz ve nem difüzyonuna bağlı değişimler nedeniyle uniform olmayan a_w , glikolisis ve dehidratasyon gibi faktörlerden ileri gelen dinamik değişim sonucu da statik değildir (LOPEZ ve ark., 1990). Peynir olgunlaşması sırasında a_w düşmektedir. Başlangıçta a_w düşüşü yüzey su buharı uzaklaşması, ileriki aşamalarda ise proteoliz sonucu kazeinin parçalanma ürünleri ve çözünür N fragmentleri artışına bağlı olmaktadır (SCHLESSER ve ark., 1992). a_w , peynir olgunlaşmasını yönlendiren bakterilerle, starter kültür faaliyetlerini de etkilemektedir (RÜEGGE ve BLANC, 1981). Peynirlerde patojenlerden *Listeria monocytogenes*'in < 0,93 a_w değerlerinde üreyebildiği bilinmekte, *S. aureus* 0,85-0,92 a_w değerlerinde üreyebilen bakteriyel patojen olarak risk taşımaktadır (FARBER ve ark., 1992).

Tereyağ ve margarinde ortalama a_w değerleri sırasıyla 0,929 ve 0,903 olarak bulunmuştur. Bu tip süt ürünlerinde a_w üzerine sodyum klorür etkisi çok olmakta, tahmin edileceği üzere, tuz içeriği fazla olanda a_w daha düşük olmaktadır.

Sofralık zeytin üretiminde salamura işlemleri ile meyva a_w 'si düşerek, mikroorganizma faaliyetleri sınırlanmaktadır. Örneğin, Gram-negatif bakteri gelişmesi sınırlanmakta, laktik asit bakterilerinin gelişme ve laktik asit üretmelerine uygun ortam oluşmaktadır. Yurdumuzda uygulanan geleneksel zeytin işlemede salamura tuz konsantrasyonu yüksek (% 12-14) olup, fermentasyonda bakterilerden çok mayalar rol oynamaktadır (ÖZAY ve ark., 1991). İşlenmiş sofralık siyah zeytinde a_w ortalama değeri 0,940, danede tuz % 7,3, kuru madde % 61,50 olarak bulunmuştur.

Çizelge 2. Orta nemli gıdalarda ölçülen a_w değerleri (25°C)

Gıda türü	a_w aralığı	ortalama a_w değeri
Un manüülleri		
Kek	0,759 - 0,865	0,817
Şekerlemeler		
Üzüm pekmezi	0,745 - 0,777	0,757
Baklava	0,740 - 0,907	0,847
Fındık,fıstıklı kayısı ezmesi	0,695 - 0,703	0,699
Kayısı ezmesi	0,525 - 0,642	0,585
İncir ezmesi	0,581 - 0,696	0,638
Fındık,fıstıklı incir ezmesi	0,565 - 0,663	0,614
Badem ezmesi	0,620 - 0,694	0,650
Reçeller		
Ayva reçeli	0,674 - 0,700	0,680
İncir reçeli	0,795 - 0,800	0,797
Şeftali reçeli	0,718 - 0,796	0,757
Kayısı reçeli	0,647 - 0,861	0,754
Gül reçeli	0,693 - 0,784	0,720
Çilek reçeli	0,664 - 0,765	0,700
Vişne reçeli	0,586 - 0,792	0,668
Kabuklu meyvalar		
Yer fıstığı	0,574 - 0,687	0,608
Kurutulmuş meyvalar		
Kuru incir	0,645 - 0,690	0,670
Kuru kayısı	0,602 - 0,643	0,625
Kuru üzüm	0,505 - 0,694	0,605
Hububat ve ürünleri		
Mısır	0,660 - 0,762	0,687
Bulgur	0,539 - 0,681	0,615
Un	0,676 - 0,790	0,718
Baharatlar		
Tarçın	0,625 - 0,754	0,640
Karabiber	0,564 - 0,715	0,625
Karanfil	0,614 - 0,698	0,670
Kırmızı biber, pul	0,521 - 0,669	0,654

Orta Nemli Gıdalar

Geleneksel gıdalarımızın büyük bir kısmı orta nemli gıdalar grubuna dahil olmaktadır. Bunlar arasında kek,bisküvi, şekerlemelerin büyük kısmı, reçeller, yercıstığı, kurutulmuş meyvalar, hububat ve baharatların çoğu yer almaktadır. Orta nemli gıdalar bakteriyal gelişmeyi önleyici yeterlikte ancak küf ve maya gelişmesine açık a_w değerine sahip gıdalardır. Orta nemli gıdalarda özellikle toksinojen küfler ve mikotoksinler risk taşımaktadır. Örneğin, *Aspergillus flavus* minimum 0,78-0,80 a_w de gelişebilmekte, genellikle 0,85 a_w altında aflatoksin oluşumu durmaktadır. Okratoksin A üretebilen *A. ochraceus* 30 °C, 0,95 a_w civarında en fazla ürerken, 0,76 a_w altında okratoksin üretmemektedir (BEUCHAT, 1978). Daha düşük a_w 'lerde ise penisillik asit oluşabilmektedir. Kısaca, her mikroorganizma tipi için gelişmeleri ve metabolizmalarını sınırlayıcı bir a_w limiti vardır. Mikrobiyal gelişme için mutlak limit 0,60 olarak verilmektedir (SLADE ve LEVINE, 1991).

Orta nemli gıdalar genellikle sorbik ve benzoik asit gibi maddelerle korunurlar. Lipid oksidasyonu antioksidant veya inert gaz altında paketlenme ile, enzimatik olmayan esmerleşme ise gliserol gibi maddelerle önlenmektedir (TROLLER ve CHRISTIAN, 1978).

Un mamüülleri bazen bakteri, genellikle de düşük a_w 'de gelişen *Penicillium* ve *Aspergillus* türleri gibi toksinojen küflerin gelişmesi ve mikotoksin oluşumuna uygun gıdalardır. (BEUCHAT, 1978). Kekte dış kabuk a_w si düşük, iç kısımlarda yüksek olup, kek içine katılan dolgu maddeleri (fıstık, üzüm, vb. meyvalar) ve üstüne kaplanan malzeme a_w 'ni oldukça değiştirir. Dolgu maddesi a_w değeri, kekten yüksek ise küflenme önce bu dolgu maddesinden yada kek-dolgu maddesi ara yüzeyinden başlayarak yayılabilmektedir.

Yüksek oranlarda su içeren (% 75-95) taze meyva ve sebzelerde 0,970-0,996 olan a_w (CHIRIFE ve FERRO FONTAN, 1982) meyvaların kurutulmaları sonucu 0,60'a kadar düşmektedir. Bulgularımıza göre kurutulmuş meyvalardan incir, kayısı ve üzüm için ortalama a_w değerleri sırasıyla 0,670, 0,625 ve 0,605 olarak bulunmuştur. Kurutulmuş meyva-

larda, özellikle uygun kurutma, depolama ve ambalajlama yapılmamışsa küf gelişmesi, mikotoksin oluşumu ve maya kaynaklı bozulmalar olabilmektedir. Kurutulmuş kayısıya uygulanan SO_2 ile muamele esmerleşmeyi önleyici olması yanında mikroorganizmaların büyük kısmını da tahrip etmektedir. ABD'de bisküvi ve sekerleme üretiminde kullanılan kayısının SO_2 ile muamele edilmiş olması yanında su aktivitesinin $\leq 0,70$ olması güvenceli bulunmaktadır. Çeşitli ürünlerde dolgu maddesi olarak kullanılan diğer kurutulmuş meyvaların da a_w değerinin $\leq 0,7$ olması istenmektedir (BONE, 1986).

Meyvalar, reçel ve marmelat şeklinde işlenerek saklandığında a_w 0,80 veya daha düşük değerlere inmektedir. Çeşitli meyva reçellerinde ölçtüğümüz a_w değerleri 0,655-0,797 aralığında yer almıştır. Pişirmede sakarozun kısmi inversiyonu ile dayanıklılık artırılarak ürün vejetatif küften kurtulmakta, sonradan kontaminasyondan da korunursa mikrobiyolojik açıdan stabil hale gelebilmektedir. Saptanan çözünür kuru madde oranları ise çilek ve vişne reçellerinde sırasıyla % 75-80,43 ve 73,95-84,43 aralığında olmuştur. İncir, seftali, kayısı, gül ve çilek reçellerinde kuru madde sırasıyla % 71,5, 68,0, 64,0, 73,0 ve 72,5 olarak bulunmuştur. Bu tür ürünlerde, iyi korunmadıkları takdirde yüzey küflenmesi olabilmektedir.

Orta nemli gıdalarda a_w , pH ve sıcaklık ile birlikte enzim faaliyetlerini (lipaz, proteaz, invertaz, amilaz, peroksidad vb.) de kontrol etmektedir. a_w deki çok az bir değişim, enzim reaksiyonları hızlarında büyük farklılıklara neden olmaktadır. Enzim faaliyetleri genellikle düşük a_w de durmakta ya da yavaşlamakta, a_w artışı ile hızlanmaktadır. Bunlardan lipaz, a_w değişimlerine en fazla duyarlı olan enzim olup ancak 0,22- 0,33 a_w değerlerinde aktivitesi minimize olmaktadır (BONE, 1986).

Ayrıca a_w , gıdalarda indirgen şeker ile protein veya amino asitlerin amin grupları arasındaki Mailard Tepkimesi sonucu oluşan ve renk bozukluğu olarak ortaya çıkan enzimatik olmayan esmerleşmeyi de kontrol etmektedir. Orta nemli gıdaların a_w aralığı bu tür esmerleşme reaksiyon hızının maksimum olduğu değerlerdedir. Bu tür esmerleşmede su substrata hareketlilik kazandırarak, esmerleşmeyi hızlandırmaktadır. Diğer yandan su içeriğindeki artış, reaktif maddeleri seyreltmek suretiyle esmerleşmeyi azaltabilmektedir. Ortamda hareketlilik faktörü, düşük a_w aralığında hakim iken, yüksek a_w de seyreltme faktörü baskın hale gelmektedir. Bu nedenle esmerleşme hızı düşük nemli ortamda a_w artışına paralel olarak artarak 0,4-0,8 arası maksimum hıza ulaşmakta, daha sonra ise a_w artışı ile azalmaktadır (LEUNG, 1986).

Yağlı gıdalarda lipid oksidasyonu, yağ asitlerinin parçalanması sonucu oluşan acılık ve koku bozukluğu ile doymamış yağ asitlerinin atmosfer oksijeni ile teması sonucu oluşan oksidatif acılık da a_w 'ye bağlıdır. Oksidatif acılık düşük a_w değerlerinde ($\leq 0,4$) a_w artışı ile azalırken, 0,4 de minimum olmakta, sonra a_w artışına paralel olarak artarak 0,75 a_w de en yüksek değere ulaşmaktadır (LEUNG, 1986).

Hububatlar hasat sırasında sahip oldukları yüksek a_w (0,90) nedeniyle küf atağı ve mikotoksin oluşumuna elverişli halde bulunurlar. Bu ürünlerin en kısa sürede kurutularak uygun bağıl nem ve sıcaklıkta depolanmalıdır. Bu ürünler için güvenilir a_w aralığı 0,70- 0,75 olmaktadır (TROLLER VE CHRISTIAN, 1978).

Şekerlemeler içerdikleri yüksek şeker konsantrasyonu ile 0,65- 0,50 a_w aralığında mikrobiyal bozulmaya uğramadan korunabilmektedir. Ancak sakaroz nedeniyle maya fermentasyonu problemi olabilmektedir. Ortama invertase katılarak sakaroz inversiyonu yoluyla ürüne, maya gelişmesinin önlediği a_w kazandırılabilir (TROLLER ve CHRISTIAN, 1978). İncelenen şekerlemelerden badem ezmesinde a_w 0,620, kuru madde % 92,41 ve yağ % 2,00 olarak saptanmıştır. Kayısı ezmesinde ise kuru madde % 92,64 bulunmuştur. Ortalama a_w değeri 0,250 olan çikolatalı gofretlerde kuru madde % 98,58 - 98,65, yağ % 29,23 - 36,50 olarak saptanmıştır. Üzüm pekmezinde ise kuru madde % 71,57 olarak saptanmıştır.

Düşük Nemli Gıdalar

Kurutulmuş ürünler, çorba, kavrulmuş kabuklu meyvalar, bal, bakliyat, bazı baharatlar, ıhlamur, çay, kahve, pestil, bebek maması ve cipsler 0,60 a_w altındaki değerleri ile düşük nemli ve dayanıklı gıdalar sınıfına girmektedirler. a_w değerleri sırasıyla 0,547 ve 0,484 olan çay ve toz kahvede kuru madde sırasıyla % 90,72 ve % 94,42, kahvede yağ oranı % 16,43 bulunmuştur. Salçada kuru madde % 31,90, yağ % 0,05 ve protein 4,37 saptanmıştır. Bu gruba giren baharatlardan kimyon ve toz kırmızı biberde kuru madde % 91,22 ve 89,91 olarak ölçülmüştür. Ortalama a_w değeri 0,570 olarak saptanan çeşitli makarnalarda kuru madde % 88,74-89,08, yağ % 0,22-0,28 ve protein % 8,96-10,79 aralıklarında bulunmuştur. Bakliyattan

kurufasulyede kuru madde % 87,57, yağ % 1,31, protein % 18,06 olarak saptanmıştır. Hazır çorbalardan mantar çorbasında ise kuru madde % 94,85, yağ % 8,65 olarak bulunmuştur.

Balda sakaroz, arı enzimi ile doğal inversiyona uğradığından bal kendiliğinden düşük a_w kazanmaktadır. Balda bazen mayalar gelişerek kalite düşüklüğüne neden olabilir. Örneğin, *Saccharomyces rouxii* 0,62 a_w değerine kadar üreyebilmektedir (TROLLER ve CHRISTIAN, 1978). Ölçüm değerlerimize göre a_w değeri genel olarak güvenilir düzeyde (ort. 0,538) bulunmuştur. Bal örneklerinde çözünür kuru madde (Brix) % 83- 85 olarak saptanmıştır.

Tuzlu çerez olarak tüketilen ve neme duyarlı olan cipslerde kalite, genellikle tekstürel özellikle, gevrekliği ile ilgili olmaktadır. Örneğin, patates cipsinde 0,35- 0,50 a_w aralığı kritik bulunmuş olup, 0,4 üzerindeki a_w 'leri patates cipsi için kabul görürken, mısır cipsi için kabul edilmemiştir (BOURNE, 1986; KATZ ve LABUZA, 1981). Ölçümlerimize göre kepek, mısır ve patates gevreğinde $a_w \leq 0,242$ ile iyi bir ambalajlama ile tekstürel kalitenin korunduğu açıktır.

İncelenen örnekler arasında açık olarak tutulan ürünlerde (kurutulmuş meyvalar, kavrulmuş kabuklu meyvalar, un, baharat v.b.) a_w genellikle paketlenmiş olanlardan daha yüksek olmuştur. Nem kontrolü ve yönetiminde ambalajlamanın önemi açıktır. Gıdayı çevreleyen atmosfer R_h değişimine bağlı olarak gıda a_w 'si de değiştiğinden ürünün ambalaj tipinin bu etkileşimdeki rolü önem kazanmaktadır. Bilindiği gibi ambalajlamada temel ilke, gıdanın atmosfer nemi gibi dış etkenlerden korunmasıdır. Ürün, ambalaj, çevre etkileşimi ve paketleme dizayn parametreleri (ambalaj çeşidi, kalınlığı, nem ve gaz geçirgenliği) gıda raf ömrünü belirleyici olmaktadır. Değişik a_w 'deki komponentlerin karıştırıldığı gıdalarda, özellikle birisi yüksek a_w 'li ise gıda stabilitesinde problem yaratabilmektedir. Birlikte paketlenen düşük ve yüksek nemli gıdalarda da daha nemli gıdadan diğerine nem transferi sonucu aynı problem yaşanabilmektedir.

Kısaca, gıdalarda a_w kontrolü ile oksidatif stabilite sağlanabilmekte, enzimatik ve enzimatik olmayan bozulmalar önlenabilmekte, mikrobiyal faaliyetler kontrol edilebilmektedir. Bunun yanında a_w ayarlanması daha etkin proses ve yeni ürün dizaynında da yardımcı olmaktadır.

Çizelge 3. Düşük nemli gıdalarda ölçülen a_w değerleri (25°C)

Gıda türü	a_w aralığı	ortalama a_w Değeri
Süt ürünleri		
Süt tozu	0,160 - 0,200	0,170
Un mamülleri		
Bisküvi ve kraker	0,196 - 0,303	0,207
Şekerlemeler		
Fındık, fıstıklı üzüm ezmesi	0,550 - 0,581	0,571
Cezerye (havuç tatlısı)	0,495 - 0,584	0,549
Lokum	0,546 - 0,582	0,559
Kos helva	0,315 - 0,492	0,402
Sarella	0,363 - 0,401	0,383
Susamlı helva	0,300 - 0,345	0,325
Fındık füresi	0,153 - 0,184	0,164
Çikolatalı gofret	0,206 - 0,285	0,250
Kabuklu meyvalar		
Ceviz	0,535 - 0,611	0,573
Antep fıstığı	0,528 - 0,490	0,512
Fındık, kavrulmuş	0,376 - 0,456	0,417
Kurutulmuş meyvalar		
Kuş üzümü	0,429 - 0,515	0,514
Hububat ve ürünleri		
Pirinç	0,516 - 0,579	0,544
Buğday	0,498 - 0,563	0,525
Pirinç unu	0,530 - 0,607	0,568
Makarnalar (çeşitli)	0,515 - 0,663	0,570
Bakliyat		
Kurufasulye	0,540 - 0,549	0,542
Nohut	0,522 - 0,530	0,525
Yeşil mercimek	0,509 - 0,512	0,510
Baharatlar		
Kimyon	0,505 - 0,634	0,578
Kırmızı biber, toz	0,400 - 0,532	0,466
Hazır çorbalar		
Ezogelin, mantar, sebze, tarhana, mercimek, kremalı işkembe	0,184 - 0,352	0,298
Diğer		
Ihlamur	0,583 - 0,588	0,585
Ev tarhanası	0,560 - 0,602	0,565
Pestil	0,551 - 0,559	0,555
Çay	0,439 - 0,598	0,547
Bal	0,502 - 0,641	0,538
Çiklet	0,520 - 0,536	0,530
Kahve, toz	0,365 - 0,523	0,484
Toz mama	0,368 - 0,429	0,409
Patates gevreği (cips)	0,206 - 0,270	0,242
Kepek gevreği	0,205 - 0,210	0,207
Mısır gevreği	0,122 - 0,230	0,170
Tahin	0,132 - 0,140	0,135

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada yardımlarını gördüğümüz Araştırma Teknisyenleri Mehmet Varol ve Basri Çırak'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- AGUILERA J.M. ve ARIAS,E.P. 1992. CYTED-D AHI:An Ibero American project on intermediate moisture foods and combined methods technology. *Food Research International* 25: 159-165
- ANON., 1984. Official Methods of the AOAC. 14th Edition. Association of Official Analytical Chemists, Inc. Washington DC
- BEUCHAT,L.R. 1978. Food and Beverage Mycology AVI Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut 527s.
- BONE D.P. 1986. Practical applications of water activity and moisture relations in foods In: *Water activity: Theory and Applications to Food*. L.B. Rockland ve L.B. Beuchat (Eds.) Marcel Dekker, Inc. New York, Basel s: 369-395
- BOURNE, M.C. 1986. Effect of water activity on textural properties of food In: *Water activity: Theory and Applications to Food*. L.B. Rockland ve L.B. Beuchat (Eds.) Marcel Dekker, Inc. New York, Basels: 75- 99
- CHIRIFE,J. ve FERRO FONTAN,C. 1982. Water activity of fresh foods. *J. Food Sci.* 47:661-663
- FARBER,J.M.; COATES F. ve DELAY E. 1992. Minimum water activity requirements for growth of *Listeria monocytogenes*. *Letters in App. Microbiol.* 15:103- 105
- KATZ, E.E. ve LABUZA, T.P. 1981. Effect of water activity on the sensory crispness and mechanical deformation of snack food products. *J. Food Sci.* 46: 403-409
- LABUZA,T.P. 1980. The effect of water activity on reaction kinetics of food deterioration. *Food Techol.* 34(4): 36-41
- LEISTNER,L,ve RÖDEL, W.1975.The significance ofwateractivity for microorganisms in meats In: *Water Relations of Foods*, R.B. Duckworth (Ed.) Academic Press London, NewYork, San Francisco s: 309-323
- LEISTNER L. 1985. Hurdle technology applied to meat products of the shelf stable product and intermediate moisture food type. In: *Properties of Water in Foods*. D.Simatos ve J.L. Multon (Eds.) Martinus Nijhoff, Dordrecht, Hollanda s: 309-329
- LEISTNER, L. 1986. Shelf stable products and IMF based on meat In: *Water activity: Theory and Applications to Food*. L.B.Rockland ve L.B.Beuchat (Eds.) Marcel Dekker, Inc. New York, Basel s: 295- 327
- LEUNG, H.K. 1986. Influence of water activity on chemical reactivity. In: *Water activity: Theory and Applications to Food*. L.B.Rockland ve L.B.Beuchat (Eds.) Marcel Dekker,Inc. New York,Basel s: 27- 54
- LOPEZ,P.;MARCOS,A,ve ESTEBAN,M.1990. New equation for prediction of water activity in unripe cheese. *J. Dairy Research* 57: 587-592
- ÖZAY,G; BORCAKLI,M;ALPERDEN,İ;ÖZSAN,E ve ERDEK,Y. 1991. Klasik ve havalandırılmalı siyah zeytin fermentasyonlarının incelenmesi. Bursa II. Uluslararası Gıda Sempozyumu, 1-3 Ekim, Bursa. s:296-310
- PALA, M. ve SAYGI, B.1983. Su aktivitesi ve gıda işlemedeki önemi *Gıda* 8(1): 33-39
- RÜEGGE, R. ve BLANC, B. 1981. Influence of water activity on the manufacture and aging of cheese. In: *Water activity:Influence on Food quality* L.B.Rockland ve G.F.Stewart (Eds.) Academic Press New York, London, Toronto s:791- 811
- SCHLESSER J.E.;SCHMIDT,S.J. ve SPECKMAN,R.J. 1992. Characterization of chemical and physical changes in camambert cheese during ripening. *J. Dairy Sci.* 75: 1753-1760
- SLADE,L,ve LEVINE H. 1991. Beyond water activity: Recent advances based on an alternative approach to the assesment of food quality and safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 30(2,3): 115-359
- TROLLER J.A. ve CHRISTIAN, J.H.B. 1978. Water activity and Food. *Food Science and Technology*, A series of Monographs. Academic Press, New York, 235 s.