

## **TAZE MEYVE ve SEBZELERDE HASAT SONRASI KALİTENİN BELİRLENMESİNDE DİYAGNOSTİK RADYOLOJİ TEKNİKLERİNİN KULLANIMI**

### **DIAGNOSTIC RADIOLOGY TECHNIQUES ON DETERMINATION OF POSTHARVEST QUALITY OF FRESH FRUIT AND VEGETABLES**

**M. Ufuk KASIM<sup>1</sup>, Nilgün HALLORAN<sup>2</sup>, Rezzan ÇAĞIRAN<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, ANKARA

<sup>2</sup>Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü, ANKARA

**ÖZET:** Bahçe bitkileri, hasattan sonra değişik nedenlerle zararlanarak satış özelliğini yitirmektedir. Ürünlerde meydana gelen zararlanmaların bir kısmı yüzeiden başlarken bir kısmı iç bölgelerden başlamaktadır. Yüzeysel kusurlar gözle ayırdedilebilirken, içsel kusurların belirlenmesi ancak ürünün parçalanması ile mümkün olmaktadır. Parçalanmış olan ürün taze halde satış özelliğini kaybettiğinden yapılan işlem sadece satılmayacak üründe iç kalitenin belirlenmesi anlamına gelmektedir. Bu dezavantajların giderilmesi amacıyla geliştirilen fiziksel tekniklerden röntgen, bilgisayarlı tomografi, manyetik rezonans ve ultrasonografi bahçe bitkilerinde kalitenin belirlenmesinde kullanılmaya başlanmıştır. Bu tekniklerle olgunluk düzeyi, hasat olgunluğu, fizyolojik, patolojik ve mekanik zararlanmalar çekirdeklerin oluşum ve durumu, gibi kaliteyi etkileyen kriterler belirlenebilmektedir.

**ABSTRACT:** Horticultural crops lose their quality after harvest because of numerous factors. The loss of structural integrity is perhaps the most important commercially related loss. Changes in structural integrity generally begin from inside the fruit, although some other kinds of fruit show changes originated from the surface. Surface faults can be easily detected visually while rot from inside can only be examined by cutting the fruit. Unfortunately cut-fruit loses its market value immediately and consequently examination of fruit in this way is done on fruit not intended for sale as fresh fruit.

There have been effort to develop practical inspection techniques which do not involve alteration of the physical appearance or changes to structural elements. These techniques include x-ray analysis, computerized tomography, nuclear magnetic resonance, and ultrasonography. Use of these methods to investigate the fruit physical structure can be refined to yield information regarding the stage of maturity at harvest as well as provide a clear understanding of defects caused by physical forces or pathological factors. In addition, these methods have provided information regarding the extend of seed development and the conditions of seeds within the fruit.

### **GİRİŞ**

Yaş meyve ve sebzeler hasat öncesi ve hasat sonrası dönemde fizyolojik, patolojik ve mekanik nedenlerle kalite ve kantite kaybına uğramaktadırlar. İnsan beslenmesinde ve dünya ekonomisinde önemli yeri bulunan yaş meyve ve sebzelerin kalitesinin korunması ve düşük kaliteli ürünlerin diğerlerinden ayrılması önem kazanmaktadır. Ancak günümüzde kalite belirlemede kullanılan yöntemlerin çoğunda ürünlerin parçalanması gerekmekte ve uygulamada uzun zamana ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenlerle meyve ve sebzelerde ortaya çıkan fizyolojik, patolojik ve mekanik zararlanmaların belirlenmesinde kimyasal tekniklerin yerine fiziksel teknikler tercih edilmektedir (KASIM 1995).

İlk uygulanan fiziksel teknikler elektrik ve görünebilir ışığın kullanıldığı teknikler olup daha sonra, infra-ruj, x ve  $\gamma$ -ışınlarının kullanımına geçilmiştir. Radyan enerjinin ve radyoaktif maddelerin tıpta tanı alanında kullanılmasını inceleyen radyoloji yöntemlerine diyagnostik radyoloji adı verilmektedir. Diyagnostik radyolojide kullanılan temel yöntemler: röntgen, bilgisayarlı tomografi (BT), manyetik rezonans görüntüleme (MRG), radyonüklid görüntüleme (RG), ultrasonografi (US) ve dijital radyografi (DR)'dir. Bu altı ana diyagnostik radyoloji yöntemlerinden röntgen, bilgisayarlı tomografi ve dijital radyografide iyonize x-ışınları, radyonüklid görüntüleme iyonize  $\gamma$ -ışınları, manyetik rezonans görüntülemede iyonize olmayan radyo frekansları ve ultrasonografide ise ses dalgaları kullanılarak görüntü elde edilmektedir (TUNCEL 1989). Son yıllarda özellikle tıpta tanı alanında kullanılan bu diyagnostik radyoloji teknikleri tarımsal ürünlerde bazı kalite kriterlerinin belirlenmesinde de kullanılmaya başlanmıştır (DULL 1986, BULL 1993, TOLLNER 1993, SELF ve ark. 1993).

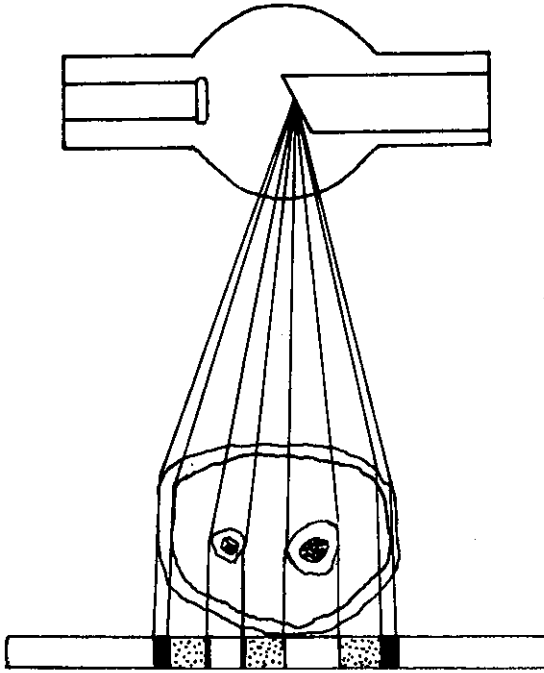
## HASAT SONRASI KALİTENİN BELİRLENMESİNDE KULLANILAN TEKNİKLERİN ÖZELLİKLERİ ve BAHÇE BİTKİLERİNDE UYGULANMASI

### Röntgen ve Bilgisayarlı Tomografi

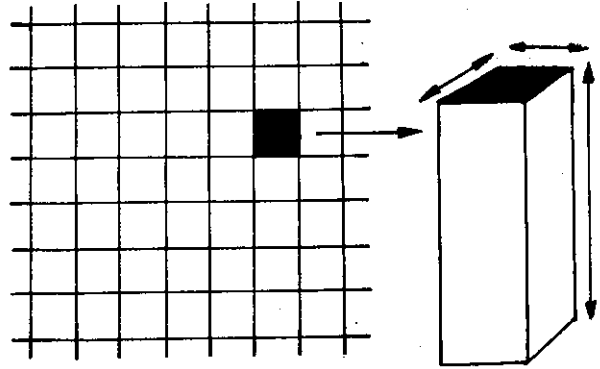
Röntgen bilinen en eski ve en basit tanı yöntemidir. Bu yöntemde kullanılan radyasyon x-ışını (röntgen ışını)'dır. Madde ile karşılaşılan x-ışınlarından bir kısmı absorbe olurken kalan kısmı maddeyi geçerek film üzerine ulaşır. Objeler değişik atom ağırlığında ve değişik kalınlıkta doku ve maddelerden yapıldığından, x-ışınıni değişik oranlarda absorbe eder ve dolayısı ile penetre olan ışın miktarı da farklıdır. Sonuçta penetrasyon farklılıklarına göre bu görüntü, siyahtan (film üzerine gelen ışın fazla) beyaza (film üzerine gelen ışın az) kadar değişen gri tonlardan oluşur (Şekil 1).

Röntgenin önemli değerlendirme sorunlarının olması nedeniyle geliştirilen bilgisayarlı tomografide, objelerden kesit şeklinde görüntü elde edilebilmektedir. Böylelikle röntgende olduğu gibi cismin kalınlığına göre tüm organların üst üste binmiş gibi görünmesi engellenmektedir. Yöntem objenin ince bir kesitinden geçen x-ışınlarındaki zayıflamaların (attenuasyon) dedektörlerle ölçülerek, bilgisayar yardımıyla görüntü oluşturulması temeline dayanır. Dijital olması nedeniyle toplanan verilerden görüntüler oluşturulabilir.

BT görüntüsü piksel adı verilen resim elementlerinin bir makriksinden ibarettir. Her piksel, organizmadaki karşılığı olan bölgenin x-ışını attenuasyon (zayıflama) değerini gösterir. Her piksel, seçilen kesit kalınlığına göre bir hacime sahiptir. Birçok BT aygıtında kesit kalınlığı 1-12 mm arasında değişir. Seçilecek bu kesit kalınlığının piksel yüzeyle çarpımı sonucu ortaya çıkacak hacime voksel adı verilir (Şekil 2). Organizmayı geçen x-ışınlarının attenuasyon değerleri sayısal olarak saptanır. Her pikselin bir sayısal karşılığı vardır. Bu sayılar suyun attenuasyon değerini sıfır kabul eden bir skalaya göre düzenlenmiştir. +1000'den -1000'e kadar uzanan bu skalaya Hounsfield Skalası, bu skaladaki sayılara da Hounsfield Birimi adı verilir.



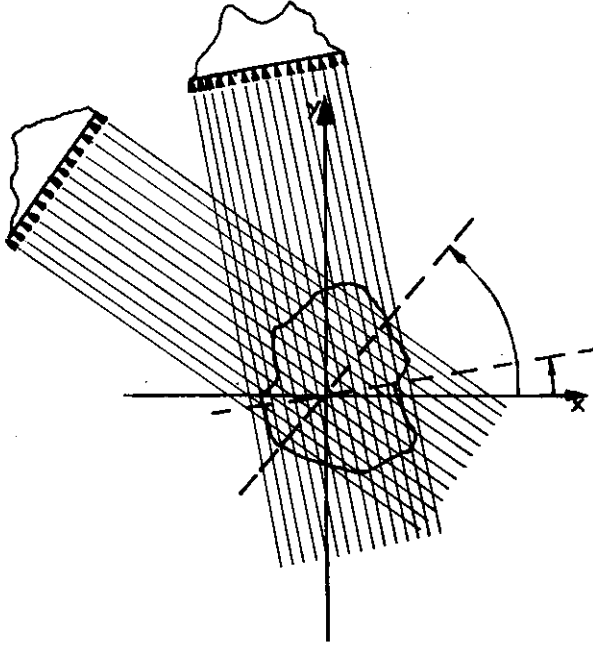
Şekil 1. Röntgen filmi üzerinde görüntü oluşumu.



Şekil 2. Piksel ve voksel

Bahçe bitkileri alanında x-ışını ve BT kullanımı üzerinde yapılan çalışmalar kesit alabilme özelliğinden dolayı daha çok BT üzerine yoğunlaşmıştır (Şekil 3). Röntgen tekniği ile elde edilen görüntülerde tüm dokuların iki boyutlu olarak üst üste çıkması BT'ye eğilimin temel nedeni olarak görülmektedir.

Değişik amaçlarla kullanılan BT ile görüntüleme yöntemi papaya meyvelerinde yüksek sıcaklık zararının belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır. Bu amaçla olgun, olgun olmayan, sıcaklık uygulanmış ve sıcaklık uygulanandıktan sonra ambalajlanan meyvelerde BT görüntüleri elde edilmiştir. Bunlarda olgun ve olgun olmayan meyveler benzer görüntüler verirken sadece karpellerin belirginliği yönünden farklılık olduğu gözlenmiştir. Bu-



Şekil 3. Bilgisayarlı tomografi sisteminin çalışma prensibi

LENKER ve ADRIAN (1971), x ışını kullanımı ile başsalatalarda baş gelişimi ve sıklığını belirleyerek hasat olgunluğunu belirlerken, GARRET ve TALLEY ile SCHATZKI ve ark. bu amaçla x-ışını yerine  $\gamma$ -ışınının da kullanılabileceğini bildirmişlerdir (TOLLNER 1993). Bu çalışmalarda alınan görüntülerde olgun ve sıkı başlar homojen beyaz, yarı olgun ve gevşek başlar ise beyazlı siyahlı görünmüştür.

Çizelge 1. Farklı papaya meyvelerinin BT sayıları

	Olgunlaşmamış Meyveler	Olgun Meyveler	Sıcaklık Uygulan. Sonra Ambalajlan. Meyveler	Sıcaklık Uygulanan Meyveler
En Yüksek	-80,8	-37,0	+49,0	+71,0
En Düşük	-102,0	-54,0	+23,0	+53,0
Ortalama	-92,5±5,3	-45,0±4,2	+34,0±6,2	+61,1±4,3

Domates meyvelerinin karpellerindeki jel dokusu, x-ışın BT görüntülerinde yoğun sinyalli alanlar (koyu renkli) olarak görülmektedir. Jel oluşumunun kısmen tamamlanmış olması nedeni ile kısmen olgun (M2) meyvelerde BT görüntülerinden olgunluk sınıflarının belirlenmesi zor olmuştur. Ayrıca tipik yeşil olgun meyvelerin (M3) yeşil olumu geçirmiş meyvelerden (M4) ayrılması mümkün olmamış ve iki olgunluk sınıfı birleştirilmiştir. Bunun nedeni her ikisinin de yeşil olum dönemini geçirmiş olması, ancak M4'ün bir miktar içsel kırmızı renge sahip olmasıdır. Tam olgun (M3/M4) meyvelerin yaklaşık %79'u BT görüntülerine bakılarak doğru olarak sınıflandırılırken, olgun olmayan meyvelerin (M1'in) ≈%58'i, M2'nin de %33'ü doğru olarak sınıflandırılmıştır. Çalışmada toplam Hounsfield birimleri ve piksel sayıları ile yapılan istatistik analizlerin olgunluk sınıflarını ayırmada BT görüntülerinin görsel değerlendirilmesinden daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Sonuç olarak M1'in %92'si, M2'nin %58'i, M3'ün %75'i ve M4'ün %83'ü doğru olarak sınıflandırılmıştır. Meyvelerin ≈ %96'sının doğru veya yakın bir sınıfa yerleştirilebilmesi, domates meyvelerinde olgunluk düzeyini belirlemede BT tekniğinin pratik olarak uygulanabileceğini ortaya koymuştur.

na karşın diğer uygulamalarda meyve eti ve çekirdek evi görüntülerinde farklılıklar belirlenmiş, çekirdek evi görüntüsü ilk iki uygulamaya göre daha siyah (yüksek yoğunluk) iken meyve etinde daha beyaz (düşük yoğunluk) bir görüntü oluşmuştur. (Çizelge 1). Olgunlaşmamış meyveler düşük BT sayıları gösterirken olgun meyveler nisbeten yüksek sayılar göstermiş ve en yüksek BT sayısı sıcaklık uygulanan meyvelerde belirlenmiştir. 15 mm<sup>2</sup>'lik alanda ölçülen BT sayıları normal meyvelerde orta kısımda başlangıçta -59,7 iken 5. günde -44,4 ve 9. günde -31,5 olmuştur. 14. günde de meyve çürümüştür. Olgun ve olgun olmayan meyvelerde olgunlaşma ile BT sayıları artmış ancak hiçbir zaman 0 (sıfır)'ın üzerine çıkmamıştır. Buna karşın sıcaklık uygulanan ve sıcaklık uygulandıktan sonra ambalajlanan beyaz ve siyah alanların yerini tutan BT sayıları kullanılarak yapılan değerlendirmelerde meyvelerde düzensiz yüksek BT sayıları görülmüş ve her ikisinde de değerler 0 (sıfır)'ın üzerinde olmuştur (SUZUKI ve ark. 1994).

Domateste olgunluk dönemlerini belirlemede BT tekniğinin kullanım olanaklarını araştıran BRECHT ve ark. (1991), 4 farklı yeşil olum dönemine ait domates meyvelerinde tohum gelişimi ve karpellerde jel oluşumunu görüntüleyerek bu meyvelerin olgunluk sınırını belirlemeye çalışmışlardır. Do-

Elmalarda DIENER ve ark. ile ZIGLER ve MORROW'un yaptığı denemelerde enfekte olmuş dokulardan geçen x-ışını miktarının daha az olduğu, bu sayede meyve partileri içerisindeki enfeksiyonlu meyvelerin kolayca seçilebileceği belirlenmiştir. Aynı şekilde UPCHURCH ve ark., iç çürüklüğünün x-ışını kullanımı ile belirlenmesinde hata oranının %10'un altında olduğunu saptamışlardır (TOLLNER 1993).

Patatesten x-ışını taraması kullanılarak koflaşma belirlenebilmekte, ayrıca yığın içine karışan yabancı cisimlerin seçilmesinde de bu teknikten yararlanılabilmektedir (TOLLNER 1993). GERBER ve ark. da gıda işleme sanayinde kullanılan bitkilerde x-ışını teknolojisi ile taş, toprak, metal ve diğer materyallerin belirlenmesinin mümkün olduğunu bildirmişlerdir (TOLLNER 1993).

THOMAS ve ark. (1993), mango meyvelerinin iç kısmında fizyolojik bir zararlanma olan süngerleşmeyi belirlemede x-ışını görüntüleme tekniğinin etkinliğini araştırmışlardır. Bu fizyolojik zararlanma dışarıdan bakıldığında anlaşılabilirken x-ışını (Röntgen) görüntülerinde zararlanmış alanlar koyu gri şekilde görülebilmektedir. Sağlıklı meyvelerde ise meyve eti üniform açık gri şekilde görülmektedir. Bu normal röntgen görüntülerine ilave olarak aynı çalışmada, hava alanları güvenlik kontrollerinde bagaj kontrolü için kullanılan x-ışını sistemi de kullanılmış ve zararın görüntüsü bu sistemde de normal x-ışını görüntüleri gibi oluşmuştur. Çizelge 2'de bu iki sistem ve kesilerek belirlenen gerçek zarar karşılaştırılmıştır.

**Çizelge 2. X-ışını görüntüsü ve hava alanı kontrol sisteminden elde edilen görüntülerin gerçek zarar ile karşılaştırılması**

Kullanılan Teknik	Toplam kullanılan meyve sayısı	Süngerleşme belirlenen meyve sayısı	Kesilerek belirlenen gerçek süngerleşmiş meyve sayısı
X-ışını Görüntüleme	115	66	68
X-ışını Bagaj Kontrol Sistemi	48	26	23

SARIG ve ark. portakal ve ağaç kavununda, TOLLNER limonda, BOWER ve ark. ise şeftalide tohum ve çekirdeklerin oluşum ve durumlarının, bu tekniklerle belirlenebileceğini bildirmişlerdir (TOLLNER

1993). Tarafımızdan yürütülen bir çalışmada kavunlarda tohum boşluğu ve meyve eti durumuna bakarak mekanik zararlanma ve yaşlanmanın BT tekniği ile belirlenebileceği ortaya konmuştur (HALLORAN ve ark. 1997). Mekanik olarak zararlandırılan meyvelerin çekirdek evi boşluğu ile meyve eti bölgeleri kontrol meyvelerine göre belirgin şekilde farklılık göstermiştir. Mekanik olarak zararlandırılan meyvelerde muhafaza süresi sonunda çekirdek evi boşluğundaki deformasyon daha da belirginleşirken, meyve eti kısmında koyu renkli boşluklarda artış olmuştur. Kontrol meyvelerinin çekirdek evi boşluğunda muhafaza süresi sonunda deformasyon görülmemesine karşın meyve etinde yaşlanma belirtisi olarak koyu renkli beneklenmeler şeklinde görüntüye yansıyan değişimler belirlenmiştir. Kontrol meyvelerinde bu koyu renkli bölgeler mekanik olarak zararlandırılan kavunlara göre çok daha küçük ve az sayıda olmuştur.

### Manyetik Rezonans Görüntüleme

Manyetik rezonans görüntüleme, iyonizan olmayan radyofrekans (RF) radyasyonunu kullanan yeni bir görüntüleme sistemidir. Bu yöntemle kontrol edilen bir manyetik alan içerisine yerleştirilen objenin herhangi bir düzleminin görüntüsü elde edilebilir. Yöntem, görüntü elde etmek için organizma içerisindeki hidrojen çekirdeğinin dağılımını ve çekirdeğin hareketleri ile ilgili verileri kullanarak görüntü elde etmektedir.

Fiziksel olarak atom çekirdeğinin temel yapıları olan proton ve nötronlar kendi eksenleri etrafında dönerler. Buna spin hareketi adı verilir. Biyolojik yapılarda, bu özelliğe sahip atomlar hidrojen (tek proton nötron yok), karbon-13 (6 proton 7 nötron), sodyum-23 (11 proton 12 nötron) ve fosfor-31 (15 proton 16 nötron)'dir. Hidrojen atomu, çekirdeğinin tek protondan ibaret olması nedeniyle en güçlü manyetik spin hareketine sahip elementtir.

Dışsal uygulanan bir manyetik alan olmazsa dokularda değişik eksenlerde dönen hidrojen çekirdekleri tesadüfi dizilirler ve dokunun net manyetizasyonu sıfırdır. Doku güçlü bir manyetik alan içine konduğunda bu çekirdekler dış manyetik alan vektörüne paralel ve antiparalel konuma geçerler. Görüntülemenin temelini bu oluşturmaktadır. Bu durumda dışarıdan uygulanan radyo frekansı (RF) ile görüntü elde edilir.

Manyetik rezonans görüntüleme temel olarak üç yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler dokudaki hidrojen yoğunluğu (proton yoğunluğu), RF değerlerinin kaybolma ( $T_1$ ) ve geri gelme süresi ( $T_2$ )'dir (Çizelge 3). Bu değerler genellikle değişik dokularda ve yoğunluklarda farklı zamanlarda oluşmaktadır. Bu yöntemlerin tümü veya birkaçı kullanılmak suretiyle dokuların yapısı hakkında daha detaylı bilgiler edinilebilmektedir.

Bu teknik bahçe bitkilerinde kalitenin belirlenmesinde bazı araştırmacılar tarafından kullanılmaya başlanmıştır. WANG ve WANG (1989), 0°C'de %1  $O_2$ 'de ve normal atmosferde 3 ay depolama sonrası 20°C'de tutulan 'Bartlett' armutlarında iç çürüklüğünü nükleer manyetik rezonans (NMR) görüntüleme ile izlemişlerdir. İç çürüklüğü açısından normal atmosferde ve düşük oksijende depolanan meyveler arasındaki farklılık NMR ile açık bir şekilde belirlenebilmiştir. Olgunlaştırma sırasında zamanla dokuların bozulması ve iç çürüklüğü olan bölgede serbest su miktarının artması sonucu, daha yüksek sinyal yoğunluğu ile NMR görüntülerde parlak oluşmuştur. Hastalığın gelişimi sırasında hava boşlukları oluşmakta, burada hidrojen iyonlarının eksikliğinden dolayı NMR görüntülerde karanlık alanlar görülmektedir. 20°C'de 6 gün sonra hastalık meyvenin çiçek çukuru-na uzanmış ve belirtiler dıştan görülebilmektedir.

Çizelge 3. MR parametrelerinin sinyal yoğunlukları ile ilişkisi

Parametreler	Yüksek Sinyal (Beyaz)	Düşük Sinyal (Siyah)
Proton Yoğunluğu	Yüksek	Düşük
$T_1$	Kısa	Uzun
$T_2$	Uzun	Kısa

Papaya meyvelerinde iç kısımda yüksek sıcaklıktan dolayı oluşan fizyolojik zararın belirlenmesinde NMR'ın kullanılabilirliğini araştıran SUZUKI ve ark. (1994), proton yoğunluğu,  $T_1$  ve  $T_2$  görüntülerini olgun, olgun olmayan, sıcaklık uygulanan ve sıcaklık uygulandıktan sonra ambalajlanan olmak üzere 4 farklı uygulamada elde etmişlerdir. Buna göre olgun ve olgun olmayan meyveler hemen hemen benzer proton yoğunluklu görüntüler vermiştir. Sıcaklık uygulanan ve sıcaklık uygulandıktan sonra ambalajlanan meyvelerde

özellikle çekirdek evinde yüksek proton yoğunluğu belirlenmiştir. Olgun meyvenin  $T_1$  görüntüsünde üniform bir dağılım görülmüş, olgun olmayan meyvenin içinde ise karanlık bir alan ve daha kısa bir  $T_1$  zamanı elde edilmiştir. Sıcaklık uygulandıktan sonra ambalajlanan ve sıcaklık uygulanan meyvelerde özellikle endokarpa diğer uygulamalara göre daha kısa bir  $T_1$  zamanı oluşmuştur. Burada fizyolojik aktiviteler ile  $T_1$  arasında ilişki olduğu düşünülmüştür. Olgun olmayan ve olgun meyvelerin perikarp bölgelerinin tümünde hemen hemen benzer  $T_2$  dağılımı görülmüş ve  $T_2$  zamanları birbirlerine yakın bulunmuştur. Yüksek sıcaklıktan zararlanmış meyveler ile yüksek sıcaklık uygulanan ve ambalajlanan meyvelerde ise dağılım farklı olmuştur ve en yüksek  $T_2$  zamanı endokarpa belirlenmiştir. Olgun ve olgun olmayan meyvelerin  $T_1$  ve  $T_2$  dağılımı hemen hemen üniform iken, diğer uygulamalarda üniform olmamıştır.

Benzer şekilde domateste NMR ile olgunluk döneminin belirlenebileceği, yeşil ve kırmızı olum dönemindeki meyvelerin sinyal yoğunluklarının oldukça farklılık gösterdiği saptanmıştır (ISHIDA ve ark. 1989).

WANG ve ark. (1988), elmalarda sulu çürüklüğün NMR görüntüleme yöntemi ile belirlenebileceğini göstermişlerdir. Elde edilen görüntüden piksel sayısı belirlenmiş ve bu değer tüm elmanın piksel sayısına oranlanması ile sulu çürüklük zararı oransal olarak saptanmıştır. Nitekim zararlanmış alanın piksel sayısı  $8494 \pm 273,7$  ( $11,4 \text{ cm}^2$ ), elmanın toplam piksel sayısı ise  $33543 \pm 348,7$  ( $45,1 \text{ cm}^2$ ) olarak belirlenirken bu değerlerden yararlanılarak zarar oranı %25,32 olarak hesaplanmıştır.

Üşüme zararını (ÜZ) NMR yöntemi ile belirlenmek amacı ile sakız kabaklarını 2,5° ve 12,5 °C'de depolayan WANG (1991), üşüme zararı oluşan bölgelerde yüksek yoğunluklu bir görüntü elde etmiştir.  $T_1$  ağırlıklı görüntülerde ÜZ oluşmuş kabakların korteks dokularında diğerlerinden daha yüksek bir yoğunluk elde edilmiş ÜZ olan dokularda daha büyük bir su hareketi ve daha kısa bir  $T_1$  zamanı oluşmuştur.  $T_2$  ağırlıklı görüntülerde ise ÜZ olan kabaklarda ÜZ olmayanlardan daha yüksek yoğunluk görülmüş, ÜZ oluşan dokular için daha uzun bir  $T_2$  zamanı saptanmıştır. Bu sonuçlar, üşüme zararı için bir indeks hazırlamada, NMR görüntülerin yoğunluğunun veya  $T_1$  ve  $T_2$  zamanlarının kullanılabilirliğini ortaya koymuştur.

Meyve ve sebzelerde içsel kalite değişimlerini belirlemede NMR görüntüleme tekniğini kullanan CHEN ve ark. (1989), bu yöntemle fiziksel olarak zararlanmış meyvelerdeki doku bozulmalarının, çekirdek ve tohumda meydana gelebilecek kusurların, kurt ve larvaların meyve içinde yaptığı zararların, olgunluk düzeyinin, koflaşma ve yaşlanmanın belirlenebileceğini saptamışlardır.

### Ultrasonografik Görüntüleme

II. Dünya Savaşında denizaltıların su altında güvenli olarak hareket etmeleri ve çevrelerindeki cisimleri belirlemeleri amacıyla geliştirilen sonarın bir uzantısı olan ultrasound'un kullanıldığı ultrasonografi, görüntüleme yöntemleri arasında en basit ve ucuz olanlarından biridir. Ultrasonografide küçük bir transduser (hem yayıcı, hem alıcı), araştırılacak bölgenin yüzeyi ile temas ettirilir. Transduserden yayılan yüksek frekanslı ses dalgaları bünyeye nüfuz eder, içerideki organlara çarpar ve tekrar transduserin alıcı yüzeyine yansır. Bu geri dönen sinyallerin zamansal olarak gecikmeleri hedefin yerleşim yerini, büyüklüğünü, şeklini, hatta doku özelliklerini bir ekranda göstererek ortaya koyar (AYDINÖRS 1988).

Ürün kalitesinin analizinde ses uygulamalarına ilişkin yöntemlerde ürüne özel frekanslı bir titreşim verildiğinde, sinyalin meyve tarafından modifiye edilmesi ve yankı sinyali olarak geri verilmesi esasına dayanmaktadır. Meyve için karakteristik olan bu yankı frekansı ile meyvenin kalitesi arasında ilişki kurulabilmektedir. Bu teknik ile belirlenen fiziksel parametreler, pek çok ürünün olgunluk ve kalitesinin belirlenmesinde başarı ile kullanılabilmektedir (DULL 1986). Ancak bu prensiplere dayanan teknikler tıp ve endüstride geniş çaplı ve başarılı bir şekilde kullanılmasına rağmen taze ürünlerin analizinde kullanımı çok sınırlı düzeyde kalmıştır.

Ses ile ürünlerin kalitesinin belirlenmesinin en tipik örneği, karpuzlara elle vurularak çıkan sesin saptanmasıdır. Bu konuda yapılan daha ileri düzeydeki çalışmalarda meyveye bir sarkaç ile vurulduğunda oluşan karakteristik ses uygun duyu aletleri ile belirlenmekte, bu sinyallerin frekans ve genişliğine göre kalite konusunda karara varılmaktadır (DULL 1986). Kavun meyvelerinde akustik sinyallerle olgunluğun belirlenmesini araştıran HAYASHI ve ark. (1992), akustik sinyal dalga boyunun, kavunun ekvator bölgesinde üniform olduğunu ve sinyal geçiş hızının kavunun olgunluk durumuna göre değiştiğini saptamışlardır. Araştırmacılar, kavun sertliği ile akustik sinyal geçiş hızı arasındaki korelasyon katsayısının 0,832, yeme olgunluğuna gelen kavunlarda geçiş hızının 37-50 m/s olduğunu belirlemişlerdir. MIZUNO ve ark. (1993) da ağıllı kavunlarda olgunluğun belirlenmesinde, akustik güç yankı testini kullanmışlardır. Akustik indislerin frekansı ve dalga boyu; basınç testleri, kalite puanları ve brix değerleri ile karşılaştırılmıştır. Araştırmacılar, ağıllı kavunlarda, frekans ile basınç testlerinden tahmin edilen meyve eti sertliği ya da duyu puanlama arasında önemli bir ilişki olduğunu, dalga boyu ile basınç testlerinden elde edilen meyve eti sertliği arasında ise daha zayıf bir ilişkinin bulunduğunu belirlemişlerdir. FARABEE ve STONE (1992), 2 karpuz çeşidinde, meyvelere mekanik bir titreşim verildiğinde çıkan ses dalgalarını ölçen bir aleti kullanarak olgunluk düzeyini saptamışlardır. Araştırmacılar elde edilen sonuçların, meyveyi parçalayarak uygulanan olgunluk parametreleri ile doğru orantılı olduğunu belirtmişlerdir.

Birçok meyve ve sebze dokusu için diğer kalite parametreleri ile aralarında ilişkinin araştırılabileceği dalga yayılma hızı ve zayıflama katsayısı gibi ses parametreleri MIZRACH ve ark. (1989) tarafından ölçülmüş ve analiz edilmiştir. Araştırmacılar bazı meyve ve sebzelerde ses yayılma hızını 180-380 m/s ve zayıflama katsayısını 0,64-1,59 dB/mm olarak belirlemişlerdir.

Aynı araştırmacılar olgun kavunların farklı meyve eti kısımlarında yaptıkları diğer bir çalışmada, meyve etinin akustik ve kalite parametrelerini inceleyerek elde edilen verilere göre ses ve kalite parametreleri arasındaki ilişkileri araştırmışlardır. Sonuçta, sesin meyve eti içindeki zayıflama katsayısı, suda eriyebilir kuru madde miktarı ve kuru ağırlık değerlerinin meyvenin iç kısmına gidildikçe arttığı, buna karşın elastikiyetin azaldığı belirlenmiştir. Kavunda zayıflama katsayısı ile suda eriyebilir kuru madde miktarı, kuru ağırlık ve elastikiyet arasında oldukça kuvvetli ilişkiler elde edilmiş ve ölçülen ses sinyallerinden bu kalite parametrelerinin belirlenebileceği ortaya konulmuştur (MIZRACH ve ark. 1991).

Meyvelerin birçok türünde, bütün meyve içinden geçiş sırasında sesin zayıflaması engellenmektedir. Bu nedenle, meyve kabuğu üzerinde lokal ultrasonik testler deneysel olarak yapılmakta, kabuğun yakınındaki iç meyve dokusunun kabuk tarafından etkilendiği sanılmaktadır. Nitekim kavun ve avokado meyvelerinin kabuklarında lokal ultrasonik test yönteminin kullanımını araştıran GALILI ve ark. (1994), bu meyvelerde parçalamadan kalitenin belirlenmesinde ultrasonik tekniğin kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Kavunda kabuk rengi ile ultrasonik ses dalgalarının zayıflama katsayıları arasında iyi bir korelasyon elde edilmiştir. Renk değerinin artışı ile kabuktan geçen ses dalgası da zayıflamaktadır. Bununla beraber, kavundan ultrasonik çıkış sinyali ile meyvenin içsel özellikleri arasında zayıf bir korelasyon bulunmuş ve bunda kabuğun etkili olduğu düşünülmüştür (MIZRACH ve ark. 1994).

MIYAZATO ve ark. (1996), karpuzda pekçok kalite parametresinin belirlenmesinde titreşim sinyallerini kullanmışlardır. Araştırmacılar örneklerin hacmine göre titreşim sinyallerinin değiştiğini, küçük karpuzlarda uzun-kare şekilli, büyüklerde geniş-kare şekilli sinyallerin elde edildiğini, bu sinyallerin meyve eti kalitesine göre farklı olduğunu, olgunlaşmamış meyvelerde uzun-kare şekilli, yüksek sıcaklık zararına uğramış meyvelerde ise geniş-kare şekilli sinyallerin üretildiğini gözlemişlerdir.

Avakadolarda olgunlaşma süresince ses dalgalarının hızının ve zayıflama değerlerinin belirlendiği bir çalışmada dalga hızında istikrarlı bir değişim göstermemiş, buna karşın olgunluk ilerledikçe zayıflama artmıştır (MIZRACH ve ark. 1994).

CHENG ve HAUNG (1994), patatesteki koflaşmanın belirlenmesinde ultrasonografi tekniğinin uygulanabilirliğini araştırdıkları çalışmalarında, normal patates yumrularından geçirilen 25 kHz'lik ses dalgalarının koflaşmış yumrulara geçenlere oranla daha kuvvetli olduğunu ve koflaşmış yumrulara sesin büyük ölçüde kayba uğradığını saptamışlardır.

HUANG ve ark. (1993) akustik sinyaller ile yaptıkları çalışmada alıcı ve vericinin birbirlerine göre pozisyonlarının önemli olduğunu, elmanın ekvatorial bölgesinde alıcı ile verici arasında 180° lik bir açının olması durumunda en kuvvetli yansımanın elde edilebildiğini tesbit etmişlerdir.

ZHANG ve ark. (1994) şeftalide sertlik ile akustik titreşimler arasındaki ilişkiyi araştırdıkları çalışmalarında iki parametre arasında iyi bir korelasyonun bulunduğunu belirlemişlerdir.

### KAYNAKLAR

- AYDINÖZ, Ü. 1988. Tıpta Modern Görüntüleme Yöntemleri. Bilim ve Teknik, 21 (243):3-8.
- BRECHT, J.K., R.L. SHEWELT, J.C. GARNER, E.W. TOLLNER. 1991. Using X-Ray Computed Tomography to Nondestructively Determine Maturity of Green Tomatoes. HortScience, 26(1): 45-47.
- BULL, C.R. 1993. A Review of Sensitive Techniques Which Could be Used to Generate Images of Agricultural and Food Materials. Computers and Electronics in Agriculture, 8(1):1-29.
- CHEN, P., M.J. MCCARTHY, R.KANTEN. 1989. NMR for International Quality Evaluation of Fruits and Vegetables. Transactions of the ASAE, 32(5): 1747-1753.
- CHENG, Y., C.G. HAUGH. 1994. Detecting Hollow Heart in Potatoes Using Ultrasound. Transactions of the ASAE 37(1): 217-222.
- DULL, G. 1986. Nondestructive Evaluation of Quality of Stored Fruits and Vegetables. Food Technology, 40(5): 106-110.
- FARABEE, M.L., M.L. STONE. 1992. Determination of Watermelon Maturity with Sonic Impulse Testing. Postharvest News and Information, 5(4):1774.
- GALILI, N., A. MIZRACH, G. ROSENHOUSE. 1994. Ultrasonic Testing of Whole Fruit for Nondestructive Quality Evaluation. Postharvest News and Information, 5(4):1487.
- HALLORAN, N., M.U. KASIM, R. ÇAĞIRAN. 1997. Determination of Mechanical Injury and Effects of Bruising on the Postharvest Quality of Cantaloupes. 1<sup>st</sup> Int. Cong. on Cucurbits, 20-23 May 1997, Adana (Acta Hort. in press)
- HAYASHI, S., J. SUGIYAMA, K. OTOBE, Y.KIKUCHI, S.USUI. 1992. Nondestructive Measurement for Maturity of Muskmelons by Analysis of Acoustic Signals. Hort. Abst., 63(11):8866.
- HUANG, L., P. CHEN, S. UPADHYAYA. 1993. Determination of Acoustic Vibration Modes in Apples. Transactions of the ASAE, 36(5):1423-1429.
- ISHIDA, N., T. KOBAYASHI, M. KOIZUMI H. KANO. 1989. <sup>1</sup>H-NMR Imaging of Tomato Fruits. Agric. Biol. Chem., 53(9):2363-2367.
- KASIM, M.U. 1995. Bahçe Bitkileri Ürünlerinde Hasat Sonrası Kalitenin Belirlenmesinde Diyagnostik Radyoloji Yöntemlerinin Kullanım Olanakları. Doktora Semineri (Basılmamış). Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 26s.
- LENKER, D.H., P.A. ADRIAN. 1971. Use of X-Rays for Selecting Mature Lettuce Heads. Transactions of the ASAE, 14:894-898.
- MIYAZATO, M., J.Y. CHEN, E.ISHIGURO, N.NANBA. 1996. Discrimination of Watermelon Inner Quality to be Fixed by Means of the Vibration Response Properties Relationship Between the Power Spectrum of Curve Suited to the Autocorrelation Function Peak Points and Inner Quality. Postharvest News and Information, 7(2):558.
- MIZRACH, A., N. GALILI, G. ROSENHOUSE. 1989. Determination of Fruit and Vegetable Properties by Ultrasonic Excitation. Transactions of the ASAE 32(6):2053-2058.
- MIZRACH, A., N. GALILI, G. ROSENHOUSE, D.C. TEITEL. 1991. Acoustical, Mechanical, and Quality Parameters of Winter-Grown Melon Tissue. Transactions of the ASAE 34(5): 2135-2138.
- MIZRACH, A., N. GALILI, G. ROSENHOUSE. 1994. Determination Quality of Fresh Products by Ultrasonic Excitation. Food Technology, 68-71.
- MIZUNO, M., H. TSUCHIDA, S. HONGO, T. IJICHI, T.MIZUNO, K. WATANABE. 1993. Evaluation of Ripening Stage of Melon Fruits by Acoustic Impulse Response Method. Postharvest News and Information, 4(1):44.
- SELF, G., H.WAINWRIGHT, M. POVEY. 1993. Non-destructive Quality Determination for Fruit and Vegetables. Postharvest News and Information, 4(1): 18N-20N.
- SUZUKI, K. T. TAJIMA, S. TAKANA, T. ASANO, T.HASEGAWA. 1994. Nondestructive Methods for Identifying Injury to Vapor Heat-Treated Papaya. Journal of Food Science, 59(4):855-857.
- THOMAS, P., S.C. SAXENA, R.CHANDRA, R.RAO, C.R. BHATIA. 1993. X-ray Imaging for Detecting Spongy Tissue, an Internal Disorder in Fruits of 'Alphonso Mango' (Mangifera indica L.). Journal of Horticultural Science, 68(5):803-806.
- TOLLNER, E.W., 1993. X-ray Technology for Detecting Physical Quality Attributes in Agricultural Product. Postharvest News and Information, 4(6):149N-155N.
- TUNCEL, E., 1989. Diyagnostik Radyoloji. Stil Matb. A.Ş., ISBN 975-466-011-5, 408s.
- WANG, C.Y., P.C. WANG. 1989. Nondestructive Detection of Core Breakdown in 'Bartlett' Pears with Nuclear Magnetic Resonance Imaging. HortScience, 24(1):106-109.
- WANG, C.Y. 1991. Nuclear Magnetic Resonance (NMR) Imaging of Chilled and Nonchilled Zucchini Squash. HortScience, 26(6):81 (117 PS5).
- WANG, S.Y., P.C. WANG, M.FAUST. 1988. Non-destructive Detection of Watercore in Apple with Nuclear Magnetic Resonance Imaging. Scientia Horticulturae, 35:227-234.
- ZHANG, X., M.L. STONE, D.CHEN, N.O. MANESS, G.H. BRUSEWITZ. 1994. Peach Firmness Determination by Puncture Resistance Drop Impact, and Sonic Impulse. Transactions of the ASAE, 37(2):495-500.