

Washington Navel Portakalın Hasat Sonrası İşlemlere Yönelik Fiziksel ve Sürtünme Özelliklerinin Belirlenmesi

Nida ÇALIŞKAN, Kubilay K. VURSAVUŞ

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü,
Kahramanmaraş
kuvursa@ksu.edu.tr

Özet: Bu çalışmada, Washington Navel portakal çeşidinin hasat sonrası işlemlerine yönelik bazı fiziksel ve sürtünme özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla, uzunluk, genişlik, kalınlık, küresellik, geometrik ortalama çap, aritmetik ortalama çap, hacim, yüzey alanı, izdüşümü alanı, ortalama izdüşümü alanı, meyve kütlesi, meyve yoğunluğu, hacimsel yoğunluk, porozite, kabuk kalınlığı, kabuk oranı ve özgül ağırlık gibi bazı fiziksel özellikleri ölçülmüştür. Ayrıca, sürtünme yüzeyi ve kayma hızının statik ve dinamik sürtünme katsayıları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, portakalın fiziksel özellikler kullanılarak kütle ve hacim tahmini yapılabileceği belirlenmiştir. Sürtünme özelliklerine ilişkin olarak ise, sürtünme yüzeyi ve kayma hızının statik sürtünme katsayısı üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkiye sahip olduğu, dinamik sürtünme katsayısı üzerinde ise sadece sürtünme yüzeyinin etkisinin bulunduğu yapılan varyans analizi sonucuna göre belirlenmiştir. Statik ve dinamik sürtünme katsayısı en düşük oluklu mukavva ve plastik sürtünme yüzeyinde ölçülmüştür. Bu nedenle hasat sonrası işlemlerde mekanik hasar riskinin oluklu mukavva ve plastik sürtünme yüzeyleri kullanılarak azaltılabileceği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Portakal, fiziksel özellikler, sürtünme özellikleri, sürtünme katsayısı

Determining the Physical and Frictional Properties of Washington Navel Orange Fruit Related to Post-Harvest Technology

Abstract: In this study, some physical and frictional properties of Washington Navel orange variety related to postharvest technology were investigated. For that purpose, some physical properties such as length, width, thickness, sphericity, geometrical mean diameter, arithmetic mean diameter, volume, surface area, projected area, mean projected area, fruit mass, fruit density, bulk density, porosity, flavedo(rind) thickness, albedo thickness, rind ratio and specific gravity were measured. Furthermore, the effects of abrasion surface and sliding speed on static and dynamic coefficients of friction were determined. Related to frictional properties, abrasion surface and sliding speed was found to have significant effect on static coefficient of friction whereas only abrasion surface affected statistically on dynamic coefficient of friction according to results of the analysis of variance. The lowest static and dynamic coefficient of friction was measured on corrugated card board and plastic abrasion surface. Therefore, it was determined that the risk of mechanical damage could be minimised using corrugated cardboard and plastic abrasion surfaces.

Key words: Orange, physical properties, frictional properties, coefficient of friction

GİRİŞ

Tarımsal mekanizasyonda kullanılan makine ve tesislerin tasarımında tarımsal ürünlerin fiziko-mekanik özelliklerinin bilinmesi gereken parametrelerin başında gelmektedir. Bu parametreler yardımıyla hasat, hasat sonrası işlemler, temizleme, sınıflandırma ve depolama işlemlerinin daha iyi koşullarda gerçekleştirilmesi sağlanabilmektedir. Bu parametreler özellikle hasat öncesi, hasat ve hasat sonrasındaki işlemlerin davranış ve kalite tahmininin yapılabilmesinde gereksinim duyulan girdileri oluşturmaktadır. Örneğin, ürüne ait

fiziko-mekanik özelliklerin bilinmesi bir yandan hasat için gereksinim duyulan koşulların yaratılmasına olanak sağlarken diğer yandan da paketleme sırasında uygun paketleme koşulları ve katsayılarının belirlenmesine de yardımcı olmaktadır (Mohsenin, 1980; Khoshnam ve ark. , 2007).

Genellikle meyvelerin sınıflandırılması; boyut, şekil, kütle, renk, ses, olgunluk gibi fiziksel özellikleri göz önüne alınarak yapılmaktadır. Meyvelerin boyut özellikleri standart paketler ve kasalardaki tekdüzelik

ve paketleme açısından da gereklidir. Hacimsel kütle, özgül kütle, porozite, gibi bazı fiziksel özelliklerde sınıflandırma sistemleri, taşıma ve depolama gibi işlemlerde de yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tarımsal ürünlerde hem üretici hem de tüketici açısından istenen ortak özellik kalitenin korunmasıdır. Narenciye meyvelerinde (portakal, limon ve greyfurt) tarımsal ürünlerin makine parçalarına karşı sürtünmeleri oluşan mekanik zedelenmelerin temel sebeplerinden biridir. Ürüne ait fiziksel ve sürtünme özelliklerinin bilinmesi taşıma ekipmanları ve depolama yapılarının tasarımında önem taşımaktadır. Tasarım için gerekli olan güç kaynağının seçiminde ve gerçek boyutların hesaplanmasında, farklı yüzeyler üzerindeki sürtünme katsayısı değerleri etkili olmaktadır (Sabahoğlu ve Öztürk, 1996; Sabahoğlu ve ark., 2001). Narenciye meyvelerinin ekonomik önemine rağmen bu konu üzerinde yürütülmüş çalışmalar sınırlı sayıdadır. Narenciye ve bunun dışındaki materyaller kullanılarak yapılmış olan birçok çalışma olmasına rağmen ülkemizde bu konuda yapılan çalışma sayısı yeterli düzeyde değildir. Yurt dışı ve yurt içindeki bazı araştırmacılar patates, kavun, elma ve portakalı materyal olarak kullanarak bu ürünlerin sürtünme katsayılarını hesaplamışlardır (Schaper ve Yaeger, 1992; Sabahoğlu ve ark., 2001; Puchalski ve ark., 2003; Singh ve ark., 2004; Singh ve Reddy, 2006, Puchalski ve Brusewitz, 1996; Topuz ve ark., 2005).

Tarımsal ürünlerin makine parçalarına karşı sürtünmeleri, sebze ve meyvelerin taşınmasında oluşan mekanik zedelenmelerin temel sebeplerinden biridir. Sürtünme katsayısının bilinmesi aynı zamanda taşıma ekipmanları ve depolama yapılarının tasarımında önem taşımaktadır. Tasarım için gerekli olan güç kaynağının seçiminde ve gerçek boyutların hesaplanmasında, farklı yüzeyler üzerindeki sürtünme katsayısı değerleri etkili olmaktadır. Bir cisme bir kuvvet uygulandığında bu kuvvete zıt yönde cismin temas ettiği yüzey ile cisim arasında bir kuvvet oluşur. Bu kuvvete "sürtünme kuvveti" adı verilir (Alayunt, 2000). G ağırlığındaki bir kütleyle, bir kuvvet uygulandığında, kütle ile yüzey arasındaki sürtünme kuvveti yenilene kadar kütle herhangi bir harekette bulunmaz. İşte bu hareketsiz yüzeyler arasında meydana gelen sürtünme kuvveti "statik sürtünme kuvveti" adını almaktadır. Kütle yüzey üzerinde hareket halindeyken, bu hareketi yavaşlatmaya çalışan

kuvvete ise "dinamik sürtünme kuvveti" adı verilmektedir (Sabahoğlu ve Öztürk, 1996).

Sürtünme kuvveti harekete zıt yönde olup, harekete engel olmaya çalışır. İlk hareketin başlayabilmesi için statik sürtünme kuvvetinin yenilmesi gerekir. Bir kez hareket başladıktan sonra bu statik sürtünme kuvveti giderek azalmaya başlar. Böylece daha düşük bir kuvvet ile hareketine devam eder (Alayunt, 2000). Sürtünme direncine etki eden faktörler; normal basınç, kayma hızı, yüzey koşulları, nem ve çevre etkisi olarak sıralanabilir. Biyolojik materyallerin taşınması ve iletiminde, boşaltma ve yükleme işlemlerinde materyaller yüzey üzerinde kaymaktadır (Öztürk ve Sabahoğlu, 1994; Altuntaş, 2005). Materyalin herhangi bir yüzey üzerindeki kayma hızının etkisi, ürünün nem düzeyine bağlı olmakta ve sürtünme direncine etkisi fazla olamamaktadır (Alayunt, 2000). Veri tabanından yararlanılarak elde edilen sonuçların değerlendirilmesi sonucu sürtünme katsayılarına etkileri bakımından kayma hızları arasındaki farklılık önemli derecede görülmektedir. Sürtünme yüzeyinin yapısı ve çeşidi sürtünme katsayılarını etkilemektedir. Bu etki derecesini belirlemek için ürünlerin her biri için çeşitli yüzeyler üzerindeki ortalama sürtünme katsayıları elde edilebilmektedir (Öztürk ve Sabahoğlu, 1994; Altuntaş, 2005).

Biyolojik materyallerin nem içeriklerinin artışına bağlı olarak sürtünme katsayılarında bir artış gözlemlenmektedir. Bu artışın değeri ürün cinsine ve yüzey özelliklerine göre farklılık göstermektedir (Öztürk ve Sabahoğlu, 1994; Altuntaş, 2005). Tarımsal materyallerin tekrar tekrar yüzey üzerinden geçişi sırasında materyale ait katı ve sıvı yağlar ile mum tabakasının sürtünme yüzeyine geçmesi sürtünme direncinin yükselmesine neden olmaktadır. Ürünün yüzeyden geçişi sırasında ara kesitte sıcaklık yükselmektedir. Temas yüzeylerindeki sıcaklığın, yüzey pürüzlülüğünün ve yüzeyler arası temas süresinin artışı adhezyonu ve yüzeylerdeki aşınmayı etkiler ve sonuçta sürtünme kuvveti artar (Öztürk ve ark., 1995; Altuntaş, 2005).

Tarımsal ürünlerin hasat, harman ve işlenmesinde kullanılan makinaların tasarımında, söz konusu ürünlerin fiziko-mekanik özellikleri içerisindeki sürtünme karakteristiklerinin bilinmesi son derece önemlidir. Tarımsal ürünlerde nem içeriği arttıkça statik ve dinamik sürtünme katsayısı artar. Sürtünme,

silo ve benzeri depolama yapılarının yanal yüzeylerdeki düşük yüklerin belirlenmesinde, özellikle yüksek debilerdeki pnömatis iletimde materyalle yanal yüzeyler arasında ve yine tarımsal ürünlerin presleme ve kesme işlemlerinde de önemli rol oynar. Sürtünme katsayısının çeşitli tarımsal ürünler için farklı yüzeyler üzerinde değişik şartlarda bilinmesi, güç kaynağının seçiminde ve gerçek boyutların hesaplanmasında etkili olmaktadır (Sabahoğlu ve Öztürk, 1996).

Narenciye meyveleri açısından konu incelendiğinde ise, hasat sonrası işlemler sırasında meyve ve sebzelerin makine parçalarına karşı sürtünmelerin mekanik zedelenmelerin oluşmasının ana sebeplerinden olduğu belirtilmektedir. Sürtünme katsayısı; depolama koşulları, ürün ve hasat sonrası işlem ekipmanlarının tasarımında önemli parametrelerdendir. Dış kabuk yüzey zedelenmeleri narenciye meyvelerinde yaygın olarak meydana gelmektedir. Bunun ana nedenleri de uygun olmayan hasat sonrası işlemlerinin uygulanmasıdır. Mekanik hasat ve hasat sonrası işlemler sırasında oluşabilecek sürtünme zedelenmelerinin minimum düzeye indirilebilmesi için de sürtünme özelliklerinin ayrıntılı olarak bilinmesi ve araştırılması gerekmektedir. Sürtünme katsayısı ve buna bağlı oluşabilecek mekanik zedelenme üzerine; ürünün nem içeriği, yetiştirme koşulları, temasta olduğu aşınma yüzey materyalleri, kayma hızı, yüklenme miktarı gibi bir takım parametreler etkili olabilmektedir. Meyve kasalarının taşınması sırasındaki titreşim kuvvetleri, yükleme, boşaltma ve doldurma gibi işlemlerde materyal üzerindeki sürtünme zedelenmelerinin temel nedenlerindedir.

Narenciye meyvelerinin kabuk yüzeyinde oluşan mekanik zedelenmelerin başında da ***Oleocellosis*** olarak da adlandırılan yağ lekeleri (oil spotting) gelmektedir. Bu tür zedelenmeler hasat, hasat sonrası işlem ve pazarlama sırasında meydana gelebilmektedir. Özellikle, hasat ve hasat sonrası işlemler sırasında çarpma, sıkıştırma ve sürtünme nedeniyle kendini göstermektedir. Mekanik zedelenme toksik yağın yağ bezelerinden dışarı doğru çıkmasına neden olmaktadır. Bu durum parankima, kabuk ve kabuk altında bulunan epidermal hücrelere yakın yağların ölmesine neden olmaktadır. Zedelenmiş meyvedeki kabuk yağları bitişikteki meyvenin yüzeyi üzerinde de yağ lekelerinin oluşmasına neden olmaktadır. Sürtünme gibi mekanik dış kuvvetlerin

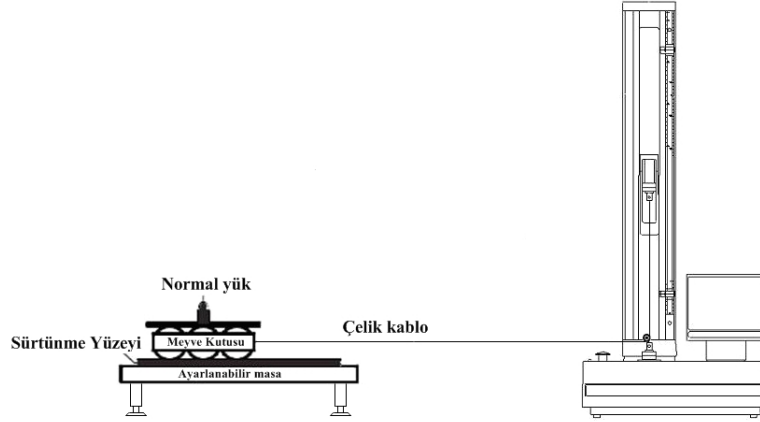
etkisiyle yeni oluşan yağ lekelerinin meyve yüzeyinde görünmesi çok güçtür. Zamanla zedelenmiş alan kararacak ve bu durum yağ bezelerinin gözle görünür bir şekilde ortaya çıkmasına neden olacaktır. Bu tür zedelenmeler, narenciye meyvelerinde en çok karşılaşılan mekanik zedelenme şekillerindedir. Bu zedelenmelerin oluşumundaki en büyük sıkıntıda yağ lekelerinin kabuk yüzeyinde hemen görünür olmamasıdır. Özellikle, hasat sonrası ürünler paketlenme evlerine ulaştıktan sonra ya da paketlenme evlerinde uygulanan işlemler sonrasında yüzeyde belirgin olarak kendini göstermektedir. Bu tür zedelenmelerin minimum düzeyde gerçekleşmesini sağlayacak hasat ve hasat sonrası ekipman yüzeylerine ilişkin de sürtünme katsayılarının bilinmesi ve en uygun yüzeyin seçilmesi gerekmektedir.

MATERYAL ve YÖNTEM

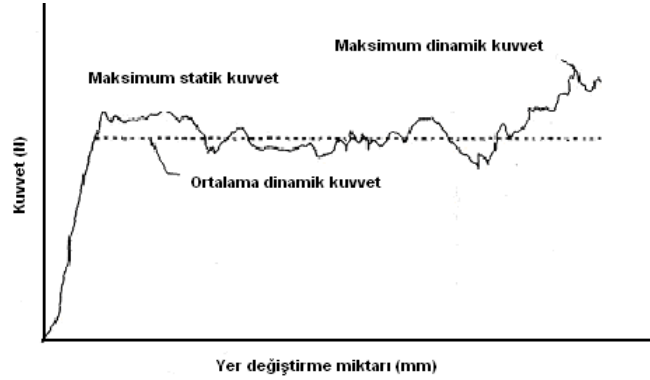
Materyal

Çalışmada, Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama Çiftliğinde bulunan portakal bahçesindeki ürünler materyal olarak kullanılmıştır. Washington Navel çeşidi portakallar 2007 hasat sezonunda elle hasat edilerek toplanmıştır. Meyvelerin boyut ve kütle özelliklerinin belirlenmesinde 0.01 hassasiyetle ölçüm yapan kumpas ve hassas teraziden faydalanılmıştır. Ayrıca, sürtünme özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Şekil 1'de verilmiş olan test düzeneğinden yararlanılmış statik ve dinamik sürtünme katsayıları LLOYD marka materyal test cihazı ile ölçülmüştür (Model LRX Plus Series). İçi meyve dolu olan kutular 300x300x300 mm boyutlarında olup tabanı açıktır. Kutu ve içerisindeki meyvelerin ortalama kütlesi yaklaşık olarak 3 kg ölçülmüştür. Yük hücrelerine bağlı çelik kablo makara sistemi yardımıyla içi meyve dolu olan kutuya yatay yönde bağlanmıştır. İçi meyve dolu olan kutunun tabanındaki açıklık, meyvelerin sürtünme yüzeyleriyle temasını sağlamaktadır. Test cihazının bu çalışma şekli ile sürtünme kuvvetleri, kuvvet-yer değiştirme grafikleri yardımıyla ölçülmüştür.

Test cihazında hareketli başlık hızı değişik hız kademelerinde ayarlanmış ve yaklaşık 250 mm'lik bir çekme uzunluğunda ölçümler yapılmıştır. Denemelerde kullanılan ve sürtünme yüzeylerinin bağlantısının yapıldığı yüzey çeki durumunun her zaman yatay konumda kalabilmesi için yüksekliği ayarlanabilir olarak tasarlanmıştır.



Şekil 1. Sürtünme özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan test cihazı



Şekil 2. Sürtünme katsayılarının hesaplanmasında kullanılan kuvvet-yer değiştirme grafiği

Yöntem

Bu çalışma iki aşamada yürütülmüştür. Birinci aşamada fiziksel özellikler belirlenmiştir. İkinci aşamada ise materyallere ilişkin sürtünme katsayılarının ölçümleri yapılmıştır. Çalışmada uzunluk, genişlik, kalınlık, geometrik ortalama çap, hacim, yüzey alanı, küresellik, hacimsel yoğunluk, meyve yoğunluğu, porozite, meyve kütlesi, kabuk kütlesi, kabuk (flavedo) kalınlığı, albedo kalınlığı, kabuk oranı gibi bazı fiziksel özellikler ölçülmüş ve hesaplanmıştır. Ölçümlerde 50 adet Washington Navel portakal çeşidi kullanılmıştır

Sürtünme özelliklerine ilişkin yapılan denemelerde; sınıflandırma, paketleme, depolama ve diğer hasat sonrası işlemlerde yaygın olarak kullanılan 5 farklı sürtünme yüzeyinden (oluklu mukavva, plastik, galvanizli levha, ahşap levha ve alüminyum sac) yararlanılmıştır. Statik ve dinamik sürtünme katsayılarının hesaplanmasında, kuvvet-yer değiştirme grafikleri

kullanılmıştır (Şekil 2). Sürtünme yüzeyleri üzerinde hareket eden içi meyve dolu kutunun çeki hızları 25, 50, 100, 250 ve 500 mm/min olarak seçilmiştir (Puchalski ve ark., 2003; İnce ve Vursavuş, 2008).

Test düzeneği üzerinde bulunan kutunun ve içerisindeki materyallerin kütleleri ile üzerine konulan yükün ağırlığı (1.5 kg \approx 15 N) toplamı normal kuvvet (N) olarak dikkate alınmıştır (\approx 3 kg). Denemeler sırasında bu ölçümler her sürtünme ölçümü sonrasında tekrarlanmış böylece sürtünme kuvveti hesaplamaları sonrasında yüzeyi zarar görmüş olan meyveler kutudan çıkartılarak yerine yeni meyveler konulmuştur. Meyve kutusu içerisindeki kütle değişimi de tartım işlemleri yapıldıktan sonra tekrar belirlenmiştir. Statik ve dinamik sürtünme kuvvetlerinin ölçümüne yönelik denemeler başladığında kuvvet zamanla artmaktadır. İçi meyve dolu kutunun yer değiştirmeye başlamasına kadar aşınma yüzeyi harekete karşı direnç göstermektedir.

Meyve kutusunun ilk harekete başladığı noktadaki en yüksek kuvvet değeri (Şekil 2) statik sürtünme katsayısının hesaplanmasında kullanılmıştır. Şekilde görülen maksimum ilk kuvvet değeri statik kuvvet, yer değiştirme sonundaki ortalamaları da ortalama dinamik kuvvet olarak alınmıştır. Sonuç olarak ölçümlerde; maksimum statik sürtünme katsayısı ve ortalama dinamik sürtünme katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Hesaplamalarda aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır (Schaper ve Yaeger, 1992; Puchalski ve ark., 2003; Sabahoğlu ve ark., 2001).

$$\mu = \frac{F}{N} \quad (1)$$

Burada: μ , sürtünme katsayısı, F , sürtünme kuvveti (N) ve N , normal kuvvet (N)'dir.

Normal kuvvet olarak tanımlanan parametre, kullanılmış olan meyve kutusu ve içindeki materyallerin kütleleri toplamı dikkate alınarak hesaplanmıştır. Kutu sürtünme yüzeyi ile alt kenar arasında 10 mm boşluk kalacak şekilde sabitlenmiştir. Her ölçüm sonrasında sürtünme yüzeyleri herhangi kalıntı olması durumundan dolayı temizlenmiştir.

Denemelerde 25, 50, 100, 250 ve 500 mm/dakikalık hız kademelerinde çeki işlemi gerçekleştirilmiştir. Meyve kutusunun sürtünme yüzeyi üzerindeki çeki işlemi 250 mm yer değiştirme olarak alınmış ve bu uzunluk boyunca ölçümler yapılmıştır. Daha önceden de belirtildiği gibi sürtünme katsayısı denemelerinde 5 farklı yüzey üzerinde çalışılmıştır. Kayma hızı ve sürtünme yüzeyinin sürtünme katsayısı üzerindeki etkilerinin araştırılmasında tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme planından yararlanılmıştır. Ayrıca ortalamalar arası farklılıklar Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılarak belirlenmiştir. Tüm istatistiksel denemelerde SPSS11.5 ve Sigma Plot 9.0 paket programlarından yararlanılmıştır. Sürtünme katsayısı denemelerinde, her ölçüm üç tekrarlı olarak yürütülmüştür. Denemeler sonunda toplam (5x5x3) 75 ölçüm (75x8=600 meyve) alınmıştır. Ayrıca, sürtünme özelliklerinin belirlenmesine ilişkin yapılan denemelerde her ölçüm için 8 meyve kullanılmıştır (paket içerisindeki meyve sayısı).

ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Denemelerde kullanılan Washington Navel portakal çeşitlerinin bazı fiziksel özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelge 1'de portakalların uzunluk, genişlik ve kalınlık, geometrik ortalama çap ve aritmetik ortalama çap gibi boyutsal özellikleri ile hacim, yüzey alanı, izdüşüm alanları, meyve kütlesi, meyve yoğunluğu, hacimsel yoğunluk, porozite (boşluk oranı), kabuk (flavedo) ve albedo kalınlığı, kabuk oranı ve özgül ağırlık değerleri gibi fiziksel özelliklerinin ortalama, maksimum ve minimum değerleri görülmektedir.

Kontrollü değişken parametrelerinden olan sürtünme yüzeyi (SY) ve kayma hızının (KH) statik ve dinamik sürtünme katsayıları üzerindeki etkilerini ortaya koyacak genel varyans analizi sonuçları belirlenmiş ve Çizelge 2'de verilmiştir.

Buna göre, çalışmada ele alınan faktörlerin ve bunların etkileşimlerinin %1 ve %5 önem seviyesinde istatistiksel anlamda etkili olduğu durumlar için şekiller oluşturulmuştur, etkisiz olan durumlar için ise sadece sonuçlarına ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır. Sürtünme yüzeyi (SY) ve kayma hızının (KH) statik sürtünme katsayısı üzerindeki etkisini belirlemek için yapılan varyans analizi sonucuna göre, sürtünme yüzeyi, kayma hızı ve sürtünme yüzeyi x kayma hızı etkileşiminin %1 önem düzeyinde istatistiksel olarak etkili olduğu belirlenmiştir.

Sürtünme yüzeyinin statik sürtünme katsayısı üzerindeki etkisine ilişkin yapılan DUNCAN çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir. Statik sürtünme katsayıları oluklu mukavva, plastik, galvaniz levha, ahşap levha ve alüminyum saç yüzeyler için sırasıyla 0.2403, 0.3718, 0.4897, 0.4118 ve 0.7265 olarak ölçülmüştür. Ayrıca istatistiksel olarak değerlendirildiğinde galvaniz levha ve ahşap levhanın aynı gruplar içerisinde yer aldığı ve aralarındaki farkın istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir.

Çizelge 1. Washington Navel Portakal Çeşidinin Bazı Fiziksel Özellikleri

Özellikler	Ortalama	Minimum	Maksimum	Standart Sapma
Uzunluk(mm)	76.97	66.36	90.31	5.72
Genişlik (mm)	76.11	69.53	95.20	5.25
Kalınlık (mm)	75.82	69.62	92.86	4.75
Küresellik	0.99	0.93	1.06	0.025
Geometrik ortalama çap (mm)	76.28	68.65	92.77	4.96
Aritmetik ortalama çap (mm)	76.30	68.67	92.79	4.96
Hacim (cm ³)				
Ölçülen	224.43	167.72	357.10	44.30
Hesaplanan	235.25	169.32	417.81	49.80
Yüzey alanı (cm ²)	183.47	270.23	270.23	24.83
İzdüşüm alanı (cm ²)				
Uzunluk	73.09	59.45	100.54	11.20
Genişlik	73.71	59.08	120.64	12.43
Kalınlık	68.35	52.38	109.20	12.32
Ortalama izdüşümü alanı (cm ²)	71.75	58.62	110.13	11.43
Meyve kütlesi (g)	224.71	167.88	357.56	44.25
Meyve yoğunluğu (kg/m ³)	1.001	0.998	1.027	0.004
Hacimsel yoğunluk (kg/m ³)	0.72	0.610	0.897	0.08
Porozite (%)	29.13	10.18	39.49	7.85
Kabuk (flavedo) kalınlığı (mm)	2.34	1.73	3.14	0.42
Albedo kalınlığı (mm)	2.98	1.97	4.02	0.51
Kabuk kütlesi (g)	59.24	48.08	84.04	9.65
Kabuk oranı (%)	27.05	22.04	32.28	2.92
Özgül ağırlık (specific gravity)	1.001	0.99	1.027	0.004

Çizelge 2. Statik ve dinamik sürtünme katsayısına ilişkin genel varyans analizi sonuçları

FAKTÖR	ÖNEM DURUMU	
	COF _s	COF _D
SY Faktörü	**	*
KH Faktörü	**	ns
SYxKH	*	ns

SY: Sürtünme yüzeyi, KH: Kayma hızı; COF_s: Statik sürtünme katsayısı, COF_D: Dinamik sürtünme katsayısı; * %5 önem düzeyinde etkili, ** %1 önem düzeyinde etkili

Sürtünme katsayısının yüksek değerde çıkması da bunun göstergesidir. Singh ve ark. (2004), portakal ile yapmış oldukları sürtünme denemelerinde statik sürtünme katsayılarını alüminyum, galvaniz levha ve kontrplak sürtünme yüzeyleri için sırasıyla 0.27, 0.36 ve 0.28 olarak ölçmüşlerdir. Buda sürtünme yüzeylerinin bu katsayılarının belirlenmesinde önemli etkisinin olduğunu göstermektedir. Ancak, aynı sürtünme yüzeyine sahip olmasına karşın farklı katsayı değerlerinin elde edilmesi ölçüm yöntemlerindeki farklılıklar, denemelerde kullanılan çeşitlerin fiziko-mekanik özellikleri ve yüzeylerin kalınlığı ve sertlik değerleri sonuçlar üzerinde etkili olabilmektedir.

Çizelge 3. Sürtünme yüzeyinin statik sürtünme katsayısı üzerindeki etkisine ilişkin Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Sürtünme Yüzeyi	COF _s	
SY1 (Oluklu mukavva)	0.2403	A
SY2 (Plastik)	0.3718	AB
SY3 (Galvaniz levha)	0.4897	B
SY4 (Ahşap levha)	0.4118	B
SY5 (Alüminyum sac)	0.7265	C

Çizelge 3 de görüldüğü gibi en yüksek sürtünme katsayısı değerine alüminyum yüzeyde ulaşmıştır. Denemeler sırasında alüminyum yüzey tabaka kalınlığının ince olması ve sürtünme temas noktalarında oluşan şekil değişimleri (deformasyonlar) ile sürtünme yüzeyinin tam olarak pürüzsüz olmaması statik sürtünme katsayısının yüksek çıkmasına neden olmuş olabilir.

Kayma hızının statik sürtünme katsayısı üzerindeki etkisine ilişkin yapılan DUNCAN çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre ise 25, 50, 100 ve 250 mm/min'lik çeki hızlarının aynı gruplar içerisinde yer aldığı 500 mm/min'lik kayma hızının ise farklı grupta bulunduğu yapılan istatistiksel analiz sonucunda belirlenmiştir (Çizelge 4). Genelde kayma hızındaki artış statik sürtünme katsayısında artışa neden olmuştur. Şekil 3'de kayma hızının statik sürtünme katsayısı üzerindeki etkisine ilişkin sonuçlar verilmiştir. Görüldüğü gibi en yüksek statik sürtünme katsayısı değeri 500 mm/min'lik kayma hızında elde edilmiştir. Ayrıca kayma hızı ile statik sürtünme katsayısı arasındaki ilişkinin ikinci dereceden polinomiyal olduğu belirlenmiştir. Kayma hızı ile statik sürtünme katsayısı arasındaki ilişkinin değişim katsayısı (R^2) da 0.923 olarak hesaplanmıştır.

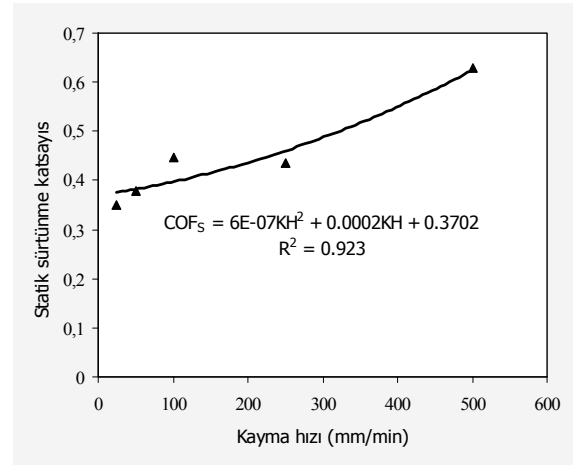
Çizelge 4. Kayma hızının statik sürtünme katsayısı üzerindeki etkisine ilişkin Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Kayma hızı (mm/min)	COF _s	
KH1 (25)	0.3513	A
KH2 (50)	0.3792	A
KH3 (100)	0.4458	A
KH4 (250)	0.4350	A
KH5 (500)	0.6288	B

Sürtünme yüzeyi ile kayma hızı etkileşiminin statik sürtünme katsayısı üzerindeki etkisinin %5 ($P < 0.05$) seviyesinde önemli olduğu yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucunda belirlenmiştir. Kayma hızının statik sürtünme katsayısı üzerindeki etkisine ilişkin yapılan regresyon analizi sonucuna göre ise ilişkinin ikinci dereceden polinomiyal olduğu belirlenmiştir (Eşitlik 2). Ayrıca, denemelerde kullanılan beş yüzey içinde kayma hızı ile statik sürtünme katsayısı arasındaki ilişkiyi ortaya koyacak matematiksel eşitliğe ait regresyon katsayıları ve R^2 belirtme katsayıları Çizelge 5'de verilmiştir.

$$COF_s = aKH^2 + bKH + c \quad (2)$$

Burada: COF_s Statik sürtünme katsayısı; a, b ve c regresyon katsayısı; ve KH kayma hızı (mm/min) dir.



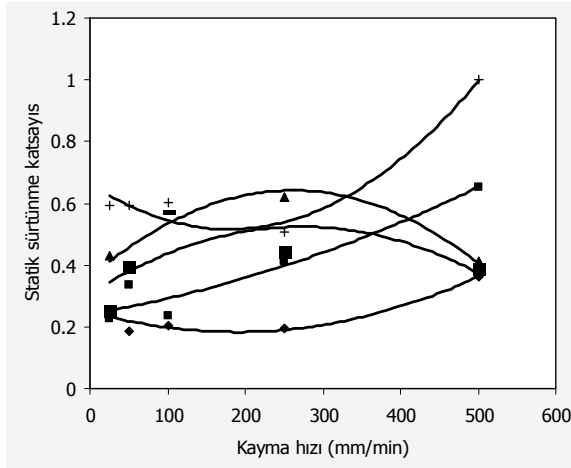
Şekil 3. Kayma hızının statik sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi

Şekil 4 statik sürtünme katsayısı üzerine kayma hızı ve sürtünme yüzeyinin etkisini göstermektedir. Sürtünme yüzeylerindeki farklılıklar kayma hızının statik sürtünme katsayısı üzerinde değişik şekillerde etkili olmasına neden olmuştur. Örneğin, oluklu mukavva ve plastik sürtünme yüzeylerinde kayma hızındaki artış statik sürtünme katsayısında yükselişe neden olmuştur. Ahşap ve galvanizli levhada statik sürtünme katsayısı 25-250 mm/min'lik kayma hızında artarken, 250-500 mm/min'lik kayma hızında, azalmaktadır. Alüminyum yüzeyde ise 25 -100 mm/min'lik çeki hızlarında statik sürtünme katsayılarında bir değişim gözlenmezken, 250 mm/min'lik kayma hızında statik sürtünme katsayısı minimum

Çizelge 5. Sürtünme Yüzeyi x Kayma Hızı Etkileşiminin Statik Sürtünme Katsayısı Üzerindeki Etkisine İlişkin Regresyon Katsayıları

Sürtünme Yüzeyi	Statik Sürtünme Katsayısı	Regresyon katsayısı			
		a	b	c	R ²
SY1 (Oluklu mukavva)	COF _s	2x10 ⁻⁶	0.0007	0.2489	0.9212
SY2 (Plastik)	COF _s	8x10 ⁻⁷	0.0004	0.2417	0.9256
SY3 (Galvaniz levha)	COF _s	-4x10 ⁻⁶	0.0022	0.3592	0.7944
SY4 (Ahşap levha)	COF _s	3x10 ⁻⁶	0.0016	0.3075	0.3509
SY5 (Alüminyum sac)	COF _s	5x10 ⁻⁶	0.0017	0.6651	0.9623

değerine ulaşmış ve daha sonra tüm sürtünme yüzeyleri içerisinde 500 mm/min lik kayma hızında maksimum değerde ölçüm alınmıştır. Yüksek statik sürtünme katsayılarının elde edilmesi, sürtünme yüzeylerinin düşük değerlere sahip olan yüzeylerden daha pürüzlü yapıya sahip olduğu şeklinde açıklanabilmektedir. Ayrıca, meyvelerin sürtünme yüzeyleri üzerinde hareketi sırasında sürtünme yüzeylerinde meydana gelen şekil değişimi de (deformasyon) statik sürtünme katsayısında artışa neden olmuş olabilir.



Şekil 4. Statik sürtünme katsayısı üzerine kayma hızı ve sürtünme yüzeyinin etkisi (◆: Oluklu mukavva; ■: Plastik; ■: Ahşap levha; ▲: Galvanizli levha; +: Alüminyum sac)

Puchalski ve ark. (2003), Gala ve McLemore elma çeşitlerinde genellikle statik sürtünme katsayılarının 0.42mm/s den 1.67 mm/s ye kadar olan kayma hızlarında azaldığını ve daha sonra önemli derecede arttığını ifade etmişlerdir. Ayrıca, Chen ve Squire

(1971), portakal ile yapmış oldukları denemelerinde düşük kayma hızlarında elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin yüksek kayma hızlarındaki sürtünme katsayılarından daha düşük ölçüldüğünü belirlemişlerdir. Örneğin denemelerde kullanılmış olan oluklu mukavvalarda 25-250 mm/min lik kayma hızlarında statik sürtünme katsayısı değerleri 0.2558 - 0.1925 arasında, 500 mm/min'lik kayma hızında 0.3617 olarak ölçülmüştür. Plastik sürtünme yüzeyinde 25-100 mm/min'lik kayma hızlarında statik sürtünme katsayıları 0.2275-0.2342 arasında iken, 250-500 mm/min kayma hızlarında bu değerler 0.4142-0.650 olarak ölçülmüştür. Oluklu mukavva ve plastik sürtünme yüzeyleri için elde edilen statik sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları Puchalski ve ark. (2003) ve Chen ve Squire (1971) sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Denemelerde kullanılan portakalların sürtünme yüzeyleri üzerindeki geçişi sırasında materyale ait olan sıvı yağlar ile mum tabakasının sürtünme yüzeyi üzerine geçmesi, sürtünme direncinin yükselmesine neden olmaktadır. Özellikle sürtünme yüzeyleri pürüzlü olan materyallerde viskoz tabakanın kalınlığı ve düzgünlüğü, sürtünme katsayılarını yükseltmektedir. Yüksek çeki ya da kayma hızlarında temas yüzeylerindeki sıcaklık artmakta, yüzeyler arası temas süresi artışı adhezyona ve yüzeydeki aşınmayı etkilemekte böylece de sürtünme kuvvetleri artmaktadır.

Sürtünme yüzeyleri arasındaki farkı ortaya koymak için yapılan DUNCAN çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre en düşük dinamik sürtünme katsayısı değerine (0.1413) oluklu mukavvada ulaşılmıştır. Ayrıca, oluklu mukavva sürtünme yüzeyinin diğer dört sürtünme yüzeyinden farklı gruplar içerisinde

bulunduğu yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucunda belirlenmiştir (Çizelge 6). En yüksek dinamik sürtünme katsayısı değeri (0.3810) galvanizli levha da ölçülmüştür. Dinamik sürtünme katsayısı da statik sürtünme katsayısında olduğu gibi sürtünme yüzeyine bağlıdır. Buna karşın, değer olarak genellikle statik sürtünme katsayısından daha küçüktür ($COF_D < COF_S$). Galvanizli levha ve alüminyum sürtünme yüzeyleri zedelenme oluşturma açısından en riskli sürtünme yüzeyleri grubundadır. Çalışmalar sırasında kullanılmış olan sürtünme yüzeyleri ve yüzey özellikleri dikkate alınarak oluklu mukavva, ahşap levha ve plastik malzemelerin sırasıyla en az riske sahip yüzeyler olduğu söylenebilir.

Çizelge 6. Sürtünme Yüzeyinin Dinamik Sürtünme Katsayısı Üzerindeki Etkisine İlişkin Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi Sonuçları

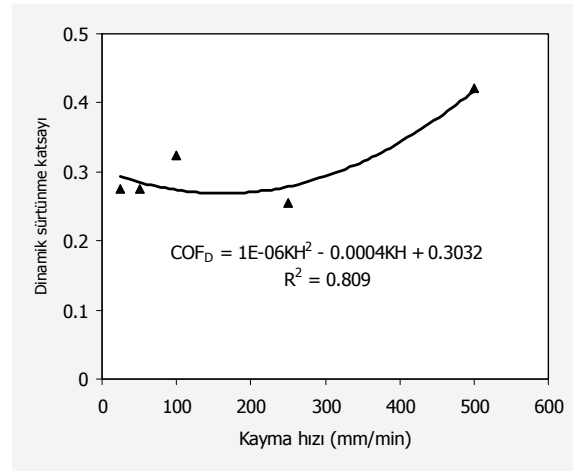
Sürtünme Yüzeyi	COF _D	
SY1 (Oluklu mukavva)	0.1433	A
SY2 (Plastik)	0.3390	B
SY3 (Galvaniz levha)	0.3810	B
SY4 (Ahşap levha)	0.3098	B
SY5 (Alüminyum sac)	0.3757	B

Kayma hızının dinamik sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi Şekil 5'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi 25-100 mm/min lik kayma hızlarında dinamik sürtünme katsayısı artış göstermiştir. 250 mm/min lik kayma hızında eğilim, azalma yönünde

LİTERATÜR LİSTESİ

- Alayunt, F. 2000. Biyolojik Malzeme Bilgisi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü Ders Kitabı. Yayın No: 541, 132 S., İzmir.
- Altuntaş, E. 2005. Biyolojik Malzeme Bilgisi Ders Notları. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümü.
- Chen, C., Squire, E.F., 1971. An Evaluation of the Coefficient of Friction and Abrasion Damage of Oranges on Various Surfaces. Transactions of the ASAE, 14(6): 1092-1094
- İnce, A., Vursavuş, K.K. 2008. Effect of Sliding Speed, Abrasion Surface and Normal Load on Coefficient of Friction of Grapefruit (*Citrus paradisi*). The Philippine Agricultural Scientist. Vol. 91 (3): 308-314.
- Khosnam, F., Tabatabaeefar, A., Varnamkhaştı, M.G., Borghei, A., 2007. Mass Modeling of Pomegranate (*Punica granatum L.*) fruit with Some Physical Characteristics. Scientia Horticulturae, 114: 21-26.
- Mohsenin, N.N. 1980. Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach Science Publishers, New York.

olmuştur. Genel olarak ise kayma hızına bağlı olarak dinamik sürtünme katsayısı artış eğilimindedir. Chen ve Squire (1971) portakalla yapmış oldukları denemelerinde metal ve mazonit yüzeylerde yüksek kayma hızlarında dinamik sürtünme katsayısının arttığını belirtmişleridir. Elde edilen bulgular bu araştırmacıların sonuçları ile benzerlik gösterip dinamik sürtünme katsayısı üzerine kayma hızının etkisine ilişkin sonuçları destekler niteliktedir. Yüksek kayma hızlarında dinamik sürtünme katsayısındaki artışlar portakallara ait olan sıvı yağlar ile mum tabakasının sürtünme yüzeyine bulaşması ve ayrıca temas yüzeylerinde sıcaklık artışı şeklinde de açıklanabilir.



Şekil 5. Kayma hızının dinamik sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi

- Öztürk, R., Sabahoğlu, Y. 1994. Biyolojik Malzemelerin Sürtünme Katsayılarının Belirlenmesine İlişkin Yöntemlerin Değerlendirilmesi. Tarımsal Mekanizasyon 15. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı, s. 353-362, Antalya.
- Öztürk, R., Çolak, A., Sabahoğlu, Y. 1995. Bazı Yumru Bitkilerinin Sürtünme Katsayılarının Belirlenmesi. Tarımsal Mekanizasyon 16. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı, s: 334-343, Bursa.
- Puchalski, C., Brusewitz, G.H. 1996. Coefficient of Friction of Watermelon. Transactions of The ASAE, 30(2): 589-594.
- Puchalski, C., Brusewitz, G.H., Slipek, Z. 2003. Coefficients of Friction for Apple on Various Surfaces as Affected by Velocity. Agricultural Engineering International : The CIGR Journal of Scientific Research and Development, Vol(5). Pp: 14.
- Sabahoğlu, Y., Öztürk, R. 1996. Bazı Buğday Çeşitlerinin Sürtünme Katsayılarının Belirlenmesi. 6th International Congress on Agricultural Mechanisation and Energy, 543-549, pp.

Washington Navel Portakalın Hasat Sonrası İşlemlere Yönelik Fiziksel ve Sürtünme Özelliklerinin Belirlenmesi

- Sabahoğlu, Y., Yurtlu, Y.B., Erman, A. 2001. Farklı Yüzeylerde Portakalın Sürtünme Katsayısının Belirlenmesi. Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı, 1-15 Eylül, 518-522, ss.
- Schaper, L.A., Yaeger, E.C. 1992. Coefficients of Friction of Irish Potatoes. Transactions of the ASAE, 35(5): 1647-1651.
- Singh, K.K., Reddy, B.S. 2006. Post-Harvest Physico-Mechanical Properties of Orange Peel and Fruit. Journal of Food Engineering, 73: 112-120.
- Singh, K.K., Reddy, B.S., Varsheny, A.C., Mangraj, S. 2004. Physical and Frictional Properties of Orange and Sweet Lemon. Applied Engineering in Agriculture, 20(6): 821-825.
- Topuz, A., Topakçı, M., Çanakçı, M., Akıncı, I., Özdemir, F. 2005. Physical and Nutritional Properties of Four Orange Varieties. Journal of Food Engineering, 66(4): 519-523.