





Kırmızıbiberin vakum destekli mikrodalga tekniği ile kurutulması

Drying of red pepper by microwave-vacuum technique

Cem Baltacıoğlu^{1,*} , Duygu Boz² 

^{1,2} Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 51240, Niğde Türkiye

Öz

Bu çalışmada %91.74 neme sahip tatlı kırmızıbiberler (*Capsicum annuum* L.) vakum destekli mikrodalgada veya sıcak hava fırınında ile %10 nem içeriğinin altına düşürülmüştür. Vakum destekli mikrodalga prosesinde istenilen nem seviyesine ulaşmak için geçen süre 45-90dk, etüvde ise 480dk olarak belirlenmiştir. Vakum destekli mikrodalga yöntemi ve sıcak hava ile etüvde kurutulan kırmızıbiber örneklerinde toplam antioksidan aktivite, toplam fenolik madde ve toplam monomerik antosiyanin analizleri gerçekleştirilmiştir. En yüksek değerler vakum destekli mikrodalga prosesinde elde edilmiştir. Sıcak havada kurutulan kırmızıbiber örneklerinin askorbik asit miktarında vakum-mikrodalga prosesine göre %74.46 oranında azalma gözlemlenmiştir. Taze bibere en yakın renk parametreleri ve toplam renk değişimi en az vakum-mikrodalga kurutma tekniğinde elde edilmiştir. İstatistiksel açıdan mikrodalga gücünün kurutulmuş kırmızıbiber örneklerinin kimyasal ve fiziksel kalite özellikleri üzerine etkisi vakum basıncından daha belirgin olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Kırmızıbiber, Kurutma, Mikrodalga, Vakum

1 Giriş

Kırmızıbiber, patlıcangiller (Solanaceae) ailesinin *Capsicum* cinsine bağlı, ılıman iklime sahip bölgelerde tek yıllık (*Capsicum annuum*), tropik iklime sahip bölgelerde ise çok yıllık (*Capsicum frutescens*) olarak yetiştirilen bir kültür bitkisidir [1-3]. Taze ve kurutulmuş olarak geniş bir kullanım alanına sahip olan kırmızıbiber dünyada ve Türkiye’de üretim ve işletme endüstrisi açısından önemli bir kültür bitkisidir. Kırmızıbiber günlük yemeklerde, salça ve soslarda, endüstriyel ürünlerde kullanılan bir bitkidir. Yetiştirme koşulları, hasat dönemi ve iklime göre değişiklik gösterse de bileşiminde başlıca C vitamini olmak üzere E, B1, B2, B3, A vitaminleri bulunmaktadır. Renk maddelerinden beta karoten, kapsantin, zeaksantin, kriptokapsantini, fenolik bileşikler olarak karotenoidi, gallik asit, vanilik asit, resveratrol, kateşinhidratı, minerallerden ise Ca, Fe, Mg, P, S ve Na’yı içermektedir [4]. Gıdalarda kurutma bilinen en eski kurutma yöntemlerindedir. Kurutma doğal ve yapay olarak ikiye ayrılmaktadır, ancak doğal kurutma kalite dezavantajlarından dolayı tercih edilmemektedir. Endüstride yapılan sıcak hava kurutma standart ürün elde etmek adına tercih edilmektedir [5].

Abstract

In this study, sweet red peppers (*Capsicum annuum* L.) with 91.74% moisture content were reduced below 10% moisture content with vacuum assisted microwave and hot air oven. The time taken to reach the desired moisture level in the microwave-vacuum process was determined to be 45-90min and 480min in the oven. Total antioxidant activity, total phenolic matter and total monomeric anthocyanin were analyzed in red pepper samples dried by vacuum-assisted microwave method and hot air and oven. The highest values were obtained in the vacuum assisted microwave process. The ascorbic acid content of hot air dried red pepper samples decreased by 74.46% compared to the vacuum-microwave process. The closest color parameters to fresh pepper and the least total color change were obtained in vacuum-microwave drying technique. Statistically, the effect of microwave power on the chemical and physical quality characteristics of dried red pepper samples was more significant than vacuum pressure.

Keywords: Red pepper, Drying, Microwave, Vacuum

Mikrodalga ile yapılan çalışmalarda kurutma zamanı üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Düşük güçlerde mikrodalga kullanımı ile yapının korunmasında ve besleyici unsurların parçalanması daha az olmaktadır. Kısa sürede ısıtma yapabilmesi avantajı ile mikrodalga kurutmada önemi artan yöntemlerden birisidir. Diğer taraftan vakum destekli mikrodalga kurutma ile yapılan çalışmalar klasik yöntemler ile karşılaştırıldığında daha poroz yapıda, yüksek kuruma oranında bir değer elde edilmiştir. Bunun yanı sıra daha düşük yığın yoğunluğu ile beraber düşük derecede buruşma elde edilmiştir. Mikrodalga ve vakum birlikte kullanılarak yapılan çalışmalarda geleneksel yöntemlere göre daha yüksek rehidrasyon oranının yanı sıra daha düşük su tutma kapasitesine, sertliğe, esnekliğe, yapışkanlığa ve çignenebilirliğe sahip örnekler elde edilmiştir [6-9]. Mikrodalga kullanımının kurutma üzerine olan olumlu etkileri görülmektedir ve bu çalışmada kullanılmasına neden olmuştur. Mikrodalga fırını avantajları nedeniyle gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmada kırmızıbiber farklı vakum seviyelerinde (0.02 MPa, 0.04 MPa ve 0.06 MPa) ve mikrodalga güçlerinde (180 W, 360 W, 600 W ve 900 W) kurutulmuştur. Alternatif

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: cembaltacioglu@ohu.edu.tr (C. Baltacıoğlu)
Geliş / Received: 23.09.2024 Kabul / Accepted: 07.10.2024 Yayınlanma / Published: 15.01.2025
doi: 10.28948/ngumuh.1554616

kurutma yöntemi olarak kırmızıbiberler sıcak hava kurutma yöntemiyle farklı sıcaklıklarda (60 °C, 70 °C ve 80 °C) kurutulmuştur. Mikrodalga destekli vakum kurutma yöntemi ve geleneksel yöntem ile elde edilen örneklerde nem, renk, toplam fenolik madde, toplam antioksidan aktivite, toplam monomerik antosiyanin, askorbik asit tayini ve temel bileşen analizi gerçekleştirilmiştir.

2 Materyal ve metod

Çalışmada kullanılan kırmızıbiberler (*Capsicum annuum* L.) Niğde'nin yerel bir marketinden tek seferde temin edilmiştir. Kurutma işlemine kadar geçen sürede buzdolabında (Arçelik, Türkiye) +4 °C' de muhafaza edilmiştir.

2.1 Kurutma

Kırmızıbiberler çekirdeksiz şekilde 3 mm kalınlığında yuvarlak formda dilimlenmiştir. Kırmızıbiberlerin kurutulması, mikrodalga fırın (Arçelik Intolwave, Türkiye), fırına dış ünite olarak bağlanan vakum pompası (Isolab Vacuum Pump, Almanya) ve fırının içerisinde oluşturulan sızdırmaz cam ünite sayesinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Mikrodalga fırında 180 W, 360 W, 600 W ve 900 W güç değerleri kullanılmıştır. Vakum pompasında ise 0.02 MPa, 0.04 MPa ve 0.06 MPa basınç değerleri seçilmiştir. Kurutulan örneklerin 30 dk aralıklarla tartımları alınmıştır ve kurutma işlemi 0.11 kg H₂O kg⁻¹ (kuru bazda) seviyesi altına düşene kadar devam etmiştir.

Sıcak hava kurutma işlemi hava sirkülasyonlu etüvde (Isotex, Türkiye) gerçekleştirilmiştir. Dilimlenen örnekler 60 °C, 70 °C ve 80 °C'de aynı nem değerine düşene kadar kurutulmuştur.



Şekil 1. Vakum destekli mikrodalga kurutma sistemi

2.2 Nem tayini

Kırmızıbiberlerin nem içeriği, 90 °C'de 72 saat kurutulmadan önce ve kurutulduktan sonra test numunesinin ağırlıklarından standart bir yöntem (AOAC 1984) kullanılarak belirlenmiştir [10].

2.3 Renk tayini

Kırmızıbiber dilimlerinde renk özelliklerini belirlemede renk tayini cihazı (Konica Minolta CR400, Japonya) kullanılmıştır. Renk değerleri toz haline getirilen örnekler üzerinden yapılmıştır. L^* , a^* , b^* , C, h, BI, ΔE değerleri Denklem 1-4'e göre hesaplanmıştır. L^* parlaklığı göstermekte olup $L^*=0$ siyah ve $L^*=100$ beyaza karşılık

gelmektedir. $+a^*$ değeri kırmızılığı, $-a^*$ değeri yeşilliği, $+b^*$ değeri sarılığı ve $-b^*$ değeri de maviliği göstermektedir.

$$C: \text{Kroma (Renk doygunluğu)} = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2} \quad (1)$$

$$h: \text{Renk Açısı (Ton açısı)} = \tan^{-1}(a^*/b^*) \quad (2)$$

$$\text{BI (Esmerleşme indisi)} = [100(X-0.31)] / 0.17 \quad (3)$$
$$X = (a^*+1.75L^*)/(5.645L^*+a^*-3.012b^*)$$

$$\Delta E (\text{Toplam renk farkı}) = [(L_0-L^*)^2 + (a_0-a^*)^2 + (b_0-b^*)^2]^{1/2} \quad (4)$$

2.4 Toplam fenolik madde tayini

Kurutulmuş kırmızıbiber numuneleri öğütülmüş ve 0.1 g tartılmış ve fenolik bileşikleri ekstrakte edebilmek için %80 metanol çözeltisi (% 1 HCl içeren) kullanılmıştır. Toplam fenolik madde miktarı Folin-Ciocalteu yöntemine göre belirlenmiştir [11]. Çözeltiler hazırlandıktan sonra tüplere mikro pipet (Isolab, Almanya) yardımıyla 25 μ L örnek 75 μ L saf su ve 750 μ L folin çözeltisi ilave edilmiş ve vortekslenildikten (Isolab, Almanya) sonra 5 dk. bekletilmiştir. Ardından 750 μ L NaCO₃ (75g/L) eklendikten sonra tekrar vortekslenmiştir ve 1 saat karanlıkta bekletilmiştir. Karanlıkta bekletilen örneklerin 725 nm'de UV-VIS spektrofotometrede (Thermo Scientific Evolution 300, ABD) absorbansları belirlenmiştir. Referans olarak gallik asit kullanılarak sonuçlar kg örnek başına mg gallik asit eşdeğeri (GAE) olarak ifade edilmiştir (mg GAE/ kg örnek). Gallik asit standardı; 1.9 ml gallik asit üzerine 9.5 ml saf su ilave edilerek stok çözeltisi hazırlanmış, ardından 0.5 μ L; 1 μ L; 1.5 μ L miktarlarında stok çözeltiden 3 ayrı örnek alınmıştır. Alınan örnekler üzerine sırasıyla 1.5 μ L, 1 μ L, 0.5 μ L saf su eklendikten sonra örnekler 750 μ L folin çözeltisi ve 750 μ L NaCO₃ ile tamamlanmıştır. Hazırlanan örnekler, 100 μ L saf su, 750 μ L folin, 750 μ L NaCO₃ ile hazırlanmış şahite karşı spektrofotometrede absorbansı belirlendikten sonra GAE eşdeğeri elde edilmiştir.

2.5 Toplam antioksidan aktivite tayini

Kurutulmuş ve yaş kırmızıbiberde serbest radikal yakalama deneyi, 1.1-difenil-2-pikrilhidrazil (DPPH) radikali kullanılarak Blois metodu gerçekleştirilmiştir. DPPH metodu örnek ekstraktların proton veya elektron verebilme yeteneğine göre eklenen mor renkli DPPH çözeltisinin örneklerin rengini açması prensibine dayanmaktadır [12]. Reaksiyon karışımının absorbansının düşmesi yüksek serbest radikal giderme aktivitesinin göstergesidir. Kurutulmuş kırmızıbiber numunelerinden 100 μ L örnekler tüplere alındıktan sonra, 3.9 ml DPPH çözeltisi eklenmiştir. Vortekslenen tüpler 30 dk karanlıkta bekletildikten sonra spektrofotometrede 517 nm dalga boyunda şahite karşı absorbansı belirlenmiştir. Kontrol örneği için, örnek yerine 100 μ L %80'lik metanole 3.9 ml DPPH çözeltisi kullanılmıştır. Şahit hazırlanmasında diğer örneklerden farklı olarak kullanılan örnek ve DPPH miktarı kadar %80'lik metanol kullanılarak hazırlanmıştır. Yüzde inhibisyon değerleri Denklem 5'e göre hesaplanmıştır.

(A_{kontrol} : Kontrol örneğinin absorbanans değeri, $A_{\text{örnek}}$:Örnek ekstraktının absorbanans değeri)

$$\% \text{ İnhibisyon} = ((A_{\text{kontrol}} - A_{\text{örnek}}) / A_{\text{kontrol}}) * 100 \quad (5)$$

2.6 Toplam monomerik antosiyanin tayini

Toplam monomerik antosiyanin tayini için kurutulmuş kırmızıbiber örneklerinden 0.2 g tüplere konulmuştur. Ardından 12 ml %80'lik metanol (%1ml HCL çözeltisi içeren) çözeltisi eklendikten sonra tüpler vortekslenmiştir. Sedimentasyon cihazına bırakılan tüpler 4 saat sonunda filtre kağıdından geçirilerek süzülmüş ve analiz için hazır hale getirilmiştir. Kurutulmuş kırmızıbiberlerin toplam monomerik antosiyanin tayini spektrofotometrik yöntemle pH diferansiyel metoduna göre belirlenmiştir [13]. Topam monomerik antosiyanin miktarı **Denklem 6 ve 7**'ye göre hesaplanmıştır. Bu denklemlerde; A: Düzeltilecek hesaplanan absorbanans farkını, TMA: Toplam antosiyanin miktarını, MA: Standart antosiyaninin (siyanidin 3-galaktozit) molekül ağırlığını (445.2), SF: Seyreltme faktörünü, MS: Standart antosiyaninin molar absorpsiyon katsayısını (30200) göstermektedir.

$$A = (A_{\text{max}} - A_{700})_{\text{ph1}} - (A_{\text{max}} - A_{700})_{\text{ph4.5}} \quad (6)$$

$$\text{TMA} = (A \times \text{MA} \times \text{SF} \times 1000) / \text{MS} \quad (7)$$

2.7 Askorbik asit tayini

Kurutulmuş kırmızıbiberde askorbik asit tayini HPLC (Shimadzu LC-20A, ABD) cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Analiz için %30 metanol çözeltisi ile %2.5 fosforik asit çözeltisi kullanılmıştır. Analizin ilk aşamasında -18 °C sıcaklıkta muhafaza edilen toz haline getirilmiş kuru kırmızıbiber numunelerinde 0.1 g örnekler 10 ml fosforik asitle tamamlanıp, 5 dk vorteks (Isolab, Almanya) cihazında karıştırılmıştır. Vorteksten geçirilen numuneler santrifüj cihazı 9000 devir/dk (Nüve NF 800R, Türkiye) ayarlanarak partiküllerin çökmesi numunenin berrak kısmının açığa çıkması sağlanmıştır. Berrak kısmı alınan numuneler 0.45 µm filtreden süzülerek analiz için hazır duruma getirilmiştir. Sonuçların hesaplanması askorbik asit standart eğrisi üzerinden yapılmıştır.

2.8 Kemometrik analiz

Temel bileşen analizi (PCA) Minitab 18 (Minitab Inc.State Collage PA, ABD) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Temel bileşen analizi kurutulmuş kırmızıbiberlerde vakumun ve mikrodalga gücünün etkisini ayırt etmek için kullanılmış ve sonuçlar skor grafiğinde sunulmuştur.

2.9 İstatistiksel analiz

Veriler Minitab 18.0 (Minitab Inc. State College, PA, ABD) paket programı kullanılarak %95 güven aralığında analiz edilmiştir. Gruplar arasında anlamlı fark olup olmadığını belirlemek için Tukey's çoklu karşılaştırma test yapılmıştır.

3 Bulgular ve tartışma

Başlangıçta %91.74±0.2 nem içeriğinde olan kırmızıbiberler vakum destekli mikrodalga kurutma ve sıcak hava kurutma işlemlerinde %10 nem değeri altına inene kadar kurutulmuştur. Yapılan kurutma işlemlerinde en kısa kuruma süresi 600 W güçte 0.06 MPa vakum basıncında elde edilmiştir. Kurutma süresi mikrodalga gücü ve vakum basıncına bağlı olarak değişim göstermiştir. Mikrodalga ve vakum kurutma sisteminde ortalama kurutma süresi 45-90 dk arasında değişim göstermiştir. Vakum destekli yapılan kurutmada ilk 30 dk'da yaş ağırlığın %65.5±0.4'ü uzaklaşmıştır. Takip edilen süre zarfında ilk 30 dk süre içerisinde yüksek miktarda nemin uzaklaştığı gözlemlenmiştir. Kurutma işleminde genel olarak iki kuruma periyodu gözlemlenmiştir. İlk periyotta gıdanın yüzeyinin su ile doymuş olması durumunda iken sabit hız periyodunda kuruma yüksek hızda gerçekleşmiştir. İkinci periyotta ise kırmızıbiber numunelerinin ıslak yüzeydeki nem içeriği tüm yüzeyi doyurmayacak düzeye geldiğinde, kurutma hızı kademeli olarak azalmıştır ve azalan hız periyodu gözlenmiştir, uzun zamanda daha az su uzaklaşmıştır, bu durum literatürde bulunan kurutma modelleri ile uygunluk göstermektedir [14]. Yapılan bir çalışmada ultrases destekli vakum kombine kurutma sisteminde kırmızıbiber kurutulmuş, kurutma süreleri fırın iç sıcaklığı ile ters orantılı olarak değişmiş olması çalışmamızı destekler niteliktedir [15]. Tian vd. yaptığı mikrodalga vakum kombinasyonlu çalışmada en kısa kurutma süresini 600 W mikrodalga gücü ve 0.06 MPa vakumda elde ettiklerini ifade etmişlerdir. En yavaş kurutma işlemini 180 W ve 0.02 MPa'da kaydetmişlerdir [16]. Bu çalışmada elde edilen veriler, kurutma süresi ve mikrodalga gücü arasındaki ilişki yapılan bu çalışmayı destekler niteliktedir.

3.1 Toplam fenolik madde

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde (Tablo 1) en yüksek fenolik madde içeriği vakum destekli mikrodalga kurutmada parametrelerinde 360 W/0.04 MPa, en düşük fenolik madde içeriği 180 W/0.02 MPa gözlemlenmiştir. Mikrodalga gücündeki değişim toplam fenolik üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Buna karşın uygulanan vakum basıncındaki değişim 0.02 ve 0.04 MPa değerlerinde etkili olurken ($p < 0.05$), 0.06 MPa değerinde istatistiksel olarak etkili olmamıştır ($p \geq 0.05$). Sıcak havada yapılan kurutmada ise 60 °C, 70 °C ve 80 °C'de elde edilen toplam fenolik değerleri sırasıyla 16062.41±1614, 15592.57±2957 ve 14698.56±1748 mgGAE/kgKM olarak tespit edilmiştir. Etüv sıcaklığındaki değişimin anlamlı bir etkisi olmadığı görülmüştür ($p \geq 0.05$).

Yapılan bir çalışmada kırmızıbiberlerin sıcak hava kurutulması sonucunda toplam fenolik madde miktarı değişimleri incelenmiştir. Taze kırmızıbiberin fenolik madde içeriği 1359±148 mg gallik asit/100 g, 50-90 °C arasında sıcaklık arttıkça toplam fenolik madde miktarı 400 mg gallik asit/100 g altına düştüğü görülmüştür. Kurutma sıcaklığı artışı ile toplam fenolik madde içeriğinde azalma olduğu bildirilmiştir [17]. Bu verilerin yapılan bu çalışma ile paralel olduğu görülmektedir. Yapılan başka bir çalışmada ise ticari ve organik kırmızıbiberler farklı kurutma yöntemleri

izlenerek kurutulmuş ve elde edilen sonuçlara göre taze biberlerde 369 ile 1014 mg/kg değerinde toplam fenolik madde tespit edilmiştir. Sıcak hava, kesikli mikrodalga ve kızılötesi yöntemler ile yapılan kurutma yöntemleri sonucunda fenolik içeriği açısından değerlendirildiğinde en yüksek değer kızılötesi kurutma yöntemi ile elde edilmiştir. Burada mikrodalga ile yapılan kurutmada fenolik madde açısından kızılötesine göre daha düşük değerler elde edilmiştir [18].

Tablo 1. Kurutulmuş kırmızıbiber örneklerinin toplam fenolik madde miktarları

Güç	Vakum (MPa)	Toplam fenolik madde (mg GAE/kg KM)
180 W	0.02	^{Bb} 13225.24±1094.80
	0.04	^{Ba} 13759.49±708.519
	0.06	^{Bab} 16467.19±1323.59
360 W	0.02	^{Ab} 17914.80±915.17
	0.04	^{Aa} 21937.79±2832.3
	0.06	^{Aab} 14791.66±1416.04
600 W	0.02	^{Ab} 13881.19±979.91
	0.04	^{Aa} 17680.60±3299.4
	0.06	^{Aab} 18117.65±1321.08
900 W	0.02	^{Bb} 15856.12±833.52
	0.04	^{Ba} 14367.54±1518.46
	0.06	^{Bab} 13539.19±865.63

Tabloda aynı sütunda büyük harfle gösterimde farklı harf gücün fenolik madde üzerine etkili olduğunu, farklı küçük harf basıncın fenolik madde üzerine etkili olduğunu istatistiksel olarak göstermektedir ($p<0.05$).

Mevcut çalışmada ve literatürde bulunan çalışmalarda mikrodalga kullanılarak yapılan kurutma yöntemlerinde fenolik değer daha düşük bulunmuştur. Bunun sebebi mikrodalgada ulaşılan sıcaklık ve uygulanan güç değerleri olarak belirtilmiştir. Ayrıca polifenollerin proteinler gibi diğer bileşiklerle bağlanması ve kurutma sırasında polifenollerin kimyasal yapılarındaki değişiklikler neden olmuştur [19]. Toplam fenolik madde değerleri incelendiğinde mikrodalga vakum destekli kurutma ile sıcak hava ile yapılan kurutmaya göre daha yüksek değerler elde edilmiştir. Buda hızlı sıcaklık artışı nedeniyle polifenoloksidaz gibi enzimlerin inaktive olmasından ve polifenollerin korunmasından kaynaklandığı şeklinde açıklanmaktadır [20].

3.2 Toplam antioksidan aktivite

Vakum destekli mikrodalga ile farklı güç ve vakum değerlerinde kurutulmuş kırmızıbiber örneklerinin toplam antioksidan miktarları Tablo 2’de verilmiştir. Yapılan çalışmada toplam antioksidan aktivite 32.25-44.06 (%inhibisyon) değerleri arasında bulunmuştur. En yüksek %inhibisyon değeri 600 W mikrodalga gücünde 0.06 MPa

vakum basıncında, en düşük ise 180 W güç 0.02 MPa basınçta gözlemlenmiştir. Kurutma süresinin kısalmasıyla antioksidan aktivite artış göstermiştir. Sıcak hava ile kurutulmuş numunelerin antioksidan aktiviteleri 34.03-36.46 (% inhibisyon) aralığında bulunmuştur. İki kurutma yöntemiyle kurutulmuş kırmızıbiber numunelerin toplam antioksidan miktarları yaklaşık değerlerde gözlemlenmiştir. Sıcak hava ile kurutulmuş örneklerdeki toplam antioksidan aktivite değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemsiz olmuştur ($p\geq 0.05$). İstatistiksel açıdan toplam antioksidan aktivite değerleri incelendiğinde (Tablo 2), 180 W ve 360 W değerlerinde mikrodalga gücünü değiştirmenin antioksidan aktivite üzerinde etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Yine aynı şekilde 600 W ve 900 W mikrodalga güç değerlerinde de mikrodalga gücünü değiştirmenin antioksidan aktivite üzerine istatistiksel açıdan etkisinin olmadığı görülmüştür ($p\geq 0.05$). Genel olarak gücün antioksidan aktiviteye etkisi değerlendirildiğinde mikrodalga gücünü 180 W ve 360 W’ dan 600 W ve 900 W’ a çıkarmak antioksidan aktivitede artış olduğu gözlemlenmiştir. Genel toplam antioksidan tablosuna bakıldığında istatistiksel açıdan $p<0.05$ olduğundan gücü değiştirmek toplam antioksidan aktivitenin artmasında etkili olduğu görülmüştür. Vakumun antioksidan aktivite üzerinde etkisi incelendiğinde istatistiksel açıdan vakum basıncını değiştirmenin toplam antioksidan aktivite üzerinde etkisinin olmadığı görülmüştür ($p\geq 0.05$).

Tablo 2. Kurutulmuş kırmızıbiber örneklerinin toplam antioksidan aktivite değerleri

Güç	Vakum (MPa)	Antioksidan Aktivite (% inhibisyon)
180 W	0.02	^{Ba} 32.25±2.29
	0.02	^{Ba} 32.82±1.14
	0.06	^{Ba} 34.01±0.56
360 W	0.02	^{Ba} 36.24±2.67
	0.04	^{Ba} 37.70±1.83
	0.06	^{Ba} 32.36±1.93
600 W	0.02	^{Aa} 41.93±0.81
	0.04	^{Aa} 37.00±2.23
	0.06	^{Aa} 44.06±1.32
900 W	0.02	^{Aa} 39.00±3.06
	0.04	^{Aa} 39.13±1.27
	0.06	^{Aa} 38.50±0.83

Tabloda aynı sütunda büyük harfle gösterimde farklı harf gücün antioksidan madde üzerine etkili olduğunu, farklı küçük harf basıncın antioksidan madde üzerine etkili olduğunu istatistiksel olarak göstermektedir ($p<0.05$).

Antioksidan kapasitesinin azalması kısmen kurutma süresi ve sıcaklığıyla ilgilidir, hem uzun süre hem de yüksek sıcaklık antioksidan potansiyeli olan fitokimyasalların

oksidasyonunu ve bozunmasını artırır [21, 22]. Antioksidan aktivite tek bir fitokimyasal bileşiğin aktivitesinden kaynaklanmayıp hem C vitamini hem de fenolik bileşenlerle ilişkili olduğunu bildirilmiştir. Bu nedenle, antioksidan kapasite açısından ürün kalitesi, kurutma işlemleri sırasında meydana gelen ısı kaynakları kimyasal reaksiyonların geniş bir yelpazesi olarak düşünülmelidir [23].

3.3 Renk

Capsicum annuum türü kırmızıbiber çeşitleri ise özellikle kapsantin ve kapsorubin açısından çok önemli zengin karotenoid kaynaklarıdır. Kapsantin, *Capsicum annuum* çeşidi biberin en önemli renk maddesi olduğu bilinmektedir [24]. Taze kırmızıbiberde L^* , a^* ve b^* değerleri sırasıyla 32.51 ± 1.12 , 16.75 ± 1.07 ve 12.89 ± 1.18 olarak ölçülmüştür. L^* değeri parlaklık değeri olup, kurutma işlemi sonunda en yüksek parlaklık 900 W mikrodalga gücünde gözlemlenirken, en düşük parlaklık 180 W' da elde edilmiştir (Tablo 3). Aynı mikrodalga gücünde basıncı değiştirmek renk değerlerinin hepsinde istatistiksel olarak etkili olmazken ($p \geq 0.05$), mikrodalga gücünü değiştirmek önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). a^* değeri kırmızılık ölçüsü olup, en yüksek a^* değeri taze bibere göre %12.01 artış göstererek 180 W/0.06 MPa mikrodalga güç-vakum basıncı parametresinde bulunmuştur. 180 W ve 900 W mikrodalga güçlerinde $p < 0.05$ olduğundan dolayı gücü değiştirmek a^* değerini etkilemiştir. 360 W ve 600 W mikrodalga güçlerinde ise $p \geq 0.05$ olduğundan istatistiksel açıdan gücün değiştirilmesi a^* değerini etkilemediği görülmüştür. Vakum basıncını değiştirmek istatistiksel açıdan $p < 0.05$ olduğundan kırmızıbiberin a^* değerini etkilediği görülmüştür. b^* değeri sarılık ölçütü olup, en yüksek b^* değeri 900 W/0.06 MPa mikrodalga gücü-vakum basıncında elde edilmiştir. 180 W ve 600 W mikrodalga güçlerinde $p > 0.05$ olduğu gözlemlenmiş olup istatistiksel açıdan gücü değiştirmenin b^* değerini etkilemeyeceği söylenebilir. Diğer taraftan 360 W ve 900 W mikrodalga güçlerinde $p < 0.05$ olduğundan gücü değiştirmek b^* değerini etkilemiştir. Vakum destekli mikrodalga kurutma yönteminde kırmızıbiberin kurutulmasında vakum basıncını değiştirmenin b^* değeri üzerinde etkisinin olduğu görülmektedir.

Sıcak hava kurutma yöntemi ile yapılan kurutma işleminde 60 °C'de elde edilen L^* , a^* ve b^* değerleri sırasıyla 60.46 ± 0.11 , 26.29 ± 0.17 ve 37.12 ± 0.09 olarak ölçülmüştür ve sıcaklık artışı ile (70 °C ve 80 °C'de) bu değerlerde önemli bir azalma tespit edilmiştir. Yapılan bir çalışmada kırmızı şili biberini (*Capsicum frutescens* L.) farklı sıcaklık ve vakum basınçlarında kurutulmuştur. Kurutulmuş kırmızıbiber örneklerini ile taze biberin (L^* , a^* , b^* , C, a^0) karşılaştırılması sonucu en iyi renk parametresi 75 °C sıcaklıkta ve 0.05 kPa vakum kombinasyonunda elde edildiği gözlemlenmiştir [25]. Yapılan bir çalışmada *Capsicum frutescens* L. türü şili biberlerinin sıcak hava-vakum kombinasyonu ile kurutulması ile elde edilen sonuçlar *Capsicum annuum* türü kırmızı kapa biberlerin vakum destekli mikrodalga kurutma yöntemiyle elde ettiğimiz sonuçlar ile benzerlik göstermektedir. Farklı sıcaklıkların ve vakum uygulamasının uygulandığı bir çalışmada vakum uygulaması ile birlikte sıcaklık artışı L^*

değerinde azalmaya neden olmuştur. a^* ve b^* değerlerinde ise sıcaklığın ve vakumun istatistiksel açıdan önemli değişimlere neden olduğu görülmektedir [18]. Mevcut çalışmada da renk değerleri üzerine mikrodalga gücünü değiştirmek önemli etkiye sahiptir.

Tablo 3. Kurutulmuş kırmızıbiber örneklerinin L^* , a^* ve b^* değerleri

Güç (W)	Vakum (MPa)	L^*	a^*	b^*
180 W	0.02	^{Ba} 42.39 ± 0.27	^{Bb} 15.88 ± 0.08	^{Bb} 15.58 ± 0.38
	0.04	^{Bb} 35.63 ± 0.29	^{Bc} 12.01 ± 0.64	^{Bc} 7.23 ± 0.71
	0.06	^{Ba} 38.66 ± 1.73	^{Ba} 18.78 ± 0.08	^{Ba} 13.37 ± 0.01
360 W	0.02	^{Ca} 36.68 ± 0.13	^{Cb} 14.02 ± 0.14	^{Cb} 9.35 ± 0.06
	0.04	^{Cb} 37.56 ± 0.19	^{Cc} 13.73 ± 0.55	^{Cc} 10.58 ± 0.19
	0.06	^{Ca} 38.80 ± 0.90	^{Ca} 14.34 ± 0.53	^{Ca} 12.01 ± 0.98
600 W	0.02	^{Ba} 40.01 ± 0.91	^{Cb} 14.94 ± 0.40	^{Bb} 12.58 ± 0.64
	0.04	^{Bb} 37.36 ± 0.31	^{Cc} 10.30 ± 0.43	^{Bc} 8.84 ± 0.26
	0.06	^{Ba} 40.72 ± 0.70	^{Ca} 16.65 ± 0.69	^{Ba} 14.14 ± 0.44
900 W	0.02	^{Aa} 40.04 ± 0.75	^{Ab} 17.49 ± 0.35	^{Ab} 11.78 ± 0.44
	0.04	^{Ab} 43.74 ± 0.11	^{Ac} 15.62 ± 0.04	^{Ac} 17.85 ± 0.05
	0.06	^{Aa} 40.89 ± 0.48	^{Aa} 17.45 ± 0.77	^{Aa} 16.40 ± 1.12

Tabloda aynı sütunda büyük harfle gösterimde farklı harf gücün renk değeri üzerine etkili olduğunu. Farklı küçük harf basıncın renk değeri üzerine etkili olduğunu istatistiksel olarak göstermektedir ($p < 0.05$)

Taze ve kurutulmuş kırmızıbiber örneklerinin kroma (C) renk doygunluğu, Hue açısı (H) ürünün temel rengine karşılık gelen açısı değeri, kahverengileşme indeksi (BI) ile ifade edilirken, kırmızıbiber örneklerinin taze bibere göre kurutmada ki değişimi ise toplam renk değişimi (ΔE) olarak ifade edilmiştir ve Tablo 4'te verilmiştir. Taze örneğin C (21.14); H (37.56); BI (84.97); ΔE (0) olarak bulunmuştur.

Ürünün kroması (C), ürünün canlı yada pastel tonlarıyla ilgili bir kriter olup pastel tonlar 0'a canlı tonlar ise 100'e yakın olarak tanımlanmıştır [26]. Renk doygunluğu olarak etüvde kurutulan kırmızıbiberlerin daha canlı olduğu görülürken. taze bibere en yakın kroma değeri vakum destekli mikrodalga kurutma prosesinde gözlemlenmiştir. Mikrodalga-vakum kurutma prosesinde neredeyse tüm parametreler taze örneğe benzer değerlerde olduğu belirlenmiştir. Mikrodalga prosesinde canlılık ve taze ürüne yakınlık olarak değerlendirildiğinde en iyi kroma değeri 900 W-0.06 MPa vakum destekli mikrodalga gücünde elde edilmiştir. 180 W, 360 W ve 600 W güçte vakumun ve mikrodalga gücünün istatistiksel açıdan renk doygunluğu üzerinde etkisi görülmemiştir. Vakum basıncının kroma değeri üzerinde etkisinin yüksek vakum değeri olan 0.06 MPa renk doygunluğunun yüksek değerde olduğu gözlemlenmiştir. Etüvde kurutulan kırmızıbiber örnekleri taze bibere göre daha yüksek değerlerde olduğu

gözlemlenmiştir. Sıcaklığı değiştirmek kroma değeri üzerinde istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur.

Tablo 4. Kurutulmuş kırmızıbiber örneklerinin renk değerleri

Güç (W)	Vakum (MPa)	C	H	BI	ΔE				
0.02	Ba	22.25±0.32	Cb	44.43±0.57	Bb	71.22±1.79	Bb	13.45±0.34	
180	0.04	Bb	14.02±0.71	Ca	31.05±0.35	Bc	45.69±1.95	Ba	13.52±0.68
	0.06	Ba	23.06±0.06	Ca	35.45±0.14	Ba	75.34±3.91	Bb	8.68±1.69
0.02	Ba	16.85±0.10	Cb	33.71±0.38	Cb	55.50±0.42	Cb	10.44±0.25	
360	0.04	Bb	17.33±0.55	Ca	37.63±0.62	Cc	58.04±1.37	Ca	10.38±0.55
	0.06	Ba	18.71±1.04	Ca	39.90±1.28	Ca	62.22±2.97	Cb	9.59±0.61
0.02	Ba	19.54±0.37	Bb	40.10±1.96	Cb	63.21±0.51	Bb	9.78±0.72	
600	0.04	Bb	13.58±0.49	Ba	40.65±0.44	Cc	45.92±1.26	Ba	15.35±0.37
	0.06	Ba	21.84±0.80	Ba	40.34±0.45	Ca	70.38±1.33	Bb	10.04±1.26
0.02	Aa	21.09±0.32	Ab	33.96±1.26	Ab	63.86±0.82	Ab	9.75±0.26	
900	0.04	Ab	23.72±0.06	Aa	48.81±0.02	Ac	76.45±0.30	Aa	17.34±0.13
	0.06	Aa	23.97±0.67	Aa	43.20±2.81	Aa	80.04±4.30	Ab	12.61±1.18

Tabloda aynı sütunda büyük harfle gösterimde farklı harf gücün renk değeri üzerine etkili olduğunu, farklı küçük harf basıncın renk değeri üzerine etkili olduğunu istatistiksel olarak göstermektedir (p<0.05).

Hue açısı (H), ürünün temel rengine karşılık gelen açısız ifadedir ve 0° kırmızı, 90° sarı, 180° yeşil ve 270° ise ürünün mavi renkte olduğunu ve bu açı değerlerinin aralarına denk gelen kısımlarda ara renklerin oluştuğu görülmektedir [26]. Kırmızıbiber örnekleri renginden dolayı taze bibere yakın ve 0'a yakın değerlerde olması beklenir. Vakum destekli mikrodalga tekniği ile kurutulmuş kırmızıbiber örneklerinin Hue açısı değeri tüm parametrelerde neredeyse taze bibere yakın değerlerde gözlemlenmiştir. Etüvde kurutulan kırmızıbiber örneklerinin Hue açısı taze bibere göre daha yüksek olduğu ve 90° sarı renge yaklaştığı gözlemlenmiştir. Kırmızıbiber örnekleri Hue açısı yönünden değerlendirildiğinde vakum destekli mikrodalga tekniği etüvde kurutulan numunelere göre daha iyi düzeyde olduğu görülmüştür. Gücü değiştirmek Hue açısı üzerinde etkilidir yorumu yapılabilir.

Kahverengileşme indeksi (BI), kırmızı rengin baskın olduğu gıdalarda genellikle yüksek değerlerde görülmektedir. Düşük olduğu durumlarda ürün renginde açılma/sararma meydana geldiği yorumu yapılabilir [26]. Kırmızıbiber örneklerinde vakum destekli mikrodalga tekniği ile kurutulmuş numunelerin BI değerleri taze ürüne göre düşük değerde olduğu görülmüştür. Taze ürüne en yakın indeks 900 W/0.06 MPa mikrodalga gücünde ve vakum basıncında gözlemlenmiştir. Etüvde kurutulan numuneler ise taze bibere kıyasen yüksek BI değerinde

olması rengin daha koyulaştığı anlamına gelmektedir. 180 W ve 900 W mikrodalga güçlerinde gücü değiştirmek esmerleşme indeksi üzerinde etkilidir. Vakum parametresini değiştirmek BI değeri üzerinde istatistiksel açıdan önemlidir.

Toplam renk değişimi (ΔE), taze kırmızıbiberin ve kurutulmuş numunelerin renk parametrelerinin değişiminin sayısal olarak ifadesidir [26]. Toplam renk değişimi vakum destekli mikrodalga kurutma tekniğinde etüvde kurutulan numunelere göre daha düşük değerde olduğu görülmüştür. Mikrodalga-vakum tekniğinde %8.6-17.3 arasında renk değişimi gözlemlenirken etüvde kurutulan numunelerde %29.7-61.7 arasında toplam renk değişimi görülmüştür.

3.4 Toplam monomerik antosiyanin

Antosiyaninler meyve ve sebzelerin pembe kırmızı ve mor tondaki çeşitli renkleri veren suda çözünebilir renk pigmentleridir [27]. Antosiyaninler ısıya karşı duyarlı fenolik bileşiklerdir. Mikrodalga-vakum yöntemiyle kurutulmuş kırmızıbiber (*Capsicum annuum* L.) örneklerinin toplam monomerik antosiyanin miktarı pH diferansiyel metodu ile ölçülmüştür ve Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Kurutulmuş kırmızıbiber örneklerinin toplam monomerik antosiyanin değerleri

Güç	Vakum (MPa)	Toplam Monomerik Antosiyanin (mg/kg)
180 W	0.02	Dc 31.05±1.41
	0.04	Db 44.08±5.66
	0.06	Da 58.11±8.50
360 W	0.02	Bc 39.07±4.25
	0.04	Bb 112.21±2.83
	0.06	Ba 150.28±11.33
600 W	0.02	Cc 29.05±1.41
	0.04	Cb 56.10±0.00
	0.06	Ca 111.21±13.00
900 W	0.02	Ac 95.18±6.00
	0.04	Ab 101.19±21.25
	0.06	Aa 175.33±12.75

Tabloda aynı sütunda büyük harfle gösterimde farklı harf gücün toplam monomerik antosiyanin üzerine etkili olduğunu, küçük harf basıncın toplam monomerik antosiyanin üzerine etkili olduğunu istatistiksel olarak göstermektedir (p<0.05).

Toplam monomerik antosiyanin miktarları değerlendirildiğinde vakum destekli mikrodalga prosesinde 29.05-175.33 mg/kg değerlerinde elde edilmiştir. En yüksek monomerik antosiyanin miktarı 900W-0.06 MPa parametrelerinde elde edilmiştir. En düşük antosiyanin miktarı 180 W ve 600 W mikrodalga güçlerinde ve 0.02 MPa vakum gücünde gözlemlenmiştir. Mikrodalga güçlerinde vakumun artmasıyla birlikte antosiyanin miktarlarında artış gözlemlenmiştir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte etüvde kurutulan ürünlerin antosiyanin miktarında azalma tespit edilmiştir. Sıcaklığın antosiyanin miktarı üzerinde olumsuz etkisi etüvde kurutulan ürünlerde gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra mikrodalga sisteminde vakumun olumlu etkisi gözlemlenmiştir. Kurutulmuş kırmızıbiber örneklerinin antosiyanin miktarı istatistiksel açıdan değerlendirildiğinde (Tablo 5), gücün toplam monomerik antosiyanin üzerinde etkili olduğu gözlemlenmiştir. Vakum basıncını değiştirmek

$p < 0.05$ olduğu için istatistiksel açıdan vakumu değiştirmek antosiyanin miktarı üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Yapılan bir çalışmada etüvde (60 °C, 70 °C ve 80 °C) kurutulan kırmızıbiber örneklerinin toplam monomerik antosiyanin miktarı 37.07-112.21 mg/kg değerleri arasında değişim göstermiştir. En yüksek antosiyanin miktarı 60 °C kurutma sıcaklığında gözlemlenmiştir. Askorbik asidin ve askorbik asidin parçalanma ürünlerinin bulunduğu ortamlarda antosiyaninlerin daha hızlı parçalandığından söz edilmiştir. Kurutulmuş kırmızıbiberlerde bazı örneklerde az düzeyde antosiyanin miktarı ve miktarlarda dalgalanma görülmesi kırmızıbiberde bulunan askorbik asit düzeyi ile açıklanabilir [24, 28].

3.5 Askorbik asit (C vitamini)

Askorbik asit (C vitamini), suda çözünebilir vitamin olup meyve ve sebzelerde bulunan başlıca vitamin çeşididir. Gıdaların işlenmesi muhafaza edilmesi ile birlikte en fazla kayba uğrayan vitamin C vitamini [24]. Mikrodalga-vakum kurutma tekniği ile kurutulmuş kırmızıbiber örneklerinin C vitamini içeriği 5067.03-10531.97 mg/kg değerleri arasında bulunmuştur (Tablo 6). En yüksek askorbik asit değeri 360 W mikrodalga gücünde olduğu gözlemlenmiştir. En düşük 180 W mikrodalga gücünde elde edilmiştir. Etüvde kurutulan kırmızıbiberlerin askorbik asit değerleri vakum destekli mikrodalga kurutma prosesine göre daha düşük değerlerde elde edilmiştir.

Tablo 6. Kurutulmuş kırmızıbiber örneklerinin toplam askorbik asit değerleri

Güç (W)	Vakum (MPa)	C vitamini (mg/kg)
180 W	0.02	Ba 6005.52±296.72
	0.04	Ba 5268.25±152.90
	0.06	Bb 5067.03±263.72
360 W	0.02	Aa 10531.97±4267.20
	0.04	Aa 8679.01±3560.14
	0.06	Ab 6034±14±1699.09
600 W	0.02	Ba 6746±214.45
	0.04	Ba 6473.68±53.96
	0.06	Bb 5562.89±263.57
900 W	0.02	Ba 6283.02±53.92
	0.04	Ba 6214.82±94.43
	0.06	Bb 5425.06±80.88

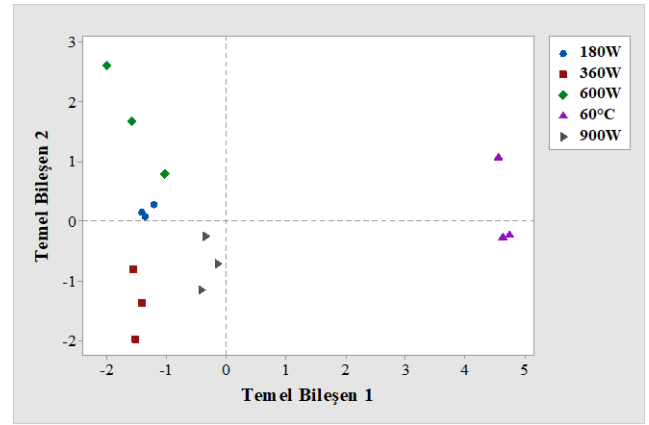
Tabloda aynı sütunda büyük harfle gösterimde farklı harf gücün askorbik asit üzerine etkili olduğunu, farklı küçük harf basıncın askorbik asit üzerine etkili olduğunu istatistiksel olarak göstermektedir ($p < 0.05$).

Etüvde kurutulan kırmızıbiberlerin askorbik asit miktarları 1961.86-2689.76 mg/kg arasında değişiklik göstermektedir. Sıcak havada kurutulan kırmızıbiberler içinde yüksek askorbik asit 60 °C sıcak havada kurutulan örneklerde gözlemlenmiştir. Sıcak hava kurutma tekniğinde, vakum destekli mikrodalga kurutmaya göre düşük askorbik asit içeriği olması yüksek sıcaklığın C vitamini üzerinde etkisi ile açıklanabilirken, vakumun atmosferik koşullar altında daha düşük sıcaklıklarda kuruma sağlamanın avantajı da vakum destekli mikrodalga kurutmada gözlemlenmiştir. Yapılan bir çalışmada kırmızıbiber ve havuç örneklerini sıcak hava, mikrodalga ve sıcak hava-

mikrodalga, sıcak hava-vakum proseslerinde kurutulması sonucu kalite kriterleri incelemiştir. Düşük güç değerlerinde askorbik asit içeriğinin az da olsa korunacağı ifade edilmiştir. Tek başına yüksek güçte kırmızıbiber kurutmanın ve mikrodalga kurutmaya vakum kombine edilmesiyle yapılan kırmızıbiber örneklerinin kurutulmasında biyoaktif bileşenlerin daha fazla korunduğu görülmektedir [29].

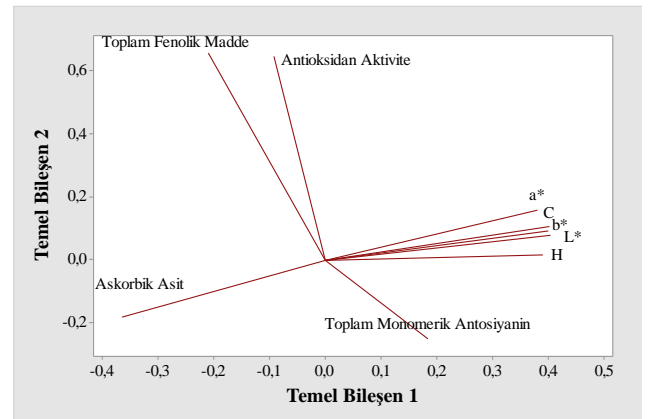
3.6 Temel bileşen analizi (PCA)

Temel bileşen analizi (PCA) skor grafiği (Şekil 2) incelendiğinde örneklerin kurutma yöntemine göre gruplandığı gözlemlenmektedir. Grafik incelendiğinde mikrodalga kurutma yöntemleri ile kurutulan örneklerin sıcak hava kurutma yöntemi ile kurutulan örneklerden temel bileşen 1'e göre farklılaştığı belirlenmiştir. 180 ve 600 W güçte mikrodalgada kurutulan örnekler temel bileşen 2'ye göre 360 W ve 900 W güçte mikrodalgada kurutulan örneklerden ayrılmıştır.



Şekil 2. Temel bileşen analizi (PCA) ile elde edilen skor grafiği

Temel bileşen analizi (PCA) yüklem grafiği (Şekil 3) incelendiğinde mikrodalga fırında kurutma ile elde edilen örnekler toplam fenolik madde, antioksidan aktivite ve askorbik asit değerleriyle karakterize olurken, sıcak hava ile kurutulan örneklerin L^* , a^* , b^* , C, H ve toplam monomerik antosiyanin değerleriyle karakterize olduğu görülmektedir.



Şekil 3 Temel bileşen analizi (PCA) ile elde edilen yüklem grafiği

PCA analizi sonucu elde edilen eigenvalue, varyans ve kümülatif varyans değerleri Tablo 7’de gösterilmektedir. Tabloya göre PCA grafiği toplam varyansın %83’ünü oluşturan iki temel bileşen üzerinde örneklerin dağılımını göstermektedir. Birinci temel bileşen toplam varyansın %67.30’ünü ikinci temel bileşen ise toplam varyansın %15.80’ini açıklamaktadır. Temel bileşenler ile örneklerin fizikokimyasal özellikleri (değişkenler) arasındaki korelasyon katsayısı değerleri Tablo 8’de gösterilmektedir.

Tablo 7. PCA sonuç verileri

	Eigenvalue	Varyans (%)	Kümülatif Varyans (%)
Temel bileşen1 (PC1)	6.0530	0.673	0.673
Temel Bileşen2 (PC2)	1.4210	0.158	0.830

Tablo 8’e göre temel bileşen 1 analiz edilen parametrelerden toplam fenolik madde, antioksidan aktivite ve askorbik asit ile negatif korelasyon gösterirken, diğerleri ile pozitif bir korelasyon göstermiştir. Temel bileşen 2 ise toplam monomerik antosiyanin ve askorbik asit ile negatif bir korelasyon gösterirken diğerleri ile pozitif bir korelasyon göstermiştir.

Tablo 8. Temel bileşenler ile örneklerin fizikokimyasal özellikleri (değişkenler) arasındaki korelasyon katsayısı değerleri

Değişkenler	Temel bileşen 1 (PC1)	Temel Bileşen 2 (PC2)
Toplam fenolik madde	-0.210	0.658
Antioksidan aktivite	-0.091	0.648
Toplam monomerik antosiyanin	0.185	-0.251
Askorbik asit	-0.365	-0.182
L*	0.399	0.094
a*	0.380	0.158
b*	0.403	0.079
C	0.401	0.100
H	0.390	0.015

4 Sonuçlar

Sonuç olarak kurutma sistemine ilaveten kombine sistemler ile doğru yöntemler seçilerek son ürün kalitesinde olumlu etkiler görülmektedir. İyi kalitede son ürün elde edebilmek. Enerjiyi mümkün olduğunca etkin şekilde kullanabilmek. Ürünün piyasa değerine uygun kurutma yöntemi ve parametrelerin dikkatli bir şekilde seçilmesiyle mümkün olabilmektedir. Vakum destekli mikrodalga prosesinde elde edilen ürünlerin kimyasal, fiziksel ve kurutma süresi bakımından daha iyi sonuçlar sağladığı ve değişebilen parametreler ile ürüne özgü kurutma planının yapılabilmesi, vakumla birlikte yüksek sıcaklık etkisi ile yanmanın önüne geçilebilmesi ve askorbik asit gibi ısıya duyarlı vitaminlerin korunduğu belirlenmiştir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %11

Kaynaklar

- [1] E. Şen, Sanayi biberinde (*Capsicum annuum* L.) damla sulama uygulamalarının bazı verim ve kalite özellikleri üzerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın, Türkiye, 2015.
- [2] C.L. Gutierrez, D.L.T. Meidna and M.E. Jaramillo-Flores, Pepper and Spice Capsicum. In Handbook of Vegetable Preservation and Processing. 2nd ed. Y.H. Hui. E.E. Özgül, pp. 559-588, CRC Press, Boca Raton. 2016.
- [3] K.D. Scala and G. Grapiste, Drying kinetics and quality changes during drying of red pepper. LWT-Food Sciences, 41, 789-795, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.06.007>.
- [4] H. Vardın ve Ş. Dağhan. Şanlıurfa Biber Tohumu Yağının Yağ Asitleri Kompozisyonu ve Mineral İçeriğinin Belirlenmesi. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 4(3), 49-57, 2019.
- [5] S. İnanoğlu, Mikrodalga-vakum kurutma yönteminin adaçayının kalite özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, Türkiye, 2017.
- [6] Q. Guo, D.W. Sun, J.H. Cheng and Z. Han, Microwave processing techniques and their recent applications in the food industry. Trends in Food Science & Technology, 67, 236-247, 2017.
- [7] A. Aydogdu, G. Sumnu and S. Sahin, Effects of microwave-infrared combination drying on quality of eggplants. Food and Bioprocess Technology, 8(6), 1198e1210, 2015.
- [8] E. Horuz, H. Bozkurt, H. Karataş and M. Maskan, Drying kinetics of apricot halves in a microwave-hot air hybrid oven. Heat and Mass Transfer, 53, 2117-2157, 2017. <https://doi.org/10.1007/s00231-017-1973-z>.
- [9] A. Nawirska-Olszanka. B. Stephen and A. Biesiada. Effectiveness of the fountain-microwave drying method in some selected pumpkin cultivars. LWT - Food Science and Technology, 77, 276e281, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.11.067>.
- [10] AOAC. Official Methods of Analysis. 14 Ed.. Association of Official. Donfoss. Nordborg, Denmark, Analytical Chemists, Washington DC, 1984.
- [11] V. L. Singleton, R. Orthofer and R.M, Lamuela-Ravenos, Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. Methods in Enzymology, 299, 152-178, 1999.
- [12] M.S. Blois, Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. Nature, 181, 1199-1200, 1958. <https://doi.org/10.1038/1811199a0>.
- [13] B. Cemeroğlu, F. Karadeniz ve M. Özkan, Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, 28, Ankara, 2003.
- [14] F. M. Botelho, P. C. Corrêa, A. Goneli, M. Martins, F. E. Magalhães and S.C. Campos, Periods of constant

- and falling-rate for infrared drying of carrot slices. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15, 845-852, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000800012>
- [15] Z.H. Tekin, Biberlerin kurutulmasında kalite özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla ultrason destekli vakum kurutma yönteminin uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2015.
- [16] Y. Tian, S. Wu, Y. Zhao, Q. Zhang, J. Huang and B. Zheng, Drying characteristics and processing parameters for microwave-vacuum drying of kiwifruit (*Actinidia Deliciosa*) slices. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39, 2620–2629, 2015. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12512>
- [17] A. Vega-Galvez, K.D. Scala, K. Rodriguez, R. Lemus-Mondaca, M. Miranda, J. Lopez and M. Perez-Won, Effect of air-drying temperature on physicochemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum*. L. var. Hungarian). *Journal of Food Chemistry*, 117, 647-653, 2009.
- [18] G. Guclu, D. Keser, H. Kelebek, M. Keskin, Y.E. Sekerli, Y. Soysal and S. Selli, Impact of production and drying methods on the volatile and phenolic characteristics of fresh and powdered sweet red peppers. *Food Chemistry*, 338, 128129, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128129>
- [19] N. D. Mrad, N. Boudhrioua, N. Kechaou, N. Courtois and C. Bonazzi, Influence of air drying temperature on kinetics. physicochemical properties. total phenolic content and ascorbic acid of pears. *Food and bioproducts processing*, 90(3), 433-441, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.11.009>.
- [20] R. Li, H. Shang, H. Wu, M. Wang, M. Duan and J. Yang, Thermal inactivation kinetics and effects of drying methods on the phenolic profile and antioxidant activities of chicory (*Cichorium intybus* L.) leaves. *Scientific reports*, 8(1), 9529, 2018.
- [21] L. Z Deng, X. H. Yang, A.S. Mujumdar, J.H. Zhao, D. Wang, Q. Zhang and H.W. Xiao, Red pepper (*Capsicum annuum* L.) drying: Effects of different drying methods on drying kinetics. physicochemical properties. antioxidant capacity, and microstructure. *Drying Technology*, 36(8), 893-907, 2018. <https://doi.org/10.1080/07373937.2017.1361439>.
- [22] A. Michalska, A. Wojdyło, K. Lech, G. Łysiak and A. Figiel, Physicochemical properties of whole fruit/plum powders obtained using different drying technologies. *Food Chemistry*, 207, 223–232, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.075>.
- [23] H.R. Barros, T.A. Ferreira and M.I. Genovese, Antioxidant Capacity and Mineral Content of Pulp and Peel from Commercial Cultivars of Citrus from Brazil. *Food Chemistry*, 134(4), 1892, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.03.090>
- [24] E. Demiray ve Y. Tulek, Kurutma işleminin kırmızı biberdeki renk maddelerine etkisi. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(3), 1-10, 2012.
- [25] İ. Alibaş, Kırmızı Şili biberinin vakumla kurutma karakteristikleri. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 7(4), 429-435, 2011.
- [26] S. Günaydın, Mikrodalga, konvektif ve gölgede kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuş kuşburnu meyvesinin kurutma kinetiği, renk ve besin elementi içeriği açısından incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, Türkiye, 2020.
- [27] H. Fersahoğlu, Farklı renklerdeki gülhatmi çiçeklerinin biyoaktif özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2016.
- [28] B. Demir, Design and optimization of microwave oven. Msc Thesis, Çukurova University Institute of Natural and Applied Sciences, Adana, Türkiye, 2010.
- [29] E. Demiray ve Y. Tulek, Color degradation kinetics of carrot (*Daucus carota* L.) slices during hot air drying. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 800-805, 2015. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12290>.

