

**FARKLI SICAKLIKLARDA DEPOLANAN
KIRMIZI PANCAR (*BETA VULGARIS*) SUYU KONSANTRESİNİN
RENK STABİLİTESİNİN BELİRLENMESİ**

NİLAY KAYIN

**ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALINDA
YÜKSEK LİSANS İÇİN GEREKLİ ÇALIŞMALARI YERİNE
GETİREREK JÜRİ ONAYINA SUNULAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

KASIM 2014

Fen Bilimleri Enstitüsü'nün Onayı

.....
Prof. Dr. Yaşar DÜRÜST

Enstitü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinde bir tez olarak gerekli çalışmaları yerine getirdiğini onaylarım.

.....
Prof. Dr. Ömer ZORBA

Bölüm Başkanı

Okuduğumuz bu tezin Yüksek Lisans derecesinde bir tez olarak onaylanması, düşüncemize göre, amaç ve kalite olarak tamamen uygundur.

.....
Doç.Dr. Hande Selen ERGE

Tez Danışmanı

Jüri Üyeleri

1.Yrd. Doç. Dr. Oktay YEMİŞ

.....

2. Doç. Dr. Seda KARASU YALÇIN

.....

3. Doç. Dr. Hande Selen ERGE

.....

ÖZET

FARKLI SICAKLIKLARDA DEPOLANAN KIRMIZI PANCAR (*BETA VULGARIS*) SUYU KONSANTRESİNİN RENK STABİLİTESİNİN BELİRLENMESİ

Kayın, Nilay

Yüksek Lisans, Gıda Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hande Selen ERGE

Kasım 2014, 80 sayfa

Bu çalışmada, farklı sıcaklık ve sürelerde depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinin biyoaktif bileşenleri (betalain içeriği ve toplam fenolik), antioksidan aktivite ve görsel renk değerlerindeki değişim belirlenmiştir. Bu amaçla, kırmızı pancar suyu konsantreleri alüminyum folyolu ve alüminyum folyosuz cam kavanozlarda depolanmıştır. Başlangıç betasiyanin, betaksantin, toplam fenolik madde içerikleri ile antioksidan aktivite değeri sırasıyla 1179 mg /L, 883 mg /L, 4332 mg /100 mL ve 151 μ M TE / 100 mL bulunmuştur. Kırmızı pancar suyu konsantresindeki betasiyanin ve betaksantin miktarlarının depolama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak kayba uğradığı ve bu kaybın birinci derece reaksiyon modeline uyduğu tespit edilmiştir. Betasiyanin kaybına ilişkin aktivasyon enerjisi alüminyum folyolu cam kavanozda depolanan örnekler için 90 J mol⁻¹; alüminyum folyosuz cam kavanozlarda depolanan örnekler için ise 65 J mol⁻¹ hesaplanmıştır. Betaksantin degradasyonuna ilişkin aktivasyon enerjisi ise iki örnekte de 91 J mol⁻¹ bulunmuştur. Farklı sıcaklık ve sürelerde depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinin toplam fenolik madde miktarının ise sıfırıncı derece reaksiyon kinetiğine göre arttığı gözlenmiştir. Toplam fenolik madde miktarındaki artışa ilişkin aktivasyon enerjisi ise folyosuz örnekler için 72 J mol⁻¹; folyolu örnekler için 78 J mol⁻¹ saptanmıştır.

Kırmızı pancar suyu konsantresinin L^* , C^* ve $+b^*$ renk parametreleri ve antioksidan aktivitedeki artış ile $+a^*$ parametresindeki azalışın sıfırcı derece reaksiyon kinetiğine göre gerçekleştiği belirlenmiştir. Diğer yandan, *Hue* (h değeri) değerinde belirgin bir değişim gözlenmemiştir.

Anahtar kelimeler: Betalain, betasiyanin, betaksantin, kırmızı pancar, toplam fenolik, antioksidan aktivite, görsel renk

ABSTRACT

DETERMINATION OF COLOR STABILITY OF RED BEET JUICE CONCENTRATE STORED AT DIFFERENT TEMPERATURES

Kayın, Nilay

MSc., Food Engineering Department

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hande Selen ERGE

November, 2014, 80 pages

In this study, the changes in bioactive compounds (betalain content, total phenolics), antioxidant activities and visual colour parameters of red beet juice concentrate stored at different temperatures and times has been investigated. For this purpose, red beet juice concentrates were stored at glass jars with and without aluminium foil. The initial betacyanin, betaxanthin, total phenolics contents and antioxidant capacity were found as 1179 mg/L, 883 mg/L, 4332 mg/100 mL and 151 $\mu\text{M}/100\text{ mL}$, respectively. It was determined that betacyanin and betaxanthin contents of red beet juice concentrate degraded with increasing storage temperature and time and this degradation followed a first-order reaction model. Activation energies for betacyanin degradation in samples stored at glass jars with and without aluminium foils were calculated as 65 J mol^{-1} and 90 J mol^{-1} , respectively. The activation energy for betaxanthin degradation in both samples was found as 91 J mol^{-1} .

Total phenolics of red beet juice concentrate stored at different storage temperatures and times increased a compared to a zero-order reaction kinetics. Activation energies for the increase in total phenolics content of samples with and without aluminium foil were detected as 72 J mol^{-1} and 78 J mol^{-1} , respectively.

The increase in L^* , C^* and b^* color parameters and antioxidant activities of red beet juice concentrate and the decrease in $+a^*$ parameter obeyed a zero-order reaction kinetics. On the other hand, any significant change was observed in *Hue* (h value).

Key words: Betalain, betacyanins, betaxanthin, red beet, total phenolics, antioxidant capacity, visual colour

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca ve tez çalışmamın her aşamasında, tez konumun belirlenmesinde, laboratuvar aşamasında, tezimin düzenlenmesinde ve değerlendirilmesinde yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile bana yol gösteren ve desteği ile hep yanımda olan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Hande Selen ERGE'ye teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın her aşamasında ilgi ve yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşım Arş. Gör. Derya ATALAY'a,

Benden yardımlarını esirgemeyen Uzman Şebnem KURHAN'a, tüm bölüm öğretim elemanlarına ve aynı laboratuvarı paylaştığım arkadaşım Tuğba TÜRKEN'e,

Hayatım ve tüm eğitim yaşantım boyunca, her türlü zor zamanıma ortak olan biricik annem Nurhan KAYIN'a ve biricik babam Mustafa KAYIN'a,

Tez çalışmamın yürütülmesi için kırmızı pancar suyu konsantrelerinin teminini sağlayan AKDEM Meyve Özü A.Ş. (Konya-Ereğli) fabrikasına,

Teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ONAY SAYFASI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Kırmızı Pancar ve Kimyasal Bileşimi	4
2.2. Betalain ve Yapısı	4
2.3. Betalain Stabilitesi	10
2.4. Serbest Radikaller	15
2.5. Antioksidanlar ve Fenolik Bileşikler	17
2.5.1. Kırmızı pancarda fenolik bileşikler	20
2.5.2. Kırmızı pancarda antioksidan aktivite	21
3. MATERYAL VE YÖNTEM	25
3.1. Materyal	25
3.2. Yöntem	25
3.2.1. Suda çözünür kuru madde (⁰ Bx) tayini	25
3.2.2. Betalain tayini	25
3.2.3. Toplam fenolik madde tayini	26
3.2.4. Antioksidan aktivitenin belirlenmesi (TEAC yöntemi)	27
3.2.5. Görsel renk değerleri tayini	29

3.2.6. Kinetik parametrelerinin hesaplanması	29
3.2.6.1. Aktivasyon enerjisinin hesaplanması	30
3.2.6.2. Q_{10} değerinin hesaplanması	31
3.2.6.3. Yarılanma süresinin ($t_{1/2}$) hesaplanması	31
3.2.6.4. Desimal azalma süresi (D değeri) hesaplanması	32
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	33
4.1. Betalain Miktarındaki Değişim	34
4.2. Toplam Fenolik Madde Miktarındaki Değişim	43
4.3. Antioksidan Aktivitedeki Değişim	48
4.4. Görsel Renk Değişimi	53
4.4.1. $+a^*$ değeri	54
4.4.2. $+b^*$ değeri	59
4.4.3. C^* değeri	63
4.4.4. L^* değeri	66
4.4.5. h değeri	70
5. SONUÇLAR	71
KAYNAKLAR	74
ÖZGEÇMİŞ	80

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a_w	Su aktivitesi
ABTS	2,2' - azinobis-3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit
ABTS ^{•+}	ABTS radikali
CIE	Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (International Commission on Illumination)
B	Beta
M	Molarite
MW	Molekül ağırlığı (Molecule weight)
TEAC	Troloks eşdeğer antioksidan kapasite (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity)
TROLOKS	6-Hidroksi-2,5,7,8-tetrametil kroman-2 karboksilik asit
Kcal	Kilo kalori
J	Joule
μ L	Mikro litre
Mg	Mili gram
mL	Mili litre
μ M	Mikro molarite
HPLC	Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (High-performance liquid chromatography)
LC	Sıvı kromatografi (Liquid chromatography)
MS	Kütle spektrometrisi (Mass spectrometry)
ESI	Elektrosprey iyonizasyon (Electrospray ionization)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Betalainlerin kimyasal yapısı	6
Şekil 2.2.	Betalainlerin biyosentezi	8
Şekil 3.1.	Gallik asit standart kurvesi	27
Şekil 3.2.	Troloks standart eğrisi	28
Şekil 4.1.	Farklı sıcaklıklarda folyosuz cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde betasiyanin konsantrasyonundaki değişim	37
Şekil 4.2.	Farklı sıcaklıklarda folyosuz cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde betaksantin konsantrasyonundaki değişim	37
Şekil 4.3.	Farklı sıcaklıklarda folyolu cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde betasiyanin konsantrasyonundaki değişim	38
Şekil 4.4.	Farklı sıcaklıklarda folyolu cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde betaksantin konsantrasyonundaki değişim	38
Şekil 4.5.	Farklı sıcaklıklarda folyosuz cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde betasiyanin ve betaksantin kaybına ilişkin Arrhenius grafiği	42
Şekil 4.6.	Farklı sıcaklıklarda folyolu cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde betasiyanin ve betaksantin kaybına ilişkin Arrhenius grafiği	42
Şekil 4.7.	Farklı sıcaklıklarda folyosuz cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde toplam fenolik madde miktarındaki değişim	44
Şekil 4.8.	Farklı sıcaklıklarda folyolu cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde toplam fenolik madde miktarındaki değişim	44

Şekil 4.9.	Farklı sıcaklıklarda folyosuz olarak depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde toplam fenolik madde artışına ilişkin Arrhenius grafiği	47
Şekil 4.10.	Farklı sıcaklıklarda folyolu olarak depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde toplam fenolik madde artışına ilişkin Arrhenius grafiği	47
Şekil 4.11.	Farklı sıcaklıklarda folyosuz cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde antioksidan aktivitedeki değişim.....	49
Şekil 4.12.	Farklı sıcaklıklarda folyolu cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde antioksidan aktivitedeki değişim	49
Şekil 4.13.	Farklı sıcaklıklarda folyosuz olarak depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde antioksidan aktivite artışına ilişkin Arrhenius grafiği	51
Şekil 4.14.	Farklı sıcaklıklarda folyolu olarak depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde antioksidan aktivite artışına ilişkin Arrhenius grafiği	51
Şekil 4.15.	Farklı sıcaklıklarda folyosuz cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinin $+a^*$ değerindeki değişim	55
Şekil 4.16.	Farklı sıcaklıklarda folyolu cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinin $+a^*$ değerindeki değişim	55
Şekil 4.17.	Farklı sıcaklıklarda folyosuz ve folyolu olarak depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde $+a^*$ değerinin azalışına ilişkin Arrhenius grafiği	57
Şekil 4.18.	Farklı sıcaklıklarda folyosuz cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinin $+b^*$ değerindeki değişim	59
Şekil 4.19.	Farklı sıcaklıklarda folyolu cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinin $+b^*$ değerindeki değişim	60
Şekil 4.20.	Farklı sıcaklıklarda folyosuz ve folyolu cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde $+b^*$ değerinin artışına ilişkin Arrhenius grafiği	61

Şekil 4.21.	Farklı sıcaklıklarda folyosuz cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinin C^* değerindeki değişim	63
Şekil 4.22.	Farklı sıcaklıklarda folyolu cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinin C^* değerindeki değişim	64
Şekil 4.23.	Farklı sıcaklıklarda folyosuz ve folyosuz cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde C^* değerinin artışına ilişkin Arrhenius grafiği	66
Şekil 4.24.	Farklı sıcaklıklarda folyosuz cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinin L^* değerindeki değişim	67
Şekil 4.25.	Farklı sıcaklıklarda folyolu cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinin L^* değerindeki değişim	67
Şekil 4.26.	Farklı sıcaklıklarda folyosuz ve folyosuz cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde L^* değerinin artışına ilişkin Arrhenius grafiği	69

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1.	Kırmızı pancarda (<i>Beta vulgaris</i>) bulunan betalain türevi bileşikler	7
Çizelge 2.2.	Fenolik bileşiklerin sınıflandırılması	19
Çizelge 2.3.	Kırmızı pancardaki (<i>Beta vulgaris</i>) fenolik bileşikler	20
Çizelge 4.1.	Kırmızı pancar suyu konsantresinin fiziksel ve kimyasal özellikleri	33
Çizelge 4.2.	Farklı sıcaklık ve sürelerde depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde betasiyanin ve betaksantin miktarındaki değişim (mg/L)	35
Çizelge 4.3.	Farklı sıcaklıklarda folyosuz ve folyolu cam kavanozlarda depolanan pancar suyu konsantresinde betasiyanin ve betaksantin kaybına ilişkin kinetik parametreler	41
Çizelge 4.4.	Farklı sıcaklıklarda folyosuz ve folyolu cam kavanozlarda depolanan pancar suyu konsantresinde toplam fenolik madde miktarındaki artışa ilişkin kinetik parametreler	46
Çizelge 4.5.	Farklı sıcaklıklarda folyosuz ve folyolu cam kavanozlarda depolanan pancar suyu konsantresinde antioksidan aktivite artışa ilişkin kinetik parametreler	52
Çizelge 4.6.	Farklı sıcaklıklarda folyosuz ve folyolu cam kavanozlarda depolanan pancar suyu konsantresinin $+a^*$ değerinin azalışına ilişkin kinetik parametreler	58
Çizelge 4.7.	Farklı sıcaklıklarda folyosuz ve folyolu cam kavanozlarda depolanan pancar suyu konsantresinin $+b^*$ değerinin artışına ilişkin kinetik parametreler	62
Çizelge 4.8.	Farklı sıcaklıklarda folyosuz ve folyolu cam kavanozlarda depolanan pancar suyu konsantresinin C^* değerinin artışına ilişkin kinetik parametreler	65

Çizelge 4.9.	Farklı sıcaklıklarda folyosuz ve folyolu cam kavanozlarda depolanan pancar suyu konsantresinin L^* değerinin artışına ilişkin kinetik parametreler	68
Çizelge 4.10.	Farklı sıcaklıklarda folyosuz ve folyolu cam kavanozlarda depolanan pancar suyu konsantresinin h değerinin değişimi	70

1. GİRİŞ

Pancarın (*Beta vulgaris* subsp. *vulgaris*); *B. vulgaris* var. *cicla* (pazı), *B. vulgaris* var. *rapa* (yem pancarı), *B. vulgaris* var. *altissima* (şekerpancarı) ve *B. vulgaris* var. *cruenta* (kırmızı pancar) gibi birçok çeşidi bulunmaktadır. Bu çeşitlerden *Amaranthaceae* (ıspanakgiller) familyasına ait çiçekli kök bir sebze olan kırmızı pancar (*B. vulgaris* var. *cruenta*); Akdeniz bölgesi, Batı ve Doğu Avrupa gibi ılıman iklimlerin yaşandığı yerlerde yetiştirilmektedir.

Kırmızı pancarın; kırmızı pancar suyuna veya konsantresine işlendiği ve ayrıca kurutulduğu bilinmektedir (Tomczak 2012). Kırmızı pancar suyu konsantresi, kırmızı pancar suyunun toplam katı madde içeriği % 40-60 düzeyine ulaşınca kadar vakum altında buharlaştırılmasıyla elde edilmektedir. Ayrıca, kırmızı pancar suyunun sprey kurutucularda toz haline getirilmesiyle de üretimi mümkündür (Nemzer ve ark. 2011).

Kırmızı pancar, sağlık üzerine yararı bulunan betalain adı verilen renk pigmenti yönünden oldukça zengindir (Pavlov ve ark. 2002). Bu renk pigmenti toz haline getirilerek, gıdalarda renklendirici (E 162) olarak kullanılmaktadır (Georgiev ve ark. 2010). Betalainler, kırmızı pancarın yanısıra *Amaranthus* (amaranth bitkisi), *Hylocereus polyrhizus* (pitaya) ve *Opuntia ficus indica* (dikenli incir) gibi birçok doğal kaynağın yapısında bulunmaktadır (Nemzer ve ark. 2011).

Betalainler; yapısal olarak suda çözünebilen azotlu pigmentlerdir ve azotun bir türevi olan betalamik asit içermektedir (Herbach ve ark. 2006; Kannan 2011). Betalamik asit, çeşitli moleküllerle biyosentez sonucunda farklı yapılar oluşturmaktadır. Bu yapılar genel olarak betaksantin ve betasiyanin olarak adlandırılmaktadır (Strack ve ark. 2002). Betaksantin, sarı renk; betasiyanin ise kırmızı-mor renk pigmentlerdir (Herbach ve ark. 2006). Yapılan araştırmalarda, yaklaşık 50–70 kadar betalain tespit edilmiştir (Kannan 2011). Bunların % 50 düzeyini betasiyaninler; % 20 düzeyini ise betaksantinler oluşturmaktadır (Cai ve ark. 2005).

Betalain stabilitesi üzerine birçok faktörün etki ettiği bilinmektedir. Yüksek orandaki glikozilasyon ve açılasyon derecesinin, düşük su aktivitesinin, antioksidan varlığının, pH 3-7 aralığının, düşük sıcaklık ve yoğun azot ortamının bitkideki pigment içeriğini olumlu yönde etkilediği; buna karşın sıcaklık, ışık, oksijen, yüksek su aktivitesi, düşük glikozilasyon derecesi, düşük açılasyon ve metal iyonları varlığının olumsuz etkilediği ileri sürülmektedir (Herbach ve ark. 2006). Bu faktörlerin yanında, betalain stabilitesi üzerine bitkinin yapısında bulunan betaksantin, betasiyanin ve betalamik asit oranlarının da etkili olduğu belirtilmektedir (Kujala ve ark. 2002).

Kırmızı pancarın (*Beta vulgaris L.*), yapısında bulunan antioksidan özellikteki betalainler ve fenolik asitler nedeniyle yaşa bağlı hastalıkları, kanser ve kardiyovasküler hastalıkları engellediği bildirilmektedir. Ayrıca, antiviral ve antimikrobiyal etkilerinin bulunduğu da bildirilmektedir (Ravichandran ve ark. 2013; Kanner ve ark. 2001, Kujala ve ark. 2001).

Bu çalışmada; kırmızı pancar suyu konsantresinin 25°, 35° ve 45°C sıcaklıklarda sırasıyla 105, 49 ve 14 gün depolanması sırasında renk stabilitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla; betalain konsantrasyonu ile görsel renk değerlerindeki değişim ölçülmüştür. Ayrıca; toplam fenolik madde ve antioksidan aktivitedeki değişimler saptanmıştır. Işığın betalain üzerine etkisinin incelenmesi amacıyla konsantreler, alüminyum folyolu ve alüminyum folyosuz olarak depolanmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Kırmızı Pancar ve Kimyasal Bileşimi

Kırmızı pancar (*Beta vulgaris* L.), suda çözünebilen, azot kaynağı olan ve aynı zamanda sağlık üzerine yararı bulunan betalain adı verilen renk pigmenti yönünden oldukça zengindir (Pavlov ve ark. 2002). Betalain pigmentinin, kırmızı pancarın renk ve antioksidan özelliği üzerine etkili olduğu belirtilmektedir (Ravichandran ve ark. 2013). Renklendirici kaynağı olarak yararlanılan kırmızı pancar, toz şeklinde de gıdalara ilave edilmektedir (Pedreno ve Escibano 2001). Kırmızı pancardaki renk pigmenti betalainden elde edilen doğal renklendirici (E 162); süt, dondurma, yoğurt, kefir gibi birçok süt ürünü; meyve suları gibi içecekler, tatlı, kurabiye gibi şekerli ürünler ve sucuk, sosis gibi et ürünlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Georgiev ve ark. 2010). E162'nin gıda dışında, ilaç ve kozmetik sektöründe de kullanıldığı bilinmektedir. Kırmızı pancar yapısında ayrıca; kalsiyum, fosfor ve folik asit gibi birçok bileşeni bulundurmaktadır.

2.2. Betalain ve Yapısı

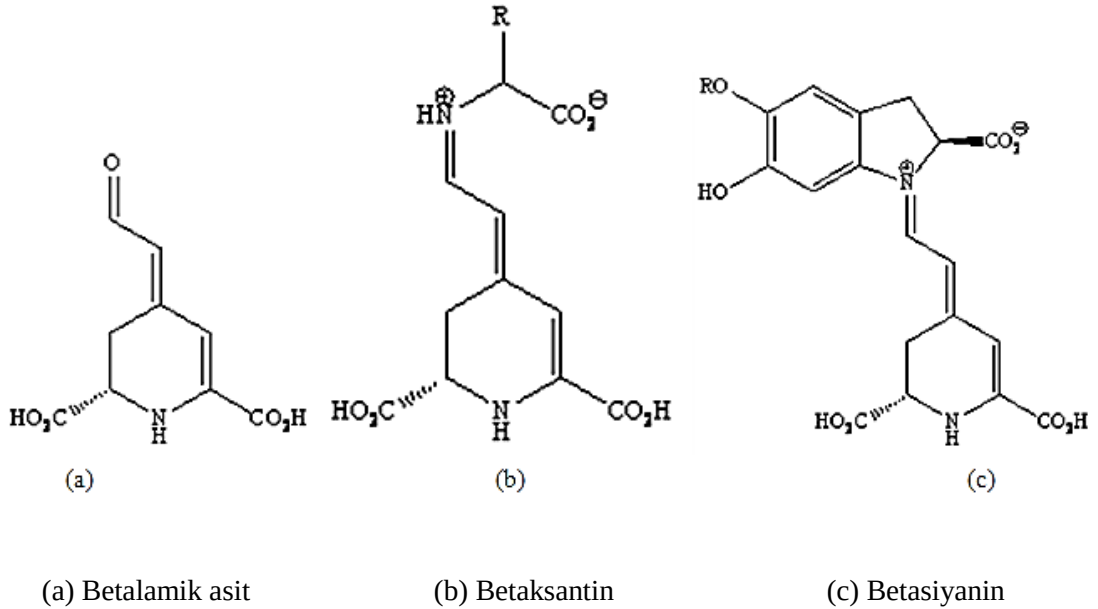
Betalainler; çiçek, meyve ve bitki yapraklarında, hücre vakuollerinde ve özellikle epidermal ve/veya subepidermal yapıların içinde birikmektedir (Kujala ve ark. 2002). Betalainlerin yapısı ve rengi, bulunduğu bitkiye göre farklılık gösterebilmektedir.

Sarı, pembe ve portakal renklerini *Aizoaceae* ve *Portulacaceae* çiçeklerinde, mor rengi *Cactaceae* meyvelerinde, kırmızı rengi ise kırmızı pancarın kökünde oluşturmaktadır (Vargas ve ark. 2000). Ayrıca, betalainler kırmızı pancarın yanısıra *Amaranthus*, *Hylocereus polyrhizus* ve *Opuntia ficus-indica* gibi birçok doğal kaynağın yapısında bulunmaktadır (Nemzer ve ark. 2011).

Literatüre göre, betalainler hakkındaki bilimsel araştırmalara 1960 ve 1970'li yıllarda Piattelli (1976) tarafından İtalya'da başlanmıştır. Aynı yıllarda, Dreiding (1961) ve Clement Wyler (1969) tarafından İsviçre'de çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca, Mabry Wyler ve Dreiding (1994) ve Mabry (1966) tarafından Amerika Birleşik Devletleri'nde, Musso (1979) ve Reznik (1975) tarafından ise Almanya'da araştırıldığı aktarılmaktadır (Stintzing ve Carle 2007).

Betalainler; suda çözünebilen azotlu pigmentlerdir ve azotun bir türevi olan betalamik asit içermektedir (Herbach ve ark. 2006; Kannan 2011). Betalamik asidin, N-heterosiklik yapının biyosentezi sonucunda ya da konjuge çift bağlar içeren dihidropiridin türevinden oluştuğu belirtilmektedir (Şekil 2.1) (Czapski ve ark. 2009; Stintzing ve ark. 2007). Betalainler; glukoz, glukuronik asit ve apiyoz gibi monomer şekerler; malonik ve 3-hidroksi-3-metil-glutarik asit, kafeik, p-kumarik, ferulik asitler gibi ikame gruplarla da konjuge olarak yapılarında çeşitlilik meydana getirmektedirler (Stintzing ve ark. 2007). Betalainlerin yapısını oluşturan betalamik asidin, çeşitli moleküllerle biyosentez sonucunda farklı yapılar oluşturduğu Şekil 2.2'de görülmektedir. Bu yapılar genel olarak betaksantin ve betasiyanin olarak adlandırılmaktadır (Strack ve ark. 2003).

Betaksantin, kırmızı pancarda (*Beta vulgaris L.*) yaygın olarak bulunan sarı bir renk pigmentidir. Latince ‘Beta’ pancar; yunanca ‘Xanthos’ sarı kelimelerinden türetilmiştir. Betaksantin yapısı, betalamik asitin amino asitler ya da amin



Şekil 2.1. Betalainlerin kimyasal yapısı (Guaadaoui ve ark. 2014).

gruplarıyla biyosentezi sonucunda oluşmaktadır. Betaksantin, yapısında prolin grubu da bulundurabilmektedir. Betaksantin maksimum pik verdiği dalga boyu, yapısındaki amino grubuna bağlı olarak 460-480 nm arasında değişmektedir. Kırmızı pancarda (*Beta vulgaris L.*) bulunan betaksantin, genellikle glutamin betaksantin (I vulgaksantin) formundadır. Sarı kaktüs armudunda (*Opuntia ssp.*) ise indiksantin (prolin betaksantin) formdadır (Herbach ve ark. 2006; Strack ve ark. 2003; Mortensen 2006; Kannan 2011). Kırmızı pancarda bulunan betalain türevleri Çizelge 2.1’de görülmektedir.

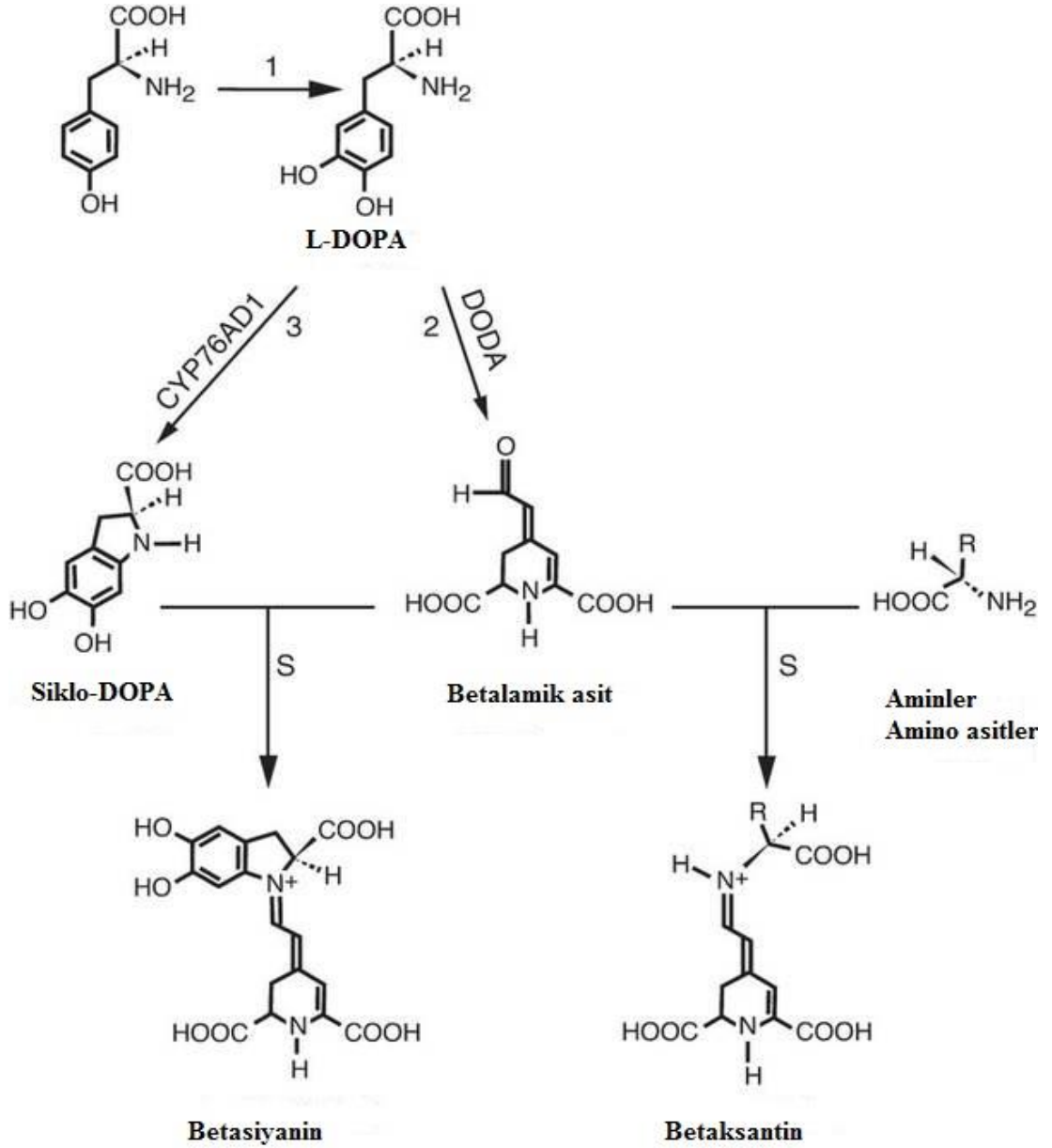
Kırmızı pancarda bulunan betaksantinler arasında vulgaksantin, miraksantin, portulaksantin ve indiksantin; betasiyaninler arasında betanin, isobetanin, probetanin ve neobetanin bulunmaktadır (Çizelge 2.1) (Kujala ve ark. 2002). Kimyasal yapı olarak öncelikle betalain ve daha sonra amino asit ve aminlerden oluşan betaksantin yanısıra betanidin spektrofotometrik yöntemlerle tespit edilmektedir (Strack ve ark. 2003). Çeşidine bağlı olarak, kırmızı pancardaki betasiyanin ve betaksantin içeriği sırasıyla % 0.04-0.21 ve % 0.02-0.14 arasında değişmektedir (Kannan 2011).

Çizelge 2.1. Kırmızı pancarda (*Beta vulgaris*) bulunan betalain türevi bileşikler (Kujala ve ark. 2002).

Sınıf	Bileşikler
Betalainler	
Betaksantin	Vulgaksantin I Vulgaksantin II Miraksantin Portulaksantin İndiksantin
Betasiyanin	Betanin Isobetanin Probetanin Neobetanin

Betasiyanin ve betaksantin konsantrasyonunun, kırmızı pancarın işleme teknolojisine bağlı olarak genellikle 1-3 oranında değiştiği açıklanmıştır. Betalainin kırmızı renginin, sarı ve mor pigmentlerin karışımına bağlı olarak değişkenlik gösterdiği belirtilmektedir. Kırmızı pancardaki betalainlerin ortalama miktarının toplam katı maddede 1000 mg/100 g ya da taze ağırlıkta 120 mg/100g kadar olduğu

açıklanmıştır (Nemzer ve ark. 2011).Yapılan araştırmalarda, yaklaşık 50–70 kadar betalain tespit edilmiştir (Kannan 2011). Bunların % 50'sini betasiyaninler; % 20'sini ise betaksantinler oluşturmaktadır (Cai ve ark. 2005).



Şekil 2.2. Betalainlerin biyosentezi (Hatlestad ve ark. 2012).

Betasiyanin kelimesi, yunanca mavi anlamına gelen 'kyaneos' kelimesinden gelmektedir. Betasiyaninin kırmızı pancarda daha çok kırmızı-mor renkten sorumlu olduğu bilinmektedir. Betasiyaninlerin betalamik asitin, siklo-dopa yoğunlaşma ürünleri 3-(3,4-dihidroksifenilalanin) ile biyosentezi sonucunda meydana geldiği belirtilmektedir (Herbach ve ark. 2006). Ayrıca, yapısında kromofor grubu da bulundurmaktadır (Strack ve ark. 2003) (Şekil 2.1).

Betasiyaninlerin yapısında, bir ya da iki monosakkaridin hem glikozilasyonu hem de açılasyonu ile çeşitlilik meydana gelebilmektedir (Herbach ve ark. 2006). Betasiyaninlerin belirlenmesinde 2 dalga boyu aralığının kullanıldığı ifade edilmektedir. Bunlar, siklo-DOPA yapıları için, 270-280 nm ile 535-538 nm aralığındaki dalga boylarıdır (Stintzing ve ark. 2004).

Betasiyaninlerin, betanidin ve izobetanidin şeklinde iki formu mevcuttur. Bu yapılarda şeker bulundurmayan kısım aglikon adını almaktadır. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi bu yapıların büyük kısmı açillenmiş şeker radikalleri olarak, kırmızı renkli bir bileşik olan betanini oluşturmaktadır. Bunun yanında betaninin, C₁₅ atomundaki konfigürasyonları farklıdır (Herbach ve ark. 2004). Yapılan çalışmalar, kırmızı pancarın (*Beta vulgaris L.*) en önemli betanin (betanidin-5-O-β-glikosid) kaynağı olduğunu göstermiştir (Herbach ve ark. 2006, Strack ve ark. 2003). Nemzer var ark. (2011), kırmızı pancar suyu konsantresindeki betanin/izobetanin içeriğinin toplam betalain içeriğinin % 41'ini oluşturduğunu ortaya koymuşlardır. Betalainlerden aromatik indol türevi olan tirozinin sentezlenebildiği açıklanmıştır. Her betalainin bir glikozid, bir şeker ve bir renkli kısımdan oluştuğu ve sentezinde de ışığın rol aldığı açıklanmaktadır.

2.3. Betalain Stabilitesi

Betalain stabilitesi üzerine birçok faktörün etki ettiği belirtilmektedir. Yüksek oranda pigment içeriğinin, yüksek derecede glikozilasyon ve açılasyonun, düşük su aktivitesinin, antioksidan varlığının, pH 3-7 aralığının, düşük sıcaklık ve yoğun azot ortamının olumlu yönde etkilediği; yüksek sıcaklık, ışık, oksijen varlığı, yüksek su aktivitesi, düşük glikozilasyon derecesi, düşük açılasyon ve metal iyonları varlığının olumsuz etkilediği ileri sürülmektedir (Herbach ve ark. 2006). Bu faktörlerin yanında, yapısındaki amino bileşiklerin (betaksantin) ya da siklo-dopa formunun (betasiyanin) betalamik asit ile bağlanmasının da etkili olduğu bildirilmektedir (Kujala ve ark. 2002).

Betalainlerin stabilitesi üzerine etki eden parametrelerden sıcaklığın hem gıda işleme hem de depolama sürecinde oldukça önemli olduğu ifade edilmektedir. (Ravichandran ve ark. 2013). Sıcaklığın, kırmızı pancar (*Beta vulgaris L.*) ve sarı kaktüs armudundaki (*Opuntia ssp.*) betalain stabilitesi üzerine etkisine yönelik çalışmalar bulunmaktadır (Herbach ve ark. 2006). Bu çalışmalarda, betalainin yapısında bulunan betasiyaninin oda sıcaklığındaki stabilitesinin, betaksantine kıyasla üstün olduğu vurgulanmaktadır (Kujala ve ark. 2002).

Betasiyaninlerin stabilitelerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada, glikozillenmiş yapılarının oksitleme-indirgeme potansiyelinin yüksek olması nedeniyle, aglikonlardan daha stabil olduğu saptanmıştır. Ancak, glikolizasyonun fazla olması stabilitenin yüksek olacağını kanıtlamamaktadır (Azeredo 2009).

Vitti ve ark. (2005); 0°C, 10°C ve 15°C depolama sıcaklıklarının pancar kalitesi üzerine etkisini incelemişlerdir. 15°C’de solunum aktivitesi ve kütle kaybının yüksek olmasına rağmen renk, suda çözünebilir katı madde, betasiyanin ve betaksantinde önemli bir değişiklik olmadığını ortaya koymuşlardır. Huang ve Von Elbe (1986), sıcaklık uygulaması sonucunda betanin degradasyonunun birinci derece reaksiyon kinetiği gösterdiğini açıklamışlardır. Saguy ve ark. (1978), kırmızı pancarda bulunan betanin ve betalamik asidin kinetik modelini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada, betanin ve betalamik asit degradasyonunun birinci derece reaksiyon modeline uyduğunu açıklamışlardır. Betalamik asidin, betaninin parçalanmasında önemli bir ara ürün olduğunu belirtmişlerdir. Aktivasyon enerjisini betanin kaybı için 20.4 kcal mol⁻¹, betalamik asit kaybı için ise 20.7 kcal mol⁻¹ olarak belirlemişlerdir. Ayrıca, betalamik asidin ısıl stabilitesinin betanine kıyasla daha stabil olduğu saptanmıştır. Betalamik asit ve siklo-dopa-5-O-glikosidin, betanin parçalanması sonucu oluşan ara maddeler olduğu bildirilmektedir.

Reynosa ve ark. (1997), *Cactacea* meyvesindeki betalain stabilitesi üzerine yaptıkları çalışmada, *Cactacea* meyvesindeki betalainlerin kırmızı pancardaki betalainlerden daha stabil olduğunu belirtmektedirler. Meyvedeki pigment konsantrasyonunu 214 mg/100 gr kuru ağırlık olarak, pigment degradasyonuna ilişkin aktivasyon enerjisini ise pH 5.5 ortamında yaklaşık 87.09 J mol⁻¹ belirlemişlerdir. Kırmızı pancardaki betanin kaybına ilişkin aktivasyon enerjisi 68.24 J mol⁻¹ saptanmıştır. Ayrıca, bu çalışmada betalainin ısıl parçalanmasının, aerobik koşullar altında ve pH 3.0-7.0 aralığında, birinci derece kinetiğe uygunluk gösterdiğini belirlemişlerdir. Pigment stabilitesinin sıcaklık arttıkça azaldığını belirterek, 0 °C’de reaksiyon hız sabitini

$1.18 \times 10^{-5} \text{ dk}^{-1}$ ve yarılanma süresini yaklaşık 58 650 dk, 100 °C'deki reaksiyon hız sabitini $1.54 \times 10^{-1} \text{ dk}^{-1}$ ve yarılanma süresini yaklaşık 4.49 dk bulmuşlardır.

Yapılan çalışmalara göre; ışığın betalain stabilitesi üzerine etkisi, 25°C'nin altındaki sıcaklıklarda belirlenmemişken, 40°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda gözlenmiştir. Pedreno ve Escribano (2001) de, betaninin 25°C'de ışığa maruz bırakıldığında stabilitesinin önemli ölçüde etkilendiğini saptanmıştır. Işık varlığı % 15.6 düzeyinde, oksijen varlığı % 14.6 düzeyinde betanin kaybına neden olurken; eş zamanlı ışık ve oksijen varlığının ise % 28.6 düzeyinde kayba neden olduğu saptanmıştır (Herbach ve ark. 2006).

Betalainlerin pH 3-7 aralığı dışında kolayca kayba uğradıkları bildirilmektedir. Betanin stabilitesi için optimum pH aralığı 4-6 olarak belirtilmektedir. Ortam sıcaklığı ile oksijen varlığının optimum pH değerleri üzerinde etkili olduğu bildirilmektedir. Betanin ve betanidinin oksijen varlığında stabil olmadığı, betanin stabilitesinin oksijen konsantrasyonu ile doğrusal olarak azaldığı saptanmıştır (Herbach ve ark. 2006).

Gıda endüstrisinde betalainler; antosiyaninler ve karotenoidler kadar kullanılmamaktadır. Ancak, suda çözünürlüğünün yüksek olması nedeniyle karotenoidler; pH 3-7 arasında stabil olmalarından dolayı ise antosiyaninler yerine tercih edildiği açıklanmaktadır (Ravichandran ve ark. 2013). Castellar ve ark. (2003), *Opuntia stricta* (dikenli incir) meyvesinde betasiyanin içeriğini (betanin ve isobetanin) 80 mg/100 g olarak saptamışlardır. Betasiyaninin ısıl stabilitenin pH ile

ilgili olduğunu ve pH 5 değerinde 4 °C depolama sıcaklığında betasiyaninin yarılanma süresinin 1 yıldan fazla olduğunu bulmuşlardır.

Daeseok ve ark. (1998), taze kırmızı pancar suyuna askorbik asit, izoaskorbik asit, gallik asit, glukonik asit, metafosforik asit gibi asitlerin renk stabilitesi üzerine etkisini araştırmışlardır. Buna göre; kırmızı pancar suyundaki renk pigmentleri üzerine en etkili stabilizörlerin askorbik asit ve izoaskorbik asit olduğu bulunmuştur. Askorbik asit ve izoaskorbik asidin; betanin, betalamik asit ve siklo dopa-5-O- β -D-glikosit (CDG) degradasyonunu da engellediği belirtilmiştir.

Su aktivitesi, betalain stabilitesini etkileyen faktörler arasında yer almaktadır. Betalain stabilitesini, reaksiyona giren maddeler ya da oksijenin çözünübilirliği azaltabilmektedir. Kearsley ve Katsaboxakis (1980) yaptıkları çalışmada, 0.63'ün altındaki su aktivitesi değerinde, betaninin stabil olduğunu belirtmişlerdir. Cohen ve Saguy (1983) yaptıkları çalışmada; su aktivitesi değerini 0.32'den 0.75'e çıkardıklarında, betalain degradasyonunun arttığını gözlemişlerdir. Kırmızı pancardaki renk pigmentlerinin enkapsülasyonu ile ilgili bir çalışmada, su aktivitesi 0.64 olduğunda betaninin maksimum düzeyde degradasyona uğradığı belirlenmiştir. Düşük su aktivitesinde düşük reaktan hareketliliği; yüksek su aktivitesi değerlerinde ise seyreltmenin etkisinden dolayı betanindeki kaybın azaldığı yorumu yapılmaktadır (Azeredo 2009).

Kırmızı pancar (*Beta vulgaris*) suyunda betanin stabilitesi üzerine pH, oksijen, ışık, su aktivitesi ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların çoğunda betalain stabilitesine etki eden en önemli parametre olarak sıcaklığın etkisi vurgulanmaktadır.

Ayrıca, benzer çalışmalar vulgaksantin I üzerinde de yapılmıştır (Stinzing ve ark. 2004).

Renk değerleri (L^* , a^* , b^* , C ve h), CIE (International Commission on Illumination) renk ölçüm sistemine göre, insan gözünün algıladığı renk kavramıyla paralellik gösteren değerlerdir (Kathiravan ve ark. 2014). (L^*) aydınlatma değeri, a^* + ise kırmızı, - ise yeşil, b^* : + ise sarı, - ise mavi koordinatlarını göstermektedir. *Chroma* (C^*) renk yoğunluğunu, *Hue* (h) ise renk tonunu belirten değerler olarak bilinmektedir.

Stintzing ve ark. (2004), kırmızı pancar (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris*) suyuna 85°C'de 8 saat uygulanan ısı işleminden sonra görsel renk değerlerindeki değişimi incelemişlerdir. (L^*) aydınlatma değerinin 58.9'den 68.3'e ve (C^*) renk yoğunluğu değerinin 55.4'ten 69.9'a yükseldiğini saptamışlardır. Renk tonu (h) değerinin ise 35.89'dan 61.8'e yükseldiğini belirtmişlerdir. *Chroma* (C^*) renk yoğunluğu değerindeki artışın, betaksantin miktarının azalmasından kaynaklanabileceği bildirilmektedir. Betaksantin ısıl stabilitesinin betasiyaninden 10 kat daha az olduğu belirtilerek, kırmızı pancar suyundaki betaksantin miktarındaki kaybın *Chroma* (C^*) renk yoğunluğu değerinde artışa sebep olduğu ileri sürülmektedir. Kırmızı pancar suyundaki (h) renk tonu değerindeki azalmanın ise sarımsı rengi doğrulayan nitelikte olduğu açıklanmıştır.

Figiel (2010), kurutulmuş kırmızı pancar küplerinde L^* , a^* ve b^* renk parametrelerinin sıcaklıkla olan ilgisini araştırmıştır. Sıcaklığın azalmasıyla, renk değerlerinin arttığını tespit etmiştir. Aynı koşullarda kurutulan kırmızı pancar

örneklerinden yüksek nem içeriğine sahip olan örnekte önemli farklılık olduğu belirtilmiştir. Dondurarak kurutma yöntemiyle kurutulan pancarda L^* aydınlatma değerinin 28.71, $+a^*$ değerinin ise 35.53; vakum-mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan kırmızı pancarda L^* aydınlatma değerinin 29.00, $+a^*$ değerinin ise 33.80 olduğu belirtilmiştir.

Carle ve ark. (2005), yapısında betalain bulunan *Opuntia* meyvesinin CIE sistemine göre L^* , C^* ve h değerlerini değerlendirmişlerdir. L^* değerini yaklaşık 85, C^* değerini yaklaşık 50 ve h değerini ise yaklaşık 80 olarak bulmuşlardır.

2.4. Serbest Radikaller

Kimyasal bileşikler, iki veya daha çok elementin aralarında kimyasal bağ oluşturması ile meydana gelmektedir. Bu bağlar negatif yüklü elektronlarla sarılmıştır ve bu elektronların düzeni bileşiğe kararlılık sağlamaktadır. Kararlı bileşiklerin elektronları çiftlenmiş halde bulunmaktadır. Eğer elektron çiftlenmemiş ise molekül daha reaktif ve kararsız duruma geçmektedir. Bir ya da daha fazla sayıda çiftlenmemiş elektrona sahip element veya bileşiklere serbest radikaller denilmektedir. Serbest radikallerdeki çiftlenmemiş elektronlar kararlı duruma geçmek istediklerinde kararlı halde bulunan bir bileşikten elektron alarak, bu bileşiği yeni bir serbest radikal haline dönüştürmektedir. Serbest radikallerin başlattığı bu zincirleme reaksiyonlar dizisi, antioksidanlar tarafından durduruluncaya kadar devam etmektedir (Akalin 2011). Radikaller bir kez oluşuktan sonra, hem başka radikallerle hem de başka moleküllerle reaksiyona girebilmektedir. Bu reaksiyonların hızı ve seçiciliği, radikal

konsantrasyonuna, moleküldeki zayıf bağların varlığına bağlıdır (Meral ve ark. 2012).

Vücuttaki fizyolojik aktivitenin doğal ürünü olan serbest radikaller, organizma tarafından oksidan-antioksidan denge halinde tutulmaya çalışmaktadır. Oksidanlar ve antioksidanlar arasındaki bu dengenin özellikle oksidanlar lehine bozulması membran lipitleri, proteinler ve DNA gibi hücrenin önemli yaşamsal yapılarında bütünlüğün bozulmasına ve canlıda patolojik olayların gelişmesine yol açmaktadır (Yıldız 2011). Organizmada serbest radikaller gerek normal metabolik faaliyetlerin bir yan ürünü olarak, gerekse radyasyon, ilaçlar ve diğer zararlı kimyasalların etkisi ile oluşmaktadır. Metabolizma, yan ürünler olarak reaktif oksijen türleri (ROS) ve reaktif azot türleri (RNS) üretmektedir (Devasagayam ve ark. 2004; Akalın 2011). Yaklaşık % 1-3 düzeyinde oksijen, vücut tarafından reaktif oksijen türlerine dönüştürülmektedir. Üç önemli reaktif oksijen türü; süperoksit radikali, hidrojen peroksit ve hidroksil radikali canlı hücrelerde mitokondri tarafından sürekli üretilen normal metabolik ürünlerdir (Meral ve ark. 2012).

Reaktif Oksijen Türleri (ROS) serbest radikaller, süperoksit anyonları (O_2^- , $O_2^{\cdot-}$), hidroksil radikali (OH), peroksil radikali ($ROO^{\cdot}$), hidroperoksit ($ROOH$); radikal olmayanlar, singlet oksijen (1O_2), hidrojen peroksit (H_2O_2), ozon (O_3) olarak gruplandırılmaktadır (Devasagayam ve ark. 2004).

Süperoksit anyonları (O_2^- , $O_2^{\cdot-}$) mitokondride üretilerek özellikle kardiyovasküler sistemi etkilemektedir. Hidroksil radikali (OH), organizmaya aşırı demir yüklenmesi sonucunda oluşan oldukça reaktif bir türdür. Peroksil radikali ($ROO^{\cdot}$), oksidatif stres

sonucunda meydana gelen lipid, protein ve DNA türevleridir. Hidroperoksit (ROOH); metal iyonlarıyla reaksiyona giren reaktif bir türdür.

Reaktif oksijen türlerinden (ROS) radikal özellikte olmayan singlet oksijen (1O_2), fotosensitizasyon ve kimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşan oldukça reaktif bir türdür. Hidrojen peroksit (H_2O_2), organizmada metabolizma ürünleri olarak fazla miktarda oluşan hidroksil gruplarındadır. Ozon (O_3), atmosferik kirlilik sonucunda oluşan ve singlet oksijenle (1O_2) reaksiyon giren reaktif bir türdür (Devasagayam ve ark. 2004; Akalın 2011).

2.5. Antioksidanlar ve Fenolik Bileşikler

Antioksidan, bir başka molekülün oksidasyonunu yavaşlatabilen veya önleyebilen molekül olarak tanımlanmaktadır. Antioksidanlar, vücutta serbest radikaller ile reaksiyona girerek otooksidasyonu önleyen savunma mekanizmalarıdır. Yaşamsal olayların devamlılığı için gerekli olan oksijen aynı zamanda birçok hastalık ve dejeneratif gelişimin nedeni olarak görülmektedir. İnsanlarda metabolik olaylar sırasında oksijen kullanımına bağlı olarak süperoksit (O_2^-), hidroksil (OH^-), peroksil (ROO^-), alkoksil (RO^-), semikuinon (Q^-), nitrik oksit (NO^-) kökleri ile hidrojen peroksit (H_2O_2), peroksinitrit ($ONOO^-$) ve singlet oksijen (1O_2) gibi aktif oksijen formları meydana gelmektedir. Ayrıca radyasyon, çeşitli gazlar, ağır metaller, herbisitler, pestisitler ile tedavi amaçlı kullanılan birçok ilaç, oksidatif stres nedeni olarak gösterilen aktif oksijen oluşumuna neden olmaktadır. Oksidatif stres, normal metabolik faaliyetler için gerekli olan aktif oksijen-antioksidan dengesini aktif oksijen lehine bozarak; DNA, protein, karbonhidrat ve lipidlerde zararlanmaya yol

açmakta ve başta koroner hastalıklar, kanser, diyabet ve karaciğer rahatsızlığı olmak üzere birçok hastalığa neden olmaktadır (Akalin 2011).

Son yıllarda, sağlıklı beslenmeye olan ilginin artması üzerine birkaç epidemiyolojik çalışma yapılmış, bitkisel ürünlerin düzenli tüketilmesinin kronik hastalıkları (ateroskleroz, kanser gibi) azalttığı belirtilmiştir. Bu etkinin bitkisel ürünlerin sahip olduğu antioksidan aktiviteden kaynaklandığı düşünülmektedir. Sebzelerdeki önemli antioksidanlar arasında C vitamini, fenolik bileşikler, E vitamini, karotenoidler ve özellikle flavonoidler sayılmaktadır. Bu antioksidanlar, serbest radikallere bağlanarak zincir kırıcı indikatör olarak ya da singlet oksijeni bağlayarak koruyucu indikatör olarak görev yapmaktadır (Podsdek 2007). Fenolik bileşiklerin, suda çözünen antioksidanlar arasında en önemli grubu oluşturduğu belirtilmektedir (Meral ve ark. 2012). Fenolik bileşikler elektron verici özellikleri sayesinde, reaktif oksijenleri bağlayabilmektedirler. Fenolik bileşiklerin antioksidan etkinliği farklı sistemlerde kararlılıkları, hidroksil grubu konumu ve sayısı ile ilgilidir. Birçok *in vitro* çalışmaları fenolik bileşiklerin, vitaminlere göre daha yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğunu göstermiştir (Podsdek 2007).

Fenolik bileşikler, bitkilerde doğal olarak bulunan sekonder bir metabolit gruptur. Çoğunlukla suda çözünür ve aromatik zincir halkasına bağlı bir veya daha fazla sayıda hidroksil grubu içeren, basit fenolik bileşiklerden, yüksek oranda polimerize olmuş çok sayıda fenolik maddeleri içeren geniş bir gruptur (Meral ve ark. 2012). Fenolik bileşikler; hidroksil grubu sayısı, pozisyonuna ve diğer gruplarının varlığına bağlı olarak fenolik asitler ve flavonoidler olmak üzere 2 gruba ayrılmaktadır (Çizelge 2). En yaygın çeşidi polifenol grubundan flavonoidlerdir ve C₆-C₃-C₆

flavonon iskeleti yapısına sahiptir. Bu grupta flavonoller, flavanoller, antosiyaninler, kumarinler, tanninler ve lignin gibi önemli bileşikler yer almaktadır.

Çizelge 2.2. Fenolik bileşiklerin sınıflandırılması (Meral ve ark. 2012).

Fenolik Grup Adı	Yaygın Örnek
Fenolik asitler	
✓ Hidroksibenzoik asitler	Gallik asit, siringik asit, total galatlar
✓ Hidroksisinamik asitler	Kafeik asit, ferulik asit, p-kumarik asit
Flavonoidler	
✓ Antosiyaninler	Depihidin-3-glikozit, siyanidin-3-glikozit, petunidin-3-glikozit, malvidin-3-glikozit
✓ Flavonoller	Kuersetin, kaemferol, kuersatagetin
✓ Flavanoller	Kateşin, epikateşin, epikateşin galat, epikateşin-3-gallat
✓ İzoflavonoidler	Genistein, formononotein, diadzein
✓ Flavonlar	Rutin, apigenin, luteolein
✓ Flavononlar	Mirisetin, naringin, naringenin

Fenolik asitler, bitkilerdeki en basit fenolik bileşenlerdir. Hidroksibenzoik asit ve hidroksisinamik asit olmak üzere iki alt gruptan oluşmaktadır. Flavonoidler ise, fenolik bileşiklerin türevleri olarak meyve ve sebzelerde bulunmaktadır (Podsdek 2007; Meral ve ark. 2012).

2.5.1. Kırmızı pancarda fenolik bileşikler

Yapılan çalışmalara göre, özellikle kırmızı pancar (*Beta vulgaris*) ekstratlarında ve kabuğunda diğer sebzelerle karşılaştırıldığında yüksek miktarda fenolik madde bulunduğu saptanmıştır. Ancak, bitki ekstratlarının kalitesi ve fenolik madde miktarı; bitkinin yetiştirildiği iklim koşullarına, hasat zamanı, depolama koşulları ve çevresel faktörlerle, işleme koşulları gibi birçok faktöre bağlıdır (Kujala ve ark. 2002).

Kırmızı pancarın (*Beta vulgaris*) yapısında yüksek konsantrasyonda ferulik asit bulunduğu aktarılmaktadır (Çizelge 3). Ferulik asit bileşikleri dışında fenolik asit bileşiklerinin bulunduğu da belirtilmektedir. Antioksidan özellikteki bu bileşiklerin varlığının kırmızı pancara olan ilgiyi artırdığı ileri sürülmektedir (Kujala ve ark. 2001).

Çizelge 2.3. Kırmızı pancardaki (*Beta vulgaris*) fenolik bileşikler (Kujala ve ark.2002).

Sınıf	Bileşikler
Fenolikler	5,5 '-tetrahidroksi-6,6' 3,3'-bis indolyl
Ferulik asit	Feruloyl glukoz
Konjigatları	β -D-früktofüöranosil- α -D-(6-O-(E) -feruloyl glukopiranosid)
Fenolik	N-trans-Feruloyl tiramin
Amidler	N-trans-Feruloylhomovanillylamine
Flavonoidler	Betagari Betavulgarin Siklosporin A Dihydro isorhamnetin

Kujala (2000), kurutulmuş kırmızı pancar örneğindeki toplam fenolik madde miktarının 15.5 mg GAE/g olduğunu bildirmiştir. Kujala (2002), kırmızı pancarda 5,5'-tetrahidroksi-6,6' 3,3'-bis indolil, ferulil glukoz, β -D-früktofüöranosil- α -D-(6-O-(E)-ferulil glukopiranosit olmak üzere üç fenolik madde; 2 fenolik amid (N-trans-Ferulil tiramin ve N-trans-Ferulilhomovanililamin) ve 4 flavonoid (betagari, betavulgarin, Siklosporin A ve dihidro isoramnetin) tanımlamıştır (Çizelge 3) (Kannan 2011).

2.5.2. Kırmızı pancarda antioksidan aktivite

Kırmızı pancarın yapısında bulunan betalainler sayesinde lipid oksidasyonu ve peroksidasyonu inhibe ettiği, insanlarda strese bağlı birçok hastalığı önlediği bildirilmektedir. Betalainlerin antioksidan aktivitesinin askorbik asidin antioksidan aktivitesinden daha yüksek olduğu belirtilmektedir (Ravichandran ve ark. 2013). Betalainlerin anti-inflamatuar etkileri ve antioksidan etkileri nedeniyle serbest radikalleri bağlayıcı özelliklerinin bulunduğu da aktarılmaktadır (Herbach ve ark. 2006; Mortensen 2006). Bununla birlikte; kırmızı pancarda antioksidan özellik gösteren folik asit, demir, magnezyum, selenyum, potasyum, kalsiyum, çinko, fosfor, sodyum, biotin, niasin, β -karoten ve A, B₆, C vitaminleri gibi birçok bileşenin bulunduğu belirtilmektedir. Kırmızı pancara rengini veren betasiyaninlerin antioksidan aktiviteleri ve serbest radikalleri bağlama yeteneğinin bulunduğu ileri sürülmektedir (Georgiev ve ark. 2010). Ayrıca; betasiyanin ve betaninin LDL oranını azaltarak, oksidasyon ve kardiyovasküler hastalıklar üzerinde olumlu etkisi bulunduğu bildirilmektedir. Kırmızı pancardaki antioksidan aktivitenin hem betalain hem de polifenol varlığına bağlı olabileceği ileri sürülmektedir (Ravichandran ve ark.

2013). Nitekim; kırmızı pancar (*Beta vulgaris L.*) tüketiminin, içerdği betalain ve fenolik maddeler nedeniyle yaşa bağlı hastalıkları, kanser ve kardiyovasküler hastalıkları engellediği belirtilmektedir. Ayrıca; antiviral ve antimikrobiyal etkilerinin bulunduğu da bildirilmektedir (Ravichandran ve ark. 2013). Kanner ve ark. (2001), kırmızı pancarda (*Beta vulgaris L.*) bulunan antioksidan özellikteki betalainlerin, betanin ve betanidin 5-O- β -glikosid olduğunu bildirmektedir. İçerdği bir fenolik grup ve bir siklik amin grubu sayesinde iyi bir elektron donörü olması, antioksidan özelliğini açıklamaktadır.

Ryan ve ark. (2011), aralarında kırmızı pancar suyunun da bulunduğu 23 sebze suyunun antioksidan aktivitelerini ve toplam fenolik madde miktarlarını değerlendirmişlerdir. Sebze sularında antioksidan aktivite düzeyini % 10.9-90.7 ve fenolik madde miktarını ise 449-3025 $\mu\text{g/mL}$ olarak bulmuşlardır. Pancar suyunun antioksidan aktivitesinin % 92.1-92.3 düzeyinde ve toplam fenolik madde miktarının 3025 μg olduğunu ifade ederek, diğer sebze sularıyla (domates, havuç, karışık sebze sularıyla) karşılaştırıldığında en yüksek değere sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Georgiev ve ark. (2010), olgunlaşmış kırmızı pancarların saçak köklerinin antioksidan aktivite düzeyi ve toplam fenolik madde miktarı üzerine yaptıkları çalışmada, antioksidan aktivite düzeyini % 90.7 ve toplam fenolik madde miktarını ise 944 mg/g olarak belirtmişlerdir. Ayrıca, kırmızı pancarda bulunan fenolik bileşikler arasında 4-hidroksibenzoik asit, klorojenik asit, kafeik asit, kateşin hidrat, epikateşin bulunduğunu açıklamışlardır.

Cai ve ark. (2003), *Amaranthaceae* bitkisindeki betalainlerin antioksidan aktiviteleri üzerine yaptıkları çalışmada, tüm betalain bileşiklerinin antioksidan aktivite EC_{50} değerinin 3.35-8.37 μM aralığında olduğunu tespit etmişlerdir. Askorbik asitte 13.93 μM olan bu değer, betalainlerin antioksidan aktivitesinin daha yüksek olduğunu açıklamaktadır. EC_{50} değeri, antioksidan aktivite değerini gösteren yaygın bir ifadedir ve bu değer azaldıkça antioksidan aktivite değeri yükselmektedir. EC_{50} değerinin betasiyanin için 3.73 μM ; betaksantin için ise 4.15 μM olduğu, bu nedenle bu bileşiklerin antioksidan aktivitesinin askorbik asitten 3-4 kat daha fazla olduğu belirtilmektedir. *Amaranthaceae* (ıspanakgiller) familyasına ait bir bitkideki betalainlerin antioksidan aktivitelerinin araştırıldığı bir çalışmada basit yapılu glikozitlerin en yüksek aktiviteye sahip olduğu, bunu sırasıyla açillenmiş glikozitlerin, dopamin betaksantinlerin, S-triptofan betaksantinlerin, 3-metoksitiramin-betaksantinlerin, betanin/isobetanininlerin, selosianinlerin, iresininlerin, amarantin, izoamarantinlerin takip ettiği bildirilmektedir. Betalainlerin antioksidan aktivitelerinin kimyasal yapılarıyla ilişkili olduğu ve betalainlerin serbest radikallere etkisinin hidroksil gruplarına ve aglikonlarda glikozilasyon konumuna bağlı olduğu belirtilmiştir.

Antioksidan aktivite tayininde birçok yöntem kullanılmakla birlikte TEAC (troloks eşdeğeri antioksidan kapasite) yöntemi, en fazla uygulanan yöntemlerin başında gelmektedir. Bu yöntem ile, $ABTS^{\bullet+}$ (2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolin-6-sulfonik asit)) radikal katyonu tarafından tutulan antioksidatif maddelerin, sentetik bir antioksidan olan Troloks'a (suda çözünen E vitamini analogu) kıyaslanarak bağıl ölçümü sağlanmaktadır. Ölçümler, stabil bir bileşik olan $ABTS^{\bullet+}$ radikalinin mavi/yeşil rengindeki azalmanın spektrofotometrik olarak belirlenmesiyle

yapılmaktadır. Kannan (2011), kırmızı pancar suyunda vurgulu elektrik alan (PEF) uygulamasının antioksidan aktivite üzerine etkisini ABTS^{•+} yöntemiyle belirlemiştir. Çalışma sonucunda, kırmızı pancarın antioksidan aktivitesinin 0.054 mmol troloks eşdeğeri/100 g'dan 0.223 mmol troloks eşdeğeri/100 g'a yükseldiği açıklanmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada; kırmızı pancar suyu konsantresi, AKDEM Meyve Özü A.Ş.'den (Konya-Ereğli) temin edilmiştir. Konsantreler, 105 mL'lik cam kavanozlarda 25°, 35° ve 45 °C sıcaklıklarda depolanmıştır. Işığın etkisinin belirlenmesi amacıyla örneklerin yarısı alüminyum folyo ile sarılan cam kavanozlarda depolanmıştır. 25 °C'deki örnekler 15 gün; 35 °C'deki örnekler 7 gün ve 45 °C'deki örnekler 2 gün aralıklarla alınıp aşağıdaki analizler yapılmıştır. Analizler 2 tekerrürlü yürütülmüştür.

3.2. Yöntem

3.2.1. Suda çözünür kuru madde (°Bx) tayini

Farklı sıcaklıklarda depolama sonucunda °Bx değerleri, el tipi dijital (Atago, PAL-3, Tokyo, Japan) refraktometre kullanılarak 20°C' de ölçülmüştür.

3.2.2. Betalain tayini

Örneklerdeki betalain miktarı, Castellar ve ark. (2003) tarafından önerilen spektrofotometrik yöntemle göre belirlenmiştir. Bu yöntemin ilkesi, betalainin yapısını oluşturan betasiyanin ve betaksantin, pH'ya bağlı olarak renk değiştirmesine dayanmaktadır. Bu amaçla; pH 4.5 Mellvaine sitrat-fosfat tampon

çözeltisi ile seyreltilen örneklerin absorbans değerleri, betasiyanin için 488 nm ve betaksantin için 532 nm dalga boylarında okunmuştur. Mellvaine sitrat-fosfat tampon pH 4.5 çözeltisi; 45.4 mL 0.2 M disodyum fosfat (Na_2HPO_4) ile 54.6 mL 0.1 M sitrik asit ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) içermektedir. Seyreltilen örneklerin absorbans ölçümleri, UV-1800 model spektrofotometre (Shimadzu, Japonya) kullanılarak havaya karşı yapılmıştır. Örneklerin betasiyanin ya da betaksantin içeriği aşağıdaki formüle göre belirlenmiştir:

$$\text{BC (Betasiyanin ya da betaksantin miktarı) (mg/L)} = A \times DF \times MW \times 1000 / \epsilon \times L$$

A : 488 nm ya da 532 nm dalga boyundaki maksimum absorbans değeri

MW_{488} : Betasiyaninin molekül ağırlığı (550 g/mol)

MW_{532} : Betaksantin molekül ağırlığı (308 g/mol)

ϵ_{488} : Betasiyanin molar absorbans katsayısı (60.000 L /mol cm)

ϵ_{532} : Betaksantin molar absorbans katsayısı (48.000 L/mol cm)

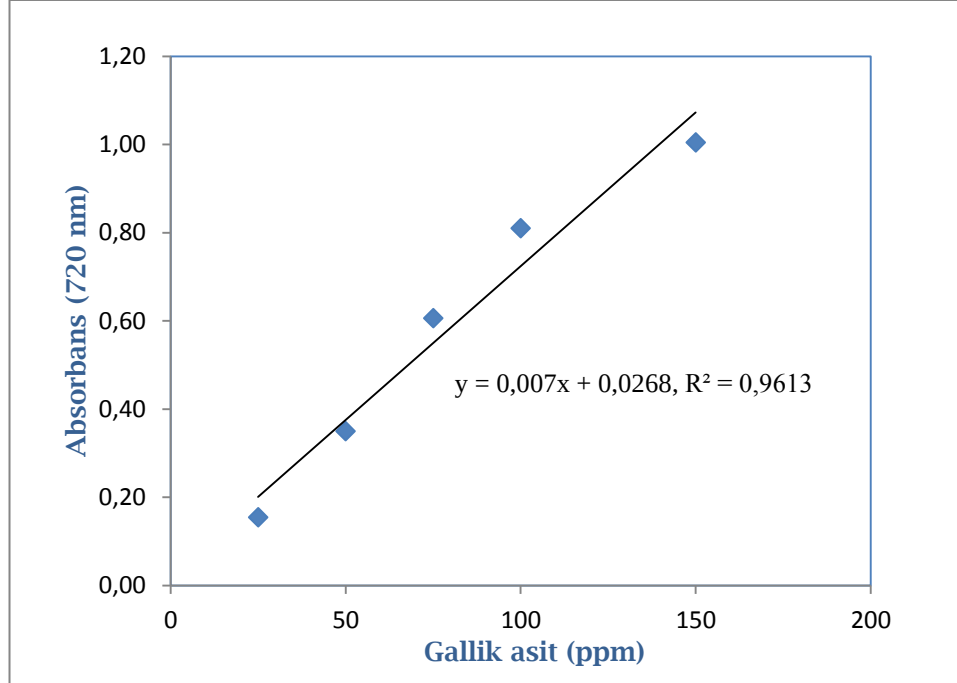
DF : Dilüsyon faktörü

L : Spektrofotometre küvetinin ışık yolu (1 cm)

3.2.3. Toplam fenolik madde tayini

Örneklerdeki toplam fenolik madde miktarı Folin-Ciocaltau kolorimetrik yöntemle göre belirlenmiştir (Tanner ve Brunner 1979). 0.5 mL su ile seyreltilmiş örneğe 7 mL saf su ve 0.5 mL Folin-Ciocaltau çözeltisi eklenerek karıştırılmıştır. 3 dakika bekletildikten sonra üzerine 2 mL %20'lik NaCO_3 eklenmiş ve karıştırılarak 25°C ayarlanmış etüvde 1 saat bekletilmiştir. Oluşan mavi rengin 720 nm'de ölçülmesiyle,

örnekteki toplam fenolik bileşiklerin miktarı hesaplanmıştır. Sonuçlar, gallik asit eşdeğeri/L örnek olarak verilmiştir. Gallik asit kurvesi Şekil 3.1’de görülmektedir.



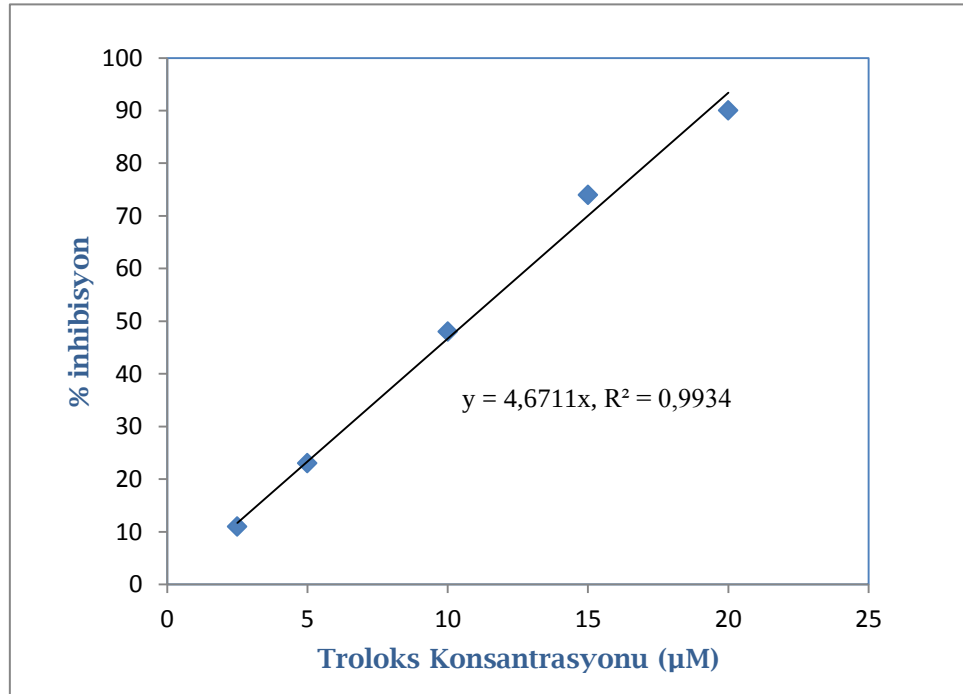
Şekil 3.1. Gallik asit standart kurvesi

3.2.4. Antioksidan aktivitenin belirlenmesi (TEAC yöntemi)

Örneklerin antioksidan aktivitesi troloks eşdeğeri antioksidan kapasite (TEAC) yöntemine göre belirlenmiştir (Re ve ark. 1999). Bu yöntem, bir azino-bileşiği olan ABTS⁺ (2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit) diamonyum tuzu) radikalinin antioksidan varlığında inhibisyonu şeklinde açıklanmaktadır.

Bu yöntemde; ABTS (2,2-azinobis-3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit) ve potasyum persülfat (K₂S₂O₄) arasında gerçekleşen reaksiyon sonucu mavi-yeşil renkli ABTS^{•+} radikal katyonu oluşturulmaktadır. Bu radikal çözelti üzerine antioksidan içeren bir

örnek eklendiğinde indirgenen radikalın mavi-yeşil rengi kaybolmaktadır. Renkteki değişim, 734 nm dalga boyunda absorbans ölçümü ile belirlenmektedir. Bu amaçla; örnek (30 μ L) ve troloks (10 μ L), 1 mL ABTS^{•+} radikal çözeltisi ile karıştırıldıktan sonra 6 dakika boyunca radikalın absorbans değerindeki azalma ölçülmektedir. Şahit olarak etil alkol ya da PBS çözeltisi kullanılmaktadır. PBS (fosfat tamponu; Phosphate Buffer Saline) çözeltisi, 0.1 M fosfat tamponu üzerine 8.77 g NaCl eklenerek 1 L'ye damıtık suyla tamamlanmış ve böylece pH'sı 7.4 olarak elde edilmiştir. Örneğin antioksidan aktivitesi, troloksun (6-hidroksi-2,5,7,8,-tetrametil kroman-2-karboksilik asit) ABTS^{•+} radikalini indirgeme özelliğine göre hesaplanmaktadır. Troloksa ilişkin % inhibisyon grafiği Şekil 3.2'de görülmektedir. Örneklerin antioksidan aktivite değerleri, μ moL Troloks eşdeğeri(TE)/100 mL olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.2. Troloks standart eğrisi

3.2.5. Görsel renk değerleri tayini

Kırmızı pancar suyu konsantresinin renk değerleri (L^* , a^* , b^* , C ve h), CIE (International Commission on Illumination) renk ölçüm sistemine göre Minolta CR-400 (Osaka, Japan) kolorimetresi kullanılarak doğrudan ölçülmüştür. Cihaz, her kullanım öncesinde beyaz seramik plakaya karşı standardize edilmiştir. (L^*) aydınlatma değeri; a^* + ise kırmızı; - ise yeşil; b^* : + ise sarı; - ise mavi koordinatlarını göstermektedir. Renk yoğunluğunu gösteren *Chroma* (C^*) ve renk tonunu ifade eden *Hue* (h) değerleri de saptanmıştır.

3.2.6. Kinetik parametrelerin hesaplanması

Bu araştırmada, farklı sıcaklıklarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinin antioksidan aktivitedeki renk değerlerindeki değişimin 0. derece reaksiyon kinetiğine göre gerçekleştiği saptanmıştır. Sıfırıncı derece reaksiyonu tanımlayan eşitlik aşağıda görülmektedir.

$$C = C_0 + k_0 \times t$$

Burada;

C_0 : İncelenen bileşiğin başlangıç konsantrasyonu ($\mu\text{M TE}/100 \text{ mL}$)

C : İncelenen bileşiğin t süre sonundaki konsantrasyonu ($\mu\text{M TE}/100 \text{ mL}$)

k_0 : Sıfırıncı derece reaksiyon hız sabiti ($\mu\text{mol TE}/\text{L gün}$ ya da renk değeri/gün)

t : Süre (gün)

Bu araştırmada, farklı sıcaklıklarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinin betalain ve toplam fenolik madde miktarlarındaki değişimin 1. derece reaksiyon kinetiğine göre gerçekleştiği saptanmıştır.

Birinci derece reaksiyonu tanımlayan eşitlik aşağıda verilmektedir.

$$\log C = \log C_0 - k/2.303 \times t$$

Burada;

C_0 : İncelenen bileşiğin başlangıç konsantrasyonu (mg/L)

C: İncelenen bileşiğin t süre sonundaki konsantrasyonu (mg/L)

k: Birinci derece reaksiyon hız sabiti (gün⁻¹)

t: Süre (gün)

3.2.6.1. Aktivasyon enerjisinin hesaplanması

Bu çalışmada; farklı sıcaklıklarda depolanan pancar suyu konsantresinde betalain, toplam fenolik madde, antioksidan aktivite ve görsel renk değişimine ilişkin aktivasyon enerjisi (E_a), Arrhenius eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\ln k = \ln k_0 - (E_a/R)(1/T)$$

k: Hız sabiti

k_0 : Frekans faktörü

E_a : Aktivasyon enerjisi (J mol⁻¹)

R: Gaz sabiti (8.314 J mol⁻¹ K⁻¹)

T: Sıcaklık (K)

3.2.6.2. Q₁₀ değerinin hesaplanması

Reaksiyonların sıcaklığa bağımlılığını ifade eden diğer bir parametre Q₁₀ değeri de aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır.

$$Q_{10} = k_2/k_1^{(10/T_2 - T_1)}$$

k₁: T₁ sıcaklığındaki reaksiyon hız sabiti

k₂: T₂ sıcaklığındaki reaksiyon hız sabiti

3.2.6.3. Yarılanma süresinin (t_{1/2}) hesaplanması

Yarılanma süresi, incelenen bileşiğin %50'sinin kaybolması için gerekli süredir ve birinci derece reaksiyonlar için aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmaktadır.

$$t_{1/2} (\text{gün}) = -0.693/k$$

3.2.6.4. Desimal azalma süresinin (D değeri) hesaplanması

Kırmızı pancar suyu konsantresinde betasiyanin ve betaksantin için desimal azalma süresi aşağıdaki eşitliğe göre saptanmıştır.

$$D = 2.303 / k$$

D: Desimal azalma süresi

k: Hız sabiti

D değeri; sabit sıcaklıkta ısıtılan bir ortamdaki bir bileşiğin % 90'nının parçalanmasına neden olan süre olarak tanımlanmaktadır (Özkan ve ark. 2010).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kırmızı pancar (*Beta vulgaris*) suyu konsantresinin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 4.1’de görülmektedir.

Çizelge 4.1. Kırmızı pancar suyu konsantresinin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellik	Ölçülen Değer
pH	4.12
°Briks	62.70
Titrasyon asitliği (g /100 mL)	16.76
Renk	
L^*	17.40
C^*	0.74
a^*	0.11
b^*	0.74
h	85.75
Betasiyanin miktarı (mg/L)	1179
Betaksantin miktarı (mg/L)	883
Toplam fenolik madde (mg /100 mL)	4332
Antioksidan aktivite (μ M Troloks /100 mL)	151.4
Su aktivitesi (a_w)	0.824

4.1. Betalain (Betasiyanin, Betaksantin) Miktarındaki Değişim

Kırmızı pancar suyu konsantresi, folyosuz ve folyolu cam kavanozlarda 25°C’de 105 gün; 35°C’de 49 gün ve 45°C’de 14 gün süreyle depolanmıştır. Depolama boyunca alınan örneklerde betaksantin ve betasiyanin miktarlarındaki değişim belirlenmiştir.

Kırmızı pancar suyu konsantresindeki başlangıç betasiyanin ve betaksantin miktarları sırasıyla 1179 mg/L ve 883 mg/L olarak bulunmuştur (Çizelge 4.2). Czapski ve ark. (2009), 11 farklı kırmızı pancar köklerinden elde ettikleri pancar suyunda betasiyanin miktarını 620-1630 mg/L; betaksantin miktarını ise 310-950 mg/L olarak belirlemişlerdir. Bu değerlerin pancar suyunun briksi, işlenen pancarın yetiştirilme koşulları, pancar suyuna işleme yöntemleriyle ilişkili olarak değişim gösterdiği ileri sürülmektedir. Ayrıca; Kanner ve ark. (2001), kırmızı pancarda bulunan betanin miktarını 300-600 mg/kg olarak saptamışlardır. Georgiev ve ark. (2010), kırmızı pancarın saçak köklerinden elde edilen ekstrelerde 47.11 mg /g betalain içeriğinde ve bu içeriğinde 16.3 mg/g betasiyaninin, 30.78 mg/g betaksantinden oluştuğunu bulmuşlardır. Diğer yandan da, taze kırmızı pancardaki betalain içeriğinin 39.76 mg/g olduğunu ve 20.75 mg/g’nin betasiyanin, 19.01 mg/g’nin betaksantinden meydana geldiğini belirtmişlerdir. Gasztonyi ve ark. (2001), beş farklı kırmızı pancar çeşidinde betasiyanin miktarının 0.58-0.82 g /kg ve betaksantin miktarının ise 0.35-0.48 g /kg olarak saptamışlardır.

Çizelge 4.2. Farklı sıcaklık ve sürelerde depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde betasiyanin ve betaksantin miktarındaki değişim (mg/L)

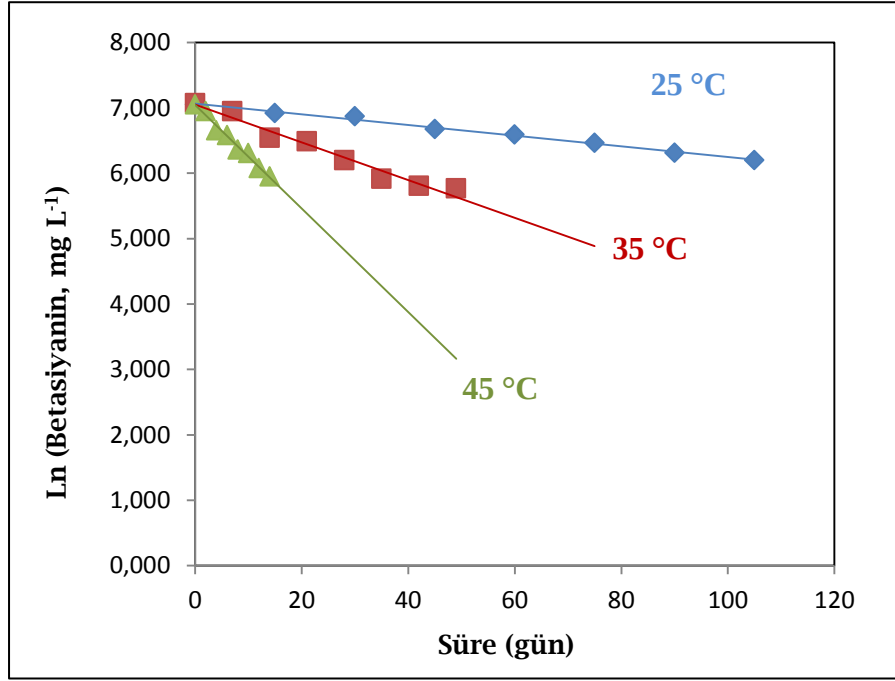
Sıcaklık (°C)	Süre (gün)	Betasiyanin miktarı		Betaksantin miktarı	
		Folyosuz	Folyolu	Folyosuz	Folyolu
25	0	1179±0.0	1179±0.0	883±0.0	883±0.0
	15	1010±6.4	1009±8.7	719±8.0	720±9.9
	30	964±9.0	930±1.9	682±9.2	659±2.8
	45	791±8.5	807±4.6	568±8.0	580±1.2
	60	730±5.7	781±6.2	518±6.0	554±9.0
	75	642±3.9	628±2.8	458±0.2	451±4.2
	90	553±0.5	559±0.2	395±0.9	397±1.8
	105	494±0.9	492±0.2	348±2.7	348±1.2
35	0	1179±0.0	1179±0.0	883±0.0	883±0.0
	7	1042±4.6	1034±0.4	761±4.2	787±1.1
	14	694±8.8	708±7.8	515±8.8	561±7.1
	21	658±2.3	652±9.9	485±4.1	500±9.5
	28	492±6.7	424±7.4	350±3.9	308±4.1
	35	371±6.9	367±3.2	246±4.4	237±8.3
	42	334±0.5	343±8.3	215±2.8	185±4.6
	49	320±1.8	318±0.0	194±3.9	174±2.5
45	0	1155±0.0	1155±0.0	846±0.0	846±0.0
	2	1043±3.9	963±10.1	808±5.0	749±7.1
	4	776±0.2	755±5.5	638±0.4	626±4.6
	6	722±5.5	685±5.1	596±5.1	573±6.2
	8	579±1.2	574±0.4	469±3.2	462±1.6
	10	548±5.1	540±4.4	424±8.5	402±8.5
	12	436±6.4	426±5.8	316±9.9	307±7.4
	14	385±8.0	371±6.0	254±9.5	239±8.3

Bu çalışmada; kırmızı pancar suyu konsantrelerinde betasiyanin ve betaksantin depolama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak azaldığı saptanmıştır. Farklı sıcaklıklarda yaklaşık 15 gün depolama süresi sonunda, 25°C'deki kırmızı pancar suyu konsantresindeki betasiyanin miktarı, 1179 mg/L'den 1009 mg/L'ye düşerek % 14 düzeyinde bir azalma gerçekleşmiştir. 35°C'de depolanan örneklerde betasiyanin

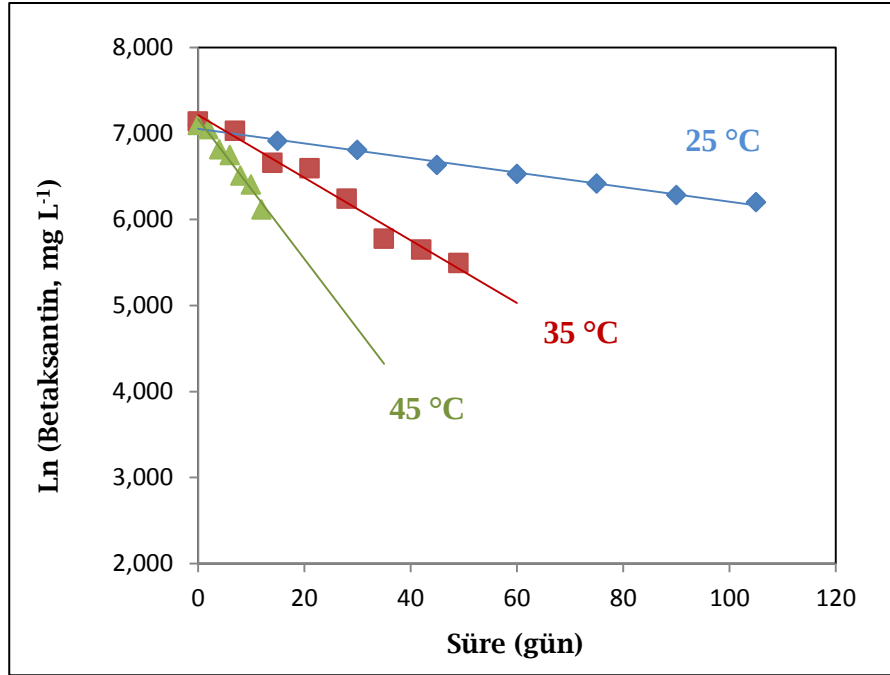
miktarı 1179 mg/L'den 694 mg/L'ye; 45°C'de depolanan örneklerdeki betasiyanin miktarı ise 1155 mg/L'den 385 mg/L'ye düşerek sırasıyla % 41 ve % 67 düzeylerinde azalma tespit edilmiştir. 25°, 35° ve 45 °C sıcaklıklarda depolanan örneklerdeki betaksantin kaybı ise sırasıyla % 11, % 42 ve % 72 belirlenmiştir (Çizelge 4.2). Betasiyanin ve betaksantin için belirlenen kayıp oranları, folyolu cam kavanozlarda depolanan örneklerde de yaklaşık aynı bulunmuştur.

25°, 35° ve 45°C sıcaklıklarda folyosuz cam kavanozlardaki pancar suyu konsantresinin depolanması sonrasında betasiyanin miktarının 1. derece reaksiyon kinetiğine göre kayba uğradığı belirlenmiştir (Şekil 4.1). Aynı örneklerdeki betaksantin miktarının da depolama sıcaklık ve süresine bağlı olarak 1. derece reaksiyon modeline göre kayba uğradığı gözlenmiştir (Şekil 4.2).

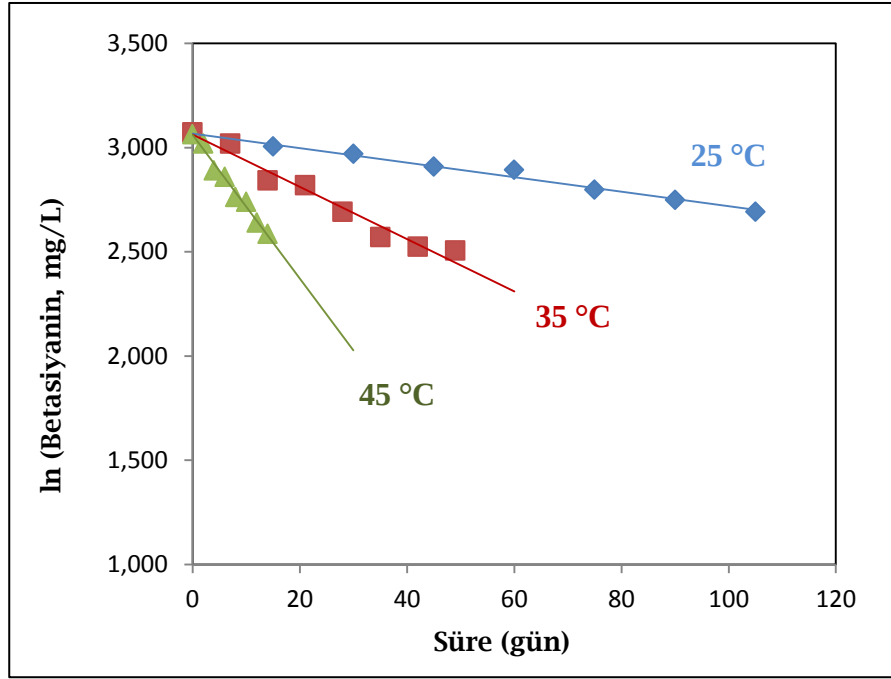
Folyolu cam kavanozlardaki pancar suyu konsantresinin 25°, 35° ve 45°C sıcaklıklarda depolanması sonrasında da betasiyanin konsantrasyonunun kayba uğradığı belirlenmiştir (Şekil 4.3). Bu kaybın 1. derece reaksiyon modeline uyduğu görülmüştür. Aynı örneklerdeki betaksantin miktarının da 1. derece reaksiyon göre parçalandığı saptanmıştır (Şekil 4.4). Saguy ve ark. (1978) da, kırmızı pancarda betanin degradasyonunun 1. derece reaksiyon kinetiğine uyduğunu belirlemişlerdir. Huang ve Von Elbe (1986) kırmızı pancar çeşitleri üzerine yaptıkları çalışmada betalain kaybının 1. derece kinetiğe uygun olduğunu ifade etmişlerdir. Cai ve ark. (1998) *Amaranthus* bitkisinde bulunan betasiyanin degradasyonunun 1. derece reaksiyon kinetiğine uyduğunu belirtmişlerdir.



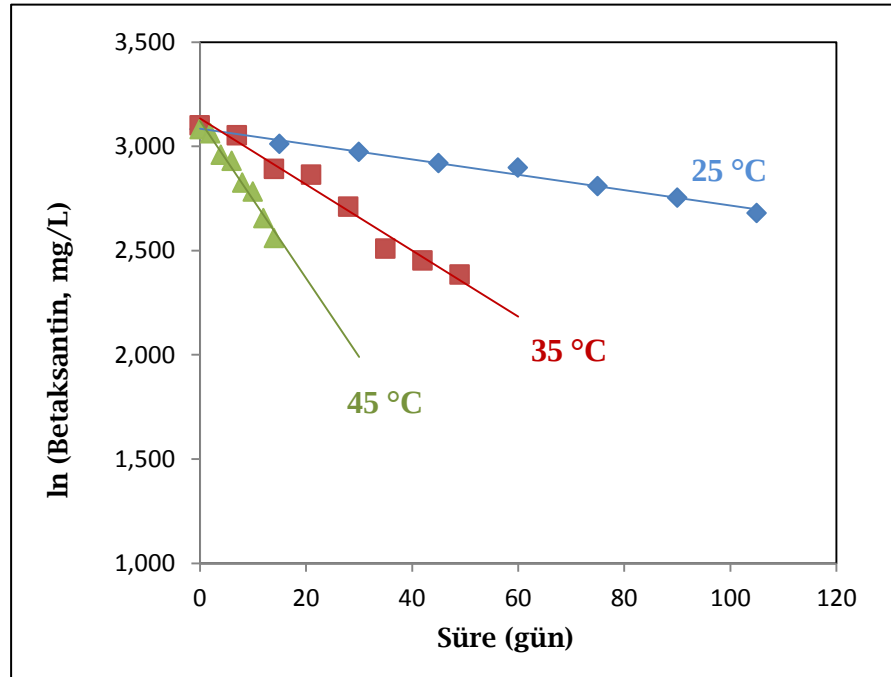
Şekil 4.1. Farklı sıcaklıklarda folyosuz cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde betasiyanin konsantrasyonundaki değişim



Şekil 4.2. Farklı sıcaklıklarda folyosuz cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde betaksantin konsantrasyonundaki değişim



Şekil 4.3. Farklı sıcaklıklarda folyolu cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde betasiyanin konsantrasyonundaki değişim



Şekil 4.4. Farklı sıcaklıklarda folyolu cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde betaksantin konsantrasyonundaki değişim

Betasiyanin ve betaksantin parçalanma hızının sıcaklık ve süreye bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Nitekim; betasiyanin parçalanmasına ilişkin hız sabiti 25 °C’de 0.0081 gün⁻¹ belirlenirken, 35° ve 45 °C sıcaklıklarda bu değer sırasıyla 0.0289 gün⁻¹ ve 0.0793 gün⁻¹ bulunmuştur. Reaksiyon hız sabiti betaksantin kaybı için ise 25°, 35° ve 45°C sıcaklıklarda sırasıyla 0.0085 gün⁻¹, 0.0364 gün⁻¹ ve 0.0812 gün⁻¹ belirlenmiştir. Folyosuz cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantrelerindeki betasiyanin ve betaksantin parçalanmasının folyolu cam kavanozlarda depolanan örneklere kıyasla daha hızlı olduğu belirlenmiştir. Örneğin; 25 °C’de folyosuz cam kavanozlardaki pancar suyu konsantresinde betasiyanin kaybına ilişkin hız sabiti 0.0081 gün⁻¹ iken; aynı sıcaklıkta folyolu cam kavanozdaki örneğin betasiyanin parçalanmasına ilişkin hız sabiti 0.0035 gün⁻¹ bulunmuştur (Çizelge 4.3).

Folyosuz cam kavanozlarda 25°C’de 105 gün süresince depolanan pancar suyu konsantrelerinde betasiyaninin yarılanma süresi ($t_{1/2}$) yaklaşık 85 gün; folyolu cam kavanozlarda depolanan örneklerdeki betasiyaninlerin yarılanma süresi ($t_{1/2}$) ise yaklaşık 198 gün olarak belirlenmiştir. Aynı sıcaklıkta depolanan örneklerde betaksantin yarılanma süreleri de yaklaşık aynı bulunmuştur. 25°, 35° ve 45°C’de folyolu kavanozlarda depolanan konsantrelerdeki betasiyanin ve betaksantin yarılanma süreleri ise folyosuz cam kavanozlardaki örneklere kıyasla yaklaşık 2-2.5 kat daha kısa belirlenmiştir (Çizelge 4.3). Bu değerlere göre, folyosuz kavanozlarda depolanan konsantrelerdeki betasiyanin ve betaksantin daha hızlı bozulmaya uğradığı görülmektedir.

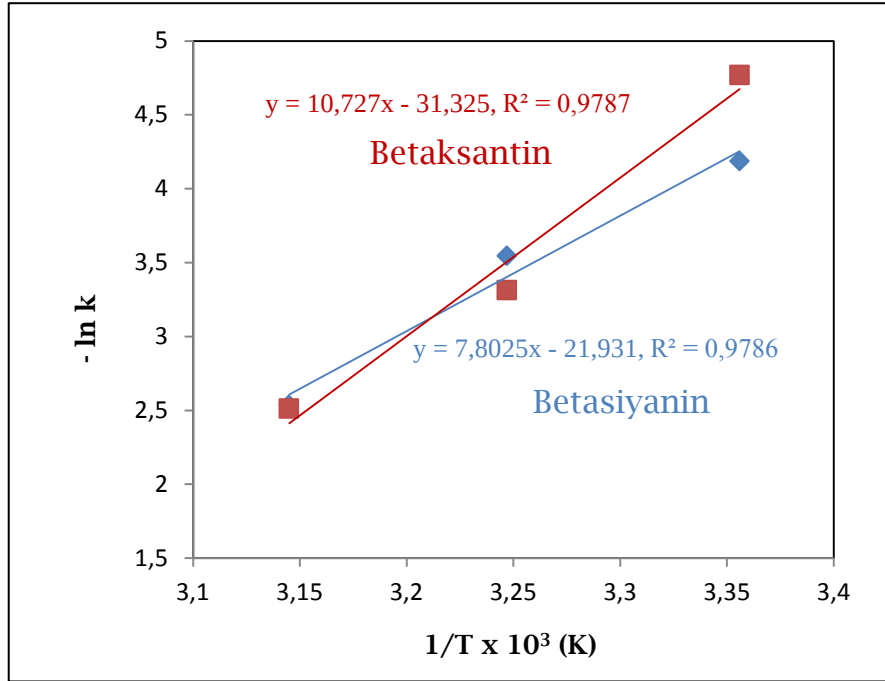
Bir reaksiyonda; sıcaklığın 10 °C artması durumunda, reaksiyon hızının kaç kat arttığını ifade eden Q_{10} değeri, betasiyanin ve betaksantin degradasyonu için belirlenmiştir. Folyosuz cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantrelerindeki betasiyanin kaybına ilişkin Q_{10} değerleri 25°-35 °C ve 35°-45 °C sıcaklık aralıkları için sırasıyla 3.57 ve 2.74; betaksantin kaybı için ise 4.28 ve 2.23 bulunmuştur. Bu değerler, folyolu cam kavanozlarda depolanan örneklerdeki betasiyanin degradasyonu için aynı sıcaklık aralıklarında sırasıyla 3.57 ve 2.75; betaksantin degradasyonu için ise sırasıyla 4.27 ve 2.39 hesaplanmıştır (Çizelge 4.3).

Bir reaksiyonun sıcaklıktan etkilenme düzeyini ifade eden diğer bir parametre ise aktivasyon enerjisidir. Folyosuz cam kavanozlarda depolanan konsantrelerde betasiyanin ve betaksantin degradasyonuna ilişkin aktivasyon enerjisi değerleri sırasıyla 65 J mol⁻¹ ve 89 J mol⁻¹; folyolu cam kavanozlarda depolanan konsantrelerin ise ikisinde de 91 J mol⁻¹ bulunmuştur (Çizelge 4.3). Literatürde de; Saguy ve ark. (1978) kırmızı pancardaki betanin parçalanmasına ilişkin aktivasyon enerjisini 20.4 kcal mol⁻¹ bulmuşlardır. Reynosa ve ark. (1997) da, *Cactacea* meyvesindeki betalain kaybına ilişkin aktivasyon enerjisi değerini 68.24 J mol⁻¹ saptamışlardır.

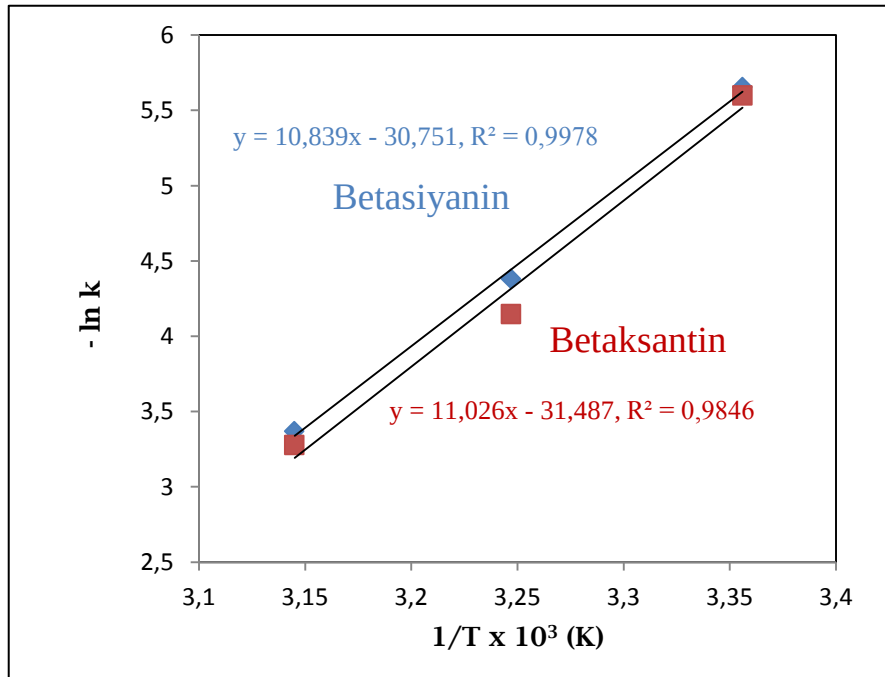
Folyosuz cam kavanozlarda depolanan örneklerdeki betasiyanin ve betaksantin, folyolu cam kavanozlarda depolanan örneklerle göre desimal azalma süresinin (D değeri) oldukça kısa olduğu görülmektedir (Çizelge 4.3). Bu durum folyolu cam kavanozlarda depolanan örneklerdeki betasiyanin ve betaksantin ısı direncinin daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.3. Farklı sıcaklıklarda folyosuz/folyolu cam kavanozlarda depolanan pancar suyu konsantresinde betasiyanin ve betaksantin kaybına ilişkin kinetik parametreler

	Sıcaklık (°C)	Reaksiyon hız sabiti (gün ⁻¹)	Determinasyon katsayısı, R ²	Yarı ömür süresi (t _{1/2} , gün)	D değeri (gün)	Aktivasyon enerjisi (Ea, J mol ⁻¹)	Q ₁₀	
							25-35 °C	35-45 °C
FOLYOSUZ								
Betasiyanin	25	0.0081	0.9923	85.5	285	65	3.57	2.74
	35	0.0289	0.9670	24	80			
	45	0.0793	0.9854	8.7	29			
Betaksantin	25	0.0085	0.9919	81.5	272	89	4.28	2.23
	35	0.0364	0.9758	19	63			
	45	0.0812	0.9720	8.5	28			
FOLYOLU								
Betasiyanin	25	0.0035	0.9866	198	660	91	3.57	2.75
	35	0.0125	0.9670	55	183			
	45	0.0344	0.9854	20	67			
Betaksantin	25	0.0037	0.9858	187	623	91	4.27	2.39
	35	0.0158	0.9758	44	147			
	45	0.0377	0.9756	18	60			



Şekil 4.5. Farklı sıcaklıklarda folyosuz cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde betaksiyanin ve betaksiyanin kaybına ilişkin Arrhenius grafiği

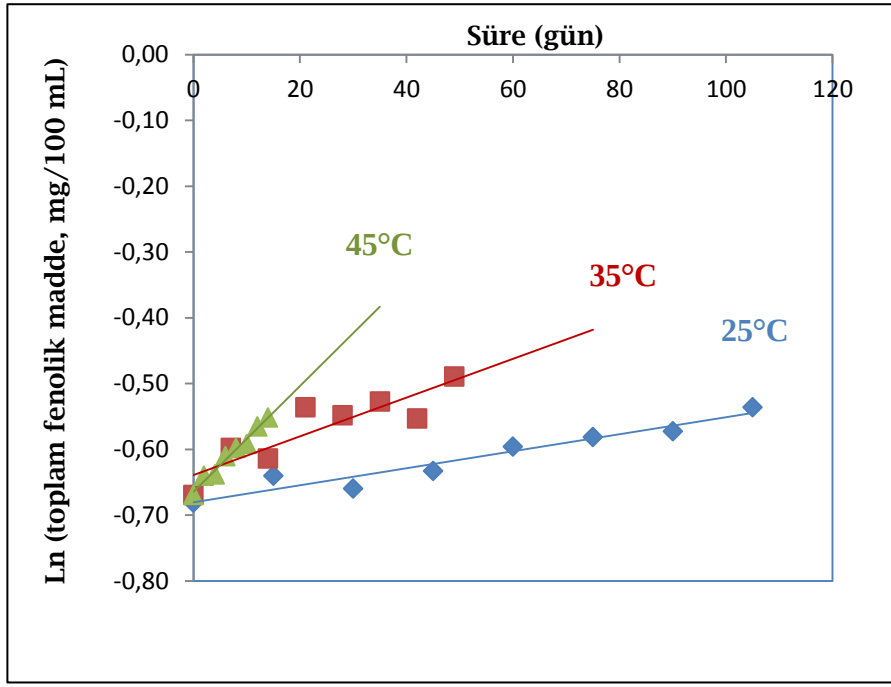


Şekil 4.6. Farklı sıcaklıklarda folyolu cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde betaksiyanin ve betaksantin kaybına ilişkin Arrhenius grafiği

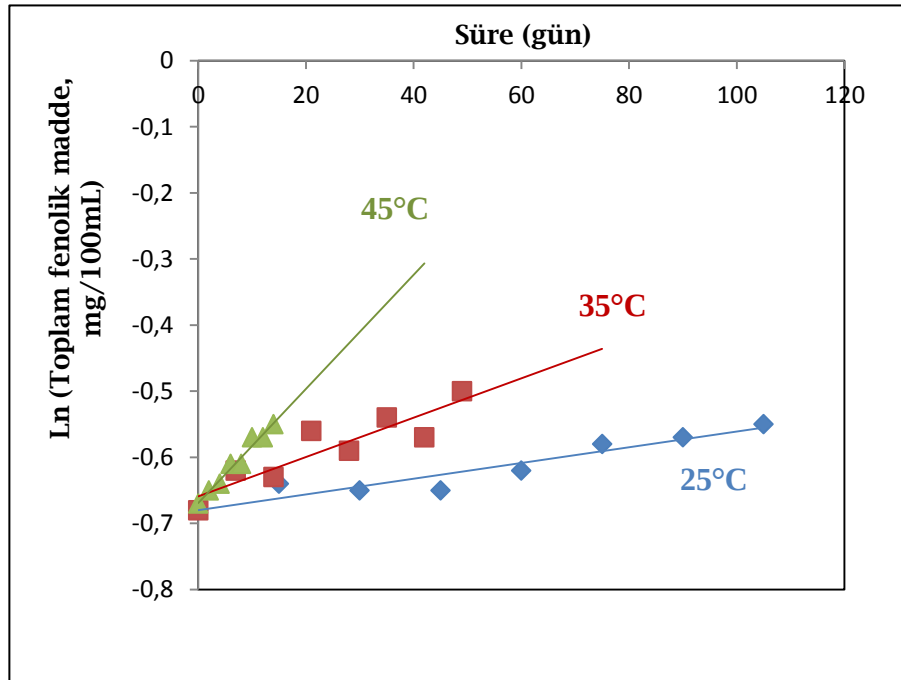
4.2. Toplam Fenolik Madde Miktarındaki Değişim

Kırmızı pancar suyu konsantresindeki toplam fenolik madde miktarının başlangıç değerleri 4332 mg /100 mL belirlenmiştir. Depolama sonrasında ise toplam fenolik madde miktarının arttığı saptanmıştır. 45 °C’de folyosuz cam kavanozda depolanan örneklerdeki toplam fenolik madde miktarındaki artışın 35° ve 25°C sıcaklıklarda depolanan örneklerle kıyasla sırasıyla 3 ve 6 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir. 45 °C’de folyolu cam kavanozda depolanan örnekteki toplam fenolik madde miktarındaki artış ise 35° ve 25 °C sıcaklıklarda depolanan örneklerle kıyasla sırasıyla yaklaşık 3 ve 7 kat daha fazla bulunmuştur. Bu çalışmada, kırmızı pancar suyu konsantresindeki toplam fenolik madde miktarındaki artışın 1. derece reaksiyon kinetiğine uyduğu belirlenmiştir (Şekil 4.7 ve Şekil 4.8).

Yapılan çalışmalarda depolama koşullarının toplam fenolik madde miktarı üzerine hem artan hem de azalan etkileri bildirilmektedir. Örneğin; Chaudry ve ark. (1998) kabin sistemiyle kurutulmuş hurmaların depolaması sonucunda toplam fenolik miktarının azaldığını belirtmişlerdir. Diğer taraftan; Lewis ve ark. (1999), renkli patates yumrularının 4°C’de depolanması sürecinde antosiyanin, flavonoid ve toplam fenolik madde miktarının arttığını bildirmişlerdir (Kujala 2000). Özkan (2009) ise; 5 °C, 20 °C ve 30 °C’de 8 ay depolanan siyah havuç suyu konsantrelerinde kondense olabilen fenolik madde miktarlarında, depolama sıcaklık ve süresine bağlı olarak 3–5 kat artış saptamıştır. Ayrıca, toplam fenolik madde kaybının 1. derece reaksiyon kinetiğine göre gerçekleştiği Gonçalves ve ark. (2010) ve Özşen ve Erge (2012) tarafından tespit edilmiştir.



Şekil 4.7. Farklı sıcaklıklarda folyosuz cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde toplam fenolik madde miktarındaki değişim



Şekil 4.8. Farklı sıcaklıklarda folyolu cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde toplam fenolik madde miktarındaki değişim

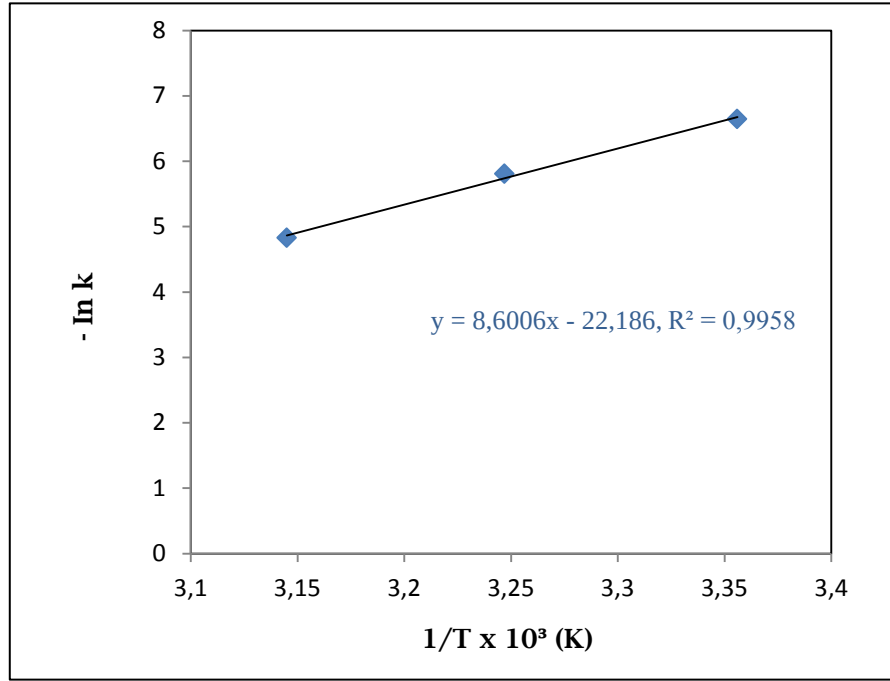
Folyosuz cam kavanozlardaki konsantrelerde toplam fenolik madde miktarındaki artışa ilişkin reaksiyon hız sabitleri 25 °C’de 0.0013 gün⁻¹, 35 °C’de 0.0030 gün⁻¹ ve 45 °C’de 0.0080 gün⁻¹ bulunmuştur. Folyolu cam kavanozlarda depolanan örneklerdeki toplam fenolik madde miktarındaki artışa ilişkin reaksiyon hız sabitlerinin de yaklaşık aynı olduğu görülmüştür (Çizelge 4.4). Bu değerlere göre, kırmızı pancar suyu konsantresi örneklerinin toplam fenolik madde miktarının depolama sıcaklığına bağlı olarak arttığı belirlenmiştir.

Folyosuz cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantrelerindeki toplam fenolik madde miktarındaki artışa ilişkin Q_{10} değerleri 25°-35°C ve 35°-45°C sıcaklık aralıklarında sırasıyla 2.30 ve 2.67 bulunmuştur. Folyolu cam kavanozlarda depolanan örneklerdeki toplam fenolik madde miktarının ise, sıcaklık 25 °C’den 35 °C’ye yükseldiğinde 2.5; sıcaklık 35 °C’den 45 °C’ye yükseldiğinde ise yaklaşık 3 kat arttığı saptanmıştır (Çizelge 4.4).

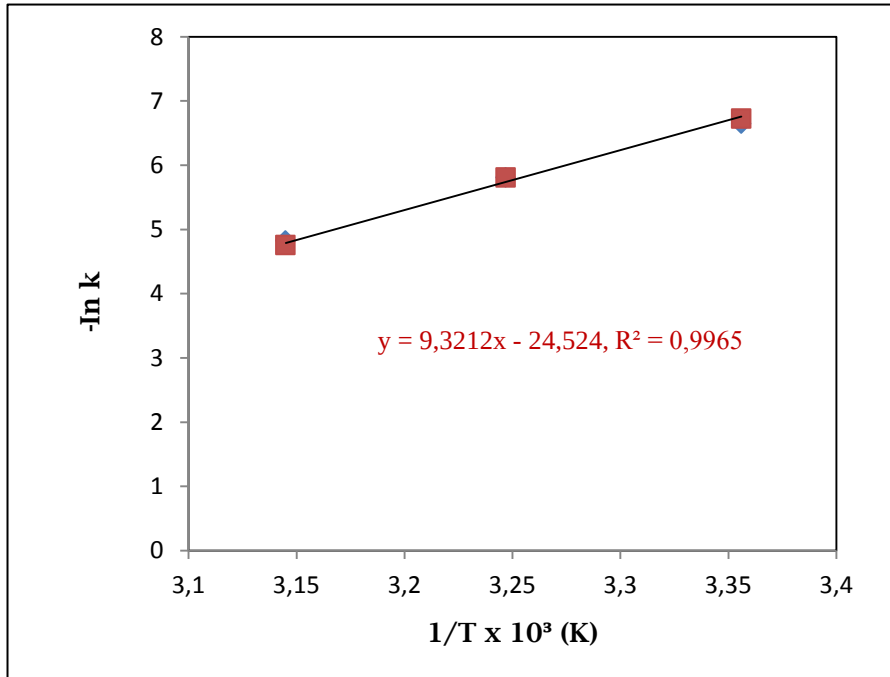
Folyosuz cam kavanozlarda depolanan örnekler için toplam fenolik madde miktarındaki artışa ilişkin aktivasyon enerjisi 72 J mol⁻¹; folyolu cam kavanozlarda depolanan örneklerdeki toplam fenolik madde miktarındaki artışa ilişkin aktivasyon enerjisi ise 78 J mol⁻¹ saptanmıştır (Şekil 4.9 ve Şekil 4.10). Buna göre; folyolu cam kavanozlarda depolanan örneklerde toplam fenolik madde miktarındaki artışın sıcaklıktan daha fazla etkilendiği ileri sürülebilir.

Çizelge 4.4. Farklı sıcaklıklarda folyosuz ve folyolu cam kavanozlarda depolanan pancar suyu konsantresinde toplam fenolik madde miktarındaki artışa ilişkin kinetik parametreler

	Sıcaklık (°C)	Reaksiyon hız sabiti (gün ⁻¹)	Determinasyon katsayısı, R ²	Aktivasyon enerjisi (Ea, J mol ⁻¹)	Q ₁₀	
					25-35 °C	35-45 °C
FOLYOSUZ						
Toplam fenolik madde	25	0.0013	0.9435	72	2.30	2.67
	35	0.0030	0.8136			
	45	0.0080	0.9784			
FOLYOLU						
Toplam fenolik madde	25	0.0012	0.9080	78	2.50	2.87
	35	0.0030	0.8143			
	45	0.0086	0.9711			



Şekil 4.9. Farklı sıcaklıklarda folyosuz olarak depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde toplam fenolik madde artışına ilişkin Arrhenius grafiği



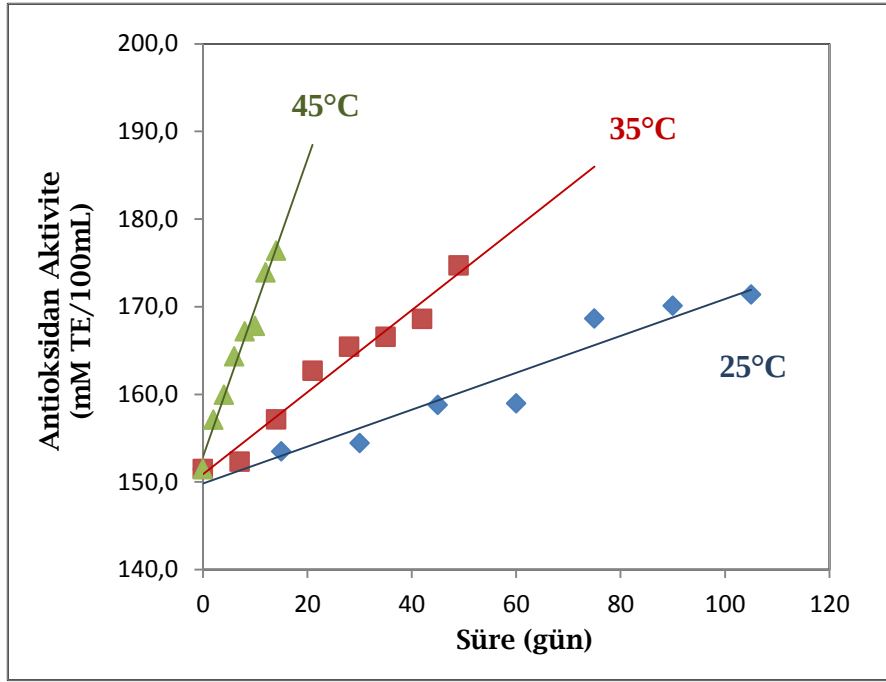
Şekil 4.10. Farklı sıcaklıklarda folyolu olarak depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde toplam fenolik madde artışına ilişkin Arrhenius grafiği

4.3. Antioksidan Aktivitedeki Değişim

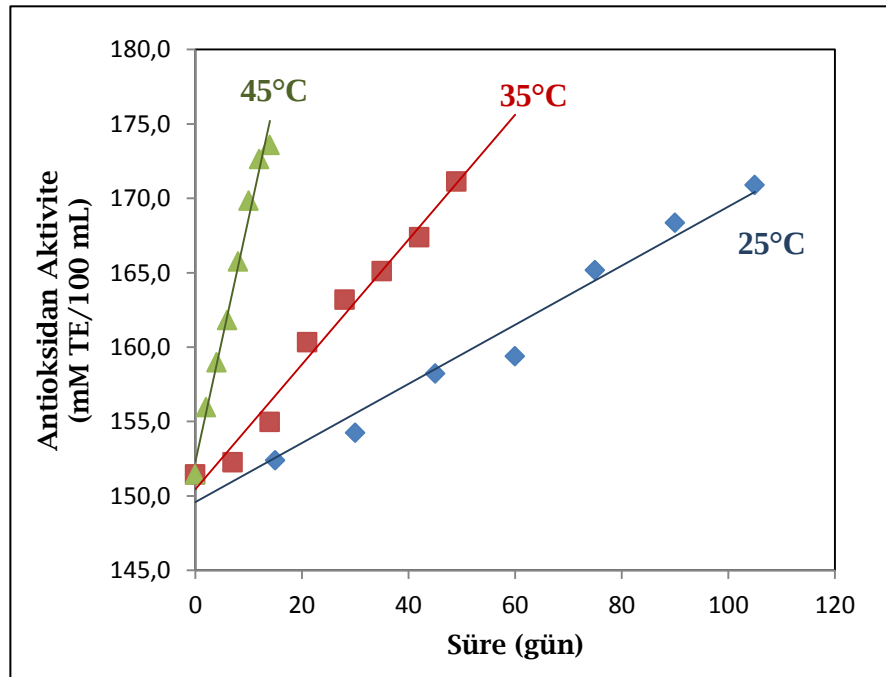
Kırmızı pancar suyu konsantresinin başlangıç antioksidan aktivite değeri 151.4 $\mu\text{mol}/100\text{ mL}$ bulunmuştur. Bu değer, folyosuz cam kavanozlardaki konsantrelerin 25°, 35° ve 45 °C sıcaklıklarda depolanması sonrasında sırasıyla % 13, % 15 ve % 17 artarak 171.4 $\mu\text{mol TE}/100\text{ mL}$, 174.7 $\mu\text{mol TE}/100\text{ mL}$ ve 176.4 $\mu\text{mol TE}/100\text{ mL}$ 'ye yükselmiştir. Folyolu cam kavanozlardaki konsantrelerin antioksidan aktivite değerleri ise 25°, 35° ve 45 °C sıcaklıklarda depolama sonrasında sırasıyla % 12, % 13 ve % 15 artarak 170.9 $\mu\text{mol TE}/100\text{ mL}$, 171.1 $\mu\text{mol TE}/100\text{ mL}$ ve 173.6 $\mu\text{mol TE}/100\text{ mL}$ 'ye ulaşmıştır. Folyosuz ve folyolu cam kavanozlardaki pancar suyu konsantresinde antioksidan aktivitedeki bu artışın 0. derece reaksiyon kinetiğine uyduğu belirlenmiştir (Şekil 4.11 ve Şekil 4.12).

Vicente ve ark. (2006) tarafından yapılan bir çalışmada da; depolama sıcaklığı ve süresi arttıkça çilek örneklerinde antioksidan değerinin yükseldiği gözlenmiştir. Bunun yanında; Özşen ve Erge (2012)'in dağ çileği pulpunun farklı sıcaklıklardaki ısı stabilitesini belirledikleri çalışmalarında sıcaklık artışının antioksidan aktivite değerini artırdığını saptamışlardır.

Folyosuz ve folyolu cam kavanozlarda depolanan pancar suyu konsantrelerinde antioksidan aktivite miktarındaki artışa ilişkin kinetik parametreler Çizelge 4.4'de görülmektedir.



Şekil 4.11. Farklı sıcaklıklarda folyosuz cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde antioksidan aktivitedeki değişim

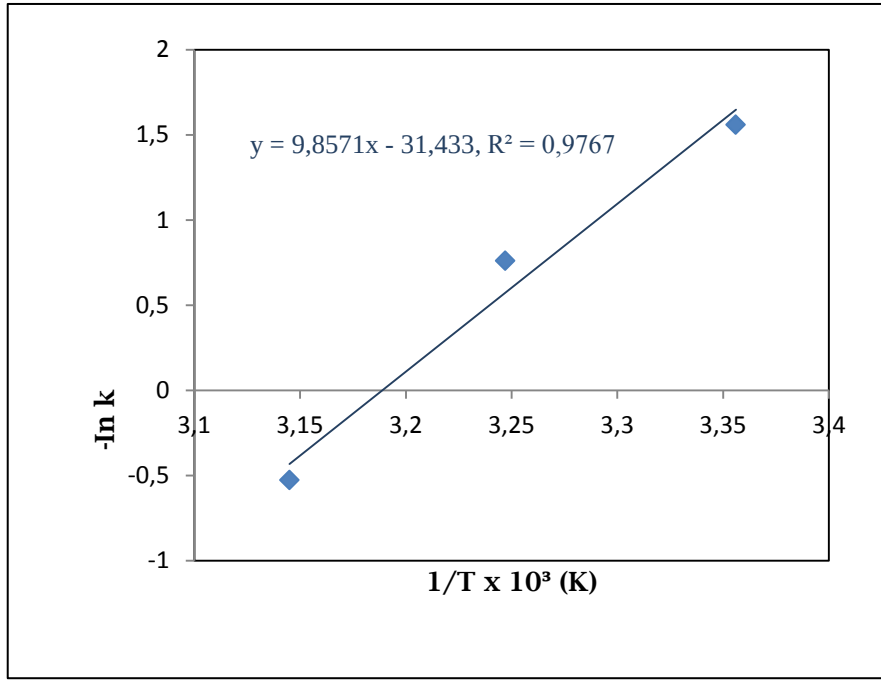


Şekil 4.12. Farklı sıcaklıklarda folyolu cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde antioksidan aktivitedeki değişim

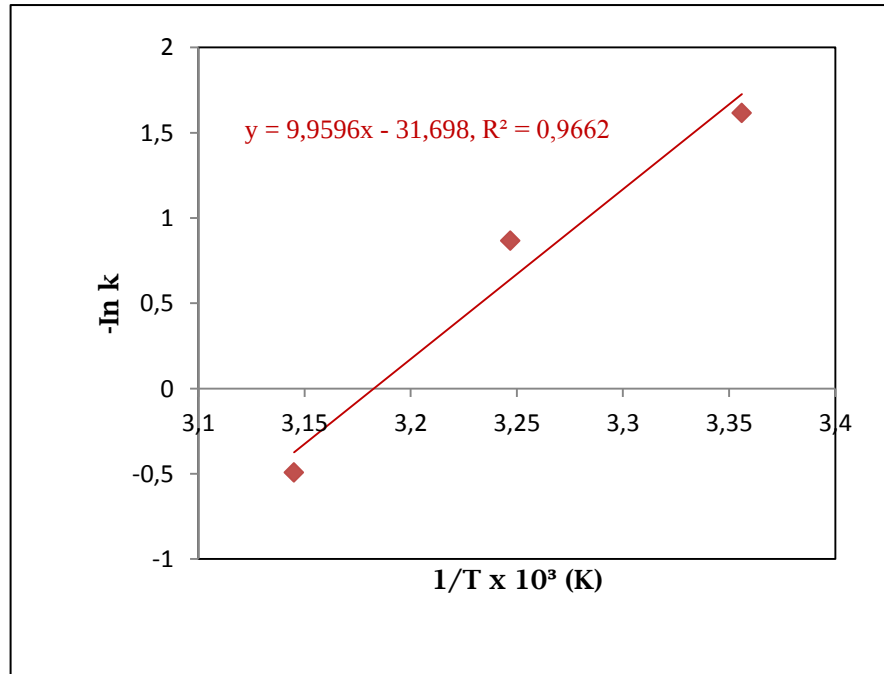
Folyosuz cam kavanozlardaki kırmızı pancar suyu konsantrelerinin antioksidan aktivite artışına ilişkin hız sabitleri 25 °C’de 0.2105 gün⁻¹, 35 °C’de 0.4681 gün⁻¹ ve 45 °C’de 1.696 gün⁻¹ bulunmuştur. Folyolu cam kavanozlardaki örneklerin antioksidan aktivitelerindeki artışa ilişkin hız sabitleri ise 25 °C’de 0.1984 gün⁻¹, 35 °C’de 0.4197 gün⁻¹ ve 45 °C’de 1.6359 gün⁻¹ belirlenmiştir (Çizelge 4.5). Bu değerlere göre, kırmızı pancar suyu konsantresi örneklerinin antioksidan aktivite değerleri depolama sıcaklığı ile paralel olarak artış göstermiştir. Folyosuz cam kavanozlarda depolanan örneklerin antioksidan aktivitelerindeki artış hızlarının, folyolu cam kavanozlarda depolanan örneklere kıyasla daha fazla olduğu gözlenmiştir.

Bu çalışmada, kırmızı pancar suyu konsantresindeki antioksidan aktivite değerlerindeki artışa ilişkin Q₁₀ değerleri Çizelge 4.5’de görülmektedir. Buna göre; sıcaklık, 25 °C’den 35 °C’ye yükseldiğinde antioksidan aktivitenin folyosuz ve folyolu örneklerde sırasıyla 2.22 ve 3.62 kat arttığı belirlenmiştir. Sıcaklık 35 °C’den 45 °C’ye yükseldiğinde ise antioksidan aktivitenin folyosuz ve folyolu örnekler için sırasıyla 2.12 ve 3.90 kat arttığı saptanmıştır.

Kırmızı pancar suyu konsantresindeki antioksidan aktivite artışına ilişkin Arrhenius grafikleri Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’te görülmektedir. Elde edilen aktivasyon enerjilerine göre; antioksidan aktivite artışının sıcaklıktan etkilenme düzeyi, folyosuz (82 J mol⁻¹) ve folyolu (83 J mol⁻¹) örnekler için yaklaşık aynı düzeyde bulunmuştur.



Şekil 4.13. Farklı sıcaklıklarda folyosuz olarak depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde antioksidan aktivite artışına ilişkin Arrhenius grafiği



Şekil 4.14. Farklı sıcaklıklarda folyolu olarak depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde antioksidan aktivite artışına ilişkin Arrhenius grafiği

Çizelge 4.5. Farklı sıcaklıklarda folyosuz ve folyolu cam kavanozlarda depolanan pancar suyu konsantresinde antioksidan aktivite artışına ilişkin kinetik parametreler

	Sıcaklık (°C)	Reaksiyon hız sabiti (gün ⁻¹)	Determinasyon katsayısı, R ²	Aktivasyon enerjisi (Ea, J mol ⁻¹)	Q ₁₀	
					25-35 °C	35-45 °C
FOLYOSUZ						
Antioksidan aktivite	25	0.2105	0.9340	82	2.22	3.62
	35	0.4681	0.9682			
	45	1.6960	0.9805			
FOLYOLU						
Antioksidan aktivite	25	0.1984	0.9707	83	2.12	3.90
	35	0.4197	0.9819			
	45	1.6359	0.9876			

Kırmızı pancar suyu konsantresinin depolanması sonrasında antioksidan aktivite miktarlarındaki artışın betalainin parçalanma ürünlerinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Nitekim; Pedreno ve Escribano (2001); betalainin parçalanma ürünleri olan betalamik asit (BA) ve siklo-dopa (5-O- β -D-glikosit) bileşiklerinin antioksidan aktiviteye katkı sağladığını bildirmektedir. Ayrıca, örneklerdeki antioksidan aktivitedeki artışın toplam fenolik madde artışı ile de ilişkili olduğu düşünülmektedir. Nitekim; antioksidan aktivite değerleri ile toplam fenolik madde miktarları arasında yüksek ve önemli bir korelasyon ($r= 0.896-0.996$, $p<0.01$) saptanmıştır.

4.4. Görsel Renk Değişimi

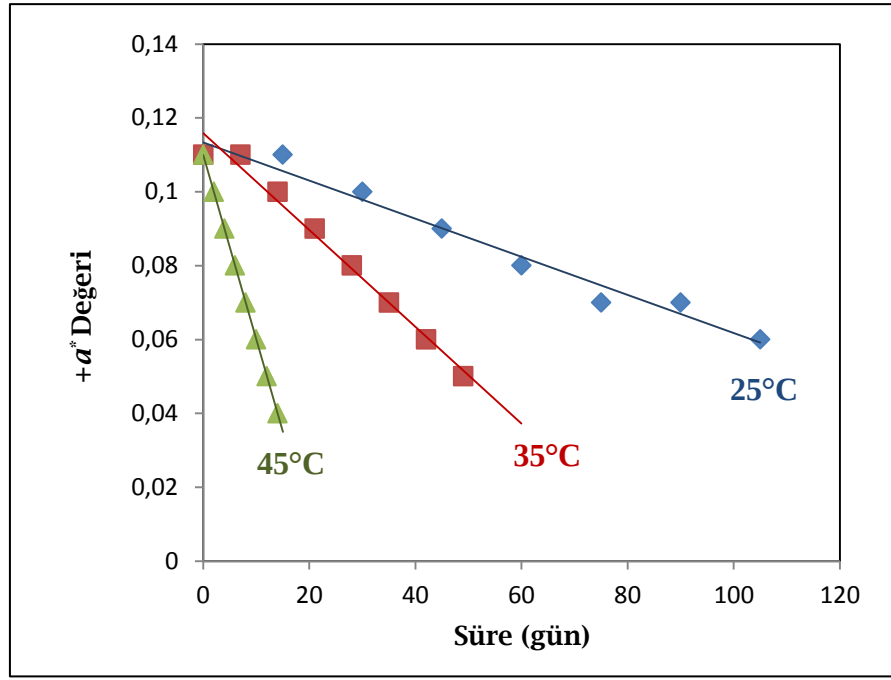
Kırmızı pancar suyu konsantresinin 25°, 35° ve 45 °C sıcaklıklarda depolanması sonunda görsel rengindeki değişim CIE $L^* a^* b^* C^*$ renk sistemine göre belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre sıcaklık artışına paralel olarak L^* , b^* ve C^* değerlerinde artış; a^* değerinde ise azalış gözlenmiştir. *Hue* renk tonu değerinde ise belirgin bir değişim saptanmamıştır. Bu çalışmada, renk değerlerindeki değişimin 0. derece reaksiyon kinetiğine göre gerçekleştiği saptanmış ve her bir renk parametresindeki değişim aşağıda verilmiştir. Özşen ve Erge (2012); 60°, 70°, 80° ve 90 °C sıcaklıklarda ısıtılan dağ çileğinin görsel renk değerlerindeki değişimin 1. derece reaksiyon kinetiğine uyduğunu belirlemiştir. Tiwari ve ark. (2009), ozonlama yaptıkları üzüm suyu örneklerinde ise a^* ve b^* değerlerindeki değişimin 1. derece reaksiyon kinetiğine uyduğunu, aydınlatma değerinin (L^*) ise 0. derece reaksiyona göre kayba uğradığını bildirmişlerdir. Stintzing ve ark. (2004), kırmızı pancar (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris*) suyuna 85 °C’de 8 saat uygulanan ısıl işlemden sonra görsel

renk değerlerindeki değişimi incelemişlerdir. (L^*) aydınlatma değerinin ve (C^*) renk yoğunluğu değerinin yükseldiğini saptamışlardır.

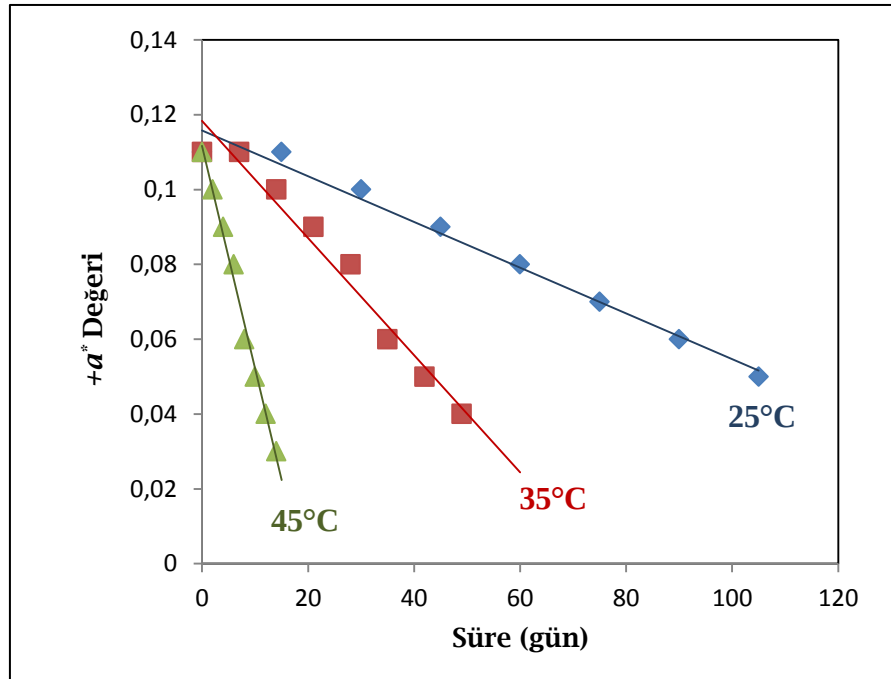
4.4.1. $+a^*$ değeri

Folyosuz ve folyolu cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinin $+a^*$ değerinin, depolama sıcaklık ve süresine bağlı olarak azaldığı gözlenmiştir. $+a^*$ değerindeki bu azalışın betasiyanin degradasyonuna bağlı olduğu düşünülmektedir. Nitekim; farklı sıcaklıklarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantrelerinin $+a^*$ değerleri ile betasiyanin miktarları yüksek ve önemli korelasyon katasayıları ($r=0.901-0.973$, $p<0.01$) saptanmıştır.

Folyosuz cam kavanozlarda 25 °C’de depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinin $+a^*$ değerinin, 0.11’den 0.06’e düşerek % 45.5 düzeyinde azaldığı belirlenmiştir. 35 °C ve 45 °C’deki örneklerin $+a$ değerleri ise, 0.11’den sırasıyla 0.05’e ve 0.04’ye düşerek % 54.5 ve % 63.6 düzeylerinde azalmıştır. Başlangıç değeri 0.11 olan folyolu cam kavanozlarda depolanan örneklerin $+a^*$ değerleri de, 25 °C, 35 °C ve 45 °C sıcaklıklarda depolama sonunda sırasıyla 0.05, 0.04 ve 0.03 bulunmuş ve sırasıyla % 54.5, % 63.6 ve % 72.7 düzeylerinde azalma olduğu belirlenmiştir. Kırmızı pancar suyu konsantrelerinin $+a^*$ değerindeki bu azalışın 0. derece reaksiyon kinetiğine uyduğu belirlenmiştir (Şekil 4.15 ve Şekil 4.16). Folyosuz ve folyolu cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantrelerinde $+a^*$ değerindeki azalışa ilişkin kinetik parametreler Çizelge 4.6’da görülmektedir.



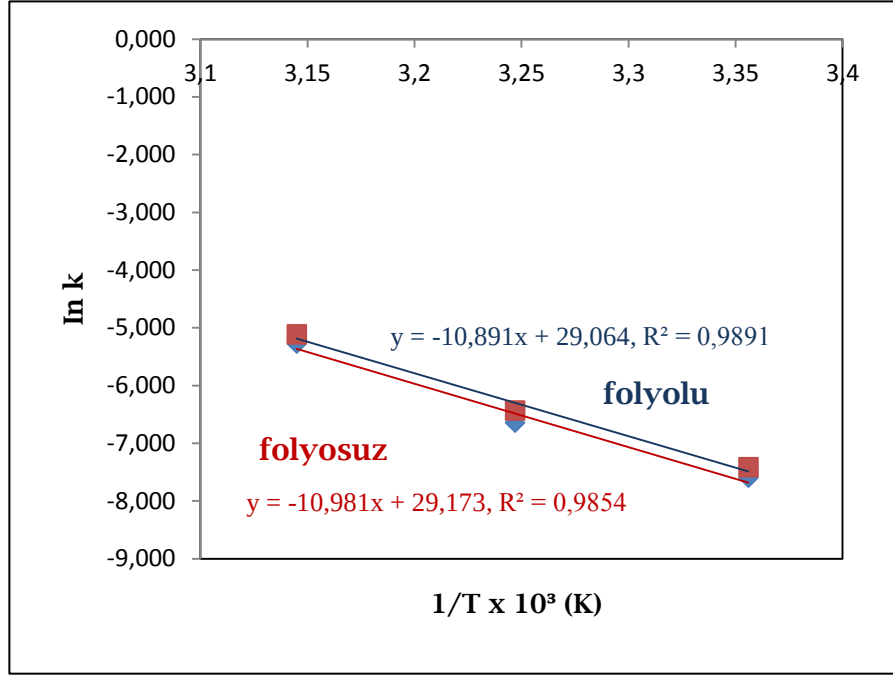
Şekil 4.15. Farklı sıcaklıklarda folyosuz cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinin $+a^*$ değerindeki değişim



Şekil 4.16. Farklı sıcaklıklarda folyolu cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinin $+a^*$ değerindeki değişim

Kırmızı pancar suyu konsantresinin $+a^*$ değeriindeki azalma hızı sıcaklık ve süreye bağlı olarak artmıştır. Nitekim; folyosuz cam kavanozlarda depolanan örneklerin $+a^*$ değeriindeki kayba ilişkin hız sabiti 25 °C’de 0.0005 $+a^*$ değeri gün⁻¹ belirlenirken, 35 °C ve 45 °C sıcaklıklarda bu değer sırasıyla 0.0013 $+a^*$ değeri gün⁻¹ ve 0.0051 $+a^*$ değeri gün⁻¹ bulunmuştur. Folyolu cam kavanozlarda depolanan örneklerin $+a^*$ değeriindeki kayba ilişkin reaksiyon hız sabitleri ise 25 °C’de 0.0006 $+a^*$ değeri gün⁻¹ iken; 35 °C’de ve 45 °C sıcaklıklarda sırasıyla 0.0016 $+a^*$ değeri gün⁻¹ ve 0.0060 $+a^*$ değeri gün⁻¹ belirlenmiştir.

Folyosuz cam kavanozlarda depolanan örnekler için Q_{10} değerleri 25 °- 35 °C ve 35 °- 45 °C sıcaklık aralıkları için sırasıyla 2.60 ve 3.92 bulunmuştur. Folyolu cam kavanozlarda depolanan örnekler için ise Q_{10} değerleri 25 °- 35 °C ve 35 °- 45 °C sıcaklık aralıklarında sırasıyla 2.66 ve 3.75 hesaplanmıştır. Q_{10} ve aktivasyon enerjileri dikkate alındığında; folyosuz ve folyolu cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantrelerinin kırmızı renginin sıcaklıktan yaklaşık aynı düzeyde etkilendiği bulunmuştur. $+a^*$ değeriindeki kayba ilişkin aktivasyon enerjisi folyosuz cam kavanozlarda depolanan örnekler için 91.2 J mol⁻¹; folyolu cam kavanozlarda depolanan örnekler için ise 90.5 J mol⁻¹ hesaplanmıştır. $+a^*$ değeriindeki kayba ilişkin Arrhenius grafikleri Şekil 4.17’de görülmektedir.



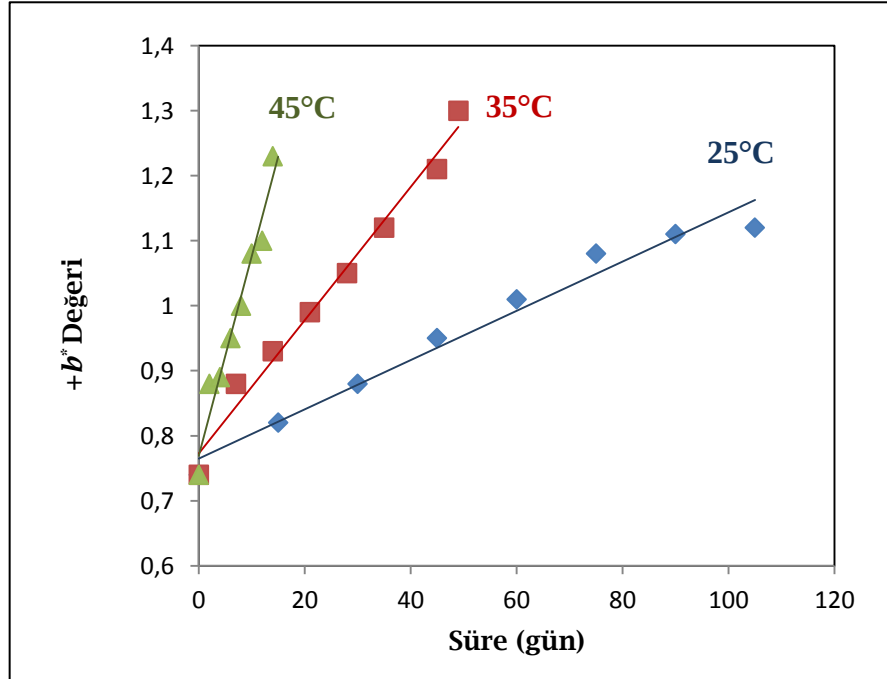
Şekil 4.17. Farklı sıcaklıklarda folyosuz ve folyolu olarak depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde $+a^*$ değerinin azalışına ilişkin Arrhenius grafiği

Çizelge 4.6. Farklı sıcaklıklarda folyosuz ve folyolu cam kavanozlarda depolanan pancar suyu konsantresinin $+a^*$ değerinin azalışına ilişkin kinetik parametreler

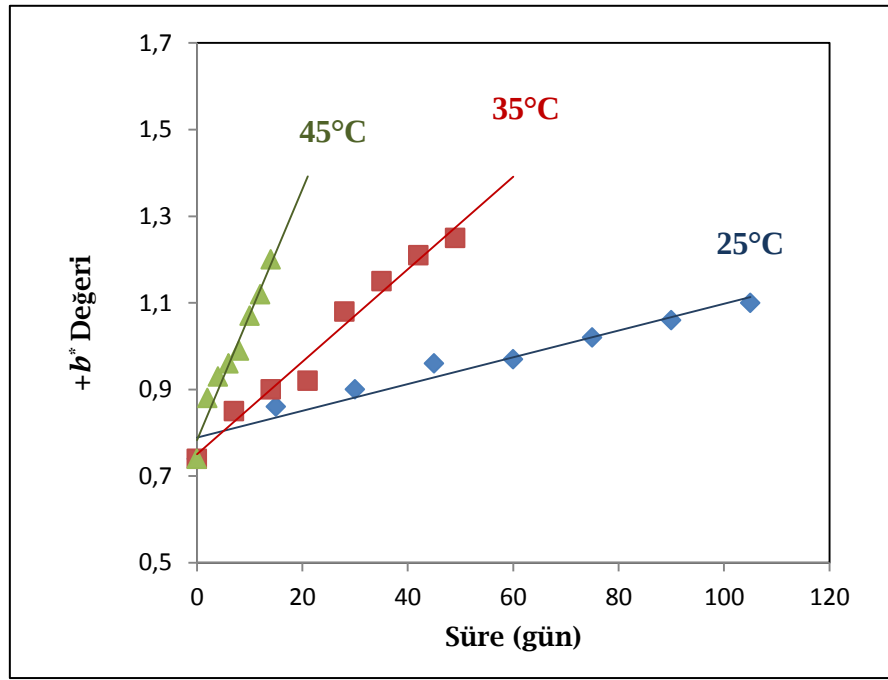
	Sıcaklık (°C)	Reaksiyon hız sabiti ($+a^*$ değeri gün ⁻¹)	Determinasyon katsayısı, R ²	Aktivasyon enerjisi (Ea, J mol ⁻¹)	Q ₁₀	
					25-35 °C	35-45 °C
FOLYOSUZ						
$+a^*$ değeri	25	0.0005	0.9719	91.2	2.60	3.92
	35	0.0013	0.9836			
	45	0.0051	0.9993			
FOLYOLU						
$+a^*$ değeri	25	0.0006	0.9837	90.5	2.66	3.75
	35	0.0016	0.9689			
	45	0.0060	0.9921			

4.4.2. $+b^*$ değeri

Kırmızı pancar suyu konsantresinin $+b^*$ değerleri, depolama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak artmıştır. Folyosuz cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinin $+b^*$ değeri, 0.74'ten 1.12'e yükselerek % 51.4 düzeyinde artış göstermiştir. Aynı değerler, 35 °C ve 45 °C sıcaklıklar için depolama sonunda sırasıyla 1.30'a ve 1.23'e yükselerek sırasıyla % 75.6 ve % 66.2 düzeylerinde artış tespit edilmiştir. Başlangıç değeri 0.74 olan $+b^*$ değeri, folyolu cam kavanozlardaki örneklerin 25 °C, 35 °C ve 45 °C sıcaklıklarda depolanması sonrasında sırasıyla 1.10, 1.25 ve 1.20 belirlenmiştir. $+b^*$ değerindeki bu artışın 0. derece reaksiyon kinetiğine uyduğu saptanmıştır (Şekil 4.18 ve Şekil 4.19). Folyosuz ve folyolu cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantrelerinde $+b^*$ değerindeki artışa ilişkin kinetik parametreler Çizelge 4.7'de görülmektedir.



Şekil 4.18. Farklı sıcaklıklarda folyosuz cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinin $+b^*$ değerindeki değişim

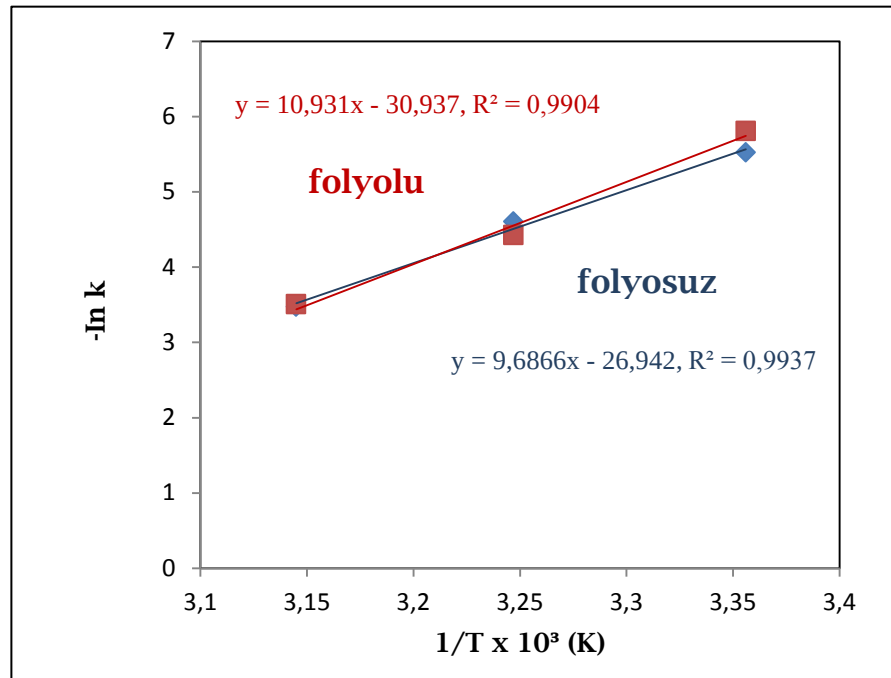


Şekil 4.19. Farklı sıcaklıklarda folyolu cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinin $+b^*$ değerindeki değişim

Kırmızı pancar suyu konsantresinin folyosuz cam kavanozlarda 25 °C’de $+b^*$ değerindeki artışa ilişkin hız sabiti 0.0038 $+b^*$ değeri gün⁻¹ belirlenmiştir. Bu değer, 35 °C’de depolanan örneklerde yaklaşık 3 kat, 45 °C’de depolanan örneklerde ise 8 kat artarak sırasıyla 0.0110 b^* değeri gün⁻¹ ve 0.0307 $+b^*$ değeri gün⁻¹ bulunmuştur. Diğer taraftan, folyolu cam kavanozlarda depolanan örneklerin $+b^*$ değerlerinin, folyosuz cam kavanozlarda depolanan örneklere kıyasla daha yavaş değişim gösterdiği saptanmıştır. Nitekim; örneklerin sarı renk değerindeki artışa ilişkin reaksiyon hız sabitleri 25 °C, 35°C ve 45 °C için 0.0034, 0.0105 ve 0.0290 $+b^*$ değeri gün⁻¹ belirlenmiştir.

Depolama sıcaklığı 25 °C’den 35 °C’ye ve 35 °C’den 45 °C’ye yükseldiğinde folyosuz depolanan kırmızı pancar suyu konsantrelerinin $+b^*$ değerinin, sırasıyla 2.89 ve 2.79 kat arttığı belirlenmiştir. Folyolu cam kavanozlarda depolanan örnekler için ise bu değerler sırasıyla 3.09 ve 2.76 hesaplanmıştır. Folyosuz cam kavanozlarda

depolanan örneklerin $+b^*$ değerindeki değişimin sıcaklıktan etkilenme düzeyinin folyolu cam kavanozlarda depolanan örneklerle kıyasla daha fazla olduğu belirlenmiştir. Nitekim; folyosuz cam kavanozlarda depolanan örneklerin $+b^*$ değerindeki değişime ilişkin aktivasyon enerjisi 81 J mol^{-1} ; folyolu cam kavanozlarda depolanan örneklerin $+b^*$ değerindeki değişime ilişkin aktivasyon enerjisi ise 91 J mol^{-1} saptanmıştır. b^* değerindeki artışa ilişkin Arrhenius grafikleri Şekil 4.19’da görülmektedir.



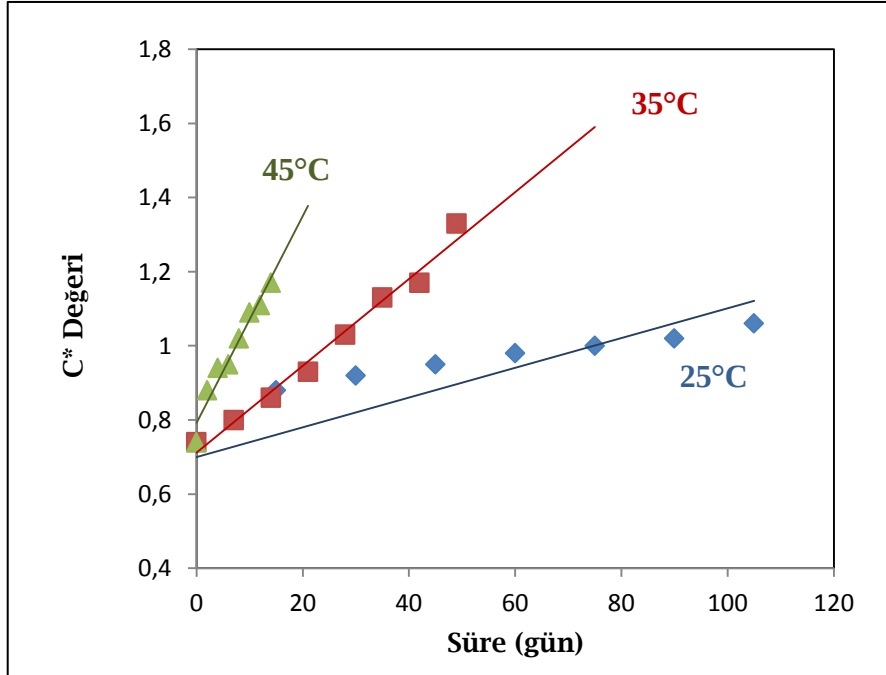
Şekil 4.20. Farklı sıcaklıklarda folyosuz ve folyolu cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde $+b^*$ değerindeki artışa ilişkin Arrhenius grafiği

Çizelge 4.7. Farklı sıcaklıklarda folyosuz ve folyolu cam kavanozlarda depolanan pancar suyu konsantresinin $+b^*$ değerindeki artışa ilişkin kinetik parametreler

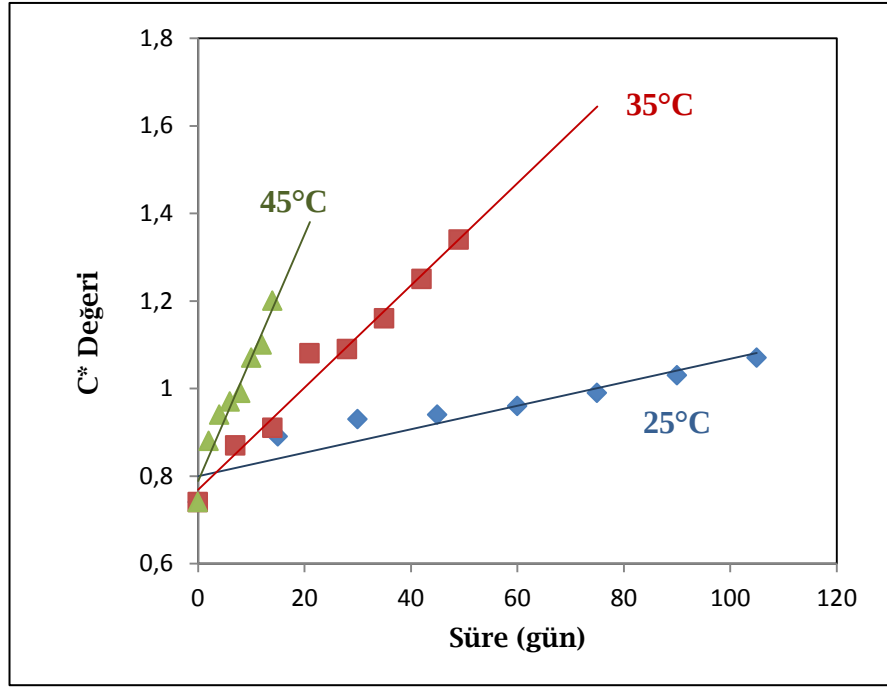
	Sıcaklık (°C)	Reaksiyon hız sabiti (+ <i>b</i> [*] değeri gün ⁻¹)	Determinasyon katsayısı, R ²	Aktivasyon enerjisi (Ea, J mol ⁻¹)	Q ₁₀	
					25-35 °C	35-45 °C
FOLYOSUZ						
+ <i>b</i> [*] değeri	25	0.0038	0.9716	81	2.89	2.79
	35	0.0110	0.9908			
	45	0.0307	0.9639			
FOLYOLU						
+ <i>b</i> [*] değeri	25	0.0034	0.9576	91	3.09	2.76
	35	0.0105	0.9829			
	45	0.0290	0.9644			

4.4.3. C^* değeri

Folyosuz ve folyolu cam kavanozlarda depolanan örneklerin C^* değerinin depolama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak arttığı saptanmıştır. 25 °C, 35 °C ve 45 °C sıcaklıklarda depolanan folyosuz cam kavanozlardaki kırmızı pancar suyu konsantrelerinin C^* değeri, sırasıyla % 43.2, % 79.7 ve % 58.1 artarak 0.74'ten sırasıyla 1.06'ya, 1.33'e ve 1.17'ye yükselmiştir. Folyolu cam kavanozlarda depolanan örneklerin C^* değerleri ise, 25°, 35° ve 45 °C sıcaklıklarda depolama sonunda 1.07, 1.34 ve 1.24 ölçülmüştür. Kırmızı pancar suyu konsantrelerinin C^* değerindeki artışın 0. derece reaksiyon kinetiğine uyduğu belirlenmiştir (Şekil 4.21 ve Şekil 4.22). Folyosuz ve folyolu cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantrelerinde C^* değerindeki artışa ilişkin kinetik parametreler Çizelge 4.8'de görülmektedir.



Şekil 4.21. Farklı sıcaklıklarda folyosuz cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinin C^* değerindeki değişim

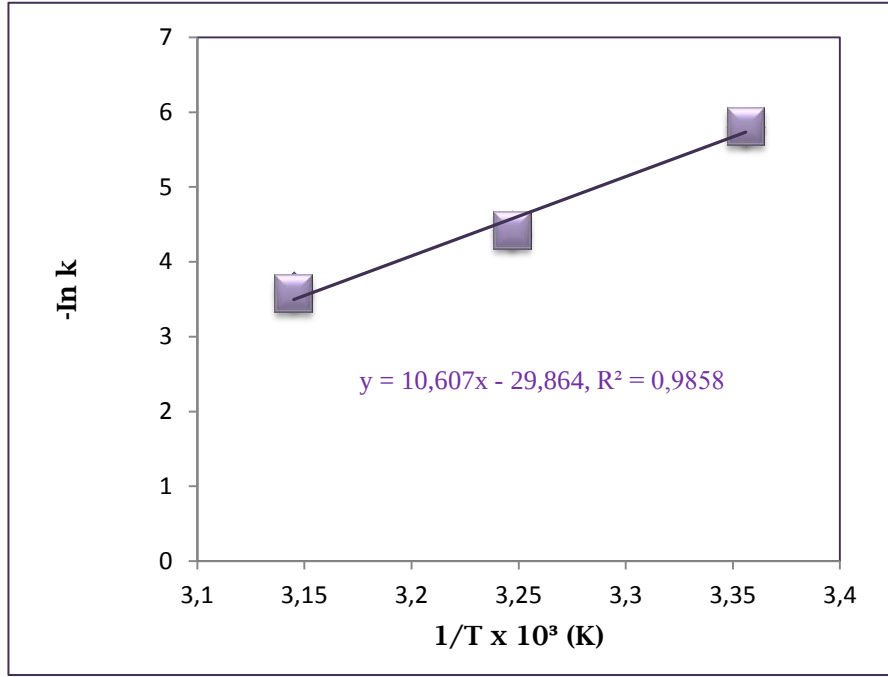


Şekil 4.22. Farklı sıcaklıklarda folyolu cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinin C^* değerindeki değişim

Bu çalışmada, C^* değerindeki değişimin sıcaklığa duyarlılığını belirlemek amacıyla Q_{10} ve aktivasyon enerjisi değerleri de hesaplanmıştır. Folyosuz cam kavanozlarda depolanan örnekler için Q_{10} değerleri 25°-35 °C ve 35°-45 °C sıcaklık aralıkları için sırasıyla 4.68 ve 2.38; folyolu cam kavanozlarda depolanan örnekler için ise sırasıyla 4.68 ve 2.41 hesaplanmıştır. Aktivasyon enerjisi ise, folyosuz ve folyolu cam kavanozlarda depolanan örneklerde 88 J mol⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Her iki örnek için aynı bulunan Arrhenius grafiği Şekil 4.23’de görülmektedir.

Çizelge 4.8. Farklı sıcaklıklarda folyosuz ve folyolu cam kavanozlarda depolanan pancar suyu konsantresinin C^* değerinin artışına ilişkin kinetik parametreler

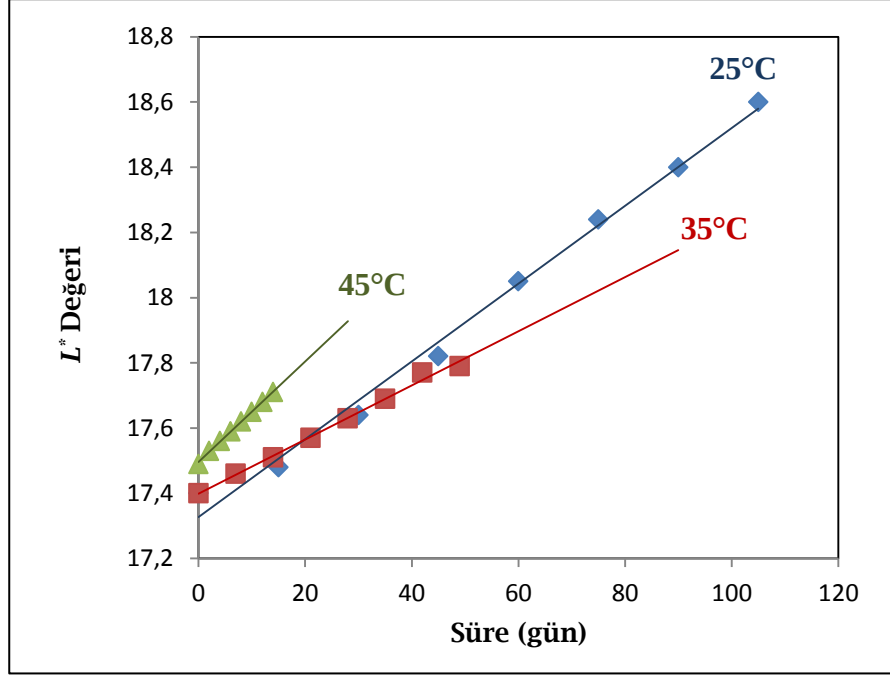
	Sıcaklık (°C)	Reaksiyon hız sabiti (C^* değeri gün ⁻¹)	Determinasyon katsayısı, R^2	Aktivasyon enerjisi (Ea, J mol ⁻¹)	Q_{10}	
					25-35 °C	35-45 °C
FOLYOSUZ						
C^* değeri	25	0.0025	0.8764	88	4.68	2.38
	35	0.0117	0.9822			
	45	0.0279	0.9562			
FOLYOLU						
C^* değeri	25	0.0025	0.8714	88	4.68	2.41
	35	0.0117	0.9774			
	45	0.0282	0.9513			



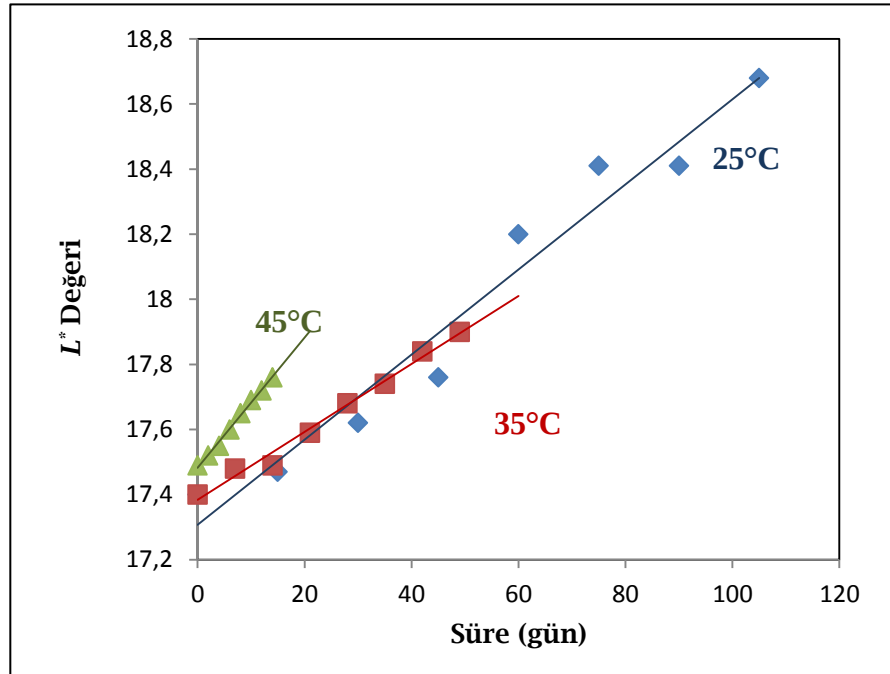
Şekil 4.23. Farklı sıcaklıklarda folyosuz ve folyolu cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantrelerinin C^* değerindeki artışa ilişkin Arrhenius grafiği

4.4.4. L^* değeri

Örneklerin L^* değerinin depolama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak % 2-7 aralığında arttığı ve bu artışın 0. derece reaksiyon kinetiğine uyduğu belirlenmiştir (Şekil 4.24 ve Şekil 4.25). Folyosuz cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinin L^* değeri depolama başlangıcında 17.4 olarak belirlenmiştir. Bu değer; 25°, 35° ve 45 °C sıcaklıklarda depolama sonunda sırasıyla 18.31, 17.97 ve 17.73 ölçülmüştür. Folyolu cam kavanozlarda depolanan örnekler için L^* değerleri ise, sırasıyla 18.59, 18.06 ve 17.76 saptanmıştır. Folyosuz ve folyolu cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantrelerinde L^* değerindeki artışa ilişkin kinetik parametreler ise Çizelge 4.9’da görülmektedir.



Şekil 4.24. Farklı sıcaklıklarda folyosuz cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinin L^* değerindeki değişim



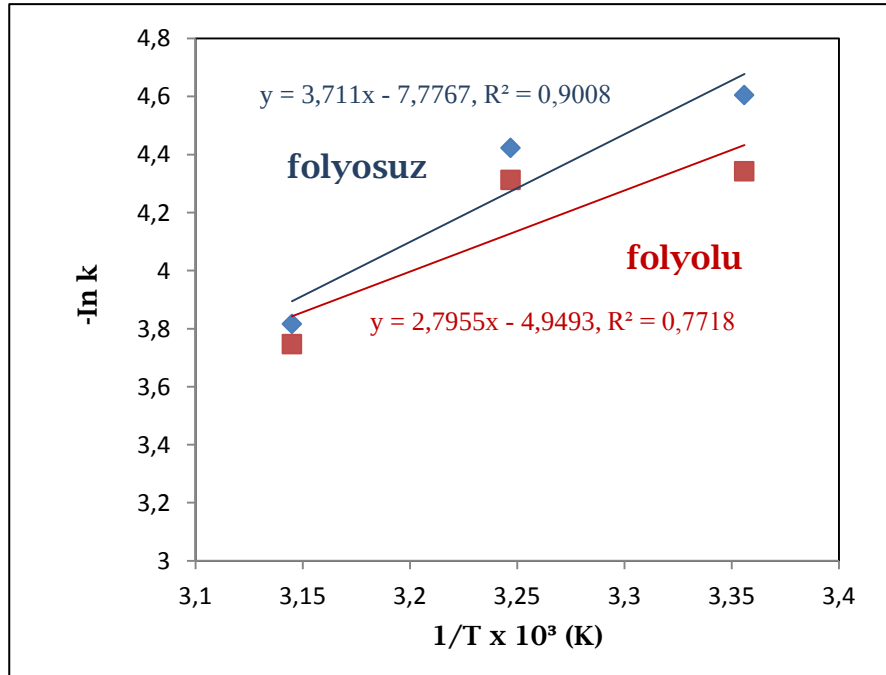
Şekil 4.25. Farklı sıcaklıklarda folyolu cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinin L^* değerindeki değişim

Çizelge 4.9. Farklı sıcaklıklarda folyosuz ve folyolu cam kavanozlarda depolanan pancar suyu konsantrelerinin L^* değerindeki artışa ilişkin kinetik parametreler

	Sıcaklık (°C)	Reaksiyon hız sabiti (L^* değeri gün ⁻¹)	Determinasyon katsayısı, R^2	Aktivasyon enerjisi (Ea, J mol ⁻¹)	Q ₁₀	
					25-35 °C	35-45 °C
FOLYOSUZ						
L^* değeri	25	0.0099	0.9166	31	1.18	1.86
	35	0.0117	0.9550			
	45	0.0218	0.9561			
FOLYOLU						
L^* değeri	25	0.0130	0.9338	23	1.03	1.76
	35	0.0134	0.9498			
	45	0.0236	0.9606			

Kırmızı pancar suyu konsantrelerinde L^* değerinin sıcaklık ve süreye bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Nitekim; folyosuz cam kavanozlarda depolanan örneklerin L^* değerindeki artışa ilişkin reaksiyon hız sabitleri; 25 °C, 35 °C ve 45°C sıcaklıklar için sırasıyla 0.0099, 0.0117 ve 0.0218 L^* değeri gün^{-1} bulunmuştur. Bu değerler, folyolu cam kavanozlarda depolanan örnekler için sırasıyla 0.0130, 0.0134 ve 0.0236 L^* değeri gün^{-1} belirlenmiştir.

Kırmızı pancar suyu konsantrelerindeki L^* değerindeki artışa ilişkin aktivasyon enerjisi; folyosuz cam kavanozlarda depolanan örneklerde 31 J mol^{-1} ; folyolu cam kavanozlarda depolanan örneklerde ise 23 J mol^{-1} hesaplanmıştır. Buna göre; folyosuz örneklerin L^* değerindeki değişimin sıcaklığa karşı daha duyarlı olduğu görülmektedir. L^* değerindeki değişime ilişkin Arrhenius grafikleri Şekil 4.26’da verilmektedir.



Şekil 4.26. Farklı sıcaklıklarda folyosuz ve folyosuz cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde L^* değerindeki artışa ilişkin Arrhenius grafiği

4.4.5. *h* değeri

Folyosuz ve folyolu cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantrelerinin *h* değerlerinde belirgin bir değişim tespit edilememiştir. Örneklerin depolama süresince *hue* değerlerindeki değişim Çizelge 4.10’da verilmektedir.

Çizelge 4.10. Farklı sıcaklıklarda folyosuz ve folyolu cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantresinde *h* değerinin değişimi

Sıcaklık (°C)	Süre (gün)	h değeri	
		Folyosuz	Folyolu
25	0	85.75±0.0	85.75±0.0
	15	84.06±1.2	84.73±0.6
	30	83.83±0.9	83.98±1.0
	45	83.98±0.7	82.45±1.1
	60	84.10±0.3	83.57±0.6
	75	82.54±0.1	82.35±0.9
	90	84.31±0.8	85.27±0.1
	105	86.83±0.4	85.62±1.3
35	0	85.75±0.0	85.75±0.0
	7	86.53±1.1	86.92±0.8
	14	86.42±0.9	85.53±0.3
	21	86.59±0.2	85.41±0.5
	28	85.50±0.6	85.66±0.3
	35	86.54±0.1	85.95±0.6
	42	87.77±0.5	85.68±1.3
	49	87.97±0.1	83.94±0.1
45	0	85.75±0.0	85.75±0.0
	2	85.90±1.2	85.87±0.7
	4	81.05±1.1	85.83±0.3
	6	86.57±0.5	85.26±0.5
	8	85.64±0.3	85.86±0.3
	10	87.86±0.2	85.98±0.5
	12	89.78±1.1	89.22±0.6
	14	90.10±0.6	89.00±0.1

5. SONUÇLAR

Kırmızı pancar suyu konsantresinin bioaktif bileşenler bakımından oldukça zengin olması, yapısında bulunan renk pigmenti betalain sayesinde doğal gıda renklendiricisi olarak tercih edilmesi ve sağlık üzerine olumlu etkileri nedeniyle gıda endüstrisinde kullanılmasının yanında, kırmızı pancar suyu konsantresinin stabilitesi ve depolama koşullarının yeteri kadar araştırılmamış olması bu çalışmanın hazırlanmasına neden olmuştur. Bu amaçla farklı sıcaklıklarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantrelerinin betalain değeri, toplam fenolik madde, antioksidan aktivite ve görsel renk değerleri değerlendirilmiştir.

1. Folyosuz ve folyolu cam kavanozlarda kırmızı pancar suyu konsantresindeki betalaini oluşturan betasiyanin ve betaksantin miktarlarının başlangıç değerleri sırasıyla 1179 mg/L ve 883 mg/L bulunmuştur. Örneklerdeki betasiyanin ve betaksantin miktarlarının depolama sıcaklık ve süresine bağlı olarak azaldığı saptanmıştır. Betasiyanin ve betaksantin kaybının 1. derece reaksiyon kinetiğine göre gerçekleştiği belirlenmiştir. Betasiyanin ve betaksantin kayıpları için aktivasyon enerjisi; folyosuz cam kavanozlarda depolanan konsantrelerde sırasıyla 65 J mol⁻¹ ve 90 J mol⁻¹ bulunmuştur. Folyolu cam kavanozlarda depolanan konsantrelerde ise her iki bileşen kaybına ilişkin aktiasyon enerjisi 91 J mol⁻¹ hesaplanmıştır.

Folyosuz cam kavanozlarda 25°C’de depolanan pancar suyu konsantrelerinde betasiyaninin yarılanma süresi ($t_{1/2}$) yaklaşık 85 gün; folyolu cam kavanozlarda depolanan örneklerdeki betasiyaninlerin yarılanma süresi ($t_{1/2}$) ise yaklaşık 198 gün olarak belirlenmiştir. Aynı sıcaklıkta betaksantin için de yaklaşık aynı değerler bulunmuştur. Folyolu cam kavanozlarda depolanan konsantrelerdeki betasiyanin ve betaksantin yarılanma süreleri ise folyosuz cam kavanozlarda depolanan örneklerle kıyasla yaklaşık 2-2.5 kat daha kısa belirlenmiştir.

2. Folyosuz ve folyolu cam kavanozlardaki pancar suyu konsantresinin 25°, 35° ve 45°C sıcaklıklarda depolanması sonrasında toplam fenolik madde miktarının arttığı saptanmıştır. Kırmızı pancar suyu konsantresindeki toplam fenolik madde artışının 1. derece reaksiyon kinetiğine göre gerçekleştiği tespit edilmiştir. Toplam fenolik madde artışı için aktivasyon enerjisi; folyosuz cam kavanozlarda depolanan örnekler için 72 J mol⁻¹; folyolu cam kavanozlarda depolanan örnekler için ise 78 J mol⁻¹ saptanmıştır.
3. Folyosuz ve folyolu cam kavanozlardaki pancar suyu konsantresinin 25°, 35° ve 45°C sıcaklıklarda depolanması sonrasında antioksidan aktivitenin arttığı ve bu artışın 1. derece reaksiyon kinetiğine uyduğu belirlenmiştir. Antioksidan aktivitedeki artışa ilişkin aktivasyon enerjisi, folyosuz cam kavanozlarda depolanan örnekler için 82 J mol⁻¹; folyolu cam kavanozlarda depolanan örnekler için ise 83 J mol⁻¹ saptanmıştır.

4. Farklı sıcaklıklarda folyosuz ve folyolu cam kavanozlarda depolanan kırmızı pancar suyu konsantrelerinin görsel renk parametrelerinden L^* , $+b^*$, *Chroma* (C^*) değerlerinde artış, $+a^*$ değerinde ise azalma gözlenmiştir. *Hue* değerlerinde ise belirgin bir değişim saptanmamıştır. Görsel renk değerlerindeki değişimlerin 0. derece reaksiyon kinetiğine uyduğu saptanmıştır.

KAYNAKLAR

- Akalın, A. C. 2011. Nar Şaraplarında Antioksidan Fenolik Bileşiklerin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 57.
- Azeredo, H. 2009. Betalains: Properties, Sources, Applications and Stability- A Review. International Journal of Food Science & Technology, 44, 2365-2376.
- Cai, Y. Z., Sun, M. ve Corke, H. 1998. Colorant Properties and Stability of *Amaranthus* Betacyanin Pigments. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 46, 4491-4495.
- Cai, Y. Z., Sun, M. ve Corke, H. 2003. Antioxidant Activity of Betalains from Plants in the Amaranthaceae. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51, 2288-2294.
- Cai, Y. Z., Sun, M. ve Carke, H. 2005. HPLC Characterization of Betalains from Plants in the Amaranthaceae. Journal of Chromatographic Science, 43, 454-460.
- Carle, R., Stintzing, F. C. ve Moßhammer, M. R. 2005. Colour Studies on Fruit Juice Blends from *Opuntia* and *Hylocereus cacti* and Betalain-Containing Model Solutions Derived Therefrom. Food Research International, 38, 975-981.
- Castellar, R., Oban, J. M., Alacid, M. ve Lopez, F. 2003. Color Properties and Stability of Betacyanins from *Opuntia* Fruits. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51, 2772-2776.

Czapski, J., Mikolajczyk, K. ve Kaczmarek, M. 2009. Relationship Between Antioxidant Capacity of Red Beet Juice and Contents of Its Betalain Pigments. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, 59 (2), 119-122.

Daeseok, H., Seok, J.K. ve Dang, M. K. 1998. Repeated Regeneration of Degraded Red Beet Juice Pigments in the Presence of Antioxidants. Journal of Food Science, 63(1), 69-72.

Devasagayam, T., Tilak, J., Boloor, K., Sane, K. S., Ghaskadbi, S. S. ve Lele, R. 2004. Free Radicals and Antioxidants in Human Health: Current Status and Future Prospects. Journal of The Association of Physicians of India, 52, 794-804.

Figiel, A. 2010. Drying Kinetics and Quality of Beetroots Dehydrated by Combination of Convective and Vacuum-Microwave Methods. Journal of Food Engineering, 98, 461-470.

Gasztonyi, M. N., Daood, H., Hajos, M. T. ve Biacs, P. 2001. Comparison of red beet (*Beta vulgaris var conditiva*) varieties on the basis of their pigment components. Journal of the Science of Food and Agriculture, 81, 932-933.

Georgiev, V., Weber, J., Kneschke, E., Denev, P. N., Bley, T. ve Pavlov, A. I. 2010. Antioxidant Activity and Phenolic Content of Betalain Extracts from Intact Plants and Hairy Root Cultures of the Red Beetroot *Beta vulgaris* cv. *Detroit Dark Red*. Plant Foods for Human Nutrition, 65, 105-111.

Gonçalves, E. M., Pinheiro, J., Abreu, M., Brandao, T. R. S., Silva, C. L. M. 2010. Carrot (*Daucus carota* L.) Peroxidase Inactivation, Phenolic Content and Physical Changes Kinetics Due to Blanching. Journal of Food Engineering, 97, 574-581.

Guaadaoui, A., Saddik, R., Bouali, A., Boukhatem, N., Benchat, N. E. ve Hamal, A. 2014. Betalains, Polyacetylanes and Tocols as Biocompounactives: A Concise Review for Enrich The Bioactivity Concept. International Journal of Nutrition and Food Science, 3 (4), 230-237.

Hatlestad, G. J., Sunnadeniya, R. M., Akhavan, N. A., Gonzales, A., Goldman, J. L., McGrath, J. M. ve Lloyd, A. M. 2012. The Beet R Locus Encodes A New Cytochrome P450 Required for Betalain Production. *Nature Genetics*, 44, 816-820.

Herbach, K. M., Stintzing, F. C. ve Carle, R. 2006. Betalain Stability and Degradation- Structural and Charomatic Aspects. *Journal of Food Science*, 71 (4), 41-50.

Huang, A. S., Von Elbe, J. H. 1986. Stability Comparison of Two Betacyanine Pigments Amaranthine and Betanine. *J. Food Sci.*, 51, 670-674.

Kannan, V. 2011. Extraction of Bioactive Compounds from Whole Red Cabbage and Beetroot Using Pulsed Electric Fields and Evaluation of Their Functionality. Master of Science. University of Nebraska-Lincoln. *Food Science & Technology*, 148.

Kanner, J., Harel, S. ve Granit, R. 2001. Betalains- A New Class of Dietary Cationized Antioxidants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 5178-5185.

Kathiravan, T., Nadanasabapathi, S. ve Kumar, R. 2014. Standardization of Process Condition in Batch Thermal Pasteurization and Its Effect on Antioxidant, Pigment and Microbial Inactivation of Ready to Drink (RTD) Beetroot (*Beta vulgaris* L.) Juice. *International Food Research Journal*, 21(4), 1305-1312.

Kujala, T., Lojonen, J. ve Pihlaja, K. 2001. Betalains and Phenolics in Red Beetroot (*Beta vulgaris*) Peel Extracts: Extraction and Characterisation. *Z. Naturforsch*, 56, 343-348.

Kujala, T. S., Vienola, M. S., Klika, K. D., Lojonen, J. M. ve Pihlaja, K. 2002. Betalain and Phenolic Compositions of Four Beetroot (*Beta vulgaris*) Cultivars. *European Food Research and Technology*, 214, 505-510.

Kujala, T. S., Lojonen, J. M., Klika, K. D. ve Pihlaja, K. 2000. Phenolics and Betacyanins in Red Beetroot (*Beta vulgaris*) Root: Distribution and Effect of Cold Storage on the Content of Total Phenolics and Three Individual Compounds. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 48, 5338-5342.

Meral, R., Doğan, İ. S. ve Kanberoğlu, G. S. 2012. Fonksiyonel Gıda Bileşeni Olarak Antioksidanlar. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2 (2), 45-50.

Mortensen, A. 2006. Carotenoids and Other Pigments As Natural Colorants. Pure and Applied Chemistry, 78 (8), 1477-1491.

Nemzer, B., Pietrkowski, Z., Sporna, A., Stalica, P., Thresher, W., Michalowski, T. ve Wybraniec, S. 2011. Betalainic and Nutritional Profiles of Pigment- Enriched Red Beet Root (*Beta vulgaris* L.) Dried Extracts. Food Chemistry, 127, 42-53.

Özşen, D. ve Erge, H.S. 2012. Degradation Kinetics of Bioactive Compounds and Change in The Antioxidant Activity of Wild Strawberry (*Fragaria Vesca*) Pulp during Heating. Food and Bioprocess Technology, 6: 2261-2267

Özkan, M., Cemeroğlu, B. ve Kırca A. 2010. Gıda Mühendisliğinde Reaksiyon Kinetiği. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları No: 42, 173.

Özkan, M. 2009. Siyah Havuç Suyu Konsantresi Üretimi ve Depolanması Sürecinde Fenolik Maddeler ve Antosiyaninlerdeki Değişimler ve Bu Değişimlerin Antioksidan Aktivite ile İlişkisi. Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri, 106.

Pavlov, A., Kovatcheva, P., Georgiev, V., Koleva, I. ve Ilieva, M. 2002. Biosynthesis and Radical Scavenging Activity of Betalains During The Cultivation of Red Beet (*Beta vulgaris*) Hairy Root Cultures. Z. Naturforsch, 57, 640-644.

Pedreno, M. ve Escribano, J. 2001. Correlation Between Antiradical Activity and Stability of Betanine from *Beta vulgaris* L roots under Different pH, Temperature and Light Conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81, 627-631.

Podsedeck, A. 2007. Natural Antioxidant and Antioxidant Capacity of Brassica Vegetables. *Food Science and Technology*, 40, 1-11.

Ravichandran, K., Saw, N., Mohdaly, A., Gabr, A., Kastell, A., Riedel, H., Cai, Z., Knorr, D. ve Smetanska, I. 2013. Impact of Processing of Red Beet on Betalain Content and Antioxidant Activity. *Food Research International*, 50, 670-675.

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. ve Rice-Evans, C. 1999. Antioxidant Activity Applying an Improved ABTS Radical Cation Decolorization Assay. *Free Radical Biological Medicine*, 26, 1231-1237.

Reynosa, R., Garcia, F. A., Morales, D. ve Mejia, E. G. 1997. Stability of Betalain Pigments from a Cactacea Fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 2884-2889.

Ryan, L., Moran, A. ve Beard, P. C. 2011. Stability of the Total Antioxidant Capacity and Total Polyphenol Content of 23 Commercially Available Vegetable Juice before and after *in vitro* Digestion Measured by FRAP, DPPH, ABTS and Folin-Ciocalteu Methods. *Food Research International*, 44, 217-224.

Saguy, I., Kopelman, I. J. ve Mizrahi, S. 1978. Thermal Kinetic Degradation of Betanin and Betalamic Acid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 26, 360-362.

Stintzing, F. C. ve Carle, R. 2007. Betalains- Emerging Prospects for Food Scientists. *Trends in Food Science & Technology*, 18, 514-525.

Stintzing, F. C. ve Carle R. 2004. Functional Properties of Anthocyanins and Betalains in Plants, Food and In Human Nutrition. Trends in Food Science & Technology, 15, 19-38.

Strack, D., Vogt, T. ve Schliemann, W. 2003. Recent Advances in Betalain Research. Phytochemistry, 62, 247-269.

Tanner, H. ve Brunner, H. R. 1979. Gentranke-Analytik. Germany: Verlag Heller Chemie and Verwaltungsgesellschaft mbH, 206.

Tiwari, B. K., Donnell, C. P., Patras, A., Brunton, N. ve Cullen, P. J. 2009. Effect of Ozone Processing on Anthocyanins and Ascorbic Acid Degradation of Strawberry Juice. Food Chemistry, 113, 1119-1126.

Tomczak, D. W. 2012. Bionitrification of Concentrated Red Beet Juice. European Food Research and Technology, 235, 693-698.

Vargas, F. D., Jimenez, A. R. ve Lopez, O. P. 2000. Natural Pigments: Carotenoids, Anthocyanins and Betalains- Characteristics, Biosynthesis, Processing and Stability. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 40 (3), 173-289.

Vicente, A. R., Martinez, G. A., Chaves, A. R. ve Civello, P. M. 2006. Effect of Heat Treatment on Strawberry Fruit Damage and Oxidative Metabolism During Storage. Postharvest Biology and Technology, 40, 116-122.

Vitti, M. C., Yamamoto, L. K., Sasaki, F. F., Aguila, J. S., Kluge, R. A. ve Jacomino, A. P. 2005. Quality of Minimally Processed Beet Roots Stored in Different Temperatures. Brazilian Archives of Biology and Technology, 48, 503-510.

Yıldız, A. 2011. Trabzon Yöresine Ait Yaban Mersini (*Vaccinium myrtillus* L.)'nin HPLC ile Fenolik Yapısının Aydınlatılması ve Antioksidan Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 45.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Nilay KAYIN

Doğum Yeri: Adapazarı

Doğum Tarihi: 1988

Medeni Hali: Bekar

Üniversite Eğitimi:

Lisans: Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Gıda Mühendisliği Bölümü
(2008-2012)

Yüksek Lisans: Abant İzzet Baysal Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı
(Şubat 2013, Kasım 2014)

Çalıştığı Kurumlar:

Bursa Gıda ve Yem Kontrol Merkez
Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü (Stajyer)
(2011)