

# **BALIN SORPSİYON ÖZELLİKLERİ**

## **YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KÜBRA ARSLAN**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GIDA MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**MERSİN  
OCAK - 2021**

# BALIN SORPSİYON ÖZELLİKLERİ

## YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KÜBRA ARSLAN**

ORCID ID: 0000-0002-4097-792X

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GIDA MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**Danışman**

**PROF. DR. MAHİR TURHAN**

ORCID ID: 0000-0001-6664-2223

**MERSİN  
OCAK - 2021**

## ÖZET

### BALIN SORPSİYON ÖZELLİKLERİ

Bal, bulunduğu ortamdaki havanın nemini çekme özelliğine sahiptir. Balın nem alması; özel yapısına, şeker oranına ve içerisindeki su miktarına bağlı olarak değişmektedir. Balın depolanması sürecinde uğradığı bozulmalar ve kalite kayıpları arasındaki ilişki su aktivitesi ( $a_w$ ) ile ifade edilmektedir.

Bu çalışmada, çam ve narenciye ballarının denge nemi (DN) ve  $a_w$  değeri arasındaki ilişkiyi veren sorpsiyon izotermi 20, 30 ve 40 °C'de incelenmiştir. Çam ve narenciye balının nem miktarları sırasıyla, % 16.6 ve % 18.1 olarak belirlenmiştir. Su aktivitesi cihazı ile balların  $a_w$ 'leri ölçülmüştür. Tüm sıcaklıklarda (20, 30, 40 °C) sırasıyla çam balında 0.590, 0.576, 0.597, narenciye balında ise 0.577, 0.587, 0.594 olarak belirlenmiştir. Farklı değerlerdeki  $a_w$  ortamlarını (0.1 - 1.0) temin edebilmek için saf su ve 11 adet doymuş tuz çözeltileri (lityum klorür, potasyum asetat, magnezyum klorür, potasyum karbonat, sodyum bromür, magnezyum nitrat, sodyum klorür, amonyum sülfat, potasyum klorür, potasyum nitrat ve potasyum sülfat) kullanılmıştır.

Çalışma paralel olarak yapılmış ve bal örneklerinin ağırlıkları 24 saatte bir, 90 gün süre ile tartılmıştır. Balların denge nemleri, Curve Expert 1.4 programı ile tahmin edilmiştir. Tüm sıcaklıklarda (20, 30 ve 40 °C) 90 günden önce  $a_w > 0.70$  olduğu durumda örneklerde maya gelişimi gözlenmiştir. Numunelerin DN 'sinin  $a_w$  'ye karşı grafiğe geçirilmesi ile sorpsiyon izotermi elde edilmiştir. Sorpsiyon izotermi, (J-şekil) Tip III davranışı sergilemiştir. Sıcaklığın sorpsiyon eğrisini etkilemediği belirlenmiştir.

GAB eşitliği; çam ve narenciye bal örneklerinin sorpsiyon izotermine çam balındaki  $r = 0.99$ ,  $s = 1.25$ ,  $R^2 = 0.97$ ,  $OBH = \% 16.32$ ,  $m_0 = 8.81$  (% kurumadde),  $C = 1.48$ ,  $k = 1.11$  ve narenciye balındaki  $r = 0.99$ ,  $s = 1.63$ ,  $R^2 = 0.96$ ,  $OBH = \% 17.80$ ,  $m_0 = 7.69$  (% kurumadde),  $C = 3.65$ ,  $k = 1.18$  parametreleri ile yüksek bir uyum sağlamıştır. Balların 40 °C'ye kadar  $a_w < 0.70$  olduğu sürece mikrobiyolojik açıdan güvenli bir şekilde muhafaza edilebileceği öngörülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Bal, Çam Balı, Narenciye Balı, Sorpsiyon İzotermi, GAB.

**Danışman:** Prof. Dr. Mahir TURHAN, Mersin Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin.

## ABSTRACT

### SORPTION PROPERTIES OF HONEY

Honey has the feature of absorbing the humidity of the air in its environment. Moisture absorption of honey, it depends on its special structure, sugar ratio, and the amount of water in it. The relationship between the deterioration and quality losses experienced during the honey storage process is expressed with water activity ( $a_w$ ).

In this study, sorption isotherms, which give the relationship between the equilibrium moisture content (EMC) and  $a_w$  value of pine and citrus honey was analyzed at 20, 30, and 40 °C. Moisture content of pine and citrus honey was determined as 16.6% and 18.1%, respectively. The water activity of the honey was measured with the water activity instrument. It was determined as 0.590, 0.576, 0.597 in pine honey and 0.577, 0.587, 0.594 in citrus honey at 20, 30, and 40 °C respectively. Saturated salt solutions were applied to obtain atmospheres leading to different  $a_w$  between 0.1 and 1.0 (lithium chloride, potassium acetate, magnesium chloride, potassium carbonate, sodium bromide, magnesium nitrate, sodium chloride, ammonium sulfate, potassium chloride, potassium nitrate, and potassium sulfate).

The study was carried out in parallel and weights of honey samples were weighed every 24 hours for 90 days. The Equilibrium moisture content of the honeys was estimated with the Curve Expert 1.4 program. Yeast development was observed in samples where  $a_w > 0.70$  before 90 days at all temperatures (20, 30, 40 °C). Sorption isotherms were obtained by plotting the EMC of the samples versus  $a_w$ . Sorption isotherms (J-shape) exhibited Type III behavior. It was determined that the temperature did not affect the sorption curve.

GAB model was determined to fit well the data in pine honey;  $r = 0.99$ ,  $s = 1.25$ ,  $R^2 = 0.97$ , OBH = 16.32 %,  $m_0 = 8.81$  (db, %),  $C = 1.48$ ,  $k = 1.11$  and in citrus honey;  $r = 0.99$ ,  $s = 1.63$ ,  $R^2 = 0.96$ , OBH = 17.80 %,  $m_0 = 7.69$  (db, %),  $C = 3.65$ ,  $k = 1.18$  with parameters. It is envisaged that honey can be stored safely microbiologically as long as  $a_w < 0.70$  up to 40 °C.

**Keywords:** Honey, Pine Honey, Citrus Honey, Sorption Isotherm, GAB.

**Advisor:** Prof. Dr. Mahir TURHAN, Department of Food Engineering, University of Mersin, Mersin.

## TEŞEKKÜR

Eğitimin önemini bizlere en iyi şekilde anlatan, “Okul sayesinde, okulun vereceği ilim ve fen sayesinde ki, Türk milleti, Türk sanatı, Türk ekonomisi, Türk şiir ve edebiyatı bütün güzellikleriyle gelişir.” diyerek bilimde ilerlememizi arzu eden Cumhuriyetimizin kurucusu Büyük Önder Mustafa Kemal ATATÜRK’e sonsuz teşekkürler ederim.

Çalışmalarım boyunca değerli bilgilerini paylaşan, “gül düşünmenin gülistan; diken düşünmenin dikenlik olacağı” sözünü her daim hatırlatarak, hayatta güzel düşünmenin bizlere güzel sonuçlar doğuracağını belirten kıymetli sayın danışman hocam Prof. Dr. Mahir TURHAN’a lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca yardımlarını esirgemediği için çok teşekkür ederim.

Tez çalışmamı 2019-1-TP2-3210 proje kodu ile destekleyen Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP)’ne teşekkür ederim.

Tez deneylerimde kullandığım bal örneklerinin temini için yardımlarını sunan Altıparmak Gıda San. ve Tic. A.Ş firmasına teşekkür ederim.

Deney çalışmalarım için laboratuvar imkanlarından yararlandığım Mersin Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümüne ve laboratuvar ortamında çalışmalarımı eksiksiz bir şekilde devam ettirebilmem için gerekli imkanları sağlayan sayın hocam bölüm başkanımız Prof. Dr. Hacı İbrahim Ekiz’e, sayın hocalarım Prof. Dr. Nüzhet Türker, Prof. Dr. Sedat Sayar, Prof. Dr. Tunç Koray Palazoğlu, Doç. Dr. Aylin Altan Mete, Doç. Dr. Salih Aksay, Doç. Dr. Gülhan Temel, Arş. Gör. Gülden Gökşen, Arş. Gör. Habip Tokbaş, Arş. Gör. Fırat Çınar ve Öğr. Gör. Selen Çalışkantürk Karataş’a teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca birlikte güzel zamanlar geçirdiğim ve destekte bulunan sevgili arkadaşlarım; Güler Atasoy, Demet Manap, Elif Atay, Welat Miran, Mehmet Yüksel, Halise Avcil, Rıdvan Arslan, Koray Yarım, Yalım Koray Uslu, Mahir Cin, Didem Erbaşçıvan, Bilge Ulutaş ve Melis Ayhan’a teşekkür ederim.

Hayatta karşılaştığım zorluklar karşısında bana mücadeleci ruhumla pes etmemem gerektiğini aşıl原因an, çocukları için her şeyin güzel olacağına yürekten inanarak kardeşime ve bana yol gösteren biricik, değerli Canım Annem Filiz ARSLAN’a, her zaman yanımda olan Canım Kardeşim, Bebeğim Bengisu ARSLAN’a, desteğini esirgemeyen Canım Babam Naki ARSLAN’a, küçüklüğümden beri hep yanımda olmak istediğim ve üniversite hayatım boyunca da hep yanımda olma şansı yakaladığım ve benden değerli sevgisini hiç esirgemeyen, hayata karşı beni motive eden dünyalar güzeli Canım Anneannem Cennet MARAL’a, Dedem Fazlı MARAL’a, Babaannem Melahat ARSLAN’a, Büyükbabam Cemal ARSLAN’a benim çok değerli kocaman aileme, çok teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
İÇ KAPAK	ii
ONAY	iii
ETİK BEYAN	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLolar DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
KISALTMALAR ve SİMGELER	xi
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b>	<b>3</b>
2.1. Bal	3
2.1.1. Balın Tarihçesi	3
2.1.2. Balın Tanımı	4
2.1.3. Balın Yapısı ve Özellikleri	4
2.2. Balların Sınıflandırılması	6
2.2.1. Kaynağına Göre Ballar	7
2.3. Balın Nem İçeriği	8
2.4. Sorpsiyon İzotermi	9
2.4.1. Sorpsiyon İzotermi ve Su Aktivitesi Arasındaki İlişki	9
2.4.2. Sorpsiyon Modelleri	12
2.4.3. GAB (Guggenheim Anderson de Boer) Eşitliği	13
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM</b>	<b>15</b>
3.1. Materyal	15
3.1.1. Bal Örnekleri	15
3.1.2. Tuz Çözeltileri	15
3.2. Yöntem	17
3.2.1. Sorpsiyon İzotermi Belirlenmesi	17
3.2.2. GAB Model Uyumunun İncelenmesi	19
3.2.3. İstatistiksel Analiz	20
<b>4. BULGULAR ve TARTIŞMA</b>	<b>21</b>
4.1. Örneklerin Bozulma Sürelerinin Belirlenmesi	21
4.2. Sorpsiyon İzoterm Sonuçları	26
4.3. GAB Model Uyumunun Değerlendirilmesi	31
<b>5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER</b>	<b>37</b>
KAYNAKLAR	38
EKLER	44
ÖZGEÇMİŞ	74

## TABLULAR DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 2.1. Çiçek ve salğı balının kimyasal bileşimi	5
Tablo 2.2. Çam ve narenciye balının özellikleri	14
Tablo 3.1. Çam ve narenciye balının numune analiz raporu	16
Tablo 3.2. Çam balında kullanılan doymuş tuz çözeltilerinin 20, 30 ve 40 °C'deki $a_w$ değerleri	17
Tablo 3.3. Narenciye balında kullanılan doymuş tuz çözeltilerinin 20, 30 ve 40 °C'deki $a_w$ değerleri	18
Tablo 4.1. Çam balında farklı sıcaklık ve bağıl nem değerindeki maya oluşum süreleri	21
Tablo 4.2. Narenciye balında farklı sıcaklık ve bağıl nem değerindeki maya oluşum süreleri	22
Tablo 4.3. Çam balının denge nemleri ve doymuş tuz çözeltilerinin su aktiviteleri arasındaki Bivariate korelasyonu	27
Tablo 4.4. Sıcaklık kontrolünde çam balının denge nemleri ve doymuş tuz çözeltilerinin su aktiviteleri arasındaki Partial korelasyonu	28
Tablo 4.5. Narenciye balının denge nemleri ve doymuş tuz çözeltilerinin su aktiviteleri arasındaki Bivariate korelasyonu	28
Tablo 4.6. Sıcaklık kontrolünde narenciye balının denge nemleri ve doymuş tuz çözeltilerinin su aktiviteleri arasındaki Partial korelasyonu	29
Tablo 4.7. Çam ve narenciye balında GAB model uyumu veri çözümleme	34
Tablo 4.8. İncirin 5, 25, 40 °C' deki $m_0$ değeri ve GAB sabitleri	35

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. St. Ambrosius	3
Şekil 2.2. Balın bileşimindeki ortalama oranlar	5
Şekil 2.3. Sorpsiyon izotermi	10
Şekil 2.4. Sorpsiyon izoterm tipleri	11
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan bal örnekleri (A – çam balı, B – narenciye balı)	15
Şekil 3.2. Sorpsiyon düzeneği	18
Şekil 4.1. Bozulan çam ve narenciye ballarının görünümü	25
Şekil 4.2. Çam balının 20, 30, 40 °C'de (0.1 – 0.70) $a_w$ aralığındaki sorpsiyon eğrisi	26
Şekil 4.3. Narenciye balının 20, 30, 40 °C'de (0.1 – 0.71) $a_w$ aralığındaki sorpsiyon eğrisi	27
Şekil 4.4. Çam balının (0.1 – 0.70) $a_w$ aralığındaki sorpsiyon eğrisi	30
Şekil 4.5. Narenciye balının (0.1 – 0.71) $a_w$ aralığındaki sorpsiyon eğrisi	30
Şekil 4.6. Çam balının deneysel denge nem içeriği ile GAB eşitliğinden elde edilen denge nem içeriklerinin uyumu	32
Şekil 4.7. Narenciye balının deneysel denge nem içeriği ile GAB eşitliğinden elde edilen denge nem içeriklerinin uyumu	32
Şekil 4.8. Çam balına ait fark dağılımı	33
Şekil 4.9. Narenciye balına ait fark dağılımı	33



## KISALTMALAR ve SİMGELER

Kısaltma/Simge	Tanım
Nİ	Nem içeriği
$a_w$	Su aktivitesi
DN	Denge nemi
$^{\circ}\text{C}$	Derece santigrat
HMF	Hidroksimetil furfural
$\text{H}_2\text{O}_2$	Hidrojen peroksit
BN	Bağıl nem
GAB	Guggenheim Anderson de Boer
BET	Brunauer Emmet Teller
$m_0$	Tek tabaka nem içeriği
$\text{DN}_{\text{pre}}$	Tahmini denge nem içeriği
C, k	Sorpsiyon eđitliđine ait sabitler
r	Korelasyon katsayısı
s	Standart hata
$R^2$	Belirtme katsayısı
OBH	Ortalama bağıl hata

## 1. GİRİŞ

Türkiye florası, iklim ve coğrafi özellikleri sayesinde arıcılığa ve bal üretimine elverişli bir konumdadır. Bal, bitki nektarlarının bitkilerin canlı kısımlarının ya da bitki üzerinde yaşayan bitki emici böceklerin salgılarının bal arıları tarafından toplanarak, arı midesinde değişikliğe uğratıldıktan sonra petek gözlerine depo edilen ve petek gözünde belirli bir süre suyu uçurularak olgunlaşmaya bırakılan tatlı bir üründür [1].

Bal ve bal arısı tarih öncesi yıllardan orta çağlara kadar dünya üzerindeki tüm toplulukların efsanelerinde yer almıştır. Fosil bilim, bal arısının insandan milyonlarca yıl öncesinde var olduğunu kanıtlamıştır. Arının besin kaynağı olan bal, gıda ürünü olarak tüketilmesinin yanı sıra eski dünyanın ballı reçetelerinde yer almış, ilaç olarak da kullanılmıştır. Bal arıları, tarihin her döneminde insanlarda merak uyandırmaya devam etmektedir [2].

Bal, arının kullandığı kaynağa göre; çiçek ve salgı balı olarak sınıflandırılmaktadır. Bitki çiçeklerindeki nektarlardan yapılan bal çiçek balı; bitkilerin canlı kısımlarının salgılarından veya bitkilerin canlı kısımlarında yaşayan bitki emici böceklerin salgılarından elde edilen bal ise salgı balı olarak tanımlanmaktadır [3]. Balın kuru ağırlığının % 95 - 97'si şekerlerden meydana gelmektedir. Balın sıvı içeriği ise yaklaşık % 18'dir [4].

Bal, oldukça dayanıklı bir üründür. Fakat dayanıklılığın sürdürülebilmesi için balın ısı, ışık ve nem faktörlerinden korunması gerekmektedir. Bu koşullar sağlandığı takdirde balın besin değeri ve özellikleri uzun bir süre bozulmadan muhafaza edilebilmektedir [1].

Nem, diğer gıdalarda olduğu gibi bal için de büyük bir önem taşımaktadır. Nem içeriği (Nİ); balın olgunluğu, viskozitesi ve yoğunluğundan, su aktivitesi ( $a_w$ ) ise balın kalitesi ve proses özelliklerinden sorumludur [5]. Su aktivitesi; gıdadaki suyun özelliklerini, gıdanın işlenmesi ve depolanması esnasında gıdada meydana gelen bozulmaları ve kalite kayıplarını belirlemektedir [6].

Gıdalar nemi ve sıcaklığı sabit olan bir ortamda bekletildiğinde ortam havasından su alırlar veya ortam havasına su verirler. Bir süre sonra gıdalar  $a_w$  açısından buldukları ortamın havası ile dengeye gelmektedirler. Bu koşullarda gıdanın nem miktarı, denge nemi (DN) olarak bilinmektedir. Maddeyi çevreleyen havanın nemi de bağıl nem (BN) olarak tanımlanmaktadır. Denge neminin havanın bağıl nemine (ya da  $a_w$ 'sine) karşı grafiğe alınması ile sorpsiyon izotermi elde edilmektedir. Gıdanın nem kazanarak dengeye ulaşması sonucunda adsorpsiyon; nem kaybederek dengeye ulaşması sonucunda desorpsiyon izotermi oluşmaktadır [6].

Sorpsiyon izotermelerinin modellenmesinde birçok eşitlik kullanılmaktadır [6]. Bunlardan biri olan GAB modeli, European Project Group COST 90 on Physical Properties of Food tarafından önerilmiş ve (ISOPOW) Uluslararası Su Özellikleri Sempozyumu'nda sorpsiyon izotermelerini modellemek için kullanılması gereken en önemli model olarak tanımlanmıştır. GAB eşitliği,  $a_w = 0.95$  değerine kadar deneysel verilere uyum sağlamaktadır [7].

Bal, belirli bir ortamda uzun süre bekletildiğinde nem alabilmekte ya da nem kaybedebilmektedir. Balın, nem alması balda mikrobiyal büyümeye neden olmaktadır ve nem miktarının bilinmesi de uygun ortam koşullarının saptanması açısından önemlidir.

Çam ve narenciye balının sorpsiyon özellikleri ile ilgili literatürde yapılan herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Balın sorpsiyon izoterm çalışması; uygun depolama, ambalajlama ve raf ömrü koşullarının belirlenmesi açısından büyük bir önem taşımaktadır. Bu yüzden balın uygun depolama ve raf ömrünün belirlenebilmesi için çam ve narenciye balının sorpsiyon izotermeleri üzerine çalışılmıştır.

Çalışmada, çam ve narenciye balının denge nemleri ile bulunduğu ortamların bağıl nemi (ya da  $a_w$ 'leri) arasındaki ilişkinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çam ve narenciye balındaki suyun bağlanma özellikleri 20, 30 ve 40 °C'deki sorpsiyon izotermeleri ile belirlenmiştir. Bal numunelerinin nem miktarlarının belirlenmesi için refraktometre ile nem tayini yapılmıştır. Farklı bağıl nem aralığına sahip (% 10 - 100) ortamları temin edebilmek için saf su ve 11 adet doymuş tuz çözeltisi kullanılmıştır. Tuz çözeltilerinin ve bal numunelerinin 20, 30 ve 40 °C'deki  $a_w$ 'leri, su aktivitesi cihazı ile ölçülmüştür. Doğrusal olmayan regresyon analizi uygulanarak, GAB modelinin sabitleri tespit edilmiştir.

Bu çalışma, uygun ortam koşullarının belirlenmesiyle çam ve narenciye balının kalitesinin sürekliliğine katkı sağlayacaktır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Bal

#### 2.1.1. Balın Tarihçesi

Bal, tarihin eski dönemlerinden itibaren insan yaşamının en önemli tarımsal üretimlerinden biridir [8]. İnsan, arı ve bal ilişkisinin gözlemlenmesi; en eski arkeolojik izler taşıyan Neolitik devrine (M.Ö. 7000) dayanmaktadır [9]. Tarih boyunca hekimler tarafından da bala önem verilmiştir. Romalı hekimler, balın kuvvetli bir panzehir olduğunu; Yunanlı, Mısırlı, Arap hekimler ise balın ruh, sinir ve göz hastalıklarında kullanılabildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca günümüzde de bazı kabileler tarafından balın kutsallığına inanılmakta ve dini törenlere de yer verilmektedir [10]. Günümüzde yaşayan en eski dinlerden olan Yahudiliğin kutsal kitabı Tevrat'ta, İncil'de ve Kur'an-ı Kerim'deki kutsal metinlerde de bal ifadeleri yer almaktadır. Kur'an-ı Kerim'de balın her derde şifa olduğu, sağlıklı bir yiyecek ve mükemmel bir ilaç olduğu belirtilmektedir. Yüksek Orta Çağ dönemlerinde de bal büyük bir önem taşımıştır ve Bizans döneminde birçok yemeğin bileşeni olarak kullanılmıştır. Bu dönemde Ambrosius gibi din adamları ise dokuma arı kovanları ile temsil edilmişlerdir (Şekil 2.1) [9].



Şekil 2.1. St. Ambrosius [9].

Cumhuriyetin ilk yıllarından itibaren Türkiye'de de arıcılığı canlandırmak amacıyla bazı çalışmalar yapılmıştır. Belirli yerlerde arıcılık sergileri açılmıştır. Atatürk'ün Ankara Teknik Tarım Okulu ve Gazi Çiftliği'nde çiçeklerin bal özü veren bitkilerden olmasını istemesi arıcılık faaliyetlerine verdiği önemi göstermektedir. Ayrıca Atatürk zamanında arıcılık mesleği hakkında uluslararası alanda gerçekleştirilen eğitim etkinliklerine öğrenciler gönderilmiş, bu meslek hakkında bilgi ve becerilerin artırılmasına da katkı sağlanmıştır [11].

### 2.1.2. Balın Tanımı

Bal, bal arısı (*Apis mellifera*) tarafından üretilen doğal bir gıdadır ve balın tüketimi; propolis, arı sütü, arı zehri, bal mumu, polen gibi diğer arı ürünlerine kıyasla daha yüksektir [12, 13].

Bal yapımının ilk aşaması, işçi arılar tarafından bitkilerin çeşitli organlarından salgılanan nektarın toplanmasıdır. Bal arıları tarafından toplanan nektar, arının bal midesinde kovana taşınır. Genç işçi arılar tarafından nektardaki suyun bir kısmı buharlaştırılarak olgunlaştırılır. Böylece nektarın olgunlaştırılması sırasında arılar tarafından salgılanan çeşitli enzimler sayesinde nektar, kimyasal ve biyolojik değişime uğramaktadır. Baldaki su oranı olgunlaşma esnasında % 20 düzeyine düşürülür ve bal petek gözlerinde depolanır, peteğin üst kısmı ince bir bal mumu tabakasıyla sızlanır [14].

Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliği'ne göre bal; bitki nektarlarının, bitkilerin canlı kısımlarının salgılarının veya bitkilerin canlı kısımları üzerinde yaşayan bitki emici böceklerin salgılarının bal arısı tarafından toplandıktan sonra kendine özgü maddelerle birleştirerek değişikliğe uğrattığı, su içeriğini düşürdüğü ve petekte depolayarak olgunlaştırdığı doğal ürün olarak tanımlanmaktadır [15]. Bu tebliğ kapsamında çiçek ve salgı balındaki nem oranı en fazla % 20 olmalıdır.

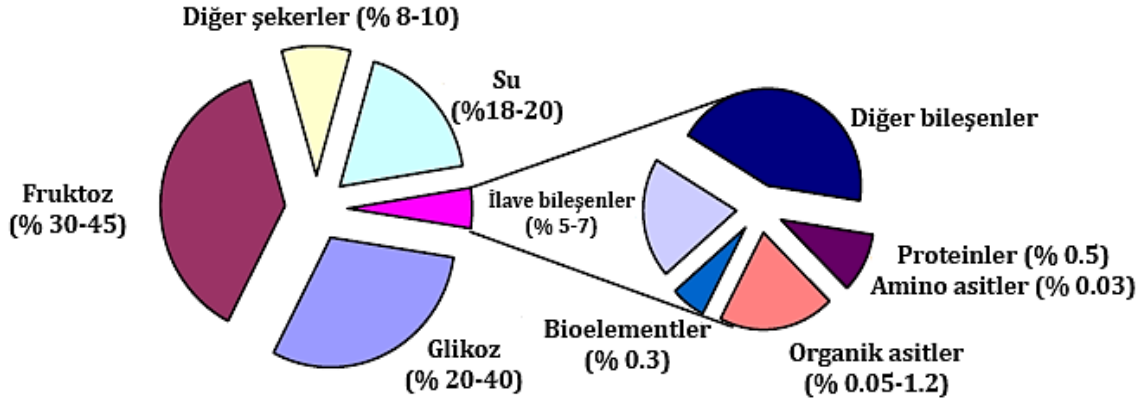
Arılar tarafından çiçek nektarından ya da bal özünden elde edilen viskoz ve aromatik bir ürün olan bal, çeşitli şekerleri bünyesinde barındırmasından dolayı bir konsantre şeker çözeltisidir. Yapısında ağırlıklı olarak fruktoz ve glikoz (% 60 - 85) monosakkaritlerini bulundurmaktadır [16].

### 2.1.3. Balın Yapısı ve Özellikleri

Bal esas olarak şeker, amino asit, organik asit, enzim, karotenoid, vitamin, mineral ve aromatik maddeler gibi bileşenlerden oluşan doğal bir besindir. Antioksidan olarak görev yapan flavonoidler ve fenolik asitler bakımından da zengindir [17-19]. Ayrıca balın antibakteriyel etkisi asidik karakterinden ve yapısında bulundurduğu hidrojen peroksitten de ( $H_2O_2$ ) kaynaklanmaktadır. Bal, bu özellikleri sayesinde insanlarda hastalık etkeni olan birçok bakteriye uygun olmayan ortam oluşturmaktadır [20].

Balın bileşimi, rengi ve aroması çiçeğin yetiştiği coğrafi bölgesine, iklimine, bal arısı türlerine ve balın depolama koşullarına bağlıdır [18, 21, 22]. Tüketiciler tarafından tercih edilen bal viskoz, aromatik ve tatlı bir besindir. Bu nedenle balın hem iç pazar hem de dış pazarda güvenle tüketilebilmesi için balın kalitesini belirleyen birtakım standartlar gereklidir [18, 23].

Balın tatlı olması, Şekil 2.2’de gösterildiği gibi yapısında yer alan fruktoz, glikoz, maltoz ve sakkarozun yoğunluğundan kaynaklanmaktadır [24-26]. Hemen hemen tüm bal çeşitlerinde fruktoz miktarı, glikoz miktarından daha fazladır [27].



Şekil 2.2. Balın bileşimindeki ortalama oranlar [24, 25].

Diğer bir önemli bileşen olan su ise balın yaklaşık % 20’sini oluşturmaktadır [28]. Çiçek ve salgi balının kimyasal bileşimi Tablo 2.1’de özetlenmiştir [13, 15]. Nektarın bala dönüşümü esnasında kimyasal değişimlerden sorumlu olan invertaz enzimi; sakkarozu, glikoz ve fruktoza indirgemektedir [29].

Tablo 2.1. Çiçek ve salgi balının kimyasal bileşimi [13, 15].

100 g balda	Çiçek Balı	Salgi Balı
Su (Mak., g)	20	20
Sakkaroz (Mak., g)	5 - 10	5 - 10
Fruktoz + Glikoz (Min., g)	60	45
Suda çözünmeyen madde (Mak., g)	0.1	0.1
Serbest asitlik (Mak., meq / kg)	50	50
Diastaz sayısı (Min.)	8	8
HMF (Mak., ppm)	40	40
Prolin miktarı (Min., ppm)	300	300
Naftalin miktarı (Mak., ppb)	10	10

Isının etkisiyle balda şekerler ve amino asitler arasındaki tepkime sonucunda Hidroksimetil furfural (HMF) oluşabilmektedir. Bu durum uzun bir süre boyunca depolanan ballarda da gözlemlenebilmektedir. Hidroksimetil furfuralın oluşumu pH, sıcaklık, ısıtma süresi ve şeker derişimine bağlıdır. Balın yapısındaki indirgen şekerlerin serbest amino asitler ve proteinlerin amin grupları ile kondenzasyonu sonucu HMF meydana gelmektedir [29]. Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliği'ne göre, çiçek ve salğı balındaki HMF miktarı en fazla 40 mg / kg olmalıdır [15].

Tüketici tarafından en çok algılanan fiziksel özellik, renktir. Balın rengi, açık su beyazından siyah amber rengine kadar farklı renklerde olabilmektedir [30]. Balın bileşimini oluşturan çeşitli maddelerin farklı dalga boyundaki ışınları değişik ölçülerde absorblamasıyla optik bir özellik olan balın rengi ortaya çıkmaktadır [31]. Balın rengini etkileyen faktörler; antosiyoninler, fenolik asitler, flavonoidler, karotenoidler, ksantofil, klorofil türevleri gibi renk maddeleri ve amino asit / şeker oranıdır. Balın rengini değiştiren diğer etmenler ise balın ısıtılması, mineral içeriği, sıcak iklime sahip bir bölgede üretilmesi ve uzun bir süre açıkta tutulmasıdır [32]. Bal elde edildiği bitki türüne özgü tat ve kokudur. Baskın olan bitki türü, balın tadının ve lezzetinin belirlenmesinde etkilidir [31].

Akışkanlığa karşı direncin bir ifadesi olan viskozite, balın su oranı ve sıcaklığı ile ilgilidir. Balların birçoğu aşırı doymuş glikoz çözeltisi içermektedir. Bu şeker, oda sıcaklığında glikoz monohidrat formunda kendiliğinden kristalize olabilmektedir. En hızlı kristalizasyon, glikoz içeriğinin yüksek ve su miktarının düşük olduğu durumlarda görülmektedir. Balda sıvı fazda çözünen glikoz derişimi düşmekte ve balın su aktivitesi artmaktadır. Bu durum, balda fermantasyona neden olan mayaların üremesine yol açmaktadır.

Bal, bulunduğu ortamdaki havanın nemini çekme özelliğinden dolayı higroskopik bir maddedir. Balın havadan nem alması; kendi özel yapısına, şeker oranına, su miktarına bağlıdır [29].

## **2.2. Balların Sınıflandırılması**

Türkiye'de bal, kaynağına göre çiçek ve salğı balı olarak sınıflandırılmaktadır [13]. Pazara sunulmuş veya üretim şekline göre sınıflandırılan bal ise; süzme bal, sızma bal, petekli bal, pres balı, petekli süzme bal, filtre edilmiş baldır [15].

### 2.2.1. Kaynağına Göre Ballar

Türkiye; narenciye, elma, badem gibi meyve ağaçlarına ve yonca, korunga, soya fasulyesi, ayçiçeği gibi yağlı tohumlu bitkilere sahip olmasından dolayı dünya bal üretimi açısından büyük bir önem taşımaktadır. Çam, köknar gibi salgı kaynağı ağaçları ile ıhlamur, akasya, akçaağaç, kestane gibi orman ağaçları bakımından da zengin bir genetik çeşitliliği bünyesinde barındırmaktadır. Bu bitki örtüsünün çeşitliliğinin yansması da çiçek ve salgı balı üretimlerinde görülmektedir [33, 34].

Nektar, % 5 - 80 oranında değişen derişimlerdeki şeker çözeltilisidir. Bileşimindeki şeker derişimi; sıcaklığa, toprağa, iklim koşullarına bağlıdır. Örneğin, şiddetli rüzgarlar nektar salgısını azaltmaktadır. Arılar, kendi enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmek için daha yüksek şeker içeriğine sahip yaklaşık % 50 oranındaki nektarı tercih ederken % 5 oranından daha az miktardaki nektarı tercih etmemektedirler. Bitki nektarlarından elde edilerek yapılan bal, çiçek balı olarak adlandırılmaktadır [9]. Çiçek balı, ülkemizin hemen hemen her yöresinde üretilmektedir [35]. Arıların çiçek nektarını kullanarak ürettikleri narenciye, funda, kekik ve akasya balları çiçek balı çeşitleridir [36].

Böcek tarafından emilen bitki öz suyu ise, genellikle Hemiptera takımına ait olan bitki emici böceklerin sindirim sisteminde değişikliğe uğramakta ve böceklerin boşaltım ürünü (atık) "ballı madde" olarak meydana gelmektedir [37]. Ballı madde, % 5 - 60 oranında değişen derişimlerdeki şeker çözeltilisidir [9]. Bal arıları, ballı maddeyi toplayarak salgı balı üretirler. Salgı balı, 1968 yılından itibaren insan gıdası olarak kabul edilen ve tüketilmekte olan besleyici bir üründür [37]. Bu bal, yüksek oranda oligosakkarit, melezitoz, erloz içermektedir [38]. Dünyada çam balının % 90'ı Türkiye'de, % 10'u Yunanistan'da üretilmektedir. Türkiye'deki çam balı üretiminin % 80'i Muğla ilindeki kızılçam ormanlarından karşılanmaktadır [39]. Arıların bitki emici böceklerin salgısını kullanarak ürettikleri çam, köknar ve yaprak balları salgı balı çeşitleridir [36].



### 2.3. Balın Nem İçeriği

Baldaki nem oranı; balın olgunlaşması sırasında balın kaynağını oluşturan nektarın nemine, iklime ve depolama koşullarına bağlıdır. Bu yüzden balın ortalama nem oranı % 17 - 19 oranında değişebilmektedir. Çevresel koşullara ve balın işlenme zamanına bağlı olarak yıldan yıla farklılık gösteren balın nem oranı, yüksek olduğunda balda kristalleşme hızlanabilir ve fermantasyona neden olan mayalar gelişerek balın  $a_w$ 'si artabilir [40]. Çiçek ve çam balının aynı Nİ'nde,  $a_w$ 'leri karşılaştırıldığında; çiçek balının yüksek oranda monosakkarit (glikoz - fruktoz) içermesinden dolayı,  $a_w$ 'sinin daha düşük olduğu belirtilmektedir [5, 41, 42]. Nem içeriği; balın yoğunluğu ve viskozitesi açısından önemlidir. Bal, endüstride Nİ'ye göre değerlendirilmektedir. Balın kalitesi, balın  $a_w$  ve Nİ arasındaki ilişki ile ilgilidir. Esas olarak  $a_w$  değeri, balın kalite ve proses özelliklerinden sorumludur. Bununla birlikte, gıdaların Nİ değerinin ölçülmesi, gıdaların  $a_w$  değerinin ölçülmesinden çok daha pratik ve ekonomiktir. Bu yüzden bal endüstrisinde balın Nİ değeri ölçülerek, nem miktarı değerlendirilmektedir [5].

Serin ve arkadaşları (2018) tarafından yapılan çalışmada Türkiye'deki 706 adet çiçek ve 257 adet çam ballarının  $a_w$  ile Nİ değerleri arasında bir ilişki olduğu belirtilmiş ve çiçek ballarının  $a_w$ 'si 0.470 - 0.563, çam ballarının  $a_w$ 'si 0.492 - 0.589; çiçek ballarının Nİ'si % 15.0 - 20.4, çam ballarının Nİ'si ise % 15.1 - 20.4 arasında gözlenmiştir [5].

Abramovic ve arkadaşları (2008) tarafından farklı botanik kökenli 75 adet Slovenya çam ve 75 adet Slovenya çiçek balının  $a_w$  ve Nİ değerleri arasındaki ilişki incelenmiş ve bu iki parametre arasında istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon bulunmuştur. Çiçek ballarının  $a_w$ 'si 0.479 - 0.557 ve çam ballarının  $a_w$ 'si 0.483 - 0.591; çiçek ballarının Nİ'si % 14.0 - 18.6, çam ballarının Nİ'si ise % 13.4 - 18.0 arasında gözlenmiştir [41].

Chirife ve arkadaşları (2006) tarafından Arjantin'deki 36 adet sıvı bal örneğinin  $a_w$  ile Nİ değerleri arasındaki korelasyonun incelenmesi amacıyla belirli analizler yapılmış ve balların Nİ (% 15 - 21) ile  $a_w$  değerleri arasında yüksek bir korelasyon gözlenmiştir [43].

Cavia ve arkadaşları (2004) tarafından yapılan çalışmada ballar, farklı iklimlerden ve farklı hasat zamanlarından temin edilmiştir. Balın  $a_w$ 'si deneysel olarak ölçülmüş, teorik model eşitliği ile Nİ değeri kullanılarak da tahmin edilmiştir. Nem içeriği ve su aktivitesi parametreleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon gözlenmiştir [44].

Zamora ve arkadaşları (2006) tarafından yapılan çalışmada farklı coğrafya ve botanik kaynaklardan temin edilen bal örneklerinin (sıvı, kristal veya kısmen kristal)  $a_w$  ile Nİ arasındaki ilişkisi, elde edilen literatür verilerine dayandırılarak istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Yüksek derişimdeki glikoz, fruktoz ve fruktoz / glikoz çözeltilerinin  $a_w$  ile Nİ'si arasında anlamlı bir korelasyon olduğu gözlenmiştir [45].

## 2.4. Sorpsiyon İzotermi

### 2.4.1. Sorpsiyon İzotermi ve Su Aktivitesi Arasındaki İlişki

Su, birçok gıdanın temel bileşenidir ve gıdanın özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Karbonhidrat, protein, lipit ve tuzlarla fiziksel etkileşime uğrayarak, gıdanın tekstürel özelliklerini etkilemektedir [6]. Gıdanın işleme, paketlenme, depolama süreçlerinin uygun bir şekilde yapılabilmesi ve kalite stabilitesinin sağlanabilmesi su ve gıda arasındaki fizikokimyasal ilişkinin anlaşılmasıyla mümkündür [46]. Gıdalarda bulunan su; bağlı ve serbest su olmak üzere iki formda incelenmektedir [6]. Bağlı su, hidrojen bağı yapabilme kapasitesinin tamamını makromoleküllerdeki kuvvetli hidrofil gruplarla yapan su; serbest su ise gıdalarda çözücü özelliği gösteren, kurutma ile ortamdan kolaylıkla uzaklaştırılabilen ve dondurulduğunda kolaylıkla buza dönüşebilen, su - su hidrojen bağlarıyla yapıya katılabilen su olarak tanımlanmaktadır [6, 46].

Gıdanın  $a_w$ 'si, gıdanın kalite stabilitesi üzerinde daha etkilidir. Nem içeriği, gıdanın tekstür özelliklerini; su aktivitesi ise gıdanın fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak meydana gelebilecek mikrobiyal bozulmalara karşı gıdanın dayanıklılığını belirlemektedir [47].

Gıdaların işlenmesi ve depolanması sürecinde uğradıkları bozulmalar ve kalite kayıpları arasındaki ilişki  $a_w$  ile ifade edilmektedir. Su aktivitesi, gıda maddesindeki suyun yapıya ne şekilde bağlı olduğunu, mikrobiyolojik faaliyetler açısından kullanılabilirlik durumunu, kimyasal ve enzimatik reaksiyonlarla olan ilişkisini incelemektedir [6]. Su içeriğinden bağımsız, gıdanın fizikokimyasal durumu hakkında bilgi veren  $a_w$ ; gıdadaki suyun buhar basıncının, aynı sıcaklıktaki saf suyun buhar basıncına oranı olarak tanımlanmaktadır [48].

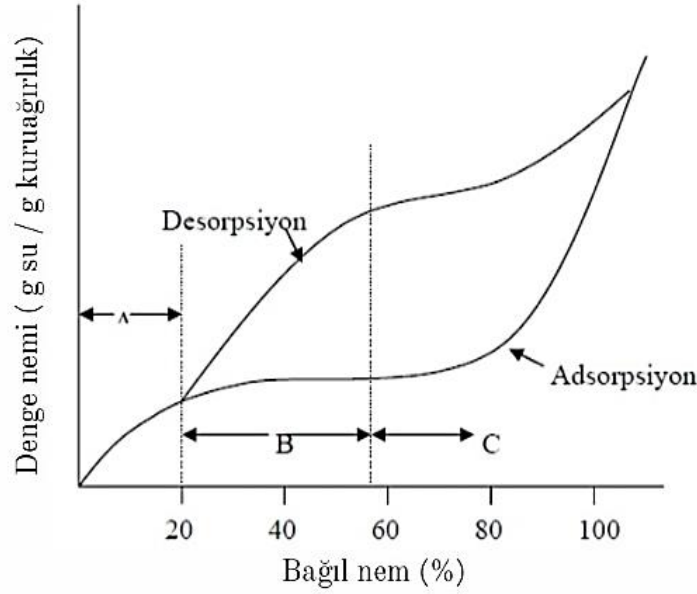
Suyun, gıdadan bulunduğu ortama ve ortamdan gıdaya hareketi; hem gıdanın su içeriği ve bileşimine hem de ortamın sıcaklık ve nem düzeyine bağlı olarak değişmektedir. Sabit sıcaklıkta gıdanın nem içeriği, kendisini çevreleyen havanın su buharı ile dengeye geldiğinde nem alışverişi sona ermektedir [49].

Gıda ürünü,  $a_w$  açısından bulunduğu ortamın havası ile dengeye gelmektedir. Bu durumda ürünün nem miktarı, denge nemi (DN) olarak; ürünü çevreleyen havanın nemi, bağıl nem (BN) olarak tanımlanmaktadır [6].

Gıdanın denge neminin bilinmesi; depolama, konsantre etme, karıştırma, kurutma, ambalajlama koşullarının belirlenmesi açısından çok önemlidir. Denge nemi, ortamın sıcaklığına ve bağıl neme bağlı olarak değişmektedir [50].

Farklı BN ya da  $a_w$  değerlerine karşılık gıdanın DN'si grafiğe alındığında sorpsiyon izotermi elde edilmektedir. Sorpsiyon izotermi, gıdaların kalite parametrelerinin belirlenmesi açısından önemlidir [51].

Gıdaların nem kazanarak dengeye ulaşması sonucu çizilen izoterm adsorpsiyon; nem kaybederek dengeye ulaşması sonucu elde edilen izoterm desorpsiyon izotermi olarak adlandırılmaktadır [52]. Adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermi, Şekil 2.3'teki gibi çizilmektedir [53].



Şekil 2.3. Sorpsiyon izotermi [53].

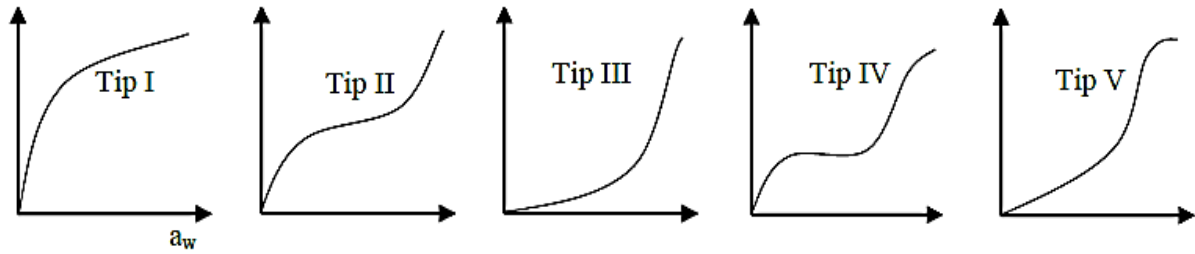
Sorpsiyon izotermi, Şekil 2.3'teki gibi A, B ve C bölgeleri olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Bölgelerin her biri gıdadaki suyun farklı bir durumunu göstermektedir. A bölgesindeki su, gıdanın kuru yüzeyinde yan yana ve tek sıra halinde güçlü bir şekilde tutulan, yapıya en sıkı bağlı olan sudur. Tek katlı su moleküllerinden oluştuğu ve gıdanın yüzeyini sardığı için "tek tabaka su filmi" olarak adlandırılmaktadır. Su molekülleri, polar uçlara su-iyon veya su-dipol assosiyasyonu yoluyla bağlanmaktadır. B bölgesi, tek tabaka su filmi üzerinde üst üste sıralı su molekülleri katmanını yani "multimoleküler katmanını" oluşturmakta ve tek tabakadaki suya hidrojen bağlarıyla bağlanmaktadır. Multimoleküler katmanında yer alan su çözücüdür. C bölgesindeki su ise gıdanın gözenekli yapısındaki boşluklarda ve kılcallarda yoğunlaşmış olan sudur ve "serbest su" olarak adlandırılmaktadır. Gıdanın bozulmasına neden olan enzimatik reaksiyonlar ve mikrobiyolojik gelişim bu bölgede meydana gelmektedir [47].

Gıdaların adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermi aynı yolu izlemezler. Bu yüzden izoterm eğrilerinin arasında açıklığın oluşması (eğrilerin üst üste oturmaması) durumu, histerisis olarak tanımlanmaktadır [46].

Histerisisin oluşumundaki önemli etken, gıdalardaki gözenekli yapılardır. Adsorpsiyon sırasında iç kısmı boş olan gözenekli yapılardaki havanın yerini aktif uçlara bağlanmış olan su almaktadır. Fakat desorpsiyon sırasında bir miktar su uzaklaşmakta ve kurutmanın etkisiyle gözenekli yapının girişlerinde daralma meydana gelmektedir. Bu yüzden içeride kalan suyun uzaklaşması zor olmakta ve bu durum desorpsiyon izoterminin adsorpsiyon izoterminine göre aynı  $a_w$ 'de daha yüksek DN'ye sahip olmasına sebep olmaktadır [54].

Brunauer, Şekil 2.4'teki gibi adsorpsiyon izotermelerini beş farklı tipe ayırmıştır. İlk üç tip belirli gruptaki organik materyalleri, diğer iki grup ise ilk üç tipin karışık durumlarını temsil etmektedir [54].

g.su/100g kurumadde



Şekil 2.4. Sorpsiyon izoterm tipleri [54].

Langmuir izotermi olan Tip I, tipik bir kekleşmeyi önleyici (anti kek) madde izotermidir. Antikek maddeler, suyu aktif uçlarına yüksek enerjiyle bağlamaktadırlar. Katının içerisine doğru uzanan gözenekli yapılar, suyu katının derinliklerine ileterek yüzeyin ve tüm aktif uçların su ile adsorbe edilmesine ve  $a_w$ 'nin yükselmesine neden olmaktadır. Gıdalara ait izotermilerin çoğu S şeklindeki sigmoid eğriler olan Tip II izotermidir. Bu izotermde 0.2 - 0.4 ve 0.7 - 0.8  $a_w$  değerlerinde gözenekli yapı ve su - yüzey etkileşiminin sonucunda iki adet bükülme meydana gelmektedir. Bükülmelerin büyüklüğü, fizikokimyasal etkileşimlere bağlıdır [46]. Tip III (J tipi); meyve, şekerleme, kahve ekstraktı gibi küçük çözünür moleküller, tuz ve şeker gibi kristal yapılar açısından zengin gıdaların oluşturduğu sorpsiyon izotermidir [6, 46]. Tip III izotermine oluşumunda kristalin yüzeyindeki hidroksil grupları sorumludur. Örneğin; şeker öğütülerek pudra şekeri gibi bir ürüne dönüştürüldüğünde, kristallerin çözünmesiyle yüzeydeki hidroksil grup sayıları artmakta ve su adsorbe edilmektedir. Bu yüzden düşük  $a_w$  değerinde su miktarı da artmaktadır. Tip IV izotermi, suyu seven katıların maksimum hidrasyona ulaşmaya kadar gösterdikleri izotermi; Tip V izotermi ise çoklu tabaka izotermi tanımlamaktadır [46].

## 2.4.2. Sorpsiyon Modelleri

Sorpsiyon izotermeleri; gıdaların raf ömrünün tahmini, saklama koşullarının belirlenmesi, uygun ambalaj malzemelerinin seçimi, kurutma işlemlerinin modellenmesi ve kurutma ekipmanlarının tasarımı açısından büyük önem taşımaktadır [55].

GAB modeli, geniş bir  $a_w$  aralığında (0 - 0.9) gıdaların sorpsiyon davranışını inceleyebilmektedir. Meyve, sebze, et ürünlerinde de analiz edilerek bu modelin verilerde çok iyi bir uyum sağladığı gözlenmiştir [56].

Al-Ghamdi ve arkadaşları (2020) tarafından yapılan bir çalışmada bal kabağı tozunun 25 °C'de 0.1 - 0.9  $a_w$  aralığında adsorpsiyon ve desorpsiyon davranışı incelenerek, BET ve GAB eşitliklerine olan uyumu araştırılmıştır. Kabak örneğinin izoterminin Tip III izotermi olduğu, GAB eşitliğinin ise sorpsiyon verilerini daha iyi temsil ettiği belirtilmiştir [57].

Talla ve arkadaşları (2005) tarafından 40, 50 ve 60 °C'de 0.056 - 0.85  $a_w$  aralığında muz, mango ve ananasın sorpsiyon izotermeleri BET ve GAB modellerine göre karşılaştırılmıştır. Örneklerin sigmoidal davranış gösterdikleri ve BET modelinin,  $a_w$ 'sinin 0,35'ten düşük olan değerlerde verilere daha iyi uyum sağladığı gözlenmiştir [58].

Ertekin ve arkadaşları (2004) tarafından üzüm, kayısı, elma ve patates ürünlerinin gravimetrik yöntem kullanılarak 0.11 - 0.90  $a_w$  aralığında 30, 45 ve 60 °C'deki nem sorpsiyon izotermeleri belirlenmiştir. Sorpsiyon verilerini en iyi temsil eden eşitliğin Halsey eşitliği olduğu, bunun yanı sıra GAB eşitliğinin de patates ve üzümdeki sorpsiyon verilerine en yakın uyumu sağladığı belirtilmiştir [59].

Sormoli ve arkadaşları (2015) tarafından kurutulmuş portakal suyu tozlarının 0.11 - 0.82  $a_w$  aralığında 20, 30, 40 ve 50 °C'deki nem sorpsiyon izotermeleri incelenmiştir. Farklı sorpsiyon eşitlikleri içerisinde verilere uyum sağlayan en uygun modelin GAB modeli olduğu gözlenmiştir [60].

Ansari ve arkadaşları (2011) tarafından incire glikoz şurubu ilave edilmiş ve oluşan karışımın 0.11 - 0.84  $a_w$  aralığında 5, 25 ve 40 °C'deki nem sorpsiyon izotermeleri belirlenmiştir. Karışımın sorpsiyon izotermini etkilediği ve sıcaklığın artmasıyla numunelerin denge neminin azaldığı gözlenmiştir. BET, GAB ve Peleg modellerinin verilere uyum sağladığı belirtilmiştir. Glikoz şurubunun ilave edilmesi, tek tabakalı su miktarını ve izosterik sorpsiyon ısısını önemli ölçüde arttırmıştır [61].

Mrad ve arkadaşları (2012) tarafından elma ve armut ürünlerinin nem sorpsiyon izotermeleri 30, 45, 60 °C'de 0.04 - 0.83  $a_w$  aralığında incelenmiştir. Her iki meyve de Tip III davranışı sergilemiş ve nem desorpsiyon verileri, Peleg model ile en iyi uyumu sağlamıştır [62].

Perez ve arkadaşları (2008) tarafından limon kabuğunun nem sorpsiyon izotermi 20, 30, 40 ve 50 °C'de 0.11 - 0.98  $a_w$  aralığında incelenmiştir. Sorpsiyon izotermelerini modellemek için GAB, Oswin, Henderson, Halsey ve Ratti eşitlikleri kullanılmıştır. Modelleri çeşitli kriterlere göre değerlendirdikten sonra GAB modelinin verilere en iyi uyum sağlayan model olduğu ve ürünün Tip III davranışı sergilediği gözlenmiştir [63].

Amankwah ve arkadaşları (2018) tarafından tatlı patatesin 25 ve 50 °C'de 0 - 0.95  $a_w$  aralığında adsorpsiyon ve desorpsiyon özellikleri belirlenmiştir. Veriler için BET, GAB, Henderson, Halsey, Oswin, Smith ve Peleg eşitlikleri kullanılmıştır. Verilere en iyi uyumu ise; Oswin, Peleg ve GAB eşitliklerinin gösterdiği belirtilmiştir [51].

Sampaio ve arkadaşları (2009) tarafından buğday, çarkıfelek meyvesi, yulaf unu, mısır nişastası, yapay tatlandırıcı, margarin, su ve konsantre edilmiş çarkıfelek meyvesi suyundan elde edilen bisküvinin nem adsorpsiyon izotermi, 25 ve 40 °C'de ve 0.11 - 0.90  $a_w$  aralığında incelenmiştir. Adsorpsiyon izotermi modellemek için GAB, Henderson ve Oswin eşitlikleri kullanılmıştır. GAB modelinin verilere en iyi uyumu sağladığı ve bisküvinin sigmoidal davranış gösterdiği belirlenmiştir [64].

Maroulis ve arkadaşları (1988) tarafından yapılan çalışmada ise; kuru üzüm, incir, erik ve kayısının 0.11 - 0.92  $a_w$  aralığında 15, 30, 45 ve 60 °C'deki adsorpsiyon izotermi belirlenmiştir. GAB modelinin kurutulmuş meyvelerin sorpsiyon izotermine karşı çok iyi uyum sağladığı gözlenmiştir [65].

### 2.4.3. GAB (Guggenheim Anderson de Boer) Eşitliği

Guggenheim Anderson de Boer tarafından türetilen GAB modelinde, çoklu tabakada adsorplanan maddenin özellikleri dikkate alınmaktadır. GAB modeli, Eşitlik 1'deki gibi üç sabite ( $m_0$ , C, k) sahiptir ve model  $a_w = 0.95$  değerine kadar deneysel verilere uyum sağlamaktadır. European Project Group COST 90 on Physical Properties of Food tarafından önerilen, sorpsiyon izotermi modellemek için kullanılması gereken önemli bir modeldir [7].

$$m = \frac{m_0 k C a_w}{[1 - k a_w][1 - k a_w + C k a_w]} \quad (1)$$

GAB eşitliğinde; m denge nem içeriğini (% kurumadde),  $m_0$  tek tabaka nem içeriğini (% kurumadde),  $a_w$  su aktivitesini, C sorpsiyon enerjisi ile ilgili olan bir sabiti, k ise çoklu tabaka suyun bağlanma enerjisi ile ilgili olan bir sabiti tanımlamaktadır.

İzoterm tipine göre değişen C sabiti, 1-200 aralığında bir değer alabilmektedir. Tek tabaka nem içeriği ise gıdalar üzerinde enzim aktivitesi, enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları, lipid oksidasyonu, tekstürel yapı hakkında büyük bir önem taşımaktadır. Oksidasyon gibi gıdayı bozan reaksiyonlarda sınırlayıcı bir etki göstermektedir. Bu yüzden  $m_0$  gıdanın kalite stabilitesinin iyi bir göstergesidir [7, 48].

Meyve, sebze, et, baharat, çay, kahve, sert kabuklu yemiş ve yağlı tohumlar, süt ürünleri ve nişastalı ürünler grubunda yer alan gıdalara ait sorpsiyon izotermelerini tanımlayan en uygun modelin GAB modeli olduğu belirtilmektedir [6].

Balın sorpsiyon davranışları dikkate alındığında ise, çam ve narenciye balının sorpsiyon özellikleri ile ilgili bugüne kadar yapılmış herhangi bir çalışma literatürde bulunamamıştır. Çam balının diğer bal çeşitlerinden farklı olan en önemli özelliği salgı balı olmasıdır. Kaynağı; bitki öz suyunun, bitki emici böceğinin enzimlerinin ve proteinlerinin de karıştırılarak üretilen salgıdır. Arılar tarafından işlenen bu salgı, besin değeri yüksek çam balını daha da özel kılmaktadır. Çam balı, koyu renge ve aromatik bir kokuya sahiptir [66]. Besin değeri yüksek bir diğer bal; portakal, limon gibi turunçgil ağaçlarının çiçek açarak, nektarlarının arılar tarafından toplanmasıyla elde edilen narenciye balıdır. Akdeniz bölgesine has olan narenciye balı, oldukça akışkan ve açık renkte bir baldır [67]. Türkiye dünya çam balı üretiminin % 92'sini gerçekleştirmektedir. Çam balı, Türkiye'deki bal ihracatının neredeyse tamamını kapsamaktadır. Türkiye'nin çam balı piyasasındaki bu konumu, arıcılık sektöründeki güçlü yönünü göstermektedir [68]. Çam ve narenciye balına ait özelliklerin ortalama değerleri Tablo 2.2'de belirtilmiştir [69-71].

**Tablo 2.2.** Çam ve narenciye balının özellikleri [69-71].

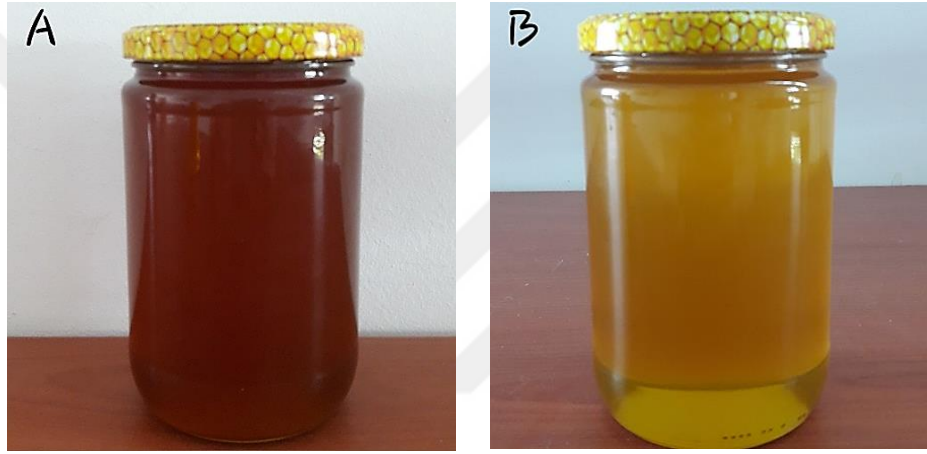
İçerik	Çam Balı	Narenciye Balı
Su (%)	16.5	16.4
Fruktoz (%)	35.4	42.1
Glikoz (%)	28.0	35.5
Sakkaroz (%)	2.9	0.9
Maltoz (%)	1.3	1.6
pH	4.5	3.8
Elektriksel iletkenlik (mS / cm)	1.3	2.1

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Bal Örnekleri

Çalışmada çam balı (Balparmak, Numune No:19.0046, Türkiye) ve narenciye balı (Balparmak, Numune No: 18.0100, Türkiye) örnekleri kullanılmıştır (Şekil 3.1). Temizlenmiş olarak temin edilen örnekler, deneyde kullanılmak üzere oda sıcaklığında (25 °C) hava geçirmez kavanozlarda bir süre muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan bal örnekleri (A - çam balı, B - narenciye balı)

##### 3.1.2. Tuz Çözeltileri

Farklı  $a_w$  aralığını (0.1 - 1.0) sağlayan ortam koşulunu elde etmek için saf su ve 11 adet doymuş tuz çözeltisi; lityum klorür (LiCl), potasyum asetat ( $CH_3CO_2K$ ), magnezyum klorür ( $MgCl_2$ ), potasyum karbonat ( $K_2CO_3$ ), sodyum bromür (NaBr), magnezyum nitrat ( $Mg(NO_3)_2$ ), sodyum klorür (NaCl), amonyum sülfat ( $(NH_4)_2SO_4$ ), potasyum klorür (KCl), potasyum nitrat ( $KNO_3$ ) ve potasyum sülfat ( $K_2SO_4$ ) kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan çam ve narenciye balının analizleri, Altıparmak Gıda San. ve Tic. A.Ş firması tarafından yapılmış ve balların analiz sonuçları Tablo 3.1'de verilmiştir.



**Tablo 3.1.** Çam ve narenciye balının numune analiz raporu

	<i>TGK Bal Tebliğine Göre Salgı Balı Sınır Değerleri</i>	<b>Çam Balı</b>	<i>TGK Bal Tebliği'ne Göre Narenciye Balı Sınır Değerleri</i>	<b>Narenciye Balı</b>
<b>Renk</b>	<i>Min. 60</i>	63.0	-	8.0
<b>Nem (%)</b>	<i>Mak. 20</i>	16.6	<i>Mak. 20</i>	18.1
<b>HMF (mg / kg)</b>	<i>Mak. 40</i>	1.4	<i>Mak. 40</i>	7.0
<b>Asit (m.q. g / kg)</b>	<i>Mak. 50</i>	13.2	<i>Mak. 50</i>	5.0
<b>Prolin (mg / kg)</b>	<i>Min. 300</i>	436	<i>Min. 180</i>	325
<b>İletkenlik mS / cm</b>	<i>Min. 0.8</i>	1.08	<i>Mak. 0.8</i>	0.15
<b>Diastas Sayısı (DN)</b>	<i>Min. 8</i>	13.2	<i>Min. 3</i>	5.0
<b>Fruktoz (%)</b>	-	33.5	-	37.6
<b>Glikoz (%)</b>	-	27.4	-	30.4
<b>Fruktoz / Glukoz Oranı</b>	<i>1.0 - 1.4</i>	1.22	<i>0.9 - 1.4</i>	1.24
<b>Fruktoz + Glikoz (%)</b>	<i>Min. 45</i>	60.9	<i>Min. 60</i>	68.0
<b>Sakkaroz (%)</b>	<i>Mak. 10</i>	0.3	<i>Mak. 10</i>	3.1
<b>Maltoz (%)</b>	-	1.8	-	1.9
<b>Turanoz (%)</b>	-	1.4	-	1.3
<b>Erloz (%)</b>	-	2	-	1.9
<b>İzomaltoz (%)</b>	-	1.3	-	0.3
<b>Maltotrioz (%)</b>	-	0	-	0
<b>Toplam Disakkarit (%)</b>	-	9.4	-	7.5
<b>Yüksek Şekerler (%)</b>	-	8.7	-	1.5

<b>C13 Protein Bal Farkı</b>	<i>Min. -1.0</i>	-0.2	<i>Min. -1.0</i>	0.3
<b>C4 Şekerleri (%)</b>	<i>Mak. 7</i>	1.3	<i>Mak. 7</i>	0
<b>Nişasta / Polen Oranı (%)</b>	<i>TLA</i>	1.8	<i>TLA</i>	1.3

*TLA: Tespit Limiti Altında*

### 3.2. Yöntem

#### 3.2.1. Sorpsiyon İzotermelerinin Belirlenmesi

Çam ve narenciye balı örneklerinin denge nemleri, saf su ve doymuş tuz çözeltilerinin hazırlanmasıyla oluşan farklı  $a_w$  aralığındaki (0.1 – 1.0) ortam koşullarında belirlenmiştir. Saf suyun, doymuş tuz çözeltilerinin ve bal örneklerinin 20, 30 ve 40 °C'deki  $a_w$ 'leri su aktivitesi cihazında (Novasina LabSwift, İsviçre) ölçülmüştür. Çam ve narenciye balları için kullanılan çözeltilerin  $a_w$  değerleri Tablo 3.2'de ve Tablo 3.3'te gösterilmiştir.

Çam ve narenciye ballarındaki maya oluşumu ise gözleme dayalı bir kalitatif analiz yapılarak belirlenmiştir.

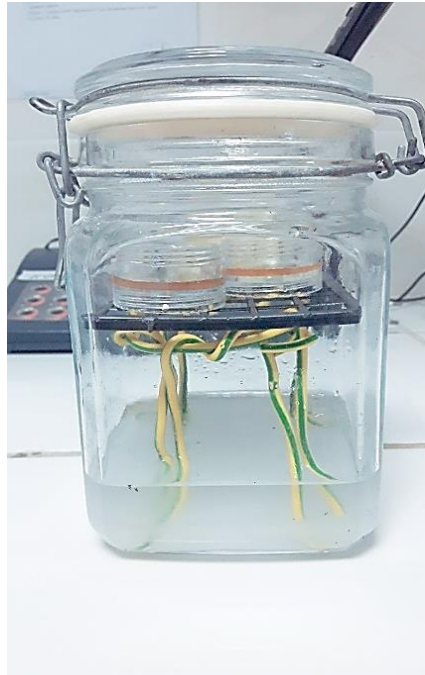
**Tablo 3.2.** Çam balında kullanılan doymuş tuz çözeltilerinin 20, 30 ve 40 °C'deki  $a_w$  değerleri

Ortam	20 °C	30 °C	40 °C
<b>LiCl</b>	0.117	0.103	0.125
<b>CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>K</b>	0.199	0.196	0.237
<b>MgCl<sub>2</sub></b>	0.308	0.298	0.305
<b>K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b>	0.430	0.426	0.438
<b>NaBr</b>	0.597	0.555	0.535
<b>Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub></b>	0.602	0.601	0.622
<b>NaCl</b>	0.730	0.718	0.726
<b>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	0.781	0.760	0.768
<b>KCl</b>	0.848	0.831	0.803
<b>KNO<sub>3</sub></b>	0.896	0.877	0.864
<b>K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	0.947	0.930	0.935
<b>H<sub>2</sub>O</b>	0.976	0.966	0.975

**Tablo 3.3.** Narenciye balında kullanılan doymuş tuz çözeltilerinin 20, 30 ve 40 °C'deki  $a_w$  değerleri

Ortam	20 °C	30 °C	40 °C
<b>LiCl</b>	0.117	0.118	0.125
<b>CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>K</b>	0.199	0.192	0.201
<b>MgCl<sub>2</sub></b>	0.308	0.305	0.311
<b>K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b>	0.430	0.476	0.501
<b>NaBr</b>	0.597	0.565	0.545
<b>Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub></b>	0.602	0.645	0.692
<b>NaCl</b>	0.730	0.722	0.722
<b>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	0.781	0.758	0.773
<b>KCl</b>	0.848	0.834	0.827
<b>KNO<sub>3</sub></b>	0.896	0.880	0.862
<b>K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	0.947	0.939	0.938
<b>H<sub>2</sub>O</b>	0.976	0.966	0.970

Doymun çözeltiler, Şekil 3.2'de gösterilen hava geçirmez kilitli cam kavanozlara aktarılmıştır.



**Şekil 3.2.** Sorpsiyon düzeneği

Kavanozlar; 20, 30 ve 40 °C'deki inkübatörlere (Velp Scientifica, Foc 225I, İtalya) yerleştirilmiştir. Çalışma; iki paralel şekilde yapılmış, farklı bağıl nem ortamında bulunan bal örneklerinin ağırlıkları 24 saatte bir, 90 gün süre ile terazide (Adventurer Pro AV264C, İsviçre) 0.0001 g hassasiyetle tartılmış ve kuru temelde hesaplanmıştır. Her bir sıcaklık değerindeki (20, 30, 40 °C), çam (1. ve 2. paralel) ve narenciye (1. ve 2. paralel) balları için ayrı ayrı belirlenen 90 günlük nem miktarı verileri, Curve Expert 1.4 programında tanımlanmıştır.

Programda tanımlanan nem miktarlarının (y - eksen), zamana (gün) (x - eksen) karşı değişimi çizdirilmiştir. Model uyumluluğu istatistiğinde değişime uyan en iyi eşitlikler "Curve Expert" programı tarafından belirlenmiştir. Ağırlık değişiminin durduğu günü kestirmek için belirlenen sıcaklıklardaki (20, 30, 40 °C) tüm çözeltilerde bulunan örnekler için elde edilen uygun eşitliğin 1. türevinin (dy / dx = 0) "sıfır" olduğu nokta (dengeye geldiği nokta) hesaplanarak, farklı sıcaklık ve a<sub>w</sub>'deki her bir örneğin denge nemi belirlenmiştir. Tüm doymuş tuz çözeltilerinde bulunan örnekler için elde edilen; Rasyonel Fonksiyon, Harris Modeli, 3. Derece Polinom Uyumu, 4. Derece Polinom Uyumu, MMF Modeli, Lojistik Modeli, Üstel İlişki (3) ve Bleasdale Modeli, deneysel verilere en iyi uyum sağlayan eşitliklerdir [72]. Sorpsiyon izotermi, örneklerin DN'sinin (% kurumadde) a<sub>w</sub>'ye karşı grafiğe geçirilmesi ile elde edilmiştir. Bağıl nem ile su aktivitesi birbiri ile ilişkili parametrelerdir.

Tüm sıcaklıktaki (20, 30, 40 °C) doymuş tuz çözeltileri için en iyi uyumu sağlayan eşitlikler; EK 1, EK 2, EK 3, EK 4, EK 5, EK 6, EK 7, EK 8, EK 9, EK 10, EK 11 ve EK 12'de verilmiştir. Belirlenen sıcaklıklardaki (20, 30, 40 °C) tüm doymuş tuz çözeltilerinde Curve Expert programı tarafından çizilen çam (1. ve 2. paralel), narenciye (1. ve 2. paralel) ballarının nem içeriklerinin süreye (güne) bağlı değişimlerinin olduğu grafikler de EK 13, EK 14, EK 15, EK 16, EK 17 ve EK 18'de verilmiştir.

### 3.2.2. GAB Model Uyumunun İncelenmesi

GAB modelinin deneysel verilere olan uyumunu belirleyebilmek için doğrusal olmayan regresyon analizi uygulanmıştır. GAB eşitliği, Curve Expert programında tanımlanmış ve eşitliğin parametreleri (m<sub>0</sub>, C, k) hesaplanmıştır. Modelin verilere uygunluğu; korelasyon katsayısı (r), standart hata (s), belirtme katsayısı (R<sup>2</sup>), ortalama bağıl hata (OBH) ve fark dağılımları ile belirlenmiştir.

$$m = \frac{m_0 k C a_w}{[1 - k a_w][1 - k a_w + C k a_w]} \quad (1)$$

GAB Modeli, geniş bir su aktivitesi aralığında incelenebildiği için deneysel verilere uyum sağlayabilmektedir. Eşitlik 1’de belirtilen m denge nem içeriğini (% , kurumadde),  $m_0$  tek tabaka nem içeriğini (% , kurumadde),  $a_w$  su aktivitesini, C sorpsiyon enerjisi ile ilgili olan sabiti, k çoklu tabaka suyun bağlanma enerjisi ile ilgili olan sabiti belirtmektedir [7, 48].

### 3.2.3. İstatistiksel Analiz

Belirli sıcaklıklarda (20, 30, 40 °C) elde edilen sorpsiyon izotermelerindeki regresyon eğrilerinin, arasında fark olup olmadığını ( $p < 0.01$ ) gözlemleyebilmek için IBM SPSS Statistics 21 paket programı kullanılarak, Korelasyon Analizi (Bivariate – Partial) yapılmıştır.



## 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

### 4.1. Örneklerin Bozulma Sürelerinin Belirlenmesi

Yüksek şeker içerikli bir ürün olan bal, orta nemli gıdalar kategorisinde yer almaktadır. Orta nemli gıdalar, 0.60 – 0.85  $a_w$  arasında karakterize edilen ürünlerdir. Orta nemli gıdaların bozulmasında kserotolerant mayaların etkili olduğu belirtilmektedir [73]. Çam ve narenciye balı örneklerinde çalışılan sıcaklıklarda (20, 30 ve 40 °C) % 70 bağıl nemin üzerinde, denge nemine ulaşmadan maya oluşumu gözlenmiştir. Çam balındaki maya oluşum süreleri Tablo 4.1’de, narenciye balındaki maya oluşum süreleri ise Tablo 4.2’de gösterilmiştir.

**Tablo 4.1.** Çam balında farklı sıcaklık ve bağıl nem değerindeki maya oluşum süreleri

T (°C)	Ortamin “% BN” değeri	Çam Balı - Su içeriği (% , kurumadde)
20	73	70. gün – 36
	78	68. gün - 38.8
	85	19.gün - 64.5
	90	16. gün - 57.7
	95	14. gün - 71.4
	98	9. gün - 137
30	72	59. gün - 32.
	76	25. gün - 47.3
	83	29. gün - 58.1
	88	6. gün - 78.5
	93	6. gün - 120
	97	6. gün - 150.6
40	73	86. gün - 35
	77	22. gün – 44.2
	80	22. gün - 55.6
	86	16. gün - 71.4
	94	12. gün - 137.6
	98	6. gün – 122.4

**Tablo 4.2.** Narenciye balında farklı sıcaklık ve bağıl nem değerindeki maya oluşum süreleri

T (°C)	Ortamın "% BN" değeri	Narenciye Balı - Su içeriği (%, kurumadde)
20	73	71. gün - 41.1
	78	36. gün - 51.2
	85	24. gün - 55.2
	90	16. gün - 70.5
	95	16. gün - 114.1
	98	16. gün - 134.4
30	72	47. gün - 41.3
	76	25. gün - 51.5
	83	22. gün - 57.8
	88	7. gün - 86.3
	94	6. gün - 127.5
	97	5. gün - 190.6
40	72	47. gün - 43.7
	77	47. gün - 60.3
	83	24. gün - 65.6
	86	11. gün - 125.3
	94	6. gün - 168.2
	97	6. gün - 216.2

Çalışılan sıcaklıklarda (20, 30 ve 40 °C) % 70 BN'nin üzerinde muhafaza edilen çam balının başlangıç su içeriği 19.90 (% , kurumadde); narenciye balının başlangıç su içeriği 22.10 (% , kurumadde) olarak belirlenmiştir.

Mikroorganizmaların gelişebildikleri en düşük  $a_w$  değeri; küflerde 0.7, mayalarda 0.8, bakterilerde 0.9 olarak belirtilmektedir [42]. Birçok maya, gıdaların bozulmasında etkili bir rol oynamaktadır [73]. Mayaların baldaki şekerleri parçalaması ile bal, fermantasyona uğramakta ve balda lezzet kaybı oluşmaktadır [29].

Çalışma sıcaklıklarında (20, 30, 40 °C) örneklerin deneyler öncesinde  $a_w$  değerleri sırasıyla; çam balında 0.590, 0.576, 0.597, narenciye balında ise 0.577, 0.587, 0.594 olarak ölçülmüştür.

Orta nemli gıdalar (yüksek şekerli gıdalar) kategorisinde yer alan bala, kserotolerant (ozmofilik) mayalar etki etmektedir. Bal; bağıl nemi yüksek bir ortamda muhafaza edildiğinde balın  $a_w$  değeri nem alımından dolayı artmaktadır, bu yüzden balda hızlı maya gelişimi gözlenebilmektedir. En hızlı maya gelişiminin 0.920 – 0.970  $a_w$  aralığında da mümkün olabileceği belirtilmektedir. Su aktivitesi değeri 0.500 – 0.600 aralığında değişen bal mikroflorasında yer alan mayalar arasında baskın olarak *Saccharomyces* türleri bulunmaktadır ve yaygın olarak baldan izole edilen bozucu maya, *Zygosaccharomyces rouxii*'dir [73].

Ozmofilik mayalar, glikoz ve fruktoza etki ederek karbondioksit ve etanol oluştururlar. Meydana gelen bu bileşikler, oksijen varlığında yükseltgenir ve asetik asit ile suya dönüşürler. Bu olay, "fermantasyon" olarak adlandırılmaktadır. Fermantasyon; balın su miktarına, depolanma koşullarına ve balda oluşan mayaya bağlıdır. Fermantasyona uğrayan balın yapısı bozulmakta ve ekşi bir tada sahip olmaktadır. Oluşan karbondioksit ise balın renginin daha açık görünmesine neden olmaktadır [74].

Çalışmada çam ve narenciye balının sırasıyla nem içeriği değerleri başlangıçta % 16.6 ve % 18.1 olarak belirlenmiştir (Tablo 3.1). Nem içeriğinin, % 17'den düşük olması balın fermentasyon riski taşımadığını; % 20'den yüksek olması balda fermentasyon riskinin de oldukça yüksek olduğunu göstermektedir [75].

Yao ve arkadaşları (2003) Avustralya'daki unifloral balların (Yapunyah – Yellow box) bozulabileceğini gösteren bir sorpsiyon çalışması gerçekleştirmiştir. Bal örnekleri, 30 °C'de kontrollü bağıl nem ortamında 71 gün boyunca muhafaza edilmiştir. Her iki balın da % 67.9 bağıl nemin üzerinde nem aldığını; % 51.4'ün altında ise nem kaybettiğini belirlemişlerdir. Balın viskozitesinin nem aldıkça azaldığını ve örneklerin birinde (Yellow box) 71 günün sonunda % 83.3 bağıl nemin üzerinde de küflenmenin oluştuğunu gözlemlemişlerdir [76].

Sıcaklık, ışık ve nem balın kalitesini belirleyen faktörlerdir [1]. Balın kalitesinin belirlenmesinde etkili olan HMF, ısı işlem sonucu şeker ve amino asitler arasındaki tepkime ile oluşan bir bileşiktir. Balın uzun süre depolanması ve yüksek sıcaklıkta ısıtılması sonucu, baldaki HMF miktarı artmakta ve balın yapısı bozulmaktadır [76].

Balın kalitesinden sorumlu bir diğer önemli faktör ise; balın nem miktarıdır. Nem, balın raf ömrünü belirleyen bir kalite parametresidir. Mayanın neden olduğu fermentasyon baldaki nem içeriği ile ilişkilidir. Balın nem miktarının yüksek olması, bazı ballarda kristalleşmeyi hızlandırabilir ve fermentasyona neden olan mayaların gelişmesini sağlayarak da balın  $a_w$ 'sini arttırabilir. Ozmofilik mayalar, yüksek nem miktarında balın yapısını bozmaktadırlar. Bu yüzden, balın nem içeriğinin % 20'den fazla olmamasına dikkat edilmelidir. Yapılan çalışmalar, balın nem içeriği ve su aktivitesi arasında yüksek bir korelasyonun olduğunu göstermektedir [40, 77].



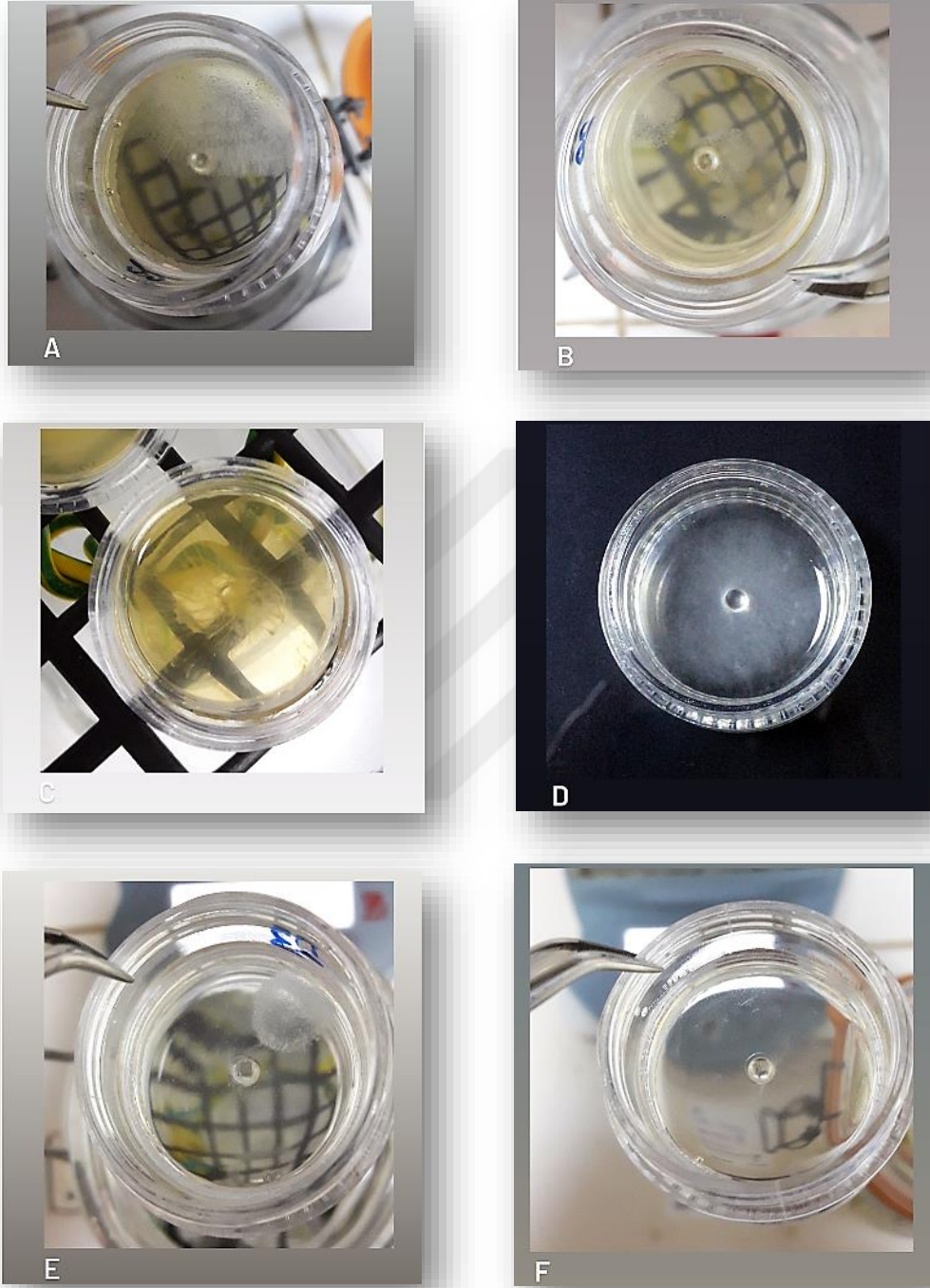
Salgı balı genelde daha yüksek oranda mineral içeriğine ve pH değerlerine sahiptir. Bu parametreler, balın stabilitesini olumlu yönde etkilemekte ve balın depolanması sırasındaki raf ömrünü uzatmaktadır [80]. Salgı balının antioksidan ve antibakteriyel özellikleri, çoğu çiçek balından daha yüksektir. Balın antibakteriyel özelliği; asitlik ve  $H_2O_2$  ile ilgilidir. Yapısında fazla miktarda mineral bulundurmasından dolayı koyu renkte karakterize edilen salgı balının, asitlik değeri de çiçek balından daha yüksektir [77, 79].

Hemen hemen tüm bal çeşitlerinde fruktoz miktarı glikoz miktarından daha fazladır. Normal depolama koşullarında balın şeker içeriğinin yüksek olması, balda mikrobiyal bozulmayı engellemektedir. Ancak, baldaki glikoz miktarı zamanla kristalizasyona neden olabilmekte ve balın nem içeriğinin artmasıyla bal, fermantasyona da uğrayabilmektedir [80, 81]. Çalışmada kullanılan narenciye balının kristalleşmesi, narenciye balındaki glikoz miktarının, çam balındaki glikoz miktarından daha fazla olduğunun göstergesidir (Tablo 3.1).

Nem; kristalizasyon, viskozite gibi balın fiziksel özelliklerini, rengini, lezzetini ve çözünübilirliğini de etkilemektedir [84]. Balın nem ve şeker içeriği arasında da önemli bir ilişki bulunmaktadır. Balda kristalleşme, higroskopisite, yoğunluk, tatlılık gibi fiziksel ve kimyasal özellikler, aslında balın yapısındaki yüksek derişimli şeker çözeltilerinden kaynaklanmaktadır [82].

Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'ye göre; salgı balı çeşidi olan çam ve çiçek balı çeşidi olan narenciye ballarının bozulma süreleri, ortamın sıcaklığına ve  $a_w$ 'sine bağlı olarak değişmektedir. Aynı koşullarda bulunan örnekler üzerindeki maya oluşumu, narenciye balına kıyasla çam balında daha geç gözlenmiştir. Bu durumun nedeninin, Tablo 3.1'de belirtildiği gibi çam balının; (% 16.6) narenciye balından (% 18.1) daha düşük nem içeriğine sahip olmasından ve glikoz içeriğinin (% 27.4), narenciye balının glikoz içeriğinden (% 30.4) daha az miktarda olmasından, kristalizasyona uğramamasından ve daha düşük higroskopik özellik göstermesinden, narenciye balının asitlik değerine (5.0 m.q.g/kg) göre çam balının daha fazla asitlik değerine (13.2 m.q.g/kg) sahip olmasından kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

Çam ve narenciye balı örneklerinde meydana gelen bozulmalar Şekil 4.1'de görülmektedir.



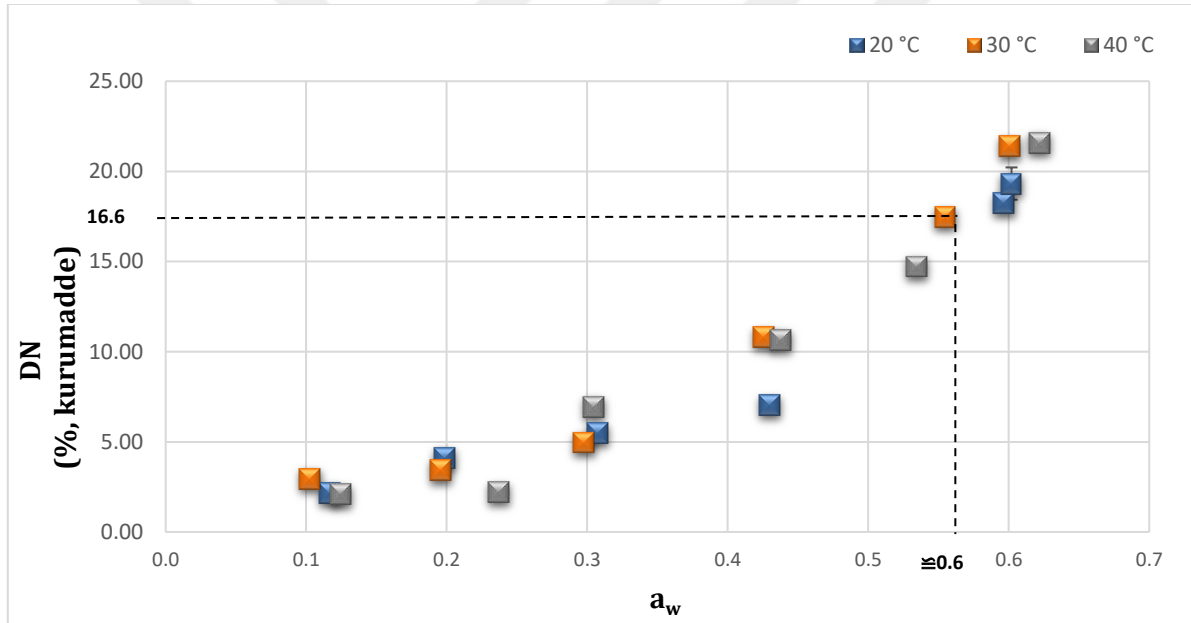
**Şekil 4.1.** Bozulan çam ve narenciye ballarının görünümü

(A -çam balı, 20 °C, 16.gün; B -çam balı, 30 °C, 6.gün; C -çam balı, 40 °C, 12.gün;  
D -narenciye balı, 20 °C, 16.gün; E -narenciye balı, 30 °C, 5.gün; F -narenciye balı, 40 °C, 11.gün)

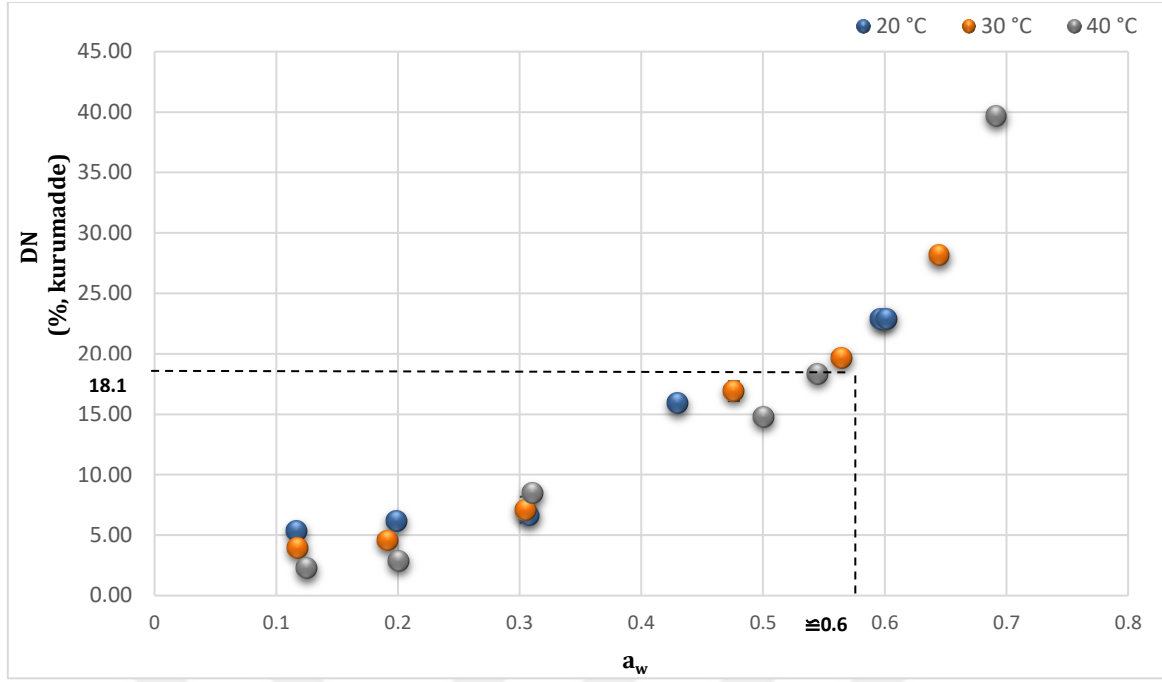
## 4.2. Sorpsiyon İzoterm Sonuçları

Çalışılan sıcaklıklarda (20, 30 ve 40 °C) çam ve narenciye balı örneklerinde,  $a_w > 0.70$  olduğunda dengeye gelmeden maya oluşumu gözlenmiş, mikrobiyolojik açıdan balların bozulduğu tespit edilmiştir. Bu yüzden çam ve narenciye ballarında maya oluşumunun gözlenmediği  $a_w$  ortam aralığındaki (0.1 – 0.71) örneklerin DN'leri dikkate alınarak çizilen çam balına ait sorpsiyon izotermi Şekil 4.2'de ve narenciye balına ait sorpsiyon izotermi de Şekil 4.3'te gösterilmiştir.

Çam balının, 20 °C'deki  $a_w$ 'si 0.590, 30 °C'deki  $a_w$ 'si 0.576 ve 40 °C'deki  $a_w$ 'si 0.597; narenciye balının, 20 °C'deki  $a_w$ 'si 0.577, 30 °C'deki  $a_w$ 'si 0.587 ve 40 °C'deki  $a_w$ 'si 0.594 iken her iki farklı bal örnekleri,  $a_w$ 'si 0.6'dan düşük ortamlarda su kaybetmiş;  $a_w$ 'si 0.6'dan yüksek ortamlarda da su almıştır (Şekil 4.2, Şekil 4.3).



Şekil 4.2. Çam balının 20, 30, 40 °C'de (0.1 – 0.70)  $a_w$  aralığındaki sorpsiyon eğrisi



**Şekil 4.3.** Narenciye balının 20, 30, 40 °C’de (0.1 – 0.71)  $a_w$  aralığındaki sorpsiyon eğrisi

Çalışılan sıcaklıklarda (20, 30, 40 °C) elde edilen sorpsiyon izotermlerindeki regresyon eğrilerinin birbirlerinden farklı olup olmadığını ( $p < 0.01$ ) gözlemleyebilmek için yapılan Korelasyon Analizi (Bivariate – Partial) sonuçları; Tablo 4.3’te, Tablo 4.4’te, Tablo 4.5’te ve Tablo 4.6’da verilmiştir.

**Tablo 4.3.** Çam balının denge nemleri ve doymuş tuz çözeltilerinin su aktiviteleri arasındaki Bivariate korelasyonu

		Çözeltilerin su aktivitesi	Denge nemi
Çözeltilerin su aktivitesi	Pearson Correlation	1	0.955**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	18	18
Denge nemi	Pearson Correlation	0.955**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	18	18

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

**Tablo 4.4.** Sıcaklık kontrolünde çam balının denge nemleri ve doymuş tuz çözeltilerinin su aktiviteleri arasındaki Partial korelasyonu

Control Variables		Çözeltilerin su aktivitesi	Denge nemi
Sıcaklık	Çözeltilerin su aktivitesi	Correlation	1.000
		Significance (2-tailed)	.
		df	0
	Denge nemi	Correlation	0.955
		Significance (2-tailed)	.000
		df	15

**Tablo 4.5.** Narenciye balının denge nemleri ve doymuş tuz çözeltilerinin su aktiviteleri arasındaki Bivariate korelasyonu

		Çözeltilerin su aktivitesi	Denge nemi
Çözeltilerin su aktivitesi	Pearson Correlation	1	0.934**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	18	18
Denge nemi	Pearson Correlation	0.934**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	18	18

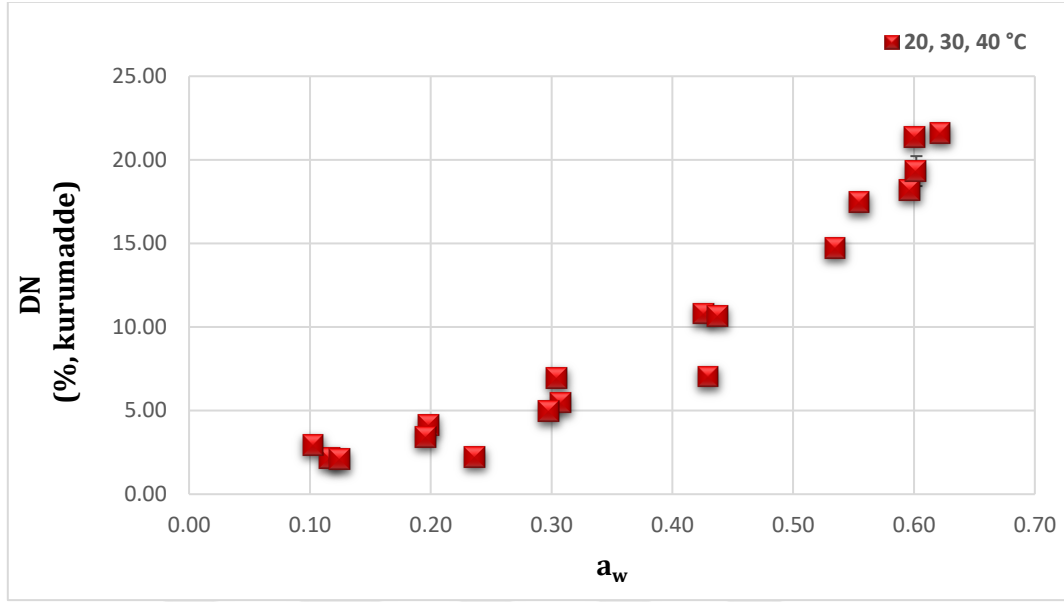
\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

**Tablo 4.6.** Sıcaklık kontrolünde narenciye balının denge nemleri ve doymuş tuz çözeltilerinin su aktiviteleri arasındaki Partial korelasyonu

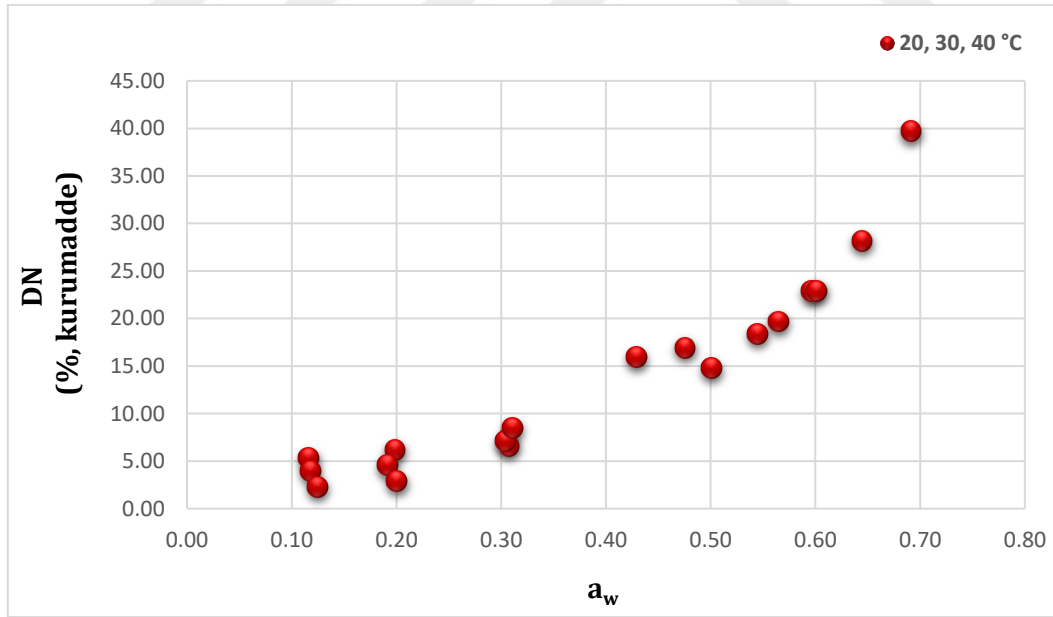
Control Variables		Çözeltinin su aktivitesi	Denge nemi	
Sıcaklık	Çözeltinin su aktivitesi	Correlation	1.000	0.934
		Significance (2-tailed)	.	.000
		df	0	15
	Denge nemi	Correlation	0.934	1.000
		Significance (2-tailed)	.000	.
		df	15	0

Çam balı için sıcaklığın dahil edilmediği Tablo 4.3 ile kontrol parametresi olarak sıcaklığın dahil edildiği Tablo 4.4'teki analiz sonuçları karşılaştırılmış ve her iki tablodaki korelasyon katsayı (0.955) ilişkilerinde hiçbir değişiklik gözlenmemiştir. Narenciye balı için yapılan Tablo 4.5 ile Tablo 4.6'daki korelasyon katsayısı (0.934) analiz sonuçları da aynı durumu göstermektedir ( $p < 0.01$ ). Bu yüzden, sıcaklığın istatistiksel analiz yöntemiyle regresyon eğrileri üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı saptanmıştır (% 99 güven aralığı).

Çam ve narenciye ballarına ait üç sıcaklığın (20, 30, 40 °C) verileri de birleştirilmiş ve Şekil 4.4'te çam balının, Şekil 4.5'te narenciye balının sorpsiyon izotermi gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Çam balının (0.1 - 0.70)  $a_w$  aralığındaki sorpsiyon eğrisi



Şekil 4.5. Narenciye balının (0.1 - 0.71)  $a_w$  aralığındaki sorpsiyon eğrisi

Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te görüldüğü gibi çam ve narenciye ballarının sorpsiyon izotermi; çoğu şekerli üründe olduğu gibi J şekilli, Tip III izotermine uyum göstermiştir. Tip III izotermi, tuz ve şeker gibi saf kristallerin sorpsiyon izotermi esnasında oluşmaktadır [46].

Witczak ve arkadaşları (2017) tarafından şekerlenmiş (glikoz – fruktoz şurubu) portakal kabuğunun 25 °C'deki sorpsiyon izotermi üzerine çalışılmış ve şekerlenmiş portakal kabuğunun sorpsiyon davranışı, normal portakal kabuğunun sorpsiyon davranışı ile karşılaştırılmıştır. Normal portakal kabuğunun sorpsiyon izotermine Tip II sigmoidal davranış gösterdiği, şekerlenmiş portakal kabuğunun ise Tip III izotermine karşılık geldiği belirtilmiştir [84].

Hadjikinova ve arkadaşları (2003) tarafından yapılan çalışmada, izomalt ve sorbitol ile tatlandırılan akide şekerinin 20 °C'deki sorpsiyon izotermi değerlendirilmiş ve şekerlemelerin Tip III sorpsiyon davranışı sergilediği gözlenmiştir [85].

Falade ve arkadaşları (2004), 20, 30 ve 40 °C'de kavrulmuş kaju fıstığının ve balla kaplanmış kaju fıstığının adsorpsiyon izotermi üzerine çalışmışlar ve GAB modelinin izoterm verilerine en iyi uyumu sağladığını belirtmişlerdir. Çalışmada kavrulmuş kaju fıstığı Tip II (Sigmoidal), balla kaplı kavrulmuş kaju fıstığı ise Tip III (J-şekilli) davranışı göstermiştir [86].

#### 4.3. GAB Model Uyumunun Değerlendirilmesi

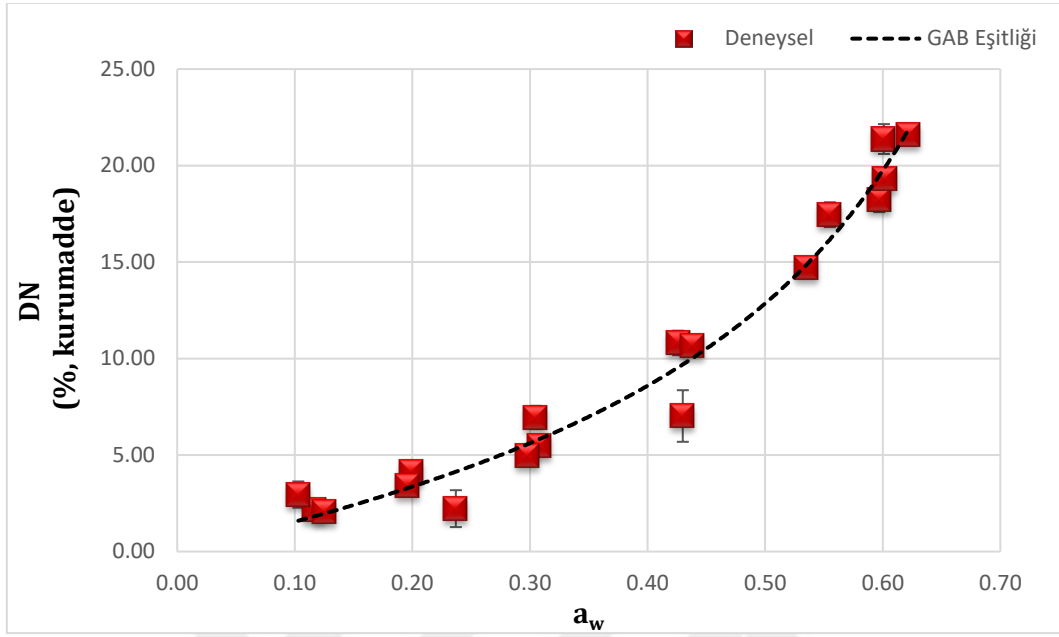
GAB modelinin Şekil 4.4'teki çam ve Şekil 4.5'teki narenciye ballarının sorpsiyon izoterm verilerine olan uyumu, doğrusal olmayan regresyon analizi ile tespit edilmiştir. Curve Expert programında tanımlanan GAB modelinin parametreleri ( $m_0$ , C, k) Eşitlik 1'e göre hesaplanmıştır.

$$m = \frac{m_0 k C a_w}{[1 - k a_w][1 - k a_w + C k a_w]} \quad (1)$$

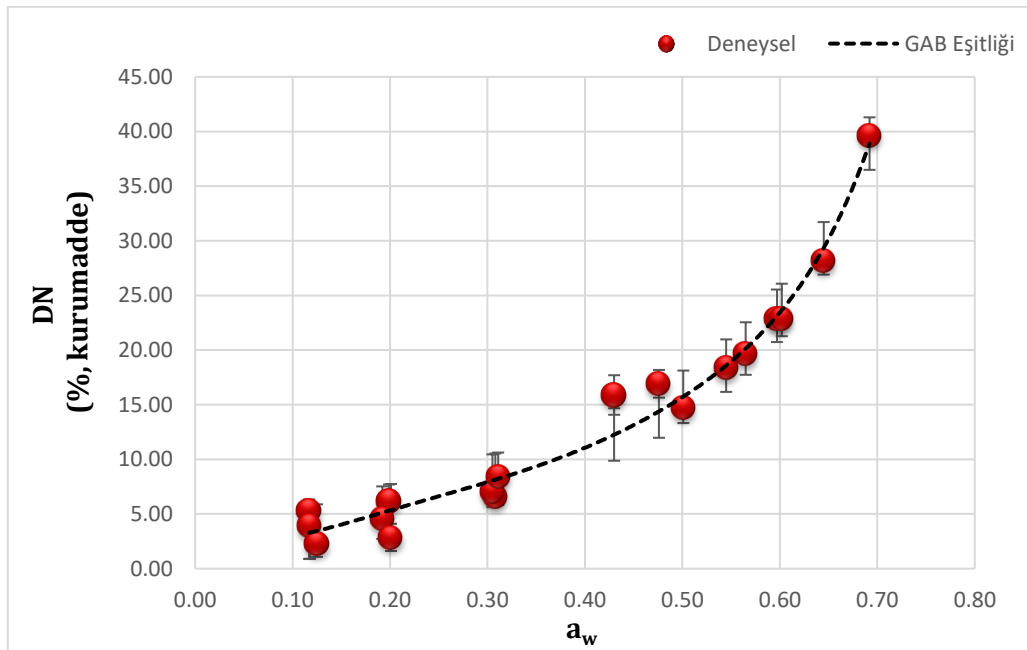
Curve Expert programı tarafından çam ve narenciye ballarının denge nemlerinin belirlenmesi için belirlenen sıcaklıklardaki tüm tuz çözeltileri için farklı eşitlikler kullanılmak zorunda kalmıştır.



Şekil 4.6'da çam balının ve Şekil 4.7'de narenciye balının deneysel denge nem içeriklerine GAB eşitliğinin uyumu gösterilmiştir.

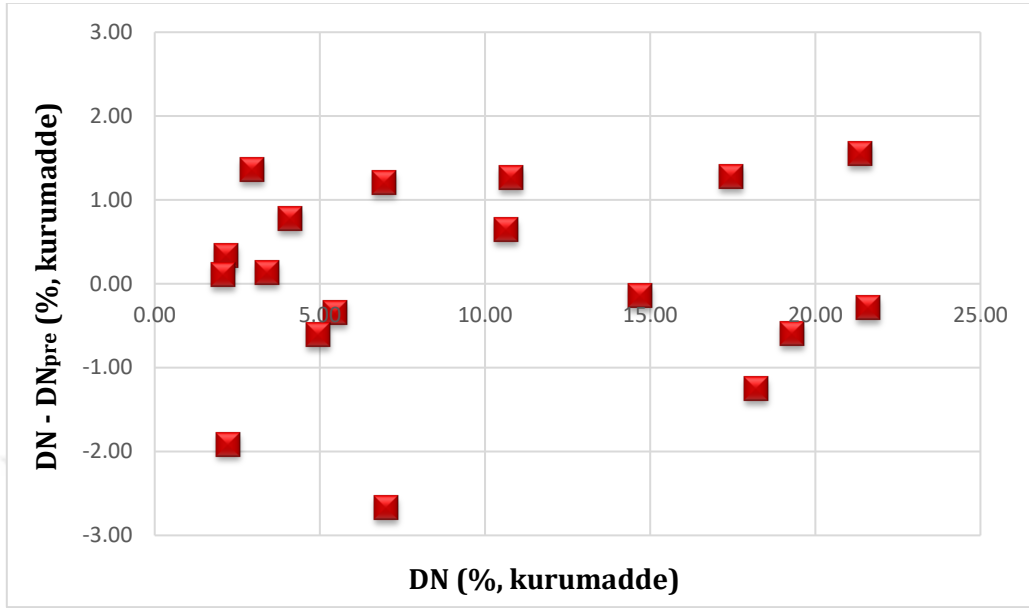


Şekil 4.6. Çam balının deneysel denge nem içeriği ile GAB eşitliğinden elde edilen denge nem içeriklerinin uyumu

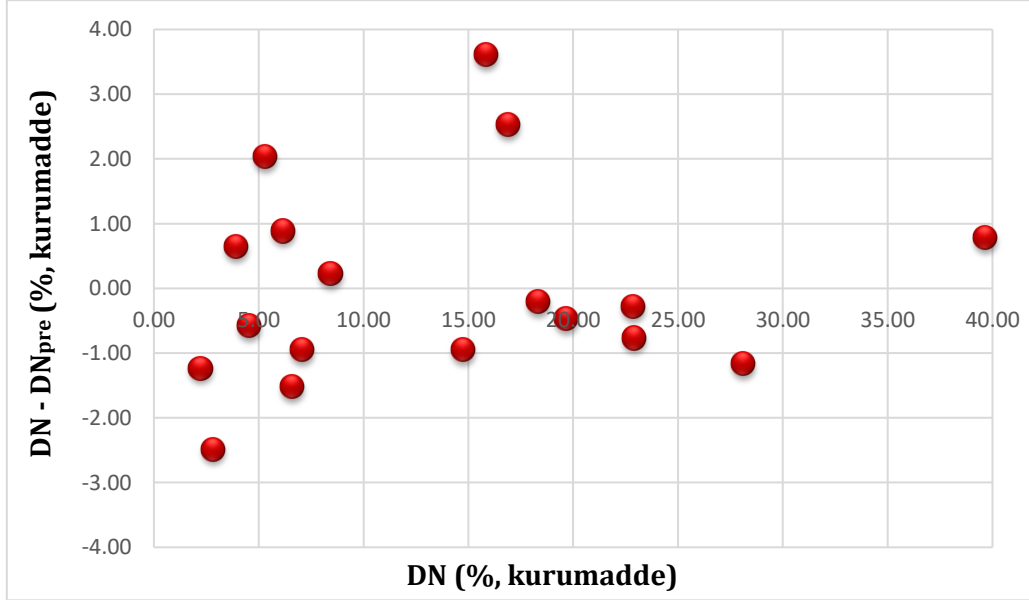


Şekil 4.7. Narenciye balının deneysel denge nem içeriği ile GAB eşitliğinden elde edilen denge nem içeriklerinin uyumu

Şekil 4.8'de çam balının ve Şekil 4.9'da narenciye balının deneysel ve kuramsal denge nemlerinin fark dağılımı, sıfırın etrafında rastgele dağılım göstermektedir.



Şekil 4.8. Çam balına ait fark dağılımı



Şekil 4.9. Narenciye balına ait fark dağılımı

GAB modelinin yeterliliğinin değerlendirilmesinde; korelasyon katsayısı ( $r$ ), standart hata ( $s$ ), belirtme katsayısı ( $R^2$ ), ortalama bağıl hata (OBH) ve fark dağılımları kullanılmıştır. Tablo 4.7'de elde edilen değerler verilmiştir.

**Tablo 4.7.** Çam ve narenciye balında GAB model uyumu veri çözümleme

	<b>Çam Balı</b>	<b>Narenciye Balı</b>
<b>r</b>	0.99±0	0.99±0
<b>s</b>	1.25±0.05	1.63±0.01
<b>R<sup>2</sup></b>	0.97±0	0.96±0
<b>OBH (%)</b>	16.32±0.59	17.80±0.93
<b>m<sub>0</sub> (% , kurumadde)</b>	8.81±0.62	7.69±0.44
<b>C</b>	1.48±0.0	3.65±0.02
<b>k</b>	1.11±0.24	1.18±0.02
<b>fark dağılımı</b>	Rastgele	Rastgele

Tablo 4.7'deki GAB model uyumuna göre; çam ve narenciye balları için r ve R<sup>2</sup> değerleri, 1'e oldukça yakın yüksek değerlerdir. Eşitlik için uygun olan OBH değerleri sırasıyla; % 16.32, % 17.80 ve s değerleri de 1.25 ve 1.63 olarak bulunmuştur. Standart hata, dağılımdaki değişimi göstermektedir. Standart hatanın küçük olması (0 değerine yakın olması) daha dar güven aralığında veri parametresine ait yapılacak tahminler açısından önemlidir [87]. Ortalama bağıl hata, hesaplanan denge nem içeriğinin deneysel denge nem içeriğine olan yakınlığı ile belirlenebilmektedir. Sorpsiyon verilerinin iyi bir şekilde temsil edilebilmesi için OBH değerinin % 10'dan küçük olması gerektiği de belirtilmektedir [48].

Elde edilen m<sub>0</sub> verilerine göre; çam balının 8.81 (% , kurumadde) ve narenciye balının 7.69 (% , kurumadde) değerlerine yakın nem ortamlarında depolandıkları süre boyunca, iki bal çeşidinin de uzun bir raf ömrüne sahip olacağı bilinmektedir.

Çalışmada çam ve narenciye balının fark dağılımının sıfırın etrafında rastgele dağıldığı ve tahmini denge neminin deneysel denge nemine uyum sağladığı gözlenmiştir.

Peasanth (2018), bir çalışmada kuru meyvelerin 15 – 70 °C aralığındaki adsorpsiyon özelliklerinin GAB model ile tahmin edildiğini ve meyvelerin denge nem içeriklerinin, sıcaklık ile doğru orantılı olarak arttığını; çalışmada ananasın 20 ve 40 °C' deki m<sub>0</sub> değerlerinin sırasıyla, 7.3 ve 6.8; kayısının 60 °C'deki m<sub>0</sub> değerinin, 4.13 (g su / 100 g kurumadde) olarak bulunduğunu belirtmiştir [88-90].

Ansari ve arkadaşlarının (2011) yaptıkları çalışmada, 5, 25 ve 40 °C'de incire glikoz şurubu ilave edilmiş ve örneklerin nem sorpsiyon izotermi belirlenmiştir. İncir, (J-şekil) Tip III davranışı gösterirken, glikoz şurubunun ilave edilmesiyle (Sigmoidal) Tip II'ye dönüşmüştür. Tablo 4.8'de glikoz şurubu ilave edilmemiş ve % 20, % 40 oranında glikoz şurubu ilave edilmiş incirin GAB modeline göre  $m_0$  değerleri verilmiştir. İncire glikoz şurubunun eklenmesiyle ürünün tek tabaka nem içeriğinin de ( $m_0$ ) arttığı gözlenmektedir [61].

**Tablo 4.8.** İncirin 5, 25, 40 °C' deki  $m_0$  değeri ve GAB sabitleri [61].

% Glikoz şurubu miktarı	Sıcaklık (°C)	$m_0$ (%)
% 0	5	11.4
% 20	5	12.2
% 40	5	14.7
% 0	25	9.8
% 20	25	10.1
% 40	25	13.2
% 0	40	8.3
% 20	40	9.9
% 40	40	11.7

Mrad ve arkadaşları (2012), elma ve armutun 30 °C'deki sorpsiyon davranışları üzerine yaptıkları çalışmada GAB modelinin  $m_0$ , C ve k değerlerini sırasıyla, 0.08 (g su / g kurumadde), 0.91, 1.12; 0.19 (g su / g kurumadde); 1.05, 11.76 olarak bulmuşlardır [62].

Falade ve arkadaşları (2004) ise GAB modeline göre balla kaplanmış kaju fıstığının  $m_0$ , C ve k değerlerini 20 °C'de; 0.14 (g su / g kurumadde), 6.91, 0.93, 30 °C'de; 0.15 (g su / g kurumadde), 4.96, 0.93, 40 °C'de; 0.07 (g su / g kurumadde), 3.55, 1.00 olarak bulmuşlardır [86].

Bu durumda çalışmadaki çam ve narenciye ballarının sorpsiyon özellikleri de dikkate alındığında; balların izotermi ile literatürdeki diğer şekerli ürünlerin izotermi, (J şekil) Tip III'e uygunluk göstermektedir. Çam ve narenciye ballarının tek tabaka nem içerikleri ( $m_0$ ) yüksek bulunmuştur. Literatürde tespit edilen diğer  $m_0$  değerlerine bakıldığında, özellikle glikoz şurubu ilave edilmiş veya şekerlenmiş ürünlerin de tek tabaka nem içeriklerinin ( $m_0$ ) arttığı belirlenmiştir. Eşitlikteki C ve k parametrelerinin literatürdeki değerlere yakın olduğu gözlenmiştir. Ürünün tek tabaka nem içeriğinde su moleküllerinin bağlanma gücünü, C sabiti ifade etmekte ve C değerinin yüksek olması, tek tabakadaki su molekülleri ile tutucu yüzey arasında kuvvetli bir bağın oluştuğunu da belirtmektedir [60].

Çalışmada C değeri narenciye balında (3.65) çam balına kıyasla (1.48) daha yüksek bir değerdedir. Bu durum narenciye balının tek tabaka nem içeriğinde su moleküllerinin birbirine daha güçlü bir şekilde bağlandığını ifade etmektedir.

Çoklu tabaka suyun molar bağlanma enerjisine bağlı olan k sabiti, tek tabaka ile serbest su arasındaki potansiyel farkı ifade etmektedir. Özellikle gıdaların kurutulmasında etkili olmaktadır. Çünkü k değerinin 1'den oldukça yüksek olması gıdanın sorpsiyon özelliğini de arttırmaktadır [91]. Çam ve narenciye balından elde edilen k sabitinin birbirlerine yakın değerler olduğu tespit edilmiştir.

GAB eşitliğinden elde edilen bu parametreler, tek tabakadaki su moleküllerinin çam ve narenciye balının yüzeyine güçlü bir şekilde bağlandığını ve balların sorpsiyon kapasitelerini de etkilediğini göstermektedir.



## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada çam ve narenciye balı örneklerinin 20, 30 ve 40 °C'deki sorpsiyon izoterm eğrileri, % 10 - % 100 BN ortamında belirlenmiştir. Tüm sıcaklıklarda 90 günden önce  $a_w > 0.70$  olduğunda çam ve narenciye balı örneklerinde dengeye gelmeden maya oluşumu gözlenmiştir. Aynı koşullarda narenciye balı, çam balından daha erken sürede bozulmuştur.

Bal örneklerinde  $a_w > 0.70$  olduğunda mikrobiyolojik açıdan bozulma tespit edildiği için bozulmayan örneklerin DN'leri dikkate alınmıştır. Tüm sıcaklık koşullarında (20, 30, 40 °C), çam ve narenciye balı örneklerindeki sorpsiyon eğrilerinin birbirinden farklı olmadığı gözlenmiştir. Sıcaklık parametresinin, sorpsiyon izotermelerinin eğrileri üzerinde etkili olmadığı tespit edilmiştir.

Sıcaklık, sorpsiyon eğrilerini etkilemediği için çam ve narenciye balı örneklerine ait her üç sıcaklığın (20, 30, 40 °C) verileri de birleştirilmiş ve GAB modelinin bu şekilde elde edilen örneklerin sorpsiyon izoterm verilerine olan uyumu, doğrusal olmayan regresyon analizi ile incelenmiştir. Bal örneklerinin, deneysel verilerinden J şekilli Tip III sorpsiyon eğrisi elde edilmiştir. GAB modelinin uyumunun değerlendirilmesinde korelasyon katsayısı (r), standart hata (s), belirtme katsayısı ( $R^2$ ), ortalama bağıl hata (OBH) hesaplanmış ve fark dağılımları incelenmiştir.

Çam balı örneklerinde  $r = 0.99$ ,  $s = 1.25$ ,  $R^2 = 0.97$ ,  $OBH = \% 16.32$ ,  $m_0 = 8.81$  (% kurumadde),  $C = 1.48$ ,  $k = 1.11$ ; narenciye balı örneklerinde  $r = 0.99$ ,  $s = 1.63$ ,  $R^2 = 0.96$ ,  $OBH = \% 17.80$ ,  $m_0 = 7.69$  (% kurumadde),  $C = 3.65$ ,  $k = 1.18$  olarak bulunmuş ve GAB eşitliği bu parametrelerle çam ve narenciye balı örneklerinin sorpsiyon izotermelerine yüksek bir uyum sağlamıştır.

Çam ve narenciye balındaki tahmini denge neminin deneysel denge nemine çok iyi bir uyum sağladığı gözlenmiştir. Deneysel ve GAB eşitliğinden elde edilen denge nemlerinin fark dağılımları da sıfırın etrafında rastgele dağılım göstermiştir.

GAB eşitliğinden hesaplanan tek tabaka nem içeriği ( $m_0$ ), gıdanın tekstürel yapısı hakkında önem taşımaktadır ve gıdanın kalite stabilitesinin iyi bir göstergesidir. Bu yüzden sorpsiyon çalışmasında deneysel verilerin matematiksel eşitlik içerisinde ifade edilmesi; balın depolanma, ambalajlama koşullarının ve denge neminin bilinmesinde büyük bir önem taşımaktadır. Deneysel sonuçlara dayanarak GAB modelinin, çam ve narenciye balının sorpsiyon davranışını uygun şekilde açıklayan matematiksel bir model olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışma; bal örneklerinin  $N_I$  ve  $a_w$  değerlerinin ölçülerek nem sorpsiyon özelliklerinin analiz edilmesi ile raf ömrü, uygun saklama koşullarının belirlenmesi ve mikrobiyolojik özelliklerinin takip edilmesi açısından balın kalitesinin sürekliliğine katkı sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1]. Bilişli, A. (2018). *Özel Gıdalar*. Çanakkale: Onsekiz Mart Üniversitesi Mühendislik Fakültesi.
- [2]. Özcan, E. S. (2014). Balarısının uzun tarihinden kısa notlar. *Tübitak Bilim ve Teknik Dergisi*, 64-67.
- [3]. Sağlam, F. (2015). *Muğla yöresi çam ballarının depolamaya bağlı olarak bazı kinetik parametrelerinin belirlenmesi ve raf ömrünün tahmini*. Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- [4]. Baysoy, G. (2018). *Fonksiyonel Gıdalar*. İstanbul: İstanbul Medipol Üniversitesi Tıp Fakültesi.
- [5]. Serin, S., Turhan, K. N., and Turhan, M. (2018). Correlation between water activity and moisture content of Turkish flower and pine honeys. *Food Science and Technology*, 38(2), 238-243.
- [6]. Saldamlı, İ. (2014). *Gıda Kimyası*. Ankara: Hacettepe Üniversitesi.
- [7]. Labuza, T. P., and Altunakar, B. (2020). Water activity prediction and moisture sorption isotherms. *Water activity in foods: fundamentals and applications*, 161-205.
- [8]. Dinç, M. (2013). Anadolu sahasında arıcılık ve bal üretimi çerçevesinde gelişen inanç ve gelenekler konusunda bir inceleme. *Turkish Studies-International Periodical for the Languages, Literature and History of Turkish or Turkic*, 8(9), 1149-1156.
- [9]. Bogdanov, S. (2011). *The bee products: the wonders of the bee hexagon*.
- [10]. Ay, Y. E., ve Yiğit, Y. (2016). Bal, beslenme ve sağlık. In *3rd International Congress on Social Sciences, China to Adriatic, In congress book* (pp. 27-30).
- [11]. Yurtoğlu, N. (2017). Cumhuriyet Türkiye' sinde arıcılık faaliyetleri. *Tarih Okulu Dergisi*, 187-219.
- [12]. Karadal, F., ve Yıldırım, Y. (2012). Balın kalite nitelikleri, beslenme ve sağlık açısından önemi. *Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 9(3).
- [13]. Mutlu, C., Erbaş, M., ve Tontul, S. A. (2017). Bal ve diğer arı ürünlerinin bazı özellikleri ve insan sağlığı üzerine etkileri. *Akademik Gıda*, 15(1), 75-83.
- [14]. Arılar Varsa Yarınlar Var Projesi. (2019). *Bal ve arının emeği*. 9 Nisan 2020 tarihinde <https://www.arilarvarsa.org/bal-ve-arinin-emeği> adresinden erişildi.
- [15]. Türk Gıda Kodeksi, Bal Tebliği, Tebliğ No: 2012/58, Resmi Gazete Sayısı: 28366, Resmi Gazete Tarihi: 27 Temmuz 2012.
- [16]. Lazaridou, A., Biliaderis, C. G., Bacandritsos, N., and Sabatini, A. G. (2004). Composition, thermal and rheological behaviour of selected Greek honeys. *Journal of Food Engineering*, 64(1), 9-21.
- [17]. Alqarni, A. S., Owayss, A. A., Mahmoud, A. A., and Hannan, M. A. (2014). Mineral content and physical properties of local and imported honeys in Saudi Arabia. *Journal of Saudi Chemical Society*, 18(5), 618-625.

- [18]. da Silva, P. M., Gauche, C., Gonzaga, L. V., Costa, A. C. O., and Fett, R. (2016). Honey: Chemical composition, stability and authenticity. *Food Chemistry*, 196, 309-323.
- [19]. Bertonecelj, J., Doberšek, U., Jamnik, M., and Golob, T. (2007). Evaluation of the phenolic content, antioxidant activity and colour of Slovenian honey. *Food Chemistry*, 105(2), 822-828.
- [20]. Sonmez, B. (2004). Balın insan sağlığındaki yeri ve önemi. *Uludağ Bee J*, 4(3), 127-130.
- [21]. Escuredo, O., Dobre, I., Fernández-González, M., and Seijo, M. C. (2014). Contribution of botanical origin and sugar composition of honeys on the crystallization phenomenon. *Food chemistry*, 149, 84-90.
- [22]. Tornuk, F., Karaman, S., Ozturk, I., Toker, O. S., Tastemur, B., Sagdic, O., and Kayacier, A. (2013). Quality characterization of artisanal and retail Turkish blossom honeys: Determination of physicochemical, microbiological, bioactive properties and aroma profile. *Industrial Crops and Products*, 46, 124-131.
- [23]. Standard, C. (2001). Codex Standard for Honey 12-1981. Adopted in 1981. Revisions 1987 and 2001.
- [24]. Kujawski, M. W., and Namieśnik, J. (2008). Challenges in preparing honey samples for chromatographic determination of contaminants and trace residues. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 27(9), 785-793.
- [25]. Turan, F. (2012). *Kırklareli izole bölgesinde yaşayan Trakya arısı (Apis mellifera carnica) kolonilerinden elde edilen balların kalite özelliklerinin belirlenmesi*. Yüksek lisans tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.
- [26]. Özmen, N., ve Alkın, E. (2006). Balın antimikrobiyel özellikleri ve insan sağlığı üzerine etkileri. *Uludağ Arıcılık Dergisi*; Yıl: 2006 Cilt: 2006 Sayı: 4
- [27]. Finola, M. S., Lasagno, M. C., and Marioli, J. M. (2007). Microbiological and chemical characterization of honeys from central Argentina. *Food Chemistry*, 100(4), 1649-1653.
- [28]. Yılmaz Karahan, S., ve Eskici, G. (2017). Erzincan ilinde üretilen balların biyokimyasal özellikleri. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpasa University*, 34(2), 36-42.
- [29]. Bayrambaş, K. (2012). *Türkiye’de üretilen balların bazı fizikokimyasal özellikleri*. Yüksek lisans tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.
- [30]. Bogdanov, S., Ruoff, K., and Oddo, L. P. (2004). Physico-chemical methods for the characterisation of unifloral honeys: a review. *Apidologie*, 35(Suppl. 1), S4-S17.
- [31]. Silici, S. (2005). Balda Duyusal Analiz. *Gıda Mühendisliği Dergisi*, 20, 39-42.
- [32]. Nakilcioğlu, E., ve Ötleş, S. (2015). Yüzyılları deviren organik bir gıda: Bal. *Dünya Gıda*, 1, 93-98.
- [33]. Kekeçoğlu, M., Soysal, M. İ., ve Gürcan, E. K. (2007). Türkiye arı yetiştiriciliğinin bal üretimi bakımından durumu. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 4(2), 227-236.



- [34]. Çakır, S. (2016). *İğdır ve yöresinde üretilen balların bazı fizikokimyasal özellikleri*. Yüksek lisans tezi, İğdır Üniversitesi, İğdır.
- [35]. Ölmez, Ç. (2009). *Türkiye’de üretilen farklı çiçek ve salgı bal çeşitlerinin bazı kalitatif ve besinsel özellikleri*. Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- [36]. Sert, Ö. (2019). *Ülkemizin farklı yörelerinde üretilen balların bazı fizikokimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerinin belirlenmesi*. Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- [37]. Durovic, G., ve Ülgentürk, S. (2014). Ballı madde salgısı. *Türkiye Entomoloji Bülteni*, 4(2), 121-137.
- [38]. Sanz, M. L., Gonzalez, M., De Lorenzo, C., Sanz, J., and Martinez-Castro, I. (2005). A contribution to the differentiation between nectar honey and honeydew honey. *Food Chemistry*, 91(2), 313-317.
- [39]. Çınar, S. B. (2010). *Türk çam balının analitik özellikleri*. Doktora tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- [40]. Muğla İli Arı Yetiştiricileri Birliği. (2017). *Balın nem içeriği*. 12 Nisan 2020 tarihinde <https://www.maybir.org.tr/bal> adresinden erişildi.
- [41]. Abramovič, H., Jamnik, M., Burkan, L., and Kač, M. (2008). Water activity and water content in Slovenian honeys. *Food Control*, 19(11), 1086-1090.
- [42]. Gleiter, R. A., Horn, H., and Isengard, H. D. (2006). Influence of type and state of crystallisation on the water activity of honey. *Food Chemistry*, 96(3), 441-445.
- [43]. Chirife, J., Zamora, M. C., and Motto, A. (2006). The correlation between water activity and % moisture in honey: Fundamental aspects and application to Argentine honeys. *Journal of Food Engineering*, 72(3), 287-292.
- [44]. Cavia, M. M., Fernáez-Muiño, M. A., Huidobro, J. F., and Sancho, M. T. (2004). Correlation between moisture and water activity of honeys harvested in different years. *Journal of Food Science*, 69(5), C368-C370.
- [45]. Zamora, M. C., Chirife, J., and Roldán, D. (2006). On the nature of the relationship between water activity and % moisture in honey. *Food Control*, 17(8), 642-647.
- [46]. Aykın, E., Arslan, S., Durak, A. N., ve Erbaş, M. (2015). Gıdalarda bulunan suyun fizikokimyasal durumu ve sorpsiyon izotermi. *Gıda*, 40(2), 109-116.
- [47]. Koroş, B. (2007). *Geleneksel Türk gıdalarının adsorpsiyon izotermi belirlenmesi*. Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- [48]. Erbaş, M., Candal, C., Kılıç, Ö., ve Mutlu, C. (2016). Gıdaların nem sorpsiyon izotermi belirlenmesi ve eşitliklerinin çözümü. *Gıda*, 41(3), 171-178.
- [49]. Işıksal, S., Soyer, A., ve Ercan, R. (2009). Sucuk ve pastırmanın desorpsiyon izotermine sıcaklığın etkisi. *Gıda*, 34(1), 11-20.

- [50]. Gamlı, Ö. F. (2011). Siyah ve yeşil çayın nem adsorpsiyon özellikleri ve sorpsiyon ısısı. *Gıda*, 36(2), 89-96.
- [51]. Amankwah, E. A., van Straten, G., and van Boxtel, T. (2018). Modeling the equilibrium moisture content of desorption and adsorption of yam (Dente). *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 20(1), 184-192.
- [52]. Gözükar, Ö. İ. (2013). *Balkabağı tozunun fizikokimyasal ve sorpsiyon özellikleri üzerine kurutma metotlarının etkisi ve balkabağı tozunun kek üretiminde kullanımı*. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [53]. Al-Muhtaseb, A. H., McMinn, W. A. M., and Magee, T. R. A. (2002). Moisture sorption isotherm characteristics of food products: a review. *Food and bioproducts processing*, 80(2), 118-128.
- [54]. Koç, A. (2019). *Buğday embriyosunun farklı sıcaklıklarda nem sorpsiyon izotermelerinin belirlenmesi ve oksidasyon özelliklerinin araştırılması*. Yüksek lisans tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
- [55]. Blahovec, J., and Yanniotis, S. (2008). GAB generalized equation for sorption phenomena. *Food and Bioprocess Technology*, 1(1), 82-90.
- [56]. Andrade, R. D., Lemus, R., and Perez, C. E. (2011). Models of sorption isotherms for food: uses and limitations. *Vitae*, 18(3), 325-334.
- [57]. Al-Ghamdi, S., Hong, Y. K., Qu, Z., and Sablani, S. S. (2020). State diagram, water sorption isotherms and color stability of pumpkin (*Cucurbita pepo L.*). *Journal of food Engineering*, 273, 109820.
- [58]. Talla, A., Jannot, Y., Nkeng, G. E., and Puiggali, J. R. (2005). Experimental determination and modeling of sorption isotherms of tropical fruits: banana, mango, and pineapple. *Drying Technology*, 23(7), 1477-1498.
- [59]. Kaymak-Ertekin, F., and Gedik, A. (2004). Sorption isotherms and isosteric heat of sorption for grapes, apricots, apples and potatoes. *LWT-Food Science and Technology*, 37(4), 429-438.
- [60]. Sormoli, M. E., and Langrish, T. A. (2015). Moisture sorption isotherms and net isosteric heat of sorption for spray-dried pure orange juice powder. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1), 875-882.
- [61]. Ansari, S., Farahnaky, A., Majzoobi, M., and Badii, F. (2011). Modeling the effect of glucose syrup on the moisture sorption isotherm of figs. *Food Biophysics*, 6(3), 377-389.
- [62]. Mrad, N. D., Bonazzi, C., Boudhrioua, N., Kechaou, N., and Courtois, F. (2012). Moisture sorption isotherms, thermodynamic properties, and glass transition of pears and apples. *Drying Technology*, 30(13), 1397-1406.

- [63]. García-Pérez, J. V., Cárcel, J. A., Clemente, G., and Mulet, A. (2008). Water sorption isotherms for lemon peel at different temperatures and isosteric heats. *LWT-Food Science and Technology*, 41(1), 18-25.
- [64]. Sampaio, R. M., Marcos, S. K., Moraes, I. C., and Perez, V. H. (2009). Moisture adsorption behavior of biscuits formulated using wheat, oatmeal and passion fruit flour. *Journal of food processing and preservation*, 33(1), 105-113.
- [65]. Maroulis, Z. B., Tsami, E., Marinou-Kouris, D., and Saravacos, G. D. (1988). Application of the GAB model to the moisture sorption isotherms for dried fruits. *Journal of food engineering*, 7(1), 63-78.
- [66]. Eğriçayır Bal (2020). *Çam balı hakkında bilmemiz gerekenler*. 30 Eylül 2020 tarihinde <https://www.egricayir.com/tr/blog-detay/cam-bali-hakkinda-bilmemiz-gerekenler> adresinden erişildi.
- [67]. Anavarza Bal (2018). *Narenciye balı*. 30 Eylül 2020 tarihinde <https://www.anavarzabal.com/blog/narenciye-bali> adresinden erişildi.
- [68]. Ceyhan, V., ve Emir, M. (2016). *Türkiye arıcılığının mevcut durumu, sorunları ve geleceği*. Samsun: Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü.
- [69]. Öğretmen, F., and İnanan, B. E. (2014). Evaluation of cryoprotective effect of turkish pine honey on common carp (*Cyprinus Carpio*) Spermatozoa. *CryoLetters*, 35(5), 427-437.
- [70]. Castro-Vázquez, L., Díaz-Maroto, M. C., González-Viñas, M. A., De La Fuente, E., and Pérez-Coello, M. S. (2008). Influence of storage conditions on chemical composition and sensory properties of citrus honey. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(6), 1999-2006.
- [71]. Farag, R. (2020). Sugars profile of citrus (*Citrus spp.*) honey for quality determination. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences. A, Entomology*, 13(1), 41-46.
- [72]. Hyams, D. G. (2010). *Curve Expert 1.4*. 24 Ocak 2021 tarihinde <https://docs.curveexpert.net> adresinden erişildi.
- [73]. Şenses, Ş., ve Özbaş, Y. (2004). Yüksek şeker içerikli gıdalarda kserotolerant mayaların önemi. Hacettepe Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, *Gıda*, 29(1), 79-87.
- [74]. Doğan, H. (2014). *Çiçek ballarının kimyasal fiziksel ve antimikrobiyal özelliklerinin belirlenmesi*. Yüksek lisans tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- [75]. Uçak K, A., Karacaoğlu, M., ve Doğan, M. (2017). Hayıt (*Vitex agnus-castus*), çam ve karışım çiçek balının bazı kalite kriterleri açısından karşılaştırılması. *Journal of Adnan Menderes University, Agricultural Faculty*, 14(1).
- [76]. Yao, L., Bhandari, B. R., Datta, N., Singanusong, R., and D'Arcy, B. R. (2003). Crystallisation and moisture sorption properties of selected Australian unifloral honeys. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(9), 884-888.

- [77]. Yıldız, O., Şahin, H., Meryem, K., Aliyazıcıoğlu, R., Tarhan, Ö., ve Kolaylı, S. (2010). Maillard reaksiyonları ve reaksiyon ürünlerinin gıdalardaki önemi. *Akademik Gıda*, 8(6), 44-51.
- [78]. Pita-Calvo, C., and Vázquez, M. (2017). Differences between honeydew and blossom honeys: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 59, 79-87.
- [79]. Bako, T., Mamai, E. A., and Bature, B. J. (2019). Determination of Quality Parameters of Honey from Taraba State–Nigeria. *Chemical and Biomolecular Engineering*, 4(1), 1-9.
- [80]. Manzanares, A. B., García, Z. H., Galdón, B. R., Rodríguez, E. R., and Romero, C. D. (2011). Differentiation of blossom and honeydew honeys using multivariate analysis on the physicochemical parameters and sugar composition. *Food Chemistry*, 126(2), 664-672.
- [81]. Doğan, M. (2013). *Ege bölgesinde üretilen hayıt ve çam ballarında ısıtmanın ve depolama süresinin hidrosimetilfurfural miktarı ve diastaz sayısı üzerine etkileri*. Yüksek lisans tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın.
- [82]. Haroun, M. I. (2006). *Türkiye’de üretilen bazı çiçek ve salgı ballarının fenolik asit ve flavonoid profilinin belirlenmesi*. Doktora tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- [83]. Ferek, Ö. (2016). *Muğla ili çam ballarının bazı kalite özelliklerinin belirlenmesi*. Yüksek lisans tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.
- [84]. Witczak, T., Witczak, M., Socha, R., Stępień, A., and Grzesik, M. (2017). Candied orange peel produced in solutions with various sugar compositions: sugar composition and sorption properties of the product. *Journal of Food Process Engineering*, 40(2), e12367.
- [85]. Hadjikinova, M., Menkov, N., and Hadjikinov, D. (2003). Sorption characteristics of dietary hard candy. *Czech journal of food sciences*, 21(3), 97-100.
- [86]. Falade, K. O., Chime, J. J., and Ogunwolu, O. S. (2004). Water sorption isotherms and heat of sorption of cashewnuts pretreated by different methods. *Journal of food agriculture and environment*, 2, 83-87.
- [87]. Özbek, H., ve Keskin, S. (2007). Standart sapma mı yoksa standart hata mı?. *Van tıp dergisi*, 14(2), 64-67.
- [88]. Peasanth, B. D. (2018). R. Prediction of moisture adsorption characteristics of dehydrated fruits using the gab isotherm model. *Ann Agric Crop Sci*, 3(1), 1036.
- [89]. Falade, K. O., Olukini, I., and Adegoke, G. O. (2004). Adsorption isotherm and heat of sorption of osmotically pretreated and air-dried pineapple slices. *European Food Research and Technology*, 218(6), 540-543.
- [90]. Singh, P. C., and Singh, R. K. (1996). Application of GAB model for water sorption isotherms of food products 1. *Journal of Food Processing and Preservation*, 20(3), 203-220.
- [91]. Fongin, S., Granados, A. E. A., Harnkarnsujarit, N., Hagura, Y., and Kawai, K. (2019). Effects of maltodextrin and pulp on the water sorption, glass transition, and caking properties of freeze-dried mango powder. *Journal of Food Engineering*, 247, 95-103.

## EKLER

EK 1: 20 °C'deki Çam Balı ( $a_w = 0 - 0.70$ ) için Kullanılan Eşitlikler

Çözelti	Model_DN1	Parametre	Model_DN2	Parametre
<b>LiCl</b>	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 19.82 b = 7.79 c = 0.75 d = 0.01 s = 0.09 r = 1	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 19.82 b = 7.31 c = 0.68 d = 0.01 s = 0.08 r = 1
<b>CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>K</b>	Harris Modeli: $y=1/(a+bx^c)$	a = 0.05 b = 0.02 c = 0.45 s = 0.07 r = 1	Harris Modeli: $y=1/(a+bx^c)$	a = 0.05 b = 0.02 c = 0.43 s = 0.08 r = 1
<b>MgCl<sub>2</sub></b>	Harris Modeli: $y=1/(a+bx^c)$	a = 0.05 b = 0.01 c = 0.41 s = 0.14 r = 1	Harris Modeli: $y=1/(a+bx^c)$	a = 0.05 b = 0.01 c = 0.38 s = 0.18 r = 1
<b>K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b>	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 19.77 b = 5.95 c = 0.51 d = 0.00 s = 0.10 r = 1	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 19.83 b = 6.10 c = 0.54 d = 0.00 s = 0.08 r = 1
<b>NaBr</b>	3. Derece Polinom Uyumu: $y=a+bx+cx^2+dx^3...$	a = 19.85 b = 0.05 c = 0.00 d = 0.00 s = 0.19 r = 0.97	4. Derece Polinom Uyumu: $y=a+bx+cx^2+dx^3...$	a = 20.01 b = -0.04 c = 0.00 d = 0.00 e = 0.00 s = 0.14 r = 0.98
<b>Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub></b>	4. Derece Polinom Uyumu: $y=a+bx+cx^2+dx^3...$	a = 18.26 b = -0.27 c = 0.01 d = 0.00 e = 0.00 s = 0.42 r = 0.87	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 19.95 b = 24.77 c = 1.58 d = 0.00 s = 0.35 r = 0.89

**EK 2: 20 °C'deki Çam Balı ( $a_w = 0.70 - 1$ ) için Kullanılan Eşitlikler**

<b>Çözelti</b>	<b>Model_DN1</b>	<b>Parametre</b>	<b>Model_DN2</b>	<b>Parametre</b>
<b>NaCl</b>	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 19.68 b = 31.12 c = 0.74 d = 0.00 s = 0.35 r = 1	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 19.81 b = 27.64 c = 0.68 d = 0.00 s = 0.39 r = 1
<b>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	4. Derece Polinom Uyumu: $y=a+bx+cx^2+dx^3...$	a = 24.64 b = 1.64 c = -0.08 d = 0.00 e = 0.00 s = 1.31 r = 0.93	4. Derece Polinom Uyumu: $y=a+bx+cx^2+dx^3...$	a = 24.25 b = 1.64 c = -0.08 d = 0.00 e = 0.00 s = 1.32 r = 0.94
<b>KCl</b>	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 19.86 b = 25.00 c = 0.30 d = 0.00 s = 0.20 r = 1	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 19.84 b = 27.83 c = 0.36 d = 0.00 s = 0.12 r = 1
<b>KNO<sub>3</sub></b>	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 19.75 b = 40.57 c = 0.69 d = 0.00 s = 0.63 r = 1	MMF Modeli: $y=(a*b+c*x^d)/(b+x^d)$	a = 19.85 b = 1.55 c = 60.46 d = 1.07 s = 0.52 r = 1
<b>K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 19.93 b = 35.89 c = 0.49 d = 0.00 s = 0.23 r = 1	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 19.89 b = 35.59 c = 0.48 d = 0.00 s = 0.26 r = 1
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 19.88 b = 40.71 c = 0.29 d = -0.01 s = 0.20 r = 1	4. Derece Polinom Uyumu: $y=a+bx+cx^2+dx^3...$	a = 19.94 b = 31.06 c = -6.11 d = 0.81 e = -0.04 s = 0.33 r = 1

**EK 3: 30 °C'deki Çam Balı ( $a_w = 0 - 0.70$ ) için Kullanılan Eşitlikler**

<b>Çözelti</b>	<b>Model_DN1</b>	<b>Parametre</b>	<b>Model_DN2</b>	<b>Parametre</b>
<b>LiCl</b>	Harris Modeli: $y=1/(a+bx^c)$	a = 0.05 b = 0.02 c = 0.48 s = 0.08 r = 1	Harris Modeli: $y=1/(a+bx^c)$	a = 0.05 b = 0.02 c = 0.47 s = 0.06 r = 1
<b>CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>K</b>	Harris Modeli: $y=1/(a+bx^c)$	a = 0.05 b = 0.02 c = 0.44 s = 0.07 r = 1	Harris Modeli: $y=1/(a+bx^c)$	a = 0.05 b = 0.02 c = 0.43 s = 0.08 r = 1
<b>MgCl<sub>2</sub></b>	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 19.77 b = 5.09 c = 0.67 d = 0.00 s = 0.12 r = 1	Harris Modeli: $y=1/(a+bx^c)$	a = 0.05 b = 0.03 c = 0.28 d = 0.00 s = 0.41 r = 0.98
<b>K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b>	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 19.84 b = 7.74 c = 0.75 d = 0.00 s = 0.09 r = 1	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 19.83 b = 8.76 c = 0.83 d = 0.00 s = 0.10 r = 1
<b>NaBr</b>	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 20.18 b = 24.36 c = 1.39 d = 0.00 s = 0.24 r = 0.85	Lojistik Modeli: $y=a/(1+b*\exp(-cx))$	a = 17.56 b = -0.12 c = 1.19 s = 0.32 r = 0.72
<b>Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub></b>	MMF Modeli: $y=(a*b+c*x^d)/(b+x^d)$	a = 19.90 b = 0.56 c = 21.43 d = 0.93 s = 0.21 r = 0.72	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 19.90 b = 21.72 c = 1.01 d = 0.00 s = 0.21 r = 0.74

**EK 4: 30 °C'deki Çam Balı ( $a_w = 0.70 - 1$ ) için Kullanılan Eşitlikler**

Çözelti	Model_DN1	Parametre	Model_DN2	Parametre
<b>NaCl</b>	Üstel İlişki (3): $y=a(b-\exp(-cx))$	a = 16.30	4. Derece Polinom Uyumu: $y=a+bx+cx^2+dx^3...$	a = 27.01
		b = 2.22		b = 2.25
		c = 1.12		c = -0.16
				d = 0.00
				e = 0.00
		s = 2.06		s = 2.16
		r = 0.82		r = 0.83
<b>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	Üstel İlişki (3): $y=a(b-\exp(-cx))$	a = 26.49	MMF Modeli: $y=(a*b+c*x^d)/(b+x^d)$	a = 19.90
		b = 1.75		b = 0.79
		c = 0.81		c = 48.21
				d = 1.53
		s = 0.43		s = 0.58
		r = 1		r = 1
<b>KCl</b>	MMF Modeli: $y=(a*b+c*x^d)/(b+x^d)$	a = 19.89	MMF Modeli: $y=(a*b+c*x^d)/(b+x^d)$	a = 20.18
		b = 1.19		b = 1.17
		c = 58.96		c = 58.50
		d = 1.36		d = 1.48
		s = 0.72		s = 0.88
		r = 1		r = 1
<b>KNO<sub>3</sub></b>	MMF Modeli: $y=(a*b+c*x^d)/(b+x^d)$	a = 19.90	MMF Modeli: $y=(a*b+c*x^d)/(b+x^d)$	a = 19.90
		b = 1.63		b = 1.91
		c = 91.57		c = 97.52
		d = 1.08		d = 1.01
		s = 0		s = 0
		r = 1		r = 1
<b>K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	MMF Modeli: $y=(a*b+c*x^d)/(b+x^d)$	a = 19.90	MMF Modeli: $y=(a*b+c*x^d)/(b+x^d)$	a = 19.90
		b = 6.25		b = 4.66
		c = 265.60		c = 218.41
		d = 0.82		d = 0.85
		s = 0		s = 0
		r = 1		r = 1
<b>H<sub>2</sub>O</b>	MMF Modeli: $y=(a*b+c*x^d)/(b+x^d)$	a = 19.90	MMF Modeli: $y=(a*b+c*x^d)/(b+x^d)$	a = 19.90
		b = 9.80		b = 7.86
		c = 487.28		c = 417.22
		d = 0.73		d = 0.77
		s = 0		s = 0
		r = 1		r = 1



**EK 5: 40 °C'deki Çam Balı ( $a_w = 0 - 0.70$ ) için Kullanılan Eşitlikler**

<b>Çözelti</b>	<b>Model_DN1</b>	<b>Parametre</b>	<b>Model_DN2</b>	<b>Parametre</b>
<b>LiCl</b>	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 19.83 b = 5.75 c = 0.71 d = 0.01 s = 0.11 r = 1	Harris Modeli: $y=1/(a+bx^c)$	a = 0.05 b = 0.02 c = 0.48 s = 0.12 r = 1
<b>CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>K</b>	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 19.79 b = 4.74 c = 0.60 d = 0.00 s = 0.13 r = 1	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 19.81 b = 4.75 c = 0.60 d = 0.00 s = 0.11 r = 1
<b>MgCl<sub>2</sub></b>	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 19.77 b = 4.44 c = 0.59 d = 0.00 s = 0.15 r = 1	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 19.78 b = 4.60 c = 0.60 d = 0.00 s = 0.14 r = 1
<b>K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b>	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 19.90 b = 8.00 c = 0.80 d = 0.00 s = 0.05 r = 0.99	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 19.91 b = 8.07 c = 0.81 d = 0.00 s = 0.05 r = 0.99
<b>NaBr</b>	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 19.93 b = 18.14 c = 1.21 d = 0.00 s = 0.09 r = 1	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 19.93 b = 20.39 c = 1.35 d = 0.00 s = 0.10 r = 1
<b>Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub></b>	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 19.89 b = 16.47 c = 0.75 d = 0.00 s = 0.04 r = 0.99	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 19.89 b = 18.38 c = 0.84 d = 0.00 s = 0.04 r = 1

**EK 6: 40 °C'deki Çam Balı ( $a_w = 0.70 - 1$ ) için Kullanılan Eşitlikler**

<b>Çözelti</b>	<b>Model_DN1</b>	<b>Parametre</b>	<b>Model_DN2</b>	<b>Parametre</b>
<b>NaCl</b>	MMF Modeli: $y=(a*b+c*x^d)/(b+x^d)$	a = 19.92 b = 1.54 c = 35.17 d = 1.47 s = 0.18 r = 1	Üstel İlişki (3): $y=a(b-\exp(-cx))$	a = 14.81 b = 2.35 c = 0.51 s = 0.20 r = 1
<b>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 19.87 b = 25.58 c = 0.50 d = 0.00 s = 0.13 r = 1	MMF Modeli: $y=(a*b+c*x^d)/(b+x^d)$	a = 19.92 b = 1.44 c = 44.68 d = 1.40 s = 0.19 r = 1
<b>KCl</b>	MMF Modeli: $y=(a*b+c*x^d)/(b+x^d)$	a = 19.94 b = 2.01 c = 57.11 d = 1.27 s = 0.26 r = 1	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 19.79 b = 26.53 c = 0.41 d = 0.00 s = 0.18 r = 1
<b>KNO<sub>3</sub></b>	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 19.86 b = 29.47 c = 0.32 d = 0.00 s = 0.10 r = 1	4. Derece Polinom Uyumu: $y=a+bx+cx^2+dx^3...$	a = 20.57 b = 18.14 c = -2.77 d = 0.21 e = -0.01 s = 0.59 r = 1
<b>K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	MMF Modeli: $y=(a*b+c*x^d)/(b+x^d)$	a = 19.88 b = 6.66 c = 226.52 d = 0.91 s = 0.37 r = 1	MMF Modeli: $y=(a*b+c*x^d)/(b+x^d)$	a = 19.87 b = 7.23 c = 231.52 d = 0.86 s = 0.21 r = 1
<b>H<sub>2</sub>O</b>	MMF Modeli: $y=(a*b+c*x^d)/(b+x^d)$	a = 19.90 b = 6.87 c = 252.82 d = 0.88 s = 0 r = 1	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 19.90 b = 43.49 c = 0.30 d = -0.01 s = 0.01 r = 1

**EK 7: 20 °C'deki Narenciye Bahı ( $a_w = 0 - 0.71$ ) için Kullanılan Eşitlikler**

<b>Çözelti</b>	<b>Model_DN1</b>	<b>Parametre</b>	<b>Model_DN2</b>	<b>Parametre</b>
<b>LiCl</b>	Harris Modeli: $y=1/(a+bx^c)$	a = 0.05 b = 0.01 c = 0.45 s = 0.08 r = 1	Harris Modeli: $y=1/(a+bx^c)$	a = 0.05 b = 0.01 c = 0.45 s = 0.07 r = 1
<b>CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>K</b>	Harris Modeli: $y=1/(a+bx^c)$	a = 0.04 b = 0.01 c = 0.39 s = 0.10 r = 1	Harris Modeli: $y=1/(a+bx^c)$	a = 0.05 b = 0.01 c = 0.40 s = 0.09 r = 1
<b>MgCl<sub>2</sub></b>	Harris Modeli: $y=1/(a+bx^c)$	a = 0.04 b = 0.01 c = 0.35 s = 0.16 r = 1	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 21.68 b = 4.00 c = 0.35 d = 0.00 s = 0.20 r = 1
<b>K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b>	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 21.99 b = 6.44 c = 0.49 d = 0.00 s = 0.09 r = 1	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 21.92 b = 6.00 c = 0.46 d = 0.00 s = 0.11 r = 1
<b>NaBr</b>	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 22.16 b = 21.45 c = 1.02 d = 0.00 s = 0.41 r = 0.82	4. Derece Polinom Uyumu: $y=a+bx+cx^2+dx^3...$	a = 21.46 b = -0.05 c = 0.00 d = 0.00 e = 0.00 s = 0.36 r = 0.78
<b>Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub></b>	4. Derece Polinom Uyumu: $y=a+bx+cx^2+dx^3...$	a = 21.19 b = -0.14 c = 0.01 d = 0.00 e = 0.00 s = 0.43 r = 0.80	4. Derece Polinom Uyumu: $y=a+bx+cx^2+dx^3...$	a = 21.28 b = -0.11 c = 0.01 d = 0.00 e = 0.00 s = 0.37 r = 0.74

**EK 8: 20 °C'deki Narenciye Bahı ( $a_w = 0.71 - 1$ ) için Kullanılan Eşitlikler**

<b>Çözelti</b>	<b>Model_DN1</b>	<b>Parametre</b>	<b>Model_DN2</b>	<b>Parametre</b>
<b>NaCl</b>	Harris Modeli: $y=1/(a+bx^c)$	a = 0.05 b = -0.01 c = 0.13  s = 1.00 r = 0.97	MMF Modeli: $y=(a*b+c*x^d)/(b+x^d)$	a = 22.11 b = 3.19 c = 52.89 d = 0.37  s = 0.89 r = 0.97
<b>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 20.02 b = 57.03 c = 1.48 d = -0.01  s = 1.38 r = 0.98	4. Derece Polinom Uyumu: $y=a+bx+cx^2+dx^3...$	a = 22.69 b = 9.75 c = -1.58 d = 0.10 e = 0.00  s = 0.57 r = 1
<b>KCl</b>	4. Derece Polinom Uyumu: $y=a+bx+cx^2+dx^3...$	a = 22.97 b = 11.58 c = -1.56 d = 0.09 e = 0.00  s = 0.66 r = 1	4. Derece Polinom Uyumu: $y=a+bx+cx^2+dx^3...$	a = 23.47 b = 11.18 c = -1.48 d = 0.08 e = 0.00  s = 1 r = 1
<b>KNO<sub>3</sub></b>	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 22.15 b = 24.97 c = 0.27 d = 0.00  s = 0.53 r = 1	Üstel İlişki (3): $y=a(b-\exp(-cx))$	a = 47.62 b = 1.47 c = 0.34  s = 0.52 r = 1
<b>K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 22.13 b = 26.17 c = 0.20 d = 0.00  s = 0.38 r = 1	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 22.06 b = 28.31 c = 0.24 d = 0.00  s = 0.42 r = 1
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 22.30 b = 29.22 c = 0.22 d = 0.00  s = 0.46 r = 1	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 22.23 b = 30.75 c = 0.22 d = 0.00  s = 0.76 r = 1

**EK 9: 30 °C'deki Narenciye Balı ( $a_w = 0 - 0.71$ ) için Kullanılan Eşitlikler**

<b>Çözelti</b>	<b>Model_DN1</b>	<b>Parametre</b>	<b>Model_DN2</b>	<b>Parametre</b>
<b>LiCl</b>	Harris Modeli: $y=1/(a+bx^c)$	a = 0.05 b = 0.02 c = 0.39 s = 0.05 r = 1	Harris Modeli: $y=1/(a+bx^c)$	a = 0.05 b = 0.02 c = 0.40 s = 0.05 r = 1
<b>CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>K</b>	Harris Modeli: $y=1/(a+bx^c)$	a = 0.05 b = 0.02 c = 0.35 s = 0.09 r = 1	Harris Modeli: $y=1/(a+bx^c)$	a = 0.05 b = 0.02 c = 0.36 s = 0.04 r = 1
<b>MgCl<sub>2</sub></b>	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 22.08 b = 5.33 c = 0.63 d = 0.00 s = 0.08 r = 1	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 22.09 b = 6.26 c = 0.68 d = 0.00 s = 0.05 r = 1
<b>K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b>	4. Derece Polinom Uyumu: $y=a+bx+cx^2+dx^3...$	a = 18.78 b = -0.41 c = 0.02 d = 0.00 e = 0.00 s = 0.64 r = 0.83	Lojistik Modeli: $y=a/(1+b*exp(-cx))$	a = 16.09 b = -0.27 c = 0.70 s = 0.26 r = 0.95
<b>NaBr</b>	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 22.10 b = 146.37 c = 7.30 d = 0.00 s = 0.08 r = 0.97	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 22.10 b = 39.85 c = 1.99 d = 0.00 s = 0.09 r = 0.96
<b>Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub></b>	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 22.10 b = 79.11 c = 2.77 d = 0.00 s = 0.09 r = 0.99	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 22.10 b = 151.45 c = 5.36 d = 0.00 s = 0.09 r = 0.99

**EK 10: 30 °C'deki Narenciye Balı ( $a_w = 0.71 - 1$ ) için Kullanılan Eşitlikler**

Çözelti	Model_DN1	Parametre	Model_DN2	Parametre
<b>NaCl</b>	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 22.10 b = 182.96 c = 4.39 d = 0.00 s = 0.29 r = 1	Lojistik Modeli: $y=a/(1+b*\exp(-cx))$	a = 41.82 b = 0.89 c = 1.00 s = 0.18 r = 1
<b>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	MMF Modeli: $y=(a*b+c*x^d)/(b+x^d)$	a = 22.10 b = 0.94 c = 51.38 d = 1.67 s = 0.23 r = 1	MMF Modeli: $y=(a*b+c*x^d)/(b+x^d)$	a = 22.10 b = 2.37 c = 51.80 d = 2.50 s = 0.21 r = 1
<b>KCl</b>	Harris Modeli: $y=1/(a+bx^c)$	a = 0.05 b = -0.02 c = 0.09 s = 1.60 r = 0.98	Harris Modeli: $y=1/(a+bx^c)$	a = 0.05 b = -0.02 c = 0.09 s = 1.28 r = 0.99
<b>KNO<sub>3</sub></b>	3. Derece Polinom Uyumu: $y=a+bx+cx^2+dx^3...$	a = 22.10 b = 24.97 c = -3.59 d = 0.19 s = 0.13 r = 1	MMF Modeli: $y=(a*b+c*x^d)/(b+x^d)$	a = 22.10 b = 3.13 c = 92.14 d = 1.93 s = 0 r = 1
<b>K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	MMF Modeli: $y=(a*b+c*x^d)/(b+x^d)$	a = 22.10 b = 5.98 c = 246.82 d = 0.91 s = 0 r = 1	MMF Modeli: $y=(a*b+c*x^d)/(b+x^d)$	a = 22.10 b = 5.42 c = 219.07 d = 1.04 s = 0 r = 1
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Bleasdale Modeli: $y=(a+bx)^{-1/c}$	a = 0.99 b = 0.00 c = 0.00 s = 0 r = 1	Bleasdale Modeli: $y=(a+bx)^{-1/c}$	a = 0.99 b = 0.00 c = 0.00 s = 0 r = 1

**EK 11: 40 °C'deki Narenciye Balı ( $a_w = 0 - 0.71$ ) için Kullanılan Eşitlikler**

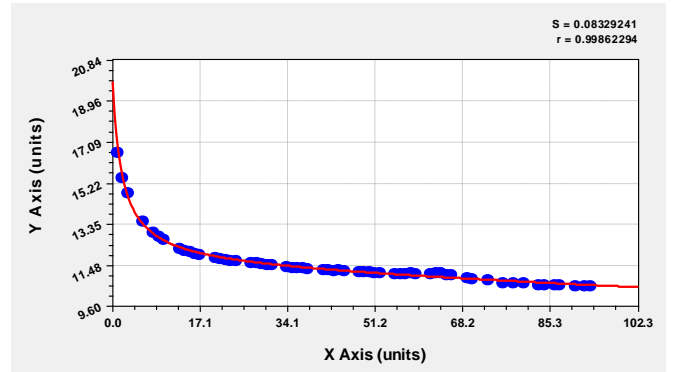
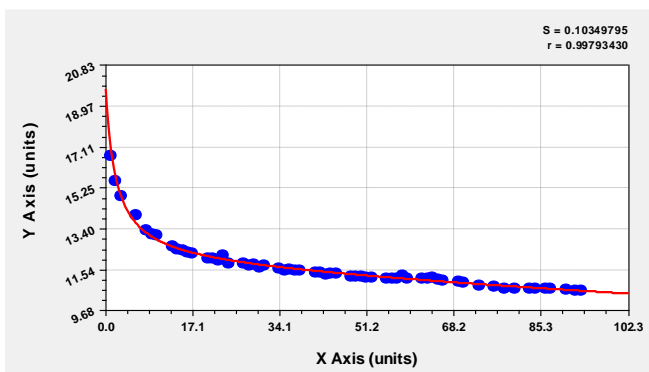
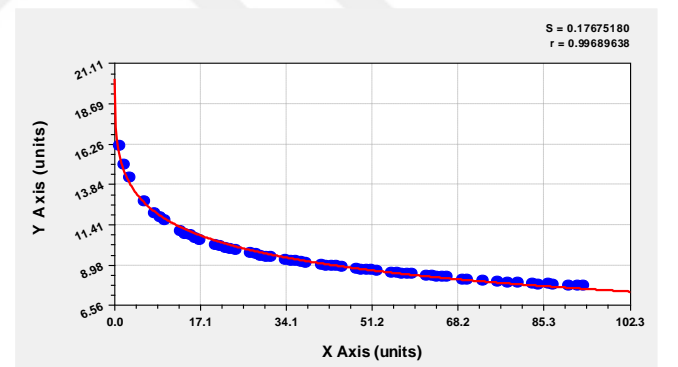
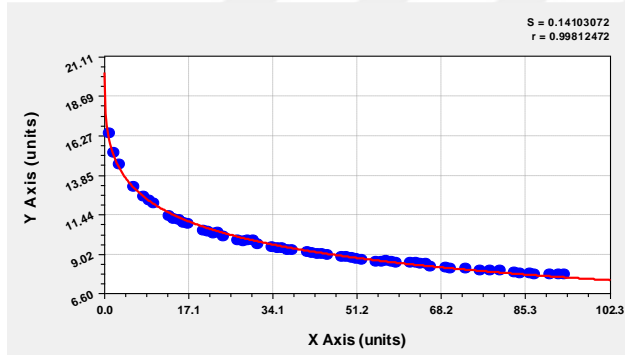
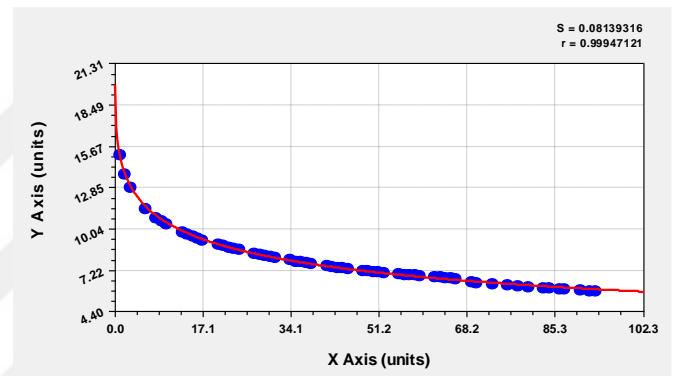
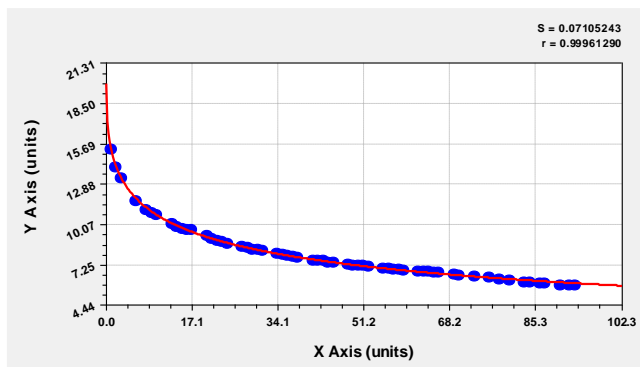
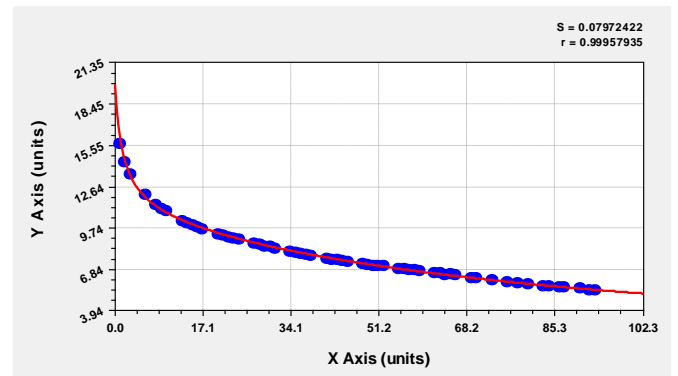
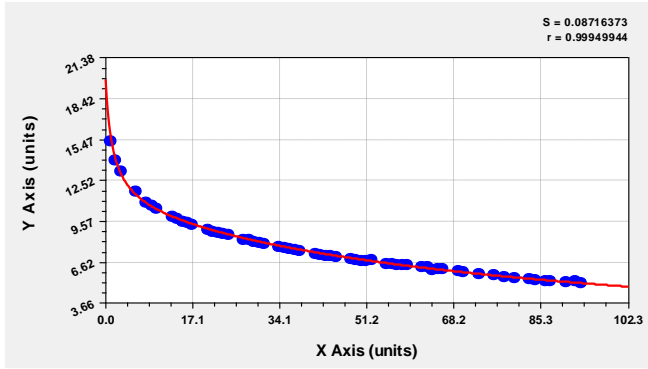
<b>Çözelti</b>	<b>Model_DN1</b>	<b>Parametre</b>	<b>Model_DN2</b>	<b>Parametre</b>
<b>LiCl</b>	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 22.09 b = 3.23 c = 0.60 d = 0.00 s = 0.06 r = 1	Harris Modeli: $y=1/(a+bx^c)$	a = 0.05 b = 0.03 c = 0.43 s = 0.05 r = 1
<b>CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>K</b>	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 22.08 b = 4.41 c = 0.76 d = 0.00 s = 0.13 r = 1	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 22.08 b = 4.26 c = 0.72 d = 0.00 s = 0.11 r = 1
<b>MgCl<sub>2</sub></b>	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 22.10 b = 8.69 c = 1.03 d = 0.00 s = 0.07 r = 1	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 22.10 b = 10.48 c = 1.31 d = 0.00 s = 0.06 r = 1
<b>K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b>	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 22.10 b = 104.94 c = 6.64 d = 0.01 s = 0.15 r = 0.99	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 22.10 b = 51.88 c = 3.41 d = 0.00 s = 0.17 r = 0.98
<b>NaBr</b>	Harris Modeli: $y=1/(a+bx^c)$	a = 0.05 b = 0.01 c = 0.11 s = 0.47 r = 0.79	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 22.10 b = 7550903.52 c = 398482.98 d = 185.78 s = 0.52 r = 0.70
<b>Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub></b>	Harris Modeli: $y=1/(a+bx^c)$	a = 0.05 b = -0.02 c = 0.02 s = 1.81 r = 0.78	Harris Modeli: $y=1/(a+bx^c)$	a = 0.05 b = -0.02 c = 0.02 s = 1.85 r = 0.79

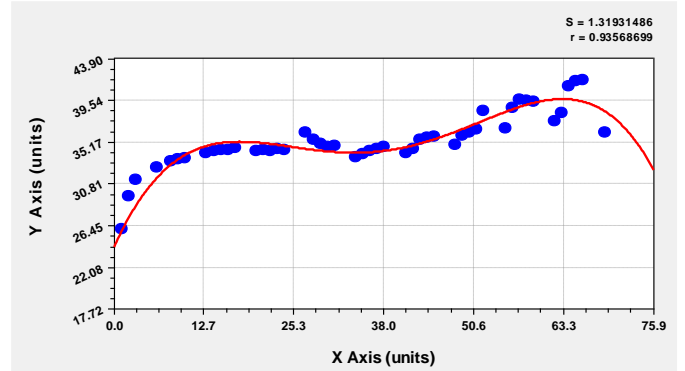
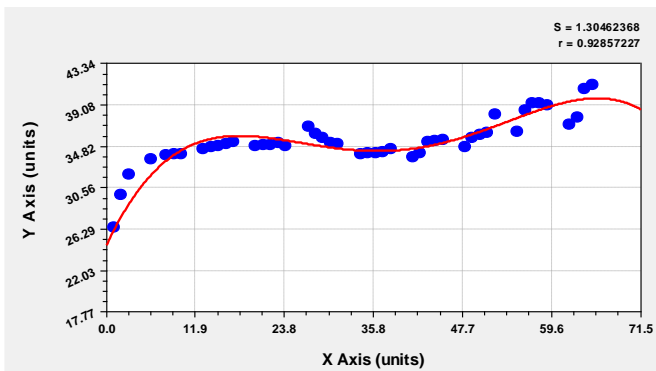
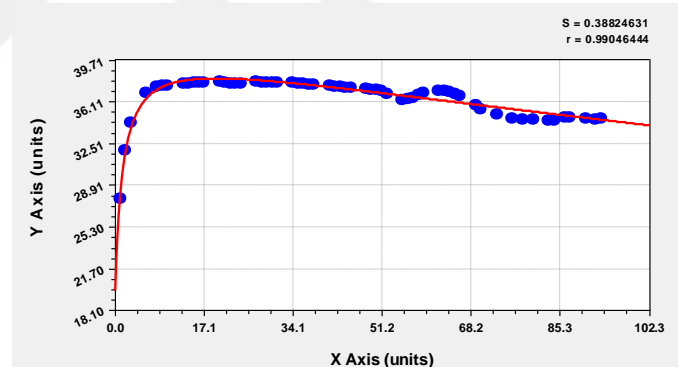
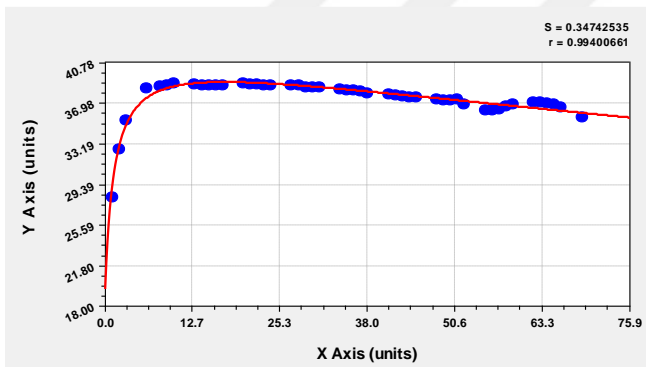
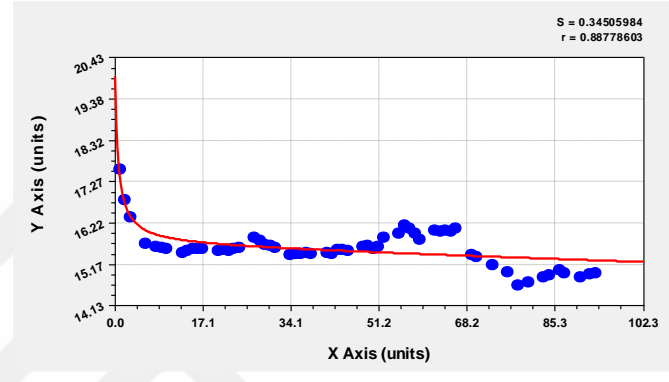
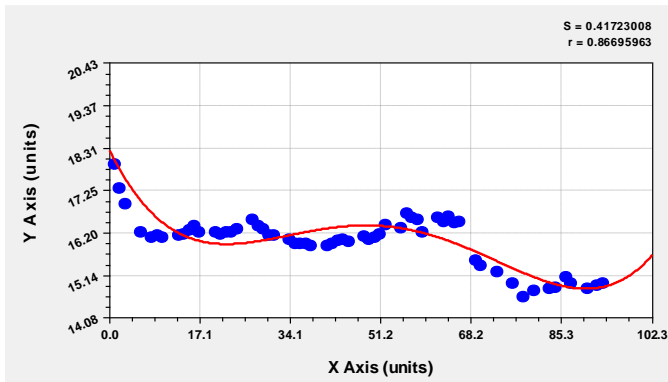
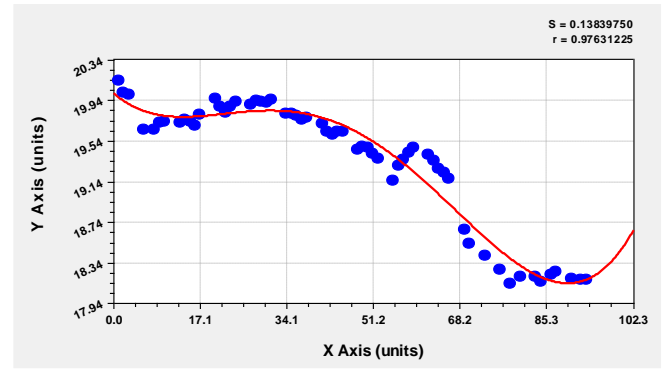
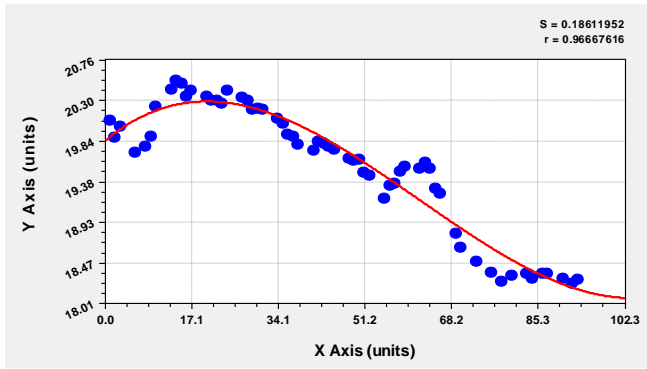
**EK 12: 40 °C'deki Narenciye Balı ( $a_w = 0.71 - 1$ ) için Kullanılan Eşitlikler**

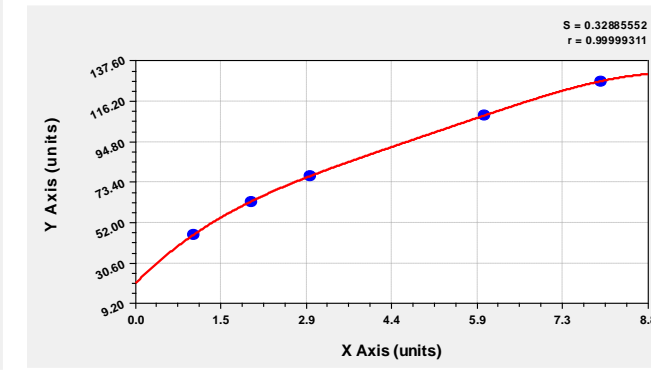
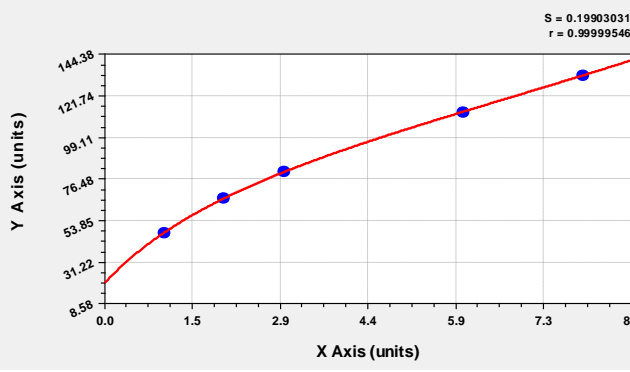
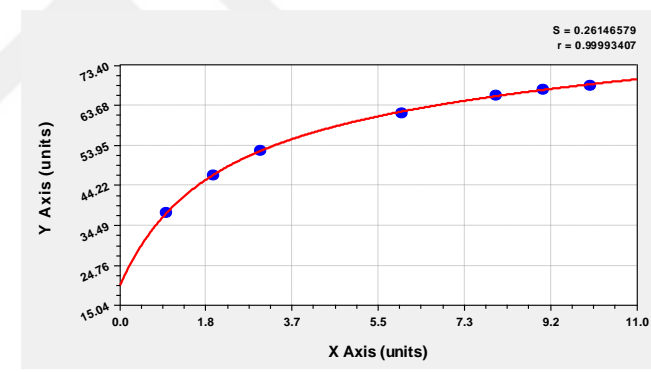
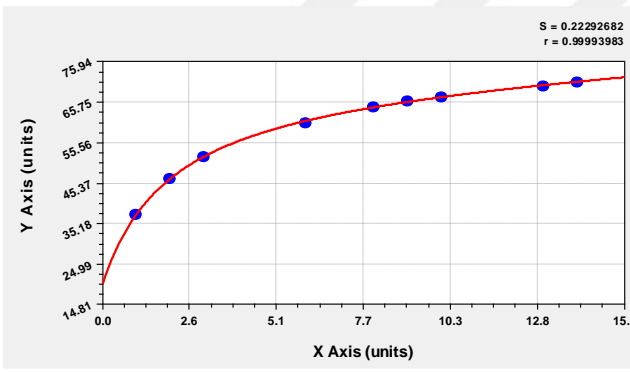
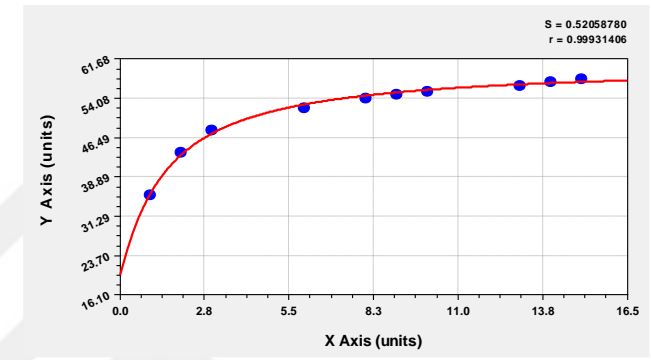
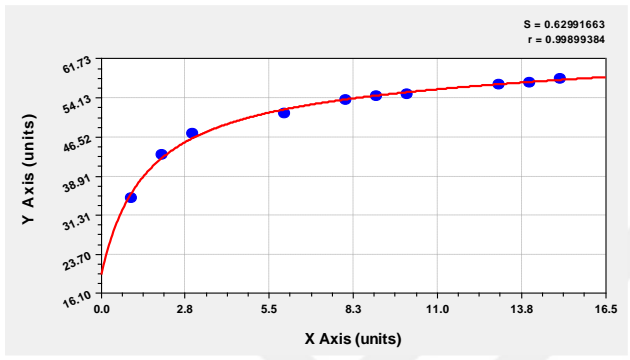
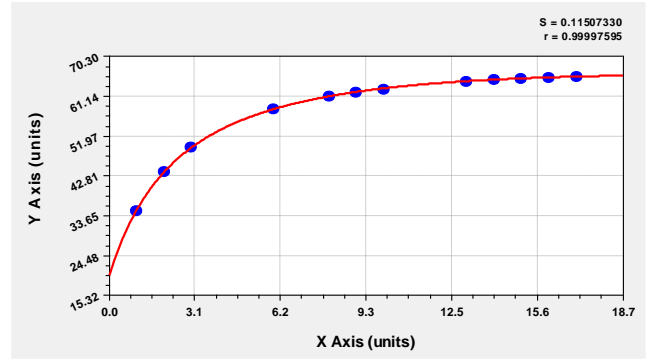
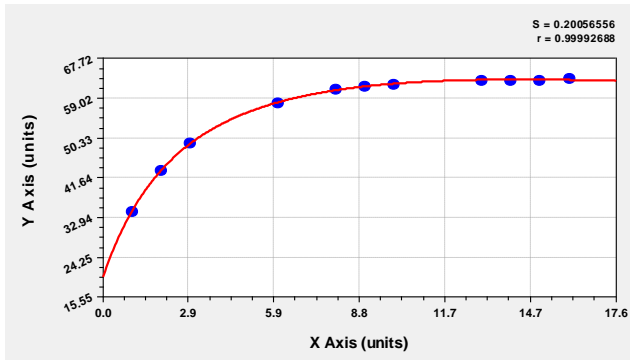
<b>Çözelti</b>	<b>Model_DN1</b>	<b>Parametre</b>	<b>Model_DN2</b>	<b>Parametre</b>
<b>NaCl</b>	Harris Modeli: $y=1/(a+bx^c)$	a = 0.05 b = -0.02 c = 0.02	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 22.13 b = 53.69 c = 1.08 d = 0.00
		s = 2.92 r = 0.82		s = 3.70 r = 0.79
<b>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 22.10 b = 241285230.15 c = 4496228.80 d = -7326.80	Harris Modeli: $y=1/(a+bx^c)$	a = 0.05 b = -0.02 c = 0.05
		s = 3.86 r = 0.87		s = 4.43 r = 0.87
<b>KCl</b>	Harris Modeli: $y=1/(a+bx^c)$	a = 0.05 b = -0.03 c = 0.01	Harris Modeli: $y=1/(a+bx^c)$	a = 0.05 b = -0.03 c = 0.04
		s = 2.97 r = 0.96		s = 3.43 r = 0.96
<b>KNO<sub>3</sub></b>	4. Derece Polinom Uyumu: $y=a+bx+cx^2+dx^3...$	a = 22.10 b = 48.56 c = -11.03 d = 1.25 e = -0.05	Rasyonel Fonksiyon: $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$	a = 22.12 b = 40.22 c = 0.11 d = 0.01
		s = 1.08 r = 1		s = 1.70 r = 1
<b>K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	MMF Modeli: $y=(a*b+c*x^d)/(b+x^d)$	a = 22.10 b = 4.84 c = 278.26 d = 0.95	MMF Modeli: $y=(a*b+c*x^d)/(b+x^d)$	a = 22.10 b = 4.38 c = 220.09 d = 1.56
		s = 0 r = 1		s = 0 r = 1
<b>H<sub>2</sub>O</b>	MMF Modeli: $y=(a*b+c*x^d)/(b+x^d)$	a = 22.10 b = 5.74 c = 401.16 d = 1.03	MMF Modeli: $y=(a*b+c*x^d)/(b+x^d)$	a = 22.10 b = 4.97 c = 315.96 d = 1.23
		s = 0 r = 1		s = 0 r = 1



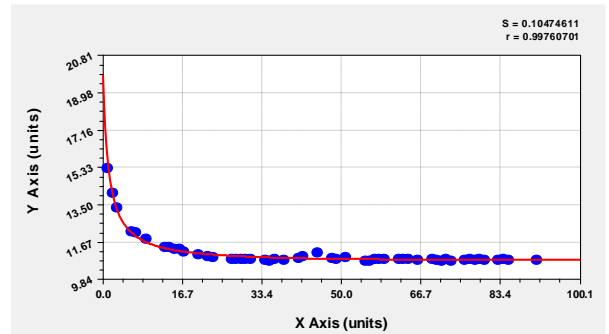
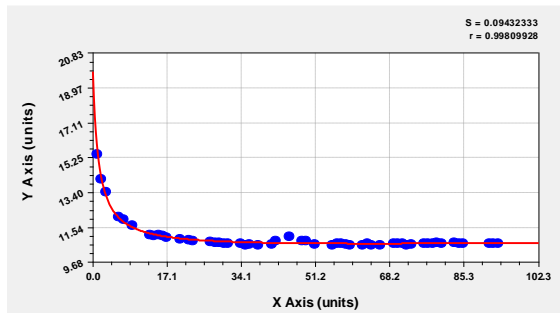
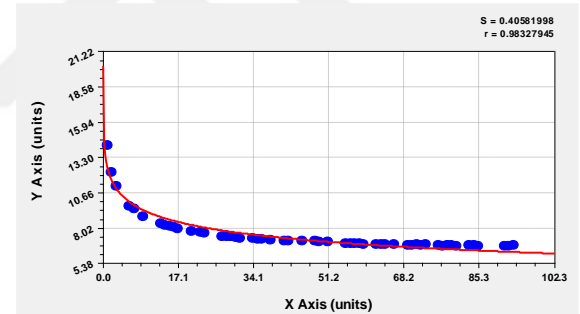
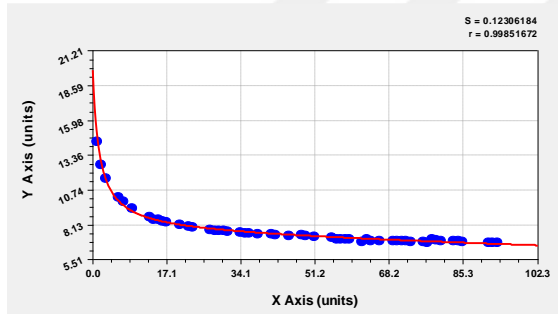
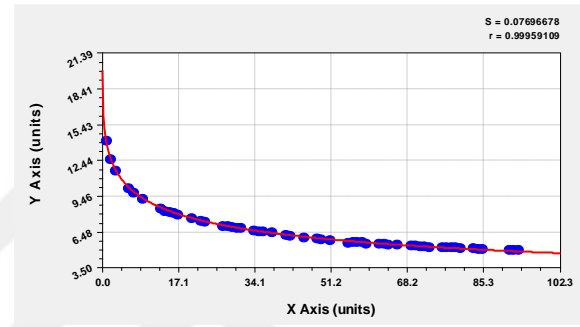
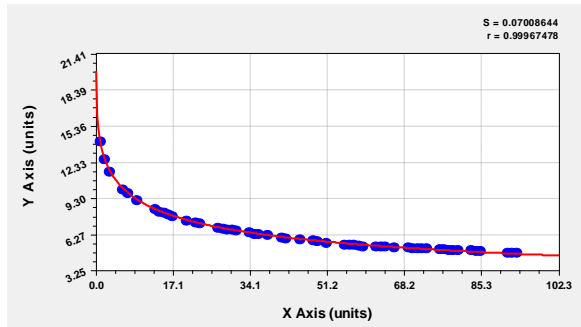
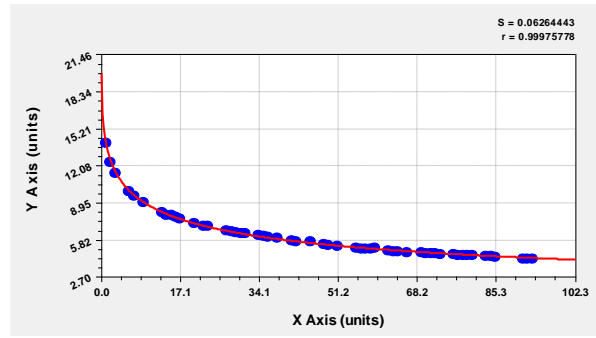
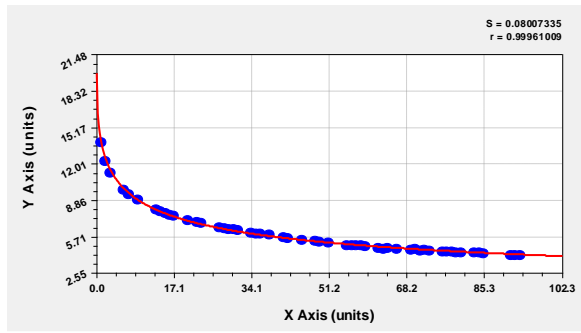
### EK 13: 20 °C'deki Çam Balı ( $a_w = 0.1 - 1.0$ ) için Elde Edilen Grafikler

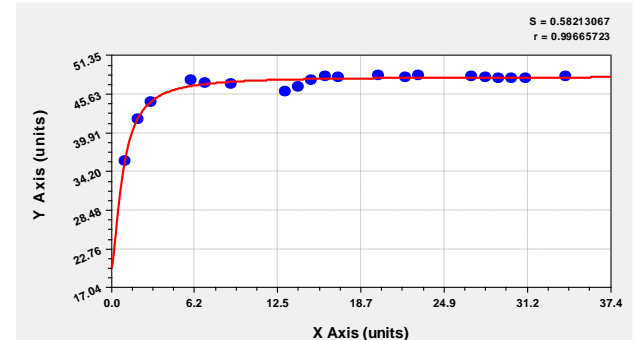
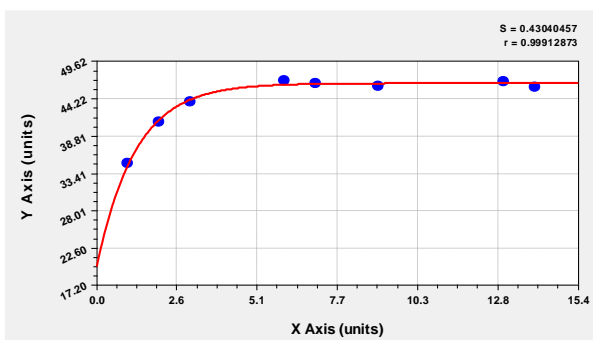
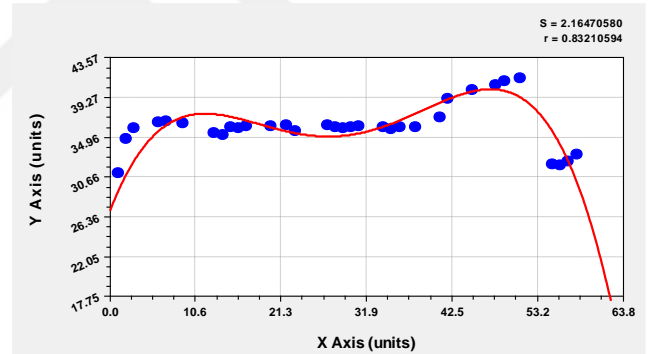
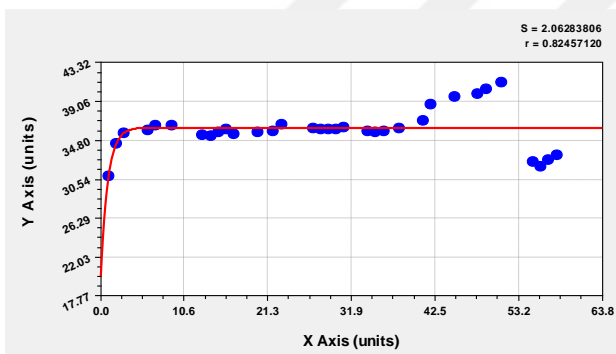
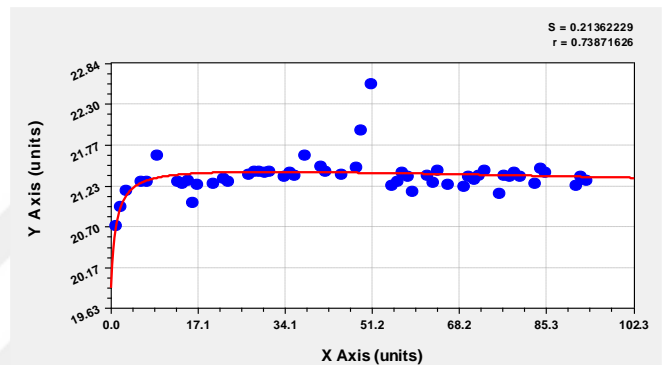
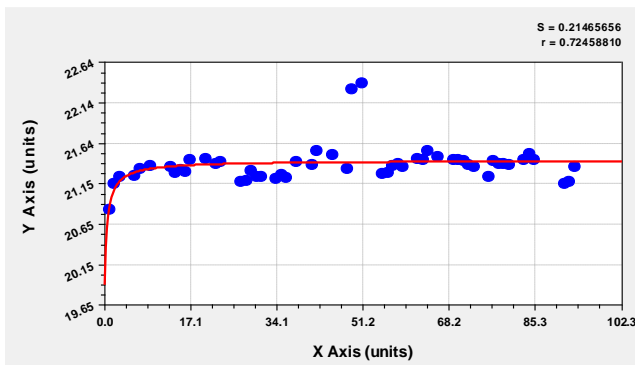
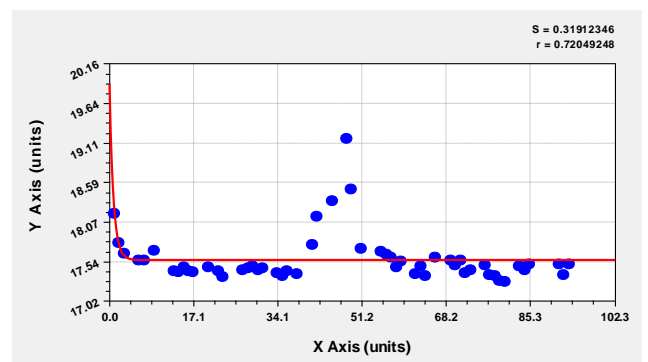
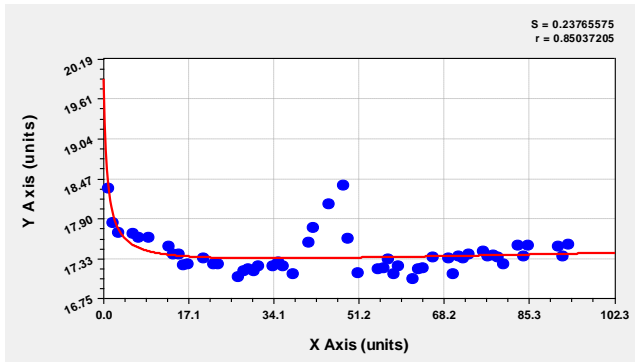


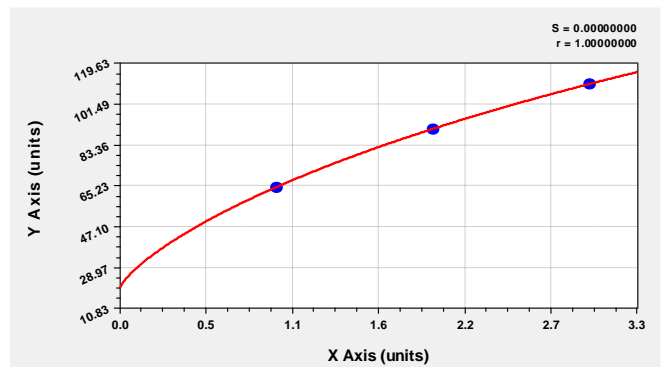
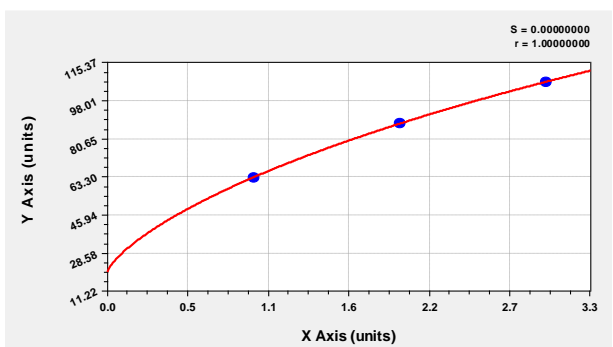
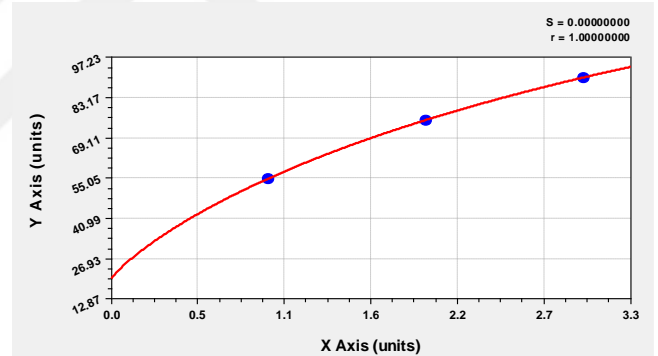
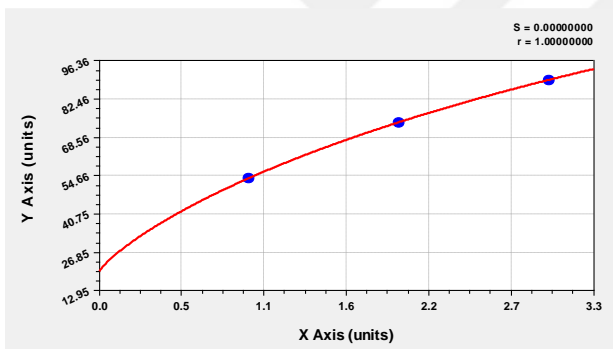
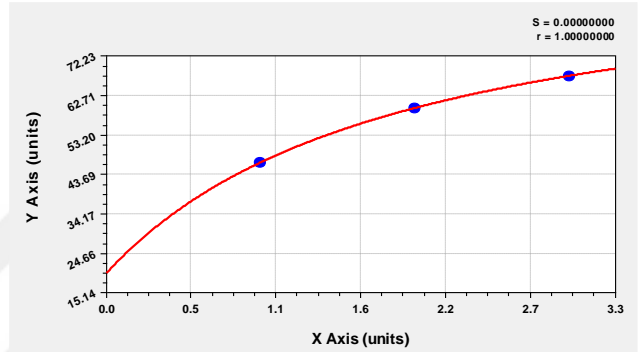
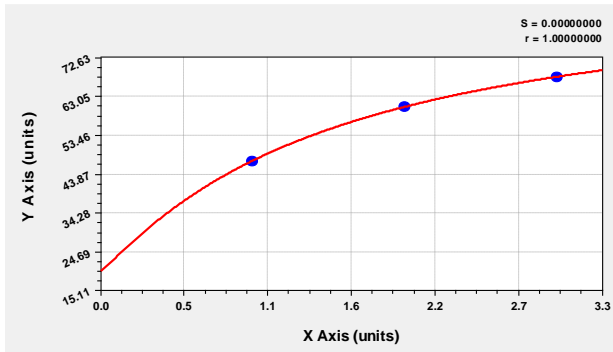
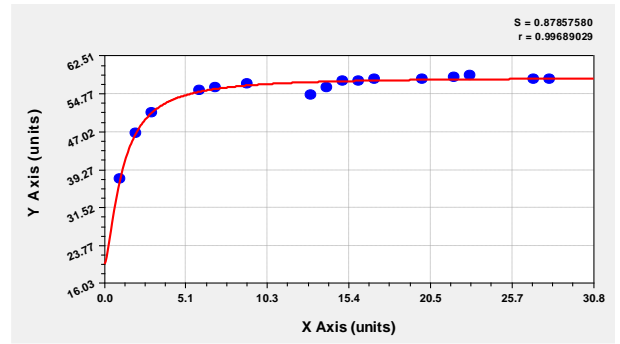
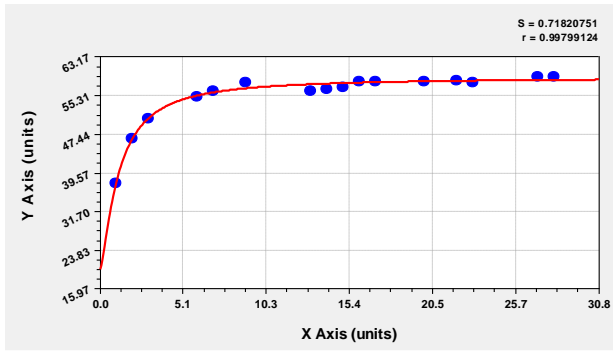




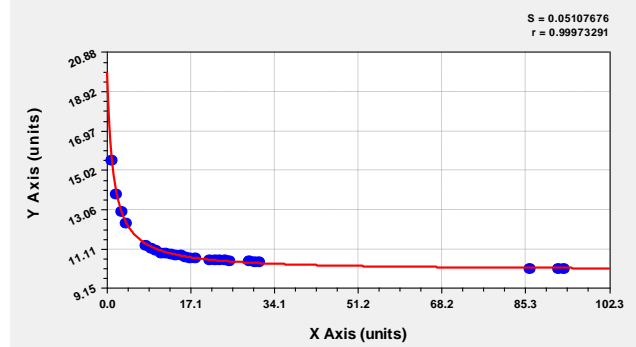
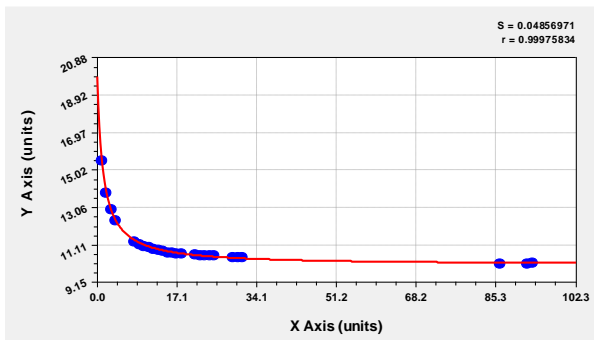
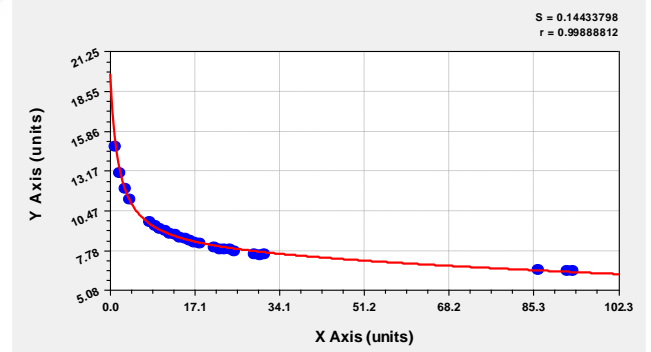
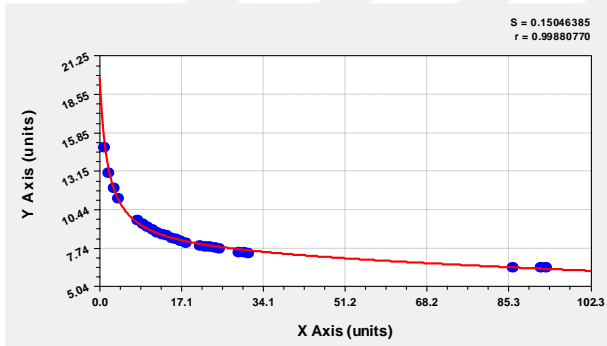
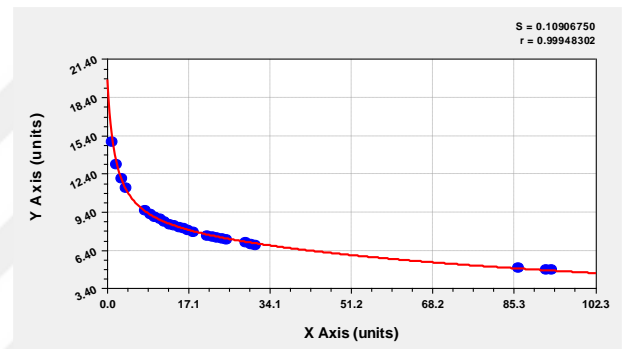
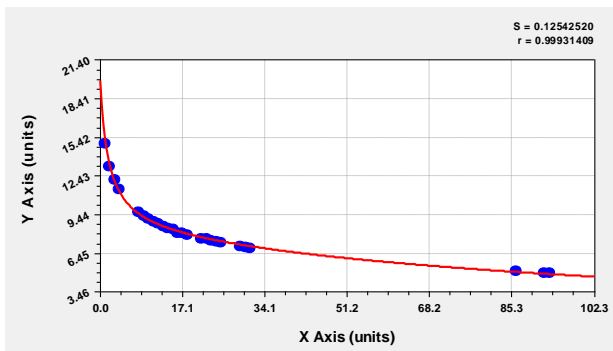
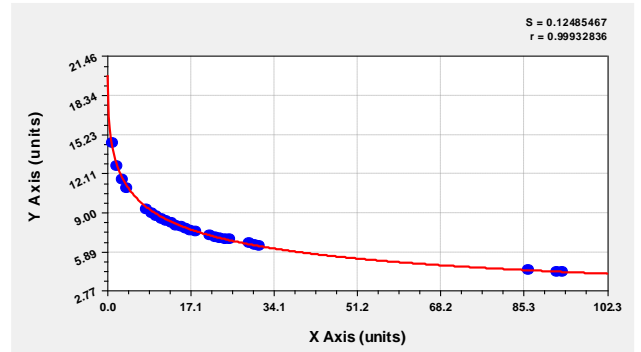
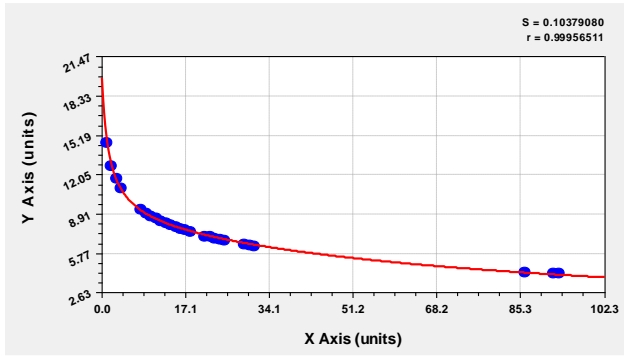
### EK 14: 30 °C'deki Çam Balı ( $a_w = 0.1 - 1.0$ ) için Elde Edilen Grafikler

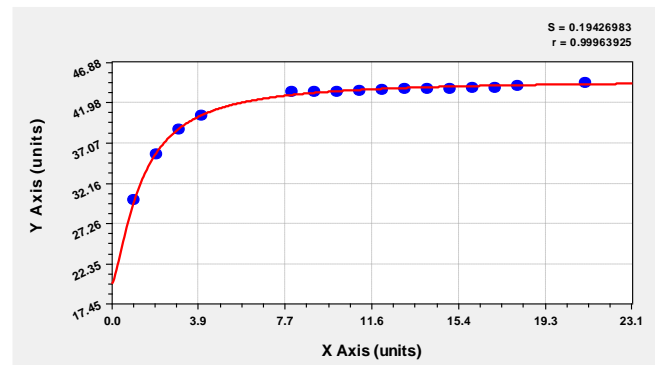
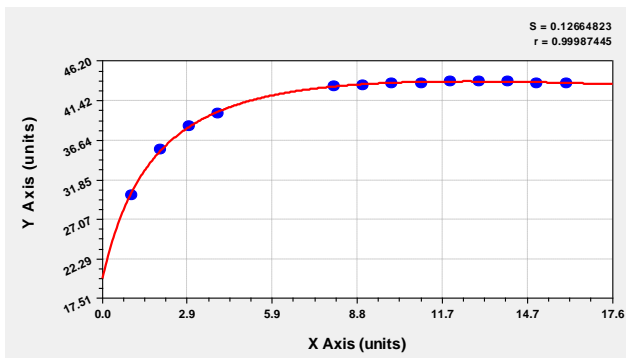
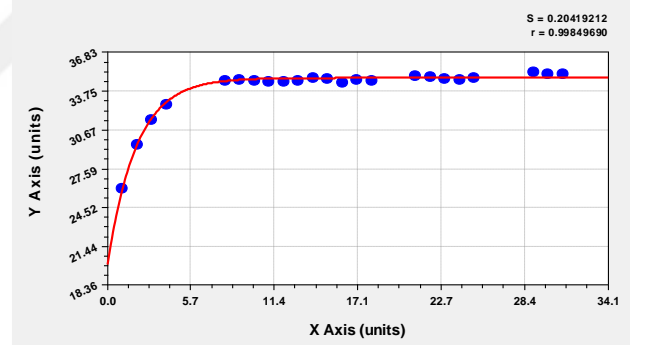
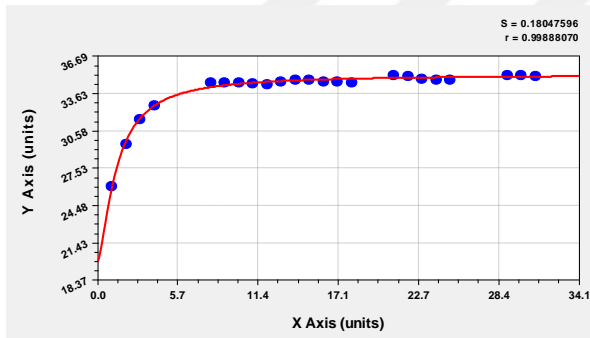
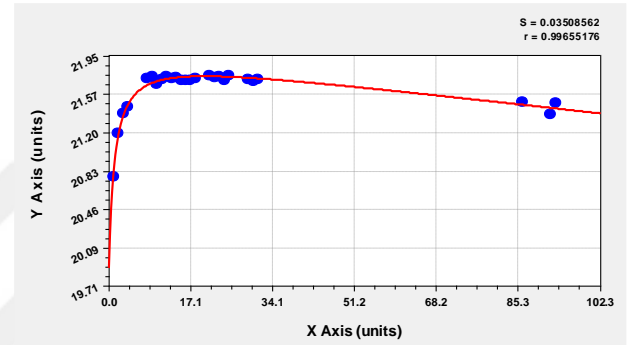
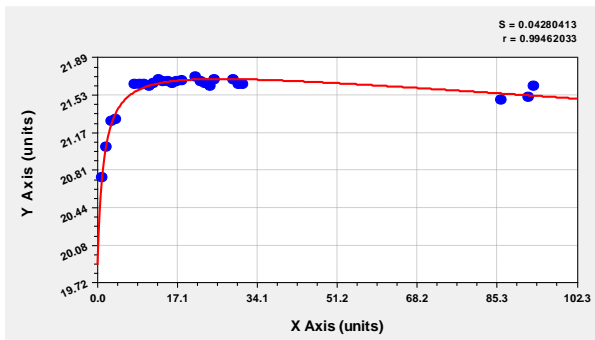
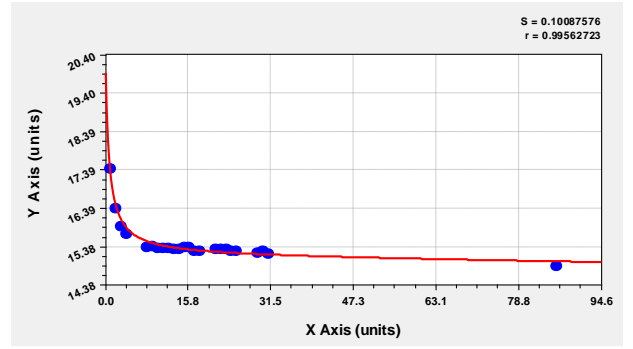
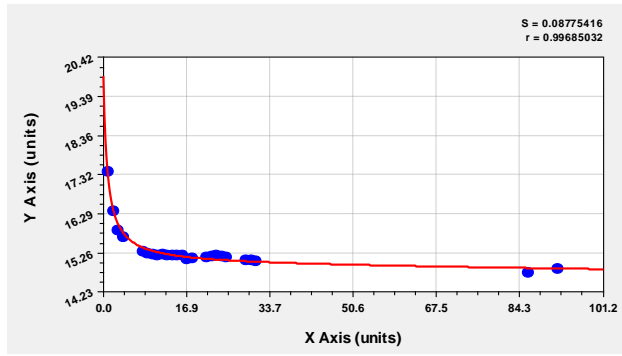




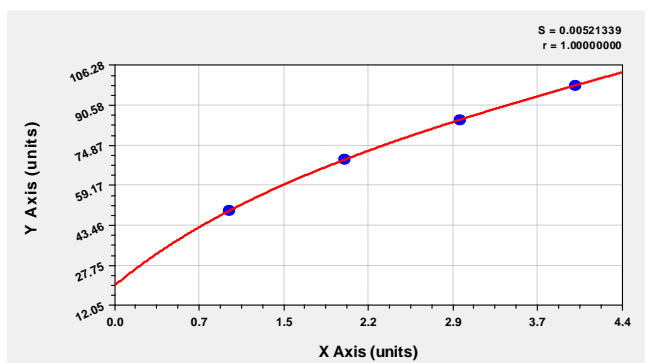
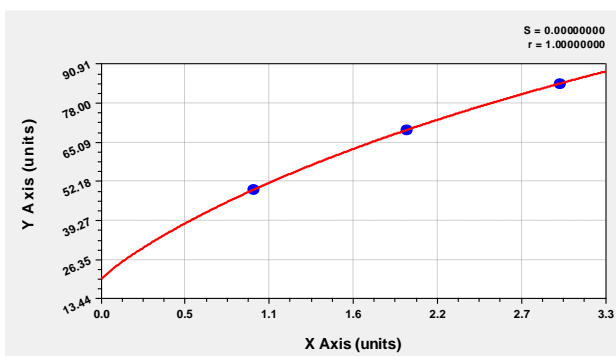
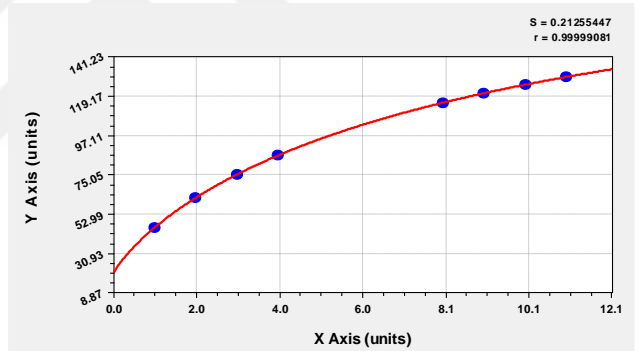
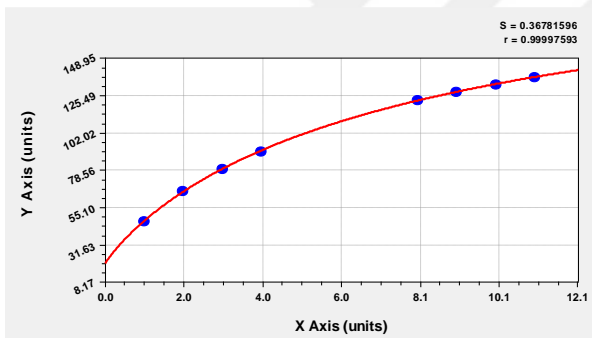
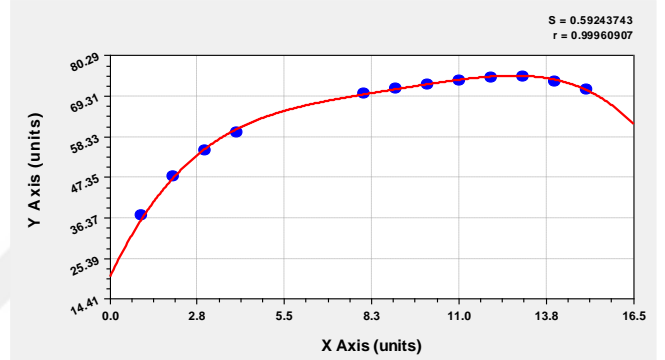
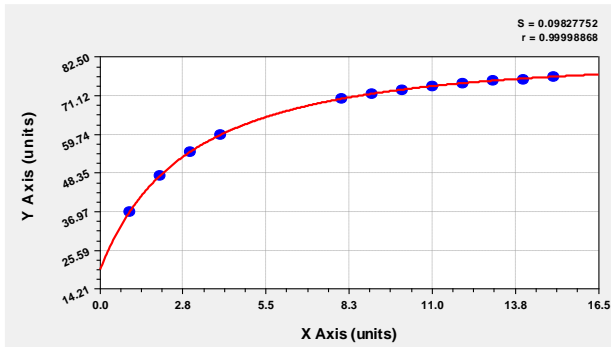
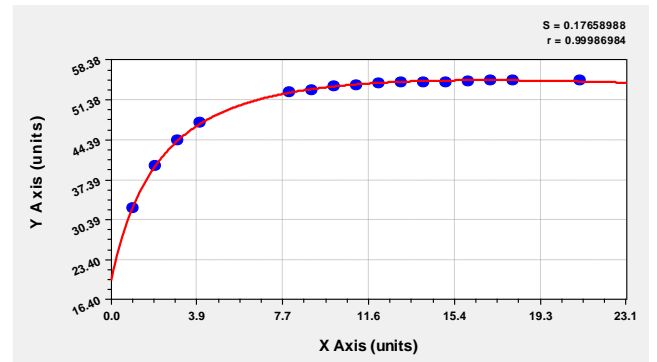
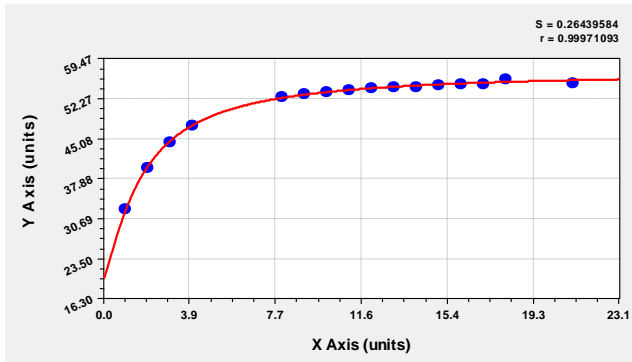


### EK 15: 40 °C'deki Çam Balı ( $a_w = 0.1 - 1.0$ ) için Elde Edilen Grafikler

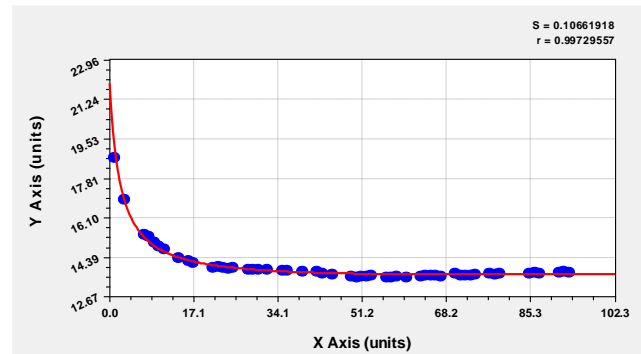
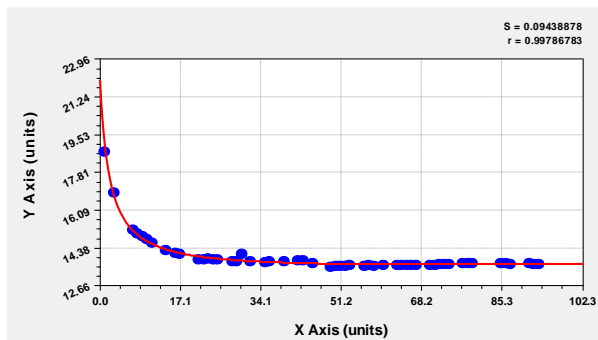
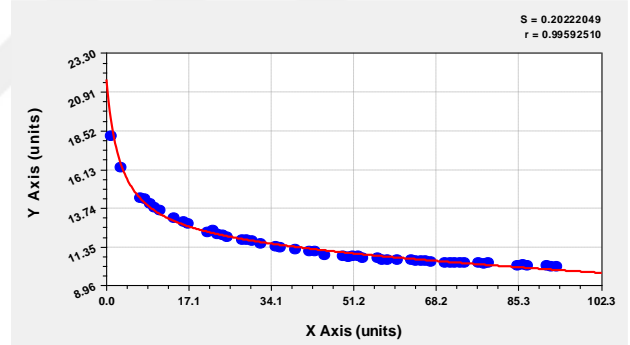
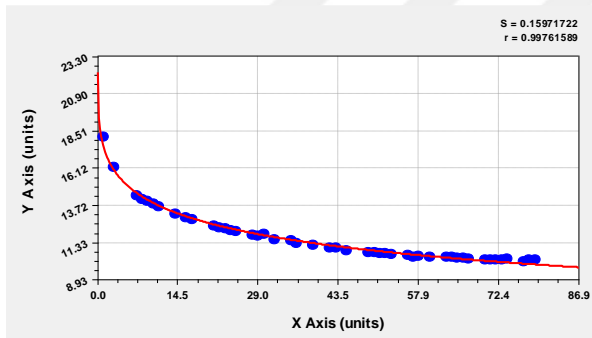
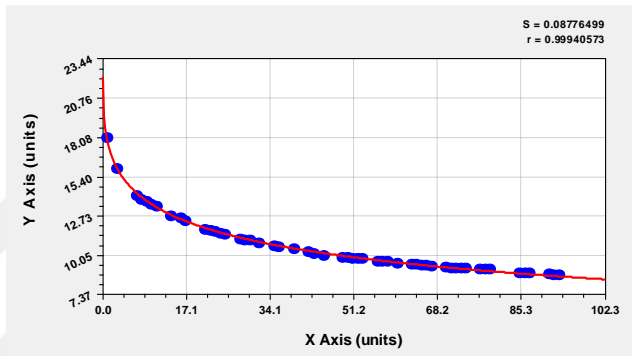
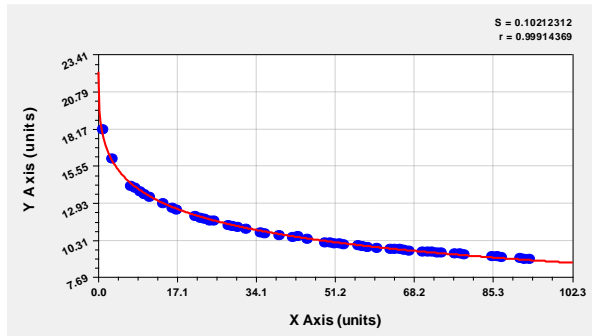
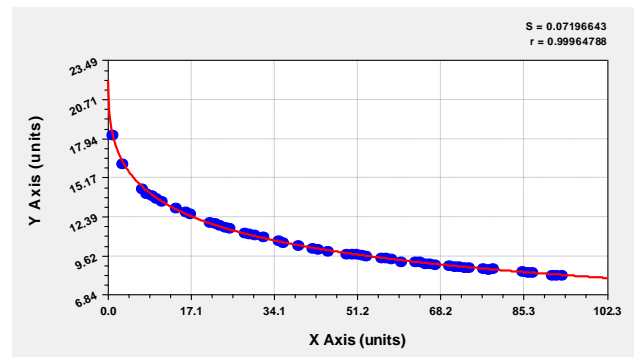
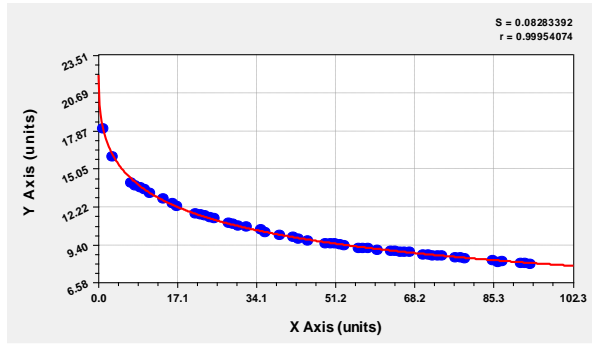


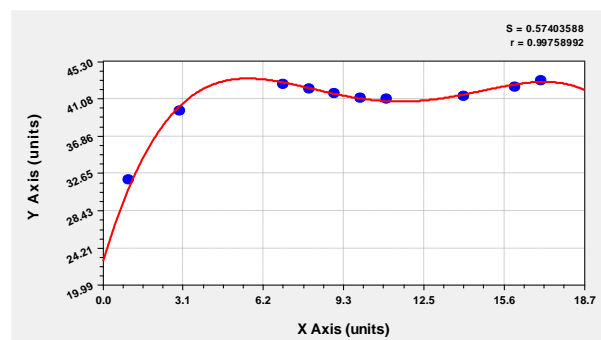
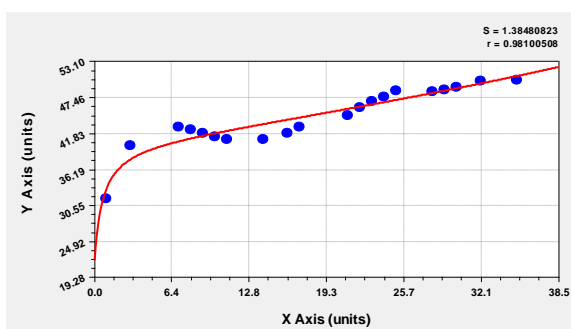
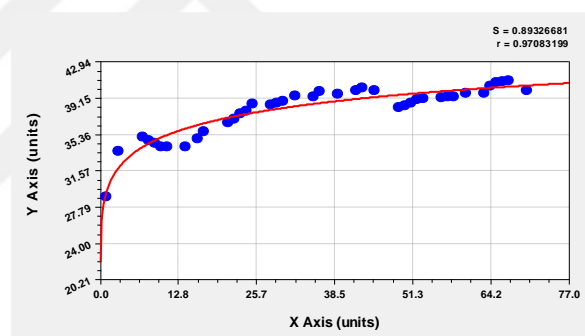
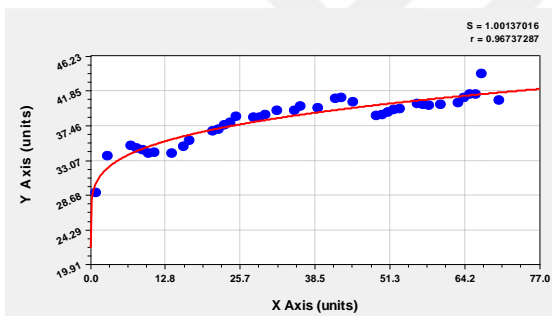
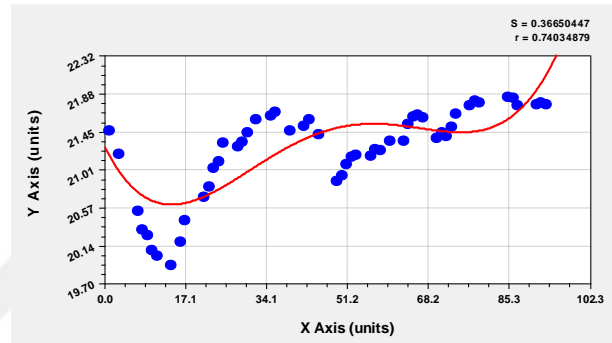
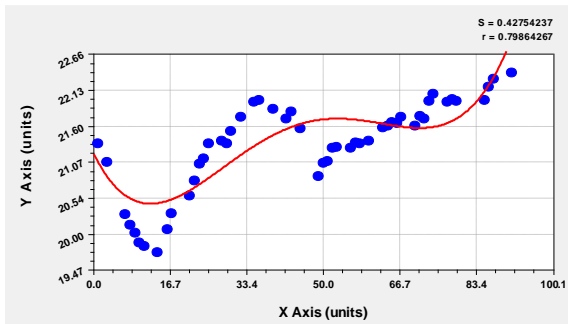
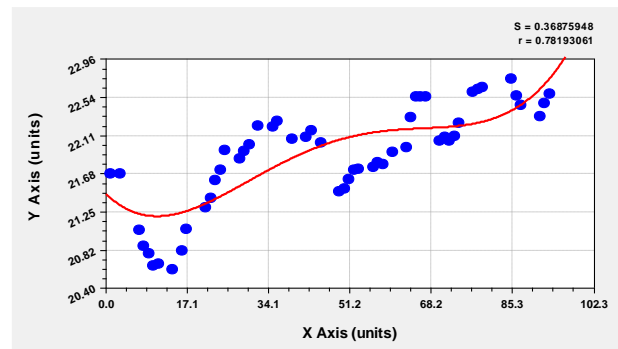
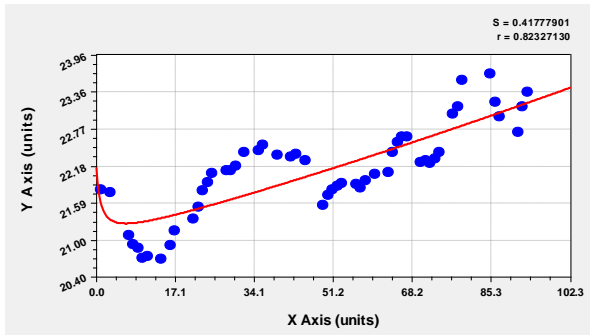


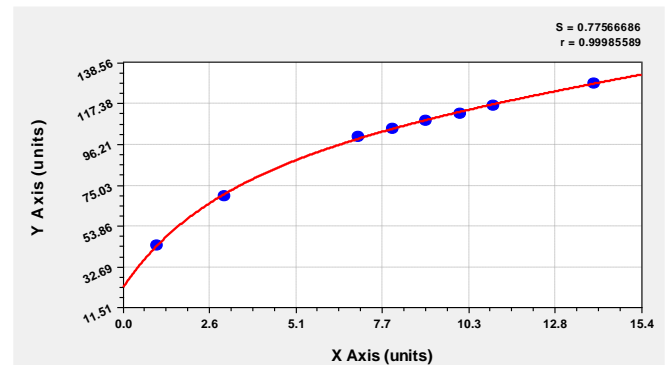
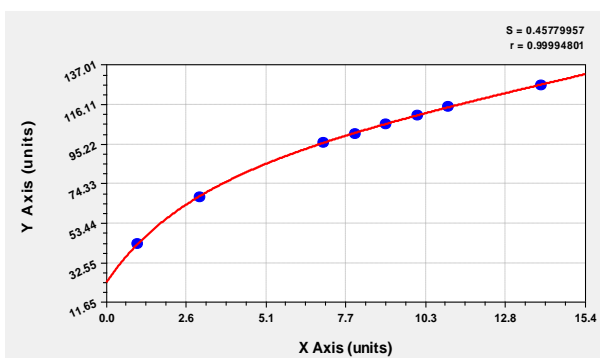
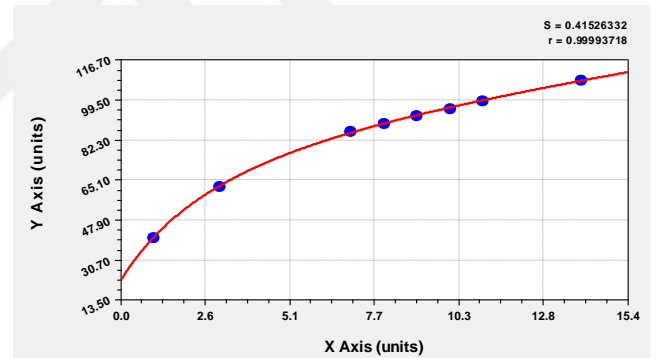
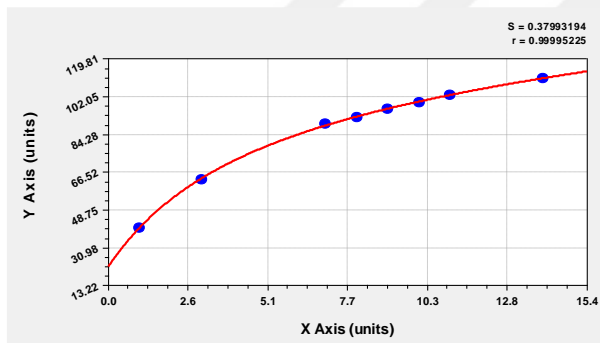
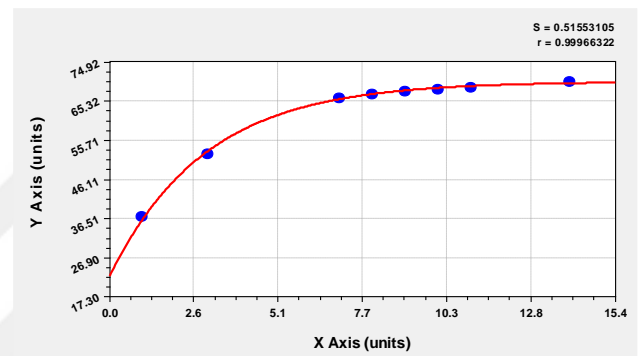
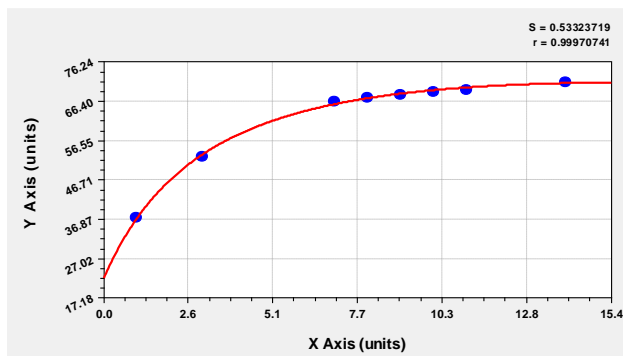
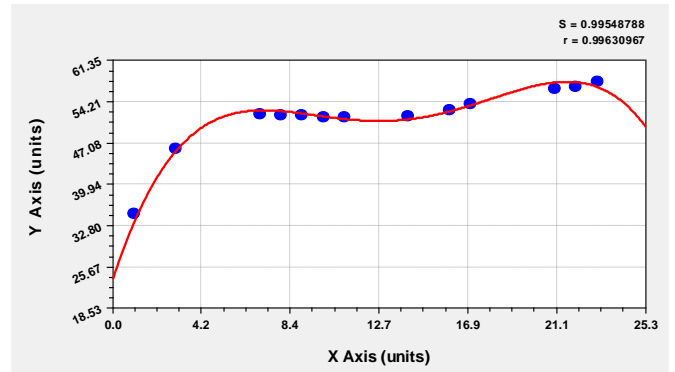
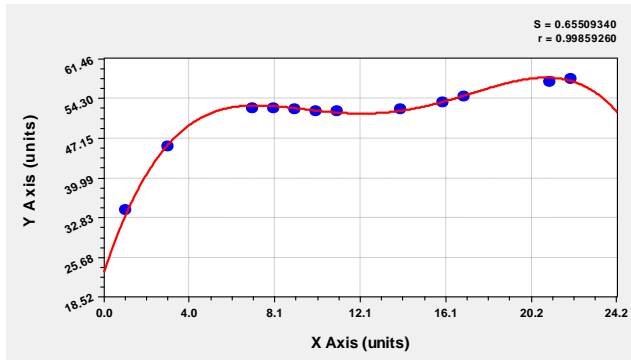




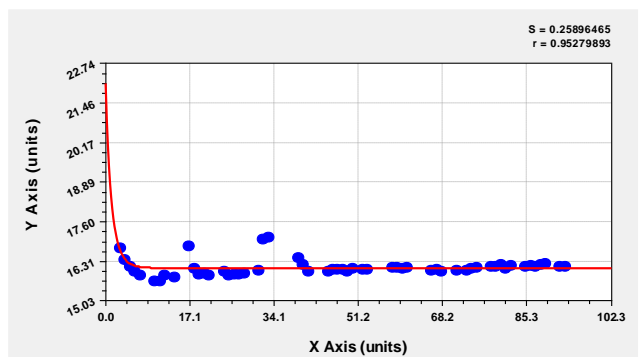
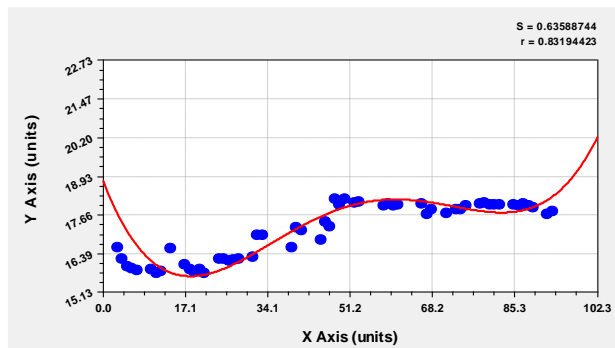
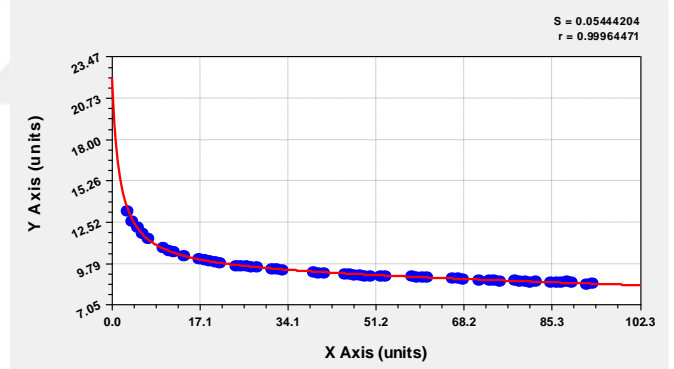
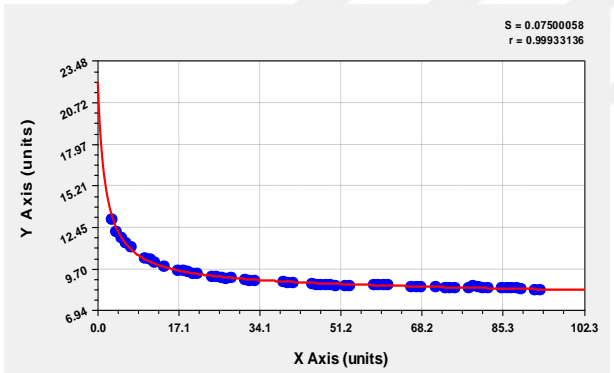
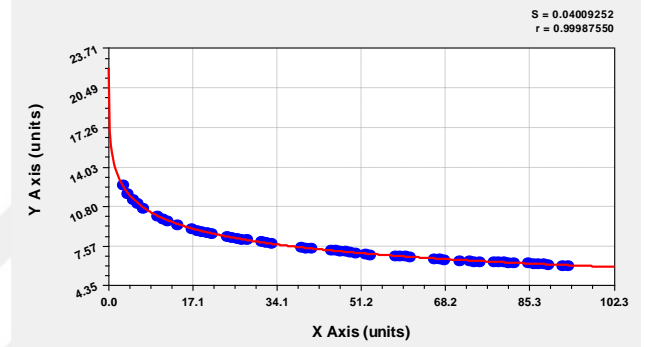
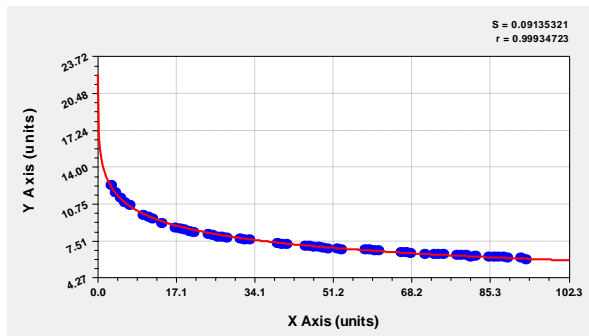
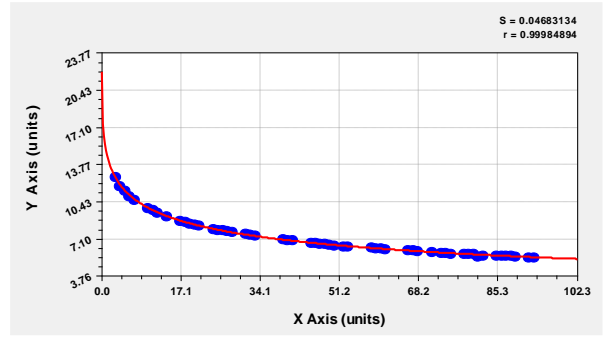
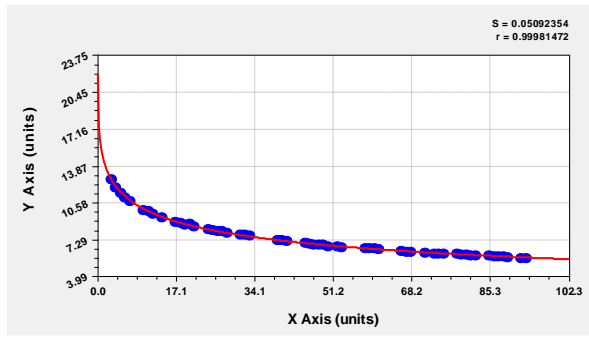
### EK 16: 20 °C'deki Narenciye Balı ( $a_w = 0.1 - 1.0$ ) için Elde Edilen Grafikler

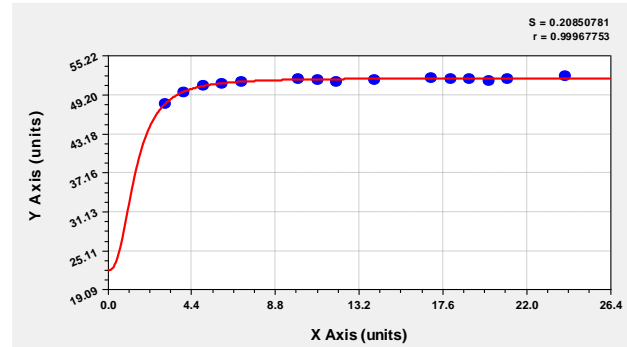
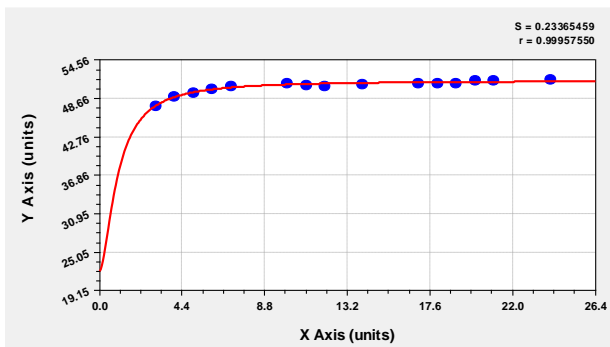
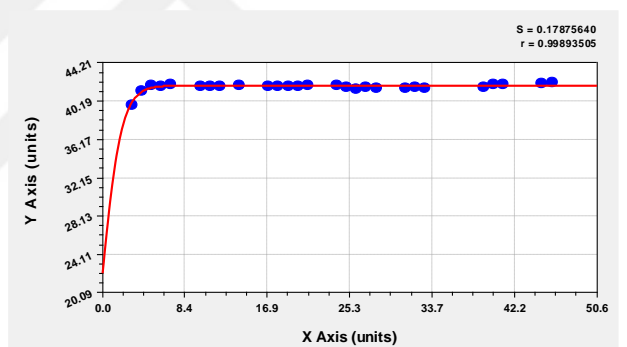
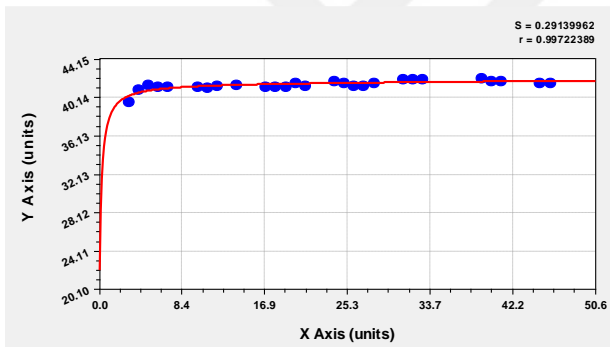
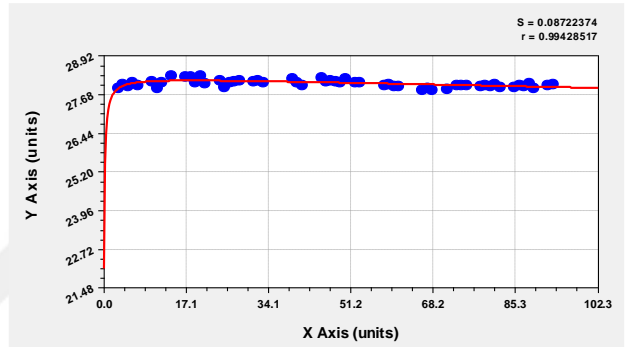
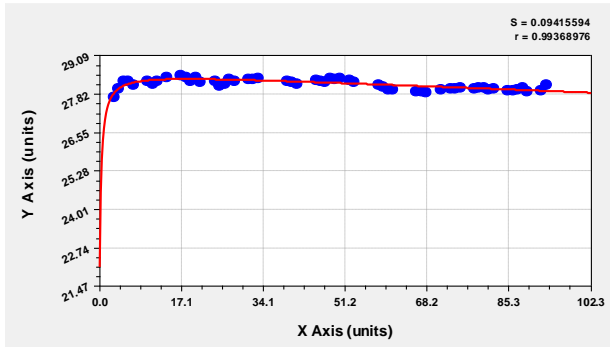
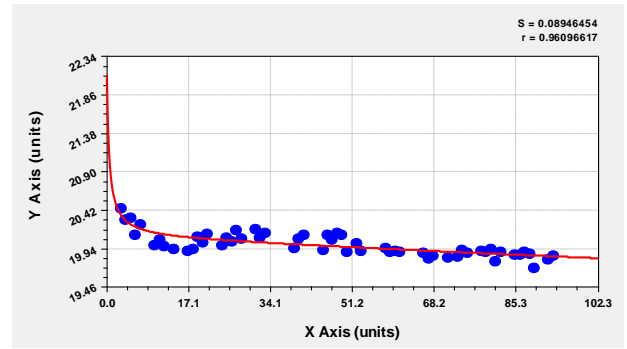
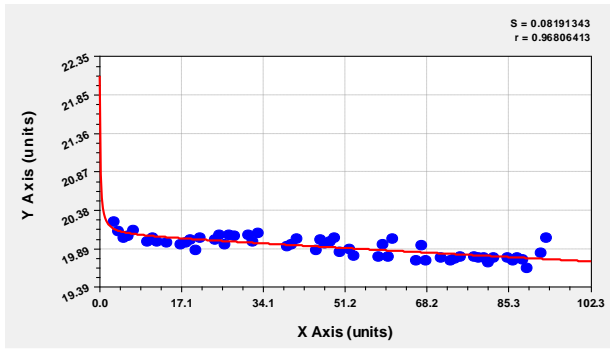


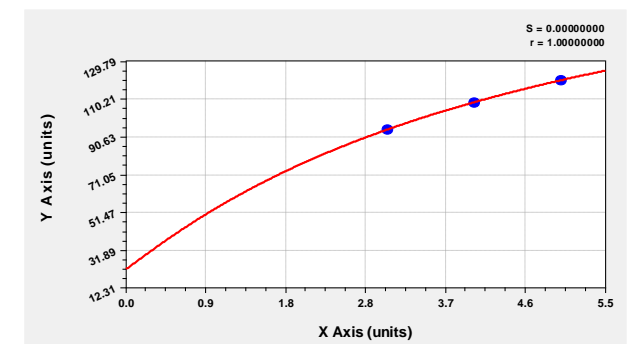
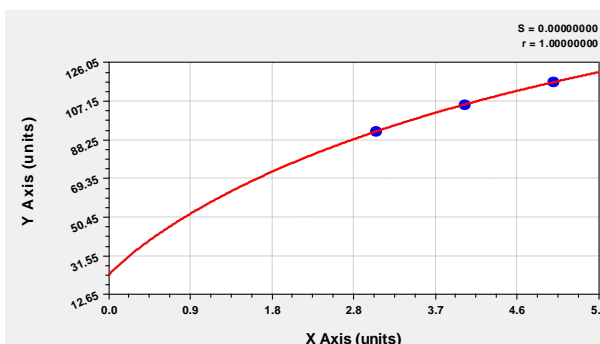
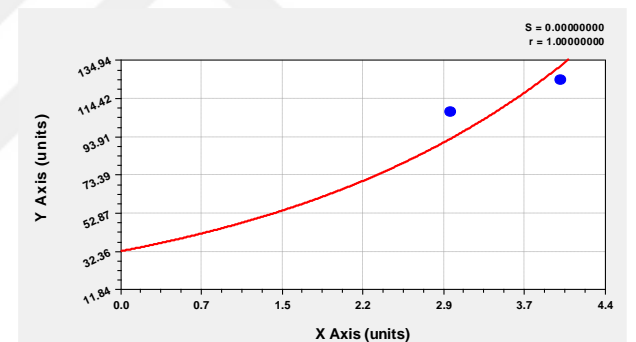
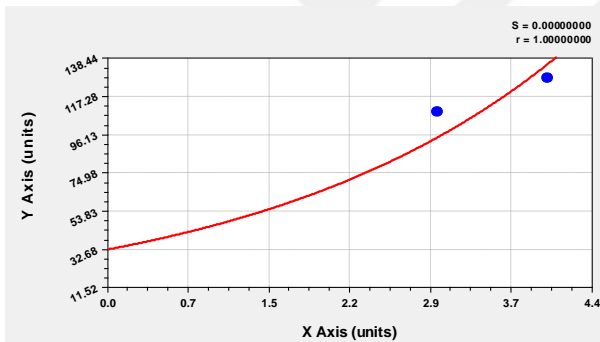
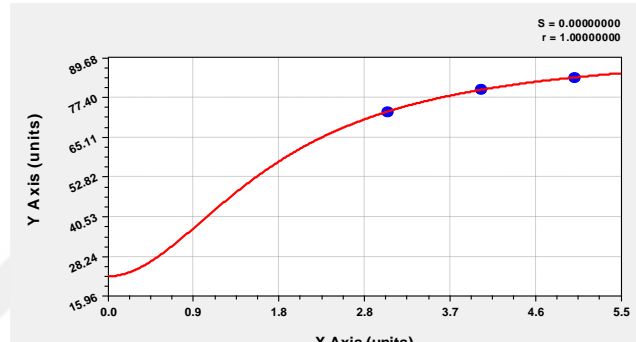
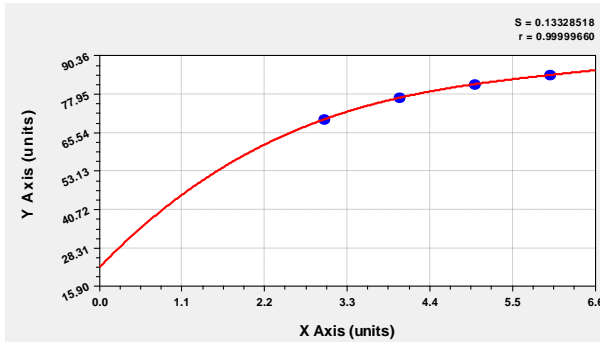
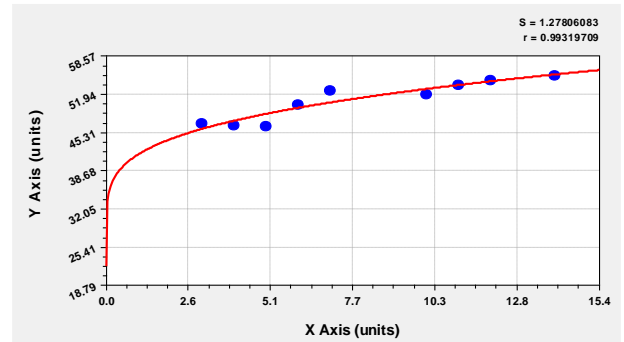
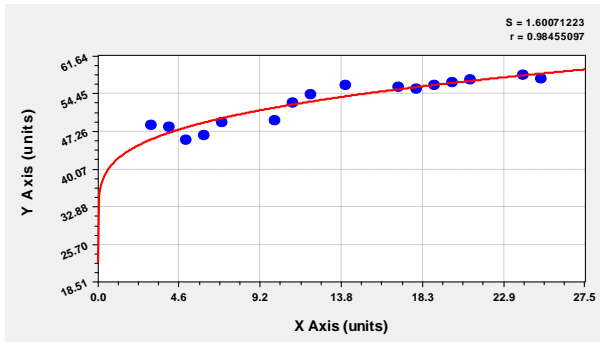




### EK 17: 30 °C'deki Narenciye Balı ( $a_w = 0.1 - 1.0$ ) için Elde Edilen Grafikler







### EK 18: 40 °C'deki Narenciye Balı ( $a_w = 0.1 - 1.0$ ) için Elde Edilen Grafikler

