

**T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



ELMANIN KURUMA KİNETİĞİNİN İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

Nasim KIAN POUR

**Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı
Gıda Mühendisliği Programı**

Ocak, 2019

**T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



ELMANIN KURUMA KİNETİĞİNİN İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

**Nasim KIAN POUR
(Y1213.640001)**

**Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı
Gıda Mühendisliği Programı**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Şükrü KARATAŞ

Ocak, 2019



04/01/2018

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ
DOKTORA TEZ ONAY BELGESİ

Enstitümüz Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Gıda Mühendisliği Lisans sonrası Doktora Programı Y1213.640001 numaralı öğrencisi Nasim KIANPOUR' un "ELMANIN KURUTMA KİNETİĞİNİN İNCELENMESİ" adlı doktora tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 18/12/2018 tarih ve 2018/25 sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından *Özellikle* ile Doktora tezi olarak *kabul* edilmiştir.

	Unvan- Ad-Soyad	İmza
Danışman	Prof. Dr. Şükrü KARATAŞ	<i>[Signature]</i>
Üye (TİK)	Doç. Dr. Filiz ALTAY	<i>[Signature]</i>
Üye (TİK)	Dr. Öğr. Üyesi Zeynep TACER CABA	<i>[Signature]</i>
Üye	Prof. Dr. Süleyman TANYOLAÇ	<i>[Signature]</i>
Üye	Prof. Dr. Avni ÇAKICI	<i>[Signature]</i>

Tezin Savunulduğu Tarih : 04/01/2019

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun *16.07.2019* tarih ve *2019/14* sayılı kararı ile onaylanmıştır.


[Signature]
Prof. Dr. Süleyman TANYOLAÇ
Enstitü Müdürü



YEMİN METNİ

Doktora tezi olarak sunduğum“ELMANIN KURUMA KİNETİĞİNİN İNCELENMESİ” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadar ki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve etik geleneklere aykırı düşecek bir davranışının olmadığını, tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin bibliyografyada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yaparak yararlanmış olduğumu belirtir ve onurumla beyan ederim.

Nasim KIAN POUR







Eşime ve Çocuklarıma,



ÖNSÖZ

Bu vesile ile bana İstanbul Aydın Üniversite'sinde (İAÜ) rehberliği altında doktora çalışmalarımı takip etme fırsatı veren tez danışmanım **Prof. Dr. Sükrü KARATAŞ**'a teşekkürlerimi sunmak isterim. Konusunda uzman kişiler ile iyi bir mühendislik değerlendirmesi yapma ve çalışmalarım esnasında düşüncelerimi inceleme ve araştırma olanağı sunan araçları ve özgürlüğü temin etme bağlamında kendisine son derece müteşekkirim.

Bu esnada bana verdiği koşulsuz destek için tez izleme komitesi üyesi **Doç. Dr. Filiz ALTAY**'ya de teşekkürlerimi sunarım. Simülasyon ve matematiksel modelleri yanı sıra tekstür analizleri, tartışırken yaptığımız fikir alışverişlerini takdir ediyorum.

Aynı zamanda bana verdiği koşulsuz destek için tez izleme komitesi üyesi **Dr. Öğr. Üyesi Zeynep TACER CABA**'ya de teşekkürlerimi sunarım. SPSS program ile istatistiksel değerlendirme yanı sıra tekstür analizleri, tartışırken yaptığımız fikir alışverişlerini takdir ediyorum.

Aynı zamanda doktora öğrenimimi tamamladığım İAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü'nde görevli değerli hocalarıma ve çalışanlara ve her zaman, her konuda bana destek olan aileme ve eşim Darush Mojtahedi' ye şükranlarımı sunarım.

Buna rağmen burada açıklanan görüşler, bulgular, sonuçlar ya da öneriler yazara aittir; İAÜ'nün görüşmelerini yansıtmamaktadır.

Ocak, 2019

Nasim KIAN POUR



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxiii
ABSTRACT	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	5
1.2 Literatür Taraması	6
1.3 Hypotez	10
2. ELMA (MAULS DOMESTICA)	13
2.1 Giriş.....	13
2.2 Elma Hasadı Ve Hasat Sonrası.....	18
2.3 Elmaların Bileşimi.....	19
3. GIDALARDA BULUNAN SUYUN ÖZELLİKLERİ	21
3.1 Giriş.....	21
3.1.1 Serbest su	21
3.1.2 Bağlı su	21
3.1.3 İyonik su.....	22
3.2 Denge Nem İçeriği	23
3.3 Su Aktivitesi	23
3.4 Gıda Yapısı Ve Özellikleri.....	26
3.4.1 Higroskopik olmayan kılcal gözenekli malzemeler.....	26
3.4.2 Higroskopik gözenekli malzemeler	26
3.4.3 Kolloidal (gözeneksiz) malzemeler	26
3.5 Gıdaların Termofiziksel Özellikleri	27
4. ELMANIN KURUTULMASI.....	29
4.1 Giriş.....	29
4.2 Kurutucuların sınıflandırılması	29
4.2.1 Sıcak hava ile kurutma (konveksiyon).....	30
4.2.2 Sıcak bir yüzeye temas ile kurutma (kondüksiyon).....	30
4.2.3 Radyasyon, mikrodalga ve dielektrik ile kurutma	31
4.2.4 Süblimasyon ile kurutma	31
4.3 Kurutmanın Temelleri	31
4.4 Kurutma Evreleri.....	34
4.4.1 İlk geçiş bölgesi	35
4.4.2 Sabit hız dönemi.....	35
4.4.3 Birinci azalan hız dönemi (doymamış yüzeyin kuruma dönemi)	36
4.4.4 İkinci azalan hız dönemi	37

4.5 Materyal Ve Metotlar	37
4.5.1 Örnek hazırlama	37
4.5.2 Konvektif kurutma ekipmanı	39
4.5.3 Kurutma süreci	40
4.6 Sonuçlar Ve Tartışma	40
4.6.1 Geometrik şekillerin kuruma kinetiği üzerindeki etkisi.....	68
4.6.2 Farklı elma türlerinin kuruma kinetiği üzerindeki etkisi.....	69
4.6.3 Farklı hava sıcaklıklarının kuruma kinetiği üzerindeki etkisi.....	71
5. ELMALARIN DİFÜZYON KATSAYISI.....	75
5.1 Giriş	75
5.1.1 Sıvı difüzyon teorisi	75
5.1.2 Kapiler teori.....	77
5.1.3 Büzülme etkileri	79
5.2 Materyal Ve Metotlar	79
5.3 İstatistiksel Analizi	79
5.4 Sonuçlar ve tartışma	80
6. ELMANIN AKTİVASYON ENERJİSİ.....	87
6.1 Giriş	87
6.1.1 Geçiş hali teorisi.....	87
6.1.2 Çarpışma teorisi.....	87
6.2 Aktivasyon Enerjisi	88
6.3 Materyal Ve Metotlar	89
6.4 İstatistiksel Analizi	89
6.5 Sonuçlar Ve Tartışma	90
7. KONVEKTİF KURUTMA SİMÜLASYONU	95
7.1 Giriş	95
7.2 Momentumun Moleküler Aktarımı	97
7.2.1 Hız sınır tabakası.....	97
7.2.2 Reynolds sayısı.....	98
7.2.3 Sürtünme kuvvetleri	98
7.3 Isının Moleküler Aktarımı	99
7.3.1 Isıl sınır tabakası.....	100
7.3.2 Düz plaka üzerindeki ısı transferinin sınıflandırılması	100
7.3.2.1 İletimli ısı transferi	100
7.3.2.2 Taşınımlı ısı transferi	101
7.3.3 Isı transferinde boyutsuz sayılar.....	101
7.3.3.1 Nusselt sayısı (Nu).....	101
7.3.3.2 Prandtl sayısı (Pr)	102
7.3.3.3 Isı transferinde Stanton sayısı (Stısı).....	102
7.3.4 Düz plaka üzerindeki akıma ilişkin ısı transferi.....	102
7.4 Kütlelerin Moleküler Aktarımı	103
7.4.1 Derişim sınır tabakası.....	103
7.4.2 Düz plaka üzerindeki kütle transferinin sınıflandırılması	103
7.4.2.1 Difüzyon ile kütle transferi (DAB).....	103
7.4.2.2 Konvektif kütle transferi (hkütle)	103
7.4.2.3 Toplam kütle transfer katsayısı (Kkütle)	104
7.4.3 Kütle transferinde boyutsuz sayılar.....	104
7.4.3.1 Schmidt sayısı	104
7.4.3.2 wis sayısı	104
7.4.3.3 Sherwood sayısı.....	105

7.4.3.4 Kütle transferinde Stanton sayısı (Stk_{ütle})	105
7.4.4 Gıdanın düz plaka üzerindeki akışına ilişkin kütle transferi	105
7.5 Isı, Kütle Ve Momentum Transferinin Benzeşimi	105
7.5.1 Reynolds benzeşimi: Pr ≈ Sc ≈ 1	106
7.5.2 Chilton-Colburn benzeşimi: Pr ≠ Sc ≠ 1	106
7.6 Toplam Kurutma Sabiti (<i>k</i>)	106
7.7 Materyal Ve Metotlar	107
7.8 Sonuçlar Ve Tartışma	107
8. KURUTMA SÜRECİNİN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ.....	113
8.1 Giriş	113
8.1.1 Dağıtılmış modeller	113
8.1.2 Lumped parametre modelleri	114
8.2 Teorik Modeller	114
8.3 Yarı-Teorik Modeller	115
8.3.1 Newton'un soğutma yasası doğrultusunda geliştirilen modeller	115
8.3.1.1 Newton modeli	115
8.3.1.2 Modifiye Page modeli	116
8.3.2 Fick'in ikinci difüzyon yasası doğrultusunda geliştirilmiş modeller.....	116
8.3.2.1 Henderson ve Pabis modeli	116
8.3.2.2 Logaritmik modeli	116
8.3.2.3 Midilli-Küçük modeli	116
8.4 Deneysel Modeller	117
8.4.1 Wang ve Singh modeli	117
8.5 Materyal ve metotlar	117
8.6 İstatistiksel Analizi	117
8.7 Sonuçlar Ve Tartışma	118
9. ELMANIN TEKSTÜREL ÖZELLİKLERİ.....	129
9.1 Giriş	129
9.2 Gıdaların Tekstürel Özelliklerinin Belirlenmesi	130
9.3 Tekstür Profil Analizi (TPA).....	130
9.4 Materyal Ve Metotlar	132
9.5 İstatistiksel Analizi	133
9.6 Sonuçlar Ve Tartışma	133
10. ELMADA YENİLEBİLİR KAPLAMALARIN KULLANIMI.....	137
10.1 Giriş	137
10.2 Yenilebilir film ve kaplamaların fonksiyonel özellikleri	137
10.3 Genel olarak güvenilir kabul edilen (GRAS)	139
10.4 Yenilebilir film ve kaplamaların sınıflandırılması	141
10.4.1 Polisakkarit kaynaklı film ve kaplamalar.....	141
10.4.1.1 Sodyum aljinat (C ₆ H ₇ NaO ₆)n.....	142
10.4.1.2 Pektin C ₆ H ₁₀ O ₇	144
10.4.1.3 Ksantan gam C ₈ H ₁₄ Cl ₂ N ₂ O ₂	146
10.4.1.4 Arap zıncığı	147
10.4.2 Protein kaynaklı film ve kaplamalar	148
10.4.2.1 Jelatin	149
10.4.3 Lipit kaynaklı film ve kaplamalar	150
10.5 Materyal ve metotlar	150
10.5.1 Kaplama maddeleri	150
10.5.2 Kaplama çözeltilerinin hazırlanması.....	150
10.5.3 Kaplama uygulamaları	151

10.5.3.1 Elma halkaları	151
10.5.3.2 Tek parçacıklı elma örnekleri.....	152
10.6 İstatistiksel Analizi	152
10.7 Sonuçlar ve tartışma	153
11. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	163
11.1 Sonuçlar.....	163
11.2 Öneriler.....	163
KAYNAKLAR.....	165
EKLER.....	175
ÖZGEÇMİŞ.....	217



KISALTMALAR

AL	: Sodyum Aljinat
ANOVA	: Varyans Analizi
AOAC	: Analitik Kimyagerler Derneği
CAS	: Kimyasal Kuramlar Servisi
CFR	: Federal Dzenlemeler Kanunu
DA	: Daire
DE	: Metil Esterleşme Derecesi
DR	: Kuruma Hızı
FAO	: Gıda ve Tarım Örgütü
FDA	: Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi
GA	: Arap Zamkı
GL	: Jelatin
GRAS	: Genel olarak Güvenilir Kabul Edilen
GS	: Granny Smith
HMP	: Yüksek Metoksilli Pektin
INS	: Uluslararası Numaralandırma Sistemi
JECFA	: Gıda Katkıları FAO/WHO Ortak Uzmanlar Komitesi
KA	: Kare
LMP	: Düşük Metoksilli Pektin
MR	: Nem Oranı
PC	: Pektin
RMSE	: Kök Ortalama Karesel Hata
SD	: Standart Sapma
SGD	: Starkspur Golden Delicious
SKD	: Starkrimson Delicious
SPSS	: Sosyal Bilimler İstatistik Programı
ÜĞ	: Üçgen
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
WVP	: Su Buharı Geçirgenliği
XG	: Ksantan Gamı



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: 1980 ile 1989 yılları arasında dünyadaki elma üretimi (metrik ton). (USDA, 2012) dan uyarlandı.....	14
Çizelge 2.2: 1990 ile 1999 yılları arasında dünyadaki elma üretimi (metrik ton). (USDA, 2012) dan uyarlandı.....	15
Çizelge 2.3: 2000 ile 2010 yılları arasında dünyadaki elma üretimi (metrik ton). (USDA, 2012) dan uyarlandı.....	16
Çizelge 2.4: 2013 ile 2018 yılları arasındaki taze elma raporları (1,000 metrik ton). (USDA, 2017) dan uyarlandı.....	17
Çizelge 2.5: Kabuklu taze elmaların en yakın bileşimi. (USDA, 2018) dan uyarlandı.	20
Çizelge 5.1: Örneklerin difüzyon katsayısı (ortalama \pm SD, n=9).	83
Çizelge 5.2: SGD örneklerinin difüzyon katsayısı (ortalama \pm SD, n=9).	84
Çizelge 5.3: GS örneklerinin difüzyon katsayısı (ortalama \pm SD, n=9).	84
Çizelge 5.4: SKD örneklerinin difüzyon katsayısı (ortalama \pm SD, n=9).	84
Çizelge 6.1: 110, 115 ve 120°C sıcaklıkta, aktivasyon enerjileri (kJ/mol). V=1.75 m/s, Hs=25°C.	93
Çizelge 7.1: Elma yüzeyi üzerindeki hava akışına ilişkin sürtünme kuvveti. ReL < 5 × 10⁵	107
Çizelge 7.2: Konvektif ısı ve kütle transfer katsayısı. ReL < 5 × 10⁵	108
Çizelge 7.3: Elmanın termofiziksel özellikleri.	109
Çizelge 8.1: Kuruma eğrilerinin matematiksel modellemesi.	117
Çizelge 8.2: SGD-KA için doğrusal olmayan regresyon analizi ve istatistiksel sonuçları.	119
Çizelge 8.3: SGD-DA için doğrusal olmayan regresyon analizi ve istatistiksel sonuçları.	120
Çizelge 8.4: SGD-ÜG için doğrusal olmayan regresyon analizi ve istatistiksel sonuçları.	121
Çizelge 8.5: GS-KA için doğrusal olmayan regresyon analizi ve istatistiksel sonuçları.	122
Çizelge 8.6: GS-DA için doğrusal olmayan regresyon analizi ve istatistiksel sonuçları.	123
Çizelge 8.7: GS-ÜG için doğrusal olmayan regresyon analizi ve istatistiksel sonuçları.	124
Çizelge 8.8: SKD-KA için doğrusal olmayan regresyon analizi ve istatistiksel sonuçları.	125
Çizelge 8.9: SKD-DA için doğrusal olmayan regresyon analizi ve istatistiksel sonuçları.	126
Çizelge 8.10: SKD-ÜG için doğrusal olmayan regresyon analizi ve istatistiksel sonuçları.	127

Çizelge 9.1: Kare şekilli SGD, GS ve SKD elmalarının enstrümantal tekstürel özellikleri (ortalama \pm SD, n=3), 120°C, V=1.75 m/s, Hs = 25°C.	134
Çizelge 9.2: SGD elmalarının KA, DA ve ÜÇ şekilli örneklerinin enstrümantal tekstürel özellikleri (ortalama \pm SD, n=3), 120°C, V=1.75 m/s, Hs = 25°C.	134
Çizelge 10.1: Yenilebilir film ve kaplamaların genel standart ve işlevsellikleri.	140
Çizelge 10.2: 120°C sıcaklıkta kurutulmuş ve kaplanmış elmaların difüzyon katsayısı (ortalama \pm SD, n=3). V=1.75 m/s, Hs = 25°C.	159
Çizelge A.1: Difüzyon katsayısının betimleyici istatistikleri.	177
Çizelge A.2: Difüzyon katsayısına ilişkin Anova sonucu.	178
Çizelge A.3: Difüzyon katsayısına ilişkin olarak Tukey-HSD testi ile çoklu karşılaştırmalar.	179
Çizelge A.4: Difüzyon katsayısının homojen alt setleri.	206
Çizelge B.1: Üç elma türünün tekstürel özelliklerine ilişkin betimleyici istatistikler.	207
Çizelge B.2: Üç elma türünün tekstürel özelliklerine ilişkin Anova sonucu.	208
Çizelge B.3: Üç elma türünün tekstürel özelliklerine yönelik Tukey HSD testi ile yapılan çoklu karşılaştırmalar.	209
Çizelge B.4: SGD, GS ve SKD elmalarının sertliğine ilişkin homojen alt setleri.	210
Çizelge B.5: SGD, GS ve SKD elmalarının kırılabilirliğine ilişkin homojen alt setleri.	210
Çizelge B.6: SGD, GS ve SKD elmalarının gevrekliğine ilişkin homojen alt setleri.	210
Çizelge B.7: SGD elmalarının KA, DA ve ÜG şekilli örneklerinin tekstürel özelliklerine ilişkin betimleyici istatistikler.	211
Çizelge B.8: SGD elmalarının KA, DA ve ÜG şekilli örneklerinin tekstürel özelliklerine ilişkin Anova sonucu.	211
Çizelge B.9: SGD elmalarının KA, DA ve ÜG şekilli örneklerinin tekstürel özelliklerine ilişkin Tukey- HSD testi ile yapılan çoklu karşılaştırmalar.	212
Çizelge B.10: KA, DA ve ÜG şekilli örneklerin sertliğine ilişkin homojen alt setleri.	213
Çizelge B.11: KA, DA ve ÜG şekilli örneklerin kırılabilirliğine ilişkin homojen alt setleri.	213
Çizelge B.12: KA, DA ve ÜG şekilli örneklerin gevrekliğine ilişkin homojen alt setleri.	213
Çizelge C.1: Kaplanmış elmaların difüzyon katsayılarına ilişkin betimleyici istatistikler.	214
Çizelge C.2: Kaplanmış elmaların difüzyon katsayılarına ilişkin Anova sonucu.	214
Çizelge C.3: Kaplanmış elmaların difüzyon katsayılarına ilişkin Tukey HSD testi ile yapılan çoklu karşılaştırmalar.	215
Çizelge C.4: Kaplanmış elmaların difüzyon katsayılarına ilişkin homojen alt setleri.	216

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Kurutma sürecindeki taşınım olaylarının şematik görünümü.	2
Şekil 1.2: Konvektif kurutmanın akış diyagramı.	4
Şekil 3.1: Gıdalarda bulunan suyun farklı halleri. (Smith ve Hui, 2004) danUyarlandı.	22
Şekil 3.2: Su aktivitesinin gıdalardaki çeşitli olumsuz değişiklikler ve mikrobiyal büyüme oranı üzerindeki etkisi. (Barbosa-Cánovas ve diğ., 2007) dan uyarlandı.	24
Şekil 3.3: Gıdaların tipik adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermi. (Brennan ve diğ., 1990) dan uyarlandı.	25
Şekil 4.1: Sabit hava sıcaklığı ve nem oranında konvektif kurutma sürecindeki yaş gıdalara ilişkin kuruma eğrileri. (Geankoplis, 1993) dan uyarlandı.	35
Şekil 4.2: V- dilimleyici (Börner, Germany).	38
Şekil 4.3: Kare, daire ve üçgen biçimli elma örnekleri.	38
Şekil 4.4: Vakumlu Kurutucu (EV018, Nuve, Turkey).	39
Şekil 4.5: Laboratuvar tipi konvektif kurutucu.1. Fan; 2. Rotametre; 3. Nemlendirici; 4. Isıtma üniteleri; 5. PID sıcaklık kontrol cihazı; 6. Kurutma haznesi; 7. Terazi; 8. Bilgisayar.	39
Şekil 4.6: Örnek şekillerin, 110, 115, 120°C sıcaklıklarında nem içeriği üzerindeki etkisi. SGD, V=1.75 m/s, Hs=25°C.	41
Şekil 4.7: Örnek şekillerin, 110, 115, 120°C sıcaklıklarında nem içeriği üzerindeki etkisi. GS, V=1.75 m/s, Hs=25°C.	42
Şekil 4.8: Örnek şekillerin, 110, 115, 120°C sıcaklıklarında nem içeriği üzerindeki etkisi. SKD, V=1.75 m/s, Hs=25°C.	43
Şekil 4.9: Örnek şekillerin, 110, 115, 120°C sıcaklıklarında kurutma hızı üzerindeki etkisi. SGD, V=1.75 m/s, Hs=25°C.	44
Şekil 4.10: Örnek şekillerin, 110, 115, 120°C sıcaklıklarında kurutma hızı üzerindeki etkisi. GS, V=1.75 m/s, Hs=25°C.	45
Şekil 4.11: Örnek şekillerin, 110, 115, 120°C sıcaklıklarında kurutma hızı üzerindeki etkisi. SKD, V=1.75 m/s, Hs=25°C.	46
Şekil 4.12: Örnek şekillerin, 110, 115, 120°C sıcaklıklarında nem oranı üzerindeki etkisi. SGD, V=1.75 m/s, Hs=25°C.	47
Şekil 4.13: Örnek şekillerin, 110, 115, 120°C sıcaklıklarında nem oranı üzerindeki etkisi. GS, V=1.75 m/s, Hs=25°C.	48
Şekil 4.14: Örnek şekillerin, 110, 115, 120°C sıcaklıklarında nem oranı üzerindeki etkisi. SKD, V=1.75 m/s, Hs=25°C.	49
Şekil 4.15: SGD, GS ve SKD elmalarda, 110°C sıcaklıkta, nem içeriğinin zamana bağlı olarak değişimi. V=1.75 m/s, Hs=25°C.	50
Şekil 4.16: SGD, GS ve SKD elmalarda, 115°C sıcaklıkta, nem içeriğinin zamana bağlı olarak değişimi. V=1.75 m/s, Hs=25°C.	51

Şekil 4.17: SGD, GS ve SKD elmalarda, 120°C sıcaklıkta, nem içeriğinin zamana bağlı olarak değişimi. V=1.75 m/s, Hs=25°C.....	52
Şekil 4.18: SGD, GS ve SKD elmalarda, 110°C sıcaklıkta, kuruma hızının zamana bağlı olarak değişimi. V=1.75 m/s, Hs=25°C.....	53
Şekil 4.19: SGD, GS ve SKD elmalarda, 115°C sıcaklıkta, kuruma hızının zamana bağlı olarak değişimi. V=1.75 m/s, Hs=25°C.....	54
Şekil 4.20: SGD, GS ve SKD elmalarda, 120°C sıcaklıkta, kuruma hızının zamana bağlı olarak değişimi. V=1.75 m/s, Hs=25°C.....	55
Şekil 4.21: SGD, GS ve SKD elmalarda, 110°C sıcaklıkta, nem oranının zamana bağlı olarak değişimi. V=1.75 m/s, Hs=25°C.....	56
Şekil 4.22: SGD, GS ve SKD elmalarda, 115°C sıcaklıkta, nem oranının zamana bağlı olarak değişimi. V=1.75 m/s, Hs=25°C.....	57
Şekil 4.23: SGD, GS ve SKD elmalarda, 120°C sıcaklıkta, nem oranının zamana bağlı olarak değişimi. V=1.75 m/s, Hs=25°C.....	58
Şekil 4.24: KA örneklerde, 110, 115 ve 120°C sıcaklıklarda, nem içeriğinin zamana bağlı olarak değişimi. V=1.75 m/s, Hs=25°C.....	59
Şekil 4.25: DA örneklerde, 110, 115 ve 120°C sıcaklıklarda, nem içeriğinin zamana bağlı olarak değişimi. V=1.75 m/s, Hs=25°C.....	60
Şekil 4.26: ÜG örneklerde, 110, 115 ve 120°C sıcaklıklarda, nem içeriğinin zamana bağlı olarak değişimi. V=1.75 m/s, Hs=25°C.....	61
Şekil 4.27: KA örneklerde, 110, 115 ve 120°C sıcaklıklarda, kuruma hızının zamana bağlı olarak değişimi. V=1.75 m/s, Hs=25°C.....	62
Şekil 4.28: DA örneklerde, 110, 115 ve 120°C sıcaklıklarda, kuruma hızının zamana bağlı olarak değişimi. V=1.75 m/s, Hs=25°C.....	63
Şekil 4.29: ÜG örneklerde, 110, 115 ve 120°C sıcaklıklarda, kuruma hızının zamana bağlı olarak değişimi. V=1.75 m/s, Hs=25°C.....	64
Şekil 4.30: KA örneklerde, 110, 115 ve 120°C sıcaklıklarda, nem oranının zamana bağlı olarak değişimi. V=1.75 m/s, Hs=25°C.....	65
Şekil 4.31: DA örneklerde, 110, 115 ve 120°C sıcaklıklarda, nem oranının zamana bağlı olarak değişimi. V=1.75 m/s, Hs=25°C.....	66
Şekil 4.32: ÜG örneklerde, 110, 115 ve 120°C sıcaklıklarda, nem oranının zamana bağlı olarak değişimi. V=1.75 m/s, Hs=25°C.....	67
Şekil 5.1: Kuruma hızı eğrileri: (a) difüzyon (b) kapiler. (Geankoplis, 1993) dan uyarlandı.	75
Şekil 5.2: 110, 115 ve 120°C sıcaklıktaki, SGD elmalarının kuruma süresine karşı logaritmik nem oranı (LnMR). V=1.75 m/s, Hs=25°C.	80
Şekil 5.3: 110, 115 ve 120°C sıcaklıktaki, GS elmalarının kuruma süresine karşı logaritmik nem oranı (LnMR). V=1.75 m/s, Hs=25°C.	81
Şekil 5.4: 110, 115 ve 120°C sıcaklıktaki, SKD elmalarının kuruma süresine karşı logaritmik nem oranı (LnMR). V=1.75 m/s, Hs=25°C.	82
Şekil 6.1: 110, 115 ve 120°C sıcaklıktaki, SGD elmalarının 1/T değerine karşılık LnDeff değeri. V=1.75 m/s, Hs=25°C.....	90
Şekil 6.2: 110, 115 ve 120°C sıcaklıktaki, GS elmalarının 1/T değerine karşılık LnDeff değeri. V=1.75 m/s, Hs=25°C.....	91
Şekil 6.3: 110, 115 ve 120°C sıcaklıktaki, SKD elmalarının 1/T değerine karşılık LnDeff değeri. V=1.75 m/s, Hs=25°C.....	92
Şekil 7.1: Konvektif kurutma simülasyonuna ilişkin akış diyagramı.....	96
Şekil 7.2: Düz bir plaka üzerindeki hava akımına ilişkin sınır tabakası. (Çengel, 2007) dan uyarlandı.	98

Şekil 7.4: Gıda yüzeyinde ısıl sınır tabakasının gelişimi. (Çengel, 2007) dan uyarlandı.	100
Şekil 9.1: TA-HD plus Tekstür Analiz Cihazı (Stable Micro System.UK).....	130
Şekil 9.2: Tipik tekstür profili. (Sahin ve Sumnu, 2006) dan uyarlandı.....	131
Şekil 9.3: KA, DA ve ÜG şekilli örneklere ilişkin tekstürel özelliklerin enstrümental analizi.	133
Şekil 10.1: Aljinat ve Ca ²⁺ çapraz bağlanmasının yumurta-kafes (Egg-box) yapısı.	143
Şekil 10.2: Kurutma Fırını (BINDER GmbH, model 9010-0078ED53, Almanya). 152	
Şekil 10.3: D1:Jelatin çözeltisi (%1 w/v) ile kaplanan SGD elma halkaları.120°C. 153	
Şekil 10.4: D2:Sodyum aljinat çözeltisi (%0.3 w/v) ile kaplanan SGD elma halkaları.120°C.	153
Şekil 10.5: D3:Pektin çözeltisi (%0.3, w/v) ile kaplanan SGD elma halkaları.120°C.	154
Şekil 10.6: D4:Ksantan gamı çözeltisi (%0.3 w/v) ile kaplanan SGD elma halkaları.120°C.	154
Şekil 10.7: D5:Arap zamkı çözeltisi (%0.3 w/v) ile kaplanan SGD elma halkaları.120°C.	154
Şekil 10.8: Farklı kaplama işlemlerinin 120°C sıcaklıkta, V=1.75 m/s, Hs = 25°C , kurutulmuş ve kaplanmış elmaların nem içeriği üzerindeki etkisi. GL: jelatin (% 1, w/v), AL: sodyum aljinat (% 0.3, w/v), PC: pektin (%0.3, w/v), XG: ksantan gamı (%0.3, w/v), GA: Arap zamkı (%0.3, w/v), CO: kontrol.....	155
Şekil 10.9: Farklı kaplama işlemlerinin 120°C sıcaklıkta, V=1.75 m/s, Hs = 25°C , kurutulmuş ve kaplanmış elmaların kuruma hızı üzerindeki etkisi. GL: jelatin (% 1, w/v), AL: sodyum aljinat (% 0.3, w/v), PC: pektin (%0.3, w/v), XG: ksantan gamı (%0.3, w/v), GA: Arap zamkı (%0.3, w/v), CO: kontrol.....	156
Şekil 10.10: Farklı kaplama işlemlerinin 120°C sıcaklıkta, V=1.75 m/s, Hs = 25°C , kurutulmuş ve kaplanmış elmaların nem oranı üzerindeki etkisi. GL: jelatin (% 1, w/v), AL: sodyum aljinat (% 0.3, w/v), PC: pektin (%0.3, w/v), XG: ksantan gamı (%0.3, w/v), GA: Arap zamkı (%0.3, w/v), CO: kontrol.....	157
Şekil 10.11: 120°C sıcaklıkta, V=1.75 m/s, Hs = 25°C , kurutulmuş ve kaplanmış elmaların kuruma süresine karşılık LnMR değeri. GL: jelatin (% 1, w/v), AL: sodyum aljinat (% 0.3, w/v), PC: pektin (%0.3, w/v), XG: ksantan gamı (%0.3, w/v), GA: Arap zamkı (%0.3, w/v), CO: kontrol	158



ELMANIN KURUMA KİNETİĞİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, elma cipsi üretmek için üç elma türü (Starkpur Golden Delicious (SGD), Granny Smith (GS) ve Starkrimson Delicious (SKD)), 110,115 ve 120°C sıcaklıklarda, 1.75 m/s hava hızı, $H_5 = 25^\circ\text{C}$ doymuş rutubet ile laboratuvar tipi konvektif bir kurutucuda, elmaların kuruma ve tekstürel özellikleri ile değişik geometrik şekillerin (üçgen daire vd.) difüzyon katsayısı ile aktivasyon enerjisi üzerine etkileri incelendi. Numunelerin kurutma sürecinde ısı, kütle ve momentum aktarımı ile kurutma sisteminde kullanılan matematiksel modellerin uygunluğunu araştırıldı. Deneysel sonuçların altı kurutma modeline uygunluğu araştırılarak, non-lineer regresyon analizi ve istatistiksel değerlendirme kriterlerinin $0.827 < R^2 < 0.999$ olduğu saptandı. Bu çalışmada kullanılan elma türleri kurutma modellerinden Midilli & Küçük modeline en uygun olduğu ayrıca Fick's ikinci yasası ile difüzyon değerleri, $1.93 \times 10^{-9} - 2.85 \times 10^{-9} \text{ (m}^2/\text{s)}$ arasında değişkenlik gösterdiği belirlendi.

Arrhenius denklemi kullanılarak aktivasyon enerji değerlerinin 5.02 - 36.53 kJ/kg.mol arasında olduğu buna ilave olarak momentum, ısı ve kütle moleküler aktarımı, Newton'un viskozite, Fourier ve Fick's yasaları ile 4.202-5.005 N, 60.31-71.76 (W/m².K) ve 0.0497-0.0594 (m/s) sırasıyla değiştiği görüldü.

Kurutulmuş elma türlerinin şekilsel olarak sertliği, kırılabilirliği ve gevrekliği, enstrümantal tekstür analizleri yapılarak, üçgen şeklin en yüksek kırılabilirlik ve gevrekliğe sahip olduğu belirlendi. Ayrıca elma numuneleri farklı kaplama çözeltilerine batılarak difüzyon katsayıları incelendi. Ksantan ve arap zamkı çözeltilerindeki difüzyonlarının %28 ve %9'a azaldığı ancak sodyum aljinat, pektin ve jelatin çözeltilerindeki difüzyon katsayıları ise %36, %22 ve %2'ye arttığı görüldü.

Anahtar Kelimeler: *Elma cipsi, Kuruma kinetiği, Fick'in yasası, Isı ve kütle transfer katsayısı, Matematiksel modelleme, Difüzyon, Aktivasyon Enerjisi, Kaplama, Tekstür.*



INVESTIGATION OF KINETICS DRYING OF APPLE

ABSTRACT

The aim of this study in order to produce the apple chips due to that three varieties of apples Starkpur Golden Delicious (SGD), Granny Smith (GS) and Starkrimson Delicious (SKD) were taken and dried at 110, 115 and 120°C with 1.75 m/s air velocity and saturation humidity ($H_s = 25^\circ\text{C}$) on the laboratory type of convective dryer. The effect of drying temperature related on the different geometric shapes of particle (triangle, circle etc) were investigated in order to estimate, diffusion coefficient, activation energy and textural properties of apples. Also heat, mass and momentum transfer in the drying process and the suitability of the mathematical models were searched. The experimental results were fitted to six drying models by a nonlinear regression analysis and the statistical evaluation criteria showed that R^2 values ranged from 0.827 to 0.999. In this study, the Midilli & Kucuk model was given as the best model to predict the drying behavior of all the apple varieties also the Fick's second law was used to determine the effective diffusivities which were varied between 1.93×10^{-9} - 2.85×10^{-9} m^2/s .

The activation energies were determined as 5.02 - 36.53 kJ/kg.mol using an Arrhenius equation. In addition, the molecular transport of momentum, heat and mass were obtained from Newton's law of viscosity, Fourier's and Fick's laws which were varied between 4.202-5.005 N, 60.31-71.76 ($\text{W}/\text{m}^2.\text{K}$) and 0.0497-0.0594 (m/s) respectively.

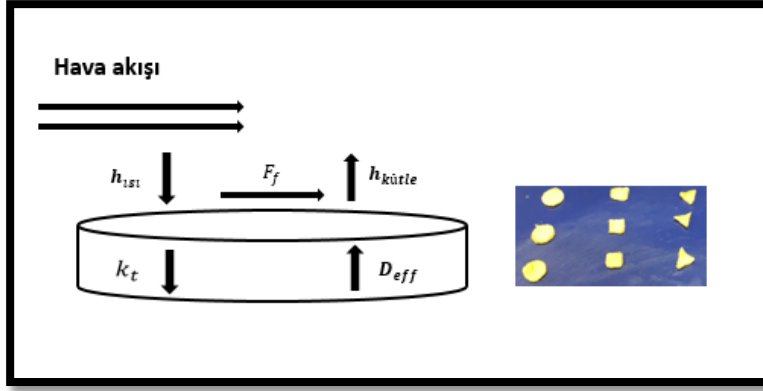
The instrumental texture analysis were used to determine the hardness, Fracturability and crispness of different shapes dried apples which Fracturability, and crispness of triangle shape samples were given as maximum value. In addition, the diffusion coefficients of coated apples after immersion in the various coating solutions were investigated. Xanthan gum and gum Arabic were decreased the diffusion coefficient about 28% and 9%, respectively while, sodium alginate, pectin and gelatin causes of increase the diffusion coefficient respectively up to 36%, 22% and 2%.

Keywords: *Apple chips, Drying kinetics, Fick's law, Heat and mass transfer coefficient, Mathematical modeling, Diffusion, Activation energy, Coating, Texture.*



1. GİRİŞ

2017/18 yıllarında dünyada elma üretiminin 76.2 milyon ton olması beklenmekle birlikte Türkiye'nin 2.8 milyon tonluk üretimi ile Çin, Avrupa, ABD ve İran'dan sonra elma üretiminde dünyanın 5. lider ülkesi olması beklenmektedir (USDA, 2017). Bu bağlamda, elma üretim sektörünün yarattığı ekonomik değeri belirlemek amacı ile bilimsel çalışmanın potansiyel değeri dikkate alınmak durumundadır. Taze elmalar (*Malus domestica*) %80'den fazla nem içeriği bulundurmaları nedeniyle kolayca çürüyebilmektedir (Joardder ve diğ., 2015). Hava ile kurutma uygulaması, mikrobik bozulma ve çürüme reaksiyonlarını önlemesinin yanı sıra ağırlık ve hacmi azaltarak paketlenme, depolama ve transfer maliyetlerini düşürmesi sebebiyle, meyvelerin korunması amacıyla oldukça sık uygulanan yöntemlerden biridir (Pasban ve diğ., 2017). Bununla beraber, kurutma sırasında meydana gelebilecek kimyasal, biyokimyasal ve fiziksel değişiklikler, meyvelerin tekstürel özelliklerinde de değişikliklere ve dolayısıyla yeni ürünler üretilmesine sebebiyet verebilmektedir (Mujumdar, 2006). Konvektif kurutma, eş zamanlı olarak kütle, ısı ve momentum aktarımını içeren karmaşık bir işlemdir. Isı, meyve yüzeyine konveksiyon ve iç kısımlara kondüksiyon (iletim) yolu ile aktarılmakta ve ardından meyve sıcaklığını arttırmaktadır (Castro ve diğ., 2018). Eş zamanlı olarak, gıdanın iç tabakasından yüzeyine doğru nem aktarımı, sıvı ve/veya buhar difüzyonu veya kapiler ile gerçekleşmekte ve ardından yüzeyden havaya doğru Şekil 1.1'de gösterildiği üzere taşınım yoluyla aktarılmaktadır (Ertekin ve Firat, 2017).



Şekil 1.1: Kurutma sürecindeki taşınım olaylarının şematik görünümü.

Gıda ürünlerinin dehidrasyonu, kurutma sırasında meydana gelebilecek fiziksel veya kimyasal dönüşümler sebebiyle, oldukça karmaşık olup iç nem hareketi ve ısı transfer oranlarına ilişkin mekanizmalarda değişikliğe neden olabilmektedir (Mujumdar, 2006). Dolayısıyla, kurutma işlemlerinin simülasyonu; yeni bir kurutucu tasarımı, süreç optimizasyonu, taşınım olayının ve gıda materyallerinin kuruma tavrının belirlenmesi adına oldukça önem arz etmektedir (Onwude ve diğ., 2016).

Süreç tasarımına ilişkin olarak konvektif kurutucuların simülasyonunda, kurutucu havanın termodinamik özellikleri, kurutma kinetiği ve ısı, kütle ve momentum transferi olmak üzere, üç temel adımın göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Maroulis ve Saravacos, 2003). Ayrıca, meyveler karmaşık makroskopik ve mikroskopik özellikleri ile çok bileşenli bir sistemdir. Aynı zamanda kurutma kinetiği, gıda karakteristiklerine ve deneysel veri ile ilişkili gelişimlerine bağlıdır (Ertekin ve Firat, 2017). Söz konusu karmaşıklığı gidermek, taşınım sürecini kavramak ve ısı, kütle ve momentum dağılımını simüle etmek amacıyla matematiksel modeller uygulanabilmektedir (Rahman ve diğ., 2018). Kurutma sürecini modellemek için iki temel model bulunmaktadır:

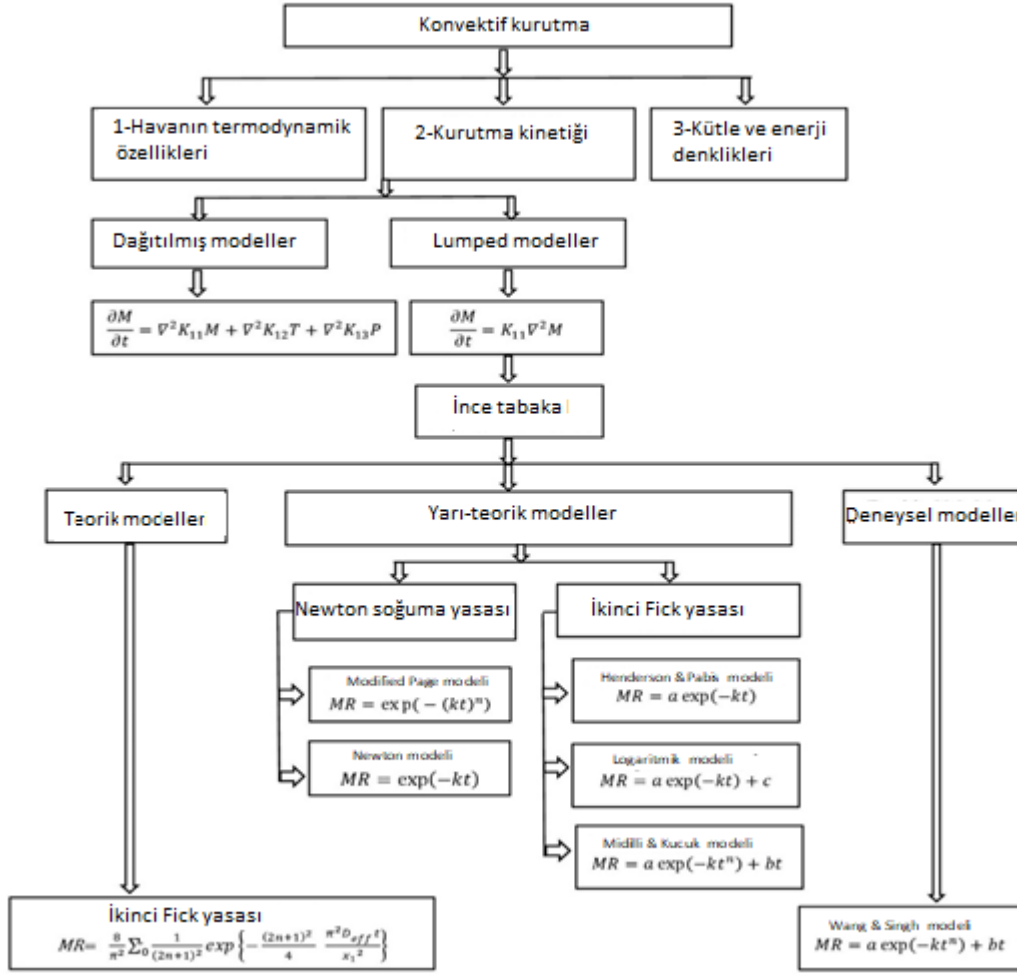
1) Eş zamanlı olarak hem dış hem de iç aktarıma odaklanan ve bağımlı değişkenlerde zaman ve diğer değişkenler arasındaki ilişkiyi de göz önünde bulunduran dağıtılmış modeller.

2) Lumped parametre modelleri yalnızca zamanın bağımlı değişken üzerindeki etkisine odaklanmakta ve ürünlerde sıcaklık gradyanı olmadığını ve sıcaklığın bütün ürünlerde eşit olduğunu varsaymaktadırlar (Erbay ve Icier, 2010). Bu

sebeple, bir materyalin ince tabakası veya tek parçacığının Lumped parametre modeli bağlamında düşünülmesi uygun olmaktadır (Ertekin ve Firat, 2017).

Ayrıca, gıda örnekleri konvektif kurutma sırasında, sıcak hava akışına maruz bırakılmakta ve sabit hız dönemi ile azalan hız dönemi olmak üzere iki aşamadan geçebilmektedir. Pek çok gıda ürünüde, tüm kurutma süreci azalan hız döneminde gerçekleşmektedir; bunun sebebi ise yaş katı materyalin içindeki su hareketinin dış dirençten daha büyük bir direnç ile karşılaşmasıdır (Keey, 1972; Treybal, 1980).

Bununla beraber, azalan hız döneminde kuruma tavrının tahmin edilmesi dış ve iç su hareket mekanizmaları nedeniyle oldukça karmaşık bir hal almakta olup gıdaların kuruma karakteristiklerinin tahmin edilmesinde matematiksel modellemenin uygun bir yöntem olduğu düşünülmektedir (Golestani ve diğ., 2013). Azalan hız dönemine ilişkin kurutma denklemleri, Şekil 1.2’de gösterildiği üzere teorik, yarı-teorik ve tamamen deneysel olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır.



Şekil 1.2: Konvektif kurutmanın akış diyagramı.

Nem aktarımı ve kuruma hızı, hem iç özelliklere hem de dış koşullara bağlıdır. İç özellikler meyvelerin boyut, şekil ve geometrik özellikleri iken, dış koşullar kurutma havasının sıcaklığı, hızı ve nem oranına atıfta bulunmakta olup sabit hız döneminde dış koşulların baskın olmasına rağmen, azalan hız döneminde iç özellikler baskındır (Castro ve diğ., 2018).

Ayrıca, meyvenin içinde bulunan su hareket mekanizmasının tüm konvektif süreci (sıvı, buhar ve Knudsen difüzyonlarının yanı sıra kapiler akım ve sıvı basıncındaki farklılık nedeniyle meydana gelen akım) ikinci Fick yasasında belirtilen etkin nem difüzyon katsayısı (D_{eff}) ile gösterilmiştir (Mujumdar, 2006). Gıdaların nem hareketine ilişkin itme kuvveti, su buharlaşma hızına bağlı olarak meyvenin içinde ve dışında meydana gelen su buharının kısmı basıncı arasındaki farklılıktır (Castro ve diğ., 2018).

Bu sebeple, kurutma süreçlerinin simülasyonu sırasında, konvektif ısı ve kütle transfer katsayıları oldukça önem arz etmektedir. Mevcut kurutucuların optimizasyonu, yeni kurutucuların tasarlanması ve kurutulmuş meyvelerin kalitesinin artırılması için kuruma deneylerinin ve bunların kinetiğinin gerekli olduğu aşikârdır (Onwude ve diğ., 2016). Meyvelerin kuruma kinetiği ile ilgili yapılan çalışmaların çoğu, yalnızca 100°C altındaki sıcaklıklar üzerine yoğunlaşmıştır. Ancak, 100°C üzerindeki sıcaklığın meyvelerin kuruma kinetiği üzerindeki etkisi henüz netlik kazanmamıştır.

Bunun yanı sıra, gıda ürünlerinin pazarlanabilirliği ve kabul edilebilirliği ile doğrudan bağlantılı olan tekstür de kurutulmuş gıdaların en önemli özelliklerinden biridir. Kurutulmuş ürünlerin tekstürel özellikleri kurutma sürecinden bir çok etkilendikleri için, dehidrasyon süreçlerinde gıdaların tekstürel parametrelerinin belirlenmesi ve kontrol edilmesi, kurutma endüstrisinde büyük bir öneme sahiptir (Hosseinpour ve diğ., 2015). Bununla beraber, kurutulmuş gıdaların tekstürel özellikleri üzerine yapılan çalışmalar, çoğunlukla 100°C üzerindeki sıcaklıklarda değil de 100°C altındaki sıcaklıklarda kurutulmuş meyveler ile sınırlandırılmıştır.

Yenilebilir kaplama materyalleri, gıda yüzeylerine kaplanan ve gıda ile birlikte yenebilen bileşenler olup yüzey sterilizasyonu sağlamaları, antimikrobik yüzeyler meydana getirmeleri, taze ürünlerin raf ömrünü uzatmaları, zararlı kimyasal faaliyetleri önlemeleri, önemli gıda bileşenlerinin varlığını korumaları, gıdaların mekanik hasara uğramasını ve mikrobiyolojik ve biyokimyasal değişikliklere maruz kalmasını önlemeleri gibi işlevleri sayesinde gıda endüstrileri tarafından tercih edilir hale gelmiştir (Galus ve Kadzinska, 2015). Meyveler, kurutma sürecinden önce yenilebilir kaplama çözeltileri ile kaplanabilmektedir. Farklı kaplama materyallerinin, elmaların kuruma kinetiği üzerindeki etkisine ilişkin çalışmalar, kuruma süresini azaltmak ve nem difüzyon katsayısını arttırmak için en uygun kaplama materyalinin seçilmesine yardımcı olabilmektedir.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmanın temel amacı; üç farklı sıcaklıktaki üç elma türünün kuruma kinetiğinin incelenmesi, farklı geometrik şekillerin elmaların kuruma

karakteristikleri üzerindeki etkisinin belirlenmesi, elmaların kuruma tavrının tahmin edilmesi için en iyi kurutma modelinin kararlaştırılması, etkin nem difüzyon katsayıları ve aktivasyon enerjilerinin hesaplanması, ısı ve kütle transfer katsayılarının değerlendirilmesi, sürtünme kuvvetlerinin belirlenmesi, elmaların ısı iletim katsayısı ve özgül ısısının hesaplanması, kurutulmuş ürünlerin sertliği, kırılganlığı ve gevrekliğinin belirlenmesi, kaplama materyallerinin elmaların kuruma kinetiği üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi ve endüstriyel elma cipsi üretimi için en uygun elma çeşidinin, örnek şekillerin ve yenilebilir kaplama materyallerinin belirlenmesidir.

1.2 Literatür Taraması

Gıdaların kuruma mekanizması, matematiksel modellenmesi, kuruma kinetiği, mekanik özellikleri ve kaplanması hususunda çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda belirtildiği üzere:

Lewicki & Jakubczyk (2004), 50-80°C aralığındaki sıcaklıklarda, Idared elmalarını kurutulmuş ve basınç testi ile kurutulmuş elmaların mekanik özellikleri üzerindeki etkisini belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlar, nem içeriğinin azalmasının, sıkıştırma kuvvetinde bir artışa neden olduğunu göstermiştir. Ayrıca, 80°C sıcaklıkta gerçekleştirilen kurutma işleminin, katı yapının daha yoğun olması sebebiyle daha düşük sıcaklıklara nazaran deformasyon direncini arttırdığını ve buna ek olarak 80°C sıcaklıkta kurutulmuş elmalardaki su durumunun daha düşük sıcaklıklarda kurutulmuş elmalardaki su durumundan farklı olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Nowak ve Lewicki (2005), 65-75°C aralığındaki sıcaklıklarda ve 1.5 m/s hava hızı ile Idared elmalarını kurutulmuş ve kurutulan elmaların sertlik ve gevreklik gibi mekanik özellikleri üzerine çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlar, kuruma hızı ve nihai sıcaklığın ürünün mekanik özelliklerini etkileyen iki değişken olduğunu ve yüksek kuruma hızının dokuya hasar vererek ilgili ürünü hassas bir hale getirdiğini göstermiştir. Buna ek olarak, özellikle kurutma sürecinin nihai aşamalarındaki yüksek sıcaklığın kurutulmuş elmaların mekanik özelliklerini etkileyen camsı (amorf) ya da kristal doku meydana getirdiği sonucu da elde edilmiştir.

Sacilik ve Elicin (2006), çalışmalarında Starking elma dilimlerini konveksiyonlu sıcak hava kurutucusunda 40-60°C aralığında tek katlı olarak kurutmuşlardır. Matematiksel modelleme ise diğer dokuz model ile karşılaştırıldığında, Logaritmik modelin elma dilimlerinin kuruma tavrının belirlenmesinde en iyi model olduğu sonucunu ortaya koymuştur. Difüzyon katsayısı $2.27 \times 10^{-10} - 4.97 \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$ arasında değişkenlik göstermiştir. Yapılan çalışma, kuruma sıcaklığındaki artış ve örnek kalınlığında azalmanın, kuruma süresinde azalmaya ve kuruma hızında artışa neden olduğunu da göstermiştir.

Vega-Galvez ve diğ. (2008), 2 m/s sabit hava hızı ile 40-80°C aralığında Granny Smith elmalarını kurutmuş ve deneysel sonuçlar doğrultusunda Modifiye Page modelinin diğer üç modele nazaran kurutma sürecini daha iyi simüle ettiği sonucuna varmışlardır. Ayrıca, aktivasyon enerjileri 18.12 - 43.20 kJ/mol aralığında saptanmış ve en kısa kurutma süresinin 80°C sıcaklığında kurutulan elmalara ait olduğu gözlemlenmiştir.

Gonzalez-Fesler ve diğ. (2008), 60°C sıcaklıkta kurutulmuş Granny Smith elmalarının kuruma karakteristikleri üzerine çalışmalarını sürdürmüş ve elma örneklerine kalsiyum emdirme ve haşlama gibi farklı ön işlemler uygulanmıştır. Sadece haşlanmış elmaların difüzyon katsayısı ön işlem görmüş elmalara nazaran daha yüksek bulunmuştur. Bunun sebebi ise membran direnci ve hücre duvarlarının engelinin söz konusu olmasıdır ki bu da su akışına karşı olan direnci etkilemektedir.

Contreras ve diğ. (2008), çalışmalarında kurutma sürecinden evvel uygulanan ön işlemlerin Granny Smith elmalarının kuruma kinetiği üzerindeki etkisini incelemişlerdir. İlk olarak, elma dilimleri elma suyuna batırılarak ve vakum uygulanarak (5 dakika süresince 50 mbar) ön işlem yapılmış, ardından hava kurutucu (30-50°C) ve hava-mikrodalga kombinasyon kurutucu (0.5 W/g mikrodalga gücü ile 30-50°C) ile kurutulmuş. Elde edilen sonuçlar, mikrodalga kurutma süresindeki azalmaya etkisinin hava sıcaklığının artmasındaki etkisinden daha yüksek olduğunu göstermiştir. Ayrıca, daha yüksek hava sıcaklığında veya mikrodalga kullanıldığında, kurutulmuş elmaların daha sert ve daha sağlam olduğu ve deformasyon ve çatlamalara karşı direncinin arttığı görülmüştür.

Garcia-Perez ve diğ. (2011), ultrasonik güç (0, 6, 12, 19, 25, 31 ve 37 kW/m³) ile donatılmış konveksiyonlu bir kurutucuda (40°C ve 1m/s) patlıcan kurutma işlemi gerçekleştirmiş. En yüksek ultrasonik güç uygulandığında, kütle transfer katsayısı (%229) ve etkin difüzyon katsayısının (%213), ultrasonik güç uygulanmayan konvektif kurutma işlemlerine nazaran artış gösterdiği bulunmuştur.

Golestani ve diğ. (2013) çalışmalarında 60-80°C aralığında Golden Delicious elmalarını kurutmuş ve örneklerin büzülme oranı deneysel olarak ölçülmüştür. Ayrıca, örneklerin içerisinde büzülme oranını kapsayacak ya da kapsamayacak şekilde su içeriği ve sıcaklıktaki değişikliklerin tahmin edilebilmesi için, matematiksel bir model geliştirilmiştir. Bununla beraber, büzülme oranı ve değişken difüzyon katsayısının deneylerde elde edilen sonuçlara en yakın değerde bulunduğu sonucuna ulaşılmış olup kuruma süresinin ise 80° sıcaklıkta daha kısa olduğu ve kuruma hızının daha etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Zlatanovic ve diğ. (2013) çalışmalarında 1-2m/s hava hızı ile 35-55°C sıcaklık aralığında Idared elmalarının düşük sıcaklıktaki konvektif kuruma tavrını incelemiştir. Elde edilen sonuçlara göre, hava sıcaklığı ve hızındaki artınca, denge nemine ulaşma süresinin de artış göstermiştir. Buna ek olarak, elma örneklerinin kuruma tavrının tahmin edilmesinde, Henderson & Pabis kurutma modeli, diğer dört modele nazaran en iyi model olarak kabul edilmiştir.

Garcia ve diğ. (2014), pektin kaplamanın papaya dilimlerinin kurutulması üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Söz konusu araştırma kapsamında, papaya dilimleri pektin çözeltisi (%2 w/w) ile kaplanmış ve 1 m/s hız ile 60 ila 70°C aralığında sıcak hava ile kurutulmuştur. Araştırma sonuçları, kaplanmış örneklerde C vitamini birikiminin, kaplanmamış meyvelere nazaran arttığını ve pektin kaplamanın biyoaktif bileşen oksidasyonunu etkin bir şekilde önlediğini göstermiştir. Buna ek olarak, kaplanmış örneklerin nem difüzyonunun, pektinin su emici yapısı nedeniyle, kaplanmamış dilimlerdeki nem difüzyonundan daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Silva ve diğ. (2015), yenilebilir kaplamaların ananasların 60-70°C sıcaklıkta konvektif olarak kurutulması üzerine etkilerini incelemiştir. Örnekler, pektin ve izole protein tozu + keçiyoynuzu gamı + gliserol karışımı ile kaplanmıştır.

Kaplanmış örneklerin su difüzyonu, kaplamaların güçlü su emici yapıları sebebiyle, kaplanmamış dilimlerin su difüzyonundan daha yüksek bulunmuştur. Bunun bir diğer sebebi ise kaplanmış örneklerin su difüzyonununun hem meyve dokusu hem de kaplamadaki difüzyonu içermesidir. Her iki kaplama materyali de kurutma sürecinde, kütle transferine olan direnci arttırmamıştır. Ayrıca, kaplanmış ve kaplanmamış ananas dilimlerinin kuruma eğrileri, aynı sıcaklıkta birbirleriyle çakışmıştır. Bunun sebebi ise, düşük nem bariyeri özelliği gösteren polisakarit ve proteinlerin kimyasal yapılarıdır. Buna ek olarak, bu polimerler suyun yüksek çözünürlük katsayısını temsil etmekte ve bu sebeple kuruma sürecindeki yüksek hızda su buharı geçirimini ve sonuç olarak kütle transferine olan düşük direnci de ifade etmektedir.

Antal ve diğ. (2015), 1 m/s hava hızı ile 75°C sıcaklıkta konvektif bir kurutucu aracılığıyla kurutulmuş Idared elmalarının kuruma karakteristikleri üzerine çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Kurutulmuş elmaların sertlik dereceleri bir basınç testi ile değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar, sıcak hava ile kurutma işleminin değeri, 3.61 N olan donduruculu bir kurutucuda (70-85 Pa, -50) kurutulan elmaların sertlik derecesi ile karşılaştırıldığında, hücresel adhezyon gücündeki artış nedeniyle, sıcak hava ile kurutulmuş elmaların, doku sertleşmesinde 7.02 N değerine kadar bir artışa sebep olduğunu göstermiştir.

Filho ve diğ. (2016), ön işlem uygulamalarının 0.85 ve 1.70 m/s hava hızları ile 60 ve 70°C sıcaklıklarda balkabağı dilimlerinin hava ile kurutulması üzerindeki etkisini incelemişler ve bir dakika süresince sıcak suda haşlama (98.3°C) ve pektin çözeltisi (%2) ile kaplama olmak üzere kurutma öncesinde iki ön işlem uygulamasını dikkate almışlardır. Elde edilen sonuçlar, taze ve haşlanmış örneklerin difüzyon katsayıları arasında anlamlı bir farklılık bulunmadığını göstermiştir. Aksine, kaplanmış örnekler sabit hız dikkate alınarak veya dikkate alınmaksızın en yüksek difüzyon katsayılarını ortaya koymuştur.

Junlakan ve diğ. (2017), Fuji elmalarını 100-120°C sıcaklıklarda konvektif pişirme fırınında, 100- 120°C sıcaklıklarda 4kPA basınç ile vakumlu kurutucuda olmak üzere iki farklı yöntemle kurutmuşlardır. Elde edilen sonuçlar; kurutma işlemi sırasında, kurutma süresinde meydana gelen artışın, konveksiyonel olarak kurutulmuş elmalarda sertlik derecesi 129.47-201.25 N, vakumlu kurutucuda 120.68-171.32 N olduğu örneklerden de anlaşılacağı üzere sertliğini azalttığını

göstermiştir. Buna ek olarak, vakumlu kurutucuda kurutulan elmaların daha büyük ve daha fazla gözeneği olması sebebiyle daha az sertliğe sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Aynı zamanda her iki yöntemde de uygulanan 120°C sıcaklığın, sertlik derecesini 100 ve 110°C sıcaklıklara göre, düşürebileceği gözlemlenmiştir.

Pasban ve diğ. (2017), çalışmalarında elmaları 0.1 m/s hava hızı ile konvektif bir hava kurutucusunda (60-90°C) kurutmuşlardır. Kurutma süresince ısı ve kütle transfer simülasyonu, kondüktif ısı ve kütle transferinin sırasıyla, 10.3-14.9 (W/m^2K) ve 0.009-0.014 (m/s), arasında değişkenlik gösterdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, elma dilimlerinin termofiziksel özellikleri nem içeriğinin bir işlevi olarak hesaplanmıştır. Etkin nem difüzyonu ise 7.42×10^{-10} - 10.23×10^{-10} (m^2/s) arasında değişkenlik göstermiştir.

Ndukwu ve diğ. (2017), ise 50-70°C aralığındaki sıcaklıklarda hava ile kurutma işlemi süresince üç tür gölevez diliminin ısı ve kütle transfer parametreleri üzerine incelemelerde bulunmuşlardır. Isı ve kütle transfer katsayılarını birleştirmek amacıyla Lewis sayısı kullanılmıştır. Gölevezin (*Colocasia esculenta*) 70°C sıcaklıktaki kütle ve ısı transfer katsayıları, 50°C sıcaklıktaki katsayılar ile karşılaştırıldığında sırasıyla 83.9% ve 73.6% oranında artmıştır.

1.3 Hypotez

Bu araştırmada, aşağıda belirtilen hipotez veya araştırma sorularının ele alınması amaçlanıldı:

- Elmaların kurutulma sürecinde 100°C üzerindeki sıcaklıklarda kuruma özelliklerinin incelenmesi.
- Geometrik şekillerin kuruma kinetiği üzerindeki etkisi nedir?
- Hava sıcaklıklarının (110,115 ve 120°C) nem içeriği kaybı, kuruma süresi ve kuruma hızı üzerindeki etkisi nelerdir?
- Kurutma sürecini hangi mekanizma kontrol etmektedir? Kapiler mi veya difüzyon mu?

- 100°C altındaki sıcaklıklarda gerçekleştirilen kurutma işlemleri ile karşılaştırıldığında yüksek sıcaklıkların difüzyon değerleri arasındaki farklılıklar nedir?
- Matematiksel modelleme ve istatistiksel kriterler bakımından kurutma işlemi süresince elmaların kuruma tavrının tahmin edilmesi için uygulanabilecek en iyi kurutma modeli hangisidir?
- Farklı sıcaklıklarda konvektif ısı ve kütle transfer katsayıları ve sürtünme kuvveti gibi simülasyon parametreleri nelerdir?
- Farklı kurutma sıcaklıklarındaki elmaların termofiziksel özellikleri nelerdir?
- Üç elma türünün tekstürel özellikleri arasında herhangi bir fark var mıdır? Gevreklik ve kırılabilirlik bakımından endüstriyel kurutma işleminin uygulanabileceği en uygun elma türü hangisidir?
- Üç farklı şekildeki elmaların tekstürel özelliklerinde herhangi bir farklılık bulunmakta mıdır? Hangi örnek şekil diğerlerine göre daha gevreklerdir?
- Farklı materyaller ile kaplanan örneklerin nem kaybı, kuruma süresi ve kuruma hızı üzerindeki etkisi nelerdir?
- Kaplanmış ve kaplanmamış örneklerin difüzyon katsayısı değerlerinde herhangi bir farklılık bulunmakta mıdır? Bulunuyor ise nedeni nedir?
- Difüzyon katsayısını arttırması bakımından kurutma sürecinden önce örnek elmaların ön işlemlerine ilişkin en iyi kaplama materyali hangisidir?



2. ELMA (MAULS DOMESTICA)

2.1 Giriş

Elma (*Mauls domestica*), gıda sanayisi için önemli hammaddelerden biri olarak görülen ve dünyada yetiştirilen başlıca meyvelerden biridir (Toğrul, 2005). Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı (USDA, 2012), raporuna göre 1980-2010 yılları arasında dünya elma üretiminde Çin, ABD ve Türkiye'nin dünyanın önde gelen üretici ülkeleri olduğu belirtilmiştir ve ilgili çizelgelerde (2.1), (2.2) ve (2.3) gösterildiği gibi raporlanmıştır. 2013 ve 2018 yılları arasındaki taze elma üretimi, yurtiçi tüketim ve ihracat rakamları Çizelge 2.4' de gösterilmiştir. Avrupa'daki elma üretimini etkileyen erken gelen bahar donları sebebiyle 2017/18 yılı elma üretiminin 2,7 milyon metrik ton azalarak 77.3 milyon metrik tona düştüğü tahmin edilmektedir. (USDA, 2017).

Çizelge 2.1: 1980 ile 1989 yılları arasında dünyadaki elma üretimi (metrik ton).
(USDA, 2012) dan uyarlandı.

Ülkeler	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Çin	2.382.996	3.020.934	2.441.044	3.553.013	2.954.526	3.627.799	3.352.512	4.281.288	4.356.530	4.516.879
Birleşik Devlet	4.000.000	3.510.620	3.684.060	3.800.400	3.775.700	3.590.000	3.564.800	4.872.600	4.140.000	4.519.000
Türkiye	1.430.000	1.450.000	1.600.000	1.750.000	1.900.000	1.900.000	1.865.000	1.680.000	1.950.000	1.850.000
İtalya	1.936.700	1.741.600	2.602.700	2.032.200	2.210.400	2.014.100	2.019.530	2.235.950	2.331.690	1.924.240
Hindistan	658.000	821.790	926.980	966.600	985.900	1.005.560	1.258.000	861.404	995.296	1.084.120
Polonya	844.106	779.693	2.125.690	1.729.490	1.564.430	1.343.140	1.920.050	504.428	1.392.950	1.312.030
Fransa	2.902.000	1.437.000	1.977.000	1.965.000	2.868.000	2.349.000	2.738.000	2.388.000	2.582.000	2.340.000
İran	600.000	735.890	930.181	1.028.700	940.299	1.137.760	1.154.320	1.238.120	1.351.290	1.245.570
Brezilya	83.038	109.503	190.993	153.540	255.773	288.649	355.803	333.275	432.937	477.280
Şili	245.000	298.400	345.000	365.000	410.000	425.000	515.000	580.000	630.000	660.000
Arjantin	958.000	908.000	804.000	817.000	872.000	922.400	593.900	1.074.600	940.000	847.800
Almanya	2.395.090	1.285.640	3.417.130	2.097.460	2.347.780	2.206.200	2.902.110	1.592.950	3.164.430	2.483.090
Japonya	960.100	845.700	924.500	1.048.000	811.700	910.300	986.100	997.900	1.042.000	1.045.000
Toplam	19.395.030	16.944.770	21.969.278	21.306.403	21.896.508	21.719.908	23.225.125	22.640.515	25.309.123	24.305.009

Çizelge 2.2: 1990 ile 1999 yılları arasında dünyadaki elma üretimi (metrik ton).
(USDA, 2012) dan uyarlandı.

Ülkeler	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Çin	4.331.927	4.557.339	6.568.464	9.077.688	11.137.469	14.017.182	17.060.451	17.227.780	19.490.481	20.809.806
Birleşik Devlet	4.380.000	4.402.500	4.793.500	4.846.500	5.216.600	4.798.000	4.709.000	4.682.000	5.282.510	4.822.080
Türkiye	1.900.000	1.900.000	2.100.000	2.080.000	2.095.000	2.100.000	2.200.000	2.550.000	2.450.000	2.500.000
İtalya	2.050.070	1.830.170	2.394.130	2.143.540	2.232.850	1.940.010	2.071.260	1.966.470	2.143.300	2.343.800
Hindistan	1.093.900	1.175.010	1.147.740	1.168.250	1.300.000	1.200.000	1.211.380	1.308.390	1.320.590	1.380.000
Polonya	812.340	1.145.540	1.569.690	1.841.760	1.441.120	1.288.290	1.951.520	2.098.300	1.687.230	1.604.220
Fransa	2.326.000	1.673.000	2.948.000	2.493.000	2.662.000	2.516.000	2.446.000	2.473.000	2.209.900	2.165.800
İran	1.523.980	1.364.510	1.463.070	1.624.180	2.008.050	1.989.650	1.925.420	1.998.110	1.943.630	2.137.040
Brezilya	543.515	526.904	599.841	698.765	699.935	686.373	700.777	793.585	791.437	937.715
Şili	700.000	780.000	830.000	840.000	810.000	850.000	950.000	845.000	975.000	1.175.000
Rusya	--	--	1.787.000	1.623.400	1.142.300	1.200.000	1.800.000	1.500.000	1.330.000	1.060.000
Ukrayna	--	--	1.147.760	1.774.000	651.000	1.046.200	1.040.800	1.897.800	568.200	296.800
Arjantin	975.600	1.067.500	1.053.500	951.170	1.006.300	1.146.000	1.219.000	1.117.690	1.033.520	1.116.000
Almanya	2.222.020	1.164.800	3.227.000	1.753.000	2.097.000	1.459.100	2.161.700	1.602.100	2.296.200	2.268.400
Japonya	1.053.000	760.300	1.039.000	1.011.000	989.300	962.600	899.200	993.300	879.100	927.700
Toplam	23.912.352	22.347.573	32.668.695	33.926.253	35.488.924	37.199.405	42.346.508	43.053.525	44.401.098	45.544.361

Çizelge 2.3: 2000 ile 2010 yılları arasında dünyadaki elma üretimi (metrik ton). (USDA, 2012) dan uyarlandı.

Ülkeler	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Çin	20.437.035	20.022.763	19.250.650	21.105.185	23.681.994	24.016.901	26.064.930	27.865.853	29.850.763	31.684.445	33.266.900
Birleşik Devlet	4.681.980	4.276.810	3.866.440	3.947.620	4.735.780	4.408.870	4.568.630	4.122.880	4.369.590	4.402.070	4.212.330
Türkiye	2.400.000	2.450.000	2.200.000	2.600.000	2.100.000	2.570.000	2.002.030	2.457.850	2.504.490	2.782.370	2.600.000
İtalya	2.232.100	2.299.100	2.199.220	1.953.750	2.136.230	2.192.000	2.130.980	2.230.190	2.210.100	2.325.650	2.204.970
Hindistan	1.050.000	1.230.000	1.160.000	1.470.000	1.521.600	1.739.000	1.755.700	2.001.400	1.985.000	1.795.200	2.163.400
Polonya	1.450.380	2.433.940	2.167.520	2.427.750	2.521.510	2.074.950	2.304.890	1.039.970	2.830.660	2.626.270	1.858.970
Fransa	2.156.900	2.397.000	2.432.230	2.136.890	2.203.650	2.241.480	2.080.920	2.143.670	1.701.750	1.729.620	1.711.230
İran	2.141.660	2.353.360	2.334.000	2.400.000	2.178.650	2.661.900	2.700.000	2.660.000	2.718.780	2.000.000	1.662.430
Brezilya	1.153.270	716.030	857.388	841.821	980.203	850.535	863.019	1.115.380	1.124.160	1.222.890	1.275.850
Şili	805.000	1.135.000	1.150.000	1.250.000	1.300.000	1.300.000	1.350.000	1.400.000	1.280.000	1.090.000	1.100.000
Rusya	1.832.000	1.640.000	1.950.000	1.700.000	2.023.000	1.779.000	1.619.000	2.333.000	1.120.000	1.435.000	986.000
Ukrayna	648.200	474.700	522.300	871.300	716.900	719.800	536.500	754.900	719.300	853.400	897.000
Arjantin	833.322	1.428.800	1.156.830	1.307.460	1.262.440	1.206.210	1.100.000	1.000.000	950.000	1.027.090	850.600
Almanya	3.136.800	1.779.000	1.471.100	818.032	979.730	891.402	947.611	1.070.040	1.047.000	1.070.680	834.960
Japonya	799.600	930.700	925.800	842.100	754.600	818.900	831.800	840.100	910.700	845.600	798.200
Toplam	45.758.247	45.567.203	43.643.478	45.671.908	49.096.287	49.470.948	50.856.010	53.035.233	55.322.293	56.890.285	56.422.840

Çizelge 2.4: 2013 ile 2018 yılları arasındaki taze elma raporları (1,000 metrik ton). (USDA, 2017) dan uyarlandı.

	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	Aralık 2017/18	Haziran 2017/18
Üretim						
Çin	39,680	40,920	42,600	43,900	44,500	44,500
Avrupa Birliği	11,865	13,636	12,453	12,591	10,021	10,021
Birleşik Devlet	4,690	5,067	4,521	4,912	4,653	4,653
İran	2,412	2,500	2,799	2,800	1,573	2,800
Türkiye	2,930	2,289	2,740	2,900	2,750	2,750
Hindistan	2,498	2,498	2,520	2,258	2,300	2,300
Rusya	1,417	1,409	1,311	1,509	1,277	1,277
Şili	1,310	1,210	1,335	1,310	1,360	1,270
Ukrayna	1,085	1,180	1,099	1,099	1,100	1,099
Brezilya	1,379	1,265	1,049	1,049	1,045	1,049
Diğer	5,735	5,688	5,731	5,659	5,630	5,535
Genel Toplam	75,001	77,661	78,158	79,988	76,208	77,254
İhracat						
Çin	934	748	1,151	1,381	1,200	1,200
Birleşik Devlet	843	1,037	778	868	890	995
Avrupa Birliği	1,573	1,792	1,590	1,488	1,000	820
Şili	820	628	765	716	780	730
İran	206	288	435	233	300	700
Güney Afrika	382	466	511	553	500	485
Yeni Zelanda	308	329	347	345	376	375
Sırbistan	143	153	233	239	230	150
Türkiye	193	128	109	215	200	150
Arjantin	144	106	91	78	80	90
Diğer	460	868	492	393	340	380
Genel Toplam	6,006	6,542	6,502	6,510	5,896	6,075
Taze İç Tüketim						
Çin	34,920	37,040	37,526	38,189	38,380	38,370
Avrupa Birliği	7,353	7,781	7,544	7,706	6,319	6,399
Türkiye	2,639	2,064	2,532	2,576	2,441	2,491
Birleşik Devlet	2,498	2,702	2,538	2,730	2,544	2,434
Hindistan	2,662	2,681	2,311	2,231	2,245	2,150
İran	2,207	2,213	2,365	2,567	1,273	2,100
Rusya	2,116	1,803	1,646	1,583	1,575	1,735
Diğer	9,462	9,798	10,227	10,243	9,803	10,003
Genel Toplam	63,857	66,080	66,689	67,825	64,580	65,682

Türkiye, elma üretiminde dünyanın 5. lider ülkesi olması sebebiyle elma üretim sektörünün yarattığı ekonomik değeri belirlemek amacıyla, bilimsel çalışmanın potansiyel değeri dikkate alınmak durumundadır.

Taze elmalar %80'den fazla su içeriğine sahip olmaları nedeniyle kolayca çürüyebilmektedir (Joardder ve diğ., 2015) . Fakat mikrobik bozulma ve çürüme reaksiyonlarının önlenmesi için uygulanabilecek farklı yöntemler bulunmaktadır. Hava ile kurutma; meyveleri koruması, elmaların nem içeriğinin önemli bir miktarını azaltması, raf ömürlerini uzatması, yeni ürünler üretmesi, taşıma ve paketleme maliyetlerini azaltması, ağırlık ve hacimlerini düşürmesi ve mikrobik ve kimyasal bozunumları önlemesi sebebiyle gıda sanayisinde sıklıkla

uygulanen yöntemlerden biridir (Pasban ve diğ., 2017). Ayrıca, piyasada güneş enerjisi ile kurutma, sıcak hava ile kurutma, vakumlu kurutma ve dondurarak kurutma gibi farklı kurutma yöntemleri de bulunmaktadır. Tercih edilecek en uygun yöntem; kalite gereklilikleri, taze elmanın özellikleri ve ekonomik faktörler dikkate alınarak belirlenmektedir (Toğrul, 2005).

2.2 Elma Hasadı Ve Hasat Sonrası

Birçok elma türünün hasadı genellikle Ağustos ile Ekim ayları arasında yapılmaktadır. Hasat zamanının belirlenmesi için Magness-Taylor basınç testleri uygulanmaktadır. Depolama ve işlemlerde yaklaşık 6.8 kg basınç tercih edilirken, hızlı tüketimler için yaklaşık 5.9 kg basınç tercih edilmektedir. Bunun yanı sıra, aşağıda belirtildiği üzere başka olgunlaşma göstergeleri de bulunmaktadır:

- Meyvenin boyutu ve görünümü
- Çözünabilir kuru madde içeriği: $9.0 < brix < 15.0$
- Asidite: $\%0.3 < \% \text{Malik asit} < \%1.0$
- Nişasta içeriği: nişasta skalasının 1-8 aralığında 5-6 olarak belirlenmesi elmaların taze tüketim için uygun olduğunu göstermektedir (iyot testi).

Hasat sonrası süreç ise su ile soğutma, yıkama, cilalama, sınıflandırma ve paketleme işlemlerinden oluşmaktadır. Hasat işleminden sonra kontrollü atmosfer kullanılır ise elmaların bir yıl süresince saklanması mümkündür (Hui, 2006).

Bununla beraber, aşağıda görüldüğü üzere bazı elma çeşitleri de bulunmaktadır:

- 1-Braebun
- 2-Empire
- 3-Fuji
- 4-Gala
- 5-Golden Delicious
- 6-Granny Smith
- 7-Red Delicious

- 8-Ida Red
- 9-Jonagold
- 10-Jonathan
- 11-McIntosh
- 12-Mutsu
- 13-Northern Spy
- 14-Rome

2.3 Elmaların Bileşimi

Kabuklu taze elmaların en yakın bileşimi Çizelge 2.5’ de gösterilmiştir. (USDA, 2018).

Çizelge 2.5: Kabuklu taze elmaların en yakın bileşimi. (USDA, 2018) dan uyarlandı.

Besin	Birim	Besin değeri/ 100 g elma	Besin	Birim	Besin değeri/ 100 g elma
Su	g	85.56	Tiamin	mg	0.017
Enerji	kcal	52	B-2 Vitamini	mg	0.026
Protein	g	0.26	Niasin	mg	0.091
Toplam lipid (yağ)	g	0.17	B-6 Vitamini	mg	0.041
Karbonhidrat	g	13.81	Folat	µg	3
Lif	g	2.4	B-12 Vitamini	µg	0.00
Şeker	g	10.39	A Vitamini, RAE	µg	3
Mineraller			A Vitamini, IU	IU	54
Kalsiyum, Ca	mg	6	D Vitamini (D2 + D3)	µg	0.0
Demir, Fe	mg	0.12	D Vitamini	IU	0
Magnezyum, Mg	mg	5	K Vitamini	µg	2.2
Fosfor, P	mg	11	Lipidleri		
Potasyum, K	mg	107	Yağ asitleri, doymuş	g	0.028
Sodyum, Na	mg	1	Yağ asitleri, tek doymamış	g	0.007
Çinko, Zn	mg	0.04	Yağ asitleri, çoklu doymamış	g	0.051
Vitaminler			Yağ asitleri, trans	g	0.000
C Vitamini, tüm askorbik asit	mg	4.6	Kolesterol	mg	0

Bununla beraber, elmalar birçok kanser ve koroner kalp hastalığı oluşumunu engelleyebilen antioksidan özelliklere sahip polifenol ve flavonoid madde içermektedir. Elmalarda; flavonol, kuersetin, glukositol, kateşin, antosiyanidin ve hidroksisinnamik asit bulunmaktadır (Hui, 2006).

3. GIDALARDA BULUNAN SUYUN ÖZELLİKLERİ

3.1 Giriş

Gıdalarda üç çeşit su a) serbest b) bağlı ve c) ionik su olarak bulunur.

3.1.1 Serbest su

Serbest su (free water), dengedeki nem içeriğinden fazla olan su miktarıdır ve belirtilen sıcaklık ve nem oranında kurutma işlemi ile gıdalardan ayrılabilir. Bir higroskopik gıdada, serbest su, 1 su aktivitesi seviyesini sağlamak için doygunluk nemini karşılayan denge nem içeriğinin haricinde kalan suyu ifade etmektedir. Ayrıca, higroskopik olmayan bir gıdanın tüm su içeriği, serbest nemdir (Mujumdar, 2006).

3.1.2 Bağlı su

Bağlı su (bound water), birçok gıda bileşenini bağlayabilmekte ve tutabilmektedir. Bu sebeple, bağlı suyu gıdalardan ayırmak kolay değildir. Bağlı su, maddelerinin polar gruplarla (hidroksil ve amin) hidrojen bağı oluşturmaktadır. Bağlı su, saf su özelliklerini göstermediğinden ölçülmesi için NMR (nükleer manyetik rezonans), viskoelastik ölçüm, termal analiz, FTIR (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi), dielektrik ölçümü vb. farklı teknik yöntemler bulunmaktadır (Hatakeyama ve diğ., 2012). Bağlı suyun özelliklerinden bazıları aşağıda belirtildiği üzere:

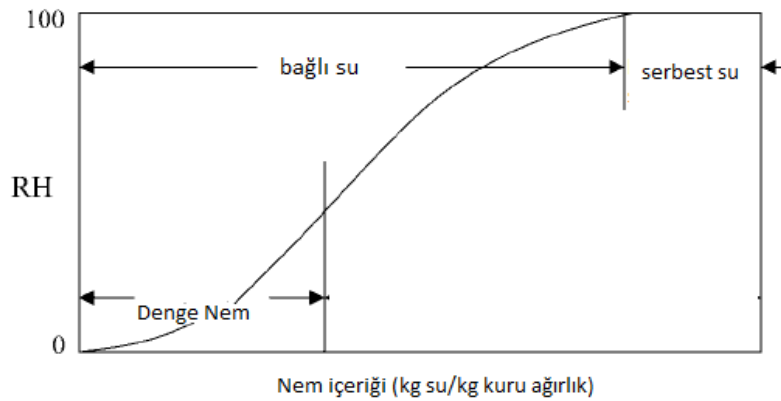
- 1- Bağlı su serbest olmaması nedeniyle tuz ve şekerlerde solvent (çözücü madde) görevi göremez.
- 2- Yoğunluğu, sıvı halde daha yakın konumlanmış moleküllerden dolayı, serbest su yoğunluğundan daha fazladır.
- 3- Sadece çok düşük sıcaklıklarda dondurulabilir.

Kaktüslerde bulunan ve sıkılamayan su, bağlı suya iyi bir örnektir ve bu bağlı su yüksek ve düşük sıcaklıklara oldukça dayanıklıdır. Aynı zamanda, bağlı su bitkilerin hayatta kalmasına yardımcı olmaktadır (Vaclavik ve Christian, 2008).

Pektin, nişasta veya proteinler gibi gıda maddelerinin polar grupları su moleküllerine yapışmakta (tek katman) ve bundan sonraki su katmanları daha az dayanıklılık göstermektedir (çoklu katmanlar) ki bu süreç su serbest veya yığın haline gelene kadar devam etmektedir (Vaclavik ve Christian, 2008). Bununla beraber; su, küçük hücrelerde bloke edilerek, gıdaların mikroyapılarında tutularak, hücre duvarlarında uygulanan çözeltiye ek olarak katı maddede uygulanan homojen çözeltiyle ve katı madde yüzeyinde kimyasal ya da fiziksel adsorpsiyon ile bağlanabilmektedir. Bağlı su, belirtilen sıcaklıkta saf suyun buhar basıncından daha az bir buhar basıncı uygulamaktadır ve ürünün su aktivitesinin 1.0'dan daha düşük olmasını sağlamaktadır (Perry ve diğ., 1984; Smith ve Hui, 2004).

3.1.3 İyonik su

İyonik su, en sert şekilde karboksil ve amin grupları gibi iyonik gruplara bağlanan su molekülleridir. Gıdaların en kararlı halleri tek katmanlı nem içeriğine sahip oldukları zamanki halleridir ve bu tek katmanın üstü veya altı durumlarda kararsızlık meydana gelmektedir (Rahman, 2009). Gıdalarda bulunan suyun farklı halleri Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



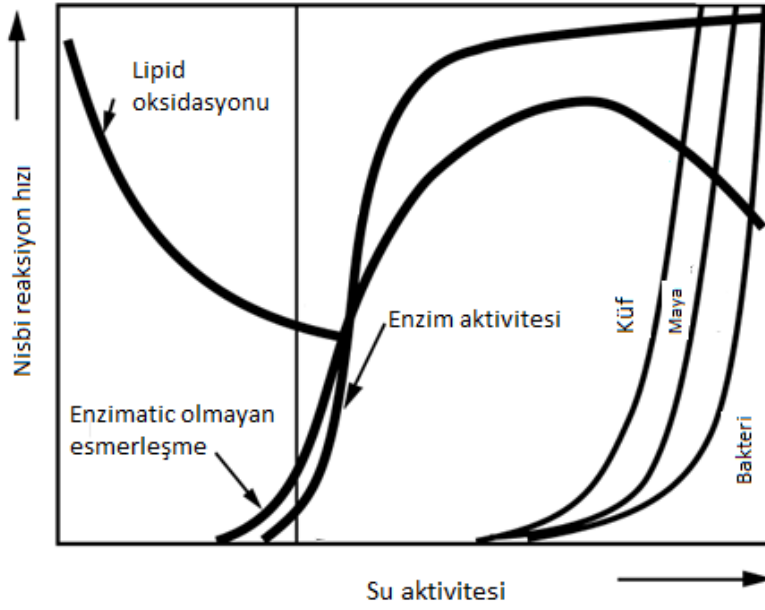
Şekil 3.1: Gıdalarda bulunan suyun farklı halleri. (Smith ve Hui, 2004) dan uyarlandı.

3.2 Denge Nem İçeriği

Yaş bir gıda kuru hava akımına maruz kaldığında, gıdadaki nemin buhar basıncı havadaki buharın kısmi basıncına eşitlenene kadar söz konusu gıda su kaybeder. Bu durumda, gıdanın nem içeriği denge nem içeriği olarak adlandırılmaktadır. Denge nem içeriği, gıdanın havada bulunan nem ile denge içerisinde olduğu nem seviyesidir (Smith ve Hui, 2004). Gıdanın bu havaya daha fazla maruz kalması ilave bir nem kaybına yol açmasa da söz konusu havanın daha düşük bir nem oranına sahip yeni bir hava akımı ile yer değiştirmesi durumunda gıdanın nem kaybı devam edebilmektedir (Mujumdar, 2006).

3.3 Su Aktivitesi

Gıdaların stabilitesi göz önüne alındığında, yalnızca toplam nem içeriğinin değil aynı zamanda mikrobiyal büyüme, enzimatik ve kimyasal aktivitelerin nem içeriğinin de önem arz ettiği görülmektedir. Gıdada bulunan toplam suyun az bir miktarı katı maddelere (tek katmanlı olarak) sıkıca bağlı olup, ek su miktarı ise daha serbest bir şekilde (çok katmanlı olarak) bağlıdır. Fakat bu su miktarı hala çözücü (solvent) madde işlevi görmeye yeterli değildir. Mikroorganizmalar, enzimatik ve enzimatik olmayan reaksiyonların gelişim ve faaliyetlerinin desteklenmesi için gıdalarda bulunan su, Şekil 3.2’de gösterildiği üzere, su aktivitesi olarak adlandırılan temel bir özelliktir (Brennan, 2006).



Şekil 3.2: Su aktivitesinin gıdalardaki çeşitli olumsuz değişiklikler ve mikrobiyal büyüme oranı üzerindeki etkisi. (Barbosa-Cánovas ve diğ., 2007) dan uyarlandı.

Denge termodinamiği yasaları ile ortaya konulan su aktivitesi (a_w), gıdanın nispi buhar basıncı ve suyun termodinamik aktivitesi arasındaki ilişkidir (Scott, 1953). Aktivite, termodinamik bir kavram olup aşağıda belirtilen denklemde (3-1) gösterildiği üzere maddenin fügenin (f) standart haldeki fügeneye (f°) oranı olarak tanımlanmaktadır:

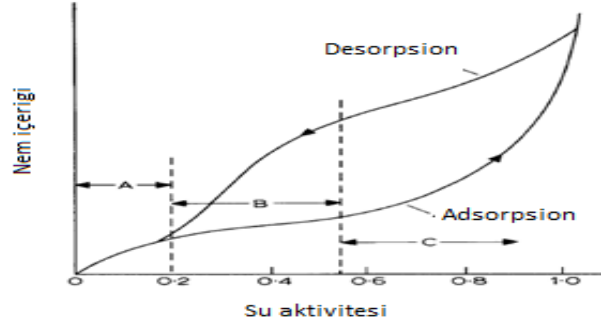
$$a_w = \left(\frac{f}{f^\circ} \right)_T \quad (3-1)$$

(f) ve (f°) oranlarının ölçümünün aynı sıcaklıkta yapılması gerektiğini belirtmek için T (K) ifadesi kullanılmaktadır. Fügeneye, buhar basıncı ile yer değiştirebilecek maddenin kaçma eğiliminin ölçümüdür (Barbosa-Cánovas ve diğ., 2007). Dolayısıyla, su aktivitesi (a_w); aynı sıcaklık ve dış basınçta (P_a), gıdada ya da bir çözeltide bulunan suyun buhar basıncının (P_v), saf suyun buhar basıncına (P_w) oranıdır (Brennan ve diğ., 1990). Su aktivitesi aşağıda belirtilen denklemde (3-2) gösterildiği üzeredir:

$$a_w = \frac{P_v}{P_w} \quad (3-2)$$

Su aktivitesi ve nem içeriği arasındaki ilişkiyi belirleyen sorpsiyon izotermi ise Şekil 3.3' de belirtilmiştir. Bu eğimleri hazırlamak için kurutulmuş gıdaları

yüksek nispi neme sahip bir atmosferle temasa geçirmek (adsorpsion) veya yaş bir gıdayı düşük nispi neme sahip bir atmosfer ile temasa geçirmek (desorpsion) mümkün olabilmektedir. Bununla birlikte, gıdalar histerezis etkisi olarak adlandırılan iki farklı eğri ortaya koyabilmektedir. Genel olarak, gıda ürünlerinin izotermi Şekil 3.3' de, A, B ve C ile ifade edildiği üzere üç bölgeden oluşmaktadır (Brennan ve diğ., 1990).



Şekil 3.3: Gıdaların tipik adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermi. (Brennan ve diğ., 1990) dan uyarlandı.

A bölgesindeki su, yapıya sıkıca bağlı olan su olarak tanımlanmaktadır. Bu su molekülleri; gıda bileşenlerinin (protein, polisakkaritler) hidrofilik, yüklü ve polar gruplarında adsorbe edilmiştir ve yapısal su (hidrojen bağlı su), hidrofilik-hidrasyon su ve tek katmanlı sudan oluşmaktadır. Bu alandaki buharlaşma entalpisi, saf sudan daha yüksektir. Genel olarak, A bölgesindeki suyun donma özelliği bulunmamakta ve mikrobiyal, kimyasal ve enzimik aktivitelerde çözücü madde olarak kullanılamamaktadır. Bu, monomoleküler veya monolayer (tek katman) değeri olarak bilinmektedir ve 0-0.35 aralığındaki su aktivitesinde bulunmakta ve 0.05-0.11 (kg su/kg kuru katı) aralığında bulunan nem içeriğine (*Mdb*) eşit olmaktadır (Brennan ve diğ., 1990) .

Su, A bölgesinin üzerinde yapıya hala bağlanabilse de, A bölgesindeki kadar sıkı değildir. B bölgesi, çok sıralı su moleküllerini içeren çok katmanlı yapıdan oluşmakta olup, bu bölgedeki su, A bölgesine nazaran daha az sıkı bir şekilde tutulmakta ve genellikle küçük kılcallar içerisinde bulunmaktadır (Brennan, 2006). Buharlaşma entalpisi, saf suyun buharlaşma entalpisinden biraz daha yüksektir. B bölgesindeki su, bazı biyokimyasal reaksiyonlar ve düşük-moleküler-ağırlıklı solütler için çözücü madde (solvent) görevi görebilmektedir. Bununla beraber, C bölgesindeki suyun özellikleri serbest su olarak tanımlanan

saf suyun özelliklerine yakındır. Bu su, yapı içerisindeki boşluk ve kılcallarda tutulmaktadır. Ayrıca, A bölgesinin üzerinde katı maddenin su buhar basıncı, gıdadaki kılcal kuvvetler ve çözeltideki çözünebilir kuru maddelerin varlığı sebebiyle, azalıyor ve $Mdb < 1.0$ 'da [Mdb : kuru baza göre nem içeriği (kg su/kg kuru ağırlık)] görülebilmektedir. Ancak, su buhar basıncının, saf suyun buhar basıncına yakın olduğu $Mdb > 1.0$ 'da görülebilmektedir (Brennan, 2006; Heldman ve Lund, 2007).

3.4 Gıda Yapısı Ve Özellikleri

3.4.1 Higroskopik olmayan kılcal gözenekli malzemeler

Gözenek boşlukları kolaylıkla fark edilebilmekte ve sırasıyla taze ve kuru gıdalar için su veya hava ile doldurulabilmekte olup fiziksel olarak bağlı su miktarının az olması nedeniyle higroskopik olmayan (nem çekmeyen) yapıdadırlar. Bununla beraber, kararlı yapıları olduğundan herhangi bir büzülme reaksiyonu göstermemektedirler. Tüm nem içerikleri ise bağlı olmayan sudur (Mujumdar, 2006).

3.4.2 Higroskopik gözenekli malzemeler

Gözenek boşlukları kolaylıkla fark edilebilmekte ve çok miktarda fiziksel olarak bağlı su içermektedir. Kurutmanın ilk evresinde büzülme göstermekte ve aşağıda belirtildiği üzere iki gruba ayrılmaktadırlar:

- 1-Higroskopik kılcal gözenekli malzemeler (mikro ve makro gözenekler)
- 2-Tamamıyla higroskopik malzemeler (yalnızca mikro gözenekler)

3.4.3 Kolloidal (gözeneksiz) malzemeler

Gözeneklerin bulunmaması nedeniyle buharlaşma yalnızca yüzeyde gerçekleşmektedir. Bu yapıda, tüm su fiziksel olarak bağlıdır (Mujumdar, 2006). Yoğun nem içeriğine sahip gıdaların ara yüzeyindeki buhar basıncı, doyum basıncına eşittir. Gıdalardan suyun uzaklaştırılma süreci ilerledikçe, katı derişimi artmakta ve çözünen katı maddeler buhar basıncında azalmaya neden olmaktadır. Ayrıca, suyun uzaklaştırılması gıda yüzeyinde kurumaya yol açmaktadır. Bundan sonra, su sadece gıdanın içindeki çok küçük kılcallarda, büyük moleküllerin arasında ve moleküllere bağlı olarak bulunmaktadır. Bu

bağlanma, buhar basıncını önemli ölçüde azaltmaktadır. İlgili ürün, yalnızca düşük buhar basınçlı atmosfer ile denge kazanabilmektedir (Mujumdar, 2006).

3.5 Gıdaların Termofiziksel Özellikleri

Aşağıda belirtilen (3-3) ve (3-4) denklemleri, nem içeriğine bağlı, gıda örneğinin termofiziksel özelliklerini göstermektedir:

$$k_t = 0.148 + 0.493M_{wb} \quad (3-3)$$

$$C_p = (1.26 + 2.97M_{wb}) \times 1000 \quad (3-4)$$

M_{wb} gıda örneğinin yaş baza göre nem içeriğini (%); k_t ısı (termal) iletkenliği (W/m. K) ve C_p özgül ısıyı (J/kg.K) belirtmektedir (Pasban ve diğ., 2017).



4. ELMANIN KURUTULMASI

4.1 Giriş

Kurutma, gıda ve tarım ürünlerinin korunması amacıyla insanoğlu tarafından uygulanan en eski ve önemli yöntemlerden biridir. Binlerce yıldır, et, balık, meyve ve sebzeler yılın her mevsiminde kullanılabilmesi için kurutulmuş ve/veya tütülenmiştir. Günümüzde ise gıda sanayisinde yer alan kurutma sektörü pek çok ülkede geliştirilmiş olup kullanılan farklı kurutma teknikleri bulunmaktadır (Brennan, 2006).

Kurutma, sıvının buharlaşması nedeniyle uçucu maddenin ısı vasıtasıyla uzaklaştırılması ile sıvı-katı ayrımının yapıldığı temel bir işlem olarak tanımlanmaktadır. Söz konusu sıvı, su ya da uçucu solvent (çözücü madde) olabilmektedir (Land, 2012). Kurutma işlemindeki temel amaç, gıda ürünlerinin mevcut nem ya da su aktivitesini mikrobiyal bozunum, enzimatik ve istenmeyen kimyasal değişikliklerin önlenebileceği bir seviyeye indirgeyerek raf ömürlerini uzatmaktır (Brennan, 2006).

Kurutma işlemi; gıdaları korumasının yanı sıra ürün ağırlık ve hacmini de azaltarak paketlenme, saklama, taşıma, depolama ve dağıtım maliyetlerini düşürmektedir (Singh ve Heldman, 2009). Bununla beraber, gıda ürünleri; kurutma sırasında besin değeri ve organoleptik özellikleri etkileyebilecek fiziksel (büzülme, şişme, kristalleşme ve camsı geçişler), kimyasal ve biyolojik (renk, tekstür ve tat bakımından) değişikliklere maruz kalmaktadır (Mujumdar, 2006). Bu sebeple, kurutma işleminin ikinci amacı kaliteli bir biçimde kurutulmuş gıda üretmek olmalıdır.

4.2 Kurutucuların sınıflandırılması

Kurutma; ısı ve kütle transferinin eş zamanlı olarak gerçekleştirildiği ve suyun gıda ürününden uzaklaştırıldığı bir işlem olarak tanımlanmaktadır. Isı transferi, duyulur ve gizli ısıların nem yüzeyinin buharlaştırılması amacıyla, nemli katı

maddeye transferini içerirken, kütle transferi ise iç nemin gıda yüzeyine transferini ve ısı transferi nedeniyle buharlaşmasını içermektedir. Isı transferi; konveksiyon (taşınım), kondüksiyon (iletim), radyasyon (ışınım) veya bunların birleşimi ile meydana gelebilmektedir (Mujumdar, 2006).

Isı transferinin temel yöntemi, nemli gıdanın ısıtılmış hava akımına iletilmesidir. Bu durumda; ilk olarak ısı, konveksiyon yoluyla sıcak havadan, gıda yüzeyine ve ardından kondüksiyon yoluyla gıda ürünlerinin içerisine transfer edilmektedir. Alternatif olarak, temas yönteminde, gıdalar kondüksiyon yoluyla sıcak yüzeyden gıda yüzeyine ve ardından tekrar kondüksiyon yoluyla gıda içerisine transfer edilen ısıyı meydana getiren sıcak yüzey ile temas edebilmektedir (Brennan, 2006).

Bununla birlikte, radyo frekans, mikrodalga ve radyan ile meydana getirilen ısı akışının yönü, gıdaların iç tabakasından başlayarak gıda yüzeyine doğru devam etmektedir (Mujumdar, 2006). Dondurarak kurutma ise oldukça düşük bir basınç ortamında kondüksiyon veya radyasyon ile ısı uygulayarak, gıdaların kurutulmasını sağlayan bir diğer yöntemdir. Bu yöntemde, ilk olarak gıda dondurulmakta ve ardından buz, sublimasyon ile gıdadan uzaklaştırılmaktadır. Ozmotik kurutma ise gıdaların ozmotik bir basınç üreten, yüksek derişimli solüt ile hipertonic-ozmotik bir çözelti içine konarak, su moleküllerinin gıdalardan uzaklaştırıldığı bir işlemdir (Brennan ve diğ., 1990; Brennan, 2006).

4.2.1 Sıcak hava ile kurutma (konveksiyon)

- Kabin kurutucular
- Tünel kurutucular
- Konveyör kurutucular
- Akışkan yataklı kurutucular
- Pnömatik kurutucular
- Püskürtmeli kurutucular

4.2.2 Sıcak bir yüzeye temas ile kurutma (kondüksiyon)

- Valsli (drum) kurutucular
- Vakumlu raf kurutucular
- Vakumlu bant kurutucular

4.2.3 Radyasyon, mikrodalga ve dielektrik ile kurutma

- Kesintisiz kızılötesi (infrared) kurutucular
- Mikrodalga ve dielektrik kurutucular

4.2.4 Süblimasyon ile kurutma

- Kesikli liyofilizatörler
- Çok bölmeli donduruculu kurutucular
- Tünel tip liyofilizatörler

4.3 Kurutmanın Temelleri

Konvektif kurutma yönteminde; kuruma hızı, ısı ve kütle transfer hızı ile ilişkili olup su buharının gıda yüzeyinden uzaklaştırılması ise çevresel koşullara (hava sıcaklığı, hava akımı, nem oranı, kurutma havasına maruz kalan yüzey alanı ve basınç) bağlıken nemin gıda içerisinden dışarısına doğru hareket etmesi ise yapısal koşullara (gıdanın fiziksel yapısı, sıcaklığı ve nem içeriği) bağlıdır (Mujumdar, 2006).

Bununla birlikte; endüstriyel kurutucuların %85'inden fazlası, ürünün sınır tabakasına ısı sağlayan konvektif tip kurutucular olup ısı, gıda yüzeyi ve gıdanın içindeki su arasındaki sıcaklık gradyanı sayesinde, transfer edilmektedir. Yeterli ısı enerjisi suya dâhil edildiğinde buharlaşma meydana gelmekte ve su buharları gıdadan yüzeye transfer edilmektedir. Yüzeydeki buhar basıncı ile gıda içerisindeki buhar basıncı arasındaki fark ise su buharının difüzyonuna ilişkin itici güçtür (Singh ve Heldman, 2009).

Su buharının gıda yüzeyinden sıcak havaya aktarılması ise, buhar basıncı gradyanının sayesinde gerçekleşir. Nem buharlaşır ve sınır tabakasından kurutma ortamına yayılırken buharlaşma ısı, ısı transferi ile gıda yüzeyine sağlamak durumundadır (Smith ve Hui, 2004). Isı transferine ilişkin sınırlayıcı faktör, gıda materyallerinin ısı iletkenliği iken kütle transferine ilişkin sınırlayıcı faktör ise havaya su buharının difüzyonudur (Singh ve Heldman, 2009). Gıda içerisindeki nem transferi, kütle transferinin aşağıda belirtilen mekanizmaları ile gerçekleştirilebilmektedir:

- Sıvı difüzyonu: Nemli gıda suyun kaynama noktasının altında bir sıcaklıkta olduğunda
- Buhar difüzyonu: Su, gıdanın içerisinde buharlaştığında
- Knudsen difüzyonu: Kuruma oldukça düşük bir sıcaklık ve basınçta meydana geldiğinde
- Hidrostatik basınç farkları: Gıdanın içerisine su buharlaşma oranı, su buharının kuruma ortamına aktarılma oranından daha fazla olduğunda
- Yukarıda belirtilen mekanizmaların birleşimi

Gıdaların higroskopik, higroskopik olmayan, gözenekli veya gözeneksiz yapısı su akışının iç mekanizması üzerinde aşağıda belirtilenler gibi önemli etkilere sahiptir:

- Homojen ve kesintisiz katı difüzyonu
- Büzülme ve basınç gradyanlarının yarattığı su akışı
- Yer çekiminden kaynaklanan nem akımı
- Buharlaşma-yoğunlaşma etkisinin neden olduğu akım
- Granüllü ve gözenekli gıdalarda kılcal akış

Kılcal akışta, yüzeyde bulunan su ya da hücre boşluklarındaki serbest su gibi katı maddenin boşluklarında tutulan su, yer çekiminin etkisi ile hareket etmektedir (Perry ve diğ., 1984). Termal bir kurutucunun kapasitesi, ısı ve kütle transfer hızına bağlıdır. Isı, gıdanın dış yüzeyine ve ardından gıda içerisine doğru aktarılmak durumundadır. Su buharının buharlaşması, gıda yüzeyinde ya da yakınında veya gıda içerisinde gerçekleşebilmektedir. Kütle transferi ise gıda yüzeyinden hava akımına buhar olarak ya da gıda içerisinde sıvı veya buhar olarak meydana gelebilmektedir (McCabe ve Smith, 1976).

Daha evvel bahsedildiği üzere, gıdalarda bulunan su, bağlı ya da bağlı olmayan su olarak tanımlanabilir. Bu sebeple, nemli bir gıdada gerçekleşen kütle transferinin itici gücü, aşağıdaki denklemde (4-1) ifade edildiği gibi serbest nem içeriğidir (M).

$$M = M_T - M_e \quad (4-1)$$

M , M_T , ve M_e , sırasıyla serbest, toplam ve denge nem içeriğini (kg su/kg kuru madde), ifade etmektedir. Kurutma işlemine ilişkin hesaplamalarda toplam nem içeriği M_T değil, serbest nem içeriği M , dikkate alınmaktadır (McCabe ve Smith, 1976).

Serbest nemin gıdalardan uzaklaştırılmasına ilişkin aşağıda açıklandığı üzere iki yöntem bulunmaktadır:

- Gıda yüzeyindeki su buhar basıncının atmosferik basıncına eşit olduğunda gerçekleştirilen evaporasyon yöntemidir ve söz konusu durum su sıcaklığının kaynama noktasına getirilmesiyle meydana gelmektedir (valsli kurutucular).
- Kurutmanın konveksiyon yoluyla gerçekleştirildiği ve gıda yüzeyindeki suyun doymuş buhar basıncının, atmosferik basıncından daha az olduğu vaporezasyon yöntemidir (Mujumdar, 2006).

İki ayrı terim ile açıklanabilen gıda nem içeriği, katı maddelerde buhar basıncı oluşturmakta ve (4-2) ile (4-3) denklemleri ile ifade edilen söz konusu terimler şu şekilde sınıflandırılmaktadır: 1) Örnekteki su ağırlığının örneğin toplam ağırlığına oranı anlamına gelen yaş baza göre nem içeriği (M_{wb})%.

2) Örnekteki su ağırlığının örneğin kuru ağırlığına oranı anlamına gelen kuru baza göre nem miktarı (M_{db}) (kg su / kg kuru madde). (Perry ve diğ., 1984; Brennan ve diğ., 1990).

$$M_{wb} = \left[\frac{W_w}{W_w + W_d} \right] \times 100 \quad (4-2)$$

$$M_{db} = \frac{W_w}{W_d} \quad (4-3)$$

W_w ve W_d sırasıyla su ağırlığını ve kuru ağırlığı (kg) ifade etmektedir.

Bununla birlikte, kuruma hızı ilgili denklem (4-4) ile hesaplanıldı (Doymaz, 2009):

$$DR = \frac{M_{t+\Delta t} - M_t}{\Delta t} \quad (4-4)$$

DR , kurutma hızı (kg su / kg kuru madde. dak); M_t ve $M_{t+\Delta t}$, sırasıyla t ve $t + \Delta t$ zamanındaki örnek nem içeriğini (kg su / kg kuru madde) ve Δt ise iki

ölçüm arasındaki zaman aralığını (dak) ifade etmektedir. Boyutsuz nem oranı, ilgili denklemede (4-5) gösterildiği gibi kullanılabilir (McCabe & Smith, 1976).

$$\frac{\bar{M}_T - M_e}{M_{T0} - M_e} = MR \quad (4-5)$$

MR = boyutsuz nem oranı

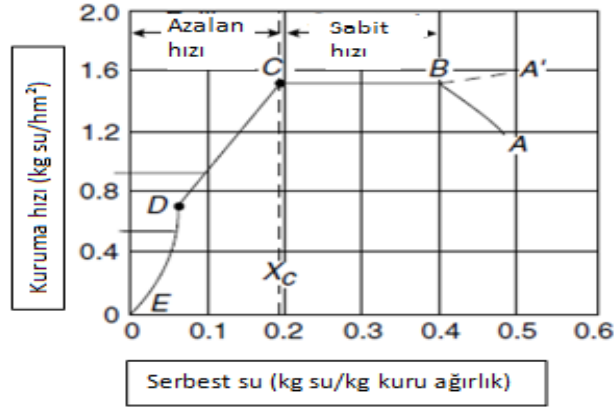
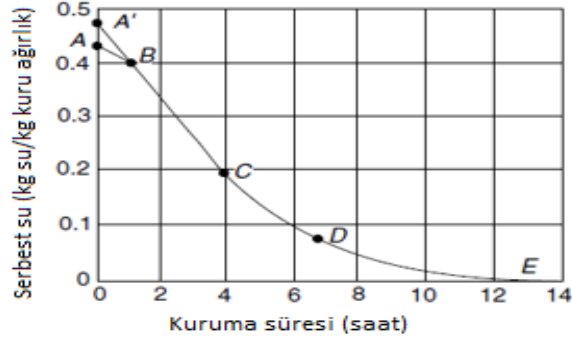
\bar{M}_T = ortalama toplam nem içeriği (kg su/ kg kuru madde)

M_e = dengedeki nem içeriği (kg su/ kg kuru madde)

M_{T0} = kurutmanın başlangıcındaki ilk nem içeriği (t=0) (kg su/ kg kuru madde)

4.4 Kurutma Evreleri

Kuruma hızı, bir kurutucunun seçilmesi için gerekli olup bu eğrinin kurutma hız eğrisine dönüştürüldüğü kurutma süresine karşılık nem içeriğinin belirlenmesi ile deneysel olarak elde edilmek durumundadır. Kurutma işlemi, farklı kurma hızları ile belirli evreler dâhilinde gerçekleşmektedir (Perry ve diğ., 1984; Toledo, 2007). Kuruma eğrileri genel olarak Şekil 4.1’de gösterildiği gibi dört bölgeyi kapsamaktadır.



Şekil 4.1: Sabit hava sıcaklığı ve nem oranında konvektif kurutma sürecindeki yaş gıdalara ilişkin kuruma eğrileri. (Geankoplis, 1993) dan uyarlandı.

4.4.1 İlk geçiş bölgesi

Bu bölgede hava, gıda yüzeyindeki entalpiler ile eşleştirilir ve gıda, havanın yaş termometre sıcaklığı ile ısı dengeleme yapmaktadır (Smith ve Hui, 2004). Başlangıç zamanında, gıdanın nem içeriği, soğuk ve sıcak derecelerde bulunan gıda için sırasıyla AB ve $A'B$ eğrileri ile belirtilmektedir (Şekil 4.1) (Heldman ve Lund, 2007). Bu ilk geçiş döneminin çok kısa bir süreliğine dengesiz durum düzenleme bölgesi olması nedeniyle bazen kuruma analizinde göz ardı edilmektedir (Geankoplis, 1993).

4.4.2 Sabit hız dönemi

Şekil 4.1'de BC eğrisi ile gösterildiği üzere bu alanda gıda yüzeyi, serbest su içermekte olup kuruma hızı ise sabittir. Bununla birlikte, su gıda yüzeyinden buharlaşmakta ve buharlaşma hızı gıda matrisinden bağımsız olmaktadır. Bu bölgedeki hız belirleyici faktörler; hava hızı, hava sıcaklığı, toplam ve kısmi buhar basıncı gibi dış koşullardır. Bu bölgedeki kütle transferi ise su buharının,

hava-nem ara yüzeyinin sınır tabakası üzerinden, kurutma havasına difüzyonunu içermektedir (Heldman ve Lund, 2007).

Şayet katı madde gözenekli ise bu dönemin sonuna doğru, suyun kılcal kuvvetlerle gıdanın iç tabakasından gıda yüzeyine aktarılır ve kurutma hızı sabit olabilmektedir. Kurutma sürecinin sabit hız döneminde, bağlı olmayan su uzaklaştırılmaktadır (Mujumdar, 2006). Sabit hız dönemi, nem gıda yüzeyine ulaşana dek devam etmekte olup gıdanın yüzey sıcaklığının, havanın yaş termometre sıcaklığına neredeyse eşit olduğu yaş termometre sıcaklığının hesaplanmasına benzerdir (Geankoplis, 1993).

4.4.3 Birinci azalan hız dönemi (doymamış yüzeyin kuruma dönemi)

Gıdanın ortalama nem içeriği C noktasında kritik nem içeriğine M_c ulaştığında, sabit hız dönemi sona ermekte ve azalan hız dönemi başlamaktadır. Azalan hız dönemi süresince, kuruma hızı zaman ile birlikte azalmaktadır (Şekil 4.1). Ayrıca, C noktasından D noktasına kadar gıda yüzeyinde kesintisiz su filmi yaratacak yeterli su bulunmamakta ve gıda artık serbest nem yüzeyi özelliği göstermemektedir (Smith ve Hui, 2004). Bununla birlikte, gıdanın tüm yüzeyi artık nemli olmadığından kuru noktalar yüzeyde görünür olmaya başlamaktadır (Mujumdar, 2006). Kurutma süreci ilerledikçe, gıda yüzeyindeki nemli bölge, sıvı yüzey filmi tamamen buharlaşana ve yüzey D noktasında bütünüyle kuruyana dek sürekli olarak azalmaktadır (Şekil 4.1) (Geankoplis, 1993).

Nem içeriği azaldığında ise gıda matrisinin yüzey buhar basıncı düşmekte ve suyun gıda içerisindeki hareketini etkileyen faktörler, kuruma hızını belirleyen faktörler olmaktadır (Heldman ve Lund, 2007). Bununla birlikte, kuruma hızındaki dış faktörlerin etkisi, sabit hız dönemi ile kıyaslandığında azalma göstermektedir (Brennan, 2006). Birinci azalan hız dönemi, tamamen noksan olabilmekte veya tüm azalan hız dönemini oluşturabilmektedir (Mujumdar, 2006). Ayrıca, gıdanın yüzey sıcaklığı yükselmekte ve havanın kuru termometre sıcaklığına yaklaşmaktadır. Kurutma süreci ilerledikçe, gıda üzerinde herhangi bir ısı hasarı meydana gelebilmektedir.

4.4.4 İkinci azalan hız dönemi

Yüzey tamamen kurduğunda (D noktası); nem, gıdanın merkezine doğru hareket etmekte ve Şekil 4.1’de bulunan DE eğrisi ile gösterildiği gibi gıda yüzeyi ve gıdanın derin tabakaları arasındaki derişim gradyanları sebebiyle buharlaşma devam etmektedir (Heldman ve Lund, 2007). Bu noktadaki nem seviyesi kademeli olarak gıdanın daha derin tabakalarına doğru hareket etmekte ve kuruma hızı ısı kondüksiyonundan etkilenmektedir.

Kurutulmuş gıdanın, yüksek bir yoğunluğa ve oldukça küçük gözenekli düşük kavite hacmine sahip olması durumunda, kurutma süreci ısı iletimi ile değil de gıda içerisindeki difüzyona olan yüksek dirnçlilik ile belirlenmektedir. Bu sebeple, kurutma hızı, suyun gıdanın iç tabakasından yüzeyine olan difüzyonu ve aynı zamanda gıda yüzeyinden gerçekleştirilen kütle transfer hızı (su buharı olarak) ile kontrol edilmektedir. Ardından, su buharı hava akımına doğru hareket etmektedir (Geankoplis, 1993).

Bu evre süresince bağılı suyun bir kısmı uzaklaştırılmakta ve kurutma süreci ilerledikçe nem derişimi, suyun iç tabakadaki hareket hızında düşmeye yol açarak azalmaktadır. Dolayısıyla, kuruma hızındaki düşüş öncekine göre arttırılmakta, kurutma süreci nem içeriği, denge nem içeriğine (M_e) ulaşana dek devam etmekte ve ardından süreç sona ermektedir (Mujumdar, 2006). Bununla birlikte, söz konusu bölgede uzaklaştırılan su miktarı nispeten az olsa da gereken süre sabit hız döneminden daha uzundur (Geankoplis, 1993). Kuruma hızı genel olarak hava hızı ve sıcaklığı ile doğrudan ilişkili olup, nem ve gıda kalınlığı ile ters bağıntılıdır (Heldman ve Lund, 2007).

4.5 Materyal Ve Metotlar

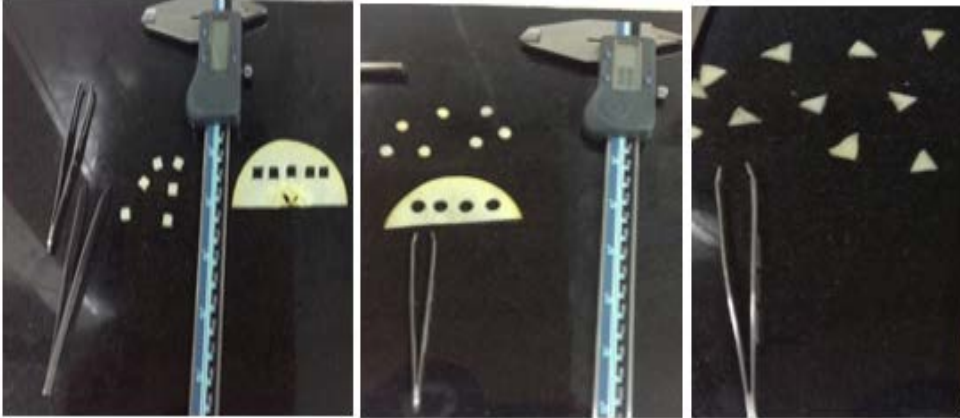
4.5.1 Örnek hazırlama

Bu çalışmada, Türkiye’de en çok tercih edilen Golden Delicious (SGD), Granny Smith (GS) ve Starkrimson Delicious (SKD) elmaları kullanıldı, yerel bir pazardan (İstanbul, Türkiye) TS ISO 874’e kare örnekleme metodu göre seçildi ve deneyler gerçekleştirilene dek buzdolabında $4\pm 1^\circ\text{C}$ sıcaklıkta saklandı (Campos-M ve Campos-C, 2017). Meyveler her bir deneyden önce buzdolabından çıkarıldı ve elmalar ısıl dengeye ulaşana kadar, 2 saat süresince

oda sıcaklığında bekletildi (Golestani ve diğ., 2013). Ardından, elmalar musluk suyu ile yıkandı, kurutma kâğıdı ile kurutuldu ve V-dilimleyici (Börner, Almanya) adlı bir dilimleme gereci ile 2 mm kalınlıkta dilimlendi (Şekil 4.2). Deneyleerde her elma için yalnızca üç halka hazırlandı ve ardından elma dilimleri özel kesici aletler ile, kare KA (5x5 mm), daire DA (çapı: 5.64 mm) ve üçgen ÜG (7.07 mm taban ve yükseklik) yüzey alanı; ve en-boy oranı eşit olmak üzere kesildi (Şekil 4.3).



Şekil 4.2: V- dilimleyici (Börner, Germany).



Şekil 4.3: Kare, daire ve üçgen biçimli elma örnekleri.

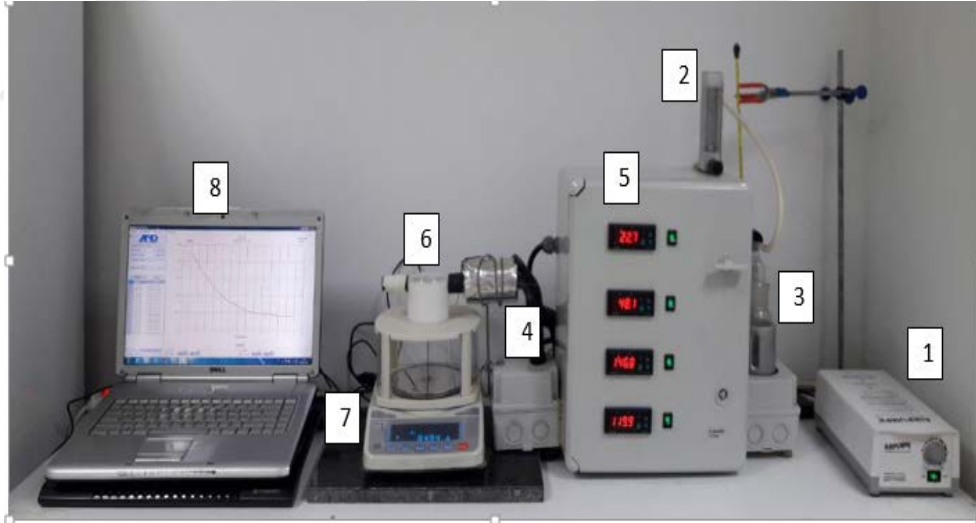
SGD, GS ve SKD elmalarına ilişkin olarak sırasıyla, 5.980, 5.970 ve 5.535 kg su/kg kuru madde olarak bulunan başlangıç nem içeriğinin standart AOAC (no. 934.06) yöntemine göre (AOAC, 1990) ölçmesi için vakumlu bir kurutucu (EVO18, Nüve, Türkiye) kullanıldı (Şekil 4.4) (Sacilik ve Elicin, 2006).



Şekil 4.4: Vakumlu Kurutucu (EV018, Nuve, Turkey).

4.5.2 Konvektif kurutma ekipmanı

Karataş (1997), tarafından tasarlanan laboratuvar tipi bir konvektif kurutucu, çalışmamız için yeniden revize edilerek tasarımı yapıldı ve görülen tasarım ünitesi kurutma işleminde kullanıldı (Şekil 4.5). Ayrıca bu tasarım için patent başvurusunda bulundu.



Şekil 4.5: Laboratuvar tipi konvektif kurutucu.1. Fan; 2. Rotametre; 3. Nemlendirici; 4. Isıtma üniteleri; 5. PID sıcaklık kontrol cihazı; 6. Kurutma haznesi; 7. Terazi; 8. Bilgisayar.

Bu sistemde; istenen hava miktarını ve sıcaklığı, bağıl nem ve hava hızı değerlerinde ayarlanabilmektedir. Bu araştırma için, sabit hava akışı 25°C sıcaklıkta duygun hale getirildi ve hava ısıtma ünitesinden istenilen sıcaklığı getirildikten sonra kurutma işlemi yapıldı. Kurutma ünitesinde, fan (model No AP-205006A5L), ENDA ET2011 PID sıcaklık kontrol cihazı (Sisel Mühendislik

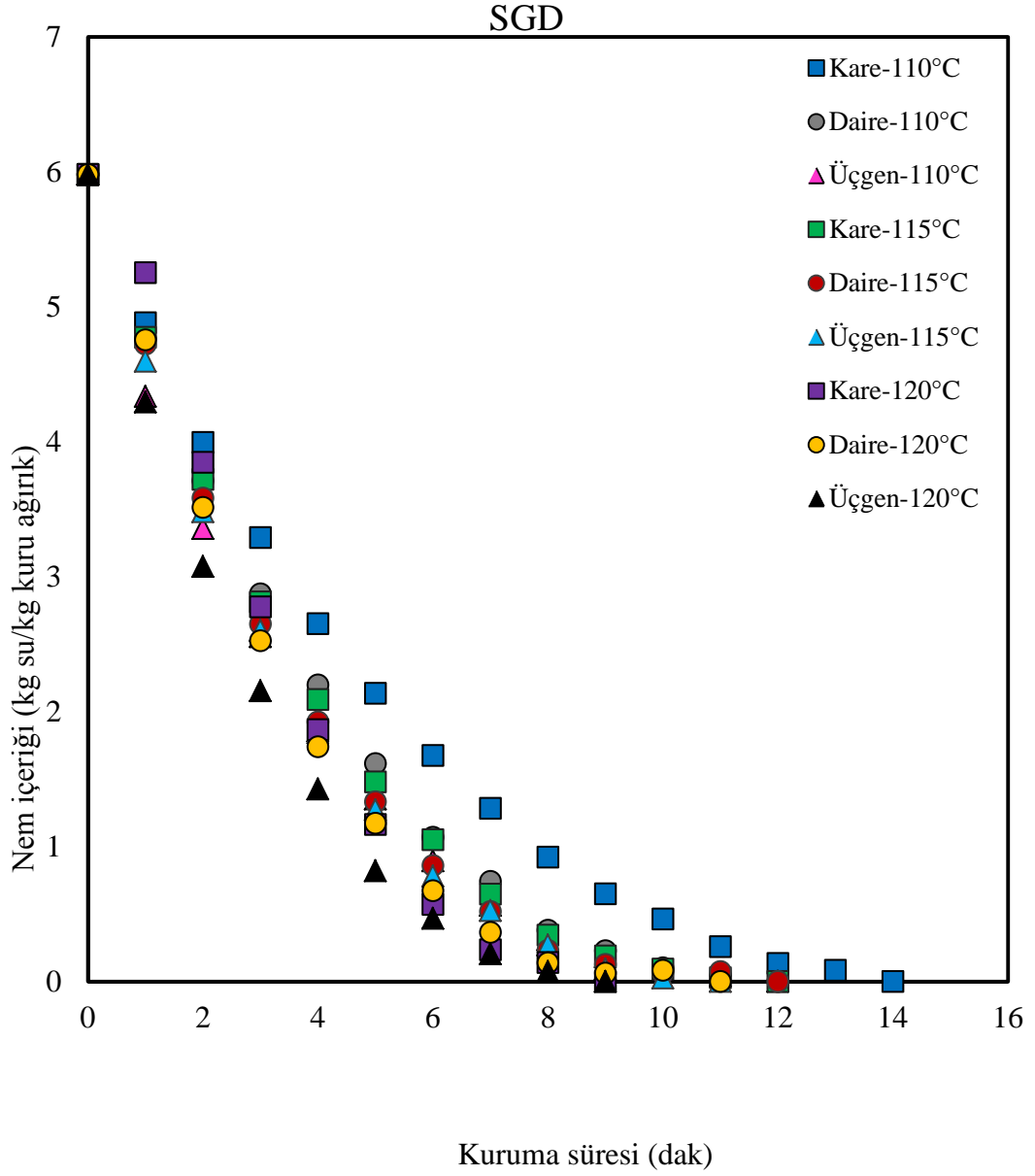
Elektronik San. ve Tic. A.Ş. Türkiye) (hessasiyet derecesi $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$) kullanıldı. Aynı zamanda ± 0.001 g değerine kadar doğru ölçüm yapan bir terazi (Fz-500i /AND, Japonya) örneklerin ağırlıklarını ölçmek için kullanıldı ve *Rs weight-Ver 5.10* adlı bir yazılım, kişisel bilgisayarda online veri kaydının gerçekleştirilmesi amacıyla kullanıldı.

4.5.3 Kurutma süreci

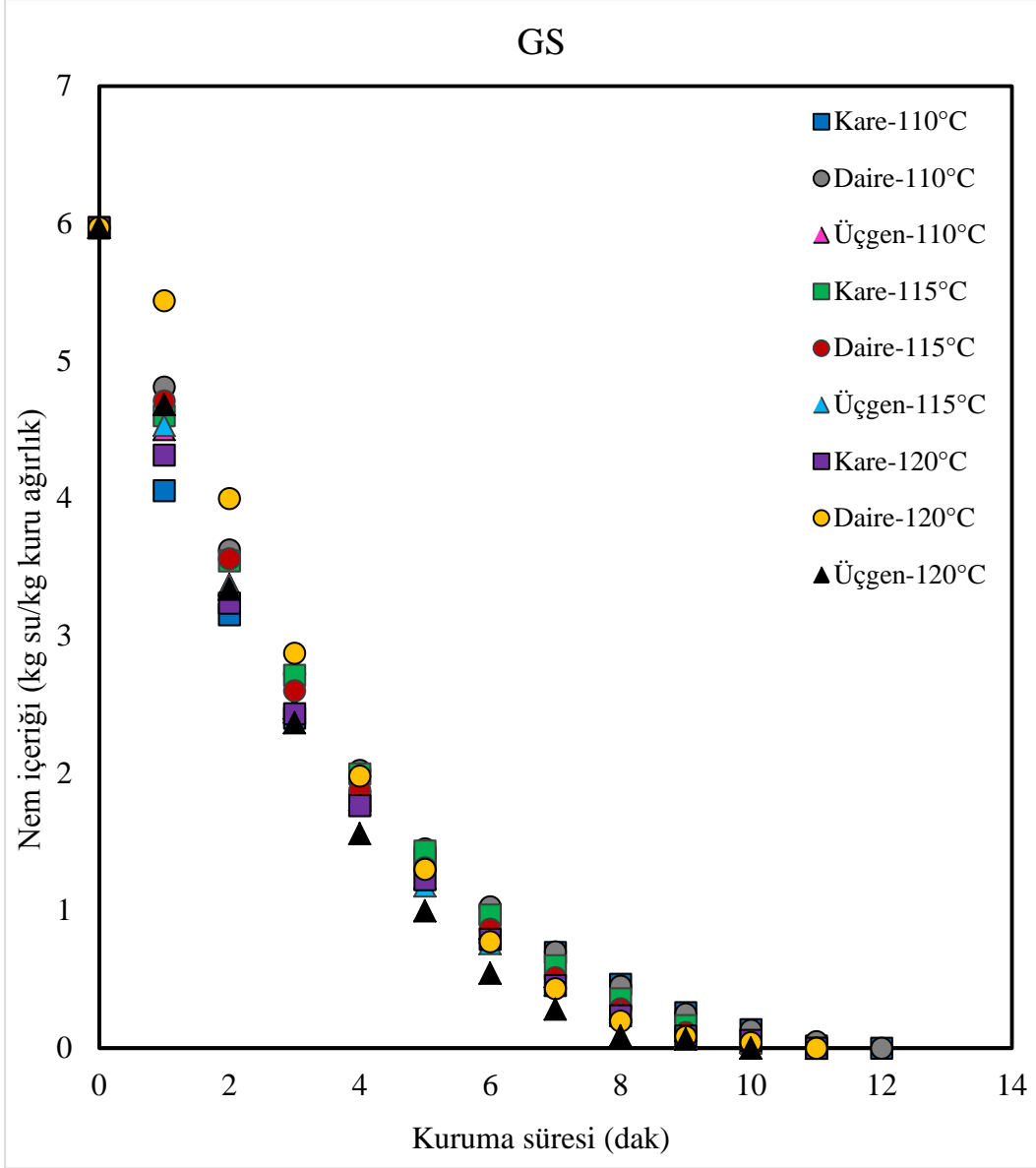
Kurutma testleri, 1.75 m/s hava hızı ve sabit $H_s = 25^{\circ}\text{C}$ doymuş rutubetteki hava ile üç farklı hava sıcaklığında (110°C , 115°C ve 120°C) gerçekleştirildi, 27 farklı deney koşuluna ilişkin veriler elde etmek için deney seti hazırlandı. İlk olarak, kurutucu kararlı hal durumuna ulaşması için, 2 saat süresince boş durumda çalıştırıldı daha sonra her bir numune kurutma haznesine yerleştirilerek kurutma işlemi gerçekleştirildi. Örneklerin ağırlık kaybı ise sabit bir ağırlık kaydedilene dek, her 60 saniyede bilgisayara otomatik olarak kayıt edilerek ve her deney için dokuz tekrar yapılarak ortalama kurutma değerleri belirlendi (Doymaz, 2009).

4.6 Sonuçlar Ve Tartışma

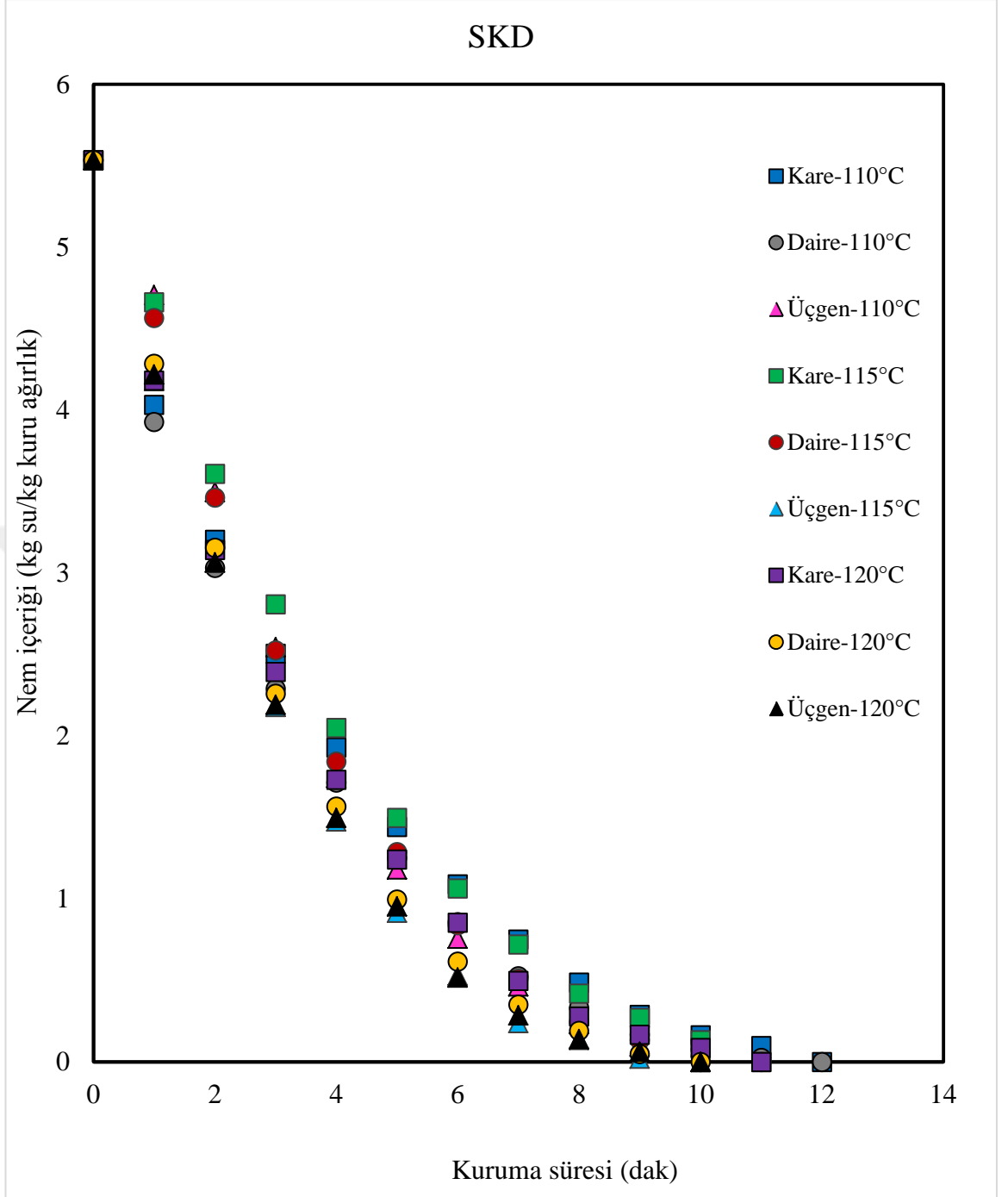
Elde edilen ağırlık kaybı verileri ise, ilgili denklemler (4-2), (4-3) ile nem içeriklerinin hesaplanmasında kullanıldı ve kuruma süresine karşılık nem içeriği kaybı olarak belirlendi. Ayrıca, kuruma hızları ve boyutsuz nem oranları, sırasıyla ilgili denklemler (4-4), (4-5) ile hesaplandı ve elde edilen her bulgular şekillerde, (4.6), (4.7), (4.8), (4.9), (4.10), (4.11), (4.12), (4.13), (4.14), (4.15), (4.16), (4.17), (4.18), (4.19), (4.20), (4.21), (4.22), (4.23), (4.24), (4.25), (4.26), (4.27), (4.28), (4.29), (4.30), (4.31) ve (4.32) gösterildiği gibidir .



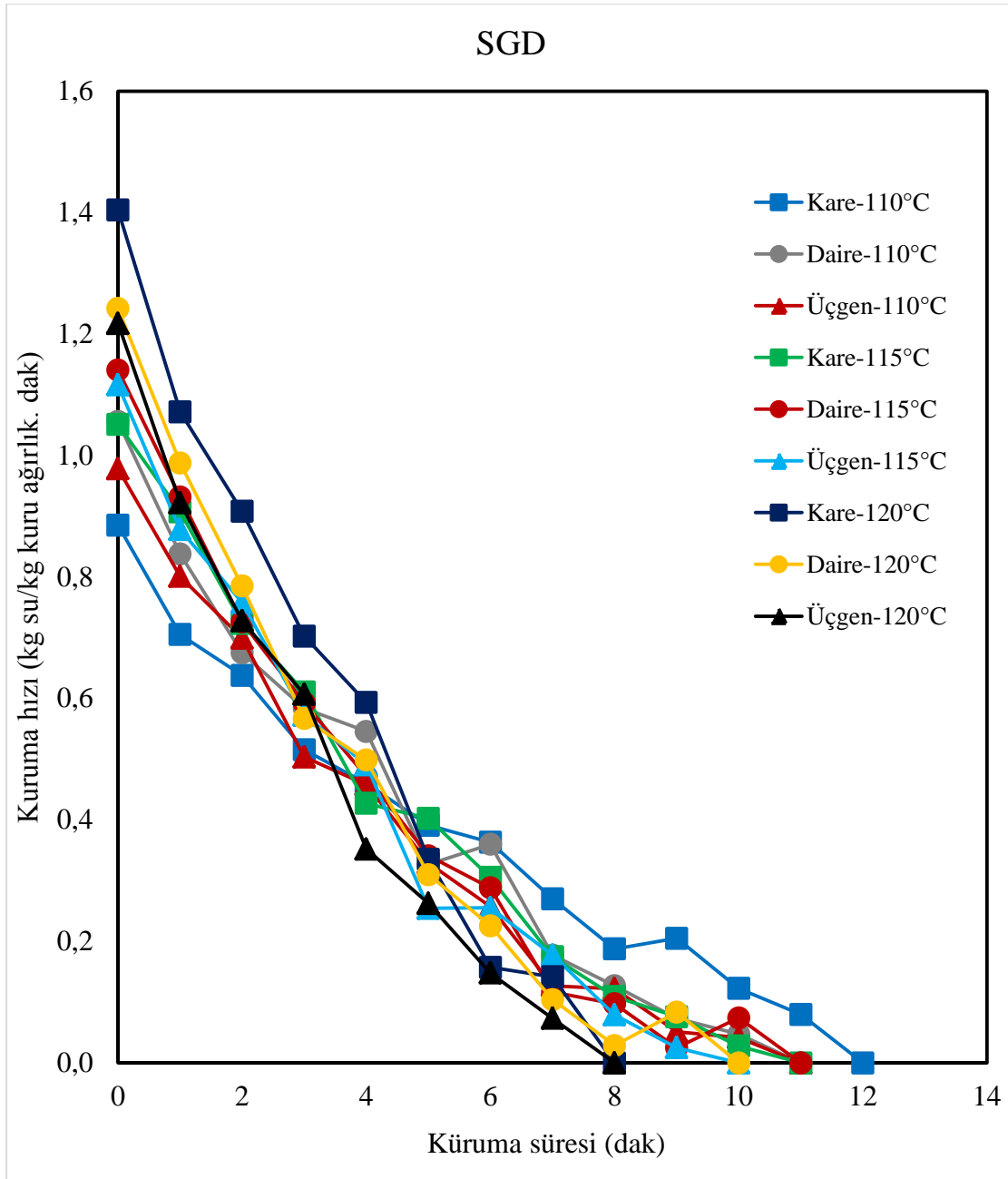
Şekil 4.6: Örnek şekillerin, 110, 115, 120°C sıcaklıklarında nem içeriği üzerindeki etkisi. SGD, V=1.75 m/s, Hs=25°C.



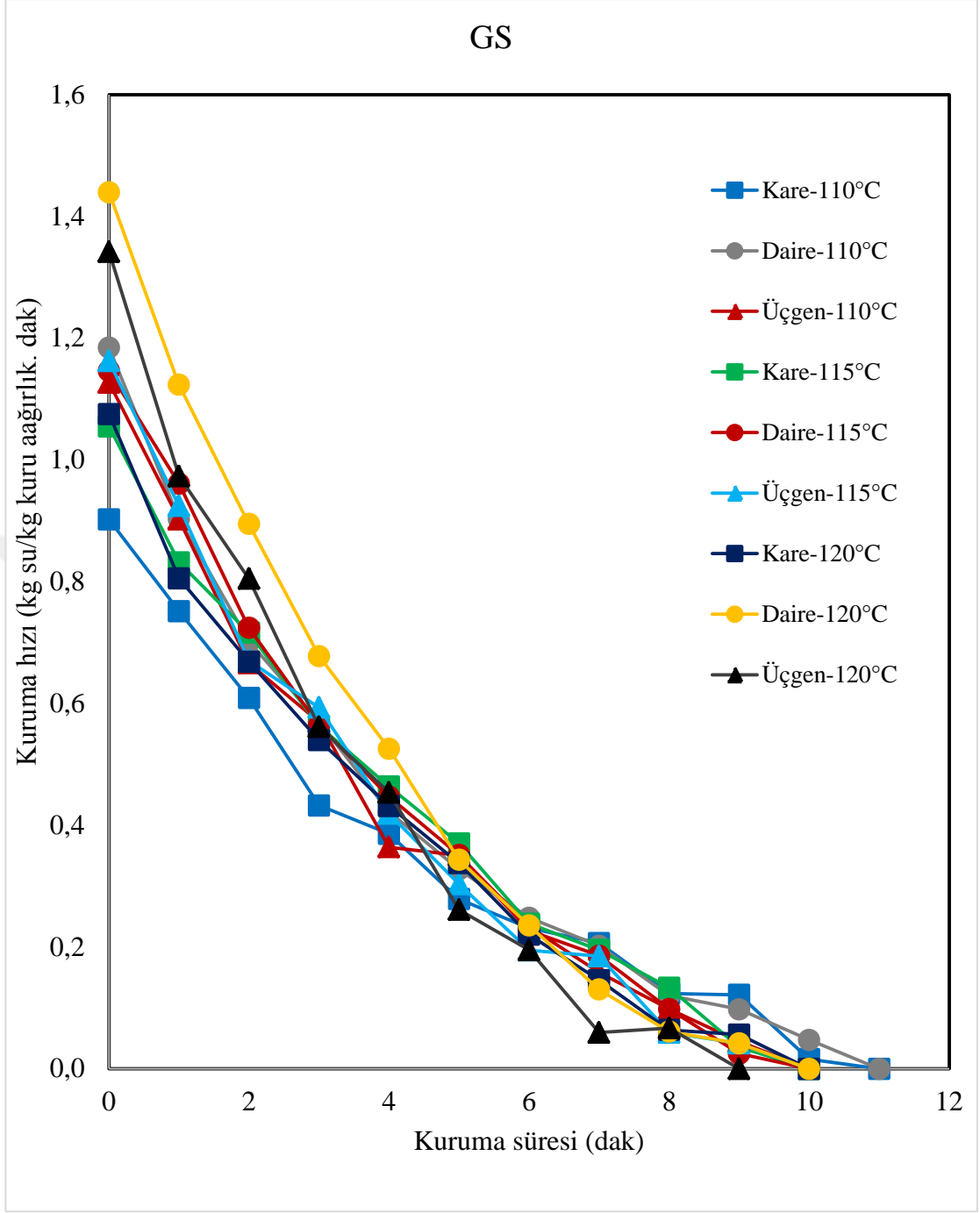
Şekil 4.7: Örnek şekillerin, 110, 115, 120°C sıcaklıklarında nem içeriği üzerindeki etkisi. GS, V=1.75 m/s, Hs=25°C.



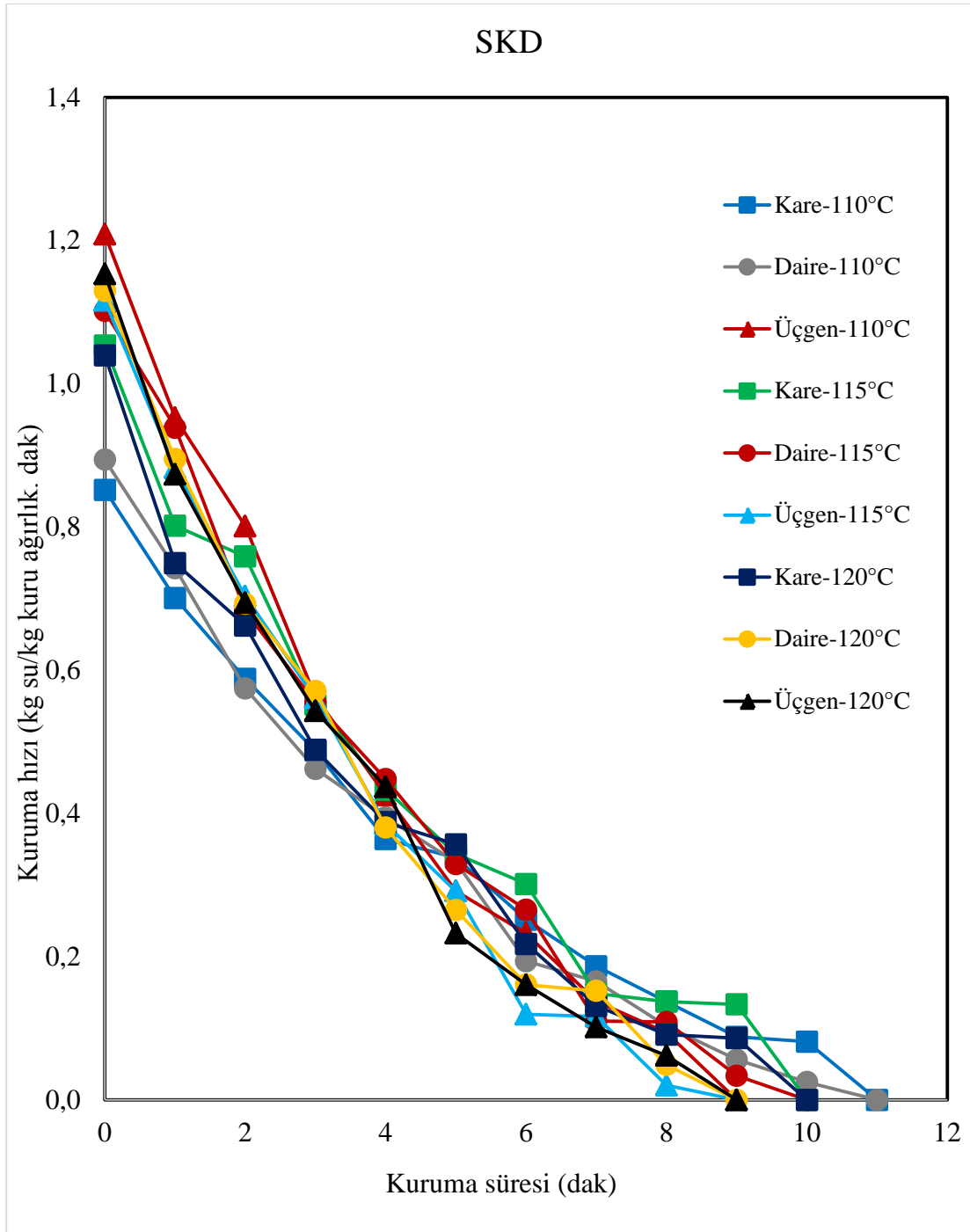
Şekil 4.8: Örnek şekillerin, 110, 115, 120°C sıcaklıklarında nem içeriği üzerindeki etkisi. SKD, V=1.75 m/s, Hs=25°C.



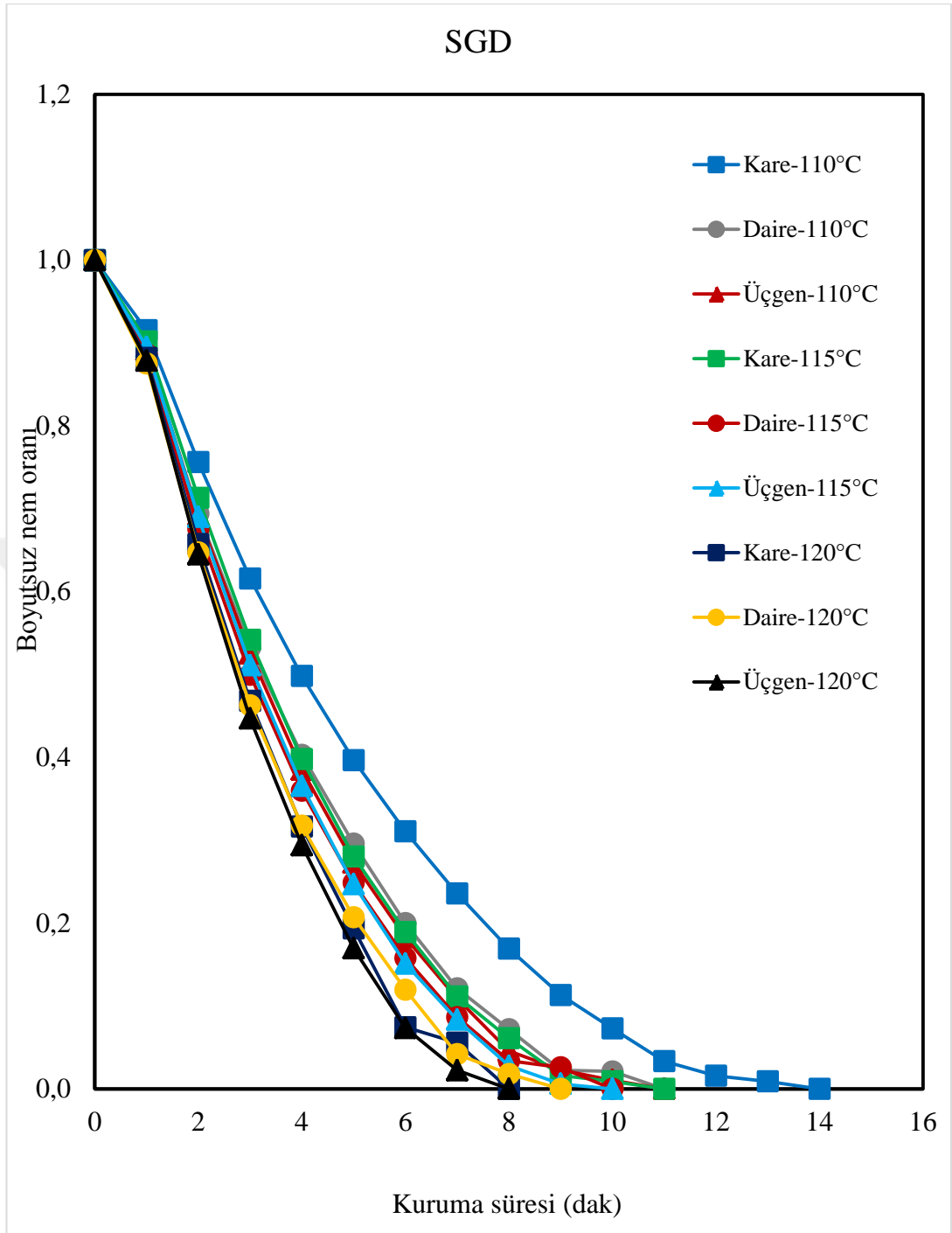
Şekil 4.9: Örnek şekillerin, 110, 115, 120°C sıcaklıklarında kurutma hızı üzerindeki etkisi. SGD, $V=1.75$ m/s, $H_s=25^\circ\text{C}$.



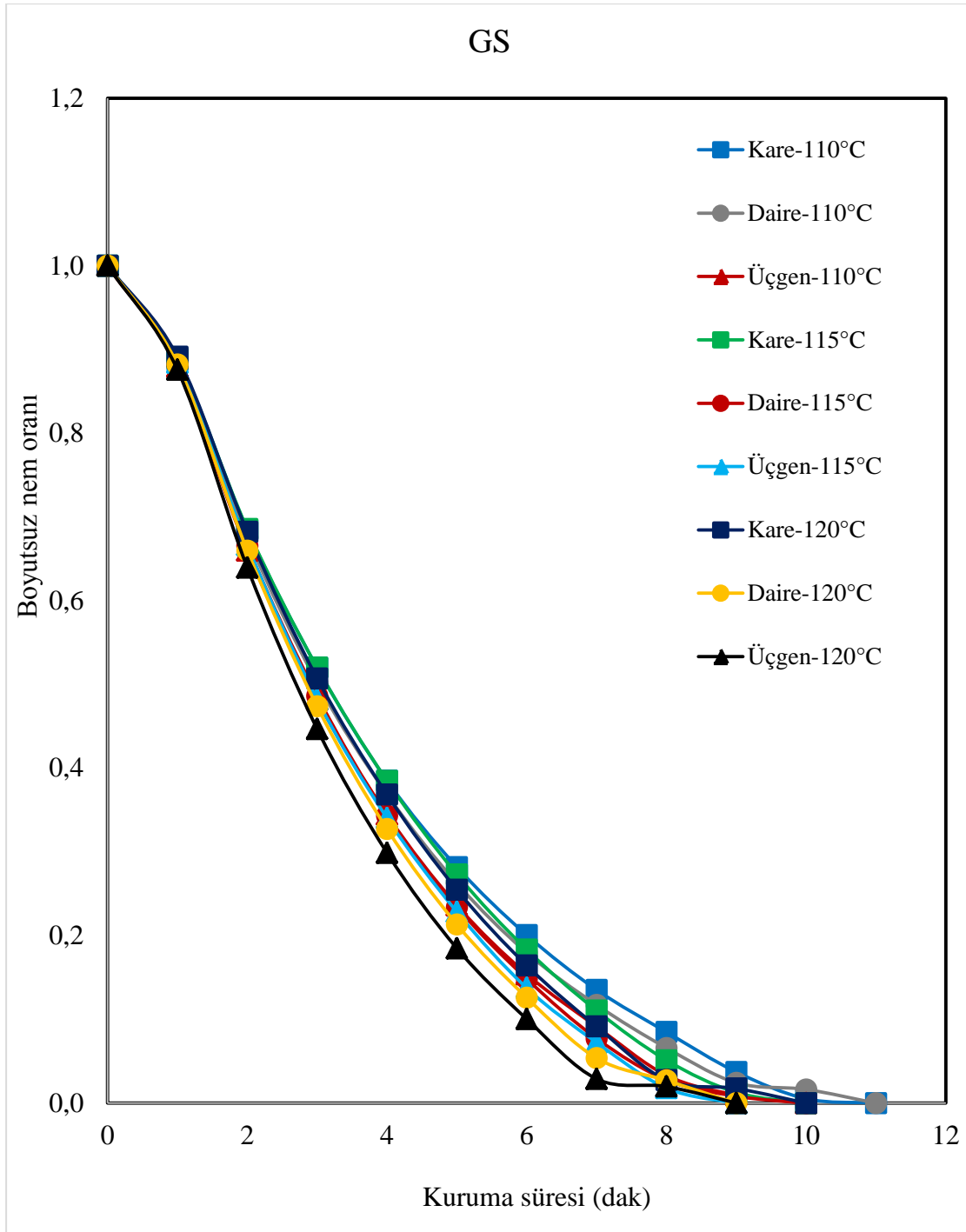
Şekil 4.10: Örnek şekillerin, 110, 115, 120°C sıcaklıklarında kurutma hızı üzerindeki etkisi. GS, V=1.75 m/s, Hs=25°C.



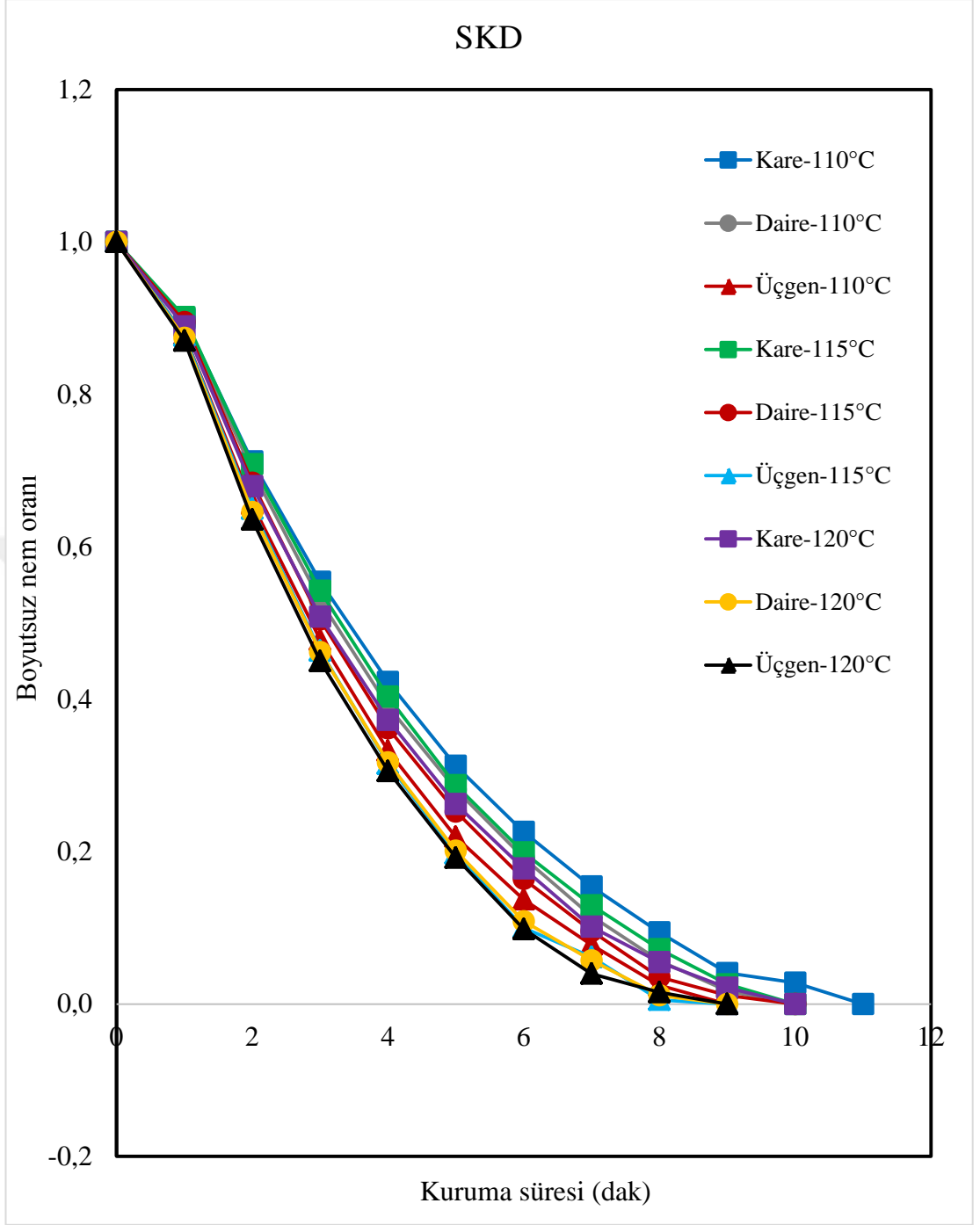
Şekil 4.11: Örnek şekillerin, 110, 115, 120°C sıcaklıklarında kurutma hızı üzerindeki etkisi. SKD, $V=1.75$ m/s, $H_s=25^\circ\text{C}$.



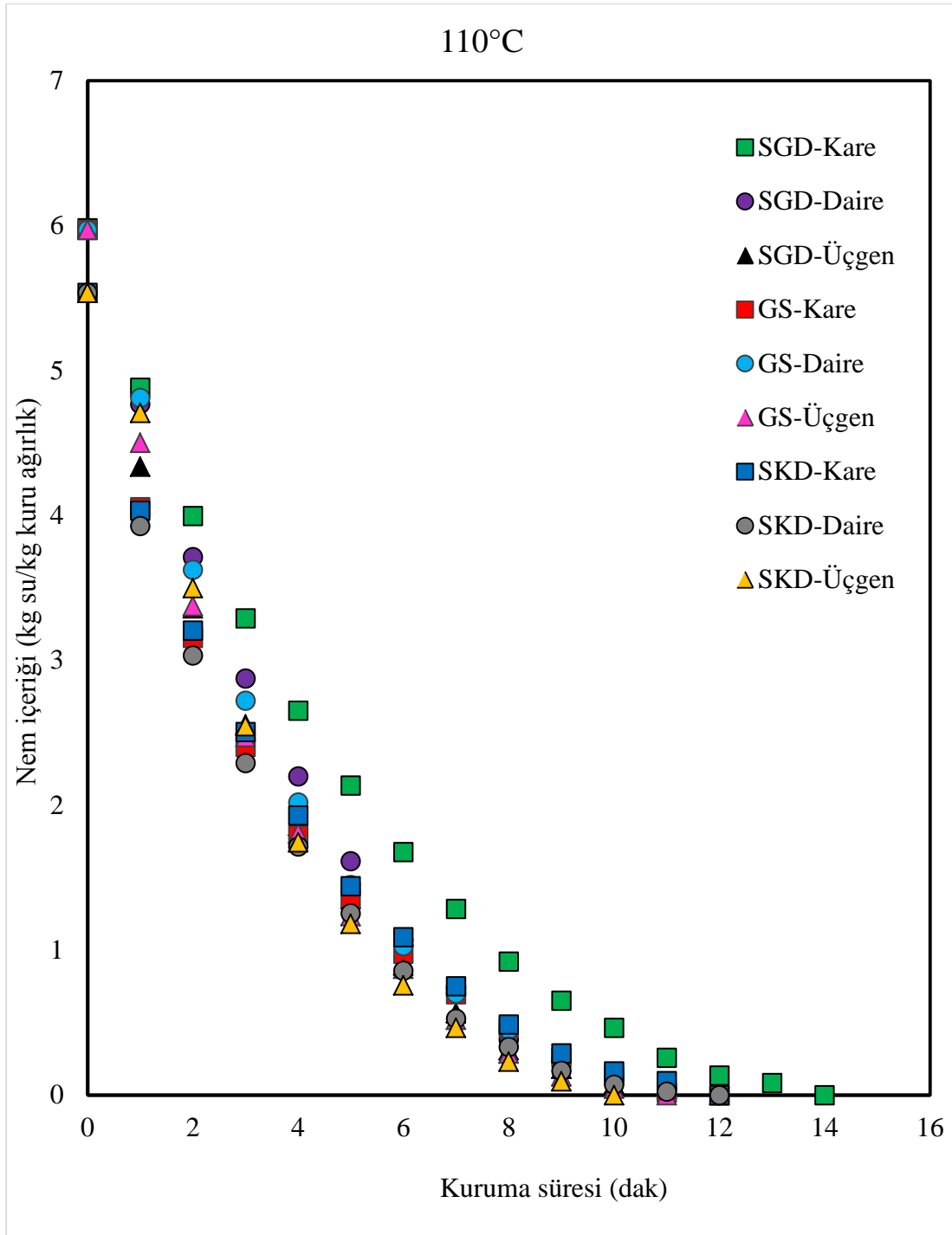
Şekil 4.12: Örnek şekillerin, 110, 115, 120°C sıcaklıklarında nem oranı üzerindeki etkisi. SGD, $V=1.75$ m/s, $H_s=25^\circ\text{C}$.



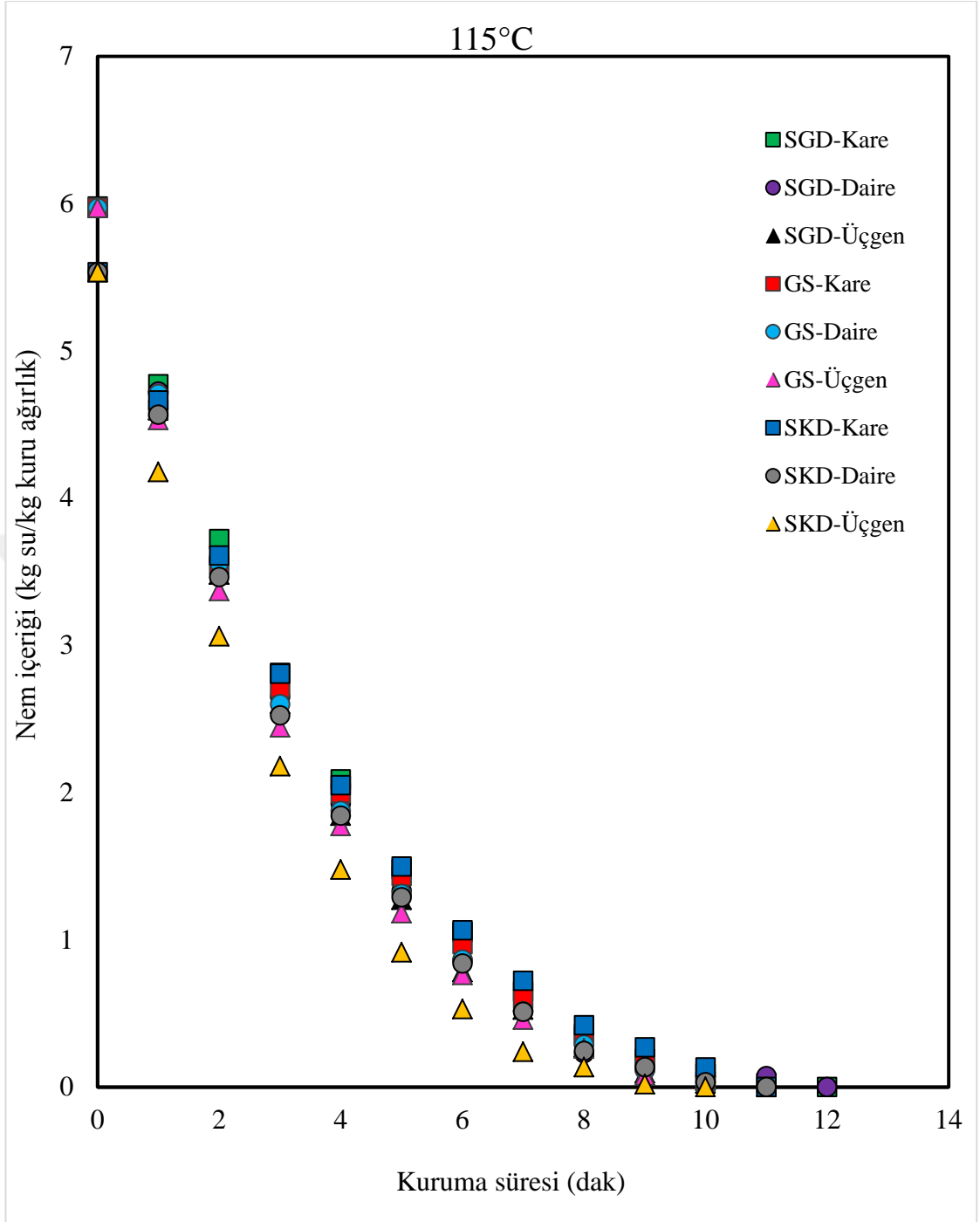
Şekil 4.13: Örnek şekillerin, 110, 115, 120°C sıcaklıklarında nem oranı üzerindeki etkisi. GS, V=1.75 m/s, Hs=25°C.



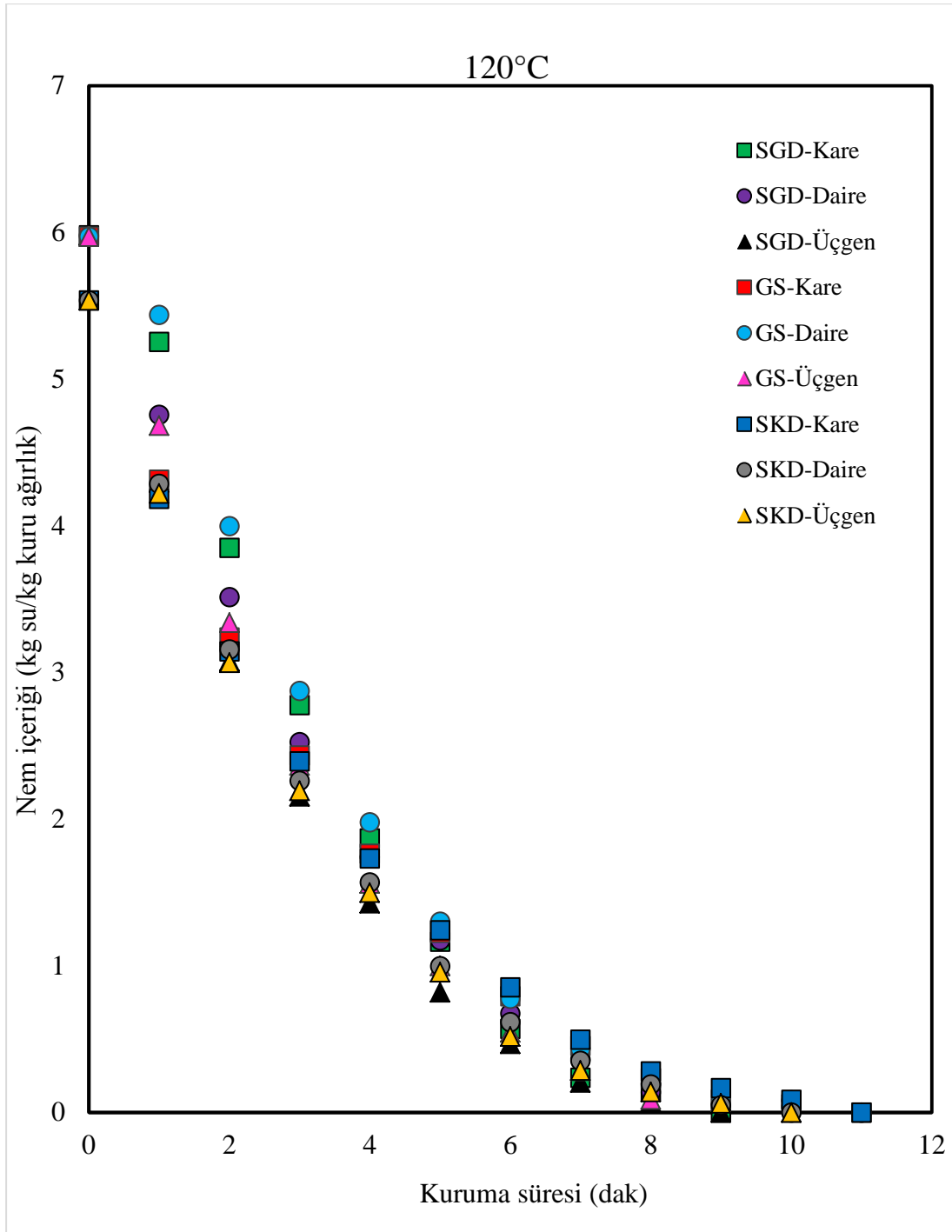
Şekil 4.14: Örnek şekillerin, 110, 115, 120°C sıcaklıklarında nem oranı üzerindeki etkisi. SKD, $V=1.75$ m/s, $H_s=25^\circ\text{C}$.



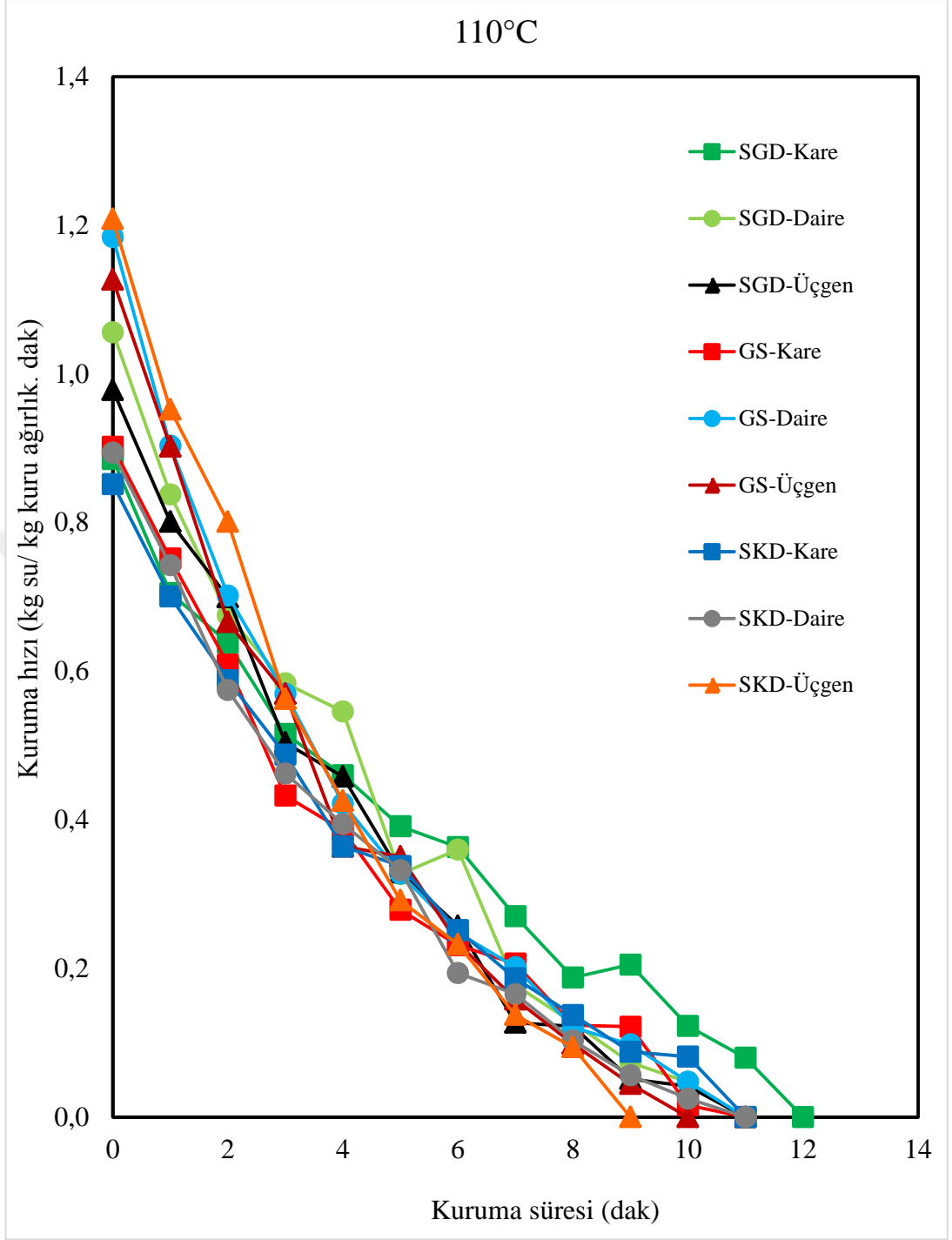
Şekil 4.15: SGD, GS ve SKD elmalarda, 110°C sıcaklıkta, nem içeriğinin zamana bağlı olarak değişimi. $V=1.75$ m/s, $H_s=25^\circ\text{C}$.



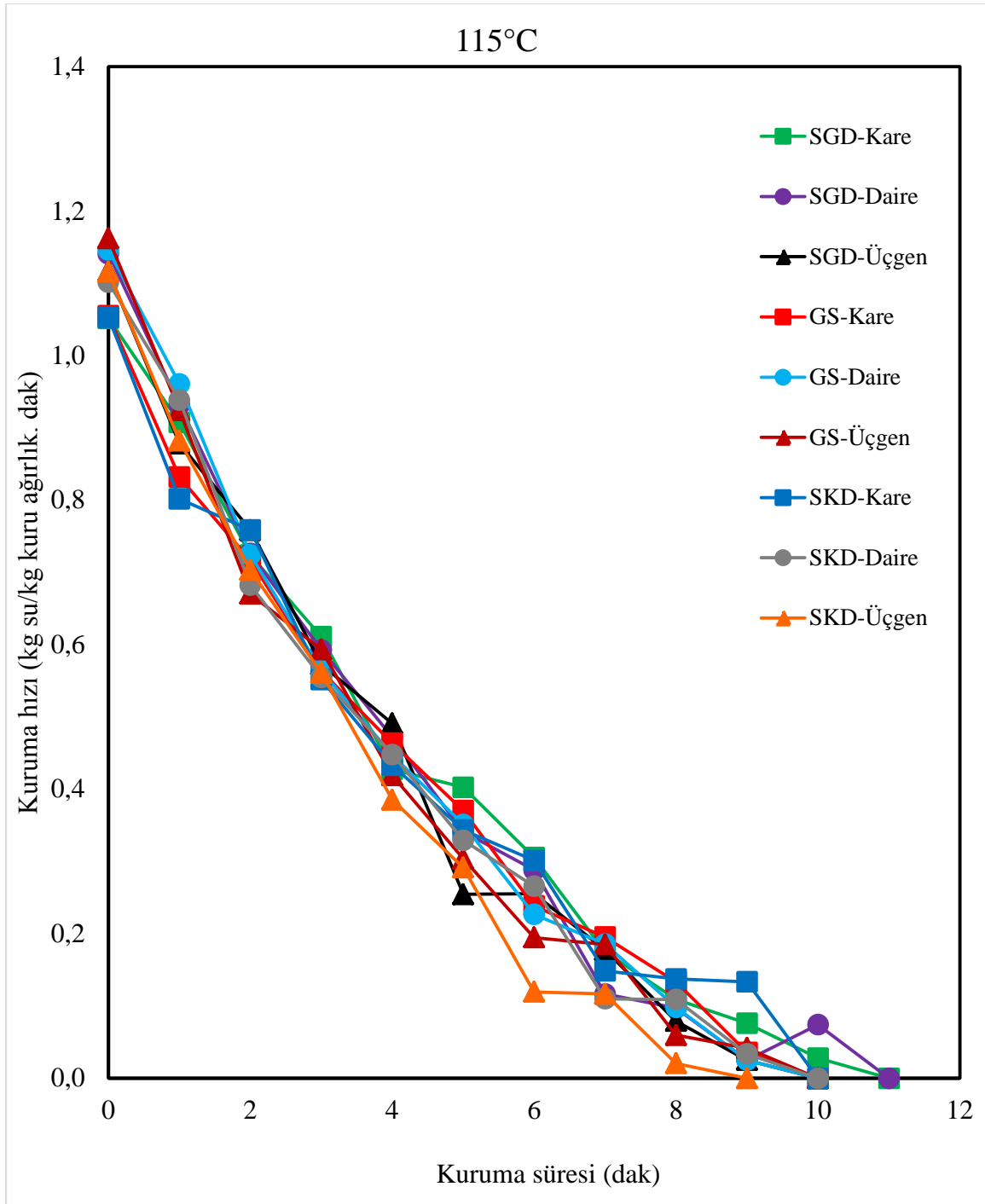
Şekil 4.16: SGD, GS ve SKD elmalarda, 115°C sıcaklıkta, nem içeriğinin zamana bağlı olarak değişimi. $V=1.75$ m/s, $H_s=25^\circ\text{C}$.



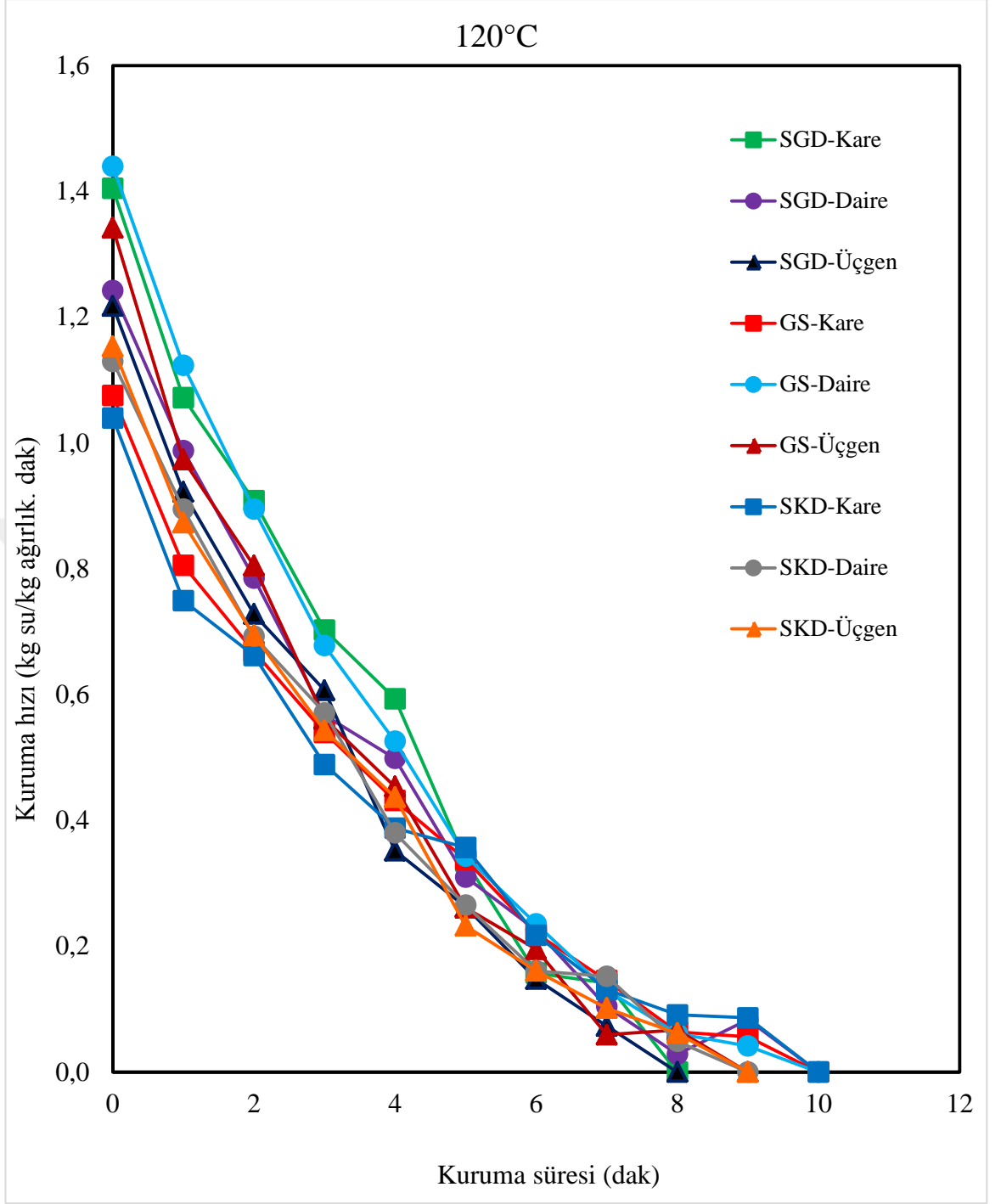
Şekil 4.17: SGD, GS ve SKD elmalarda, 120°C sıcaklıkta, nem içeriğinin zamana bağlı olarak değişimi. $V=1.75$ m/s, $H_s=25^\circ\text{C}$.



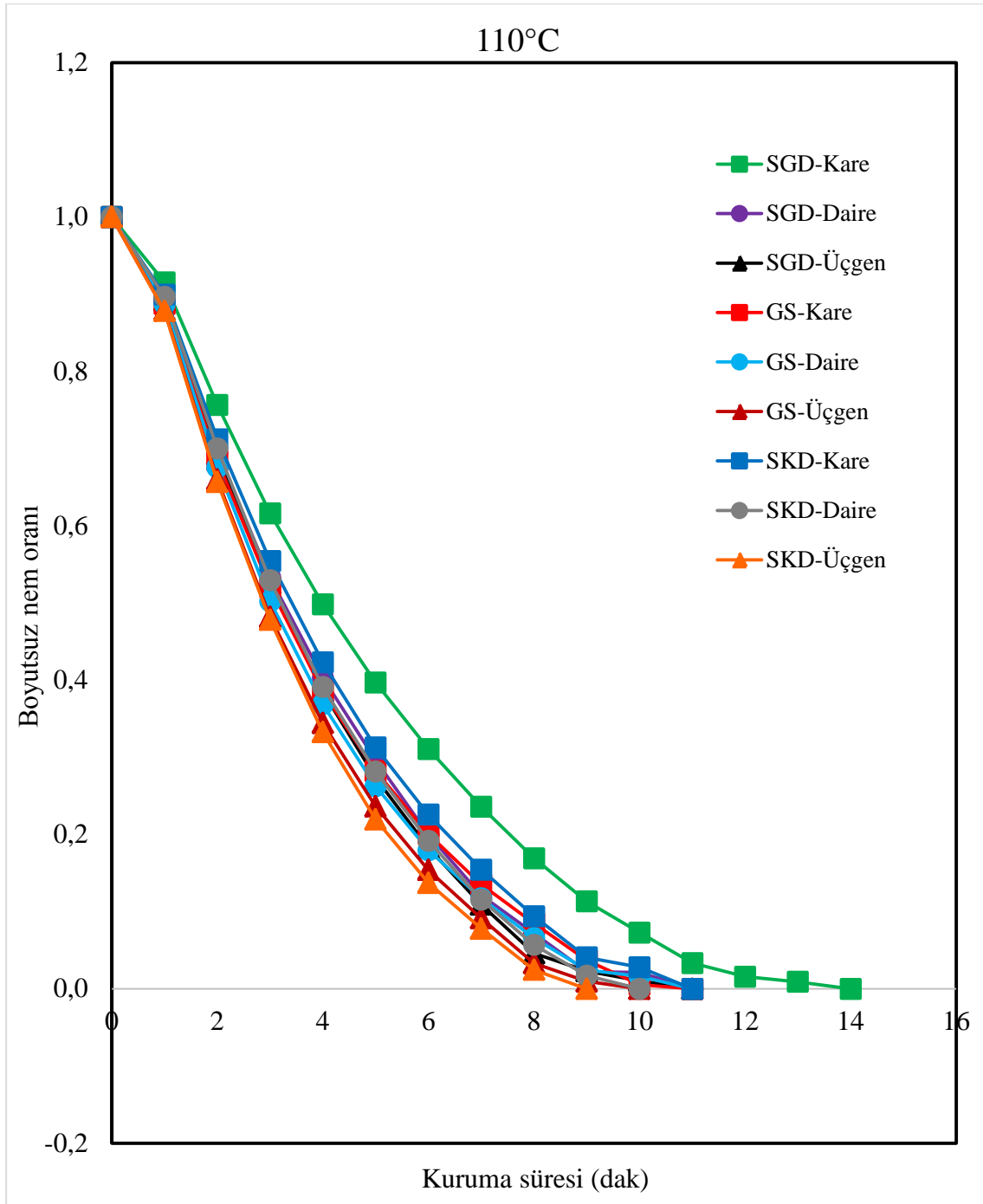
Şekil 4.18: SGD, GS ve SKD elmalarda, 110°C sıcaklıkta, kuruma hızının zamana bağlı olarak değişimi. $V=1.75$ m/s, $H_s=25^\circ\text{C}$.



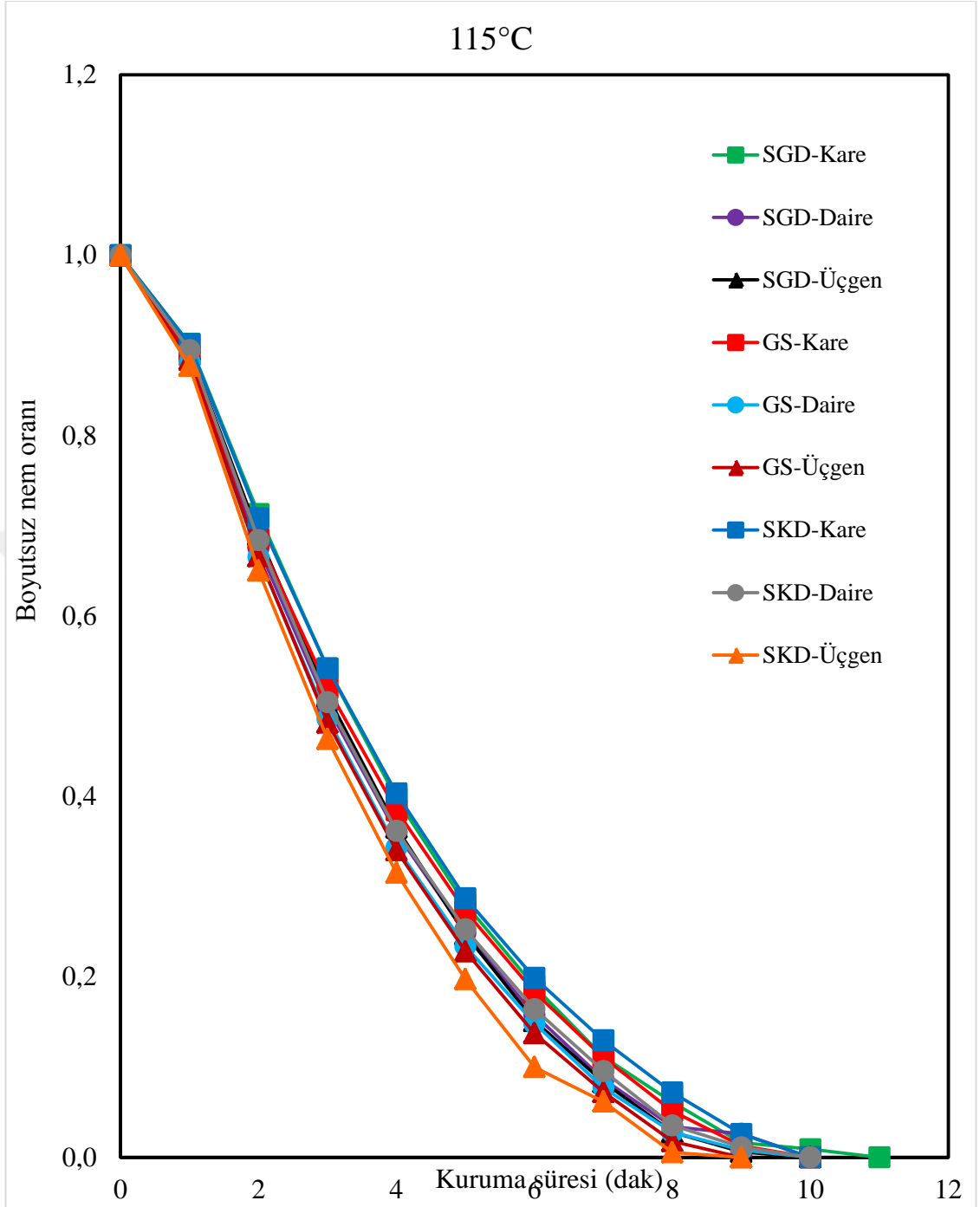
Şekil 4.19: SGD, GS ve SKD elmalarda, 115°C sıcaklıkta, kuruma hızının zamana bağlı olarak değişimi. $V=1.75$ m/s, $H_s=25^\circ\text{C}$.



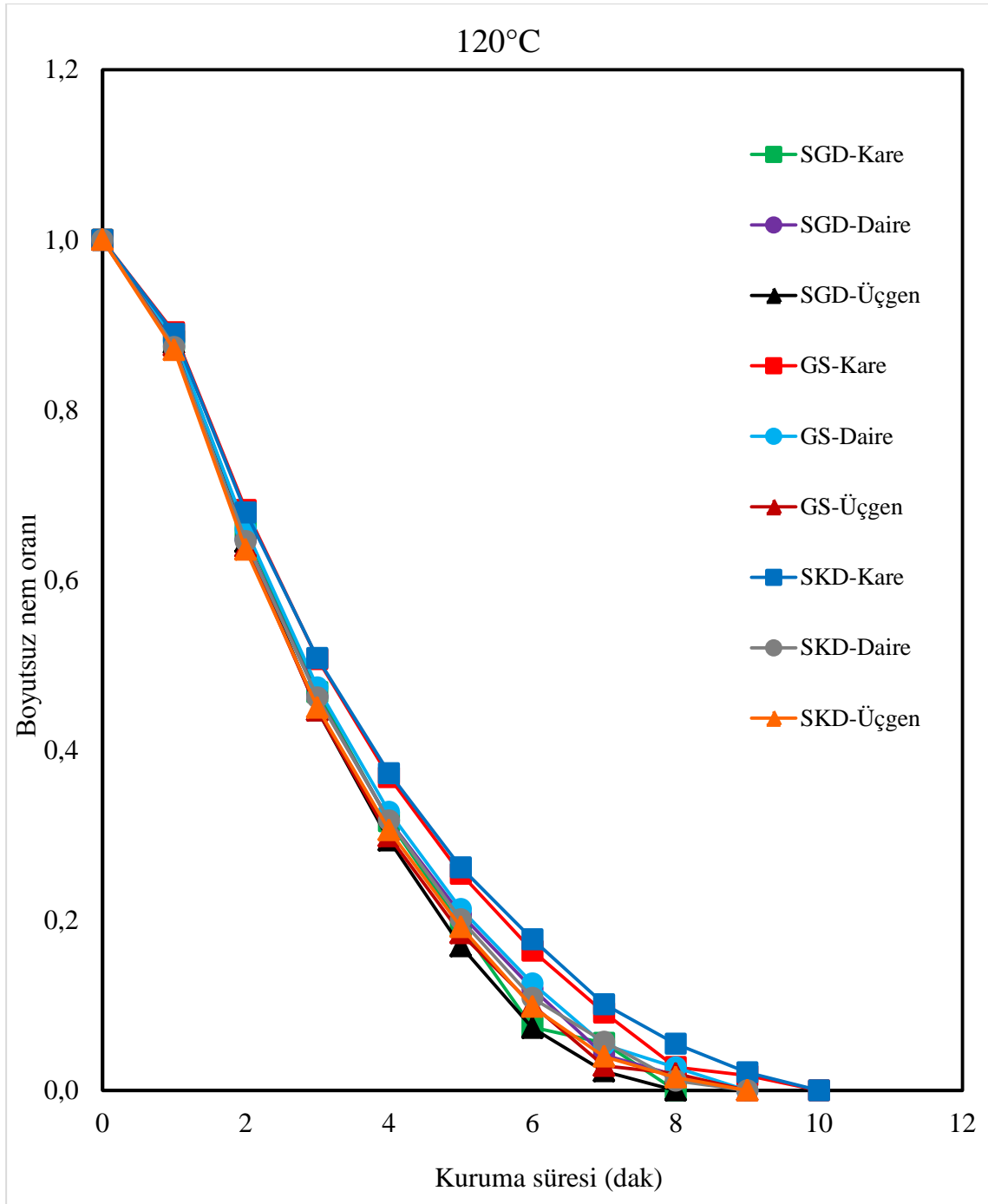
Şekil 4.20: SGD, GS ve SKD elmalarda, 120°C sıcaklıkta, kuruma hızının zamana bağlı olarak değişimi. $V=1.75$ m/s, $H_s=25^\circ\text{C}$.



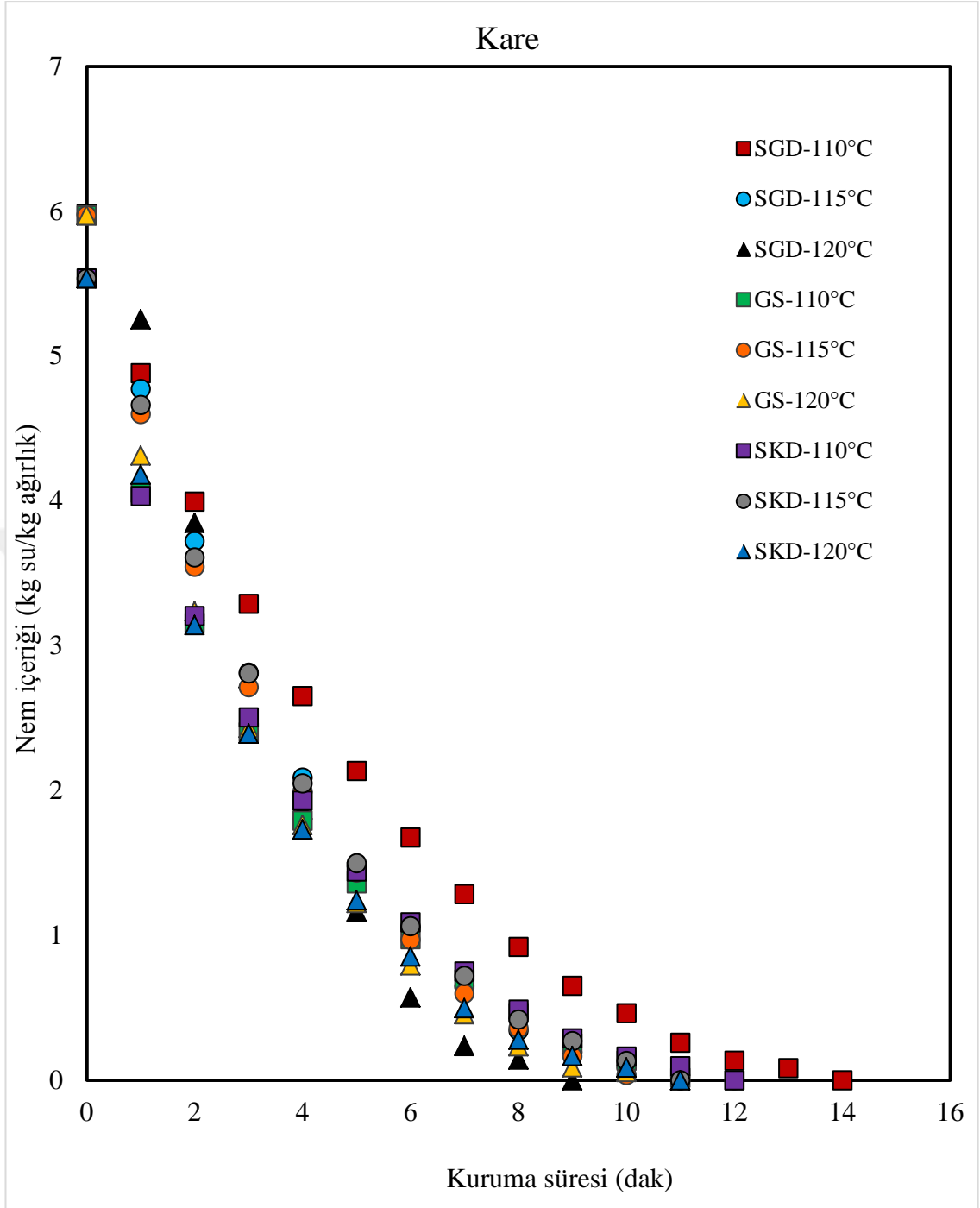
Şekil 4.21: SGD, GS ve SKD elmalarda, 110°C sıcaklıkta, nem oranının zamana bağlı olarak değişimi. $V=1.75$ m/s, $H_s=25^\circ\text{C}$.



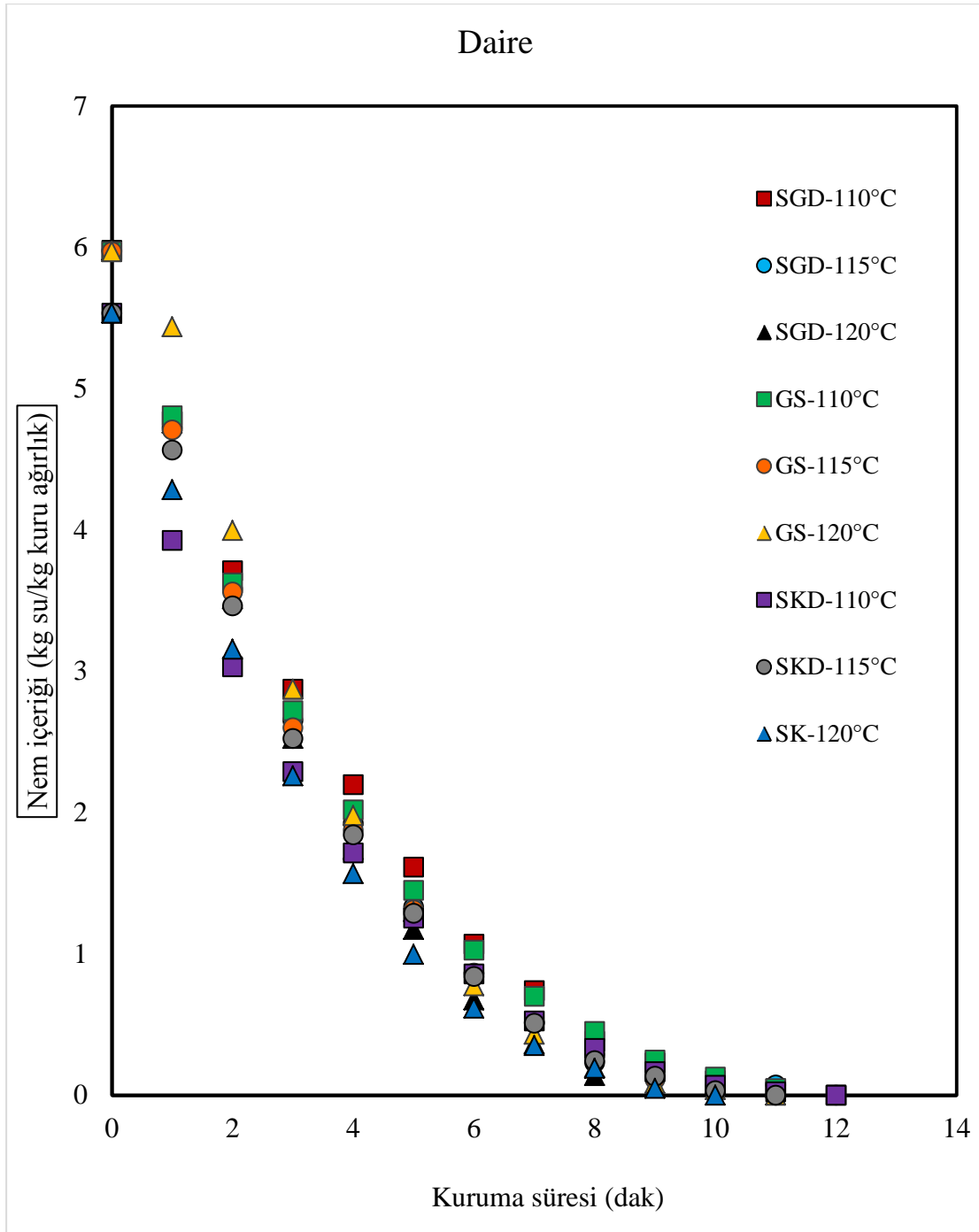
Şekil 4.22: SGD, GS ve SKD elmalarda, 115°C sıcaklıkta, nem oranının zamana bağlı olarak değişimi. $V=1.75$ m/s, $H_s=25^\circ\text{C}$.



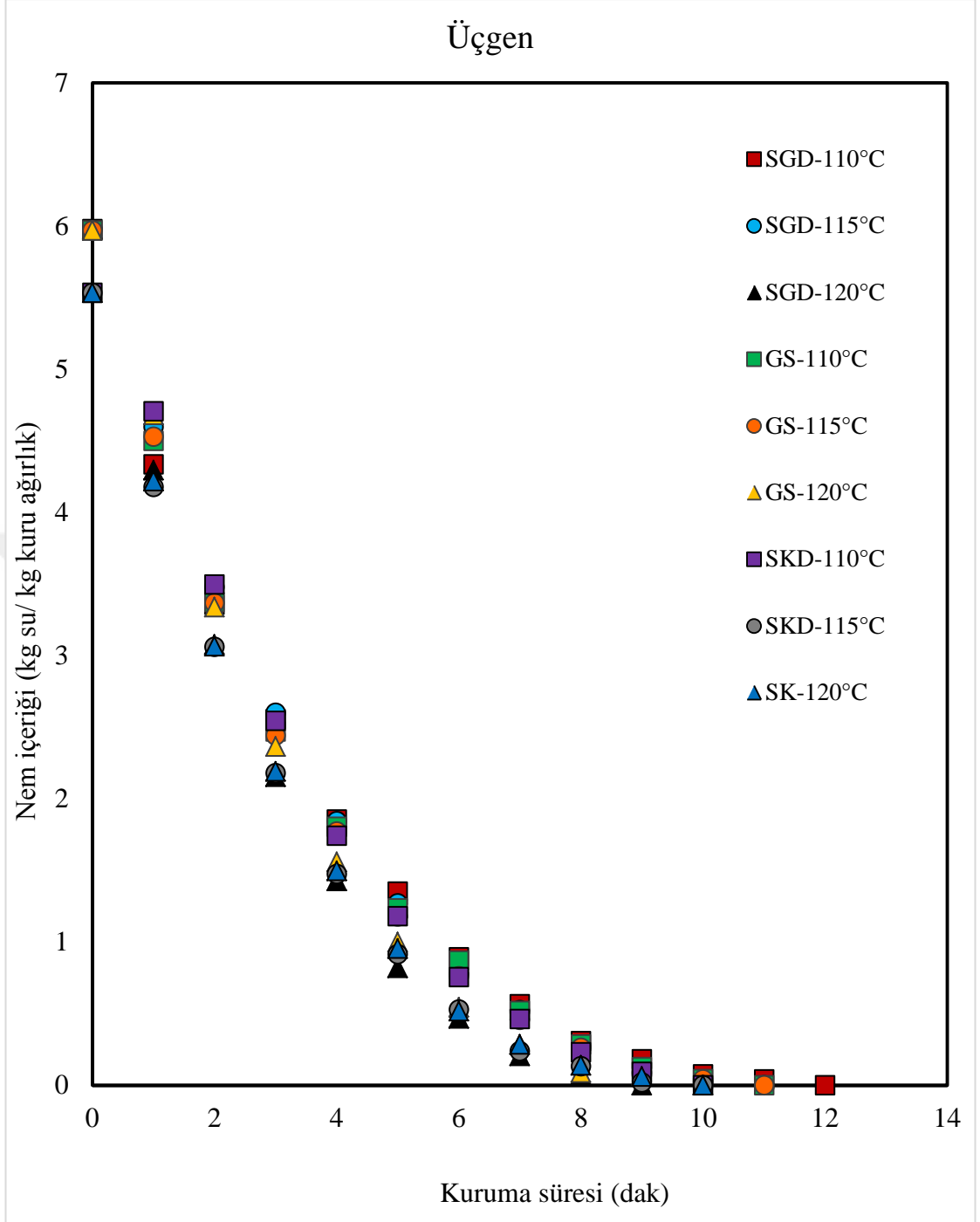
Şekil 4.23: SGD, GS ve SKD elmalarda, 120°C sıcaklıkta, nem oranının zamana bağlı olarak değişimi. $V=1.75$ m/s, $H_s=25^\circ\text{C}$.



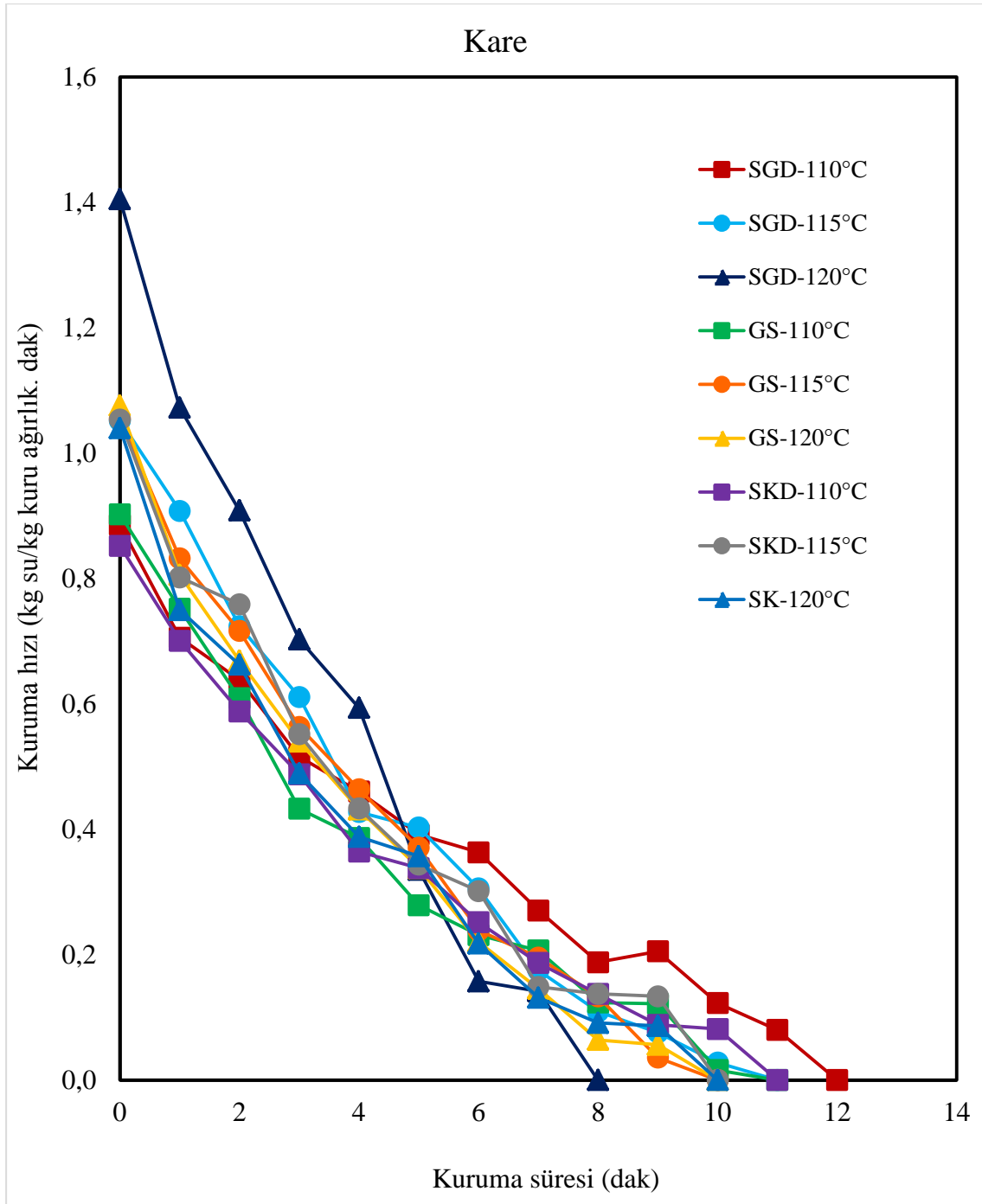
Şekil 4.24: KA örneklerde, 110, 115 ve 120°C sıcaklıklarda, nem içeriğinin zamana bağlı olarak değişimi. $V=1.75$ m/s, $H_s=25^\circ\text{C}$.



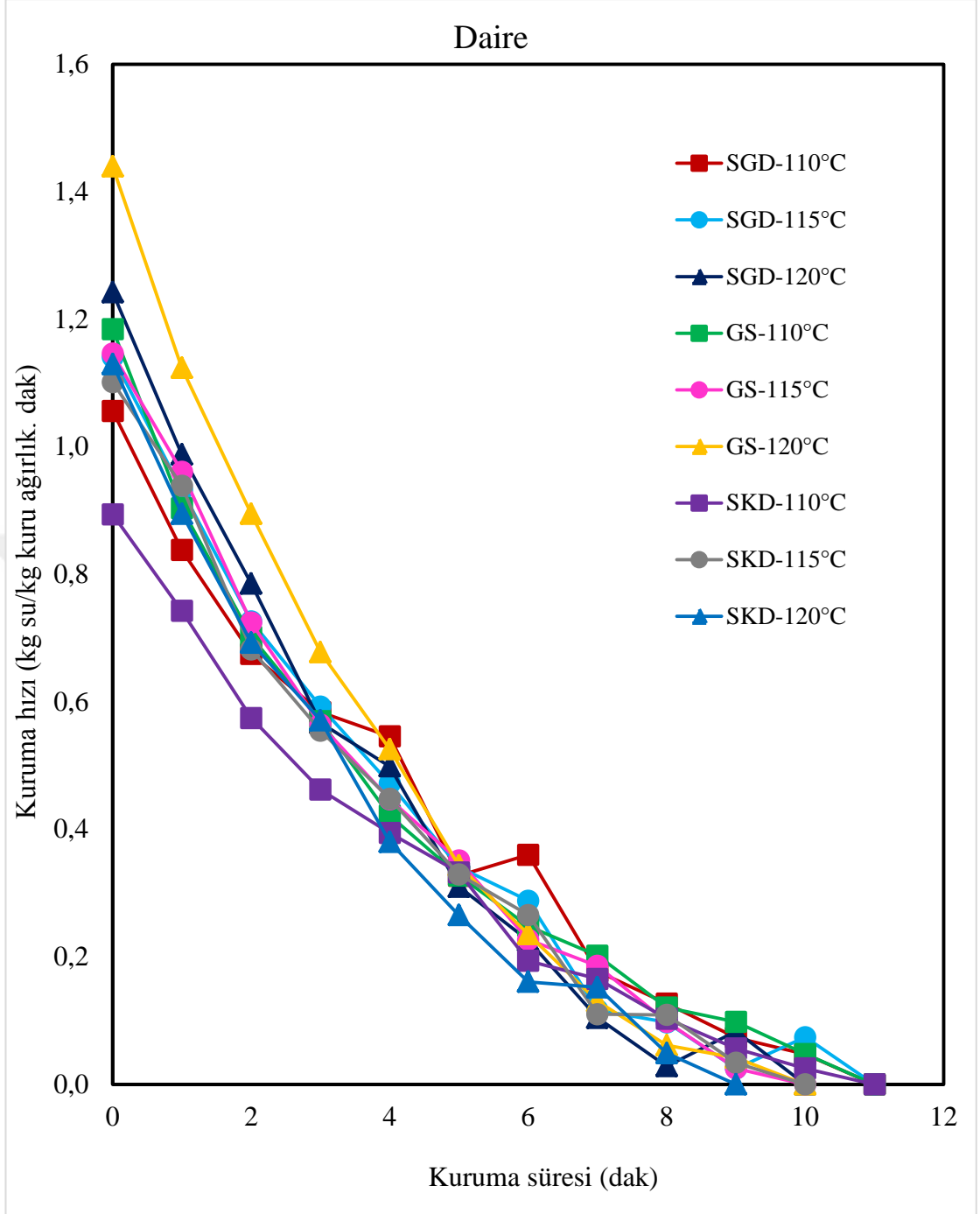
Şekil 4.25: DA örneklerde, 110, 115 ve 120°C sıcaklıklarda, nem içeriğinin zamana bağlı olarak değişimi. $V=1.75$ m/s, $H_s=25^\circ\text{C}$.



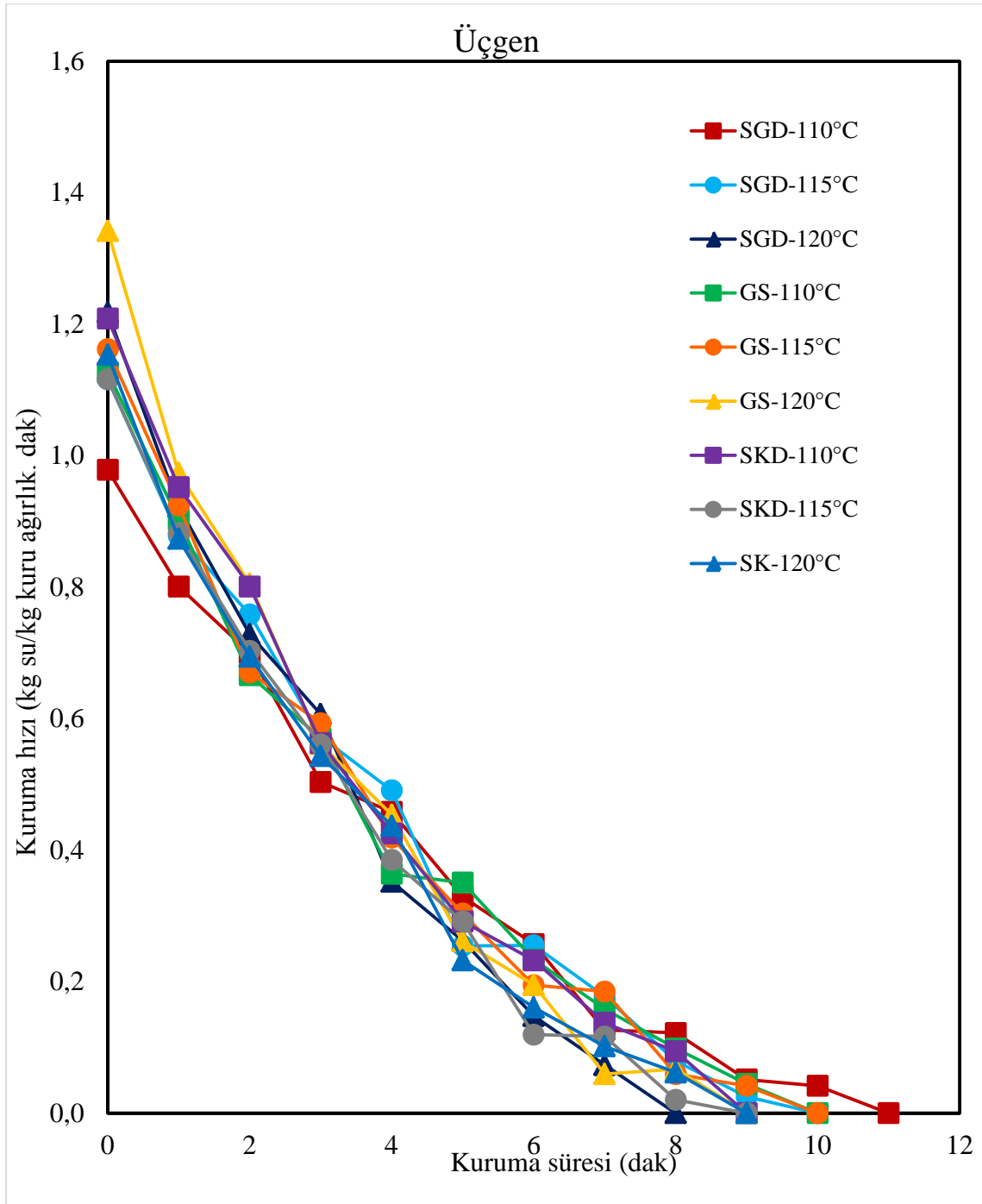
Şekil 4.26: ÜG örneklerde, 110, 115 ve 120°C sıcaklıklarda, nem içeriğinin zamana bağlı olarak değişimi. $V=1.75$ m/s, $H_s=25^\circ\text{C}$.



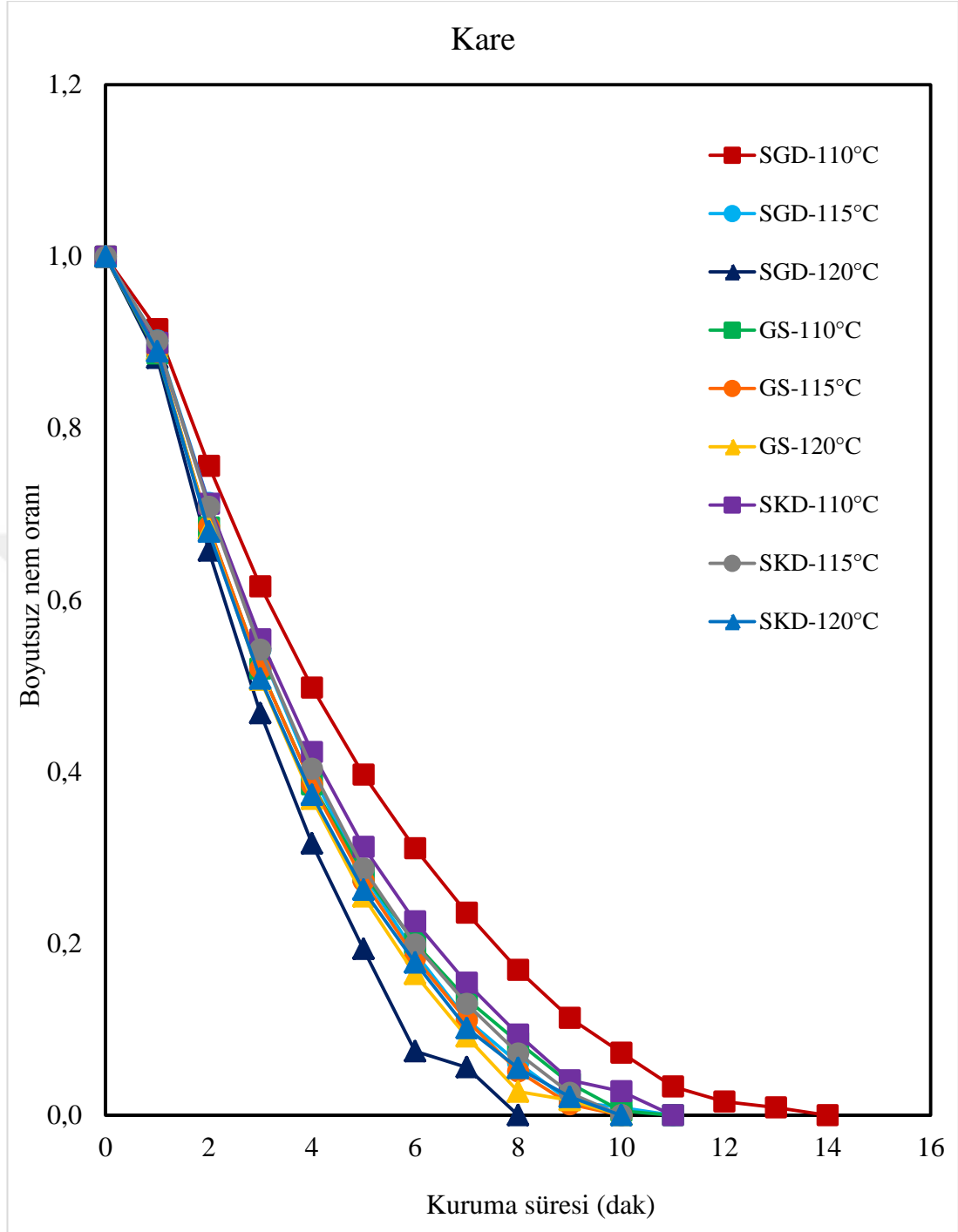
Şekil 4.27: KA örneklerde, 110, 115 ve 120°C sıcaklıklarda, kuruma hızının zamana bağlı olarak değişimi. $V=1.75$ m/s, $H_s=25^\circ\text{C}$.



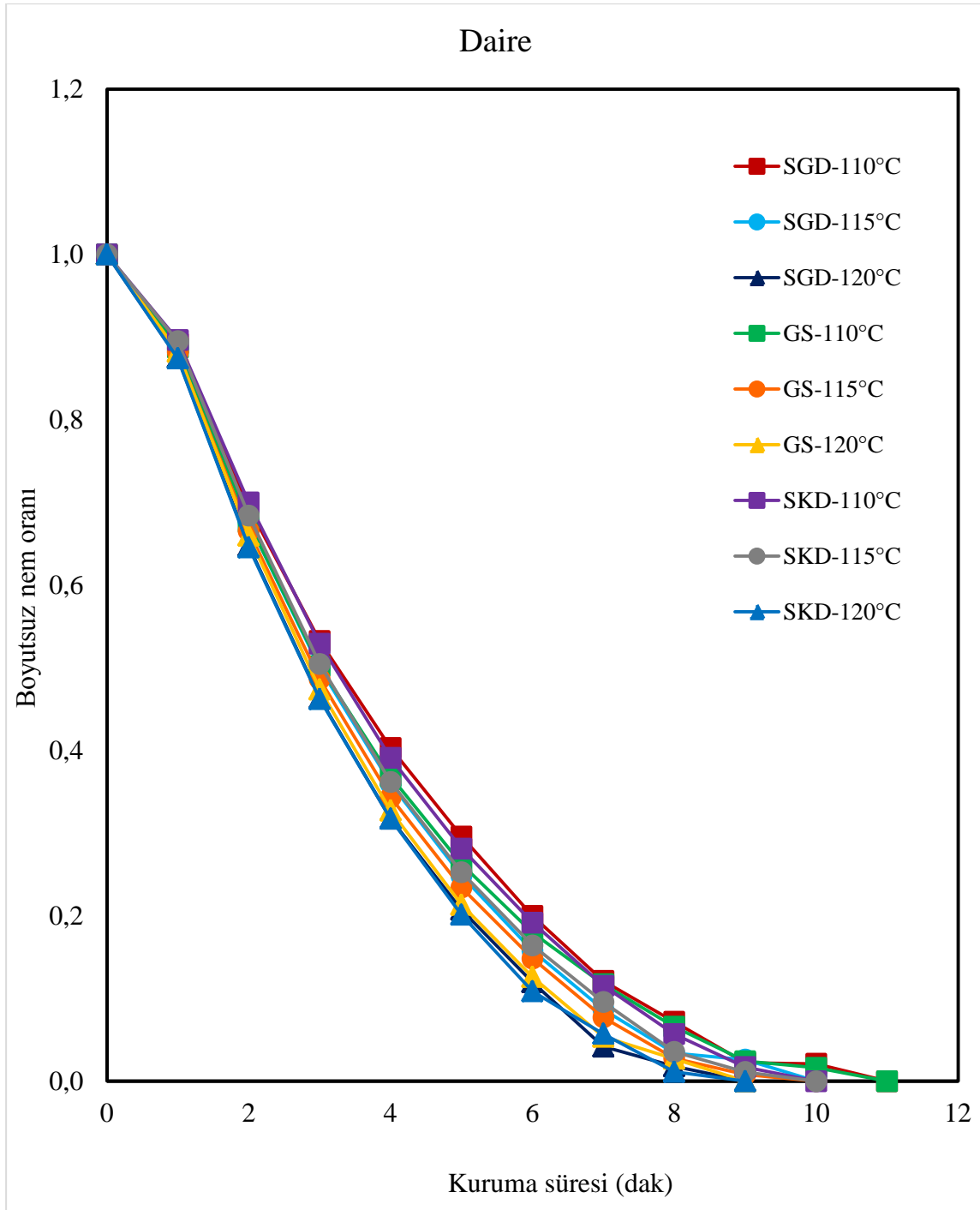
Şekil 4.28: DA örneklerde, 110, 115 ve 120°C sıcaklıklarda, kuruma hızının zamana bağlı olarak değişimi. $V=1.75$ m/s, $H_s=25^\circ\text{C}$.



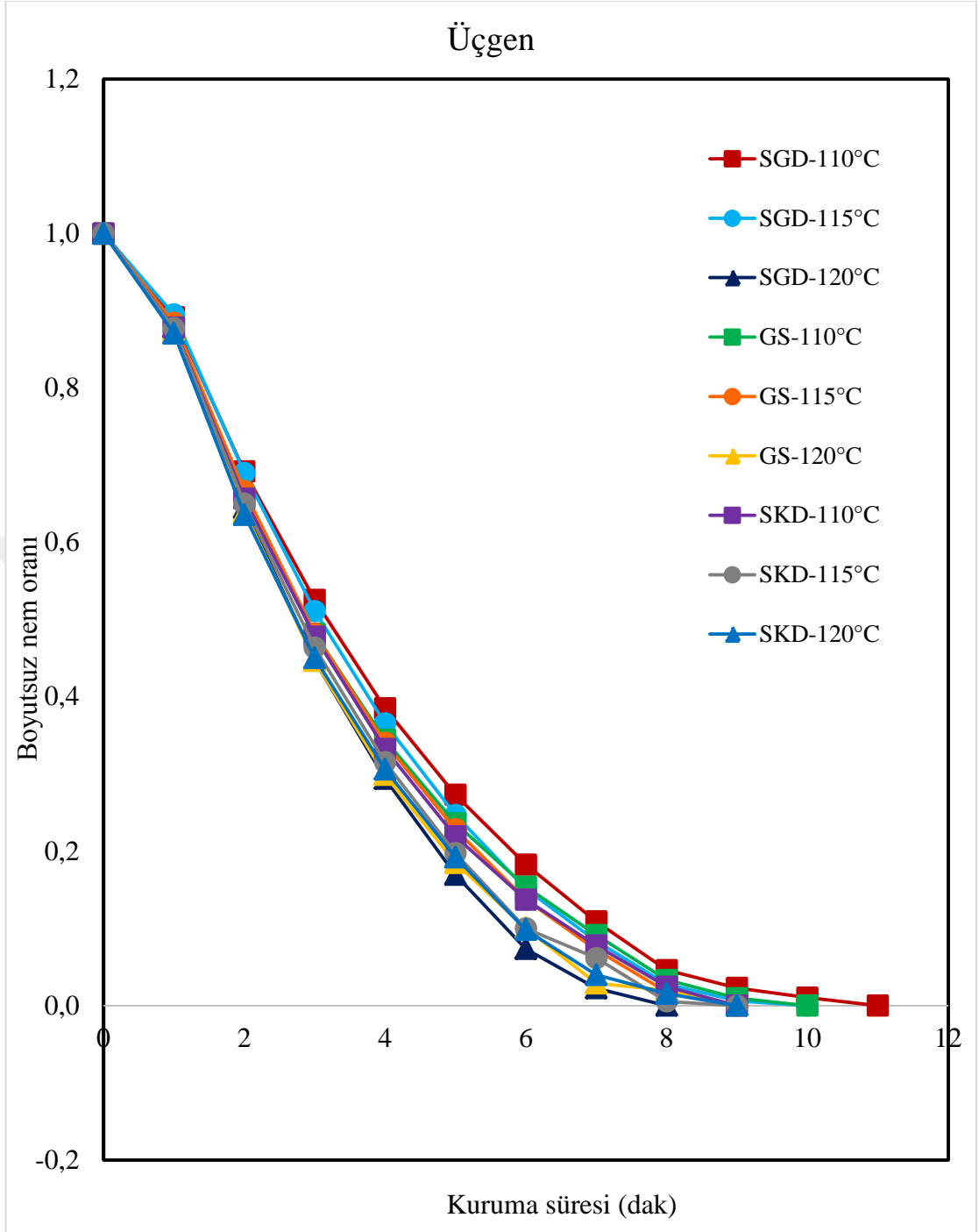
Şekil 4.29: ÜG örneklerde, 110, 115 ve 120°C sıcaklıklarda, kuruma hızının zamana bağlı olarak değişimi. $V=1.75$ m/s, $H_s=25^\circ\text{C}$.



Şekil 4.30: KA örneklerde, 110, 115 ve 120°C sıcaklıklarda, nem oranının zamana bağlı olarak değişimi. $V=1.75$ m/s, $H_s=25^\circ\text{C}$.



Şekil 4.31: DA örneklerde, 110, 115 ve 120°C sıcaklıklarda, nem oranının zamana bağlı olarak değişimi. $V=1.75$ m/s, $H_s=25^\circ\text{C}$.



Şekil 4.32: ÜG örneklerde, 110, 115 ve 120°C sıcaklıklarda, nem oranının zamana bağlı olarak değişimi. $V=1.75$ m/s, $H_s=25^\circ\text{C}$.

4.6.1 Geometrik şekillerin kuruma kinetiği üzerindeki etkisi

Geometrik şekillerin, kuruma kinetiği üzerindeki etkisi, her bir SGD, GS ve SKD elma türleri için ayrı ayrı belirlendi. Şekil 4.6'da ÜG (üçgen) şekilli SGD elmaların kuruma sürelerinin (I) 110°C sıcaklıkta KA (kare) şekilli elmalarından %14.29 (II) 115°C sıcaklıkta KA ve DA şekilli elmalarından %8.34 ve (III) 120°C sıcaklıkta DA şekilli elmalarından %18,18 daha az sürede kuruduğu gözlemlendi. Şekil 4.7'de ÜG şekilli GS elmaların kuruma sürelerinin (I) 110°C sıcaklıkta KA ve DA şekilli elmalarından %8.34 daha kısa olduğu (II) 115°C sıcaklıkta KA ve DA şekilli elmaların kuruma sürelerinin aynı olduğu ve (III) 120°C sıcaklıkta KA ve DA şekilli elmalarından %9.1 daha yavaş sürede kuruduğu belirlendi. Şekil 4.8'de ÜG şekilli SKD elmalarının kuruma sürelerinin (I) 110°C sıcaklıkta KA ve DA şekilli elmalarından %16.67 (II) 115°C sıcaklıkta KA ve DA şekilli elmalarından %9.1 ve (III) 120°C sıcaklıkta KA şekilli elmalarından %9.1 daha az olduğu görüldü. Diğer bir ifade ile her 5°C sıcaklık artışı kuruma yüzdesi %9.1 daha hızlı kuruduğu görüldü. Bu çalışmada diğer bulgularla (starking elma) uyumlu içerisindedir ve nem içeriğinin kuruma süresi ile eksponansiyel şekilde azaldığını belirtilmektedir (Sacilik ve Elicin, 2006). Ayrıca, KA ve DA şekilli örneklerin kuruma sürelerinin ÜG şekilli örneklerin kuruma sürelerinden daha uzun olduğunu bunun keskin kenarları, kurutma havası ve örnekler arasındaki temasının azalmasına yol açtığı, zayıf hava akımının başlıca nedeni olduğu belirtildi ve bu çalışmada diğer bulgularla [elma dilimleri (8×2 cm)] uyumlu içerisindedir (Esfahani ve değ., 2014). Bu durum da, bize göre minimum seviyede keskin kenarları olan ÜG örneklerin, KA ve DA örneklerle karşılaştırdığında, kurutma yüzeyi ile daha fazla temas oluşturduğu ve dolayısıyla daha hızlı kurutma oluşturduğu düşünülmektedir .

Şekil 4.9'da, SGD elmalarına ilişkin en yüksek kuruma hızının (I) 110°C sıcaklıkta KA örneklerinde (II) 115°C sıcaklıkta DA örneklerinde ve (III) 120°C sıcaklıkta KA örneklerinde başladığı görüldü. Şekil 4.10'da GS elmalarının en yüksek kuruma hızı, (I) 110°C sıcaklıkta DA örneklerinde (II) 115°C sıcaklıkta ÜG örneklerde ve (III) 120°C sıcaklıkta DA örneklerinde belirlendi. Şekil 4.11'de SKD elmalarının en yüksek kuruma hızının, 110°C, 115°C ve 120°C sıcaklıkta, ÜG örneklerde başladığı belirlendi. Bu çalışmada diğer bulgularla

(Granny Smith elma) uyumlu içerisinde ve kuruma hızının kuruma süresi ile azaldığını görüldü (Doymaz, 2009). Ayrıca, kuruma hızı, kurutma sürecinin başlangıcında, kurutma sürecinin sonunda olduğundan daha yüksektir bunun nedeni ise kurutma sürecinin başlangıcında, nem içeriği daha yüksek olduğundan dolayı, daha büyük bir nem gradyanı ve itici kuvvet meydana getirmekte ve kurutma süreci ilerledikçe, nem içeriği azalmakta, itici kuvvet kademeli olarak düşmekte ve dolayısıyla kuruma hızı da azalmaktadır (Wang ve değ., 2007).

Şekiller 4.12, 4.13 ve 4.14'te görüldüğü gibi tüm elmaların 110°C, 115°C ve 120°C sıcaklıklarda, (I) ÜG örneklerinin nem oranındaki azalışın diğer şekilli örneklerden daha hızlı, (II) KA örneklerin nem oranındaki azalışın ise, diğer şekilli örneklerden daha yavaş olduğu görüldü. Bu çalışmada diğer bulgularla (kayısı) uyumlu içerisinde ve nem oranının kuruma süresi ile eksponansiyel şekilde azaldığı gösterildi (Toğrul ve Pehlivan, 2003). Tüm elma türlerine ilişkin olarak elde edilen sonuçlar; ÜG örnekleri nem oranındaki azalışının, KA örnekleri nem oranındaki azalıştan, daha hızlı olduğunu gösterdi. Bu durumun muhtemel nedeninin, ÜG örneklerin, yaş örnek ve kurutma ortamı arasındaki ilişkiyi arttıran ve sıcak hava akışının örnek yüzeyinde daha kolay gerçekleşmesine neden olan, keskin kenarlara KA örneklerden, daha az sahip olması ve dolayısıyla ÜG örneklerin, nem oranındaki azalışın diğer örneklerden daha hızlı olmasıdır (Esfahani ve değ., 2014).

4.6.2 Farklı elma türlerinin kuruma kinetiği üzerindeki etkisi

Farklı elma türlerinin, kuruma kinetiği üzerindeki etkisi, her bir numune için 110, 115 ve 120°C sıcaklıklarda ayrı ayrı belirlendi.

Şekil 4.15'te SKD elmalarının 110°C hava sıcaklığında kuruma sürelerinin (I) KA örneklerde, SGD elmalarının kuruma sürelerinden %14.29 daha az olduğu (II) DA örneklerde, SGD ve GS elmalarının kuruma sürelerinin aynı olduğu ve (III) ÜG örneklerde, SGD ve GS elmalarının kuruma sürelerinden sırasıyla, 16.67% ve %9.1 daha az sürede kuruduğu belirlendi. Şekil 4.16'da SKD elmalarının 115°C hava sıcaklığında kuruma sürelerinin (I) KA örneklerde, SGD elmalarının kuruma süresinden %8.34 (II) DA örneklerde, SGD elmalarının kuruma sürelerinden %8.34 ve (III) ÜG örneklerde, SGD ve GS

elmalarının kuruma sürelerinden %9.1 daha az sürede kuruduğu belirlendi. Şekil 4.17’de SGD elmalarının 120°C hava sıcaklığında kuruma sürelerinin (I) KA örneklerde, GS ve SKD elmalarının kuruma sürelerinden %18.81 daha az olduğu (II) DA örneklerde, SKD elmalarının kuruma sürelerinden %10 daha fazla ayrıca, GS elmaların kuruma sürelerinin aynı olduğu ve (III) ÜG örneklerde, GS ve SKD elmalarının kuruma sürelerinden %10 daha az sürede kuruduğu görüldü. Bu çalışmada diğer bulgularla (Granny Smith elma) uyumlu içerisindedir ve nem içeriğinin kuruma süresi ile eksponansiyel şekilde azaldığını görüldü (Doymaz, 2009). Ayrıca, 110°C ve 115°C sıcaklıktaki SKD ve 120°C sıcaklıktaki SGD elmalarının daha az sürede kuruduğu belirlendi. Yapılan diğer bir çalışmada, bizim araştırmamızla paralellik olduğu görüldü bu araştırmada farklı elma türlerine ilişkin mikrografiler (Cryo-SEM), farklı elma türlerinin, parenkimatöz (parenchymatous) dokularında farklılık bulunduğunu gösterilmiştir (Varela ve değ., 2007). Ayrıca elde edilen sonuçlar ise SGD, GS ve SKD elmalarının parenkimatöz dokularındaki farklılığın, kuruma süresi üzerinde etkili olabileceği şeklinde açıklanabilmektedir (Kholmanskiy ve değ., 2013).

Şekiller 4.18, 4.19 ve 4.20’de GS elmalarının 110°C ve 120°C sıcaklıkta DA numunelerde, 115°C sıcaklıkta ÜG örneklerde en yüksek kuruma hızının başladığını belirlendi. Bu çalışmada diğer bulgularla (Granny Smith elma) uyumlu içerisindedir ve kuruma hızının kuruma süresi ile azaldığını belirlendi (Doymaz, 2009). Bu durum da difüzyonun kurumada baskın mekanizma olduğunu göstermektedir (Kara ve Doymaz, 2015). Tüm sıcaklıklarda en yüksek kuruma hızı GS elmalarında görüldü, nedeninin kurutma sürecinin başlangıcında su aktarımı sağlayabilen ve en yüksek kurutma hızını oluşturabilen GS elmaların yapısal bileşimlerindeki SGD ve SKD elmalardan, daha farklı kapiler özellikleri olabileceği düşünüldü. Kurutma sürecine giren elma dokusu, eş zamanlı olarak ısıl ve kütle gradyan streslerine etkisine kaldığı şeklinde açıklanmaktadır (Lewicki ve Pawlak, 2003). Esas ısıl stresler, kurutma sürecinin başında meydana gelmekte ve en yüksek kuruma hızını bu nedenle oluşturmaktadır. Bununla beraber, nem gradyanları, kurutma sürecinin sonuna kadar devam eden stresler meydana getirmekte ve kuruma hızı, nem içeriğinin azalması ile kademeli olarak azalmaktadır (Musielak, 2000). Bu çalışmada diğer

bulgularla (starking elma) uyumlu içerisindedir ve nem oranının kuruma süresi ile eksponansiyel şekilde azaldığını belirlendi (Sacilik ve Elicin, 2006). Şekiller 4.21, 4.22 ve 4.23'te, 110 ve 115°C sıcaklıkta SKD ve 120°C sıcaklıkta SGD elmalarının nem oranındaki azalışının, diğer elma türlerinden daha hızlı olduğunu gösterdi. Bu farklılıkların muhtemel nedeninin SGD, GS ve SKD elmalarının, su aktarım mekanizmasını etkileyebilecek ve nem oranında azalmaya neden olabilecek, iç yapılarındaki farklılıktan kaynaklanabileceği ifade edildi (Kholmanskiy ve değ., 2013).

4.6.3 Farklı hava sıcaklıklarının kuruma kinetiği üzerindeki etkisi

Farklı hava sıcaklıklarının kuruma kinetiği üzerindeki etkisini, SGD, GS ve SKD elmalar için, KA, DA ve ÜG örneklerde, ayrı ayrı belirlendi.

Şekil 4.24'te kare şekilli örneklerin, 120°C sıcaklıktaki kuruma sürelerinin (I) SGD elmalarının, 110°C ve 115°C sıcaklıklardaki kuruma sürelerinden sırasıyla %35.71 ve %25 (II) GS elmalarının, 110°C sıcaklıktaki kuruma sürelerinden %8.34 ve (III) SKD elmalarının, 110°C sıcaklıktaki kuruma sürelerinden %8.34 daha az sürede kuruduğu belirlendi. Şekil 4.25'te daire şekilli örneklerin, 120°C sıcaklıktaki kuruma sürelerinin (I) SGD elmalarının, 110°C ve 115 °C sıcaklıklardaki kuruma sürelerinden %8.34 (II) GS elmalarının, 110°C sıcaklıktaki kuruma sürelerinden %8.34 ve (III) SKD elmalarının, 110°C ve 115°C sıcaklıklardaki kuruma sürelerinden sırasıyla, %16.67 ve %9.1 daha az sürede kuruduğu belirlendi. Şekil 4.26'da üçgen şekilli örneklerin, 120°C sıcaklıktaki kuruma sürelerinin (I) SGD elmalarının, 110°C ve 115 °C sıcaklıklardaki kuruma sürelerinden sırasıyla, %25 ve %18.81 daha yavaş olduğu, (II) GS elmalarının, 110°C ve 115 °C sıcaklıklardaki kuruma sürelerinden %9.1 daha az olduğu ve (III) SKD elmalarının, 110°C ve 115 °C sıcaklıklardaki kuruma sürelerinin aynı olduğu görüldü. Bu çalışmada diğer bulgularla (Granny Smith elma) uyumlu içerisindedir ve nem içeriğinin kuruma süresi ile eksponansiyel şekilde azaldığını belirtilmektedir (Doymaz, 2009). Daha yüksek sıcaklıklarda kuruma süresi azalmakta, ayrıca elmaların iç kısmındaki buhar basıncının ve yüzeyindeki nem aktarımının artması sebebiyle kurutma hızını arttırdığını ifade edilmektedir (Zhu ve Shen, 2014). Daha yüksek

sıcaklıklarda kuruma süresinin azalmasına ilişkin benzer sonuçlar, literatürde de yer almaktadır (Sacilik ve Elicin, 2006).

Şekil 4.27’de kare şekilli örneklerin en yüksek kuruma hızının, (I) 110 ve 115°C sıcaklıkta GS elmalarda ve (II) 120°C sıcaklıkta SGD elmalarda gözlemlendiği belirlendi. Şekil 4.28’de daire şekilli örneklerin en yüksek kuruma hızı, 110°C, 115°C ve 120°C sıcaklıkta, GS elmalarda görüldü. Şekil 4.29’da üçgen şekilli örneklerin en yüksek kuruma hızının (I) 110°C sıcaklıkta SKD elmalarda (II) 115°C ve 120°C sıcaklıkta GS elmalarda gözlemlendiği belirlendi. Bu çalışmada diğer bulgularla (kayısı) uyumlu içerisindedir ve kuruma hızının kuruma süresi ile azaldığını görüldü (Toğrul & Pehlivan, 2003). Daha yüksek hava sıcaklıkları, su hareketini hızlandırmakta ve kuruma hızında artışa yol açmaktadır. Buna ek olarak; Granny Smith (Doymaz, 2009) ve Red Delicious elmalarına (Srikiatden ve Roberts, 2005) ilişkin raporlanan sonuçlar ile benzerdir, fakat mercimek (Karatas, 1997), domates damlacıkları (Karataş ve Esin, 1994) ve antepfıstığına (Maskan ve Karataş, 1997) olduğu gibi sabit kuruma hızına sahip bazı gıda ürünlerinin kurutulmasına ilişkin elde edilen sonuçlardan farklıdır. Bu farklılığın nedeni ise mercimek, domates damlacıkları ve antepfıstığının yapısal bileşimlerindeki farklı kapiler özellikler olabileceği tahmin edilmektedir. Bu çalışmada ise, iç nem hareketinin kurumanın kontrol edilmesinde temel unsur olduğu ve difüzyonun su hareketini yönlendiren baskın mekanizma olduğu görüldü aynı çalışmalar diğer araştırmacılar tarafından desteklenmektedir (Toğrul ve Pehlivan, 2003).

Şekiller 4.30, 4.31 ve 4.32’de görüldüğü gibi, tüm elmalarda, KA, DA ve ÜG örneklerinin 120°C sıcaklıkta nem oranlarında görülen azalmanın sırasıyla, 110°C ve 115°C sıcaklıklarda görülen azalmadan, daha hızlı olduğu görüldü. Bu çalışmada diğer bulgularla (sitrking elma) uyumlu içerisindedir ve nem oranının kuruma süresi ile eksponansiyel şekilde azaldığını görüldü (Sacilik ve Elicin, 2006). Bu olayın temel nedeni, sıcaklığı arttığında elma yüzeyinde buharlaşma oranı da artırmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda, difüzyon oranı artmakta ve elmaların içindeki su, daha hızlı yüzeye doğru hareket etmektedir (Pasban ve diğ., 2017).

100°C altındaki bir sıcaklıkta elmaların taşınımı hava kurutma yoluyla kurutulması üzerine yapılan çalışmaların birçoğu minimum 100-400 dakikalık

uzun kuruma sürelerine dikkat çekmiş: elma küplerinin (10×10 ×10 mm) 75°C sıcaklıkta ve 1m/s hava hızı ile 360 dakikada kurutulduğunu (Antal ve değ., 2015), elma dilimlerinin (5 mm kalınlığında) 40, 50 ve 60°C sıcaklıklarda ve 0,8 m/s hava hızıyla sırasıyla, 400, 300 ve 240 dakikada kurutulduğunu (Sacilik ve Elicin, 2006), silindir elmaların (7 mm çapında) 60°C sıcaklıkta ve 3 m/s hava hızıyla 100 dakikada kurutulduğunu (Srikiatden ve Roberts, 2005), dikdörtgen şekilli elmaların (20×20×5 mm) 60°C sıcaklıkta ve 0.64 m/s hava hızı ile 245 dakikada kurutulduğunu (Velic ve değ., 2004) raporlamışlardır. Bu sonuçlar, toplamda 9-14 dakikalık kuruma süresinin saptandığı bu araştırma ile karşılaştırıldığında 100°C üzerindeki kurutma sıcaklığının, kuruma süresinde önemli ölçüde bir azalmaya yol açtığı ifade edilebilir. Ayrıca, Junlakan ve değ. (2017) elma dilimlerinin (69.50-78.65 mm çapında ve 5.5-6 mm kalınlığında) taşınımlı kurutma yöntemi ile kurutulmasının 100, 110 ve 120°C sıcaklıklarda sırasıyla 530, 350 ve 260 dakika sürdüğü raporlanmıştır. Bu farklılığın nedeninin ise Junlakan ve arkadaşlarının yüksek sıcaklıklarda, zorlanmış hava taşınımı yerine, daha uzun kuruma süresine neden olan doğal hava taşınımını tercih etmelerinden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.



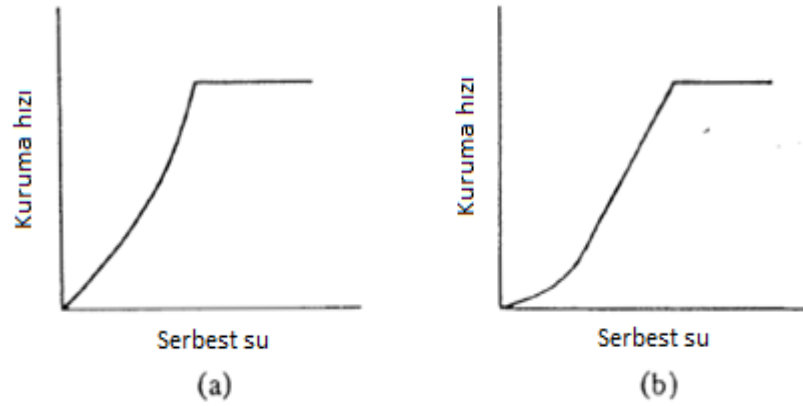
5. ELMALARIN DİFÜZYON KATSAYISI

5.1 Giriş

Su mekanizmalarının gıda derinliklerinden yüzeye doğru hareketi, azalan hız dönemlerindeki kuruma sürecini etkilemektedir. Katı madde içerisindeki nem hareketine ilişkin mekanizmaları açıklayan üç teori bulunmaktadır.

5.1.1 Sıvı difüzyon teorisi

Gıdanın iç kısımları ile yüzey bölgesi arasında derişim gradyanları olduğunda, bu durum sıvı haldeki suyun, genelde jelatin, un ve nişasta gibi gözeneksiz ve granüler olmayan maddelerde olduğu gibi, difüzyon mekanizması vasıtasıyla hareket etmesine yol açmaktadır. Pek çok gıda ürününde suyun azalan hız dönemindeki aktarımı, difüzyon ile gerçekleşmektedir. Şekil 5.1’de difüzyon kontrollü kuruma eğrisi gösterildi.



Şekil 5.1: Kuruma hızı eğrileri: (a) difüzyon (b) kapiler. (Geankoplis, 1993) dan uyarlandı.

Eğer sabit hız dönemindeki kuruma çok yüksek ise, ilk azalan hız dönemi gerçekleşmeyebilir, ancak düşük ise azalan hız dönemi Şekil 4.1’de *CD* olarak tanımlanan bölgedeki gibi gerçekleşmektedir. Kuruma hızı difüzyon tarafından

kontrol edildiğinde Fick'in ikinci difüzyon yasası aşağıdaki denklemde (5-1) gösterildiği şekilde kullanılabilir (Geankoplis, 1993).

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_{eff} \left[\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} \right] \quad (5-1)$$

M , daha önce belirtildiği üzere serbest nem içeriğini (kg su/ kg kuru madde), D_{eff} , sıvı difüzyon katsayısını (m^2/s) ve x ise difüzyon yönünde ölçülen mesafeyi (m) ifade etmektedir. Kurutmanın difüzyon türünde, gıda yüzeyindeki su buharı çok az bir dirençle karşılaşmaktadır ve kütle aktarımının asıl karşılaştığı direnç, gıdanın içinde bulunan ve kuruma hızını kontrol eden difüzyondur. Ardından, gıda yüzeyinde bulunan serbest su içeriği, sıfıra ve gıda yüzeyindeki nem içeriği ise denge değerine M_e ulaşmaktadır. Kurutma işleminin başlangıcındaki nem dağılımının, eşit olduğu varsayılmaktadır. Daha sonra ise, Fick denklemlerinin bütünleştirilmiş biçimleri, kuruma süresi ile ilk ve son nem içerikleri arasındaki bağlantıyı kurmak için ilgili denklemde (5-2) gösterildiği üzere kullanılabilir (McCabe ve Smith, 1976).

$$\frac{\bar{M}_T - M_e}{M_{T0} - M_e} = \frac{\bar{M}}{M_0} = MR = \frac{8}{\pi^2} \left(e^{-a_1 \beta} + \frac{1}{9} e^{-9a_1 \beta} + \frac{1}{25} e^{-25a_1 \beta} + \dots \right) \quad (5-2)$$

$$\beta = \frac{D_{eff} t}{x_1^2}$$

$$a_1 = \left(\frac{\pi}{2} \right)^2$$

\bar{M}_T = ortalama toplam nem içeriği (kg su/ kg kuru madde)

\bar{M} = ortalama serbest nem içeriği (kg su/ kg kuru madde)

M_e = dengedeki nem içeriği (kg su/ kg kuru madde)

M_{T0} = kurutmanın başlangıcındaki ilk nem içeriği (t=0) (kg su/ kg kuru madde)

M_0 = başlangıç serbest nem içeriği (kg su/ kg kuru madde)

D_{eff} = gıdanın nem difüzyonu (m^2/s)

x_1 = kuruma üst ve alt tabakalarda gerçekleştiğinde, $\frac{1}{2}$ tabaka kalınlığı (m)

x_1 = kuruma yalnızca üst tabakada gerçekleştiğinde, toplam tabaka kalınlığı (m)

MR = boyutsuz nem oranı

$\beta > 0.1$, olduğunda ise yalnızca ilgili denklemin (5-2) sağ kısmında yer alan ilk terimin önemi bulunmakta ve kalan kısımlar değerlendirilmeye alınmayabilmektedir (McCabe ve Smith, 1976). Fick'in ikinci difüzyon yasasının düzlem geometrisine ilişkin olarak başlangıç ve sınır koşulları açısından analitik çözümü, aşağıda yer alan denklemde (5-3) belirtilmektedir (Crank, 1975).

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_0^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left\{ -\frac{(2n+1)^2}{4} \frac{\pi^2 D_{eff} t}{x_1^2} \right\} \quad (5-3)$$

Elde edilen kuruma süresi formülü çözümlendiğinde ise aşağıda yer alan denkleme (5-4) ulaşılmaktadır.

$$t_T = \frac{4x_1^2}{\pi^2 D_{eff}} \ln \frac{8M_0}{\pi^2 \bar{M}} \quad (5-4)$$

Difüzyon mekanizmasının $M = M_c$ noktasında başlaması halinde ise $M_0 = M_c$ denklemi elde edilmektedir. Bu denklemde gösterildiği üzere eğer zaman serbest nem içeriği logaritmasının karşısında grafiğini düzenlenirse, doğru eğiminden D_{eff} değeri hesaplanabilmektedir. Denklem (5-5)'de kuruma hızı göstermektedir.

$$\frac{d\bar{M}}{dt} = - \left(\frac{\pi}{2} \right)^2 \frac{D_{eff}}{x_1^2} \bar{M} \quad (5-5)$$

Kuruma hızı $\frac{d\bar{M}}{dt}$ (kg/s) olduğunda, denklem (5-5); difüzyonun kurutma sürecinin kontrol edilmesinde esas mekanizma olduğu, azalan hız döneminde kuruma hızının, kalınlığın karesi ile ters orantılı olduğunu göstermektedir. Denklem (5-5) yarı logaritmik kağıda çizildiğinde ise

$\frac{\bar{M}_T - M_e}{M_{T_0} - M_e} < 0.6$ değeri için düz bir çizgi gözlemlenmektedir (Perry ve diğ., 1984).

5.1.2 Kapiler teori

Granüler ve gözenekli materyallerin kurutulmasında bağlı olmayan ya da serbest suyun yüksek derişimli bölgelerden düşük derişimli bölgelere doğru hareketi difüzyondan ziyade, kapiler (kılcal) hareketin bir sonucudur. Bu teoriye göre gözeneksiz parçacık alanlarının bulunduğu bir yatak bulunmakta ve bunların

arasında gözenekler olarak adlandırılan bir boşluk yer almaktadır (Geankoplis, 1993).

Gözenekli katı materyal birbirine bağlı gözenek ve kanallardan oluşan karmaşık bir ağdan meydana gelmektedir. Su aşamalı bir şekilde yataktan buharlaşınca, her gözenek etrafında, sıvı su eğriliği oluşmaktadır. İlgili alanların üst katmanlarındaki boşluklardaki su yüzeyi eğriliği artmakta ve gıda ile su arasındaki ara yüzey gerilimi ile kapiler kuvvetleri oluşturan emme basıncının meydana gelmesine sebep olmaktadır. Kurutma sürecinin devam etmesi sebebiyle emme basıncı, suyun seri tabakalar arasındaki gözenek boşluklarına çekildiği bir değere ulaşmaktadır (Perry ve diğ., 1984).

Bu emme basınç ise kapiler kuvvetlerin, suyu gıdanın iç tabakalarından yüzere doğru taşıyan itici kuvvet olarak hareket ettiği ölçüdür. Kapiler kuvvetlerin gücü, su eğriliğine bağlıdır ki bu da gözeneğin çapraz kesitinin bir işlevidir. Küçük gözenekler büyük gözeneklere nazaran daha etkili kapiler kuvvet yarattığı için, küçük gözenekler, büyük gözeneklerden su çekebilmektedir. Yüzeydeki nem kayboldukça, önceden büyük gözenekler boşalma eğilimi göstermekte ve hava ile dolmaktadır. Hava, gıda yüzeyindeki büyük gözeneklerden içeri girmekte, veya kurutmanın yalnızca bir taraftan gerçekleştiği durumlarda, gıdanın yan veya arka kısmından içeri girmektedir (McCabe ve Smith, 1976).

Şekil 4.1'de, azalan hız döneminin başladığı C noktasında görüldüğü gibi kapiler hareket, suyu yüzeye doğru getirmekte ancak nemin yüzey katmanı yüzeyin altına çekilmeye başlamaktadır. Aynı zamanda hava da boşluğu doldurmak için harekete geçmektedir. Kurutma süreci devam ettikçe, suyun artık gözeneklerde kalıcı tabakalar oluşturamadığı bir noktaya gelinir ki bu da kurutma hızının Şekil 4.1'de gösterilen D noktasına gelindiğinde aniden yavaşlamasına sebep olmaktadır. Bu noktaya gelindikten sonra, gözeneklerdeki su buharı difüzyonu ve gıdanın içindeki ısı iletim hızı, kurumayı kontrol eden ana faktörler arasında yer alabilmektedir. Bu durumda, katı maddede bulunan küçük gözeneklere ilişkin kuruma hızı Şekil 5.1 (b)'de gösterildiği üzere yukarıya içbükey ile ifade edilmektedir. Bununla birlikte, çok gözenekli katılarda gözlemlenen büyük gözenekler için, ikinci azalan hız dönemindeki

kuruma hızı, düz bir çizgi oluşturmakta ve difüzyon denklemleri kullanılmamaktadır (Geankoplis, 1993).

5.1.3 Büzülme etkileri

Kurutma işlemi sırasında nem yok olduğunda, bazı gıda ürünlerinin büzülmesi kurutma hızını ciddi şekilde etkileyebilmektedir. Sert yapılı gıdalarda, büzülme pek fazla görülmesine de meyve ve sebze gibi koloidal ve lifli gıdalarda, görülen büzülme kayda değerdir. Pek çok gıda ürünüde, kurutma sıcaklığının çok yüksek olması halinde, gıda yüzeyinde birbirine yapışık durumda büzüşmüş hücrelerin oluşturduğu bir katman meydana gelmektedir. Yüzey sertleşmesi (case hardening) olarak adlandırılan bu katman, nem aktarımına bir bariyer oluşturmakta ve azalan hız döneminde, kurutma hızının yavaşlamasına sebep olmaktadır. Bununla beraber; büzülme, kurutulmuş gıdanın yapısını değiştirebilmektedir. Nemli hava kullanarak kurutma işlemini gerçekleştirmek, büzüşmenin gıdanın yüzeyi üzerindeki sertleştirme etkisini azaltsa da, kurutma hızının yavaşlamasına yol açabilir (Geankoplis, 1993).

5.2 Materyal Ve Metotlar

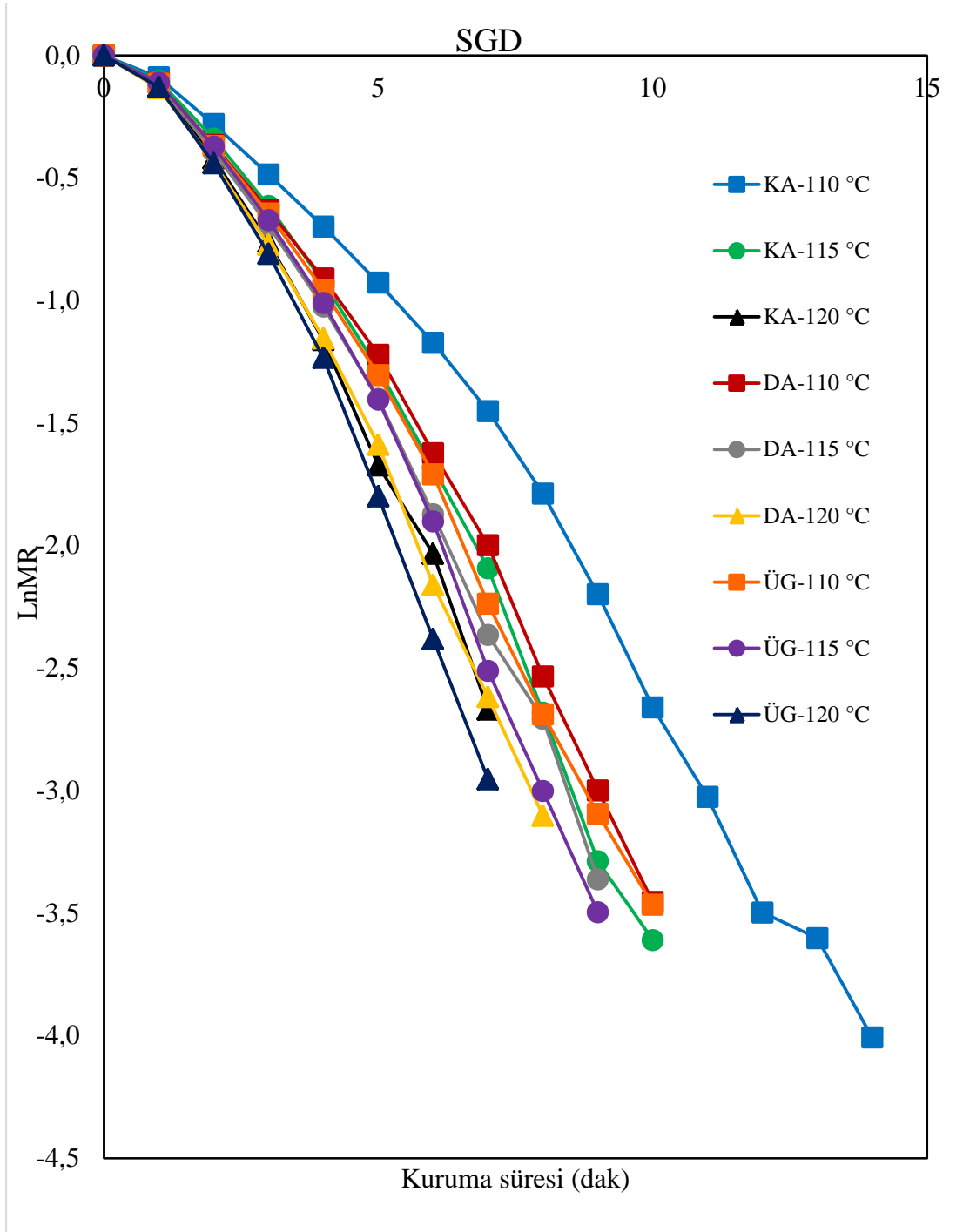
Nem difüzyon katsayıları belirtmek için, 4.bölümde belirtildiği üzere materyal ve metotları kullanıldı.

5.3 İstatistiksel Analizi

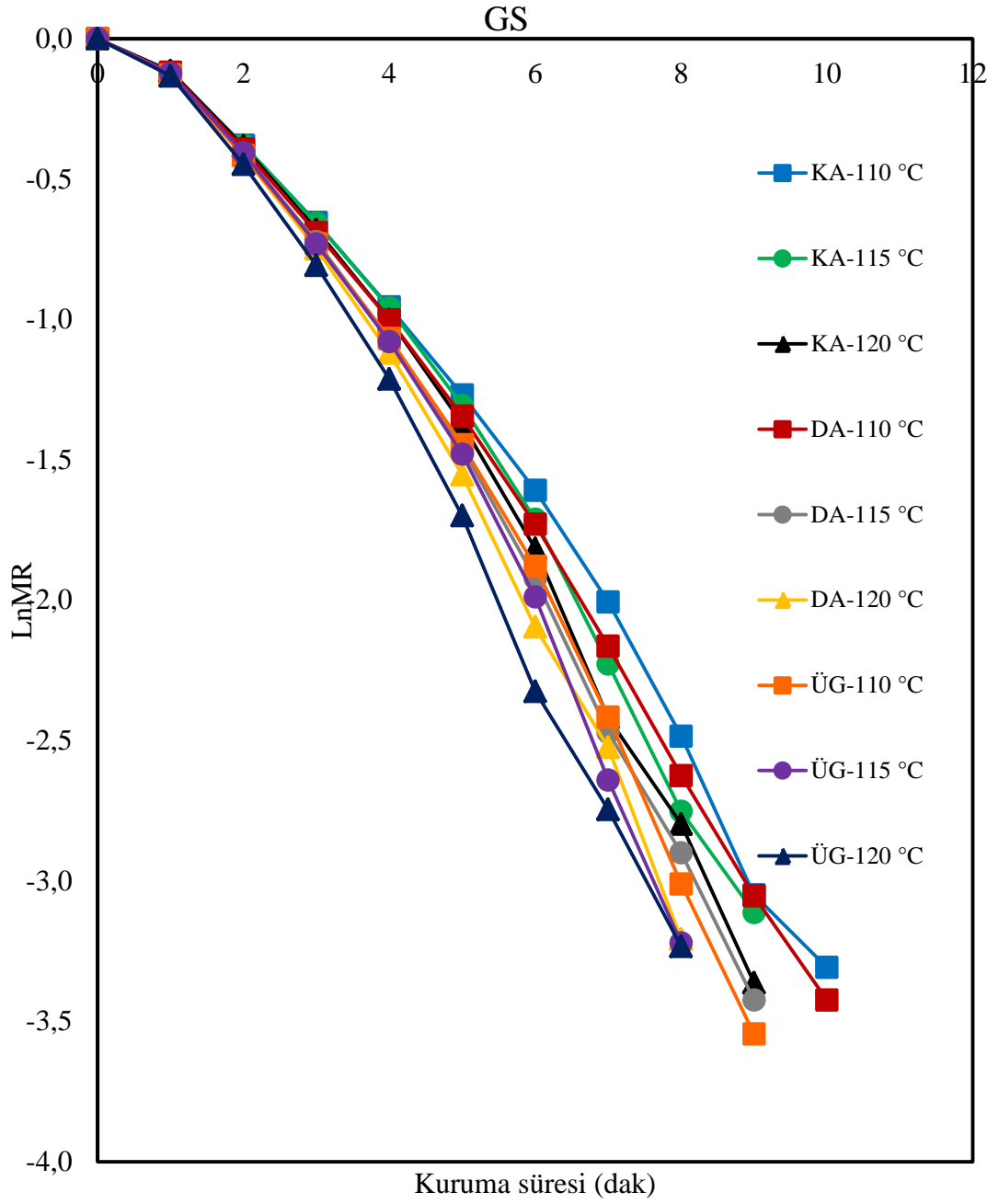
Bu çalışmada, bir yazılım paketi (*SPSS Statistics 23, IBM. 2015*) kullanıldı ve nem difüzyon katsayılarının belirlenmesi için, doğrusal regresyon analizi yapıldı (Sacilik ve Elicin, 2006; Zarein ve değ., 2015). Etkin nem difüzyonu kuruma süresine karşılık $LnMR$ (logaritmik nem oranı) değeri belirlendi ve ilgili denklem (5-3) ile eğrilerin eğimi esas alınarak hesaplandı ve çizelgelerde (5.1), (5.2), (5.3) ve (5.4) gösterildi. Çizelge 5.1'de difüzyon katsayılarının ortalama değerleri, önemli farklılıkların ($p < 0.05$) belirlenmesi için, Tukey-HSD testlerinin izlediği varyans analizi (ANOVA) ile karşılaştırıldı ve Ek A'de yer alan ilgili Çizelgelerde (5.5), (5.6), (5.7.1) ve (5.7.2) ortalama \pm standart sapma (SD) olarak raporlandı (Doymaz, 2009).

5.4 Sonuçlar ve tartişma

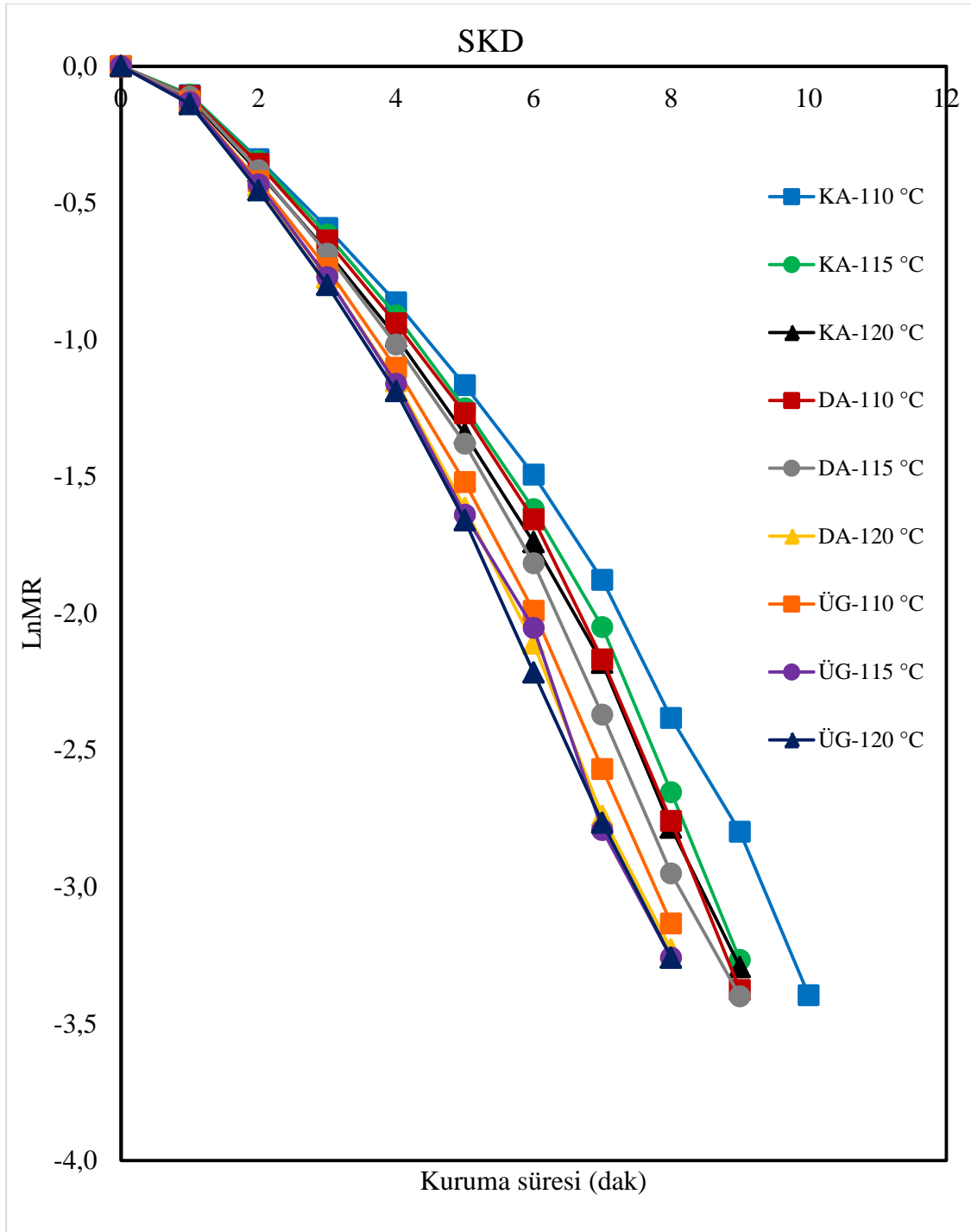
Azalan hız dönemindeki nem difüzyonu, Fick'in ikinci difüzyon yasası ile belirlendi ve plaka şekilli rnelerin nem difüzyonunun analitik olarak çözümlenmesi ilgili denklem (5-3) ile ifade edildi.



şekil 5.2: 110, 115 ve 120°C sıcaklıktaki, SGD elmalarının kuruma süresine karşı logaritmik nem oranı (LnMR). V=1.75 m/s, Hs=25°C.



Şekil 5.3: 110, 115 ve 120°C sıcaklıktaki, GS elmalarının kuruma süresine karşı logaritmik nem oranı (LnMR). V=1.75 m/s, Hs=25°C.



Şekil 5.4: 110, 115 ve 120°C sıcaklıktaki, SKD elmalarının kuruma süresine karşı logaritmik nem oranı (LnMR). V=1.75 m/s, Hs=25°C.

Çizelge 5.1: Örneklerin difüzyon katsayısı (ortalama \pm SD, n=9).

Örnek No.	Numune kodu	Sıcaklık (°C)	$D_{\text{eff}} \cdot 10^{-9} (\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}) \pm \text{SD}$	CV%	SEM
1	SGD000T1KA	110	1.93 ± 0.036^a	1.86	0.012
2	SGD000T2KA	115	2.36 ± 0.064^{cde}	2.71	0.021
3	SGD000T3KA	120	2.58 ± 0.115^{hijk}	4.46	0.043
4	SGD000T1DA	110	2.26 ± 0.037^{bc}	1.64	0.012
5	SGD000T2DA	115	2.48 ± 0.098^{efgh}	3.95	0.033
6	SGD000T3DA	120	2.66 ± 0.124^{jkl}	4.66	0.041
7	SGD000T1ÜG	110	2.36 ± 0.079^{cde}	3.35	0.026
8	SGD000T2ÜG	115	2.58 ± 0.084^{hijk}	3.25	0.028
9	SGD000T3ÜG	120	2.85 ± 0.075^m	2.63	0.025
10	GS000T1KA	110	2.26 ± 0.055^{bcd}	2.43	0.018
11	GS000T2KA	115	2.36 ± 0.111^{cde}	4.70	0.037
12	GS000T3KA	120	2.46 ± 0.070^{efgh}	2.85	0.023
13	GS000T1DA	110	2.36 ± 0.082^{cde}	3.47	0.027
14	GS000T2DA	115	2.51 ± 0.054^{fghi}	2.15	0.018
15	GS000T3DA	120	2.64 ± 0.070^{ijk}	2.65	0.023
16	GS000T1ÜG	110	2.56 ± 0.077^{ghij}	3.01	0.026
17	GS000T2ÜG	115	2.64 ± 0.098^{ijk}	3.71	0.033
18	GS000T3ÜG	120	2.79 ± 0.100^{lm}	3.58	0.033
19	SKD000T1KA	110	2.21 ± 0.070^b	3.17	0.023
20	SKD000T2KA	115	2.38 ± 0.100^{cdef}	4.20	0.033
21	SKD000T3KA	120	2.42 ± 0.048^{efg}	1.98	0.016
22	SKD000T1DA	110	2.40 ± 0.086^{def}	3.58	0.029
23	SKD000T2DA	115	2.52 ± 0.061^{fghi}	2.42	0.020
24	SKD000T3DA	120	2.70 ± 0.058^{jkh}	2.15	0.019
25	SKD000T1ÜG	110	2.62 ± 0.099^{ijk}	3.78	0.033
26	SKD000T2ÜG	115	2.69 ± 0.040^{jkl}	1.49	0.013
27	SKD000T3ÜG	120	2.72 ± 0.070^{klm}	2.57	0.023

Farklı üstsimge ile aynı sütunda bulunan farklı ortalamalar, $p < 0.05$ seviyesinde anlamlıdır.

Çizelge 5.2: SGD örneklerinin difüzyon katsayısı (ortalama \pm SD, n=9).

$D_{\text{eff.}} \cdot 10^{-9} (\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}) \pm \text{SD}$			
Örnekler	110°C	115°C	120°C
KA	1.93 ± 0.036^a	2.36 ± 0.064^a	2.58 ± 0.115^a
DA	2.26 ± 0.037^{bc}	2.48 ± 0.098^{ab}	2.66 ± 0.124^a
ÜG	2.36 ± 0.079^c	2.58 ± 0.084^b	2.85 ± 0.075^b

Farklı üstsimge ile aynı sütunda bulunan farklı ortalamalar, $p < 0.05$ seviyesinde anlamlıdır.

Çizelge 5.3: GS örneklerinin difüzyon katsayısı (ortalama \pm SD, n=9).

$D_{\text{eff.}} \cdot 10^{-9} (\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}) \pm \text{SD}$			
Örnekler	110°C	115°C	120°C
KA	2.26 ± 0.055^a	2.36 ± 0.111^a	2.46 ± 0.070^a
DA	2.36 ± 0.082^a	2.51 ± 0.054^b	2.64 ± 0.070^b
ÜG	2.56 ± 0.077^b	2.64 ± 0.098^c	2.79 ± 0.099^c

Farklı üstsimge ile aynı sütunda bulunan farklı ortalamalar, $p < 0.05$ seviyesinde anlamlıdır.

Çizelge 5.4: SKD örneklerinin difüzyon katsayısı (ortalama \pm SD, n=9).

$D_{\text{eff.}} \cdot 10^{-9} (\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}) \pm \text{SD}$			
Örnekler	110°C	115°C	120°C
KA	2.21 ± 0.070^a	2.38 ± 0.100^a	2.42 ± 0.048^a
DA	2.40 ± 0.086^b	2.52 ± 0.061^b	2.70 ± 0.058^{bc}
ÜG	2.62 ± 0.099^c	2.69 ± 0.040^c	2.72 ± 0.070^c

Farklı üstsimge ile aynı sütunda bulunan farklı ortalamalar, $p < 0.05$ seviyesinde anlamlıdır.

Şekil 5.2’de ÜG şekilli SGD elmaların difüzyon katsayılarının KA ve DA şekilli örneklerinden sırasıyla (I) 110°C sıcaklıkta %22 ve %4.4 (II) 115°C sıcaklıkta

%9.3 ve %4 ve (III) 120°C sıcaklıkta %10 ve %7.1 daha fazla olduğu belirlendi. Şekil 5.3'te ÜG şekilli GS elmaların difüzyon katsayılarının KA ve DA şekilli örneklerinden sırasıyla (I) 110°C sıcaklıkta %13.3 ve %8.5 (II) 115°C sıcaklıkta %11.9 ve %5.2 ve (III) 120°C sıcaklıkta %13.4 ve %5.7 daha fazla olduğu görüldü. Şekil 5.4'te ÜG şekilli SKD elmaların difüzyon katsayılarının KA ve DA şekilli örneklerinden sırasıyla (I) 110°C sıcaklıkta %18.6 ve %9.2 (II) 115°C sıcaklıkta %13 ve %6.7 ve (III) 120°C sıcaklıkta %12.4 ve %0.7 daha fazla olduğu belirlendi. Deneysel sonuçlardan görülebileceği gibi tüm elmalarda ÜG şekilli örneklerinin difüzyon katsayıları KA ve DA örneklerinden daha yüksektir. Bu sonuçların muhtemel nedeninin, bağlı su ile olan ilişki olabileceği düşünülmektedir. Bağlı suyun aktarımı, örnek yapılarında değişikliklere ve hücre ve doku büzülmesine yol açan, materyal boyutunda azalmaya neden olmaktadır (Rahman ve değ., 2018). Büzülme, materyal yüzeyinden başlamakta ve yavaşça örneğin merkezine doğru hareket etmektedir (Golestani ve değ., 2013). Bu sebeple, büzülme kurutma sürecinde iç tabakadan yüzeye doğru su hareketine ve hidrodinamik akış olarak adlandırılan su akışına olanak tanıyan iç basınçlar üretmektedir (Mujumdar, 2006; Erbay ve Icier, 2010). Bu araştırmada, farklı geometrik şekillerdeki büzülme şiddetleri ve modelleri farklı olabildiğinden, ÜG şekilli örneklerin en yüksek büzülme şiddetleri veya farklı bir büzülme modelleri ile elmaların iç tabakasından yüzeyine doğru daha yüksek su hareketi meydana getirmekte ve en yüksek difüzyon katsayıları sahip olduğu göstermektedir.

Bu çalışmada, difüzyon değerleri (1.93×10^{-9} - 2.85×10^{-9} m²/s) arasında değişkenlik gösterildi, gıda ürünleri için belirlenen aralığın (10^{-12} - 10^{-8} m²/s) değerleri arasındadır (Dadali ve değ., 2007). Elde edilen difüzyon katsayıları; 40-60°C sıcaklıkta kurutulmuş Starking elmaları için 2.27×10^{-10} – 4.97×10^{-10} (m²/s) olarak raporlanan (Sacilik ve Elicin, 2006), 45-60°C sıcaklıkta kurutulmuş çam fıstığı tohumları için 1.80×10^{-11} - 4.20×10^{-11} (m²/s) olarak (Karataş ve Battalbey, 1991), 40-70°C sıcaklıkta kurutulmuş Red Delicious elmaları için 9.6×10^{-10} - 18.5×10^{-10} (m²/s) (Srikiatden ve Roberts, 2005) ve 60°C sıcaklıkta kurutulan Granny Smith elmaları için 0.198×10^{-10} - 0.522×10^{-10} (m²/s) (Gonzalez-Fesler ve değ., 2008) diğer gıda ürünlerinde ise benzer sonuçlar bulunmuştur. Çalışmalarımızda ise, difüzyon katsayısı

değerleri, 100°C üzerindeki sıcaklığın, gıda ürünlerinin içerisindeki nem difüzyonunu arttırabileceği, yukarıda raporlanan değerlerden daha yüksek bulundu. Kurutma koşulları, kurutma ekipmanı, elma türleri ve diğer kontrol edilemeyen parametrelerdeki farklılıklar söz konusu değerler arasındaki farklılıklardan sorumlu olabilmektedir. Bununla birlikte, 110-120°C sıcaklıkta kurutulmuş Fuji elmalarının difüzyon katsayısı, 1.31×10^{-10} - 2.27×10^{-10} (m^2/s) olarak raporlanmış (Junlakan ve değ., 2017). Bu değerler, elde ettiğimiz sonuçlardan beklenmedik bir şekilde daha düşük bulundu ve bu farklılıkların çalışmalarında kullandıkları fırın ile doğal konveksiyonlu kurutma kullanılarak, uygulanan kurutma yöntemlerinden kaynaklanabileceği düşünüldü.



6. ELMANIN AKTİVASYON ENERJİSİ

6.1 Giriş

Reaksiyon hızı, hız sabitinde gösterilen sıcaklığa bağlı olup, reaksiyon hızının açıklanması için, geçiş hali teorisi ve çarpışma teorisi olmak üzere iki temel teori bulunmaktadır (Ebbing ve Gammon, 2009).

6.1.1 Geçiş hali teorisi

Bu teori, etkinleştirilmiş bir aktif kompleks oluşturacak iki molekülün çarpışmasının, nasıl bir tepkime meydana getirebileceğini açıklamaktadır. Etkinleştirilmiş aktif kompleks (geçiş hali), ürünlere dönüştürebilen kararsız atom gruplarıdır.

6.1.2 Çarpışma teorisi

Çarpışma teorisi, reaksiyonun gerçekleşmesi için, reaktantların yeterli enerji ve uygun yönelim ile çarpışması gerektiğini öne sürmektedir. Çarpışma, tek başına yeterli olmamakta ve reaktantların farklı bağları ayırması için, yeterli enerjiye sahip olması gerekmektedir. İki molekülün tepkimeye girmesi ve tepkime başlatması için gerekli olan minimum çarpışma enerjisine, aktivasyon enerjisi denmekte ve E_a ile ifade edilmektedir. Bir tepkimede, reaktant bağlarının ayrılması ve ürün bağlarının oluşturulması gerekmektedir. Çarpışma teorisinde, reaksiyonun hız sabiti k aşağıda yer alan denklemde (6-1) gösterildiği üzere üç faktöre bağlıdır

(Ebbing ve Gammon, 2009):

- (Z), çarpışma sıklığı.
- (p), uygun yönlendirilmiş çarpışmaların kesiri .
- (f), aktivasyon enerjisinden daha yüksek enerjiye sahip çarpışmaların kesiri.

$$k \propto (Zfp) \quad (6-1)$$

Aktivasyon enerjisinden daha yüksek bir enerjiye sahip olan moleküler çarpışmaların fraksiyonu (f), küçük sıcaklık değişiklikleri karşısında bile, hızlıca değişim göstermekte olup aktivasyon enerjisi E_a ile olan ilişkisi aşağıda yer alan denklemde (6-2) gösterilmektedir:

$$f = e^{-E_a/RT} \quad (6-2)$$

E_a aktivasyon enerjisini (kJ/mol); R evrensel gaz sabitini ($kJ/kmol \cdot K$) ve T ise mutlak sıcaklığı (K) ifade etmektedir. Yukarıda yer alan denklemde (6-2), görülebileceği üzere, f and E_a değerleri ters bağıntılı olup E_a değerindeki artışlar f değerlerini düşürmektedir. Düşük aktivasyon enerjisi olan tepkimelerin, büyük hız sabitleri ve dolayısı ile daha yüksek tepkime hızları olması anlamına gelmektedir (Ebbing ve Gammon, 2009).

6.2 Aktivasyon Enerjisi

İsveçli bir kimyager olan Svante Arrhenius, hız sabitinin k sıcaklığa olan bağıllığını aşağıda yer alan denklemde (6-3) ifade etmiştir:

$$k = Ae^{-E_a/RT} \quad (6-3)$$

E_a aktivasyon enerjisini (kJ/mol); R evrensel gaz sabitini ($kJ/kmol \cdot K$); T mutlak sıcaklığı (K) ve (A) ise çarpışma sıklığı ve doğru yönlendirilmiş çarpışmaların fraksiyonu (Zp) ile ilişkili, frekans faktörünü ifade etmektedir. Frekans faktörünün (A), sıcaklık ile bağlantısı düşük olup genellikle dikkate alınamayabilmektedir. Yukarıda yer alan denklemde (6-3) görülebileceği üzere, hız sabiti k sıcaklığın artması ve aktivasyon enerjisinin E_a azalması ile artış gösterebilmektedir (Ebbing ve Gammon, 2009).

Genel olarak, Arrhenius denkleminin logaritmik formu, aşağıda yer alan denklemde (6-4) ifade edildiği üzere Lnk değerinin aktivasyon enerjisi bağlamında $1/T$ değeri karşısında gösterilen doğru çizgideki eğimi hesaplamak amacıyla kullanılmaktadır (Singh ve Heldman, 2009):

$$Lnk = LnA + \left(\frac{-E_a}{R}\right)\left(\frac{1}{T}\right) \quad (6-4)$$

T_1 ve T_2 olmak üzere iki farklı sıcaklığın olması halinde, Arrhenius denklemi aşağıda yer alan denklem (6-5) gibi oluşturulabilmektedir ki bu denklem, hesaplamalar için daha kullanışlı olup Van't Hoff denklemi olarak bilinmektedir (Maroulis ve Saravacos, 2003):

$$\ln \frac{k_1}{k_2} = \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (6-5)$$

Gıdanın kurutulması söz konusu olduğunda, difüzyon katsayısının sıcaklığa karşı olan duyarlılığını aşağıda yer alan denklemde (6-6) olduğu gibi göstermek üzere Arrhenius denklemi kullanılmaktadır (Ahmad-Qasem ve diğ., 2013).

$$D_{eff} = D_0 \exp \left(\frac{-E_a}{RT} \right) \quad (6-6)$$

Yukarıda yer alan denklemde görülebileceği üzere, kurutma sıcaklığındaki (T) artış, etkin nem difüzyonunu (D_{eff}) arttırabilmekte ve dolayısıyla kuruma hızında artışa ve kuruma süresinde ise azalmaya yol açabilmektedir. Aktivasyon enerjisi (E_a) değerinin yüksek olması halinde, etkin nem difüzyonu (D_{eff}) düşük olmakta ve dolayısıyla kuruma daha düşük hızda gerçekleştiğinden kuruma süresi artmaktadır (Ebbing ve Gammon, 2009).

6.3 Materyal Ve Metotlar

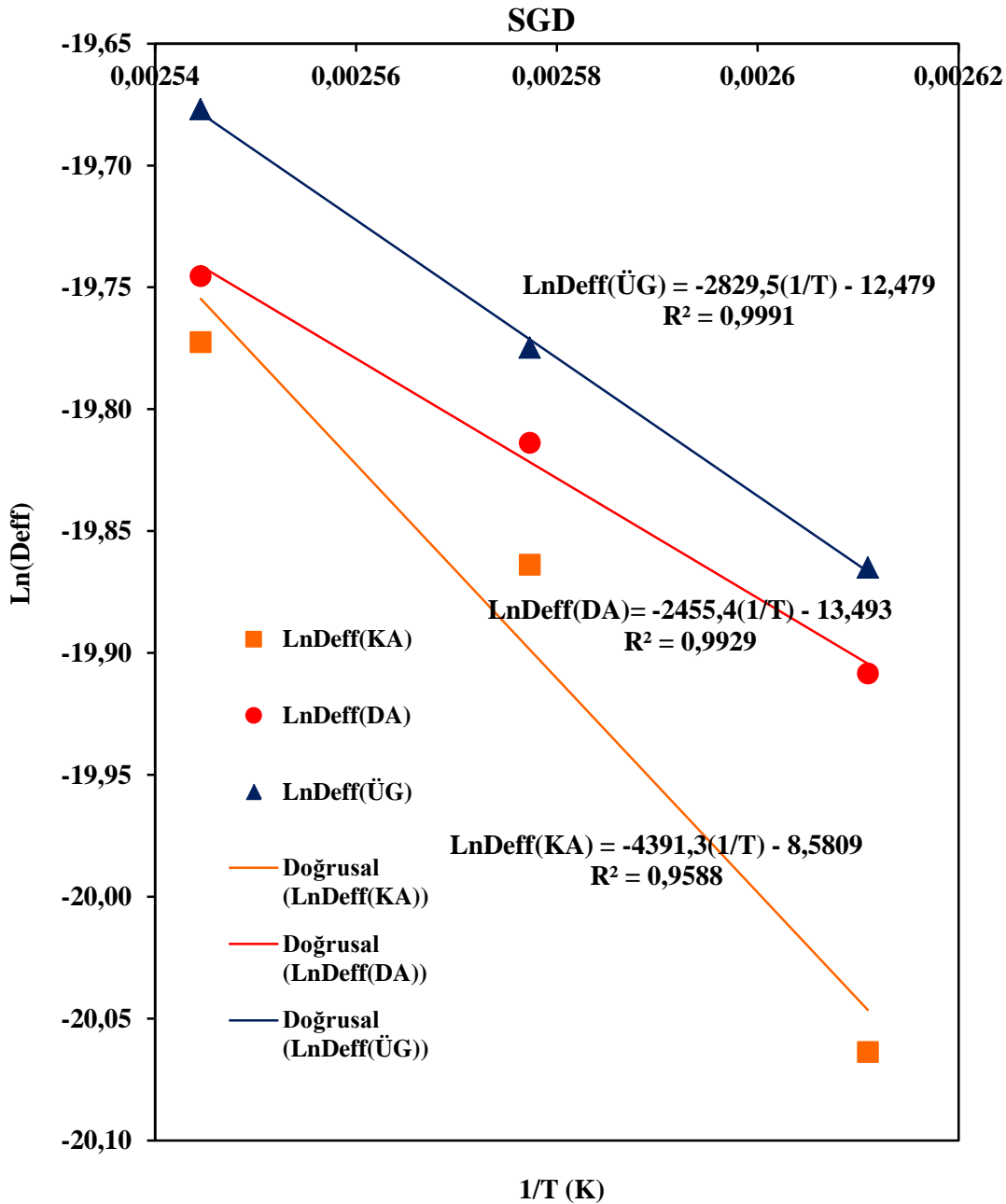
Aktivasyon enerjileri belirtmek için, 4.bölümde belirtildiği üzere materyal ve metotları kullanıldı.

6.4 İstatistiksel Analizi

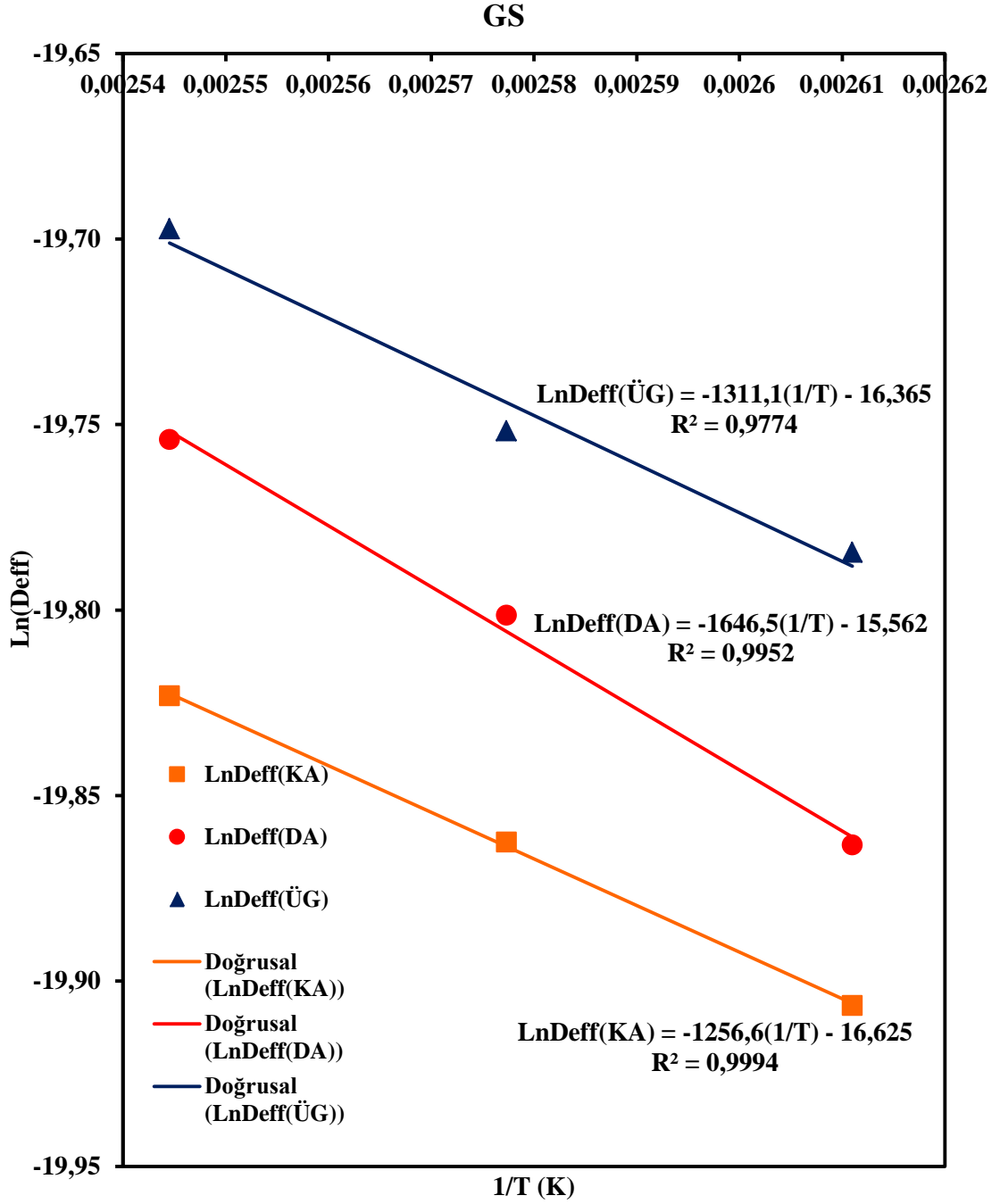
Bu çalışmada, bir yazılım paketi (*SPSS Statistics 23, IBM. 2015*) kullanıldı ve aktivasyon enerjileri Arrhenius denklemi ile belirlendi ayrıca istatistiksel olarak regresyon analizi yapıldı (Sacilik ve Elicin, 2006). Şekiller (6.1), (6.2) ve (6.3)'te ters sıcaklığına ($1/T$) karşılık $\ln(D_{eff})$ grafikleri gösterildi ve doğrusal çizginin eğimi, aktivasyon enerjisinin hesaplanması için kullanıldı (Zarein ve diğ., 2015).

6.5 Sonuçlar Ve Tartışma

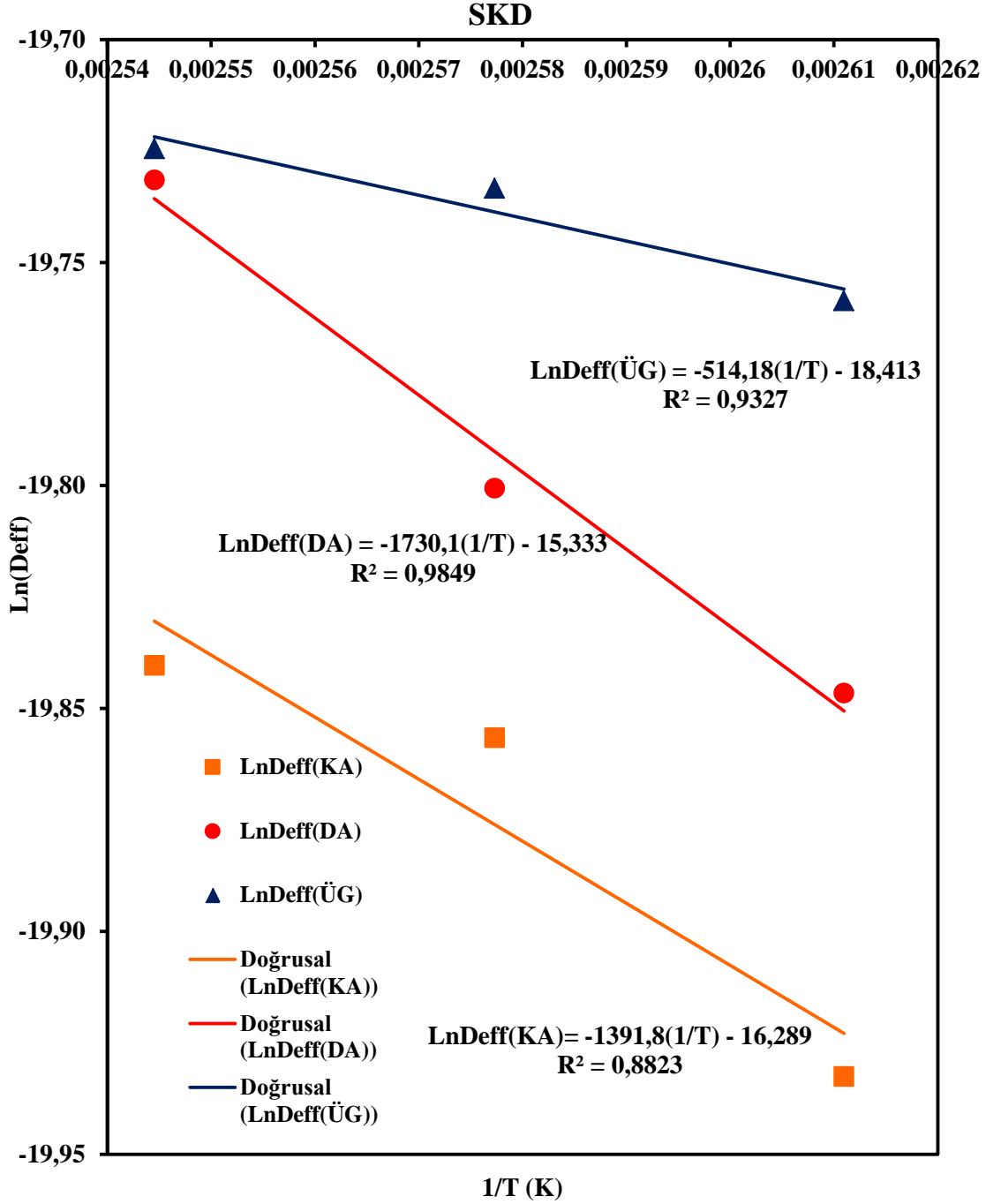
İlgili denklem (6-6) difüzyon katsayısının sıcaklığa olan duyarlılığını göstermek için Arrhenius denklemi kullanılmıştır (Ahmad-Qasem ve değ., 2013). Çizelge 6.1'de SGD, GS ve SKD elmalardaki KA, DA ve ÜG şekli örnekler için aktivasyon enerjileri belirlendi.



şekil 6.1: 110, 115 ve 120°C sıcaklıktaki, SGD elmalarının 1/T değerine karşılık LnDeff değeri. V=1.75 m/s, Hs=25°C.



Şekil 6.2: 110, 115 ve 120°C sıcaklıktaki, GS elmalarının 1/T değerine karşılık LnDeff değeri. V=1.75 m/s, Hs=25°C.



Şekil 6.3: 110, 115 ve 120°C sıcaklıktaki, SKD elmalarının 1/T değerine karşılık LnDeff değeri. V=1.75 m/s, Hs=25°C.

Çizelge 6.1: 110, 115 ve 120°C sıcaklıkta, aktivasyon enerjileri (kJ/mol).
V=1.75 m/s, Hs=25°C.

Numune	SGD	GS	SKD
KA	36.53	11.27	11.29
DA	20.04	13.77	15.01
ÜG	23.78	10.00	5.02

Şekiller 6.1, 6.2 ve 6.3'te SGD elmalarının KA şekilli örneklerinin yanı sıra, GS ve SKD elmalarının DA şekilli örneklerinin, aktivasyon enerjileri diğer şekilli örneklerinden daha yüksek olduğu görüldü. Ayrıca, SGD elmalarda KA örneklerinde en fazla aktivasyon enerjileri ve en az difüzyon katsayıları gösterildi. Aynı zamanda, tüm elmalarda, ÜG örneklerinde en az aktivasyon enerjileri ve en fazla difüzyon katsayıları gösterildi. Bu durumun muhtemel nedeninin, üçgen şekilli örneklerin, yaş örnek ve kurutma ortamı arasındaki ilişkiyi arttıran ve sıcak hava akışının örnek yüzeyinde daha kolay gerçekleşmesine neden olan, kare şekilli örneklerden, daha az keskin kenarlara sahip olması ve dolayısıyla üçgen şekilli örneklerin, en yüksek difüzyon katsayısı ve en düşük aktivasyon enerjisine sahip olmasıdır (Ebbing ve Gammon, 2009; Esfahani ve değ., 2014). Daha yüksek aktivasyon enerjisi, difüzyon katsayısının sıcaklığa daha fazla duyarlı olduğunu ifade etmektedir (Kaymak-Ertekin, 2002). Bu sebeple, kurutma sıcaklığının yükselmesi, etkin nem difüzyonu ve kurutma hızını arttırabilmektedir. Ayrıca, kurutma sıcaklığındaki artış, aktivasyon enerjisi ve kuruma süresinde azalmaya neden olmaktadır. Bununla beraber, aktivasyon enerji değeri düşük ise nem difüzyon katsayısı yüksek olmakta, kuruma daha yüksek bir hızda meydana gelmekte ve kuruma süresi azalmaktadır (Kaymak-Ertekin, 2002; Ebbing ve Gammon, 2009). Hesaplanan aktivasyon enerjileri; diğer araştırmacılar tarafından yeşil biberler için 37 kJ/mol (Kholmanskiy ve değ., 2013) ve zeytinyağı için 14.61 kJ/mol (Ahmad-Qasem ve değ., 2013) olarak saptanması gibi çeşitli gıda ürünlerine ilişkin sunulan verilere benzerdir



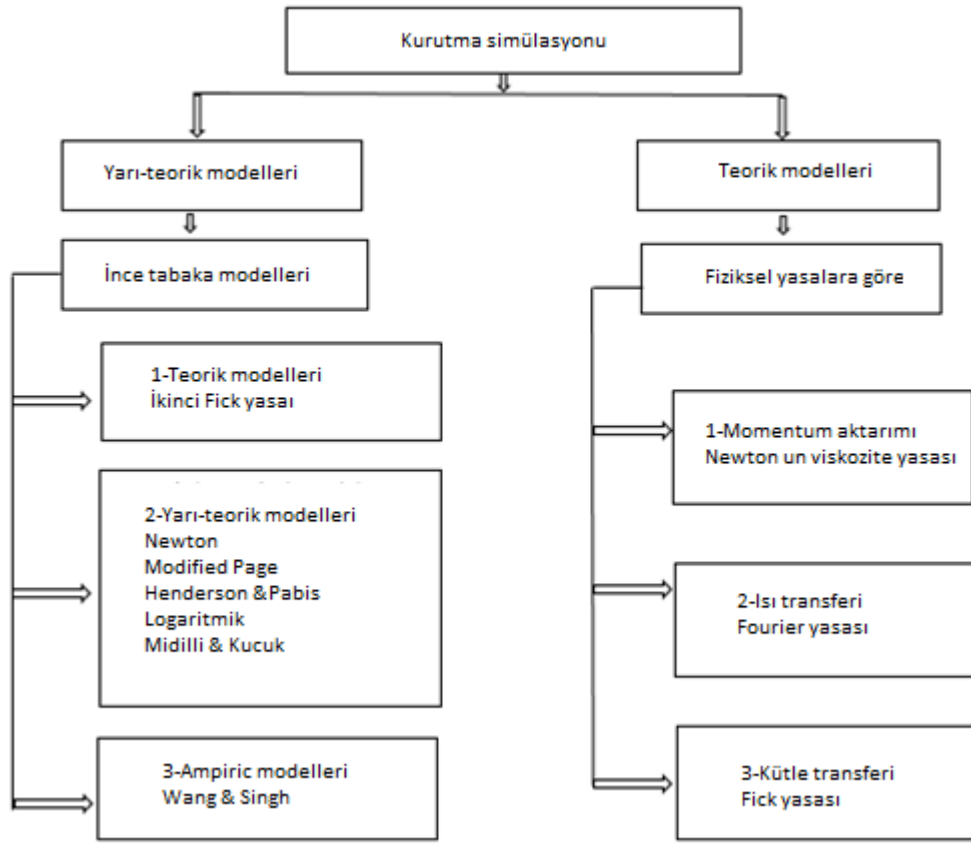
7. KONVEKTİF KURUTMA SİMÜLASYONU

7.1 Giriş

Matematiksel simülasyon, gerçek sisteme kabul edilebilir derecede yakın bir sonuç gösteren kağıt üzerindeki matematiksel bir model anlamına gelmektedir. Gıda mühendisliği alanında ise farklı sonuçları ham madde kullanmadan ve ürünleri boşa harcamadan, kağıt üzerinde incelemeyi sağlayan etkili bir araçtır. Aynı zamanda, mühendisler, matematiksel model kullanarak uygun yaklaştırma seviyesini seçebilmektedir. Matematiksel simülasyonun geniş kapsamlı işlevleri bulunmakta olup proses sonuçlarını tahmin etmek, sistemlerinin davranışlarını anlamak, proses kontrolünü geliştirmek veya bir işlemin performansını optimize etmek için kullanılabilir (Rotstein ve diğ., 1997).

Konvektif kurutma, eş zamanlı olarak kütle, ısı ve momentum aktarımını içeren karmaşık bir prosesdir. Isı, meyve yüzeyine konveksiyon yolu ile aktarılmakta ve ardından meyve sıcaklığını arttıran iç tabakaya iletilmektedir (Castro ve diğ., 2018). Eş zamanlı olarak, gıdanın iç tabakasından yüzeyine doğru nem aktarımı, sıvı ve/veya buhar difüzyonu veya kapiler ile gerçekleşmekte ve ardından yüzeyden havaya taşınım yoluyla aktarılmaktadır (Ertekin ve Firat, 2017). Ayrıca, meyveler karmaşık makroskopik ve mikroskopik özellikleri ile çok bileşenli bir sistemdir. Söz konusu karmaşıklığı gidermek, taşınım sürecini kavramak ve ısı, kütle ve momentum dağılımını simüle etmek amacıyla matematiksel modeller uygulanabilmektedir (Rahman ve diğ., 2018).

Matematik modeller (i) yarı-teorik modeller (ince tabaka) ve (ii) fiziksel kanunlara dayanan teorik modeller olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Teorik modeller hem meyvede hem de havadaki aktarım sürecini göz önünde bulundurmakta ve Şekil 7.1'de gösterildiği gibi bu modellerin denklemleri; Newton, Fourier ve Fick'in ikinci kanunu, sırasıyla momentum, ısı ve kütle aktarımına yasalarına ilişkin genel aktarım denklemlerinden elde edilmiştir (Castro ve diğ., 2018).



Şekil 7.1: Konvektif kurutma simülasyonuna ilişkin akış diyagramı.

Gıda ve biyolojik işleme endüstrilerinde, kurutma; momentum, ısı ve kütle aktarımına dayanan bir temel işlemi olarak bilinmektedir. Moleküler aktarım sürecinde, belirli bir özelliğin (kütle, ısı ve momentum) gaz, katı veya sıvı haldeki moleküler hareketi ile, bir noktadan diğerine hareket etmelerine sebep olmaktadır. İki bölge arasındaki kütle, ısı veya momentumdaki yoğunluk farklılıkları, yüksek yoğunluklu bölgeden, düşük yoğunluğu olan bölgeye aktarımı sağlayan itici gücün ortaya çıkmasına yol açmaktadır (Geankoplis, 1993). Aşağıda yer alan denklem (7-1), genel aktarım denklemi olup üç moleküler aktarım durumu için de kullanılabilir:

$$\text{aktarım süreci hızı} = \frac{\text{itici kuvvet}}{\text{direnc}} \quad (7-1)$$

Yukarıda yer alan denklemde belirtildiği üzere, bir özelliği aktarmak için itici gücün belli bir direncin üstesinden gelmesi gerekmektedir. Denklem (7-1), bir

özelliğın difüzyonunu ya da moleküler aktarımını göstermek için aşağıdaki denklemde (7-2) olduğu gibi yeniden yazılabilmektedir:

$$\Psi_y = -\delta \frac{d\Gamma}{dy} \quad (7-2)$$

Ψ_y özelliğın akışını (özelliğın miktarı/s.m²), δ difüzyonu (m²/s), Γ özelliğın derişimi (özelliğın miktarı /m³), ve y ise difüzyon yönünün mesafesini (m) ifade etmektedir (Geankoplis, 1993).

7.2 Momentumun Moleküler Aktarımı

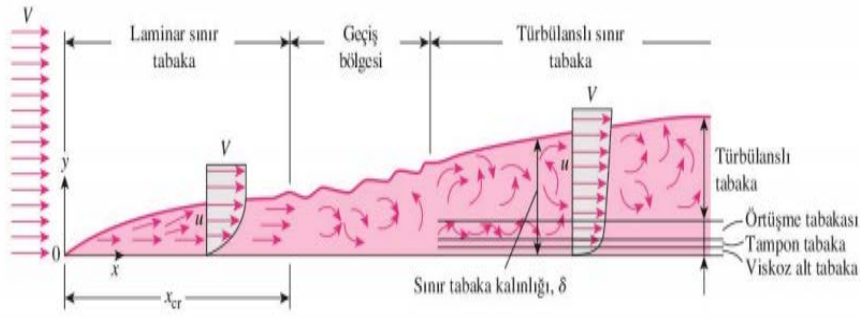
Hava düz bir plakalı gıda üzerinden paralel aktığında, hız gradyanı meydana gelmektedir. Momentum aktarma için, Newton'un viskozite kanunu, aşağıda yer alan denklemdeki (7-3) gibi yazılmaktadır:

$$\tau_{xy} = -v \frac{d(V\rho)}{dy} \quad (7-3)$$

τ_{xy} akışı (kg.m/s)/s.m²; v momentum difüzyonunu (m²/s); y difüzyon yönünün mesafesini (m); V sıvının serbest akım hızını (m/s); ve ρ ise yoğunluğu (kg/m³) ifade etmektedir (Geankoplis, 1993).

7.2.1 Hız sınır tabakası

Sıvıların birbiri üzerine yığılmış bitişik katmanlardan oluştuğu kabul edilmektedir. Plakanın bitişigindeki birinci sıvı tabakasında bulunan parçacıkların hızı, kaymama koşulu nedeniyle sıfırdır (Kaymama koşulu, en çok kullanılan sınır koşuludur ve sıvı ile katı yüzey temasa geçtiğinde sıvı ve yüzey arasında kayganlık olmadığını belirtir. Ardından, sıvının hızı ile yüzeysel hız eşitlenir). Bu hareketsiz sıvı katmanı, kendisinden sonra gelen katmanı da farklı hızla ilerleyen iki farklı katman arasındaki parçacıkların sürtünmesinden dolayı, yavaşlatmaktadır. Daha sonra ise ikinci katman, üçüncü katmanın moleküllerini yavaşlatmakta ve bu böylece devam ederek sınırlayıcı tabaka oluşmaktadır (Şekil 7.2)(Çengel ve Cimbala, 2006).



Şekil 7.2: Düz bir plaka üzerindeki hava akımına ilişkin sınır tabakası. (Çengel, 2007) dan uyarlandı.

7.2.2 Reynolds sayısı

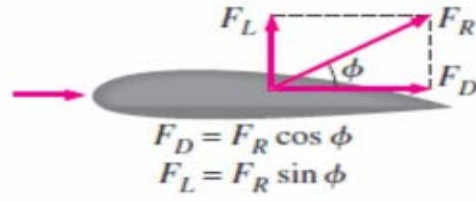
Akım rejimi, genellikle bir akışkanın atalet kuvvetlerinin viskozite kuvvetlerine olan oranı ile ilişkili olarak laminar (katmanlı), geçiş ve türbülanslı olmak üzere üç bölgeye ayrılmaktadır (Şekil 7.1). Aşağıda yer alan denklemde (7-4) gösterildi olan plaka üzerindeki dış akıma ilişkin bu boyutsuz oranı, Reynold Sayısı olarak bilinmektedir.

$$Re_L = \frac{\text{Atalet kuvvetleri}}{\text{Viskozite kuvvetleri}} = \frac{LV\rho}{\mu} \quad (7-4)$$

Re_L , L , V , ρ , μ , sırasıyla Reynolds sayısını, akış yönündeki gıdanın karakteristik uzunluğunu (m), serbest akış hızını (m/s), hava yoğunluğunu (kg/m^3) ve hava viskozitesini ($kg/m.s$) ifade etmektedir. Kritik Reynolds sayısı, akımın türbülanslı olması halinde ve düz bir plaka üzerindeki akım değerinin $Re_L = 5 \times 10^5$ olması durumunda gözlemlenmektedir (Çengel, 2007).

7.2.3 Sürtünme kuvvetleri

Akışkan bir sıvının katı üzerinde akış yönüne doğru uyguladığı kuvvete, direnç kuvveti denmekte olup bu kuvvet tıpkı sürtünme kuvveti gibi istenmeyen bir etki yaratmakta ve bu sebeple minimize edilmesi gerekmektedir. Direnç kuvvetleri; basınç direnç kuvveti (F_L) ve Newton biriminin kullanıldığı yüzey sürtünme kuvveti (F_D) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Şekil 7.3) (Çengel ve Cimbala, 2006).



Şekil 7.3: Akışkan bir sıvının katı madde üzerinde yarattığı basınç ve sürtünme kuvvetleri. (Çengel ve Cimbala, 2006) dan uyarlandı.

Sıvı düz plakaya paralel olarak aktığında, basınç kuvveti 0 olmakta ve sadece sürtünme kuvveti bulunmaktadır ki bu da sıvı akışına karşı bir kuvvet uygulamaktadır. Sürtünme kuvveti, aşağıda yer alan denklem (7-5) ile belirlenebilmektedir:

$$F_D = F_{D,friction} = \frac{1}{2} C_f A \rho V^2 \quad (7-5)$$

C_f , sürtünme kuvveti katsayısını (boyutsuz); A , sıvı akımına maruz kalan örneğin toplam yüzey alanını (üst ve alt yüzeyler); ρ , sıvı yoğunluğunu (kg/m^3) ve V ise serbest hava akım hızını (m/s) ifade etmektedir.

Reynolds sayısı yaklaşık olarak 5×10^5 , C_f altında olan laminer sınır tabaka için, aşağıda yer alan denklem (7-6) kullanılmaktadır (Geankoplis, 1993):

$$C_f = \frac{1.33}{Re_L^{1/2}} \quad Re_L < 5 \times 10^5 \quad (7-6)$$

7.3 Isının Moleküler Aktarımı

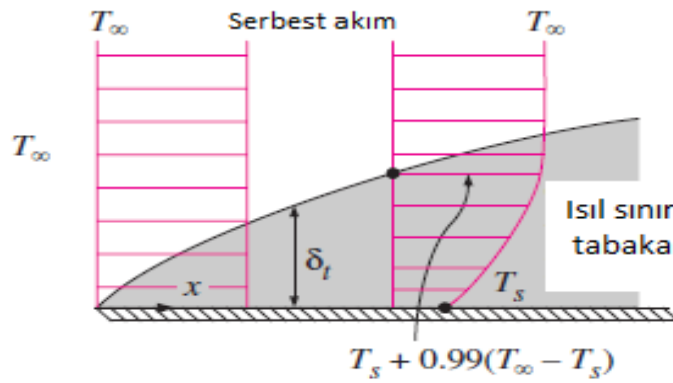
Daha önce de belirtildiği üzere bütün hız aktarım işlemleri (momentum, ısı ve kütle aktarımı) aynı genel denklem (7-2) ile ifade edilmektedir. Isının moleküler aktarımı, sabit yoğunluk ve ısı kapasiteli katı veya sıvılarda, Fourier'in kanunu ile aşağıda yer alan denklemde (7-7) gösterildiği üzere ifade edilmektedir:

$$\frac{q_y}{A} = -\alpha \frac{d(\rho C_p T)}{dy} \quad (7-7)$$

$\frac{q_y}{A}$, ısı akışını ($J/s.m^2$); α , ısı difüzyonunu (m^2/s); $\rho C_p T$, ısının derişimi (J/m^3); q_y , y yönündeki ısı transfer hızını (J/s); A , kesit alanı (m^2); T , sıcaklığı (K); y , difüzyon yönünü (m); ρ , yoğunluğu (kg/m^3) ve C_p ise özgül ısıyı $J/(kg K)$ ifade etmektedir (Geankoplis, 1993).

7.3.1 Isıl sınır tabakası

Düzenli sıcaklığı olan sıcak hava (T_{∞}), farklı bir sıcaklığı olan izotermal bir gıda yüzeyi (T_s) üzerinden geçtiğinde, ısıl sınır tabakası meydana gelmektedir. Gıda yüzeyine bitişik bulunan tabakadaki hava molekülleri, gıda ile birlikte ısıl dengeye ulaşacak ve sıcaklıkları gıda yüzeyinin sıcaklığına (T_s) eşit olacaktır. Ardından, bu hava molekülleri kendilerine bitişik bulunan hava katmanındaki moleküller ile enerjiyi ısı olarak aktaracak ve bu durum ilgili şekilde devam edecektir. Dolayısıyla, T_s ve T_{∞} , aralığında yüzeyden uzak bir sıcaklık profili meydana gelecektir. Sıcaklık gradyanının bulunduğu gıda yüzeyi üzerindeki akış bölgesi, ısıl sınır tabakası olup Şekil 7.4'te gösterilmektedir. Gıda yüzeyinin herhangi bir yerindeki konvektif ısı transferi, söz konusu noktadaki sıcaklık gradyanı ile ilişkilidir (Çengel, 2007).



Şekil 7.4: Gıda yüzeyinde ısıl sınır tabakasının gelişimi. (Çengel, 2007) dan uyarlandı.

7.3.2 Düz plaka üzerindeki ısı transferinin sınıflandırılması

7.3.2.1 İletimli ısı transferi

Enerji, yüksek enerjili moleküllerden kendilerinden daha düşük enerjiye sahip bitişik moleküllere, ısı olarak aktarılabilmektedir. Gazlarda ve sıvılarda iletim, moleküllerin rastgele hareketlerinden dolayı çarpışmalarından ve difüzyonlarından dolayı meydana gelmektedir. Ancak katılarda iletim, bir ağdaki moleküllerin titreşimlerinin ve serbest elektron üzerinden gerçekleşen enerji aktarımının birleşimi ile gerçekleşmektedir. İletimli ısı transfer hızı, aşağıda yer alan denklemde (7-8) ifade edilmektedir:

$$\dot{Q}_{iletim} = -k_t A \frac{dT}{dy} \quad (7-8)$$

\dot{Q}_{iletim} , iletimli ısı transfer hızını (W); k_t , ısı iletkenliği ($W/m.K$); $\frac{dT}{dy}$ ise ısı gradyanı ifade etmektedir. Genellikle, gıdaların ısı iletkenliği 0.1 ve 0.9 arasında değişmektedir ($W/m.K$) (Çengel, 2007).

7.3.2.2 Taşınımlı ısı transferi

Taşınım (konveksiyon), zorlanmış ısı taşınımındaki ısı iletimi ve hava hareketinin ortak etkisinin görüldüğü ve gıda yüzeyi ile hava tabakası arasındaki ısı transfer mekanizmasıdır. Hava hızı ne kadar yüksekse, taşınımlı ısı transferi de o kadar yüksek seviyede gerçekleşmektedir. Doğal taşınım veya hava hareketinin olmadığı durumlarda, gıda yüzeyi ve bitişik hava tabakası arasındaki ısı transferi, iletim yolu ile gerçekleştirilmektedir. Taşınımlı ısı transferi hızı, ilgili denklemde (7-9) görüldüğü üzere Newton'un soğutma yasası doğrultusunda açıklanmıştır:

$$\dot{Q}_{taşınım} = h_{ısı} A (T_S - T_{\infty}) \quad (7-9)$$

$\dot{Q}_{taşınım}$, taşınımlı ısı transfer hızını (W); $h_{ısı}$, taşınımlı ısı transfer katsayısını ($W/m^2 K$); A , yüzey alanını (m); T_S , gıda yüzey sıcaklığını (K) ve T_{∞} ise yüzeyden yeterince uzak olan havanın sıcaklığını (K) ifade etmektedir. $h_{ısı}$ gibi tipik değerler, gazların serbest taşınımı için 2-25 ($W/m^2 K$) aralığındayken, gazların zorlanmış taşınımı için 25-250 ($W/m^2 K$) aralığındadır (Çengel, 2007).

7.3.3 Isı transferinde boyutsuz sayılar

7.3.3.1 Nusselt sayısı (Nu)

Nusselt sayısı, ilgili denklemde (7-10) ifade edildiği üzere taşınımlı ısı transfer katsayısının iletimli ısı transfer katsayısına oranıdır:

$$\frac{\dot{Q}_{taşınım}}{\dot{Q}_{iletim}} = \frac{h_{ısı} L}{k_{hava}} = Nu \quad (7-10)$$

Nu , boyutsuz Nusselt sayısını ve L ise akım yönündeki düz plakanın uzunluğunu (m) ifade etmektedir. Nusselt sayısı, ısı transfer katsayısına ilişkin verileri sıvının ısı iletkenliği ve örneğin karakteristik uzunluğu ile ilişkilendirmek için kullanılmaktadır (Geankoplis, 1993).

7.3.3.2 Prandtl sayısı (Pr)

Prandtl sayısı, bir hava akımı ve gıda arasındaki ısı transferini hesaplamak için kullanılan boyutsuz bir parametredir. Hem hız hem de termal sınır tabakalarında, momentum ve ısı yayılımının nispi büyüklüklerini gösterir ve denklemde (7-11)'de belirtildi:

$$Pr = \frac{\text{Momentum difüzyonu}}{\text{ısı difüzyonu}} = \frac{\mu C_p}{k_t} = \frac{v}{\alpha} \quad (7-11)$$

C_p , özgül ısıyı (kJ/kg K); μ , sıvının dinamik viskozitesini (kg/m.s); k_t , ısı iletkenliği (kJ/m.s.K); v , kinematik viskoziteyi (m^2/s) ve α ise ısı difüzyonu (ısı yayılımı) (m^2/s) ifade etmektedir. Prandtl sayısı, gazlar için 0.7 ila 1.0 aralığındadır (Çengel, 2007).

7.3.3.3 Isı transferinde Stanton sayısı ($St_{ısı}$)

Stanton sayısı, ısı transfer katsayılarının açıklanmasında diğer boyutsuz sayılar ile karşılaştırıldığında, daha kullanışlı olup ilgili denklemde (7-12) gösterildiği üzeredir:

$$St_{ısı} = \frac{h_{ısı}}{\rho V C_p} = Nu \frac{1}{Re Pr} \quad (7-12)$$

V , serbest akış hızını (m/s) ifade etmektedir.

7.3.4 Düz plaka üzerindeki akıma ilişkin ısı transferi

Hava akımı, düz plakaya paralel olarak gerçekleştiğinde ve plakanın tüm uzunluğu L ve hava arasında ısı transferi meydana geldiğinde, ortalama ısı transfer katsayısı $h_{ısı}$, laminer sınır tabaka ve $Pr > 0.6$ için, denklem (7-13) ile belirlenebilmektedir (Çengel, 2007).

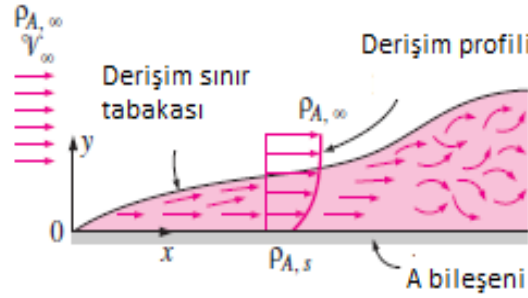
$$Nu = \frac{h_{ısı} L}{k_{hava}} = 0.664 Re^{0.5} Pr^{1/3} \quad Re_L < 5 \times 10^5 \quad (7-13)$$

Nu , $h_{ısı}$, L , k_{hava} ve Pr , sırasıyla Nusselt sayısını, taşınım ısı transfer katsayısını ($W/m^2 K$), akım yönündeki plakanın uzunluğunu (m), havanın ısı iletkenliğini ($W/m K$) ve Prandtl sayısını ifade etmektedir.

7.4 Kütlenin Moleküler Aktarımı

7.4.1 Derişim sınır tabakası

Taşınımlı kütle aktarımında, derişim sınır tabakası sıvının derişim gradyanının gözlemlendiği alanı temsil etmektedir (Şekil 7.5).



Şekil 7.5: Gıda yüzeyinde hava akışına ilişkin derişim sınır tabakası. (Çengel, 2007) dan uyarlandı.

7.4.2 Düz plaka üzerindeki kütle transferinin sınıflandırılması

7.4.2.1 Difüzyon ile kütle transferi (D_{AB})

Kütle difüzyonu, bir derişim gradyanı sebebiyle, kütlenin aktarımı olup Fick yasası doğrultusunda, katı veya sıvılardaki moleküler kütle transferini ifade etmek için kullanılmakta ve ilgili denklemde (7-14) gösterildiği üzeredir:

$$J_{Ay}^* = -D_{AB} \frac{dc_A}{dy} \quad (7-14)$$

J_{Ay}^* , A akımını ($kg \ mol \ A/s. \ m^2$); D_{AB} , A molekülünün B molekülündeki moleküler difüzyonunu (m^2/s); c_A , A derişimini ($kg \ mol \ A/m^3$) ve y ise difüzyon mesafesini (m) ifade etmektedir (Geankoplis, 1993).

7.4.2.2 Konvektif kütle transferi ($h_{küttele}$)

Konvektif kütle transferi, gıda yüzeyi ve hava akışı arasında gerçekleşen zorlanmış taşınım durumlarında gözlemlenmekte ve hem kütle difüzyonu hem de hava hareketinden kaynaklanmaktadır. Hava hareketi, gıda yüzeyinin yakınındaki yüksek derişimli havanın yok olarak, yerini düşük derişimli hava bırakması sebebiyle kütle transferinin artmasına sebebiyet verebilmektedir. Doğal taşınım gibi hava hareketi olmayan durumlarda, kütle taşınımı sadece

kütle difüzyonu ile sınırlı olmaktadır. Zorlanmış taşınımli kurutmada, konvektif kütle transfer hızı, ilgili denklemde (7-15) ifade edildiği üzeredir.

$$\dot{m}_{k\ddot{u}t\ddot{u}l\ddot{e}} = h_{k\ddot{u}t\ddot{u}l\ddot{e}} A (\rho_{A,s} - \rho_{A,\infty}) \quad (7-15)$$

$\dot{m}_{k\ddot{u}t\ddot{u}l\ddot{e}}$, kütle taşınım hızını (kg/s); $h_{k\ddot{u}t\ddot{u}l\ddot{e}}$, ortalama taşınım kütle transfer katsayısını (m/s); A , gıda yüzey alanını; ρ , sınır tabakasındaki sıvının ortalama yoğunluğunu (kg/m^3) ifade etmektedir (Çengel, 2007).

7.4.2.3 Toplam kütle transfer katsayısı ($K_{k\ddot{u}t\ddot{u}l\ddot{e}}$)

İlgili denklemde (7-16) gösterildiği üzere iç ve dış kütle transferine olan direnç, toplam (overall) bir kütle transfer katsayısı olarak ifade edilebilmektedir:

$$\frac{1}{K_{k\ddot{u}t\ddot{u}l\ddot{e}}} = \frac{1}{h_{k\ddot{u}t\ddot{u}l\ddot{e}}} + \frac{L}{D_{AB}} \quad (7-16)$$

$K_{k\ddot{u}t\ddot{u}l\ddot{e}}$, genel kütle transfer katsayısını (m/s); $h_{k\ddot{u}t\ddot{u}l\ddot{e}}$, taşınımına bağlı dış kütle transferini (m/s); L , akım yönündeki plakanın uzunluğunu (m) ve D_{AB} ise iç nem difüzyonunu (m^2/s) ifade etmektedir (Heldman ve Lund, 2007).

7.4.3 Kütle transferinde boyutsuz sayılar

7.4.3.1 Schmidt sayısı

Schmidt sayısı, hem hız hem de derişim sınır tabakalarında, momentum ve kütle difüzyonlarının nispi büyüklüklerini gösterir ve denklemde (7-17)'de belirtildi:

$$Sc = \frac{\text{Momentum difüzyonu}}{\text{Kütle difüzyonu}} = \frac{v}{D_{AB}} \quad (7-17)$$

Sc , Schmidt sayısını; D_{AB} , B içerisindeki A molekölünün moleköler difüzyonunu (m^2/s) ve v ise kinematik viskoziteyi (m^2/s) ifade etmektedir (Geankoplis, 1993).

7.4.3.2 wis sayısı

Lewis sayısı, sırasıyla ısı ve derişim sınır tabakalarındaki ısı ve kütle difüzyonlarının nispi büyüklüğünü gösteren boyutsuz bir sayı olup, aşağıda yer alan denklemde (7-18) ifade edilmektedir:

$$Le = \frac{\text{Isı difüzyonu}}{\text{Kütle difüzyonu}} = \frac{Sc}{Pr} = \frac{\alpha}{D_{AB}} \quad (7-18)$$

Le , Lewis sayısını; α , ısı difüzyonu (m^2/s) ve D_{AB} ise B içerisindeki A molekölünün moleköler difüzyonunu (m^2/s) ifade etmektedir (Çengel, 2007).

7.4.3.3 Sherwood sayısı

Sherwood sayısı, aşağıda yer alan denklemde (7-19) ifade edildiği üzere boyutsuz formdaki konvektif kütle transfer katsayısının belirtilmesi amacıyla uygulanmaktadır.

$$Sh = \frac{h_{k\ddot{u}tle} L}{D_{AB}} \quad (7-19)$$

Sh , Sherwood sayısını; $h_{k\ddot{u}tle}$, konvektif kütle transfer katsayısını (m/s); D_{AB} , B içerisindeki A molekülünün moleküler difüzyonunu (m^2/s) ve L ise akış yönündeki karakteristik uzunluğu (m) ifade etmektedir (Çengel, 2007).

7.4.3.4 Kütle transferinde Stanton sayısı ($St_{k\ddot{u}tle}$)

Stanton sayısı, kütle transfer katsayılarının ifade edilmesi için daha uygun olup aşağıda yer alan denklemde (7-20) gösterildiği üzeredir:

$$St_{k\ddot{u}tle} = \frac{h_{k\ddot{u}tle}}{V} = Sh \frac{1}{Re Pr} \quad (7-20)$$

V , serbest akış hızını (m/s) ifade etmektedir.

7.4.4 Gıdanın düz plaka üzerindeki akışına ilişkin kütle transferi

$Sc > 0.5$ iken düz plaka üzerindeki laminer akışa ilişkin ortalama konvektif kütle transfer katsayısı, aşağıda yer alan denklem (7-21) ile belirlenebilmektedir (Çengel, 2007).

$$Sh = \frac{h_{k\ddot{u}tle} L}{D_{AB}} = 0.664 Re^{0.5} Sc^{1/3} \quad Re_L < 5 \times 10^5 \quad (7-21)$$

Sh , $h_{k\ddot{u}tle}$, D_{AB} , L ve Sc ; sırasıyla Sherwood sayısını, konvektif kütle transfer katsayısını (m/s); hava-su buhar karışımının difüzyonunu ($2.2 \times 10^{-5} m^2/s$) (Singh ve Heldman, 2009), akış yönündeki plakanın uzunluğunu (m) ve Schmidt sayısını ifade etmektedir (Agrawal ve Methekar, 2017).

7.5 Isı, Kütle Ve Momentum Transferinin Benzeşimi

Sırasıyla Newton, Fourier ve Fick denklemlerinde görülmekte olduğu üzere momentum, ısı ve kütlenin moleküler aktarımı arasında birçok benzerlik bulunmaktadır. Bu üç moleküler aktarım süreci arasındaki benzerlikler, transfer katsayılarının belirlenmesi için kullanılabilir.

7.5.1 Reynolds benzeşimi: $Pr \approx Sc \approx 1$

Reynolds benzeşimi; momentum, ısı ve kütle difüzyonlarının eşit olduğu ve bu sebeple hız, sıcaklık ve derişim profillerinin birbirleriyle uyumlu olacağı özel bir durumu ifade etmektedir.

7.5.2 Chilton-Colburn benzeşimi: $Pr \neq Sc \neq 1$

Chilton-Colburn benzeşiminde, ısı ve kütle transferinin Stanton sayıları aşağıda yer alan denklemde (7-22) görülebileceği üzere ısı ve kütle transfer katsayıları ile ilişkili olarak kullanılabilir:

$$\frac{St_{ısı}}{St_{kütle}} = \left(\frac{Sc}{Pr}\right)^{2/3} \quad (7-22)$$

$0.6 < Pr < 60$ ve $0.6 < Sc < 3000$, olması halinde aşağıda yer alan denklem (7-23) ile $h_{kütle}$ değerinin hesaplanması için Chilton-Colburn benzeşimi kullanılabilir:

$$\frac{h_{ısı}}{h_{kütle}} = \rho C_p \left(\frac{\alpha}{D_{AB}}\right)^{2/3} = \rho C_p Le^{2/3} \quad (7-23)$$

ρ , C_p , α , D_{AB} ve Le ; sırasıyla hava yoğunluğunu (kg/m^3); özgül ısıyı ($J/kg \cdot K$); ısı difüzyon katsayısı (m^2/s); kütle difüzyon katsayısı (m^2/s) ve Lewis sayısını ifade etmektedir. Hava-su buhar karışımı için $Le \cong 1$ olmakta ve bununla birlikte aşağıda yer alan denklemde (7-24) tanımlandığı üzere transfer katsayıları arasındaki bağıntı iyi bir kesinlik oranıyla Chilton-Colburn benzeşimi ile ifade edilebilir.

$$h_{ısı} \cong \rho C_p h_{kütle} \quad (7-24)$$

Yukarıda yer alan denklem (7-24), Lewis bağıntısı olarak bilinmektedir. Ayrıca, $Le \cong 1$ olması halinde nemli havanın yaş termometre ve adyabatik doyunluk sıcaklıkları neredeyse eşittir (Çengel, 2007).

7.6 Toplam Kurutma Sabiti (k)

Toplam kurutma sabiti k ; Şekil 1.1'de gösterildiği üzere nem difüzyonu (D_{eff}), ısı iletkenlik k_t , taşınım ısı transfer katsayısı ($h_{ısı}$) ve taşınım kütle transfer katsayısı ($h_{kütle}$) gibi kurutma sürecinin tüm aktarım özelliklerinin birleşimidir (Mujumdar, 2006).

7.7 Materyal Ve Metotlar

Transfer katsayıları belirtmek için, 4.bölümde belirtildiği üzere materyal ve metotları kullanıldı.

7.8 Sonuçlar Ve Tartışma

Sonuçlar çizelgeler (7.1), (7.2) ve (7.3)'te gösterildi.

Çizelge 7.1: Elma yüzeyi üzerindeki hava akışına ilişkin sürtünme kuvveti. $Re_L < 5 \times 10^5$

Numune	Sıcaklık (°C)	Reynolds sayısı	C_f	$F_D \times 10^{-6}$ (N)
KA	110	444	0.0631	5.005
	115	438	0.0635	4.999
	120	433	0.0639	4.996
DA	110	501	0.0594	4.713
	115	494	0.0598	4.708
	120	488	0.0602	4.704
ÜG	110	628	0.0531	4.210
	115	620	0.0534	4.205
	120	612	0.0538	4.202

Çizelge 7.2: Konvektif ısı ve kütle transfer katsayısı. $Re_L < 5 \times 10^5$

Numune	Sıcaklık (°C)	Reynolds sayısı	Nu	Lewis sayısı	$h_{ısı}$ (W/m ² .K)	$h_{kütle}$ (m/s)
	110	444	12.53	1.246	71.76	0.0594
KA	115	438	12.45	1.264	71.73	0.0593
	120	433	12.37	1.281	71.72	0.0592
	110	501	13.31	1.246	67.60	0.0559
DA	115	494	13.22	1.264	67.54	0.0558
	120	488	13.14	1.281	67.53	0.0557
	110	628	14.90	1.246	60.35	0.0499
ÜG	115	620	14.80	1.264	60.32	0.0498
	120	612	14.71	1.281	60.31	0.0497

Çizelge 7.3: Elmanın termofiziksel özellikleri.

Numune	Sıcaklık (°C)	k_t (W/m.K)	C_p (J/kg.K)
KA	110	0.569	3793.24
	115	0.570	3799.38
	120	0.578	3848.79
DA	110	0.571	3806.92
	115	0.571	3809.56
	120	0.573	3821.47
ÜG	110	0.565	3772.51
	115	0.568	3792.59
	120	0.568	3793.11

Hava akışı düz plakaya paralel gerçekleştiğinde basınç direnci sıfıra ulaşmakta ve yalnızca sürtünme kuvvetleri F_D (N) hava akışına karşı bir kuvvet uygulamaktadır (Çengel ve Cimbala, 2006). Çizelge 7.1’de sürtünme kuvvetleri ve sürtünme kuvveti katsayıları C_f laminer sınır tabaka için denklemler (7-5) ve (7-6) aracılığıyla belirlenmektedir (Geankoplis, 1993). Ayrıca, KA, DA ve ÜG şekilli örneklerin en-boy ve yüzey alanının hacme oranı eşit olmakla birlikte elde edilen sonuçlar, ÜG şekilli örneklerin KA ve DA şekilli örneklerden sırasıyla, 1.41 ve 1.25 kat daha fazla Reynold sayılarına sahip olduğunu ve ÜG şekilli örneklere ilişkin sürtünme kuvvetlerinin tüm sıcaklıklarda, KA ve DA şekilli örneklerden sırasıyla, %16 ve %11 daha az olduğunu gösterildi. Bu sonuçların olası nedeninin, örneklerin karakteristik uzunlukları olabileceği

düşünüldü. Bunun nedeni ise KA şekilli örneklerden DA ve ÜG şekilli örneklerle doğru uzunluk arttıkça Reynold sayılarının da yükselmiş ve hava akımına karşı direncin azalmış olmasıdır , bu da ÜG şekilli örnekler için KA ve DA şekilli örneklerle kıyasla, daha hızlı kuruma süresi anlamına gelmektedir (Çengel ve Cimbala, 2006). Nusselt ve Reynolds sayıları bakımından $Re_L < 5 \times 10^5$ ve $Pr > 0.6$ 'da bulunan laminar sınır tabakasına ilişkin ortalama ısı transfer katsayıları ilgili denklem (7-13) ile belirlendi ve Çizelge 7.2'de gösterildi (Çengel, 2007). Elde edilen sonuçlar, ÜG şekilli örneklerin KA ve DA şekilli örneklerden sırasıyla, 1.41 ve 1.25 kat daha fazla Reynold sayılarına sahip ve ÜG şekilli örneklerin Nusselt sayılarının KA ve DA şekilli örneklerden sırasıyla, 1.19 ve 1.12 kat daha fazla olduğu gösterildi. Bununla birlikte, ÜG şekilli örneklerin ısı transfer katsayıları KA ve DA şekilli örneklerinden sırasıyla %16 ve %11 daha az bulundu, bu sonucun nedeninin ise ilgili denklemdeki (7-13) h_{isi} değeri üzerinde etkisi bulunan ve ısı transfer katsayılarını azaltan, ÜG şekilli örneklerin, karakteristik uzunluğunun, DA ve KA şekilli örneklerinden daha yüksek olabileceği düşünüldü. Isı transfer katsayılarına ilişkin elde edilen değerler, diğer araştırmacılar tarafından elma (Esfahani ve değ., 2014) ve ayvalara (Valle ve Pallares, 2018) ilişkin yapılan incelemelerde elde edilen değerler ile uyumlu bulundu.

Ayrıca, $Re_L < 5 \times 10^5$ ve $Sc > 0.5$ 'te bulunan düz plaka üzerindeki laminar akışa ilişkin ortalama konvektif kütle transfer katsayıları ve $0.6 < Pr < 60$ ve $0.6 < Sc < 3000$ 'deki Chilton-Colburn benzeşimi ilgili denklemler (7-21) ve (7-23) ile belirlendi ve Çizelge7.2'de gösterildi (Çengel, 2007). Elde edilen sonuçlar ÜG şekilli örneklerin KA ve DA şekilli örneklerden sırasıyla 1.41 ve 1.25 kat daha fazla Reynold sayıları ve %16 ve %11 daha az konvektif kütle transfer katsayılarına sahip olduğunu gösterildi. Bu sonucun nedeninin ise ilgili denklemdeki (7-21) $h_{kütle}$ değeri üzerinde etkisi bulunan ve kütle transfer katsayılarını azaltan, ÜG şekilli örneklerin, karakteristik uzunluğunun, DA ve KA şekilli örneklerinden daha yüksek olabileceği düşünüldü. Bu sonuçlar; daha düşük sıcaklıklara (60-90°C) maruz kalan elma dilimlerine ilişkin sonuçlardan (Pasban ve değ., 2017) biraz daha yüksek olsa da literatürde elde edilen değerler ile uyumlu bulundu.

Elmanın ısı iletkenliği k_t ve özgül ısısı C_p , Çizelge 7.3'te gösterilmekte ve ilgili denklemlerde (3-3) ve (3-4) görüldüğü gibi nem içeriğine ilişkin bir fonksiyondur. Bu araştırmada, belirtildiği gibi daha yüksek kurutma sıcaklıkları nedeniyle ilişkilendirilebileceği benzer bir çalışma Pasban ve arkadaşları (2017) tarafından 60 ila 90°C sıcaklıkta kurutulan elmalarla karşılaştırıldığında bulunan değerlerden biraz daha yüksek bulundu. Buna ek olarak; ÜG şekilli örneklerin sürtünme kuvveti, konvektif ısı ve kütle transfer katsayısı, karakteristik uzunluk üzerindeki bağımlılıkları sebebiyle, KA ve DA şekilli örnekler ile karşılaştırıldığında sırasıyla, %16 ve %11 azaldığını gösterdi. Bu sebeple, farklı şekilli örneklerin en-boy ve yüzey alanının hacme oranına eşit olması halinde, hava akış yönünde daha fazla bir karakteristik uzunluğa sahip örneklerin, en az sürtünme kuvveti, ısı ve kütle transfer katsayısı ortaya koyacağı düşünölmektedir. ÜG şekilli örneklerin sürtünme kuvvetinde meydana gelen azalma, üçgen şekilli örneklerin minimal keskin kenarı sebebiyle, hava akışına olan direncin azalması ve örnekler ile kurutma havasının temasının arttığı anlamına gelmektedir (Esfahani ve değ., 2014). Bununla birlikte; elde edilen sonuçlar, tüm elma türlerinin ÜG şekilli örneklerinin, nem difüzyon katsayılarının KA ve DA şekilli örneklerin nem difüzyon katsayılarından, daha yüksek olduğu gösterildi. Bu nedenle, iç nem hareketi ve difüzyon kurutmanın kontrolünde temel faktör olduğundan, iç nem aktarımı, iç tabakadan yüzeye su hareketinin gerçekteşmesine olanak tanıyan hücre ve doku büzölmesine yol açmakta ve ÜG şekilli örneklerin büzölme biçimi muhtemelen nem içeriğine ilişkin daha büyük itici güç meydana getirmekte ve KA ve DA şekilli örneklerin kuruma süresi ile karşılaştırıldığında daha kısa kuruma süresine olanak tanıyarak, difüzyon katsayısını arttırmaktadır (Mujumdar, 2006; Rahman ve değ., 2018).



8. KURUTMA SÜRECİNİN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ

8.1 Giriş

Farklı gıdaların kurutulma sürecini açıklamak üzere kullanılan birçok model bulunmakta olup söz konusu modeller aşağıda bazılarının belirtildiği farklı amaçlar doğrultusunda kullanılmaktadır:

Farklı kurutma koşullarındaki gıda ürünlerinin kuruma süresinin tahmin edilmesi

- Farklı kurutucuların verimliliğinin artırılması
- Kuruma eğrilerinin genelleştirilmesi
- Yeni bir kurutucunun tasarlanması
- Mevcut kurutucunun geliştirilmesi

Matematikselleştirme, belirli kurutma koşullarındaki gıdanın nem içeriği ve kuruma süresinin tahmin edilmesine imkân tanıyacak bir model geliştirebilmek üzere mühendisler tarafından kullanılmaktadır. Yaş bir gıda genellikle bilinen ve sabit koşullarda ısıtılmış hava akımına maruz kalmakta, ardından nem içeriği kaybı kaydedilmekte ve kuruma eğrilerinin oluşturulması için deneysel veriler kullanılmaktadır (Ertekin ve Firat, 2017). Kurutma süreçlerinin modellenmesinde 1) Dağıtılmış modeller ve 2) Lumped parametre modelleri olmak üzere iki temel model bulunmaktadır.

8.1.1 Dağıtılmış modeller

Dağıtılmış modeller, hem dış hem de iç kütle ve ısı transferine yoğunlaşmakta ve aşağıda yer alan denklemde (8-1) gösterildiği gibi ifade edilmektedir. Bu modellerde; ürünün basınç, nem ve ısı gradyanları, modelleme üzerinde önemli bir role sahiptir (Ertekin ve Firat, 2017).

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \nabla^2 K_{11}M + \nabla^2 K_{12}T + \nabla^2 K_{13}P \quad (8-1)$$

M , nem içeriğini; T , sıcaklığı; P , basıncı; K_{11} , fenomenolojik (phenomenological) katsayısı; K_{12} ve K_{13} ise eşleşme (coupling) katsayılarını ifade etmektedir (Erbay ve Icier, 2010).

8.1.2 Lumped parametre modelleri

Lumped parametre modelleri, aşağıda yer alan denklemde (8-2) gösterildiği üzere nemli katı maddelerdeki sıcaklık gradyana yoğunlaşmamakta ve ürünlerde, hava sıcaklığına eşit ve düzenli bir sıcaklık dağılımı olduğunu varsaymaktadır. Lumped parametre modelleri için, tek parçacıklı veya ince tabakalı kurutma oldukça uygundur; bunun sebebi ise ürünün ince bir yapıya sahip olması ve ürünlerdeki sıcaklık dağılımının düzenli olmasıdır (Onwude ve diğ., 2016; Ertekin & Firat, 2017).

$$\frac{\partial M}{\partial t} = K_{11} \nabla^2 M \quad (8-2)$$

K_{11} etkin nem difüzyonu olarak bilinmektedir. Bununla birlikte, bir gıda örneği konvektif kurutma sürecinde, sıcak hava akışına maruz kalmakta olup sabit ve azalan hız dönemleri olmak üzere iki kurutma evresinden geçebilmektedir. Pek çok gıda ürünüde, tüm kurutma süreci nemli katı maddedeki su hareketinin dış dirence göre daha fazla direnç göstermesi sebebiyle azalan hız döneminde gerçekleşmektedir (Keey, 1972; Treybal, 1980). Ayrıca, azalan hız döneminde, kuruma tavrının tahmin edilmesi suyun iç ve dış hareket mekanizmaları sebebiyle, oldukça karmaşık olduğundan söz konusu karmaşıklığın çözümlenebilmesi için matematiksel modelleme tercih edilebilmektedir.

Azalan hız dönemine ilişkin kurutma denklemleri; Şekil 1.2’de gösterildiği gibi teorik, yarı-teorik ve tamamen deneysel olmak üzere üç temel gruba ayrılmaktadır (Golestani ve diğ., 2013).

8.2 Teorik Modeller

Ürünlerin kuruma tavrılarının açıklanmasındaki kesinlik oranı sebebiyle teorik modellerin, tüm kurutma sürecinde kullanılması mümkündür (Erbay ve Icier, 2010). Teorik modeller genel olarak Fick’in ikinci difüzyon yasası doğrultusunda geliştirilmiştir (Karatas ve Pinarli, 2001). İlgili denklemin (8-2) çözümlenmesi için aşağıda belirtilen hipotezlerin basitleştirilmesi gerektiği pek

çok araştırmacı tarafından öne sürülmüştür (Li ve Ramaswamy, 2006; Gonzalez-Fesler ve değ., 2008; Ertekin ve Firat, 2017).

- Materyalin ısı ve fiziksel özelliklerinin yanı sıra hava ve nem de kurutma süreci boyunca sabittir.
- Materyaller homojen boyut ve geometriye sahip olduğundan dolayı büzülme çok önemli bir rol oynamamaktadır.
- Basınç değişimlerinin göz ardı edildiği varsayılmaktadır.
- Materyaller, homojen ve izotropiktir.
- Başlangıç nem içeriği, tüm nemli katı maddede düzenli bir şekilde dağılmaktadır.
- İç sıcaklık düzenli olup nemli katı madde ise, kurutma işlemi süresince izotermiktir.
- Kurutma sürecinde kimyasal tepkime gerçekleşmemektedir.
- Etkin difüzyon katsayıları, belirtilen sıcaklıktaki katı maddenin genelinde sabittir.

Fick'in ikinci difüzyon yasasının düzlem geometrisine ilişkin olarak başlangıç ve sınır koşulları açısından analitik çözümü, 5. Bölümde denklem (5-3)'te gösterildi (Crank, 1975).

8.3 Yarı-Teorik Modeller

8.3.1 Newton'un soğutma yasası doğrultusunda geliştirilen modeller

8.3.1.1 Newton modeli

Newton modeli, Lewis, *eksponansiyel* (üstsel) ve tek terimli *eksponansiyel* model, Newton modelleri için kullanılan genel isimler olup aşağıda yer alan denklemde (8-3) gösterildiği üzeredir (Madamba, 2003; Mujumdar, 2006; Erbay ve Icier, 2010).

$$MR = \exp(-kt) \quad (8-3)$$

k , genel kurutma sabitini (s^{-1}) ifade etmekte olup deneysel veriler ile elde edilebilmektedir. Daha evvel bahsedildiği üzere kurutma sabiti; iç, dış, kütle ve ısı transferi gibi kurutma sürecinin tüm aktarım özelliklerinin bir birleşimidir (Mujumdar, 2006). Bu model, yalnızca bir sabitin bulunduğu en basit kurutma

modeli olup birçok araştırmacı tarafından kullanılmaktadır (Karathanos, 1999; Özdemir ve Devres, 1999; Doymaz, 2009).

8.3.1.2 Modifiye Page modeli

Modifiye Page modeli, aşağıda yer alan denklemde (8-4) ifade edildiği üzere iki model sabiti n ve k içermektedir (Lahsasni ve değ., 2004).

$$MR = \exp(-(kt)^n) \quad (8-4)$$

8.3.2 Fick'in ikinci difüzyon yasası doğrultusunda geliştirilmiş modeller

8.3.2.1 Henderson ve Pabis modeli

Difüzyonun yakınlılaştırılması, tek terimli, genelleştirilmiş üstel ya da McCromick modeli olarak da adlandırılan bu model, aşağıda yer alan denklemde (8-5) gösterildiği üzeredir:

$$MR = a \exp(-kt) \quad (8-5)$$

a , boyutsuz bir model sabitini ifade etmektedir. Henderson ve Pabis modeli, literatürde oldukça adı geöen bir modeldir (Toğrul ve Pehlivan, 2003; Ertekin ve Yaldiz, 2004).

8.3.2.2 Logaritmik modeli

Asimptotik model olarak da adlandırılan bu model, aşağıda yer alan denklemde (8-6) gösterildiği üzeredir (Midilli ve Kucuk, 2003; Hii ve değ., 2008). Logaritmik model, kayısı (Toğrul ve Pehlivan, 2003) ve fıstığın (Midilli ve Kucuk, 2003) kurutulmasında kullanılabilecek en iyi modeldir.

$$MR = a \exp(-kt) + c \quad (8-6)$$

8.3.2.3 Midilli-Küçük modeli

Aşağıda yer alan denklemde (8-7) gösterildiği üzere üstel ve doğrusal terimlerden oluşan Midilli-Küçük modeli, araştırmacılar tarafından sıklıkla kullanılmaktadır (Lahsasni ve değ., 2004; Ertekin ve Yaldiz, 2004; Hii ve değ., 2008; Kara ve Doymaz, 2015; Ertekin ve Firat, 2017).

$$MR = a \exp(-kt^n) + bt \quad (8-7)$$

8.4 Deneysel Modeller

8.4.1 Wang ve Singh modeli

Aşağıda yer alan denklemde (8-8) gösterildiği üzere ikinci dereceden denklemlerle bir deneysel modeldir (Özdemir ve Devres, 1999; Midilli ve Kucuk, 2003; Hii ve diğ., 2008).

$$MR = 1 + at + bt^2 \quad (8-8)$$

8.5 Materyal ve metotlar

Matematiksel modellemesi için, 4.bölümde belirtildiği üzere materyal ve metotları kullanıldı. Çizelge 8.1’de detaylı bir şekilde gösterildiği üzere matematiksel modelleme için altı kurutma modeli seçildi.

Çizelge 8.1: Kuruma eğrilerinin matematiksel modellemesi.

Model adı	Denklemler	Denklem No.
Newton	$MR = \exp(-kt)$	(8-3)
Modified Page	$MR = \exp(-(kt)^n)$	(8-4)
Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	(8-5)
Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$	(8-6)
Midilli and Kucuk	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	(8-7)
Wang and Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	(8-8)

8.6 İstatistiksel Analizi

Bu çalışmada, bir yazılım paketi (*SPSS Statistics 23, IBM, 2015*), doğrusal olmayan regresyon analizi, Levenberg-Marquardt algoritması ile birlikte 6 farklı kurutma modelinin deneysel veriler ile uyumluluğunu bulmak amacıyla kullanıldı (Doymaz, 2009).

Matematiksel modellerin seçilmesi ve değerlendirilmesi için, genellikle istatistiksel yöntemler tercih edilmektedir. Elma örneklerinin kuruma tavrılarının açıklanması için en uygun ince tabaka kuruma eğrisi denkleminin ve uyumluluk seviyelerinin belirlenmesi amacıyla determinasyon katsayısı (R^2),

indirgenmiş ki-kare (χ^2) ve hataların ortalama karekökü ($RMSE$) gibi literatürde yer alan başlıca değerlendirme yöntemleri ilgili denklemler (8-9), (8-10) ve (8-11) kullanıldı (Kucuk ve değ., 2014; Ertekin ve Firat, 2017).

$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^N (\overline{MR}_{pre,i} - MR_{exp,i})^2} \right] \quad (8-9)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N-z} \quad (8-10)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{N}} \quad (8-11)$$

$MR_{exp,i}$ deneysel nem oranını, $MR_{pre,i}$ tahmin edilen nem oranını, N gözlem sayısını ve z ise sabitlerin sayısını ifade etmektedir. En yüksek R^2 ve en düşük χ^2 ve $RMSE$ değerine sahip model, örneğin kuruma tavrının belirlenmesinde kullanılacak, en iyi model olarak kabul edildi (Doymaz, 2009).

8.7 Sonuçlar Ve Tartışma

Modellerin parametre değerleri ve sabitleri ile istatistiksel sonuçlar, KA, DA ve ÜG şekilli SGD, GS ve SKD elmalar için, Çizelgelerde (8.2), (8.3), (8.4), (8.5), (8.6), (8.7), (8.8), (8.9) ve (8.10) gösterildi.

Çizelge 8.2: SGD-KAörnekler için doğrusal olmayan regresyon analizi ve istatistiksel sonuçları.

Modeller	Sıcaklık(°C)			R ²	RMSE	x ²		
Newton	110	k=0.163		0.9037	0.1018	0.01115		
	115	k=0.193		0.8684	0.1240	0.01690		
	120	k=0.208		0.8311	0.1387	0.02200		
Henderson &Pabis	110	a=1.354	k=0.217	0.9774	0.0493	0.00283		
	115	a=1.439	k=0.271	0.9681	0.0611	0.00456		
	120	a=1.478	k=0.309	0.9594	0.0680	0.00617		
Wang & Singh	110	a=-0.114	b=0.003	0.9715	0.0554	0.00358		
	115	a=-0.128	b=0.003	0.9556	0.0720	0.00633		
	120	a=-0.116	b=-0.002	0.9496	0.0758	0.00767		
Modified Page	110	k=0.158	n=1.764	0.9967	0.0189	0.00042		
	115	k=0.189	n=2.004	0.9969	0.0191	0.00044		
	120	k=0.215	n=2.175	0.9956	0.0224	0.00067		
Logarithmic	110	a=1.462	c=-0.225	k=0.141	0.9960	0.0207	0.00055	
	115	a=1.587	c=-0.298	k=0.162	0.9922	0.0302	0.00125	
	120	a=1.893	c=-0.607	k=0.140	0.9901	0.0335	0.00180	
Midilli & Kucuk	110	a=1.087	b=-0.003	k=0.069	n=1.470	0.9993	0.0085	0.00010
	115	a=1.074	b=-0.002	k=0.059	n=1.733	0.9992	0.0095	0.00014
	120	a=1.062	b=-0.002	k=0.054	n=1.953	0.9978	0.0158	0.00050

Çizelge 8.3: SGD-DA örnekler için doğrusal olmayan regresyon analizi ve istatistiksel sonuçları.

Modeller	Sıcaklık (°C)					R ²	RMSE	x ²
Newton	110	k=0.191				0.8802	0.1156	0.01470
	115	k=0.202				0.8672	0.1229	0.01678
	120	k=0.213				0.8518	0.1312	0.01938
Henderson & Pabis	110	a=1.416	k=0.267			0.9739	0.0539	0.00356
	115	a=1.447	k=0.287			0.9719	0.0566	0.00400
	120	a=1.479	k=0.311			0.9675	0.0615	0.00486
Wang & Singh	110	a=-0.129	b=0.003			0.9601	0.0667	0.00544
	115	a=-0.133	b=0.003			0.9534	0.0728	0.00663
	120	a=-0.134	b=0.002			0.9512	0.0753	0.00729
Modified Page	110	k=0.188	n=1.900			0.9959	0.0213	0.00056
	115	k=0.200	n=1.981			0.9956	0.0224	0.00063
	120	k=0.213	n=2.064			0.9952	0.0236	0.00071
Logarithmic	110	a=1.544	c=-0.266	k=0.166		0.9943	0.0252	0.00088
	115	a=1.588	c=-0.289	k=0.175		0.9930	0.0283	0.00114
	120	a=1.673	c=-0.367	k=0.173		0.9933	0.0279	0.00117
Midilli & Kucuk	110	a=1.089	b=-0.002	k=0.073	n=1.601	0.9992	0.0095	0.00014
	115	a=1.083	b=-0.001	k=0.069	n=1.712	0.9991	0.0100	0.00017
	120	a=1.089	b=-0.002	k=0.073	n=1.740	0.9990	0.0105	0.00020

Çizelge 8.4: SGD-ÜG örnekler için doğrusal olmayan regresyon analizi ve istatistiksel sonuçları.

Modeller	Sıcaklık (°C)			R ²	RMSE	x ²		
	110	k=0.197		0.8742	0.1202	0.01590		
Newton	115	k=0.202		0.8570	0.1300	0.01878		
	120	k=0.216		0.8267	0.1436	0.02357		
	110	a=1.437	k=0.277	0.9715	0.0572	0.00400		
Henderson & Pabis	115	a=1.461	k=0.289	0.9653	0.0640	0.00513		
	120	a=1.505	k=0.324	0.9580	0.0707	0.00667		
	110	a=-0.133	b=0.003	0.9565	0.0707	0.00611		
Wang & Singh	115	a=-0.129	b=0.002	0.9535	0.0742	0.00688		
	120	a=-0.121	b=-0.001	0.9506	0.0767	0.00783		
	110	k=0.193	n=1.960	0.9968	0.0191	0.00044		
Modified Page	115	k=0.199	n=2.065	0.9966	0.0200	0.00050		
	120	k=0.221	n=2.226	0.9969	0.0194	0.00050		
	110	a=1.553	c=-0.258	k=0.174	0.9929	0.0286	0.00113	
Logarithmic	115	a=1.654	c=-0.361	k=0.161	0.9924	0.0300	0.00129	
	120	a=1.908	c=-0.612	k=0.144	0.9916	0.0316	0.00160	
	110	a=1.083	b=-0.002	k=0.068	n=1.674	0.9992	0.0095	0.00014
Midilli & Kucuk	115	a=1.077	b=-0.002	k=0.061	n=1.764	0.9992	0.0100	0.00017
	120	a=1.073	b=-0.003	k=0.058	n=1.917	0.9990	0.0112	0.00025

Çizelge 8.5: GS-KA örnekler için doğrusal olmayan regresyon analizi ve istatistiksel sonuçları.

Modeller	Sıcaklık (°C)					R ²	RMSE	x ²			
Newton	110	k=0.193					0.8868	0.1112	0.01360		
	115	k=0.194					0.8697	0.1204	0.01611		
	120	k=0.200					0.8636	0.1253	0.01744		
Henderson & Pabis	110	a=1.411	k=0.268					0.9784	0.0486	0.00289	
	115	a=1.425	k=0.274					0.9722	0.0587	0.00443	
	120	a=1.448	k=0.285					0.9687	0.0600	0.00450	
Wang & Singh	110	a=-0.132	b=0.003					0.9609	0.0654	0.00522	
	115	a=-0.124	b=0.002					0.9605	0.0663	0.00550	
	120	a=-0.129	b=0.002					0.9557	0.0714	0.00638	
Modified Page	110	k=0.190		n=1.840					0.9950	0.0234	0.00067
	115	k=0.193		n=1.940					0.9955	0.0224	0.00063
	120	k=0.198		n=2.002					0.9957	0.0224	0.00063
Logarithmic	110	a=1.513	c=-0.231	k=0.175					0.9950	0.0234	0.00075
	115	a=1.628	c=-0.358	k=0.154					0.9955	0.0224	0.00071
	120	a=1.625	c=-0.336	k=0.163					0.9931	0.0283	0.00114
Midilli & Kucuk	110	a=1.112	b=-0.003	k=0.090	n=1.499				0.9983	0.0135	0.00029
	115	a=1.096	b=-0.004	k=0.077	n=1.588	0.9991	0.0100	0.00017			
	120	a=1.086	b=-0.003	k=0.069	n=1.688	0.9983	0.0141	0.00033			

Çizelge 8.6: GS-DA örnekler için doğrusal olmayan regresyon analizi ve istatistiksel sonuçları.

Modeller	Sıcaklık (°C)					R ²	RMSE	x ²
Newton	110	k=0.200				0.8833	0.1140	0.01430
	115	k=0.208				0.8653	0.1249	0.01733
	120	k=0.209				0.8515	0.1308	0.01925
Henderson & Pabis	110	a=1.431	k=0.280			0.9780	0.0495	0.00300
	115	a=1.461	k=0.297			0.9706	0.0583	0.00425
	120	a=1.471	k=0.304			0.9682	0.0605	0.00471
Wang & Singh	110	a=-0.138	b=0.004			0.9559	0.0701	0.00600
	115	a=-0.137	b=0.003			0.9534	0.0735	0.00675
	120	a=-0.130	b=0.002			0.9499	0.0760	0.00743
Modified Page	110	k=0.196	n=1.883			0.9951	0.0234	0.00067
	115	k=0.205	n=2.000			0.9957	0.0224	0.00063
	120	k=0.210	n=2.067			0.9961	0.0211	0.00057
Logarithmic	110	a=1.507	c=-0.200	k=0.190		0.9935	0.0270	0.00100
	115	a=1.592	c=-0.285	k=0.181		0.9931	0.0283	0.00114
	120	a=1.677	c=-0.374	k=0.169		0.9923	0.0298	0.00133
Midilli & Kucuk	110	a=1.101	b=-0.001	k=0.082	n=1.594	0.9984	0.0135	0.00029
	115	a=1.092	b=-0.002	k=0.075	n=1.681	0.9991	0.0100	0.00017
	120	a=1.080	b=-0.001	k=0.066	n=1.796	0.9990	0.0105	0.00020

Çizelge 8.7: GS-ÜG örnekler için doğrusal olmayan regresyon analizi ve istatistiksel sonuçları.

Modeller	Sıcaklık (°C)			R ²	RMSE	x ²		
Newton	110	k=0.206		0.8647	0.1249	0.01733		
	115	k=0.204		0.8532	0.1291	0.01875		
	120	k=0.220		0.8473	0.1350	0.02050		
Henderson & Pabis	110	a=1.462	k=0.295	0.9772	0.0566	0.00400		
	115	a=1.458	k=0.296	0.9677	0.0606	0.00471		
	120	a=1.502	k=0.323	0.9655	0.0641	0.00529		
Wang & Singh	110	a=-0.136	b=0.003	0.9506	0.0755	0.00713		
	115	a=-0.126	b=0.001	0.9540	0.0723	0.00671		
	120	a=-0.140	b=0.003	0.9451	0.0810	0.00843		
Modified Page	110	k=0.204	n=1.982	0.9939	0.0265	0.00088		
	115	k=0.206	n=2.036	0.9951	0.0236	0.00071		
	120	k=0.219	n=2.124	0.9953	0.0236	0.00071		
Logarithmic	110	a=1.581	c=-0.268	k=0.184	0.9922	0.0300	0.00129	
	115	a=1.703	c=-0.416	k=0.157	0.9932	0.0279	0.00117	
	120	a=1.657	c=-0.328	k=0.188	0.9907	0.0333	0.00167	
Midilli & Kucuk	110	a=1.101	b=-0.002	k=0.078	n=1.663	0.9974	0.0173	0.00050
	115	a=1.089	b=-0.003	k=0.071	n=1.713	0.9990	0.0105	0.00020
	120	a=1.080	b=-0.001	k=0.066	n=1.844	0.9991	0.0105	0.00020

Çizelge 8.8: SKD-KA örnekler için doğrusal olmayan regresyon analizi ve istatistiksel sonuçları.

Modeller	Sıcaklık (°C)			R ²	RMSE	x ²		
	110	k=0.182		0.8840	0.1120	0.01380		
Newton	115	k=0.185		0.8684	0.1200	0.01600		
	120	k=0.196		0.8706	0.1200	0.01600		
	110	a=1.394	k=0.252	0.9756	0.0514	0.00322		
Henderson & Pabis	115	a=1.412	k=0.262	0.9717	0.0557	0.00388		
	120	a=1.431	k=0.278	0.9731	0.0548	0.00375		
	110	a=-0.122	b=0.003	0.9622	0.0640	0.00500		
Wang & Singh	115	a=-0.118	b=0.001	0.9589	0.0671	0.00563		
	120	a=-0.128	b=0.002	0.9560	0.0700	0.00613		
	110	k=0.181	n=1.859	0.9958	0.0213	0.00056		
Modified Page	115	k=0.187	n=1.941	0.9954	0.0224	0.00063		
	120	k=0.196	n=1.941	0.9955	0.0224	0.00063		
	110	a=1.549	c=-0.287	k=0.154	0.9950	0.0234	0.00075	
Logarithmic	115	a=1.647	c=-0.384	k=0.144	0.9945	0.0245	0.00086	
	120	a=1.592	c=-0.307	k=0.166	0.9937	0.0265	0.00100	
	110	a=1.090	b=-0.002	k=0.073	n=1.570	0.9992	0.0095	0.00014
Midilli & Kucuk	115	a=1.084	b=-0.002	k=0.066	n=1.659	0.9991	0.0100	0.00017
	120	a=1.090	b=-0.002	k=0.073	n=1.651	0.9991	0.0100	0.00017

Çizelge 8.9: SKD-DA örnekler için doğrusal olmayan regresyon analizi ve istatistiksel sonuçları.

Modeller	Sıcaklık (°C)				R ²	RMSE	x ²	
Newton	110	k=0.190			0.8679	0.1212	0.01633	
	115	k=0.200			0.8629	0.1257	0.01756	
	120	k=0.214			0.8522	0.1312	0.01938	
Henderson & Pabis	110	a=1.423	k=0.269		0.9704	0.0575	0.00413	
	115	a=1.450	k=0.286		0.9696	0.0592	0.00438	
	120	a=1.481	k=0.312		0.9676	0.0615	0.00486	
Wang & Singh	110	a=-0.121	b=0.002		0.9596	0.0671	0.00563	
	115	a=-0.129	b=0.002		0.9540	0.0728	0.00663	
	120	a=-0.135	b=0.002		0.9514	0.0753	0.00729	
Modified Page	110	k=0.190	n=1.954		0.9955	0.0224	0.00063	
	115	k=0.198	n=2.001		0.9956	0.0224	0.00063	
	120	k=0.214	n=2.071		0.9962	0.0211	0.00057	
Logarithmic	110	a=1.648	c=-0.381	k=0.148	0.9946	0.0245	0.00086	
	115	a=1.620	c=-0.327	k=0.166	0.9931	0.0283	0.00114	
	120	a=1.669	c=-0.361	k=0.175	0.9933	0.0279	0.00117	
Midilli & Kucuk	110	a=1.090	b=-0.003	k=0.071	n=1.627	0.9991	0.0100	0.00016
	115	a=1.089	b=-0.002	k=0.070	n=1.688	0.9983	0.0141	0.00033
	120	a=1.087	b=-0.002	k=0.071	n=1.757	0.9991	0.0105	0.00020

Çizelge 8.10: SKD-ÜG örnekler için doğrusal olmayan regresyon analizi ve istatistiksel sonuçları.

Modeller	Sıcaklık (°C)			R^2	RMSE	χ^2		
	110	k=0.206		0.8580	0.1261	0.01788		
Newton	115	k=0.215		0.8484	0.1338	0.02012		
	120	k=0.219		0.8511	0.1325	0.01975		
	110	a=1.456	k=0.298	0.9712	0.0568	0.00414		
Henderson & Pabis	115	a=1.487	k=0.314	0.9661	0.0633	0.00514		
	120	a=1.493	k=0.321	0.9680	0.0615	0.00486		
	110	a=-0.130	b=0.002	0.9523	0.0730	0.00686		
Wang & Singh	115	a=-0.134	b=0.002	0.9501	0.0767	0.00757		
	120	a=-0.139	b=0.002	0.9482	0.0782	0.00786		
	110	k=0.208	n=2.005	0.9950	0.0236	0.00071		
Modified Page	115	k=0.215	n=2.104	0.9962	0.0211	0.00057		
	120	k=0.218	n=2.090	0.9962	0.0211	0.00057		
	110	a=1.652	c=-0.355	k=0.169	0.9931	0.0279	0.00117	
Logarithmic	115	a=1.685	c=-0.374	k=0.173	0.9925	0.0298	0.00133	
	120	a=1.655	c=-0.334	k=0.184	0.9925	0.0298	0.00133	
	110	a=1.089	b=-0.001	k=0.073	n=1.720	0.9990	0.0105	0.00020
Midilli & Kucuk	115	a=1.082	b=-0.002	k=0.067	n=1.799	0.9991	0.0105	0.00020
	120	a=1.086	b=-0.002	k=0.071	n=1.782	0.9991	0.0105	0.00020

R^2 , χ^2 ve $RMSE$ değerleri, her koşulda sırasıyla 0.8267-0.9993, 0.00010-0.02357 ve 0.0085-0.1436 arasında değişkenlik gösterildi. Sonuçlar doğrultusunda en yüksek R^2 ve en düşük χ^2 ve $RMSE$ değerlerinin, tüm örneklere ilişkin olarak Midilli-Küçük modeline ait olduğunun görülmesi sebebiyle, bu model elmaların konvektif kuruma karakteristiklerinin belirlenmesi için ideal kurutma modeli olarak belirlendi. Bu sonuçlar, aynı zamanda örneklerin iç tabakasından yüzeye doğru iç su hareketini sağlayan mekanizmanın benzer bir desene (pattern) sahip olduğunu ve dolayısıyla kurutma modelinin tüm elma örnekleri için aynı olduğunu da belirtmektedir. Bazı araştırmacılar, gümüş balığı (Toujani ve değ., 2013), patates, balkabağı ve

elmaların (Akpınar, 2006) konvektif kurutulmasında Midilli-Küçük modelin uygun olabileceğini öne sürmüştür. Bununla birlikte; ortaya konulan sonuçlar, yeşil elmalar için logaritmik bir modelin (Doymaz, 2009), ıspanak için Page modelinin (Dadali ve değ., 2007) ve kakao çekirdekleri için Hii modelinin (Hii ve değ., 2008) seçildiği bazı çalışmaların sonuçlarından farklılık göstermektedir. Bu farklılığın, farklı iç ve dış faktörler, farklı kurutma karakteristikleri meydana getirdiği etkiden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.



9. ELMANIN TEKSTÜREL ÖZELLİKLERİ

9.1 Giriş

Tekstür, kurutulmuş gıdaların temel özelliklerinden biri olup gıda ürünlerinin işleme sürecini optimize yapmak üzere kullanılmaktadır (Bourne, 2002). Gıda maddelerinde, aşağıda belirtildiği üzere dört temel kalite faktörü bulunmaktadır:

- Görünüm: renk, şekil, boyut.
- Tat: tat ve koku.
- Tekstür: sertlik, gevreklik, kırılabilirlik vb.
- Besin: makro ve mikro besinler.

Görünüm, tat ve tekstür, “duyusal olarak algılanabilir faktörler” olarak bilinmekle birlikte besin ise bir kalite faktörü olarak tanımlanmaktadır. Duyusal olarak algılanabilir faktörler, insanların gıda seçimlerinde ve bu gıdaları beğenip beğenmemelerinde oldukça önemli bir rol oynamaktadır.

Gıdaların genel olarak kabul edilebilirliğinde tekstürün önem derecesi, aşağıda belirtildiği üzere gıda türüne bağlıdır:

1-Tekstür, patates cipsi ve mısır gevreklerinde son derece önemli bir rol oynamaktadır.

2-Tekstür; meyve, sebze, peynir, şeker ve ekmekte önemli bir rol oynamaktadır.

3-Tekstürün içecekler ve çorbalar üzerinde daha az önemli bir rolü bulunmaktadır.

Tekstür, gıdanın yapısına bağlı farklı fiziksel özellikler olup fiziksel özelliklerin mekanik veya akış bilimsel alanları ile ilişkilidir. Bir gıdanın tekstürel özellikleri; kuvvet, zaman ve mesafe işlevleri ile ölçülen akım, bozunum ve deformasyon ile bağıntılıdır (Bourne, 2002). Kurutma, eş zamanlı olarak ısı ve kütle transfer süreçlerini içermesi sebebiyle kurutma sırasında, farklı gıdaların mekanik özellikleri yapısal değişiklikler nedeniyle farklılık gösterebilmektedir. Bazı gıda maddeleri, kendilerini nem içeriği ve sıcaklık değişikliklerine karşı

fazla duyarlı hale getiren amorf bir yapıya sahip olabilmektedir. Bu amorf yapı, cam ya da kauçuk olarak bulunabilmektedir. Yüksek sıcaklık ve/veya yüksek su içeriğinde ise amorf yapılı gıdalar oldukça ‘’ kauçuktur’’. Bununla birlikte, nem içeriği veya sıcaklık azaldıkça ‘’camsı’’ olarak tanımlanan elastik bir tavır sergilemektedirler. Gıdaların bu farklı tavırları doğal olarak farklı tekstürel özellikler yaratmaktadır. Bu sebeple, kurutulmuş gıdaların tekstürel özelliklerinin değerlendirilmesi, gıda kalitesinin artırılması adına güçlü bir araçtır (Telis ve Telis-Romero, 2005).

9.2 Gıdaların Tekstürel Özelliklerinin Belirlenmesi

Gıdaların tekstürel özelliklerinin belirlenmesinde, 1) enstrümantal ölçüm ve 2) duyu testler olmak üzere iki yöntem bulunmaktadır.

Enstrümantal tekstür analizi, gerek ham gerekse işlenmiş gıdaların tekstürel özelliklerinin değerlendirilmesinde düşük maliyetli ve hızlı bir tekniktir (Rolle ve diğ., 2012). Şekil 9.1’de gösterildiği enstrümantal tekstür analiz cihazları; belirli bir hız veya kuvvet ile gıda örneğine nüfuz etmek ve ilgili alanda inceleme yapmak amacı ile sensörlü kullanan kontrollü test cihazlarıdır.

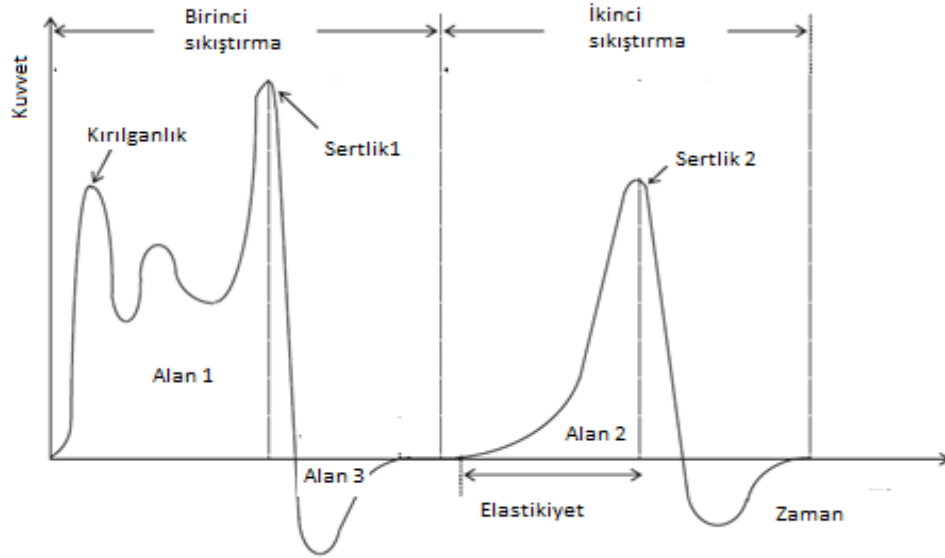


Şekil 9.1: TA-HD plus Tekstür Analiz Cihazı (Stable Micro System.UK).

9.3 Tekstür Profil Analizi (TPA)

Tekstür profili analizinde, dişlerin çiğneme işlevi taklit edilerek bir lokma büyüklüğündeki gıda parçaları iki kez sıkıştırılmaktadır. Tekstür profilleri

zamanın bir işlevi olarak ortaya çıkan kuvvetten kaynaklanan eğimlerdir. Gıda örneği iki kez sıkıştırıldığı için eğrilerden iki pozitif ve iki negatif kuvvet elde edilebilmektedir (şekil 9.2) (Sahin ve Sumnu, 2006).



Şekil 9.2: Tipik tekstür profili. (Sahin ve Sumnu, 2006) dan uyarlandı.

Tekstür profil analizinden alınan farklı gıda özellikleri aşağıda belirtildiği üzere tanımlanmaktadır:

- Sertlik: Birinci sıkıştırma döngüsünde elde edilen maksimum kuvvet değeridir.
- Kırılgnalık: Birinci çatlama birinci sıkıştırma döngüsünde elde edilen kuvvet değeridir.
- Yapışkanlık: A2 alanının A1 alanına oranıdır.
- Adezif yapışkanlık: Gıda ile ölçüm ucu arasındaki çekim kuvvetinin üstesinden gelebilmek için yapılması gereken iştir (Alan 3).
- Esneklik (elastikiyet): Gıdanın iki ısırık arası ulaştığı uzunluktur.
- Zamksılık: Yarı-katı bir gıdanın bölünmesi için gerekli enerjidir ($sertik \times yapışkanlık$).
- Çiğnenebilirlik: Katı bir gıdanın çiğnenmesi için gerekli enerjidir ($zamksılık \times esneklik$) (Sahin ve Sumnu, 2006).
- Gevreklik: Eğrinin ilk düz parçasının, eğimidir (Nowak ve Lewicki, 2005).

Bununla birlikte, bazı tekstürel özelliklerin duyuşal tanımları aşağıda belirtildiği üzeredir (Paula ve Conti-Silva, 2014):

Sertlik: Gıdanın ezilmesi için molar (öğütücü) dişlerin uyguladığı kuvvettir.

Kırılđanlık: Kesici diőler kullanılarak ısırıldığında gıdanın parçalara ayrılma durumudur.

Gevreklik: Çiğneme sırasında gıdanın çıkardığı sestir.

Gıdaların yapısal özellikleri arasında yer alan gevreklik, ham ve işlenmemiş gıdaların tazelik ve sertliği ile ilişkilidir. Duyusal, mekanik ve işitsel yöntemler, gıdaların gevreklik seviyesinin belirlenmesi için kullanılmaktadır.

Tunick ve diğ. (2013), gevrek gıdaları ‘‘Kesici diőler ile ısırıldığlarında hızlıca ve kolayca parçalanan ve kırılırken yüksek bir ses çıkaran sert gıdalar’’ olarak tanımlamışlardır. Bu gıdalar, su içeriklerine göre yaş ve kuru olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Örneğin, meyve ve sebzeler su dolu hücreşel yapıları sebebiyle yaş gevrek gıdalar olarak tanımlanmaktadır. Bununla birlikte, patates cipsi veya krakerler gibi kuru gevrek gıdalar su yerine hava ile doludur. Gıdaların kurutulması sırasında, hücrelerdeki su içeriği buharlaşmakta, zarar görmüş hücre duvarları meydana getiren bir basınç uygulamakta ve suyun ortadan kaldırılması sebebiyle kırılma meydana getirmektedir. Dolayısıyla, gıdaların sıkıştırma kuvvetlerine karşı dayanıklılığı azalmaktadır. Tüm bu etkiler, kurutulmuş gıdaların gevrekliğini, kırılma tavrını ve kırılđanlıđını arttırmaktadır (Varela ve diğ., 2006).

9.4 Materyal Ve Metotlar

Kurutulmuş gıdaların sertlik (N), kırılđanlık (N) ve gevreklik (N/mm) gibi tekstürel parametreleri, TA-HD plus Tekstür Analiz Cihazı (Stable Micro Systems, Birleşik Krallık) ile ölçüldü.

Ayrıca,SGD, GS ve SKD elmalarının kare (17.7×17.7 mm) biçimli örneklerinin tekstürel özelliklerinin belirlenmesi ve kare (17.7×17.7 mm), daire (çap: 19.96 mm) ve üçgen (25.02 mm taban ve yükseklik) olmak üzere üç farklı geometrik biçimli SGD elma örneklerinin tekstürel özelliklerinin saptanması amacıyla; elmalar, 120°C sıcaklıkta 1.75 m/s hava hızı ve Hs=25°C doymuş sıcaklıkta

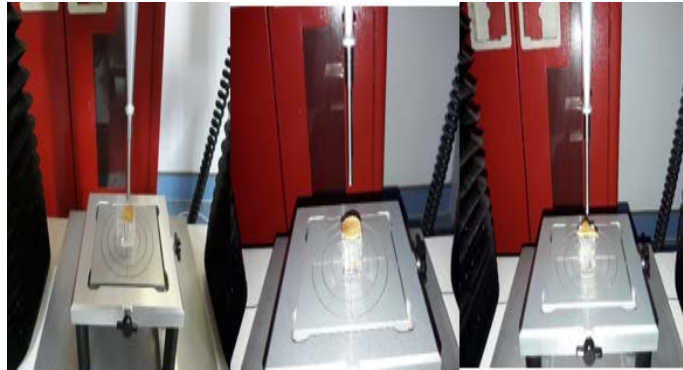
kurutuldu. Ardından, 4 mm çapında prob, 1mm/s test hızı ve 5 mm derinliğinde nüfuz etme özelliğinde, 10 g tetikleme kuvveti (trigger force) ile basınç testleri gerçekleştirildi. Kuvvet, zaman ve mesafe grafikleri oluşturmak için *Texture Exponent 32* yazılım programı kullanıldı. Tüm testler üç kere tekrar edildi ve ortalama değerler belirlendi (Antal ve değ., 2015).

9.5 İstatistiksel Analizi

Bu çalışmada, bir yazılım paketi (*SPSS Statistics 23, IBM. 2015*) kullanıldı ve sertlik, kırılma ve gevreklik ortalama değerleri, önemli farklılıkların ($p < 0.05$) belirlenmesi için Tukey-HSD testlerinin izlediği varyans analizi (ANOVA) ile karşılaştırıldı ve ortalama sonuçlar, ortalama \pm standart sapma (SD) olarak raporlandı (çizelge 9.1 ve 9.2) (Doymaz, 2009; Paula ve Conti-Silva, 2014). İstatistiksel analiz sonuçları, Ek B'de yer alan (9.3), (9.4), (9.5.1),(9.5.2), (9.5.3), (9.5.4), (9.6), (9.7), (9.8.1), (9.8.2), (9.8.3) ve (9.8.4) numaralı çizelgelerde gösterildi.

9.6 Sonuçlar Ve Tartışma

Kare şekilli kurutulmuş SGD, GS ve SKD elmalarının, sertlik (N), kırılma (N) ve gevreklik (N/mm) gibi tekstürel özellikleri, tekstür analiz cihazı ile değerlendirildi (Nowak ve Lewicki, 2005; Paula ve Conti-Silva, 2014). Kare, daire ve üçgen şekilli SGD elmalarının, tekstürel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Şekil 9.3'te gösterildiği gibi, tekstür analiz cihazı ile basınç uygulandı ve üç ölçümden elde edilen ortalama değerler hesaplandı (Antal ve değ., 2015).



Şekil 9.3: KA, DA ve ÜG şekilli örneklere ilişkin tekstürel özelliklerin enstrümantal analizi.

Çizelge 9.1: Kare şekilli SGD, GS ve SKD elmalarının enstrümantal tekstürel özellikleri (ortalama \pm SD, n=3), 120°C, V=1.75 m/s, $H_s = 25^\circ\text{C}$.

Numune	Sertlik (N)	Kırılgenlik (N)	Gevreklik (N/mm)
SGD	3.26 \pm 0.59 ^a	2.08 \pm 0.29 ^a	7.61 \pm 0.79 ^a
GS	5.86 \pm 0.33 ^b	4.28 \pm 0.16 ^b	12.00 \pm 0.78 ^b
SKD	5.66 \pm 0.51 ^b	2.11 \pm 0.28 ^a	7.79 \pm 0.95 ^a

Farklı üstsimge ile aynı sütunda bulunan farklı ortalamalar, $p < 0.05$ seviyesinde anlamlıdır.

Çizelge 9.2: SGD elmalarının KA, DA ve ÜG şekilli örneklerinin enstrümantal tekstürel özellikleri (ortalama \pm SD, n=3), 120°C, V=1.75 m/s, $H_s = 25^\circ\text{C}$.

Numune	Sertlik(N)	Kırılgenlik (N)	Gevreklik (N/mm)
KA	3.26 \pm 0.59 ^a	2.08 \pm 0.29 ^a	7.61 \pm 0.79 ^a
DA	4.46 \pm 0.19 ^b	3.68 \pm 0.87 ^b	9.42 \pm 0.77 ^b
ÜG	2.57 \pm 0.18 ^a	1.64 \pm 0.18 ^a	4.55 \pm 0.30 ^c

Farklı üstsimge ile aynı sütunda bulunan farklı ortalamalar, $p < 0.05$ seviyesinde anlamlıdır.

Çizelge 9.1’de GS ve SKD elmalarının sertlik değerinin, SGD elmalarından istatistiksel olarak farklı olduğu ($p < 0.05$) ve GS elmaların kırılgenlik ve gevreklik değerlerinin, SGD ve SKD elmaları ile karşılaştırıldığında istatistiksel olarak bir farklılık ($p < 0.05$) gösterdiği bulundu. Sonuçlardan görülebileceği üzere, sertlik değerlerinin GS elmaları ile karşılaştırıldığında SKD ve SGD elmalarında sırasıyla, %4 ve %44 oranında azaldığı saptanırken, kırılgenlik ve gevreklik değerlerinin yine GS elmaları ile karşılaştırıldığında, SKD elmalarında sırasıyla, %103 ve %54 ve SGD elmalarında ise %106 ve %58 arttığı bulundu. Çalışmamızda gözlemlenen sertlik değerleri; bazı yazarların 63.2 ve 73.0°C sıcaklıklarda kurutulmuş Idared elmaları için sırasıyla, 8.89 ve 7.94 N (Nowak ve Lewicki, 2005), 75°C sıcaklıkta kurutulmuş Idared elmaları için 7.02 N (Antal ve değ., 2015), 60 ve 90°C sıcaklıklarda kurutulmuş yabanmersini için sırasıyla, 13 ve 30 N (Zielinska ve Michalska, 2016) ve 65°C

sıcaklıkta kurutulmuş mango, pitaya ve papaya meyveleri için sırasıyla, 65.3, 63.9 ve 48.5 N (Yi ve değ., 2017) olarak raporlanan değerlerle uyumlu bulundu. Buna ek olarak, sertlik değeri, gevreklik ve kırılmalık değerleri ile ters bağıntılıdır (Lohani ve Muthukumarappan, 2016). Elde ettiğimiz sonuçlar; elmaların hücre yapılarında istenen değişikliklere ilişkin, daha yüksek sıcaklık etkisinden kaynaklanabilen, farklı kurutma koşullarında literatürde raporlananlardan daha düşük sertlik ve daha yüksek gevreklik değerlerini ortaya koydu. Daha yüksek sıcaklıkta, hızlı nem buharlaşmasına ve doku yapısında daha fazla değişikliğe neden olmakta, kurutma hızında artışa yol açmaktadır. Ayrıca, hızlı kuruma amorf alanın oluşmasını sağlar ki bu da düşük hızda kurutulmuş gıdalara kıyasla, gıdanın kırılmalığını arttırmakta ve daha gevrek bir ürün ortaya koymaktadır (Nowak ve Lewicki, 2005). Kurutma sürecinde, doku yapısında meydana gelen değişiklikler, sıcaklık derecesine bağlı olup daha yüksek sıcaklıkta, gıdaların parçalanma sürecini kolaylaştırmakta ve dolayısıyla kurutulmuş elmaların daha gevrek olmasını sağlamaktadır (Nowak ve Lewicki, 2005). Bununla beraber, verilerimiz ile Junlakan ve değ. (2017) sonuçları arasında anlamlı farklılıklar bulundu. Junlakan ve değ. (2017), 110-120°C sıcaklıklarda doğal taşınımı kurutucu kullanılarak, kurutulan elmaların sertlik değerlerini sırasıyla 201.25, 198,62 ve 129,47 N olarak bulmuşlar. Bu farklılığın, bizim çalışmamız zorlanmış taşınımın tercih edilmesi ile kurutulmuş elmaların daha yüksek gözenekliliğin ve daha az sertlik değerinde sebep olabileceği düşünöldü (Nowak ve Lewicki, 2005; Lohani ve Muthukumarappan, 2016). Ayrıca, SGD elmalarının kırılmalık ve gevreklik bakımından, endüstriyel kurutucular için en uygun elma türü olduğu kabul edilmektedir. Bu sebeple, sonraki deneyler için diğer elma türleri arasında, SGD elmaları tercih edildi.

Çizelge 9.2’de ÜG ve KA şekilli örneklerin sertlik ve kırılmalık değerlerinin, DA şekilli örneklerden istatistiksel olarak farklı ($p < 0.05$) olduğu bulundu. Ayrıca, tüm örneklerin gevreklik değerinin birbirlerinden istatistiksel olarak farklı olduğu ($p < 0.05$) belirlendi. Kırılmalık ve gevreklik değerlerinin DA şekilli örnekler ile karşılaştırıldığında ÜG şekilli örneklerde sırasıyla, %124 ve %107 oranında ve KA şekilli örneklerde sırasıyla, %77 ve %24 oranında arttığı saptanırken, sertlik değerinin yine DA şekilli örnekler ile karşılaştırıldığında,

ÜG ve KA şekilli örneklerde sırasıyla %42 ve %27 oranında azaldığı bulundu. Buna ek olarak, DA ve ÜG şekilli örneklerin sırasıyla, en yüksek ve en düşük sertlik derecesine sahip olduğu görüldü. Ayrıca, kırılmalık ve gevreklik ile sertlik arasındaki ilişkinin ters olması sebebiyle, deneysel sonuçların ÜG şekilli örneklerin en yüksek kırılmalık ve gevreklik değerlerine sahip olduğu gösterildi (Lohani ve Muthukumarappan, 2016). Keskin kenarlar; kurutma havası ve örnek arasındaki temasın azalmasına sebep olmakla birlikte dokulardaki sertlik ve büzülmeyi arttırabilmektedir (Esfahani ve değ., 2014). Bu sebeple, keskin kenarların sayısı sırasıyla üç, dört ve sayısız keskin kenarlı üçgen, kare ve daire şekilli elmalarda arttıkça, sertlik derecesi de artış göstermektedir. Çalışmamızdan elde edilen sonuçlar; patates ve havucun sertlik değerinin sırasıyla, 4.106 ve 5.144 N (Antal ve değ., 2013), elmanın sertlik değerinin ise 2.66-7.02 N (Antal ve değ., 2015) olarak raporlandığı diğer çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile uyumlu bulundu.

10. ELMADA YENİLEBİLİR KAPLAMALARIN KULLANIMI

10.1 Giriş

Farklı yenilebilir film veya kaplamaların kullanımı her ne kadar son yıllarda dikkatleri çekse de, film ve kaplamalar özellikle meyvelerin nem kaybını önlemek, parlak bir yüzey yaratmak ve gıda ürünlerini korumak amacıyla yüzyıllardır kullanılmaktadır (Dehghani ve diğ., 2018). Yenilebilir film ve kaplamaların kullanımı, Çin’de su kaybını geciktirmek amacıyla turunçgillere mumdan yapılan kaplamaların uygulandığı on iki ile on üçüncü yüzyıllara kadar uzanmaktadır (Debeaufort ve diğ., 1998; Embuscado ve Huber, 2009). 15. yüzyıla gelindiğinde ise Asya’da soya sütünden elde edilen ve Yuba olarak adlandırılan yenilebilir bir film, gıdaların kalitesinin ve görünümünün korunması amacıyla kullanılmıştır. 19. yüzyılda ise fındık, badem ve fıstıklar oksidasyondan ve yağların bozulmasından korunmaları için sakaroz ile kaplanmaktaydı (Debeaufort ve diğ., 1998). Bugüne kadar gıda türleri üzerine yapılan birçok çalışma, gıdaları yenilebilir filmler ile kaplamanın gıda güvenliği ve kalitesini korumak için en uygun maliyetli yol olduğunu ortaya koymuştur (Embuscado ve Huber, 2009).

10.2 Yenilebilir film ve kaplamaların fonksiyonel özellikleri

Yenilebilir film ve kaplamalar, gıda yüzeyini kaplayan ve gıdalar ile birlikte tüketilebilen yenilebilir bileşenlerden oluşan ince tabakalar olarak tanımlanabilmektedir. Yenilebilir film ve kaplamalar, gıda sanayilerinde tercih edilmelerini sağlayan pek çok işleve sahip olup gıdaları nem kayıplarına karşı koruyan doğal tabakalar sağlamaları bu işlevlerden biridir. Bununla birlikte, oksijen, karbondioksit ve etilen gibi farklı gazlara karşı seçicilikleri, solunum için gerekli bu gazların kontrollü bir biçimde değişimine izin vermektedir. Yenilebilir film ve kaplamaların kalınlığı genellikle 0.3 mm’den azdır (Embuscado ve Huber, 2009).

Yenilebilir film ve kaplamaların, aynı zamanda yüzey sterilizasyonu sağlamaları, antimikrobik ve antifungal (mantar önleyici) yüzeyler meydana getirmeleri, taze ürünlerin raf ömrünü uzatmaları, zararlı kimyasal faaliyetleri önlemeleri, önemli gıda bileşenlerinin varlığını korumaları, gıdaların mekanik hasara uğramasını ve mikrobiyolojik ve biyokimyasal değişikliklere maruz kalmasını önlemeleri gibi önemli işlevleri de bulunmaktadır (Galus ve Kadzinska, 2015; Gutiérreza, 2017). Yenilebilir film ve kaplamalar, aynı zamanda gıdaların kızartılması sırasında yağ alımının azaltılması ve depolama sırasında ise renk ve aroma kaybının önlenmesi amacıyla da kullanılmaktadır (Khazaei ve diğ., 2016).

Yenilebilir film ve kaplamalar aynı zamanda nutrasötik, antimikrobiyal, antioksidan, esmerleşmeyi önleyici ve tekstür geliştirici maddeler için taşıyıcı olarak da işlev gösterebilmekte ve gıda güvenliği, besin değerleri, kalitesi, işlevselliği ve duyu özelliklerinin geliştirilmesi için kullanılabilir (Rojas-Graü ve diğ., 2009). Yenilebilir film ve kaplamalar, minimum işlenmiş gıda ve hazır gıda sanayilerinde sağlıklı ve uygun gıdaların üretilmesi için de faydalı olabilmektedir (Freitas ve diğ., 2013). Yenilebilir film ve kaplamalar, yapay filmler ile karşılaştırıldığında sundukları avantajlar ve gıda ürünleri ile güvenli bir şekilde tüketilebilmeleri sebebiyle son yıllarda oldukça dikkat çekmektedir (Hassan ve diğ., 2018). Bununla birlikte; yenilebilir film ve kaplamalar, tüketicilerin yaşam tarzlarında değişikliklere neden olabilen modern gıda koruma sistemleridir (Kurek ve diğ., 2017) .

Yenilebilir film ve yenilebilir kaplama arasında temel bir farklılık bulunmaktadır. Yenilebilir kaplamalar, gıdanın biyopolimer içeren bir çözeltiye batırılması ile gıda yüzeyine sıvı formda uygulanan ince tabakalar iken yenilebilir filmler ise ilk olarak katı tabaka meydana getiren ve ardından gıda materyalleri üzerinde bir ince film olarak kullanılabilen tabakalardır (Falguera ve diğ., 2011). Yenilebilir film ve kaplamaların özellikleri, hidrofobik-hidrofilik karakteristiklerine bağlıdır. Hidrofobik moleküller genellikle, güçlü bir nem bariyeri özelliği sergilerken, hidrofilik moleküller güçlü mekanik özelliklerin yanı sıra iyi bir oksijen ve karbondioksit bariyeri ortaya koymaktadır (Dhumal ve Sarkar, 2018). Film oluşturma potansiyeline sahip materyaller, fiziksel veya kimyasal işlemler altında, sürekli bir yapı oluşturabilecek sentezlenmiş ve

yenilebilir kaplamalar için kullanılmaktadır. Yenilebilir film ve kaplamalar genel olarak polisakkaritler, proteinler, lipitler ve kompozitler olmak üzere dört kategoriye ayrılmaktadır.

Polisakkaritlerin oksijen, karbondioksit ve etilen gibi gaz iletimlerinin kontrol edilmesinde faydalı olduğu, protein kaynaklı film ve kaplamaların mekanik kararlılık sağladığı, lipitlerin nem iletimini azaltmak amacıyla kullanıldığı, kompozit veya çoklu bileşenlerin ise her bir maddenin işlevsel özelliklerine ilişkin avantajlar sağladığı ve dezavantajlarını azalttığı bilinmektedir (Debeaufort ve diğ., 1998; Embuscado ve Huber, 2009).

Yenilebilir film ve kaplamalar genellikle su ve alkol gibi çözücü maddelerde çözünmektedir. Ayrıca, antimikrobiyal ajanlar, renklendiriciler, nutrasötikler, antioksidanlar, esmerleyici-önleyiciler, tekstür arttırıcılar, tatlandırıcılar ve plastikleştirici maddeler gibi farklı türdeki malzemeler de yenilebilir film ve kaplamalara eklenebilmektedir. Yenilebilir kaplamaların gıdalara uygulanmasındaki temel yöntemler, gıdanın çözelti içine batırılması veya kaplama çözeltisinin sprey ve fırça yardımıyla gıda yüzeyine direkt olarak uygulanmasıdır. Çözeltinin derişimine bağılı olarak, gıdalar kaplama materyalinin bir kısmını absorbe edecektir ve kuruma gerçekleştiğinde çözücü maddeler buharlaştırır ve gıda yüzeyinde bir katman oluşmasına sebebiyet verecektir. Yenilebilir filmler, buharlaştırma yoluyla çözeltilerden elde edilebilmektedir. Buharlaşma hızı ve sıcaklık, filmin özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Embuscado ve Huber, 2009; Hassan ve diğ., 2018).

10.3 Genel olarak güvenilir kabul edilen (GRAS)

Gıda katkı maddelerine ilişkin genel standartlarına (kodeks standartları 192-1995) uygun olan yenilebilir film ve kaplamalar gıdalar için uygun kabul edilmektedir. Yalnızca Gıda Katkıları FAO/WHO Ortak Uzmanlar Komitesi (JECFA) ve Uluslararası Numaralandırma Sistemi (INS) tarafından güvenli olarak belirlenen yenilebilir film ve kaplamalar ilgili standart kapsamında değerlendirilecektir (FAO ve WHO, 2017). Bu bileşenlerin kaliteli üretim uygulamalarına uygun olarak Gıda ve İlaç Dairesinin (FDA) onayını veya GRAS (Genellikle Güvenilir Olarak Kabul Edilen) statüsünü almış olmaları gerekmektedir. Bununla birlikte, laktoz hassasiyeti (süt) ve Çölyak hastalığı

(buğday gluteni) gibi gıda alerjisi veya duyarlılığı olan tüketiciler için bu maddeler tamamen güvenli olmayabilmektedir (Embuscado ve Huber, 2009).

Mevcut araştırmada uygulanan yenilebilir kaplamalara ilişkin veriler, Amerikan Kimya Derneği tarafından her kimyasal maddeye verilen benzersiz bir sayısal tanımlayıcı olan CAS (Kimyasal Kuramlar Servisi) kayıt numarasını içerecek şekilde Çizelge 10.1’de detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Çizelge 10.1: Yenilebilir film ve kaplamaların genel standart ve işlevsellikleri.

INS No.	Kaplama malzemeleri	Fonksiyonel sınıf	CAS No.	CFR No.	Referanslar
428	Jelatin	Taşıyıcı Emülgatör Jelleştirici madde Stabilizatör Yoğunlaştırıcı	9000-70-8	-	(FAO ve WHO, 2018)
401	Sodyum aljinat	Hacim arttırıcı Taşıyıcı Emülgatör Köpüren ajan Jelleştirici madde Stabilizatör Yoğunlaştırıcı	9005-38-3	184.1724	(Embuscado ve Huber, 2009); (FAO ve WHO, 2017); (FDA, 2018)
440	Pektin	Emülgatör Jelleştirici madde Stabilizatör Yoğunlaştırıcı	9000-69-5	184.695	(Embuscado ve Huber, 2009); (FAO ve WHO, 2017) (FDA ve CFR, 2018)
415	Ksantan gam	Emülgatör Köpüren ajan Stabilizatör Yoğunlaştırıcı	11138-66-2	172.695	(Embuscado ve Huber, 2009); (FAO ve WHO, 2017); (FDA, 2018)
414	Arap zamkı (Akasya gamı)	Hacim arttırıcı Taşıyıcı Emülgatör Stabilizatör Yoğunlaştırıcı	9000-01-5	184.1330	(Embuscado ve Huber, 2009); (FAO ve WHO, 2017); (FDA, 2018)

10.4 Yenilebilir film ve kaplamaların sınıflandırılması

10.4.1 Polisakkarit kaynaklı film ve kaplamalar

Polisakkaritler, glikosidik bağları birbirine bağlayan monosakkaritlerden meydana gelen iri moleküllü biyopolimerlerdir (Stephen ve diğ., 2006). Polisakkarit gamları hidrokolloit olup suda çözünebilmektedirler. Bu hidrokolloitler kaymaya maruz kaldıklarında, kalın hale gelebilmekte veya su ile kurulan hidrojen bağı ve moleküller arası hidrojen bağlanması sebebiyle jel yapısına sahip olabilmektedirler. Polisakkarit gamları suda çözüldüklerinde çözücü-polimer hidrojen bağları meydana getirmektedir. Polimer molekülleri aynı zamanda kendinden montaj (self-assembly) sürecinden geçip moleküller arası hidrojen bağlar tarafından miseller oluşturabilmekte ve suyu bloke edebilmektedir. Bu sebeple, bu çözeltiler ya kıvamlaştırılmakta ya da moleküller arası bağlantı yoğunluğuna bağlı olarak jelle dönüştürülmektedir (Embuscado ve Huber, 2009).

Ayrıca, $CaCl_2$ gibi çok değerlikli katyonların çapraz bağlayıcı bir materyal olarak kullanılması amacıyla eklenmesiyle birlikte çözünmez olmakta ve yapıları, mekanik özellikleri, gaz ve yağ bariyeri özellikleri gelişmektedir (Kurek ve diğ., 2017). Polisakkaritlerin çoğu genellikle hidrofilik olmaları sebebiyle, nem bariyeri niteliğine sahip olmaları açısından zayıftır, fakat O_2 ve CO_2 için seçici geçirgenlikleri bulunmakta ve lipitin göçüne karşı iyi bir direnç göstermektedir (Hassan ve diğ., 2018; Dehghani ve diğ., 2018). Hidrokolloitler; su içinde bulunan jeller veya psödo jeller ve viskoz çözeltiler meydana getirmektedir (Wüstenberg, 2015). Bazı polisakkarit molekülleri doğrusal iken bazıları ise dallıdır. Doğrusal yapı; bir şeker monomeri ya da tekrarlayan bir dimer veya farklı şekerlerin karışımını içeren doğrusal bir yapıdan meydana gelmektedir. Bununla beraber, ayrı monosakkarit birimlerine bağlı olan çeşitli kimyasal gruplar sebebiyle nötr, negatif veya pozitif yüke sahip olabilmektedirler. Yapısal değişiklikleri, polisakkaritlerin farklı özelliklere sahip olmasına sebep olmakta ve kıvamlaşmaları, jelleşmeleri, emülsifiye işlemi ve film oluşum özellikleri üzerinde etkileri bulunmaktadır (Embuscado ve Huber, 2009).

Film oluşturma özelliğine sahip bazı polisakkaritler aşağıda belirtildiği üzeredir:

- Doğrusal, nötr polisakkaritler: Agar, Metil selüloz, Konjac gamı, Pullulan, Mikrokristalin selüloz, Inulin.
- Doğrusal, anyonik polisakkaritler: Sodyum aljinat, Karajenan, Pektin, Gellan gamı, Selüloz gamı ya da Karboksimetil selüloz, Propilen glikol aljinat.
- Doğrusal, katyonik polisakkaritler: Kitosan.
- Doğrusal, yerleştirmeli, nötr polisakkaritler: Çemenotu, Guar gamı, Tara gamı, Keçiboynuzu gamı.
- Doğrusal, yerleştirmeli, anyonik polisakkaritler: Ksantan gamı.
- Dallı polisakkaritler: Arap (Akasya) zamkı, Ghatti gamı, Karaya gamı.

10.4.1.1 Sodyum aljinat (C₆H₇NaO₆)_n

Aljinat, toprak bakterisinden ve kahve rengi deniz yosunu *Phaeophyceae* familyasından çıkarılan, koloidal özelliklerinden dolayı yenilebilir bir film ve kaplama olarak önem taşıyan doğrusal ve anyonik bir polisakkarit bileşenidir (Menezes ve Athmaselvi, 2016). Aljinat, kahve renkli deniz yosununda, tuz halinde olması sebebiyle aljinik aside dönüştürülmesi için asit içeren bir işlemde geçirilmekte ve ardından suda çözünürlüğü bulunan sodyum aljinatın meydana getirilmesi için alkali içeren bir işlem gerçekleştirilmektedir (Embuscado ve Huber, 2009). Sodyum aljinatın hacim arttırıcı, taşıyıcı, köpük oluşturma, kıvam arttırıcı, jelleştirici, parlatici ve stabilizatör gibi benzersiz koloidal özellikleri bulunmaktadır (FAO ve WHO, 2017) (Parreidt, ve diğ., 2018). Ayrıca sodyum aljinat, GRAS statüsüne sahip bir bileşendir (FDA, 2018).

Aljinatlar çeşitli derecelerde, dizilimlerde ve farklı molekül ağırlıklarında β-(1→4)-bağlı D-mannuronik asit (M) ve α-(1→4)-bağlı L-guluronik asit (G) birimlerinden meydana gelen doğrusal polisakkaritlerdir. Bununla birlikte; aljinatlar, rasgele dizilimli kopolimerler olmayıp hem farklı hem de analog şeker bloklarından oluşan blok kopolimerlerdir ve aşağıda belirtildiği şekilde dizilimleri bulunmaktadır (Embuscado ve Huber, 2009)

Kopolimer yapı:

Mannuronik blok: M-M-M-M-M-M-M-M-M-M

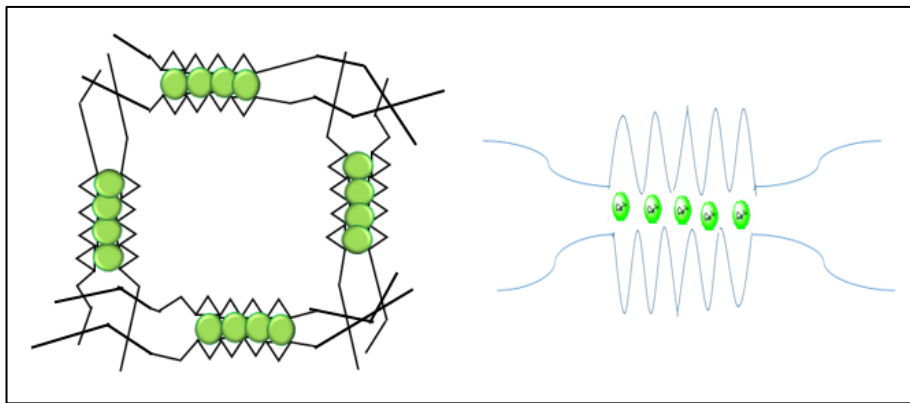
Guluronik blok: G-G-G-G-G-G-G-G-G-G

Birleşik blok: M-G-M-G-M-G-M-G-M

Bununla birlikte, moleküler ağırlıklardaki ve farklı kaynaklardaki aljinatın M/G oranı kopolimerin farklı özelliklere sahip olmasına sebep olmaktadır (Hassan ve diğ., 2018). Örneğin, yapılan bir araştırma farklı moleküler ağırlıkların ve M/G oranlarının probiyotik bakterilerin (*Lactococcuslactis spp. cremoris*) zorlu sindirim şartlarına karşı korunmasında önemli faktörler olduğu görülmüştür (Ramos ve diğ., 2018).

Aljinat, çok değerlikli veya iki değerlikli iyonlarla (Ca^{2+}) karşılaştığında, jel benzeri bir yapıyı oluşturmaktadır. Hemen, Guluronik asit bloğu, üç boyutlu moleküler yapısı sebebiyle, kalsiyum ile çapraz bağlantı kurmakta ve "yumurta-kafes" denilen bir yapı oluşturmaktadır ve Şekil 10.1'de gösterildiği gibi, kalsiyum katyonları iki bitişik polimer zinciri arasında tuz köprüsü oluşturmaktadır (Embuscado ve Huber, 2009).

Jelleştirme için yüksek bir guluronik aljinat kullanılmakta ve kıvamlaştırma için ise yüksek bir mannuronik aljinat tercih edilmektedir. Sodyum aljinat, karboksilat gruplarının negatif yüklerine rağmen güçlü bir film oluşturmaktadır. Bu negatif gruplar, aljinatın sudaki yüksek çözünülebilirliğinin temel sebebidir. Bununla birlikte, aljinatın kalsiyum ile çapraz bağı, negatif yükü ortadan kaldırmakta ve suda çözünmeyen jeller meydana getirmektedir (Embuscado ve Huber, 2009; Hassan ve diğ., 2018).



Şekil 10.1: Aljinat ve (Ca^{2+}) çapraz bağlanmasının yumurta-kafes (Egg-box) yapısı.

Costa ve diğ. (2014), 20,40 ve 60 g/L derişimli sodyum aljinat içeren yenilebilir kaplamayı istiridyelere uygulamış, ardından istiridyeleri bir dakika süresince kalsiyum klorür çözeltisine (50g/L) batırmış ve sodyum aljinatın (40 g/L) diğer

kontrol örneklerine (55 saat) kıyasla istiridyenin duyusal özelliklerinin daha uzun süre (70 saat) korunmasında önemli bir rol oynadığı sonucuna ulaşmışlardır.

Hamzeh ve Rezaei (2012), sodyum aljinat kaplamasının gökkuşağı alabalığının kalitesinin korunması üzerindeki etkilerini incelemiştir. Balık örnekleri, 1 dakika süresince sodyum aljinat çözeltisine (%3) ve ardından su içerikli kalsiyum klorür çözeltisine (%2) batırılmıştır. Bu işlemden sonra ise balık dilimleri 20 gün boyunca 4°C sıcaklıkta soğutulmuştur. Elde edilen sonuçlar, sodyum aljinatın kontrol örneklerine kıyasla balıklarda bakterilerin yayılmasını engellediğini, kimyasal bozulmanın seviyesini azalttığını ve balıkların genel duyusal özelliklerini arttırdığını göstermiştir.

Guerreiro ve diğ. (2017), yenilebilir kaplamaların (sodyum aljinat, pektin ve esmerleşme önerici maddesi:Eugenol) taze-kesilmiş (fresh-cut) 'Bravo de Esmolfe' elmaları üzerindeki esmerleşme karşıtı etkisini incelemiştir. Elmalar, sodyum aljinat+ Eugenol, veya pektin+ Eugenol çözeltisine batırılmış ve 4°C sıcaklıkta 8 gün süresince bekletilmiştir. Bu süre boyunca örneklerin esmerleşme indeksi, sertlik, ağırlık kaybı, mikrobik büyüme, toplam fenoller, antioksidan faaliyeti ve etilen üretimi incelenmiş ve esmerleşmeyi önleyici maddenin etkisinin, yenilebilir kaplama ile arttığı sonucuna varılmıştır. Pektin ile karşılaştırıldığında Eugenol içerikli sodyum aljinatın, esmerleşme indeksini azaltmada, daha etkili olduğu görülmüştür (Guerreiro ve diğ., 2017).

10.4.1.2 Pektin C₆H₁₀O₇

Pektin, karmaşık ve suda çözünabilir anyonik polisakkarit sınıfına dahil olup doğadaki en karmaşık makromoleküllerden biri olarak kabul edilen, bitki hücresi duvarının ana bileşenlerinden biridir. Pektin, galakturonik asit açısından zengindir (Jolie ve diğ., 2010). Pektinin ana endüstriyel kaynağı, genelde turunçgil (misket limonu, limon ve portakal) kabukları veya elma posasıdır (Moalemiyan ve diğ., 2012). Pektin, GRAS statüsünde sınıflandırılmakta olup emülgatör, jelleştirici, stabilizör ve kıvamlaştırıcı olarak kullanılmaktadır (FAO ve WHO, 2017). Pektin, doğal halinde asidik bir heteropolisakkarit olup birçok farklı polisakkarit ve bağdan oluşabilmektedir (Jolie ve diğ., 2010). Bununla birlikte, ramnoz, galaktoz, arabinöz gibi nötr şekerlerin çoğu pektin polimerinin

dallı bölgelerinden oluşan, sıcak mineral asit ile ekstraksiyon yoluyla giderilebilmektedir (Embuscado ve Huber, 2009). Dolayısı ile ticari amaçlar ile kullanılan pektin, doğrusal homopolimerik α -(1→4)-D-galakturonik asit birimlerini içermekle birlikte, üronik asit grupları serbest veya metil esterlenmiş olabilmektedir (Pérez ve diğ., 2003). Galakturonik asidin karboksil grupları, metanol ile esterleştirilir ise, metoksilli karboksil grupları oluşmaktadır. Ayrıca, karboksil grupları amonyak ile dönüştüğünde, amidleşmiş karboksil grupları meydana gelmektedir (Espitia ve diğ., 2014).

Metil esterleşme derecesi (*DE*), esterlenmiş galakturonik asit gruplarının, toplam galakturonik asit gruplarına oranıdır. Dolayısı ile yüksek metoksilde (*HMP*) veya yüksek esterli pektinde, *DE* %50'den fazla olmakla birlikte, düşük metoksilde (*LMP*) veya düşük esterli pektinde, *DE* %50'den azdır (Embuscado ve Huber, 2009).

Genel olarak pektin, jel oluştururken daha güçlü filmler meydana getirmektedir. Metilasyon derecesi, pektinin jelleştirme özelliklerini etkileyebilmektedir. *HMP*, yüksek şeker derişimi söz konusu olduğunda, asidik şartlarda jel oluşturabilir (Videcoq ve diğ., 2011; Espitia ve diğ., 2014). Bunun aksine; *LMP*, daha yüksek PH değerinde, divalent katyonlarla (genelde kalsiyum) tepkimeye girme ihtiyacı duymaktadır ki bu da bitişik pektin zincirlerinin karboksil grubu, çiftleri arasında köprü görevi görerek 'yumurta-kafesi' oluşturmaktadır. Kalsiyum derişimi ve esterleşme derecesinin, çapraz bağın üzerinde doğrudan ve jelasyonun gücü üzerinde ters bir etkisi bulunmaktadır (Farris ve diğ., 2009; Embuscado ve Huber, 2009).

Maftoonazadet ve diğ. (2007), pektin kaynaklı yenilebilir kaplamaların avokadodaki *L. theobromae* mantarları sebebiyle gelişen hastalık üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Avokadolar, pektin çözeltisine (%3, w/w) batırılmış ve 20 °C sıcaklıkta 4 gün süresince bekletilmiştir. Elde edilen sonuçlar, mantar nedeniyle gerçekleşen hastalığın sebep olduğu fiziksel ve fizyolojik değişimlerin kaplanmış avokadolarda, kaplanmamış örneklere kıyasla daha az olduğunu ve kaplanmış örneklerin raf ömrünün arttığını göstermiştir.

Radi ve diğ. (2018), portakal kabuğu yağı içeren pektin kaynaklı kaplamaların, portakalların üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu amaç doğrultusunda,

portakal dilimleri pektin çözeltisine (%2, w/w) batırılmış ve 4 °C sıcaklıkta 17 gün süresince bekletilmiştir. Elde edilen sonuçlar, pektin çözeltisi ile kaplanmış örnekleri ağırlık ve askorbik asit kayıplarının diğer örneklerle kıyasla daha az olduğunu göstermiştir.

Sanchís ve diğ., (2016) ise pektin kaynaklı ve antioksidanlar (sitrik asit, kalsiyum klorür) ve antimikrobiyal bileşenlerle (potasyum sorbat, sodyum benzoat, nisin) karıştırılmış kaplamalar geliştirmişlerdir. Yenilebilir kaplamalar, enzimatik esmerleşme ve mikrobik büyüme etkilerini kontrol etmek amacıyla, taze-kesilmiş 'RojoBrillante' hurmalarına uygulanmıştır. Hurma dilimleri pektin çözeltisine (%1, w/w) batırılmış ve 5°C sıcaklıkta 9 gün süresince bekletilmiştir. Pektin çözeltisine batırılmış örneklerin kontrol örnekler ile kıyaslandığında etkili derecede esmerleşmeyi engellediği bulunmuştur.

10.4.1.3 Ksantan gam C₈H₁₄Cl₂N₂O₂

Ksantan gam, *Xanthomonascampestris* bakterisi tarafından sentezlenen doğrusal ve anyonik bir polimerdir. Ksantan gam, β-(1→4) glikosidik bağlar ve trisakkarit yan zincirle bağlanmış, doğrusal glikoz zincirinden oluşan bir heteropolisakkarittir (Garcia-Ochoa ve diğ., 2000). Yan zincir, β-Dmannoz-1,4-β-D-glukuronik asit-1,2-α-D-mannoz'dan meydana gelmektedir (Zambrano-Zaragoza ve diğ., 2014). Ksantan gamının negatif yükünün sebebi ise glukuronik ve pirüvik asittir (Embuscado ve Huber, 2009).

Ksantan gam, 1 ila 13 aralığındaki pH değerlerinde meydana gelen değişikliklere karşı oldukça stabil bir durum sergilemekle beraber, kaynama sıcaklığında dahi stabil kalarak farklı sıcaklıklarda stabil durumunu korumaktadır (Embuscado ve Huber, 2009). Bununla birlikte, enzim hidrolizine karşı da oldukça dirençlidir (Freitas ve diğ., 2013). Ksantan gam, gıdalarda emülgatör, köpük yapıcı madde, stabilizör ve kıvamlaştırıcı olarak kullanılmakta olup, GRAS statüsünde yer almaktadır (FAO ve WHO, 2017) (FDA, 2018).

Mei ve diğ. (2002), E vitamini içeren ksantan gam çözeltisini (%0.3) kalsiyum ile birlikte, küçük havuç dilimlerine uygulamış ve ardından örnekleri 2°C sıcaklıkta 3 hafta süreyle bekletmişlerdir. Elde edilen sonuçlar, ksantan gam ile

kaplanan örneklerin yüzey rengini, tat, tekstür ve aroma gibi organoleptik niteliklerini değiştirmeden geliştirdiğini göstermiştir.

Sharma ve diğ., (2015), sinamik asitle zenginleştirilmiş 2.5 g/L ksantan gam çözeltisini antioksidan olarak taze doğranmış Asya ve Avrupa armutlarına uygulamış, örnekleri 4°C sıcaklıkta 8 gün süresince saklamış ve bu süre boyunca kalite bakımından özelliklerini gözlemlemiştir. Elde edilen sonuçlar, sinamik asit içeren ksantan gam kaynaklı kaplama materyalinin, oksidatif esmerleşmeyi önleyebileceğini ve taze doğranmış Asya ve Avrupa armutlarının, raf ömrünü 4 ve 8 gün uzatabileceğini göstermiştir.

Zambrano-Zaragoza ve diğ., (2017) ise β -karoten nanokapsülleri ile birleştirilmiş ksantan gam çözeltisi ile kaplanan taze kesilmiş kavunların (kantalup) fiziksel ve kimyasal özelliklerini incelemiştir. Elde edilen sonuçlar, ksantan gamının nanokapsül taşıyıcısı olarak kullanılabilirliğini ve β -karoten salınımı için, taze kesilmiş kavunda uygun ortamı sağlayabileceğini ve raf ömrünü 21 gün (4°C) uzatabileceğini göstermiştir.

10.4.1.4 Arap zımkı

Arap zımkı, Akasya türlerinin gövde veya dallarından alınan bir salgıdan, elde edilen dallı bir polisakkarittir. Akasya gamı; arabinogalaktan oligosakkaritler, polisakkaritler ve glikoproteinlerden oluşan karmaşık bir birleşimdir. (1→3)-bağlı β -D- galactopyranosyl birimlerinden oluşan bir yapıya sahip çok dallı bir polimerdir. Bu dallar sayıları iki ila beş arası değişen, ana zincire (1→6) bağları ile bağlı olan (1→3)-bağlı β -D- galactopyranosyl birimlerinden oluşmaktadır (Mahfoudhi ve Hamdi, 2015).

Yüksek dereceli yan zincirler, misellerin oluşumunu engelleyen küresel bir şekil vermekle kalmamakta, aynı zamanda söz konusu dallar çözelti içinde moleküller arası hidrojen bağları için sınırlı bölgeler oluşturmaktadır ki bu da Arap zımkının su ile etkileşimini engellemektedir. Arap zımkı her ne kadar su ile hidrojen bağlar oluşturup su içinde çözünse de, suyu iyi bloke (immobilize) etmemektedir ki bu da diğer gamlarla karşılaştırıldığında zayıf bir kıvamlaştırma özelliği anlamına gelmektedir (Embuscado ve Huber, 2009). Arap zımkı; emulsifikasyon, film oluşturma ve kapsülleşme özellikleri sebebiyle endüstriyel amaçlar için yaygın olarak kullanılmaktadır (Ali ve diğ., 2013).

Arap zankı, gıda endüstrisinde hacim arttırıcı, taşıyıcı, emülgatör, parlatici ve stabilizör olarak kullanılmakta olup, GRAS statüsünde yer almaktadır (FAO ve WHO, 2017; FDA, 2018).

Ali ve diğ. (2013), Arap zankının çözeltisini (%5, 10, 15 ve 20) yeşil ve olgun domateslere uygulamışlar ve örnekleri 20°C sıcaklıkta 20 gün süresince bekletmişlerdir. Arap zankı (%10) ile kaplanmış örneklerin, solunum ve etilen üretim hızları kayda değer bir düşüş göstermiş ve kaplanmış örneklerin, 20°C sıcaklıkta 20 gün süresince kaplanmamış vaziyette bekletilen örneklere kıyasla, toplam antioksidan kapasitelerinin, karetonoyidlerinin ve likopen içeriklerinin daha iyi korunduğu görülmüştür.

Hedayati ve Niakousari (2015), ise gümüş nanoparçacıklar ile birlikte Arap zankı çözeltisini (%10) yeşil dolma biberlere (*Capsicum annuum*) yenilebilir kaplama materyali olarak uygulamış ve örnekleri 20°C sıcaklıkta 21 gün süreyle bekletmişlerdir. Bu süreç boyunca yeşil dolma biberler renk, sertlik, ağırlık kaybı, askorbik asit içeriği ve mikrobiyal çürüme açısından incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, Arap zankı çözeltisinin, ağırlık kaybını ve tekstürel zararları azalttığını göstermiştir. Aynı zamanda Arap zankının gümüş nanoparçacıklar ile birleştirilmesi, mikroorganizmaların büyümesini ve fiziko-kimyasal kayıpları önlemiştir.

10.4.2 Protein kaynaklı film ve kaplamalar

Proteinler, polipeptit denilen amit bağlar tarafından bağlanan 20 aminoasitten oluşan polimerlerdir (Hanani ve diğ., 2014). Protein yapılarında, polar ve polar olmayan aminoasitler bulunmakta ve bunların dağılımı kimyasal potansiyel oluşturmaktadır. Buna ek olarak, interaktif kuvvetler ise yapışkan bir film matriksi oluşturmaktadır. Protein aynı zamanda, çeşitli aminoasit grupları sebebiyle, kimyasal etkileşime ilişkin çoklu alanlardan içermektedir ve bu da kaplama ve filmlerin mekanik dengelerini arttırabilmektedir. Ayrıca, protein kaynaklı kaplama ve filmler ayrıştırılabilir (biodegradable) olup gübrelenebilmektedir. Protein film ve kaplamalar nitrojen kaynağı oldukları için çözünmelerinin gübre olarak faydası bulunmaktadır (Embuscado ve Huber, 2009). Bu film ve kaplamaların, polisakkarit kaynaklı film ve kaplamalardan

daha iyi gaz bariyerleri ve mekanik özellikleri bulunmaktadır (Hanani ve diğ., 2014).

Film oluşturma özelliği bulunan bazı proteinler, aşağıda belirtildiği üzeredir:

- Hayvansal proteinler: Kazein, peynir altı suyu proteini, jelatin, yumurta albümini.
- Bitkisel proteinler: buğday proteinleri, soya proteinleri, mısır zeini.

10.4.2.1 Jelatin

Kollajen, bağ dokulardan, tendonlardan, deriden ve kemikten hayvan kesim sürecinde artık olarak elde edilen lifli bir çözünebilir (Hanani ve diğ., 2014). Jelatin, kolajenin asidik veya alkali şartlar altında kısmi hidrolizi ile elde edilmektedir. Jelatin içindeki protein zincirleri arasında, molekülleriçi ve moleküllerarası çapraz bağlar oluşturan ana aminoasitler prolin, hidroksiprolin, lizin ve hidroksilizindir (Embuscado ve Huber, 2009).

Jelatini kolajenin asit hidrolizinden elde edilen A tipi (domuz derisinden) ve kolajenin alkali hidrolizinden elde edilen B tipi (inek derisinden) jelatin olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür (Guerrero ve diğ., 2011). Jelatin film ve kaplamalar; iyi şeffaflık, mekanik ve bariyer özellikleri göstermekte olup, jelleşme ve köpürtme özellikleri oldukça iyidir. Bununla birlikte, jelatin senelerdir gıda ve ilaç sanayinde kullanılmıştır (Embuscado ve Huber, 2009; Hassan ve diğ., 2018). Jelatin, gıda sanayinde taşıyıcı, jelleştirici, stabilizör ve kıvamlaştırıcı olarak kullanılmaktadır (FAO ve WHO, 2018).

Aitboulahsen ve diğ. (2018), jelatin kaynaklı yenilebilir kaplamaları *Menthapulegium* özü yağı ile birlikte çileklere uygulamışlardır. Çilekler, yağ içerikli jelatin çözeltisine (%4) batırılmış, 4°C sıcaklıkta 13 gün süresinde bekletilmiş ve bu süre zarfında çileklerin fiziko-kimyasal, mikrobiyolojik ve duyuşal özellikleri değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar; biyoaktif kaplamanın, toplam aerobik mezofilik florayı, kaplanmamış örneklere kıyasla kayda değer şekilde engellediğini, kaplanmış örneklerin kaplanmamış örneklere kıyasla ağırlık kaybı, toplam fenolik içerik, sertlik ve renk gibi özellikler bakımından daha iyi sonuç verdiğini ve bu kaplama işleminin 4°C sıcaklıkta 13 gün süresinde bekletilmiş çileklerin raf ömrünü arttırabileceğini ortaya koymuştur.

Yang ve diğ. (2017), ise ‘‘Kyoho’’ üzümlerine antioksidan ve antimikrobiyal etkiler kazandırmak üzere çam iğnesi özü ile birlikte jelatin çözeltisi (%5) uygulamışlardır. Bu amaç doğrultusunda; örnekler, 4°C sıcaklıkta 20 gün süresinde bekletilmiş ve bu süreçte, örneklere mikrobiyolojik testler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar; kaplanmış üzümlerde toplam aerobik bakteri, maya ve küf miktarının, kaplanmamış örneklere kıyasla daha düşük olduğunu ve kaplanmış örneklerdeki ağırlık ve antosiyanin kayıplarının, kaplanmamış örnekler ile karşılaştırıldığında daha az olduğunu ve bu kaplama işleminin 20 gün süresince bekletilen ‘‘Kyoho’’ üzümlerinin kalitesini kaybetmeden saklanmasında etkili olabileceğini göstermiştir.

10.4.3 Lipit kaynaklı film ve kaplamalar

Lipit kaynaklı film ve kaplamalar, hidrofobik yapıları nedeniyle, gıdalarda nem kaybına karşı bariyer özelliği göstermektedir. Yenilebilir film ve kaplama bileşenleri olarak en sık kullanılan hidrofobik maddeler; sıvı yağ, katı yağ, margarin, mum, doğal reçine, esansiyel yağ, emülgatör ve yüzey aktif maddeleridir (Embuscado ve Huber, 2009).

10.5 Materyal ve metotlar

10.5.1 Kaplama maddeleri

Sığır derisinden elde edilen B tipi jelatin (EC. no:232-554-6, Sigma Aldrich, St. Louis, MO, ABD), sodyum aljinat (no: 9005-38-3, Sigma Aldrich, St. Louis, MO, ABD), düşük metoksilli pektin (*LMP*) (EC. no: 232-553-0, Sigma Aldrich), ksantan gam (EC. no:234-394-2, Sigma Aldrich, St. Louis, MO, ABD) ve Arap zamkı (EC. no 232-519-5, Sigma-Aldrich, St. Louis, ABD) yenilebilir kaplama formüllerinin sentezinde kullanıldı ve kalsiyum klorür (EC. no 232-140-8, Sigma Aldrich, St. Louis, MO, ABD) ise çapraz bağlama oluşturmak üzere kullanıldı (Ali ve değ., 2013; Sharma ve Rao, 2015; Soradech ve değ., 2017; Parreidt ve değ., 2018; Salinas-Roca ve değ., 2018).

10.5.2 Kaplama çözeltilerinin hazırlanması

Jelatin çözeltisi (GL), jelatinin distile suda çözünmesi (%1, w/v) ve homojen yayılımın sağlanması amacıyla 2 saat süresince 50°C sıcaklıkta bir karıştırıcı

(Wisd, Daihan Scientific. Co., Ltd. Model MSH-20A, Kore) ile sürekli olarak karıştırılmasıyla hazırlandı (Soradech ve değ., 2017). Sodyum aljinat (AL) (%0.3, w/v), pürüzsüz çözeltilerin elde edilmesi için 2 saat süresince, 70°C sıcaklıkta karıştırılarak distile suya eklendi (Parreidt ve değ., 2018). Ayrıca, kalsiyum klorür çözeltisi (%2, w/v), kalsiyum klorürün distile suda çözünmesini sağlayarak ve karıştırılarak hazırlandı. Pektin çözeltisi (PC) (%0.3, w/v), distile suda pektinin çözünmesini sağlayarak, pürüzsüz olana kadar 2 saat süresince karıştırılarak hazırlandı (Salinas-Roca ve değ., 2018). Ksantam gam çözeltisi (XG) (0.3%, w/v), ksantam gamının soğuk distile suda çözünmesini sağlayarak ve ardından homojen yayılımın elde edilmesi için manyetik karıştırma altında, 1 saat süresince 50°C sıcaklığa kadar ısıtılarak hazırlandı (Sharma ve Rao, 2015). Arap zımkı çözeltisi (%0.3, w/v), soğuk distile suda çözünmesini sağlayarak ve ardından manyetik karıştırma altında, 1 saat süresince 40°C sıcaklığa kadar ısıtılarak hazırlandı (Ali ve değ., 2013).

10.5.3 Kaplama uygulamaları

10.5.3.1 Elma halkaları

Farklı kaplama malzemelerinin, kurutulmuş elmaların genel kabul edilebilirliği üzerindeki etkisinin tahmin edilmesi amacıyla, elma halkaları ile yapılan deneyler tercih edildi. Taze SGD elmaları yıkanıldı, soyuldu, çekirdekleri çıkarıldı ve dilimleyici ile 2 mm kalınlıkta dilimlendi.

Ardından elma halkaları, aşağıda belirtildiği üzere oda sıcaklığında kaplama çözeltilerine batırıldı:

- D1: jelatin (% 1, w/v), (10 dak).
- D2: sodyum aljinat (% 0.3, w/v) (10dak) + kalsiyum klorür (% 2, w/v) (1dak).
- D3: pektin (% 0.3, w/v) (10dak) + kalsiyum klorür (% 2, w/v)(1dak).
- D4: ksantan gam (% 0.3, w/v), (10dak).
- D5: Arap zımkı (% 0.3, w/v), (10dak).
- D6: Distile su (kontrol), (10dak).

Sonra, kaplanmış elmalar fazla çözeltinin giderilmesi amacıyla, bir elek üzerinde iki dakika süresince bırakıldı. Çözeltinin sulanmasını önlemek

amacıyla, çözelti/örnek oranı 10:1 w/w olarak ayarlandı. Ardından, kaplanmış elma halkaları kurutma fırınında (BINDER GmbH, model 9010-0078ED53, Almanya) 120°C sıcaklıkta 2 saat süresince kurutuldu (Şekil 10.2). Bununla beraber, distile suya daldırılan elma, kontrol örneği olarak kullanıldı.



Şekil 10.2: Kurutma Fırını (BINDER GmbH, model 9010-0078ED53, Almanya).

10.5.3.2 Tek parçacıklı elma örnekleri

Kurutma kinetiği incelenmesi için, tek parçacık elmalar ile yapılan deneyler tercih edildi. Taze SGD elmaları yıkanıldı, soyuldu, çekirdeklerinden arındırıldı ve dilimleyici yardımıyla 2 mm kalınlıkta dilimlendi. Ardından, özel bir kesici alet ile üçgen şekilde (7.07 mm taban ve yükseklik) kesildi. Çözücü maddelerin sulanmasını önlemek amacıyla çözelti/örnek oranı 10:1 w/w olarak ayarlandı. Her bir tek parçacıklı elma, yukarıda belirtildiği üzere oda sıcaklığında D1, D2, D3, D4, D5 ve D6 kaplama çözeltilerine batırıldı. Sonra, kaplanmış elmalar fazla çözeltinin giderilmesi amacıyla bir elek üzerinde iki dakika süresince beklendi (Pizato ve değ., 2013). Distile suya batırılan örnekler, kaplanmamış (kontrol) örnekler olarak seçildi. Sonrasında, her bir tek parçacıklı elma laboratuvar tipi konvektif kurutucuda 120°C sıcaklık, 1.75m/s hava hızı ve $H_s = 25^\circ C$ doymuş rutubet ile kurutuldu. Deneyler, üç defa tekrarlandı ve ortalama değerler belirlendi.

10.6 İstatistiksel Analizi

Bu çalışmada, bir yazılım paketi (*SPSS Statistics 23, IBM. 2015*) kullanıldı ve nem difüzyon katsayılarının belirlenmesi için, doğrusal regresyon analizi yapıldı (Sacilik ve Elicin, 2006; Zarein ve değ., 2015). Etkin nem difüzyonu ise kuruma süresine karşılık $LnMR$ (logaritmik nem oranı) değeri belirlenerek çizildi (Sacilik ve Elicin, 2006). Difüzyon katsayısı ise ilgili denklem (5-3) ile

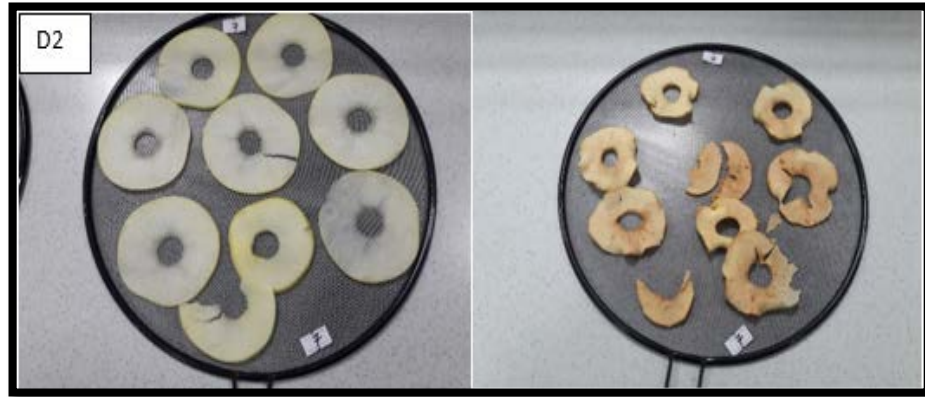
eğrilerin eğimi esas alınarak hesaplandı (Doymaz, 2009) ve Çizelge 10.2’de gösterildi. Difüzyon katsayılarının ortalama değerleri, anlamlı farklılıkların ($p < 0.05$) saptanması amacıyla Tukey-HSD testleri eşliğinde varyans analizi (ANOVA) yapılarak karşılaştırıldı ve ortalama sonuçlar, Ek C’te yer alan (10.3), (10.4), (10.5.1) ve (10.5.2) numaralı çizelgelerde gösterildiği üzere ortalama \pm standart sapma (SD) olarak belirlendi.

10.7 Sonuçlar ve tartışma

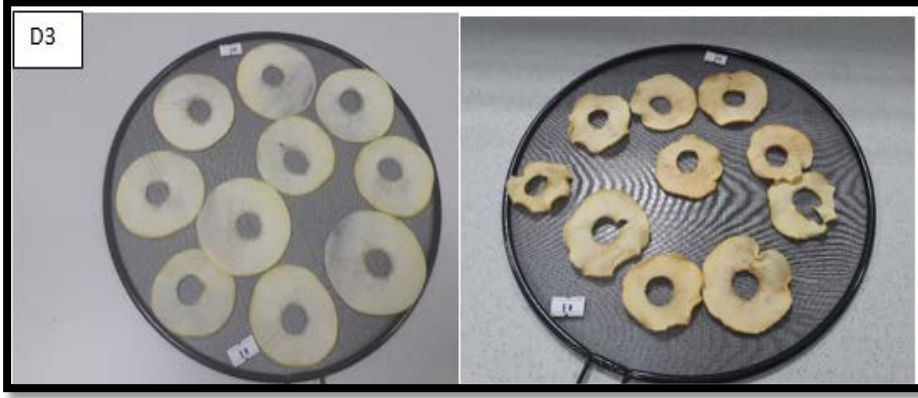
Kaplanan ve kurutulan elma halkaları şekillerde (10.3), (10.4), (10.5), (10.6) ve (10.7) gösterildi. Tek parçacık elma örneklerinin kuruma eğrileri ise, şekillerde (10.8), (10.9), (10.10) ve (10.11) gösterildi. Azalan hız dönemindeki nem difüzyonu, Fick’in ikinci difüzyon yasası ile belirlendi ve plaka şekilli örneklerin, nem difüzyonunun analitik olarak çözümlenmesi ilgili denklem (5-3) ile ifade edildi (Sacilik ve Elicin, 2006).



Şekil 10.3: D1: Jelatin çözeltisi (%1 w/v) ile kaplanan SGD elma halkaları. 120°C.



Şekil 10.4: D2: Sodyum aljinat çözeltisi (%0.3 w/v) ile kaplanan SGD elma halkaları. 120°C.



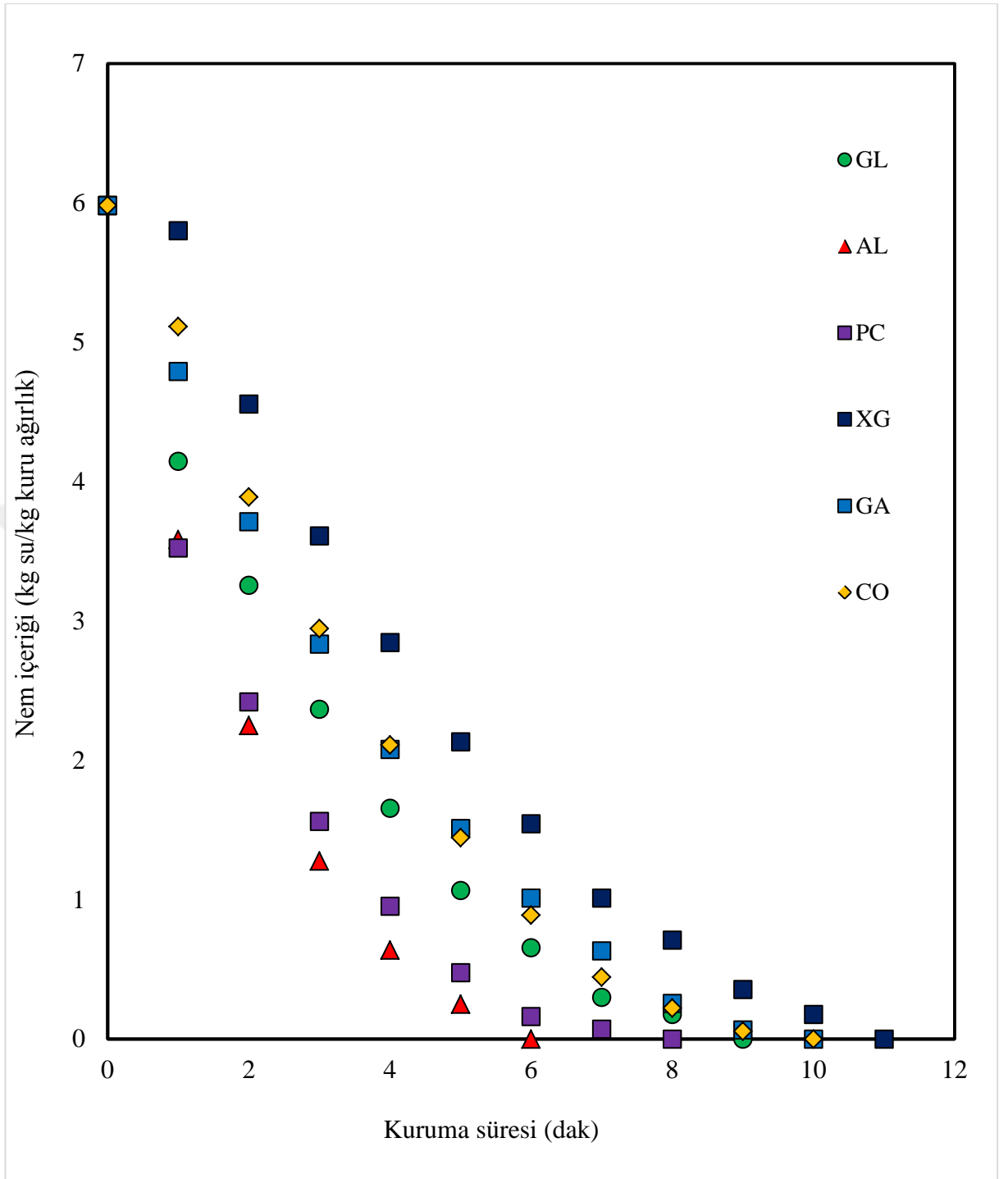
Şekil 10.5: D3:Pektin çözeltisi (%0.3, w/v) ile kaplanan SGD elma halkaları.120°C.



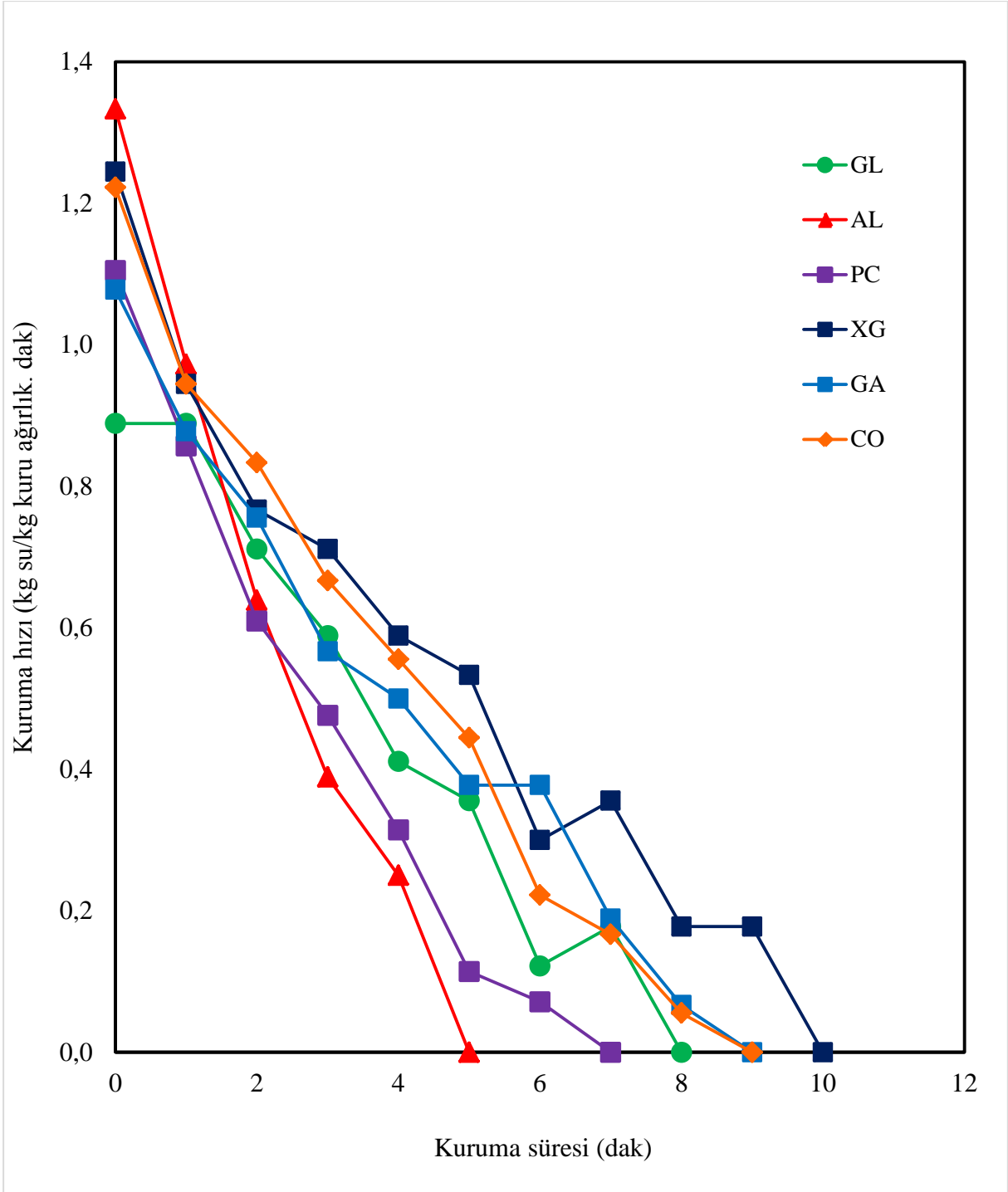
Şekil 10.6: D4:Ksantan gam çözeltisi (%0.3 w/v) ile kaplanan SGD elma halkaları.120°C.



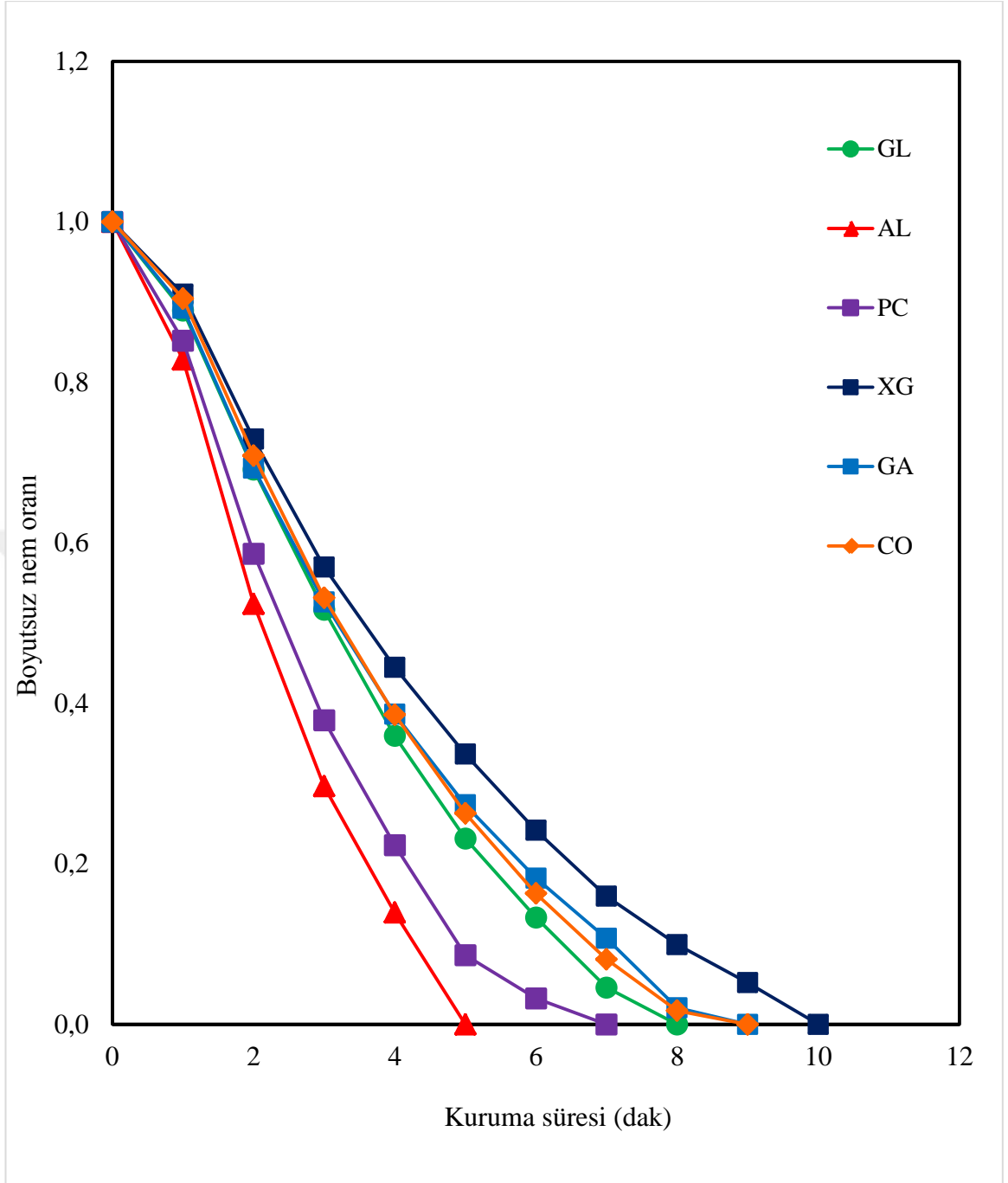
Şekil 10.7: D5:Arap zamkı çözeltisi (%0.3 w/v) ile kaplanan SGD elma halkaları.120°C.



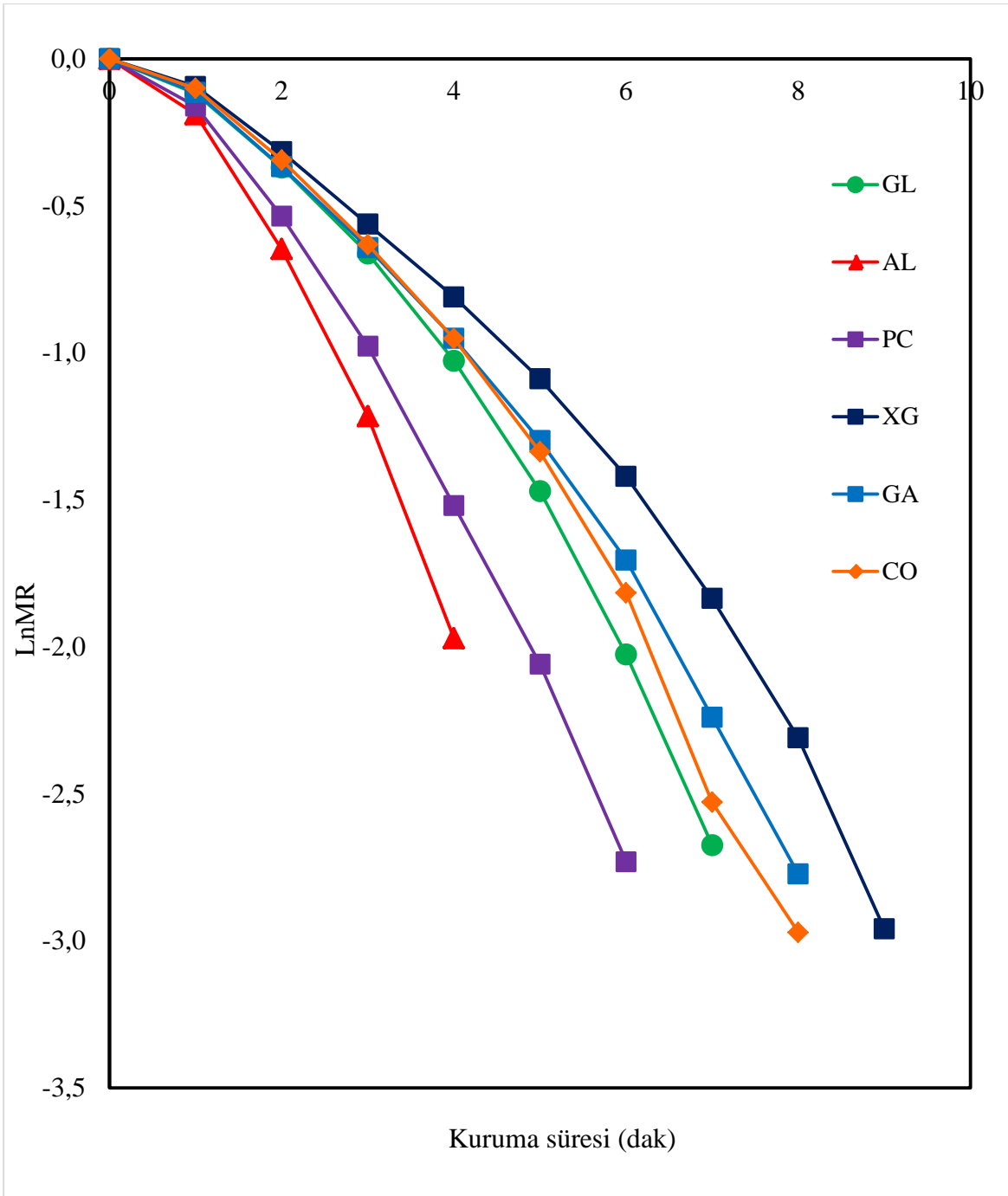
Şekil 10.8: Farklı kaplama işlemlerinin 120°C sıcaklıkta, $V=1.75$ m/s, $H_s = 25^\circ\text{C}$, kurutulmuş ve kaplanmış elmaların nem içeriği üzerindeki etkisi. GL: jelatin (% 1, w/v), AL: sodyum aljinat (% 0.3, w/v), PC: pektin (%0.3, w/v), XG: ksantan gam (%0.3, w/v), GA: Arap zamkı (%0.3, w/v), CO: kontrol



Şekil 10.9: Farklı kaplama işlemlerinin 120°C sıcaklıkta, $V=1.75$ m/s, $H_s = 25^\circ\text{C}$, kurutulmuş ve kaplanmış elmaların kuruma hızı üzerindeki etkisi. GL: jelatin (% 1, w/v), AL: sodyum aljinat (% 0.3, w/v), PC: pektin (%0.3, w/v), XG: ksantan gam (%0.3, w/v), GA: Arap zamkı (%0.3, w/v), CO: kontrol



Şekil 10.10: Farklı kaplama işlemlerinin 120°C sıcaklıkta, $V=1.75$ m/s, $H_s = 25^\circ\text{C}$, kurutulmuş ve kaplanmış elmaların nem oranı üzerindeki etkisi. GL: jelatin (% 1, w/v), AL: sodyum aljinat (% 0.3, w/v), PC: pektin (%0.3, w/v), XG: ksantan gam (%0.3, w/v), GA: Arap zamkı (%0.3, w/v), CO: kontrol



Şekil 10.11: 120°C sıcaklıkta, $V=1.75$ m/s, $H_s = 25^\circ\text{C}$, kurutulmuş ve kaplanmış elmaların kuruma süresine karşılık LnMR değeri. GL: jelatin (% 1, w/v), AL: sodyum aljinat (% 0.3, w/v), PC: pektin (%0.3, w/v), XG: ksantan gam (%0.3, w/v), GA: Arap zamkı (%0.3, w/v), CO: kontrol

Çizelge 10.2: 120°C sıcaklıkta kurutulmuş ve kaplanmış elmaların difüzyon katsayısı (ortalama \pm SD, n=3). V=1.75 m/s, H_s = 25°C.

Örnek	Kaplama malzemeleri	Konsantrasyon % (w/v)	D _{eff.} 10 ⁻⁹ (m ² .s ⁻¹) \pm SD	CV%	SEM
D1	jelatin	1%	2.52 \pm 0.004 ^a	0.16	0.023
D2	Sodyum aljinat	0.3%	3.36 \pm 0.025 ^b	0.74	0.014
D3	Pektin	0.3%	3.02 \pm 0.008 ^c	0.26	0.004
D4	Ksantan gam	0.3%	1.77 \pm 0.058 ^d	3.28	0.034
D5	Arap zamkı	0.3%	2.24 \pm 0.031 ^e	1.38	0.018
D6	Distile su	0%	2.47 \pm 0.022 ^a	0.89	0.013

Farklı üstsimge ile aynı sütunda bulunan farklı ortalamalar, p< 0.05 seviyesinde anlamlıdır.

Jelatin ile kaplanmış elma halkaları ekşi tadı, gevrek (crispy) ve çıtır (crunchy) bir tekstüre sahiptir (Şekil 10.3). Sodyum aljinat ile kaplanmış elma halkaları (Şekil 10.4) diğer çözeltilerle kaplanan örneklerden, daha hızlı kurudu, normal tadı ile gevrek ve çıtır bir tekstüre sahipken, pektin ile kaplanmış elma halkaları (Şekil 10.5), istenen renge ulaşmış olup, ısırıldığında seslerin duyulabileceği en yüksek gevreklik seviyesine sahiptir. Ksantan gam ile kaplanmış elma halkaları (Şekil 10.6) ekşi bir tada sahip olup, tekstürü oldukça çıtırdır. Ayrıca, Arap zamkı ile kaplanmış elma halkaları (Şekil 10.7) çıtır bir tekstüre sahip olsa da kurutulmuş elmaların çiğnenmesi sırasında dişlere yapışmaktadır.

Şekil 10.8, 10.9 ve 10.10'da numunelerin kuruma sürelerinin (I) jelatin ile kaplanan örnekler, kontrol örneklerden %10 daha hızlı (II) sodyum aljinat ile kaplanan örnekler, kontrol örneklerden %40 daha hızlı (III) pektin ile kaplanan örnekler, kontrol örneklerden %20 daha hızlı (IV) ksantan gam ile kaplanan örnekler, kontrol örneklerden %10 daha yavaş ve (V) Arap zamkı ile kaplanan örnekler, kontrol örneklerle aynı olduğu görüldü. Ayrıca, en yüksek başlangıç kuruma hızlarının, sodyum aljinat ile kaplanan elmalarda olduğu belirlendi. Buna ek olarak, sodyum aljinat ile kaplanan örneklerin nem oranındaki azalmanın tüm kaplanan ve kaplanmayan örneklere göre, daha hızlı olduğu görüldü. Bu çalışmada diğer bulgularla uyumlu olduğu, nem içeriğinin ve nem

oranını kuruma süresi ile eksponansiyel şekilde azaldığını görüldü buda diğer çalışmalarla uyum içinde olduğu saptandı (Silva ve diğ., 2015; Garcia ve diğ., 2014). Diğer bir ifade ile kaplama uygulaması, elmanın kurutma davranışına etkilemediği belirlendi ve bu çalışma diğer araştırmacıların bulguları ile paralellik göstermektedir (Garcia ve diğ., 2014). Difüzyon değerlerinin ise gıda ürünlerine ilişkin belirlenen aralık (10^{-12} - 10^{-8} m^2/s) dahilinde olmak üzere, (1.77×10^{-9} - 3.36×10^{-9} m^2/s) arasında değişkenlik gösterdiği bulundu (Dadali ve diğ., 2007). Şekil 10.11' de kaplanmış elmaların kaplanmamış örnekler ile karşılaştırıldığında bulunan difüzyon katsayılarının (I) GL örneklerinde %2 (II) AL örneklerinde %36 ve (III) PC örneklerinde %22, arttığı ancak (IV) XG örneklerinde %28 ve (V) GA örneklerinde %9 azaldığı görüldü. Polisakkarit ve proteinlerin doğal hidrofil özelliklerinden dolayı, yüksek buhar geçirgenliğine (WVP) ve zayıf nem bariyerine sahip olmaktadır (Dou ve diğ., 2018). Aynı zamanda taze doğranmış meyvelerin raf ömürlerinin uzatılmasında, daha düşük WVP oranına sahip yenilebilir film ve kaplamalar tercih edilmekteyken, kurutma sürecinde suyun rahatlıkla buharlaşması için yüksek WVP oranı tercih edilmektedir. Mevcut araştırmada, sodyum aljinat ve pektin negatif yüke sahip olmuş ve kalsiyum iyonları ile çapraz bağ kurduğu düşünülmektedir. İki bitişik polimer zinciri arasındaki tuz köprülerini, kalsiyum katyonları oluşturdu ve 'yumurta-kafes' adı verilen 3 boyutlu, suyu bloke edebilen yapılar oluşturduğu belirtilmektedir (Farris ve diğ., 2009). Bu çalışmada, sodyum aljinat ve pektin kaplamalarında 'yumurta-kafes' yapısı, moleküller arasında boşluklar oluşturması ve dolayısı ile kuruma sırasında, su moleküllerinin bu boşluklardan kolayca geçebilmesi ve bunun da kontrol örneklerle kıyasla daha yüksek nem difüzyonu katsayısına neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, jelatin, higroskopik doğası sebebiyle, kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında su hareketini ve nem difüzyonu katsayısını arttırabilmektedir (Al-Hassan ve Norziah, 2012). Ksantan gamının, yalnızca jel oluşturmaması, örnek yüzeyinde katı bir tabaka oluşturması, su molekülleri ile olan ilişkisinin zayıf olması ve katı yapısının su moleküllerinin kaplama tabakalarından kolayca geçişine izin vermemesi sebebiyle, kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında, kütle transfer hızını düşürebilmesi ve difüzyon katsayısını düşürdüğü sonucuna varıldı (Freitas ve diğ., 2013; Lima ve diğ., 2017). Deneysel sonuçlardan anlaşılacağı üzere, Arap zankı ile kaplanmış

elmaların difüzyon katsayıları, kontrol örneklerine kıyasla azaldığını gösterildi. Arap zamkının oldukça dallı polimer yapısı, yalnızca misellerin oluşumunu engelleyen, küresel (globular) bir şekil vermekle kalmamakta, aynı zamanda çözelti içinde moleküller arası hidrojen bağları için sınırlı alanlar meydana getirmektedir ki, bu da Arap zamkının su ile etkileşimini engellemektedir. Bununla birlikte, Arap zamkı her ne kadar su ile hidrojen bağları oluşturup su içinde çözünse de, diğer gamlara kıyasla, etkin bir şekilde suyu bloke edememektedir (Embuscado ve Huber, 2009). Bize göre, Arap zamkının suyu bloke etmesi için düşük kapasiteye sahip olmakta beraber, su hareketliliğine direnç yaratan küresel yapıya sahip olması ve su molekülleri ile olan ilişkisinin zayıf olması sebebiyle, kontrol örneklerine kıyasla, nem hareketini ve difüzyon katsayısını azalttığı düşünüldü.



11. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

11.1 Sonuçlar

Elma cipsi üretmek için üç elma türü (Starkpur Golden Delicious (SGD), Granny Smith (GS) ve Starkrimson Delicious (SKD)), 110,115 ve 120°C sıcaklıklarda, 1.75 m/s hava hızı, $H_5 = 25^\circ\text{C}$ doymuş rutubet ile laboratuvar tipi konvektif bir kurutucuda, elmaların kuruma ve tekstürel özellikleri ile değişik geometrik şekillerin (üçgen daire vd.) difüzyon katsayısı ile aktivasyon enerjisi üzerine etkileri incelendi ve sırasıyla $1.93 \times 10^{-9} - 2.85 \times 10^{-9} \text{ (m}^2/\text{s)}$, 5.02 - 36.53 kJ/kg.mol arasında değişkenlik gösterdiği belirlendi.

Numunelerin kurutma sürecinde momentum, ısı ve kütlenin moleküler aktarımı, Newton'un viskozite, Fourier ve Fick's yasaları ile 4.202-5.005 N, 60.31-71.76 (W/m².K) ve 0.0497-0.0594 (m/s) değişiklik gösterdiği belirlendi. Buna bağlı olarak üçgen şekilli örneklerde, difüzyon katsayısının en yüksek ve kurutma süresinin en düşük olduğu ayrıca en yüksek kırılma ve gevrekliğe sahip olduğu belirlendi. Midilli & Küçük modelin matematiksel modellemede en uygun olduğu görüldü. Ayrıca, sodyum aljinat, pektin ve jelatin çözeltilerinde batırlanan elma örneklerin difüzyon katsayıları kontrol örnekleriyle kıyaslığında sırasıyla %36, %22 ve %2'ye arttığı, aynı zamanda elmanın ısıl iletkenliği $0.565 < k_t < 0.573 \text{ (W/m.K)}$, ve özgül ısı $3772.5 < C_p < 3848.7 \text{ (J/kg.K)}$ arasında olduğu saptandı.

11.2 Öneriler

Araştırmanın genişletilmesi amacıyla aşağıdaki çalışmalar;

- yüksek sıcaklığın kurutulmuş elmaların renk ve büzölmeleri üzerine etkisi,
- kurutulmuş elmaların fenolik bileşenlerinin HPLC ile değişiminin,

- c) kabuklu elma numunelerin kurutulma sırasındaki difüzyon, aktivasyon enerji,
- d) endüstriyel elma cipsi üretilerek bunların panelist tarafından duysal, tat ve tekstür açısından incelenmesi önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- Agrawal, S. G., & Methekar, R. N.** (2017). Mathematical model for heat and mass transfer during convective drying of pumpkin. *Food and Bioprocess Technology*, 101, 68-73. doi:10.1016/j.fbp.2016.10.005
- Ahmad-Qasem, M., Barrajon-Catalan, E., Micol, V., Cárcel, J., & Garcia-Perez, J. V.** (2013). Influence of air temperature on drying kinetics and antioxidant potential. *Journal of Food Engineering*, 119, 516–524. doi:10.1016/j.jfoodeng.2013.06.027
- Aitboulahsen, M., Zantar, S., Laglaoui, A., Chairi, H., Arakrak, A., Bakkali, M., & Zerrouk, M. H.** (2018). Gelatin-based edible coating combined with Mentha pulegium essential oil as bioactive packaging for strawberries. *Journal of Food Quality*. doi:10.1155/2018/8408915
- Akpınar, E. k.** (2006). Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetables and fruits. *Journal of Food Engineering*, 73, 75-84. doi:10.1016/j.jfoodeng.2005.01.007
- Al-Hassan, A. A., & Norziah, M. H.** (2012). Starchgelatin edible films: Water vapor permeability and mechanical properties as affected by plasticizers. *Food Hydrocolloids*, 26, 108-117. doi:10.1016/j.foodhyd.2011.04.015
- Ali, A., Maqbool, M., Alderson, P. G., & Zahid, N.** (2013). Effect of gum arabic as an edible coating on antioxidant capacity of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 76, 119–124. doi:10.1016/j.postharvbio.2012.09.011
- Antal, T., Kerekes, B., & Sikolya, L.** (2013). Physical properties of freeze dried vegetables by different thermal and chemical pre-treatments. *Synergy and Technical Development*. Gödöllő.
- Antal, T., Kerekes, B., Sikolya, L., & Tarek, M.** (2015). Quality and drying characteristics of apple cubes subjected to combined drying (FD pre-drying and HAD finish-drying). *Journal of Food Processing and Preservation*, 39, 994–1005. doi:10.1111/jfpp.12313
- AOAC.** (1990). *Official Method of Analysis* (19th ed.). Maryland: AOAC INTERNATIONAL.
- Barbosa-Cánovas, G. V., Jr, A. J., Schmidt, S. J., & Labuza, T. P.** (2007). *Water Activity in Foods. Fundamentals and Applications*. USA: Blackwell Publishing and the Institute of Food Technologists.
- Bourne, M. C.** (2002). *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement* (2nd ed.). Elsevier Science & Technology Book.
- Brennan, J. G.** (2006). *Food Processing Handbook*. Weinheim, Germany: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Brennan, J. G., Butters, J. R., Cowell, N. D., & Lilley, A. E.** (1990). *Food Engineering Operations* (3rd ed.). London: Elsevier Science Publisher LTD.
- Castro, A. M., Mayorga, E. Y., & Moreno, F. L.** (2018). Mathematical modelling of convective drying of fruits: A review. *Journal of Food Engineering*, 223, 152-167. doi:10.1016/j.jfoodeng.2017.12.012

- Campos-M, M., Campos-C, R.** (2017). Applications of quartering method in soils and foods. *Journal of Engineering Research and Application*, 7, 35-39. doi:10.9790/9622-0701023539.
- Contreras, C., Martin-Esparza, M. E., Chiralt, A., & Martinez-Navarrete, N.** (2008). Influence of microwave application on convective drying: Effects on drying kinetics, and optical and mechanical properties of apple and strawberry. *Journal of Food Engineering*, 88, 55-64. doi:10.1016/j.jfoodeng.2008.01.014
- Costa, C., Conte, A., & Nobile, M. A.** (2014). Effective preservation techniques to prolong the shelf life of ready-to-eat oysters. *J Sci Food Agric*, 94, 2661–2667. doi:10.1002/jsfa.6605
- Crank, J.** (1975). *The mathematics of diffusion* (2nd ed.). London: Oxford University Press.
- Çengel, Y. A.** (2007). *Heat & Mass Transfer: A Practical Approach* (2nd ed.). India: McGraw-Hill Education (India) Pvt Limited.
- Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M.** (2006). *Fluid mechanics: Fundamentals and applications* (1st ed.). New York: McGraw-Hill.
- Dadali, G., Demirhan, E., & Özbek, B.** (2007). Microwave heat treatment of spinach: drying kinetics and effective moisture diffusivity. *Drying Technology*, 25, 1703-1712. doi:10.1080/07373930701590954
- Debeaufort, F., Quezada-Gallo, J.-A., & Voilley, A.** (1998). Edible films and coatings: Tomorrow's packagings: A review. *Critical Reviews in Food Science*, 38, 299-313. doi:10.1080/10408699891274219
- Dehghani, S., Hosseini, S. V., & Regenstein, J. M.** (2018). Edible films and coatings in seafood preservation: A review. *Food Chemistry*, 240, 505–513. doi:10.1016/j.foodchem.2017.07.034
- Dhumal, C. V., & Sarkar, P.** (2018). Composite edible films and coatings from food-grade biopolymers. *Journal of Food Science and Technology*. doi:10.1007/s13197-018-3402-9
- Dou, L., Li, B., Zhang, K., Chu, X., & Hou, H.** (2018). Physical properties and antioxidant activity of gelatin-sodium alginate edible films with tea polyphenols. *International Journal of Biological Macromolecules*, 118, 1377–1383. doi:10.1016/j.ijbiomac.2018.06.121
- Doymaz, İ.** (2009). An experimental study on drying of green apples. *Drying Technology*, 27:3, 478-485. doi:10.1080/07373930802686065
- Ebbing, D. D., & Gammon, S. D.** (2009). *General Chemistry* (9th ed.). Houghton Mifflin Company.
- Embuscado, M. E., & Huber, K. C.** (2009). *Edible Films and Coatings for Food Applications*. New York: Springer Science+Business Media, LLC 2009. doi:10.1007/978-0-387-92824-1
- Erbay, Z., & Icier, F.** (2010). A review of thin layer drying of foods: Theory, modeling, and experimental results. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(5), 441-464. doi:10.1080/10408390802437063
- Ertekin, C., & Firat, M. Z.** (2017). A comprehensive review of thin-layer drying models used in agricultural products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57:4, 701-717. doi:10.1080/10408398.2014.910493
- Ertekin, C., & Yaldiz, O.** (2004). Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. *Journal of Food Engineering*, 63, 349–359. doi:10.1016/j.jfoodeng.2003.08.007

- Esfahani, J. A., Majdi, H., & Barati, E.** (2014). Analytical two-dimensional analysis of the transport phenomena occurring during convective drying: Apple slices. *Journal of Food Engineering*, *123*, 87-93. doi:10.1016/j.jfoodeng.2013.09.019
- Espitia, P. J., Du, W.-X., Avena-Bustillos, R. D., Soares, N. D., & McHugh, T. H.** (2014). Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties - A review. *Food Hydrocolloids*, *35*, 287-296. doi:10.1016/j.foodhyd.2013.06.005
- Falguera, V., Quintero, J. P., Jimenez, A., Munoz, J. A., & Ibarz, A.** (2011). Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends in Food Science & Technology*, *22*, 292-303. doi:10.1016/j.tifs.2011.02.004
- FAO, WHO.** (2017). *Codex Alimentarius, General Standard for Food Additives, Codex Stan 192-1995*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, World Health Organization.
- FAO, WHO.** (2018). *Codex Alimentarius, Class names and the international numbering system for food additives, CXG 36-1989*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, World Health Organization.
- Farris, S., Schaich, K. M., Liu, L. S., Piergiovanni, L., & Yam, K. L.** (2009). Development of polyion-complex hydrogels as an alternative approach for the production of bio-based polymers for food packaging applications: a review. *Trends in Food Science & Technology*, *20*, 316-332. doi:10.1016/j.tifs.2009.04.003
- FDA.** (2018). *GRAS Notices*. Washington DC: U.S. Food and Drug Administration. Retrieved from <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/fdcc/index.cfm?set=GRASNotices>
- FDA, CFR.** (2018). *CFR - Code of Federal Regulations Title 21*. U.S. Food and Drug Administration. Retrieved from <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=184.1588>
- Filho, L. M., Frascareli, E. L., & Mauro, M. A.** (2016). Effect of an edible pectin coating and blanching pretreatments on the air-drying kinetics of pumpkin (*Cucurbita moschata*). *Food Bioprocess Technol*, *9*, 859-871. doi:10.1007/s11947-016-1674-5
- Freitas, I. R., Cortez-Vega, W. R., Pizato, S., Prentice-Hernandez, C., & Borges, C. D.** (2013). Xanthan gum as a carrier of preservative agents and calcium chloride applied on fresh-cut apple. *Journal of Food Safety*, *33*, 229-238. doi:10.1111/jfs.12044
- Galus, S., & Kadzinska, J.** (2015). Food applications of emulsion-based edible films and coatings. *Trends in Food Science & Technology*, *45*, 273e283. doi:10.1016/j.tifs.2015.07.011
- Garcia, C. C., Caetano, L. C., Silva, K. D., & Mauro, M. A.** (2014). Influence of edible coating on the drying and quality of papaya (*Carica papaya*). *Food Bioprocess Technol*, *7*, 2828-2839. doi:10.1007/s11947-014-1350-6
- Garcia-Ochoa, F., Santos, V. E., Casas, J. A., & Gomez, E.** (2000). Xanthan gum: production, recovery, and properties. *Biotechnology Advances*, *18*, 549-579.
- García-Pérez, J. V., Ozuna, C., Ortuño, C., Cárcel, J. A., & Mulet, A.** (2011). Modeling ultrasonically assisted convective drying of eggplant. *Drying Technology*, 1499-1509. doi:10.1080/07373937.2011.576321

- Geankoplis, C. J.** (1993). *Transport processes and unit operations* (3rd ed.). New Jersey: Prentice-Hall. Inc.
- Golestani, R., Raisi, A., & Aroujalian, A.** (2013). Mathematical modeling on air drying of apples considering shrinkage and variable diffusion coefficient. *Drying Technology*, *31*(1), 40-51. doi:10.1080/07373937.2012.714826
- Gonzalez-Fesler, M., Salvatori, D., Gomez, P., & Alzamora, S. M.** (2008). Convective air drying of apples as affected by blanching and calcium impregnation. *Journal of Food Engineering*, *87*, 323-332. doi:10.1016/j.jfoodeng.2007.12.007
- Guerreiro, A. C., Gago, C. M., Faleiro, M. L., Miguel, M. G., & Antunes, M. D.** (2017). The effect of edible coatings on the nutritional quality of 'Bravo de Esmolfe' fresh-cut apple through shelf-life. *LWT - Food Science and Technology*, *75*, 210-219. doi:10.1016/j.lwt.2016.08.052
- Guerrero, P., Stefani, P. M., Ruseckaite, R. A., & Caba, K. D.** (2011). Functional properties of films based on soy protein isolate and gelatin processed by compression molding. *Journal of Food Engineering*, *105*, 65-72. doi:10.1016/j.jfoodeng.2011.02.003
- Gutiérrez, T. J.** (2017). Surface and nutraceutical properties of edible films made from starchy sources with and without added blackberry pulp. *Carbohydrate Polymers*, *165*, 169-179. doi:10.1016/j.carbpol.2017.02.016
- Hamzeh, A., & Rezaei, M.** (2012). The Effects of Sodium Alginate on Quality of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Fillets Stored at $4 \pm 2^\circ\text{C}$. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, *21*, 14-21. doi:10.1080/10498850.2011.579384
- Hanani, Z. A., Roos, Y. H., & Kerry, J. P.** (2014). Use and application of gelatin as potential biodegradable packaging materials for food products. *International Journal of Biological Macromolecules*, *71*, 94-102. doi:10.1016/j.ijbiomac.2014.04.027
- Hassan, B., Chatha, S. A., Hussain, A. I., Zia, K. M., & Akhtar, N.** (2018). Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, *109*, 1095-1107. doi:10.1016/j.ijbiomac.2017.11.097
- Hatakeyama, T., Tanaka, M., Kishi, A., & Hatakeyama, H.** (2012). Comparison of measurement techniques for the identification of bound water restrained by polymers. *Thermochimica Acta*, *532*, 159-163. doi:10.1016/j.tca.2011.01.027
- Hedayati, S., & Niakousari, M.** (2015). Effect of coatings of silver nanoparticles and gum arabic on physicochemical and microbial properties of green bell pepper (*Capsicum Annuum*). *Journal of Food Processing and Preservation*, *39*, 2001-2007. doi:10.1111/jfpp.12440
- Heldman, D. R., & Lund, D. B.** (2007). *Handbook of Food Engineering* (2nd ed.). CRC Press.
- Hii, C., Law, C., Cloke, & M.** (2008). Modelling of thin-layer drying kinetics of cocoa bean during artificial and natural drying. *Journal of Engineering Science and Technology*, *3:1*, 1 - 10.
- Hosseinpour, S., Rafiee, S., Aghbashlo, M., & Mohtasebi, S. S.** (2015). Computer vision system (CVS) for in-line monitoring of visual texture kinetics during shrimp (*Penaeus Spp.*) drying. *Drying Technology*, *33*, 238-254. doi:10.1080/07373937.2014.947513

- Hui, Y.** (2006). *Handbook of Fruits and Fruit Processing*. USA: Blackwell Publishing Professional.
- Joardder, M. U., Brown, R. J., Kumar, C., & Karim, M.** (2015). Effect of cell wall properties on prosity and shrinkage of dried apple. *International Journal of Food Properties*, 18, 2327-2337. doi:10.1080/10942912.2014.980945
- Jolie, R. P., Duvetter, T., Van Loey, A. M., & Hendrickx, M. E.** (2010). Pectin methylesterase and its proteinaceous inhibitor: a review. *Carbohydrate Research*, 345, 2583–2595. doi:10.1016/j.carres.2010.10.002
- Junlakan, W., Tirawanichakul, S., & Yamsaengsung, R.** (2017). Effect of vacuum drying on structural changes of bananas, pineapples, and apples. *Journal of Food Processing and Preservation*, e13264. doi:10.1111/jfpp.13264
- Kara, C., & Doymaz, İ.** (2015). Thin Layer Drying Kinetics of By-Products from Pomegranate Juice Processing. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39, 480–487. doi:10.1111/jfpp.12253
- Karatas, S.** (1997). Determination of moisture diffusivity of lentil seed during drying. *Drying Technology*, 15:1, 183-199. doi:10.1080/07373939708917225
- Karataş, Ş., & Battalbey, F.** (1991). Determination of moisture Diffusivity of Pistachio Nut Meat During Drying. *Lebensm-Wiss.U. Technology*, 24, 484-497.
- Karataş, Ş., & Esin, A.** (1994). Determination of moisture diffusivity and behavior of tomato concentrate droplets during drying in air. *Drying Technology*, 12:4, 799-822. doi:10.1080/07373939408959996
- Karatas, Ş., & Pinarli, I.** (2001). Determination of moisturediffusivity of pine nut seeds. *Drying Technology*, 19: 3-4, 701-708. doi:10.1081
- Karathanos, V. T.** (1999). Determination of Water Content of Dried Fruits by Drying Kinetics. *Journal of Food Engineering*, 39, 337-344.
- Kaymak-Ertekin, F.** (2002). Drying and rehydrating kinetics of green and red peppers. *Journal of food science*, 67, 168-175.
- Key, R. B.** (1972). *Drying: Principels and Practice*. Pergamon Press.
- Khazaei, N., Esmaili, M., & Emam-Djomeh, Z.** (2016). Effect of active edible coatings made by basil seed gum and thymol on oil uptake and oxidation in shrimp during deep-fat frying. *Carbohydrate Polymers*, 137, 249–254. doi:10.1016/j.carbpol.2015.10.084
- Kholmanskiy, A., Tilov, A., & Sorokina, E.** (2013). Drying kinetics of plant products: Dependence on chemical composition. *Journal of Food Engineering*, 117, 378-382. doi:10.1016/j.jfoodeng.2013.03.017
- Kucuk, H., Midilli, A., Kilic, A., & Dincer, I.** (2014). A Review on Thin-Layer Drying-Curve Equations. *Drying Technology*, 32:7, 757-773. doi:10.1080/07373937.2013.873047
- Kurek, M., Scetar, M., & Galic, K.** (2017). Edible coatings minimize fat uptake in deep fat fried products: A review. *Food Hydrocolloids*, 71, 225-235. doi:10.1016/j.foodhyd.2017.05.006
- Lahsani, S., Kouhila, M., Mahrouz, M., Idlimam, A., & Jamali, A.** (2004). Thin Layer Convective Solar Drying and Mathematical Modeling of Prickly Pear Peel (*Opuntia ficus indica*). *Energy*, 29, 211–224. doi:10.1016/j.energy.2003.08.009
- Land, C. M.** (2012). *Drying in the Process Indusrty*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

- Lewicki, P. P., & Jakubczyk, E.** (2004). Effect of hot air temperature on mechanical properties of dried apples. *Journal of Food Engineering*, *64*, 307–314. doi:10.1016/j.jfoodeng.2003.10.014
- Lewicki, P. P., & Pawlak, G.** (2003). Effect of Drying on Microstructure of Plant Tissue. *Drying Technology*, *21*(4), 657-683. doi:10.1081/DRT-120019057
- Li, H., & Ramaswamy, H. S.** (2006). Osmotic dehydration of apple cylinders: I. Conventional batch processing conditions. *Drying Technology*, *24*:5, 619-630. doi:10.1080/07373930600626545
- Lima, M. D., Carneiro, L. C., Bianchini, D., Dias, A. R., Zavareze, E. D., Prentice, C., & Moreira, A. D.** (2017). Structural, thermal, physical, mechanical and barrier properties of chitosan films with the addition of xanthan gum. *Journal of Food Science*, *82*, 698-705. doi:10.1111/1750-3841.13653
- Lohani, U. C., & Muthukumarappan, K.** (2016). Effect of sequential treatments of fermentation and ultrasonication followed by extrusion on bioactive content of apple pomace and textural, functional properties of its extrudates. *International Journal of Food Science and Technology*, *51*, 1811–1819. doi:10.1111/ijfs.13152
- Madamba, P. S.** (2003). Thin layer drying models for osmotically predried young coconut. *Drying Technology*, *21*:9, 1759-1780. doi:10.1081/DRT-120025507
- Maftoonzad, N., Ramaswamy, H. S., Moalemiyan, M., & Kushalappa, A. C.** (2007). Effect of pectin-based edible emulsion coating on changes in quality of avocado exposed to *Lasiodiplodia theobromae* infection. *Carbohydrate Polymers*, *68*, 341–349. doi:10.1016/j.carbpol.2006.11.020
- Mahfoudhi, N., & Hamdi, S.** (2015). Use of almond gum and gum arabic as novel edible coating to delay postharvest ripening and to maintain sweet cherry (*Prunus Avium*) quality during storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, *39*, 1499–1508. doi:10.1111/jfpp.12369
- Maroulis, Z. B., & Saravacos, G. D.** (2003). *Food Process Design*. New York: Marcel Dekker.
- Maskan, M., & Karataş, Ş.** (1997). Sorption characteristics of whole pistachio nuts (*Pistacia vera* L.). *Drying Technology*, *15*:3-4, 1119-1139.
- McCabe, L., & Smith, J. C.** (1976). *Unit Operations of Chemical Engineering* (3rd ed.). Tokyo: McGRAW-HILL KOGAKUSHI, LTD.
- Mei, Y., Zhao, Y., Yang, J., & Furr, H. C.** (2002). Using edible coating to enhance nutritional and sensory qualities of baby carrots. *Journal of Food Science*, *67*, 1964-1968.
- Menezes, J., & Athmaselvi, K. A.** (2016). Polysaccharide based edible coating on sapota fruit. *International Agrophysics*, *30*, 551-557. doi:10.1515/intag-2016-0019
- Midilli, A., & Kucuk, H.** (2003). Mathematical Modeling of Thin Layer Drying of Pistachio by using Solar Energy. *Energy Conversion and Management*, *44*, 1111–1122.
- Moalemiyan, M., Ramaswamy, H. S., & Maftoonzad, N.** (2012). Pectin-based edible coating for shelf-life extension of Ataulfo mango. *Journal of Food Process Engineering*, *35*, 572–600. doi:10.1111/j.1745-4530.2010.00609.x
- Mujumdar, A. S.** (2006). *Handbook of Industrial Drying* (3rd ed.). CRC Press, Taylor and Francis Group, LLC.

- Musielak, G.** (2000). Influence of the drying medium parameters on drying induced stresses. *Drying Technology*, 18(3), 561-581. doi:10.1080/07373930008917726
- Ndukwu, M. C., Dirioha, C., Abam, F. I., & Ihediwa, V. E.** (2017). Heat and mass transfer parameters in the drying of cocoyam slice. *Case Studies in Thermal Engineering*, 9, 62-71. doi:10.1016/j.csite.2016.12.003
- Nowak, D., & Lewicki, P. P.** (2005). Quality of infrared dried apple slices. *Drying Technology*, 23, 831-846. doi:10.1080/DRT-200054206
- Onwude, D., Hashim, N., Janius, R. B., Nawi, N. M., & Abdan, K.** (2016). Modeling the Thin-Layer drying of fruits and vegetables: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15, 599-618. doi:10.1111/1541-4337.12196
- Özdemir, M., & Devres, Y. O.** (1999). The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. *Journal of Food Engineering*, 42, 225-233.
- Parreidt, T. S., Schmid, M., & Müller, K.** (2018). Effect of dipping and vacuum impregnation coating techniques with alginate based coating on physical quality parameters of cantaloupe. *Journal of Food Science*, 83, 929-936. doi:10.1111/1750-3841.14091
- Pasban, A., Sadrnia, H., Mohebbi, M., & Shahidi, S. A.** (2017). Spectral method for simulating 3D heat and mass transfer during drying of apple slices. *Journal of Food Engineering*, 212, 201-212. doi:10.1016/j.jfoodeng.2017.05.013
- Paula, A. M., & Conti-Silva, A. C.** (2014). Texture profile and correlation between sensory and instrumental analyses on extruded snacks. *Journal of Food Engineering*, 121, 9-14. doi:10.1016/j.jfoodeng.2013.08.007
- Pérez, S., Rodríguez-Carvajal, M. A., & Doco, T.** (2003). A complex plant cell wall polysaccharide: rhamnogalacturonan II.A structure in quest of a function. *Biochimie*, 85, 109-121. doi:10.1016/S0300-9084(03)00053-1
- Perry, R. H., Green, D. W., & Maloney, J. O.** (1984). *Perry's chemical engineers' handbook* (6th ed.). McGraw-Hill Inc.
- Pizato, S., Cortez-Vega, W. R., Souza, J. T., Prentice-Hernandez, C., & Borges, C. D.** (2013). Effect of different edible coating in physical chemical and microbiological characteristics of minimally processed peaches (*Prunus Persica* L. Batsch). *Journal of Food Safety*, 33, 30-39. doi:10.1111/jfs.12020
- Radi, M., Akhavan-Darabi, S., & Akhavan, H. R.** (2018). The use of orange peel essential oil microemulsion and nanoemulsion in pectin-based coating to extend the shelf life of fresh-cut orange. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42, e13441. doi:10.1111/jfpp.13441
- Rahman, M. M., Joardder, M. U., Khan, M. I., Pham, N., & Karim, M.** (2018). Multi-scale model of food drying: Current status and challenges. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(5), 858-876. doi:10.1080/10408398.2016.1227299
- Rahman, M. S.** (2009). Food Stability Beyond Water Activity and Glass Transition: Macro-Micro Region Concept in the State Diagram. *International Journal of Food Properties*, 12, 726-740. doi:10.1080/10942910802628107
- Ramos, E., Silva, P., Alario, M. M., Pastrana, L. M., Teixeira, J. A., Cerqueira, M. A., & Vicente, A. A.** (2018). Effect of alginate molecular weight and M/G ratio in beads properties foreseeing the protection of probiotics. *Food Hydrocolloids*, 77, 8-16. doi:10.1016/j.foodhyd.2017.08.031

- Rojas-Graü, M. A., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O.** (2009). Edible coatings to incorporate active ingredients to freshcut fruits: a review. *Trends in Food Science & Technology*, *20*, 438-447. doi:10.1016/j.tifs.2009.05.002
- Rolle, L., Siret, R., Segade, S. R., Maury, C., Gerbi, V., & Jourjon, F.** (2012). Instrumental texture analysis parameters as markers of Table-grape and Winegrape quality: A review. *American Journal of Enology and Viticulture*, *63*, 11-28. doi:10.5344/ajev.2011.11059
- Rotstein, E., Singh, R. P., & Valentas, K. J.** (1997). *Handbook of food engineering practice*. New York: CRC Press, LLC.
- Sacilik, K., & Elicin, A. K.** (2006). The thin layer drying characteristics of organic apple slices. *Journal of Food Engineering*, *73*, 281-289. doi:0.1016/j.jfoodeng.2005.03.024
- Sahin, S., & Sumnu, S. G.** (2006). *Physical properties of foods*. Springer Science+Business Media, LLC.
- Salinas-Roca, B., Guerreiro, A., Welti-Chanes, J., Antunes, M. D., & Martín-Belloso, O.** (2018). Improving quality of fresh-cut mango using polysaccharide-based edible coatings. *International Journal of Food Science and Technology*, *53*, 938–945. doi:10.1111/ijfs.13666
- Sanchís, E., González, S., Ghidelli, C., Sheth, C. C., Mateos, M., Palou, L., & Pérez-Gago, M. B.** (2016). Browning inhibition and microbial control in fresh-cut persimmon (*Diospyros kaki* Thunb. cv. Rojo Brillante) by apple pectin-based edible coatings. *Postharvest Biology and Technology*, *112*, 186–193. doi:10.1016/j.postharvbio.2015.09.024
- Scott, W. J.** (1953). Water Relations of *Staphylococcus aureus* at 30°C. *Australian Journal of Biology and Science*, *6*, 549-556.
- Sharma, S., & Rao, T. V.** (2015). Xanthan gum based edible coating enriched with cinnamic acid prevents browning and extends the shelf-life of fresh-cut pears. *LWT - Food Science and Technology*, *62*, 791e800. doi:10.1016/j.lwt.2014.11.050
- Silva, K. S., Garcia, C. C., Amado, L. R., & Mauro, M. A.** (2015). Effects of edible coatings on convective drying and characteristics of the dried pineapple. *Food Bioprocess Technol*, *8*, 1465–1475. doi:10.1007/s11947-015-1495-y
- Singh, R. P., & Heldman, D. R.** (2009). *Introduction to Food Engineering* (4th ed.). UK: Elsevier Inc.
- Smith, J. S., & Hui, Y. H.** (2004). *Food Processing Principles and Applications*. USA: Blackwell Publishing.
- Soradech, S., Nunthanid, J., Limmatvapirat, S., & Luangtana-anan, M.** (2017). Utilization of shellac and gelatin composite film for coating to extend the shelf life of banana. *Food Control*, *73*, 1310-1317. doi:10.1016/j.foodcont.2016.10.059
- Srikiatden, J., & Roberts, J. S.** (2005). Moisture loss kinetics of apple during convective hot air and isothermal drying. *International Journal of Food Properties*, *8*(3), 493-512. doi:10.1080/10942910500267737
- Stephen, A. M., Phillips, G. O., & Williams, P. A.** (2006). *Food Polysaccharides and Their Applications* (2nd ed.). Florida: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Telis, V. R., & Telis-Romero, J.** (2005). Solid rheology for dehydrated food and biological materials. *Drying Technology*, *23*, 759-780. doi:10.1081/DRT-200054190

- Toğrul, H.** (2005). Simple modeling of infrared drying of fresh apple slices. *Journal of Food Engineering*, 71, 311-323. doi:10.1016/j.jfoodeng.2005.03.031
- Toğrul, İ., & Pehlivan, D.** (2003). Modelling of drying kinetics of single apricot. *Journal of Food Engineering*, 58, 23-32.
- Toledo, R. T.** (2007). *Fundamentals of Food Process Engineering* (3rd ed.). Springer Science+Business Media, LLC.
- Toujani, M., Hassini, L., Azzouz, S., & Belghith, A.** (2013). Experimental study and mathematical modeling of Silverside fish convective drying. *Journal of Food Processing and Preservation*, 37, 930-938. doi:10.1111/j.1745-4549.2012.00729.x
- Treybal, R. E.** (1980). *Mass - Transfer Operations* (3rd ed.). McGraw - Hill Book Company, Malaysia.
- Tunick, M. H., Onwulata, C. I., Thomas, A. E., Phillips, J. G., Mukhopadhyay, S., Sheen, S., . . . Cook, P. H.** (2013). Critical evaluation of crispy and crunchy textures: A review. *International Journal of Food Properties*, 16, 949-963. doi:10.1080/10942912.2011.573116
- USDA.** (2012). *U.S. Apple Statistics*. United States Department of Agriculture. Retrieved from <http://usda.mannlib.cornell.edu/MannUsda/viewDocumentInfo.do?documentID=1825>
- USDA.** (2017). *Fresh Deciduous Fruit: World Markets and Trade (Apples, Grapes, & Pears)*. United States Department of Agriculture.
- USDA.** (2018). *National Nutrient Database for Standard Reference*. United States Department of Agriculture .
- Vaclavik, V., & Christian, E. W.** (2008). *Essentials of food science*. Springer Science+Business Media, LLC.
- Valle, J. G., & Pallares, J. S.** (2018). Analytical solution for the coupled heat and mass transfer formulation of one-dimensional drying kinetics. *Journal of Food Engineering*, 230, 99-113. doi:10.1016/j.jfoodeng.2018.02.029
- Varela, P., Chen, J., Fiszman, S., & Povey, M. J.** (2006). Crispness assessment of roasted almonds by an integrated approach to texture description: texture, acoustics, sensory and structure. *Journal of Chemometrics*, 20, 311-320. doi:10.1002/cem.1029
- Varela, P., Salvador, A., & Fiszman, S.** (2007). Changes in apple tissue with storage time: Rheological, textural and microstructural analyses. *Journal of Food Engineering*, 78, 622–629. doi:10.1016/j.jfoodeng.2005.10.034
- Vega-Galvez, A., Miranda, M., Bilbao-Saniz, C., Uribe, E., & Lemus-Mondaca, R.** (2008). Empirical modeling of drying process for apple (CV. Granny Smith) slices at different air temperatures. *Journal of Food Processing and Preservation*, 32, 972-986.
- Velic, D., Planinic, M., Tomas, S., & Bilic, M.** (2004). Influence of airflow velocity on kinetics of convection apple drying. *Journal of Food Engineering*, 64, 97-102. doi:10.1016/j.jfoodeng.2003.09.016
- Videcoq, P., Garnier, C., Robert, P., & Bonnin, E.** (2011). Influence of calcium on pectin methyltransferase behaviour in the presence of medium methylated pectins. *Carbohydrate Polymers*, 86, 1657– 1664. doi:10.1016/j.carbpol.2011.06.081
- Wang, Z., Sun, J., Liao, X., Chen, F., Zhao, G., Wu, J., & Hu, X.** (2007). Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace. *Food Research International*, 40, 39–46. doi:10.1016/j.foodres.2006.07.017

- Wüstenberg, T.** (2015). *Cellulose and Cellulose Derivatives in the Food Industry*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Yang, H.-J., Lee, J.-H., Lee, K.-Y., & Song, K. B.** (2017). Application of gelatin film and coating prepared from dried alaska pollock by-product in quality maintenance of grape berries. *Journal of Food Processing and Preservation*, *41*, e13228. doi:10.1111/jfpp.13228
- Yi, J., Lyu, J., Bi, J-F., Zhou, L.-Y., & Zhou, M.** (2017). Hot air drying and freeze drying pre-treatments coupled to explosion puffing drying in terms of quality attributes of mango, pitaya, and papaya fruit chips. *Food Processing and Preservation*, e13300. doi:10.1111/jfpp.13300
- Zambrano-Zaragoza, M. L., Mercado-Silva, E., Real L, A. D., Gutiérrez-Cortez, E., Cornejo-Villegas, M. A., & Quintanar-Guerrero, D.** (2014). The effect of nano-coatings with α -tocopherol and xanthan gum on shelf-life and browning index of fresh-cut “Red Delicious” apples. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *22*, 188–196. doi:10.1016/j.ifset.2013.09.008
- Zambrano-Zaragoza, M. L., Quintanar-Guerrero, D., Real, A. D., Pinon-Segundo, E., & Zambrano-Zaragoza, J. F.** (2017). *Carbohydrate Polymers*, *157*, 1874–1882. doi:10.1016/j.carbpol.2016.11.075
- Zarein, M., Samadi, S. H., & Ghobadian, B.** (2015). Investigation of Microwave Dryer Effect on Energy Efficiency during Drying of Apple Slices. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *14*, 41-47. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2013.06.002>
- Zhu, A., & Shen, X.** (2014). The model and mass transfer characteristics of convection drying of peach slices. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *72*, 345-351. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.01.001
- Zielinska, M., & Michalska, A.** (2016). Microwave-assisted drying of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruits: Drying kinetics, polyphenols, anthocyanins, antioxidant capacity, colour and texture. *Food Chemistry*, *212*, 671-680. doi:10.1016/j.foodchem.2016.03.003
- Zlatanovic, I., Komatina, M., & Antonijevic, D.** (2013). Low-temperature convective drying of apple cubes. *Applied Thermal Engineering*, *53*, 114-123. doi:10.1016/j.applthermaleng.2013.01.012

EKLER

EK A: Difüzyon katsayılarının istatistiksel hesaplamaların sonuçları.

EK B: Kurutulmuş elmaların tekstürel özelliklerine ilişkin istatistiksel hesaplamaların sonuçları.

EK C: Kaplanmış elmaların difüzyon katsayılarına ilişkin istatistiksel hesaplamaların sonuçları.





EK A: Difüzyon katsayılarının istatistiksel hesaplamaların sonuçları.

Çizelge A.1: Difüzyon katsayısının betimleyici istatistikleri.

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
SGD-KA-110	9	19,3389	,35908	,11969	19,0629	19,6149	18,86	19,95
SGD-DA-110	9	22,5856	,37280	,12427	22,2990	22,8721	22,11	23,19
SGD-ÜG-110	9	23,5978	,78767	,26256	22,9923	24,2032	22,58	24,95
SGD-KA-115	9	23,6200	,63889	,21296	23,1289	24,1111	22,65	24,48
SGD-DA-115	9	24,8256	,97879	,32626	24,0732	25,5779	23,46	26,64
SGD-ÜG-115	9	25,8233	,83552	,27851	25,1811	26,4656	24,75	27,12
SGD-KA-120	9	25,8844	1,14633	,38211	25,0033	26,7656	24,41	27,16
SGD-DA-120	9	26,5900	1,23644	,41215	25,6396	27,5404	25,15	28,81
SGD-ÜG-120	9	28,4689	,74740	,24913	27,8944	29,0434	27,12	29,89
GS-KA-110	9	22,6300	,54822	,18274	22,2086	23,0514	22,18	23,39
GS-DA-110	9	23,6289	,82110	,27370	22,9977	24,2600	22,38	24,75
GS-ÜG-110	9	25,5700	,77078	,25693	24,9775	26,1625	24,21	26,57
GS-KA-115	9	23,6522	1,11754	,37251	22,7932	24,5112	22,04	25,43
GS-DA-115	9	25,1389	,53841	,17947	24,7250	25,5527	24,28	26,17
GS-ÜG-115	9	26,4233	,98041	,32680	25,6697	27,1769	25,02	27,66
GS-KA-120	9	24,5978	,70071	,23357	24,0592	25,1364	23,53	25,76
GS-DA-120	9	26,3578	,70053	,23351	25,8193	26,8963	25,22	27,32
GS-ÜG-120	9	27,9044	,99933	,33311	27,1363	28,6726	26,51	29,42
SKD-KA-110	9	22,0533	,70480	,23493	21,5116	22,5951	20,89	22,72
SKD-DA-110	9	24,0300	,85629	,28543	23,3718	24,6882	23,13	25,36
SKD-ÜG-110	9	26,2444	,99222	,33074	25,4818	27,0071	24,21	26,98
SKD-KA-115	9	23,7867	1,00255	,33418	23,0160	24,5573	22,18	24,88
SKD-DA-115	9	25,1611	,61460	,20487	24,6887	25,6335	24,48	26,44

Çizelge A.1: (devam) Difüzyon katsayısının betimleyici istatistikleri.

SKD-ÜG-115	9	26,9133	,39818	,13273	26,6073	27,2194	26,37	27,66
SKD-KA-120	9	24,1844	,48299	,16100	23,8132	24,5557	23,46	24,88
SKD-DA-120	9	26,9578	,58390	,19463	26,5089	27,4066	26,24	27,72
SKD-ÜG-120	9	27,1522	,69719	,23240	26,6163	27,6881	26,37	28,40
Total	243	24,9304	2,11747	,13584	24,6628	25,1980	18,86	29,89

Çizelge A.2: Difüzyon katsayısına ilişkin Anova sonucu.

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	947,299	26	36,435	57,129	,000
Within Groups	137,756	216	,638		
Total	1085,055	242			

Çizelge A.3: Difüzyon katsayısına ilişkin olarak Tukey-HSD testi ile çoklu karşılaştırmalar.

		Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
SGD-KA-110	SGD-DA-110	-3,24667*	,000	-4,6571	-1,8363
	SGD-ÜG-110	-4,25889*	,000	-5,6693	-2,8485
	SGD-KA-115	-4,28111*	,000	-5,6915	-2,8707
	SGD-DA-115	-5,48667*	,000	-6,8971	-4,0763
	SGD-ÜG-115	-6,48444*	,000	-7,8948	-5,0740
	SGD-KA-120	-6,54556*	,000	-7,9560	-5,1352
	SGD-DA-120	-7,25111*	,000	-8,6615	-5,8407
	SGD-ÜG-120	-9,13000*	,000	-10,5404	-7,7196
	GS-KA-110	-3,29111*	,000	-4,7015	-1,8807
	GS-DA-110	-4,29000*	,000	-5,7004	-2,8796
	GS-ÜG-110	-6,23111*	,000	-7,6415	-4,8207
	GS-KA-115	-4,31333*	,000	-5,7237	-2,9029
	GS-DA-115	-5,80000*	,000	-7,2104	-4,3896
	GS-ÜG-115	-7,08444*	,000	-8,4948	-5,6740
	GS-KA-120	-5,25889*	,000	-6,6693	-3,8485
	GS-DA-120	-7,01889*	,000	-8,4293	-5,6085
	GS-ÜG-120	-8,56556*	,000	-9,9760	-7,1552
	SKD-KA-110	-2,71444*	,000	-4,1248	-1,3040
	SKD-DA-110	-4,69111*	,000	-6,1015	-3,2807
	SKD-ÜG-110	-6,90556*	,000	-8,3160	-5,4952
	SKD-KA-115	-4,44778*	,000	-5,8582	-3,0374
	SKD-DA-115	-5,82222*	,000	-7,2326	-4,4118
	SKD-ÜG-115	-7,57444*	,000	-8,9848	-6,1640
	SKD-KA-120	-4,84556*	,000	-6,2560	-3,4352
SKD-DA-120	-7,61889*	,000	-9,0293	-6,2085	
SKD-ÜG-120	-7,81333*	,000	-9,2237	-6,4029	

Çizelge A.3 (devam): Difüzyon katsayılarına ilişkin olarak Tukey-HSD testi ile çoklu karşılaştırmalar.

		Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
SGD-DA-110	SGD-KA-110	3,24667*	,000	1,8363	4,6571
	SGD-ÜG-110	-1,01222	,586	-2,4226	,3982
	SGD-KA-115	-1,03444	,539	-2,4448	,3760
SGD-DA-115	SGD-DA-115	-2,24000*	,000	-3,6504	-,8296
	SGD-ÜG-115	-3,23778*	,000	-4,6482	-1,8274
	SGD-KA-120	-3,29889*	,000	-4,7093	-1,8885
SGD-DA-120	SGD-DA-120	-4,00444*	,000	-5,4148	-2,5940
	SGD-ÜG-120	-5,88333*	,000	-7,2937	-4,4729
	GS-KA-110	-,04444	1,000	-1,4548	1,3660
GS-DA-110	GS-DA-110	-1,04333	,521	-2,4537	,3671
	GS-ÜG-110	-2,98444*	,000	-4,3948	-1,5740
	GS-KA-115	-1,06667	,472	-2,4771	,3437
GS-DA-115	GS-DA-115	-2,55333*	,000	-3,9637	-1,1429
	GS-ÜG-115	-3,83778*	,000	-5,2482	-2,4274
	GS-KA-120	-2,01222*	,000	-3,4226	-,6018
GS-DA-120	GS-DA-120	-3,77222*	,000	-5,1826	-2,3618
	GS-ÜG-120	-5,31889*	,000	-6,7293	-3,9085
	SKD-KA-110	,53222	1,000	-,8782	1,9426
SKD-DA-110	SKD-DA-110	-1,44444*	,037	-2,8548	-,0340
	SKD-ÜG-110	-3,65889*	,000	-5,0693	-2,2485
	SKD-KA-115	-1,20111	,233	-2,6115	,2093
SKD-DA-115	SKD-DA-115	-2,57556*	,000	-3,9860	-1,1652
	SKD-ÜG-115	-4,32778*	,000	-5,7382	-2,9174
	SKD-KA-120	-1,59889*	,009	-3,0093	-,1885
SKD-DA-120	SKD-DA-120	-4,37222*	,000	-5,7826	-2,9618
	SKD-ÜG-120	-4,56667*	,000	-5,9771	-3,1563

Çizelge A.3 (devam): Difüzyon katsayılarına ilişkin olarak Tukey-HSD testi ile çoklu karşılaştırmalar.

	Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval		
			Lower Bound	Upper Bound	
SGD-ÜG-110	SGD-KA-110	4,25889 ⁺	,000	2,8485	5,6693
	SGD-DA-110	1,01222	,586	-,3982	2,4226
	SGD-KA-115	-,02222	1,000	-1,4326	1,3882
	SGD-DA-115	-1,22778	,197	-2,6382	,1826
	SGD-ÜG-115	-2,22556 ⁺	,000	-3,6360	-,8152
	SGD-KA-120	-2,28667 ⁺	,000	-3,6971	-,8763
	SGD-DA-120	-2,99222 ⁺	,000	-4,4026	-1,5818
	SGD-ÜG-120	-4,87111 ⁺	,000	-6,2815	-3,4607
	GS-KA-110	,96778	,678	-,4426	2,3782
	GS-DA-110	-,03111	1,000	-1,4415	1,3793
	GS-ÜG-110	-1,97222 ⁺	,000	-3,3826	-,5618
	GS-KA-115	-,05444	1,000	-1,4648	1,3560
	GS-DA-115	-1,54111 ⁺	,015	-2,9515	-,1307
	GS-ÜG-115	-2,82556 ⁺	,000	-4,2360	-1,4152
	GS-KA-120	-1,00000	,612	-2,4104	,4104
	GS-DA-120	-2,76000 ⁺	,000	-4,1704	-1,3496
	GS-ÜG-120	-4,30667 ⁺	,000	-5,7171	-2,8963
	SKD-KA-110	1,54444 ⁺	,015	,1340	2,9548
	SKD-DA-110	-,43222	1,000	-1,8426	,9782
	SKD-ÜG-110	-2,64667 ⁺	,000	-4,0571	-1,2363
	SKD-KA-115	-,18889	1,000	-1,5993	1,2215
	SKD-DA-115	-1,56333 ⁺	,012	-2,9737	-,1529
	SKD-ÜG-115	-3,31556 ⁺	,000	-4,7260	-1,9052
	SKD-KA-120	-,58667	,999	-1,9971	,8237
	SKD-DA-120	-3,36000 ⁺	,000	-4,7704	-1,9496
	SKD-ÜG-120	-3,55444 ⁺	,000	-4,9648	-2,1440

Çizelge A.3 (devam): Difüzyon katsayılarına ilişkin olarak Tukey-HSD testi ile çoklu karşılaştırmalar.

	Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval		
			Lower Bound	Upper Bound	
SGD-KA-115	SGD-KA-110	4,28111*	,000	2,8707	5,6915
	SGD-DA-110	1,03444	,539	-,3760	2,4448
	SGD-ÜG-110	,02222	1,000	-1,3882	1,4326
	SGD-DA-115	-1,20556	,226	-2,6160	,2048
	SGD-ÜG-115	-2,20333*	,000	-3,6137	-,7929
	SGD-KA-120	-2,26444*	,000	-3,6748	-,8540
	SGD-DA-120	-2,97000*	,000	-4,3804	-1,5596
	SGD-ÜG-120	-4,84889*	,000	-6,2593	-3,4385
	GS-KA-110	,99000	,632	-,4204	2,4004
	GS-DA-110	-,00889	1,000	-1,4193	1,4015
	GS-ÜG-110	-1,95000*	,000	-3,3604	-,5396
	GS-KA-115	-,03222	1,000	-1,4426	1,3782
	GS-DA-115	-1,51889*	,019	-2,9293	-,1085
	GS-ÜG-115	-2,80333*	,000	-4,2137	-1,3929
	GS-KA-120	-,97778	,658	-2,3882	,4326
	GS-DA-120	-2,73778*	,000	-4,1482	-1,3274
	GS-ÜG-120	-4,28444*	,000	-5,6948	-2,8740
	SKD-KA-110	1,56667*	,012	,1563	2,9771
	SKD-DA-110	-,41000	1,000	-1,8204	1,0004
	SKD-ÜG-110	-2,62444*	,000	-4,0348	-1,2140
	SKD-KA-115	-,16667	1,000	-1,5771	1,2437
	SKD-DA-115	-1,54111*	,015	-2,9515	-,1307
	SKD-ÜG-115	-3,29333*	,000	-4,7037	-1,8829
	SKD-KA-120	-,56444	,999	-1,9748	,8460
	SKD-DA-120	-3,33778*	,000	-4,7482	-1,9274
	SKD-ÜG-120	-3,53222*	,000	-4,9426	-2,1218

Çizelge A.3 (devam): Difüzyon katsayılarına ilişkin olarak Tukey-HSD testi ile çoklu karşılaştırmalar.

		Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
SGD-DA-115	SGD-KA-110	5,48667*	,000	4,0763	6,8971
	SGD-DA-110	2,24000*	,000	,8296	3,6504
	SGD-ÜG-110	1,22778	,197	-,1826	2,6382
	SGD-KA-115	1,20556	,226	-,2048	2,6160
	SGD-ÜG-115	-,99778	,616	-2,4082	,4126
	SGD-KA-120	-1,05889	,488	-2,4693	,3515
	SGD-DA-120	-1,76444*	,001	-3,1748	-,3540
	SGD-ÜG-120	-3,64333*	,000	-5,0537	-2,2329
	GS-KA-110	2,19556*	,000	,7852	3,6060
	GS-DA-110	1,19667	,239	-,2137	2,6071
	GS-ÜÇ-110	-,74444	,967	-2,1548	,6660
	GS-KA-115	1,17333	,275	-,2371	2,5837
	GS-DA-115	-,31333	1,000	-1,7237	1,0971
	GS-ÜG-115	-1,59778*	,009	-3,0082	-,1874
	GS-KA-120	,22778	1,000	-1,1826	1,6382
	GS-DA-120	-1,53222*	,017	-2,9426	-,1218
	GS-ÜG-120	-3,07889*	,000	-4,4893	-1,6685
	SKD-KA-110	2,77222*	,000	1,3618	4,1826
	SKD-DA-110	,79556	,934	-,6148	2,2060
	SKD-ÜG-110	-1,41889*	,047	-2,8293	-,0085
	SKD-KA-115	1,03889	,530	-,3715	2,4493
	SKD-DA-115	-,33556	1,000	-1,7460	1,0748
	SKD-ÜG-115	-2,08778*	,000	-3,4982	-,6774
	SKD-KA-120	,64111	,995	-,7693	2,0515
	SKD-DA-120	-2,13222*	,000	-3,5426	-,7218
	SKD-ÜG-120	-2,32667*	,000	-3,7371	-,9163

Çizelge A.3 (devam): Difüzyon katsayılarına ilişkin olarak Tukey-HSD testi ile çoklu karşılaştırmalar.

	Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval		
			Lower Bound	Upper Bound	
SGD-ÜG-115	SGD-KA-110	6,48444*	,000	5,0740	7,8948
	SGD-DA-110	3,23778*	,000	1,8274	4,6482
	SGD-ÜG-110	2,22556*	,000	,8152	3,6360
	SGD-KA-115	2,20333*	,000	,7929	3,6137
	SGD-DA-115	,99778	,616	-,4126	2,4082
	SGD-KA-120	-,06111	1,000	-1,4715	1,3493
	SGD-DA-120	-,76667	,955	-2,1771	,6437
	SGD-ÜG-120	-2,64556*	,000	-4,0560	-1,2352
	GS-KA-110	3,19333*	,000	1,7829	4,6037
	GS-DA-110	2,19444*	,000	,7840	3,6048
	GS-ÜG-110	,25333	1,000	-1,1571	1,6637
	GS-KA-115	2,17111*	,000	,7607	3,5815
	GS-DA-115	,68444	,988	-,7260	2,0948
	GS-ÜG-115	-,60000	,998	-2,0104	,8104
	GS-KA-120	1,22556	,199	-,1848	2,6360
	GS-DA-120	-,53444	1,000	-1,9448	,8760
	GS-ÜG-120	-2,08111*	,000	-3,4915	-,6707
	SKD-KA-110	3,77000*	,000	2,3596	5,1804
	SKD-DA-110	1,79333*	,001	,3829	3,2037
	SKD-ÜG-110	-,42111	1,000	-1,8315	,9893
	SKD-KA-115	2,03667*	,000	,6263	3,4471
	SKD-DA-115	,66222	,993	-,7482	2,0726
	SKD-ÜG-115	-1,09000	,425	-2,5004	,3204
	SKD-KA-120	1,63889*	,006	,2285	3,0493
	SKD-DA-120	-1,13444	,340	-2,5448	,2760
	SKD-ÜG-120	-1,32889	,096	-2,7393	,0815

Çizelge A.3 (devam): Difüzyon katsayılarına ilişkin olarak Tukey-HSD testi ile çoklu karşılaştırmalar.

	Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval		
			Lower Bound	Upper Bound	
SGD-KA-120	SGD-KA-110	6,54556*	,000	5,1352	7,9560
	SGD-DA-110	3,29889*	,000	1,8885	4,7093
	SGD-ÜG-110	2,28667*	,000	,8763	3,6971
	SGD-KA-115	2,26444*	,000	,8540	3,6748
	SGD-DA-115	1,05889	,488	-,3515	2,4693
	SGD-ÜG-115	,06111	1,000	-1,3493	1,4715
	SGD-DA-120	-,70556	,983	-2,1160	,7048
	SGD-ÜG-120	-2,58444*	,000	-3,9948	-1,1740
	GS-KA-110	3,25444*	,000	1,8440	4,6648
	GS-DA-110	2,25556*	,000	,8452	3,6660
	GS-ÜG-110	,31444	1,000	-1,0960	1,7248
	GS-KA-115	2,23222*	,000	,8218	3,6426
	GS-DA-115	,74556	,967	-,6648	2,1560
	GS-ÜG-115	-,53889	1,000	-1,9493	,8715
	GS-KA-120	1,28667	,132	-,1237	2,6971
	GS-DA-120	-,47333	1,000	-1,8837	,9371
	GS-ÜG-120	-2,02000*	,000	-3,4304	-,6096
	SKD-KA-110	3,83111*	,000	2,4207	5,2415
	SKD-DA-110	1,85444*	,001	,4440	3,2648
	SKD-ÜG-110	-,36000	1,000	-1,7704	1,0504
	SKD-KA-115	2,09778*	,000	,6874	3,5082
	SKD-DA-115	,72333	,977	-,6871	2,1337
	SKD-ÜG-115	-1,02889	,551	-2,4393	,3815
	SKD-KA-120	1,70000*	,003	,2896	3,1104
	SKD-DA-120	-1,07333	,458	-2,4837	,3371
	SKD-ÜG-120	-1,26778	,150	-2,6782	,1426

Çizelge A.3 (devam): Difüzyon katsayılarına ilişkin olarak Tukey-HSD testi ile çoklu karşılaştırmalar.

	Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval		
			Lower Bound	Upper Bound	
SGD-DA-120	SGD-KA-110	7,25111*	,000	5,8407	8,6615
	SGD-DA-110	4,00444*	,000	2,5940	5,4148
	SGD-ÜG-110	2,99222*	,000	1,5818	4,4026
	SGD-KA-115	2,97000*	,000	1,5596	4,3804
	SGD-DA-115	1,76444*	,001	,3540	3,1748
	SGD-ÜG-115	,76667	,955	-,6437	2,1771
	SGD-KA-120	,70556	,983	-,7048	2,1160
	SGD-ÜG-120	-1,87889*	,000	-3,2893	-,4685
	GS-KA-110	3,96000*	,000	2,5496	5,3704
	GS-DA-110	2,96111*	,000	1,5507	4,3715
	GS-ÜG-110	1,02000	,570	-,3904	2,4304
	GS-KA-115	2,93778*	,000	1,5274	4,3482
	GS-DA-115	1,45111*	,035	,0407	2,8615
	GS-ÜG-115	,16667	1,000	-1,2437	1,5771
	GS-KA-120	1,99222*	,000	,5818	3,4026
	GS-DA-120	,23222	1,000	-1,1782	1,6426
	GS-ÜG-120	-1,31444	,107	-2,7248	,0960
	SKD-KA-110	4,53667*	,000	3,1263	5,9471
	SKD-DA-110	2,56000*	,000	1,1496	3,9704
	SKD-ÜG-110	,34556	1,000	-1,0648	1,7560
	SKD-KA-115	2,80333*	,000	1,3929	4,2137
	SKD-DA-115	1,42889*	,043	,0185	2,8393
	SKD-ÜG-115	-,32333	1,000	-1,7337	1,0871
	SKD-KA-120	2,40556*	,000	,9952	3,8160
	SKD-DA-120	-,36778	1,000	-1,7782	1,0426
	SKD-ÜG-120	-,56222	,999	-1,9726	,8482

Çizelge A.3 (devam): Difüzyon katsayılarına ilişkin olarak Tukey-HSD testi ile çoklu karşılaştırmalar.

	Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval		
			Lower Bound	Upper Bound	
SGD-ÜG-120	SGD-KA-110	9,13000*	,000	7,7196	10,5404
	SGD-DA-110	5,88333*	,000	4,4729	7,2937
	SGD-ÜG-110	4,87111*	,000	3,4607	6,2815
	SGD-KA-115	4,84889*	,000	3,4385	6,2593
	SGD-DA-115	3,64333*	,000	2,2329	5,0537
	SGD-ÜG-115	2,64556*	,000	1,2352	4,0560
	SGD-KA-120	2,58444*	,000	1,1740	3,9948
	SGD-DA-120	1,87889*	,000	,4685	3,2893
	GS-KA-110	5,83889*	,000	4,4285	7,2493
	GS-DA-110	4,84000*	,000	3,4296	6,2504
	GS-ÜG-110	2,89889*	,000	1,4885	4,3093
	GS-KA-115	4,81667*	,000	3,4063	6,2271
	GS-DA-115	3,33000*	,000	1,9196	4,7404
	GS-ÜG-115	2,04556*	,000	,6352	3,4560
	GS-KA-120	3,87111*	,000	2,4607	5,2815
	GS-DA-120	2,11111*	,000	,7007	3,5215
	GS-ÜG-120	,56444	,999	-,8460	1,9748
	SKD-KA-110	6,41556*	,000	5,0052	7,8260
	SKD-DA-110	4,43889*	,000	3,0285	5,8493
	SKD-ÜG-110	2,22444*	,000	,8140	3,6348
	SKD-KA-115	4,68222*	,000	3,2718	6,0926
	SKD-DA-115	3,30778*	,000	1,8974	4,7182
	SKD-ÜG-115	1,55556*	,013	,1452	2,9660
	SKD-KA-120	4,28444*	,000	2,8740	5,6948
	SKD-DA-120	1,51111*	,020	,1007	2,9215
	SKD-ÜG-120	1,31667	,106	-,0937	2,7271

Çizelge A.3 (devam): Difüzyon katsayılarına ilişkin olarak Tukey-HSD testi ile çoklu karşılaştırmalar.

	Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval		
			Lower Bound	Upper Bound	
GS-KA-110	SGD-KA-110	3,29111*	,000	1,8807	4,7015
	SGD-DA-110	,04444	1,000	-1,3660	1,4548
	SGD-ÜG-110	-,96778	,678	-2,3782	,4426
	SGD-KA-115	-,99000	,632	-2,4004	,4204
	SGD-DA-115	-2,19556*	,000	-3,6060	-,7852
	SGD-ÜG-115	-3,19333*	,000	-4,6037	-1,7829
	SGD-KA-120	-3,25444*	,000	-4,6648	-1,8440
	SGD-DA-120	-3,96000*	,000	-5,3704	-2,5496
	SGD-ÜG-120	-5,83889*	,000	-7,2493	-4,4285
	GS-DA-110	-,99889	,614	-2,4093	,4115
	GS-ÜG-110	-2,94000*	,000	-4,3504	-1,5296
	GS-KA-115	-1,02222	,565	-2,4326	,3882
	GS-DA-115	-2,50889*	,000	-3,9193	-1,0985
	GS-ÜG-115	-3,79333*	,000	-5,2037	-2,3829
	GS-KA-120	-1,96778*	,000	-3,3782	-,5574
	GS-DA-120	-3,72778*	,000	-5,1382	-2,3174
	GS-ÜG-120	-5,27444*	,000	-6,6848	-3,8640
	SKD-KA-110	,57667	,999	-,8337	1,9871
	SKD-DA-110	-1,40000	,055	-2,8104	,0104
	SKD-ÜG-110	-3,61444*	,000	-5,0248	-2,2040
	SKD-KA-115	-1,15667	,302	-2,5671	,2537
	SKD-DA-115	-2,53111*	,000	-3,9415	-1,1207
	SKD-ÜG-115	-4,28333*	,000	-5,6937	-2,8729
	SKD-KA-120	-1,55444*	,013	-2,9648	-,1440
	SKD-DA-120	-4,32778*	,000	-5,7382	-2,9174
	SKD-ÜG-120	-4,52222*	,000	-5,9326	-3,1118

Çizelge A.3 (devam): Difüzyon katsayılarına ilişkin olarak Tukey-HSD testi ile çoklu karşılaştırmalar.

	Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval		
			Lower Bound	Upper Bound	
GS-DA-110	SGD-KA-110	4,29000 ⁺	,000	2,8796	5,7004
	SGD-DA-110	1,04333	,521	-,3671	2,4537
	SGD-ÜG-110	,03111	1,000	-1,3793	1,4415
	SGD-KA-115	,00889	1,000	-1,4015	1,4193
	SGD-DA-115	-1,19667	,239	-2,6071	,2137
	SGD-ÜG-115	-2,19444 ⁺	,000	-3,6048	-,7840
	SGD-KA-120	-2,25556 ⁺	,000	-3,6660	-,8452
	SGD-DA-120	-2,96111 ⁺	,000	-4,3715	-1,5507
	SGD-ÜG-120	-4,84000 ⁺	,000	-6,2504	-3,4296
	GS-KA-110	,99889	,614	-,4115	2,4093
	GS-ÜG-110	-1,94111 ⁺	,000	-3,3515	-,5307
	GS-KA-115	-,02333	1,000	-1,4337	1,3871
	GS-DA-115	-1,51000 ⁺	,021	-2,9204	-,0996
	GS-ÜG-115	-2,79444 ⁺	,000	-4,2048	-1,3840
	GS-KA-120	-,96889	,676	-2,3793	,4415
	GS-DA-120	-2,72889 ⁺	,000	-4,1393	-1,3185
	GS-ÜG-120	-4,27556 ⁺	,000	-5,6860	-2,8652
	SKD-KA-110	1,57556 ⁺	,011	,1652	2,9860
	SKD-DA-110	-,40111	1,000	-1,8115	1,0093
	SKD-ÜG-110	-2,61556 ⁺	,000	-4,0260	-1,2052
	SKD-KA-115	-,15778	1,000	-1,5682	1,2526
	SKD-DA-115	-1,53222 ⁺	,017	-2,9426	-,1218
	SKD-ÜG-115	-3,28444 ⁺	,000	-4,6948	-1,8740
	SKD-KA-120	-,55556	,999	-1,9660	,8548
	SKD-DA-120	-3,32889 ⁺	,000	-4,7393	-1,9185
	SKD-ÜG-120	-3,52333 ⁺	,000	-4,9337	-2,1129

Çizelge A.3 (devam): Difüzyon katsayılarına ilişkin olarak Tukey-HSD testi ile çoklu karşılaştırmalar.

	Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval		
			Lower Bound	Upper Bound	
GS-ÜG-110	SGD-KA-110	6,23111*	,000	4,8207	7,6415
	SGD-DA-110	2,98444*	,000	1,5740	4,3948
	SGD-ÜG-110	1,97222*	,000	,5618	3,3826
	SGD-KA-115	1,95000*	,000	,5396	3,3604
	SGD-DA-115	,74444	,967	-,6660	2,1548
	SGD-ÜG-115	-,25333	1,000	-1,6637	1,1571
	SGD-KA-120	-,31444	1,000	-1,7248	1,0960
	SGD-DA-120	-1,02000	,570	-2,4304	,3904
	SGD-ÜG-120	-2,89889*	,000	-4,3093	-1,4885
	GS-KA-110	2,94000*	,000	1,5296	4,3504
	GS-DA-110	1,94111*	,000	,5307	3,3515
	GS-KA-115	1,91778*	,000	,5074	3,3282
	GS-DA-115	,43111	1,000	-,9793	1,8415
	GS-ÜG-115	-,85333	,872	-2,2637	,5571
	GS-KA-120	,97222	,669	-,4382	2,3826
	GS-DA-120	-,78778	,940	-2,1982	,6226
	GS-ÜG-120	-2,33444*	,000	-3,7448	-,9240
	SKD-KA-110	3,51667*	,000	2,1063	4,9271
	SKD-DA-110	1,54000*	,015	,1296	2,9504
	SKD-ÜG-110	-,67444	,990	-2,0848	,7360
	SKD-KA-115	1,78333*	,001	,3729	3,1937
	SKD-DA-115	,40889	1,000	-1,0015	1,8193
	SKD-ÜG-115	-1,34333	,086	-2,7537	,0671
	SKD-KA-120	1,38556	,061	-,0248	2,7960
	SKD-DA-120	-1,38778	,060	-2,7982	,0226
	SKD-ÜG-120	-1,58222*	,010	-2,9926	-,1718

Çizelge A.3 (devam): Difüzyon katsayılarına ilişkin olarak Tukey-HSD testi ile çoklu karşılaştırmalar.

	Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval		
			Lower Bound	Upper Bound	
GS-KA-115	SGD-KA-110	4,31333*	,000	2,9029	5,7237
	SGD-DA-110	1,06667	,472	-,3437	2,4771
	SGD-ÜG-110	,05444	1,000	-1,3560	1,4648
	SGD-KA-115	,03222	1,000	-1,3782	1,4426
	SGD-DA-115	-1,17333	,275	-2,5837	,2371
	SGD-ÜG-115	-2,17111*	,000	-3,5815	-,7607
	SGD-KA-120	-2,23222*	,000	-3,6426	-,8218
	SGD-DA-120	-2,93778*	,000	-4,3482	-1,5274
	SGD-ÜG-120	-4,81667*	,000	-6,2271	-3,4063
	GS-KA-110	1,02222	,565	-,3882	2,4326
	GS-DA-110	,02333	1,000	-1,3871	1,4337
	GS-ÜG-110	-1,91778*	,000	-3,3282	-,5074
	GS-DA-115	-1,48667*	,026	-2,8971	-,0763
	GS-ÜG-115	-2,77111*	,000	-4,1815	-1,3607
	GS-KA-120	-,94556	,721	-2,3560	,4648
	GS-DA-120	-2,70556*	,000	-4,1160	-1,2952
	GS-ÜG-120	-4,25222*	,000	-5,6626	-2,8418
	SKD-KA-110	1,59889*	,009	,1885	3,0093
	SKD-DA-110	-,37778	1,000	-1,7882	1,0326
	SKD-ÜG-110	-2,59222*	,000	-4,0026	-1,1818
	SKD-KA-115	-,13444	1,000	-1,5448	1,2760
	SKD-DA-115	-1,50889*	,021	-2,9193	-,0985
	SKD-ÜG-115	-3,26111*	,000	-4,6715	-1,8507
	SKD-KA-120	-,53222	1,000	-1,9426	,8782
	SKD-DA-120	-3,30556*	,000	-4,7160	-1,8952
	SKD-ÜG-120	-3,50000*	,000	-4,9104	-2,0896

Çizelge A.3 (devam): Difüzyon katsayılarına ilişkin olarak Tukey-HSD testi ile çoklu karşılaştırmalar.

	Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval		
			Lower Bound	Upper Bound	
GS-DA-115	SGD-KA-110	5,80000 [*]	,000	4,3896	7,2104
	SGD-DA-110	2,55333 [*]	,000	1,1429	3,9637
	SGD-ÜG-110	1,54111 [*]	,015	,1307	2,9515
	SGD-KA-115	1,51889 [*]	,019	,1085	2,9293
	SGD-DA-115	,31333	1,000	-1,0971	1,7237
	SGD-ÜG-115	-,68444	,988	-2,0948	,7260
	SGD-KA-120	-,74556	,967	-2,1560	,6648
	SGD-DA-120	-1,45111 [*]	,035	-2,8615	-,0407
	SGD-ÜG-120	-3,33000 [*]	,000	-4,7404	-1,9196
	GS-KA-110	2,50889 [*]	,000	1,0985	3,9193
	GS-DA-110	1,51000 [*]	,021	,0996	2,9204
	GS-ÜG-110	-,43111	1,000	-1,8415	,9793
	GS-KA-115	1,48667 [*]	,026	,0763	2,8971
	GS-ÜG-115	-1,28444	,134	-2,6948	,1260
	GS-KA-120	,54111	1,000	-,8693	1,9515
	GS-DA-120	-1,21889	,208	-2,6293	,1915
	GS-ÜG-120	-2,76556 [*]	,000	-4,1760	-1,3552
	SKD-KA-110	3,08556 [*]	,000	1,6752	4,4960
	SKD-DA-110	1,10889	,388	-,3015	2,5193
	SKD-ÜG-110	-1,10556	,394	-2,5160	,3048
	SKD-KA-115	1,35222	,080	-,0582	2,7626
	SKD-DA-115	-,02222	1,000	-1,4326	1,3882
	SKD-ÜG-115	-1,77444 [*]	,001	-3,1848	-,3640
	SKD-KA-120	,95444	,704	-,4560	2,3648
	SKD-DA-120	-1,81889 [*]	,001	-3,2293	-,4085
	SKD-ÜG-120	-2,01333 [*]	,000	-3,4237	-,6029

Çizelge A.3 (devam): Difüzyon katsayılarına ilişkin olarak Tukey-HSD testi ile çoklu karşılaştırmalar.

	Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval		
			Lower Bound	Upper Bound	
GS-ÜG-115	SGD-KA-110	7,08444*	,000	5,6740	8,4948
	SGD-DA-110	3,83778*	,000	2,4274	5,2482
	SGD-ÜG-110	2,82556*	,000	1,4152	4,2360
	SGD-KA-115	2,80333*	,000	1,3929	4,2137
	SGD-DA-115	1,59778*	,009	,1874	3,0082
	SGD-ÜG-115	,60000	,998	-,8104	2,0104
	SGD-KA-120	,53889	1,000	-,8715	1,9493
	SGD-DA-120	-,16667	1,000	-1,5771	1,2437
	SGD-ÜG-120	-2,04556*	,000	-3,4560	-,6352
	GS-KA-110	3,79333*	,000	2,3829	5,2037
	GS-DA-110	2,79444*	,000	1,3840	4,2048
	GS-ÜG-110	,85333	,872	-,5571	2,2637
	GS-KA-115	2,77111*	,000	1,3607	4,1815
	GS-DA-115	1,28444	,134	-,1260	2,6948
	GS-KA-120	1,82556*	,001	,4152	3,2360
	GS-DA-120	,06556	1,000	-1,3448	1,4760
	GS-ÜG-120	-1,48111*	,027	-2,8915	-,0707
	SKD-KA-110	4,37000*	,000	2,9596	5,7804
	SKD-DA-110	2,39333*	,000	,9829	3,8037
	SKD-ÜG-110	,17889	1,000	-1,2315	1,5893
	SKD-KA-115	2,63667*	,000	1,2263	4,0471
	SKD-DA-115	1,26222	,156	-,1482	2,6726
	SKD-ÜG-115	-,49000	1,000	-1,9004	,9204
	SKD-KA-120	2,23889*	,000	,8285	3,6493
	SKD-DA-120	-,53444	1,000	-1,9448	,8760
	SKD-ÜG-120	-,72889	,975	-2,1393	,6815

Çizelge A.3 (devam): Difüzyon katsayılarına ilişkin olarak Tukey-HSD testi ile çoklu karşılaştırmalar.

	Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval		
			Lower Bound	Upper Bound	
GS-KA-120	SGD-KA-110	5,25889*	,000	3,8485	6,6693
	SGD-DA-110	2,01222*	,000	,6018	3,4226
	SGD-ÜG-110	1,00000	,612	-,4104	2,4104
	SGD-KA-115	,97778	,658	-,4326	2,3882
	SGD-DA-115	-,22778	1,000	-1,6382	1,1826
	SGD-ÜG-115	-1,22556	,199	-2,6360	,1848
	SGD-KA-120	-1,28667	,132	-2,6971	,1237
	SGD-DA-120	-1,99222*	,000	-3,4026	-,5818
	SGD-ÜG-120	-3,87111*	,000	-5,2815	-2,4607
	GS-KA-110	1,96778*	,000	,5574	3,3782
	GS-DA-110	,96889	,676	-,4415	2,3793
	GS-ÜG-110	-,97222	,669	-2,3826	,4382
	GS-KA-115	,94556	,721	-,4648	2,3560
	GS-DA-115	-,54111	1,000	-1,9515	,8693
	GS-ÜG-115	-1,82556*	,001	-3,2360	-,4152
	GS-DA-120	-1,76000*	,002	-3,1704	-,3496
	GS-ÜG-120	-3,30667*	,000	-4,7171	-1,8963
	SKD-KA-110	2,54444*	,000	1,1340	3,9548
	SKD-DA-110	,56778	,999	-,8426	1,9782
	SKD-ÜG-110	-1,64667*	,005	-3,0571	-,2363
	SKD-KA-115	,81111	,919	-,5993	2,2215
	SKD-DA-115	-,56333	,999	-1,9737	,8471
	SKD-ÜG-115	-2,31556*	,000	-3,7260	-,9052
	SKD-KA-120	,41333	1,000	-,9971	1,8237
	SKD-DA-120	-2,36000*	,000	-3,7704	-,9496
	SKD-ÜG-120	-2,55444*	,000	-3,9648	-1,1440

Çizelge A.3 (devam): Difüzyon katsayılarına ilişkin olarak Tukey-HSD testi ile çoklu karşılaştırmalar.

	Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval		
			Lower Bound	Upper Bound	
GS-DA-120	SGD-KA-110	7,01889*	,000	5,6085	8,4293
	SGD-DA-110	3,77222*	,000	2,3618	5,1826
	SGD-ÜG-110	2,76000*	,000	1,3496	4,1704
	SGD-KA-115	2,73778*	,000	1,3274	4,1482
	SGD-DA-115	1,53222*	,017	,1218	2,9426
	SGD-ÜG-115	,53444	1,000	-,8760	1,9448
	SGD-KA-120	,47333	1,000	-,9371	1,8837
	SGD-DA-120	-,23222	1,000	-1,6426	1,1782
	SGD-ÜG-120	-2,11111*	,000	-3,5215	-,7007
	GS-KA-110	3,72778*	,000	2,3174	5,1382
	GS-DA-110	2,72889*	,000	1,3185	4,1393
	GS-ÜG-110	,78778	,940	-,6226	2,1982
	GS-KA-115	2,70556*	,000	1,2952	4,1160
	GS-DA-115	1,21889	,208	-,1915	2,6293
	GS-ÜG-115	-,06556	1,000	-1,4760	1,3448
	GS-KA-120	1,76000*	,002	,3496	3,1704
	GS-ÜG-120	-1,54667*	,015	-2,9571	-,1363
	SKD-KA-110	4,30444*	,000	2,8940	5,7148
	SKD-DA-110	2,32778*	,000	,9174	3,7382
	SKD-ÜG-110	,11333	1,000	-1,2971	1,5237
	SKD-KA-115	2,57111*	,000	1,1607	3,9815
	SKD-DA-115	1,19667	,239	-,2137	2,6071
	SKD-ÜG-115	-,55556	,999	-1,9660	,8548
	SKD-KA-120	2,17333*	,000	,7629	3,5837
	SKD-DA-120	-,60000	,998	-2,0104	,8104
	SKD-ÜG-120	-,79444	,934	-2,2048	,6160

Çizelge A.3 (devam): Difüzyon katsayılarına ilişkin olarak Tukey-HSD testi ile çoklu karşılaştırmalar.

	Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval		
			Lower Bound	Upper Bound	
GS-ÜG-120	SGD-KA-110	8,56556 ⁺	,000	7,1552	9,9760
	SGD-DA-110	5,31889 ⁺	,000	3,9085	6,7293
	SGD-ÜG-110	4,30667 ⁺	,000	2,8963	5,7171
	SGD-KA-115	4,28444 ⁺	,000	2,8740	5,6948
	SGD-DA-115	3,07889 ⁺	,000	1,6685	4,4893
	SGD-ÜG-115	2,08111 ⁺	,000	,6707	3,4915
	SGD-KA-120	2,02000 ⁺	,000	,6096	3,4304
	SGD-DA-120	1,31444	,107	-,0960	2,7248
	SGD-ÜG-120	-,56444	,999	-1,9748	,8460
	GS-KA-110	5,27444 ⁺	,000	3,8640	6,6848
	GS-DA-110	4,27556 ⁺	,000	2,8652	5,6860
	GS-ÜG-110	2,33444 ⁺	,000	,9240	3,7448
	GS-KA-115	4,25222 ⁺	,000	2,8418	5,6626
	GS-DA-115	2,76556 ⁺	,000	1,3552	4,1760
	GS-ÜG-115	1,48111 ⁺	,027	,0707	2,8915
	GS-KA-120	3,30667 ⁺	,000	1,8963	4,7171
	GS-DA-120	1,54667 ⁺	,015	,1363	2,9571
	SKD-KA-110	5,85111 ⁺	,000	4,4407	7,2615
	SKD-DA-110	3,87444 ⁺	,000	2,4640	5,2848
	SKD-ÜG-110	1,66000 ⁺	,005	,2496	3,0704
	SKD-KA-115	4,11778 ⁺	,000	2,7074	5,5282
	SKD-DA-115	2,74333 ⁺	,000	1,3329	4,1537
	SKD-ÜG-115	,99111	,630	-,4193	2,4015
	SKD-KA-120	3,72000 ⁺	,000	2,3096	5,1304
	SKD-DA-120	,94667	,719	-,4637	2,3571
	SKD-ÜG-120	,75222	,963	-,6582	2,1626

Çizelge A.3 (devam): Difüzyon katsayılarına ilişkin olarak Tukey-HSD testi ile çoklu karşılaştırmalar.

	Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval		
			Lower Bound	Upper Bound	
SKD-KA-110	SGD-KA-110	2,71444*	,000	1,3040	4,1248
	SGD-DA-110	-,53222	1,000	-1,9426	,8782
	SGD-ÜG-110	-1,54444*	,015	-2,9548	-,1340
	SGD-KA-115	-1,56667*	,012	-2,9771	-,1563
	SGD-DA-115	-2,77222*	,000	-4,1826	-1,3618
	SGD-ÜG-115	-3,77000*	,000	-5,1804	-2,3596
	SGD-KA-120	-3,83111*	,000	-5,2415	-2,4207
	SGD-DA-120	-4,53667*	,000	-5,9471	-3,1263
	SGD-ÜG-120	-6,41556*	,000	-7,8260	-5,0052
	GS-KA-110	-,57667	,999	-1,9871	,8337
	GS-DA-110	-1,57556*	,011	-2,9860	-,1652
	GS-ÜG-110	-3,51667*	,000	-4,9271	-2,1063
	GS-KA-115	-1,59889*	,009	-3,0093	-,1885
	GS-DA-115	-3,08556*	,000	-4,4960	-1,6752
	GS-ÜG-115	-4,37000*	,000	-5,7804	-2,9596
	GS-KA-120	-2,54444*	,000	-3,9548	-1,1340
	GS-DA-120	-4,30444*	,000	-5,7148	-2,8940
	GS-ÜG-120	-5,85111*	,000	-7,2615	-4,4407
	SKD-DA-110	-1,97667*	,000	-3,3871	-,5663
	SKD-ÜG-110	-4,19111*	,000	-5,6015	-2,7807
	SKD-KA-115	-1,73333*	,002	-3,1437	-,3229
	SKD-DA-115	-3,10778*	,000	-4,5182	-1,6974
	SKD-ÜG-115	-4,86000*	,000	-6,2704	-3,4496
	SKD-KA-120	-2,13111*	,000	-3,5415	-,7207
	SKD-DA-120	-4,90444*	,000	-6,3148	-3,4940
	SKD-ÜG-120	-5,09889*	,000	-6,5093	-3,6885

Çizelge A.3 (devam): Difüzyon katsayılarına ilişkin olarak Tukey-HSD testi ile çoklu karşılaştırmalar.

	Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval		
			Lower Bound	Upper Bound	
SKD-DA-110	SGD-KA-110	4,69111*	,000	3,2807	6,1015
	SGD-DA-110	1,44444*	,037	,0340	2,8548
	SGD-ÜG-110	,43222	1,000	-,9782	1,8426
	SGD-KA-115	,41000	1,000	-1,0004	1,8204
	SGD-DA-115	-,79556	,934	-2,2060	,6148
	SGD-ÜG-115	-1,79333*	,001	-3,2037	-,3829
	SGD-KA-120	-1,85444*	,001	-3,2648	-,4440
	SGD-DA-120	-2,56000*	,000	-3,9704	-1,1496
	SGD-ÜG-120	-4,43889*	,000	-5,8493	-3,0285
	GS-KA-110	1,40000	,055	-,0104	2,8104
	GS-DA-110	,40111	1,000	-1,0093	1,8115
	GS-ÜG-110	-1,54000*	,015	-2,9504	-,1296
	GS-KA-115	,37778	1,000	-1,0326	1,7882
	GS-DA-115	-1,10889	,388	-2,5193	,3015
	GS-ÜG-115	-2,39333*	,000	-3,8037	-,9829
	GS-KA-120	-,56778	,999	-1,9782	,8426
	GS-DA-120	-2,32778*	,000	-3,7382	-,9174
	GS-ÜG-120	-3,87444*	,000	-5,2848	-2,4640
	SKD-KA-110	1,97667*	,000	,5663	3,3871
	SKD-ÜG-110	-2,21444*	,000	-3,6248	-,8040
	SKD-KA-115	,24333	1,000	-1,1671	1,6537
	SKD-DA-115	-1,13111	,346	-2,5415	,2793
	SKD-ÜG-115	-2,88333*	,000	-4,2937	-1,4729
	SKD-KA-120	-,15444	1,000	-1,5648	1,2560
	SKD-DA-120	-2,92778*	,000	-4,3382	-1,5174
	SKD-ÜG-120	-3,12222*	,000	-4,5326	-1,7118

Çizelge A.3 (devam): Difüzyon katsayılarına ilişkin olarak Tukey-HSD testi ile çoklu karşılaştırmalar.

	Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval		
			Lower Bound	Upper Bound	
SKD-ÜG-110	SGD-KA-110	6,90556*	,000	5,4952	8,3160
	SGD-DA-110	3,65889*	,000	2,2485	5,0693
	SGD-ÜG-110	2,64667*	,000	1,2363	4,0571
	SGD-KA-115	2,62444*	,000	1,2140	4,0348
	SGD-DA-115	1,41889*	,047	,0085	2,8293
	SGD-ÜG-115	,42111	1,000	-,9893	1,8315
	SGD-KA-120	,36000	1,000	-1,0504	1,7704
	SGD-DA-120	-,34556	1,000	-1,7560	1,0648
	SGD-ÜG-120	-2,22444*	,000	-3,6348	-,8140
	GS-KA-110	3,61444*	,000	2,2040	5,0248
	GS-DA-110	2,61556*	,000	1,2052	4,0260
	GS-ÜG-110	,67444	,990	-,7360	2,0848
	GS-KA-115	2,59222*	,000	1,1818	4,0026
	GS-DA-115	1,10556	,394	-,3048	2,5160
	GS-ÜG-115	-,17889	1,000	-1,5893	1,2315
	GS-KA-120	1,64667*	,005	,2363	3,0571
	GS-DA-120	-,11333	1,000	-1,5237	1,2971
	GS-ÜG-120	-1,66000*	,005	-3,0704	-,2496
	SKD-KA-110	4,19111*	,000	2,7807	5,6015
	SKD-DA-110	2,21444*	,000	,8040	3,6248
	SKD-KA-115	2,45778*	,000	1,0474	3,8682
	SKD-DA-115	1,08333	,438	-,3271	2,4937
	SKD-ÜG-115	-,66889	,991	-2,0793	,7415
	SKD-KA-120	2,06000*	,000	,6496	3,4704
	SKD-DA-120	-,71333	,980	-2,1237	,6971
	SKD-ÜG-120	-,90778	,790	-2,3182	,5026

Çizelge A.3 (devam): Difüzyon katsayılarına ilişkin olarak Tukey-HSD testi ile çoklu karşılaştırmalar.

	Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval		
			Lower Bound	Upper Bound	
SKD-KA-115	SGD-KA-110	4,44778*	,000	3,0374	5,8582
	SGD-DA-110	1,20111	,233	-,2093	2,6115
	SGD-ÜG-110	,18889	1,000	-1,2215	1,5993
	SGD-KA-115	,16667	1,000	-1,2437	1,5771
	SGD-DA-115	-1,03889	,530	-2,4493	,3715
	SGD-ÜG-115	-2,03667*	,000	-3,4471	-,6263
	SGD-KA-120	-2,09778*	,000	-3,5082	-,6874
	SGD-DA-120	-2,80333*	,000	-4,2137	-1,3929
	SGD-ÜG-120	-4,68222*	,000	-6,0926	-3,2718
	GS-KA-110	1,15667	,302	-,2537	2,5671
	GS-DA-110	,15778	1,000	-1,2526	1,5682
	GS-ÜG-110	-1,78333*	,001	-3,1937	-,3729
	GS-KA-115	,13444	1,000	-1,2760	1,5448
	GS-DA-115	-1,35222	,080	-2,7626	,0582
	GS-ÜG-115	-2,63667*	,000	-4,0471	-1,2263
	GS-KA-120	-,81111	,919	-2,2215	,5993
	GS-DA-120	-2,57111*	,000	-3,9815	-1,1607
	GS-ÜG-120	-4,11778*	,000	-5,5282	-2,7074
	SKD-KA-110	1,73333*	,002	,3229	3,1437
	SKD-DA-110	-,24333	1,000	-1,6537	1,1671
	SKD-ÜG-110	-2,45778*	,000	-3,8682	-1,0474
	SKD-DA-115	-1,37444	,067	-2,7848	,0360
	SKD-ÜG-115	-3,12667*	,000	-4,5371	-1,7163
	SKD-KA-120	-,39778	1,000	-1,8082	1,0126
	SKD-DA-120	-3,17111*	,000	-4,5815	-1,7607
	SKD-ÜG-120	-3,36556*	,000	-4,7760	-1,9552

Çizelge A.3 (devam): Difüzyon katsayılarına ilişkin olarak Tukey-HSD testi ile çoklu karşılaştırmalar.

		Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval		
				Lower Bound	Upper Bound	
SKD-DA-115	SGD-KA-110	5,82222*	,000	4,4118	7,2326	
	SGD-DA-110	2,57556*	,000	1,1652	3,9860	
	SGD-ÜG-110	1,56333*	,012	,1529	2,9737	
	SGD-KA-115	1,54111*	,015	,1307	2,9515	
	SGD-DA-115	,33556	1,000	-1,0748	1,7460	
	SGD-ÜG-115	-,66222	,993	-2,0726	,7482	
	SGD-KA-120	-,72333	,977	-2,1337	,6871	
	SGD-DA-120	-1,42889*	,043	-2,8393	-,0185	
	SGD-ÜG-120	-3,30778*	,000	-4,7182	-1,8974	
	GS-KA-110	2,53111*	,000	1,1207	3,9415	
	GS-DA-110	1,53222*	,017	,1218	2,9426	
	GS-ÜG-110	-,40889	1,000	-1,8193	1,0015	
	GS-KA-115	1,50889*	,021	,0985	2,9193	
	GS-DA-115	,02222	1,000	-1,3882	1,4326	
	GS-ÜG-115	-1,26222	,156	-2,6726	,1482	
	GS-KA-120	,56333	,999	-,8471	1,9737	
	GS-DA-120	-1,19667	,239	-2,6071	,2137	
	GS-ÜG-120	-2,74333*	,000	-4,1537	-1,3329	
	SKD-KA-110	SKD-KA-110	3,10778*	,000	1,6974	4,5182
		SKD-DA-110	1,13111	,346	-,2793	2,5415
SKD-ÜG-110		-1,08333	,438	-2,4937	,3271	
SKD-KA-115		1,37444	,067	-,0360	2,7848	
SKD-ÜG-115		-1,75222*	,002	-3,1626	-,3418	
SKD-KA-120		,97667	,660	-,4337	2,3871	
SKD-DA-120		-1,79667*	,001	-3,2071	-,3863	
SKD-ÜG-120		-1,99111*	,000	-3,4015	-,5807	

Çizelge A.3 (devam): Difüzyon katsayılarına ilişkin olarak Tukey-HSD testi ile çoklu karşılaştırmalar.

	Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval		
			Lower Bound	Upper Bound	
SKD-ÜG-115	SGD-KA-110	7,57444*	,000	6,1640	8,9848
	SGD-DA-110	4,32778*	,000	2,9174	5,7382
	SGD-ÜG-110	3,31556*	,000	1,9052	4,7260
	SGD-KA-115	3,29333*	,000	1,8829	4,7037
	SGD-DA-115	2,08778*	,000	,6774	3,4982
	SGD-ÜG-115	1,09000	,425	-,3204	2,5004
	SGD-KA-120	1,02889	,551	-,3815	2,4393
	SGD-DA-120	,32333	1,000	-1,0871	1,7337
	SGD-ÜG-120	-1,55556*	,013	-2,9660	-,1452
	GS-KA-110	4,28333*	,000	2,8729	5,6937
	GS-DA-110	3,28444*	,000	1,8740	4,6948
	GS-ÜG-110	1,34333	,086	-,0671	2,7537
	GS-KA-115	3,26111*	,000	1,8507	4,6715
	GS-DA-115	1,77444*	,001	,3640	3,1848
	GS-ÜG-115	,49000	1,000	-,9204	1,9004
	GS-KA-120	2,31556*	,000	,9052	3,7260
	GS-DA-120	,55556	,999	-,8548	1,9660
	GS-ÜG-120	-,99111	,630	-2,4015	,4193
	SKD-KA-110	4,86000*	,000	3,4496	6,2704
	SKD-DA-110	2,88333*	,000	1,4729	4,2937
	SKD-ÜG-110	,66889	,991	-,7415	2,0793
	SKD-KA-115	3,12667*	,000	1,7163	4,5371
	SKD-DA-115	1,75222*	,002	,3418	3,1626
	SKD-KA-120	2,72889*	,000	1,3185	4,1393
	SKD-DA-120	-,04444	1,000	-1,4548	1,3660
	SKD-ÜG-120	-,23889	1,000	-1,6493	1,1715

Çizelge A.3 (devam): Difüzyon katsayılarına ilişkin olarak Tukey-HSD testi ile çoklu karşılaştırmalar.

	Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval		
			Lower Bound	Upper Bound	
SKD-KA-120	SGD-KA-110	4,84556 [*]	,000	3,4352	6,2560
	SGD-DA-110	1,59889 [*]	,009	,1885	3,0093
	SGD-ÜG-110	,58667	,999	-,8237	1,9971
	SGD-KA-115	,56444	,999	-,8460	1,9748
	SGD-DA-115	-,64111	,995	-2,0515	,7693
	SGD-ÜG-115	-1,63889 [*]	,006	-3,0493	-,2285
	SGD-KA-120	-1,70000 [*]	,003	-3,1104	-,2896
	SGD-DA-120	-2,40556 [*]	,000	-3,8160	-,9952
	SGD-ÜG-120	-4,28444 [*]	,000	-5,6948	-2,8740
	GS-KA-110	1,55444 [*]	,013	,1440	2,9648
	GS-DA-110	,55556	,999	-,8548	1,9660
	GS-ÜG-110	-1,38556	,061	-2,7960	,0248
	GS-KA-115	,53222	1,000	-,8782	1,9426
	GS-DA-115	-,95444	,704	-2,3648	,4560
	GS-ÜG-115	-2,23889 [*]	,000	-3,6493	-,8285
	GS-KA-120	-,41333	1,000	-1,8237	,9971
	GS-DA-120	-2,17333 [*]	,000	-3,5837	-,7629
	GS-ÜG-120	-3,72000 [*]	,000	-5,1304	-2,3096
	SKD-KA-110	2,13111 [*]	,000	,7207	3,5415
	SKD-DA-110	,15444	1,000	-1,2560	1,5648
	SKD-ÜG-110	-2,06000 [*]	,000	-3,4704	-,6496
	SKD-KA-115	,39778	1,000	-1,0126	1,8082
	SKD-DA-115	-,97667	,660	-2,3871	,4337
	SKD-ÜG-115	-2,72889 [*]	,000	-4,1393	-1,3185
	SKD-DA-120	-2,77333 [*]	,000	-4,1837	-1,3629
	SKD-ÜG-120	-2,96778 [*]	,000	-4,3782	-1,5574

Çizelge A.3 (devam): Difüzyon katsayılarına ilişkin olarak Tukey-HSD testi ile çoklu karşılaştırmalar.

	Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval		
			Lower Bound	Upper Bound	
SKD-DA-120	SGD-KA-110	7,61889*	,000	6,2085	9,0293
	SGD-DA-110	4,37222*	,000	2,9618	5,7826
	SGD-ÜG-110	3,36000*	,000	1,9496	4,7704
	SGD-KA-115	3,33778*	,000	1,9274	4,7482
	SGD-DA-115	2,13222*	,000	,7218	3,5426
	SGD-ÜG-115	1,13444	,340	-,2760	2,5448
	SGD-KA-120	1,07333	,458	-,3371	2,4837
	SGD-DA-120	,36778	1,000	-1,0426	1,7782
	SGD-ÜG-120	-1,51111*	,020	-2,9215	-,1007
	GS-KA-110	4,32778*	,000	2,9174	5,7382
	GS-DA-110	3,32889*	,000	1,9185	4,7393
	GS-ÜG-110	1,38778	,060	-,0226	2,7982
	GS-KA-115	3,30556*	,000	1,8952	4,7160
	GS-DA-115	1,81889*	,001	,4085	3,2293
	GS-ÜG-115	,53444	1,000	-,8760	1,9448
	GS-KA-120	2,36000*	,000	,9496	3,7704
	GS-DA-120	,60000	,998	-,8104	2,0104
	GS-ÜG-120	-,94667	,719	-2,3571	,4637
	SKD-KA-110	4,90444*	,000	3,4940	6,3148
	SKD-DA-110	2,92778*	,000	1,5174	4,3382
	SKD-ÜG-110	,71333	,980	-,6971	2,1237
	SKD-KA-115	3,17111*	,000	1,7607	4,5815
	SKD-DA-115	1,79667*	,001	,3863	3,2071
	SKD-ÜG-115	,04444	1,000	-1,3660	1,4548
	SKD-KA-120	2,77333*	,000	1,3629	4,1837
	SKD-ÜG-120	-,19444	1,000	-1,6048	1,2160

Çizelge A.3 (devam): Difüzyon katsayılarına ilişkin olarak Tukey-HSD testi ile çoklu karşılaştırmalar.

	Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval		
			Lower Bound	Upper Bound	
SKD-ÜG-120	SGD-KA-110	7,81333 [*]	,000	6,4029	9,2237
	SGD-DA-110	4,56667 [*]	,000	3,1563	5,9771
	SGD-ÜG-110	3,55444 [*]	,000	2,1440	4,9648
	SGD-KA-115	3,53222 [*]	,000	2,1218	4,9426
	SGD-DA-115	2,32667 [*]	,000	,9163	3,7371
	SGD-ÜG-115	1,32889	,096	-,0815	2,7393
	SGD-KA-120	1,26778	,150	-,1426	2,6782
	SGD-DA-120	,56222	,999	-,8482	1,9726
	SGD-ÜG-120	-1,31667	,106	-2,7271	,0937
	GS-KA-110	4,52222 [*]	,000	3,1118	5,9326
	GS-DA-110	3,52333 [*]	,000	2,1129	4,9337
	GS-ÜG-110	1,58222 [*]	,010	,1718	2,9926
	GS-KA-115	3,50000 [*]	,000	2,0896	4,9104
	GS-DA-115	2,01333 [*]	,000	,6029	3,4237
	GS-ÜG-115	,72889	,975	-,6815	2,1393
	GS-KA-120	2,55444 [*]	,000	1,1440	3,9648
	GS-DA-120	,79444	,934	-,6160	2,2048
	GS-ÜG-120	-,75222	,963	-2,1626	,6582
	SKD-KA-110	5,09889 [*]	,000	3,6885	6,5093
	SKD-DA-110	3,12222 [*]	,000	1,7118	4,5326
	SKD-ÜG-110	,90778	,790	-,5026	2,3182
	SKD-KA-115	3,36556 [*]	,000	1,9552	4,7760
	SKD-DA-115	1,99111 [*]	,000	,5807	3,4015
	SKD-ÜG-115	,23889	1,000	-1,1715	1,6493
	SKD-KA-120	2,96778 [*]	,000	1,5574	4,3782
	SKD-DA-120	,19444	1,000	-1,2160	1,6048

Çizelge A.4: Difüzyon katsayısının homojen alt setleri.

DIFFUSION

Tukey HSD^a

case3	N	Subset for alpha = 0.05																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13					
SGD-KA-110	9	19,3389																	
SKD-KA-110	9		22,0533																
SGD-DA-110	9		22,5856	22,5856															
GS-KA-110	9		22,6300	22,6300	22,6300														
SGD-ÜG-110	9			23,5978	23,5978	23,5978													
SGD-KA-115	9			23,6200	23,6200	23,6200													
GS-DA-110	9			23,6289	23,6289	23,6289													
GS-KA-115	9			23,6522	23,6522	23,6522													
SKD-KA-115	9			23,7867	23,7867	23,7867	23,7867												
SKD-DA-110	9				24,0300	24,0300	24,0300												
SKD-KA-120	9					24,1844	24,1844	24,1844											
GS-KA-120	9					24,5978	24,5978	24,5978	24,5978										
SGD-DA-115	9					24,8256	24,8256	24,8256	24,8256										
GS-DA-115	9						25,1389	25,1389	25,1389	25,1389									
SKD-DA-115	9						25,1611	25,1611	25,1611	25,1611									
GS-ÜG-110	9							25,5700	25,5700	25,5700	25,5700								
SGD-ÜG-115	9								25,8233	25,8233	25,8233	25,8233		25,8233					
SGD-KA-120	9									25,8844	25,8844	25,8844	25,8844						
SKD-ÜÇ-110	9										26,2444	26,2444	26,2444	26,2444					
GS-DA-120	9											26,3578	26,3578	26,3578	26,3578				
GS-ÜG-115	9												26,4233	26,4233	26,4233				
SGD-DA-120	9													26,5900	26,5900	26,5900			
SKD-ÜG-115	9														26,9133	26,9133	26,9133		
SKD-DA-120	9															26,9578	26,9578	26,9578	
SKD-ÜG-120	9																27,1522	27,1522	
GS-ÜG-120	9																	27,1522	
SGD-ÜG-120	9																		27,9044
Sig.		1,000	,999	,233	,055	,197	,067	,061	,132	,134	,060	,096	,107						28,4689
																			,106

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

EK B: Kurutulmuş elmaların tekstürel özelliklerine ilişkin istatistiksel hesaplamaların sonuçları.

Çizelge B.1: Üç elma türünün tekstürel özelliklerine ilişkin betimleyici istatistikler.

		Descriptives							
		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
Sertlik	SGD	3	3,25633	,599091	,345885	1,76811	4,74456	2,715	3,900
	GS	3	5,86300	,326901	,188736	5,05093	6,67507	5,523	6,175
	SKD	3	5,66167	,509789	,294327	4,39528	6,92805	5,074	5,985
	Total	9	4,92700	1,326282	,442094	3,90753	5,94647	2,715	6,175
Kırlıganlık	SGD	3	2,07567	,289493	,167139	1,35653	2,79481	1,826	2,393
	GS	3	4,28367	,164604	,095034	3,87477	4,69256	4,097	4,408
	SKD	3	2,11367	,282196	,162926	1,41265	2,81468	1,788	2,286
	Total	9	2,82433	1,116170	,372057	1,96637	3,68230	1,788	4,408
Gevreklik	SGD	3	7,61200	,788510	,455246	5,65323	9,57077	6,954	8,486
	GS	3	12,00200	,783849	,452555	10,05481	13,94919	11,364	12,877
	SKD	3	7,79233	,948923	,547861	5,43508	10,14959	7,235	8,888
	Total	9	9,13544	2,272090	,757363	7,38896	10,88193	6,954	12,877

Çizelge B.2: Üç elma türünün tekstürel özelliklerine ilişkin Anova sonucu.....

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Sertlik	Between Groups	12,621	2	6,310	26,088	,001
	Within Groups	1,451	6	,242		
	Total	14,072	8			
Kırılganlık	Between Groups	9,586	2	4,793	75,463	,000
	Within Groups	,381	6	,064		
	Total	9,967	8			
Gevreklik	Between Groups	37,026	2	18,513	25,994	,001
	Within Groups	4,273	6	,712		
	Total	41,299	8			

Çizelge B.3: Üç elma türünün tekstürel özelliklerine yönelik Tukey HSD testi ile yapılan çoklu karşılaştırmalar.

Multiple Comparisons

Tukey HSD

Dependent Variable	(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Sertlik	CASE1	GS	-2,606667*	,002	-3,83879	-1,37454
		SKD	-2,405333*	,002	-3,63746	-1,17321
	GS	SGD	2,606667*	,002	1,37454	3,83879
		SKD	,201333	,873	-1,03079	1,43346
	SKD	SGD	2,405333*	,002	1,17321	3,63746
		GS	-,201333	,873	-1,43346	1,03079
Kırlanlık	SGD	GS	-2,208000*	,000	-2,83936	-1,57664
		SKD	-,038000	,981	-,66936	,59336
	GS	SGD	2,208000*	,000	1,57664	2,83936
		SKD	2,170000*	,000	1,53864	2,80136
	SKD	SGD	,038000	,981	-,59336	,66936
		GS	-2,170000*	,000	-2,80136	-1,53864
Gevreklik	SGD	GS	-4,390000*	,002	-6,50423	-2,27577
		SKD	-,180333	,963	-2,29456	1,93389
	GS	SGD	4,390000*	,002	2,27577	6,50423
		SKD	4,209667*	,002	2,09544	6,32389
	SKD	SGD	,180333	,963	-1,93389	2,29456
		GS	-4,209667*	,002	-6,32389	-2,09544

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Çizelge B.4: SGD, GS ve SKD elmalarının sertliğine ilişkin homojen alt setleri.

Sertlik

Tukey HSD^a

CASE1	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
SGD	3	3,25633	
SKD	3		5,66167
GS	3		5,86300
Sig.		1,000	,873

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Çizelge B.5: SGD, GS ve SKD elmalarının kırılabilirliğine ilişkin homojen alt setleri.

Kırılabilirlik

Tukey HSD^a

CASE1	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
SGD	3	2,07567	
SKD	3	2,11367	
GS	3		4,28367
Sig.		,981	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Çizelge B.6: SGD, GS ve SKD elmalarının gevrekliğine ilişkin homojen alt setleri.

Gevreklik

Tukey HSD^a

CASE1	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
SGD	3	7,61200	
SKD	3	7,79233	
GS	3		12,00200
Sig.		,963	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Çizelge B.7: SGD elmalarının KA, DA ve ÜG şekilli örneklerinin tekstürel özelliklerine ilişkin betimleyici istatistikler.

Descriptives									
		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
Sertlik	KA	3	3,25633	,599091	,345885	1,76811	4,74456	2,715	3,900
	DA	3	4,45733	,186915	,107916	3,99301	4,92166	4,282	4,654
	ÜG	3	2,56867	,184199	,106347	2,11109	3,02624	2,356	2,678
	Total	9	3,42744	,890077	,296692	2,74327	4,11162	2,356	4,654
Kırılganlık	KA	3	2,07567	,289493	,167139	1,35653	2,79481	1,826	2,393
	DA	3	3,68433	,865830	,499887	1,53349	5,83518	2,698	4,319
	ÜG	3	1,63833	,177218	,102317	1,19810	2,07857	1,436	1,766
	Total	9	2,46611	1,042529	,347510	1,66475	3,26747	1,436	4,319
Gevreklik	KA	3	7,61200	,788510	,455246	5,65323	9,57077	6,954	8,486
	DA	3	9,42100	,767987	,443397	7,51321	11,32879	8,579	10,083
	ÜG	3	4,54867	,303586	,175275	3,79452	5,30282	4,203	4,772
	Total	9	7,19389	2,208041	,736014	5,49664	8,89114	4,203	10,083

Çizelge B.8: SGD elmalarının KA, DA ve ÜG şekilli örneklerinin tekstürel özelliklerine ilişkin Anova sonucu.

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Sertlik	Between Groups	5,482	2	2,741	19,224	,002
	Within Groups	,856	6	,143		
	Total	6,338	8			
Kırılganlık	Between Groups	6,965	2	3,483	12,080	,008
	Within Groups	1,730	6	,288		
	Total	8,695	8			
Gevreklik	Between Groups	36,396	2	18,198	41,876	,000
	Within Groups	2,607	6	,435		
	Total	39,004	8			

Çizelge B.9: SGD elmalarının KA, DA ve ÜG şekilli örneklerinin tekstürel özelliklerine ilişkin Tukey- HSD testi ile yapılan çoklu karşılaştırmalar.

Multiple Comparisons

Tukey HSD

Dependent Variable	(I) case	(J) case	Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Sertlik	KA	DA	-1,201000 [*]	,019	-2,14701	-,25499
		ÜG	,687667	,144	-,25835	1,63368
	DA	KA	1,201000 [*]	,019	,25499	2,14701
		ÜG	1,888667 [*]	,002	,94265	2,83468
	ÜG	KA	-,687667	,144	-1,63368	-,25835
		DA	-1,888667 [*]	,002	-2,83468	-,94265
Kırılganlık	KA	DA	-1,608667 [*]	,024	-2,95380	-,26354
		ÜG	,437333	,605	-,90780	1,78246
	DA	KA	1,608667 [*]	,024	,26354	2,95380
		ÜG	2,046000 [*]	,008	,70087	3,39113
	ÜG	KA	-,437333	,605	-1,78246	-,90780
		DA	-2,046000 [*]	,008	-3,39113	-,70087
Gevreklik	KA	DA	-1,809000 [*]	,035	-3,46050	-,15750
		ÜG	3,063333 [*]	,003	1,41183	4,71484
	DA	KA	1,809000 [*]	,035	,15750	3,46050
		ÜG	4,872333 [*]	,000	3,22083	6,52384
	ÜG	KA	-3,063333 [*]	,003	-4,71484	-1,41183
		DA	-4,872333 [*]	,000	-6,52384	-3,22083

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Çizelge B.10: KA, DA ve ÜG şekilli örneklerin sertliğine ilişkin homojen alt setleri.

Sertlik

Tukey HSD^a

case	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
ÜG	3	2,56867	
KA	3	3,25633	
DA	3		4,45733
Sig.		,144	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Çizelge B.11: KA, DA ve ÜG şekilli örneklerin kırılabilirliğine ilişkin homojen alt setleri.

Kırılabilirlik

Tukey HSD^a

case	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
ÜG	3	1,63833	
KA	3	2,07567	
DA	3		3,68433
Sig.		,605	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Çizelge B.12: KA, DA ve ÜG şekilli örneklerin gevrekliğine ilişkin homojen alt setleri.

Gevreklik

Tukey HSD^a

case	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
ÜG	3	4,54867		
KA	3		7,61200	
DA	3			9,42100
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

EK C: Kaplanmış elmaların difüzyon katsayılarına ilişkin istatistiksel hesaplamaların sonuçları.

Çizelge C.1: Kaplanmış elmaların difüzyon katsayılarına ilişkin betimleyici istatistikler.

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					GL	3		
AL	3	33,6067	,24685	,14252	32,9935	34,2199	33,40	33,88
PC	3	30,2033	,07506	,04333	30,0169	30,3898	30,16	30,29
XG	3	17,7400	,58284	,33650	16,2922	19,1878	17,11	18,26
GA	3	22,3800	,31097	,17954	21,6075	23,1525	22,11	22,72
CO	3	24,7033	,21572	,12454	24,1675	25,2392	24,55	24,95
Total	18	25,6344	5,29359	1,24771	23,0020	28,2669	17,11	33,88

Çizelge C.2: Kaplanmış elmaların difüzyon katsayılarına ilişkin Anova sonucu.

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	475,273	5	95,055	1034,827	,000
Within Groups	1,102	12	,092		
Total	476,375	17			

Çizelge C.3: Kaplanmış elmaların difüzyon katsayılarına ilişkin Tukey HSD testi ile yapılan çoklu karşılaştırmalar.

Multiple Comparisons

Dependent Variable: diffusion
Tukey HSD

(I) CASE1	(J) CASE1	Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
GL	AL	-8,43333*	,000	-9,2645	-7,6021
	PC	-5,03000*	,000	-5,8612	-4,1988
	XG	7,43333*	,000	6,6021	8,2645
	GA	2,79333*	,000	1,9621	3,6245
	CO	-,47000	,447	-,3612	1,3012
AL	GL	8,43333*	,000	7,6021	9,2645
	PC	3,40333*	,000	2,5721	4,2345
	XG	15,86667*	,000	15,0355	16,6979
	GA	11,22667*	,000	10,3955	12,0579
	CO	8,90333*	,000	8,0721	9,7345
PC	GL	5,03000*	,000	4,1988	5,8612
	AL	-3,40333*	,000	-4,2345	-2,5721
	XG	12,46333*	,000	11,6321	13,2945
	GA	7,82333*	,000	6,9921	8,6545
	CO	5,50000*	,000	4,6688	6,3312
XG	GL	-7,43333*	,000	-8,2645	-6,6021
	AL	-15,86667*	,000	-16,6979	-15,0355
	PC	-12,46333*	,000	-13,2945	-11,6321
	GA	-4,64000*	,000	-5,4712	-3,8088
	CO	-6,96333*	,000	-7,7945	-6,1321
GA	GL	-2,79333*	,000	-3,6245	-1,9621
	AL	-11,22667*	,000	-12,0579	-10,3955
	PC	-7,82333*	,000	-8,6545	-6,9921
	XG	4,64000*	,000	3,8088	5,4712
	CO	-2,32333*	,000	-3,1545	-1,4921
CO	GL	-,47000	,447	-1,3012	,3612
	AL	-8,90333*	,000	-9,7345	-8,0721
	PC	-5,50000*	,000	-6,3312	-4,6688
	XG	6,96333*	,000	6,1321	7,7945
	GA	2,32333*	,000	1,4921	3,1545

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Çizelge C.4: Kaplanmış elmaların difüzyon katsayılarına ilişkin homojen alt setleri.

Tukey HSD^a

CASE1	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
XG	3	17,7400				
GA	3		22,3800			
CO	3			24,7033		
GL	3			25,1733		
PC	3				30,2033	
AL	3					33,6067
Sig.		1,000	1,000	,447	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Nasim KIAN POUR
Doğum Tarihi ve Yeri : 1971.08.29
E-posta : nasim@fastmail.com

Öğrenim Durumu:

- **Yüksek Lisans ve Doktora:** Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul Aydın Üniversitesi. Beşyol Mah. İnönü Cad. Sefaköy. İstanbul/Türkiye. 09/2012 – Mevcut Not Ortalaması: 4 üzerinden 3.76.
- **Lisans:** Kimya Mühendisliği-Gıda Endüstrisi Bölümü, İslami Azad Üniversitesi Bilim ve Araştırma Anabilim Dalı. Daneshgah Blvd, Simon Bulivar Blvd, Tehran, Iran. 09/1990 – 02/1995, Not Ortalaması: 4 üzerinden 3.

Mesleki Deneyim:

Sina Machine Company. Endüstriyel Makine Tasarımcı & Üreticisi (Fan & Havalandırma Sistemleri) Tahran/İran.

1. Kurutulmuş üzüm için sınıflandırma ve hazırlama makinelerinden sorumlu tasarım mühendisi, 1995.
2. Makarna üretim hattında tasarım mühendisi, 1995.
3. Üretim hatlarında (melastan alkol ve sirke) tasarım mühendisi, 1995.
4. Sebzeler için tünel tipi kurutma fırınlarının tasarım ve üretim alanında proje müdürü, Nisan 1996 - Aralık 1997.
5. Yumurta tozu üretimi için püskürtmeli kurutucuların üretiminde proje müdürü, Aralık 1997 - Ağustos 1999.
6. Gıdalara ilişkin paslanmaz çelik Valsli (drum) kurutucuların imalatında süreç mühendisi, Ağustos 1999 - Eylül 2001.

7. İlaç fabrikasında (karıştırma ekipmanı) proje müdürü, Ekim 2001 - Kasım 2003.
8. Siklon toz toplayıcı (cyclone dust collector) ilişkin tasarım mühendisi, Ekim 2001 - Kasım 2003.
9. Patates cipsi üretim hattında üst düzey tasarım mühendisi, Kasım 2003 - Eylül 2004.
10. Aseptik domates salçası üretim hattında proje yöneticisi, Eylül 2004 - Mayıs 2005.

Yayımlar, Sunumlar Ve Patentler:

- **Kianpour, N., Karatas, S.** October (2018). “Impact of temperature above 100°C on the textural characteristic of dried apple”.The International Symposium: Food Rheology and Texture. Istanbul. Accepted. A poster
- **Kianpour, N., Haghju, S., Said Töker, O., Altay, F., Karataş, S.** October (2018). “Rheological properties of vegan pudding prepared with different milk substitutes”. The International Symposium: Food Rheology and Texture. Istanbul. Accepted. A poster
- **Kianpour, N; Karatas, S.** “Impact of different geometric shapes on drying kinetics and textural characteristics of apples at temperatures above 100°C”. *Under review in Journal of Heat and Mass Transfer.*