



**TEKNİK RAPOR**

**İŞINLAMANIN  
AKRİLAMİD  
MİKTARI ÜZERİNE  
ETKİSİ**



**TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU**

**TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU**

## **TEKNİK RAPOR**

**İŞINLAMANIN AKRİLAMİD MİKTARI ÜZERİNE ETKİSİ**



## TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU

2690 sayılı kanun ile kurulmuş olan Türkiye Atom Enerjisi Kurumunun ana görevi; atom enerjisinin barışçıl amaçlarla ülke yararına kullanılmasında izlenecek ulusal politikanın esaslarını ve bu konudaki plan ve programları belirlemek; ülkenin bilimsel, teknik ve ekonomik kalkınmasında atom enerjisinden yararlanılmasını mümkün kılacak her türlü araştırma, geliştirme, inceleme ve çalışmayı yapmak ve yaptırmak, bu alanda yapılacak çalışmaları koordine ve teşvik etmektir.

Bu çalışma TAEK personeli tarafından gerçekleştirilmiş araştırma, geliştirme ve inceleme sonuçlarının paylaşımı amacıyla Teknik Rapor olarak hazırlanmış ve basılmıştır.



Teknik Rapor 2017/6  
Türkiye Atom Enerjisi Kurumu yayınıdır.  
İzin almadan çoğaltılabılır.  
Referans verilerek kullanılabilir.

**TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU**  
Adres : Mustafa Kemal Mah. Dumlupınar Bulv.  
No: 192 Çankaya/ANKARA  
Tel : +90(312) 295 87 00  
Fax : +90(312) 287 87 61  
Web : [www.taek.gov.tr](http://www.taek.gov.tr)

## ÖNSÖZ

*Son yıllarda dikkatleri üzerine toplayan akrilamid, ürünün doğal yapısında bulunmayan ancak gıdaların ısıl işlem süreci sonucunda ortaya çıkan bir bileşiktir. Akrilamid Uluslararası Kansere Araştırmaları Ajansı (IARC) tarafından yapılan sınıflandırmada Grup 2A içinde “insan için muhtemel karsinogenik madde” olarak belirtilmiştir. Isıl işlem görmüş, yüksek sıcaklıklarda pişirilen özellikle kızartma veya kavurma işlemi uygulanan karbonhidrat ve protein bakımından zengin gıdalarda akrilamid oluştuğu belirlenmiştir. Gıdalarda akrilamid seviyesini belirlemek amacıyla ulusal ve uluslararası birçok çalışma yapılmıştır. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu ve T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü-Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü-Kalite Değerlendirme ve Gıda Bölümü ile birlikte yürütülen bu faaliyet kapsamında; farklı dozlarda ısıtılmış buğdaylardan yapılan ekmelerde akrilamid miktarı, ısıtılmış buğday ve unun kalite özellikleri araştırılmıştır.*

## İÇİNDEKİLER

Tablolar Dizini.....	i
Şekiller Dizini.....	ii
Yönetici Özeti .....	iii
Executive Summary .....	iv
Tanımlar ve Kısaltmalar.....	v
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. AKRİLAMİDİN KİMYASAL YAPISI VE OLUŞUM MEKANİZMASI .....</b>	<b>2</b>
<b>3. AKRİLAMİD OLUŞUMUNA ETKİ EDEN FAKTÖRLER.....</b>	<b>7</b>
<b>3.1 Gıdanın Kompozisyonu .....</b>	<b>7</b>
<b>3.1.1 İndirgen Şekerler.....</b>	<b>7</b>
<b>3.1.2 Amino Asitler .....</b>	<b>7</b>
<b>3.1.3 pH Değerinin Etkisi .....</b>	<b>8</b>
<b>3.1.4 Isıl İşlemin Etkisi .....</b>	<b>8</b>
<b>4. AKRİLAMİDİN SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ.....</b>	<b>10</b>
<b>5. GIDALARIN AKRİLAMİD İÇERİKLERİ .....</b>	<b>11</b>
<b>6. AKRİLAMİDİN GÜNLÜK ALIM SEVİYESİ VE YASAL UYGULAMALAR.....</b>	<b>13</b>
<b>7. BUĞDAYIN IŞINLANMASI İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>15</b>
<b>8. ÜLKEMİZDE GIDA IŞINLAMA İLE İLGİLİ YASAL MEVZUAT .....</b>	<b>17</b>
<b>9. MATERYAL VE METOT .....</b>	<b>18</b>
<b>9.1 Materyal .....</b>	<b>18</b>
<b>9.2 Metot .....</b>	<b>18</b>
<b>9.2.1 Hektolitre Ağırlığı .....</b>	<b>18</b>
<b>9.2.2 Bin Tane Ağırlığı .....</b>	<b>18</b>

9.2.3	Sertlik Tayini (Soyma Sayısı, Pearling İndex) .....	19
9.2.4	Öğütme İşlemi .....	19
9.2.5	Rutubet Miktarı Tayini .....	19
9.2.6	Protein Miktarı Tayini .....	19
9.2.7	Yaş Gluten, Kuru Gluten, Gluten İndeks Tayini .....	19
9.2.8	Glutograf Analizi.....	20
9.2.9	Zeleny Sedimentasyon Değeri Testi .....	20
9.2.10	Beklemeli Zeleny Sedimentasyon Değeri Testi .....	20
9.2.11	Düşme Sayısı .....	20
9.2.12	Farinograf Parametreleri .....	20
9.2.13	Alveograf Parametreleri .....	20
9.2.14	Ekmek Üretimi Ve Değerlendirmesi .....	21
9.2.15	Duyusal Analiz .....	21
9.2.16	Renk .....	21
9.2.17	Akrilamid Analizi.....	21
9.2.18	ATR-FTIR Kullanılarak Glutenin İkincil Yapısının Belirlenmesi .....	23
9.2.19	İstatistik Değerlendirme .....	24
10.	BULGULAR .....	25
11.	DEĞERLENDİRME .....	40
12.	KAYNAKLAR .....	42

## TABLÖLAR DİZİNİ

<b>Tablo 1.</b>	Bazı Gıdaların Akrilamid İçerikleri .....	12
<b>Tablo 2.</b>	Akrilamid İçin İzin Verilen Üst Sınırlar .....	14
<b>Tablo 3.</b>	Gıda Işınlatma Yönetmeliği'ne Göre Işınlanacak Gıda Grupları ve Işınlatma Dozları .....	17
<b>Tablo 4.</b>	Akrilamid Analizi İçin Ekstraksiyon Ve Kromatografik Analiz Koşulları .....	22
<b>Tablo 5.</b>	Farklı Dozlarda Işınlanmış Tosunbey ve Bayraktar 2000 Buğday Çeşitlerinin Ekmeklik Kalite Kriterleri ..	26
<b>Tablo 6.</b>	Farklı Dozlarda Işınlanmış Tosunbey ve Bayraktar 2000 Buğday Çeşitlerine Ait Gluten Kalite Kriterleri ..	28
<b>Tablo 7.</b>	Farklı Dozlarda Işınlanmış Tosunbey ve Bayraktar 2000 Buğday Çeşitlerine Ait Sedimentasyon ve Düşme Değeri .....	30
<b>Tablo 8.</b>	Farklı Dozlarda Işınlanmış Tosunbey ve Bayraktar 2000 Buğday Çeşitlerinin Farinograf ve Alveograf Analiz Sonuçları .....	33
<b>Tablo 9.</b>	Farklı Dozlarda Işınlanmış Tosunbey ve Bayraktar 2000 Buğday Çeşitlerinin Ekmek Ağırlığı ve Hacim Analiz Sonuçları .....	34
<b>Tablo 10.</b>	Farklı Dozlarda Işınlanmış Tosunbey ve Bayraktar 2000 Buğday Çeşitlerinin Ekmek Duyusal Analiz Sonuçları .....	35
<b>Tablo 11.</b>	Farklı Dozlarda Işınlanmış Tosunbey ve Bayraktar 2000 Buğday Çeşitlerine Ait Ekmek Kabuk ve Ekmek İçi Renk Değeri .....	37
<b>Tablo 12.</b>	Farklı Dozlarda Işınlanmış Tosunbey ve Bayraktar 2000 Buğday Çeşitlerinden Elde Edilen Kuru ve Yaş Glütene Ait Sekonder Yapı Dağılımları .....	38
<b>Tablo 13.</b>	Farklı Dozlarda Işınlanmış Tosunbey ve Bayraktar 2000 Buğday Çeşitlerinden Elde Edilmiş Ekmekte Akrilamid Miktarı .....	39

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b>Şekil 1.</b> Akrlamid Oluşumunun Muhtemel Yolları (a) .....	3
<b>Şekil 2.</b> Asparajin İle İndigen Şekerlerin Raeksiyonu Sonucu Akrlamid Oluşumu (b).....	3
<b>Şekil 3.</b> Akrlamid Oluşum Mekanizması (c) .....	5
<b>Şekil 4.</b> Gıdanın Akrlamid İçeriği İle Sıcaklık Arasındaki İlişki (Brown. 2003).....	9
<b>Şekil 5.</b> Buğdayların Öğütülerek Un Haline Getirilmesi .....	19
<b>Şekil 6.</b> 0.02 ppm Standart ve Örnek İyon Kromatogramı .....	22
<b>Şekil 7.</b> Kütle Spektrumları.....	23
<b>Şekil 8.</b> FTIR Spektrumları .....	24
<b>Şekil 9.</b> Ekmek Üretimi.....	33

## YÖNETİCİ ÖZETİ

Akrilamid, ısıtıl işlem görmüş gıdalarda proses sırasında oluşan kimyasal bir bileşiktir. Sağlık üzerinde olumsuz etkileri nedeni ile gıdalarda bulunan miktarı önem taşımaktadır. Bu amaçla Türkiye Atom Enerjisi Kurumu ve Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı-Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü-Kalite Değerlendirme ve Gıda Bölümü ile birlikte yürütülen proje kapsamında; farklı dozlarda ışınlanan (0, 1, 2, 3, 4, 5 ve 8 kGy) Tosunbey ve Bayraktar 2000 buğday çeşitlerinden elde edilen ekmeklerde akrilamid miktarı ve ışınlamanın buğday ve unun kalite özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda; ışınlamanın tanenin fiziksel özellikleri ve protein oranına etkisi olmamıştır. Fakat gluten kalitesini olumsuz etkilemiştir. Alfa amilaz aktivitesini arttırmış, ekmek özelliklerine etkisi çeşide göre değişmiştir. Ayrıca ışınlama dozlarının artışı ile ekmekte L parlaklık değerinde azalma, a kırmızılık ve b sarılık değerinde ise bir artış belirlenmiştir. Işınlama dozlarının glutenin ikincil yapısında bir değişmeye neden olmadığı ve akrilamid miktarı üzerine bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** Işınlama, akrilamid, buğday, un, ekmek

## EXECUTIVE SUMMARY

Acrylamide is a chemical produced in heat-treated foods. In terms of negative effects of human health, the amount in food is important. For this purpose, within the scope of project carried out together with Atomic Energy and Ministry of Agriculture of Turkey, Central Research Institute for Field Crops, the effect of bread obtained from Tosunbey and Bayraktar 2000 wheat cultivars at different irradiation doses (0, 1, 2, 3, 4, 5 and 8 kGy) were investigated on amount of acrylamide and irradiation on wheat and flour quality characteristics. As a result of this study, irradiation had no effect on the physical properties of grain and protein ratio. But, it affects the gluten quality negatively. It increases alpha-amylase activity, its effect on bread quality changed with the variety. Also, decrease in L brightness value, increase in a redness, b yellowness value in bread was determined with the increase irradiation doses. Irradiation doses were found to have no effect on secondary structure of gluten and acrylamide amount.

**Key words:** Irradiation, acrylamide, wheat, flour, bread

## TANIMLAR VE KISALTMALAR DİZİNİ

TC	: Türkiye Cumhuriyeti
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
TAEK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
SANAEM	: Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
FDA	: Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi
US EPA	: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
AACCI	: American Association of Cereal Chemists International
ICC	: International Association for Cereal Science and Technology
KGy	: Kilogray
µg	: Mikrogram
µl	: Mikrolitre
µm	: Mikrometre
ng	: Nanogram
mg	: Miligram
kg	: Kilogram
g	: Gram
Litre	: Litre
ml	: Mililitre
hl	: Hektolitre
mM	: Milimolar
mPa	: Milipaskal
ppm	: Milyonda bir kısım
dk	: Dakika
v/v	: Hacim/hacim
°C	: Santigrat derece
UV	: Ultra Viole Işık
pH	: -logaritma[Hidrojen iyonu]
m/z	: Kütle/yük
%	: Yüzde Oran
<	: Küçüktür
PSI	: Sertlik Değeri
MS	: Kükte Spektometresi
PDA	: Foton dedektörleri
W	: Enerji Joule
P	: Unun su absorpsiyonu

G	: Hamurun uzama kabiliyeti
L	: Hamurun elastikiyeti
ASE	: Çözücü Ekstraksiyon Sistemi
CIE	: Uluslararası aydınlatma Komisyonu
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Infrared Spektrofotometre
BU	: Brabender Unit
P	: İstatistiksel önem değeri
SML	: Spesifik Migrasyon Limiti

## 1. GİRİŞ

Akrilamid ilk kez 1893 yılında Almanya'da Cristian Moureau tarafından bulunan kimyasal bir bileşiktir. Akrilamid günlük yaşantımızda kullandığımız birçok ürünün içinde farklı şekilde yer alan, monomerik ve polimerik olmak üzere iki formu bulunan, çok yönlü organik bir bileşiktir. Monomer halindeki akrilamid, araştırma laboratuvarlarında protein ayırma tekniklerinden biri olan elektroforez işlemi için jel hazırlanmasında kullanılmaktadır. Poliakrilamid ise; içme sularının temizlenmesinde, endüstriyel atık suların arıtılmasında, kuyu ve içme suyu, depolar ve kanalizasyon hatlarının yapımında, plastik üretiminde, boya sanayiinde, kozmetik endüstrisinde ve madencilik gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

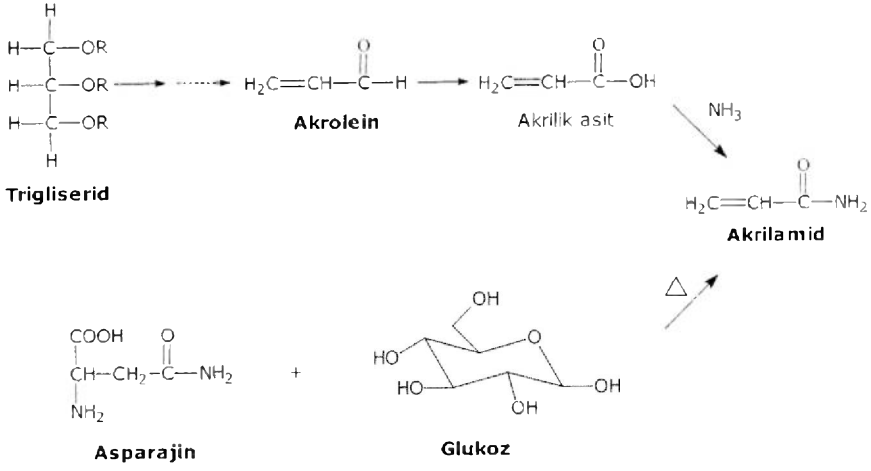
Monomerik formu, polimerik formuna göre daha zararlıdır. Monomer halinde olan akrilamidin sinir sistemi üzerine toksik etkisi bulunmakta olup laboratuvar hayvanlarında yapılan çalışmalar sonucunda, hayvanlar için kanserojen etkisinin de bulunduğu ve insanlar için de kanserojen bir madde olmasından şüphelenildiği bildirilmiştir. 1994 yılında Uluslararası Kansere Araştırmaları Ajansı (IARC) tarafından "insanlar için muhtemel karsinojen" olarak nitelendirilmiş ve grup 2A içinde sınıflandırılmıştır.

Gıdalarda akrilamid oluşumu ilk kez 2002 yılında İsveç Ulusal Gıda Komisyonu (National Food Authority) ve Stockholm Üniversitesi'nin yaptığı araştırmalarda ortaya çıkmıştır. Yapılan çalışmada; akrilamidin monomerik formunun yüksek sıcaklık uygulanmış (120°C) gıdalarda; karbonhidratlar, proteinler ve lipidler veya diğer gıda bileşenleri arasında oluşan reaksiyonlar sonucunda oluşabileceği bildirilmiştir. Uzmanlar gıdalardaki akrilamid miktarının gıdanın çeşidi ve üretim şekillerine bağlı olarak farklılık gösterebildiğini bildirmişlerdir (Karagöz 2009).

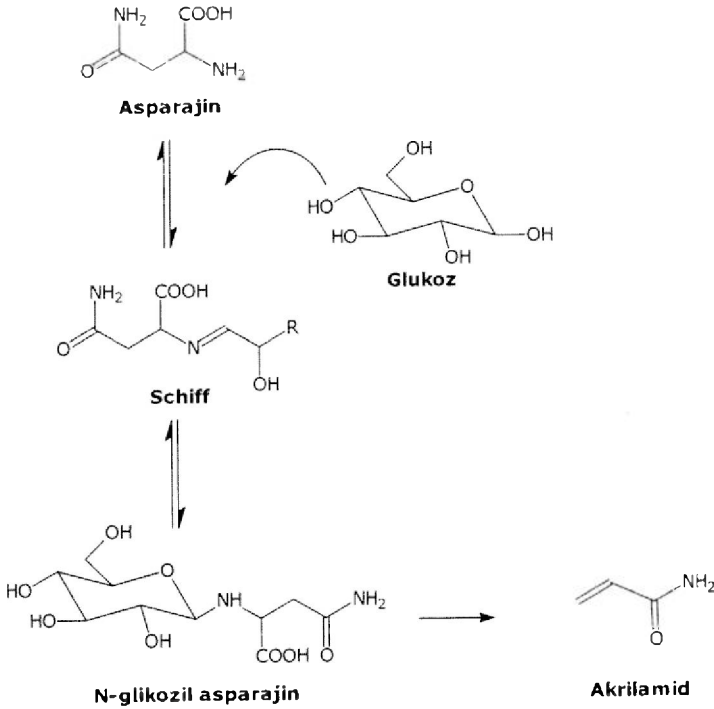
## 2. AKRİLAMİDİN KİMYASAL YAPISI VE OLUŞUM MEKANİZMASI

Akrilamid (molekül ağırlığı 71.09) 2-propenamid, etilen karboksiamid, akrilik amid, vinil amid gibi isimlerle bilinen poliakrilamid sentezinde kullanılan beyaz kristal formunda bir monomer olup suda, alkolde, dietil eter ve asetonda çözünmektedir. Akrilamidin erime ve kaynama noktası sırasıyla 87.5 °C ve 125°C'dir. Oda sıcaklığında stabil iken, UV ışığa maruz kaldığında ve kaynama noktasında kolaylıkla polimerize olmaktadır (Gölcüklü ve Tokgöz 2005).

Gıdalarda akrilamid oluşumu ile ilgili farklı hipotezler bulunmaktadır. Gıdalarda akrilamidin; lipid, karbonhidrat veya serbest amino asitlerin degradasyonu sonucu oluşan akrolein veya akrilik asit yoluyla malik, laktik ve sitrik asit gibi organik asitlerden su veya karboksil kaybedilmesiyle veya aminoasitlerden doğrudan ortaya çıkabileceği belirtilmektedir. Yağlarda ise trigliseritlerin yüksek sıcaklıkta önce akroleine sonra akrilamide dönüştüğü şeklindedir (Şekil 1). Yaygın olan görüş ise gıdalarda akrilamidin bir aminoasit olan asparajin ile basit (indirgen) şekerlerin reaksiyonu sonucu (Maillard reaksiyonu) oluştuğu şeklindedir. Maillard reaksiyonu sırasında asparajinin indirgen şeker ile birleşerek akrilamid oluşumu için gerekli ön bileşik olan N-glikozil asparajine dönüştüğü gösterilmiştir (Şekil 2).

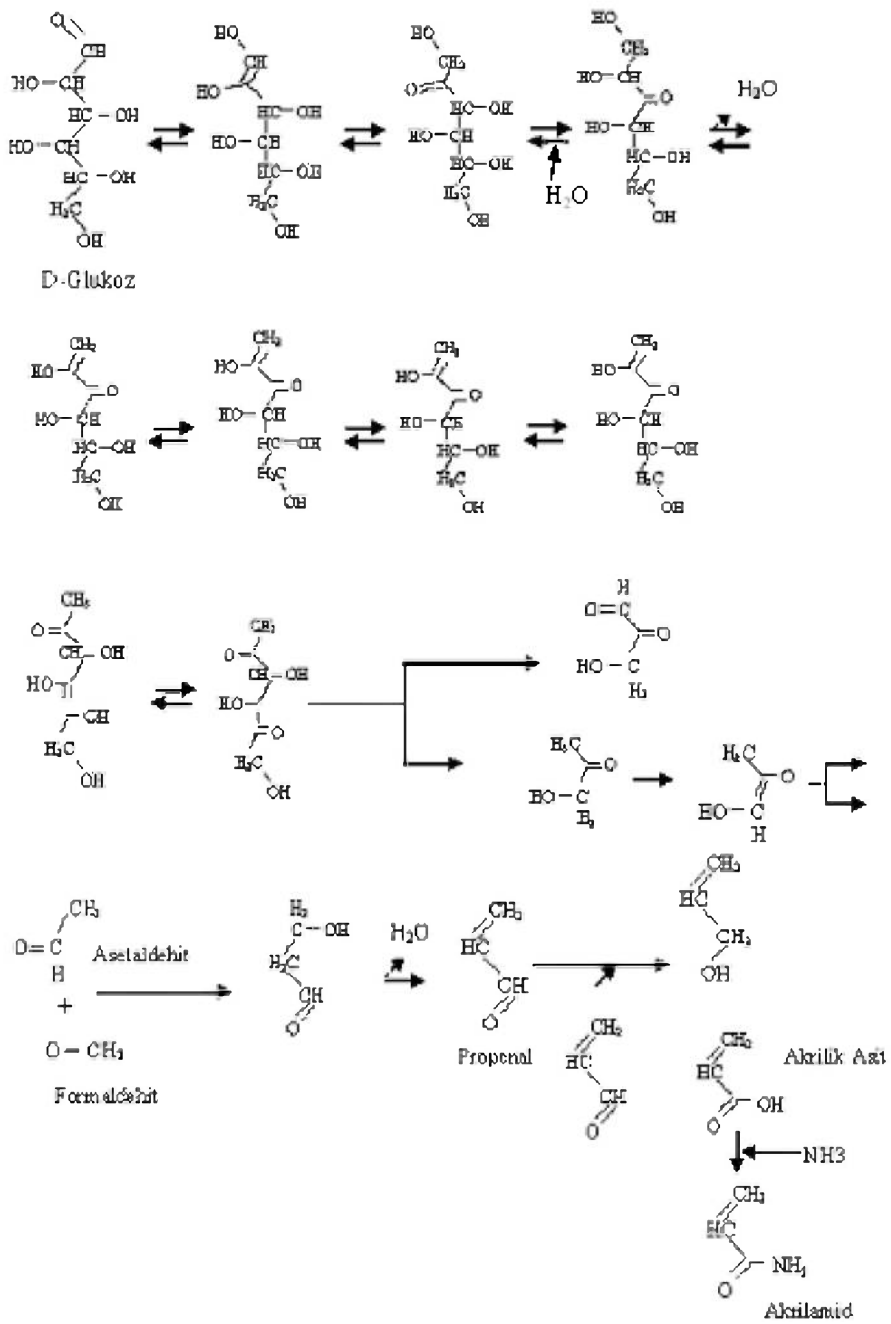


**Şekil 1.** Akrilamid oluşumunun muhtemel yolları (a)



**Şekil 2.** Asparajin ile indirgen şekerlerin reaksiyonu sonucu akrilamid oluşumu (b)

Diğer oluşum mekanizması ise (Şekil 3); kompleks nişasta içeren gıdalara uygulanan yüksek sıcaklıkla birlikte öncelikle serbest nişasta açığa çıkmakta ve ısı ile birlikte indirgen şeker glukoza kadar parçalanmaktadır. Glukoz bir seri enolizasyon ve enomerizasyon reaksiyonlarına uğrayarak ara ürün olan 2,4-deoksi şekerlere parçalanmakta ya da serbest amino asitlerle aynı şekerlerin oluşturduğu Maillard reaksiyonuna girmektedir. 2,4-deoksi şekerler keto enolizasyonla 2,5-deoksi diluloza dönüşmektedir. Stabil yapıda olmayan bu şeker asetaldehit ve formaldehite parçalanmaktadır. Oluşan asetaldehit ve formaldehitin kondensasyonu ile alkoksit oluşmakta, bu bileşiğin su kaybetmesi ile de 2-propenal oluşmaktadır. 2 adet 2-propenalin Cannizaro reaksiyonuna uğramasıyla oluşan akrilik asit ve propenolden akrilik asite bir amonyum bazının bağlanması sonucu akrilamid oluşumu gözlenmektedir (Vattem and Shetty 2003).



Şekil 3. Akrilamid oluşum mekanizması (c)

Model sistemlerde mekanizmanın aydınlatılması ile birlikte gıdanın asparajin miktarı ile üründe oluşan akrilamid miktarı arasında doğrusal bir ilişki vardır. Akrilamid oluşumunda sorumlu majör amino asit olan asparajin patates ve hububatta yüksek miktarda bulunmaktadır. Patateslerde toplam aminoasitin % 40'ını (940 mg/kg) asparajinin oluşturduğu belirlenmiştir. Buğdayda ise bu miktar % 15-18 (160-180 mg/kg) düzeylerindedir. Buna göre patates cipsi ve patates kızartmasında hububat ürünlerine göre daha fazla akrilamid tespit edilmektedir (Gökmen vd. 2006).

### 3. AKRİLAMİD OLUŞUMUNA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

#### 3.1 Gıdanın Kompozisyonu

##### 3.1.1 İndirgen Şekerler

Nişasta, laktoz, maltoz ve sakkaroz gibi şekerler 100°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ve hafif asidik ortamlarda kolayca hidrolize olurlar. Bu nedenle kompleks karbohidratlardan (Zyzak et al. 2003) oluşan monosakkaritlere sürekli uygulanan termal işlem sonucunda monosakkaritlerin varyasyonlarıyla (glukoz, früktoz, galaktoz, laktoz, sakkaroz) asparajin tepkimesinden akrilamid oluştuğu ispat edilmiştir.

Akrilamid artışının gıdadaki glukoz ve fruktoz düzeyleri ile orantılı olduğu bildirilmiştir. Glukoz ile karşılaştırıldığında, fruktozun glukozdan daha yüksek akrilamid artışına sebep olduğu gözlenmiştir. (Becalski et al. 2003).

##### 3.1.2. Amino Asitler

Yapılan çalışmalar, asparajin ve indirgen şekerlerin akrilamid molekülünün temelini oluşturduğunu göstermiştir. Asparajinin, patatesteki toplam amino asidin % 40'nı, buğdayda %14'ünü ve yüksek protein içeren çavdarda %18'ini oluşturduğu gözlenmiştir. Asparajin/glukoz oranınının 0.5 equimolarda akrilamid oluşumu için uygun olduğu gözlenmiştir (Becalski et al. 2003).

Genel olarak amino asitler ve asparajin ısı işlem görmüş gıdada akrilamid oluşumunda birincil rol oynamaktadır. Bu bağlamda buğday ve çavdar ununda akrilamid ve asparajin seviyesi arasında yüksek korelasyon gözlenmiştir. Ayrıca düşük asparajin içeren buğday ununa fruktoz eklenmesi ve fruktoz içeriğinin, mayalanmamış ekmeğin kabuğundaki akrilamid içeriğine etki etmediği gözlenmiştir. Oysa asparajin eklenmesinin akrilamid içeriğini önemli seviyede arttırdığı böylece asparajinin tahıllarda akrilamid oluşumu için belirleyici role sahip olduğu görülmektedir. Buğday ve çavdarda patatesteye göre asparajin miktar oldukça azdır.

Diğer amino asitlerden akrilamid oluşumu; glutamin, metionin, sistein, aspartik asit, glutamik asit içeren amino asit karışımları veya serin, treonin, alanin, fenilalanin ve prolin içeren amino asit karışımlarından oluşan model sistemlerde akrilamidin hiç bulunmadığı ya da iz miktarda bulunduğu kaydedilmiştir (Stadler et al. 2002).

### **3.1.3. pH Değerinin Etkisi**

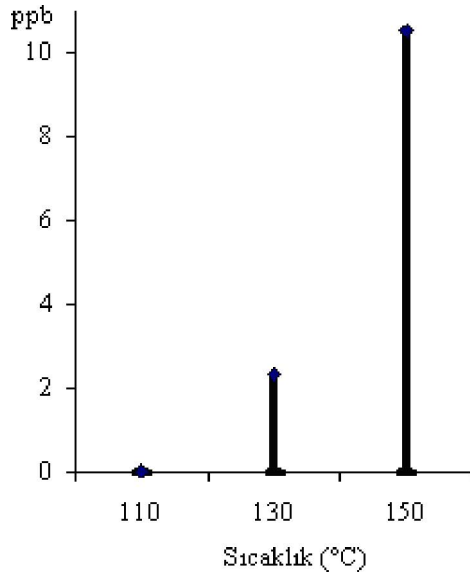
Akrilamid oluşumu, Maillard reaksiyonu gibi sistemin pH'sına bağlıdır. pH hem şeker hem de amino grubu reaktifliğine etki eder. Yüksek pH, şekerin açık zincir formunu ve protonlaşmamış amino gruplarını reaktif formlar olması için destekler. Akrilamid oluşması için optimum pH değeri 7-8 civarındadır.

Asparajin ve glukoz içeren bir model sistem içerisinde akrilamid oluşumu, pH düşürücü fosfat tamponu kullanılarak pH'nın 7'den 4'e düşürülmesi ile azaltılabilir. pH düşürücü kullanılarak asparajinin protonlaşmamış serbest amino grubu, protonlaşmış aminlere dönüşerek akrilamid oluşumunda önemli bir adım olan Schiff bazının oluşumu engellenir (Karagöz 2009).

### **3.1.4. Isıl İşlemin Etkisi**

Akrilamid yüksek sıcaklıkta kızartılmış, kavrulmuş, protein ve karbonhidratça zengin gıdalarda oluşan bir bileşiktir. Yapılan araştırmalarda akrilamidin oluşması için gıdaların 120°C'den daha yüksek sıcaklıkta işlem görmesi gerektiği vurgulanmıştır. Fırınlanmış ve kızartılmış ürünlerde, ürünün merkezinde akrilamid içeriğinin düşük olduğu, ancak dış kabukta akrilamid miktarının yükseldiği saptanmıştır (Gölcüklü ve Tokgöz 2005).

Ekmekler, 270°C'de 15 dakika yüksek miktarda fruktoz ve asparajin ilave edilerek fırınlandığında, akrilamid içeriğinin ekmek kabuğunda çarpıcı derecede arttığı ancak renk değişiminde önemli bir fark olmadığı belirlenmiştir. Özellikle 120°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda akrilamid oluşumunun hızlandığı ve işlem süresi uzadıkça gıdaların akrilamid içeriğinde artış olduğu bildirilmektedir (Brown 2003). Gıdaların akrilamid içeriği ile sıcaklık arasındaki ilişki Şekil 5'te gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi akrilamid oluşumu özellikle 110°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda artmaktadır. Gıdalarda oluşan akrilamid miktarı sıcaklık kontrolü ile azaltılabilir.



**Şekil 4.** Gıdanın Akrilamid İçeriği İle Sıcaklık Arasındaki İlişki (Brown 2003).

#### 4. AKRİLAMİDİN SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ

Akrilamidin sağlık üzerine etkileri toksikolojik ve karsinojenik olarak ikiye ayrılmaktadır. Akrilamid vücuda alındıktan sonra hemoglobinle reaksiyona girerek oluşturduğu bileşik aneminin şekillenmesine yol açmaktadır. Deney hayvanları üzerinde yapılan çalışmalara göre; akrilamid farklı organlarda benign ve malign tümörlere (beyin-spinal kord tümörleri, akciğer, deri ve pankreas kanserleri) yol açabilmektedir. Ayrıca akrilamid içeren kontamine sulara ve gıdalara maruz kalan insanlarda hafif vakalarda; bulantı, kusma, baş dönmesi, terleme, uyuşukluk, kol ve bacaklarda halsizlik ve karıncalanma gibi belirtilere yol açtığını, şiddetli vakalarda ise konuşma güçlüğü, halisünasyonlar, kol ve bacak eklemlerinde anormal şişliklere, göz mukozasında tahriş, kas zayıflığı ve üriner sistem bozukluklarına yol açabileceği bildirilmiştir (Karagöz 2009). Akrilamidin solunum yoluyla emiliminin oldukça yüksek olduğu, ayrıca içme sularında bulunan akrilamidin %50-75 oranında vücutta emildiği bildirilmektedir. Yapılan hayvan denemelerinde akrilamidin doku ve plazmalarda hızla emildiği ancak hangi oranda tutulduğu bilinmemektedir (Gölcüklü ve Tokgöz 2005).

## 5. GIDALARIN AKRILAMİD İÇERİKLERİ

Gıdaların doğal yapılarında bulunmayan akrilamid; karbonhidrat ve protein içeren gıdaların yüksek sıcaklıklarda (kızartma ve fırında) 120°C'de pişirilmesi sonucu oluşan bir bileşiktir. Asparajın, akrilamid oluşumunda belirgin bir rol oynamaktadır. Meyve ve sebzelerin çiğ veya haşlanarak tüketildiği zaman akrilamid açısından herhangi bir risk taşımadığı bildirilmiştir. Akrilamid çiğ kırmızı et, balık ve tavuk etinde bulunmamaktadır. Fakat fırınlama, kızartma ve ızgara yapılmış etlerde akrilamid oluştuğu bildirilmiştir.

Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından günlük tükettiğimiz gıdalarda akrilamid seviyeleri saptanmıştır. Ekmeğin kabuk kısmında ise 50 µg/kg miktarında akrilamid belirlenmiş, iç kısmında akrilamid tespit edilememiştir. Pirinç pilavı, helva, ızgara kebab ve döner gibi gıdalarda (4 µg/kg) düşük seviyede, patates kızartmasında ise yüksek seviyede (3600 µg/kg) saptandığı bildirilmiştir.

Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) tarafından marketlerden alınan toplam 280 gıda örneğinde yapılan analizler sonucunda; çikolatalarda 15 µg/k, çikolatalı keklerde 150 µg/kg ve patates kızartmalarında ise 3600 µg/kg düzeyinde akrilamid saptanırken; süt, tereyağı, peynir, dondurma, krema, yoğurt, kırmızı et, tavuk eti, balık, yumurta, bebek mamaları, mayonez, meyveler ve içeceklerde (kahve hariç) ise tespit edilemediği bildirilmiştir (Karagöz 2009). Farklı araştırmacılar tarafından yapılmış bazı gıdalardaki akrilamid miktarları aşağıda Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Bazı Gıdaların Akrilamid İçerikleri ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )

<b>Gıda</b>	<b>Svenson et al. 2003</b>	<b>Konings et al. 2003</b>	<b>FAO/WHO 2002</b>
Ekmek	<30-160	<30	<30-162
Kızartılmış ekmek	<30-1900	<30-430	<30-3200
Patates cipsi	330-2300	310-2800	170-2287
Fransız tipi kızartılmış patates	300-1100	-	<50-3500
Fırınlama ile kızartılmış patates	34-688	<60-410	-
Dondurulmuş kroket (patates)	-	80-105	-
Zencefilli kek	-	260-1410	-
Haşlanmış patates	<30	-	-
Kahvaltılık tahıllar	<30-1400	<30	<30-1356
Patlamış mısır	365-715	<30-300	34-416
Kurabiye/Bisküvi	<30-640	150-400	-
Yumuşak tip bisküvi	<30	-	-
Makarna	<30	<30	-
Derin Yağda Kızartılmış Balık	39	<30	30-39
Kırmızı et	64	<30	-
Tavuk	39	<30	39-64
Hamburger	-	<30	-
Çikolata	-	<30	<50-100

## 6. AKRİLAMİDİN GÜNLÜK ALIM SEVİYESİ VE YASAL UYGULAMALAR

Epidemiyolojik çalışmalar, akrilamide maruz kalma ile artan kanser riski arasındaki ilişkiyi sağlıklı bir şekilde değerlendirmeye yeterli değildir. Ancak kemirgenler ile insanların akrilamide duyarlılığı açısından eşdeğer kabul edilerek yapılan değerlendirmelere göre, günde 1 µg/kg vücut ağırlığı akrilamid tüketimi sonucunda hayat boyu kanser olma riski US EPA (Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı) tarafından binde 4.5, WHO (Dünya Sağlık Örgütü) tarafından 1000'de 0.7, Stockholm Üniversitesi tarafından ise 1000'de 10 olarak hesaplanmaktadır. Bu risk iyonize radyasyon için 1000'de 2, aflatoksin için 1000'de 0.001 olarak bildirilmektedir (Gökmen vd. 2006).

Akrilamidin günlük alım miktarı Tablo 2'de açıklanarak 0.5-2µg/kg/gün olarak bildirilmiştir. Uzun dönem alım miktarının ise popülasyondaki yaş, ırk ve biyolojik etkilere ya da gıda tüketim alışkanlıklarına göre değiştiği bildirilmektedir. Bu değerlerin üzerinde alınan akrilamid, karsinojenik ve nörotoksik etkilere neden olmaktadır.

Akrilamide yer altı ve yüzey sularında da rastlanılmaktadır. Suların arıtılması işleminde istenmeyen ajanları filtre etmek amacıyla temizleyici olarak kullanılmaktadır. İçme sularında yapılan analizler sonucunda Codex Alimentarius ve Türk Gıda Kodeksine göre belirtilen yasal sınır 0.1 µg/L parametrik değer olarak belirlenmiştir (Anonim 2005, Anonymous 2017). Parametrik değer ise suyla temas eden polimerden kaynaklanan sudaki monomer kalıntı konsantrasyonu olarak belirtilmiştir (Karagöz 2009).

Gıdayla temas eden Türk Gıda Kodeksi Gıda Maddeleri ile Temasta Bulunan Plastik Madde ve Malzemeler Tebliği'ne göre akrilamidin Spesifik Migrasyon Limiti (SML) 0.01 mg/kg olarak belirlenmiştir (Anonim 2005).

Annenin gıda tüketimine bağılı olarak anne sütü yoluyla bebeklere akrilamidin geçip geçmeyeceğini belirlemek için yapılan çalışmada; patates cipsi tüketen annelerin sütlerinde akrilamid saptanmasından dolayı anne sütü tüketen bebeklerde akrilamidin risk oluşturabileceği vurgulanmıştır. Hamile bayanların günlük akrilamid alım miktarı en fazla 20 ng'dır. Yaklaşık 10 g patates cipsinde 20 ng akrilamid içeriği dikkate alınmalıdır. Emziren annelerin, emzirme dönemlerinde akrilamid içeren gıdaları tüketmemeleri gerekmektedir. Çünkü bebekler, anne sütüyle günlük alınabilir limitlerin üzerinde akrilamid alabilirler (Karagöz 2009).

**Tablo 2.** Akrilamid için izin verilen üst sınırlar

<b>Bulunduğu yerler</b>	<b>Akrilamid</b>
Gıdalar	0.5-0.8 µg/kg/gün
Su	0.1 µg /L
Ambalaj	10 µg /kg
Hava	35 µg /kg
Kozmetik Ürünler	0.1-0.5 mg/kg

## 7. BUĞDAYIN IŞINLANMASI İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Tahıl ve tahıl ürünleri daha iyi beslenmek ve sağlığı korumak amacıyla insanlığın her zaman ilgisini çekmiştir. Tahıl içeren ürünler iyi bir lif kaynağı olduğu için diyetle her zaman tavsiye edilen bir besindir. Tahıllar hasat, işleme ve dağıtım sırasında çeşitli organizmalar tarafından kontamine edilebilirler. Bu nedenle birçok ülkede fumigasyon (etilen oksit vb) ve ısı işlem uygulanmaktadır. Fumigasyon toksik kalıntı bırakmakta ve duyuşal özellikler üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır. Işınlama, fumigasyona alternatif bir teknoloji olarak uygulanabilir. Ticari ölçekte gıda ve yem ürünlerinde ışınlama teknolojisini uygulayan birçok ülke bulunmaktadır (Arvaniyotannis and Strakos 2010).

Yapılan bir çalışmada ışınlanan (1, 3, 5, 10 ve 15 kGy) buğday, arpa ve mısırdaki; 1 kGy ışınlama dozunun koliform grubu ve koagülaz pozitif stafilokokları, 5 kGy ışınlama dozunun da küfleri inhibe ettiği belirtilmiştir. 10 kGy ışınlama dozunda toplam aerobik bakteri sayısında 3 logaritmik bir azalma belirlenmiştir. 15 kGy ışınlamada ise Clostridium sp.'nin gramda 10-30 koloni varlığını sürdürdüğü bildirilmiştir. Aynı çalışmada 10 kGy'de toplam aminoasitte ölçülebilir bir azalma belirlenmemiştir (Aziz et al. 2006).

Aquendez-Arvizu et al. (2006) yaptığı çalışmada mikrobiyel yükün azaltılması, böceklenmenin engellenmesi ve bozulmayı önlemek amacıyla ışınlama teknolojisinin alternatif olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Çalışma sonucunda; 1 kGy dozda ışınlanan buğdaylarda; protein, kül ve nem de belirgin bir değişimin olmadığı, toplam aerobik bakteri sayısında %96, mayada %25, küflerde %75 azalma sağlandığı, ışınlanan örneklerin kalite özelliklerinde alveogram ve farinogram değerlerinde çok az değişiklikler gösterdiği, düşme sayısının ise %11 azaldığı bildirilmiştir.

Marathe et al. (2002) tarafından yapılan bir çalışmada 0.25-1 kGy ışınlanmış tam buğday unu polietilen poşetlerde depolanmıştır. Çalışma sonucunda; 1 kGy ışınlama dozunun ve 6 ay depolamanın toplam yağ, protein, karbonhidrat, vitamin B1 ve vitamin B2 içeriği,

sedimentasyon değeri, hamur oluşturma ve toplam bakteri ve maya sayısı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı, serbest yağ asidi, nişasta, şeker ve jelatinizasyon viskozitesini de etkilemediği belirtilmiştir.

Yapılan bir başka çalışmada ise, Polonya'da yetiştirilen ve kışlık buğday çeşidi olan Begra 0.05 -10 kGy dozları arasında ışınlanmıştır. Çalışma sonucunda, araştırmacılar 5-10 kGy arasındaki dozlarının düşme sayısını ve jelatinizasyon entalpisini azalttığını bildirmişlerdir (Dolinska et al. 2004).

Gralik and Warchalewski (2006), iyonize radyasyonun (0.05 ile 10 kGy) uygulandığı beyaz buğday çeşitlerinde amilaz aktivitesinde artış gözlemlendiği, bu artışın 5-10 kGy arasında istatistiksel olarak önemli olduğunu belirtmiştir.

Blaszczak et al. (2002) tarafından ışınlamanın doz artışına bağlı olarak buğday endospermünde belirgin değişimlere yol açtığı bildirilmektedir. 0.05 ile 0.5 kGy dozları arasında ışınlanmış ve ışınlanmamış buğdaylar arasında bir fark olmadığı, 5 -10 kGy arasında ışınlanan buğdayda ise düşme sayısında, hamur stabilite ve enerjisinde belirgin bir azalma görüldüğü bildirilmektedir. 1-10 kGy ışınlama dozları arasında nişastanın su alma özelliğini gösteren nişasta granüllerinin jel oluşturma özelliğinin geliştiği ve glutenin şişme kapasitesindeki azalışı dengelediği belirtilmiştir.

Köksel vd. (1998) 0.5, 5, 10 ve 20 kGy ışınlama dozlarının iki çeşit ekmeklik buğday ve bir çeşit makarnalık buğdaydaki gluten proteinlerine olan etkisini araştırmıştır. Işınlamanın gliadin proteinleri üzerine önemli bir etkisinin olmadığı, ancak %50'lik 1-prapanol'de çözünmeyen gluten fraksiyonunun önemli bir biçimde etkilendiği bildirilmiştir. Işınlama dozu arttıkça yüksek ağırlıklı glutenin düşük ağırlıklı glutene oranının önemli ölçüde azaldığı; 20 kGy'de düşük ağırlıklı glutenin %13-15'e kadar arttığı ve yüksek dozlarda ışınlamanın gluteni etkilediği saptanmıştır.

Teixeira et al. (2012) yaptığı çalışmada 1, 3 ve 9 kGy dozlarda ışınlanmış unlardan tava ekmeği yapmıştır. Işınlamanın enzimatik aktiviteyi olumsuz etkilemediği görülmüş, ışınlama dozları arttıkça düşme sayısı azalmış, enzimatik aktivite artmıştır. Bunun nişasta zincirlerinin kırılmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Bunun ekmeğin pişirilmesinde fayda sağladığı, ekmeğin ağırlığı, hacmi ve deformasyon karşı gücünün arttığı belirtilmiştir.

## 8. ÜLKEMİZDE GIDA IŞINLAMA İLE İLGİLİ YASAL MEVZUAT

Ülkemizde hububat ve öğütülmüş hububat ürünleri için 5 kGy ışınlamaya izin verilmektedir (Tablo 3). Gıda Işınlama Yönetmeliği kapsamında ışınlamasına izin verilen gıdalar gruplar halinde, ışınlama amaçları ve uygulanacak dozlar belirlenmiştir (Anonim 1999, 2002, 2003).

**Tablo 3.** Gıda Işınlama Yönetmeliği, ışınlanacak gıda grupları ve ışınlama dozları

GIDA GRUBU	AMAÇ	DOZ (kGy)	
		Min.	Mak.
Grup 1 - Soğanlar, kökler ve yumrular	Depolama sırasında filizlenme, çimlenme ve tomurcuklanmayı önlemek		0.2
Grup 2 - Taze meyve ve sebzeler (Grup 1'in dışındakiler)	a) Olgunlaşmayı geciktirmek b) Böceklenmeyi önlemek c) Raf ömrünü uzatmak d) Karantina kontrolü	(x)	1.0 1.0 2.5 1.0
Grup 3 - Hububat, öğütülmüş hububat ürünleri, kabuklu yemişler, yağlı tohumlar, baklagiller, kurutulmuş sebzeler ve kurutulmuş meyveler	a) Böceklenmeyi önlemek b) Mikroorganizmaları azaltmak c) Raf ömrünü uzatmak		1.0 5.0 5.0
Grup 4 - Çiğ balık, kabuklu deniz hayvanları ve bunların ürünleri (taze veya dondurulmuş), dondurulmuş kurbağa bacağı	a) Bazı patojenik mikroorganizmaları azaltmak b) Raf ömrünü uzatmak c) Paraziter enfeksiyonların kontrolü	(x)  (xx)	5.0 3.0 2.0
Grup 5 - Kanatlı, kırmızı et ile bunların ürünleri (taze veya dondurulmuş)	a) Bazı patojenik mikroorganizmaları azaltmak b) Raf ömrünü uzatmak c) Paraziter enfeksiyonların kontrolü	(x)  (xx)	7.0 3.0 3.0
Grup 6 - Kuru sebzeler, baharatlar, kuru otlar, çeşniler ve bitkisel çaylar	a) Bazı patojenik mikroorganizmaları azaltmak b) Böceklenmeyi önlemek	(x)	10.0(xxx) 1.0
Grup 7 - Hayvansal orijinli kurutulmuş gıdalar	a) Böceklenmeyi önlemek b) Küflerin kontrolü		1.0 3.0

(x) Minimum doz düzeyi belli bir zararlı organizma için belirlenebilir.

(xx) Minimum doz düzeyi gıdanın hijyenik kalitesini temin edecek düzeyde belirlenebilir.

(xxx) 10 kGy'in üzerindeki maksimum doz düzeyleri, gıdanın tümündeki minimum ve maksimum doz ortalaması 10 kGy'i aşmayacak şekilde uygulanır.

## 9. MATERYAL VE METOT

### 9.1. Materyal

Materyal olarak iki buğday çeşidi kullanılmıştır. Toprak Mahsulleri Ofisi (TMO) Buğday Alım Bareminde Anadolu Beyaz Sert Grubunda yer alan Tosunbey buğday çeşidi ile Diğer Beyaz Buğdaylar Grubunda yer alan Bayraktar 2000 çeşidi çalışmanın materyali olarak kullanılmıştır. Buğdaylar, her çeşit için en az 100 kg olacak şekilde Polatlı Ticaret Borsası'ndan temin edilmiştir. Kullanılan buğdayların özellikle süne emgi zararına uğramamış olmasına dikkat edilmiştir.

### 9.2. Metot

Buğday örnekleri öncelikle T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı-Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü-Kalite Değerlendirme ve Gıda Bölümü'nde dokaj (Quator, Tripette & Renaud, Fransa) cihazı kullanılarak temizlenmiştir. Temizlenen buğday örnekleri numune bölücü kullanılarak her bir doz ışınlama işlemi için 2 tekerrürlü olarak en az 1 kg olacak şekilde alt örnekler bölünmüştür. Daha sonra hazırlanan buğdaylar Türkiye Atom Enerjisi Kurumunda bulunan SVST-1. Kategori IV tipi Gama Işınlama Tesisinde 1, 2, 3, 4, 5 ve 8 kGy dozlarında ışınlanmıştır.

Işınlanan örneklerin T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı-Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü-Kalite Değerlendirme ve Gıda Bölümü'nde fiziksel, kimyasal ve reolojik analizleri yapılmış ve son ürün olarak da ekmekleri üretilmiştir.

#### 9.2.1. Hektolitre ağırlığı tayini

Hektolitre ağırlığı tayini 1 litrelik hektolitre terazisi (Ohaus, Chicago, ABD) kullanılarak Vasiljevic and Banasik (1980)'e göre yapılmış, sonuçlar kg/hl olarak verilmiştir.

#### 9.2.2. Bin tane ağırlığı tayini

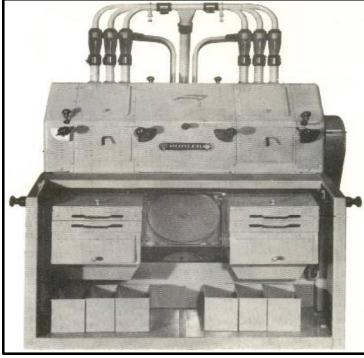
Bin tane ağırlığı, yabancı maddelerinden temizlenmiş örneğin elektronik tane sayıcısı (Tripette & Renaud Numigral II, Fransa) kullanılarak sayılması ile belirlenmiş ve sonuçlar kuru madde üzerinden gram olarak verilmiştir (Köksel vd. 2000).

### 9.2.3. Sertlik tayini

Buğday örneklerinin sertlik değeri (Particle Size Index, PSI) Williams vd. (1988)'e göre belirlenmiştir.

### 9.2.4. Öğütme işlemi

Un üretimi Bühler laboratuvar tipi un değirmeni (Bühler MLU 202, Uzvil, İsveç) kullanılarak, AACCI Standart Metot No:26-21 ve 26-31 (Anonymous, 2000)'e göre gerçekleştirilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Buğdayların öğütülerek un haline getirilmesi

### 9.2.5. Rutubet miktarı tayini

Un örneklerinde rutubet miktarları AACCI Standart Metot No: 44-15A (Anonymous, 2000)'ya göre belirlenmiştir.

### 9.2.6. Protein miktarı tayini

Örneklerde protein miktarı, Dumas azot analiz cihazı ile (Velp Scientifica NDA-701, İtalya) AACCI Standart Metot No: 46-30 (Anonymous, 2000)'a uygun olarak yapılmıştır.

### 9.2.7. Yaş gluten, kuru gluten miktarı ve gluten indeks tayini

Un örneklerin yaş gluten ve gluten indeks değerleri AACCI Standart Metot No: 38-12A (Anonymous 2000)'ya göre belirlenmiştir. Yaş gluten, gluten yıkama cihazında (Glutomatic, Perten, Huddinge, İsveç) elde edildikten sonra bu amaçla geliştirilen cihazda santrifüjlenerek (Gluten index, Huddinge, İsveç) gluten indeks değerleri belirlenmiştir. Yaş gluten kurutulurken (Glutork, Perten,

Huddinge, İsveç) Özkaya ve Özkaya (2005)'e göre kuru gluten değerleri elde edilmiştir.

#### **9.2.8. Glutograf analizi**

Un örneklerinden yaş gluten elde edildikten sonra gluten 2 paralel dişli disk arasında sıkıştırılarak "stretch" ve "relaxation" değerleri Brabender Glutograf-E (Duisburg, Almanya) ile saptanmıştır. Glutograf parametreleri (stretch ve relaxation) Anonymous (2005)'e göre saptanmıştır.

#### **9.2.9. Zeleny sedimentasyon değeri tayini**

Un örneklerinde Zeleny sedimentasyon analizi, International Association for Cereal Science and Technology (ICC) Standart Metot No:116/1 (Anonymous, 2008)'e göre yapılmıştır.

#### **9.2.10. Beklemeli Zeleny sedimentasyon değeri tayini**

Un örneklerinde beklemeli Zeleny sedimentasyon değerleri Köksel vd. (2000)'e göre belirlenmiştir.

#### **9.2.11. Düşme Sayısı**

Un örneklerinin düşme sayısı tayini düşme sayısı cihazında (Pertem, Huddinge, İsveç) AACCI Standart Metot No: 56-81B (Anonymous 2000)'e göre yapılmıştır.

#### **9.2.12. Farinograf parametreleri**

Farinograf özellikleri ise AACCI Standart Metot No: 54-21 (Anonymous, 2000)'e göre farinograf cihazında (Brabender Farinograf, Duisburg, Almanya) belirlenmiştir. Farinograf grafiğinin değerlendirilmesi yapılırken Shuey 'in yöntemi baz alınmıştır ve su absorpsiyonu ve yumuşama derecesi parametreleri belirlenmiştir (Shuey, 1984).

#### **9.2.13. Alveograf parametreleri**

Alveograf özellikleri, alveograf cihazı (Chopin Alveograph, Villeneuve-la-Garenne, Fransa) kullanılarak AACCI Standart Metot No: 54-50 (Anonymous, 2000)'ye göre tespit edilmiştir. Alveograf analiz sonuçlarından enerji (W) ve P/G parametreleri değerlendirilmiştir.

#### **9.2.14. Ekmek üretimi ve değerlendirilmesi**

American Association of Cereal Chemists International Standart Metot No:10-10B (Anonymous, 2000)'ye göre modifiye edilerek üretilen ekmeklerin ağırlıkları, fırından çıkarıldıktan 2 saat sonra tartılarak g cinsinden belirlenmiştir. Ekmek hacimleri ise, ekmek hacim ölçüm cihazı (National M.F.G. Co. Lincoln, Nebraska, ABD) ile kolza tohumu yer değiştirme prensibine AACCI Standart Metot No: 10-05 (Anonymous, 2000)'e göre tespit edilmiştir.

#### **9.2.15. Duyusal Analiz**

Ekmeklerdeki duyusal değerlendirmede; simetri 5 puan üzerinden, kabuk rengi 4 puan üzerinden, gözenek yapısı, ekmek içi rengi ve ekmek içi yumuşaklığı 10 puan üzerinden değerlendirilmiştir. Duyusal değerlendirmede hedonik sıklaka kullanılmış olup, değerlendirme 1 (çok kötü) ile 4/5/10 (çok iyi) arasında puanlar verilerek yapılmıştır (Özkaya vd. 2009).

#### **9.2.16. Renk**

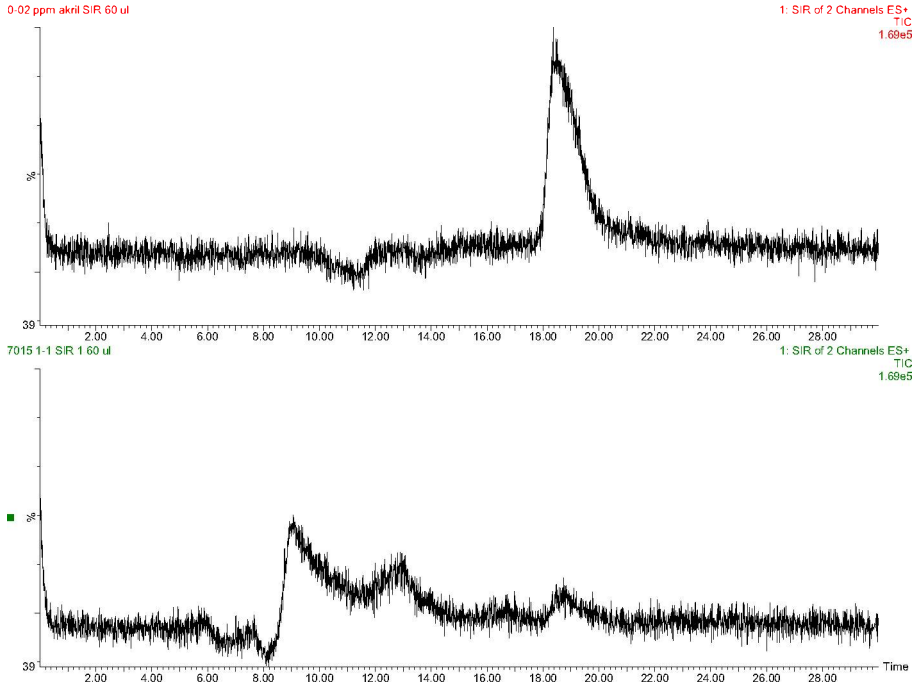
Ekmek kabuğunda ve ekmek içinde renk MiniScan XE Plus HunterLab (Hunter Associates Laboratory, Inc., Reston, VA, ABD) kullanılarak belirlenmiştir. CIE Renk Değerleri (L,a,b)'nden oluşan üçlü skala kullanılmaktadır. Burada, L=100 beyaz, L=0 siyah; pozitif a kırmızı, negatif a yeşil; pozitif b sarı ve negatif b mavi olarak değerlendirilmektedir.

#### **9.2.17. Akriamid Analizi**

Akriamid analizi için ekmek kabukları ayrılarak öğütülmüştür. Örnekler, Hızlandırılmış Çözücü Ekstraksiyon (ASE) sistemi kullanılarak ekstrakte edilmiş, 0.45 µm'lik filtrelerden geçirilerek kromatografik analize hazırlanmıştır. Kromatografik analiz için, Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (Waters, Japan) ve 202 nm dalga boyuna ayarlı PDA dedektör kullanılmıştır. Ardından kütle spektrometresinde (MS) m/z (kütle/yük) değeri 72 olan pikler dedekte edilerek akriamid miktarı belirlenmiştir (Cavalli vd. 2003).

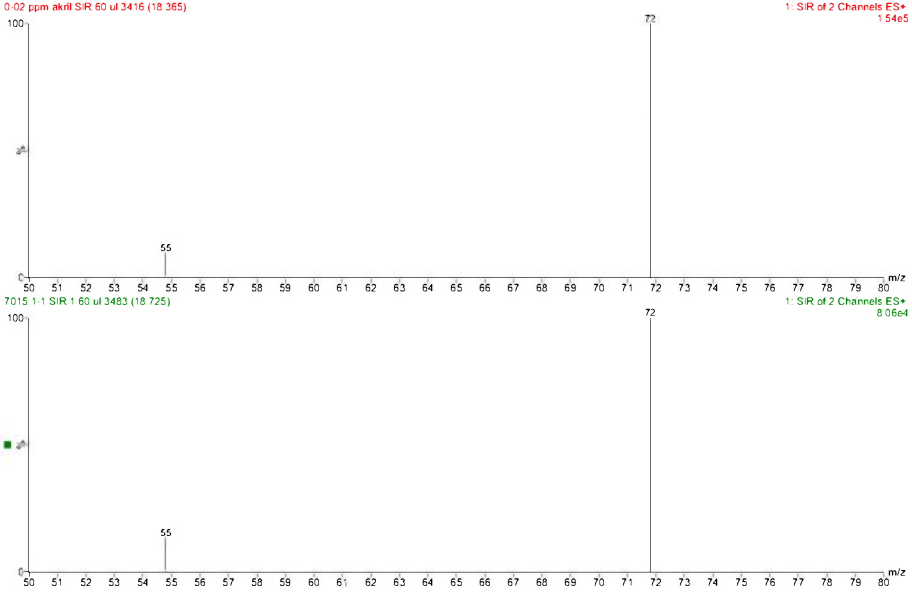
**Tablo 4.** Akrilamid analizi için ekstraksiyon ve kromatografik analiz koşulları

Ekstraksiyon Parametreleri		Kromatografik Koşullar	
Çözücü	10 mM Formik asit	Kolon	Ion Pack ICE-AS1 250x4 mm. 7.5 µm
Sıcaklık	80°C	Mobil Faz	3.0 mM Formik Asit/ Asetonitril (30:70 v/v)
Basınç	10 mPa	Akış Hızı	0.15 ml/dk
Isıtma süresi	5 dk	Enjeksiyon Hacmi	25
Bekleme süresi	4 dk	MS Belirleme	Probe sıcaklığı 300 °C. 50-250 m/z. SIM 72 m/z



**Şekil 6.** 0.02 ppm standart ve örnek için toplam iyon kromatogramı

Şekil 6'de ilk kromatogram 0.02 ppm akrilamid standardının toplam iyon kromatogramıdır. Akrilamid pikinin alıkonma süresi 18-20 dakika arasındır. İkinci kromatogram ise Tosunbey örneği (0 kGy)'ne ait kromatogramdır.



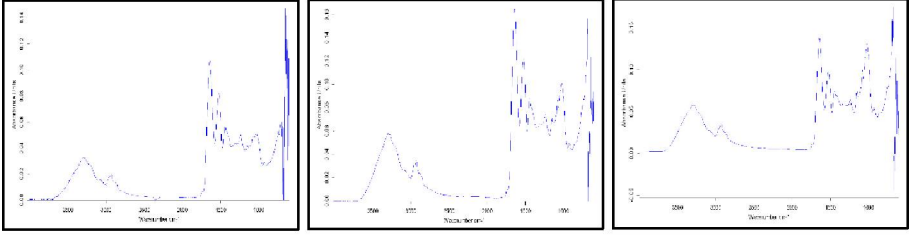
Şekil 7. Kütle spektrumları

Yukarıda toplam iyon kromatogramları verilen örneklerin kütle spektrumları Şekil 7’de verilmiştir. Akrilamid bileşimini gösteren pik 72.0 m/z değerine sahiptir. Akrilamidin molekül ağırlığı 71’dir. Analiz sırasında 1 proton alarak 72’ye ulaşmıştır. Kütle spektrumlarında molekül ağırlığı 72 olan maddenin şiddeti akrilamidi göstermektedir (Şekil 7).

### 9.2.18. ATR-FTIR Kullanılarak Glutenin İkincil Yapısındaki Değişikliklerin Belirlenmesi

Un örnekleri; 1:2 oranında kloroform ile karıştırılıp bir gece bekletildikten sonra elde edilen undan yapılan hamurun (10 g un+6 ml destile su) destile su ile nişastasını yıkanarak gluten elde edilmiştir. Gluten liyofilizatörde 2 gün bekletilerek kurutulduktan sonra hem kuru hem de 1:3 oranında sulandırılmış şekilde ATR-FTIR kullanılarak protein yapılarının (alfa helix, beta sheet, beta turn ve extended structures) yüzde oranları belirlenmiştir (Li et al. 2006). Farklı dozlarda ışınlanmış Tosunbey ve Bayraktar 2000 çeşidine ait FTIR spektrumları aşağıda görülmektedir (Şekil 8).

## Tosunbey

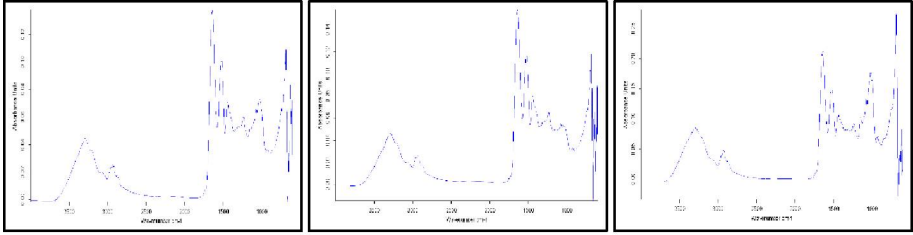


Kontrol

1kGy

8 kGy

## Bayraktar 2000



Kontrol

1kGy

8 kGy

Şekil 8. FTIR Spektrumları

### 8.2.19. İstatistiki Değerlendirme

Elde edilen verilere SPSS (IBM SPSS, version 23) bilgisayar paket programında varyans analizi yapılmış, özelliklere ait ortalamaların karşılaştırılmasında ise Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır. Ortalamalar arasındaki fark %5 önemlilik düzeyinde karşılaştırılmıştır.

## 10. BULGULAR

Farklı dozlarda ışınlanmış (0, 1, 2, 3, 4, 5 ve 8 kGy) buğday ve bu buğdaylardan elde edilen un ve ekmek örneklerine ait analiz sonuçları aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Hektolitre ağırlığı; birim hacim buğdayın ağırlığı olarak belirlenir ve buğday standardizasyonunda kullanılan önemli bir faktördür. Hektolitre ağırlığını, genetik, çevre şartları ve hasattaki iklim, tanenin iriliği, homojenliği ve yoğunluğu da etkiler. Yoğun taneler, daha fazla endosperm içerdiğinden hektolitre ağırlığı yüksek olan tanelerin un verimi de yüksek olma eğilimindedir. Buğdaylarda hektolitre ağırlığı 70-84 kg arasında değişmektedir. TMO Buğday Alım Bareminde 78 kg/hl ve üzeri hektolitre ağırlığına sahip olan buğdaylar, 1. grupta yer almaktadır (Anonim 2016a). Çalışmada da yer alan her iki buğday çeşidi 1. Grupta yer alacak hektolitre ağırlığına sahip olmuştur (Tablo 5). Tabloda görüldüğü gibi hektolitre ağırlığı bakımından her iki buğday çeşidinde ışınlama dozu uygulamaları arasında istatistiki olarak önemli bir farklılık ( $p>0.05$ ) bulunmamıştır.

Bin tane ağırlığı; buğdayın bin tanesinin gram cinsinden ağırlığı olup, tane yoğunluğu ve büyüklüğüne bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca çeşit, iklim ve toprak özelliklerinden de etkilenmektedir. Türkiye'de ekmeklik buğdaylarda bin tane ağırlığı 23-45 g arasında değişmektedir. Tablo 5 incelendiğinde, bin tane ağırlığı bakımından da her iki buğday çeşidinde ışınlama dozu uygulamaları arasındaki fark istatistiki olarak önemli ( $p>0.05$ ) çıkmamıştır.

**Tablo 5.** Farklı dozlarda ışınlanmış Tosunbey ve Bayraktar 2000 buğday çeşitlerine ait kalite kriterleri

Çeşit/Analiz Adı	Işınlama Dozları (kGy)	Hektolitreye Ağırlığı (kg/hl)	Bin Tane Ağırlığı (g <sup>**</sup> )	Tane Sertlik Değeri PSI	Tane Protein Oranı (%)
Tosunbey	Kontrol	79.6 a	30.9 a	43.1 c*	10.4 a
	1	79.5 a	31.1 a	46.9 cb	10.5 a
	2	78.9 a	31.1 a	46.3 cb	10.5 a
	3	79.7 a	31.6 a	45.0 cb	10.3 a
	4	79.5 a	31.7 a	48.8 ab	10.2 a
	5	79.7 a	31.8 a	52.2 a	10.5 a
	8	79.4 a	31.0 a	47.5 b	10.5 a
Bayraktar 2000	Kontrol	78.2 a	30.3 a	54.9 dc*	10.6 a
	1	78.4 a	29.8 a	53.9 d	10.6 a
	2	78.8 a	29.9 a	57.5 c	10.6 a
	3	78.5 a	30.1a	50.3 e	10.6 a
	4	78.4 a	29.7 a	64.2 b	10.5 a
	5	78.9 a	29.7 a	72.1 a	10.4 a
	8	78.8 a	30.1 a	57.1 c	10.5 a

\*: Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar birbirinden farklıdır (p<0.05).

\*\* : sonuçlar kuru madde üzerinden verilmiştir.

Tane sertliği buğday kalitesini belirleyen önemli fiziksel kriterdir. Buğdayda sertlik özelliğinin, genetik özelliklerle kontrol edilebilen, endospermdeki protein-nişasta ara fazında bulunan ve suda çözünen bir proteinden (friabilin) kaynaklandığı kabul edilmektedir. Friabilin, yumuşak buğdaylarda oldukça fazla, sert ekmeklik buğdaylarda az, makarnalık buğdaylarda ise yok denecek kadar az düzeyde bulunmaktadır. Sertlik öğütme kabiliyetini etkilemekte, sert olan tanelerden elde edilen unlarda zedelenmiş nişasta oranı daha fazla olmaktadır. Genel olarak sert tanelerin ekmeklik kalitesi bakımından iyi sonuçlar verdiği kabul edilir (Köksel vd. 2000). PSI sertlik değerlendirmesinde düşük değerler tanenin sert olduğunu, yüksek değerler ise yumuşak olduğunu göstermektedir. Işınlamanın her iki buğday çeşidine ait tane sertliği üzerine etkisi istatistiki açıdan önemli bulunmuştur (p<0.05). Tane sertlik değerleri Tosunbey ve Bayraktar 2000 çeşidinde sırasıyla 43.1-52.2 ile 50.3-72.1 arasında değişmiş ve kontrolde tane sertlik değerleri Tosunbey çeşidinde 43.1 iken, Bayraktar 2000 çeşidinde 54.9 olmuştur. Çeşitlerin artan ışınlama dozlarına tepkisi farklı olmuştur. En yüksek sertlik değerleri her iki çeşitte 5 kGy ışınlama dozundan elde edilirken, en düşük tane sertlik değeri Tosunbey çeşidinde kontrol

uygulamasından, Bayraktar 2000 çeşidinde ise 3 kGy uygulamalarından elde edilmiştir. PSI sertlik analiz sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, ışınlama dozlarının artması ile sertlik değerleri artmış, dolayısıyla taneler daha yumuşak özellik kazanmıştır (Tablo 5).

Buğdayların protein miktarları kısmen tür ve çeşide fakat daha çok da yetiştiği yerin toprak ve çevre faktörlerine bağlı olarak %6-20 arasında değişim gösterir (Özkaya ve Özkaya 2005). Ekmeklik buğdaylarda protein miktarının %11.5'in üzerinde olması istenir. Genel olarak sert buğdaylarda protein miktarı yumuşak buğdaylara oranla daha yüksektir. Protein miktarının yüksek olması yanında kalitesi de önem taşımaktadır (Anonim 2016b). Çalışmada tane protein oranı bakımından her iki buğday çeşidinde ışınlama dozu uygulamaları arasındaki fark istatistiki olarak önemli ( $p>0.05$ ) bulunmamıştır. Çalışmada kullanılan Tosunbey çeşidinde protein oranı 0 kGy'de %10.4, Bayraktar 2000 çeşidinde ise 0 kGy'de %10.6 olarak bulunmuştur (Tablo 5).

Buğday proteini, albumin, globulin, gliadin ve gluteninden oluşur. Buğday ununa su ilave edilip yoğurulduğunda "gliadin" ve "glutenin" in suyu emerek şişmesi sonucu gluten oluşur. Gluten, ekmek üretiminde fermentasyon sırasında maya tarafından üretilen CO<sub>2</sub> gazının hamurda tutulmasını ve yüksek hacimli ekmek oluşmasını sağlar. Mayalı ekmek yapımı söz konusu olduğunda yaş gluten miktarı ve kalitesi çok önemli bir kalite kriteridir. Unda yaş gluten miktarı %35'den büyük ise gluten yüksek, %28-35 arasında ise iyi, %20-27 arasında ise orta, %20'den küçük ise gluten düşük olarak nitelendirilir. Işınlama dozlarının yaş gluten miktarı üzerinde etkisi Tosunbey çeşidinde önemli ( $p<0.05$ ) olurken, Bayraktar 2000 çeşidinde önemsiz olmuştur. Yaş gluten miktarı Tosunbey ve Bayraktar 2000 çeşidinde sırasıyla %15.6-21.7 ve %20.5-21.2 arasında değişim göstermiştir (Tablo 6).

Kuru gluten, elde edilen yaş glutenin belli sıcaklık ve sürede kurutulması ile elde edilir. Işınlama dozlarının kuru gluten miktarı üzerinde etkisi ise hem Tosunbey hem de Bayraktar 2000 çeşitlerinde önemli ( $p<0.05$ ) bulunmuştur. Çeşitlerin kuru gluten miktarı Tosunbey'de %5.6-7.2, Bayraktar 2000'de ise %6.9-7.2 arasında değişim göstermiştir. Genelde kuru gluten miktarı yaş gluten miktarının

1/3'ü kadarıdır. Bu nedenle en yüksek ve en düşük yaş ve kuru gluten miktarları benzer istatistik gruplarda yer almıştır (Tablo 6).

Gluten indeks değeri buğday ununda gluten kalitesi hakkında bilgi veren önemli bir kalite parametresidir. Ticari ekmeklik unların gluten indeks değeri genelde %60-90 arasındadır. Türk tipi ekmek yapımına uygun unlar için gluten indeks değeri %70 civarında olmalıdır. Gluten indeks değeri %40'dan düşük olan unlar ekmek yapımı için uygun değildir. Gluten indeks değeri üzerinde ışınlama dozlarının etkisi Tosunbey ve Bayraktar 2000 çeşitlerinde önemli ( $p<0.05$ ) bulunmuştur. Işınlama dozlarının çeşitler üzerindeki etkisi farklı olmuş ve en düşük gluten indeks değeri Tosunbey çeşidinde 2 kGy dozundan, Bayraktar 2000 çeşidinde ise kontrol örneğinden elde edilmiştir. En yüksek gluten indeks değeri ise her iki çeşitte de 4 kGy ışınlama dozundan elde edilmiştir (Tablo 6). TMO Buğday Alım Bareminde Anadolu Beyaz Sert Grubunda yer alan Tosunbey buğday çeşidinin gluten kalitesi Diğer Beyaz Buğdaylar Grubunda yer alan Bayraktar 2000 çeşidinden daha yüksektir. Işınlama uygulamaları Tosunbey çeşidinde olumsuz bir etki göstermezken Bayraktar 2000 çeşidinde ışınlama dozu arttıkça gluten indeks değerinde düşüş gerçekleşmiştir (Tablo 6).

**Tablo 6.** Farklı dozlarda ışınlanmış Tosunbey ve Bayraktar 2000 buğday çeşitlerine ait gluten kalite kriterleri

Çeşit/ Analiz Adı	Işınlama Dozları (kGy)	Gluten Parametreleri			Glutograf Parametreleri		
		Yaş Gluten (%)	Kuru Gluten (%)	Gluten İndeks (%)	Stretch (s)	Stretch (BU)	Relaxation (BU)
Tosunbey	Kontrol	17.8 d*	6.4 b*	96.6 ab*	125 a	476 a	396 a
	1	15.6 e	5.6 c	96.0 ab	125 a	573 a	481 a
	2	19.5 c	7.0 ab	91.2 b	125 a	598 a	499 a
	3	18.0 d	6.7 ab	94.4 ab	125 a	532 a	467 a
	4	20.8 b	6.9 ab	98.8 a	125 a	629 a	529 a
	5	20.2 bc	6.9 ab	98.3 a	125 a	572 a	472 a
	8	21.7 a	7.2 a	96.3 ab	125 a	626 a	528 a
Bayraktar 2000	Kontrol	20.5 a	7.1 ab*	96.8 a*	125 a*	714 a	596 a
	1	21.0 a	7.2 b	96.7 a	125 a	712 a	594 a
	2	21.0 a	7.1 ab	95.0 a	125 a	724 a	615 a
	3	20.6 a	6.9 a	92.0 a	112 a	719 a	602 a
	4	20.5 a	6.9 a	91.5 a	123 a	703 a	602a
	5	20.5 a	6.9 a	92.4 a	125 a	797 a	659 a
	8	21.2 a	7.0 ab	92.0 b	79 b	774 a	626 a

\*: Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar birbirinden farklıdır ( $p<0.05$ ).

Son yıllarda ülkemizde de yaygınlaşan Glutograf analizinden elde edilen stretch (s) değeri hamurun uzamasının, relaxation (BU) değeri ise hamurun elastikiyetinin ölçüsüdür (Alamri vd. 2010). Gluten kuvveti ve kalitesi arttıkça stretch (s) değerinde artış, stretch (BU) ve relaxation (BU) değerlerinde ise azalma beklenmektedir (Anonim 2005). Işınlama dozlarının incelenen glutograf parametrelerinden sadece stretch (s) değeri üzerine etkisi Bayraktar 2000 çeşidinde önemli ( $p < 0.05$ ) bulunmuştur. En düşük stretch değeri, istatistiki olarak b grubunda yer alan 8 kGy ışınlama dozundan elde edilmiştir. Işınlama dozlarının stretch (BU) ve relaxation (BU) değerleri üzerindeki etkisi önemsiz ( $p > 0.05$ ) çıkmasına rağmen doz artışı ile bu iki parametrede bir artış belirlenmiştir. Değerlerin artması gluten kalitesinin düştüğünü göstermektedir (Tablo 6).

Zeleny sedimentasyon analizi buğdaylarda protein miktar ve kalitesini belirlemede yaygın olarak kullanılmaktadır. Gluten miktarı ve kalitesi yüksek olan unlarda Zeleny sedimentasyon değeride yüksek olmaktadır. Unların ekmeklik kalitesi değerlendirilirken Zeleny sedimentasyon değeri (ml) 60 ml'den büyük değerler aşırı kuvvetli, 49-59 ml çok kuvvetli, 39-48 ml kuvvetli, 20-29 ml zayıf ve 20 ml'den küçük değerler aşırı zayıf olarak tanımlanmaktadır. Çalışmada Zeleny sedimentasyon değerleri, Tosunbey çeşidinde 0 kGy'de 38 ml, 8 kGy'de 32 ml; Bayraktar 2000 çeşidinde 0 kGy'de 35 ml, 8 kGy'de ise 29 ml olarak bulunmuştur. Işınlama dozları arasında istatistiki olarak fark olmamasına ( $p > 0.05$ ) rağmen, ışınlama dozları arttıkça Zeleny sedimentasyon değeri düşüş göstermiş, en yüksek ışınlama dozu 8 kGy ile kontrol dozu arasında her iki çeşitte 6 ml azalma olmuştur (Tablo 7).

Süne (*Eurygaster* spp.) ve kıvılcın (*Aelia* spp.) buğday tanesine bıraktıkları proteolitik enzimler, uygun koşullarda (sıcaklık, nem ve süre) gluten proteinlerinin parçalanmasına neden olur. Emgi zararını belirlemek için ekmeklik buğdayda Zeleny sedimentasyon testi modifiye edilerek kullanılmaktadır (Atlı vd. 1988, Köksel vd. 2000). Ayrıca, beklemeli Zeleny sedimentasyon analizi gluten kalitesi hakkında fikir vermektedir. Süne zararı yoksa beklemeli Zeleny sedimentasyon değeri, Zeleny sedimentasyon değerinden genelde daha yüksek çıkmaktadır (Özkan ve Babaroğlu 2015). Bu

çalışmada emgi zararı görülmemiş olup, beklemleri Zeleny sedimentasyon değeri Tosunbey çeşidinde 38 ml'den 44 ml'ye; Bayraktar 2000 çeşidinde ise 35 ml'den 42 ml'ye yükselmiştir. Işınlama dozlarının beklemleri Zeleny sedimentasyon değeri üzerindeki etkisi hem Tosunbey hem de Bayraktar 2000 çeşidinde önemli ( $p<0.05$ ) bulunmuştur. Beklemleri Zeleny sedimentasyon değerleri Tosunbey ve Bayraktar 2000 çeşitlerinde sırasıyla 0 kGy de 44.0 ml ve 42.0 ml iken, ışınlama dozlarının artışı ile 8 kGy'de 37.0 ml ve 38.0 ml'ye düşmüştür (Tablo 7).

**Tablo 7.** Farklı dozlarda ışınlanmış Tosunbey ve Bayraktar 2000 buğday çeşitlerine ait sedimentasyon ve düşme sayısı kalite kriterleri

Çeşit/Analiz Adı	Işınlama Dozları (kGy)	Zeleny Sedimentasyon Değeri (ml)		Düşme Sayısı (s)
		Normal	Beklemleri	
Tosunbey	Kontrol	38 a	44.0 a*	378 a*
	1	34 a	41.0 b	322 b
	2	35 a	38.0 dc	316 b
	3	34 a	34.0 e	282 d
	4	36 a	39.0 c	295 c
	5	34 a	40.0 b	264 e
	8	32 a	37.0 b	214 f
Bayraktar 2000	Kontrol	35 a	42.0 a*	326 a*
	1	31 a	40.0 bc	311 ab
	2	33 a	38.0 cd	301 ab
	3	30 a	41.0 ab	254 dc
	4	35 a	38.5 c	266 c
	5	32 a	38.0 cd	247 d
	8	29 a	38.0 cd	180 e

\*: Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar birbirinden farklıdır ( $p<0.05$ ).

Düşme sayısı yöntemi ile unda var olan amilaz enziminin aktivitesi belirlenmektedir. Amilaz aktivitesinin belirlenmesi ekmek üretim teknolojisi açısından önem taşımaktadır. Ekmek yapımında fermentasyon aşamasındaki maya faaliyeti ortamda var olan şeker miktarı ile yakından ilgilidir. Türkiye'de yaygın olarak kullanılan ekmek yapma tekniğinde formülasyona şeker katılmadığı için maya, nişastanın parçalanması ile oluşan glukozu kullanarak gaz oluşturmaktadır. Amilaz aktivitesinin az olması, maya hücreleri tarafından kullanılabilir şeker miktarının yetersiz olmasına, bu da ekmek hacminin düşük olmasına sebep olmaktadır. Düşme sayısı değerlendirme; < 150 s amilaz aktivitesi aşırı yüksek, buğday

muhtemelen çimlenmiş, ekmeğin içi yapışkan olabilir, 200 -250 s Amilaz aktivitesi normal ve ekmeğin üretimi için uygun düzeydedir, > 300 s Amilaz aktivitesi çok düşük, amilaz ilavesi yapılmazsa ekmeğin hacmi düşük ve ekmeğin içi kuru olmaktadır şeklindedir (Köksel vd. 2000). Yapılan bu çalışmada her iki buğday çeşidinde ışınlama dozu uygulamaları arasında istatistiksel olarak önemli ( $p<0.05$ ) farklar bulunmuştur. Işınlama dozları arttıkça düşme sayısı değerinin azaldığı görülmüştür. Düşme sayısı değeri; Tosunbey çeşidinde 0 kGy'de 378 saniye iken 8 kGy'de 214 saniyeye, Bayraktar 2000 çeşidinde ise 0 kGy'de 326 saniye iken 8 kGy'de 180 saniyeye düşmüştür. Her iki çeşitte de ışınlama dozları arttıkça düşme sayısı değeri azalmış ve en düşük değer en yüksek ışınlama dozunda olmuştur (Tablo 7). Birçok çalışmada ışınlamanın düşme sayısını azaltarak alfa amilaz aktivitesini artırdığı belirtilmiştir (Dolinska et al. 2004, Aquendez-Arvizu et al. 2006, Gralik and Warchalewski 2006, Teixeira et al. 2011, Blaszcak et al. 2012).

Farinograf, hamurun yoğurma özelliklerinin belirlenmesinde ve unun ekmeğin özellikleri hakkında bilgi veren bir cihazdır. Ekmeğin üretimi amacıyla kullanılacak unların su absorpsiyonu yüksek olmalı, yoğurma süresi ise çok uzun olmamalıdır. Su absorpsiyonu; kaliteli ekmeğin üretimine uygun konsistenste (500 Brabender Unit) hamur eldesi için unun absorbe edeceği su miktarıdır. Un ağırlığı üzerinden % olarak ifade edilir. Gluten miktarı ve kalitesi, öğütme sırasında oluşan zedelenmiş nişasta miktarı ve rutubet miktarı su absorpsiyonunu etkileyen faktörlerdir. Protein miktar ve kalitesi yüksek unların yoğurma süresi ve stabilitesi yüksek, yumuşama derecesi düşüktür (Köksel vd. 2000).

Çalışmada belirlenen farinograf su absorpsiyonu ve yumuşama derecesi bakımından ışınlama dozu uygulamaları arasında istatistiksel olarak önemli ( $p<0.05$ ) farklılıklar bulunmuştur. Su absorpsiyonu 0 kGy'de Tosunbey çeşidinde %57.9, Bayraktar 2000 çeşidinde ise %56.0 olarak belirlenmiştir. Tosunbey çeşidinde ışınlama dozu arttıkça su absorpsiyonu da artmıştır. Bayraktar 2000 çeşidinde ise 4, 5 ve 8 kGy ışınlama dozlarında artış belirlenmiştir. Farinograf yumuşama derecesi (BU) değerlerinin düşük olması istenmekte olup düşük değerler unun daha kaliteli olduğunu göstermektedir. Yumuşama derecesi Tosunbey için 0 kGy'de 31 BU, Bayraktar 2000 için 0 kGy'de 53 BU olarak belirlenmiş ve

Tosunbey çeşidi daha iyi özellik göstermiştir. Tosunbey çeşidinde ışınlama dozu arttıkça yumuşama derecesi (BU) yükselmiş Bayraktar 2000 çeşidinde ise 3, 4, 5 ve 8 kGy ışınlama dozlarında yumuşama derecesinde (BU) artış belirlenmiş ve kalite düşmüştür. Her iki farinograf parametresi birlikte değerlendirildiğinde, genel olarak her iki buğday çeşidinde ışınlama dozları arttıkça su absorpsiyonu artmış, ancak yumuşama değerleri olumsuz etkilenmiştir (Tablo 8).

Ekmeklik buğday unlarının kalitesinin belirlenmesinde alveograf cihazı yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Hruskova and Smejda 2003). Alveogram değerleri (P, L, P/L, P/G, ve W) grafikteki maksimum yükseklik, uzunluk ve kurve alanı esas alınarak hesaplanmaktadır. Alveogramın maksimum yüksekliğinden elde edilen P değeri ile unun su absorpsiyon kapasitesi tahmin edilebilmektedir. L değeri, genellikle hamurun uzama kabiliyetinin bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır. G değeri, hamurun elastikiyeti ile ilgili olup, deformasyon enerjisi olarak bilinen W değeri ise, un kalitesi ile ilgilidir (Atlı vd. 1992). Optimum kalitede ekmek yapımı için W değeri en az  $150-200 \cdot 10^{-4}$  J olmalıdır. TMO alım bareminde Anadolu sert grupta yer alan Tosunbey çeşidi protein kalitesi daha yüksek olduğundan diğer grupta yer alan Bayraktar 2000 çeşidinden daha yüksek alveograf enerji değerine sahiptir. Alveograf enerji değeri bakımından her iki buğday çeşidinde ışınlama dozu uygulamaları arasındaki fark istatistiki olarak önemli ( $p < 0.05$ ) bulunmuştur. Bu çalışmada da benzer protein oranlarına sahip olan Tosunbey çeşidinin alveograf enerji değeri daha yüksek bulunmuş ve uygulanan ışınlama dozlarına göre alveograf enerji değerleri Tosunbey çeşidinde  $137-158 \cdot 10^{-4}$  J arasında, Bayraktar 2000 çeşidinde ise  $104-126 \cdot 10^{-4}$  J arasında değişmiştir. Alveograf P/G değeri bakımından ışınlama dozlarının etkisi Tosunbey çeşidinde önemli ( $p < 0.05$ ), Bayraktar 2000 çeşidinde ise önemsiz bulunmuş ve Alveograf P/G değerleri Tosunbey çeşidinde 5.7-10.5, Bayraktar 2000 çeşidinde ise 6.4-8.9 arasında değişim göstermiştir (Tablo 8).

**Tablo 8.** Farklı dozlarda ışınlanmış Tosunbey ve Bayraktar 2000 buğday çeşitlerinin farinograf ve alveograf analiz sonuçları

Çeşit/Analiz Adı	Işınlama Dozları (kGy)	Farinograf		Alveograf	
		Su Absosp. (%)	Yumuşama Derecesi (BU)	Enerji W (10 <sup>-4</sup> joule)	P/G
Tosunbey	Kontrol	57.9 e**	31 b**	143 d**	5.7 b**
	1	58.5 f	9 a	158 a	7.7 ab
	2	58.8 d	42 c	149 b	9.1 ab
	3	59.2 b	71 e	147 c	9.8 ab
	4	60.2 d	40 c	150 b	9.7 ab
	5	60.7 c	65 d	146 c	10.5 a
	8	60.9 a	75 f	137 e	9.7 ab
	Bayraktar 2000	Kontrol	56.0 e**	53 b**	107 d**
1		55.6 f	50 a	107 d	8.4 a
2		55.4 e	53 b	126 a	6.6 a
3		55.9 b	91 e	118 c	6.5 a
4		56.8 a	99 f	121 b	6.4 a
5		58.0 c	71 d	118 c	8.9 a
8		58.5 d	66 c	104 e	6.8 a

\*: Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar birbirinden farklıdır (p<0.05).

Ekmek yapımı, unun tuz ve maya çözeltisi ilavesiyle yoğrulup mayalandırılması dinlendirilmesi ve pişirilmesi esasına dayanır (Şekil 9).



**Şekil 9.** Ekmek üretim aşamaları

Ekmek ağırlığı unun su absorpsiyonu ile ilişkilidir ve su absorpsiyonu yüksek unların ekmek ağırlığı da yüksek olmaktadır. Tablo 9 incelendiğinde; ekmek ağırlığı bakımından ışınlama dozu uygulamaları arasındaki fark Tosunbey çeşidinde önemli ( $p<0.05$ ), Bayraktar 2000 çeşidinde ise önemsiz bulunmuştur. Ekmek ağırlığı Tosunbey çeşidinde 0 kGy'de 133.5 gram iken ışınlama dozları arttıkça ekmek ağırlığı da artmıştır. Ekmek hacmi bakımından her iki buğday çeşidinde ışınlama dozu uygulamaları arasındaki fark istatistiki olarak önemli ( $p<0.05$ ) bulunmuştur. Işınlama dozlarının ekmek hacmi üzerindeki etkisi her iki çeşitte farklı olmuştur. En yüksek hacimli ekmek Anadolu beyaz sert buğday grubunda yer alan ve protein kalitesi daha iyi olan Tosunbey çeşidinde 482.5 ml ile kontrol uygulamasından elde edilmiş ve ışınlama dozları arttıkça Tosunbey çeşidinde ekmek hacmi düşüş göstermiştir. Bayraktar 2000 çeşidinde ise ekmek hacmi ışınlama dozu ile artış göstermiş 0 kGy'de 415 ml iken, 8 kGy'de 457.5 ml bulunmuştur.

**Tablo 9.** Farklı dozlarda ışınlanmış Tosunbey ve Bayraktar 2000 buğday çeşitlerinin ekmek ağırlığı ve hacim analizi sonuçları

Çeşit/Analiz Adı	Işınlama Dozları (kGy)	Ekmek Ağırlığı (g)	Ekmek Hacmi (ml)
Tosunbey	Kontrol	133.5 c**	482.5 a**
	1	134.1 cb	437.5 bc
	2	134.1 cb	430.0 c
	3	134.6 ac	452.5 bc
	4	136.4 a	435.0 bc
	5	136.1 ab	457.5 b
	8	136.0 ab	440.0 bc
Bayraktar 2000	Kontrol	133.0 a	415.0 c**
	1	132.2 a	437.5 b
	2	132.9 a	442.5 ab
	3	133.7 a	435.0 b
	4	134.1 a	445.0 ab
	5	134.2 a	442.5 ab
	8	134.9 a	457.5 a

\*: Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar birbirinden farklıdır ( $p<0.05$ ).

Çalışmada ekmeklerdeki duyuusal değerlendirme; simetri 5 puan üzerinden, kabuk rengi 4 puan üzerinden, gözenek yapısı, ekmek içi rengi ve ekmek içi yumuşaklığı ise 10 puan üzerinden yapılmıştır. Duyusal değerlendirmede 1 (çok kötü) ile 4/5/10 (çok iyi) arasında puanlar verilerek yapılmıştır (Özkaya vd. 2009). Yapılan istatistiki

analiz sonucunda; ışınlama dozları arasında arasındaki fark, Tosunbey çeşidinde simetri ve ekmek içi rengi, Bayraktar 2000 çeşidinde ise simetri ve gözenek yapısı parametreleri için önemli ( $p<0.05$ ) bulunmuştur. Simetri; Tosunbey çeşidinde 0 kGy'de 4.25 puan, 8 kGy'de 2.75 puan, Bayraktar 2000 çeşidinde ise 0 kGy'de 3.00 puan, 8 kGy'de 4.00 puan almıştır. Kabuk rengine; Tosunbey çeşidinde 0 kGy'de 2.75 puan, 8 kGy'de 3.25 puan verilirken Bayraktar 2000 çeşidine 0 kGy'de 3.25 puan, 8 kGy'de 2.75 puan verilmiştir. Ekmek içi gözenek yapısı incelendiğinde, Tosunbey çeşidine 0 ve 8 kGy'de 8 puan, Bayraktar 2000 çeşidine de 0 ve 8 kGy'de 7.5 puan verilmiştir. Ekmek içi rengi ise, Tosunbey çeşidinde 0 kGy'de 10 puan, 8 kGy'de 8 puan, Bayraktar 2000 çeşidinde 0 ve 8 kGy'de 8 puan olarak değerlendirilmiştir. Ekmek içi yumuşaklık değerleri; Tosunbey çeşidinde 0 kGy'de 10 puan, 8 kGy'de 9 puan, Bayraktar 2000 çeşidinde ise 0 kGy'de 8.5 puan, 8 kGy'de 9 puan almıştır (Tablo 10).

**Tablo 10.** Farklı dozlarda ışınlanmış Tosunbey ve Bayraktar 2000 buğday çeşitlerinin ekmek duyu analizi sonuçları

Çeşit/ Analiz Adı	Işınlama Dozları (kGy)	Simetri (5)	Kabuk Rengi (4)	Gözenek (10)	Ekmek içi Rengi (10)	Yumuşaklık (10)
Tosunbey	Kontrol	4.25 a**	2.75 a	8.0 a	10.0 b**	10.0 a
	1	3.25 b	2.50 a	8.0 a	10.0 b	10.0 a
	2	4.00 a	3.00 a	8.0 a	10.0 b	10.0 a
	3	3.25 b	3.25 a	8.0 a	9.0 ab	9.0 a
	4	2.75 b	2.50 a	7.0 a	9.5 b	9.0 a
	5	4.00 a	3.25 a	7.0 a	10.0 b	10.0 a
	8	2.75 b	3.25 a	8.0 a	8.0 b	9.0 a
Bayraktar 2000	Kontrol	3.00 b**	3.25 a	7.5 ab**	8.0 a	8.5 a
	1	3.00 b	3.25 a	7.0 ab	8.0 a	7.5 a
	2	4.00 a	3.00 a	8.0 a	8.5 a	9.5 a
	3	4.00 a	3.00 a	6.5 b	7.5 a	8.0 a
	4	3.50 ab	2.75 a	7.0 ab	7.5 a	8.5 a
	5	3.00 b	2.75 a	7.0 ab	8.0 a	9.0 a
	8	4.00 a	2.75 a	7.5 ab	8.0 a	9.0 a

\*: Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar birbirinden farklıdır ( $p<0.05$ ).

Ekmekte Gardner cihazı ile yapılan renk ölçümlerinde; kabuk rengi ekmeğin sağ, sol ve alt ölçümlerinin ortalaması, ekmek içi rengi ise ekmeğin sağ ve sol kısımlarının ortalaması olarak verilmiştir. CIE

Renk Değerlerinde L,a,b değerlerinden oluşan üçlü skala kullanılmaktadır. L değeri 100 beyaz, L değeri 0 siyah; pozitif a kırmızı, negatif a yeşil, pozitif b sarı ve negatif b mavi olarak değerlendirilmektedir. Yapılan istatistik analiz sonucunda; ışınlama dozlarının ekmek kabuk rengi ve ekmek içi rengi değerleri (L,a,b) üzerine etkisinin Tosunbey çeşidinde önemli ( $p<0.05$ ), Bayraktar 2000 çeşidinde ise önemsiz olduğu belirlenmiştir. Genel olarak bakıldığında (Bayraktar 2000 çeşidi kabuk renk değerleri hariç) ışınlama dozlarının artışı ile her iki buğday çeşidinde L parlaklık değerinde azalma, a kırmızılık ve b sarılık değerinde ise bir artış görülmektedir (Tablo 11).

Fourier dönüşümlü kızılötesi azalan tam yansıma spektroskopisi (ATR-FTIR) ile ışınlama sonrası proteinlerde meydana gelen yapısal ve konformasyonel değişiklikleri hızlı bir şekilde inceleyebilmek mümkündür. FTIR spektroskopisinde kızılötesi (infrared) ışın örneğe gönderilmekte, örnek tarafından soğurulan dalga boyu, kızılötesi spektrumu şeklinde görülmektedir (Kong and Yu 2007). Her kimyasal bileşiğin kızılötesi spektrumunda karakteristik bir dizi soğurma bandı bulunmaktadır. Proteinlerin ikincil yapılarında meydana gelen değişiklikler, 1600-1700  $\text{cm}^{-1}$  aralığındaki amid I bandı analiz edilerek izlenmektedir (Damian and Canpean 2005). Amid I bölgesinde  $\alpha$ -sarmal ve  $\beta$ -düzlemsel tabakada gözlenen değişimler incelenebilmektedir (Haris and Severcan 1999). Proteinlerin ikincil yapısı; polipeptid zincirinin belirli bölgelerinde zincir içi/zincirler arası bağların oluşmasıyla ortaya çıkar ve polipeptit zincirinin periyodik uzaysal düzenlemesini gösterir. Proteinlerin ikincil yapısı temel olarak  $\alpha$ -sarmal ve  $\beta$ -düzlemsel tabakadan oluşmaktadır.  $\alpha$ -sarmal, polipeptit zincirindeki ardıl aminoasit kalıntılarının aynı sabit değerde bükülmesiyle oluşur ve en çok rastlanan ve stabil olan yapıdır. Bu stabilizasyon,  $\alpha$ -sarmal (alfa heliks) yapısında yer alan çok sayıda hidrojen bağları tarafından oluşturulmaktadır.

**Tablo 11.** Farklı dozlarda ışınlanmış Tosunbey ve Bayraktar 2000 buğday çeşitlerine ait ekmek kabuk ve ekmek içi renk değerleri

Renk Değerleri	Çeşit/Işınlama Dozları (kGy)	Tosunbey		Bayraktar 2000	
		Kabuk Rengi	Ekmek İçi Rengi	Kabuk Rengi	Ekmek İçi Rengi
L	Kontrol	76.9 a*	79.7 a*	72.1 a	78.23 a
	1	74.5 ac	76.7 b	72.9 a	77.88 a
	2	75.9 ab	77.9 ab	73.4 a	77.55 a
	3	71.3 bc	75.9 b	76.9 a	75.74 a
	4	72.6 ac	76.1 b	71.0 a	76.30 a
	5	72.4 ac	76.2 b	72.2 a	75.97 a
	8	70.6 c	73.1 c	72.3 a	73.05 a
a	Kontrol	1.94 b*	0.3 d*	4.4 a	0.80 a
	1	3.8 ab	0.4 cd	3.0 a	0.79 a
	2	3.7 ab	0.5 cd	3.8 a	0.82 a
	3	5.1 a	0.8 b	3.8 a	1.02 a
	4	4.3 a	0.6 ab	4.2 a	0.95 a
	5	3.9 ab	0.7 bc	3.7 a	1.07 a
	8	3.8 ab	1.3 a	3.6 a	1.44 a
b	Kontrol	19.1 b**	14.2 b**	21.7 a	16.63 a
	1	21.2 a	15.2 ab	20.9 a	16.52 a
	2	21.3 a	15.3 ab	21.2 a	16.78 a
	3	21.9 a	16.0 a	20.9 a	17.16 a
	4	21.7 a	15.4 ab	21.4 a	17.14 a
	5	21.4 a	15.3 ab	21.6 a	17.18 a
	8	20.8 a	16.0 a	21.4 a	17.15 a

\*: Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar birbirinden farklıdır (p<0.05).

$\beta$ -düzlemsel tabaka (beta sheet) ise polipeptit zincirlerinin birbiri üzerine tabakalar halinde bağlanması ile oluşur ve farklı polipeptit zincirindeki hidrojen bağları ile kararlılık sağlanır (Saldamlı 1998). İnfrared spektroskopisinin, diğer tekniklere göre hidrojen bağlarında ve peptit, polipeptit ve protein yapısında meydana gelen yapısal değişimleri belirlemede diğer tekniklere göre daha başarılı olduğu bildirilmiştir (Gradadolnik 2002). Işınlama dozlarının buğday proteinlerinin ikincil yapısına bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Tosunbey buğday çeşidine ait kuru glutende beta sheet; 0 kGy'de %22, 8 kGy'de %22.5'dir. Alfa heliks, 0 kGy'de %20, 8 kGy'de %22 ve beta turn yapısı ise 0 kGy'de %12, 8 kGy'de %12.5'tir. Bayraktar 2000 buğday çeşidine ait örneklerde beta sheet 0 kGy ve 8 kGy'de %21.5, Alfa heliks ise 0 kGy'de %21.5, 8 kGy'de %22.5'dir (Tablo 12). Yaş gluten, kuru glutenin belli oranda sulandırılmasıyla elde edilmiştir. Her iki formda da (kuru, yaş) ışınlamanın, glutenin sekonder (ikincil) yapısı üzerine istatistik açıdan etkisinin olmadığı p<0.05 düzeyinde belirlenmiştir (Tablo 12).

**Tablo 12.** Farklı dozlarda ışınlanmış Tosunbey ve Bayraktar 2000 buğday çeşitlerinden elde edilen kuru ve yaş glutene ait sekonder yapı dağılımları

Yapı Dağılımı %	Frekans cm-1	Kuru Gluten								Yaş Gluten								Doz kGy												
		K				K				K				K																
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4													
<b>Tosunbey</b>																														
<b>β-sheet</b>	1609 (1)	18.5 a	18.5 a	15.5 a	15 a	15 a	15 a	14 a	14 a	20b	22 ab	22 ab	22a	23a	22 ab	22 a	22 a	22 a	22 a	20b	22 ab	22 ab	22a	23a	22 ab	22 a	22 a	22 a	23 ab	
<b>β-sheet</b>	1639 (4)	9 a	11 a	12.5 a	12 a	12.5 a	11 a	10 a	10 a	10 a	10 a	10 a	10 a	9 a	9 a	9 a	9 a	9 a	9 a	10 a	10 a	10 a	10 a	9 a	9 a	9 a	9 a	9 a	9 a	
<b>β-sheet</b>	1694 (6)	22 a	20 a	21.5 a	22 a	21.5 a	22.5 a	22.5 a	22.5 a	16 a	16 a	16 a	16 a	15 a	15 a	15 a	15 a	15 a	15 a	16 a	16 a	16 a	16 a	15 a	15 a	15 a	15 a	15 a	15 a	
<b>α-helices</b>	1656 (3)	20 a	20.5 a	19.5 a	21 a	20 a	21 a	22 a	22 a	22 a	22 a	22 a	21a	23a	22 a	22 a	22 a	22 a	22 a	22 a	22 a	22 a	21a	23a	22 a	22 a	22 a	22 a	22.5 a	
<b>β-turn</b>	1675 (5)	12 a	13 a	12.5 a	12 a	12.5 a	13 a	12.5 a	12.5 a	17 a	16 a	16 a	16 a	17 a	16.5 a	16 a	16 a	16.5 a	16.5 a	17 a	16 a	16 a	16 a	17 a	16.5 a	16.5 a	16.5 a	16.5 a	16.5 a	
<b>extended structures</b>	1622 (2)	18.5 ab	17b	18.5 ab	18 ab	18.5 ab	18.5 ab	19 ab	19 ab	15 a	14 a	15 a	14 a	14 a	14 a	14 a	14 a	14 a	14 a	15 a	14 a	15 a	14 a	14 a	14 a	14 a	14 a	14 a	14 a	
<b>β-sheet</b>	1609 (1)	16a	15a	15a	15a	15a	15a	14.5a	14.5a	22 a	22 a	22 a	22 a	22 a	22 a	22 a	22 a	22 a	22 a	22 a	22 a	22 a	22 a	22 a	22 a	22 a	22 a	22 a	22 a	
<b>β-sheet</b>	1639 (4)	9b	9.5b	10ab	10b	12a	9b	9.5b	9.5b	11a	10 a	11 a	10 a	11 a	10 a	11 a	10.5 a	11 a	11 a	11a	10 a	11 a	10 a	11 a	10 a	11 a	10.5 a	11 a	11 a	
<b>β-sheet</b>	1694 (6)	21.5ab	21b	22a	22b	22a	22a	21.5ab	21.5ab	15a	16a	15.5b	15a	15a	15a	15a	15a	15a	15a	15a	15a	16a	15.5b	15a	15a	15a	15a	15a	16b	16b
<b>α-helices</b>	1656 (3)	21.5a	22.5a	21a	22a	20b	22.5a	22.5a	22.5a	21ab	22 ab	21 ab	22 ab	21 ab	22 ab	21 ab	21 ab	21 ab	21 ab	21 ab	21ab	22 ab	21 ab	22 ab	21 ab	22 ab	21 ab	21 ab	21 ab	20b
<b>β-turn</b>	1675 (5)	12 a	12.5 a	12 a	12 a	12 a	12 a	12 a	12.5a	16a	16a	16 a	16 a	16 a	16 a	16 a	16 a	16 a	16 a	16 a	16a	16a	16 a	16 a	16 a	16 a	16 a	16 a	16 a	16 a
<b>extended structures</b>	1622 (2)	20a	19.5 a	20 a	19 a	19 a	19.5 a	19.5 a	19.5 a	15 a	14 a	14.5 a	15 a	15 a	15 a	15 a	15 a	15 a	15 a	15 a	15 a	14 a	14.5 a	15 a	15 a	15 a	15 a	15 a	15 a	15 a

a-b:Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar birbirinden farklıdır (p< 0.05).

Gıda Işınlatma Yönetmeliği'nde Grup 3'te belirtildiği gibi böceklenmeyi önlemek, mikroorganizmaları azaltmak ve raf ömrünü uzatmak amacıyla hububat ve öğütülmüş hububat ürünlerinin ışınlanmasına izin verilmiştir. Bu amaçla buğdaylar, böceklenmeyi önlemek için 1 kGy'e kadar, mikroorganizmaları azaltmak ve raf ömrünü uzatmak için 5 kGy'e kadar ışınlanabilmektedir (Anonim 1999). Buğdayları farklı dozlarda (0, 1, 2, 3, 4, 5 ve 8 kGy) ışınlayarak elde ettiğimiz unlardan yapılan ekmekte akrilamid miktarı Tosunbey buğday çeşidinde 0 kGy'de 8.09 m/z, 8 kGy'de 8.02 m/z, Bayraktar 2000 buğday çeşidinde ise 0 kGy'de 7.99 m/z, 8 kGy'de 8.19m/z bulunmuştur (Tablo 13). Işınlamanın her iki buğday çeşidinden elde edilen ekmeklerde oluşan akrilamid miktarı üzerine etkisi yoktur.

**Tablo 13.** Farklı dozlarda ışınlanmış Tosunbey ve Bayraktar 2000 buğday çeşitlerinden elde edilmiş ekmekte akrilamid miktarı

Çeşit/Analiz Adı	Işınlatma Dozları (kGy)	Akrilamid m/z*
Tosunbey	Kontrol	8.09
	1	8.12
	2	8.19
	3	8.24
	4	8.26
	5	8.06
	8	8.02
	Bayraktar	Kontrol
1		8.01
2		7.90
3		7.98
4		7.99
5		8.01
8		8.19

\*m/z, kütle/yük

## 11. DEĞERLENDİRME

Akrilamid; sağlığımız üzerinde olumsuz etkileri olan, yüksek sıcaklıklarda pişirme veya kavurma işlemleri sonucunda protein ve karbonhidrat bakımından zengin gıdalarda oluşan bir bileşendir. T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı-Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü- Kalite Değerlendirme ve Gıda Bölümü ile yaptığımız ortak çalışmada, farklı dozlarda (0, 1, 2, 3, 4, 5 ve 8 kGy) ışınlanan iki çeşit buğday (Tosunbey, Bayraktar 2000) ve bu buğdaylardan elde edilen unların ekmeklik kalitesi ile ekmeklerde akrilamid miktarı belirlenmiştir.

Çalışma sonucunda;

- Işınlamanın her iki buğday çeşidine ait fiziksel kalite kriterlerinden hektolitreye ve bin tane ağırlığı üzerine etkisi önemli olmamıştır. Fakat ışınlama dozlarının artması ile sertlik değerleri artmış, dolayısıyla taneler daha yumuşak özellik kazanmıştır.
- Işınlama dozlarının tane protein oranı üzerine etkisi önemsiz bulunmasına rağmen protein miktar ve kalitesinin göstergesi olan Zeleny ve beklemeli Zeleny sedimentasyon değerlerinde düşüş meydana gelmiştir. Ayrıca, gluten ve glutograf parametrelerinde de benzer şekilde ışınlama dozu ile birlikte kalitede bir düşüş belirlenmiştir.
- Işınlama dozları arttıkça farinograf su absorpsiyonu artmış, ancak yumuşama değerleri olumsuz şekilde etkilenmiştir.
- Düşme sayısı değeri üzerine ışınlama dozlarının etkisi önemli olmuş ve ışınlama dozları arttıkça düşme sayısı değerlerinin belirgin bir şekilde azaldığı, dolayısıyla amilaz aktivitesinin arttığı saptanmıştır.

- Işınlama dozunun ekmek hacmi ve duyusal analiz değerleri üzerine etkisi ise çeşide göre değişmiştir.
- Işınlama dozlarının artışı ile ekmekte L parlaklık değerinde azalma, a kırmızılık ve b sarılık değerinde ise bir artış (Bayraktar 2000 çeşidi kabuk renk değerleri hariç) saptanmıştır.
- Işınlanmış buğdaylardan elde edilen ekmeklerde, ışınlamanın akrilamid oluşumuna artırıcı ya da azaltıcı yönde hiçbir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.
- ATR-FTIR ile belirlediğimiz buğday proteininin (glutenin) ikincil yapısına bir etkisinin bulunmadığı belirlenmiştir.

## 12. KAYNAKLAR

- 1) Karagöz A., 2009. Akrilamid ve Gıdalarda Bulunuşu. TAF Preventive Medicine Bulletin, 8(2): 187-192.
- 2) Gölcüklü M. ve Tokgöz H.. 2005. Gıdalarda akrilamid oluşum mekanizması ve insan sağlığı üzerine etkileri. <http://batem.gov.tr/yayinlar/derim/2005/41-48.pdf>
- 3) Vatter D. and Shetty K., 2003. Acrylamide in food: a model for mechanism of formation and its reduction. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 4: 331–338.
- 4) Gökmen V., Çetinkaya Ö., Köksel H. ve Acar J., 2006. Food Chemistry. Effects of dough formula and baking conditions on acrylamide and hydroxymethylfurfural formation in cookies, 1136-1142.
- 5) Zyzak D.V., Sanders R.A. and Stojanovic M., 2003. Acrylamide Formation Mechanism in heated Foods. J. Agric Food Chemistry, 51 (16): 4782-4787.
- 6) Becalski A., Lau B.P., Lewis D. and Seaman .S.W., 2003. Acrylamide in foods: occurrence, sources, and modelling. J. Agric Food Chem, 21(3): 802-808.
- 7) Stadler. R.H., Blank. I. and Varga. N., 2002. Food chemistry. Acrylamide from Maillard reaction products. Nature. 419 (6906):449-450.
- 8) Brown, R., 2003. Formation, Occurrence and Strategies to Address Acrylamide in Food. Food Advisory Committee Meeting: Acrylamide, U. S. Department of Health and Human Services, U. S. Food and Drug Administration, Center for Food Safety and Applied Nutrition, Office of Plant & Dairy Foods &

Beverages 24-25 Şubat 2003. (<http://vm.cfsan.fda.gov/~dms/acrybrow.html>).

- 9) Svensson K., Abramsson L., Becker W., Glynn A., Hellenas K.E., Lind Y. and Rosen J., 2003. Dietary intake of acrylamide in Sweden. *Food and Chemical Toxicology*, 41: 1581-1586.
- 10) Konings E.J.M., Baars A.J., Van Klaveren J.D., Spanjer M.C., Rensen P.M., Hiemstra M., Van Kooij J.A. and Peters P.W.J., 2003. Acrylamide exposure from foods of the Dutch population and an assessment of the consequent risks. *Food and Chemical Toxicology*, 41: 1569–1579.
- 11) Anonim 2005. Türk Gıda Kodeksi Gıda Maddeleri ile Temasta Bulunan Plastik Madde ve Malzemeler Tebliği, 2005/31.
- 12) Anonymous 2017. <http://www.fao-who-codexalimentarius/standarts/list-of-satandarts/en/> (Erişim tarihi: 21.02.2017)
- 13) Arvntiyoannis I. S. and Stratakos A. C., 2010. Irradiation of food Commodities. *Irradiation of Cereal*, 1: 451-464.
- 14) Aziz N.H., Souzan R.M. and Shahin Azza A., 2006. Effect of Gamma Irradiation On The Occurrence of pathogenic microorganisms and nutritive value of four principal cereal grains. *Applied Radiation and Isotopes*, 64: 1555–1562.
- 15) Agundez-Arvizu. Z., Fernandez-Ramirez M. V., Arce-Corrales M. E., Cruz-Zragoza E., Melendrez R., Chernov V. and Barboza-Flores M., 2006. Gama Radiation Effects on Commercial Mexican Bread Making Wheat Flour. *Nuclear Instrument and Methods in Physics Research*, B 245: 455-458.
- 16) Marathe S. A., Machaiah J. P., Rao B. Y. K., Pednekar M. D. and Sudha Rao V., 2002. Extension of shelf-life of whole-wheat flour by gamma radiation. *International Journal of Food Science and Technology*, 37: 163–168.
- 17) Dolinska R., Warchalewski J. R., Gralik J. and Jankowski T., 2004. Effect of g-radiation and microwave heating of wheat

grain on some starch properties in irradiated grain as well as in grain of the next generation crops. *Nahrung/Food*, 48(3): 195–200.

- 18) Gralik. J., and Warchalewski. J. R. (2006). The influence of g-irradiation on some biological activities and electrophoresis patterns of wheat grain albumin fraction. *Food Chemistry*. 99. 289–298.
- 19) Koksel H., Sapirstein H. D., Celik S. and Bushuk W., 1998. Effects of gamma-irradiation of wheat on gluten proteins. *Journal of Cereal Science*, 28: 243–250.
- 20) Teixeira A. H. M. C., Inamura P. Y., Uehara B. V. and Mastron. Ld., 2012. Gama radiation influence on technological characteristics of wheat flour. *Radiation Physics and Chemistry*, 81: 1160-1162.
- 21) Anonim 1999. Gıda Işınlama Yönetmeliği, 6/11/1999 tarih ve 23868 sayılı Resmi Gazete.
- 22) Anonim 2002. Gıda Işınlama Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılması Hakkında Yönetmelik, 15/10/2002 tarihli ve 24907 sayılı Resmi Gazete.
- 23) Anonim 2003. Gıda Işınlama Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, 19/12/2003 tarihli ve 25321 sayılı Resmi Gazete.
- 24) Vasiljevic S. and Banasik O.J., 1980. Quality Testing Methods for Durum Wheat and Its Products. Department of Cereal Chemistry and Technology, North Dakota State University, 134 p, Fargo, North Dakota.
- 25) Köksel H., Sivri D., Özboy Ö., Başman A. ve Karacan H., 2000. Hububat Laboratuvarı El Kitabı. Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları: 106s, Ankara.
- 26) Williams P., El-Haramein F.J., Nakkoul H. and Rihavi S., 1988. Crop quality evaluation methods and guidelines.

International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), 145s, Aleppo, Syria.

- 27) Anonymous, 2000. American Association of Cereal Chemists International, Approved Methods of the AACCI, 10th ed., Method No: 10-05, 10-10B, 26-21, 26-31, 38-12A, 44-15A, 46-30, 54-21, 54-50, 56-81B, The Association: St. Paul, MN., USA.
- 28) Özkaya H. ve Özkaya B., 2005. Öğütme Teknolojisi. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları: 30. 757s, Ankara.
- 29) Anonymous, 2005. Instruction Manual Glutograph-E, Brabender Measurement and Control Systems. Brabender GmbH&Co.KG. Kulturstr. 47055 Duisburg, Germany, p. 51-55.
- 30) Anonymous, 2008. International Association for Cereal Science and Technology Approved Methods, Standart No.116/1.
- 31) Shuey W.C., 1984. Interpretation of the farinogram, The farinograph handbook. Editörler: D'Appolonia, B.L., Kunerth, W.H. AACC Inc.: USA.
- 32) Özkaya H., Özkaya B. ve Colakoglu A.S., 2009. Technological properties of variety of soft and hard bread wheat infested by *Rhizoperta dominica* (F.) and *Tribolium confusum* du Val. Journal of Food, Agriculture and Enviroment, 7: 166-172.
- 33) Cavalli S., Maurer R. and Hofler F., 2003. Fast determination of acrylamide in food samples using ASE followed by Ion Chromatography with UV or MS detection. Proquest SCi. Tech Collection pg 35.
- 34) Li W., Dobraszeyk B. J., Dias A. and Bill A. M., 2006. Polymer conformation structure of wheat Protein and gluten subfraction revealed by ATR-FTIR. Crereal Chemistry, 83(4), 407-410.
- 35) Anonim, 2016a. Toprak Mahsulleri Ofisi 2016 Taslak Buğday Alım Baremi, <http://www.tmo.gov.tr/Main.aspx?ID=1524> (Erişim tarihi: 12 nisan 2017).

- 36) Anonim 2016b. Kalite Değerlendirme ve Gıda Bölümü Kurs Notları. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, 20 s, Ankara.
- 37) Alamri M., Manthey F., Mergoum M., Elias E. and Khan K., 2010. The Effects of Reconstituted Semolina Fractions on Pasta Processing and Quality Parameters and Relationship to Glutograph Parameters. *Journal of Food Technology*, 8:159-168.
- 38) Atlı A., Koçak N., Köksel H., Aktan B., Karababa E., Dağ A., Tuncer T., Dikmen B. ve Özkan Ş., 1988. Süne (*Eurygaster* spp.) ve Kımıl (*Aelia* sp.) Zararı Görmüş Tanelerin Ekmeklik Buğday Kalitesine Etkileri. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Yayınları: 2. 23s, Ankara.
- 39) Özkan M. ve Babaroğlu N.E., 2015. Süne. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü Yayınları, ISBN:978-605-9175-00-5, 170-171, 208 sayfa sayısı Ankara.
- 40) Blaszcak. W., Gralik. J., Klockiewicz-Kaminaska. E., Fornal. J. and Warchalewski. J. R. (2002). Effect of gamma-radiation and microwave heating on endosperm microstructure in relation to some technological properties of wheat grain. *Nahrung/Food*, 46(2): 122–129.
- 41) Atlı A., Ozan A.N. ve Karababa E., 1992. Alveograf Çalışmaları: Alveogram Değerleri İle Ekmeklik Buğday Kalitesini Belirleme Olanakları Üzerine Araştırmalar. *Un Mamülleri Dünyası*, 1(5):30-38.
- 42) Hruskova M. And Smejda P., 2003. Wheat Flour Dough Alveograph Characteristics Predicted by NIRSystems 6500. *Czech Journal of Food Science*, 21: 28-33.
- 43) Kong J. and Yu S., 2007. Fourier Transform Infrared spectroscopy analysis of protein secondary structure. *Acta Biochim Biophys Sin*, 39 (8), 549-559.

- 44) Damian G. and Canpean V., 2005. Conformational changes of bovine hemoglobin at different pH values studied by atr ftir spectroscopy. Romanian J. Biophys, 15 (1-4): 67-72.
- 45) Haris I.P. and Severcan F., 1999. FTIR spectroscopic characterization of protein structure in aqueous and non aqueous media. J. of Mol. Catal B: Enzymatic, 7: 207-221.
- 46) Saldamlı İ., 1998. Gıda kimyası. Hacettepe Üniversitesi Yayınları, 1. Baskı, 527 s, Ankara, Türkiye.
- 47) Gradadolnik J., 2002. A FTIR Investigation of protein conformation. Bulletin of the Chemists and Technologists of Macedonia, 21 (1): 23-24.

## YAYIN BİLGİ FORMU

<b>Rapor Bilgileri</b>	<b>1. Yayın Yılı/No</b> 2017/6
<b>2. Rapor Başlığı</b> IŞINLAMANIN AKRILAMİD MİKTARI ÜZERİNE ETKİSİ	<b>3. Yayın Kurulu</b> Tarih(Gün/Ay/Yıl)-No 28.09.2017/1-6
<b>4. Yazarlar</b> Dr. Mine UYGUN, Dr. Ece ERGUN, Turhan KÖSEOĞLU, Yük. Müh. Turgay ŞANAL, Dr. Asuman KAPLAN EVLİCE, Yük. Müh. Aliye PEHLİVAN, Dr. Tülin ÖZDEREN, Kazım KARACA	<b>5. Yayın Tipi</b> Teknik Rapor
<b>6. Çalışmayı Yapan Birimler</b> TAEK, Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, Nükleer Teknikler Bölümü, Gıda Birimi, Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Kalite Değerlendirme ve Gıda Bölümü	
<b>7. Destekleyen veya Ortak Çalışılan Kuruluşlar</b>	
<b>8. Özet</b> <p>Akrilamid, ısıtılma işlem görmüş gıdalarda proses sırasında oluşan kimyasal bir bileşiktir. Sağlık üzerinde olumsuz etkileri nedeni ile gıdalarda bulunan miktarı önem taşımaktadır. Bu amaçla Türkiye Atom Enerjisi Kurumu ve Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı-Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü-Kalite Değerlendirme ve Gıda Bölümü ile birlikte yürütülen proje kapsamında; farklı dozlarda ışınlanan (0, 1, 2, 3, 4, 5 ve 8 kGy) Tosunbey ve Bayraktar 2000 buğday çeşitlerinden elde edilen ekmeklerde akrilamid miktarı ve ışınlamanın buğday ve unun kalite özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda; ışınlamanın tanenin fiziksel özellikleri ve protein oranına etkisi olmamıştır. Fakat gluten kalitesini olumsuz etkilemiştir. Alfa amilaz aktivitesini arttırmış, ekmek özelliklerine etkisi çeşide göre değişmiştir. Ayrıca ışınlama dozlarının artışı ile ekmekte L parlaklık değerinde azalma, a kırmızılık ve b sarılık değerinde ise bir artış belirlenmiştir. Işınlama dozlarının glutenin ikincil yapısında bir değişmeye neden olmadığı ve akrilamid miktarı üzerine bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.</p>	
<b>9. Anahtar Kelimeler</b> Işınlama, akrilamid, buğday, un, ekmek	<b>10. Gizlilik Derecesi</b> Tasnif Dışı

### GİZLİLİK DERECELERİ

**TASNİF DIŞI (UNCLASSIFIED):** İçerdiği konu itibarıyla, gizlilik dereceli bilgi taşımayan, ancak devlet hizmetiyle ilgili bilgileri içeren evrak, belge ve mesajlara verilen en düşük gizlilik derecesidir.

**HİZMETE ÖZEL (RESTRICTED):** İçerdiği konu itibarıyla, gizlilik dereceli konular dışında olan, ancak güvenlik işlemine ihtiyaç gösteren ve devlet hizmetine özel bilgileri içeren evrak, belge ve mesajlara verilen gizlilik derecesidir.

**ÖZEL (CONFIDENTIAL):** İçerdiği konu itibarıyla, izinsiz olarak açıklandığı takdirde, milli menfaatleri olumsuz yönde etkileyecek evrak, belge ve mesajlara verilen gizlilik derecesidir.

**GİZLİ (SECRET):** İzinsiz açıklandığı takdirde, milli güvenliği, milli prestij ve menfaatleri ciddi ve önemli bir şekilde zedeleyecek olan evrak, belge ve mesajlara verilen gizlilik derecesidir.



**TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU**