# FARKLI IŞINLAMA DOZLARININ HAMBURGER KÖFTELERİN BAZI FİZİKSEL, KİMYASAL VE DUYUSAL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

**Ayça AYLANGAN[1*], Halil VURAL[2]**

[1] TAEK, Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, Ankara

[2] Hacettepe Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Ankara

**Özet**

Bu çalışmada, hamburger köftesi örneklerine 0.4 kGy; 0.8 kGy ve 1.2 kGy olmak üzere üç farklı ışınlama dozu uygulanmış ve örnekler iki farklı depolama sıcaklığında (+4 °C ve -12 °C) sırasıyla 8 gün ve 30 gün depolanmıştır. Çiğ örneklerde lipit oksidasyonu seviyesini belirlemek amacıyla tiyobarbütirik asit (TBA) analizi uygulanmış ve protein yapısındaki değişimler Azalan Tam Yansıma Spektroskopisi (ATR-FTIR) ile belirlenmiştir. TBA analizi sonucunda, +4 °C'da depolanan örneklerde 3.18-1.03 mg malonaldehit/kg örnek, -12 °C'da depolanan örneklerde ise 1.78-1.03 mg malonaldehit/kg örnek aralığında tespit edilmiştir. Işınlama dozlarının protein yapısındaki α-sarmal ve β-düzlemsel tabakanın % değerleri ve α-sarmal/β-düzlemsel tabaka oranında önemli bir farklılığa yol açmadığı bulunmuştur. Çiğ ve pişmiş örneklerde duyusal analiz yapılmış, elde edilen sonuçlar renk ve tekstür ölçümleri ile desteklenmiştir. Uygulanan düşük ışınlama dozlarının tekstür ve renk parametrelerine etkisi önemsizdir. Panelistler eşliğinde yapılan duyusal analiz sonucunda da uygulanan ışınlama dozlarının duyusal özelliklere etkisi önemsiz bulunmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Işınlama, hamburger köftesi, TBA, ATR-FTIR, duyusal analiz

---

[1] * Yazışmalardan sorumlu yazar/Corresponding author;

Tel: (+90) 312 810 17 36 Faks: (+90) 312 815 43 07 E-posta: ayca.aylangan@taek.gov.tr

# EFFECTS OF DIFFERENT RADIATION DOSES ON SOME PHYSICAL, CHEMICAL and SENSORY PROPERTIES OF HAMBURGER MEATBALLS


## Abstract

In this study, three different irradiation doses, 0.4 kGy, 0.8 kGy and 1.2 kGy were applied to hamburger samples. Samples were stored for 8 and 30 days at two different storage temperature (+4 °C and -12 °C). Thiobarbituric acid (TBA) analysis was performed in order to determine the lipid oxidation level and the variation of the protein structure were determined by ATR-FTIR in uncooked samples. As a result of TBA analysis, TBA values determined in the samples stored at +4 °C within the the range of 3.18-1.03 mg malonaldehyde/kg and 3.18-1.03 mg malonaldehyde/kg sample range stored at -12 °C would not create a negative value in the consumption of the product. It was determined that the effect of irradiation dose on the % value of the α-helix and β-sheet and the ratio of α-helix/β-sheet was insignificant. The effect of low irradiation doses on the texture and color parameters were insignificant in cooked and uncooked samples. As a result of the sensory analysis, the effect of the irradiation doses on the sensory properties were found to be insignificant.



**Keywords:** Irradiation, hamburger meatballs, TBA, ATR-FTIR, sensory evaluation


## GİRİŞ

Işınlama teknolojisi et ürünlerinin güvenliğinin geliştirilmesi için yaygın olarak çalışılan konulardan biridir (1). Et endüstrisinde ışınlamanın kullanımı ile ilgili düzenleyici çalışmalar 1950'li yıllarda başlamıştır. Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi (United State Food and Drug Administration, FDA) 1997 yılında bu teknolojinin kırmızı ette uygulanmasını

onaylamış ve daha sonra 2000 yılında Amerika Birleşik Devletleri Tarım Dairesi'nin (United State Department of Agriculture, USDA) onayı ile teknolojinin kırmızı ette kullanımı son şeklini almıştır (2). USDA tarafından kanatlı etleri için 2.5 kGy, taze ve dondurulmuş kırmızı et için sırasıyla 4.5 ve 7.0 kGy'e kadar olan ışınlama dozları kabul edilmiştir (3). Ülkemizde ışınlama işlemi farklı gıda gruplarına belli teknolojik amaçları gerçekleştirmek için uygulanmaktadır. Bu amaçla hazırlanan 06.11.1999 tarih ve 23868 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan Gıda Işınlama Yönetmeliği'nde gıda grupları ve uygulanacak ışınlama dozları ayrıntılı olarak belirtilmiştir (4). Gıda Işınlama Yönetmeliği, Avrupa Birliği uyum yasaları çerçevesinde sırasıyla 15.10.2002/24907 ve 19.12.2003/25321 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan yönetmeliklerle son şeklini almıştır (5, 6).

Işınlanmış et ve et ürünleri ile ilgili en önemli konulardan biri; serbest radikallerin reaksiyonları nedeniyle renk değişiklikleri oluşması, lipit oksidasyonu ve istenmeyen koku gelişimi ve tüketicilerin bu değişiklikleri çoğu zaman olumsuz değerlendirmeleridir (7).

Günümüzde tüketicilerin bir kısmının hâlâ ışınlama işleminin gıdaları radyoaktif hale getirebileceğini düşünmeleri ve bir takım nükleer enerji karşıtı grupların bu konudaki faaliyetleri sonucu ışınlamanın kabul edilebilirliği henüz arzulanan seviyeye ulaşmamıştır (8). Yapılan araştırmalarda, tüketicilere ışınlama işlemi ve ışınlanmış gıdalar ile ilgili doğru bilgi verildiğinde, ışınlanmış gıdaları tercih etme eğilimi gösterdikleri tespit edilmiştir. Ayrıca, uygun eğitimin yanı sıra ışınlama yapan firmalar uygun promosyon ve bilgilendirme tekniklerini kullanırlarsa bu teknolojiden dünya çapında daha etkin şekilde faydalanılabileceği düşünülmektedir (9).

Bu çalışmada hamburger köftelerin muhafazası amacıyla ışınlama teknolojisi kullanılmış ve bu amaç doğrultusunda, iki farklı depolama sıcaklığında, ürünün bazı fiziksel, kimyasal ve duyusal özellikleri incelenmiştir.

## MATERYAL VE YÖNTEM

### Materyal

Kıyma

Bu çalışmada örnek olarak, Ankara iline bağlı Çankaya ilçesinde bir kasaptan temin edilen antrikot kıyma hamburger yapımı için kullanılmıştır. Hamburger hazırlanışı % 0.8 oranında NaCl kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Işınlama kaynağı

Işınlama işlemi, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK), Ankara Sarayköy Nükleer Eğitim ve Araştırma Merkezi'nde (SANAEM) bulunan ve Teknoloji Bölümü, Dozimetre Birimi tarafından işletilen Gama Işınlama Tesisi bünyesindeki, deneysel amaçlar için kullanılan Gama-hücresinde yapılmıştır. Bu çalışmada, uygulanan ışınlama dozlarını tespit edebilmek amacıyla 0.1 – 3 kGy'lik doz aralığında ölçüm yapabilen Harwell perspex dozimetreler (Harwell Gammachrome YR®, Perspex Dosimeter, Batch 62, Harwell, UK) kullanılmıştır.

## Yöntem

### Hamburger köftesi örneklerinin ışınlanması ve depolanması

Hamburger köftesi örnekleri 0.4, 0.8 ve 1.2 kGy dozlarda ışınlanmıştır. Işınlanmamış hamburger köftesi örnekleri kontrol olarak ayrılmıştır. Örneklerin depolanmaları için +4 °C ve -12 °C olmak üzere iki farklı sıcaklık seçilmiş, +4 °C'da 0.; 2.; 5. ve 8. gün, -12 °C'da depolanan hamburgerlerde ise 0.; 2.; 5.; 8.; 15. ve 30. günlerde Tiyobarbütirik asit (TBA) ve duyusal analizler yapılmıştır. Ön denemede Azalan Tam Yansıma (ATR-FTIR) spektroskopi sonuçları da incelenmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda ışınlamayı takiben 0. gün, +4 ºC ve -12 ºC'daki depolamalar için 8. günü ve -12 ºC'da depolanan örnekler için 30. gün analizleri yapılmıştır.

### Örneklerdeki lipit oksidasyonunun belirlenmesi

Çiğ hamburger köftesi örneklerinde lipit oksidasyon derecesini belirlemek amacıyla TBA analizi yapılmıştır (10). Örneklerin TBA değeri malonaldehit miktarına göre belirlenmiştir. TBA değeri (mg malonaldehit/kg örnek) = 7.8 x Absorbans değeri şeklinde hesaplanmıştır (11,12).

### Protein yapısındaki değişimin incelenmesi

Çiğ hamburger köftelerde, ışınlamanın protein yapısı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla ATR-FTIR spektroskopisi kullanılmıştır (13, 14). FTIR spekroskopisi proteinlerin ikincil yapılarındaki değişimleri incelemek amacıyla yeni kullanılmaya

başlanan bir yöntemdir. Bu yöntem ile 1660 $cm^{-1}$'lik Amid 1 bölgesinde α-sarmal ve β-düzlemsel tabakada gözlenen değişimler incelenebilmektedir (15). Bu amaçla Gangidi ve ark. (16) tarafından geliştirilen yöntem uygulanmıştır. Homojen hale getirilmiş hamburger köftelerinden alınan örnekler (yaklaşık 1 g) yatay ATR ZnSe tablasına konulmuştur. 1000 – 4000 $cm^{-1}$'lik bölgede, 8 $cm^{-1}$ çözünürlükte, 16 tarama yapılarak absorbans sonuçları alınmıştır. Örnekler tarama yapılmadan önce, referans olarak boş ATR kristali kullanılarak background spektrumu alınmıştır. Her bir örnek için 6 tekrarlı tarama yapılarak sonuçlar piklerin ortalamaları alınarak verilmiştir.

Hamburger köftelerin pişirilmesi

Soğutularak ve dondurularak depolanan hamburger köftelerde duyusal analiz için pişirme işlemi elektrikli fırının (Bosch) ızgara seçeneği kullanılarak yapılmıştır. Fırın sıcaklığı 200 °C'ye ayarlanmış, pişirme süresi köftelerin her iki yüzü için 7 dakika olarak belirlenmiştir. Köftelerin pişme sonunda iç sıcaklıkları (80 °C ± 2) dereceli ısıl çifti (Multi - thermometer) ile ölçülmüştür.

Hamburger köftelerin renk ölçümlerinin yapılması

Çiğ ve pişmiş hamburger köftesi örneklerinde, ışınlama işleminin raf ömrü süresince renk değişiklikleri üzerine etkisi Minolta spektrofotometre (CM 3600 d) cihazı kullanılarak yapılmıştır. Hunter-Lab'ın üç farklı aksı (CIE L*, a*, b*) değişik renkleri temsil etmektedir. L* aksı aydınlık aksı olarak belirlenmiştir. a* aksı kırmızı-yeşil aksı, b* aksı sarı - mavi aksı'dır. Akslardaki değişimler rengi belirlemektedir. Ayrıca, kırmızılık ve sarılık arasındaki renk ilişkisini gösteren hue ve renk yoğunluğunu temsil eden chroma değerleri de şu eşitlikler ile hesaplanmıştır (17). Hue=$\tan^{-1}$b*/a*; Chroma=$\sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$

## Hamburger köftelerin tekstür ölçümlerinin yapılması

Çiğ ve pişmiş hamburger köftesi örneklerinde tekstür profil analizi (18) Texture Analyser (Ametek Lloyd Instruments Ltd. UK) aletiyle Warner Bratzier kesme bıçak seti kullanılarak saptanmıştır. Tekstür kriterleri olarak sertlik, elastikiyet, bağlayıcılık, gam özelliği, çiğnenebilirlik ve yapışkanlık değerindeki değişimler incelenmiştir (19). Bu amaçla, 1 cm çapında silindirik prob kullanılmış, 10 mm'lik örnek yüksekliğinin % 70'ine baskı uygulanmış ve probe hızı 100 mm/dk olarak ayarlanmıştır.

## Duyusal analizler

Hamburger köftelerdeki dış görünüş, renk, yapı ve tat/koku gibi duyusal parametreleri incelemek amacıyla Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, Uygulama Bölümü, Gıda Birimi personelinden eğitilmiş 5 paneliste duyusal test yaptırılmıştır. Her bir paneliste beyaz plastik tabaklarda çiğ ve pişirilmiş örnekler birlikte verilmiştir. Dokuzlu skalaya göre yapılan değerlendirmede 9= mükemmel, 8= çok iyi, 7= iyi, 6= orta, 5= kabul edilebilir, 4= az kusurlu, 3= kusurlu, 2= kötü ve 1= çok kötü anlamına gelmektedir.

## İstatistiksel analiz

Deneysel çalışmalarda elde edilen verilerin istatistiksel değerlendirilmesinde; SPSS 15.0 Windows paket programı kullanılmış, öncelikle varyans çözümlemesi tekniği ve ardından önemli bulunan değişkenlere Duncan testi uygulanmıştır (20). Denemeler dört tekrar olarak gerçekleştirilmiştir.

## SONUÇLAR VE TARTIŞMA

### Lipit Oksidasyonu Sonuçları

Çiğ hamburger köftesi örneklerinde lipit oksidasyonunun belirlenmesi için yapılan TBA analizi sonuçları +4 °C'da depolananlar için Şekil 1 ve -12 °C'da depolananlar için Şekil 2'de gösterilmiştir. Analiz ışınlamanın yapıldığı gün başlatılmış ve ilgili şekillerde bu 0. gün olarak ifade edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda +4 °C'da depolanan örneklerin TBA değerleri üzerine depolama zamanının etkisi önemli bulunmuştur ($P$<0.05). Uygulanan ışınlama dozları incelendiğinde sadece 0.4 kGy ile ışınlanmamış kontrol örneği, 0.8 kGy ve 1.2 kGy dozları arasındaki farkların önemli ($P$<0.05) olduğu gözlenmiştir. -12 °C'da depolanan örneklerde ışınlanmamış kontrol örneği ile 0.4 kGy arasındaki fark ve 0.8 kGy ile 1.2 kGy arasındaki farklar önemsiz bulunmuştur. Ayrıca, kontrol örneği ile en yüksek ışınlama dozu olan 1.2 kGy arasındaki fark da önemsizdir. -12 ºC'da yapılan depolamada TBA değerlerine depolama zamanın da etkisi de önemsiz bulunmuştur.

Şekil 1.

Lipitler, ışınlama işleminde en duyarlı gıda bileşeni olmasına rağmen bu çalışmada uygulanan dozların düşük olması sebebiyle, bu ışınlama dozlarının her iki depolama sıcaklığında da lipitler üzerine oksidasyon etkisi gösterdiği söylenememektedir. TBA değerinin iyi kalitede bir ürün için 5 mg malonaldehit/kg örnekten daha düşük değerde olması gerektiği ve ayrıca gıda için en yüksek TBA tüketim sınırı yaklaşık olarak 7-8 mg malonaldehit/kg örnek olduğu belirtilmiştir (21). Greene ve Cumuze (22) ise pişmiş dana etinde yaptıkları çalışmada TBA değeri bozulma sınırını 2 mg malonaldehit/kg örnek olarak belirtmişlerdir. Greene ve Cumuze (22) tarafından verilen değer dikkate alındığında; +4 °C'da depolanan kontrol ve 0.4 kGy'lik doz uygulanan örnek depolamanın 5.günü

sonunda, 0.8 kGy ve 1.2 kGy doz uygulanan örnek ise depolamanın 2.günü TBA yönünden bozulma sınırını aştığı görülmektedir.

Şekil 2.

-12 °C'da depolanan örneklerde TBA değerinin daha düşük sınırlarda olmasının sebebi ise dondurularak depolamada lipit oksidasyonuna neden olan serbest radikallerin hareketlerinin sınırlı olmasıdır. Ayrıca, dondurularak veya soğutularak depolama sırasında pişmiş etler çiğ etlere göre lipit oksidasyonundan daha çabuk etkilenmektedirler. Bunun nedeni olarak, et lipitlerinde meydana gelen oksidasyonun ısıtma işlemiyle artması gösterilmektedir (23). Hamburger köftelerle yapılan bu çalışmada, örneklerde çiğ olarak TBA analizi yapılmış ve bu nedenle ışınlama dozlarının etkisi düşük düzeyde gözlenmiştir.

**ATR-FTIR Spektroskopi Sonuçları**

Bu çalışmada FTIR spektroskopisi ile çiğ hamburger köftesi örneklerinde ışınlamanın etkisiyle proteinlerde meydana gelebilecek yapısal ve konformasyonel değişiklikleri hızlı bir şekilde inceleyebilmek amaçlanmıştır. Analiz ışınlamanın yapıldığı gün başlatılmış ve Çizelge 1'de bu 0. gün olarak ifade edilmiştir. Örnekler için 1000 – 4000 $cm^{-1}$ bölgede elde edilen Infrared Spektrumları arasında önemli bir farklılık gözlenmemiştir.

Proteinlerin ikincil yapısı temel olarak α-sarmal ve β-düzlemsel tabakadan oluşmaktadır. Amid I bantında α-sarmal tipik olarak 1648-1658 $cm^{-1}$ dalga boyunda pik verirken, β-düzlemsel tabaka 1620-1640 $cm^{-1}$'de absorbans vermektedir. Haris ve Severcan (15) infrared spektroskopisinin hidrojen bağlarında meydana gelen değişikliklere karşı oldukça duyarlı olduğunu ve bu sayede protein yapısındaki değişikliklerin gözlenebileceğini vurgulamışlardır. Protein değeri sadece toplam protein içeriğine değil, proteinin iç yapısı,

gıdanın matriksine de bağlıdır. Proteinin iç yapısı proteinin gastrointestinal sindirim enzimleri ile etkileşimini etkilemektedir. Proteinin besleyici değeri, sindirilebilirliği ve yararlılığı doğrudan iç yapısında bulunan α-sarmal ve β-düzlemsel tabakaya bağlı değildir. Ancak, protein tipleri ve bunların sindirim sistemindeki enzimatik hidrolize yatkınlığı büyük ölçüde proteinin iç yapısı ile ilgilidir. Yüksek α-sarmal/β-düzlemsel tabaka oranı intestinal sindirim enzimleriyle etkileşimi azaltarak, protein değerinin azalmasına neden olabilmektedir. Aynı protein içeriğine sahip gıdalar, proteinlerin ikincil yapısındaki α-sarmal ve β-düzlemsel tabaka oranı farklı ise besleyici değerleri farklı olabilmektedir (24). α-sarmal ve β-düzlemsel tabaka oranının protein kalitesi ile ilgili temel bir bilgi verdiği söylenebilir. Çizelge 1'de ışınlanmış ve kontrol hamburger köftelerin FTIR spektrumları dikkate alınarak OPUS (Optics Users Software) bilgisayar programı kullanılarak hesaplanan α-sarmal ve β-düzlemsel tabaka'nın % değerleri, α-sarmal/β-düzlemsel tabaka oranı verilmiştir.

Keten tohumu ile yapılan bir çalışmada kızartma gibi yüksek sıcaklık uygulamasının α-sarmal değerini düşürdüğü, β-düzlemsel tabaka'yı ise arttırdığı gözlenmiştir. Bu değerlere bağlı olarak α-sarmal/β-düzlemsel tabaka oranının 1.3'den 0.7'ye düştüğü belirtilmiştir (24). Yüksek sıcaklık uygulamasının proteinin ikincil yapısında meydana getirdiği değişikliklere kıyasla, bu çalışmada uygulanan ışınlama dozları α-sarmal ve β-düzlemsel tabaka'nın % değerleri, α-sarmal/β-düzlemsel tabaka oranında önemli bir farklılığa yol açmamıştır. Yapılan istatistik sonucunda da α-sarmal/β-düzlemsel tabaka oranının istatistik olarak önemsiz olduğu bulunmuştur.

Çizelge 1.

**Tekstür, Renk ve Duyusal Analiz Sonuçları**

+4 °C ve -12 °C'da depolanan örneklerde çiğ olarak yapılan tekstür ölçümlerinde istatistik olarak gam özelliği ve yapışkanlık değerlerindeki değişiklikler önemsiz olarak

bulunmuştur. Çiğnenebilirlik, sertlik ve elastikiyet için zaman önemli ($P$<0.05), ışınlamanın etkisi istatistik olarak önemsizdir. Bağlayıcılık değerinde ise +4 °C'da depolanan örneklerde zaman önemli ($P$<0.05) bulunurken, -12 °C'da depolanan örneklerde bağlayıcılık değerindeki değişimler istatistik olarak önemsiz bulunmuştur. Pişmiş örneklerde ise +4 ºC'da yapılan depolamalarda tüm parametreler için uygulanan ışınlama istatistik olarak önemsiz olarak bulunmuştur. Buna ek olarak çiğnenebilirlik, gam özelliği için zaman, bağlayıcılık için zaman önemli ($P$<0.05) bulunmuştur. -12 ºC'da depolanan ve pişirilerek tekstür değerleri ölçülen örnekler için ise çiğnenebilirlik, gam özelliği, sertlik için istatistik olarak zaman ve ışınlama önemli ($P$<0.05), bağlayıcılık değerinde gözlenen değişimler önemsiz, elastikiyet için zaman önemli ($P$<0.05) olarak bulunmuştur.

Rababah ve ark. (25) 3 kGy'lik dozda ışınlanan tavuk göğüs etinde sertlik ve bağlayıcılık gibi tekstürel parametrelerde, Johnson ve Resurreccion (26) 1, 2 ve 3 kGy dozlarda ışınlanan sosis örneklerinde sertlik, bağlayıcılık, çiğnenebilirlik ve elastikiyet, Cabeza ve ark. (27) 1, 2 ve 3 kGy'lik dozlarda ışınlanan kuru fermente sosislerin sertlik, yapışkanlık, bağlayıcılık ve elastikiyet parametrelerinde, Lee ve Ahn (28) erik özütü katılan 3 kGy dozda ışınlanan tavuk göğsü örneklerinde 7 günlük depolama boyunca tekstürel özelliklerde önemli bir değişiklik olmadığını belirtmişlerdir.

Renk, et veya et ürünlerinde tüketici kabulunü etkileyen en önemli kalite kriterlerinden biridir. Temel olarak ışınlama ile ortaya çıkan renk değişimleri ışınlama sırasında karbonmonoksit oluşumu ile ilgilidir ve karbonmonoksit–myoglobin kompleksinin oluşumunun kırmızılığı arttırdığı belirtilmektedir (7). +4 °C'da depolanan çiğ örnekler değerlendirildiğinde a* değerinin 8. gün'de 1,2 kGy dozda ışınlanan örneklerde arttığı görülmüştür. Yüksek a* değerinin daha fazla kırmızılık anlamına geldiği belirtilmektedir. Işınlama sonrası kürlenmemiş ve pişmiş örneklerde a* değerindeki artış birçok araştırıcı

tarafından da gözlenmiştir. Ancak, nitrit veya nitritsiz yapılan kürlemelerde ışınlamanın et rengine olumsuz bir etkisinin olmadığı belirtilmektedir. +4 ºC'da depolanan çiğ olarak renk ölçümü yapılan örneklerde tüm renk parametreleri için ışınlama ve zamanın etkisi önemsiz olarak bulunmuştur. Bu örneklerin pişirilmesi sonucu yapılan ölçümler sonucunda a ve h değerleri arasındaki farklılıklar istatistik olarak önemsiz bulunurken, L değeri için sadece zaman önemli ($P$<0.05), b ve c değerleri için ışınlama önemli ($P$<0.05) bulunmuştur. -12 ºC'da depolanan örneklerde ise L ve h değerleri istatistik olarak önemsiz bulunurken, a değeri için ışınlama, b ve c değerleri için zaman istatistik olarak önemli ($P$<0.05) bulunmuştur. Ayrıca, bu örneklerin pişirilmesi sonucu yapılan ölçümler sonucunda h değeri için sadece zaman önemli ($P$<0.05), diğer parametreler için ise zaman önemli ($P$<0.05) bulunmuştur.

Duyusal analiz ışınlamanın yapıldığı gün başlatılmış ve Çizelge 2 ve Çizelge 3'te bu 0. gün olarak ifade edilmiştir. +4 ºC ve -12 ºC'da depolanan hamburger köftesi örneklerinin duyusal analiz sonuçları sırasıyla Çizelge 2 ve Çizelge 3'de gösterilmiştir. Soğutularak ve dondurularak depolanan örneklerde duyusal analiz sonuçları incelendiğinde bu çalışmada uygulanan dozların duyusal özellikler açısından istatistiksel olarak önemsiz olduğu bulunmuştur. Panelistler ışınlanmış ve ışınlanmamış örneklere benzer puanlar vermişlerdir. Hayvan kaynaklı bazı gıdalarda "ışınlanmış tat"'ın belirlenebilmesi için eşik doz değeri vardır. Bu eşik doz değeri, türler arasında farklılık göstermektedir. Örneğin bu değer dana eti için 2.5 kGy iken, hindi için 1.5 kGy'dir (29). Ancak, Chirinos ve ark. (30) 0.8, 1.0 ve 1.2 kGy'lik dozda ışınladıkları hamburgerlerde yaptıkları duyusal değerlendirme sonucunda, 1.2 kGy'lik dozda ışınlanan hamburgerlerde istenmeyen tat ve koku oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Bu çalışmada, hamburger köfteleri için uygulanan ışınlama dozlarının (0.4, 0.8 ve 1.2 kGy) eşik doz değerlerinin altında olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 2.

Çizelge 3.

Yapılan bu çalışmada, depolama zamanına bağlı olarak panelistlerin puanlarında düşme gözlenmiştir. Özellikle +4 °C'da yapılan depolamanın 8.gününde verilen değerler 0.gün ile kıyaslandığında oldukça düşüktür. İstatistik olarak da zaman faktörü önemli ($P$<0.05) bulunmuştur. +4 ºC'da depolanan hamburger köftesi örneklerinde renk, yapı ve tat/koku parametreleri incelendiğinde, depolamanın 8. günü diğer depolama süreleri ile karşılaştırıldığında fark istatistik olarak önemli bulunmuştur ($P$<0.05). Dış görünüş açısından ise depolamanın 2. günü ile 8. günü arasındaki fark önemlidir ($P$<0.05). -12 ºC'daki depolama sonuçları incelendiğinde ise dış görünüş ve yapı açısından 2. gün ile depolamanın son günü olan 30.gün arasındaki fark, renk açısından depolamanın ilk günü, 2. günü ve 5. günü ile 30. günü arasındaki fark ve tat/koku parametreleri açısından depolamanın 2. günü ile 15. ve 30. günleri arasındaki fark önemli ($P$<0.05) bulunmuştur. Tavuk etinin 0.75, 3.0 ve 5.0 kGy ışınlanması ve 9 ay boyunca dondurularak depolaması sonucu yapılan bir çalışmada, panel sonucunda uygulanan dozların önemli bir etkisinin olmadığı belirtilmiştir (31). Et ürünlerinde yapılan ışınlamalarda yüksek dozlar (örneğin 3 kGy) uygulandığında ve depolama süresi arttıkça duyusal açıdan olumsuzluklar ortaya çıktığı bildirilmiştir (32). Işınlama lipit kısmında izooktan-çözünür karbonil bileşiklerinin ve etin protein kısmında düşük molekül ağırlıklı asitte çözünür karbonillerin oluşumuna sebep olmaktadır. Işınlama dozu arttıkça bu bileşiklerde artış gözlenirken, pişirme işleminin oluşan bileşiklerin miktarını azalttığı bildirilmiştir (33). Bu çalışmada, panelistlere tadım için verilen örnekler pişirildiği için oluşması muhtemel istenmeyen koku ve tat bileşiklerinin panelistler tarafından fark edilmesi güçleşmiş, bu nedenle duyusal değerlendirme puanları yakın değerlerde olmuştur. Bütün bu değerlendirmelerin ışığında, bu çalışmada uygulanan düşük ışınlama dozlarının (0.4 kGy, 0.8 kGy ve 1.2 kGy)

hamburger köftelerin fiziksel, kimyasal ve duyusal özellikleri üzerinde önemli sayılabilecek olumsuzluk yaratmadığı sonucuna varılabilir.

## Kaynaklar


1. Kwon JH, Kwon Y, Nam KC, Lee EJ, Ahn DU. 2008. Effect of electron-beam irradiation before and after cooking on the chemical properties of beef, pork and chicken. *Meat Sci*, 80, 903 – 908.

2. Edwards JR, Fung DYC. 2006. Prevention and decontamination of *Escherichia coli* O157:H7 on raw beef carcasses in commercial beef abattoirs. *J Rapid Methods Auto Microbiol*, 14, 1-95.

3. Anon. 1999a. USDA. Food safety and inspection service. Irradiation of Meat Food Product. Final Rule. 9 CFR Parts 381 ve 424, Part II.

4. Anon. 1999b. Gıda Işınlama Yönetmeliği. 06.11.1999 tarih ve 23868 sayılı Resmi Gazete, Ankara.

5. Anon. 2002. Gıda Işınlama Yönetmeliğinde değişiklik yapılması hakkında yönetmelik. 15.10.2002 tarih ve 24907 sayılı Resmi Gazete, Ankara.

6. Anon. 2003a. Gıda Işınlama Yönetmeliğinde değişiklik yapılması hakkında yönetmelik. 19.12.2003 tarih ve 25321 sayılı Resmi Gazete, Ankara.

7. Cava R, Tarrega R, Ramirez MR, Mingoarranz FJ, Carrasco A. 2005. Effect of irradiation on colour and lipid oxidation of dry-cured hams from free-range reared and intensively reared pigs. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 6, 135-141.

8. Gezgin Z. 2005. Gama ışınlarının çiğ köftenin mikrobiyel güvenliği ve kalitesine etkileri, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye, 69 s.

9. Hunter C. 2000. Changing attitudes to irradiation throughout the food chain. *Radiat Phy. Chem*, 57, 239 – 243.

10. Pikul J, Leszczynski DE, Kummerow F. 1989. Evaluation of three modifie TBA methods for measuring lipid oxidation in chicken meat. *J Agri Food Chem*, 37, 1309-1313.

11. Tarladgis BG, Watts BM, Younathan MT. 1960. A distillation method for the quantitative determination of malonnaldehyde in rancid foods. *J Am Oil Chem Soc*, 37, 44-48.

12. Tarladgis BG, Pearson AM, Dugan LR. 1962. The chemistry of the 2-TBA test for the determination of oxidative rancidity in foods, Some important side reactions. *J Am Oil Chem Soc*, 39, 34-39.

13. Kirschner C, Ofstad R, Skarpeid HJ, Host V, Kohler A. 2004. Monitoring of denaturation processes in aged beef loin by Fourier Transform Infraraed Microspectroscopy. *J Agric Food Chem*, 52, 3920-3929.

14. Muyonga JH, Cole CGB, Duodu KG. 2004. Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopic study of acid soluble collagen and gelatin from skins and bones of young and adult Nile perch (Lates niloticus). *Food Chem*, 86, 325-332.

15. Haris PI, Severcan F. 1999. FTIR spectroscopic characterization of protein structure in aqueous and non-aqueous media. *J Mol Catal B Enzym*, 7, 207-221.

16. Gangidi RR, Proctor A, Pohlman FW. 2003. Rapid determination of spinal cord content in ground beef by attenuated total reflectance fourier transform infrared spectroscopy. *J Food Sci*, 68, 1, 124-127.

17. Devatkal S, Mendiratta SK, Kondaiah N. 2004. Quality characteristics of loaves from buffalo meat, liver and vegetables. *Meat Sci*, 67, 3, 377-383.

18. Bourne MC. 1978. Texture Profile Analysis. *J of Food Technol*, 32 (7), 62-66, 72.

19. Anon. 2003b. Texture analyser user manuel. Warner bratzler shear blade set instructions. Ametek Lloyd Instruments Ltd, Fareham, Hants, UK.

20. Eymen UE. 2007. SPSS 15.0 ile veri analizi. İstatistik Merkezi. http://www.istatistikmerkezi.com/e-kitap,spss-150-ile-veri-analizi,19.html, 168 s.

21. Yıldırım I, Uzunlu S, Topuz A. 2005. Effect of gamma irradiation on some principle microbiological and chemical quality parameters of raw Turkish meat ball. *Food Control*, 16, 363-367.

22. Greene BE, Cumuze TH. 1982. Relationship between TBA numbers and inexperienced panelist's assessments of oxidized flavor in cooked beef. *J Food Sc.*, 47, 52-58.

23. Johnson AM, Resurreccion AVA. 2009. Sensory profiling of electron-beam irradiated ready-to-eat poultry frankfurters. *LWT-Food Sci Technol,* 42, 265-274.

24. Yu P. 2007. Protein molecular structures, protein subfractions, and protein availability affected by heat processing: A review. *Am J Biochem Biotechnol*, 3, 2, 66-86.

25. Rababah T, Hettiarachchy NS, Eswaranandam S, Meullenet JE, Davis B. 2005. Sensory evaluation of irradiated and nonirradiated poultry breast meat infused with plant extracts. *J of Food Sci*, 70, 3, 228 – 235.

26. Johnson AM, Resurreccion AVA. 2009. Sensory profiling of electron-beam irradiated ready-to-eat poultry frankfurters. *LWT-Food Sci and Technol*, 42, 265 – 274.

27. Cabeza MC, de la Hoz L, Velasco R, Cambero MI, Ordonez JA. 2009. Safety and quality of ready-to-eat dry fermented sausages subjected to E-beam radiation. *Meat Sci*, 83, 2, 320-327.

28. Lee E, Ahn D. 2006. Quality characteristics of irradiated turkey breast rolls formulated with plum extract. *Animal Industry Report,* Iowa State University, A.S. Leaflet R2133.

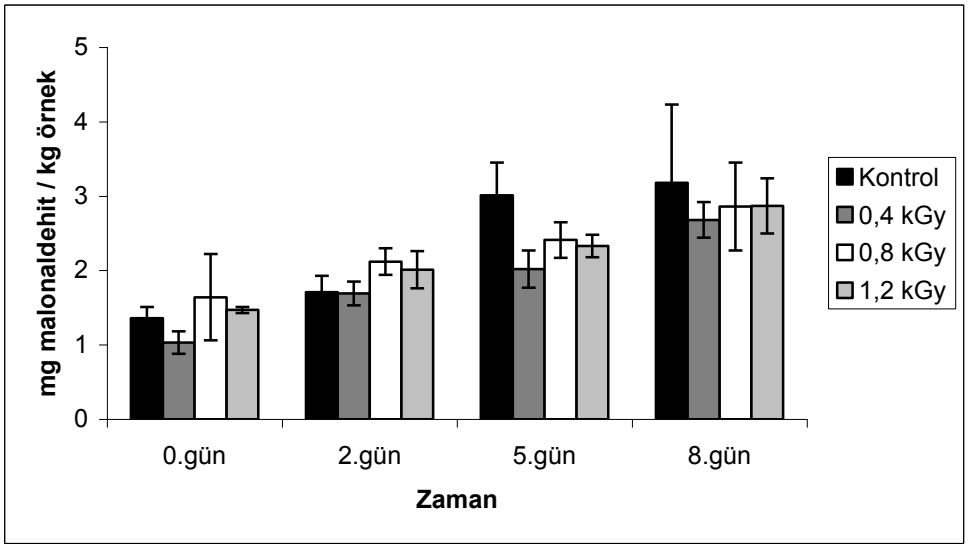
29. Farkas J. 1998. Irradiation as a method for decontaminating food, A review. *Int J Food Microbiol*, 44, 189-204.

30. Chirinos RRO, Vizeu DM, Destro MT, Franco BDGM, Landgraf M. 2002. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 in hamburgers by gamma irradiation. *Braz. J. Microbiol*., 33, 53-56.

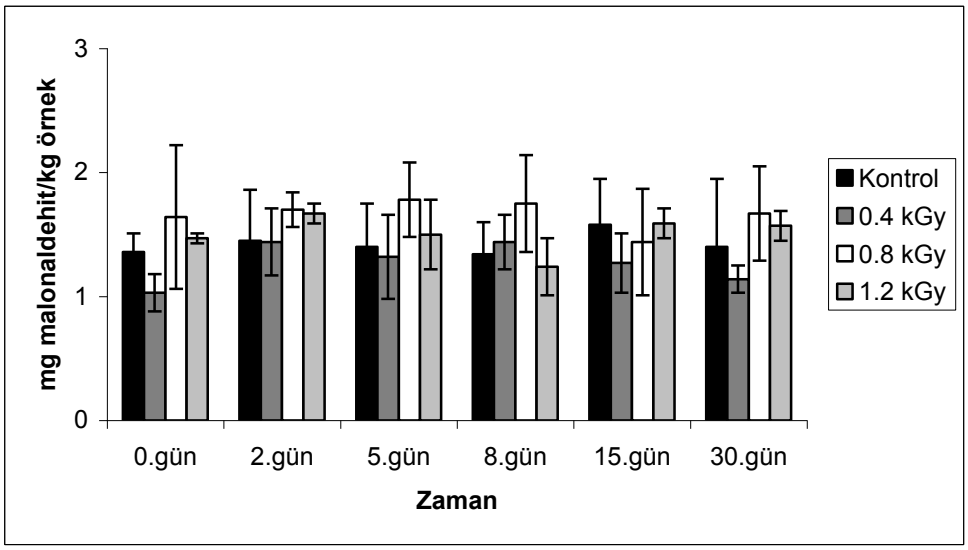
31. Javanmard M, Rokni N, Bokaie S, Shahosseini G. 2006. Effects of gamma irradiation and frozen storage on microbial, chemical and sensory quality of chicken meat in Iran. *Food Control*, 17, 469-473.

32. Karadağ A, Güneş G. 2008. The effects of gamma irradiation on the quality of ready-to-cook meatballs. *Turkish J Vet Animal Sci*, 32, 4, 269-274.

33. Brewer MS. 2009. Irradiation effects on meat flavor – a review. *Meat Sci*, 81, 1-14.




Şekil 1. +4 °C'da depolanan örneklerin TBA sonuçları (n=4)




Şekil 2. -12 °C'da depolanan örneklerin TBA sonuçları (n=4)

Çizelge 1. Hamburger köfte örneklerinin FTIR spektrumlarından hesaplanan α-sarmal, β-düzlemsel tabaka % değerleri ve α-sarmal/β-düzlemsel tabaka oranı*

| | **α-sarmal (%)** | | | | **β-düzlemsel tabaka (%)** | | | | **α-sarmal/β-düzlemsel tabaka** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | **Doz** | | | | | | | |
| **Zaman** | **K** | **0.4 kGy** | **0.8 kGy** | **1.2 kGy** | **K** | **0.4 kGy** | **0.8 kGy** | **1.2 kGy** | **K** | **0.4 kGy** | **0.8 kGy** | **1.2 kGy** |
| | 46.023 | | | | | | | | 1.073 | 1.094 | 1.093 | 1.043 |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **0.gün** | ±0.88 | 44.746 | 44.444 | 46.082 | 42.939 | 41.214 | 41.026 | 44.188 | ±0.03 | ±0.09 | ±0.10 | ±0.01 |
| | | ±1.46 | ±1.15 | ±0.49 | ±1.84 | ±4.29 | ±4.41 | ±0.26 | | | | |
| **+4 °C,** | 46.170 | 45.354 | 45.337 | 44.475 | 43.148 | 40.712 | 42.815 | 42.599 | 1.072 | 1.130 | 1.059 | 1.047 |
| **8.gün** | ±0.27 | ±1.05 | ±0.98 | ±1.08 | ±2.08 | ±5.47 | ±1.47 | ±2.98 | ±0.05 | ±0.13 | ±0.02 | ±0.05 |
| **-12 °C,** | 45.012 | 44.865 | 44.652 | 43.849 | 43.428 | 43.819 | 43.936 | 42.386 | 1.037 | 1.024 | 1.016 | 1.040 |
| **8.gün** | ±0.46 | ±0.38 | ±0.52 | ±0.88 | ±1.13 | ±0.74 | ±1.48 | ±3.53 | ±0.01 | ±0.01 | ±0.01 | ±0.07 |
| **-12 °C,** | 45.594 | 44.700 | 44.556 | 46.033 | 44.093 | 44.072 | 43.152 | 43.838 | 1.034 | 1.014 | 1.033 | 1.050 |
| **30.gün** | ±0.70 | ±0.40 | ±0.25 | ±0.55 | ±0.30 | ±0.36 | ±1.56 | ±0.27 | ±0.02 | ±0.01 | ±0.02 | ±0.01 |

* (n=4)

Çizelge 2. +4 ºC'da depolanan örneklerin duyusal değerlendirme sonuçları

| | **Doz** | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Zaman** | **Dış görünüş** | | | | | **Renk** | | | | |
| **(gün)** | **K** | **0.4 kGy** | **0.8 kGy** | **1.2 kGy** | **Ort** | **K** | **0.4 kGy** | **0.8 kGy** | **1.2 kGy** | **Ort** |
| **0.** | 7.80 ±1.09 | 8.20 ±0.44 | 6.80 ±0.83 | 7.60 ±0.54 | 7.60$^{ab}$ | 8.20 ±0.44 | 8.20 ±0.44 | 6.80 ±0.83 | 7.60 ±0.54 | 7.70$^{b}$ |
| **2.** | 8.00 ±0.70 | 8.20 ±0.44 | 7.60 ±0.89 | 8.00 ±0.70 | 7.95$^{b}$ | 8.00 ±0.70 | 8.20 ±0.44 | 7.60 ±0.89 | 8.00 ±0.70 | 7.95$^{b}$ |
| **5.** | 7.60 ±1.14 | 7.40 ±0.54 | 7.60 ±0.54 | 7.60 ±0.54 | 7.55$^{ab}$ | 7.80 ±1.09 | 7.60 ±0.54 | 7.80 ±0.44 | 7.80 ±0.44 | 7.75$^{b}$ |
| **8.** | 7.00 ±1.00 | 7.40 ±0.89 | 7.20 ±0.83 | 6.80 ±1.64 | 7.10$^{a}$ | 6.20 ±1.09 | 6.40 ±1.51 | 6.60 ±1.14 | 5.80 ±1.64 | 6.25$^{a}$ |

| | **Doz** | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Zaman** | **Yapı** | | | | | **Tat/Koku** | | | | |
| **(gün)** | **K** | **0.4 kGy** | **0.8 kGy** | **1.2 kGy** | **Ort** | **K** | **0.4 kGy** | **0.8 kGy** | **1.2 kGy** | **Ort** |
| **0.** | 7.60 ±0.89 | 8.20 ±0.44 | 7.20 ±0.83 | 7.60 ±0.54 | 7.65$^{b}$ | 7.20 ±1.30 | 8.00 ±0.70 | 7.00 ±1.00 | 7.40 ±0.54 | 7.40$^{b}$ |
| **2.** | 8.00 ±0.70 | 8.20 ±0.44 | 7.60 ±0.89 | 7.60 ±1.14 | 7.85$^{b}$ | 8.00 ±0.70 | 8.20 ±0.44 | 7.40 ±0.54 | 7.60 ±1.14 | 7.80$^{b}$ |
| **5.** | 7.40 ±1.34 | 7.60 ±0.54 | 7.60 ±0.54 | 7.60 ±0.54 | 7.55$^{b}$ | 7.20 ±1.30 | 7.40 ±0.54 | 7.60 ±0.54 | 7.60 ±0.54 | 7.45$^{b}$ |
| **8.** | 6.20 ±1.09 | 6.60 ±1.34 | 6.80 ±0.83 | 5.60 ±1.81 | 6.30$^{a}$ | 5.60 ±0.54 | 5.80 ±1.48 | 6.20 ±0.83 | 5.20 ±1.30 | 5.70$^{a}$ |

$^{a-b}$ Dış görünüş, Renk, Yapı ve Tat/Koku değerleri için farklı zaman periyotlarındaki farklı üstel harflere sahip örnekler arasındaki fark önemlidir ($P$<0.05)

***** İstatistik olarak önemli bulunan parametrelere Duncan testi uygulanmış ve değerlerin ortalamaları arasındaki fark Çizelge 2'de gösterilmiştir (n= 4)

Çizelge 3. -12 ºC'da depolanan örneklerin duyusal değerlendirme sonuçları

| Zaman (gün) | Doz | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Dış görünüş | | | | | Renk | | | | |
| | K | 0.4 kGy | 0.8 kGy | 1.2 kGy | Ort | K | 0.4 kGy | 0.8 kGy | 1.2 kGy | Ort |
| **0.** | 7.80 ±1.09 | 8.20 ±0.44 | 6.80 ±0.83 | 7.60 ±0.54 | 7.60$^{ab}$ | 8.20 ±0.44 | 8.20 ±0.44 | 6.80 ±0.83 | 7.60 ±0.54 | 7.70$^{bc}$ |
| **2.** | 8.40 ±0.54 | 8.00 ±1.00 | 7.80 ±0.83 | 8.20 ±0.44 | 8.10$^{c}$ | 8.20 ±0.83 | 8.00 ±1.00 | 7.60 ±0.54 | 8.20 ±0.44 | 8.00$^{c}$ |
| **5.** | 7.80 ±1.09 | 8.00 ±0.70 | 8.00 ±0.70 | 8.20 ±0.44 | 8.00$^{bc}$ | 7.80 ±1.09 | 8.00 ±0.70 | 8.00 ±0.70 | 8.20 ±0.44 | 8.00$^{c}$ |
| **8.** | 7.80 ±0.44 | 7.60 ±0.54 | 7.60 ±0.54 | 7.60 ±0.54 | 7.65$^{bc}$ | 7.60 ±0.54 | 7.40 ±0.54 | 7.40 ±0.54 | 7.40 ±0.54 | 7.45$^{ab}$ |
| **15.** | 7.40 ±0.54 | 7.80 ±0.83 | 7.80 ±0.83 | 7.20 ±0.83 | 7.55$^{ab}$ | 7.20 ±1.30 | 7.80 ±0.44 | 7.80 ±0.44 | 7.60 ±0.89 | 7.60$^{abc}$ |
| **30.** | 6.60 ±0.54 | 7.60 ±0.54 | 7.40 ±0.89 | 7.00 ±0.70 | 7.15$^{a}$ | 6.60 ±0.54 | 7.60 ±0.54 | 7.40 ±0.89 | 7.00 ±0.70 | 7.15$^{a}$ |

| Zaman (gün) | Doz | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Yapı | | | | | Tat/Koku | | | | |
| | K | 0.4 kGy | 0.8 kGy | 1.2 kGy | Ort | K | 0.4 kGy | 0.8 kGy | 1.2 kGy | Ort |
| **0.** | 7.60 ±0.89 | 8.20 ±0.44 | 7.20 ±0.83 | 7.60 ±0.54 | 7.65$^{cd}$ | 7.20 ±1.30 | 8.00 ±0.70 | 7.00 ±1.00 | 7.40 ±0.54 | 7.40$^{bc}$ |
| **2.** | 8.40 ±0.54 | 7.80 ±0.83 | 7.60 ±0.54 | 7.80 ±0.44 | 7.90$^{d}$ | 8.20 ±0.83 | 7.80 ±0.83 | 7.80 ±0.83 | 7.60 ±0.89 | 7.85$^{c}$ |
| **5.** | 7.40 ±0.89 | 7.20 ±0.83 | 7.80 ±0.44 | 8.00 ±0.70 | 7.60$^{cd}$ | 7.20 ±1.64 | 7.00 ±0.70 | 7.80 ±0.44 | 8.00 ±0.70 | 7.50$^{bc}$ |
| **8.** | 7.00 ±1.00 | 7.20 ±1.09 | 6.80 ±1.09 | 7.60 ±0.54 | 7.15$^{bc}$ | 7.00 ±1.00 | 7.40 ±0.89 | 6.80 ±0.83 | 7.40 ±0.54 | 7.15$^{bc}$ |
| **15.** | 6.40 ±1.14 | 7.20 ±0.44 | 6.80 ±0.83 | 6.60 ±0.54 | 6.75$^{ab}$ | 6.80 ±1.30 | 7.60 ±0.89 | 7.00 ±1.22 | 6.80 ±0.44 | 7.05$^{b}$ |
| **30.** | 6.20 ±0.83 | 7.00 ±1.22 | 6.60 ±2.19 | 6.00 ±1.87 | 6.45$^{a}$ | 6.20 ±0.83 | 6.40 ±1.94 | 6.60 ±1.67 | 6.00 ±2.00 | 6.30$^{a}$ |

$^{a-d}$ Duyusal değerler için farklı zaman periyotlarındaki farklı üstel harflere sahip örnekler arasındaki fark önemlidir ($P$<0.05)

***** İstatistik olarak önemli bulunan parametrelere Duncan testi uygulanmış ve değerlerin ortalamaları arasındaki fark Çizelge 3'de gösterilmiştir (n=4).